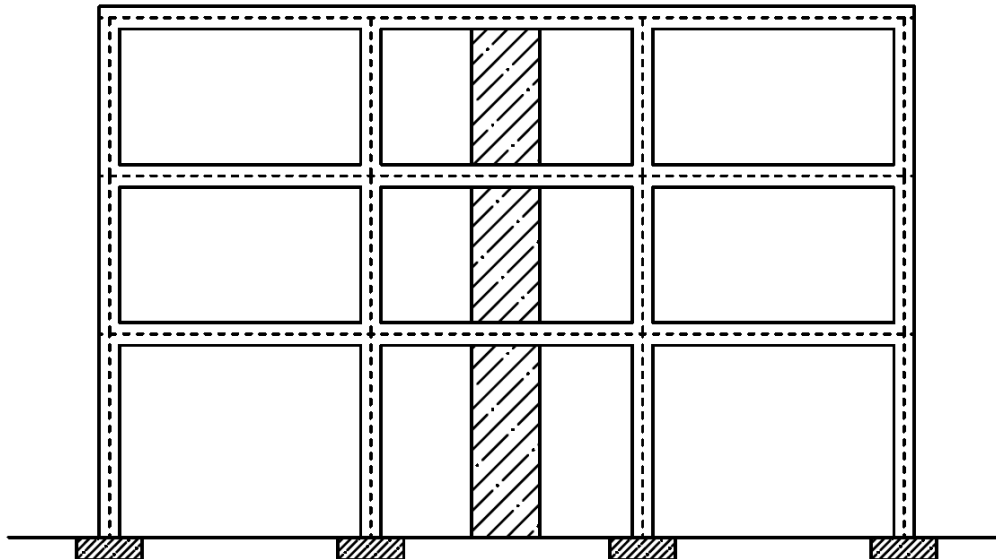


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



**National Technical
University of Athens**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΔΙΚΝΙΖΟΜΕΝΩΝ
ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΤΟΙΧΙΩΝ ΣΤΗΝ
ΑΠΟΚΡΙΣΗ
ΠΟΛΥΩΡΟΦΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΕ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΙΕΓΕΡΣΕΙΣ**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΗΡΩΔΟΤΟΣ ΣΑΒΒΑ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ ΨΥΧΑΡΗΣ

ΑΘΗΝΑ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2018

Copyright © Σάββα Ηρόδοτος, 2018
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος
All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια του συγγραφέα. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Εκτεταμένη Περίληψη

Η χρήση λικνιζόμενων μελών, έναντι των συμβατικών, για το σχεδιασμό αντισεισμικών κατασκευών έχει παρατηρηθεί να αποκτά μεγάλο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια. Τέτοια μέλη πλεονεκτούν σε σχέση με τα συμβατικά επειδή έχουν τη δυνατότητα σε ένα σεισμό να παραμορφωθούν αποκολλώντας από τη βάση τους, και μετά το πέρας του σεισμού να επιστρέψουν στην αρχική τους θέση με ελάχιστες ζημιές, οδηγώντας σε αυξημένη ασφάλεια την κατασκευή και μειωμένο κόστος επιδιόρθωσης προς αποκατάσταση της μετασεισμικής ζημιάς.

