



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: Διερεύνηση της συμμετοχής ανωτέρων ιδιομορφών στην απόκριση οκταώροφο πλαισιακό κτίριο από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα, υπό την επίδραση σεισμών κοντινού πεδίου.

ΣΚΟΝΔΡΑ ΣΠΥΡΙΔΟΥΛΑ ΕΛΕΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Ι. Ψυχάρης, Αναπληρωτής καθηγητής Ε.Μ.Π.
ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Dr Ι. ΤΑΦΛΑΜΠΑΣ, Πολιτικός Μηχανικός

ΑΘΗΝΑ 2010-2011

Σε αυτούς που αγαπώ...

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή καθηγητή του ΕΜΠ κύριο Ι. Ψυχάρη για την δυνατότητα εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας που μου παρέιχε, για δεύτερη φορά, όπως επίσης για την καταλυτική του εποπτεία και τις χρήσιμες συμβουλές του.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω κυρίως στον κύριο Δρ Ι. Ταφλαμπά, Πολιτικό Μηχανικό για την πολύτιμη καθοδήγηση του σε σχέση με το αντικείμενο της εργασίας αλλά και για την αμέριστη ενθάρρυνση που απέδειξε στην ολοκλήρωση της.

Φυσικά ανυπολόγιστη ήταν και η συνεισφορά του υποψήφιου διδάκτορα του ΕΜΠ κύριου Π. Μίμογλου, ο οποίος με βοήθησε με τις γνώσεις του και τις χρήσιμες παρατηρήσεις του ιδιαίτερα στην εργασία μου.

Τέλος, σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη της οικογένειας μου και κυρίως τους γονείς μου, για την πολύτιμη βοήθεια και την υπομονή που έδειξαν όλον αυτόν τον καιρό.

Αθήνα, Οκτώβριος 2011

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πρόβλεψη της απόκρισης μιας κατασκευής σε σεισμούς κοντινού πεδίου, είναι ένα αντικείμενο που απασχολεί έντονα τους επιστήμονες παγκοσμίως και έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι εκτίμησης της απόκρισης αυτής.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της συμμετοχής ανωτέρων ιδιομορφών στην απόκριση ενός οκτώροφου πλαισιακού κτιρίου από ωπλισμένο σκυρόδεμα και αναλυτικότερα επιθυμούμε να εξετάσουμε τη συμμετοχή της δεύτερης ιδιομορφής στη σεισμική απόκριση. Προκειμένου να αξιολογηθεί η συμμετοχή της δεύτερης ιδιομορφής, θα προχωρήσουμε στον υπολογισμό των μετακινήσεων, των αδρανειακών δυνάμεων και των τεμνουσών καθ' ύψος του κτιρίου. Τα μεγέθη αυτά θα υπολογιστούν με δύο διαφορετικές μεθόδους, αρχικά με βάση της ανελαστική ανάλυση χρονοϊστορίας και έπειτα με την ιδιομορφική ανελαστική δυναμική ανάλυση. Από την σύγκριση των αποτελεσμάτων θα εκτιμήσουμε τελικών της επιρροή της δεύτερης ιδιομορφής στην απόκριση της κατασκευής. Στο τελευταίο μέρος της εργασίας θα προχωρήσουμε στην εκτίμηση της ικανότητας πλαστικής στροφής της κατασκευής, υπό τις σεισμικές διεγέρσεις, μελετώντας τη πιθανότητα συσχέτισης της με την επιρροή της δεύτερη ιδιομορφή.

Από της αναλύσεις που έγιναν κατανοούμε τη μεγάλη επιρροή της δεύτερης ιδιομορφής στη απόκριση του φορέα, κυρίως σε ότι έχει σχέση με τις αδρανειακές και τέμνουσες δυνάμεις. Η επιρροή της δεύτερης ιδιομορφής στη απόκριση είναι λογικό να συμβαίνει σε πολυώροφα κτίρια, αν λάβει κανείς υπόψη του το γεγονός ότι τα κτίρια αυτά εμφανίζουν μεγάλες ιδιοπεριόδους, με αποτέλεσμα η πρώτη ιδιοπερίοδος να αντιστοιχεί σε χαμηλές τιμές στα ελαστικά φάσματα μετακινήσεων και επιταχύνσεων, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες ιδιομορφές που εμφανίζουν μικρότερες τιμές ιδιοπεριόδων και αντιστοιχούν σε μεγάλες φασματικές τιμές, δικαιολογώντας έτσι και τη μεγάλη τους επιρροή.

Το ουσιαστικότερο αποτέλεσμα από την παρούσα εργασία είναι τελικά ότι η μέθοδος της ιδιομορφικής ανελαστικής δυναμικής ανάλυσης προσεγγίζει ικανοποιητικά τα αποτελέσματα της ανελαστικής ανάλυσης χρονοϊστορίας του ισοδύναμου πολυβάθμιου συστήματος, δίνοντας με αυτό τον τρόπο τη δυνατότητα να εκτιμάται η απόκριση του φορέα με μια μέθοδο, που χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ταχύτητα υπολογισμού και από λιγότερο υπολογιστικό φόρτο.

Summary

Anticipating the response of a structure in near field seismic forces is an object of great concern to scientists worldwide and various methods have been proposed for assessing this type of response.

The purpose of this study is to investigate the involvement of higher modes in the response of an eight-floor building with a framework from reinforced concrete. Particularly, the contribution of the second mode is being evaluated to several near field seismic excitations, of $M_w=5.6 - 7.1$. In order to evaluate the contribution of the second mode to the response, displacement and inertial and shear forces over the stories of the building are calculated with two different types of analysis, the non-linear time history analysis of the building, which is done through the use of the program SAP and the modal nonlinear dynamic analysis, which is done through the use of the program Bispec. Finally, the main aim is to evaluate the accuracy of Modal Nonlinear Dynamic Analysis (MNDA) results and compare them with the ones from the non-linear time history analysis. At the end of the study will proceed in evaluating the ability of plastic curve under seismic excitations, with a view to understanding the potential association of the influence of the second mode.

As we shall see in chapter 5, the results of the analyses are very interesting since they prove that the contribution of the second mode is significant. In particular, we observe from the inertial and shear forces results the great participation of the second mode on the force contribution over the stories. This is an expected and reasonable result, as high-rise buildings tend to have high periods, so spectral acceleration of the first mode is often very low and therefore the higher modes tend to be in the area of high spectral values at the acceleration spectra.

Finally, as far as the modal nonlinear dynamic analysis (MNDA) is concerned results show the convergence of this method to be quite satisfactory as compared with the nonlinear time-history analysis of the building. This conclusion is of high importance since it became clear that the MNDA method has two substantial advantages over the non-linear time history analysis, the first is the lower computational time and load and the second is the better accuracy of the method.

Πίνακας Περιεχομένων

1	Εισαγωγικά Στοιχεία	1
1.1	Εισαγωγή.....	1
2	Χαρακτηριστικά της εδαφικής κίνησης σε Σεισμούς Κοντινού Πεδίου...	3
2.1	Γενική Περιγραφή της Διαδικασίας	3
2.1.1	Οι Επιδράσεις του Κοντινού Πεδίου.....	3
2.1.2	Παραμετροποίηση των Εδαφικών Κινήσεων Κοντινού Πεδίου.....	9
2.2	Επιδράσεις της Κατευθυντικότητας της Διάρρηξης - Διαθέσιμα Μοντέλα.....	17
2.3	Επιδράσεις της Παραμένουσας Μετακίνησης.....	26
3	Αναλυτική Περιγραφή Φορέα.....	27
3.1	Περιγραφή του υπό Μελέτη Κτιρίου.....	27
3.2	Προσομοίωση του υπό Μελέτη Κτιρίου.....	31
4	Απαραίτητο Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	33
4.1	Αντισεισμικός Σχεδιασμός με Στάθμες Επιτελεστικότητας.....	33
4.2	Ιδιομορφική Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση.....	37
4.3	Μόρφωση Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος.....	38
4.4	Γενική Περιγραφή της Μεθόδου.....	41
5	Παρουσίαση Αναλύσεων και Αποτελεσμάτων.....	43
5.1	Γενική Περιγραφή της Διαδικασίας.....	43
5.2	Υπολογισμός Ιδιοπεριόδων και Ιδιομορφών της Κατασκευής.....	44
5.3	Εύρεση Καμπύλης Αντίστασης Κατασκευής.....	46
5.4	Υπολογισμός Μεγεθών Ισοδύναμου Μονοβαθμίου Συστήματος.....	47
5.5	Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	50
5.5.1	Coyote Lake, CA, USA - GA1-320.....	51
5.5.2	Coyote Lake, CA, USA - GA6-230.....	54
5.5.3	Coyote Lake, CA, USA - SMCC-250.....	57
5.5.4	Duzce, Turkey - BOL-090.....	60
5.5.5	Duzce, Turkey - DZC-180.....	63
5.5.6	Hansin (Kobe), Japan - TAK-000.....	66
5.5.7	Hansin (Kobe), Japan - TAK-090.....	69
5.5.8	Imperial Valley, CA, USA, 1979 - E03-140.....	72
5.5.9	Imperial Valley, CA, USA, 1979 - E03-230.....	75
5.5.10	Imperial Valley, CA, USA, 1979 - E04-140.....	78
5.5.11	Imperial Valey, CA, USA, 1979 - E04-230.....	81

5.5.12	Landers, CA, USA - LUC-000.....	84
5.5.13	Loma Prieta, USA - BRN-000.....	88
5.5.14	Loma Prieta, USA - COR-000.....	91
5.5.15	Morgan Hill, CA, USA - AND-250.....	94
5.5.16	Morgan Hill, CA, USA - HAL-150.....	97
5.5.17	Northridge, CA, USA - PKC-090.....	100
5.5.18	Northridge, CA, USA - RRS-228.....	103
5.5.19	Northridge, CA, USA - SMI-000.....	106
5.5.20	Northridge, CA, USA - SMI-090.....	109
5.5.21	Northridge, CA, USA - SVG-090.....	112
5.5.22	Petrolia, CA, USA - PGS-000.....	115
5.5.23	Sierra Madre, CA, USA - COG-065.....	118
5.5.24	Siera Madre, CA, USA - ETN-090.....	121
5.6	Εκτίμηση Ικανότητας Πλαστικής Στροφής.....	125
6	Συμπεράσματα.....	129
6.1	Γενικά Στοιχεία.....	129
6.2	Εφαρμοζόμενη Μεθοδολογία.....	130
6.3	Συνοπτική Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων.....	132
6.4	Τελικά Συμπεράσματα.....	143
	Βιβλιογραφία.....	145
	Παράρτημα.....	147

1

Εισαγωγικά Στοιχεία

1.1 Εισαγωγή

Το μεγάλο ενδιαφέρον των επιστημόνων σήμερα είναι στραμμένο στην προσπάθεια να κατανοήσουν τον τρόπο συμπεριφοράς των κατασκευών σε σεισμούς κοντινού πεδίου. Για τον σκοπό αυτόν έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι, η βασικότερη και ίσως και ακριβέστερη, από άποψη εγκυρότητας αποτελεσμάτων, μέθοδος είναι η ανελαστική ανάλυση χρονοιστορίας. Ωστόσο όμως επειδή αυτή η μέθοδος απαιτεί μεγάλο υπολογιστικό φόρτο και κατανάλωση πολύ χρόνου, έχουν γίνει προσπάθειες προσδιορισμού άλλων μεθοδολογιών. Η πιο προσφάτως ανεπτυγμένη μέθοδος είναι η *ιδιομορφική ανελαστική στατική ανάλυση*, η οποία λαμβάνει υπόψη περισσότερες από την επικρατούσα ιδιομορφές. Το θέμα αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της συμμετοχής ανώτερων ιδιομορφών στην απόκριση ενός οκταώροφου φορέα σε σεισμικές διεγέρσεις κοντινού πεδίου και η αξιολόγηση της ακρίβειας της *ιδιομορφικής ανελαστικής δυναμικής ανάλυσης*, που πρόκειται για μια παραλλαγή της ιδιομορφικής ανελαστικής στατικής ανάλυσης. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτή την ανάλυση θα συγκριθούν με αυτά που θα προκύψουν από την ανελαστική ανάλυση χρονοϊστορίας, που θα γίνει με χρήση του προγράμματος SAP2000.

Ο φορέας που χρησιμοποιήσαμε για τη παρούσα εργασία είναι ένα οκταώροφο κτίριο, κατασκευασμένο από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Για την επίλυση του κτιρίου μέσω του προγράμματος SAP2000, προτιμήθηκε η δέσμευση της μετακίνησης του κατά την μια διεύθυνση, αλλά διατηρήσαμε την τρισδιάστατη δομή του φορέα.

Η εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια, ακολουθεί μια συνοπτική παρουσίαση του περιεχομένου τους:

- Το πρώτο κεφάλαιο είναι η εισαγωγή όπου αναφέρεται συνοπτικά το περιεχόμενο ολόκληρης της διπλωματικής εργασίας, καθώς και του κάθε κεφαλαίου.
- Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται τα χαρακτηριστικά της εδαφικής κίνησης κατά τη σεισμική διέγερση κοντινού πεδίου και δίνονται κάποιοι βασικοί ορισμοί για το φαινόμενο του κοντινού πεδίου, όπως η κατευθυντικότητα της διάρρηξης και η παραμένουσα μετακίνηση καθώς και κάποια μαθηματικά μοντέλα που έχουν προταθεί για την παραμετροποίηση των μεγεθών που χρησιμοποιούνται στη μελέτη ενός σεισμικού γεγονότος.
- Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά ο φορέας που χρησιμοποιήθηκε. Δίνονται τα στοιχεία των διατομών των μελών (σχήμα, διαστάσεις) καθώς και στοιχεία για τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν (σκυρόδεμα και χάλυβας). Τέλος περιγράφεται ο τρόπος προσομοίωσης του κτιρίου.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο δίνεται το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίχθηκε η παρούσα εργασία. Αναλύεται η φιλοσοφία του σχεδιασμού με στάθμες επιτελεστικότητας, δίνονται οι ορισμοί των μεγεθών του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος και περιγράφεται η ιδιομορφική ανελαστικής δυναμική ανάλυση.
- Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όλων των αναλύσεων που έγιναν. Δίνονται τα διαγράμματα σύγκρισης των αποτελεσμάτων της μεθόδου της ιδιομορφικής ανελαστικής δυναμικής ανάλυσης σε σχέση με αυτά που προκύπτουν από τη δυναμική ανάλυση ιστορίας στον πολυβάθμιο φορέα και εκτιμάται η ικανότητα πλαστικής στρώφης του φορέα.
- Στο έκτο κεφάλαιο δίνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις του πέμπτου κεφαλαίου, ώστε να διαπιστωθεί το πώς συμμετέχουν οι ανώτερες ιδιομορφές στην απόκριση του φορέα, με στόχο να αξιολογηθεί η μέθοδος της ιδιομορφικής ανελαστικής δυναμικής ανάλυσης.

2

Χαρακτηριστικά της εδαφικής κίνησης σε σεισμούς κοντινού πεδίου

2.1 Γενική περιγραφή της διαδικασίας

2.1.1 Οι επιδράσεις του κοντινού πεδίου

Οι εδαφικές κινήσεις κοντά σε ένα ρήγμα μπορεί να είναι σημαντικά διαφορετικές από εκείνες που βρίσκονται μακριά από τη σεισμική πηγή. Η ζώνη κοντινού πεδίου ρηγμάτων θεωρητικά είναι μέσα σε μια απόσταση περίπου 20-60 km από ένα ρήγμα. Μέσα σε αυτήν την ζώνη κοντινού πεδίου, οι εδαφικές κινήσεις επηρεάζονται σημαντικά από το μηχανισμό διάρρηξης, την κατεύθυνση της διάδοσης της διάρρηξης σε σχέση με την περιοχή, και τις πιθανές μόνιμες εδαφικές μετατοπίσεις ως αποτέλεσμα της ολίσθησης του ρήγματος. Αυτοί οι παράγοντες οδηγούν στα αποτελέσματα που καλούνται ως "κατευθυντικότητα της διάρρηξης" και "παραμένουσα μετακίνηση" (fling step).

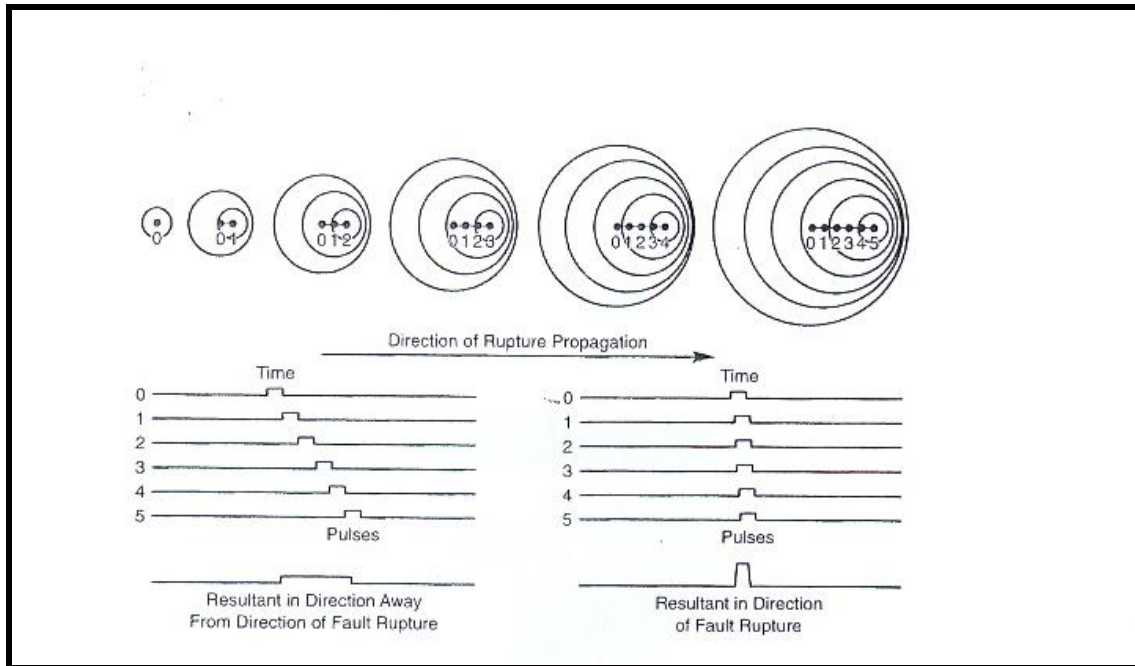
Αναλυτικότερα, η διάρρηξη στο επίπεδο του ρήγματος που αποτελεί την αιτία ενός σεισμικού γεγονότος, επέρχεται όταν οι αναπτυσσόμενες διατμητικές τάσεις ξεπεράσουν την «φαινόμενη» (φύσει και θέσει) αντοχή του πετρώματος στην περιοχή της σεισμικής εστίας. Η ρηγμάτωση που προκαλείται απαρτίζεται από μία σειρά μικρότερες διαρρήξεις (θραύση «κλειδιών» κατά μήκος του ρήγματος) που μπορούν να θεωρηθούν σαν μια σειρά μικρών σεισμών με μεγάλη χωρική και χρονική εγγύτητα.

Η περιοχή στην οποία επικεντρώνονται οι βλάβες κατά την διάρκεια ενός σεισμού είναι συνήθως συγκεντρωμένη γύρω από το ρήγμα και έχει διαστάσεις ανάλογες με την επιφάνεια ρηγμάτωσης. Η περιοχή αυτή ονομάζεται κοντινό πεδίο και κοντά της η εδαφική κίνηση χαρακτηρίζεται από το φαινόμενο της κατευθυντικότητας.

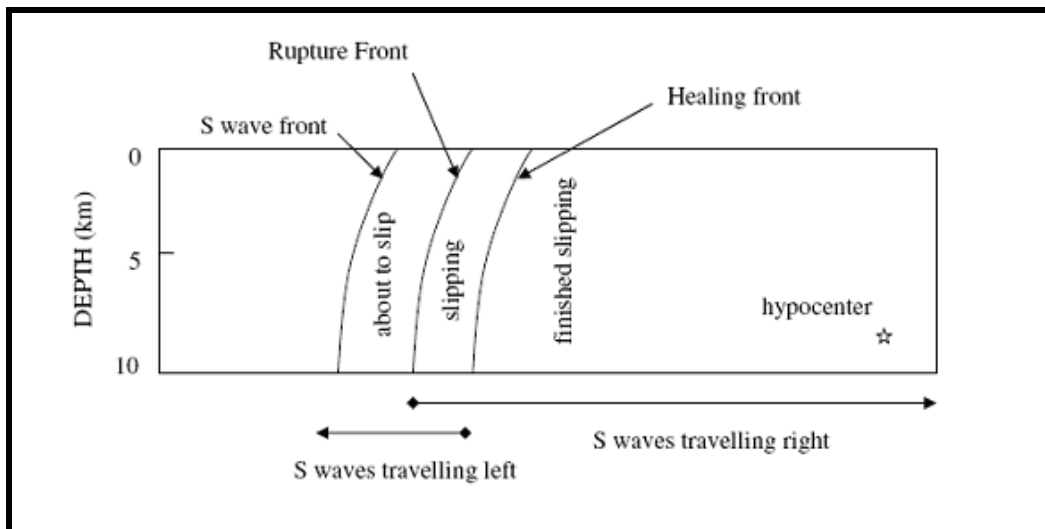
Όταν η ρηγμάτωση κατευθύνεται από το επίκεντρο του σεισμού προς μία θέση παρουσιάζεται ένα φαινόμενο αντίστοιχο με το Doppler (σχήμα 2.1). Όπως είδαμε η διάρρηξη γίνεται σταδιακά σε επιμέρους περιοχές του ρήγματος. Κατά την διάρκεια κάθε τέτοιας διάρρηξης παράγεται ένας παλμός ταχύτητας που διαδίδεται ως κύμα S με ταχύτητα ανάλογη της ταχύτητας διάρρηξης.

Επειδή η ταχύτητα της διάρρηξης στο ρήγμα είναι κοντά σε μέγεθος με (γενικά λίγο μικρότερη) την ταχύτητα διατμητικών κυμάτων (κύματα S) του βράχου κοντά στην πηγή, όταν η διάδοση της διάρρηξης γίνεται προς, εμφανίζεται το φαινόμενο της έμπροσθεν κατευθυντικότητας (forward directivity). Για έναν μηχανισμό οριζόντιας ολίσθησης (σχήμα 2.2), όπου το μέτωπο διάρρηξης διαδίδεται μακριά από το υπόκεντρο και προς μια περιοχή, η ενέργεια συσσωρεύεται κοντά στο μέτωπο διάρρηξης από κάθε διαδοχική ζώνη της ολίσθησης κατά μήκος του ρήγματος. Το μέτωπο των κυμάτων φθάνει ως ένας μεγάλος παλμός της κίνησης. Ο παλμός της κίνησης χαρακτηρίζεται από το μεγάλο εύρος ενδιάμεσα στις μεγάλες περιόδους και τη μικρή διάρκεια.

Εάν αντίθετα μια περιοχή βρίσκεται κοντά στο επίκεντρο, δηλαδή, η διάρρηξη διαδίδεται μακριά από την περιοχή, η άφιξη κάθε παλμού επιμέρους σεισμικής διάρρηξης γίνεται στο τέλος του προηγούμενου του. Αυτός ο όρος, καλούμενος ως «όπισθεν κατευθυντικότητα» (backward directivity), χαρακτηρίζεται από κινήσεις με σχετικά μεγάλη διάρκεια και μικρό εύρος. Η "ουδέτερη κατευθυντικότητα" (neutral directivity) εμφανίζεται όταν η ρήξη δεν είναι ούτε προς ούτε μακριά από την περιοχή.



Σχήμα 2.1: Επίδραση της κατευθυντικότητας της διάρρηξης που εξηγείται από το φαινόμενο Doppler



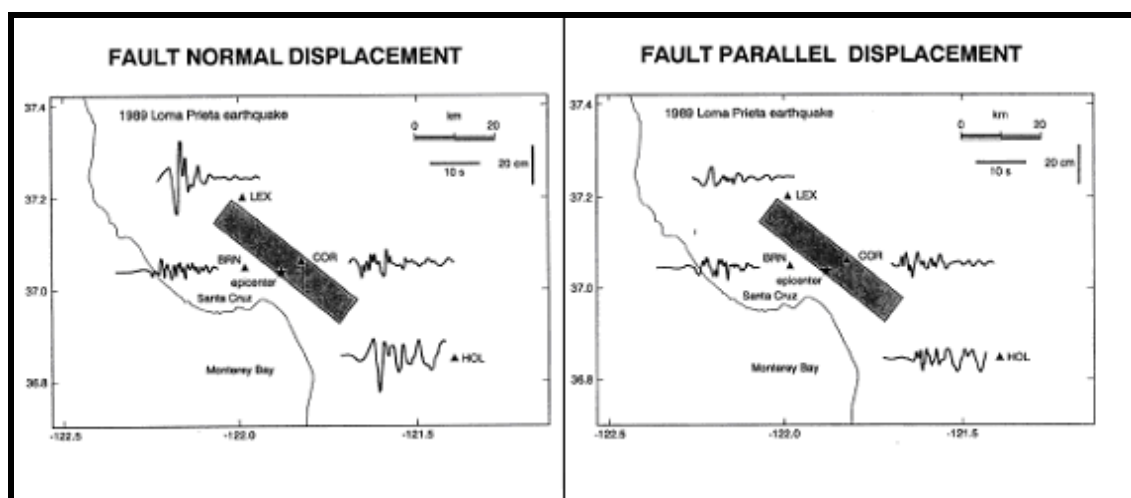
Σχήμα 2.2: Σχηματικό διάγραμμα επίδρασης της κατευθυντικότητας της διάρρηξης για ένα οριζόντιο ρήγμα ολίσθησης. Η διάρρηξη αρχίζει στο υπόκεντρο και διαδίδεται με μια ταχύτητα που είναι περίπου 80% της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων. Η εικόνα παρουσιάζει ένα στιγμιότυπο του μετώπου ρήξης σε μια δεδομένη στιγμή (από Somerville et al 1997a).

Οι επιδράσεις της κατευθυντικότητας της διάρρηξης στις εδαφικές μετατοπίσεις που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια του σεισμού στο Loma Prieta του 1989 παρουσιάζονται στο σχήμα 2.3. Το επίκεντρο του σεισμού είναι κοντά στο Corralitos και Branciforte Drive, όπου οι οριζόντιες εδαφικές μετακινήσεις είναι μέτριες και στις κάθετες και στις παράλληλες με το ρήγμα συνιστώσες.

Αυτό αποδίδεται στην οπίσθια κατευθυντικότητα. Στα άκρα του ρήγματος εντούτοις, στο Lexington Dam και το Hollister, η εμπρόσθια κατευθυντικότητα αναγκάζει τις οριζόντιες εδαφικές κινήσεις στην κάθετη διεύθυνση του ρήγματος να είναι παλμικές και πολύ μεγαλύτερες από τις κινήσεις των παράλληλων συνιστωσών του ρήγματος, οι οποίες είναι παρόμοιες με εκείνες κοντά στο επίκεντρο. Οι μεγάλες παλμικές κινήσεις εμφανίζονται μόνο στην κάθετη με το ρήγμα συνιστώσα (fault normal) και μόνο μακριά από το επίκεντρο.

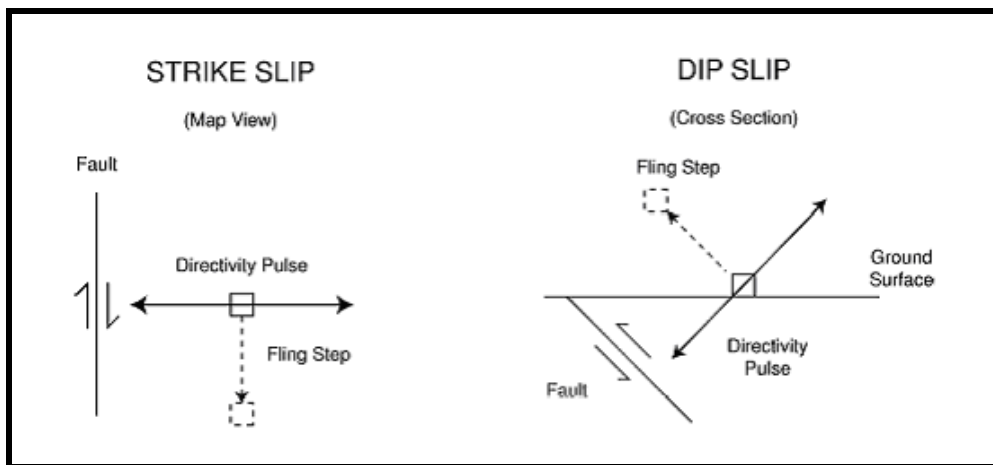
Τα φαινόμενα της κατευθυντικότητας της διάρρηξης μπορούν να παρουσιαστούν τόσο σε ρήγματά οριζόντιας ολίσθησης, όσο και σε κατακόρυφης ολίσθησης - βύθισης. Στις περιπτώσεις ρήγματος κατακόρυφης βύθισης, οι συνθήκες εμπρόσθιας κατευθυντικότητας εμφανίζονται για περιοχές κοντά στην προβολή του επάνω-τεμάχους του ρήγματος.

Σε μηχανισμούς οριζόντιας ολίσθησης, ο τρόπος εκπομπής ενέργειας λόγω διάτμησης σε ένα ανάστροφο ρήγμα αναγκάζει τον παλμό της κίνησης να είναι προσανατολισμένος κάθετα στα οριζόντια ρήγματα (Somerville et al, 1997a).

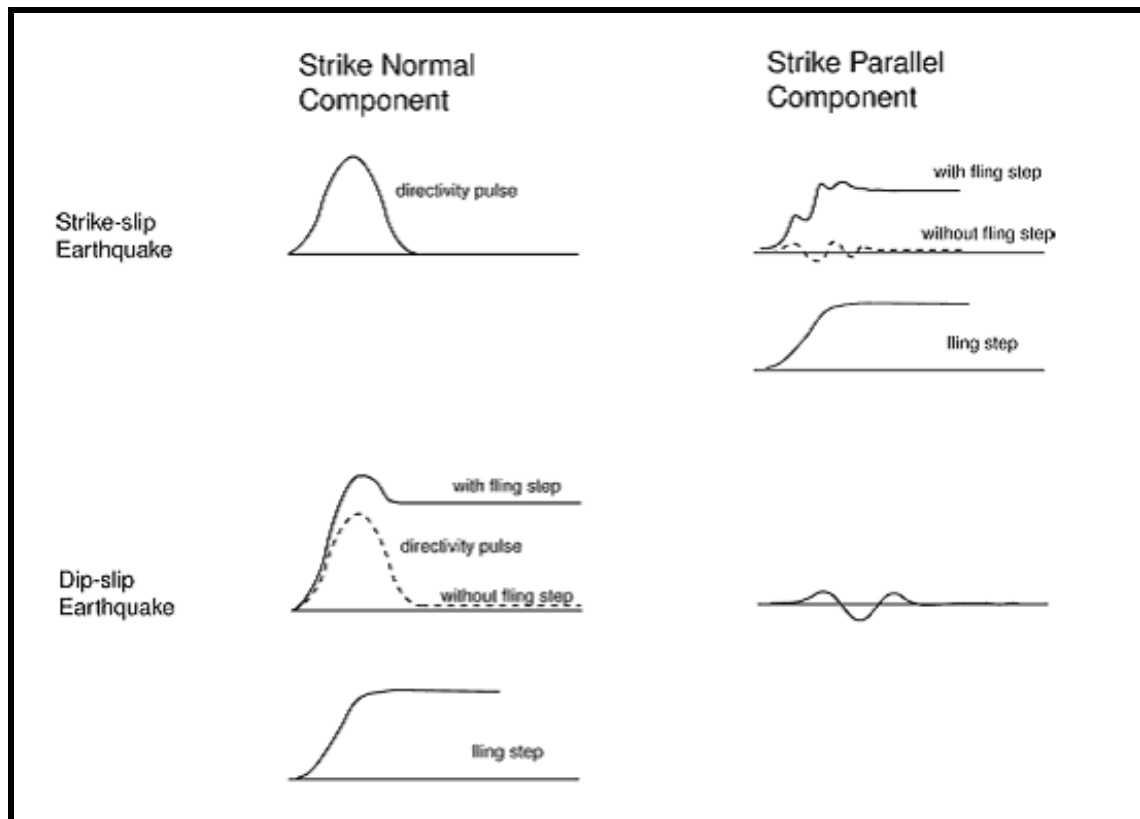


Σχήμα 2.3: Αποτελέσματα της κατευθυντικότητας της διάρρηξης στις καταγραμμένες χρονοϊστορίες μετακινήσεων του σεισμού του Loma Prieta του 1989, για τις κάθετες (αριστερά) και παράλληλες (δεξιά) στο ρήγμα συνιστώσες. Πηγή: EERI, 1995.

Οι σύγχρονες ψηφιακές καταγραφές των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου περιέχουν μόνιμες εδαφικές μετακινήσεις λόγω του στατικού πεδίου παραμόρφωσης του σεισμού. Αυτές οι στατικές μετατοπίσεις, που καλούνται "παραμένουσες μετακινήσεις" (fling step) εμφανίζονται μετά από ένα χρονικό διάστημα αρκετών δευτερολέπτων καθώς η ολίσθηση του ρήγματος προχωρά. Οι παραμένουσες μετακινήσεις (fling step) εμφανίζονται παράλληλες στην διεύθυνση ολίσθησης του ρήγματος, και επομένως δεν συνδέονται άμεσα με τις προαναφερθείσες δυναμικές μετακινήσεις που καλούνται «παλμός κατευθυντικότητας της διάρρηξης». Στα ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης, ο παλμός κατευθυντικότητας εμφανίζεται στην κάθετη συνιστώσα ενώ η παραμένουσα μετακίνηση εμφανίζεται στην παράλληλη συνιστώσα. Στα ρήγματα κατακόρυφης βύθισης, τόσο η παραμένουσα μετακίνηση όσο και ο παλμός κατευθυντικότητας εμφανίζονται στην κάθετη συνιστώσα. Οι προσανατολισμοί της παραμένουσας μετακίνησης και του παλμού κατευθυντικότητας για ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης και κατακόρυφης βύθισης παρουσιάζονται στο σχήμα 2.4, και οι χρονοϊστορίες στις οποίες αυτές οι συνεισφορές εμφανίζονται μαζί και χωριστά, παρουσιάζονται στο σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.4: Σχηματικό διάγραμμα που δείχνει τους προσανατολισμούς της παραμένουσας μετακίνησης και του παλμού κατευθυντικότητας για ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης και για ρήγμα κατακόρυφης βύθισης.



Σχήμα 2.5: Σχηματικό διάγραμμα των χρονοϊστοριών για ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης και ρήγμα κατακόρυφης βύθισης στο οποίο η παραμένουσα μετακίνηση και ο παλμός κατευθυντικότητας δείχνονται μαζί και χωριστά.

Τα διαθέσιμα στοιχεία κινήσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετρηθούν οι επιδράσεις του κοντινού πεδίου είναι περιορισμένα. Ωστόσο, οι πρόσφατοι σεισμοί στην Τουρκία και την Ταϊβάν έχουν συμπληρώσει σημαντικά τη βάση δεδομένων εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι επιδράσεις της κατευθυντικότητας της διάρρηξης, με έμφαση στην εμπρόσθια κατευθυντικότητα. Ακολούθως γίνεται μικρή αναφορά στις επιδράσεις της παραμένουσας μετακίνησης στο κοντινό πεδίο του ρήγματος.

2.1.2 Παραμετροποίηση των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου

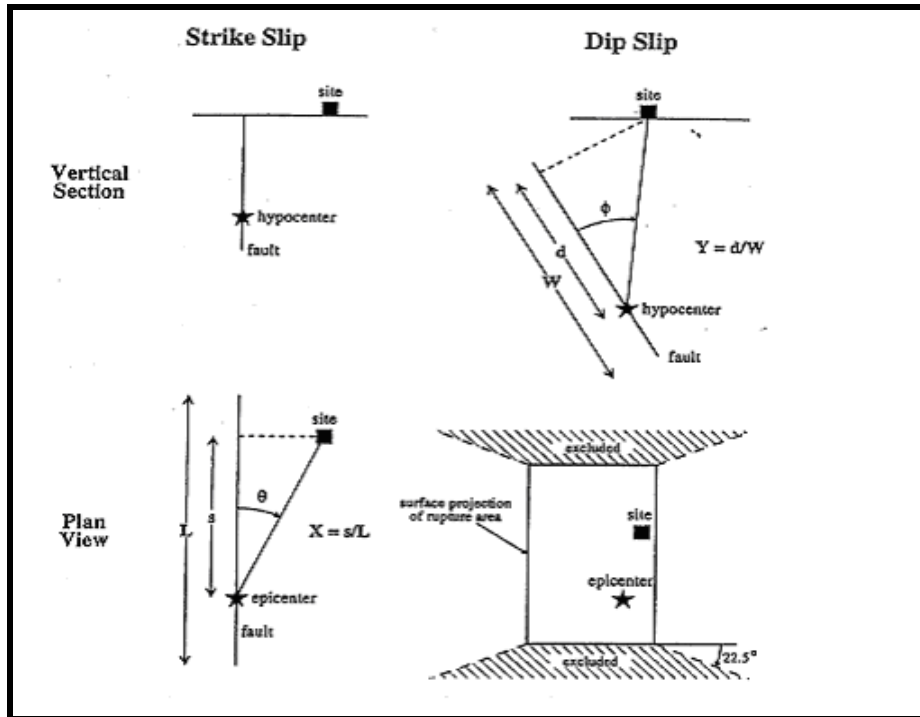
Οι Somerville et al (1997a) παραμετροποίησαν τις συνθήκες που οδηγούν σε εμπρόσθια και οπίσθια κατευθυντικότητα. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6, η διαφοροποίηση στο χώρο, των επιδράσεων της κατευθυντικότητας εξαρτάται από τη γωνία μεταξύ της κατεύθυνσης της διάδοσης ρήξης και της κατεύθυνσης των κυμάτων που ταξιδεύουν από το ρήγμα στην περιοχή (θ για τα ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης, και ϕ για τα ρήγματα ολίσθησης βύθισης), και στο μέρος της επιφάνειας διάρρηξης του ρήγματος που βρίσκεται μεταξύ του υποκέντρου και της εξεταζόμενης περιοχής (X για τα ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης και Y για τα ρήγματα κατακόρυφης βύθισης). Τα σημαντικότερα αποτελέσματα εμπρόσθιας κατευθυντικότητας προκύπτουν από τις μικρότερες γωνίες μεταξύ της εξεταζόμενης περιοχής και του ρήγματος και για τα μεγαλύτερα μέρη του διερρηγμένου ρήγματος μεταξύ της θέσης και υποκέντρου. Πρέπει να σημειωθεί ότι ακόμα και όταν ικανοποιούνται οι γεωμετρικές συνθήκες για την εμπρόσθια κατευθυντικότητα, τα αποτελέσματα της εμπρόσθιας κατευθυντικότητας μπορούν να μην εμφανιστούν.

Αυτό θα μπορούσε να συμβεί εάν ένας σταθμός είναι στο τέλος ενός ρήγματος και η διάρρηξη εμφανίζεται προς το σταθμό αλλά η ολίσθηση συγκεντρώνεται προς το τέλος του ρήγματος όπου ο σταθμός βρίσκεται.

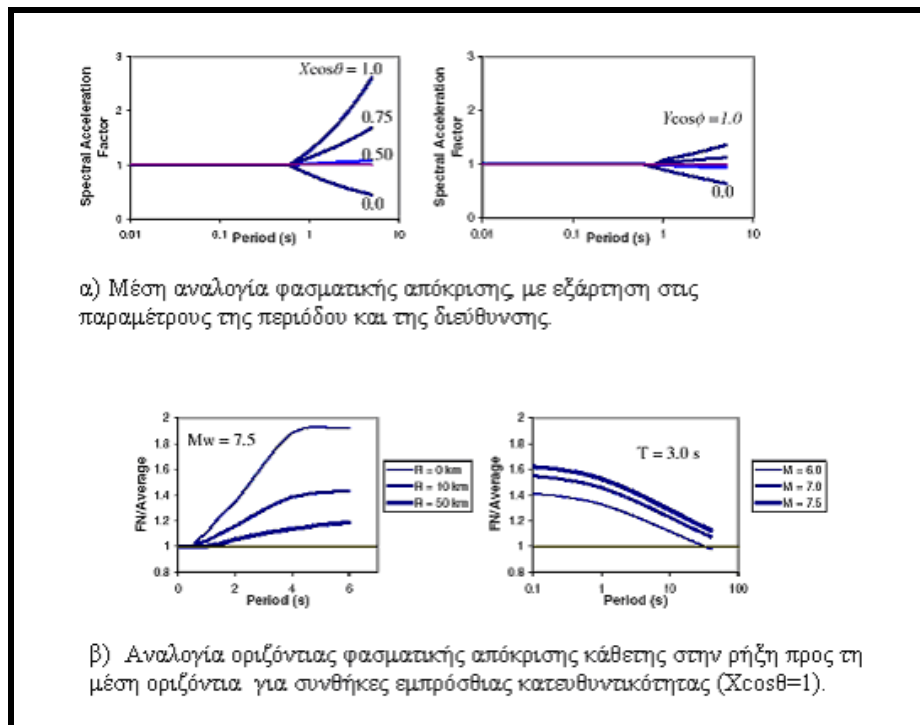
Για να ληφθούν υπ όψιν τα αποτελέσματα της κατευθυντικότητας, οι Somerville et al (1997a) συσχέτισαν τις ανηγμένες προς ένα μέσο φάσμα, τιμές των φασμάτων απόκρισης (με 5% απόσβεση) με τις γεωμετρικές παραμέτρους που καθορίζονται στο σχήμα 2.5, και τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο σχήμα 2.7.

Οι παράμετροι εδαφικής κίνησης που τροποποιούνται είναι τα μέσα οριζόντια φάσματα απόκρισης και ο λόγος των φασμάτων απόκρισης για την κάθετη και την παράλληλη στο ρήγμα συνιστώσα. Οι παράγοντες κοντινής πηγής καθορίζονται για αποστάσεις μικρότερες από 15 km και για τρεις διαφορετικούς τύπους σεισμικών πηγών (πίνακας 2.1).

Οι παράγοντες κοντινής πηγής από τον κανονισμό UBC (1997) είναι συμβατοί με το μέσο όρο των καθέτων και των παράλληλων στο ρήγμα συνιστωσών στο μοντέλο Somerville et al (1997a), και ως εκ τούτου, οι διατάξεις του κανονισμού δεν εξετάζουν τη μεγαλύτερη κάθετη συνιστώσα της κίνησης Somerville (1998).



Σχήμα 2.6: Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για να ερμηνεύσουν τις συνθήκες της κατευθυντικότητας της διάρρηξης από Somerville et al (1997).



Σχήμα 2.7: Προβλέψεις από την σχέση των Somerville et al (1997 a) μεταξύ διαφορετικών συνθηκών κατευθυντικότητας.

α) Παράγοντας μικρής περιόδου ($N\alpha$)

Seismic Source Type	Closest Distance to Known Seismic Source ¹		
	≤ 2 km	5 km	≥ 10 km
A	1.5	1.2	1.0
B	1.3	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

β) Παράγοντας ενδιάμεσης περιόδου ($N\nu$)

Seismic Source Type	Closest Distance to Known Seismic Source ¹			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 15 km
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

γ) Περιγραφή των τύπων σεισμικής πηγής

Seismic Source Type	Description	Seismic Source Definition	
		Maximum Moment Magnitude, m	Slip Rate, s (mm/year)
A	Faults that are capable of producing large magnitude events and that have a high rate of seismic activity	$m \geq 7.0$	$s \geq 5$
B	All faults other than Types A and C	$m \geq 7.0$ $m < 7.0$ $m \geq 6.5$	$s > 5$ $s > 2$ $s < 2$
C	Faults that are not capable of producing large magnitude earthquakes and that have a relatively low rate of seismic activity	$m < 6.5$	$s \leq 2$

Πίνακας 2.1: Παράγοντες κοντινής πηγής από UBC (1997)

¹ : Η πλησιέστερη απόσταση στην σεισμική πηγή θα πρέπει να λαμβάνεται ως η ελάχιστη απόσταση μεταξύ της εξεταζόμενης θέσης και της προβολής του επιπέδου του ρήγματος στην επιφάνεια (R_{J-B}). Η επιφανειακή προβολή δεν χρειάζεται να περιλαμβάνει μέρη της πηγής σε βάθη των 10 km ή μεγαλύτερα

Η έρευνα για την απόκριση των κατασκευών στις κινήσεις κοντινού πεδίου έχει οδηγήσει στην εύρεση μιας αντιπροσωπευτικής ιστορίας των κινήσεων που είναι προτιμητέα για μια αντιπροσώπευση ενός φάσματος απόκρισης (π.χ. Somerville, 1998 Alavi και Krawinkler, 2000 Sasaki και Bertero, 2000 Rodriguez-Marek, 2000).

Μια παρουσίαση χρονοϊστορίας είναι προτιμητέα επειδή ο χαρακτηρισμός στο πεδίο συχνοτήτων της εδαφικής κίνησης (δηλ. μέσω ενός φάσματος απόκρισης) υπονοεί μια πιθανοτική διαδικασία που έχει μια σχετικά ομοιόμορφη διανομή της ενέργειας σε όλη τη διάρκεια της κίνησης. Όταν η ενέργεια συγκεντρώνεται σε λίγους παλμούς κίνησης, το φαινόμενο συντονισμού που το φάσμα απόκρισης αντιλαμβάνεται για να παρουσιάσει μπορεί να έχει ανεπαρκή χρόνο να αναπτυχθεί (Somerville, 1998).

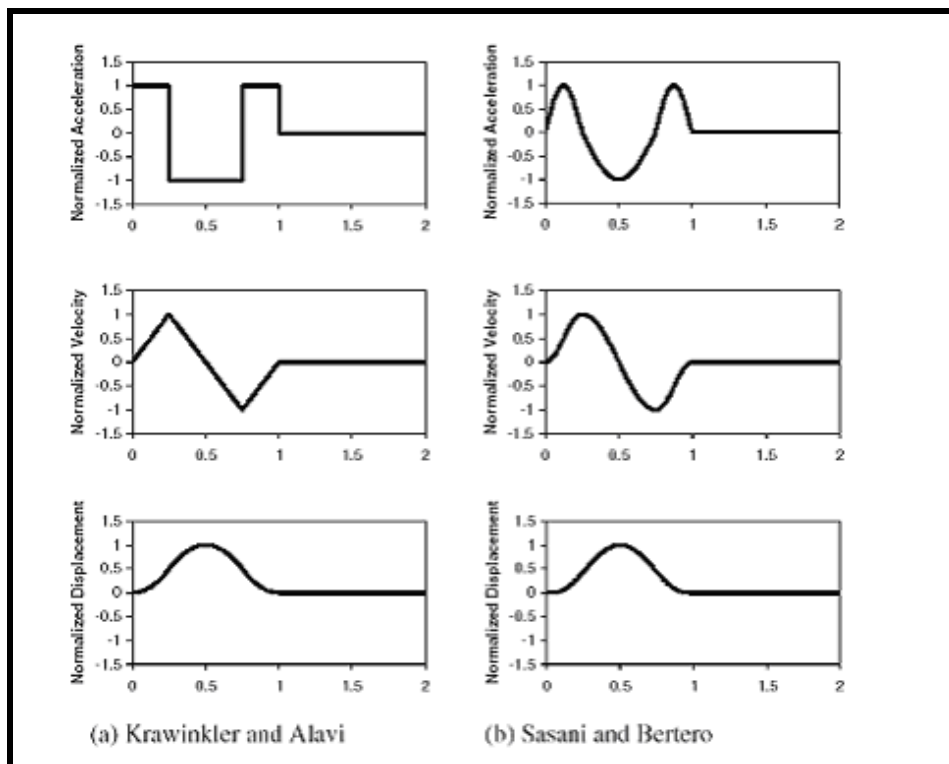
Οι μελέτες από Krawinkler και Alavi (1998) και Sasani και Bertero (2000) έχουν δείξει ότι οι απλουστευμένες θεωρήσεις του παλμού ταχύτητας μπορούν να «συλλάβουν» τα εμφανή χαρακτηριστικά γνωρίσματα απόκρισης των κατασκευών που υποβάλλονται στις εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου. Μερικοί απλουστευμένοι παλμοί παρουσιάζονται στο σχήμα 2.8. Για να αναπαρασταθεί μια δόνηση δύο διευθύνσεων, απαιτείται μια αναπαράσταση ημιτονικού παλμού της παράλληλης στο ρήγμα συνιστώσας μαζί με τη χρονική καθυστέρηση μεταξύ της έναρξης της κάθετης και της παράλληλης με το ρήγμα συνιστώσας.

Ο πίνακας 2.2 παρέχει τους ορισμούς συνηθισμένων παραμέτρων εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου, και αυτές οι παράμετροι είναι διευκρινισμένες στο σχήμα 2.9. Ένας απλός χαρακτηρισμός είναι δυνατός με τη χρήση της μέγιστης οριζόντιας ταχύτητας (PHV), της κατά προσέγγιση περιόδου δεσπόζοντος παλμού (T_v), και του αριθμού σημαντικών ημιπαλμών της κίνησης στη (μεγαλύτερη) κάθετη διεύθυνση στο ρήγμα.

Ο προσδιορισμός της περιόδου του παλμού χρησιμοποιεί είτε το χρόνο μηδενισμού των τιμών (zero crossing time) είτε το χρόνο στον οποίο η ταχύτητα είναι ίση με 10% της μέγιστης ταχύτητας για αυτόν τον παλμό. Αυτό είναι απαραίτητο για τους παλμούς στους οποίους έχει προηγηθεί απόκλιση από το μηδενικό άξονα στη χρονοϊστορία της ταχύτητας. Ένας βαθμός αβεβαιότητας υφίσταται σε αυτόν τον προσδιορισμό και μπορεί να οδηγήσει σε παραλλαγές στις εκτιμήσεις της T_v . Εντούτοις, η αβεβαιότητα που συνδέεται με την πρόβλεψη της T_v από τις σεισμολογικές μεταβλητές είναι πολύ μεγαλύτερη από τα λάθη στον υπολογισμό του από τα σημεία μηδενισμού. Οι Krawinkler και Alavi (1998) προσδιορίζουν τον παλμό ταχύτητας από μια σαφή και σφαιρική κορυφή αιχμής στο φάσμα απόκρισης ταχύτητας της εδαφικής κίνησης.

Ως εκ τούτου, αυτή η εκτίμηση της ισοδύναμης περιόδου παλμού (T_{v-p}) είναι σχετικά σαφής. Για τις μονοπαλμικές κινήσεις, αυτοί οι διαφορετικοί ορισμοί της περιόδου του παλμού παρέχουν κατά προσέγγιση ισοδύναμα αποτελέσματα.

Συνολικά, ο λόγος μεταξύ της T_v και της T_{v-p} είναι 0.84 με μια τυπική απόκλιση 0.28 (Rodríguez- Marek 2000). Η σύμπτωση της T_v και της T_{v-p} για μια εδαφική κίνηση σεισμού δείχνει ότι ο παλμός ταχύτητας περιέχει την ενέργεια σε μια συγκεκριμένη ζώνη περιόδων.



Σχήμα 2.8: Απλοποιημένοι παλμοί που έχουν χρησιμοποιηθεί από ερευνητές

Οι μελέτες απόκρισης των κατασκευών στις κινήσεις κοντινού πεδίου έχουν εστιάσει στα αποτελέσματα της μεγαλύτερης κάθετης στο ρήγμα συνιστώσας (π.χ. Alavi και Krawinkler 2000). Εντούτοις, υπάρχουν εφαρμογές για τις οποίες η παράλληλη συνιστώσα στο ρήγμα μπορεί επίσης να είναι σημαντική.

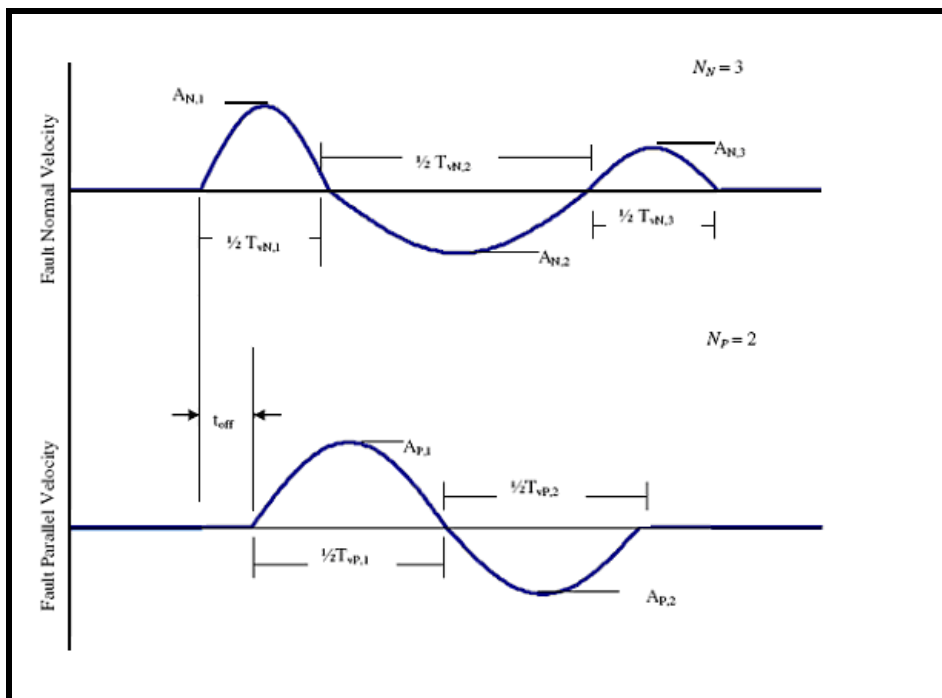
Μη γραμμικές αναλύσεις εδαφικής απόκρισης από τον Rodríguez-Marek (2000) δείχνουν ότι οι τοπικές εδαφικές συνθήκες μπορούν να έχουν επιπτώσεις στις τιμές της PHV και της T_v και στις δύο διευθύνσεις.

Δύο κινήσεις κοντινού πεδίου με τις σημαντικά διαφορετικές κινήσεις της παράλληλης συνιστώσας στο ρήγμα παρουσιάζονται στο σχήμα 2.10. Επιπρόσθετη έρευνα επιτρέπει να διακριθούν τα αποτελέσματα της δόνησης δύο διευθύνσεων στην απόκριση του εδάφους και των κατασκευών στη ζώνη κοντινού ρήγματος όπου οι δύο συνιστώσες της οριζόντιας εδαφικής κίνησης μπορούν να διαφέρουν σημαντικά.

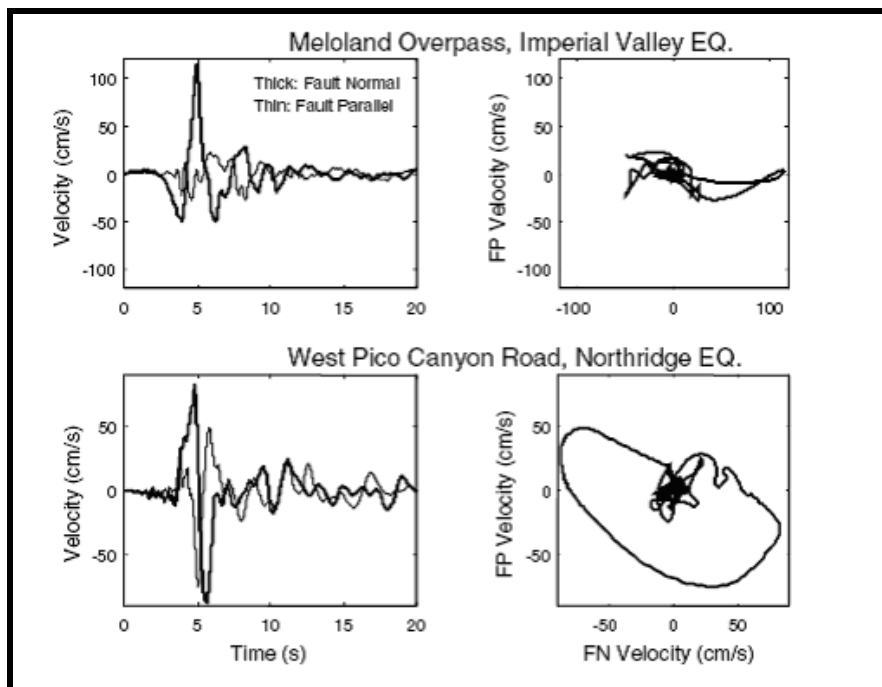
Από μια εξέταση καταγραμμένων κινήσεων κοντινού πεδίου που παρουσιάζουν την εμπρόσθια κατευθυντικότητα από τον Rodriguez-Marek(2000), διαπιστώθηκε ότι οι απλοστευμένες κινήσεις που παρουσιάστηκαν στο σχήμα 2.11 θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να ερευνήσουν τη σημασία της δόνησης δύο διευθύνσεων στις μελλοντικές μελέτες. Εάν είναι σημαντικές στη συμπεριφορά των κατασκευών, οι κατακόρυφες κινήσεις στη ζώνη κοντινού πεδίου μπορεί να πρέπει να υπολογιστούν επίσης.

Parameter	Abbreviation	Methodology to obtain parameter
Number of significant pulses.	N	Number of half-cycle pulses in the velocity-time history with amplitudes at least 50% of the peak ground velocity of the record.
Pulse period.	$T_{v,i}$	For each half sine pulse, $T_{v,i} = 2(t_2 - t_1)$, where t_1 and t_2 are either the zero-crossing time, or the time at which velocity is equal to 10% of the peak velocity for the pulse if this time is significantly different than the zero crossing time. T_v corresponding to the pulse with maximum amplitude is the overall representative velocity pulse period.
Predominant period from pseudo-velocity response spectra.	T_{p-v}	Period corresponding to a clear and global peak in the pseudo-velocity response spectra at 5% damping.
Pulse amplitude.	A_i	For each half sine pulse, the peak ground velocity in the time interval $[t_1, t_2]$.
Peak ground velocity	PHV	Maximum velocity, defined by the maximum value of A_i . Note, however, that in very few exceptions, the maximum value of A_i in the fault parallel direction does not occur concurrently with the fault normal pulse.
Ratio of fault parallel to fault normal amplitude	$PHV_{P/N}$	Defined by the ratio of maximum A_P divided by maximum A_N , where the subscripts P and N denote fault-parallel and fault-normal motions respectively.
Time delay between fault normal and fault parallel pulse	t_{off}	Time of initiation of fault parallel pulse minus the time of initiation of fault normal pulse.

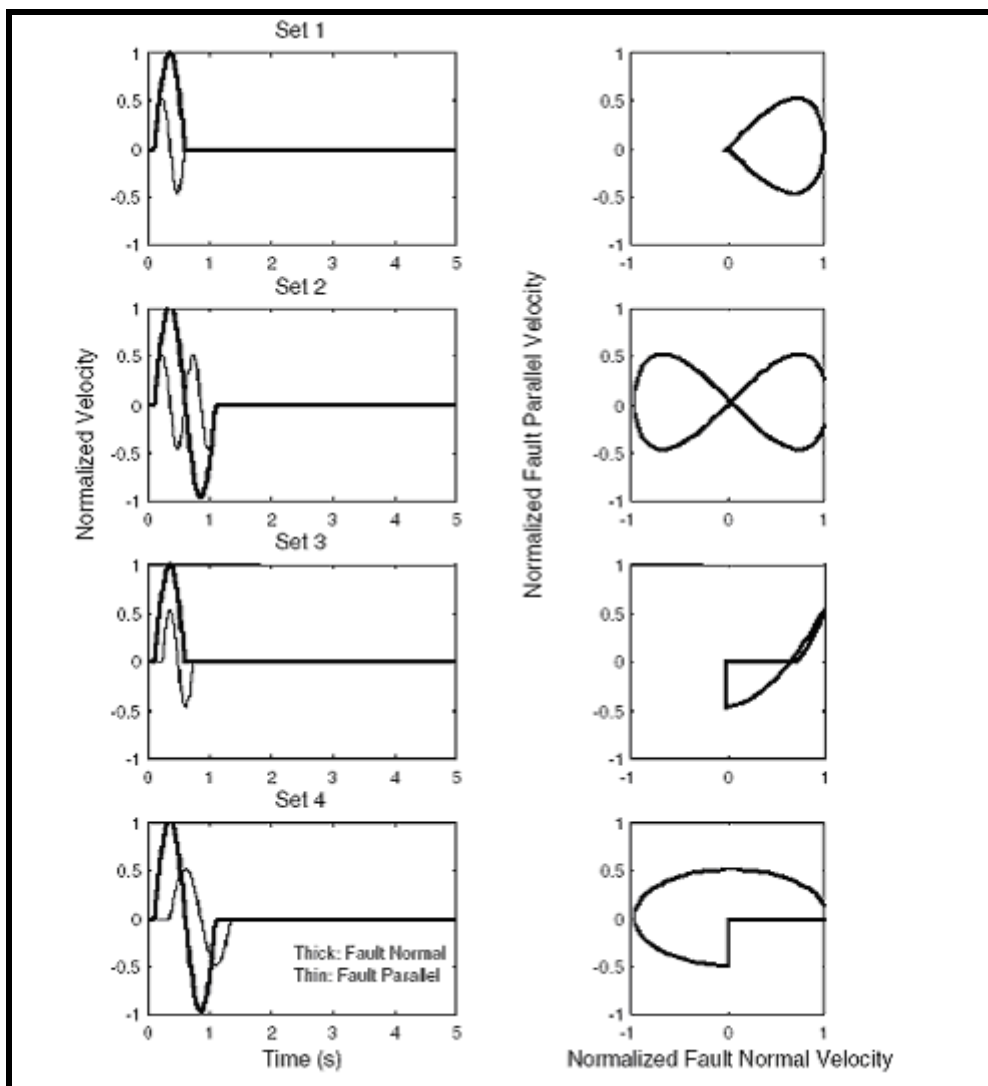
Πίνακας 2.2: Παράγοντες που χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τις απλοποιημένες εδαφικές κινήσεις ημιτονικού παλμού (από Rodriguez-Marek 2000)



Σχήμα 2.9: Παράγοντες που χρειάζονται για να καθορίσουν την παράλληλη και την κάθετη στο ρήγμα συνιστώσα για απλοποιημένους παλμούς ταχύτητας. Τα σύμβολα N, P αντιστοιχούν στις κάθετες και παράλληλες κινήσεις ως προς τη διεύθυνση του ρήγματος, αντίστοιχα (Rodríguez-Marek 2000).



Σχήμα 2.10: Χρονιστορίες ταχύτητας και οριζόντια τροχιακά σχέδια για κάθετη (FN) και παράλληλη (FP) στο ρήγμα συνιστώσα για δύο καταγραφές κοντινού πεδίου. Και οι δύο καταγραφές παρουσιάζουν σημαντικές «κάθετες» ταχύτητες, αλλά το Meloland έχει σχετικά μικρότερες «παράλληλες» ταχύτητες.



Σχήμα 2.11: Απλοποιημένη αναπαράσταση ημιτονικού παλμού για εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου. Η ΡΗV (μέγιστη οριζόντια ταχύτητα) για παράλληλη στο ρήγμα συνιστώσα αντιστοιχεί στο 50% της ΡΗV κάθετης στο ρήγμα συνιστώσας (Rodriguez-Marek 2000).

2.2 Επιδράσεις κατευθυντικότητας της διάρρηξης - Διαθέσιμα μοντέλα

A Η φασματική επιτάχυνση

Οι Somerville et al (1997a) και ο Abrahamson (2000) έχουν παρουσιάσει μοντέλα για την τροποποίηση των φασμάτων απόκρισης με απόσβεση $\zeta = 5\%$ μέσω της σχέσης απόσβεσης Abrahamson και Silva (1997). Τα μοντέλα αναπτύχθηκαν με παλινδρόμηση μεταβλητών αυτής της σχέσης απόσβεσης στις γεωμετρικές παραμέτρους του κοντινού πεδίου του ρήγματος όπως παρουσιάζονται στο σχήμα 2.6. Τα μοντέλα παρουσιάζονται για την τροποποίηση του γεωμετρικού μέσου των δύο οριζόντιων συνιστωσών και του λόγου της κάθετης προς τη μέση οριζόντια φασματική συνιστώσα. Οι λεπτομέρειες των μοντέλων φαίνονται στις δύο κορυφαίες σειρές του πίνακα 2.3.

B Διάρκεια και ισοδύναμος αριθμός ομοειδών κύκλων

Οι Somerville et al (1997a) παρουσίασαν ένα μοντέλο για την τροποποίηση του 5-75% της σημαντικής διάρκειας από τη σχέση απόσβεσης Abrahamson και Silva (1996). Το μοντέλο αναπτύχθηκε με παλινδρόμηση μεταβλητών αυτής της σχέσης απόσβεσης στις γεωμετρικές παραμέτρους του κοντινού πεδίου του ρήγματος (σχήμα 2.6). Το μοντέλο ισχύει για τη διάρκεια του γεωμετρικού μέσου και των δύο οριζόντιων συνιστωσών. Ένα παρόμοιο μοντέλο αναπτύχθηκε από το Liu (2001) για τον ισοδύναμο αριθμό ομοειδών κύκλων (N). Οι λεπτομέρειες των μοντέλων διάρκειας και αριθμού (N) φαίνονται στις κατώτατες δύο σειρές του πίνακα 2.3.

Ground Motion Parameter (Reference)	Description	Equation	Range of Applicability
Spectral Acceleration: Ratio of data/model (Somerville et al., 1997a; Abrahamson, 2000)	y =Bias in average horizontal response spectral acceleration (ln units) with respect to Abrahamson and Silva (1997)	Strike-Slip faults: $y = c_1 + 1.88c_2 X \cos \theta$ $(X \cos \theta \leq 0.4)$ $y = c_1 + 0.75c_2$ $(X \cos \theta > 0.4)$ Dip-Slip faults: $y = c_1 + c_2 Y \cos \phi$	$m > 6.5$ For $m < 6.5$, replace y with $T_m \times y$ Where $T_m = 0$ for $m \leq 6$ and $T_m = 1 + (m - 6.5) / 0.5$ for $6.5 > m > 6$ $r < 30$ km For $r > 30$, replace y with $T_d \times y$ Where $T_d = 0$ for $r > 60$ and $T_d = 1 - (r - 30) / 30$ for $60 > r > 30$ km
Spectral Acceleration: Ratio of Strike Normal/Average Amplitude (Somerville et al., 1997a)	Natural logarithm of the ratio of strike normal to average horizontal spectral acceleration	$y = \cos 2\xi [C_1 + C_2 \ln(r + 1) + C_3(m - 6)]$	$6.0 \leq m \leq 7.5$ $0 \leq r \leq 50$ km $\xi = \theta$ for strike-slip, ϕ for dip-slip, $0 < \xi < 90^\circ$ C_1, C_2, C_3 function of period. Given separately for cases in which dependence on ξ is included, and cases in which dependence on ξ is ignored.
5-75% sig. duration: Ratio of data/model (Somerville et al., 1997a)	Bias in duration of acceleration with respect to Abrahamson and Silva (1996)	Strike-Slip faults: $y = C_1 + C_2 X \cos \theta$ Dip-Slip faults: $y = C_1 + C_2 Y \cos \phi$	$6.5 \leq m \leq 7.5$ $0 \leq r \leq 20$ km
Number of Cycles (N): Ratio of data/model (Liu et al., 2001)	Bias in N with respect to Liu et al. (2001)	Strike-Slip faults: $y = C_1 + C_2 X \cos \theta$ Dip-Slip faults: $y = C_1 + C_2 Y \cos \phi$	$6.5 \leq m \leq 7.5$ $0 \leq r \leq 20$ km

Πίνακας 2.3: Τροποποίηση παραμέτρων εδαφικής κίνησης για την εκτίμηση επιδράσεων κατευθυντικότητας. Οι παράμετροι X , Y , θ , ϕ ορίστηκαν στο Σχήμα 4.5. Οι τροποποιήσεις στα φάσματα φαίνονται στο Σχήμα 4.6

Γ. Μέγιστη οριζόντια ταχύτητα (PHV)

Η μέγιστη οριζόντια ταχύτητα (peak horizontal velocity, PHV) επηρεάζεται σημαντικά από το μέγεθος, την απόσταση, και τις εδαφικές συνθήκες της εξεταζόμενης περιοχής. Ο Somerville (1998) πρότεινε τη χρήση μιας διγραμμικής σχέσης μεταξύ του λογαρίθμου PHV, του μεγέθους, και του λογαρίθμου της απόστασης. Ο Somerville (1998) εκτέλεσε μια ανάλυση παλινδρόμησης χρησιμοποιώντας τα στοιχεία από 15 καταγεγραμμένες χρονοϊστορίες που αυξήθηκαν από 12 τεχνητές χρονοϊστορίες. Οι καταγραφές αντιστοιχούν σε μεγέθη $m = 6.2-7.5$ και απόσταση $r=0-10\text{km}$. Για να αποφύγει τις μη ρεαλιστικές προβλέψεις της PHV στις μικρές αποστάσεις, ο Somerville (1998) χρησιμοποίησε μια ελάχιστη απόσταση των 3km.

Η σχέση του Somerville (1998) για την PHV στη ζώνη κοντά στο ρήγμα είναι:

$$\ln(\text{PHV}) = -2.31 + 1.15m - 0.50 \cdot \ln(r) \quad (\text{εξ. 2.1})$$

όπου το r είναι η ελάχιστη απόσταση από το ρήγμα αλλά περιορίζεται τουλάχιστον στα 3km.

Μια παρόμοια μελέτη που συσχετίζει την PHV το μέγεθος και την απόσταση παρουσιάστηκε από τους Alavi και Krawinkler (2000) βασισμένα στο ίδιο σύνολο στοιχείων που χρησιμοποιήθηκε από Somerville (1998). Η σχέση της PHV των Alavi και Krawinkler (2000) είναι:

$$\ln(\text{PHV}) = -5.11 + 1.59m - 0.58 \cdot \ln(r) \quad (\text{εξ. 2.2})$$

Ο Rodriguez - Marek (2000) εκτέλεσε τις αναλύσεις παλινδρόμησης χρησιμοποιώντας 48 χρονοϊστορίες ταχύτητας από 11 γεγονότα. Τα στοιχεία ήταν για περιοχές με αποστάσεις $r < 20\text{km}$ και $m = 6.1-7.4$. Χωριστές αναλύσεις εκτελέστηκαν για τις κινήσεις που καταγράφηκαν επί βράχου και εδάφους. Με βάση την ανάλυση αυτών των καταγραφών, η ακόλουθη σχέση για την PHV προτάθηκε:

$$\ln(\text{PHV}) = a + b m + c \ln(r^2 + d^2) + \eta_i + \varepsilon_{ij} \quad (\text{εξ. 2.3})$$

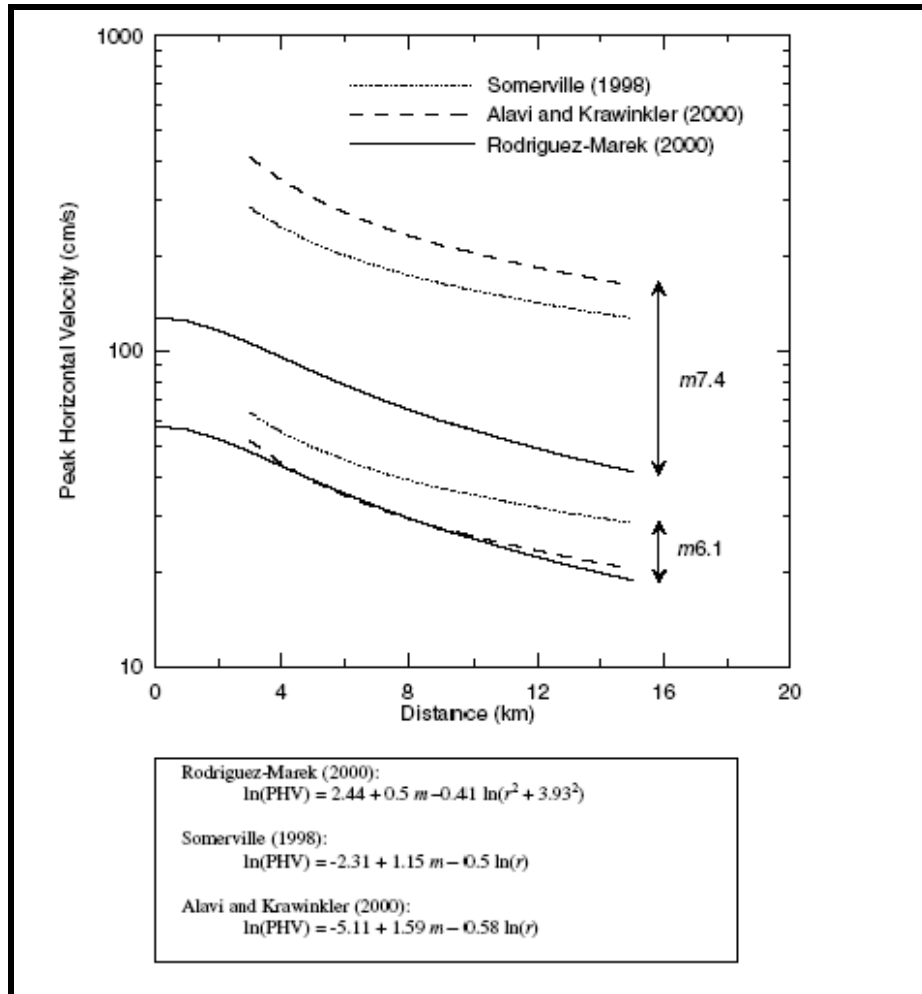
όπου η PHV είναι σε μονάδες cm/s, το a , το b , το c και το d είναι οι παράμετροι, το r είναι η ελάχιστη απόσταση από το ρήγμα, το m είναι μέγεθος, η_i και ε_{ij} είναι όροι σφάλματος.

Οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου Rodriguez- Marek (2000) παρουσιάζονται στον πίνακα 2.4.

Data Set	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
All Motions	2.44	0.50	-0.41	3.93
Rock	1.46	0.61	-0.38	3.93
Soil	3.86	0.30	-0.42	3.93

Πίνακας 2.4: Παράμετροι του μοντέλου Rodriguez - Marek (2000) για την PHV.

Το σχήμα 2.12 συγκρίνει τη σχέση που πρόσφατα προτάθηκε από τον Rodriguez- Marek (2000) με τις σχέσεις που αναπτύχθηκαν από τον Somerville (1998) και τους Alavi και Krawinkler (2000). Οι σχέσεις διαφέρουν κυρίως στην επίδραση του μέγεθος m . Οι διαφορές οφείλονται πιθανώς στο μεγαλύτερο ποσό στοιχείων που περιλαμβάνεται στην πρόσφατη μελέτη.



Σχήμα 2.12 Σύγκριση αποτελεσμάτων ανάλυσης για εκτίμηση του PHV με σχέσεις προτεινόμενες από διάφορους ερευνητές με στοιχεία από βάσεις δεδομένων σεισμών κοντινού πεδίου και με το φαινόμενο της εμπρόσθιας κατευθυντικότητας (Rodriguez-Marek 2000)

Δ. Περίοδος παλμού

Η σχέση του Somerville (1998) για την περίοδο παλμού είναι:

$$\log_{10}T_v = -2.5 + 0.425m \quad (\text{εξ. 2.4})$$

όπου η T_v είναι η περίοδος του μεγαλύτερου κύκλου της κίνησης και m είναι το μέγεθος.

Σε μια μεγαλύτερη μελέτη των διανομών ολίσθησης που χρησιμοποιούν τα μοντέλα ολίσθησης για 15 σεισμούς, οι Somerville et al (1999) παρέχουν την εξίσωση:

$$\log_{10}T_v = -3.0 + 0.5m \quad (\text{εξ. 2.5})$$

Η περίοδος του παλμού της ταχύτητας συνδέεται με το χρονική διάρκεια της ολίσθησης στο ρήγμα t_R , η οποία μετρά τη διάρκεια της ολίσθησης σε συγκεκριμένο σημείο στο ρήγμα. Η σχέση μεταξύ της περιόδου του παλμού και της χρονικής διάρκειας t_R είναι (Somerville 1998):

$$T_v = 2.2 * t_R \quad (\text{εξ. 2.6})$$

Η σχέση μεταξύ της περιόδου του παλμού και της χρονικής διάρκειας t_R μπορούν επίσης να προκύψουν από τη φυσική του φαινομένου των διαρρήξεων. Εάν ένα ρήγμα διαμορφώνεται ως σημείο (σημειακή πηγή) και οι επιδράσεις της κατευθυντικότητας αγνοούνται, η διάρκεια της κίνησης θα είναι ίση με τη χρονική διάρκεια t_R (Somerville 1998). Οι πεπερασμένες διαστάσεις του ρήγματος και οι επιδράσεις της κατευθυντικότητας συμβάλλουν στη διεύρυνση του παλμού. Η χρονική διάρκεια της ολίσθησης στο ρήγμα t_R είναι τότε, στην ουσία, ένα κάτω όριο της περιόδου του παλμού.

Οι Alavi και Krawinkler (2000) καθόρισαν την περίοδο παλμού ως δεσπόζουσα περίοδο σε φάσμα απόκρισης ταχύτητας (T_{v-p}). Η σχέση τους που χρησιμοποιεί αυτόν τον ορισμό για την περίοδο παλμού είναι:

$$\log_{10}T_{v-p} = -1.76 + 0.31m \quad (\text{εξ. 2.7})$$

Ο Rodriguez- Marek (2000) ανέπτυξε την ακόλουθη σχέση για την περίοδο παλμού :

$$\ln(T_v)_{ij} = a + bm + \eta_i + \varepsilon_i \quad (\text{εξ. 2.8})$$

όπου $(T_v)_{ij}$ είναι η περίοδος του παλμού της καταγραφής j από το γεγονός i , το a και το b είναι οι παράμετροι του μοντέλου, η_i και ϵ_{ij} είναι όροι σφάλματος.

Εκτιμήσεις παρέχονται για τη περίοδο του παλμού, T_v , και τη δεσπόζουσα περίοδο του φάσματος ταχύτητας, T_{v-p} . Οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου παρουσιάζονται στον πίνακα 2.5.

Η σχέση ισχύει για $m = 6.1 - 7.4$ και για $r < 20\text{km}$.

(a) T_v

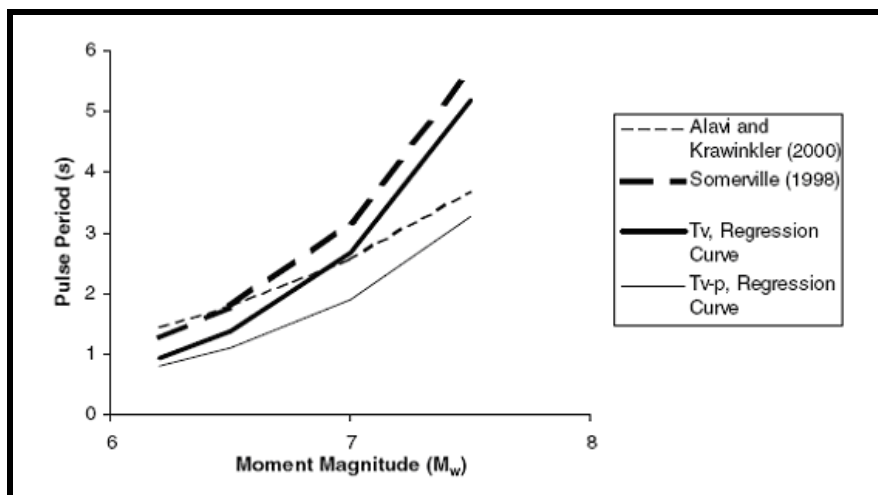
Data Set	a	b
All Motions	-8.33	1.33
Rock	-11.10	1.70
Soil	-5.81	0.97

(b) T_{v-p}

Data Set	a	b
All Motions	-6.92	1.08
Rock	-9.53	1.42
Soil	-5.66	0.91

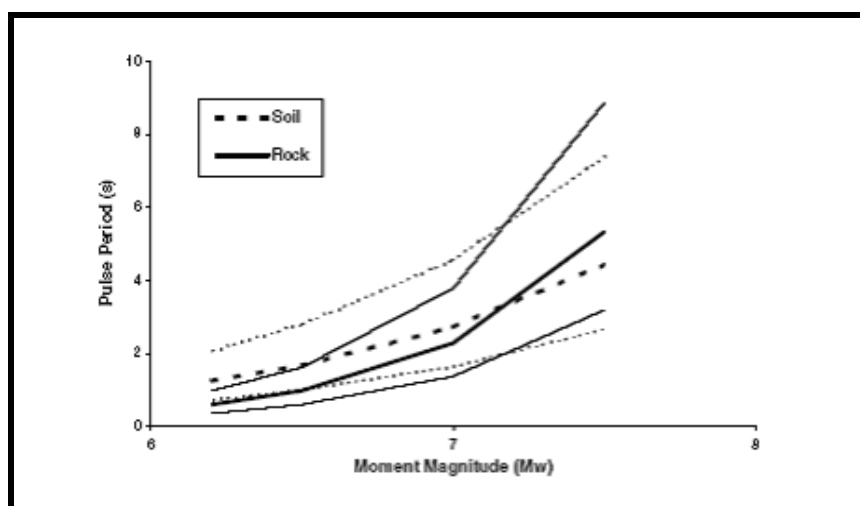
Πίνακας 2.5: Παράμετροι του μοντέλου Rodriguez - Marek (2000) για την περίοδο του παλμού

Το σχήμα 2.13 συγκρίνει τη σχέση που πρόσφατα προτάθηκε από τον Rodriguez-Marek (2000) με τις σχέσεις που αναπτύχθηκαν από τον Somerville (1998) και τους Alavi και Krawinkler (2000). Οι σχέσεις του Rodriguez - Marek (2000) για τις T_v και T_{v-p} δίδουν μικρότερες περιόδους παλμού από τις σχέσεις που αναπτύχθηκαν από τον Somerville (1998) για το T_v και από τους Alavi και Krawinkler (2000) για T_{v-p} . Οι διαφορές δεν είναι τόσο μεγάλες για μεγάλα μεγέθη σεισμού $m > 7$, όπου υπάρχουν αβεβαιότητες στην εκτίμηση της περιόδου του παλμού.



Σχήμα 2.13: Σύγκριση μοντέλου Rodriguez - Marek με σχέσεις που αναπτύχθηκαν από Somerville (1998) για τη T_v και από Alavi και Krawinkler (2000) για τη T_{v-p} . (Rodriguez- Marek 2000).

Η επίδραση των εδαφικών συνθηκών μπορεί να ερευνηθεί μέσω της χρήσης των σχέσεων του Rodriguez - Marek (2000) για περίοδο του παλμού για το βράχο και το έδαφος (Σχήμα 2.14). Η διαφορά μεταξύ των τιμών της περιόδου του παλμού για βράχο και έδαφος είναι μικρή για τα μεγάλα μεγέθους γεγονότα ($m > 7$), αλλά η περίοδος του παλμού είναι μεγαλύτερη επί εδαφών από ότι για περιοχές βράχου για τα γεγονότα με χαμηλότερα μεγέθη. Η εξέταση των ταξινομημένων κατά ζεύγη σταθμών βράχου και εδάφους και τα αποτελέσματα των μη γραμμικών αναλύσεων απόκρισης επιβεβαιώνουν αυτήν την παρατήρηση (Rodriguez - Marek 2000).



Σχήμα 2.14: Μοντέλο Rodriguez - Marek για εκτίμηση της περιόδου του παλμού για βράχο και έδαφος. Οι έντονες καμπύλες αναπαριστούν τη μέση τιμή και οι λεπτές τις τυπικές αποκλίσεις (Rodriguez - Marek 2000)

Ε. Αριθμός σημαντικών παλμών

Ο αριθμός των παλμών της κίνησης (καλούμενος ως αριθμός σημαντικών παλμών, N_v) ορίζεται ως ο αριθμός ημικυκλίων ταχύτητας που έχουν εύρη τουλάχιστον 50% της μέγιστης ταχύτητας της εδαφικής κίνησης (πίνακας 2.3). Για τον υπολογισμό του αριθμού σημαντικών παλμών ταχύτητας, εξετάζεται μόνο η κάθετη στο ρήγμα συνιστώσα της κίνησης.

Ο αριθμός σημαντικών παλμών στη κάθετη συνιστώσα 48 καταγραφών παρουσιάζεται στον πίνακα 2.6. Οι περισσότερες καταγραφές περιέχουν δύο σημαντικούς παλμούς (π.χ. ένας πλήρης κύκλος της εδαφικής κίνησης).

Ο Somerville (1998) προτείνει ότι ο αριθμός παλμών ημιτόνου στη χρονοϊστορία της ταχύτητας να συνδεθεί με τον αριθμό ασυνεχειών (asperities) σε ένα ρήγμα, ο οποίος στη συνέχεια συνδέεται με τη διανομή ολίσθησης ρήγματος. Δεν υπάρχει κανένα μοντέλο διαθέσιμο σήμερα για την πρόβλεψη του αριθμού σημαντικών παλμών στη χρονοϊστορία της ταχύτητας. Για τις περισσότερες περιπτώσεις ο N_v θα ποικίλει μεταξύ 1 και 3, με $N_v = 2$ να είναι μια καλή τιμή που χρησιμοποιείται για σεισμούς.

Earthquake	Year	Number of Records	Number of Records with given number of half-cycle pulses (N_v)			
			1 pulse	2 pulses	3 pulses	> 3 pulses
Parkfield	66	2	0 (0)	1 (1)	0 (0)	1 (1)
San Fernando	71	1	1 (0)	0 (0)	0 (1)	0 (0)
Imperial Valley	79	13	1 (0)	10 (1)	1 (7)	1 (5)
Morgan Hill	84	2	0 (0)	0 (0)	1 (0)	1 (2)
Superstition Hills(B)	87	2	1 (0)	1 (1)	0 (0)	0 (1)
Loma Prieta	89	8	0 (0)	4 (0)	1 (1)	3 (7)
Erzincan, Turkey	92	1	0 (0)	0 (0)	1 (1)	0 (0)
Landers	92	1	1 (0)	0 (1)	0 (0)	0 (0)
Northridge	94	10	3 (0)	4 (4)	3 (2)	0 (4)
Kobe	95	4	0 (0)	1 (0)	0 (1)	3 (3)
Kocaeli, Turkey	99	4	0 (0)	3 (2)	0 (0)	1 (2)
Totals		48	7 (0)	24 (10)	7 (13)	10 (25)

Πίνακας 2.6: Αριθμός παλμών (N_v) από γεγονός για 48 κοντινού πεδίου κινήσεις (κάθετη στο ρήγμα συνιστώσα). Οι τιμές στις παρενθέσεις είναι οι αριθμοί των ημικυκλίων του παλμού της ταχύτητας που έχουν εύρη τουλάχιστον 33% της PHV. (Rodriguez - Marek 2000)

2.3 Επιδράσεις της παραμένουσας μετακίνησης

Οι επιδράσεις της παραμένουσας μετακίνησης (fling step) της εδαφικής κίνησης στην απόκριση των κατασκευών θεωρείται ότι είχαν λιγότερη σημασία από τις επιδράσεις της κατευθυντικότητας. Οι πρόσφατοι σεισμοί στην Τουρκία (1999) και στην Ταϊβάν (1999), τόνισαν τη σημασία της παραμένουσας παραμόρφωσης που συνδέεται με τη ρήξη επιφάνειας στην απόκριση των κτιρίων. Οι ευδιάκριτες εδαφικές μεταθέσεις, οι διαφορικές καθιζήσεις και η παραμόρφωση του εδάφους, είναι μερικές εκφάνσεις αυτού του φαινομένου.

Η παραμένουσα μετακίνηση, που είναι αποτέλεσμα στατικής μετατόπισης του εδάφους, χαρακτηρίζεται γενικά από έναν παλμό ταχύτητας μονής κατεύθυνσης και ένα μονοτονικό βήμα στη χρονοϊστορία των μετατοπίσεων. Το βήμα στη χρονοϊστορία μετατοπίσεων εμφανίζεται παράλληλα στην διεύθυνση της ολίσθησης ρήγματος (δηλ. κατά μήκος της διάρρηξης).

Για όλους τους τύπους ρηγμάτων, η μέγιστη μετατόπιση (MD) ρήγματος σε m, μπορεί συσχετισθεί με το μέγεθος σεισμού (m) του γεγονότος μέσω της εξίσωσης:

$$\log_{10}(\text{MD}) = -5.46 + 0.82m \quad (\text{εξ. 2.9})$$

Ισχύει για εύρος μεγέθους σεισμού $m = 5.2-8.1$, και για εύρος MD από 0.01m σε 14.6m.

Η μέση μετατόπιση (AD) ρήγματος για όλους τους τύπους ρηγμάτων είναι:

$$\log_{10}(\text{AD}) = -4.80 + 0.69m \quad (\text{εξ. 2.10})$$

Ισχύει για εύρος μεγέθους σεισμού $m = 5.6-8.1$

Η παραμένουσα μετακίνηση επιφάνειας ως αποτέλεσμα της διάρρηξης ρηγμάτων μπορεί να ποικίλει σημαντικά με την απόσταση από το ίχνος του ρήγματος. Η τεκτονική μετατόπιση μακριά από το ρήγμα μπορεί να εντοπιστεί σε ίχνη δευτεροβάθμιων ρηγμάτων και σε άλλες ασυνέχειες.

3

Αναλυτική Περιγραφή Φορέα

3.1 Περιγραφή του υπό μελέτη κτιρίου:

Ο φορέας που χρησιμοποιήσαμε για αυτή τη εργασία είναι ένα κτίριο κατασκευασμένο από ωπλισμένο σκυρόδεμα, με οκτώ ορόφους, πιλοτή και με δώμα. Το ύψος της πιλοτής είναι 2.55m και το ύψος όλων των υπόλοιπων ορόφων είναι 2.75m. Το ειδικό βάρος του σκυροδέματος έχει ληφθεί ίσο με 25.0 kN/m³.

Κάποιες βασικές παραδοχές, με τις οποίες έχει μελετηθεί το κτίριο παρουσιάζονται παρακάτω:

- **Φορτία:**

Τοίχοι μπατικοί	9.0 kN/m
Τοίχοι δρομικοί	5.0 kN/m
Επιστρώσεις γενικώς	2.0 kN/m ²
Κινητά φορτία πλακών	2.0 kN/m ²
Κινητά φορτία εξωστών	5.0 kN/m ²
Κινητά φορτία κλιμάκων	3.5 kN/m ²
Κινητά φορτία ισογείου	5.0 kN/m ²

- **Υλικά:**

Ποιότητα σκυροδέματος: C 20/25

Ποιότητα χάλυβα: S 500

Ποιότητα χάλυβα συνδετήρων: S 500

Η χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος είναι $f_c = 20 \text{ MPa}$, ενώ για τον χάλυβα η χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής είναι $f_y = 500 \text{ MPa}$, τις τιμές αυτές χρησιμοποιήσαμε και στο πρόγραμμα για τις αναλύσεις.

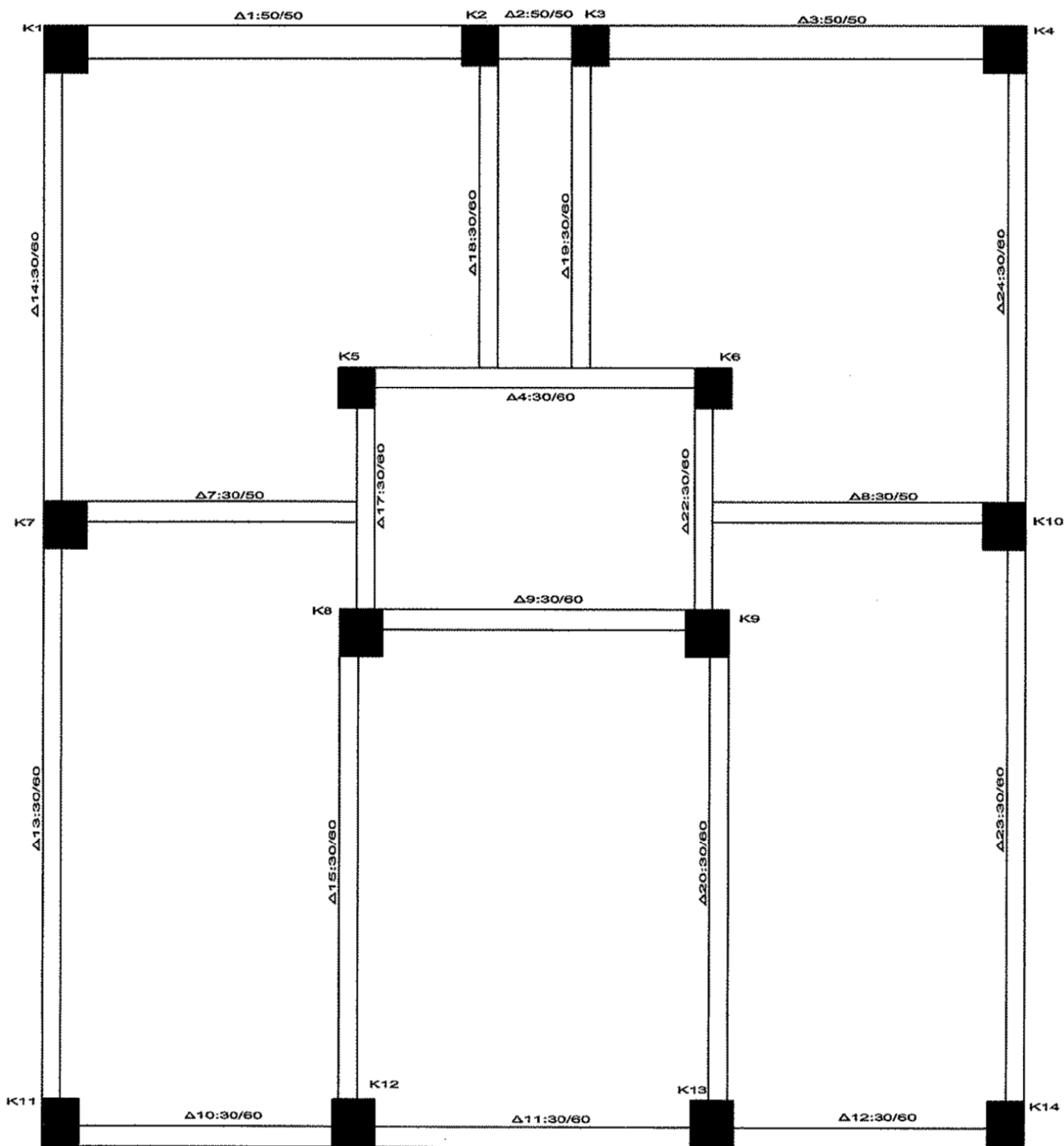
Τα μέτρα ελαστικότητας των υλικών ορίστηκαν από τον Ε.Κ.Ω.Σ. 2000 και είναι τα εξής:

- $E_c = 29 \text{ GPa}$ για το σκυρόδεμα
- $E_s = 200 \text{ GPa}$ για τον χάλυβα.

Από άποψη σεισμικότητας:

- *περιοχή σεισμικής επικινδυνότητας I*, με $\alpha = 0.16g$,
- σπουδαιότητα έχει οριστεί ως Σ2,
- κατηγορία του εδάφους θεμελίωσης είναι B ($T_1 = 0.15\text{sec}$, $T_2 = 0.6\text{sec}$)
- συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς είναι $q = 3.5$
- ποσοστό της κρίσιμης απόσβεσης είναι $\zeta = 0.05$

Στο σχήμα 3.1 που ακολουθεί φαίνεται η κάτοψη του κτιρίου, στην οποία διακρίνονται η θέση και η ονοματολογία των υποστυλωμάτων και των δοκών για όλους τους ορόφους. Οφείλουμε να αναφέρουμε ότι η δοκός Δ2 υπάρχει μόνο στον ξυλότυπο πιλοτής.



Οι πλάκες όλων των ορόφων έχουν πάχος 20cm ενώ του δώματος 15cm. Για τα υποστυλώματα οι διαστάσεις τους και οι οπλισμοί τους ανά όροφο δίνονται στους πίνακες 3.1 και 3.2 που ακολουθούν.

	Πιλοτή	A	B	Γ	Δ	Ε	ΣΤ	Z	ΔΩΜΑ
K1	70*70	70*70	60*60	60*60	50*50	50*50	50*50	50*50	-
K2	60*60	50*50	50*50	50*50	50*50	50*50	50*50	50*50	
K3	60*60	50*50	50*50	50*50	50*50	50*50	50*50	50*50	
K4	70*70	70*70	60*60	60*60	50*50	50*50	50*50	50*50	
K5	60*60	50*50	50*50	50*50	50*50	50*50	50*50	50*50	30*30
K6	60*60	50*50	50*50	50*50	50*50	50*50	50*50	50*50	30*30
K7	70*70	70*70	60*70	60*70	50*60	50*50	50*50	50*50	-
K8	70*70	70*70	70*70	70*70	60*70	60*60	60*60	60*60	30*30
K9	70*70	70*70	70*70	70*70	60*70	60*60	60*60	60*60	30*30
K10	70*70	70*70	60*70	60*70	50*60	50*50	50*50	50*50	-
K11	60*70	60*70	60*70	60*70	60*70	60*60	60*60	50*50	
K12	70*70	70*70	70*70	70*70	60*70	60*60	60*60	50*50	
K13	70*70	70*70	70*70	70*70	60*70	60*60	60*60	50*50	
K14	60*70	60*70	60*70	60*70	60*70	60*60	60*60	50*50	-

Πίνακας 3.1 Διαστάσεις Υποστυλωμάτων Φορέα

	Πιλοτή	A	B	Γ	Δ	Ε	ΣΤ	Z	ΔΩΜΑ
K1	32Φ20	24Φ20	24Φ20	24Φ20	12Φ20	10Φ20	10Φ20	10Φ20	-
K2	28Φ20	16Φ20	12Φ20	12Φ20	10Φ20	10Φ20	10Φ20	10Φ20	
K3	28Φ20	16Φ20	12Φ20	12Φ20	10Φ20	10Φ20	10Φ20	10Φ20	
K4	32Φ20	24Φ20	24Φ20	24Φ20	12Φ20	10Φ20	10Φ20	10Φ20	
K5	22Φ20	16Φ20	12Φ20	8Φ20	4Φ20+4Φ16	4Φ20+4Φ16	4Φ20+4Φ16	4Φ20+4Φ16	4Φ16
K6	22Φ20	16Φ20	12Φ20	8Φ20	4Φ20+4Φ16	4Φ20+4Φ16	4Φ20+4Φ16	4Φ20+4Φ16	4Φ16
K7	28Φ20	22Φ20	18Φ20	18Φ20	12Φ20	8Φ20	8Φ20	8Φ20	-
K8	24Φ20	24Φ20	22Φ20	22Φ20	18Φ20	18Φ20	18Φ20	18Φ20	4Φ16
K9	24Φ20	24Φ20	22Φ20	22Φ20	18Φ20	18Φ20	18Φ20	18Φ20	4Φ16
K10	28Φ20	22Φ20	18Φ20	18Φ20	12Φ20	8Φ20	8Φ20	8Φ20	-
K11	22Φ20	16Φ20	12Φ20	12Φ20	12Φ20	4Φ20+8Φ18	4Φ20+8Φ18	10Φ20	
K12	32Φ20	22Φ20	18Φ20	18Φ20	18Φ20	18Φ20	18Φ20	4Φ20+8Φ18	
K13	32Φ20	22Φ20	18Φ20	18Φ20	18Φ20	18Φ20	18Φ20	4Φ20+8Φ18	
K14	22Φ20	16Φ20	12Φ20	12Φ20	12Φ20	4Φ20+8Φ18	4Φ20+8Φ18	10Φ20	-

Πίνακας 3.2: Οπλισμοί Υποστυλωμάτων Φορέα

3.2 Προσομοίωση του υπό μελέτη κτιρίου:

Η προσομοίωση του κτιρίου έγινε στο πρόγραμμα SAP 2000 version 11.

Εφόσον οριστούν οι ιδιότητες των υλικών (σκυρόδεμα, χάλυβας) και οι διατομές υποστυλωμάτων και δοκών, όπως περιγράψαμε στην παραπάνω ενότητα ξεκινά ο σχεδιασμός του μοντέλου στο πρόγραμμα.

Τα *υποστυλώματα* προσομοιώθηκαν με κατακόρυφα γραμμικά στοιχεία και ορίστηκαν από όροφο σε όροφο μέχρι την στάθμη 21.80, εξαίρεση αποτελούν τα υποστυλώματα K5, K6, K8 και K9 που ορίστηκαν μέχρι την στάθμη 24.55.

Οι *δοκοί* προσομοιώθηκαν με οριζόντια γραμμικά στοιχεία και αρχικά, προς απλοποίηση ορίστηκαν ανάμεσα στα κέντρα βάρους των υποστυλωμάτων, ενώ η θέση των δοκών διατηρείται σταθερή σε όλους τους ορόφους. Για μεγαλύτερη ακρίβεια θεωρήσαμε ότι οι ακραίες περιοχές των δοκών εισέρχονται μέσα στον κόμβο των υποστυλωμάτων, τις περιοχές αυτές τις υπολογίσαμε για κάθε δοκό ξεχωριστά μέσα από το πρόγραμμα (end length offsets) και θεωρήθηκαν πλήρως δύσκαμπτες (rigid zone factor = 1.0).

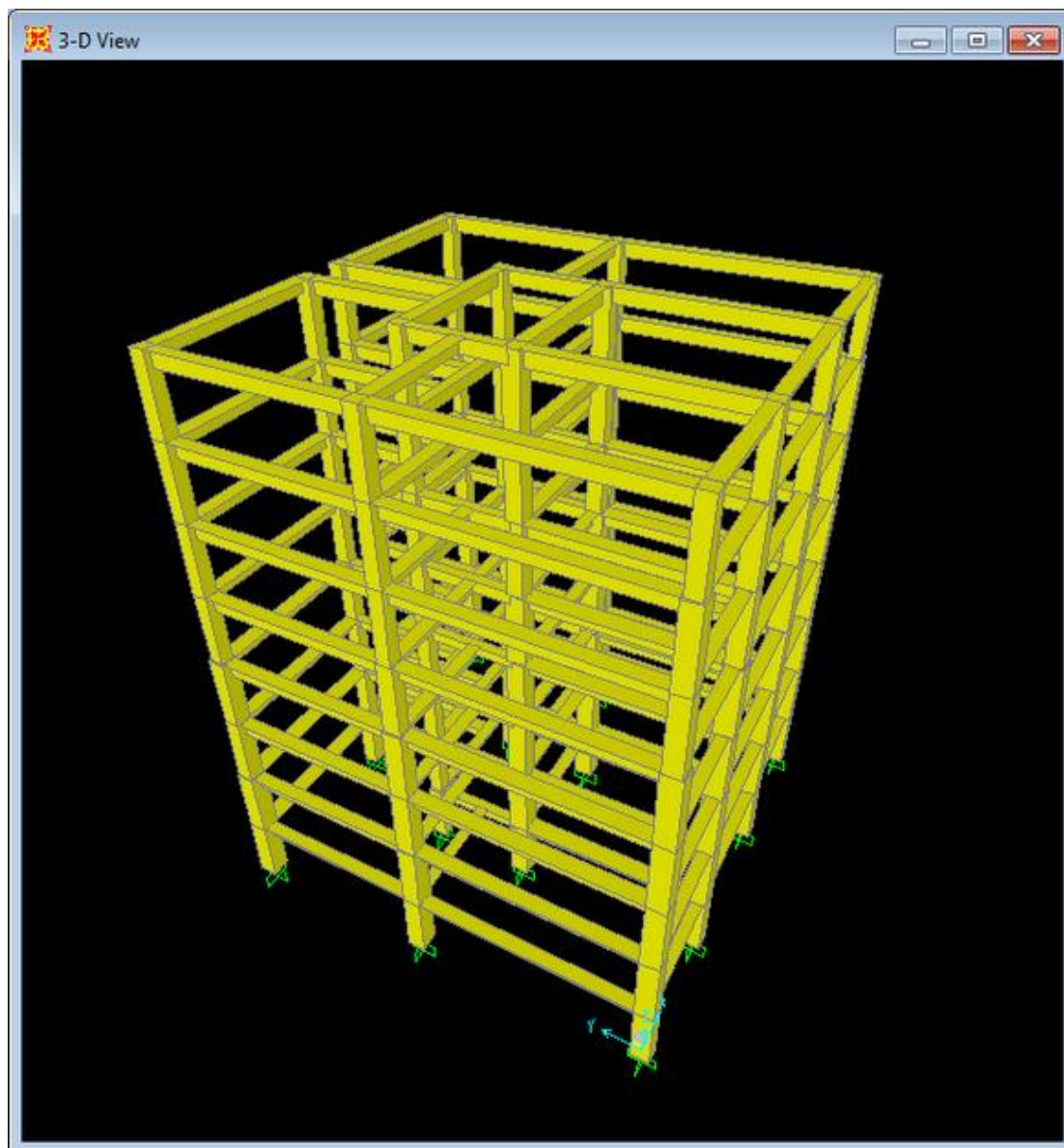
Οι *πλάκες* της κατασκευής προσομοιώθηκαν με διαφράγματα σε κάθε στάθμη, το κάθε διάφραγμα ορίστηκε από τα κέντρα βάρους των υποστυλωμάτων του ορόφου. Σε περιπτώσεις όπου οι κεντροβαρικοί άξονες των υποστυλωμάτων και των δοκών δεν ήταν ίδιοι, ορίστηκε μια επιπλέον δέσμευση (body constraint) ώστε όλα τα σημεία του διαφράγματος να κινούνται μαζί.

Άλλες παραδοχές σχετικές με τη προσομοίωση του κτιρίου είναι οι εξής:

- Στην βάση όλων των υποστυλωμάτων ορίστηκαν πακτώσεις.
- Η μάζα της κατασκευής έχει οριστεί από την μάζα που αντιστοιχεί στον συνδυασμό φόρτισης $1.0 \cdot G + 0.3 \cdot Q$ (mass source from loads), στην οποία τα μόνιμα φορτία πολλαπλασιάζονται με τον συντελεστή 1.0 και τα κινητά με τον μειωτικό συντελεστή 0.3.
- Το σημείο αναφοράς των υποστυλωμάτων είναι το κέντρο βάρους της διατομής τους (insertion point: centroid), ενώ των δοκών είναι το μέσο του άνω πέλματος της πλακοδοκού.
- Οι ροπές αδράνειας των μελών του κτιρίου (υποστυλώματα και δοκοί) έχουν πολλαπλασιαστεί με τον μειωτικό συντελεστή 0.4, ώστε να λάβουμε υπόψη τη ρηγμάτωση των διατομών.

- Εισήχθησαν οι θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων του φορέα. Για τις μεν δοκούς οι θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων είναι η αρχή και το πέρας της κάθε δοκού, ενώ για τα υποστυλώματα, οι θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων τοποθετήθηκαν στη βάση των υποστυλωμάτων σε κάθε όροφο.

Η τελική μορφή του φορέα στο πρόγραμμα SAP2000, δίνεται στο σχήμα 3.2, που ακολουθεί:



Σχήμα 3.2: Προσομοίωση του φορέα στο SAP2000

Για την επίλυση του φορέα με τη χρήση του προγράμματος, δεσμεύσαμε την ικανότητα μετακίνησης του φορέα κατά τη διεύθυνση x, διατηρώντας ωστόσο τις τρεις διαστάσεις του κτιρίου.

4

Απαραίτητο Θεωρητικό Υπόβαθρο

4.1 Αντισεισμικός Σχεδιασμός με Στάθμες Επιτελεστικότητας

Ο όρος «σχεδιασμός με βάση την επιτελεστικότητα» ή αλλιώς με βάση «τις οριακές καταστάσεις αστοχίας» εκφράζει ένα σύνολο διαφορετικών μεθόδων που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια και στοχεύουν στο σχεδιασμό κατασκευών με προκαθορισμένη σεισμική συμπεριφορά για δεδομένη στάθμη σεισμικής έντασης. Η προκαθορισμένη σεισμική συμπεριφορά είναι η επιθυμητή ή αλλιώς η ανεκτή οριακή κατάσταση βλαβών μετά το σεισμό και αφορά τόσο τα φέροντα όσο και τα μη φέροντα στοιχεία της κατασκευής.

Τα τελευταία χρόνια λοιπόν έχουν προταθεί πολλές μέθοδοι για τον καθορισμό των σταθμών επιτελεστικότητας. Ουσιαστικά όλοι οι κανονισμοί ορίζουν με μικροδιαφορές τρεις στάθμες επιτελεστικότητας για το φέροντα οργανισμό και τα μη-φέροντα στοιχεία, ανάλογα πάντα με τα επίπεδα βλάβης. Με βάση τις στάθμες επιτελεστικότητας όπως ορίζονται στο “Vision 2000” προτείνονται τέσσερις στάθμες επιτελεστικότητας και τέσσερις αντίστοιχα επίπεδα σεισμικής διέγερσης, οι οποίες είναι οι εξής:

- **Άμεση χρήση μετά το σεισμό:**

Όσον αφορά στο *φέροντα οργανισμό* (στάθμη A), το επίπεδο βλαβών είναι τέτοιο ώστε καμία λειτουργία να μη διακόπτεται κατά τη διάρκεια του σεισμού ή μετά από αυτόν, εκτός ενδεχομένως από δευτερεύουσας σημασίας λειτουργίες. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι επιτρέπονται μόνο μερικές αραιές τριχοειδείς ρωγμές καμπτικού χαρακτήρα, οι οποίες δεν επηρεάζουν την ικανότητα της κατασκευής να φέρει τα κατακόρυφα και τα οριζόντια φορτία, στον ίδιο βαθμό, όπως και πριν το σεισμό. Επίσης, ο κίνδυνος τραυματισμού ατόμων από τις βλάβες είναι πρακτικά αμελητέος.

Όσον αφορά στα *μη-φέροντα στοιχεία* (στάθμη A), επιτρέπονται μικρές μόνο βλάβες, οι οποίες δεν επηρεάζουν τις βασικές λειτουργίες. Οι προσβάσεις και τα συστήματα ασφαλείας (π.χ. κλιμακοστάσια, πόρτες, ανελκυστήρες, συστήματα πυρασφάλειας, γεννήτριες κλπ) πρέπει να παραμείνουν σε λειτουργία, εκτός εάν υπάρχει γενική διακοπή ηλεκτροδότησης στην περιοχή, η οποία τα επηρεάζει.

- **Λειτουργική στάθμη:**

Ουσιαστικά η στάθμη αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως μια *υποκατηγορία της «άμεσης χρήσης μετά τα σεισμό»*, το μοναδικό στοιχείο στο οποίο έχουμε διαφοροποίηση είναι ότι στη κατάσταση αυτή η κατασκευή συνεχίζει να λειτουργεί με λίγες ζημιές και επιτρέπονται διακοπές σε κάποιες λειτουργίες μειωμένης όμως σημασίας.

- **Προστασία ζωής:**

Όσον αφορά στο *φέροντα οργανισμό* (στάθμη B), αναμένεται να εμφανιστούν βλάβες, οι οποίες είναι εύκολο να επισκευαστούν και δεν αποτελούν αιτία απώλειας της στατικής ευστάθειας της κατασκευής ή σοβαρού τραυματισμού ατόμων (δηλαδή μπορούν να συμβούν μικροί τραυματισμοί, οι οποίοι όμως δεν αποτελούν κίνδυνο απώλειας ζωής) ή σημαντικών ζημιών σε αντικείμενα που βρίσκονται στην κατασκευή. Για την επαναχρησιμοποίηση της κατασκευής μετά το σεισμό απαιτείται να επισκευαστούν οι βλάβες.

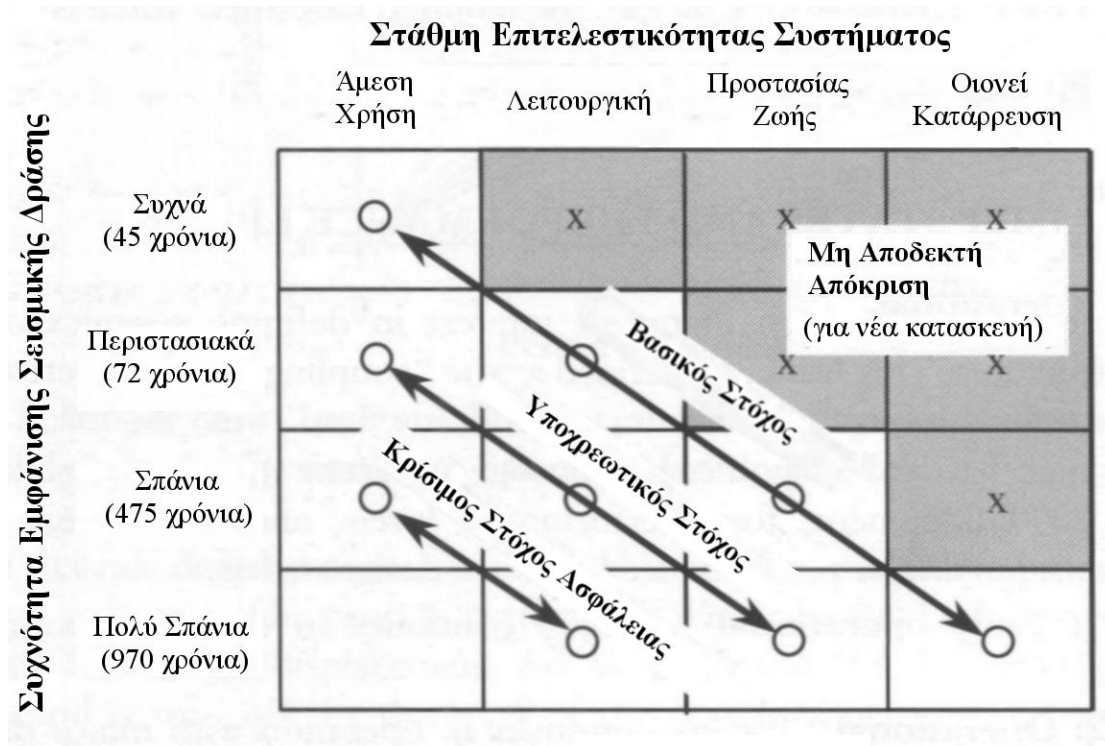
Όσον αφορά στα *μη-φέροντα στοιχεία* (στάθμη B), αναμένονται βλάβες, οι οποίες όμως δεν αποτελούν κίνδυνο για άτομα εντός ή εκτός της κατασκευής, είτε λόγω πτώσης αντικειμένων είτε λόγω δευτερογενών αιτιών, όπως διαφυγή τοξικών ουσιών, αστοχία συστημάτων υψηλής πίεσης, κίνδυνος πρόκλησης πυρκαγιάς, κλπ.

- **Οιονεί κατάρρευση:**

Όσον αφορά στο *φέροντα οργανισμό* (στάθμη Γ), αναμένεται να εμφανιστούν εκτεταμένες, μη-επισκευάσιμες κατά πλειονότητα βλάβες. Ο φέρων οργανισμός έχει ακόμη την ικανότητα να φέρει τα κατακόρυφα φορτία, αλλά η οριζόντια δυσκαμψία και η ικανότητα αντίστασης σε οριζόντια φορτία έχουν μειωθεί σημαντικά, με αποτέλεσμα η κατασκευή να μη διαθέτει άλλα περιθώρια ασφάλειας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης. Γι' αυτό υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης σε μετασεισμούς. Ο κίνδυνος σοβαρού τραυματισμού ατόμων από πτώσεις στοιχείων της κατασκευής είναι μεγάλος, εντός και εκτός αυτής. Για τη επαναχρησιμοποίηση της κατασκευής μετά το σεισμό απαιτούνται εκτεταμένες επιδιορθώσεις, ενώ είναι πιθανόν να μην είναι τεχνικά ή οικονομικά δυνατή η επισκευή της.

Όσον αφορά στα *μη-φέροντα στοιχεία* (στάθμη γ), αναμένονται σημαντικές βλάβες, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν ακόμη και την πτώση τους. Εξαιρεση αποτελούν τα υψηλού κινδύνου μη-φέροντα στοιχεία και προσαρτήματα, τα οποία πρέπει να είναι καλά στερεωμένα, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος πτώσης τους σε χώρους συνάθροισης κοινού.

Οι σχέσεις ανάμεσα στα τέσσερα επίπεδα σεισμικών δράσεων και στη ετήσια πιθανότητα υπέρβασης της κάθε στάθμης, θα διαφέρουν ανάλογα με τη σεισμικότητα της κάθε περιοχής και τη σπουδαιότητα της κατασκευής. Στο σχήμα 4.1 που ακολουθεί, δίνεται η σχέση ανάμεσα στις στάθμες επιτελεστικότητας και στη συχνότητα εμφάνισης της σεισμικής διέγερσης. Σχηματικά, το κάθε τετράγωνο αντιπροσωπεύει ένα στόχο σχεδιασμού, ενώ οι διαγώνιες γραμμές αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα κριτήρια σχεδιασμού. Έτσι, η γραμμή «Βασικός Στόχος» προσδιορίζει μια σειρά από επίπεδα επιτελεστικότητας για συνήθεις κατασκευές, η γραμμή «Υποχρεωτικός Στόχος» αντιστοιχεί σε ένα σχεδιασμό με μικρότερο σεισμικό κίνδυνο και θα μπορούσε να αφορά κατασκευές μεγάλης σπουδαιότητας και τέλος η γραμμή «Κρίσιμος Στόχος» αντιστοιχεί σε ένα πολύ ασφαλή (αλλά και πολύ αντιοικονομικό) σχεδιασμό που θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε μία κατασκευή πολύ μεγάλης σπουδαιότητας. Οι στόχοι που αντιστοιχούν στα τετράγωνα δεξιά της γραμμής «Βασικός Στόχος» δεν είναι αποδεκτοί.



Σχήμα 4.1: Σχέση σεισμού σχεδιασμού και στάθμης επιτελεστικότητας (Vision 2000)

Ίσως το σπουδαιότερο πλεονέκτημα αυτής της μεθοδολογίας είναι ότι εξετάζεται η συμπεριφορά της κατασκευής και πέρα από το σημείο όπου αρχίζουν οι πρώτες ζημιές στο κτίριο (στη πλαστική περιοχή δηλαδή), σε αντίθεση με την μεθοδολογία των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών, όπου το ελάχιστο επίπεδο ασφάλειας εξασφαλίζεται μέσω του συντελεστή συμπεριφοράς της κατασκευής.

Άμεσα εξαγόμενο συμπέρασμα, είναι ότι προκειμένου να εφαρμοστεί αυτή η μέθοδος είναι απαραίτητη η γνώση της συμπεριφοράς της κατασκευής και πέρα από τη ελαστική περιοχή. Ο προσδιορισμός αυτής της συμπεριφοράς γίνεται με ανελαστικές μεθόδους ανάλυσης, είτε στατικές (static – pushover analysis) είτε με δυναμικές (αναλύσεις χρονοϊστορίας).

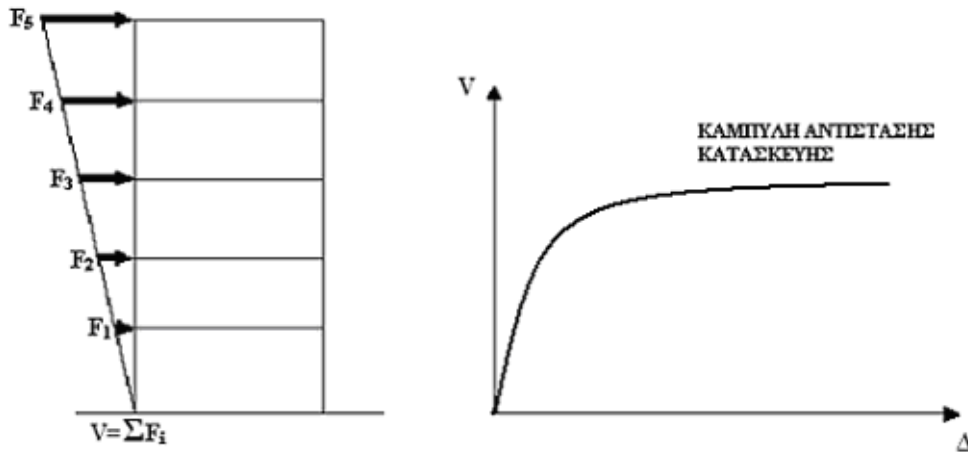
4.2 Ιδιομορφική Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

Η ιδιομορφική ανελαστική δυναμική ανάλυση είναι μια παραλλαγή της ιδιομορφικής στατικής ανάλυσης. Πρόκειται για μια μέθοδο υπολογισμού της ικανότητας της κατασκευής, όπου το αποτέλεσμα της σεισμικής δράσης προσομοιώνεται με οριζόντια στατικά φορτία, τα οποία μπορεί να είναι είτε δυνάμεις είτε μετατοπίσεις, σταδιακά αυξανόμενες μέχρι το σημείο κατάρρευσης. Επομένως, σε αυτή τη μέθοδο διεξάγονται διαδοχικές βήμα προς βήμα αναλύσεις με σκοπό την προσέγγιση της ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς της κατασκευής, λαμβάνοντας όμως υπόψη τη μείωση της δυσκαμψίας των μελών που έχουν διαρρεύσει.