Η έρευνα για τα λικνιζόμενα μέλη (rocking elements) έχει προχωρήσει αρκετά τα τελευταία χρόνια, παρουσιάζοντας αρκετά πειραματικά αποτελέσματα και κανονισμούς για το σχεδιασμό των μελών αυτών. Παρόλ' αυτά υστερεί ακόμη στην πρόβλεψη λικνιζόμενων μελών που υφίστανται οποιασδήποτε μορφής περιορισμό (πρόσθετα στοιχεία, προεντεταμένους τένοντες, περιβάλλοντα πλαίσια κλπ), αφού η απόκρισή τους διαφέρει αρκετά σε σχέση με την απόκριση των ελεύθερων λικνιζόμενων μελών. Η συγκεκριμένη μεταβολή στην απόκριση απορρέει από την μεταβολή της λικνιστικής συμπεριφοράς τους υπό την ανάπτυξη κατακόρυφων δυνάμεων στις διάφορες αυτές περιπτώσεις. Η επίδραση των δυνάμεων αυτών προκαλούσε παραμόρφωση στη βάση του σώματος, η οποία δεν μπορούσε να θεωρηθεί απαραμόρφωτη, αλλά έπρεπε η παραμορφωσιμότητα αυτή να λαμβανόταν υπόψη για την εξαγωγή ορθότερων συμπερασμάτων ως προς την λικνιστική συμπεριφορά. Μέχρι τώρα η παραμορφωσιμότητα της βάσης των λικνιζόμενων μελών αγνοούταν.

Η νέα αντιμετώπιση που προτείνεται από τον διδακτορικό φοιτητή Βαγγέλη Αυγενάκη λαμβάνει υπόψη πέραν της παραμορφωσιμότητας καθ' ύψος του μέλους και την παραμόρφωση της βάσης καθώς λικνίζεται, καθιστώντας έτσι δυνατή την περαιτέρω αριθμητική μελέτη των περιορισμένων λικνιζόμενων μελών σε πλαίσια που αποτελεί σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Συγκεκριμένα στην παρούσα εργασία θα ελεγχθεί κατά πόσο η πρόσθεση λικνιζόμενων τοιχίων στην κατασκευή επηρεάζει την σεισμική της απόκριση. Η διερεύνηση γίνεται σε τριόροφο πλαίσιο τριών ανοιγμάτων, το οποίο ενισχύεται με λικνιζόμενο τοιχίο στο μεσαίο άνοιγμα. Πραγματοποιήθηκαν ανελαστικές αναλύσεις και πιο συγκεκριμένα μη γραμμική στατική ανάλυση (pushover) καθώς επίσης και ανελαστική δυναμική ανάλυση χρονοιστορίας σεισμών.

Abstract

The use of rocking members, compared to conventional ones, for the design of earthquake resistant structures has been observed to be of great interest in recent years. Such members have an advantage over conventional because they are able to deform an earthquake by detaching from their base, and after the earthquake ends returning to their original location with minimal damage, leading to increased construction safety and reduced repair cost to rehabilitation of post-earthquake damage

Rocking elements research has gone a long way in recent years, presenting several experimental results and regulations for the design of these members. However, it is still lagging behind in prediction of rocket members that are subject to any form of restriction (additional elements, pretensioned tendons, frame environments, etc.), since their response varies considerably with the response of free rock members. This particular change in response results from the change in their rocking behavior under the development of vertical forces in these various cases. The effect of these forces caused a deformation at the base of the body, which could not be considered undeformed, but this deformability had to be taken into account in order to draw better conclusions regarding the rocking behavior. Until now, the deformability of the base of the rocking members has been ignored.

The new approach suggested by the doctoral student Vangelis Avgenakis takes into account, in addition to the deformability of the member's height and the deformation of the base as it rocked, thus allowing for the further numerical study of the limited rocking members in the context of this diploma thesis.

Specifically in this paper we will check whether the addition of rocking walls in the structure affects its seismic response. The investigation is carried out on a three-panel three-aperture frame, which is reinforced with a rocking wall in the middle opening. Inelastic analyzes have been carried out and more specifically non-linear static analysis (pushover) as well as inelastic dynamic analysis.

Ευχαριστίες

Καταρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλεποντα καθηγητή μου κ. Ι. Ψυχάρη για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας, καθώς επίσης και την επιστημονική καθοδήγηση και συμπαράσταση που προσέφερε καθ' όλη τη μεταξύ μας συνεργασία. Οι επικοινωνητικές συζητήσεις και συμβουλές του ήταν απαραίτητες και καθοριστικές για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω το διδακτορικό φοιτητή Ευάγγελο Αυγενάκη για το απίστευτο ενδιαφέρον και τη συνεχή βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της εργασίας.