Η κατανομή της φόρτισης καθ' ύψος της κατασκευής είναι κατανομή σύμφωνα με κάθε ιδιομορφή της κατασκευής και γι' αυτό τον λόγο γίνονται, τόσες αναλύσεις όσες και οι ιδιομορφές που θεωρούμε ότι επηρεάζουν την απόκριση της κατασκευής. Είναι βέβαια λογικό ότι όσο περισσότερες ιδιομορφές λάβει υπόψη ο μελετητής, τόσο ακριβέστερη θα είναι η προσέγγιση της πραγματικής απόκρισης. Το αρχικό σχήμα της φόρτισης παραμένει σταθερό σε κάθε βήμα της ανάλυσης.

Η ικανότητα της κατασκευής παριστάνεται από την καμπύλη αντίστασης (Pushover Curve). Ο συνηθέστερος τρόπος απεικόνισης μίας τέτοιας καμπύλης είναι δημιουργώντας ένα διάγραμμα τέμνουσας βάσης (V) – μετακίνησης κορυφής (Δ). Πιο συγκεκριμένα, για δεδομένη κατανομή φορτίων στους ορόφους του κτιρίου, με σταδιακή επαύξηση της τιμής αυτών των φορτίων σε κάθε βήμα, υπολογίζεται η ανελαστική μετακίνηση κορυφής του βήματος. Έτσι με διαδοχικές στατικές επιλύσεις υπολογίζεται η καμπύλη αντίστασης της κατασκευής.

Σχηματικά η διαδικασία αυτή παριστάνεται στο παρακάτω σχήμα, όπου φαίνεται η κατανομή φορτίων στους ορόφους ενός κτιρίου και η μορφή που έχει η καμπύλη αντίστασης.



Σχήμα 4.2: Κατασκευή καμπύλης αντίστασης κατασκευής

4.3 Μόρφωση Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος:

Η μετατροπή ενός πολυβάθμιου στο ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα, είναι το αρχικό βήμα κατά τη φάση σχεδιασμού, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση της διατιθέμενης ικανότητας της κατασκευής με την απαιτούμενη από τους κανονισμούς. Παρόλα αυτά βέβαια η μετατροπή του πολυβάθμιου συστήματος στο ισοδύναμο μονοβάθμιο είναι μια μεθοδολογία, η οποία περιλαμβάνει πολλές αβεβαιότητες.

Το ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα εξαρτάται από την κατανομή των φορτίων καθ' ύψος που λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό της καμπύλης ικανότητας. Για την κατανομή των φορτίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί τριγωνική κατανομή, ομοιόμορφη κατανομή, κατανομή σύμφωνα με την πρώτη ιδιομορφή ή περισσότερο πολύπλοκοι συνδυασμοί με συμμετοχή ανώτερων ιδιομορφών.

Γενικά μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η κατανομή των φορτίων στους ορόφους της κατασκευής ακολουθεί τον παρακάτω τύπο:

$$F_i = V \cdot (m_i \Phi_i) / (\sum_j m_j \Phi_j) \quad (\text{εξ. 4.1})$$

Όπου, $V = \sum F_i$ η τέμνουσα βάση.

Το διάνυσμα Φ δηλώνει την κατανομή των μετακινήσεων των ορόφων και λαμβάνει τις τιμές της $n^{\text{ης}}$ ιδιομορφής στην περίπτωση της ιδιομορφικής ανελαστικής στατικής ανάλυσης. Συνήθως το διάνυσμα Φ κανονικοποιείται, ώστε η τιμή που αντιστοιχεί στη μετακίνηση της κορυφής να είναι ίση με τη μονάδα ($\Phi_{\text{top}}=1$).

Εάν η κατανομή των φορτίων ακολουθεί την παραπάνω εξίσωση (εξ. 4.1) και $\Phi_{top}=1$ τότε η αντιστοιχία οποιουδήποτε μεγέθους (δύναμη, μετακίνηση, ενέργεια, κλπ) μεταξύ του πολυβάθμιου και του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος γίνεται με βάση την παρακάτω σχέση:

$$Q = \Gamma_n \cdot Q^* \quad (\text{εξ. 4.2})$$

Όπου:

Q^* = μέγεθος στο ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα.

Q = αντίστοιχο μέγεθος στο πολυβάθμιο σύστημα

Γ_n = συντελεστής συμμετοχής ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$\Gamma_n = (\sum m_i \Phi_i) / (\sum m_i \Phi_i^2) \quad (\text{εξ. 4.3})$$

Η μάζα του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος είναι:

$$m^* = \sum m_i \Phi_i \quad (\text{εξ. 4.4})$$

Σημειώνεται ότι εφόσον τόσο οι δυνάμεις όσο και οι μετακινήσεις ακολουθούν τη σχέση μετασχηματισμού 4.2, η δυσκαμψία του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος είναι ίση με αυτή του πολυβάθμιου. Η περίοδος όμως, του μονοβάθμιου δεν ισούται με την 1^η ιδιοπερίοδο του πολυβάθμιου συστήματος, ακόμα και όταν οι συντελεστές Φ_i ισούνται με τις αντίστοιχες τιμές του πρώτου ιδιοδιανύσματος.

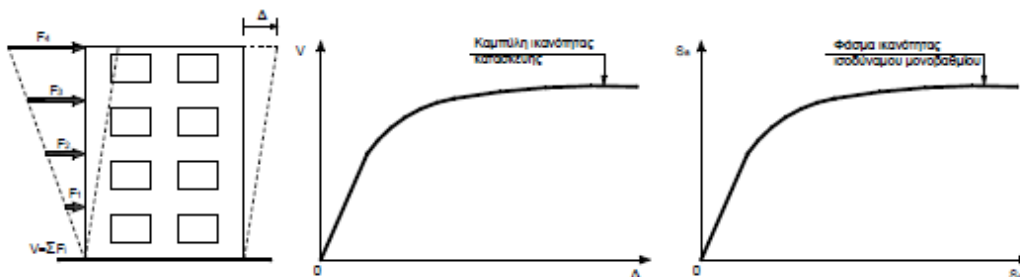
Για τη μετατροπή της καμπύλης αντίστασης της κατασκευής σε φάσμα αντίστασης μορφής ADRS του ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος, χρειαζόμαστε τα μεγέθη S_a και S_d και για τον υπολογισμό τους εφαρμόζονται οι παρακάτω σχέσεις:

$$S_a = V / (\alpha \cdot m_{ολ}) \quad (\text{εξ. 4.5})$$

$$S_d = \Delta / \Gamma \quad (\text{εξ. 4.6})$$

Όπου,

- V = Τέμνουσα βάσης πολυβαθμίου συστήματος
- $m_{ολ}$ = Ολική μάζα πολυβαθμίου συστήματος
- α = Ποσοστό της συνολικής μάζας που συμμετέχει στη συνολική απόκριση της κατασκευής για την αναμενόμενη μορφή παραμόρφωσης, όπου δίνεται από τη σχέση $\alpha = \Gamma \cdot (\sum m_i \cdot \Phi_i) / m_{ολ}$
- Δ = Μετακίνηση κορυφής



Σχήμα 4.3: Κατασκευή της καμπύλης αντίστασης της κατασκευής και του φάσματος ικανότητας του ισοδύναμου μονοβαθμίου σε ADRS μορφή

Για τη παρούσα εργασία θα χρειαστούμε να μορφώσουμε τα ισοδύναμα μονοβάθμια συστήματα για τις δύο πρώτες ιδιομορφές. Στην παράγραφο που ακολουθεί δίνονται αναλυτικά τα βήματα της μεθοδολογίας που θα πρέπει να ακολουθήσουμε για τη μόρφωση των ισοδύναμων φασμάτων αντίστασης, αλλά και για τον τρόπο εκτίμησης των αποτελεσμάτων της ανάλυσης χρονοϊστορίας του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος και της μεθόδου αναγωγής τους στο αντίστοιχο πολυβάθμιο.

4.4 Γενική Περιγραφή της Μεθόδου:

- **Βήμα 1:** Υπολογισμός των ιδιοσυχνοτήτων ω_n και των ιδιομορφών φ_n με ιδιομορφική ελαστική ανάλυση.
- **Βήμα 2:** Για την $n^{\text{η}}$ ιδιομορφή κατασκευάζεται η καμπύλη αντίστασης της κατασκευής με υπολογισμό της μετακίνησης κορυφής για διάφορες τιμές της τέμνουσας βάσης θεωρώντας κατανομή φορτίων καθ' ύψος της κατασκευής συμβατή με την n -ιδιομορφή. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται στην παράγραφο 5.2
- **Βήμα 3:** Κατασκευή του ιδεατού διγραμμικού διαγράμματος αντίστασης. Το διάγραμμα συνήθως κατασκευάζεται με κλίση ελαστικού κλάδου ίση με την τέμνουσα δυσκαμψία που αντιστοιχεί στο 60% της επιτάχυνσης διαρροής και έτσι ώστε τα εμβαδά που περικλείουν τα δύο διαγράμματα να είναι ίσα. Η διαδικασία είναι επαναληπτική μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση των δύο χωρίων. Μετά το πέρας των επαναλήψεων, είναι γνωστή η *τέμνουσα βάσης στη διαρροή* V_{bny} και η *μετακίνηση διαρροής* u_{rny} .
- **Βήμα 4:** Μετατροπή της διγραμμικοποιημένης καμπύλης αντίστασης σε διγραμμικό διάγραμμα επιτάχυνσης – μετατόπισης για την n -ιδιομορφή του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος (βλ. ενότητα 4.3).

Από το διγραμμικό διάγραμμα αντίστασης καθορίζονται η επιτάχυνση διαρροής S_{ay} και η μετακίνηση διαρροής S_{dy}

Έχοντας αυτό ως δεδομένο, μπορεί να υπολογιστεί η ιδιοπερίοδος του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος από τη σχέση:

$$T^* = 2\pi \cdot (S_{dy} / S_{ay})^{1/2} \quad (\text{εξ. 4.7})$$

- **Βήμα 6:** Υπολογίζεται η μετακίνηση κορυφή του πολυβάθμιου φορέα από τη μετακίνηση του μονοβάθμιου ως εξής:

$$\Delta_n = \Gamma_n \cdot \varphi_m \cdot D_n \quad (\text{εξ. 4.8})$$

- **Βήμα 7:** Υπολογίζονται τα υπόλοιπα μεγέθη που ενδιαφέρουν το μελετητή από τα αποτελέσματα της ανάλυσης χρονοϊστορίας μονοβάθμιου και ανάγονται στο πολυβάθμιο σύστημα.

Τα παραπάνω βήματα επαναλαμβάνονται για όσες ιδιομορφές είναι απαραίτητο, αν και συνήθως οι δύο ή οι τρεις πρώτες ιδιομορφές είναι επαρκείς. Η συνολική απόκριση προκύπτει από τη σύνθεση των αποτελεσμάτων για κάθε ιδιομορφή.

5

Παρουσίαση Αναλύσεων και Αποτελεσμάτων

5.1 Γενική περιγραφή της διαδικασίας

Η παρούσα εργασία αξιολογεί την ακρίβεια της ιδιομορφικής ανελαστικής δυναμικής ανάλυσης στον υπολογισμό των σεισμικών απαιτήσεων και η σύγκριση αυτών με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ανελαστική ανάλυση χρονοϊστορίας σε σεισμούς κοντινού πεδίου.

Η διαδικασία ξεκινά με την *ιδιομορφική ανάλυση*, με την οποία υπολογίζονται οι ιδιοπερίοδοι της κατασκευής καθώς και οι ιδιομορφές της και στη συνέχεια γίνεται ανελαστική στατική ανάλυση (pushover analysis) με κατανομή φορτίων σύμφωνα με την κατανομή των μετακινήσεων για τις σημαντικότερες ιδιομορφές καθ' ύψος του φορέα απ' όπου προκύπτει η καμπύλη αντίστασης της κατασκευής, για κάθε ιδιομορφή. Οι καμπύλες αυτές μετατρέπονται σε φάσμα αντίστασης ADRS (Acceleration – Displacement Response Spectrum) του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος κάθε ιδιομορφής και ύστερα στο ιδεατό διγραμμικό διάγραμμα του μονοβάθμιου συστήματος, με χρήση της μεθοδολογίας που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Προκύπτει έτσι η μετακίνηση και η επιτάχυνση διαρροής του μονοβάθμιου συστήματος και εν συνεχεία η ιδιοπερίοδος του.

Στη συνέχεια γίνονται αναλύσεις χρονοϊστορίας του φορέα για σεισμικές διεγέρσεις κοντινού πεδίου με χρήση του προγράμματος SAP και ανελαστικές αναλύσεις χρονοϊστορίας των μονοβάθμιων συστημάτων με το πρόγραμμα Bispec.

Στόχος της εργασίας είναι να γίνουν συγκρίσεις μεταξύ των μεγεθών που προκύπτουν από τις αναλύσεις χρονοϊστορίας και αυτών που προκύπτουν από σύνθεση των χρονοϊστοριών των ισοδύναμων μονοβάθμιων συστημάτων με βάση τις ιδιομορφές. Πιο συγκεκριμένα, οι συγκρίσεις αφορούν τις μετακινήσεις καθ' ύψος του κτιρίου, τα αδρανειακά φορτία κάθε ορόφου και τις αντίστοιχες τέμνουσες δυνάμεις.

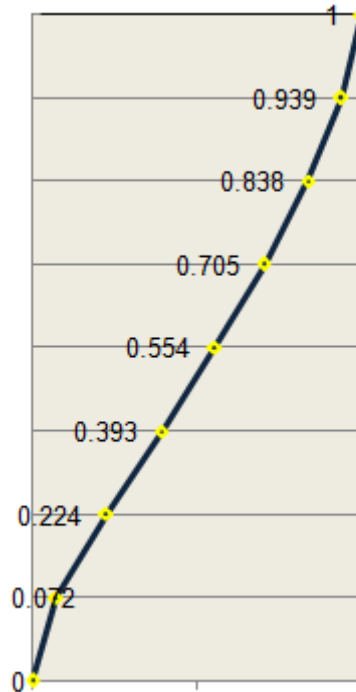
5.2 Υπολογισμός Ιδιοπεριόδων και Ιδιομορφών Κατασκευής

Η πρώτη ανάλυση που διεξάγεται στο φορέα με το πρόγραμμα SAP είναι αυτή της ιδιομορφικής ανάλυσης μέσω της οποίας υπολογίζονται οι ιδιοπερίοδοι του φορέα καθώς και οι ιδιομορφές του.

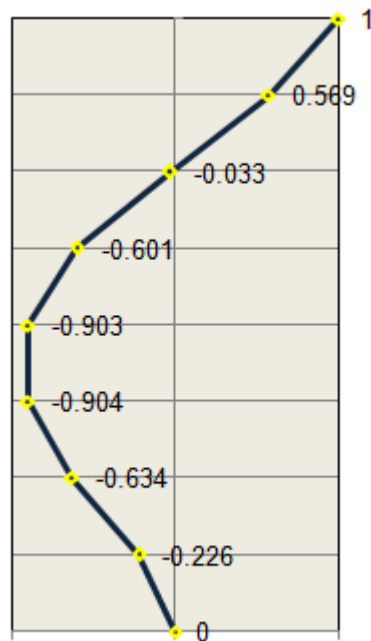
Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδοι
1	1.298067
2	0.433407
3	0.241821
4	0.164022
5	0.120503
6	0.096828
7	0.095644
8	0.095056
9	0.094165
10	0.093077

Η προσέγγιση των αποτελεσμάτων της ανελαστικής ανάλυσης χρονοϊστορίας του πολυβάθμιου φορέα θα επιχειρηθεί να γίνει με τις δύο πρώτες ιδιομορφές, καθώς βλέπουμε ότι οι υπόλοιπες ιδιομορφές έχουν πολύ μικρές ιδιοπερίόδους σε σχέση με την πρώτη, οπότε συμπεραίνουμε ότι η συμμετοχή τους θα είναι πρακτικά μηδενική. Αυτό το συμπέρασμα ισχυροποιείται μέσω μιας παρόμοιας εργασίας του Anil K. Chopra, ο οποίος είχε κάνει αναλύσεις για μια πλειάδα σεισμών στο ίδιο και σε άλλα κτήρια και συμπέρανε ότι στο συγκεκριμένο κτήριο η τρίτη ιδιομορφή παρέμενε στην ελαστική περιοχή σε όλους τους σεισμούς.

Τα σχήματα των δύο πρώτων ιδιομορφών που προέκυψαν για τις ιδιοπεριόδους αυτές δίνονται στα σχήματα 5.1 και 5.2 που ακολουθούν:



Σχήμα 5.1: Σχήμα πρώτης ιδιομορφής



Σχήμα 5.2: Σχήμα δεύτερης ιδιομορφής

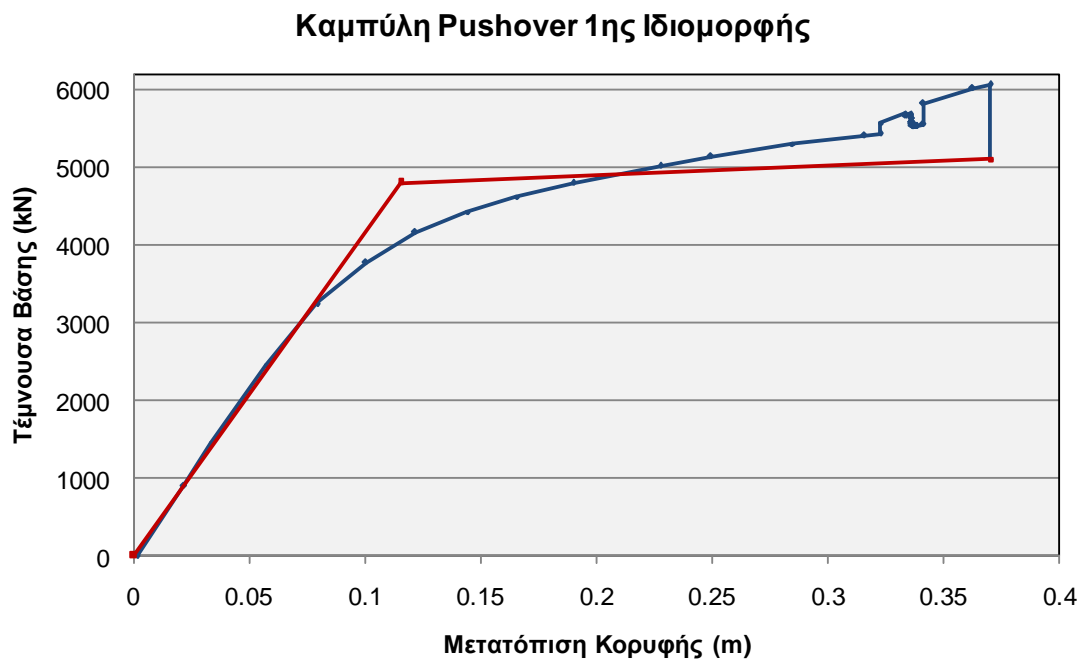
5.3 Εύρεση καμπύλης αντίστασης κατασκευής

Μετά την ιδιομορφική ανάλυση, ακολουθεί η ιδιομορφική ανελαστική στατική ανάλυση (ανάλυση pushover) προκειμένου να κατασκευαστεί η καμπύλη αντίστασης της κατασκευής (τέμνουσα βάση – μετακίνηση κορυφής) για καθεμία από τις δύο ιδιομορφές. Η κατανομή των φορτίων στους ορόφους του φορέα γίνεται σύμφωνα με τη σχέση

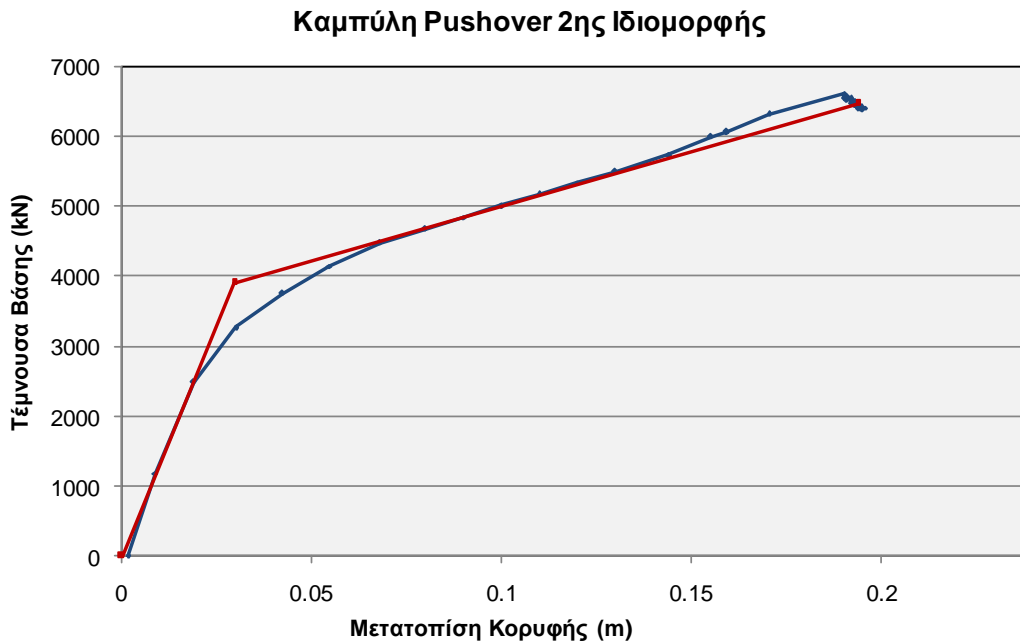
$$F_i = V (m_i \Phi_i) / (\Sigma m_j \Phi_j)$$

όπου Φ το διάνυσμα κατανομής των μετακινήσεων στην i ιδιομορφή.

Οι καμπύλες αντίστασης (pushover curves) για καθεμία από τις δύο ιδιομορφές αντιστοιχούν στα σχήματα 5.3 και 5.4 που ακολουθούν:



Σχήμα 5.3 Καμπύλη Αντίστασης 1^{ης} Ιδιομορφής



Σχήμα 5.4 Καμπύλη Αντίστασης 2^{ης} Ιδιομορφής

5.4 Υπολογισμός Μεγεθών Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος

Στη συνέχεια της διαδικασίας, έχοντας πλέον κατασκευάσει την καμπύλη αντίστασης του κτιρίου, μετατρέπουμε αυτή την καμπύλη σε φάσμα αντίστασης του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος σε μορφή ADRS (Acceleration – Displacement Response Spectrum). Τα μεγέθη που απαιτούνται εδώ είναι η επιτάχυνση S_a και η μετακίνηση S_d του συστήματος, τα οποία δίνονται από τις σχέσεις:

- $S_a = V / (\alpha \cdot m_{ολ})$
- $S_d = \Delta / \Gamma$

Η επεξήγηση των συμβόλων που χρησιμοποιούνται, καθώς και η γενικότερη περιγραφή της διαδικασίας μετατροπής της καμπύλης αντίστασης της κατασκευής σε φάσμα αντίστασης του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος περιγράφεται αναλυτικά στην παράγραφο 4.3 και 4.4 του κεφαλαίου 4.

Με αυτά τα δεδομένα υπολογίζονται οι συντελεστές Γ και α ως εξής:

$$\Gamma = (\sum m_i \Phi_i) / (\sum m_i \Phi_i^2) \text{ και } \alpha = \Gamma (\sum m_i \Phi_i) / m_{ολ}$$

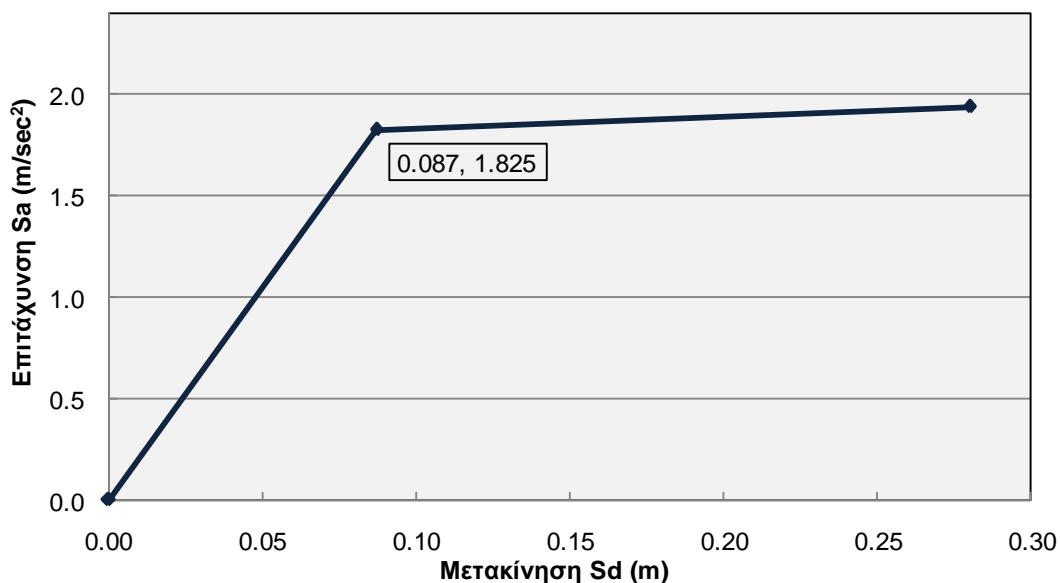
Όπου $m_{ολ}$ η ολική μάζα της κατασκευής, με $m_{ολ} = 3423501.4 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{sec}^2$

Επομένως προκύπτουν οι τιμές:

- $\alpha_1 = 0.767651$, $\Gamma_1 = 1.322341$
- $\alpha_2 = 0.111548$, $\Gamma_2 = -0.4895$

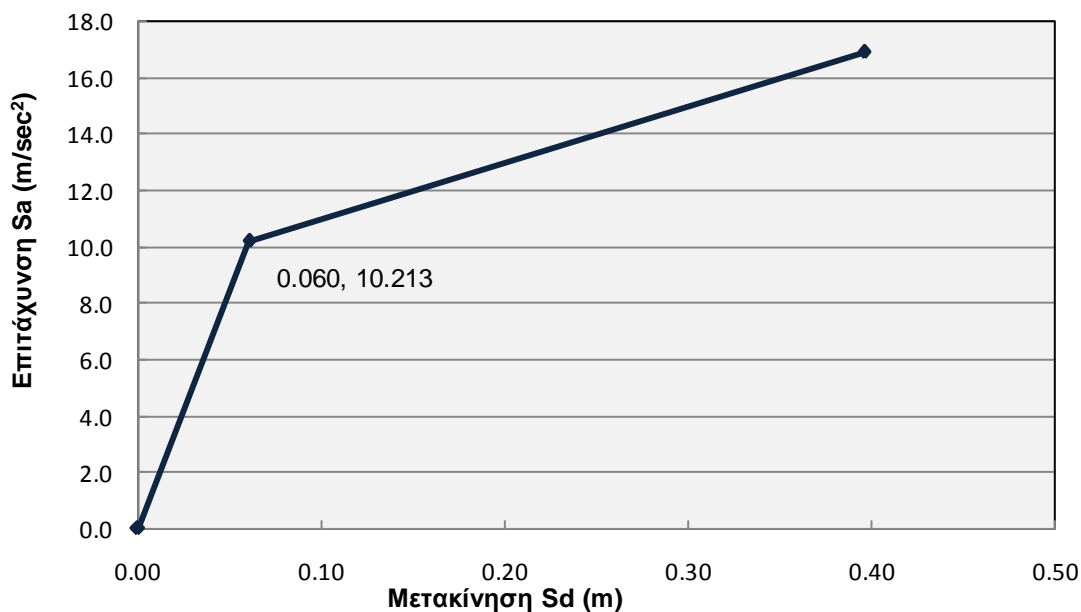
Έτσι λοιπόν υπολογίζονται τα μεγέθη S_a και S_d , με τους τύπους που αναφέρθηκαν παραπάνω και κατασκευάζεται το φάσμα αντίστασης του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος.

Στη συνέχεια κατασκευάζεται το ιδεατό διγραμμικό (ελαστικό – τελείως πλαστικό) διάγραμμα αντίστασης. Το διάγραμμα αυτό πρέπει να περικλείει εμβαδόν ίσο με το εμβαδόν που περικλείει το διάγραμμα που απεικονίζει το φάσμα αντίστασης του μονοβάθμιου συστήματος ώστε η ενέργεια που απορροφούν τα δύο αυτά ισοδύναμα συστήματα να είναι ίδια. Από το διγραμμικό διάγραμμα βρίσκουμε τα μεγέθη επιτάχυνση διαρροής (S_{ay}) και μετακίνηση διαρροής (S_{dy}), του μονοβάθμιου συστήματος. (σχήματα 5.4 και 5.5)



Σχήμα 5.5: Ιδεατό διγραμμικό διάγραμμα αντίστασης ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος με βάση την 1^η Ιδιομορφή

Επομένως προκύπτει ότι: $S_{dy\ 1} = 0.087\ m$ και $S_{ay\ 1} = 1.825\ m/sec^2$ για την πρώτη ιδιομορφή.



Σχήμα 5.5: Ιδεατό διγραμμικό διάγραμμα αντίστασης ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος με βάση τη 2^η ιδιομορφή

Έχουμε λοιπόν ότι: $S_{dy} = 0.06 \text{ m}$ και $S_{ay} = 10.213 \text{ m/sec}^2$, για την δεύτερη ιδιομορφή.

Με τα δεδομένα αυτά μπορούμε πλέον να υπολογίσουμε τις ιδιοπεριόδους των ισοδύναμων μονοβάθμιων, μέσω της σχέσεως σχέση $T^* = 2\pi(S_{dy} / S_{ay})^{1/2}$, καθώς είναι πλέον γνωστά τα μεγέθη S_{dy} και S_{ay} .

- Ιδιοπερίοδος Ισοδύναμου Μονοβαθμίου 1^{ης} Ιδιομορφής $T_1^* = 1.374 \text{ sec}$
- Ιδιοπερίοδος Ισοδύναμου Μονοβαθμίου 2^{ης} Ιδιομορφής $T_2^* = 0.483 \text{ sec}$

5.5 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Με γνωστά πλέον τα μεγέθη του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος μπορούμε να υπολογίσουμε τις μετακινήσεις, τα αδρανειακά φορτία και τις τέμνουσες δυνάμεις για κάθε ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα. Αυτό θα γίνει με τη βοήθεια του προγράμματος *Bispec*. Μέσω του προγράμματος αυτού διεξάγουμε ελαστικές αναλύσεις για κάθε σεισμό προκειμένου να βρούμε το συντελεστή συμπεριφοράς για κάθε ιδιομορφή. Με αυτό ως δεδομένο, διεξάγουμε ανελαστικές αναλύσεις από τις οποίες λαμβάνουμε τις μετακινήσεις και τις επιταχύνσεις. Οι τιμές που επιλέγουμε από τις ιστορίες των μονοβάθμιων είναι σχεδόν ταυτόχρονες με τη μέγιστη μετακίνηση που προκύπτει από την ανελαστική ανάλυση ιστορίας του πολυβάθμιου συστήματος.

Πιο συγκεκριμένα, για την πρώτη ιδιομορφή λαμβάνουμε το κοντινότερο τοπικό μέγιστο των μετακινήσεων ως προς τη χρονική στιγμή που παρουσιάζεται η μέγιστη τιμή μετακίνησης στην ανάλυση ιστορίας του πολυβάθμιου συστήματος και οι τιμές της επιτάχυνσης λαμβάνονται την ίδια χρονική στιγμή με τη μετακίνηση. Για τις υπόλοιπες ιδιομορφές οι τιμές που λαμβάνονται είναι οι ταυτόχρονες, δηλαδή τη χρονική στιγμή που πήραμε για την πρώτη ιδιομορφή. Προκειμένου να γίνει σύγκριση αυτών με τις τιμές που προκύπτουν από τις αναλύσεις του SAP, γίνεται αναγωγή των μετακινήσεων και επιταχύνσεων στο πολυβάθμιο σύστημα. Δηλαδή, οι τιμές πολλαπλασιάζονται με το συντελεστή συμμετοχής της κάθε ιδιομορφής και με την τιμή του ιδιοσχήματος σε κάθε όροφο. Όσον αφορά τις αδρανειακές δυνάμεις, αυτές προκύπτουν με πολλαπλασιασμό των επιταχύνσεων με τη μάζα ορόφου και οι τέμνουσες προκύπτουν με την άθροιση των αδρανειακών καθ' ύψος του κτηρίου.

Από τις ανελαστικές αναλύσεις ιστορίας του πολυβάθμιου φορέα, λαμβάνουμε τις τιμές μετακίνησης καθ' ύψος του κτηρίου για τη χρονική στιγμή όπου εμφανίζεται η μέγιστη μετακίνηση στον ανώτερο όροφο. Για την ίδια χρονική στιγμή λαμβάνουμε και τις τιμές επιτάχυνσης καθ' ύψος των ορόφων. Στη συνέχεια, γίνεται η *σύνθεση των τιμών* που προκύπτουν από τις αναλύσεις των μονοβάθμιων, με απλή πρόσθεση των τιμών αφού πρόκειται για ταυτόχρονες τιμές, και η σύγκριση αυτών με τις τιμές που προκύπτουν από τις αναλύσεις του πολυβάθμιου φορέα.

Στο υπόλοιπο μέρος του παρόντος κεφαλαίου της εργασίας μας ακολουθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων, όπως προέκυψαν από τις αναλύσεις για τις σεισμικές διεγέρσεις (Πίνακας με τα γενικά στοιχεία των σεισμών δίνεται στο παράρτημα Α).

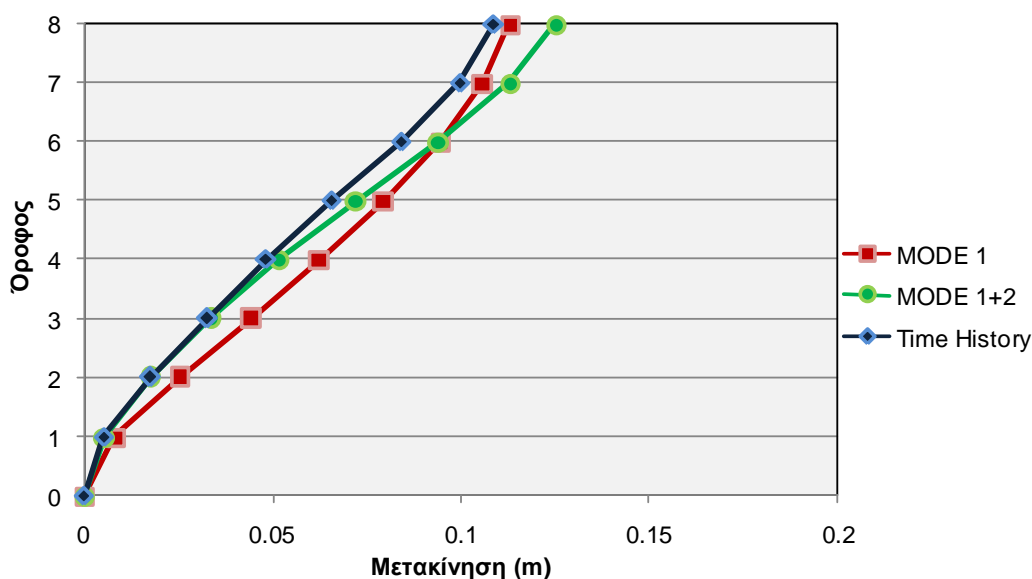
5.5.1 Coyote Lake, CA, USA – GA1-320

Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:

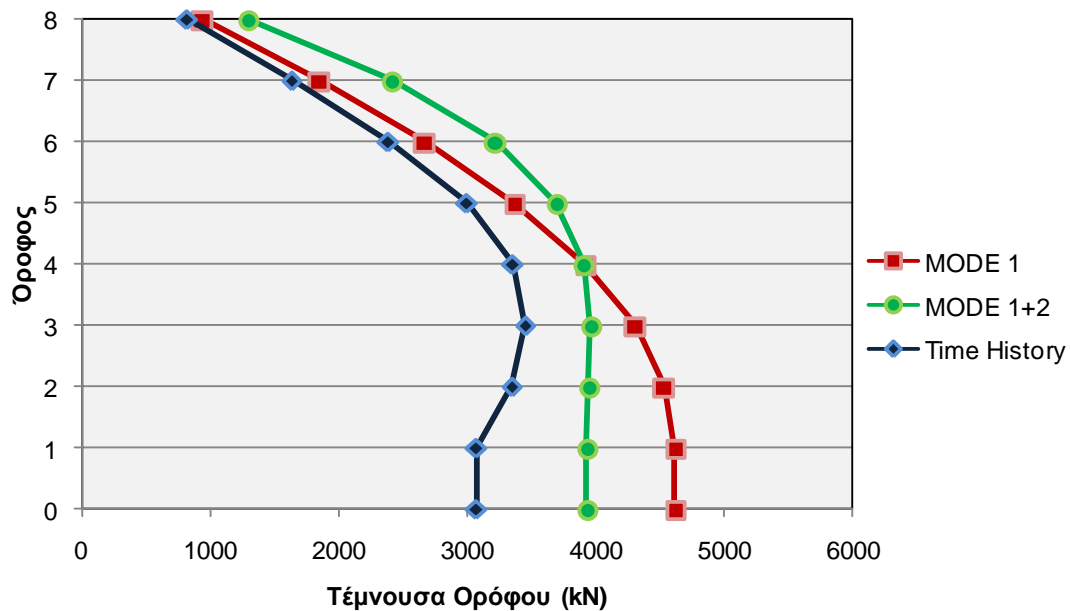
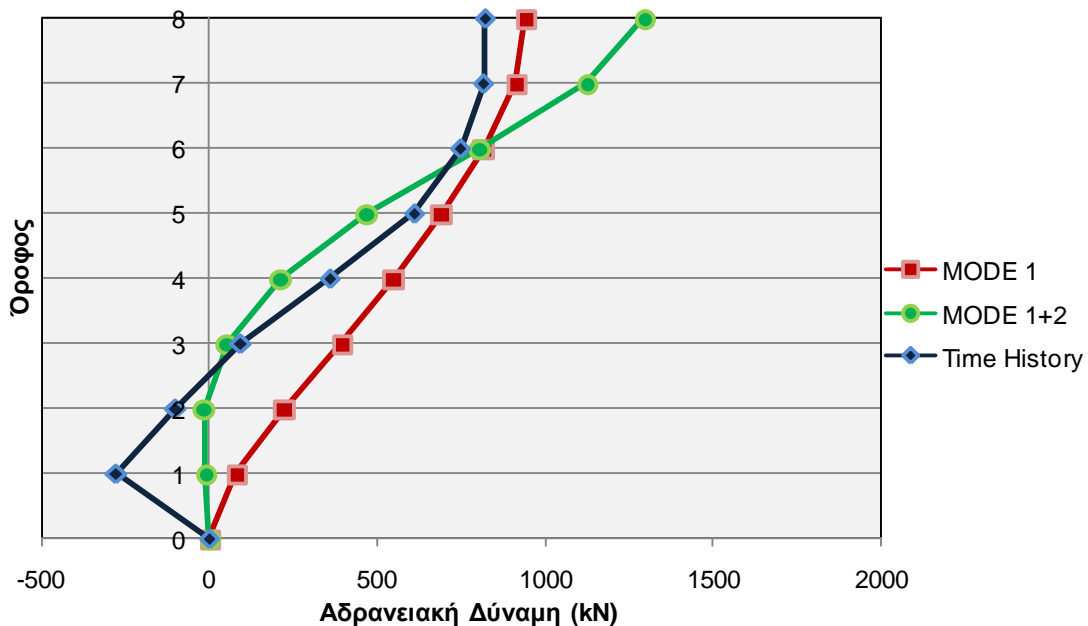
	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_a^* (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	185.2	1.015	8.52938	0.1127	175.612	232.21
2 ^η ιδιομορφή	1308	1.281	-2.4914	0.01219	-178.652	87.40

Η ελαστική επιτάχυνση $S_{a_{el}}$ προκύπτει με ελαστική ανάλυση από το πρόγραμμα *Bispec* και έχοντας ως δεδομένες τις τιμές των επιταχύνσεων διαρροής υπολογίζεται ο συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής για κάθε ιδιομορφή και στη συνέχεια γίνονται ανελαστικές αναλύσεις από όπου προκύπτουν οι χρονοϊστορίες μετακίνησης και επιτάχυνσης των μονοβαθμίων. Η μετακίνηση του μονοβάθμιου ταλαντωτή (δ^*) που προκύπτει από το πρόγραμμα *Bispec* πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή συμμετοχής και την τιμή της ιδιομορφής σε κάθε όροφο για να αναχθεί σε μετακίνηση του πολυβάθμιου συστήματος (Δ). Την ίδια λογική ακολουθούμε για τον υπολογισμό των επιταχύνσεων και η αδρανειακή δύναμη προκύπτει από την επιτάχυνση πολλαπλασιασμένη επί τη μάζα του ορόφου.

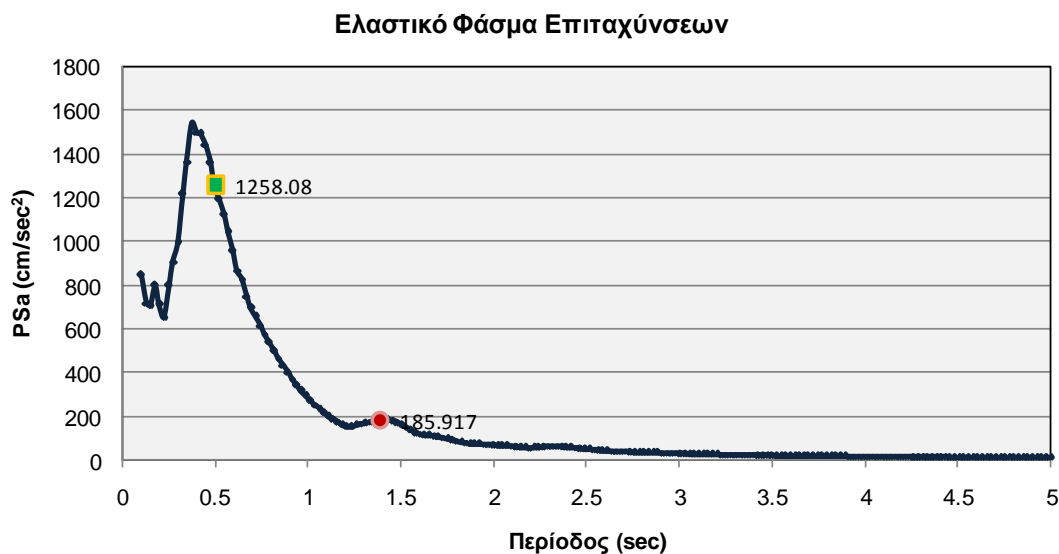
Ακολουθούν διαγράμματα που απεικονίζουν τη κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων καθ' ύψος των ορόφων την κατασκευής.



Σχήμα 5.6: Σύγκριση μετακινήσεων για τη καταγραφή GA1-320



Σχήμα 5.7: Σύγκριση αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων



Σχήμα 5.8: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων της καταγραφής GA1-320



Σχήμα 5.9: Ελαστικό Φάσμα μετακινήσεων της καταγραφής GA1-320

Θέλοντας να εξασφαλίσουμε ότι τουλάχιστον η πρώτη ιδιομορφή θα μπει στη πλαστική περιοχή έχουμε χρησιμοποιήσει μεγεθυντικό συντελεστή ίσο με 2, για την ανάλυση της συγκεκριμένης καταγραφής, και οι δύο λοιπόν καταγραφές βρίσκονται στη πλαστική περιοχή και μάλιστα η δεύτερη ιδιομορφή βρίσκεται πολύ ψηλά στο φάσμα και κοντά στη περιοχή φασματικής ενίσχυσης με τιμή επιτάχυνσης 7 φορές πολλαπλάσια της επιτάχυνσης της πρώτης ιδιομορφής, η οποία αντιστοιχεί σε ομαλή περιοχή του ελαστικού φάσματος. Οι δύο αυτοί παράγοντες δικαιολογούν το γεγονός ότι οι η απόκριση του φορέα γίνεται βάση της σύνθεσης των δύο ιδιομορφών. Ενώ

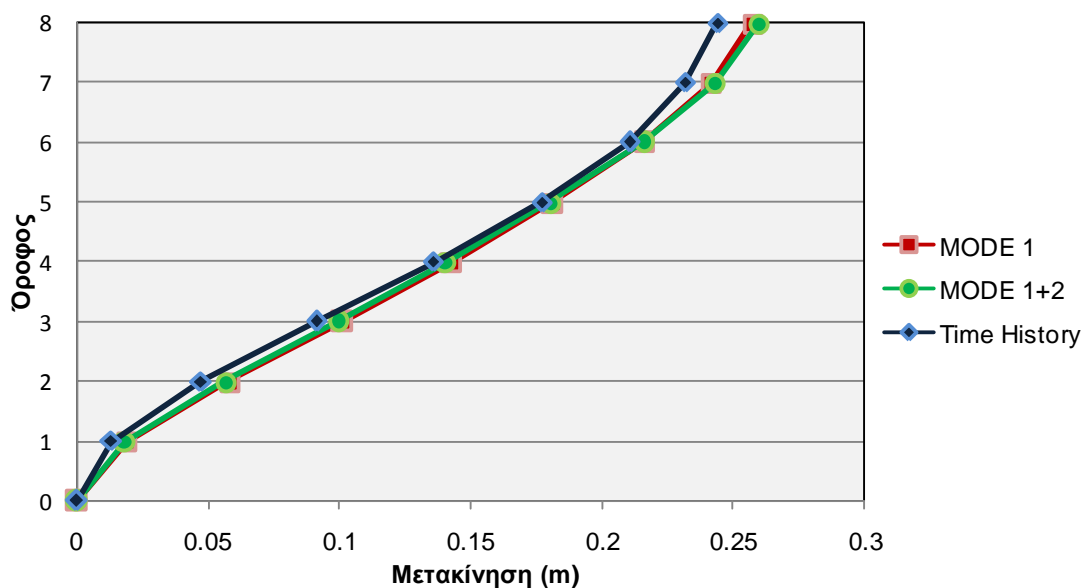
στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε και από το ελαστικό φάσμα μετακινήσεων, από όπου παρατηρούμε ότι η δεύτερη ιδιομορφή πλησιάζει θέση τοπικού μεγίστου και βρίσκεται στον ανοδικό κλάδο, σε αντίθεση με τη πρώτη ιδιομορφή που βρίσκεται επί του καθοδικού κλάδου του φάσματος, με μικρότερη τιμή μετακίνησης.

5.5.2 Coyote Lake, CA, USA – GA6-230

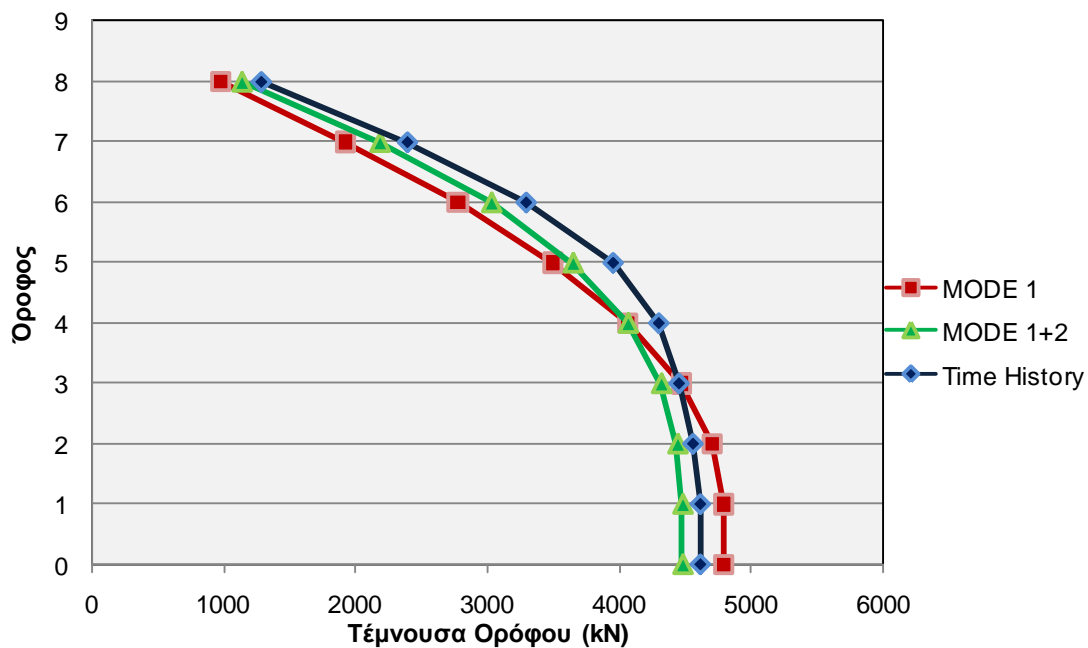
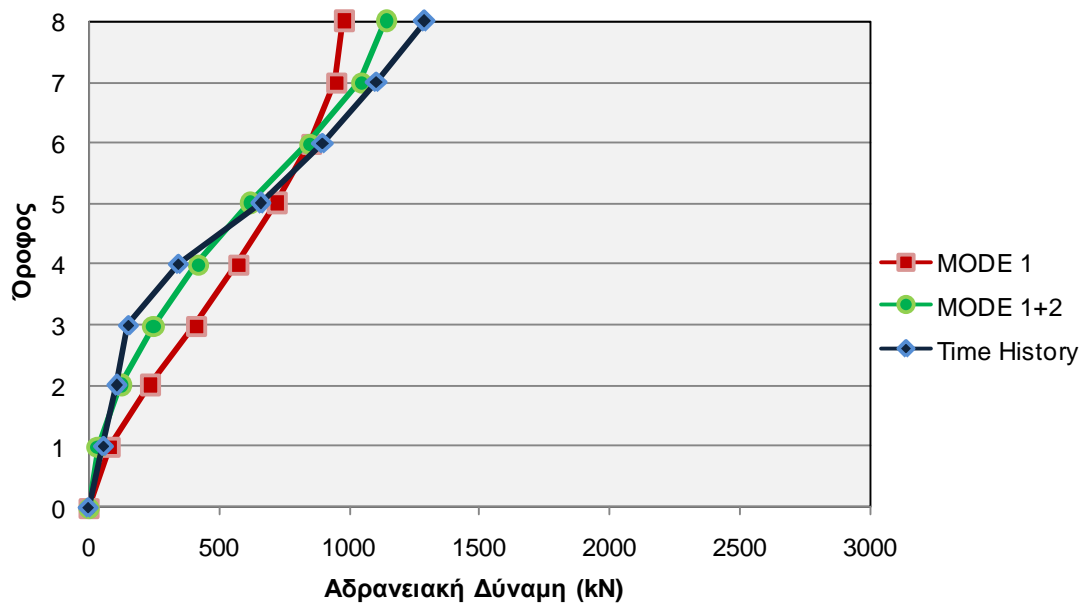
Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_{a^*} (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	488.4	2.677	19.44	0.257	182.445	241.25
2 ^η ιδιομορφή	319.7	0.313	-0.4866	0.0024	-82.35	40.31

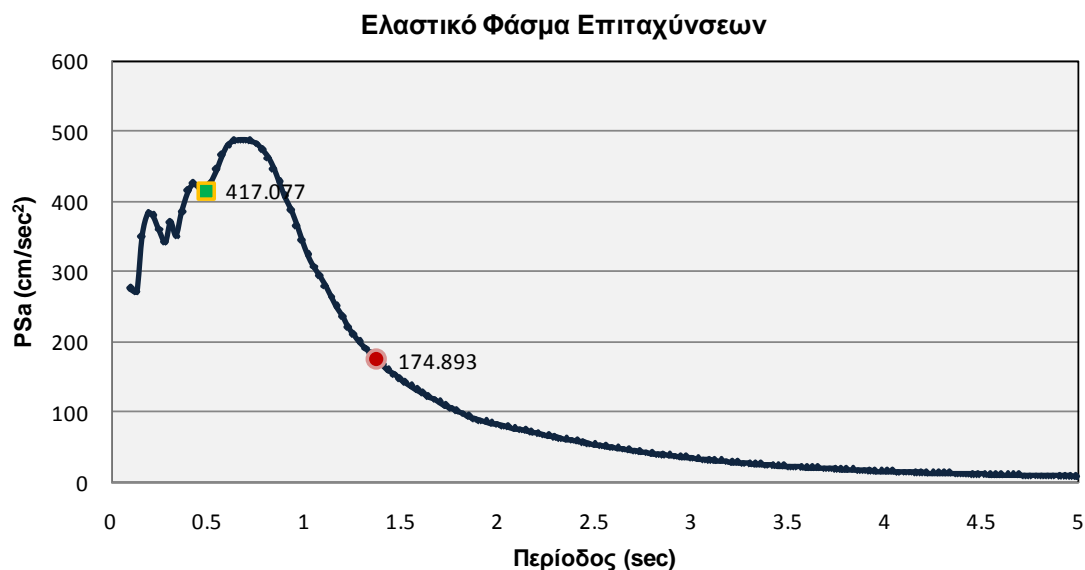
Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:



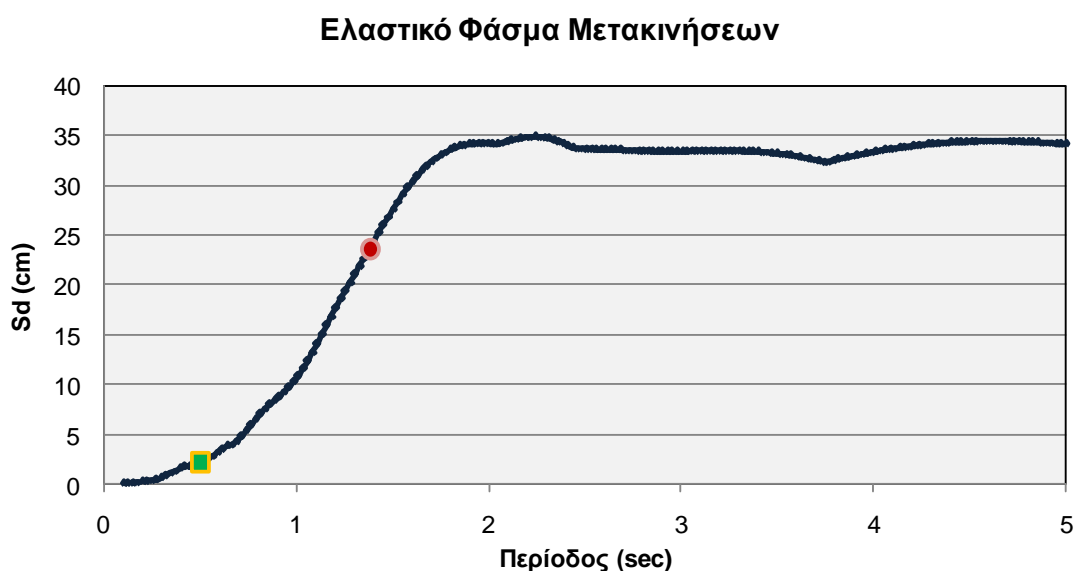
Σχήμα 5.10: Σύγκριση μετακινήσεων



Σχήμα 5.11: Σύγκριση αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων



Σχήμα 5.12: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων για τη καταγραφή GA6-230



Σχήμα 5.13: Ελαστικό Φάσμα μετακινήσεων της καταγραφής GA6-230

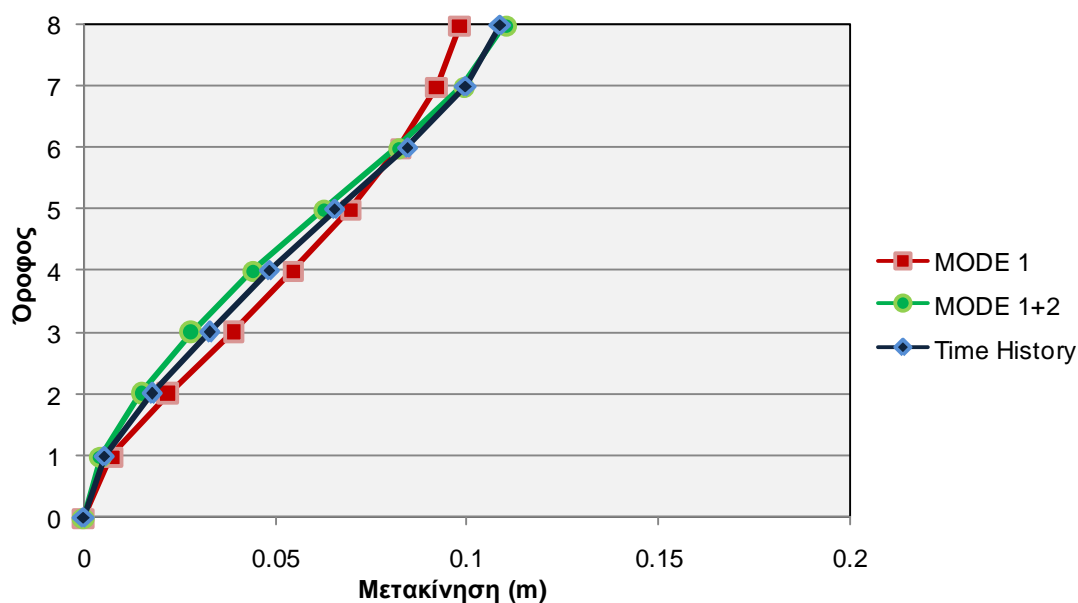
Όπως παρατηρούμε από το φάσμα η πρώτη ιδιομορφή μπαίνει στη πλαστική περιοχή, αλλά αντιστοιχεί στον φθίνον κλάδο του φάσματος και έχει τιμή επιτάχυνσης τρεις φορές μικρότερη της επιτάχυνσης που αντιστοιχεί στη δεύτερη ιδιομορφή. Η δεύτερη ιδιομορφή, γραφικά αποτυπώνεται εντός της περιοχής φασματικής ενίσχυσης και μάλιστα στον ανοδικό κλάδο, γεγονός που αιτιολογεί τη μεγάλη συμβολή της δεύτερης ιδιομορφής στην απόκριση της κατασκευής και την σύγκλιση των αποτελεσμάτων της ιδιομορφικής ανελαστικής ανάλυσης με τα αποτελέσματα από την ανάλυση χρονοϊστορίας (όπως επιβεβαιώνεται από τα σχήματα 5.10 και 5.11).

5.5.3 Coyote Lake,CA,USA – SMCC-250

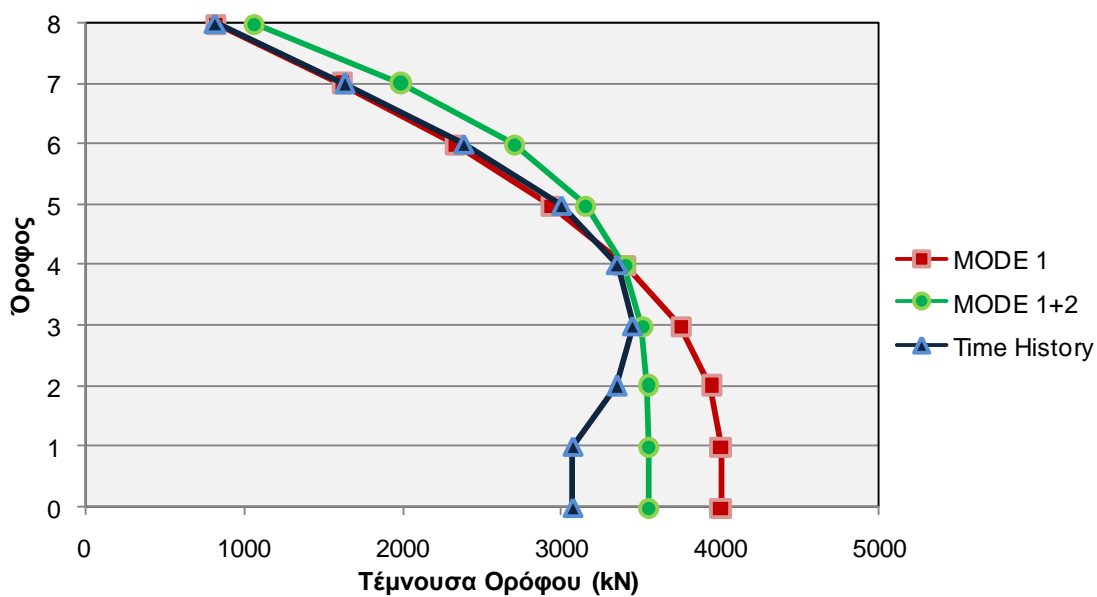
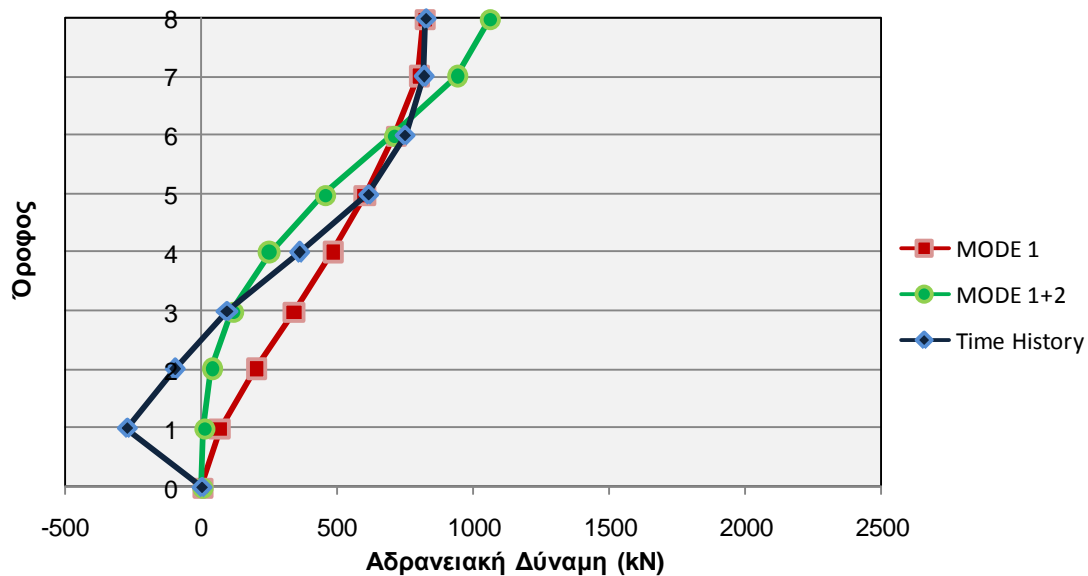
Οφείλουμε να αναφέρουμε ότι για να εξασφαλίσουμε το ότι η πρώτη ιδιομορφή θα εισέλθει στη πλαστική περιοχή χρησιμοποιήσαμε στις αναλύσεις μας μεγεθυντικό συντελεστή ίσο με 2. Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα.

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_a^* (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	185.2	1.015	7.43	0.0982	152.628	201.82
2 ^η ιδιομορφή	1308	1.281	-2.38	0.01166	-121.419	59.43

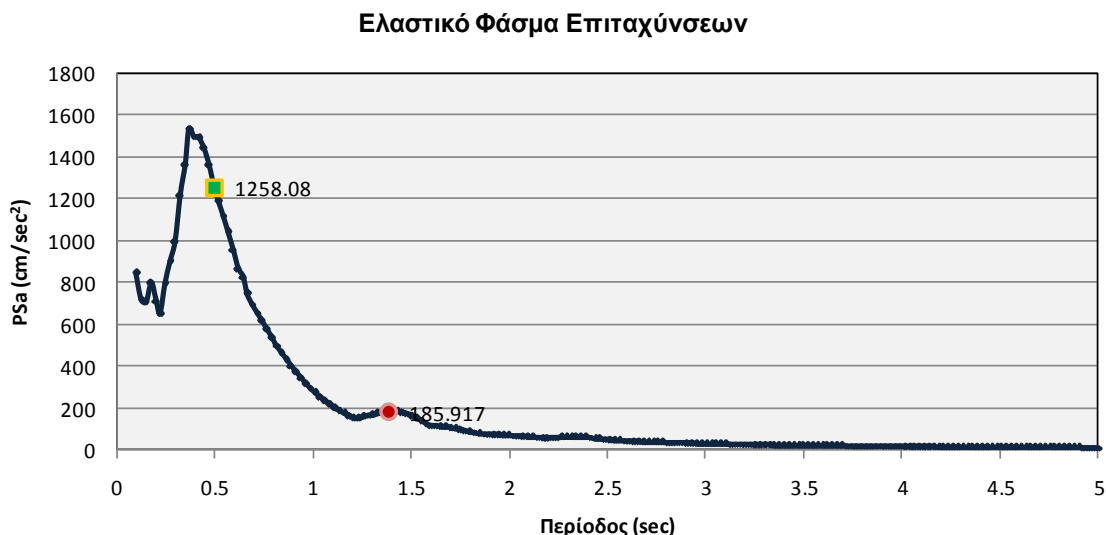
Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:



Σχήμα 5.14: Σύγκριση μετακινήσεων



Σχήμα 5.15: Σύγκριση αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων



Σχήμα 5.16: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων για την καταγραφή SMCC-250



Σχήμα 5.17: Ελαστικό Φάσμα Μετακινήσεων για την καταγραφή SMCC-250

Όπως παρατηρούμε και οι δύο καταγραφές εισέρχονται στη πλαστική περιοχή, με την πρώτη ιδιομορφή να βρίσκεται στη περιοχή του φάσματος όπου οι επιταχύνσεις φθίνουν προς το μηδέν, ενώ η δεύτερη ιδιομορφή βρίσκεται εντός της περιοχής φασματικής ενίσχυσης με τιμή επιτάχυνσης 7 φορές μεγαλύτερη από αυτής της πρώτης ιδιομορφής. Επομένως ίσως και αυτός να είναι ο λόγος για τον οποίο έχουμε μεγάλη συμβολή της πρώτης ιδιομορφής στη απόκριση της κατασκευής. Από το ελαστικό φάσμα μετακινήσεων, δεν μπορούμε να εξάγουμε κάποιο χρήσιμο

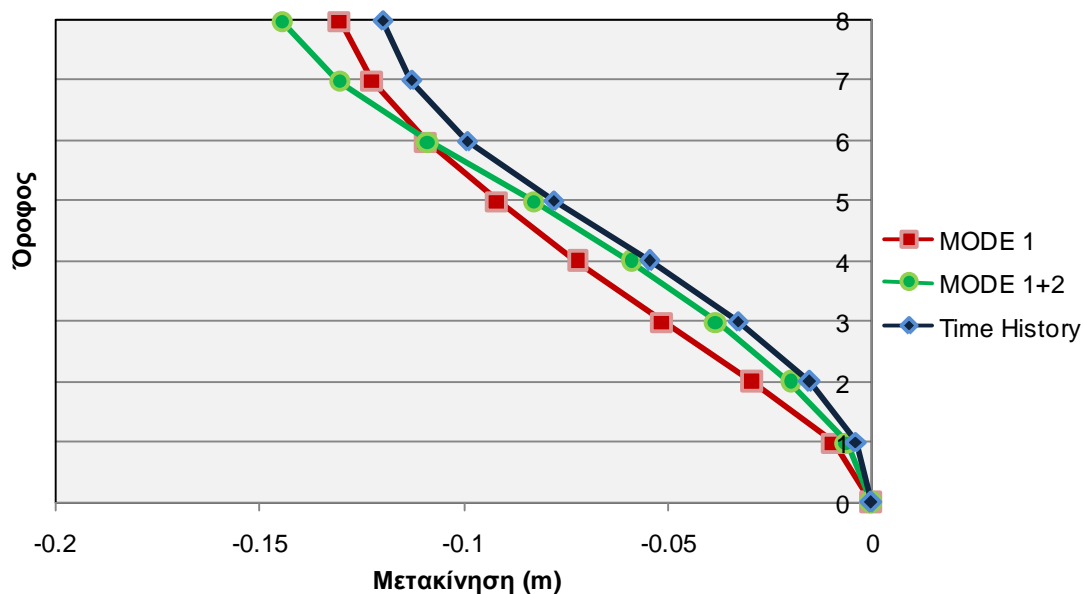
συμπέρασμα, καθώς και οι δύο ιδιομορφές αποτυπώνονται σε κοντινές τιμές μετακίνησης και σε ανοδικούς κλάδους του φάσματος και οι δύο.

5.5.4 Duzce, Turkey – BOL-090

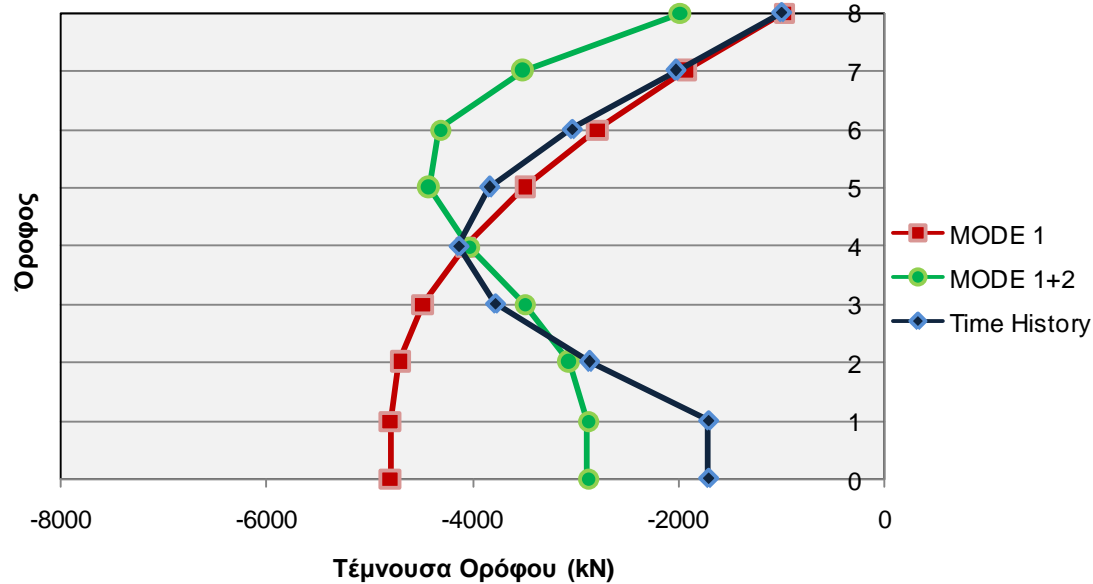
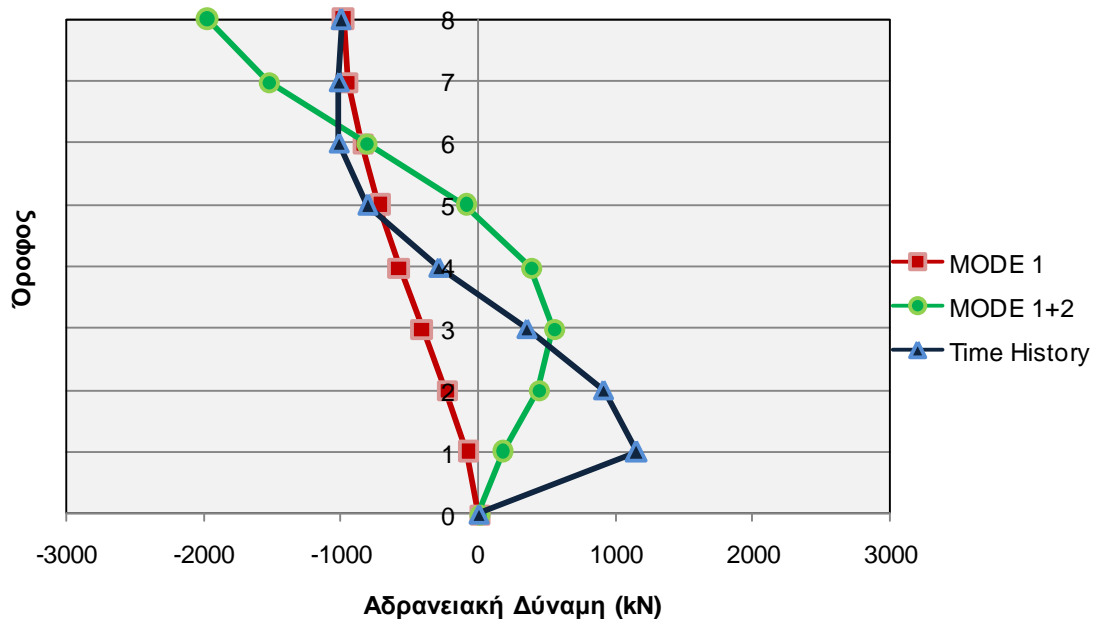
Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα.

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_{a^*} (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	241.8	1.325	-9.86	-0.1304	-182.508	-241.338
2 ^η ιδιομορφή	665.2	0.651	2.96	-0.0145	501.665	-245.565

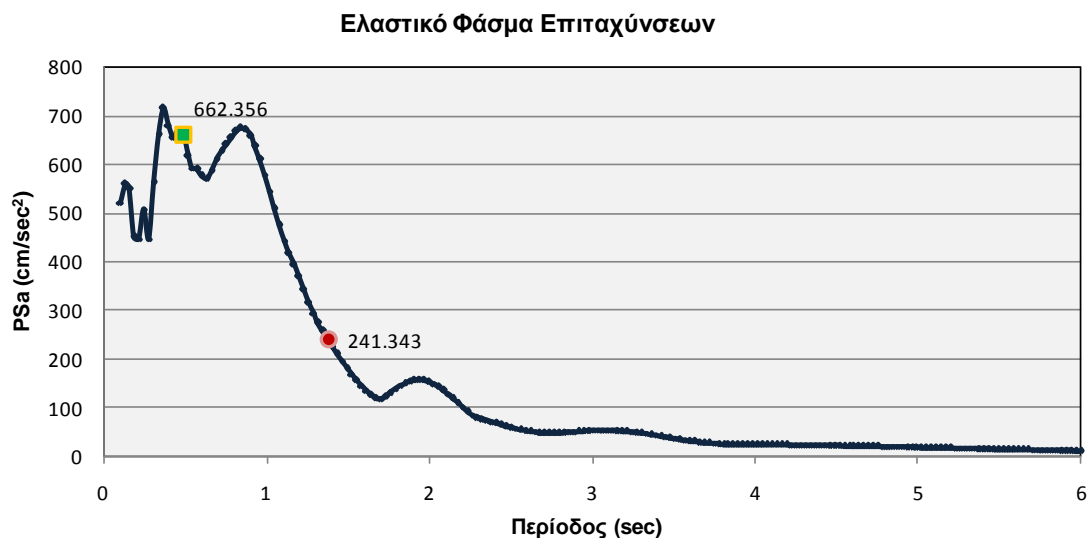
Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:



Σχήμα 5.18: Σύγκριση μετακινήσεων



Σχήμα 5.19: Σύγκριση αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων



Σχήμα 5.20: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων για την καταγραφή BOL-090



Σχήμα 5.21: Ελαστικό Φάσμα Μετακινήσεων για την καταγραφή BOL-090

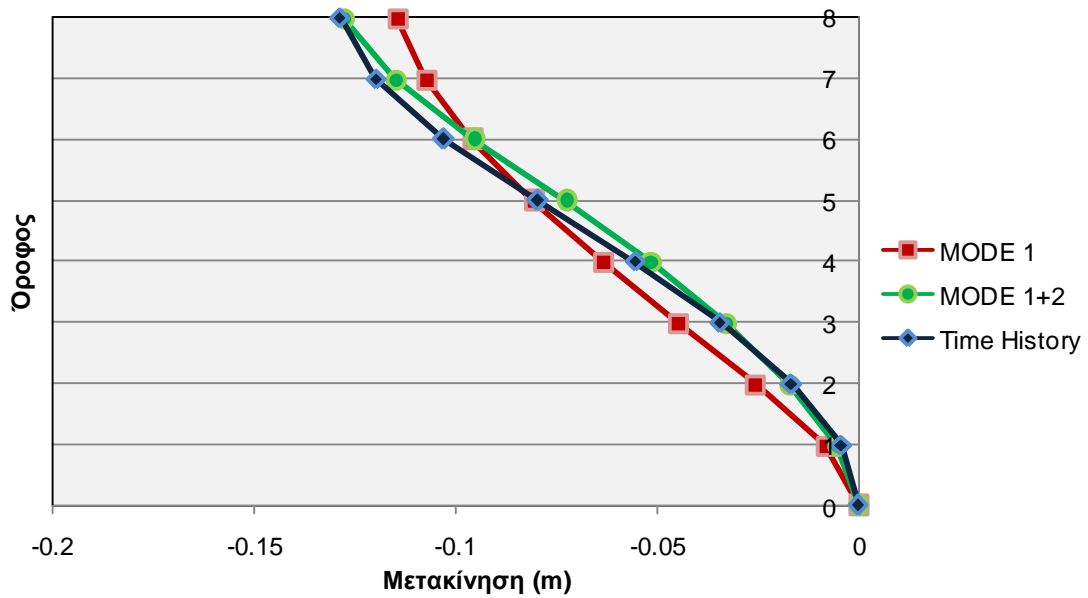
Όπως βλέπουμε από το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων η δεύτερη ιδιομορφή βρίσκεται εντός της περιοχής φασματικής ενίσχυσης και συγκεκριμένα στη θέση ενός τοπικού μεγίστου. Επίσης παρατηρούμε ότι οι τιμές φασματικής επιτάχυνσης έχουν πολύ μεγάλη διαφορά, η τιμή για τη δεύτερη ιδιομορφή είναι τριπλάσια αυτής της πρώτης. Συνεπώς είναι αναμενόμενη η τόσο μεγάλη επιρροή της δεύτερης ιδιομορφής στην κατανομή των δυνάμεων. Επιπλέον η μέθοδος φαίνεται να προσεγγίζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την πραγματική απόκριση της κατασκευής, δηλαδή τη λύση που προκύπτει από το SAP.

5.5.5 Duzce, Turkey – DZC-180

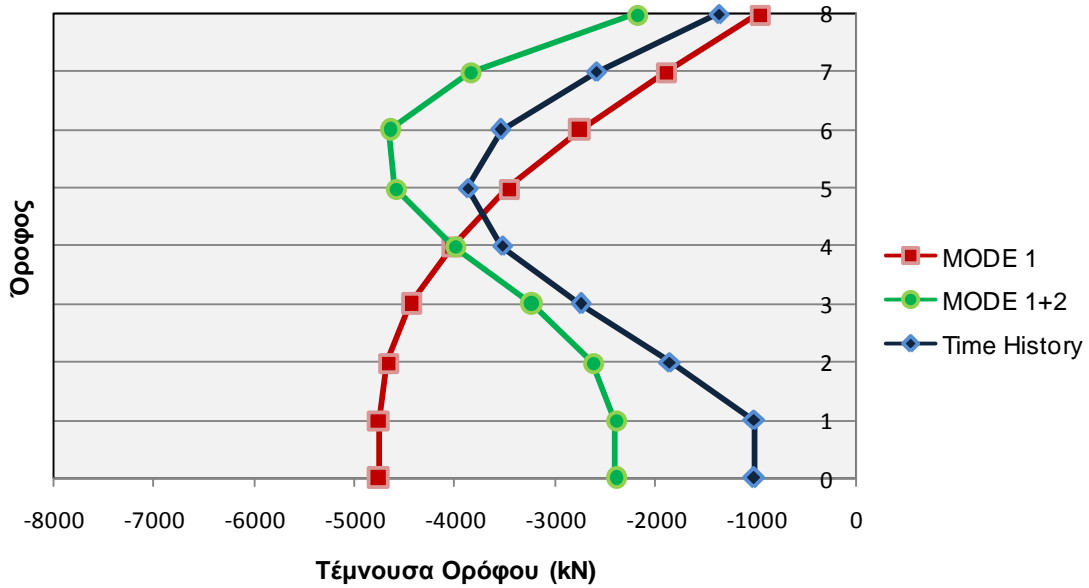
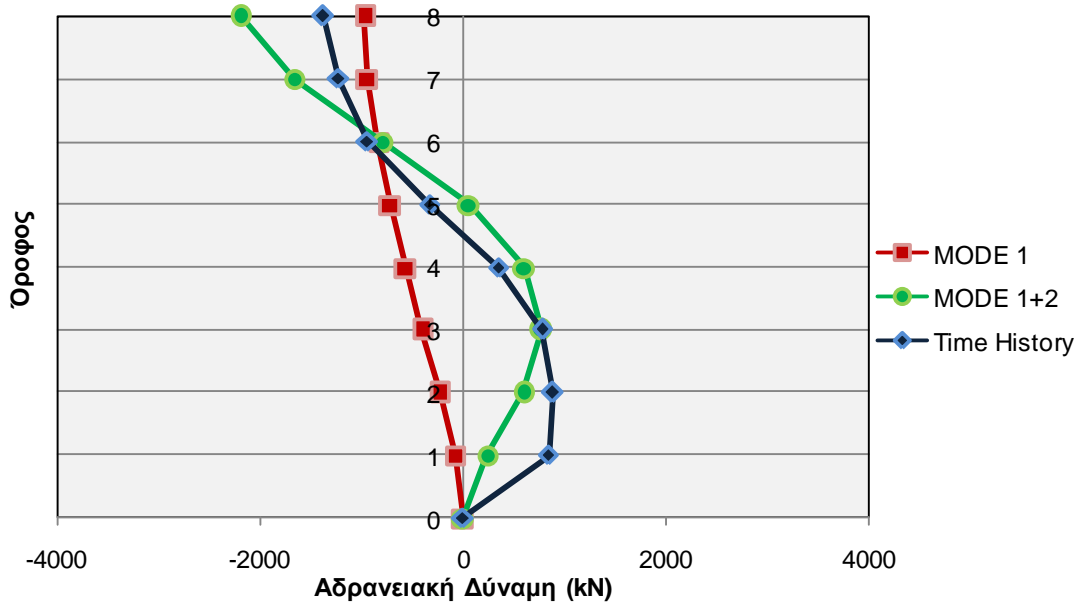
Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα.

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_a^* (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	246	1.348	-8.665	-0.1145	-181.191	-239.596
2 ^η ιδιομορφή	1163	1.139	2.737	-0.0133	617.287	-302.162

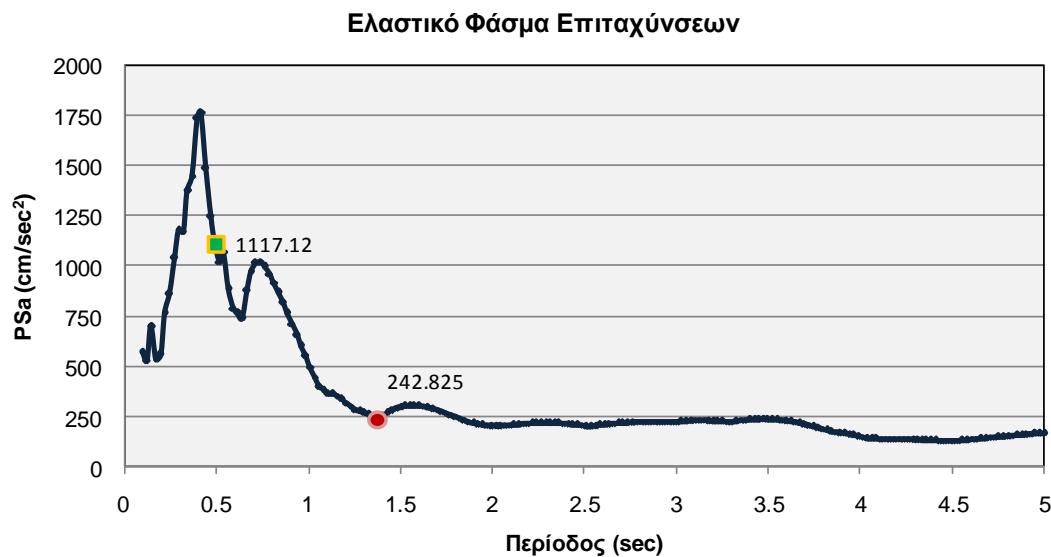
Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:



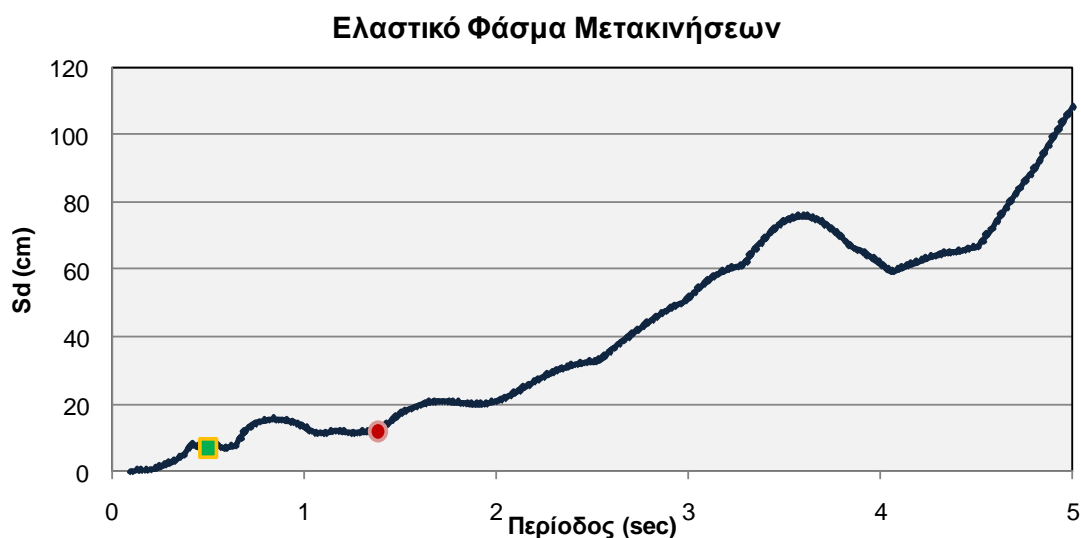
Σχήμα 5.21: Σύγκριση μετακινήσεων



Σχήμα 5.22: Σύγκριση αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων



Σχήμα 5.23: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων για τη καταγραφή DZC-180



Σχήμα 5.24: Ελαστικό Φάσμα Μετακινήσεων για τη καταγραφή DZC-180

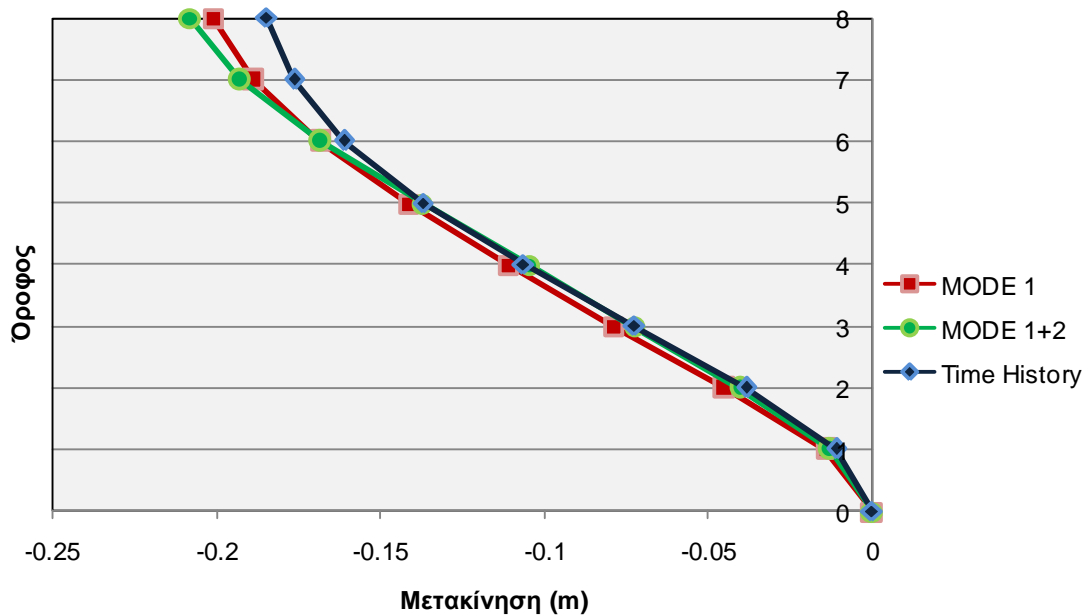
Όπως παρατηρούμε από το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων και οι δύο ιδιομορφές εισέρχονται εντός της πλαστικής περιοχής και μάλιστα η δεύτερη ιδιομορφή αντιστοιχεί σε τιμή φασματικής επιτάχυνσης τέσσερις φορές μεγαλύτερη από αυτή της πρώτης ιδιομορφής. Επιπλέον η δεύτερη ιδιομορφή βρίσκεται εντός της περιοχής φασματικής ενίσχυσης ενώ η πρώτη ιδιομορφή αντιστοιχεί στον ομαλό κλάδο του φάσματος. Με βάση τα δύο αυτά δεδομένα είναι λογικό η κατανομή των δυνάμεων να επηρεάζεται από τη σύνθεση των δύο ιδιομορφών. Από το ελαστικό φάσμα μετακίνησης, δεν εξάγουμε κάποιο ουσιαστικό συμπέρασμα, καθώς και οι δύο ιδιομορφές αντιστοιχούν σε πολύ μικρές τιμές μετακίνησης.

5.5.6 Hanshin (kobe), Japan – TAK-000

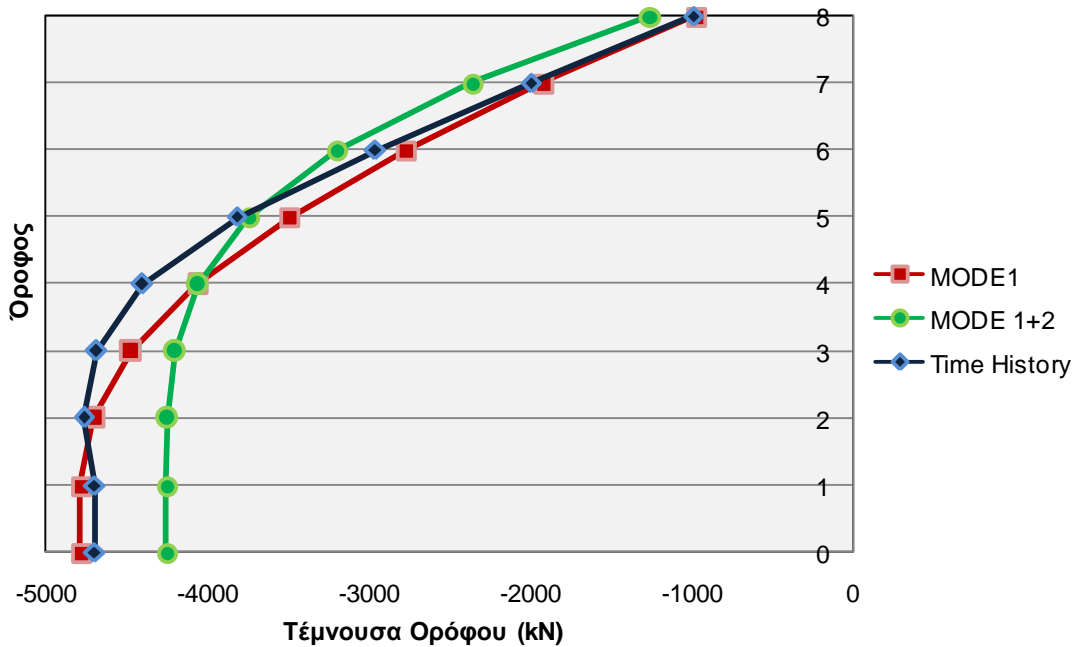
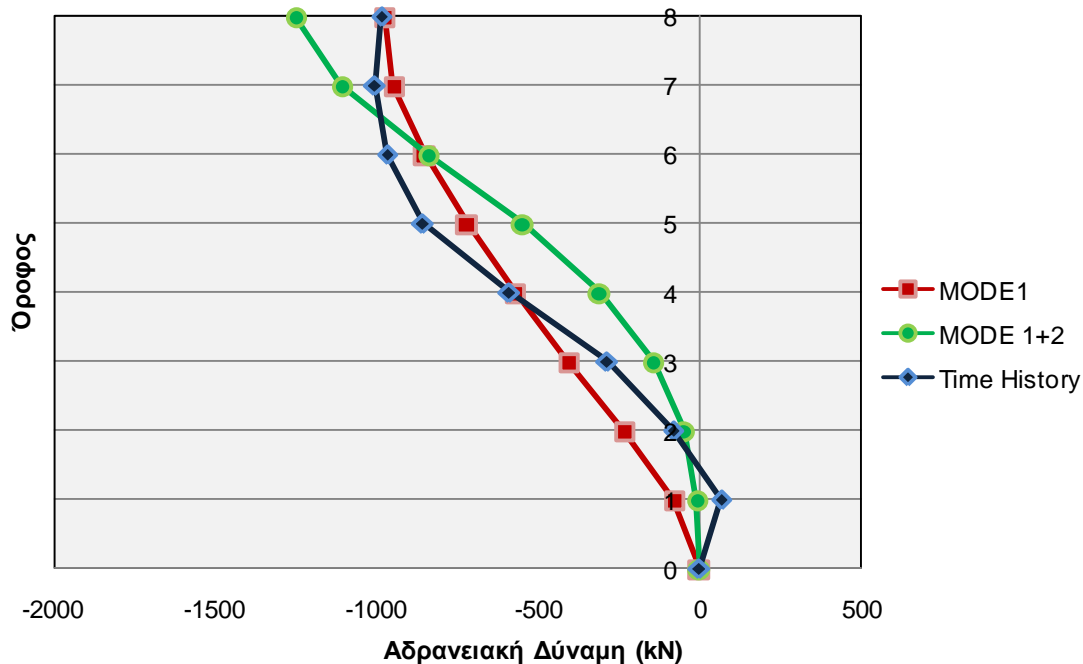
Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα.

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_a^* (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	431.9	2.37	-15.228	-0.2014	-182.246	-240.991
2 ^η ιδιομορφή	410.2	0.4	1.4252	-0.0069	138.876	-67.979

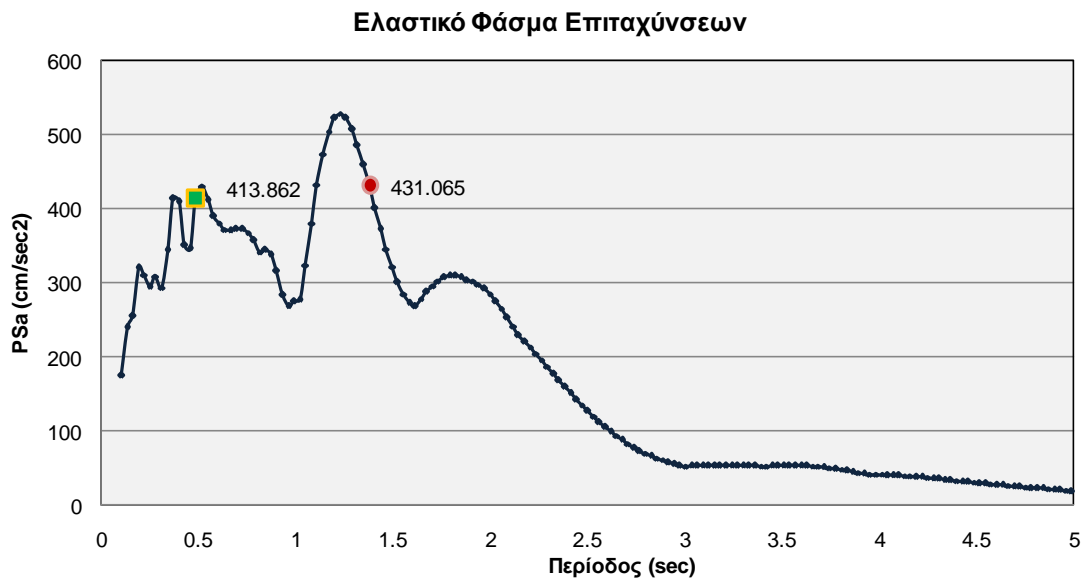
Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:



Σχήμα 5.25: Σύγκριση μετακινήσεων



Σχήμα 5.26: Σύγκριση αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων



Σχήμα 5.27: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων για τη καταγραφή ΤΑΚ-000



Σχήμα 5.28: Ελαστικό φάσμα μετακινήσεων για τη καταγραφή ΤΑΚ-000

Στην περίπτωση αυτής της καταγραφής και οι δύο ιδιομορφές, με βάση το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων βρίσκονται εντός της περιοχής φασματικής ενίσχυσης και μάλιστα κοντά σε θέσεις τοπικών μεγίστων. Οι τιμές των φασματικών επιταχύνσεων είναι συγκρίσιμα κοντά, ενώ η πρώτη ιδιομορφή εισέρχεται στη πλαστική περιοχή σε αντίθεση με τη δεύτερη ιδιομορφή που παραμένει στη ελαστική περιοχή έχοντας μικρή τιμή συντελεστή διαρροής. Οι παράγοντες αυτοί δικαιολογούν το γεγονός ότι η απόκριση της κατασκευής συγκλίνει πιο πολύ προς την πρώτη ιδιομορφή και όχι τόσο ως προς της σύνθεση των δύο. Στο συμπέρασμα αυτό καταλήγουμε και από το

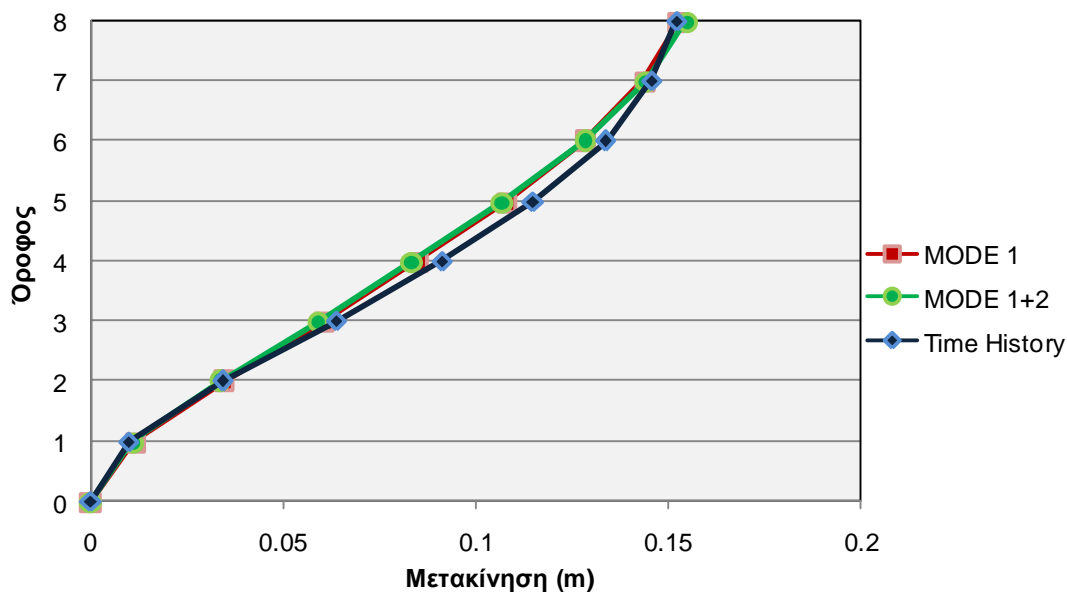
ελαστικό φάσμα μετακινήσεων, όπως παρατηρούμε η πρώτη ιδιομορφή αντιστοιχεί σε θέση τοπικού μεγίστου και αυτό δικαιολογεί και τη μεγαλύτερη επιρροή της πρώτης ιδιομορφής στην απόκριση της κατασκευής.

5.5.7 Hanshin (kobe), Japan – TAK-090

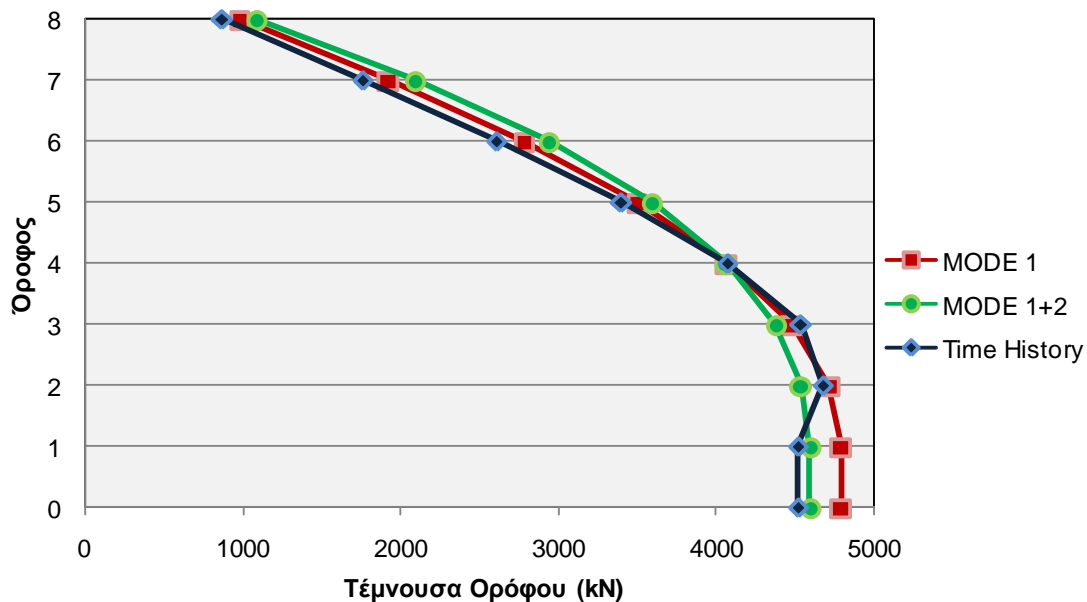
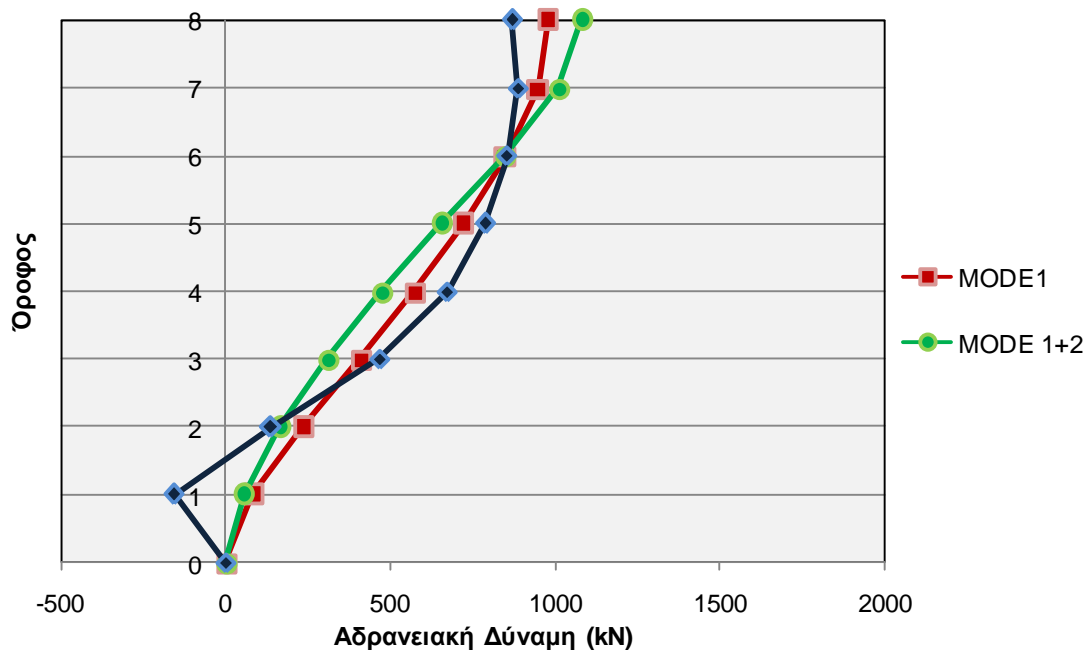
Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα.

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_a^* (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	363.2	1.99	11.87	0.1569	182.498	241.32
2 ^η ιδιομορφή	288.2	0.282	-0.377	0.00184	-63.81	31.24

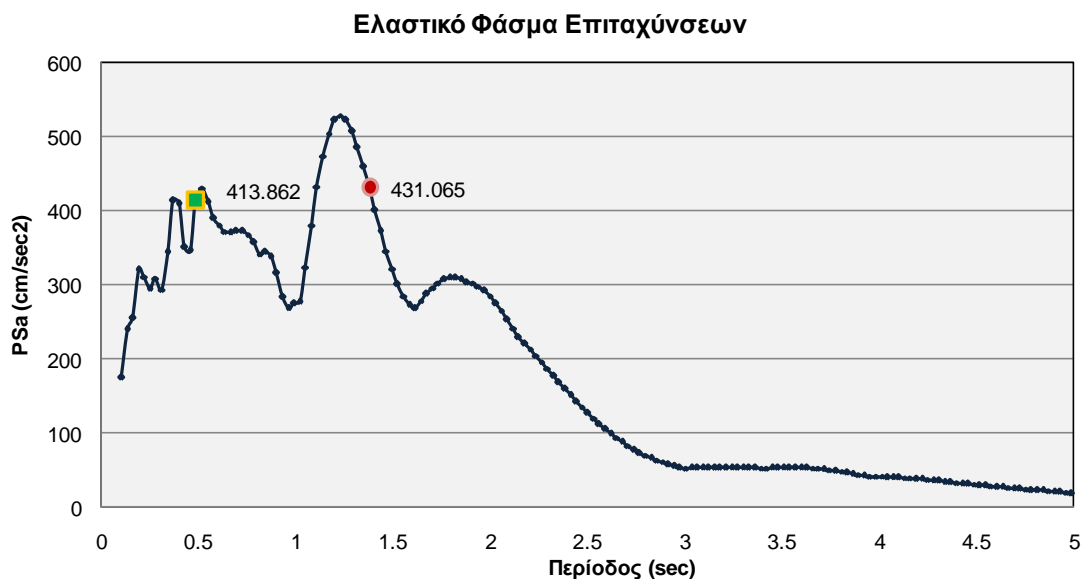
Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:



Σχήμα 5.24: Σύγκριση μετακινήσεων



Σχήμα 5.29: Σύγκριση αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων



Σχήμα 5.30: Ελαστικό Φάσμα επιταχύνσεων για τη καταγραφή TAK-090



Σχήμα 5.31: Ελαστικό Φάσμα μετακινήσεων για τη καταγραφή TAK-090

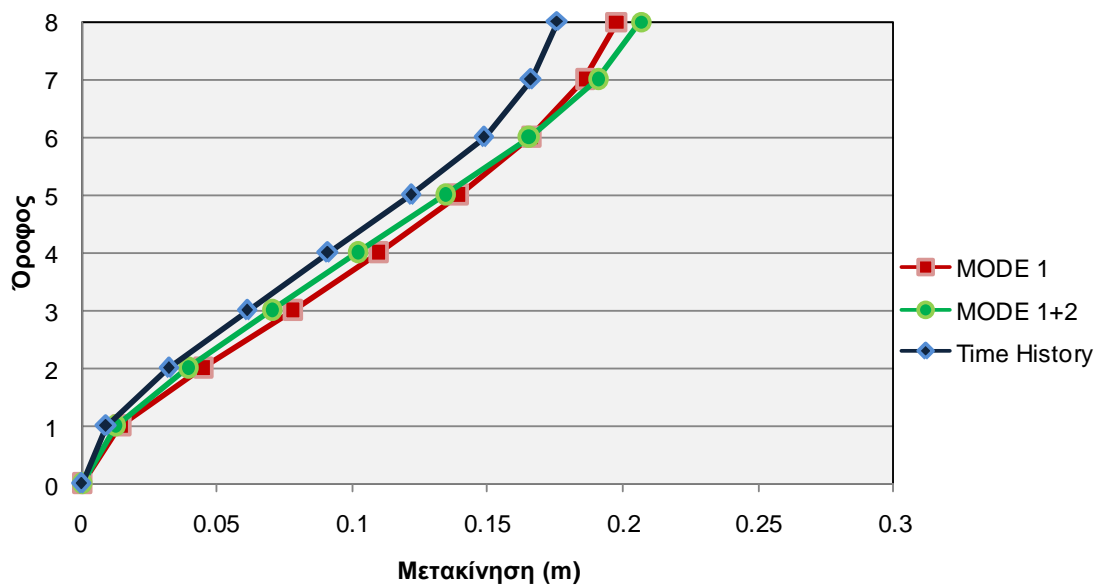
Στην συγκεκριμένη καταγραφή TAK-090, η πρώτη ιδιομορφή εισέρχεται στη πλαστική περιοχή σε αντίθεση με τη δεύτερη που παραμένει στη ελαστική περιοχή. Και οι δύο ιδιομορφές έχουν κοντινές τιμές φασματική επιτάχυνσης, όπως προκύπτει από το σχήμα 5.30, αλλά από το ελαστικό φάσμα μετακινήσεων (σχήμα 5.31) βλέπουμε ότι η μετακίνηση του φορέα επηρεάζεται κυρίως από τη πρώτη ιδιομορφή καθώς ουσιαστικά η δεύτερη είναι μηδενική. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε στηριζόμενοι και στα σχήματα 5.28 και 5.29, που παρατηρούμε ότι η απόκριση της κατασκευής με βάση την ανάλυση χρονοϊστορίας, συγκλίνει πιο πολύ προς τη πρώτη ιδιομορφή.

5.5.8 Imperial Valley CA, USA, 1979 – E03-140

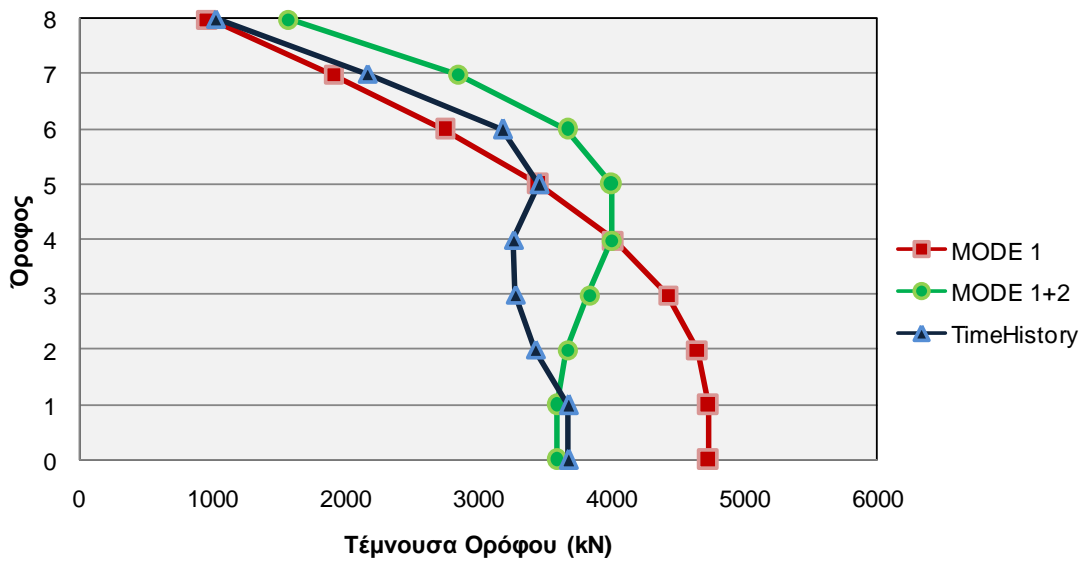
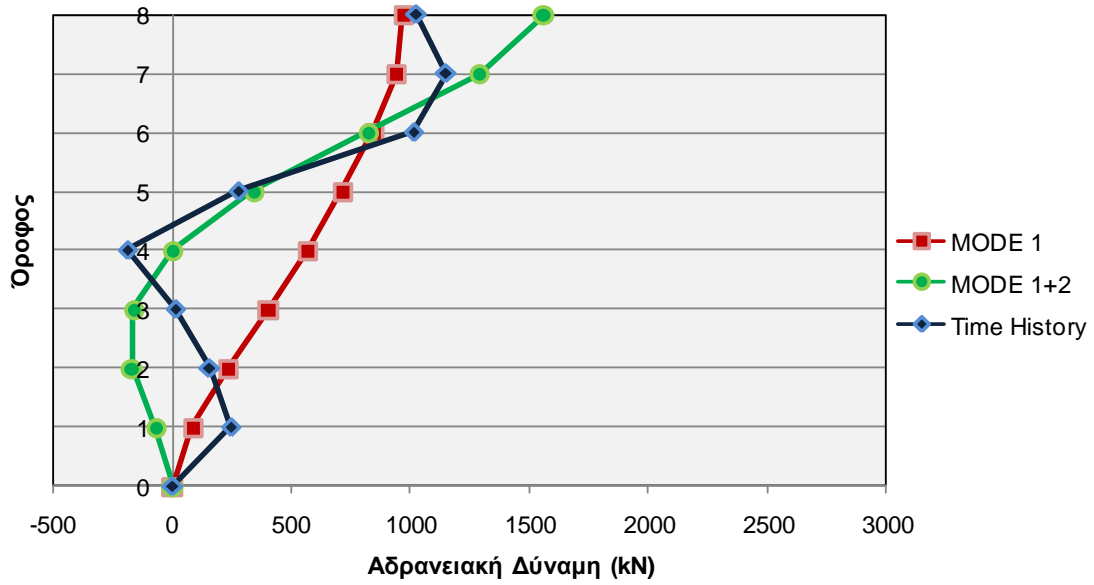
Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα.

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_a^* (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	291.7	1.599	14.94	0.1976	180.07	238.11
2 ^η ιδιομορφή	474.1	0.466	-1.77	0.0087	-299.479	146.59

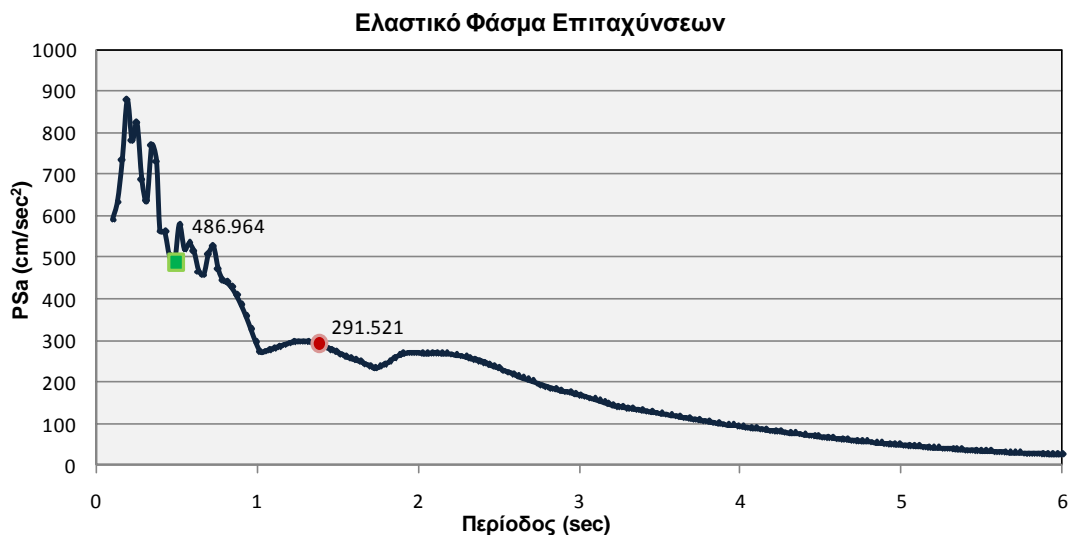
Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:



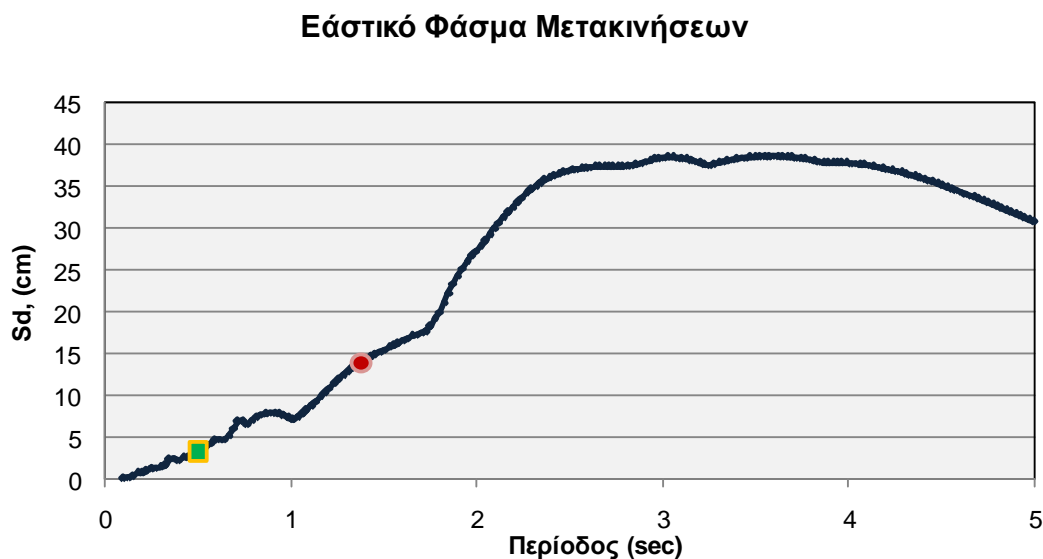
Σχήμα 5.32: Σύγκριση μετακινήσεων



Σχήμα 5.33: Σύγκριση αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων



Σχήμα 5.34: Ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων για τη καταγραφή E03-140



Σχήμα 5.35: Ελαστικό φάσμα μετακινήσεων για τη καταγραφή E03-140

Για τη καταγραφή E03-140, η πρώτη ιδιομορφή εισέρχεται στη πλαστική περιοχή και η δεύτερη διατηρείται ελαστικά. Από το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων (σχήμα 5.34) παρατηρούμε ότι η δεύτερη ιδιομορφή, ανήκει εντός της περιοχής φασματικής ενίσχυσης με τιμή επιτάχυνσης διπλάσια αυτής της πρώτης ιδιομορφής, η οποία αποτυπώνεται στην ομαλή περιοχή του φάσματος. Από το ελαστικό φάσμα μετακινήσεων δεν μπορούμε να εξαγάγουμε κανένα χρήσιμο συμπέρασμα, καθώς και οι δύο ιδιομορφές ανήκουν στον ανοδικό κλάδο, με μικρή διαφορά στις τιμές φασματικής μετακίνησης. Παρόλα αυτά, από τα σχήματα 5.32 και 5.33 παρατηρούμε ότι η απόκριση του φορέα συγκλίνει πιο πολύ προς τη σύνθεση των δύο ιδιομορφών,

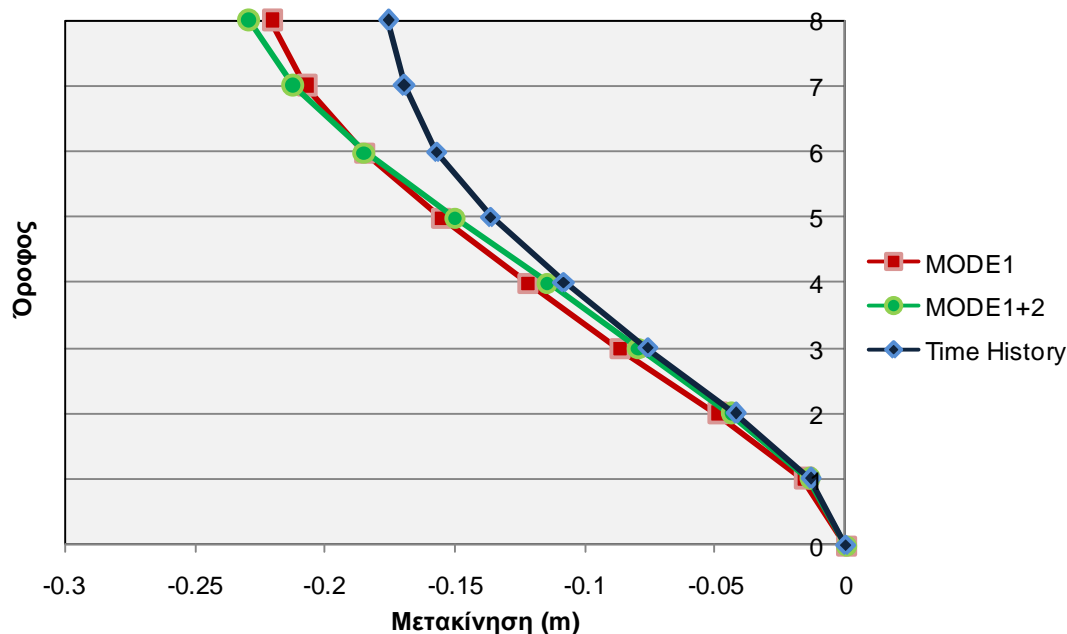
γεγονός που πιθανότατα στηρίζεται στο ότι η δεύτερη ιδιομορφή ανήκει εντός της φασματικής ενίσχυσης και σε θέση τοπικού ακρότατου (βλ. σχήμα 5.34).