Ένα ακόμη ευχαριστώ για τον συνεργάτη του εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας κ. Ι. Ταφλαμπά, για την προσφορά των σεισμικών καταγραφών που χρησιμοποιήθηκαν και επίσης την εταιρία LH Λογισμική για την προσφορά της φοιτητικής άδειας του προγράμματος FESPA.

Τέλος ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στην οικογένειά μου και στους φίλους μου , που βρίσκονται πάντα δίπλα μου και με στηρίζουν σε κάθε μου βήμα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Γενική Περιγραφή.....	1
1.2 Τρόπος λειτουργίας του ελεύθερου λικνιζόμενου μέλους.....	2
1.2.1 Λικνιζόμενο μέλος που υφίσταται περιορισμούς.....	3
1.3 Το κτήριο που μελετήθηκε.....	4
2. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ.....	5
2.1 Εισαγωγή.....	5
2.2 Διαστασιολόγηση μέσω του στατικού προγράμματος FESPA.....	5-8
3. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ OPENSEES.....	9
3.1 Εισαγωγή.....	9
3.2 Δημιουργία φορέα.....	10
3.2.1 Γεωμετρία.....	10-12
3.2.2 Δομικά Στοιχεία (Δοκοί, Υποστυλώματα).....	13
3.2.3 Υλικά.....	14
3.2.3.1 Σκυρόδεμα.....	14
3.2.3.2 Χάλυβας.....	15
3.3 Διατομές.....	15-17
3.4 Διαφραγματική Λειτουργία.....	17-18
3.5 Προσομοίωση στοιχείου λικνισμού.....	18-19
3.6 Μη γραμμική Στατική Ανάλυση PUSHOVER.....	18-21
3.7 Δυναμική Ανάλυση χρονιστορίας σεισμών.....	22
4. ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ PUSHOVER.....	23
4.1 Καμπύλη Ικανότητας κατασκευής και Στοχευόμενη Μετακίνηση.....	23
4.1.1 Εισαγωγή.....	23
4.1.2 Αποτελέσματα Αναλύσεων.....	24-25
4.1.3 Στοχευόμενη Μετακίνηση.....	26
4.1.3.1 Τρόπος Υπολογισμού-Μέθοδος ATC-40.....	26-31
4.1.3.2 Μετατροπή σε Ισοδύναμο Μονοβάθμιο Σύστημα.....	32-36
4.1.3.3 Αποτελέσματα μεθόδου ATC-40.....	37-47
4.1.3.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων μη ενισχυμένου και ενισχυμένου πλαισίου.....	48
4.1.3.5 Συμπεράσματα.....	49
5. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΙΣΤΟΡΙΑΣ.....	50-51
5.1 Σεισμικές Καταγραφές.....	52-58
5.2 Σεισμική Απόκριση μη ενισχυμένου πλαισίου.....	59-75
5.3 Μέθοδος ATC-40 και υπολογισμός στοχευόμενων μετακινήσεων.....	75-80
5.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων ATC-40 και δυναμικής ανάλυσης.....	81
5.5 Συμπεράσματα σεισμικής απόκρισης μη ενισχυμένου πλαισίου.....	81
5.6 Σεισμική Απόκριση ενισχυμένου πλαισίου με λικνιζόμενο τοίχιο πλάτους B.....	82-103
5.7 Σύγκριση αποτελεσμάτων μη ενισχυμένου και ενισχυμένου πλαισίου.....	104-105
6. ΤΟΠΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	106
6.1 Εισαγωγή.....	106
6.2 Παρουσίαση χρονιστοριών εντατικών μεγεθών M, Q, N επιλεγμένων στοιχείων (δοκών, υποστυλωμάτων) μη ενισχυμένου και ενισχυμένου πλαισίου.....	107-127