5.5.9 Imperial Valley CA, USA, 1979 – E03-230

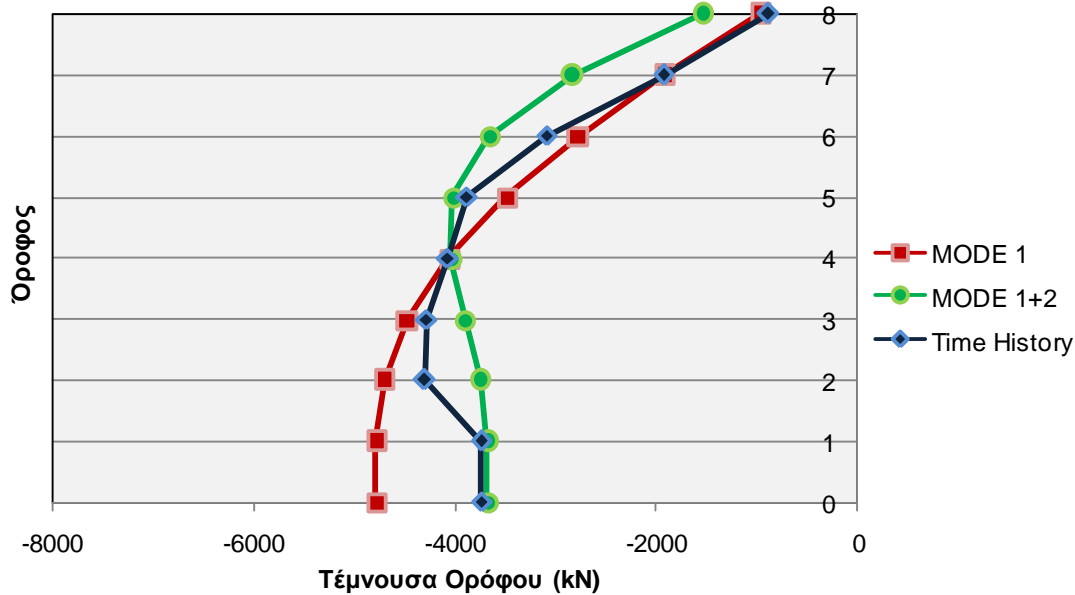
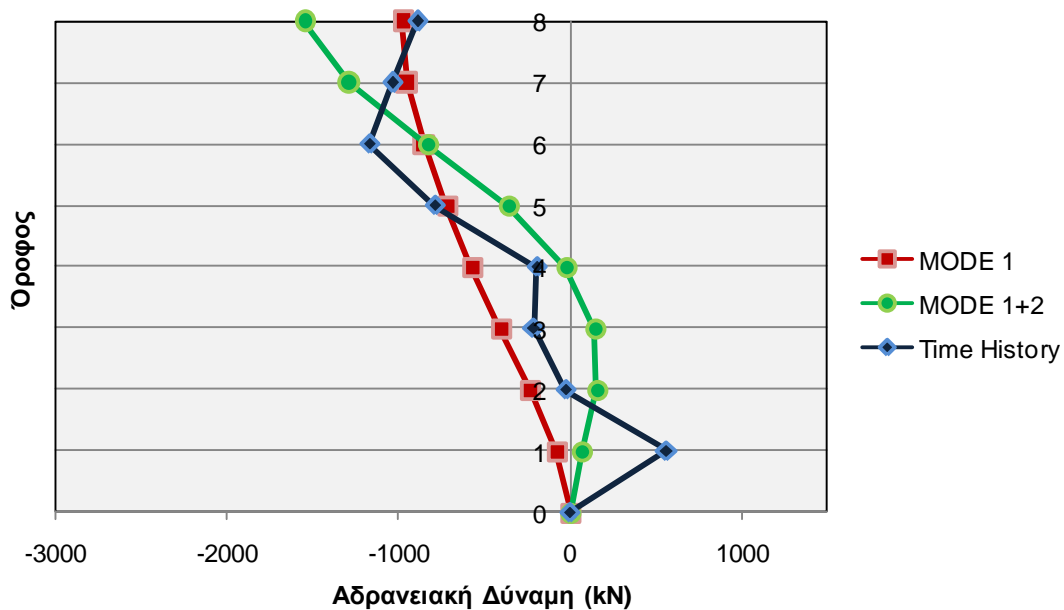
Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα. Για να εξασφαλίσουμε ότι η πρώτη, τουλάχιστον, ιδιομορφή θα εισέλθει στη πλαστική περιοχή χρησιμοποιήσαμε πολλαπλασιαστικό συντελεστή ίσο με 2.

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_a^* (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	307.4	1.685	-16.70	-0.2208	-182.413	-241.212
2 ^η ιδιομορφή	882.2	0.864	1.708	-0.0083	289.12	-141.524

Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:

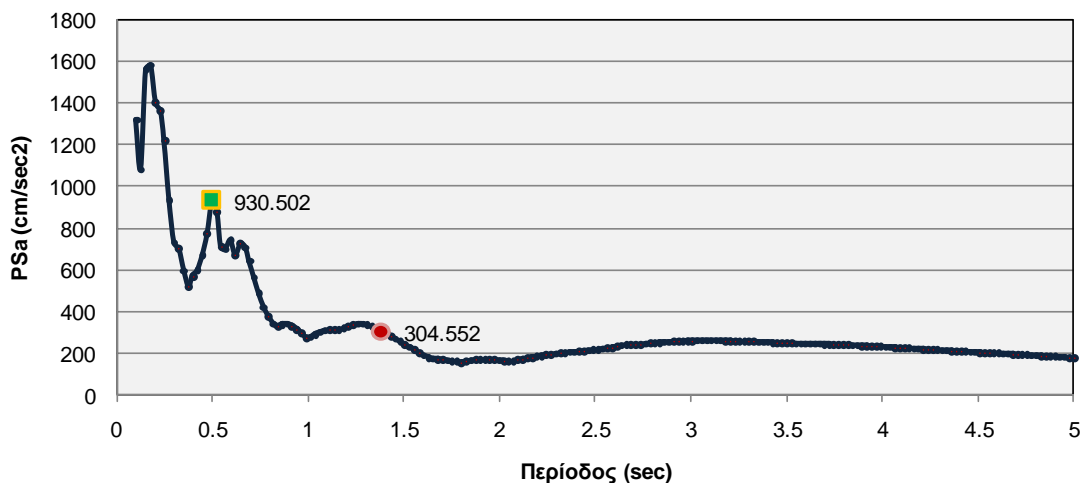


Σχήμα 5.36: Σύγκριση μετακινήσεων



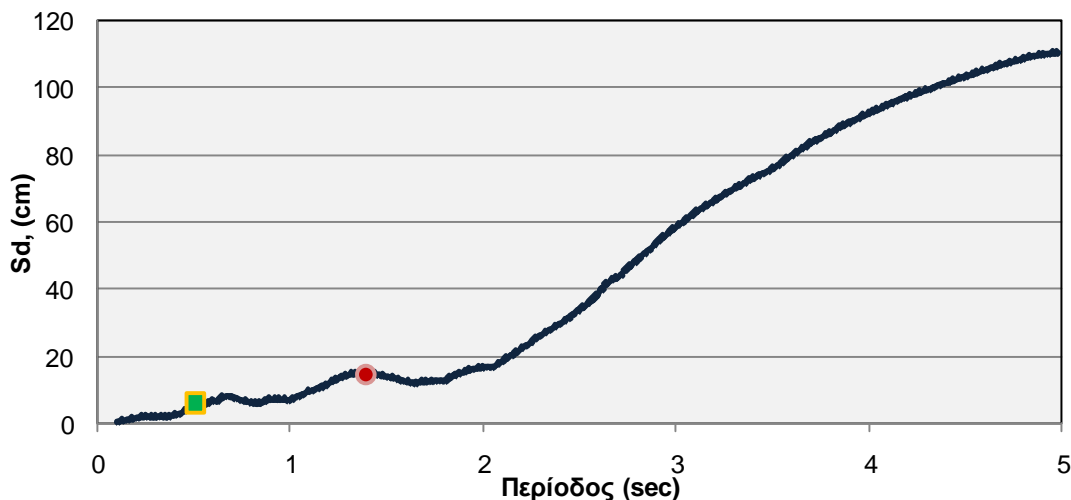
Σχήμα 5.37: Σύγκριση αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων

Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων



Σχήμα 5.38: Ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων για τη καταγραφή E03-230

Ελαστικό Φάσμα Μετακινήσεων



Σχήμα 5.39: Ελαστικό φάσμα μετακινήσεων για τη καταγραφή E03-230

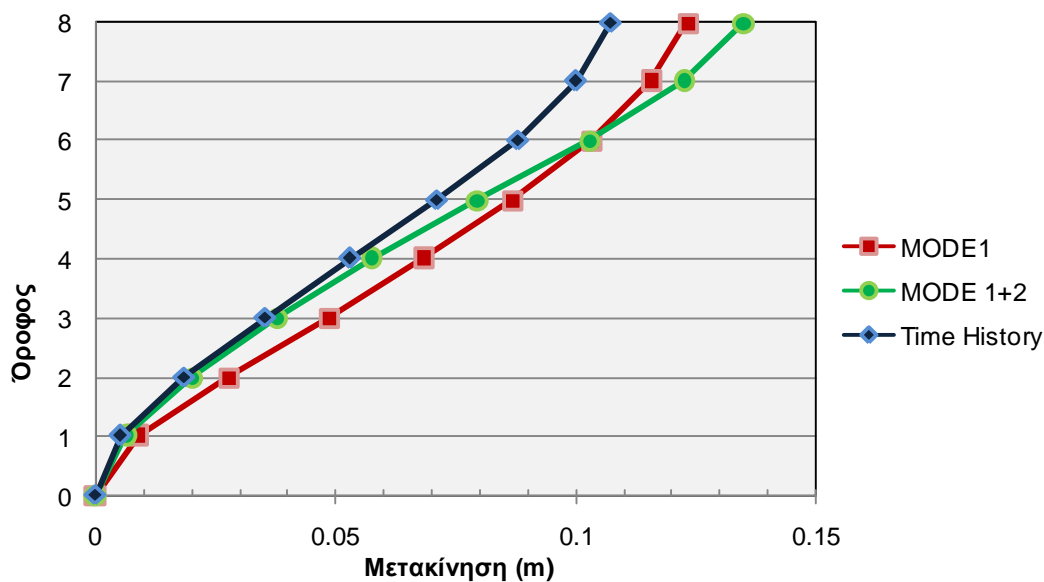
Από το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων παρατηρούμε ότι η δεύτερη ιδιομορφή αντιστοιχεί στο τμήμα φασματικής ενίσχυσης και μάλιστα σε θέση τοπικού μεγίστου, με τιμή επιτάχυνσης σχεδόν τριπλάσια από αυτής της πρώτης ιδιομορφής. Από το ελαστικό φάσμα μετακινήσεων, κατανοούμε ότι και οι δύο ιδιομορφές αντιστοιχούν σε ομαλή περιοχή με κοντινές τιμές φασματικής μετακίνησης. Από την απόκριση του φορέα, στα σχήματα 5.36 και 5.37 μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η απόκριση της κατασκευής συγκλίνει προς τη σύνθεση των δύο ιδιομορφών, αν και παρατηρούνται κάποιες αποκλίσεις που δεν μπορούν να δικαιολογηθούν με βάση τα ανωτέρα δεδομένα.

5.5.10 Imperial Valley CA, USA, 1979 – E04-140

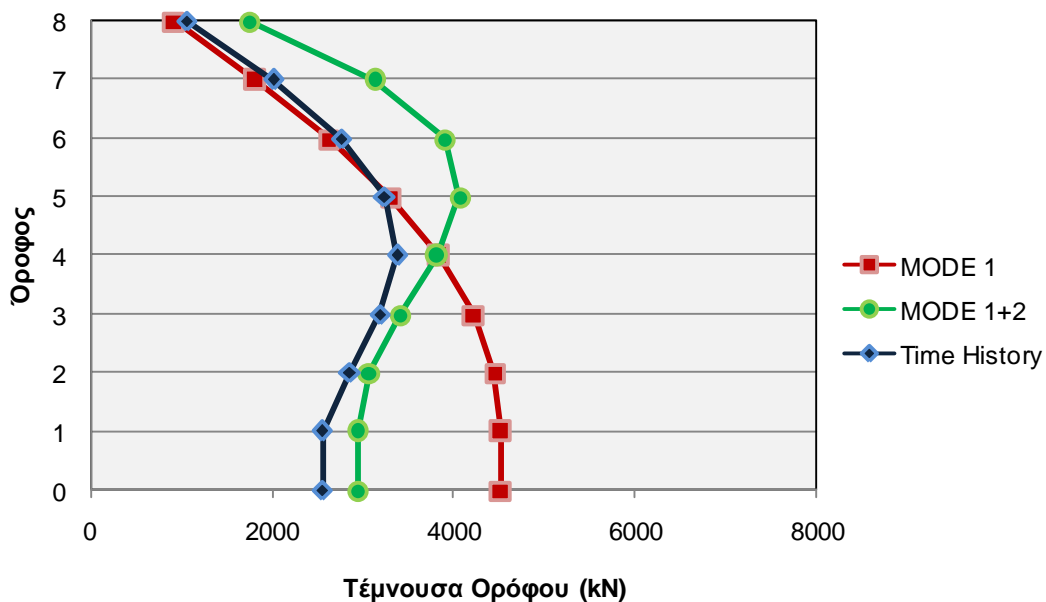
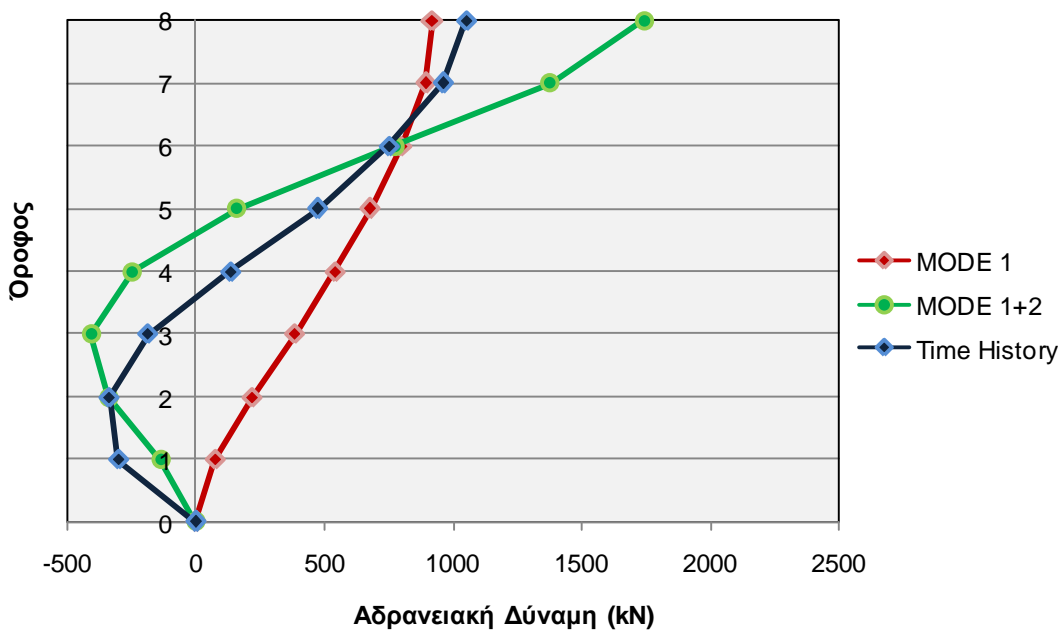
Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα.

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_a^* (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	200.2	1.097	9.311	0.1231	172.153	227.64
2 ^η ιδιομορφή	414.9	0.406	-2.451	0.012	-414.913	203.109

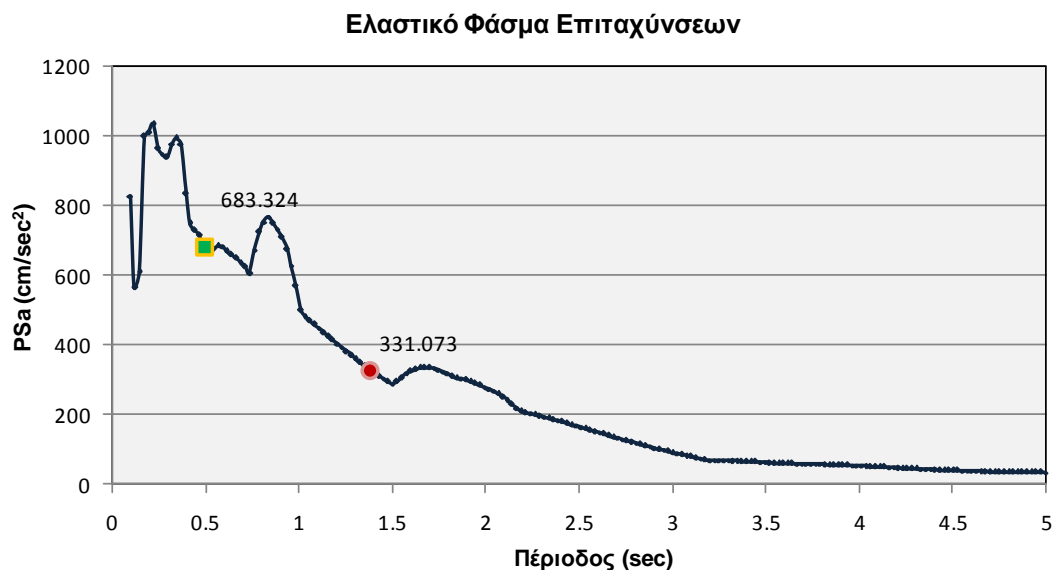
Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:



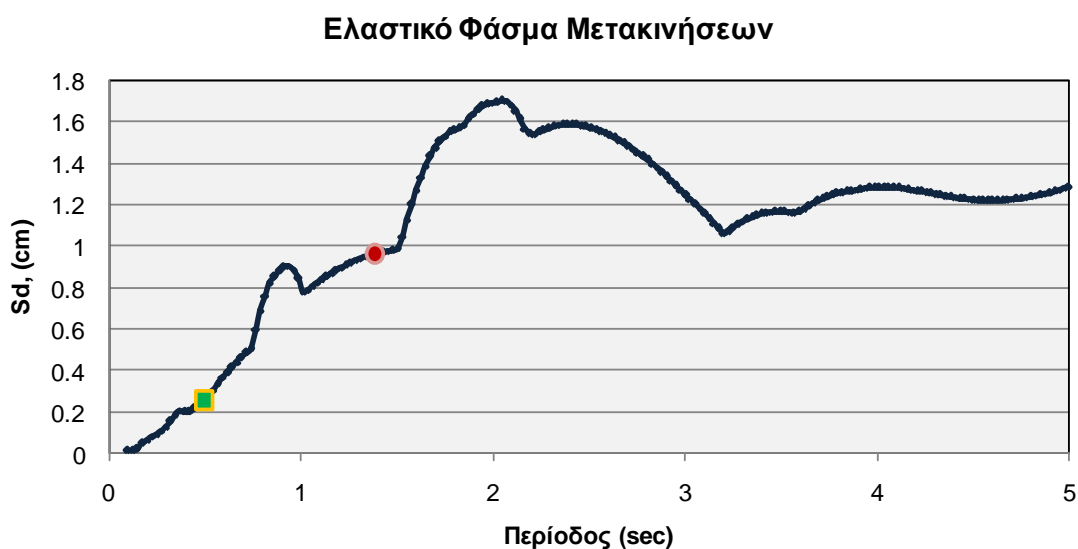
Σχήμα 5.40: Σύγκριση μετακινήσεων



Σχήμα 5.41: Σύγκριση αδρανηϊακών και τεμνουσών δυνάμεων



Σχήμα 5.42: Ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων για τη καταγραφή E04-140



Σχήμα 5.43: Ελαστικό φάσμα μετακινήσεων για τη καταγραφή E04-140

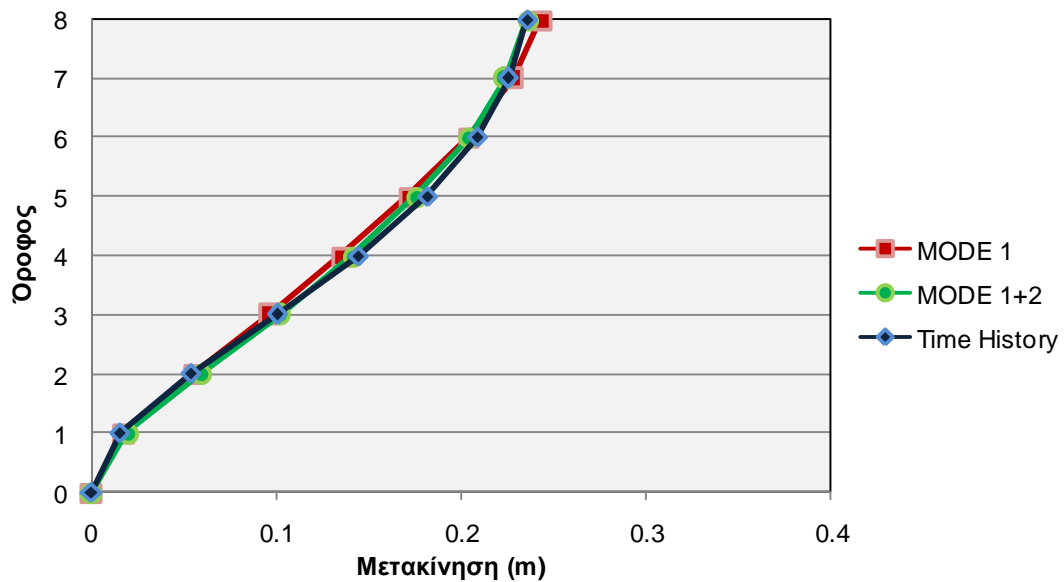
Από τα σχήματα 5.40 και 5.41, κατανοούμε ότι η απόκριση της κατασκευής ακολουθεί τη σύνθεση των δύο ιδιομορφών, γεγονός που στηρίζεται στο ότι η δεύτερη ιδιομορφή (από το σχήμα 5.42) φαίνεται ότι ανήκει εντός της περιοχής φασματικής ενίσχυσης με τιμή επιτάχυνσης διπλάσια από της πρώτης ιδιομορφής, ενώ η πρώτη ιδιομορφή ανήκει στη ομαλή περιοχή του φάσματος.

5.5.11 Imperial Valley CA, USA, 1979 – E04-230

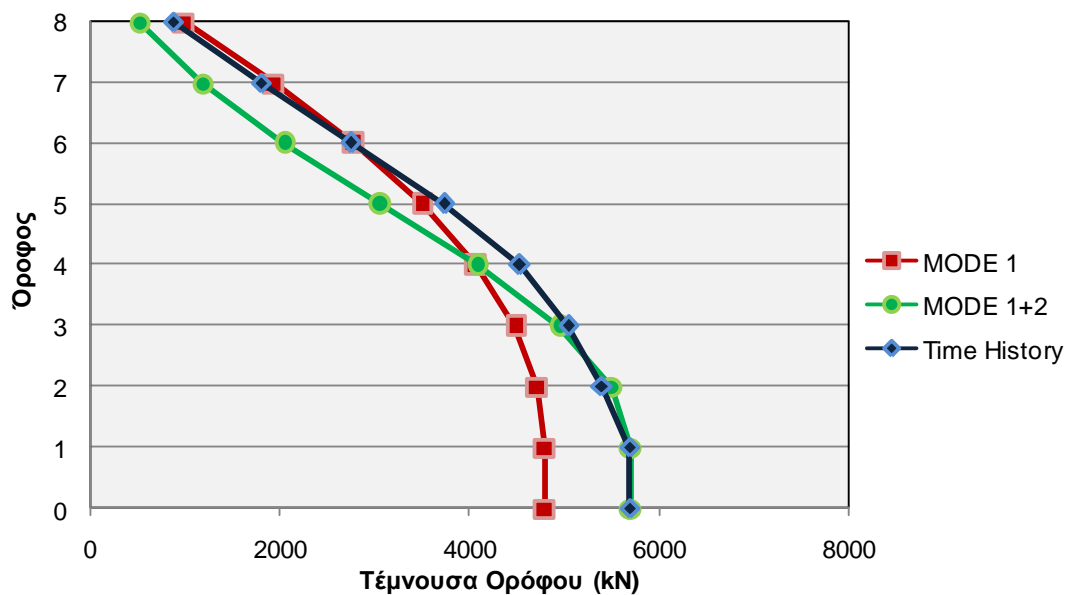
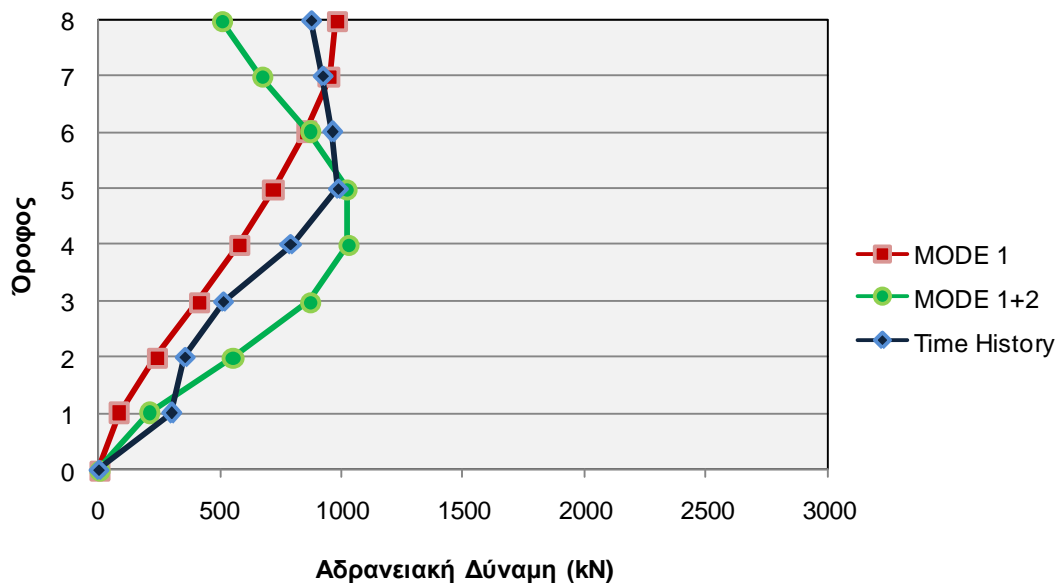
Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα.

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_a^* (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	348	1.907	18.34	0.2425	182.477	241.29
2 ^η ιδιομορφή	612.8	0.60	1.41	-0.0069	238.761	-116.874

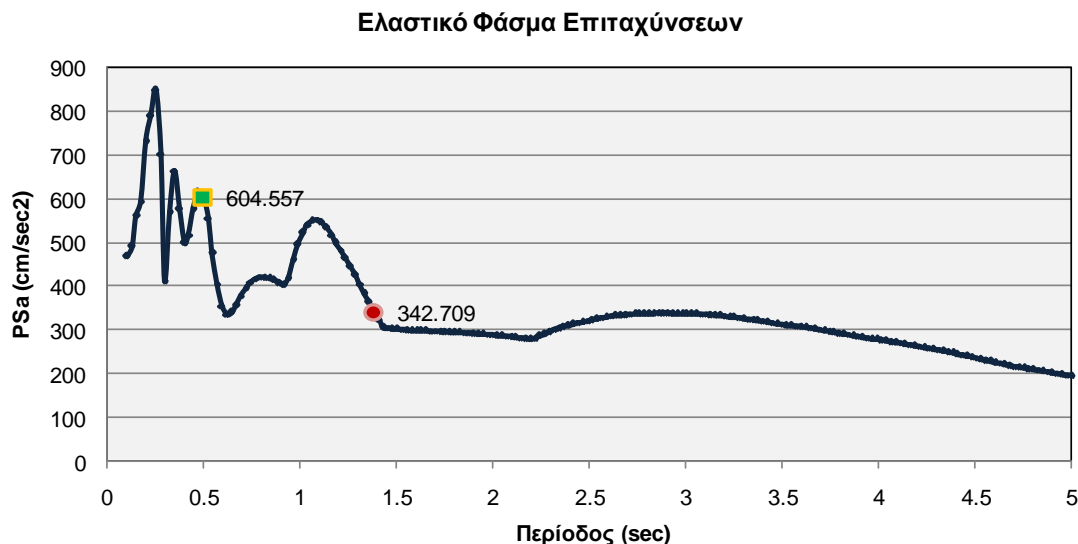
Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:



Σχήμα 5.44: Σύγκριση μετακινήσεων



Σχήμα 5.45: Σύγκριση αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων



Σχήμα 5.46: Ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων για τη καταγραφή E04-230



Σχήμα 5.47: Ελαστικό φάσμα μετακινήσεων για τη καταγραφή E04-230

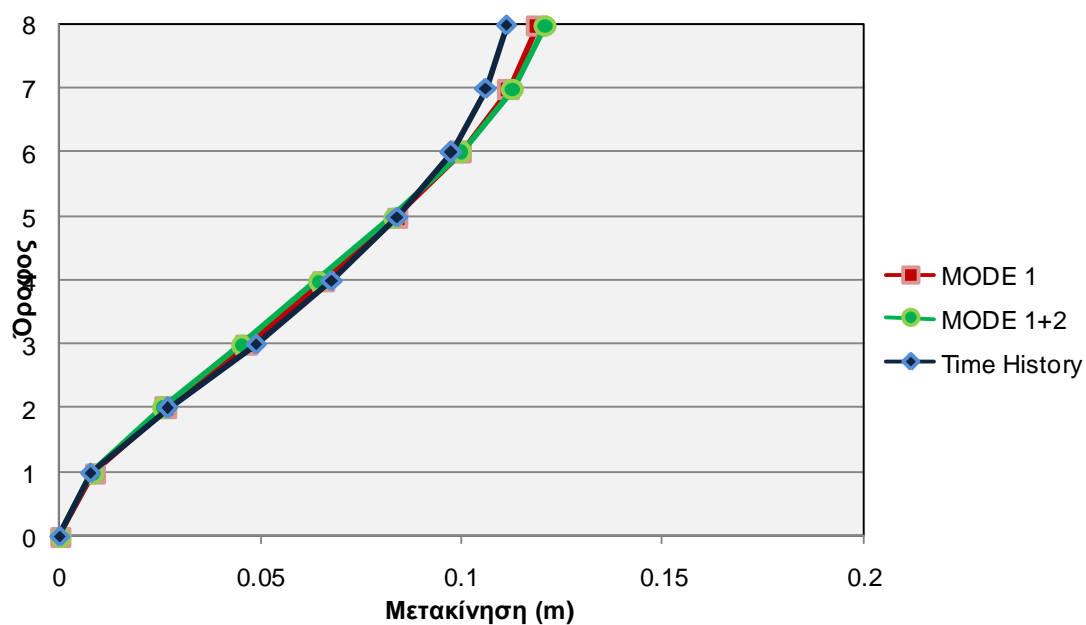
Από το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων παρατηρούμε ότι η δεύτερη ιδιομορφή ανήκει στην περιοχή φασματικής ενίσχυσης και μάλιστα σε θέση τοπικού μεγίστου, με τιμή φασματικής επιτάχυνσης διπλάσια από αυτή που αντιστοιχεί στη πρώτη ιδιομορφή, που γραφικά αποτυπώνεται στην ομαλή περιοχή του φάσματος. Από τα σχήματα 5.44 και 5.45 γίνεται κατανοητό ότι η απόκριση της κατασκευής προσεγγίζεται καλύτερα από την σύνθεση των δύο ιδιομορφών και όχι από τη πρώτη ιδιομορφή μόνο, γεγονός που δικαιολογείται από το παραπάνω δεδομένο, καθώς από το ελαστικό φάσμα μετακινήσεων δεν μπορούμε να εξάγουμε κανένα άλλο συμπέρασμα, αφού και οι δύο ιδιομορφές ανήκουν στο ομαλό τμήμα του φάσματος, με κοντινές τιμές μετακίνησης.

5.5.12 Landers, CA. USA - LUC-000

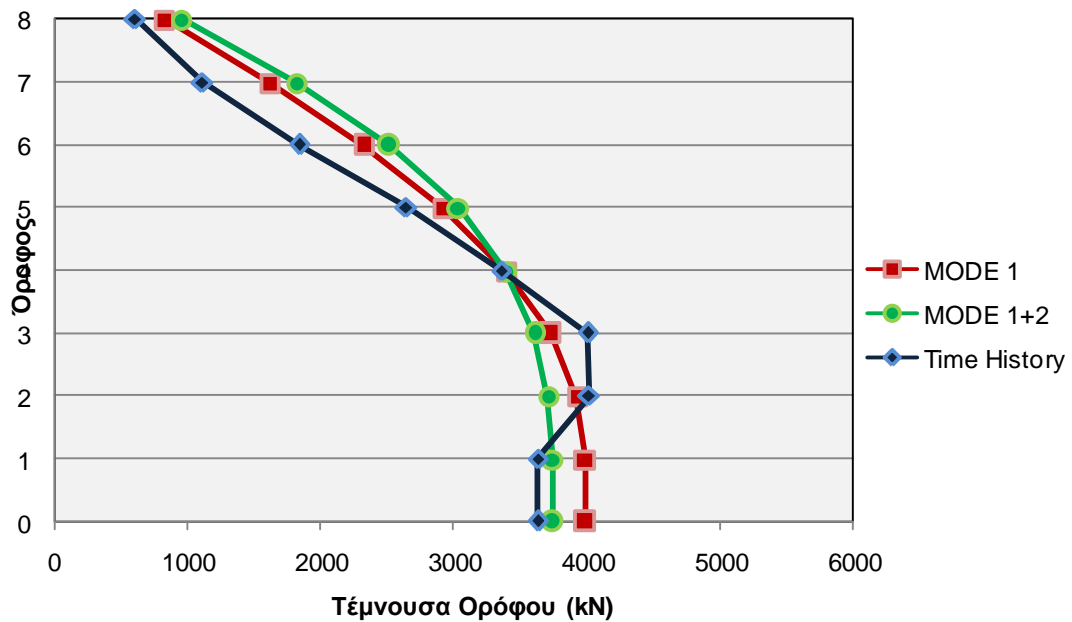
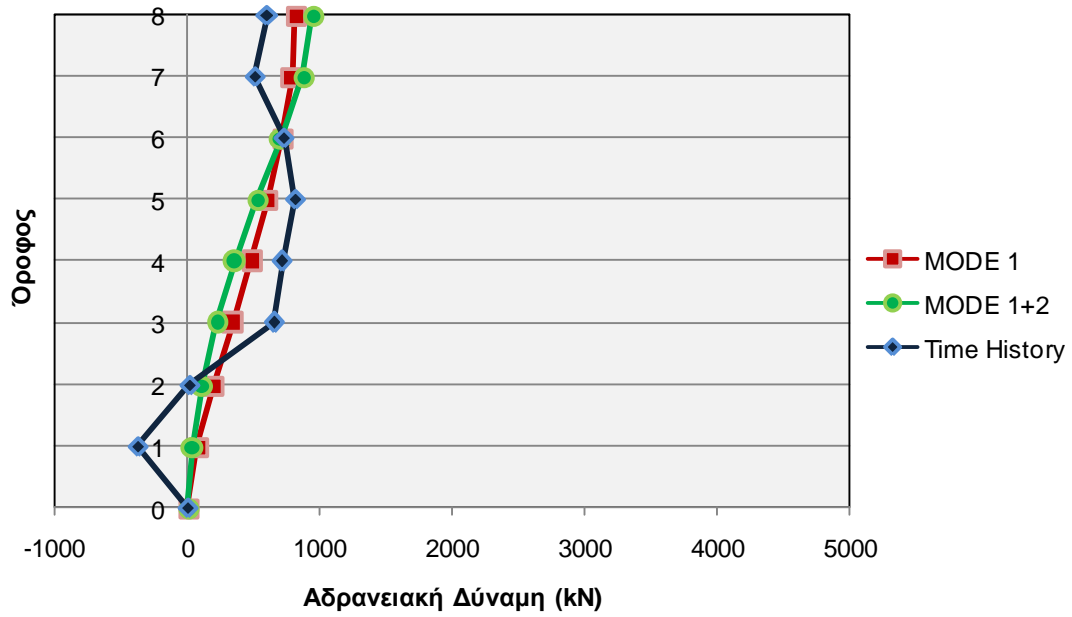
Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα.

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_a^* (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	216.5	1.187	8.998	0.1189	151.563	200.41
2 ^η ιδιομορφή	428.6	0.419	-0.3846	0.0018	-65.094	31.86

Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:

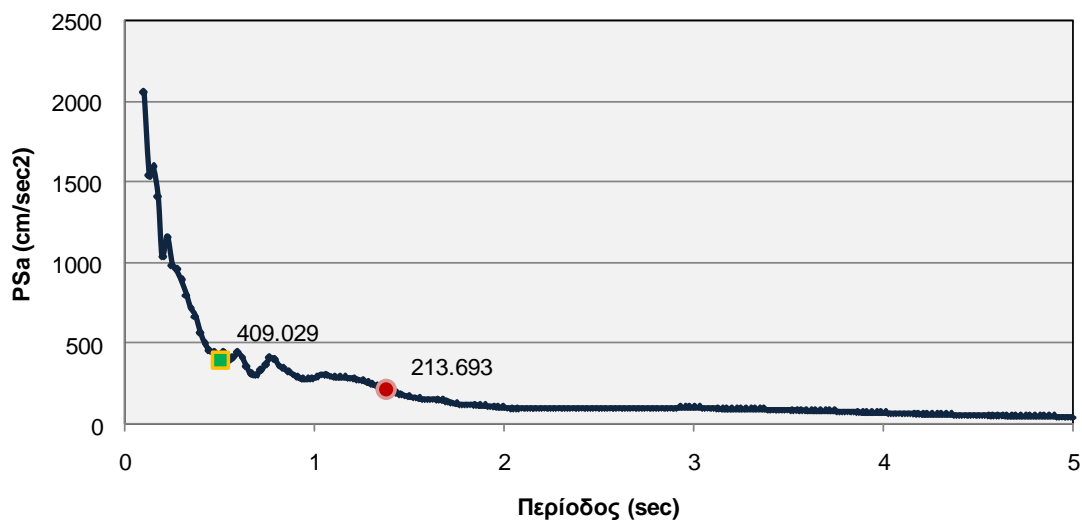


Σχήμα 5.48: Σύγκριση μετακινήσεων

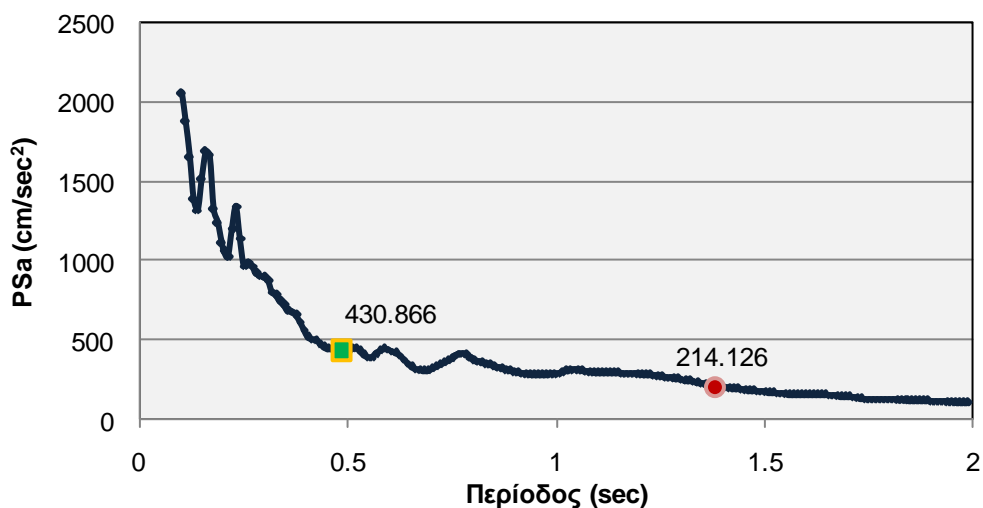


Σχήμα 5.49: Σύγκριση αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων

Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων



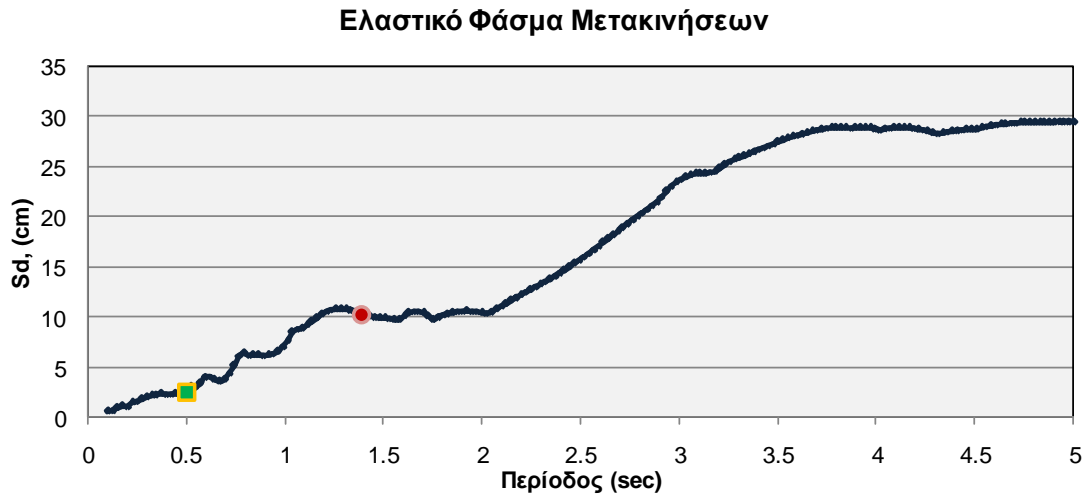
Λεπτομέρεια Επιταχυνσιογραφήματος



Σχήματα 5.50 Ελαστικό Φάσμα επιτάχυνσης για την καταγραφή LUC-000

Η δεύτερη ιδιομορφή παραμένει στη ελαστική περιοχή, με πολύ μικρό συντελεστή διαρροής, ενώ η πρώτη αντιστοιχεί στη πλαστική περιοχή, με συντελεστή διαρροής ίσο με 1.18. Επιπλέον από το ελαστικό φάσμα επιτάχυνσης (σχήμα 5.50) παρατηρούμε ότι η δεύτερη ιδιομορφή αντιστοιχεί στον καθοδικό κλάδο της φασματικής επιτάχυνσης και έχει τιμή σχεδόν διπλάσια από τη φασματική επιτάχυνση της πρώτης ιδιομορφής, που βρίσκεται στην ομαλή περιοχή του φάσματος. Παράλληλα με αυτά τα δεδομένα στο σχήμα 5.51 που ακολουθεί δίνεται το ελαστικό φάσμα μετακίνησης, από το σχήμα αυτό παρατηρούμε ότι η πρώτη

ιδιομορφή βρίσκεται σε τοπικό μέγιστο, ενώ η δεύτερη ιδιομορφή βρίσκεται σε ομαλό τμήμα του φάσματος με αρκετά μικρότερη τιμή μετακίνησης.



Σχήμα 5.51: Ελαστικό φάσμα μετακινήσεων για τη καταγραφή LUC-000

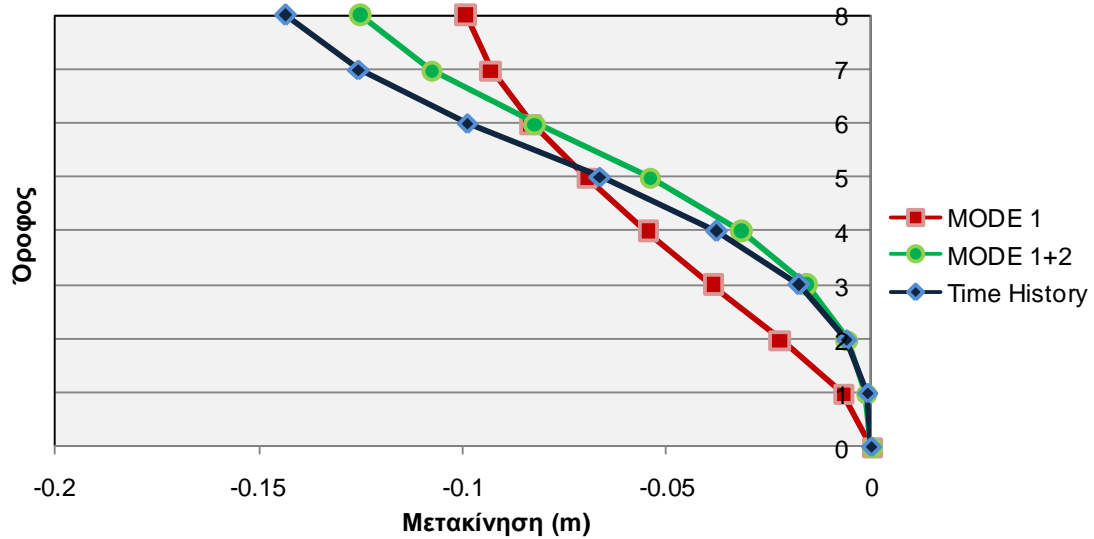
Από τα σχήματα 5.48 και 5.49, ωστόσο κατανοούμε ότι η απόκριση της κατασκευής δεν μπορεί να προσεγγιστεί απόλυτα ούτε από τη πρώτη αλλά ούτε και από τη σύνθεση των δύο ιδιομορφών, κάτι που δεν μπορεί να ερμηνευτεί με βάση τα παραπάνω σχόλια για τα ελαστικά φάσματα.

5.5.13 Loma Prieta, USA – BRN-000

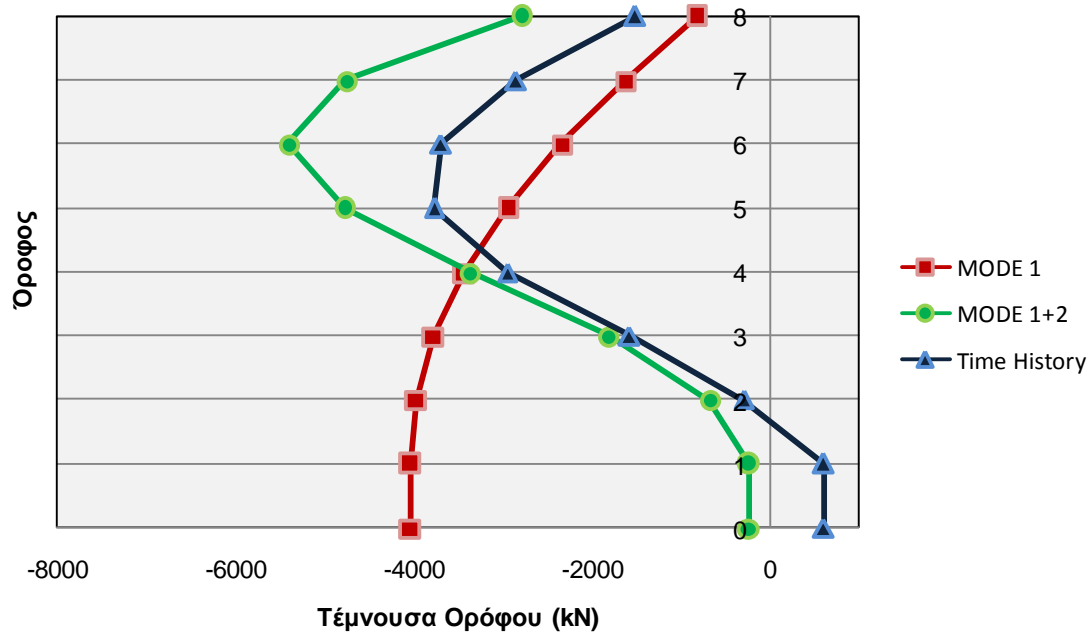
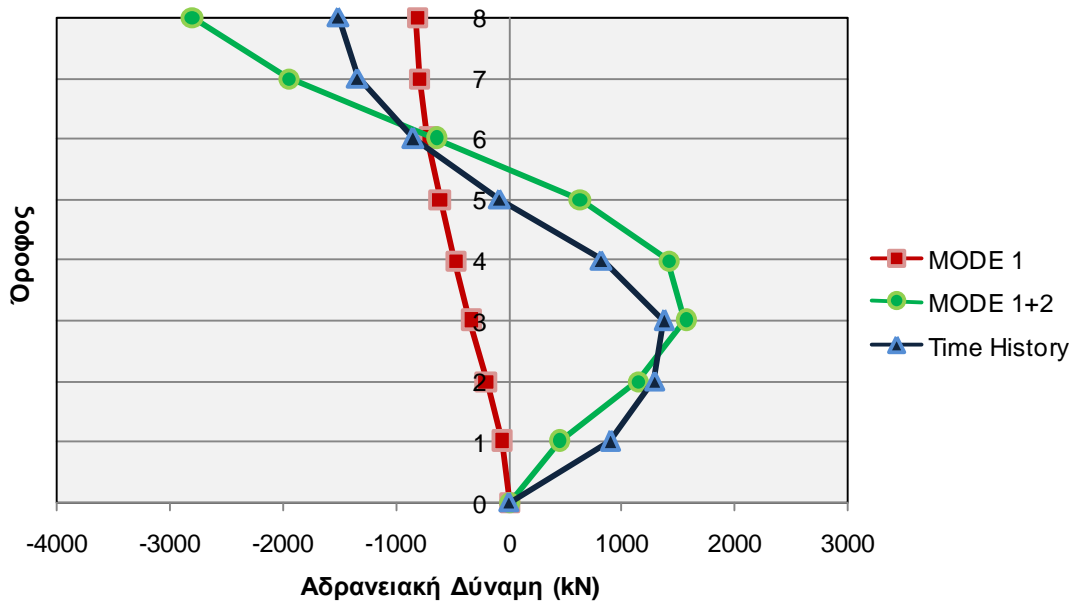
Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα.

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_a^* (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	354.2	1.941	-7.501	-0.099	-153.797	-203.372
2 ^η ιδιομορφή	1381	1.352	5.265	-0.0257	996.768	-487.919

Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:



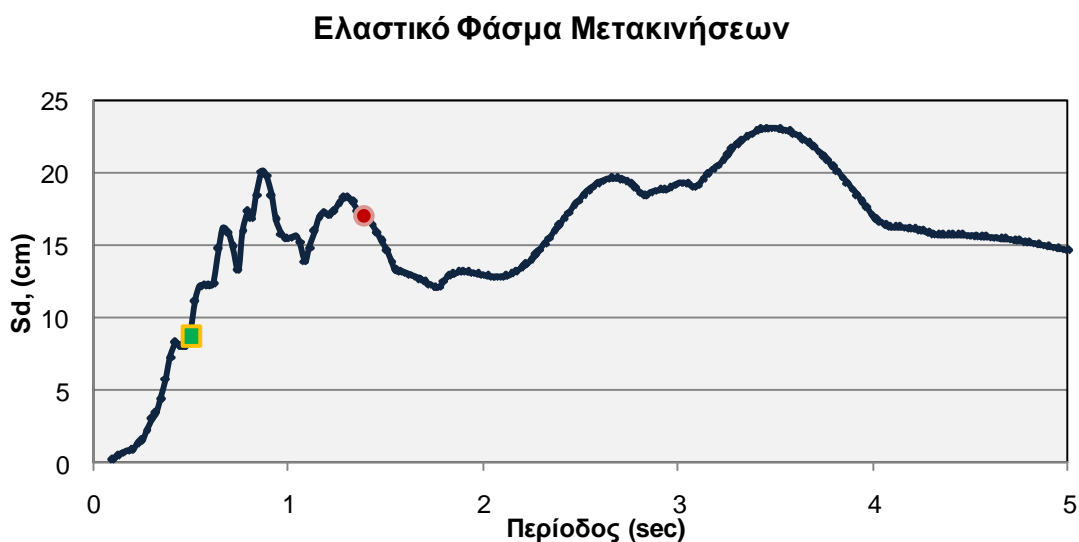
Σχήμα 5.52: Σύγκριση Επιταχύνσεων



Σχήμα 5.53: Σύγκριση αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων



Σχήμ 5.54: Ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων για τη καταγραφή BRN-000



Σχήμα 5.55: Ελαστικό φάσμα μετακινήσεων για τη καταγραφή BRN-000

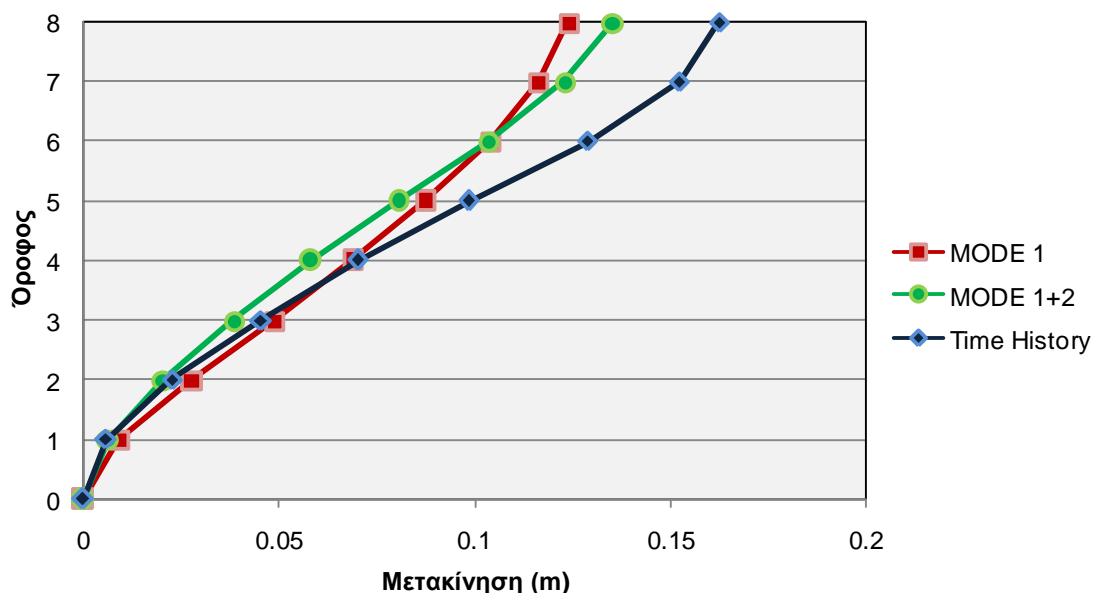
Και οι δύο ιδιομορφές εισέρχονται στη πλαστική περιοχή, με την δεύτερη ιδιομορφή να ανήκει στην περιοχή φασματικής ενίσχυσης με τιμή επιτάχυνσης τέσσερις φορές μεγαλύτερη από αυτή της πρώτης ιδιομορφής (βλ. σχήμα 5.54) και από το ελαστικό φάσμα μετακίνησης παρατηρούμε ότι η πρώτη ιδιομορφή βρίσκεται κοντά σε θέση τοπικού μεγίστου, ενώ η δεύτερη ιδιομορφή αντιστοιχεί στον ανοδικό κλάδο του φάσματος. Από τα σχήματα 5.52 και 5.53 ωστόσο γίνεται κατανοητό ότι η απόκριση της κατασκευής προσεγγίζεται καλύτερα από τη σύνθεση των δύο ιδιομορφών γεγονός που πιθανόν δικαιολογείται από τη μεγάλη τιμή του συντελεστή διαρροής και τη μεγάλη τιμή της ελαστική φασματικής επιτάχυνσης που της αντιστοιχεί.

5.5.14 Loma Prieta, USA – COR-000

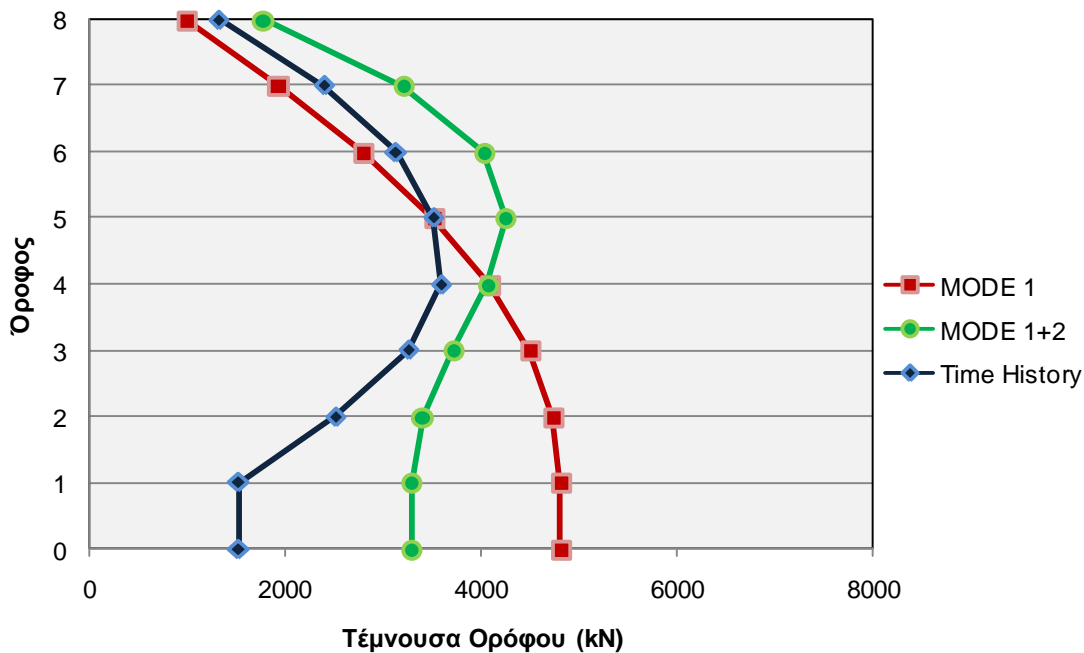
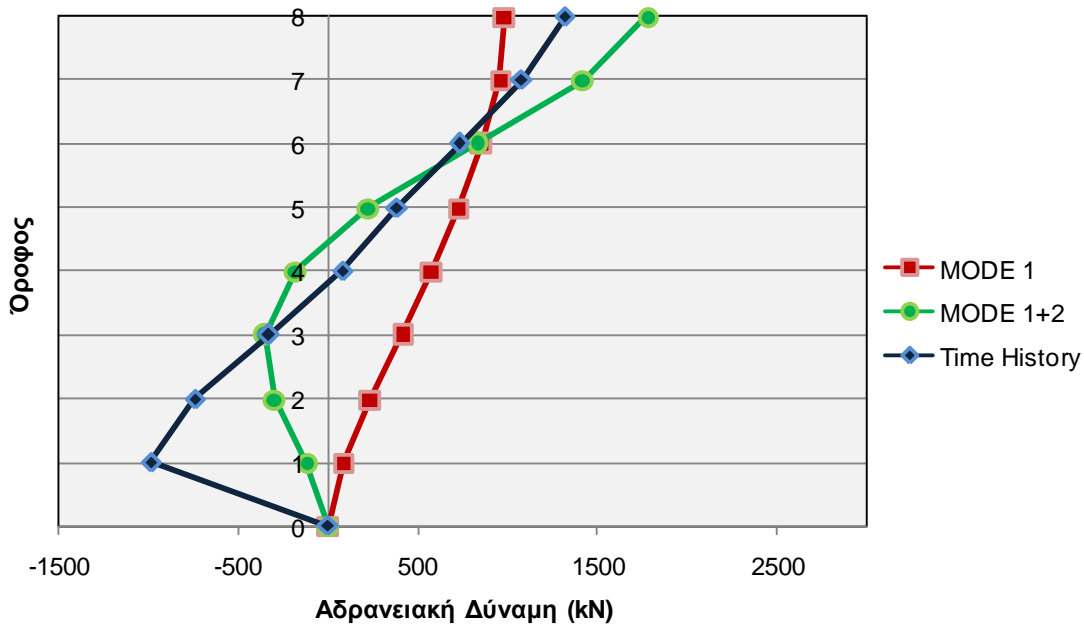
Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα.

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_a^* (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	380	2.08	9.36	0.1238	182.892	241.84
2 ^η ιδιομορφή	868.1	0.85	-2.36	0.0115	-399.619	195.61

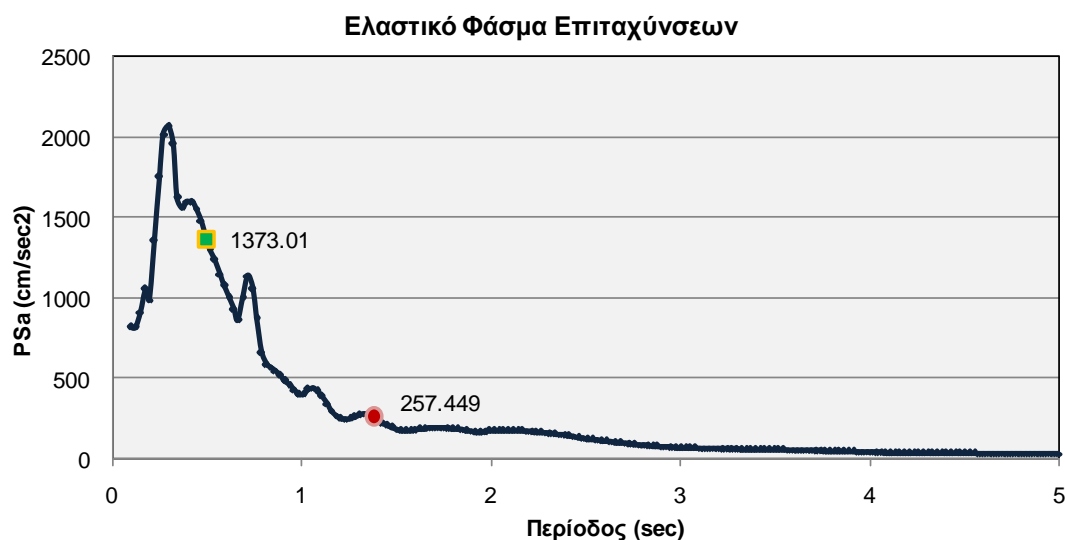
Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:



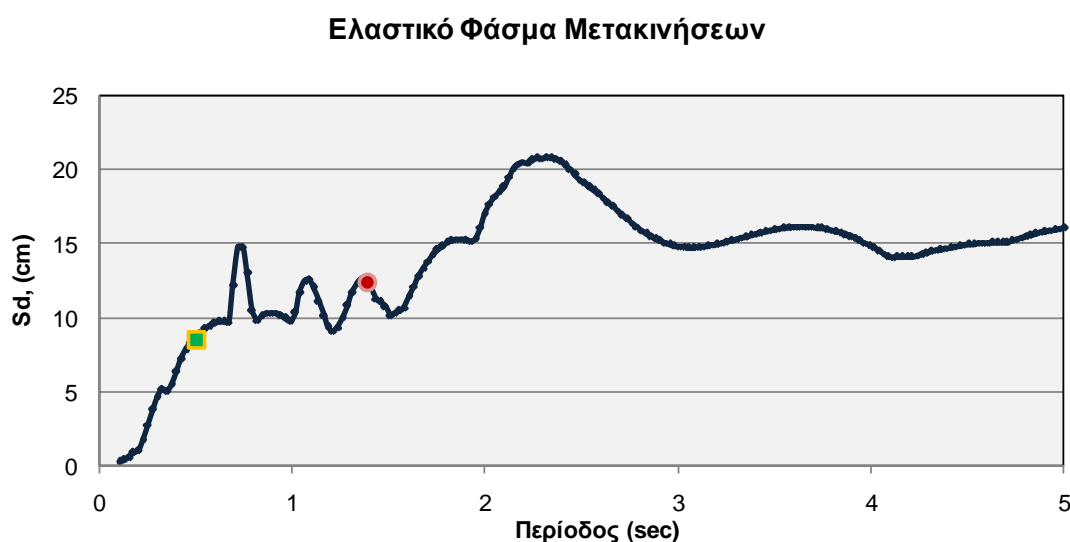
Σχήμα 5.56: Σύγκριση μετακινήσεων



Σχήμα 5.57: Σύγκριση αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων



Σχήμα 5.58: Ελαστικό φάσμα μετακινήσεων για τη καταγραφή COR-000



Σχήμα 5.59: Ελαστικό φάσμα μετακινήσεων για τη καταγραφή COR-000

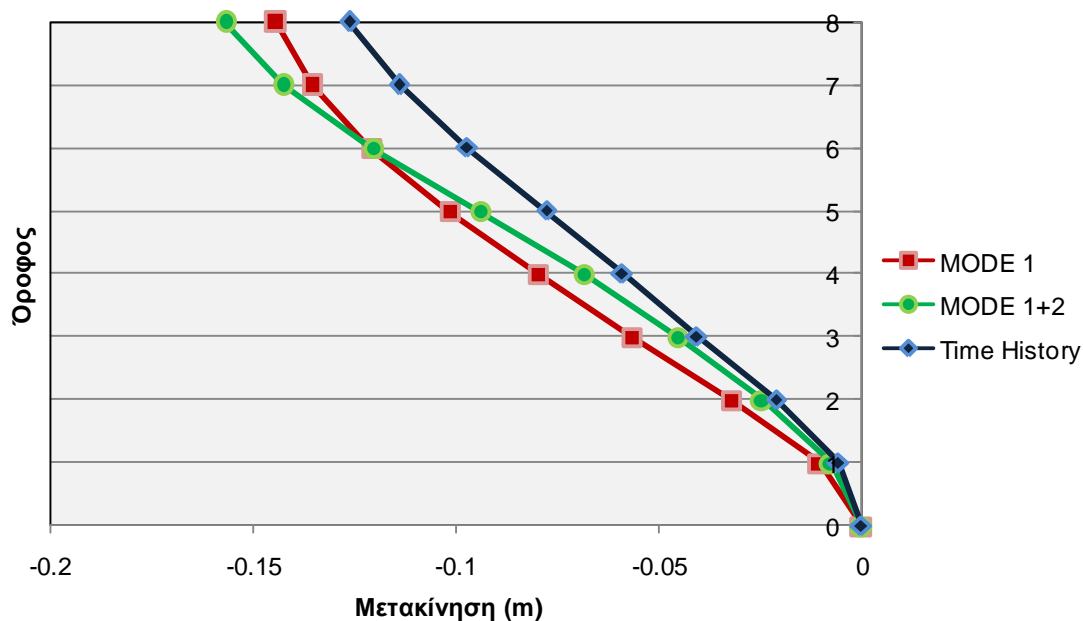
Όπως παρατηρούμε από τα σχήματα 5.56 και 5.57 η συμπεριφορά της κατασκευής προσεγγίζεται καλύτερα από τη σύνθεση των δύο ιδιομορφών, γεγονός που δικαιολογείται από το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων (σχήμα 5.58) καθώς η δεύτερη ιδιομορφή βρίσκεται εντός της περιοχής φασματικής ενίσχυσης με πολύ μεγαλύτερη τιμή φασματικής επιτάχυνσης από αυτή της πρώτης ιδιομορφής, η οποία αντιστοιχεί στην ομαλή περιοχή του φάσματος, με τιμές που συγκλίνουν προς τι μηδενικές. Από το ελαστικό φάσμα μετακινήσεων παρατηρούμε ότι και οι δύο ιδιομορφές αντιστοιχούν σε κοντινές τιμές φασματικής μετακίνησης.

5.5.15 Morgan Hill, CA, USA - AND-250

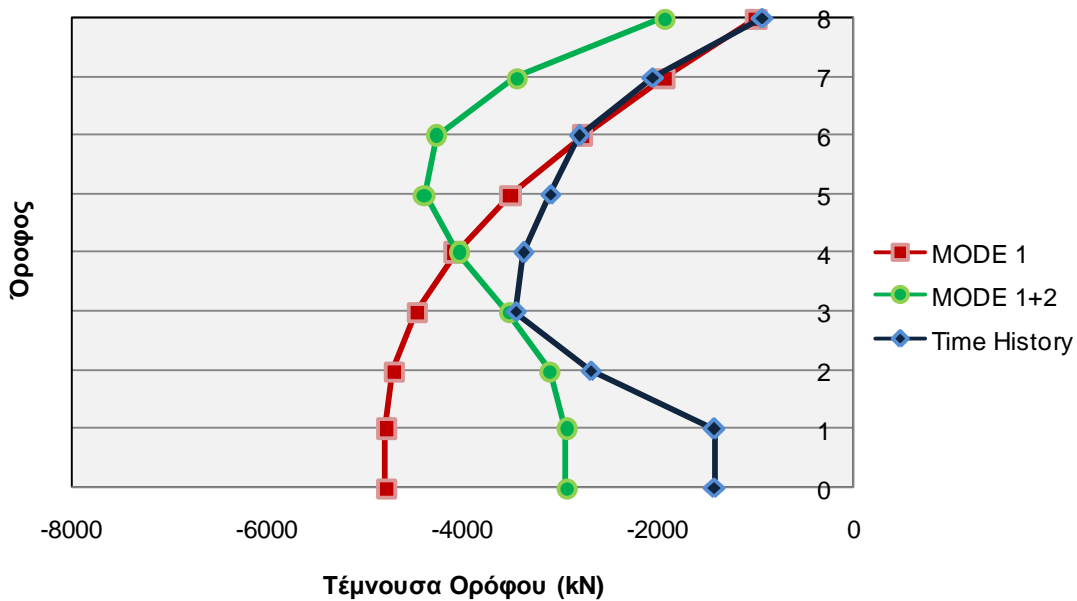
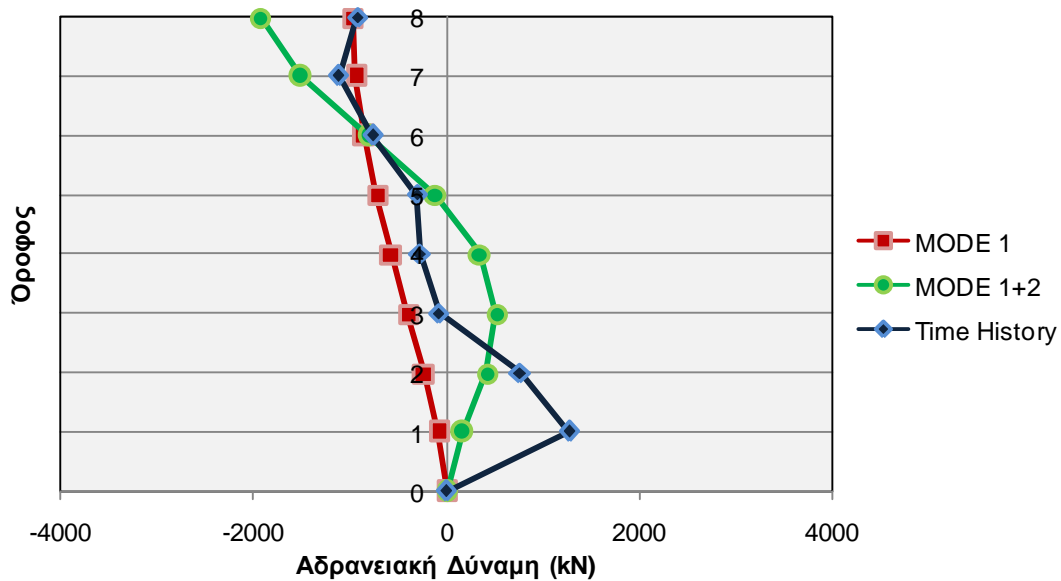
Για να εξασφαλίσουμε ότι η πρώτη ιδιομορφή θα οδηγήσει τον φορέα στη πλαστική κατάσταση, χρησιμοποιήσαμε πολλαπλασιαστικό συντελεστή ίσο με 3, έτσι η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα.

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_a^* (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	225.5	1.236	-10.93	-0.144	182.419	-241.22
2 ^η ιδιομορφή	2806.0	2.748	2.55	-0.012	484.965	-237.391

Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:

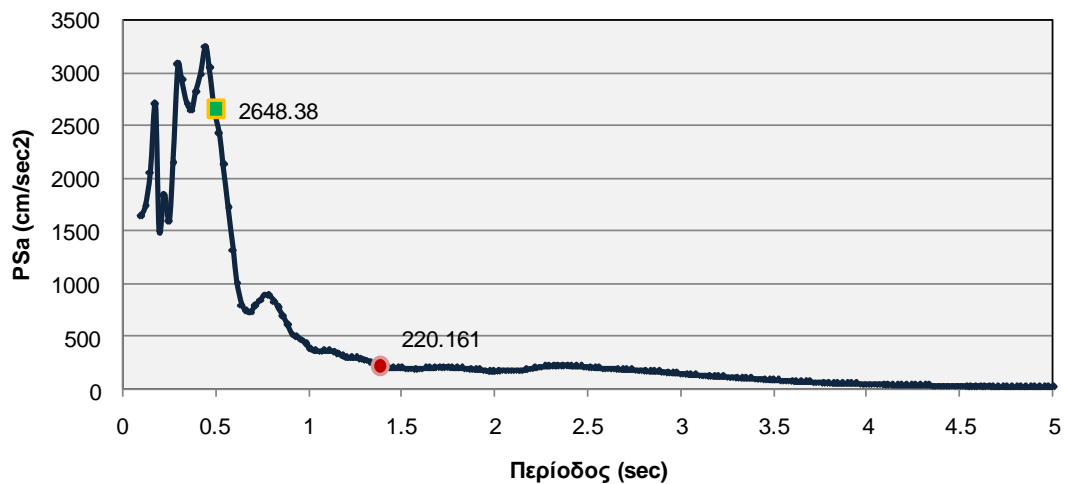


Σχήμα 5.60: Σύγκριση Μετακινήσεων



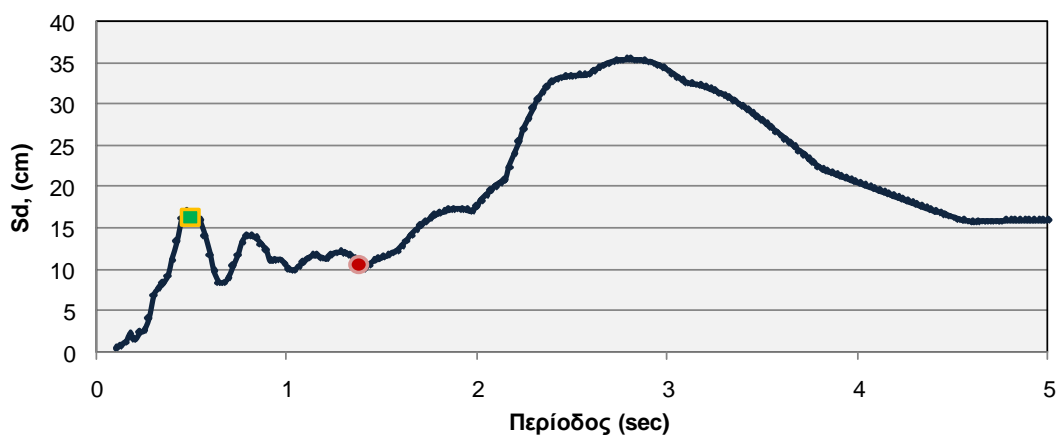
Σχήμα 5.61: Σύγκριση αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων

Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων



Σχήμα 5.62: Ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων για την καταγραφή AND-250

Ελαστικό Φάσμα Μετακινήσεων



Σχήμα 5.63: Ελαστικό φάσμα μετακινήσεων για τη καταγραφή AND-250

Στη περίπτωση αυτής της καταγραφής, το ελαστικό φάσμα μετακινήσεων δικαιολογεί τη μορφή της απόκρισης του φορέα. Η μετακίνηση του φορέα επηρεάζεται σημαντικά από τα δεύτερη ιδιομορφή (όπως φαίνεται από τα σχήματα 5.60 και 5.61), γεγονός που δικαιολογείται από το ότι στη δεύτερη ιδιομορφή υπάρχει συντονισμός στο φάσμα μετακίνησης, σε αντίθεση με τη πρώτη ιδιομορφή που αντιστοιχεί στη ομαλή περιοχή του φάσματος. Παράλληλα με αυτό, στο ίδιο συμπέρασμα συμβάλει και το ελαστικό φάσμα επιτάχυνσης, καθώς η δεύτερη ιδιομορφή παρατηρούμε ότι ανήκει στην περιοχή φασματικής ενίσχυσης, κοντά στη θέση τοπικού μεγίστου, με τιμή επιτάχυνσης περίπου 10 φορές μεγαλύτερη από αυτή της πρώτης ιδιομορφής, η οποία αντιστοιχεί στη ομαλή περιοχή του φάσματος, με τιμές που τείνουν προς τις

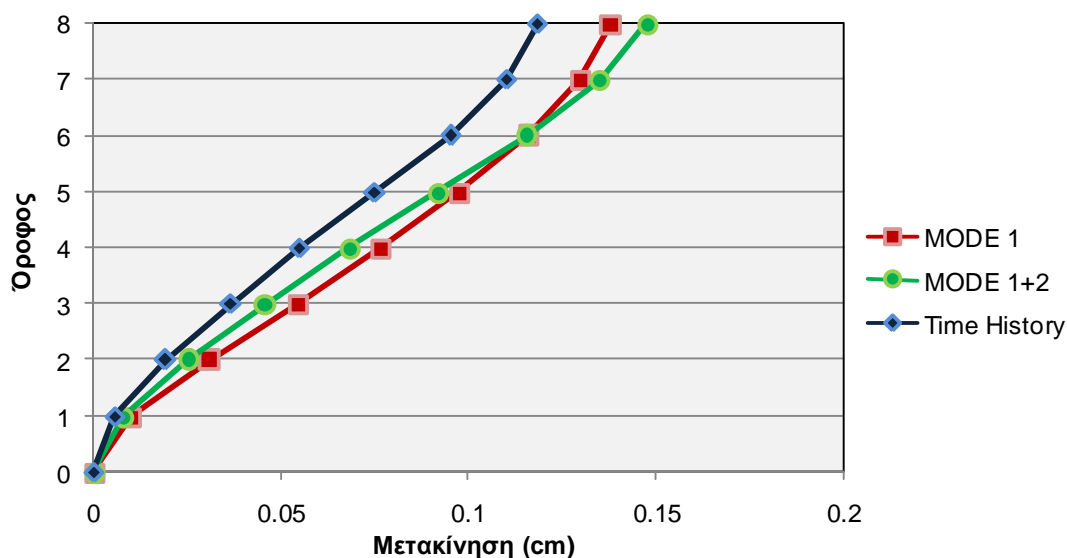
μηδενικές. Ενώ παράλληλα οφείλουμε να αναφέρουμε ότι η δεύτερη ιδιομορφή παρουσιάζει και μεγαλύτερο συντελεστή διαρροής από αυτό της πρώτης ιδιομορφής, κάτι που επιβεβαιώνει την τόσο μεγάλη επιρροή της απόκρισης της κατασκευής από τη σύνθεση των δύο ιδιομορφών.

5.5.16 Morgan Hill, CA, USA - HAL-150

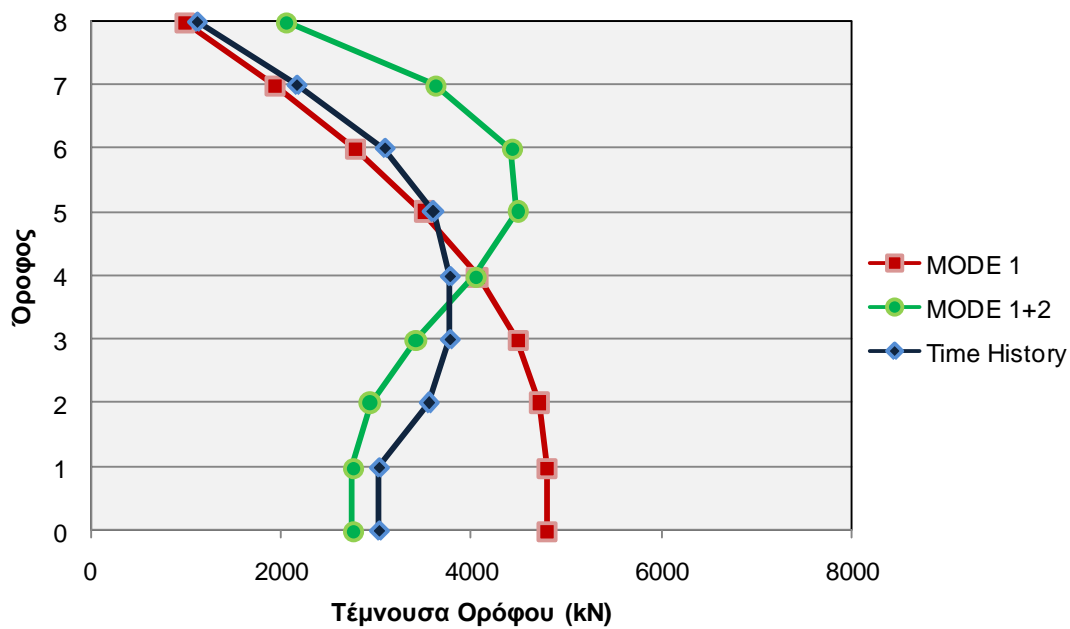
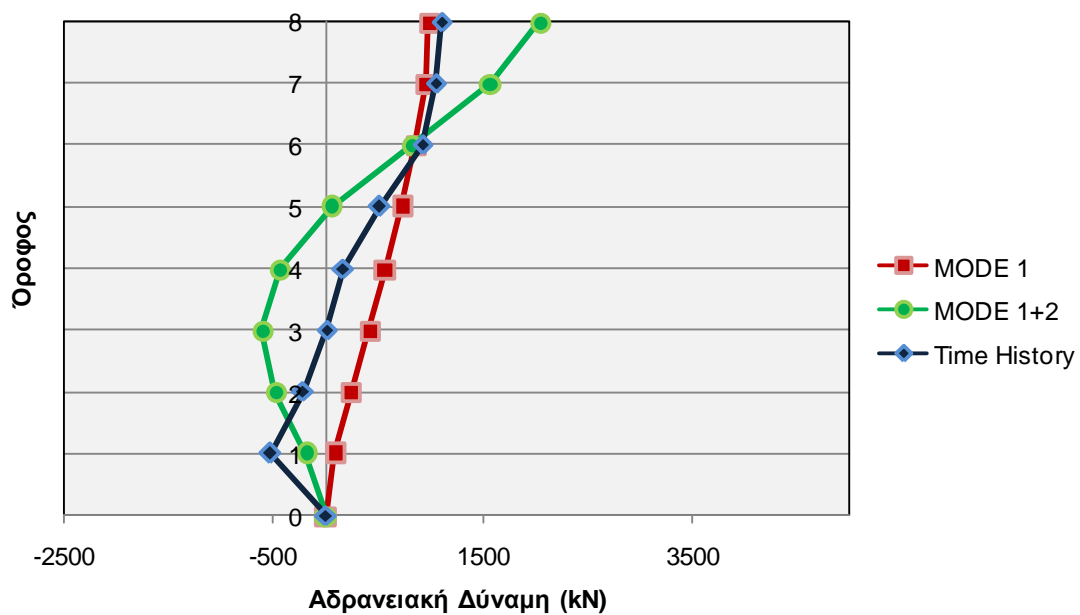
Για να εξασφαλίσουμε ότι η πρώτη ιδιομορφή θα οδηγήσει τον φορέα στη πλαστική κατάσταση, χρησιμοποιήσαμε πολλαπλασιαστικό συντελεστή ίσο με 3, έτσι η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα.

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_a^* (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	257.1	1.409	10.4307	0.1379	182.3	241.06
2 ^η ιδιομορφή	1728	1.692	-1.904	0.0093	-535.005	261.88

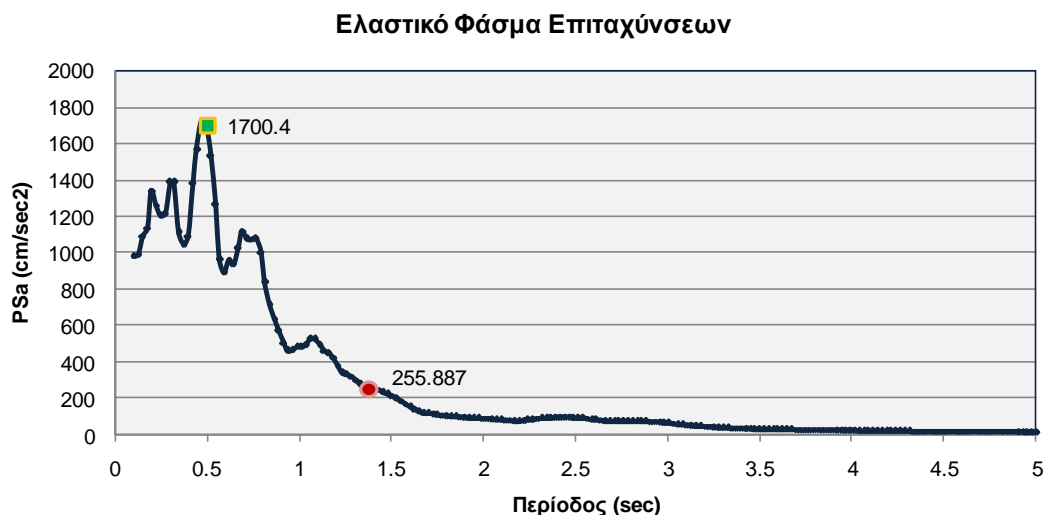
Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:



Σχήμα 5.64: Σύγκριση μετακινήσεων



Σχήμα 5.65: Σύγκριση αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων



Σχήμα 5.66: Ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων για τη καταγραφή HAL-150



Σχήμα 5.67: Ελαστικό φάσμα μετακινήσεων για τη καταγραφή HAL-150

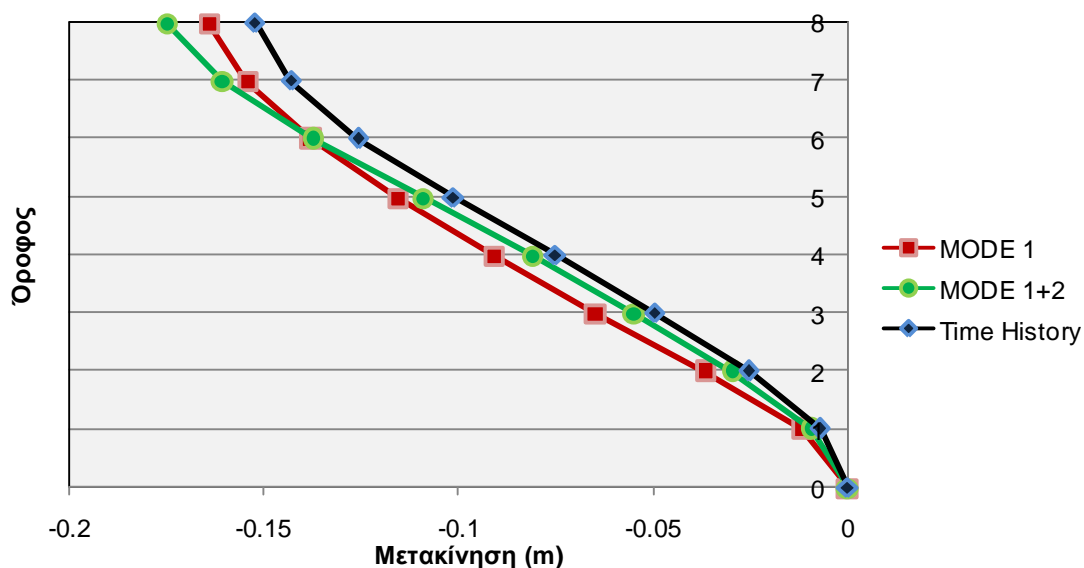
Και οι δύο ιδιομορφές εισέρχονται στη πλαστική περιοχή και μάλιστα η δεύτερη ιδιομορφή αναπτύσσει μεγαλύτερο συντελεστή διαρροής $R_y=1.692$, από ότι η πρώτη ιδιομορφή με $R_y=1.409$. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τα ελαστικά φάσματα μετακίνησης και επιτάχυνσης ενισχύουν το συμπέρασμα ότι η απόκριση της κατασκευής συγκλίνει προς τη σύνθεση των δύο ιδιομορφών, καθώς η δεύτερη ιδιομορφή όπως φαίνεται από το ελαστικό φάσμα επιτάχυνσης αντιστοιχεί στο μέγιστο σημείο της φασματικής ενίσχυσης, σε αντίθεση με τη πρώτη ιδιομορφή που απεικονίζεται στο καθοδικό κλάδο του φάσματος, με τιμή επιτάχυνσης έως και 6 φορές μικρότερη. Παράλληλα με αυτό, και από το ελαστικό φάσμα μετακίνησης παρατηρούμε ότι η δεύτερη ιδιομορφή αντιστοιχεί σε θέση τοπικού μεγίστου, έχουμε δηλαδή συντονισμό του φορέα, επομένως το κτίριο είναι λογικό να αποκρίνεται με βάση τη σύνθεση των δύο ιδιομορφών.

5.5.17 Northridge, CA, USA – PKC-090

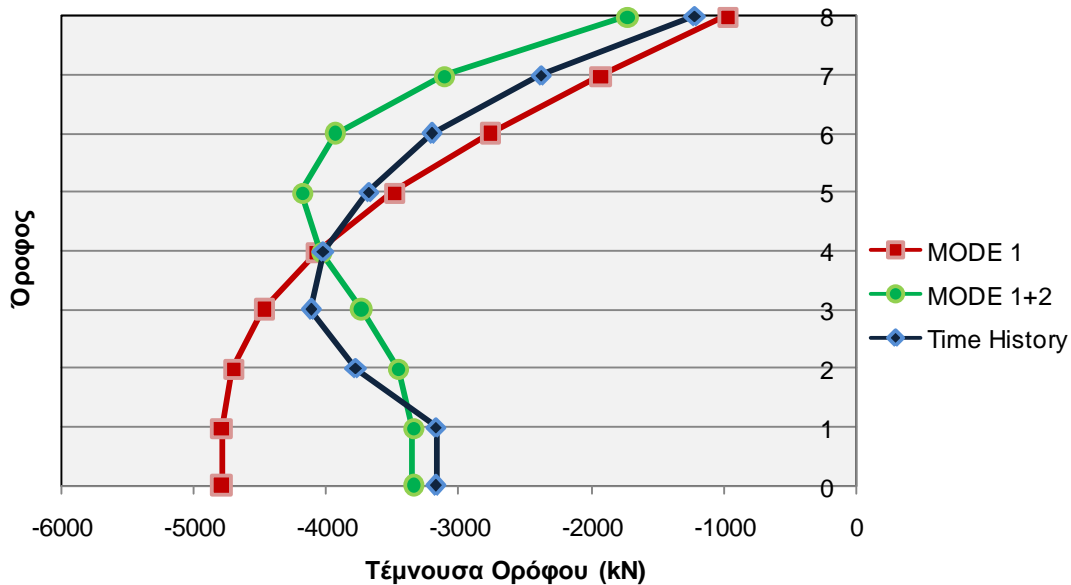
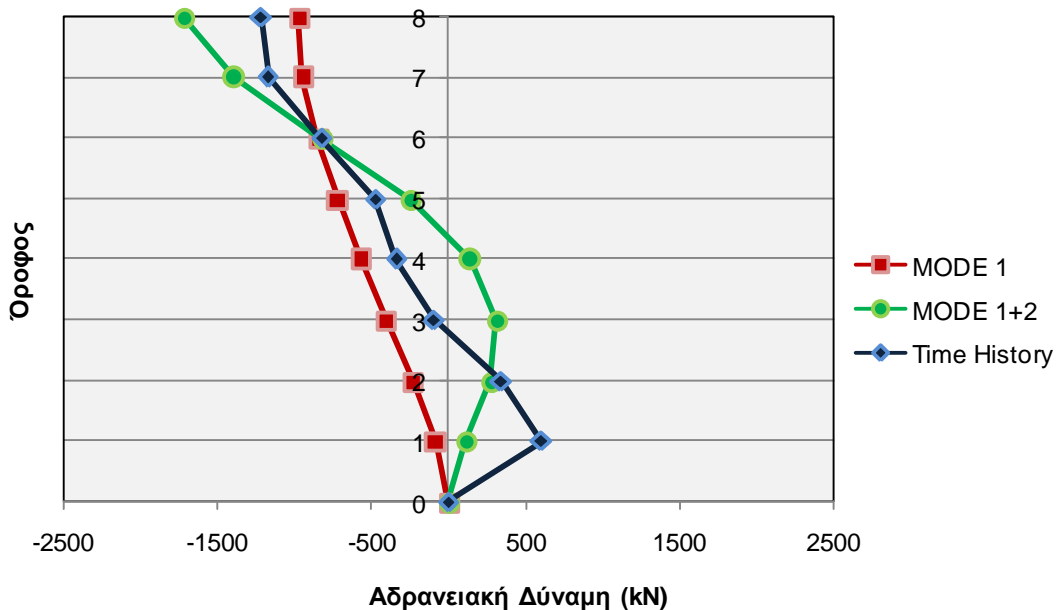
Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_a^* (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	359.8	1.972	-12.43	-0.1644	-182.439	-241.246
2 ^η ιδιομορφή	871.2	0.765	2.222	-0.0108	377.605	184.838

Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:



Σχήμα 5.68: Σύγκριση Μετακινήσεων



Σχήμα 5.69: Σύγκριση αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων



Σχήμα 5.70: Ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων για τη καταγραφή PKC-090



Σχήμα 5.71: Ελαστικό φάσμα μετακινήσεων για τη καταγραφή PKC-090

Σε αυτή τη σεισμική διέγερση παρατηρείται ότι η πρώτη ιδιομορφή εισέρχεται στη πλαστική περιοχή, ενώ η δεύτερη διατηρείται ελαστικά. Από τα σχήματα 5.70 και 5.71 για τις συγκρίσεις μετακινήσεων, αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων, παρατηρούμε ότι η απόκριση του φορέα συγκλίνει προς τη σύνθεση των δύο ιδιομορφών, γεγονός που δικαιολογείται από το ελαστικό φάσμα επιτάχυνσης. Η δεύτερη ιδιομορφή βρίσκεται εντός της περιοχής φασματικής ενίσχυσης και κοντά σε θέση τοπικού μεγίστου, με τιμή επιτάχυνσης διπλάσια από αυτή που αντιστοιχεί στη πρώτη ιδιομορφή, που βρίσκεται στο καθοδικό τμήμα του φάσματος. Από τα σχήματα 5.70 και 5.71, ωστόσο παρατηρούμε ότι προς τους υψηλότερους ορόφους η απόκριση της κατασκευής είναι πιο κοντά προς αυτή της πρώτης ιδιομορφής, γεγονός που πιθανότατα να δικαιολογείται από το ελαστικό φάσμα μετακίνησης (βλ.

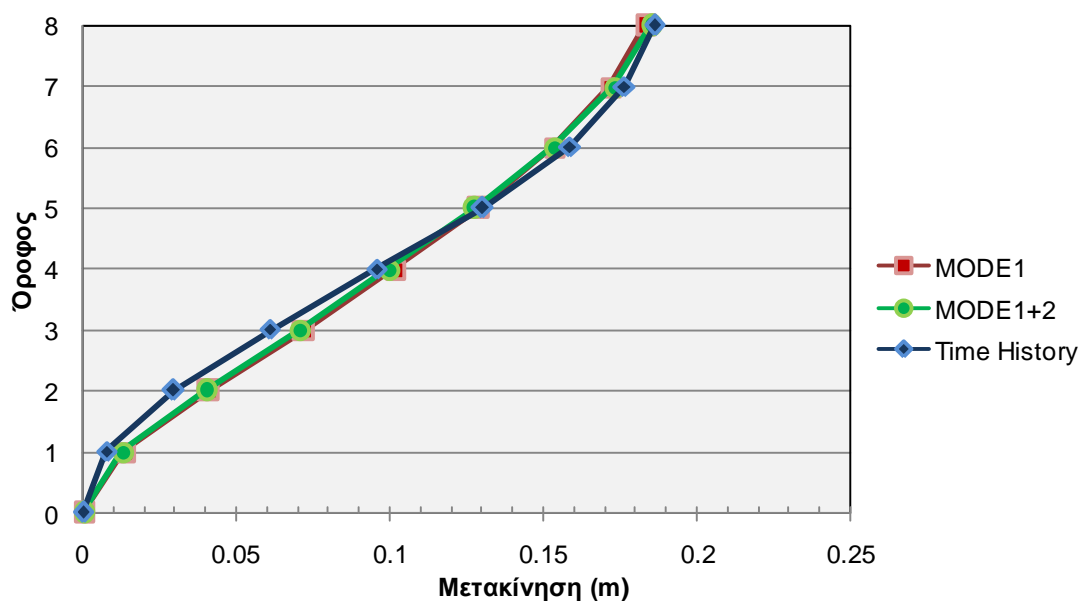
σχήμα 5.71) από το οποίο παρατηρούμε ότι για τη ιδιομορφή αυτή έχουμε συντονισμό του φορέα.

5.5.18 Northridge, CA, USA – RRS-228

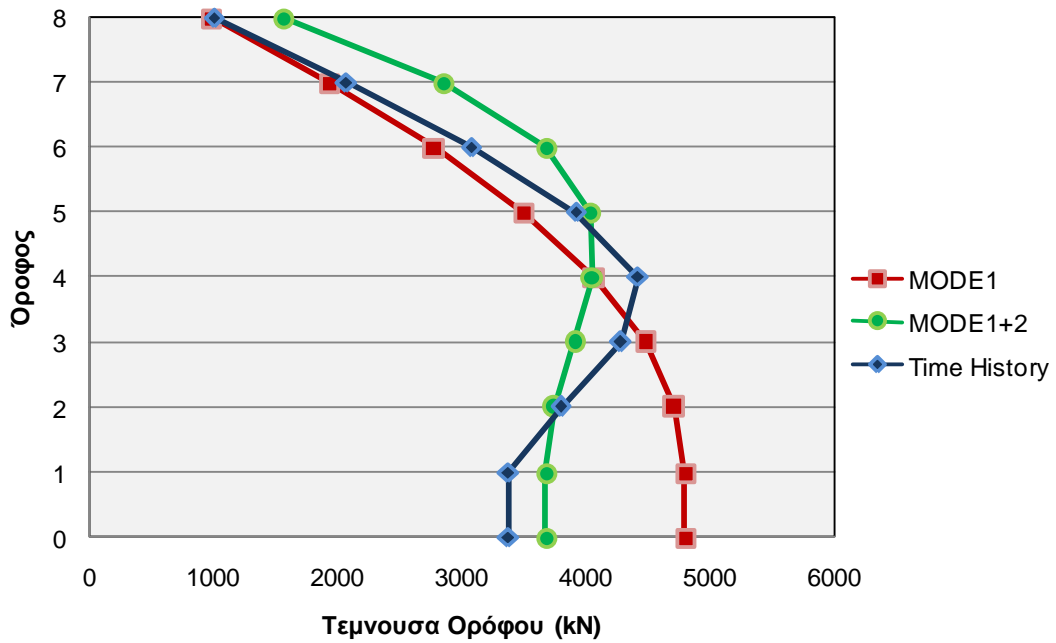
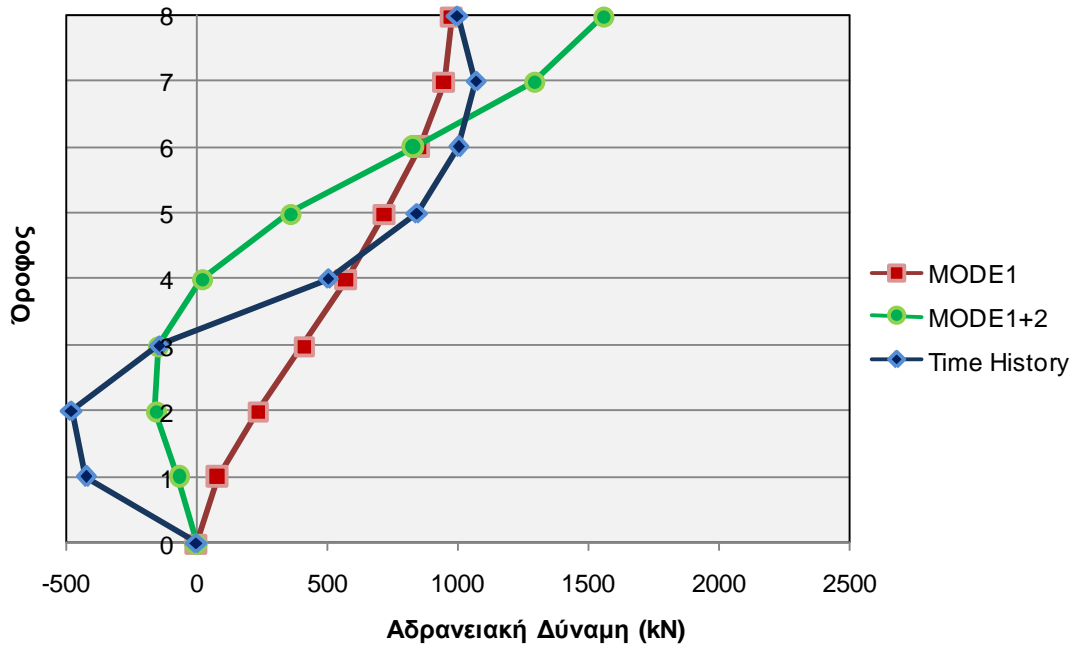
Για τη επίλυση της συγκεκριμένης καταγραφής μέσω του προγράμματος SAP2000 χρησιμοποιήσαμε μειωτικό συντελεστή ίσο με 0.25. Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_a^* (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	280	1.535	13.82	0.1828	182.441	241.249
2 ^η ιδιομορφή	448.6	0.439	-1.77	0.0086	-300.388	147.04

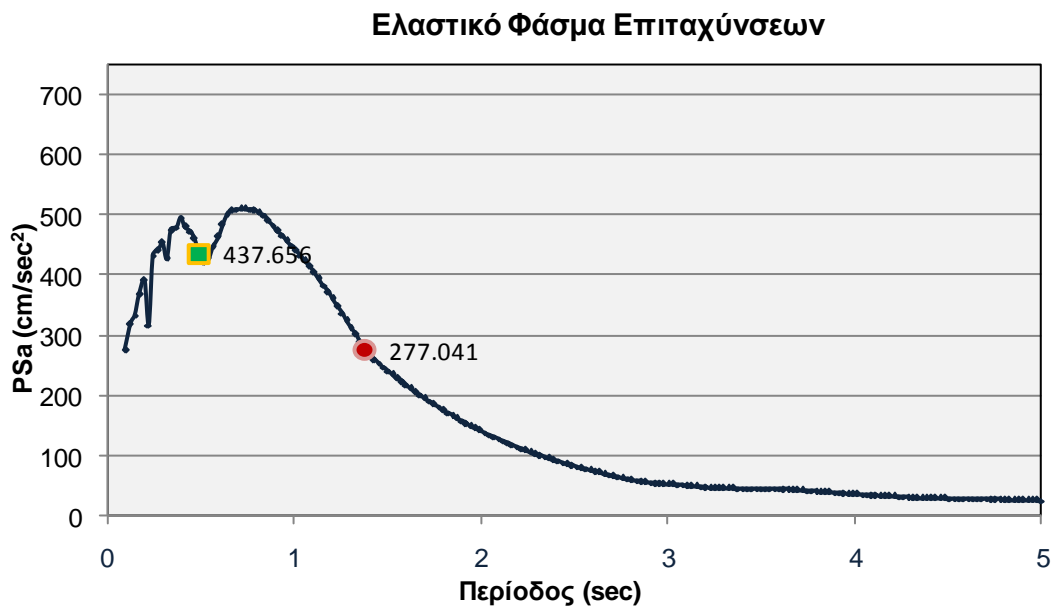
Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:



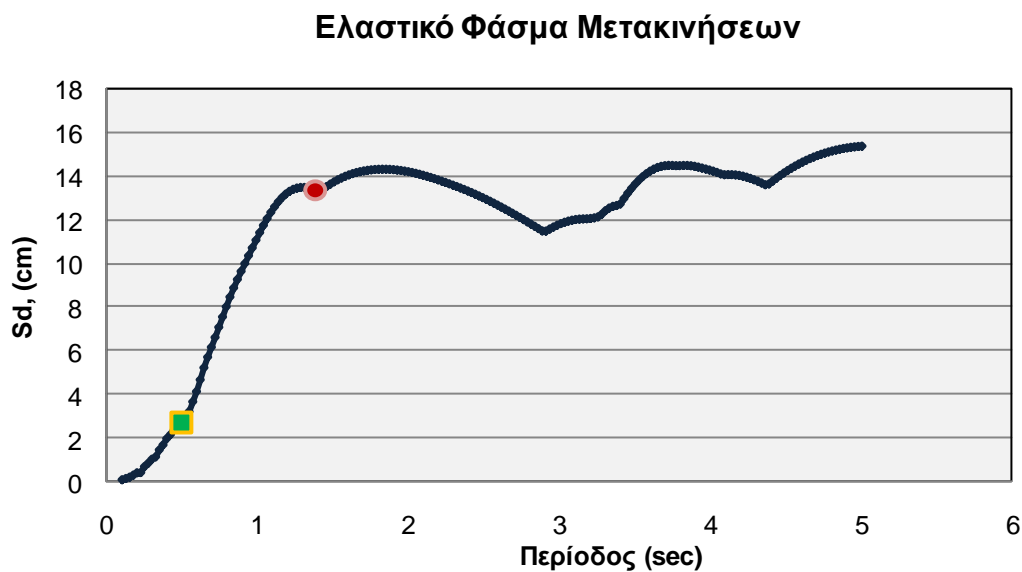
Σχήμα 5.72: Σύγκριση Μετακινήσεων



Σχήμα 5.73: Σύγκριση αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων



Σχήμα 5.74: Ελαστικό φάσμα επιτάχυνσης για τη καταγραφή RRS-228



Σχήμα 5.75: Ελαστικό φάσμα μετακίνησης για τη καταγραφή RRS-228

Παρατηρώντας τα σχήματα 5.72 και 5.73 για τη απόκριση της κατασκευής, κατανοούμε ότι αυτή ακολουθεί τη σύνθεση των δύο ιδιομορφών. Ουσιαστικά όμως το γεγονός αυτό δεν μπορεί να ερμηνευτεί με βάση τα ελαστικά φάσματα επιτάχυνσης και μετακίνησης. Πιο συγκεκριμένα, για τη καταγραφή αυτή, η πρώτη ιδιομορφή εισέρχεται στη πλαστική περιοχή, ενώ η δεύτερη παραμένει ελαστικά, έχοντας όμως διπλάσια τιμή φασματικής επιτάχυνσης από τη πρώτη, που ίσως τελικά να δικαιολογεί και τη συμβολή της δεύτερης ιδιομορφής στη απόκριση του

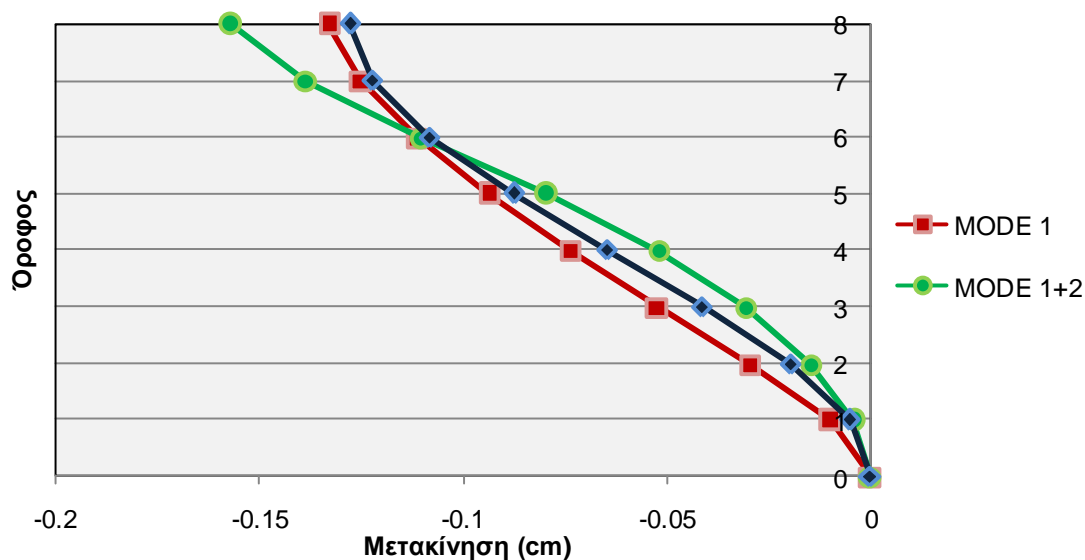
φορέα. Το αντιφατικό σημείο όμως δίδεται από το ελαστικό φάσμα μετακίνησης, από το οποίο παρατηρούμε ότι για τη δεύτερη ιδιομορφή έχουμε πολύ μικρή τιμή μετακίνησης, σε αντίθεση με τη πρώτη ιδιομορφή που αποτυπώνεται σε θέση τοπικού μεγίστου, με πολύ μεγαλύτερη τιμή μετακίνησης.

5.5.19 Northridge, CA, USA – SMI-000

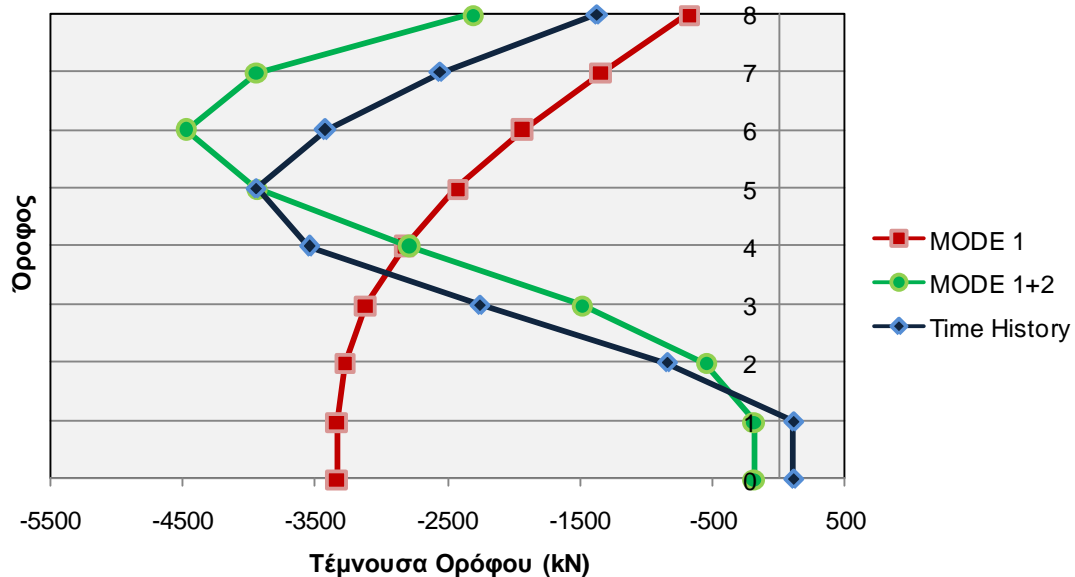
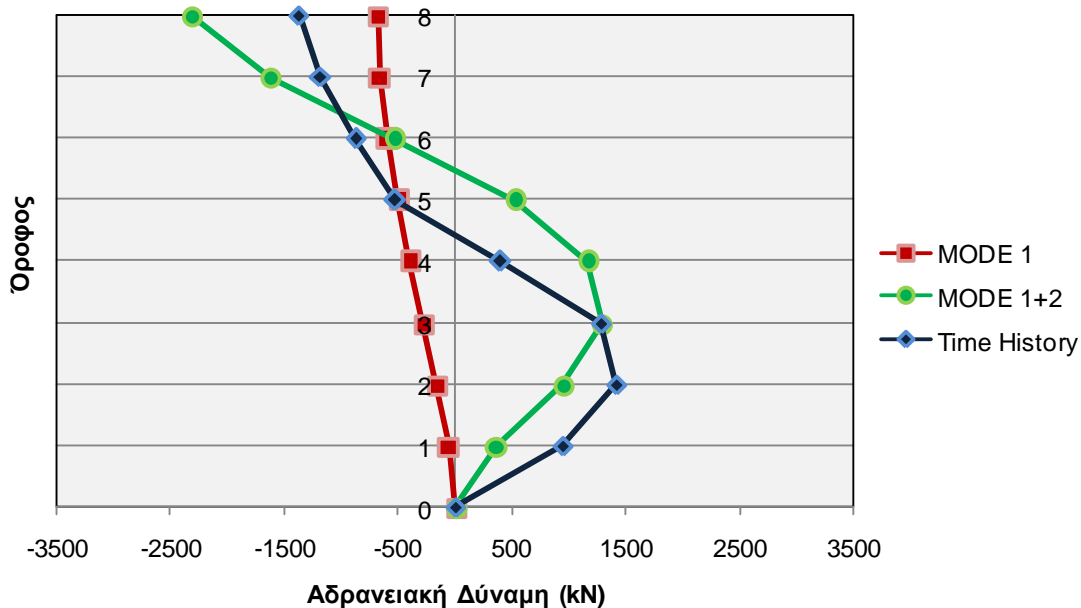
Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_a^* (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	389.5	2.13	-10.077	-0.133	-127.13	-168.109
2 ^η ιδιομορφή	922.1	0.90	4.8848	-0.0239	826.636	-404.639

Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:

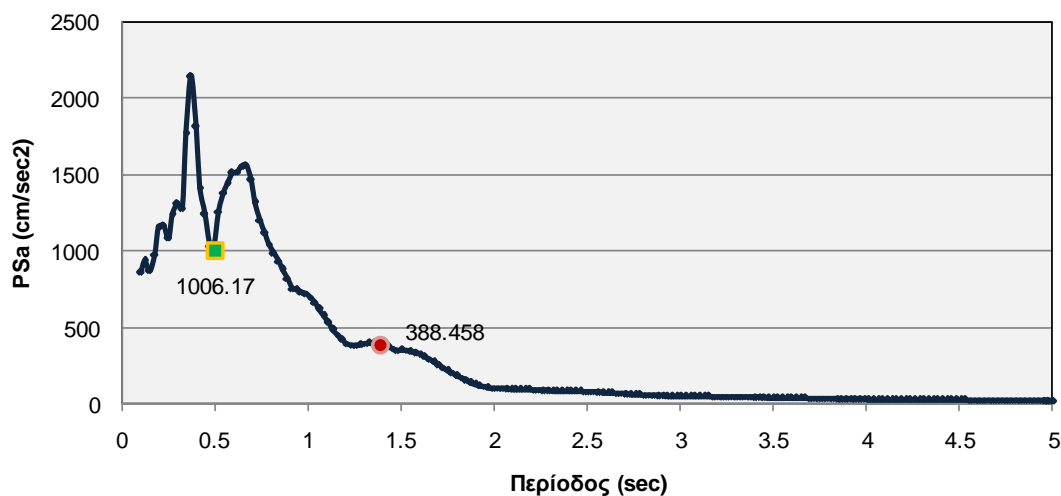


Σχήμα 5.76: Σύγκριση Μετακινήσεων



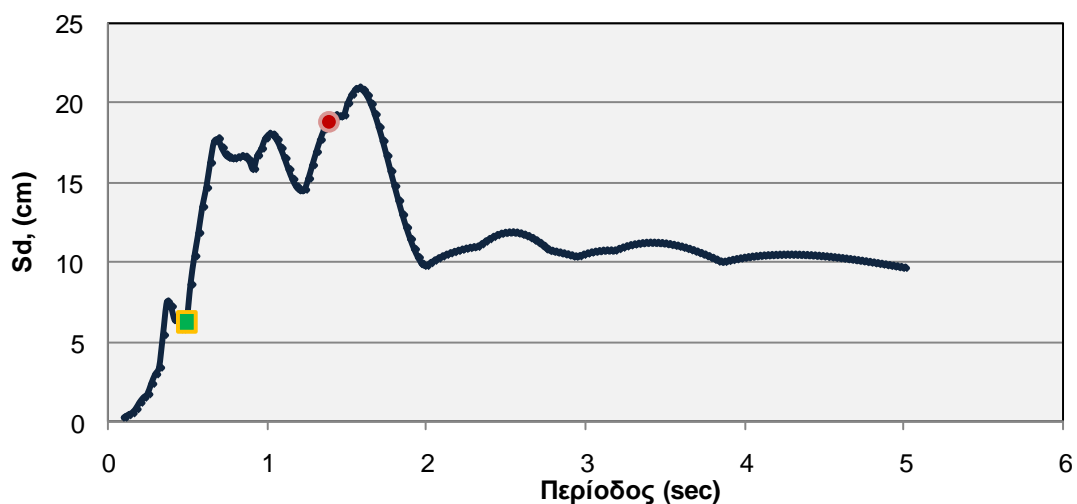
Σχήμα 5.77: Σύγκριση αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων

Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων



Σχήμα 5.78: Ελαστικό Φάσμα επιταχύνσεων για τη καταγραφή SMI-000

Ελαστικό Φάσμα Μετακινήσεων



Σχήμα 5.79: Ελαστικό Φάσμα μετακίνησης για τη καταγραφή SMI-000

Για τη σεισμική αυτή διέγερση, η πρώτη ιδιομορφή εισέρχεται στη πλαστική περιοχή ενώ η δεύτερη διατηρείται ελαστικά. Από το σχήμα 5.76 παρατηρούμε ότι η απόκριση της κατασκευής σε σχέση με τις μετακινήσεις ακολουθεί τη πρώτη ιδιομορφή και όχι τόσο τη σύνθεση των δύο, κάτι που είναι λογικό λαμβάνοντας υπόψη το σχήμα 5.79, το ελαστικό φάσμα μετακίνησης δηλαδή, στο οποίο παρατηρούμε ότι η πρώτη ιδιομορφή πλησιάζει τη μέγιστη τιμή του φάσματος, σε αντίθεση με τη πρώτη ιδιομορφή που μένει σε σχετικά χαμηλότερες τιμές, αλλά και αυτή κοντά σε θέση τοπικού μεγίστου. Από τη κατανομή των αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων παρατηρούμε ότι η απόκριση του φορέα συγκλίνει προς τη σύνθεση των δύο

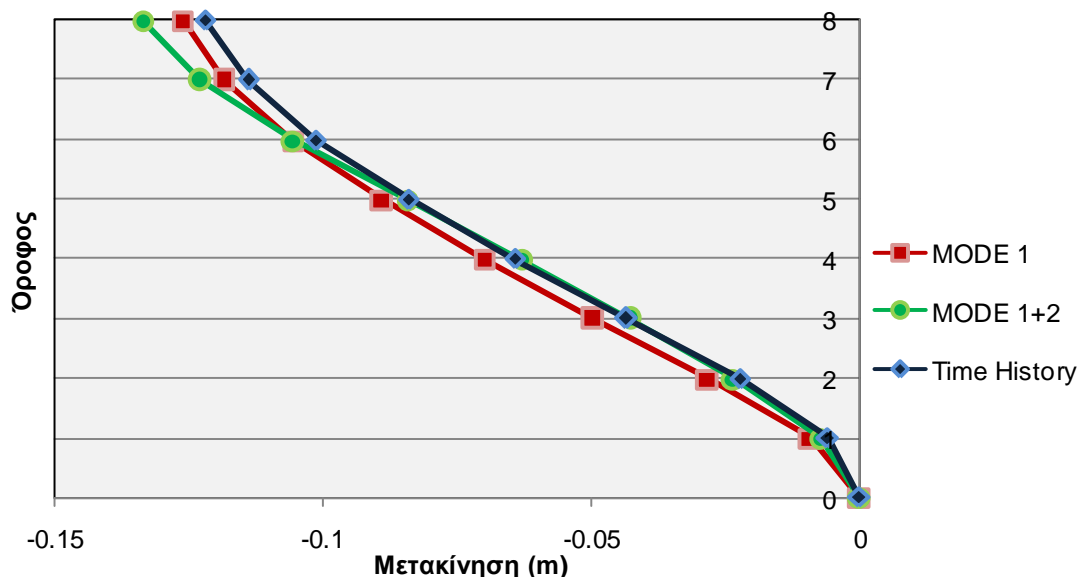
ιδιομορφών, γεγονός που είναι λογικό αν παρατηρήσουμε το ελαστικό φάσμα επιτάχυνσης στο οποίο φαίνεται ότι η δεύτερη ιδιομορφή είναι εντός της περιοχής φασματικής ενίσχυσης και με τιμή επιτάχυνσης τριπλάσια από αυτή της πρώτης ιδιομορφής, που βρίσκεται στο καθοδικό τμήμα του φάσματος με μικρότερη τιμή επιτάχυνσης.