6.3 Τοπικές πλαστιμότητες καμπυλοτήτων και στροφών-χορδών επιλεγμένων στοιχείων μη ενισχυμένου και ενισχυμένου πλαισίου.....	128-136
6.4 Συγκρίσεις τιμών και συμπεράσματα.....	136
6.5 Δυναμική Ανάλυση μοντέλου με ένα λικνιζόμενο στοιχείο στο ισόγειο για μεγαλύτερο συντελεστή μεγέθυνσης σεισμικής καταγραφής.....	137-141
6.5.1 Συμπεράσματα.....	141
7. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΜΕΛΕΤΗ.....	142
7.1 Συμπεράσματα.....	142
7.2 Συστάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	143
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	144
9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ-ΚΩΔΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.....	145
9.1 Μη ενισχυμένο πλαίσιο-Ανάλυση PUSHOVER.....	145-155
9.2 Ενισχυμένο πλαίσιο-Ανάλυση PUSHOVER.....	155-168
9.3 Μη ενισχυμένο πλαίσιο-Δυναμική ανάλυση χρονοιστορίας σεισμών.....	168-169
9.4 Ενισχυμένο πλαίσιο-Δυναμική ανάλυση χρονοιστορίας σεισμών.....	168-169

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Η δράση του σεισμού επάνω στις κατασκευές εξαρτάται από ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων, οι οποίοι αποτελούν αντικείμενο πολλών περιοχών της επιστήμης και κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες. Καταρχήν η πρώτη περιλαμβάνει τα καθαρά σεισμολογικά δεδομένα, όπως για παράδειγμα το μέγεθος του σεισμού, την εστία, το μηχανισμό γένεσης. Η δεύτερη κατηγορία περιέχει όλα τα γεωλογικά, γεωτεκτονικά, τοπογραφικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του μέσου διάδοσης των σεισμικών κυμάτων που τροποποιούν τη μορφή της σεισμικής διέγερσης. Τέλος, η τρίτη κατηγορία αναφέρεται στη σεισμική απόκριση της ίδια της κατασκευής. Με τον όρο σεισμική απόκριση εννοούμε την ταλάντωση και κατ' επέκταση την παραμόρφωση και την ένταση που εμφανίζει η κατασκευή για δεδομένη σεισμική διέγερση της βάσεως.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό να παρουσιάσει τις δυνατότητες που έχει η προσθήκη λικνιζόμενων τοιχιών σε νέα κτήρια αλλά και υπάρχοντα για την βελτίωση της σεισμικής τους απόκρισης.

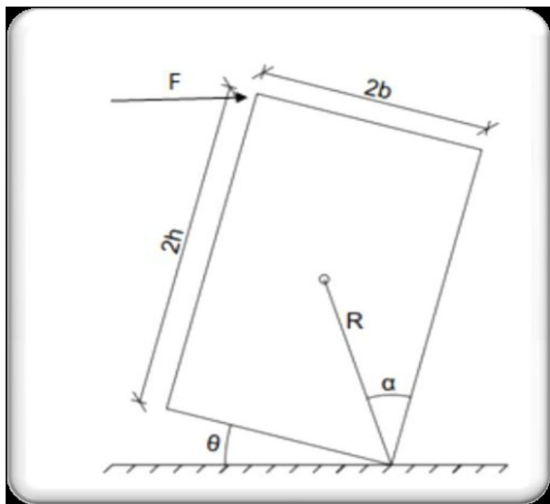
Το ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια στρέφεται ολοένα και περισσότερο στη μελέτη απόκρισης λικνιζόμενων μελών, λόγω της συνεχούς αυξανόμενης απαίτησης για ολοένα και βελτιωμένη σεισμική απόκριση των κατασκευών. Τα λικνιζόμενα μέλη παρουσιάζουν ευεργητικές ιδιότητες όσον αφορά την ανθεκτικότητα των κατασκευών. Αυτό συμβαίνει, καθώς τα μέλη αυτά είναι μερικώς ή καθόλου δεσμευμένα στη βάση τους, αντί να αναπτύσσουν βλάβες και παραμένουσες παραμορφώσεις, έχουν την ικανότητα να αποκολλούνται από τη βάση τους και να περιστρέφονται γύρω από μια από τις δύο γωνίες τους κάνοντας λικνιστική κίνηση και επιστρέφοντας στην αρχική τους θέση. Η προσθήκη λικνιζόμενων μελών μεταβάλλει ακόμη και τις φυσικές περιόδους της κατασκευής, κάνοντας την λιγότερο ευάλωτη σε φαινόμενα συντονισμού. Έρευνες έχουν δείξει πως όταν το στοιχείο αρχίζει να λικνίζεται η δυσκαμψία της κατασκευής μειώνεται με αποτέλεσμα να μειώνεται η τέμνουσα βάση και η σεισμική επιτάχυνση που δέχεται η κατασκευή.