5.5.20 Northridge, CA, USA – SMI-090

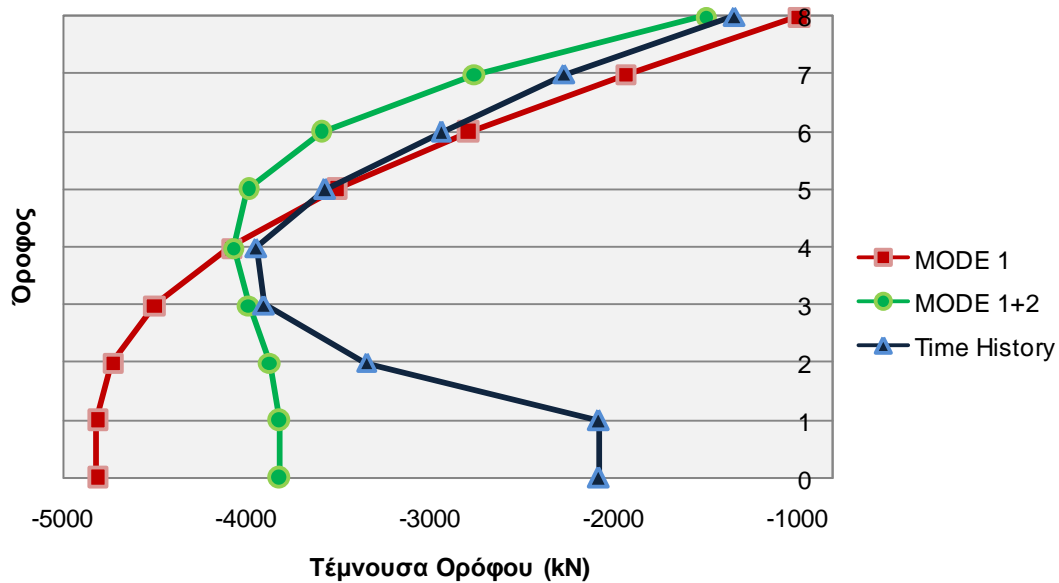
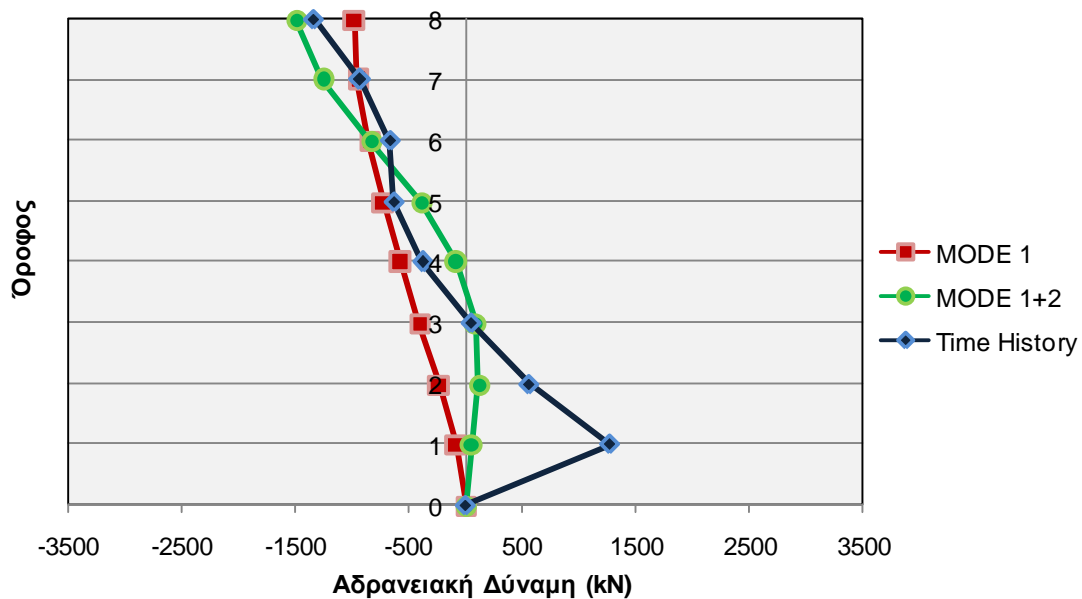
Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_a^* (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	311.5	1.70	-9.55	-0.1264	-183.228	-242.29
2 ^η ιδιομορφή	1777	1.74	1.54	-0.0075	260.669	-127.598

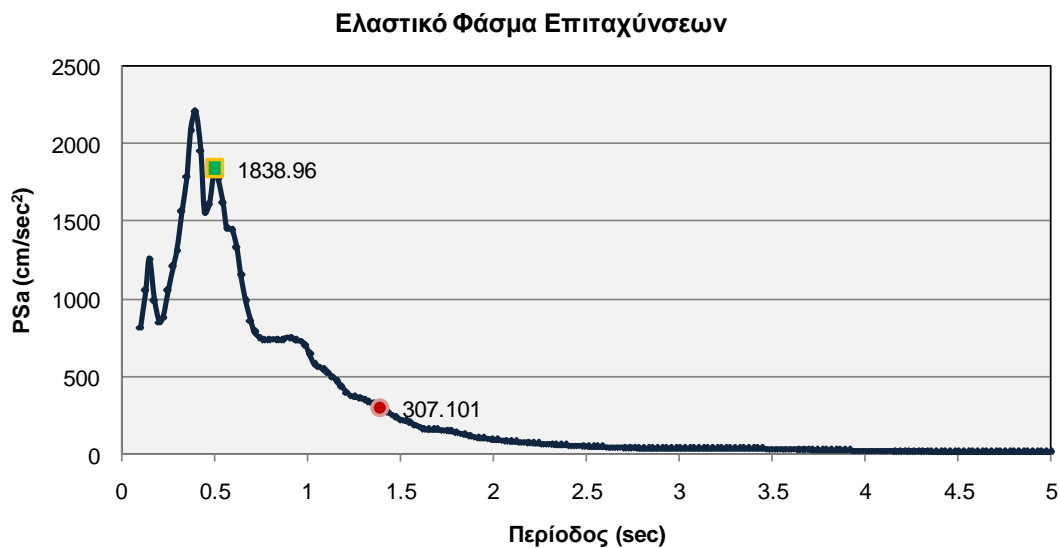
Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:



Σχήμα 5.80: Σύγκριση Μετακινήσεων



Σχήμα 5.81: Σύγκριση αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων



Σχήμα 5.82: Ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων για τη καταγραφή SMI-090



Σχήμα 5.83: Ελαστικό φάσμα μετακίνησης για τη καταγραφή SMI-090

Και οι δύο καταγραφές εισέρχονται στη πλαστική κατάσταση και μάλιστα η δεύτερη ιδιομορφή με μεγαλύτερο συντελεστή διαρροής από την πρώτη ιδιομορφή, επιπλέον από το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων παρατηρούμε ότι η δεύτερη ιδιομορφή βρίσκεται εντός της περιοχής φασματικής ενίσχυσης και σε θέση τοπικού μεγίστου, με τιμή φασματικής επιτάχυνσης πενταπλάσια αυτής της πρώτης ιδιομορφής. Ωστόσο, παρά το γεγονός αυτό, από τη απόκριση της κατασκευής δεν μπορούμε να εξάγουμε κάποιο συμπέρασμα για το πια ιδιομορφή ακολουθεί, αν και παρατηρούμε από τη κατανομή της αδρανειακής και της τέμνουσας δύναμης, μια σύγκλιση προς τη

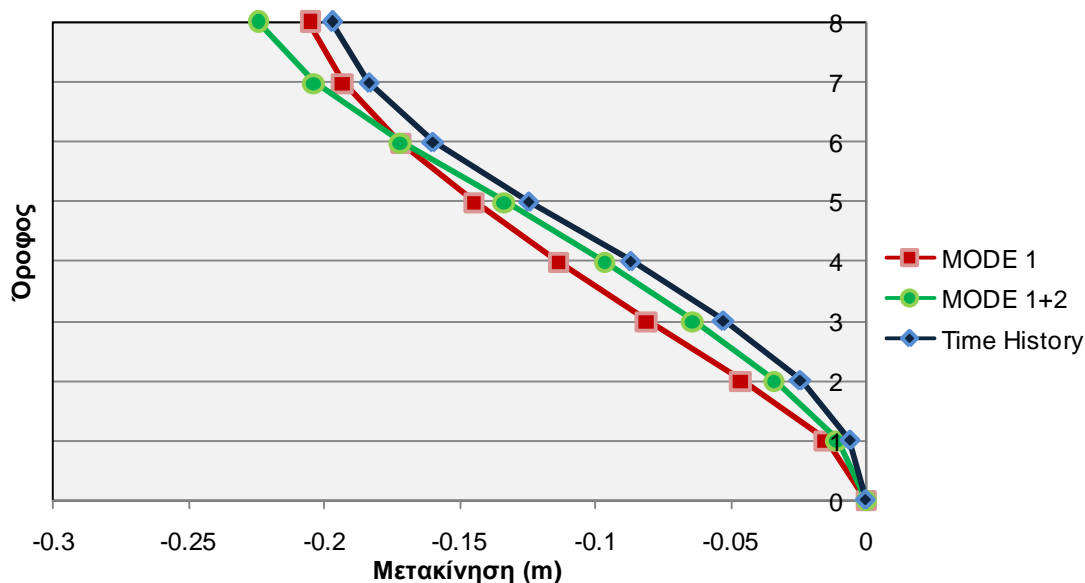
σύνθεση των δύο ιδιομορφών, η οποία όμως δεν είναι και η βέλτιστη δυνατή. Από το ελαστικό φάσμα μετακίνησης μπορούμε παρατηρούμε ότι και οι δύο ιδιομορφές αντιστοιχούν σε κοντινές τιμές μετακίνησης, με τη δεύτερη ιδιομορφή να αντιστοιχεί στον ανοδικό κλάδο, σε αντίθεση με τη πρώτη που κινείται στο καθοδικό, ένα δεδομένο που ενισχύει το συμπέρασμα για τη επιρροή της σύνθεσης των δύο ιδιομορφών στη απόκριση της κατασκευής.

5.5.21 Northridge, CA, USA – SVG-090

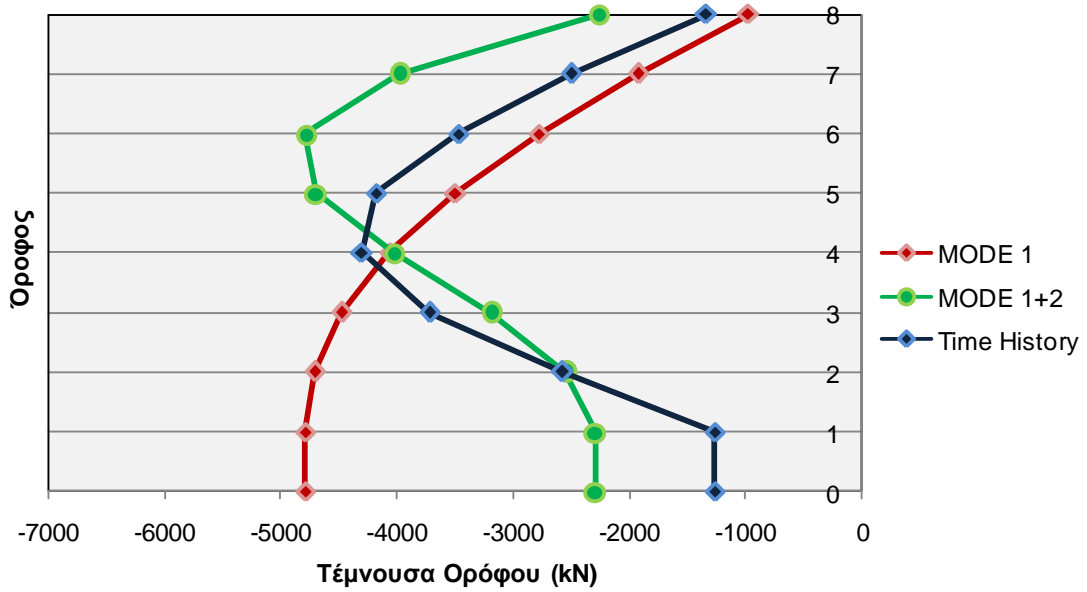
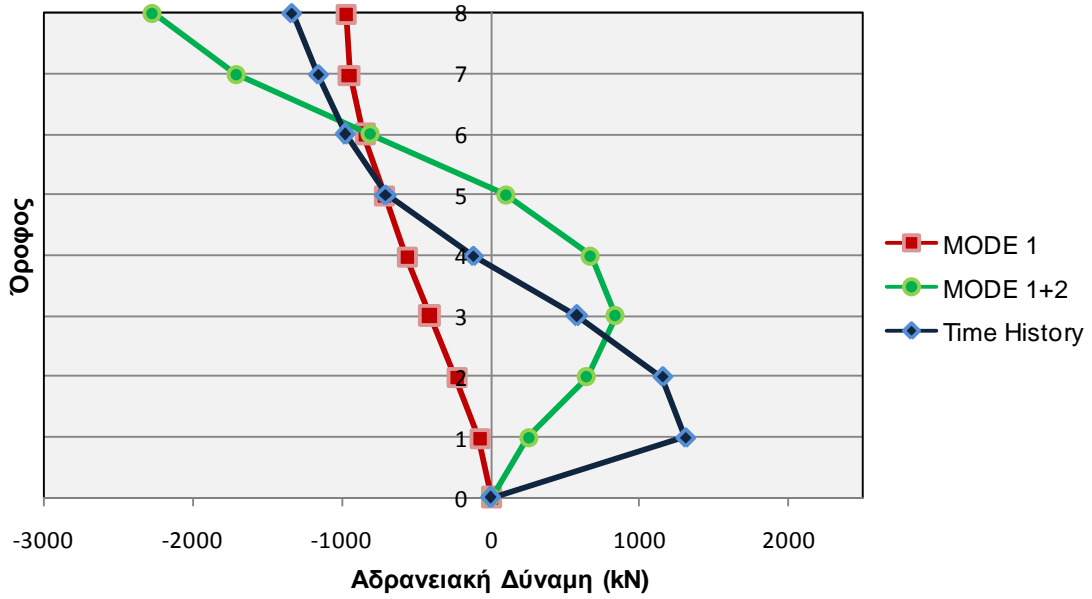
Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_a^* (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	314.3	1.723	-15.54	-0.2056	-182.391	-241.183
2 ^η ιδιομορφή	699.6	0.685	3.87	-0.0189	654.549	-320.402

Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:



Σχήμα 5.84: Σύγκριση μετακινήσεων



Σχήμα 5.85: Σύγκριση αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων



Σχήμα 5.86: Ελαστικό Φάσμα επιταχύνσεων για τη καταγραφή SVG-090



Σχήμα 5.87: Ελαστικό φάσμα μετακινήσεων για τη καταγραφή SVG-090

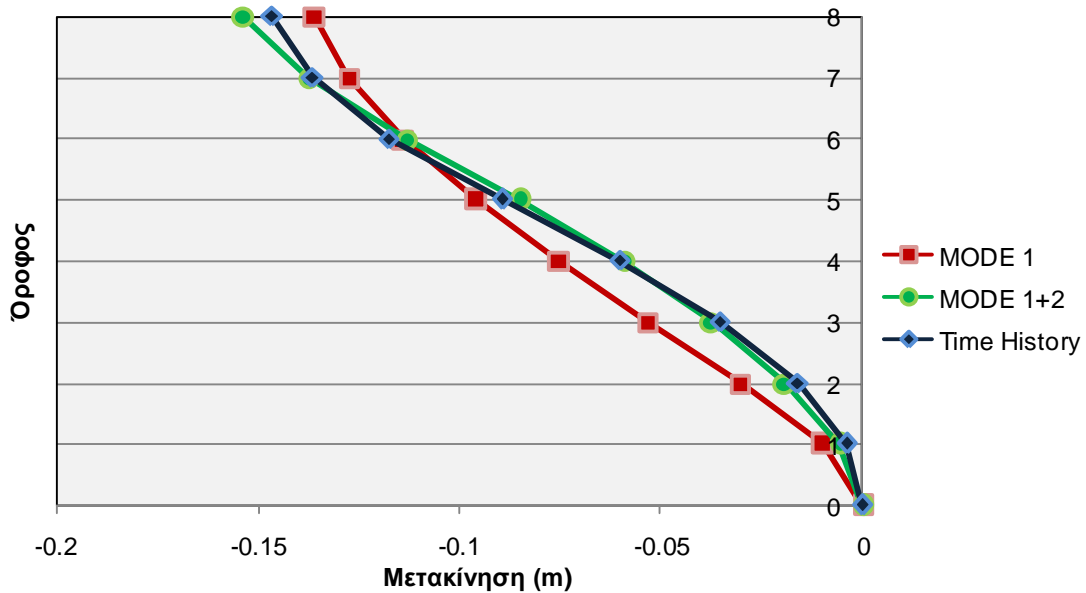
Για της συγκεκριμένη σεισμική διέγερση η πρώτη ιδιομορφή εισέρχεται στη πλαστική περιοχή και η δεύτερη διατηρείται ελαστικά, ενώ παρατηρώντας τα σχήματα 5.84 και 5.85 κατανοούμε τη μεγάλη επιρροή της δεύτερης ιδιομορφής στη απόκριση της κατασκευής, όπως αυτή προσεγγίζεται από το πρόγραμμα SAP. Η επιρροή αυτή είναι εύκολο να ερμηνευτεί με βάση το ελαστικό φάσμα επιτάχυνσης, καθώς η δεύτερη ιδιομορφή αντιστοιχεί στη περιοχή φασματικής ενίσχυσης και σε θέση με μεγάλη τιμή φασματικής επιτάχυνσης, σε αντίθεση με τη πρώτη ιδιομορφή που βρίσκεται στο φθίνοντα κλάδο του φάσματος.

5.5.22 Petrolia, CA, USA – PGS-000

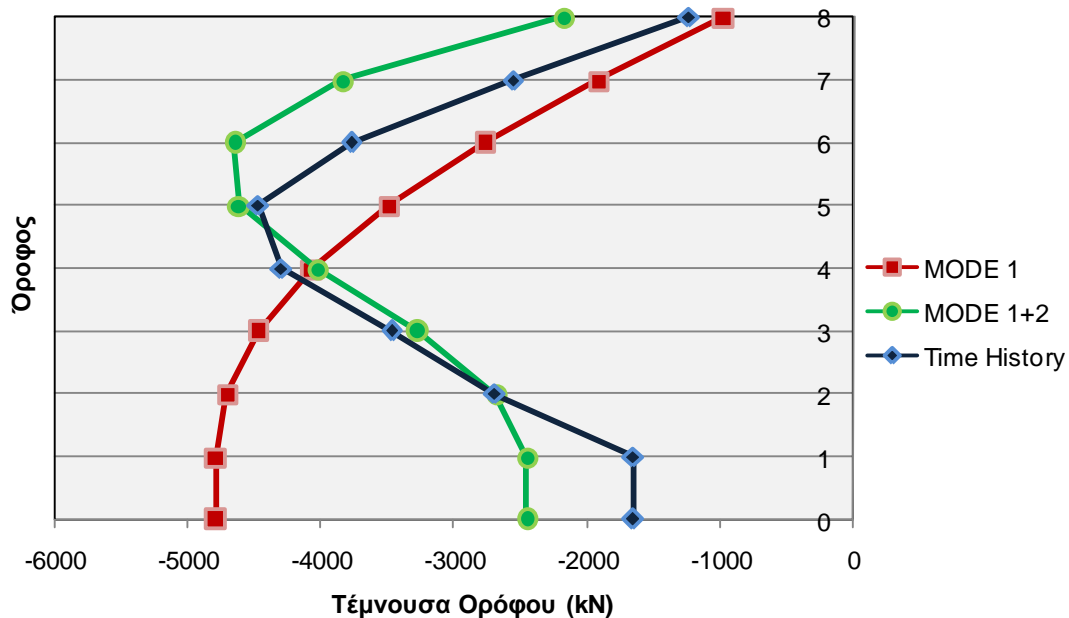
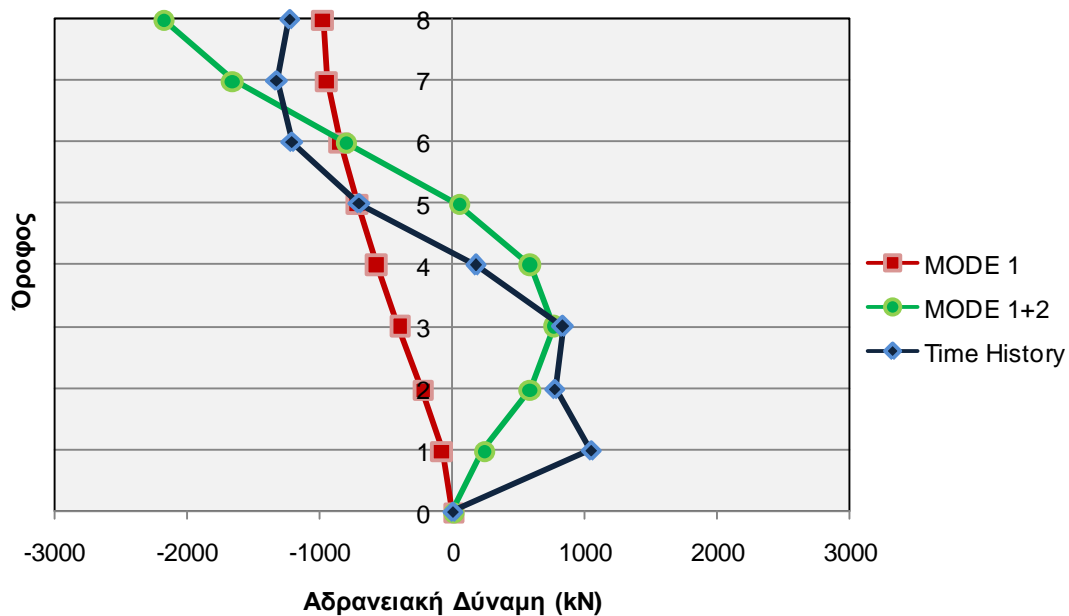
Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_a^* (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	246.8	1.353	-10.29	-0.136	-182.339	-241.194
2 ^η ιδιομορφή	843.3	0.826	3.608	-0.017	610.627	-298.902

Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:

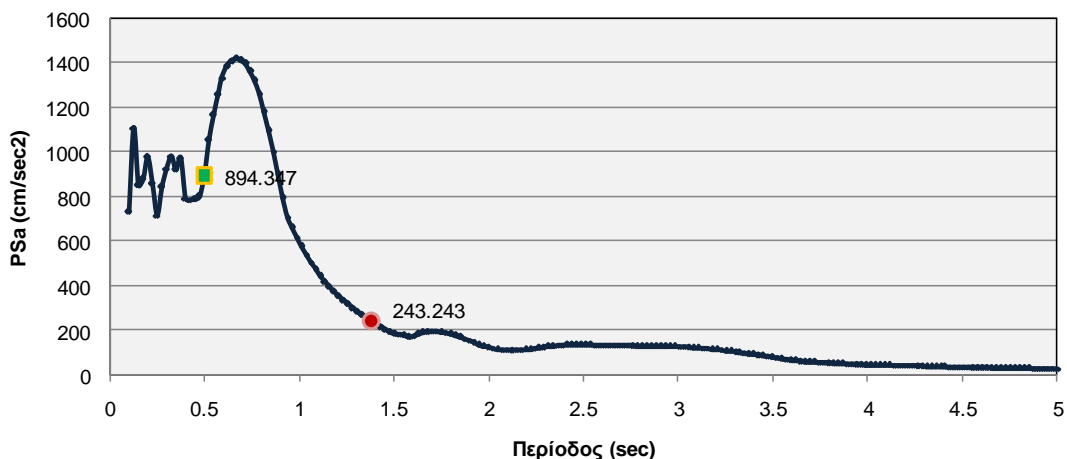


Σχήμα 5.88: Σύγκριση μετακινήσεων



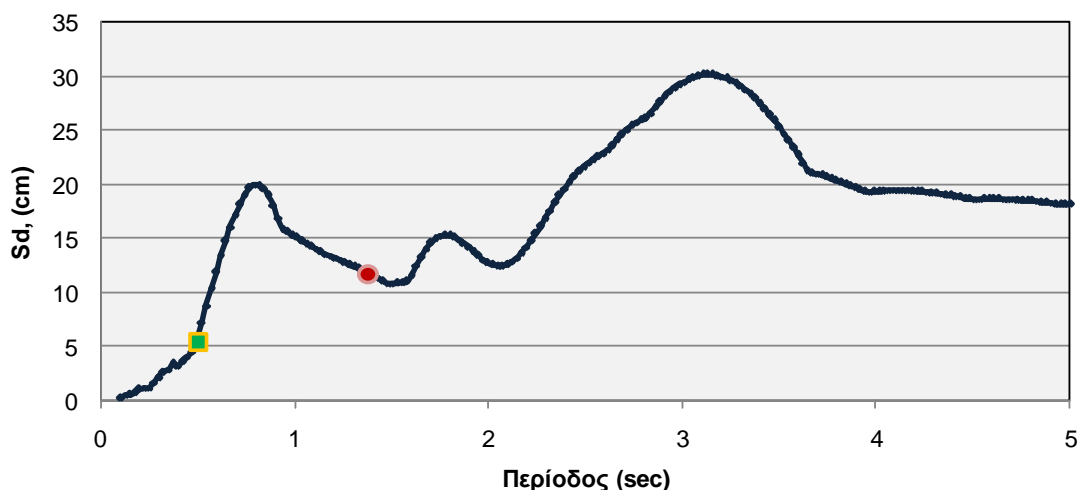
Σχήμα 5.89: Σύγκριση αδρανειακών κα τεμνουσών δυνάμεων

Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων



Σχήμα 5.90: Ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων για τη καταγραφή PGS-000

Ελαστικό Φάσμα Μετακινήσεων



Σχήμα 5.91: Ελαστικό φάσμα μετακινήσεων για τη καταγραφή PGS-000

Η πρώτη ιδιομορφή εισέρχεται στη πλαστική περιοχή με τιμή συντελεστή διαρροής 1.353, ενώ η δεύτερη διατηρείται ελαστικά. Από το ελαστικό φάσμα επιτάχυνσης παρατηρούμε ότι η δεύτερη ιδιομορφή βρίσκεται εντός της περιοχής φασματικής ενίσχυσης και μάλιστα στον ανοδικό κλάδο, με τιμή επιτάχυνσης σχεδόν τετραπλάσια της επιτάχυνσης που αντιστοιχεί στη πρώτη ιδιομορφή, η οποία γραφικά αποτυπώνεται στον ομαλό κλάδο του φάσματος, εκεί που οι τιμές τείνουν προς το μηδέν. Ο παράγοντας αυτός μπορεί να δικαιολογήσει και τη μεγάλη επιρροή της δεύτερης ιδιομορφής στη απόκριση του φορέα, όπως φαίνεται από τα σχήματα 5.87 και 5.88. Από το φάσμα μετακινήσεων δεν μπορούμε να εξάγουμε κάποιο επιπλέον συμπέρασμα, καθώς και οι δύο ιδιομορφές αντιστοιχούν σε κοντινές τιμές

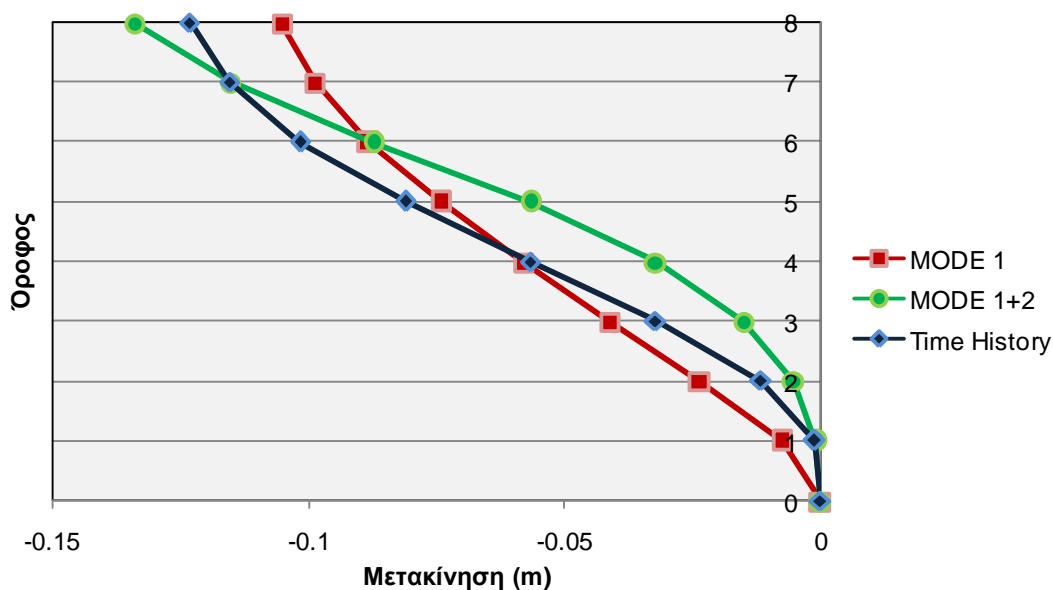
μετακίνησης, με τη δεύτερη ωστόσο να βρίσκεται στον ανοδικό κλάδο και τη πρώτη στον καθοδικό κλάδο του φάσματος.

5.5.23 Sierra Madre, CA, USA – COG-065

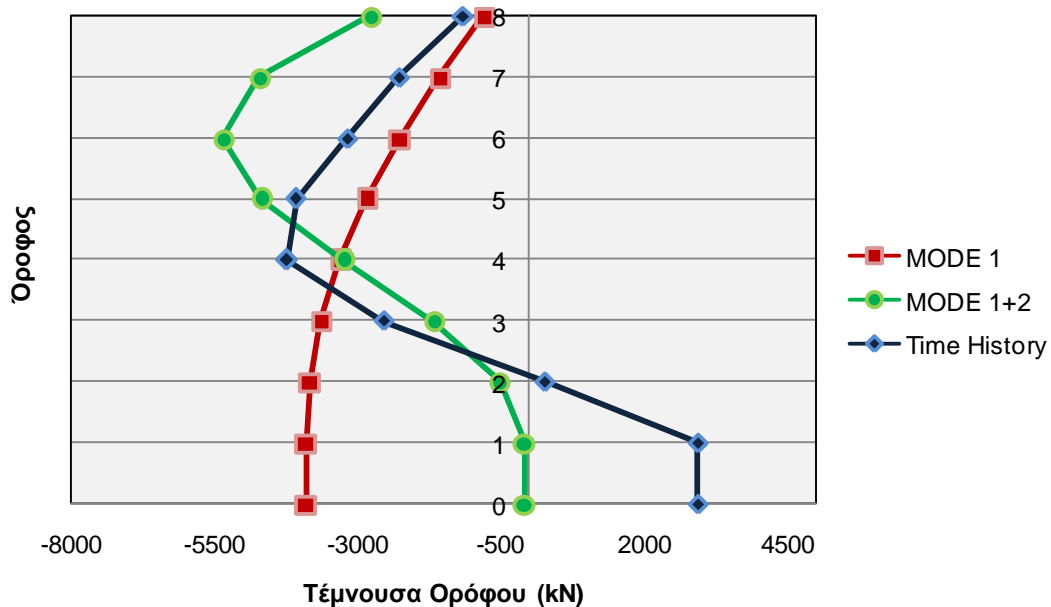
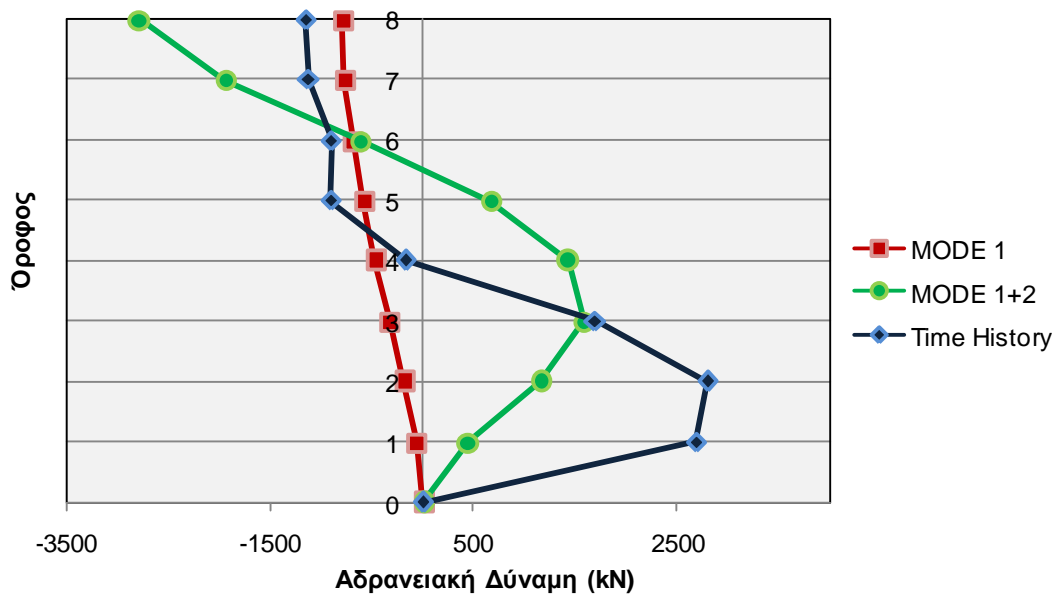
Θέλοντας να εξασφαλίσουμε ότι τουλάχιστον η πρώτη ιδιομορφή εισέρχεται στη πλαστική περιοχή, χρησιμοποιήσαμε για αυτή τα ανάλυση πολλαπλασιαστικό συντελεστή ίσο με 5. Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή που έγινε έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα:

	Sa_{el} (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	Sa^* (cm/sec ²)	Sa (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	198.9	1.1	-7.96	-0.105	148.247	-196.033
2 ^η ιδιομορφή	1335	1.31	5.91	-0.028	1001.16	-490.068

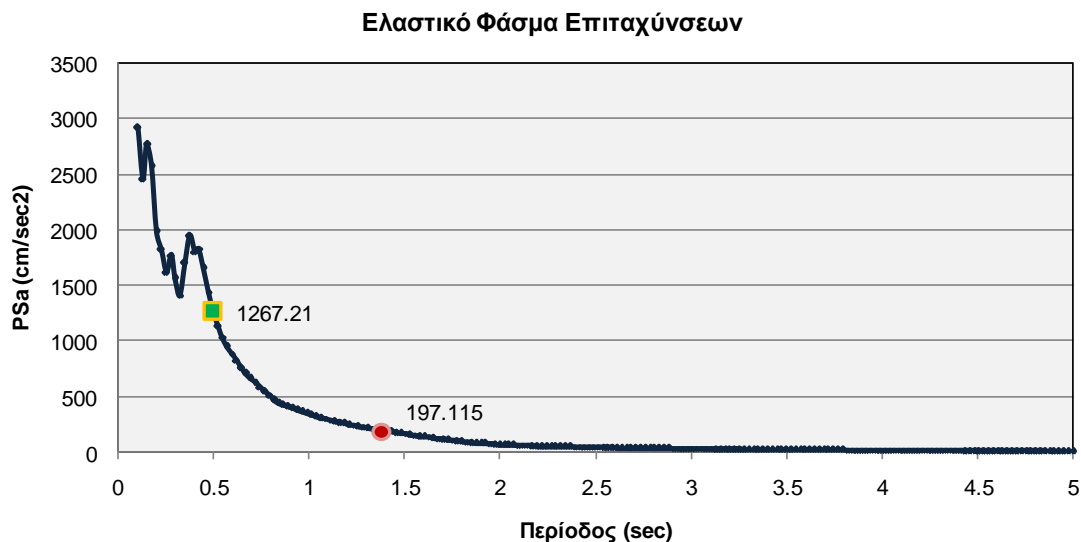
Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:



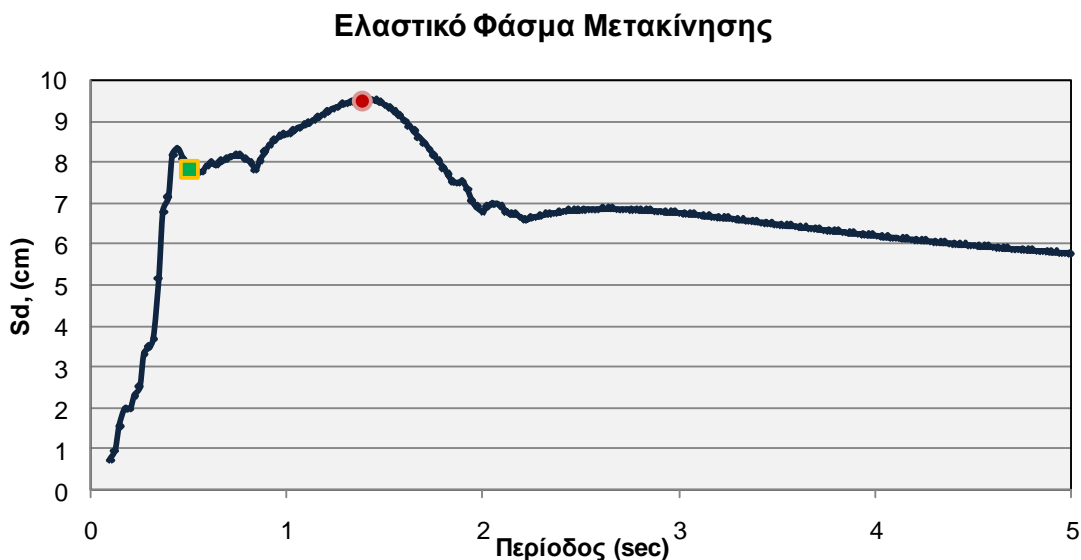
Σχήμα 5.92: Σύγκριση μετακινήσεων



Σχήμα 5.93: Σύγκριση αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων



Σχήμα 5.94: Ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων για τη καταγραφή COG-065



Σχήμα 5.95: Ελαστικό φάσμα μετακινήσεων για τη καταγραφή COG-065

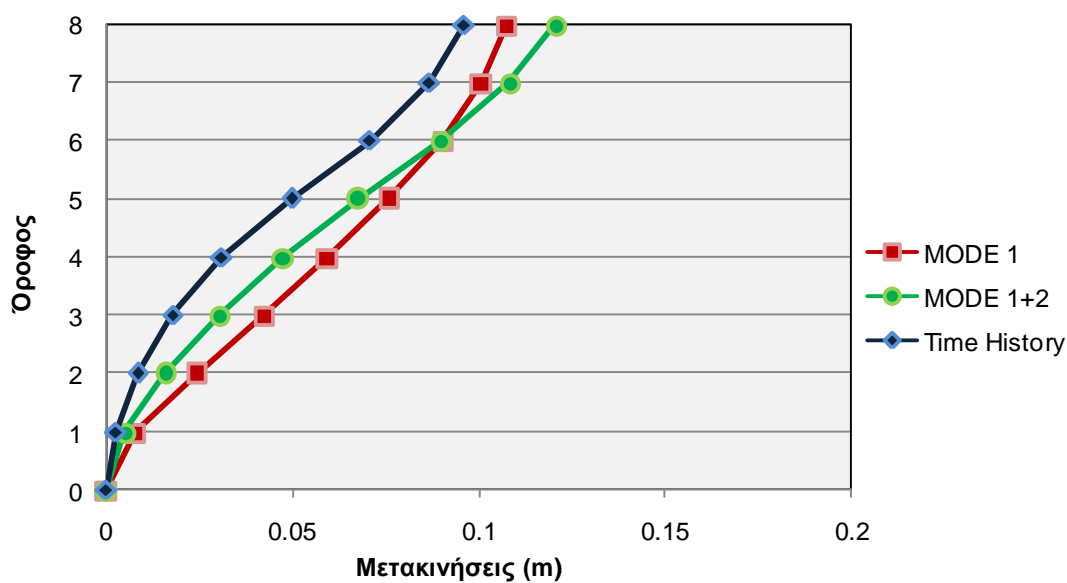
Στην προκειμένη περίπτωση και οι δύο ιδιομορφές εισέρχονται στη πλαστική περιοχή, με τη δεύτερη ιδιομορφή μάλιστα να αναπτύσσει μεγαλύτερο συντελεστή διαρροής. Από το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων παρατηρούμε ότι και οι δύο ιδιομορφές βρίσκονται στον καθοδικό κλάδο του φάσματος, με τη δεύτερη όμως ιδιομορφή να έχει πολύ μεγαλύτερη τιμή φασματικής επιτάχυνσης από τη πρώτη. Από το φάσμα μετακίνησης και οι δύο ιδιομορφές αντιστοιχούν σε θέσεις τοπικών μεγίστων, έχουμε δηλαδή συντονισμό αλλά αντιστοιχούν σε κοντινές τιμές μετακίνησης. Έχοντας αυτά ως δεδομένο γίνεται κατανοητή η επίδραση της δεύτερης ιδιομορφής στη απόκριση του φορέα, όπως και επιβεβαιώνεται από τα σχήματα 5.91 και 5.92.

5.5.24 Sierra Madre, CA, USA – ETN-090

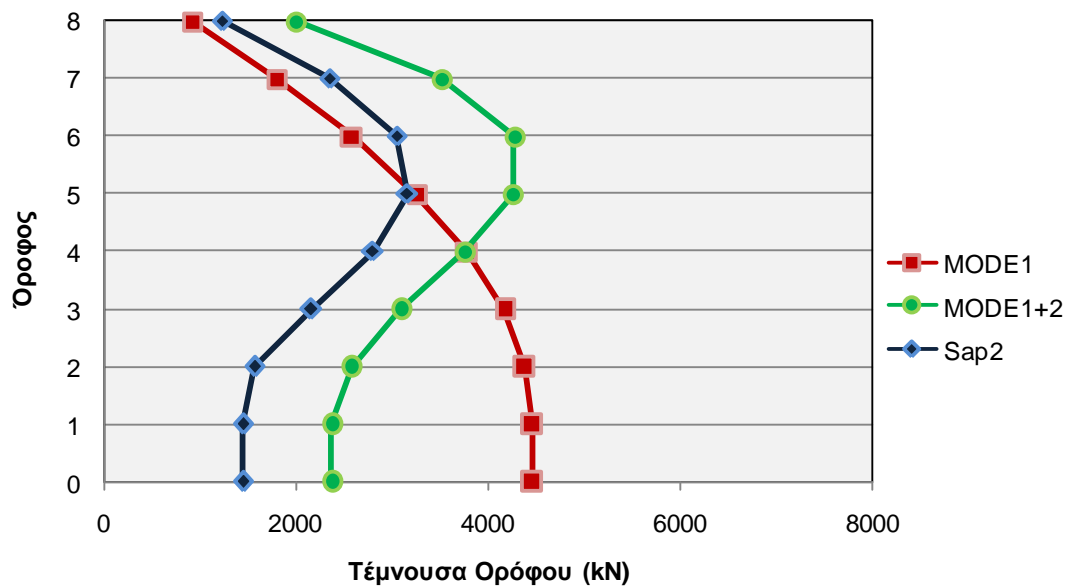
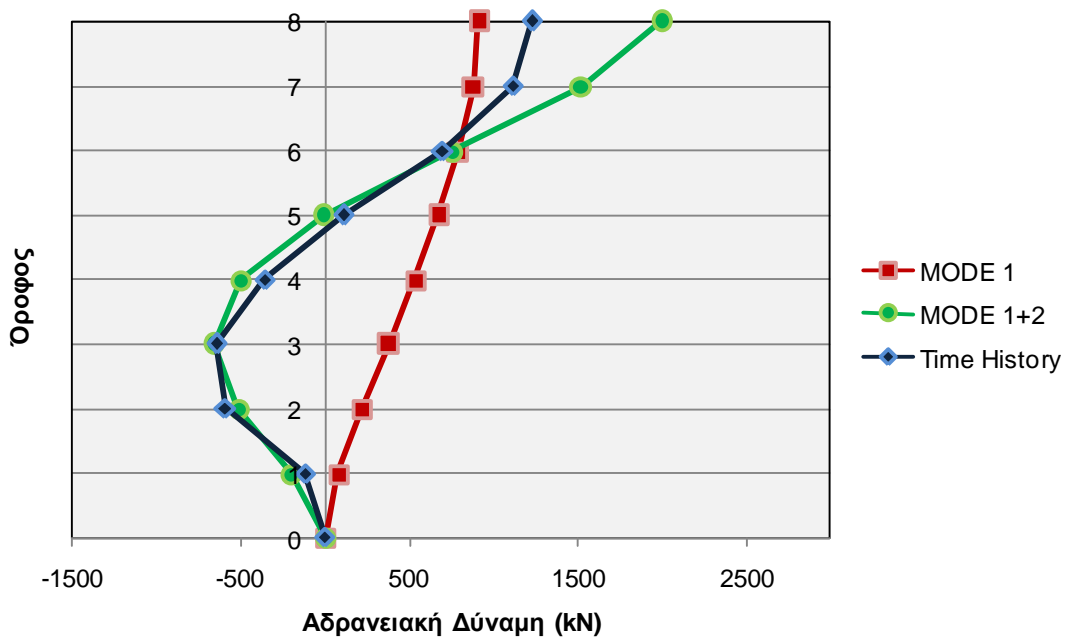
Όμοια με τη προηγούμενη περίπτωση, θέλοντας να εξασφαλίσουμε ότι τουλάχιστον η πρώτη ιδιομορφή εισέρχεται στη πλαστική περιοχή, χρησιμοποιήσαμε πολλαπλασιαστικό συντελεστή ίσο με 5. Η ανάλυση χρονοϊστορίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή που έγινε έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα:

	$S_{a_{el}}$ (cm/s ²)	R_y	δ^* (cm)	Δ (m)	S_a^* (cm/sec ²)	S_a (cm/sec ²)
1 ^η ιδιομορφή	206.5	1.13	8.11	0.107	169.664	224.35
2 ^η ιδιομορφή	2267	2.22	2.68	0.013	-546.174	267.35

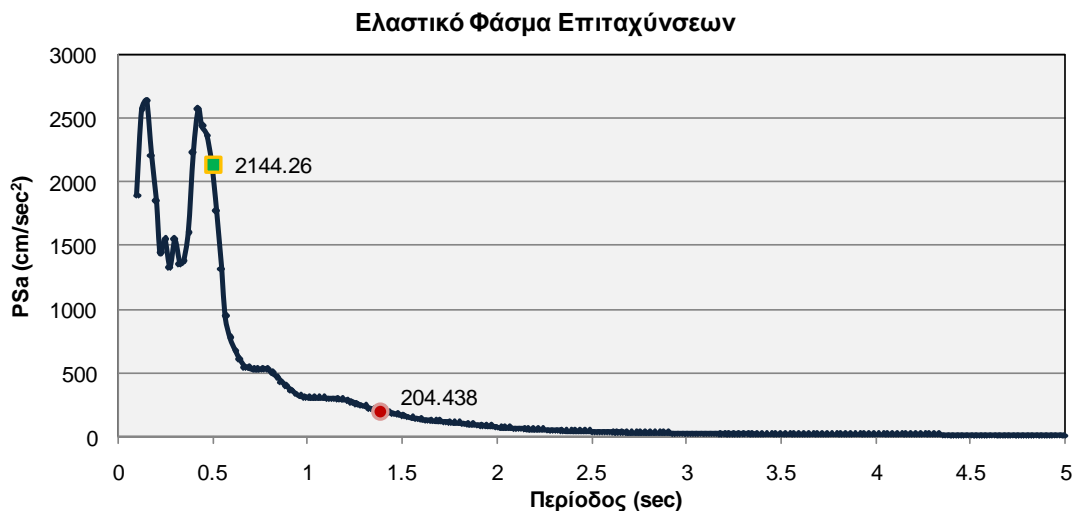
Η κατανομή των μετακινήσεων, των αδρανειακών και των τεμνουσών καθ' ύψος των ορόφων είναι η εξής:



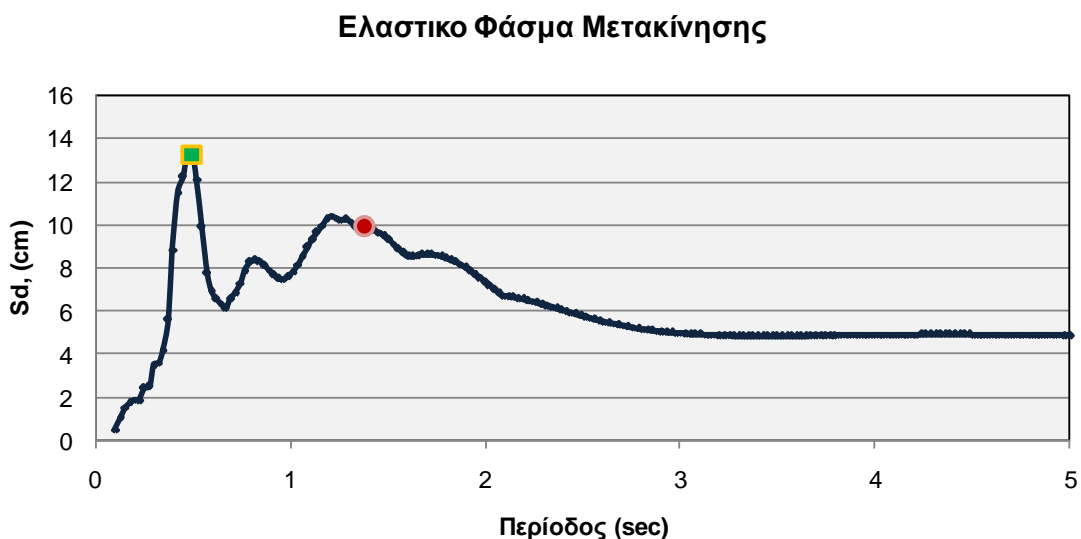
Σχήμα 5.96: Σύγκριση Μετακινήσεων



Σχήμα 5.97: Σύγκριση Αδρανειακών και Τεμνουσών Δυνάμεων



Σχήμα 5.98: Ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων για τη καταγραφή ETN-090



Σχήμα 5.99: Ελαστικό φάσμα μετακινήσεων για τη καταγραφή ETN-090

Η καταγραφή αυτή είναι μια από τις χαρακτηριστικότερες περιπτώσεις όλων των καταγραφών που αναλύσαμε, έως τώρα, καθώς βλέπουμε στο μέγιστο βαθμό την επιρροή της δεύτερης ιδιομορφής στη απόκριση του φορέα και μπορούμε να ερμηνεύσουμε κιάλας και τις αιτίες που οδηγούν σε αυτό το γεγονός. Πιο συγκεκριμένα, και οι δύο ιδιομορφές εισέρχονται στη πλαστική περιοχή και μάλιστα η δεύτερη με διπλάσιο συντελεστή διαρροής από την πρώτη, αυτό όμως που έχει ιδιαίτερη σημασία προκύπτει από τα σχήματα 5.97 και 5.98, τα ελαστικά φάσματα τις διέγερσης, δηλαδή. Παρατηρώντας το σχήμα 5.97, προκύπτει ότι η δεύτερη

ιδιομορφή αντιστοιχεί στον ανοδικό κλάδο του φάσματος και έχει τιμή φασματικής επιτάχυνσης δεκαπλάσια της πρώτης, η οποία αποτυπώνεται στο πτωτικό κλάδο, εκεί που οι επιταχύνσεις τείνουν σε μηδενικές τιμές. Πρόσθετα με αυτό, στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε, βασιζόμενοι και στο ελαστικό φάσμα μετακίνησης (βλ. σχήμα 5.98), από το φάσμα αυτό παρατηρούμε ότι έχουμε συντονισμό του φορέα για τη δεύτερη ιδιομορφή, γεγονός που τελικά επιβεβαιώνει την τόσο μεγάλη συνεισφορά της δεύτερης ιδιομορφής στη απόκριση της κατασκευής.

5.6 Εκτίμηση Ικανότητας Πλαστικής Στροφής

Στην παράγραφο αυτή που ακολουθεί θα εκτιμήσουμε την επιρροή της δεύτερης ιδιομορφής στη ικανότητα πλαστικής στροφής του φορέα. Για τον έλεγχο θα χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα των στροφών, όπως προκύπτουν από το πρόγραμμα SAP, για ένα κόμβο δοκού-υποστυλώματος στην ανώτερη στάθμη του κτιρίου (Δοκός Δ14, βλ. σχήμα 3.1). Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων θα γίνει μέσω του υπολογισμού του % ποσοστού του λόγου της πλαστικής στροφής, που επιτυγχάνεται για κάθε σεισμική διέγερση και την μέσης τιμής της γωνίας στροφής χορδής κατά την φάση αστοχία, όπως αυτή δίνεται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ (2010/2011). Αφού γίνει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων στο τέλος της παραγράφου θα ακολουθήσει σχολιασμός για τη πιθανή συμβολή της δεύτερης ιδιομορφής στο εκτιμώμενο αυτό ποσοστό.

Αρχικά λοιπόν η σχέση μέσω της οποίας γίνεται ο υπολογισμός της γωνίας στροφής χορδής κατά τη αστοχία για δοκούς ή υποστυλώματα με βάση τις διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ (2010-2011) είναι η εξής:

$$\theta = 0.016 \cdot (0.3^v) \left[\frac{\max(0.01, \omega') \cdot f_c}{\max(0.01, \omega)} \right]^{-0.225} (a_s)^{0.35} 25^{\left(a_s \rho_s \cdot \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1.25^{100 \cdot \rho_d})$$

Όπου

- a_s : ο λόγος διάτμησης, που λαμβάνεται ίσος με $\frac{1}{2}$
- ω, ω' : μηχανικό ποσοστό εφελκόμενου και θλιβόμενου οπλισμού
- $v = N/(bhf_c)$
- $\rho_s = A_{sh}/b_w s_h$: γεωμετρικό ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού παράλληλα στη διεύθυνση της φόρτισης
- ρ_d : γεωμετρικό ποσοστό δισδιαγώνιου οπλισμού

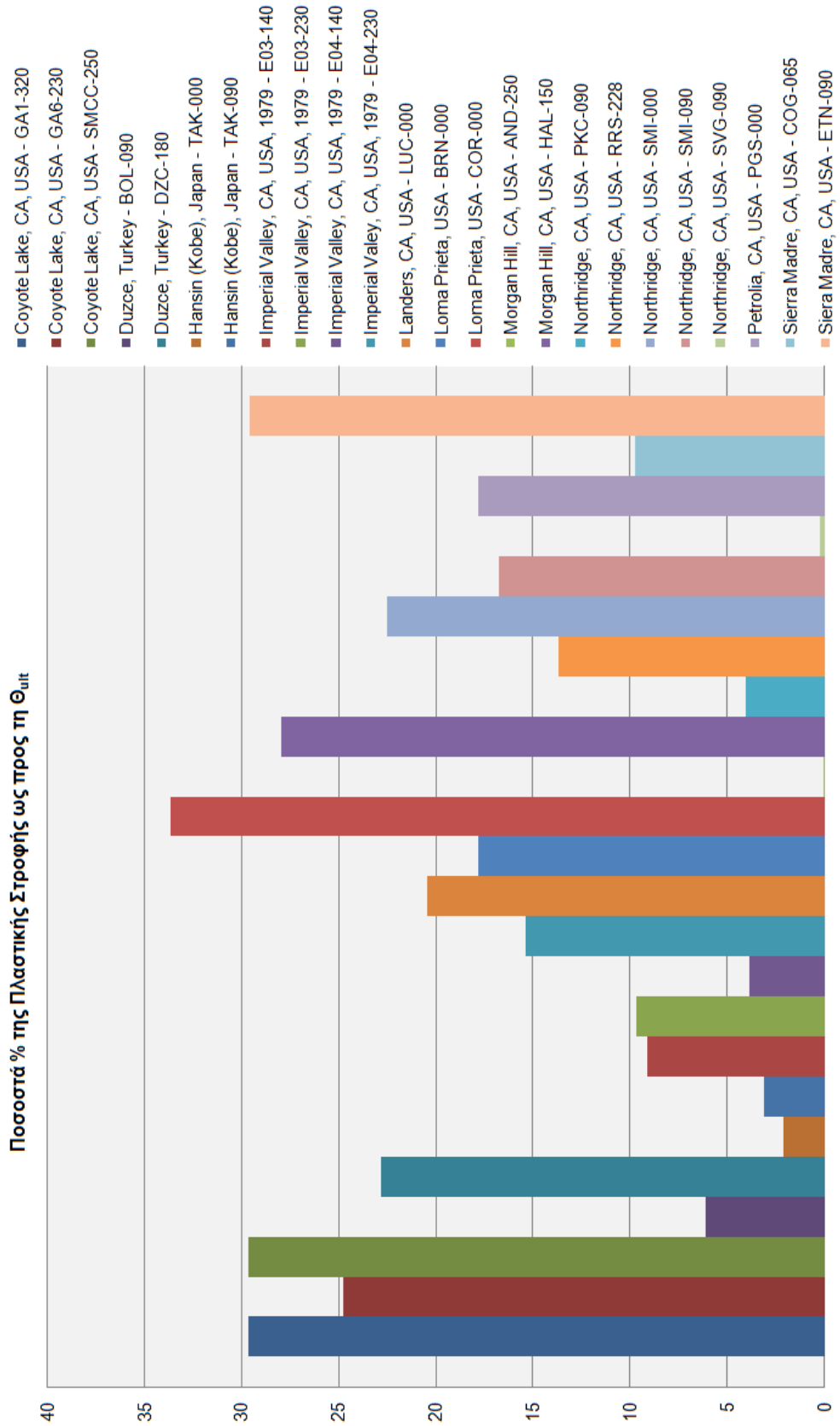
Το δοκάρι Δ14, με διαστάσεις 60/30 και οπλισμό θλιβόμενης ζώνης 2Φ18 και εφελκόμενης 5Φ14, καταπονείται με αξονική δρώσα δύναμη ίση με 50.59KN (θλιπτική). Το σκυρόδεμα είναι C20/25 και ο χάλυβας του διαμήκους οπλισμού $f_y=500$ MPA. Λόγω του ότι σε δοκούς η περίσφιγξη δεν νοείται ως έννοια, ο συντελεστής αποδοτικότητας περίσφιγξης a , με βάση τον ΕΚΩΣ, λαμβάνεται ίσος με το 0, όπως επίσης και ο συντελεστής ρ_d διότι δεν υπάρχει δισδιαγώνιος οπλισμός εντός της δοκού. Με βάση λοιπόν τη παραπάνω σχέση προκύπτει τελικά ότι το $\theta=0.019$.

Στη συνέχεια ακολουθεί ο υπολογισμός των ολικών στροφών για κάθε σεισμική διέγερση που έχουμε αναλύσει μέσω του προγράμματος SAP, τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα (5.1) που ακολουθεί:

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ	ΤΕΛΙΚΗ ΣΤΡΟΦΗ	% ΠΟΣΟΣΤΑ
Coyote Lake, CA, USA - GA1-320	0.005903	29.66
Coyote Lake, CA, USA - GA6-230	0.004921	24.73
Coyote Lake, CA, USA - SMCC-250	0.005903	29.66
Duzce, Turkey - BOL-090	0.00122	6.13
Duzce, Turkey - DZC-180	0.004536	22.79
Hansin (Kobe), Japan - TAK-000	0.0004183	2.10
Hansin (Kobe), Japan - TAK-090	0.0006157	3.09
Imperial Valley, CA, USA, 1979 - E03-140	0.001817	9.13
Imperial Valley, CA, USA, 1979 - E03-230	0.001928	9.69
Imperial Valley, CA, USA, 1979 - E04-140	0.0007726	3.88
Imperial Valley, CA, USA, 1979 - E04-230	0.003059	15.37
Landers, CA, USA - LUC-000	0.004068	20.44
Loma Prieta, USA - BRN-000	0.003544	17.81
Loma Prieta, USA - COR-000	0.006702	33.68
Morgan Hill, CA, USA - AND-250	0.00000826	0.04
Morgan Hill, CA, USA - HAL-150	0.005562	27.95
Northridge, CA, USA - PKC-090	0.0008053	4.05
Northridge, CA, USA - RRS-228	0.002728	13.71
Northridge, CA, USA - SMI-000	0.004479	22.51
Northridge, CA, USA - SMI-090	0.003331	16.74
Northridge, CA, USA - SVG-090	0.00004756	0.24
Petrolia, CA, USA - PGS-000	0.003541	17.79
Sierra Madre, CA, USA - COG-065	0.001932	9.71
Siera Madre, CA, USA - ETN-090	0.005884	29.5678392

Πίνακας 5.1: Τελικές τιμές στροφής για την δοκό Δ14, υπό τις σεισμικές διεγέρσεις που δίνονται.

Όπως παρατηρούμε και από τον πίνακα οι τιμές των στροφών είναι συγκριτικά με τις τιμή θ_u πολύ μειωμένες, με αποτέλεσμα το δοκάρι ενώ διαρρέει να μην εισέρχεται σε κατάσταση αστοχίας και τα αποτελέσματα των ποσοστών να είναι κάτω από το 40%. Το γράφημα με τα ποσοστά δίνεται στο σχήμα 5.100 που ακολουθεί:



Σχήμα 5.100 Γράφημα με τα ποσοστά του λόγου θ/θ_u κάθε σεισμικής διέγερσης

Στη παράγραφο 5.5 της παρούσας διπλωματικής αναλύσαμε για κάθε σεισμική διέγερση ξεχωριστά την επιρροή της δεύτερης ιδιομορφής στην απόκριση της κατασκευής σε σχέση με τις δυνάμεις και τις μετακινήσεις. Όπως παρατηρήσαμε λοιπόν υπήρχαν καταγραφές για τις οποίες οι δεύτερη ιδιομορφή είχε μεγάλη επιρροή και άλλες για τις οποίες η δεύτερη ιδιομορφή δεν έδινε κάποια σημαντική συμβολή. Στην παράγραφο αυτή, παρατηρούμε ότι τα μεγαλύτερα % ποσοστά του λόγου θ/θ_u αντιστοιχούν σε καταγραφές κατά τις οποίες έχουμε σημαντική συμβολή της δεύτερης ιδιομορφής. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι οι καταγραφές που παρουσιάζουν και τα μεγαλύτερα ποσοστά, όπως η GAI-320, η BOL-090, η COR-000 και η ETN-090 έχουν στη συμπεριφορά του φορέα σημαντική επιρροή της δεύτερης ιδιομορφής, τόσο σε σχέση με την κατανομή των δυνάμεων καθ' ύψος του φορέα όσο και σε σχέση με τις μετακινήσεις ανά όροφο. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις όπου τα ποσοστά υπολογίζονται μειωμένα, η συμβολή της δεύτερης ιδιομορφής, στις περισσότερες από αυτές, εκτιμάται περιορισμένη και κυρίως σε σχέση με την κατανομή των μετακινήσεων καθ' ύψος, όπου και έχουμε και τις μεγαλύτερες αποκλίσεις. Πιο συγκεκριμένα για τις καταγραφές TAK-000 και TAK-090, με ποσοστά μόλις 2 και 3%, όπως ήδη έχουμε αναλύσει από τις παραγράφους 5.5.6 και 5.5.7, η επιρροή της δεύτερης ιδιομορφής ήταν πρακτικά ανύπαρκτη, καθώς η συμπεριφορά του φορέα συνέκλινε πιο πολύ προς τη πρώτη ιδιομορφή.

Βέβαια δεν απουσιάζουν και οι εξαιρέσεις, καθώς υπήρχαν καταγραφές κατά τις οποίες η δεύτερη ιδιομορφή είχε σημαντική επιρροή στη απόκριση του φορέα αλλά σε σχέση με τις στροφές η επιρροή αυτή δεν φάνηκε. Η καταγραφή PGS-000 για παράδειγμα, αντιστοιχεί σε αυτή τη περίπτωση, καθώς η επιρροή της δεύτερης ιδιομορφής ήταν σημαντική, όπως φαίνεται και από τα σχήματα 5.88 και 5.89, αλλά παρατηρούμε ότι το ποσοστό εκτίμησης της πλαστικής στροφής ήταν μόλις 18%, αρκετά μειωμένο, γεγονός που δεν επιβεβαιώνει την παρατήρηση που κάναμε παραπάνω, σύμφωνα με την οποία, τα μικρότερα ποσοστά της στροφικής ικανότητας, αντιστοιχούν σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η επιρροή της δεύτερης είναι αμελητέα. Επομένως είναι δύσκολο να καταλήξουμε σε ένα γενικότερο συμπέρασμα, σχετικά με την συσχέτιση της στροφικής ικανότητας και της επιρροής της δεύτερης ιδιομορφής.

6

Συμπεράσματα

6.1 Γενικά Στοιχεία

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η διερεύνηση τη συμμετοχής ανωτέρων ιδιομορφών στην απόκριση ενός οκταώροφου φορέα, κατασκευασμένου από ωπλισμένο σκυρόδεμα, έναντι σεισμικών διεγέρσεων κοντινού πεδίου.

Για την εκτίμηση της συμπεριφοράς της κατασκευής εφαρμόζεται η ιδιομορφική ανελαστική δυναμική ανάλυση, κάνοντας σύνθεση των δύο πρώτων ιδιομορφών. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μέσω της ανάλυσης αυτής συγκρίνονται με τα αποτελέσματα της ανελαστικής ανάλυσης χρονοϊστορίας, με στόχο να διαπιστωθεί το ποσοστό σύγκλισης τους.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει τελικά, ότι η ιδιομορφική ανελαστική δυναμική ανάλυση μας δίνει αποτελέσματα αρκετά κοντά σε αυτά της ανελαστικής ανάλυσης χρονοϊστορίας και υπερτερεί έναντι αυτής από άποψη υπολογιστικού φόρτου και χρόνου. Γι αυτούς κυρίως τους λόγους και οι μελετητές προσπαθούν να αναπτύξουν νέες μεθόδους εκτίμησης της απόκρισης των κατασκευών, τα αποτελέσματα των οποίων να είναι όσο το δυνατόν πιο συμβατά με αυτά της ανελαστικής ανάλυσης χρονοϊστορίας και μια από τις καλύτερες μεθόδους είναι η ιδιομορφική ανελαστική δυναμική ανάλυση.

6.2 Εφαρμοζόμενη Μεθοδολογία

Θέλοντας να εκτιμήσουμε τη συμμετοχή των ανώτερων ιδιομορφών εφαρμόστηκαν δύο μέθοδοι, αρχικά η ανελαστική ανάλυση χρονοϊστορίας του πολυβάθμιου φορέα και έπειτα η ιδιομορφική ανελαστική δυναμική ανάλυση. Ο φορέας που χρησιμοποιήθηκε είναι ένα οκταώροφο κτίριο, κατασκευασμένο από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Για να επιτύχουμε καλύτερη ανάλυση του φορέα στο πρόγραμμα SAP, εφαρμόσαμε δέσμευση κατά τη μια διεύθυνση του φορέα.

Ξεκινώντας λοιπόν τη μεθοδολογία γίνεται ανάλυση του πολυβάθμιου φορέα και υπολογίζονται οι ιδιοπερίοδοι και οι ιδιομορφές με στόχο στη συνέχεια να διεξαχθούν ανελαστικές αναλύσεις χρονοϊστορίας. Από αυτές υπολογίζονται οι μετακινήσεις και οι επιταχύνσεις. Πιο συγκεκριμένα, λαμβάνονται οι μετακινήσεις και οι επιταχύνσεις καθ' ύψος των ορόφων, τη χρονική στιγμή της μέγιστης μετακίνησης στον ανώτερο όροφο.

Στη συνέχεια ακολουθεί η ιδιομορφική ανελαστική δυναμική ανάλυση για τον υπολογισμό των αντίστοιχων και πάλι μεγεθών. Τα βήματα αυτής είναι τα εξής:

- Για την n -ιδιομορφή κάνουμε pushover analysis και βρίσκουμε την καμπύλη αντίστασης.
- Μετατροπή της καμπύλης αντίστασης σε ιδεατό διγραμμικό διάγραμμα αντίστασης.
- Μετατροπή του ιδεατού διγραμμικού διαγράμματος σε ιδεατό διγραμμικό διάγραμμα αντίστασης ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος και βρίσκουμε έτσι την επιτάχυνση και τη μετακίνηση διαρροής του ισοδύναμου μονοβάθμιου.
- Ελαστικές αναλύσεις χρονοϊστορίας του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος με το πρόγραμμα Bispec και υπολογισμός του συντελεστή διαρροής R_y της n -ιδιομορφής.
- Έχοντας ως δεδομένους τους συντελεστές R_y προχωράμε σε Ανελαστικές αναλύσεις χρονοϊστορίας του στο Bispec, από όπου λαμβάνουμε τις τιμές για την πρώτη ιδιομορφή :
 - *Μετακίνηση*, τη χρονική στιγμή όπου εμφανίζεται τοπικό μέγιστο, κοντά στη χρονική στιγμή όπου εμφανίζεται η μέγιστη μετακίνηση από την ανάλυση χρονοϊστορίας του πολυβάθμιου συστήματος στο SAP.
 - *Επιτάχυνση*, την ίδια χρονική στιγμή.

Για τις υπόλοιπες ιδιομορφές λαμβάνουμε τις ταυτόχρονες τιμές, δηλαδή τις τιμές για τη χρονική στιγμή που πήραμε στην πρώτη ιδιομορφή.

- Σύνθεση των τιμών για όλες τις ιδιομορφές με απλή πρόσθεση, διατηρώντας τα πρόσημα.
- Για τη καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται παρουσίαση τους σε διαγράμματα, όπου φαίνονται:
 - Οι τιμές της πρώτης ιδιομορφής καθ' ύψος του κτηρίου
 - Οι τιμές της σύνθεσης της πρώτης με τη δεύτερη ιδιομορφή καθ' ύψος του κτηρίου.
 - Οι τιμές που προκύπτουν από την ανελαστική ανάλυση χρονοϊστορίας του πολυβάθμιου συστήματος.

Οι ιδιομορφές που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση είναι οι δύο πρώτες, καθώς θεωρήθηκε ότι οι ανώτερες δεν συμμετέχουν στην απόκριση του κτηρίου λόγω της πολύ μικρής τιμής της ιδιοπεριόδου τους.

6.3 Συνοπτική Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων

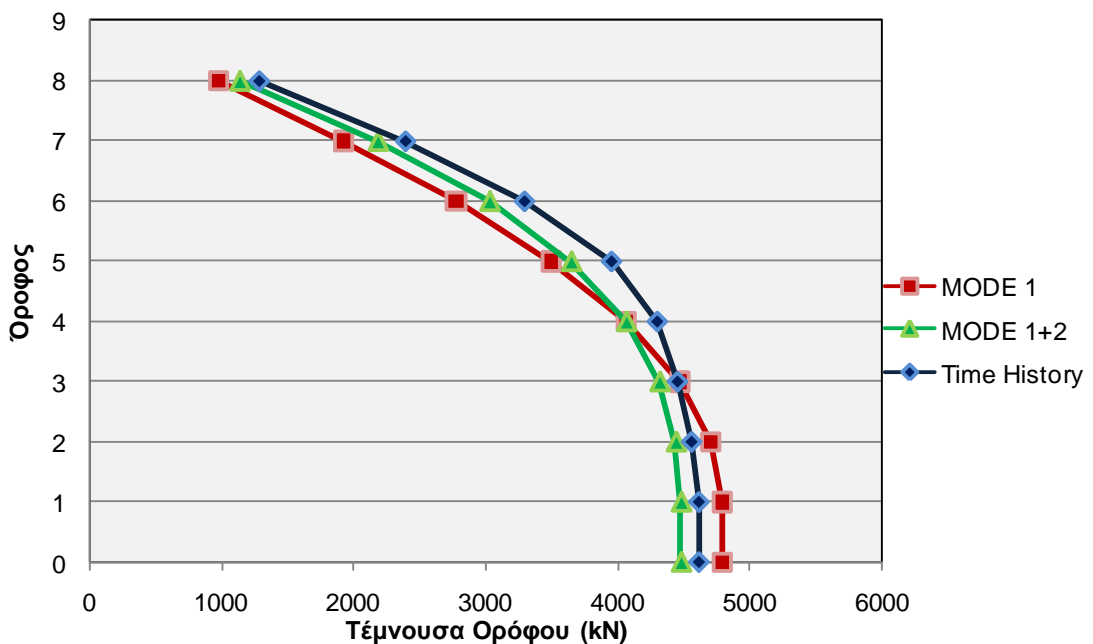
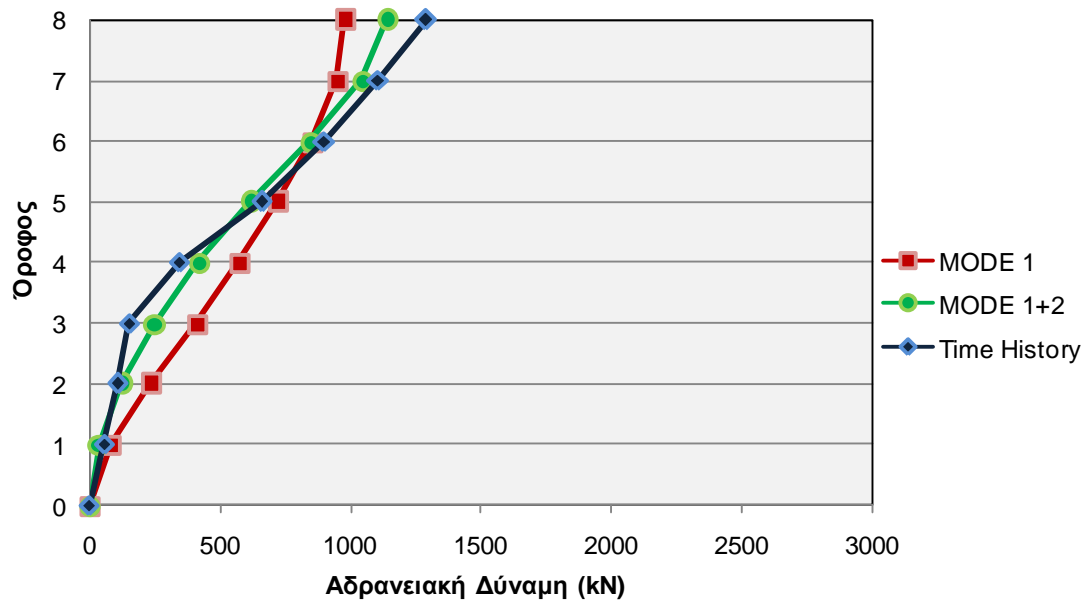
Από την παρουσίαση των αποτελεσμάτων στο κεφάλαιο 5 ήδη, έχει γίνει κατανοητή η επιρροή της δεύτερης ιδιομορφής στη απόκριση του φορέα, σε σχέση με τις αδρανειακές δυνάμεις και τις τέμνουσες. Ενώ σε σχέση με τις μετακινήσεις τα αποτελέσματα δεν μπορούν να δώσουν μια σαφή εκτίμηση για τη συμμετοχή της δεύτερης ιδιομορφής. Στην συνέχεια της παραγράφου αυτής θα αναφερθούν κάποιες χαρακτηριστικές περιπτώσεις που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως προς τα αποτελέσματα τους.

- Αρχικά σε σχέση με τις μετακινήσεις, όπως ήδη αναφέραμε, τα αποτελέσματα δεν δίνουν μια σαφή εκτίμηση για τη συμμετοχή της δεύτερης ιδιομορφής στην απόκριση του φορέα και συγκεκριμένα μόνο οι 14 από τους 24 σεισμούς που αναλύσαμε δείχνουν την επιρροή αυτή.
- Όσον αφορά τις αδρανειακές δυνάμεις και τις τέμνουσες καθ' ύψος του φορέα παρατηρούμε τη μεγάλη συμμετοχή της δεύτερης ιδιομορφής στα αποτελέσματα των αναλύσεων. Αναλυτικότερα οι 19 από τους 24 σεισμούς που εξετάστηκαν αποδεικνύουν τη συμμετοχή της δεύτερης αυτής ιδιομορφής στην απόκριση της κατασκευής.

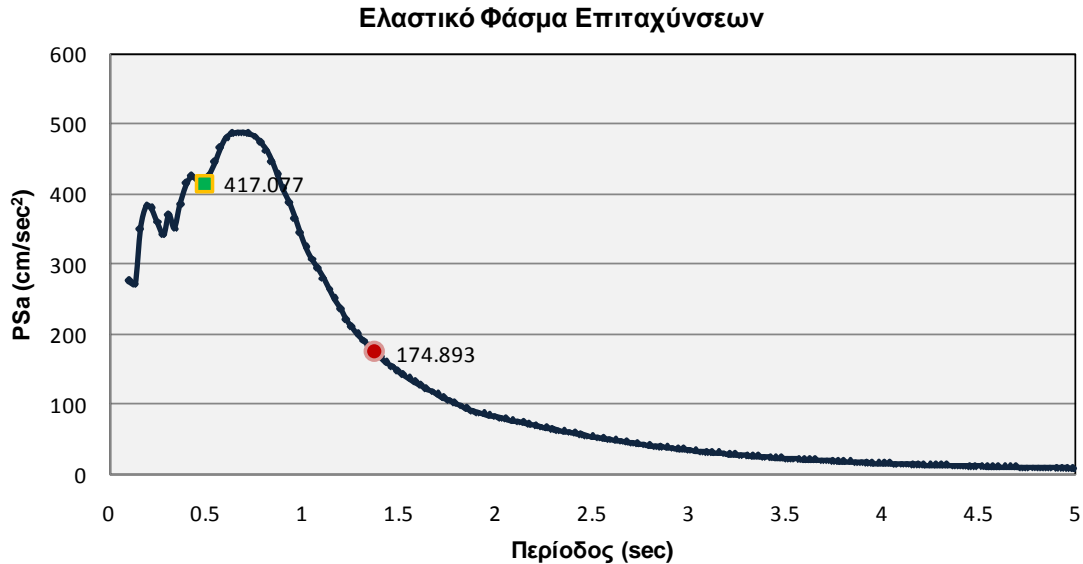
Για την καλύτερη εποπτεία των αποτελεσμάτων θα διακρίνουμε τρεις περιπτώσεις, ανάλογα με τη τιμή του συντελεστή διαρροής για τις δύο πρώτες ιδιομορφές. Στην πρώτη περίπτωση θα παρουσιάσουμε καταγραφή, κατά την οποία η δεύτερη ιδιομορφή διατηρείται στην ελαστική περιοχή, με συντελεστή διαρροής μικρότερο από την μονάδα. Έπειτα καταγραφή με συντελεστή διαρροής και για τις δύο ιδιομορφές μεγαλύτερο από την μονάδα και τέλος καταγραφή όπου ο συντελεστής διαρροής την δεύτερης ιδιομορφής ήταν μεγαλύτερος από αυτόν της πρώτης.

Ακολουθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων:

- Καταγραφή *Coyote Lake, CA, USA – GA6-230*, για την καταγραφή αυτή ο συντελεστής διαρροής της δεύτερης ιδιομορφής είναι αρκετά μικρότερος της μονάδας με τιμή ίση με 0.313, ενώ ο συντελεστής της πρώτης ιδιομορφής έχει τιμή κοντά στο 2. Επομένως για την πρώτη ιδιομορφή η κατασκευή πλαστικοποιείται, ενώ για την δεύτερη ιδιομορφή, ο φορέας διατηρείται ελαστικός. Ακολουθούν τα διαγράμματα συγκρίσεις των αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων, όπως αυτά δόθηκαν και στον κεφάλαιο 5:

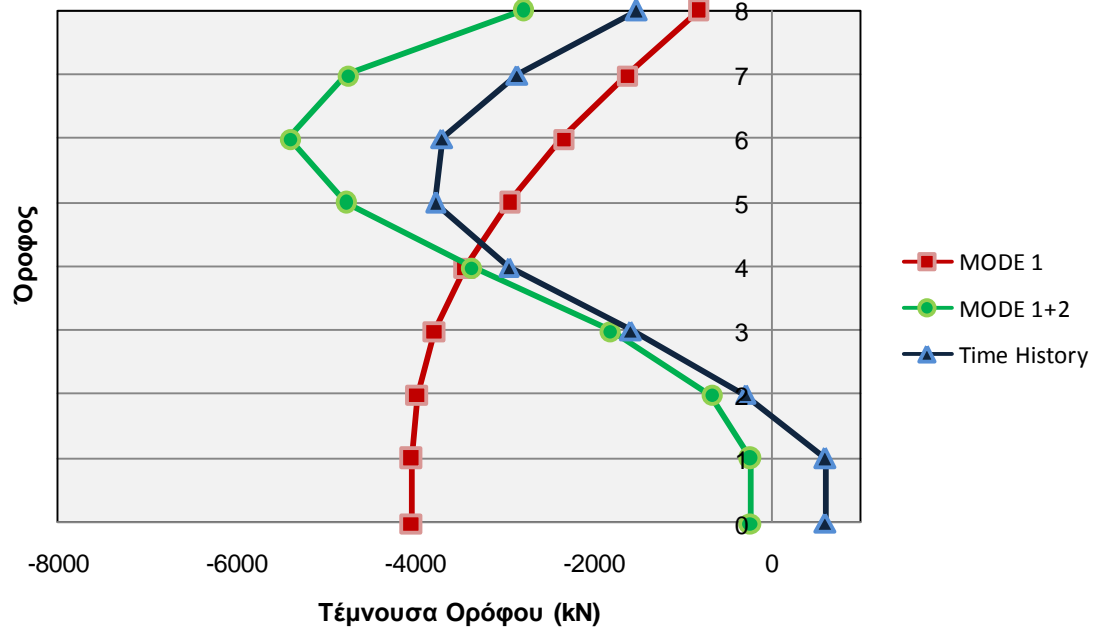
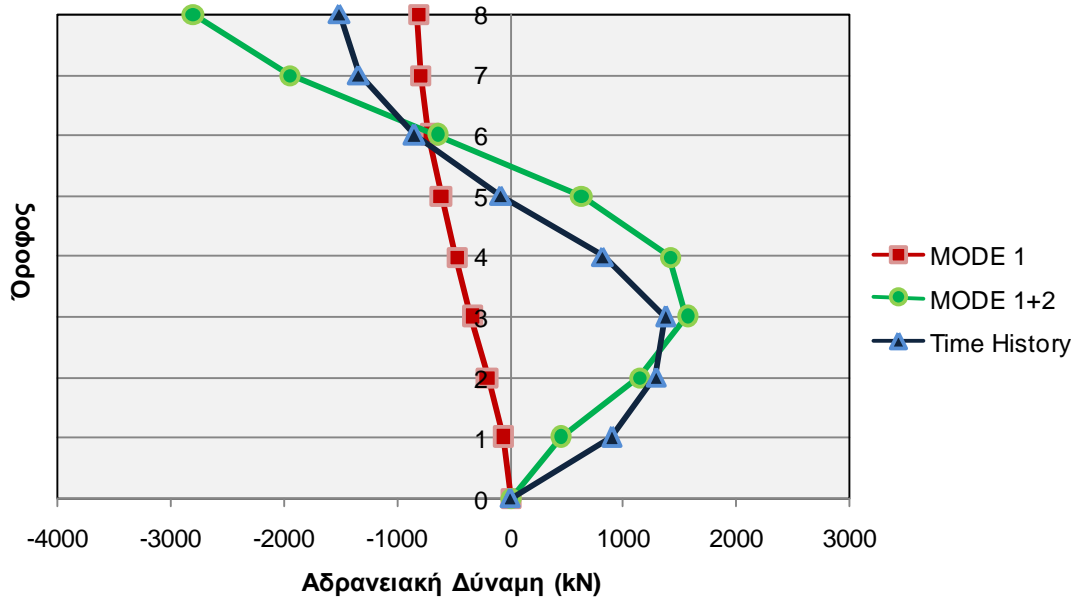


Παρατηρώντας και τα δύο διαγράμματα γίνεται κατανοητή η συμβολή της δεύτερης ιδιομορφής στην απόκριση του φορέα, γεγονός που δικαιολογείται από το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων που δίνεται στη συνέχεια.



Από το ελαστικό φάσμα παρατηρούμε ότι η πρώτη ιδιομορφή βρίσκεται στο φθίνοντα κλάδο του φάσματος, με τιμή επιτάχυνσης αρκετά μειωμένη σε σχέση με αυτής της δεύτερης ιδιομορφής. Επιπλέον η δεύτερη ιδιομορφή βρίσκεται στον ανοδικό κλάδο του φάσματος, και κοντά σε θέση τοπικού μεγίστου. Το γεγονός αυτό δικαιολογεί το φαινόμενο, ότι η δεύτερη ιδιομορφή επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη κατανομή των δυνάμεων και των τεμνουσών καθ' ύψος.

- Κατά τη δεύτερη περίπτωση που θα παρουσιάσουμε, και οι δύο ιδιομορφές εισέρχονται στη πλαστική περιοχή με συντελεστές διαρροής αρκετά μεγαλύτερους της μονάδας. Μια καταγραφή που αντιστοιχεί σε αυτή τη περίπτωση είναι η Loma Prieta, USA – BRN-000, για τη οποία έχουμε συντελεστές διαρροής για τη πρώτη ιδιομορφή 1.94 και για τη δεύτερη 1.35.

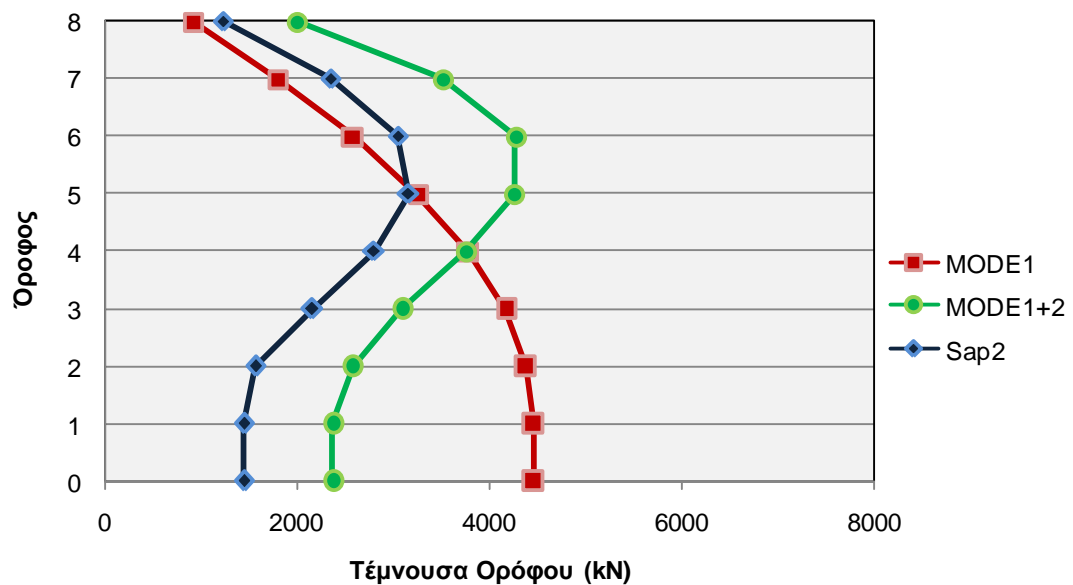
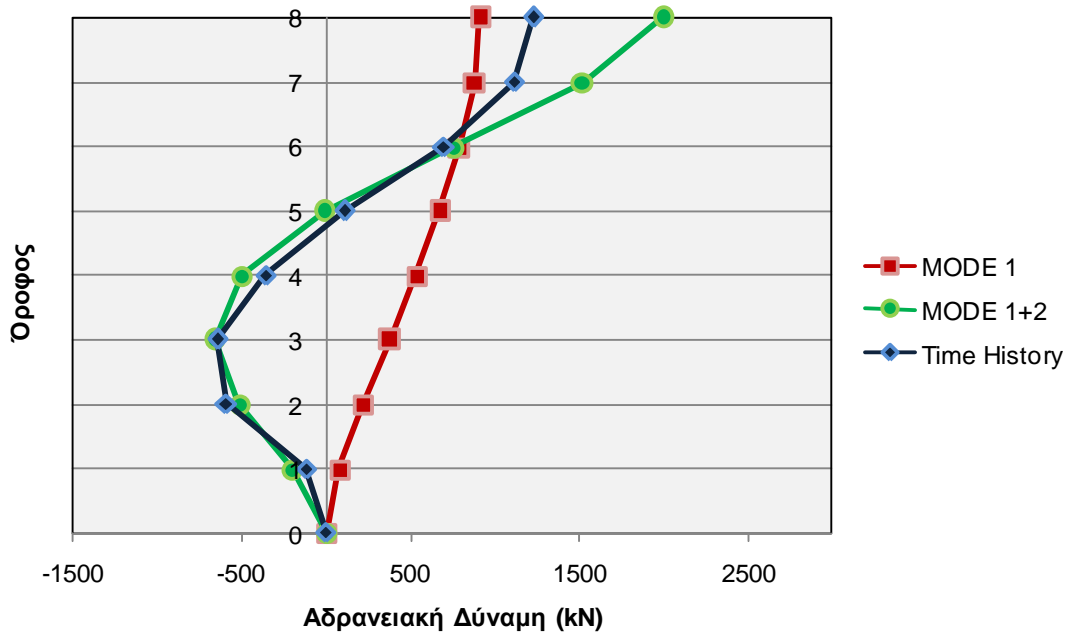


Η επιρροή της δεύτερης ιδιομορφής στη απόκριση του φορέα, όπως αποτυπώνεται από τα διαγράμματα αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων που δόθηκαν, δικαιολογείται άμεσα από το ελαστικό φάσμα επιτάχυνσης που ακολουθεί:

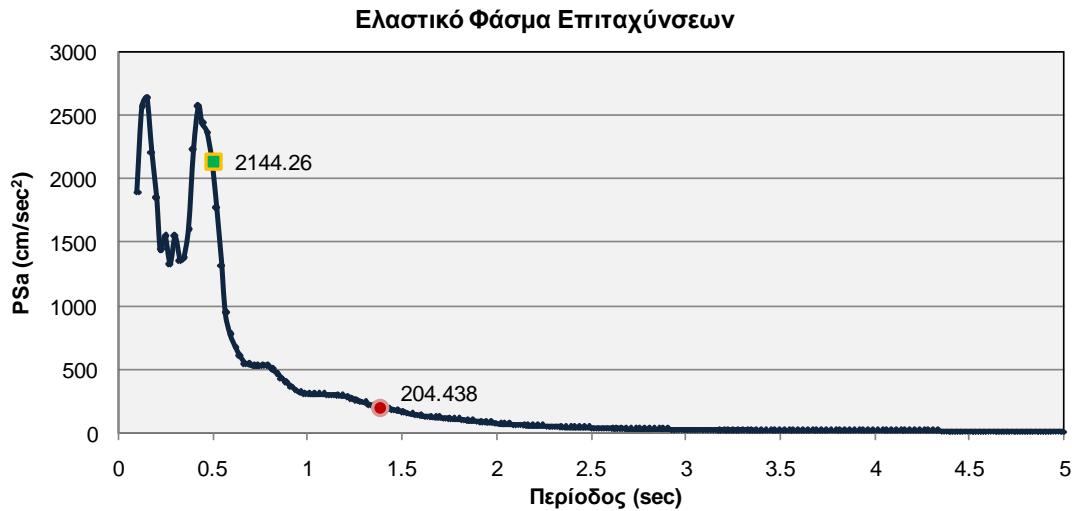


Όπως παρατηρούμε από το φάσμα και πάλι η πρώτη ιδιομορφή βρίσκεται στον καθοδικό του κλάδο, με πολύ μειωμένη τιμή επιτάχυνσης σε σχέση με τη δεύτερη ιδιομορφή, η οποία πέρα του ότι αντιστοιχεί σε πολύ μεγάλη τιμή επιτάχυνσης, βρίσκεται και εντός της περιοχής φασματικής ενίσχυσης, γεγονός που ενισχύει και δικαιολογεί ακόμα περισσότερο την διαπίστωση της συμμετοχής της δεύτερης ιδιομορφής στη απόκριση του φορέα.

- Ως τελευταία περίπτωση θα αναφερθούμε σε καταγραφές κατά τις οποίες όπως παρατηρήσαμε η δεύτερη ιδιομορφή ανέπτυξε συντελεστή διαρροής μεγαλύτερο από τον συντελεστή για τη πρώτη. Μια τέτοια περίπτωση είναι η καταγραφή Sierra Madre, CA, USA – ETN-090, στη περίπτωση αυτή και οι δύο ιδιομορφές εισέρχονται στη πλαστική περιοχή με συντελεστές διαρροής για τη πρώτη ιδιομορφή 1.13 και για τη δεύτερη 2.22, σχεδόν τον διπλάσιο σε τιμή.

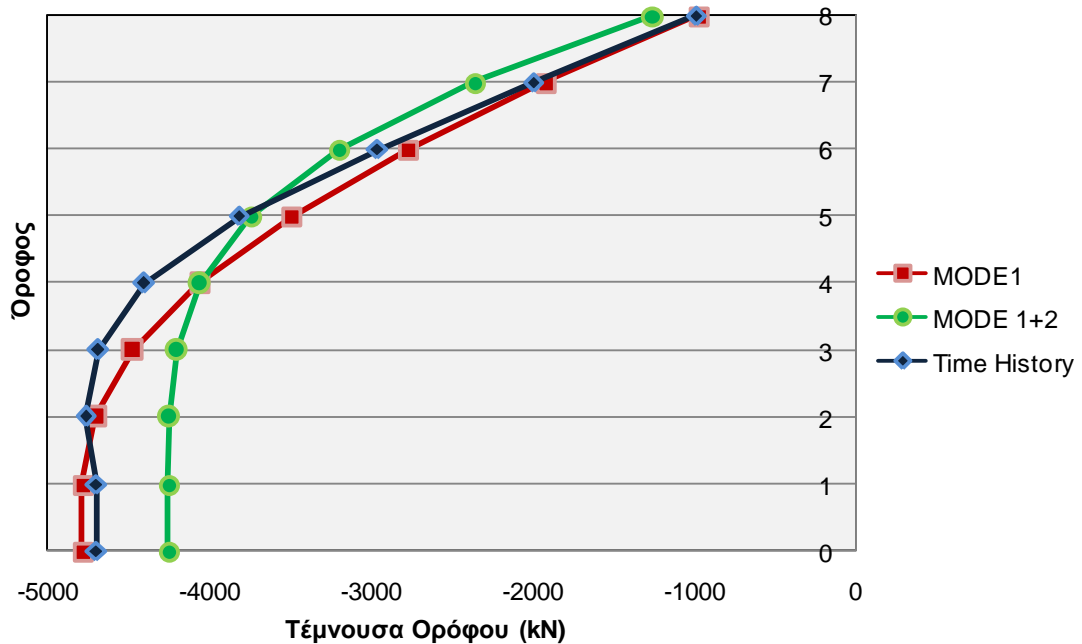
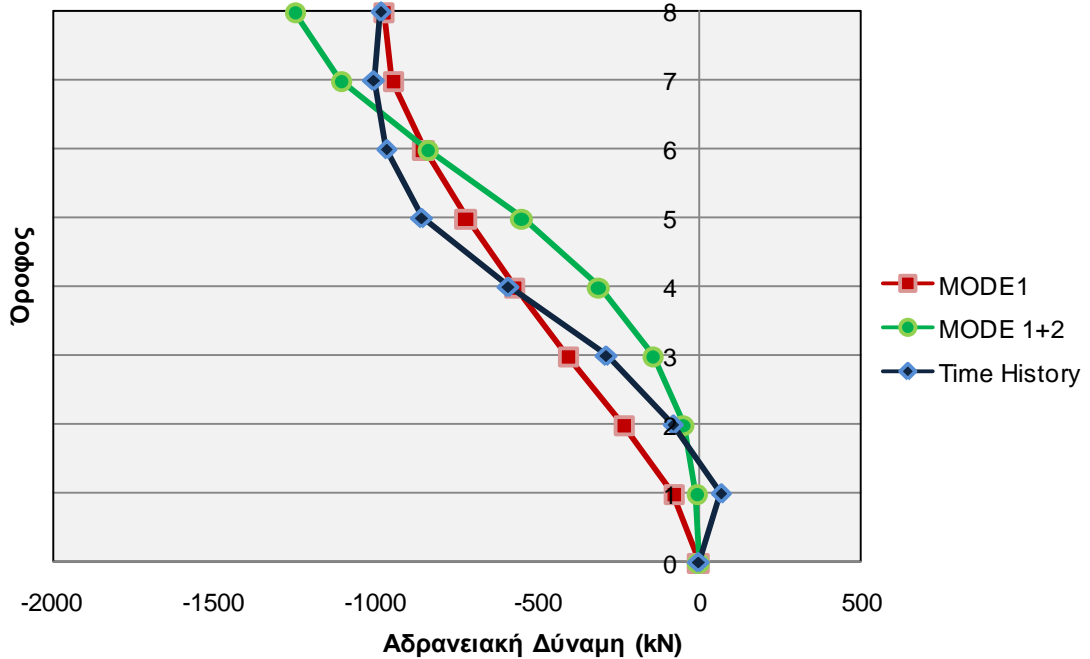


Και στη περίπτωση αυτή βλέπουμε ότι και πάλι η δεύτερη ιδιομορφή υπερτερεί της πρώτης στην απόκριση της κατασκευής, γεγονός που δικαιολογείται και από τη μεγάλη τιμή του συντελεστή διαρροής αλλά και από την μορφή του ελαστικού φάσματος επιτάχυνσης (σχήμα που ακολουθεί).

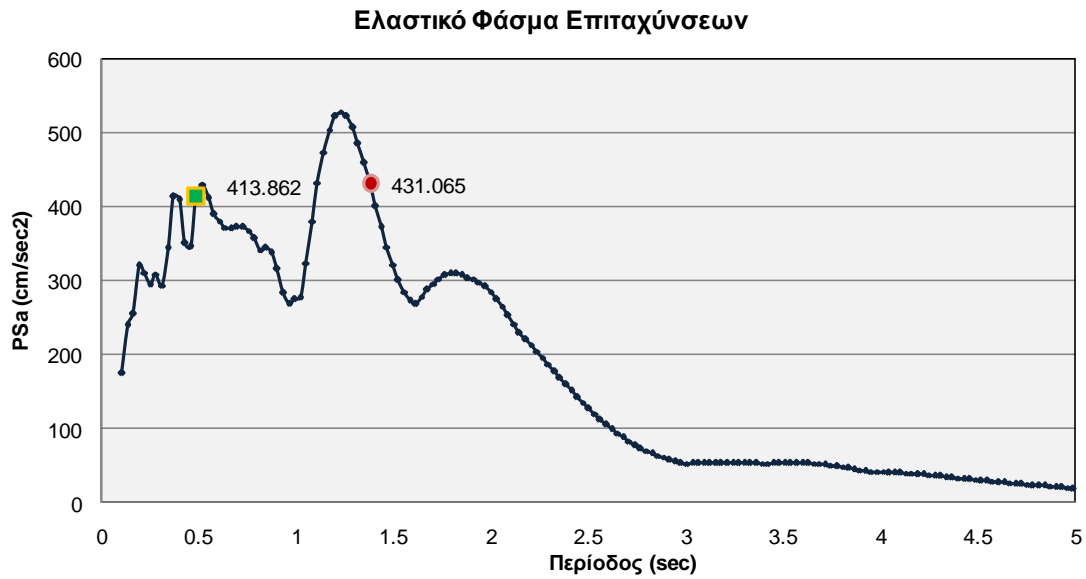


Από το φάσμα παρατηρούμε ότι η δεύτερη ιδιομορφή βρίσκεται εντός τη περιοχής φασματικής ενίσχυσης με τιμή επιτάχυνσης δεκαπλάσια της επιτάχυνσης της πρώτης ιδιομορφής, που βρίσκεται στον πτωτικό κλάδο του φάσματος με τιμές επιτάχυνσης που τείνουν προς το μηδέν.

Ωστόσο δεν έδωσαν όλες οι καταγραφές αποτελέσματα που να δικαιολογούν και να αποδεικνύουν τη συμβολή της δεύτερης ιδιομορφής στη απόκριση της κατασκευής, συγκεκριμένα οι 19 από τους 24 σεισμούς έδωσαν τέτοια αποτελέσματα. Μια καταγραφή στην οποία παρατηρούμε την συμβολή της πρώτης και όχι της δεύτερης ιδιομορφής είναι η TAK-000, που συνέβη στη περιοχή Hanshin στο Kobe, της Ιαπωνίας. Τα αποτελέσματα των αδρανειακών και τεμνουσών δυνάμεων αποδεικνύουν τη σύγκλιση της απόκρισης πιο πολύ προς τη πρώτη ιδιομορφή.

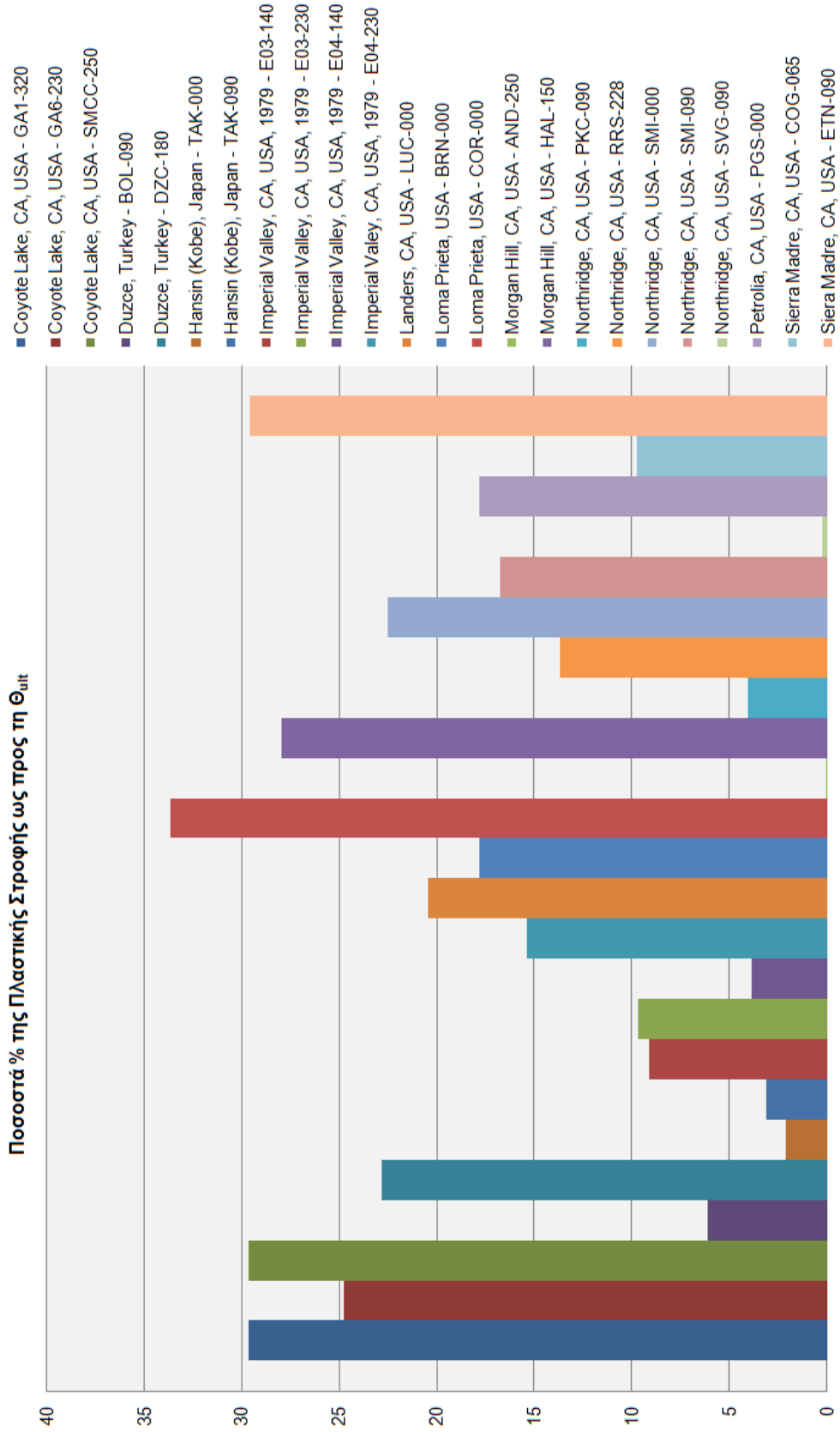


Το γεγονός αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί και από το ελαστικό φάσμα επιτάχυνσης, όπου παρατηρούμε ότι και οι δύο ιδιομορφές βρίσκονται εντός της περιοχής φασματικής ενίσχυσης και αντιστοιχούν σε παραπλήσιες τιμές φασματικές επιτάχυνσης, με την επιτάχυνση για τη πρώτη ιδιομορφή να έχει για πολύ μικρή διαφορά μεγαλύτερη τιμή.



Στο τελευταίο κομμάτι της εργασίας έγινε μια προσπάθεια προσδιορισμού της ικανότητας πλαστικής στροφής του φορέα, μέσω του προσδιορισμού του % ποσοστού του λόγου της στροφής που αναπτύσσεται σε ένα κόμβο δοκού-υποστυλώματος σε σχέση με την γωνία στροφής κατά την αστοχία (θ_u), όπως ορίζεται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Όπως θα παρατηρήσουμε και από το γράφημα που ακολουθεί στη επόμενη σελίδα, στο οποίο αποτυπώνονται γραφικά τα ποσοστά αυτά για κάθε σεισμό, οι τιμές των στροφών είναι συγκριτικά με τις τιμή θ_u πολύ μειωμένες, με αποτέλεσμα το δοκάρι ενώ διαρρέει να μην εισέρχεται σε κατάσταση πλαστικοποίησης και τα αποτελέσματα των ποσοστών να είναι κάτω από το 40%. Από το γράφημα παρατηρούμε ότι οι καταγραφές που παρουσιάζουν και τα μεγαλύτερα ποσοστά, όπως η GAI-320, η BOL-090, η COR-000 και η ETN-090 έχουν στη συμπεριφορά του φορέα σημαντική επιρροή της δεύτερης ιδιομορφής, τόσο σε σχέση με την κατανομή των δυνάμεων καθ' ύψος του φορέα όσο και σε σχέση με τις μετακινήσεις ανά όροφο. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις όπου τα ποσοστά υπολογίζονται μειωμένα, η συμβολή της δεύτερης ιδιομορφής, στις περισσότερες από αυτές, εκτιμάται περιορισμένη και κυρίως σε σχέση με την κατανομή των μετακινήσεων καθ' ύψος, όπου και έχουμε και τις μεγαλύτερες αποκλίσεις. Πιο συγκεκριμένα για τις καταγραφές TAK-000 και TAK-090, με ποσοστά μόλις 2 και 3%, όπως ήδη έχουμε αναλύσει από τις παραγράφους 5.5.6 και 5.5.7, η επιρροή της δεύτερης ιδιομορφής ήταν πρακτικά ανύπαρκτη.

Ωστόσο είναι δύσκολο να καταλήξουμε σε ένα γενικότερο συμπέρασμα, σχετικά με την συσχέτιση της στροφικής ικανότητας και της επιρροή της δεύτερης ιδιομορφής καθώς δεν απουσιάζουν και οι εξαιρέσεις, υπήρχαν καταγραφές κατά τις οποίες η δεύτερη ιδιομορφή είχε σημαντική επιρροή στη απόκριση του φορέα αλλά σε σχέση με τις στροφές η επιρροή αυτή δεν φάνηκε. Η καταγραφή PGS-000, για παράδειγμα ανήκει σε αυτή τη περίπτωση καθώς η επιρροή της δεύτερης ιδιομορφής ήταν σημαντική, όπως φαίνεται και από τα σχήματα 5.88 και 5.89, αλλά παρατηρούμε ότι το ποσοστό εκτίμησης της πλαστικής στροφής ήταν μόλις 18%, αρκετά μειωμένο, γεγονός που δεν επιβεβαιώνει την παρατήρηση που κάναμε παραπάνω, σύμφωνα με την οποία, τα μικρότερα ποσοστά της στροφικής ικανότητας, αντιστοιχούν σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η επιρροή της δεύτερης είναι αμελητέα..



6.4 Τελικά Συμπεράσματα

Βασισμένοι στα έως τώρα αποτελέσματα, γίνεται εύκολο να κατανοήσουμε ότι η απόκριση του φορέα μας καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την συμβολή της δεύτερης ιδιομορφής. Οι δύο βασικοί παράγοντες, που όπως παρατηρήσαμε συνέβαλλαν σε αυτό το συμπέρασμα, ήταν αρχικά οι τιμές των φασματικών επιταχύνσεων των δύο ιδιομορφών και δεύτερον η περιοχή του φάσματος στην οποία αποτυπώνονται οι δύο ιδιομορφές.

Πιο συγκεκριμένα, από τις αναλύσεις, παρατηρήσαμε ότι οι σεισμικές διεγέρσεις στις οποίες υπήρξε συμβολή της δεύτερης ιδιομορφής, ήταν καταγραφές για τις οποίες η τιμή της φασματικής επιτάχυνσης της δεύτερης ιδιομορφής ήταν πολλαπλάσια της φασματικής επιτάχυνσης της πρώτης, και μάλιστα η διαφορά αυτή μεταξύ των τιμών των επιταχύνσεων μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να ξεπερνούσε και τη διαφορά μεταξύ των δύο συντελεστών διαρροής. Ήταν λοιπόν αναμενόμενη η συμμετοχή της δεύτερης ιδιομορφής στη απόκριση του οκτώροφου κτιρίου.

Ο δεύτερος παράγοντας που επηρεάζει την απόκριση είναι η περιοχή του φάσματος στην οποία αντιστοιχούν οι δύο ιδιομορφές, αυτό δηλαδή που έχει κυρίως σημασία είναι εάν η εκάστοτε ιδιομορφή πέφτει εντός της περιοχής του φάσματος στην οποία έχουμε φασματική ενίσχυση ή αν αντιστοιχεί στον φθίνοντα κλάδο του φάσματος, εκεί που οι επιταχύνσεις τείνουν προς το μηδέν. Στο μεγαλύτερο ποσοστό των καταγραφών που αναλύσαμε, η δεύτερη ιδιομορφή βρισκόταν στη περιοχή φασματικής ενίσχυσης ενώ η πρώτη στον φθίνοντα κλάδο του ελαστικού φάσματος επιταχύνσεων. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται αν λάβει κανείς υπόψη του, ότι η ιδιοπερίοδος της πρώτης ιδιομορφής είναι αρκετά μεγάλη και είναι λογικό να βρίσκεται σε χαμηλές τιμές επιτάχυνσης του πτωτικού κλάδου του φάσματος, σε αντίθεση με την ιδιοπερίοδο της δεύτερης ιδιομορφής που είναι υποπολλαπλάσια της πρώτης, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα να αντιστοιχεί στη περιοχή φασματικής ενίσχυσης του ελαστικού φάσματος.

Έχοντας λοιπόν αυτά ως δεδομένα, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι στα πολώροφα κτίρια, όπως είναι και ο φορέας που εξετάσαμε, λόγω του ότι έχουμε μεγάλες ιδιοπερίόδους, οι οποίες αντιστοιχούν σε χαμηλές περιοχές του φάσματος, είναι λογικό να αυξάνεται η συμμετοχή των ανωτέρων ιδιομορφών στη απόκρισή τους. Κατανοούμε, δηλαδή, ότι ανεξάρτητα από το αν μια ιδιομορφή πλαστικοποιείται ή όχι είναι δυνατόν να συμμετέχει στη απόκριση της κατασκευής, ανάλογα με την ιδιοπερίοδο της.

Στρέφοντας το ενδιαφέρον μας προς την εφαρμοζόμενη μέθοδο, αυτή της ιδιομορφικής ανελαστικής δυναμικής ανάλυσης, προκύπτει τελικά ότι η σύγκλιση των αποτελεσμάτων μεταξύ της μεθόδου αυτής και της ανελαστικής ανάλυσης χρονοϊστορίας είναι σε μεγάλο ποσοστό ικανοποιητική. Πιο συγκεκριμένα στους 20 από τους 24 σεισμούς που αναλύσαμε, η απόκριση του φορέα για τις δυνάμεις και τις τέμνουσες παρουσιάζει ικανοποιητικού βαθμού σύγκλιση σε σχέση με τα αληθινά αποτελέσματα, όπως αυτά προκύπτουν από την ανελαστική ανάλυση χρονοϊστορίας. Αποκλίσεις σε μεγαλύτερο ποσοστό παρατηρήσαμε σε σχέση με τις μετακινήσεις καθ' ύψος του φορέα, καθώς μόνο στους 12 από τους 24 σεισμούς κατορθώσαμε με την μέθοδο να προσεγγίσουμε την ακριβή συμπεριφορά του.

Το δεδομένο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, διότι μπορούμε να θεωρούμε πλέον ότι η μέθοδος της ιδιομορφικής ανελαστικής δυναμικής ανάλυσης είναι αρκετά αξιόπιστη σε σχέση με τα αποτελέσματα της ανελαστικής ανάλυσης χρονοϊστορίας. Η μέθοδος της ανελαστικής ανάλυσης χρονοϊστορίας είναι η ακριβέστερη, από άποψη εγκυρότητας αποτελεσμάτων, ο φόρτος και ο χρόνος που απαιτεί την καθιστούν αρκετά «δύσκολη» μέθοδο, από άποψη εφαρμογής, κάτι που συμβάλει ακόμα περισσότερο στο να ενθαρρύνεται η εφαρμογή της ιδιομορφικής ανελαστικής δυναμικής ανάλυσης, που υπερτερεί και από άποψη χρόνου αλλά και υπολογιστικού φόρτου. Προσπάθειες βελτίωσης της μεθόδου ωστόσο θα πρέπει να γίνονται, για την βελτίωση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.

Το τελικό συμπέρασμα, ωστόσο που προκύπτει από όλη την εργασία είναι ότι η συμμετοχή της δεύτερης ιδιομορφής στην απόκριση των πολυώροφων κατασκευών δεν θα πρέπει να αμελείται. Όπως φάνηκε παραπάνω η δεύτερη ιδιομορφή είναι αναμενόμενο να επηρεάζει σημαντικά την απόκριση της κατασκευής. Συνεπώς οι μελετητές θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους τόσο τη συμβολή της δεύτερης, όσο όμως και τη συμβολή των ανωτέρων ιδιομορφών στην απόκριση των φορέων. Ως μια πιθανή λύση θα μπορούσε να θεωρηθεί η χρήση διαφορετικού συντελεστή συμπεριφοράς της κατασκευής για κάθε ιδιομορφή, ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι ιδιομορφές και να υπολογίζεται ορθότερα η συμβολή των ανωτέρων ιδιομορφών στον υπολογισμό της αναμενόμενης απόκρισης των πολυώροφων κτιρίων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Anil K. Chopra & Rakesh K. Goel “Modal Pushover Analysis of SAC buildings”
2. Hugo Bobadilla & Anil K. Chopra Evaluation of the MPA Procedure for estimating seismic demands: RC-SMRF buildings”, Earthquake Spectra, Volume 24, No.4, pages 827-845, November 2008; © 2008, Earthquake Engineering Research Institute.
3. Chatpan Chintanapakdee & Anil K. Chopra, “Evaluation of modal pushover analysis using generic frames” Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, 707 Davis Hall, Berkeley, CA 94720; USA.
4. Anil K. Chopra, “Δυναμική των κατασκευών – Θεωρία και εφαρμογές στη σεισμική μηχανική”, 3^η Αμερικάνικη Έκδοση 2007, Επιμέλεια επιστημονικής απόδοσης και μετάφρασης Σταύρος Α. Αναγνωστόπουλος, Εκδόσεις Μ. Γκιούρδας.
5. Ψυχάρης Ι., “ Αντισεισμικός Σχεδιασμός με Στάθμες Επιτελεστικότητα”, Αθήνα 2007.
6. Ταφλαμπάς Ι. & Καρύδης Π. “ Σημειώσεις Τεχνικής Σεισμολογίας”, Αθήνα, Μάιος 2007.
7. Φίλιππος Βρυώνης, “Διερεύνηση Ανελαστικής Συμπεριφοράς Οκταώροφου Πλαισιακού Κτιρίου από Οπλισμένο Σκυρόδεμα”, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Νοέμβριος 2011
8. Παπανδρέου Ελένη, “Διερεύνηση της συμμετοχής ανωτέρων ιδιομορφών στη απόκριση εννιαώροφου μεταλλικού κτιρίου σε σειμούς κοντινού πεδίου”, Διπλωματική εργασία μεταπτυχιακού προγράμματος “Δομοστατικός Σχεδιασμός και Ανάλυση των Κατασκευών”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Φεβρουάριος, 2011

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

α/α	Location	Date	M _w	F/M	STATION	S/C	DIR/TY	C/D	COMP.
1	Coyote Lake ,CA,USA	08-06-79	5.6	SS	Gilroy Array 1 (GA1)	HR	F	9.0	320
2	Coyote Lake ,CA,USA	08-06-79	5.6	SS	Gilroy Array 6 (GA6)	SR	F	1.2	230
3	Coyote Lake ,CA,USA	08-06-79	5.6	SS	San Martin Coyote Creek (SMCC)	-	B	0.2	250
4	Duzce,Turkey	12-11-99	7.1	OB	Bolu (BOL)	SL	F	19.9	090
5	Duzce,Turkey	12-11-99	7.1	OB	Duzce (DZC)	SL	N	8.3	180
6	Hanshin (Kobe),Japan	17-01-95	6.8	SS	Takatori (TAK)	SL	F	1.1	000
7	Hanshin (Kobe),Japan	17-01-95	6.8	SS	Takatori (TAK)	SL	F	2.1	090
8	Imperial Valley, CA,USA	15-10-79	6.4	SS	EI Centro Array 3, Pine Union Schl (E03)	SL	F	11.7	140
9	Imperial Valley, CA,USA	15-10-79	6.4	SS	EI Centro Array 3, Pine Union Schl (E03)	SL	F	12.7	230
10	Imperial Valley, CA,USA	15-10-79	6.4	SS	EI Centro Array 4, Anderson Rd (E04)	SL	F	6.0	140
11	Imperial Valley, CA,USA	15-10-79	6.4	SS	EI Centro Array 4, Anderson Rd (E04)	SL	F	6.0	230
12	Landers,CA,USA	28-06-92	7.3	SS	Lucerne Valley (LUC)	SL	F	1.1	000
13	Loma Prieta, USA	17-10-89	6.9	OB	Branciforte Drive (BRN)	_	B	11.5	000
14	Loma Prieta, USA	17-10-89	6.9	OB	Corralitos (COR)	SR	N	2.3	000
15	Morgan Hill,CA,USA	24-04-84	6.2	SS	Anderson Dam,Downstream (AND)	SL	F	2.6	250
16	Morgan Hill,CA,USA	24-04-84	6.2	SS	Halls Valley (HAL)	SL	B	2.0	150
17	Northridge,CA,USA	17-01-94	6.7	RV	Pacoima Kagel Canyon (PKC)	HR	N	7.4	090
18	Northridge,CA,USA	17-01-94	6.7	RV	Rinaldi Receiving Station (RRS)	SL	F	6.0	228
19	Northridge,CA,USA	17-01-94	6.7	RV	Simi Valley (SMI)	SL	N	12.4	000
20	Northridge,CA,USA	17-01-94	6.7	RV	Simi Valley (SMI)	SL	N	12.4	090
21	Northridge,CA,USA	17-01-94	6.7	RV	Sun Valley Grace Comm.. Church (SVG)	SL	N	9.3	090
22	Petrolia,CA,USA	25-04-92	6.9	RV	Petrolia (PGS)	SL	F	8.9	000
23	Sierra Madre,CA,USA	28-06-91	5.6	RV	Cogswell Dam (COG)	_	F	9.4	065
24	Sierra Madre,CA,USA	28-06-91	5.6	RV	Eaton Canyon Park-Altadena (ETN)	SL	F	9.6	090

* Στον Πίνακα, δίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά των σεισμικών διεγέρσεων που αναλύσαμε στη παρούσα διπλωματική εργασία. Στην στήλη M_w δίδετε το μέγεθος της σεισμικής ροπής, ενώ στην στήλη Dir/ty η διεύθυνση κατευθυντικότητας (F για έμπροσθεν και B όπισθεν κατευθυντικότητα) για κάθε συνιστώσα σεισμικής . διέγερσης.