Για τις ανάγκες της παρούσης διπλωματικής εργασίας μελετήθηκε ένα καινούριο κτήριο τριώροφο, στο οποίο προστέθηκαν λικνιζόμενα τοιχία στο μεσαίο άνοιγμα με σκοπό τη σύγκριση της σεισμικής συμπεριφοράς του, πραγματοποιώντας ανελαστικές αναλύσεις μέσω προγράμματος.

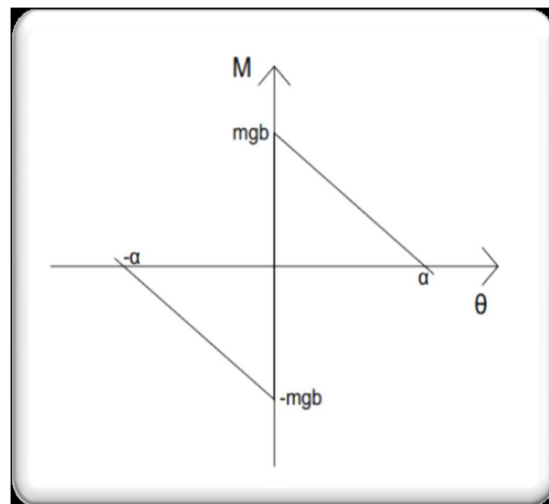
1.2 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥ ΛΙΚΝΙΖΟΜΕΝΟΥ ΜΕΛΟΥΣ

Η λικνιστική κίνηση στερεών σωμάτων και κατασκευαστικών μελών έχει αποσπάσει ένα μεγάλο μέρος του ενδιαφέροντος της επιστημονικής κοινότητας. Σε αντίθεση με τα συνήθη μέλη που εμφανίζονται στην κλασσική μηχανική, τα οποία μπορούν να διαβιβάσουν εφελκυστικές πιέσεις μέσω της βάσης τους, μέλη όπως τα λικνιστικά που συνδέονται καθόλου ή έστω και μερικώς με την βάση τους μπορούν να αναπτύξουν μόνο συμπίεση, ενώ το ανασήκωμα τους μεταβάλλει σημαντικά την απόκριση τους.

Αν ασκηθεί μια μεγάλη οριζόντια δύναμη στο ελεύθερο λικνιζόμενο μέλος, το οποίο δε δέχεται κάποιο περιορισμό, η βάση του παύει να έχει πλήρη επαφή με το έδαφος και το σώμα αρχίζει να περιστρέφεται περί μία ακμή του υπό γωνία θ . (ΣΧΗΜΑ 1.2α). Εφόσον ασκείται μόνο το ίδιο βάρος του στοιχείου θα προκύψει μία ροπή επαφοράς ίση με $WR\sin(\alpha-\theta)$. Όταν η στροφή θ ξεπεράσει τη γωνία α του στοιχείου, προκειμένου αυτό να ισοροπήσει θα πρέπει να ασκηθεί μία ροπή αντίθετης φοράς από την επιβαλλόμενη (ΣΧΗΜΑ 1.2β).



ΣΧΗΜΑ 1.2α: Μοντέλο άκαμπτου λικνιστικού μέλους



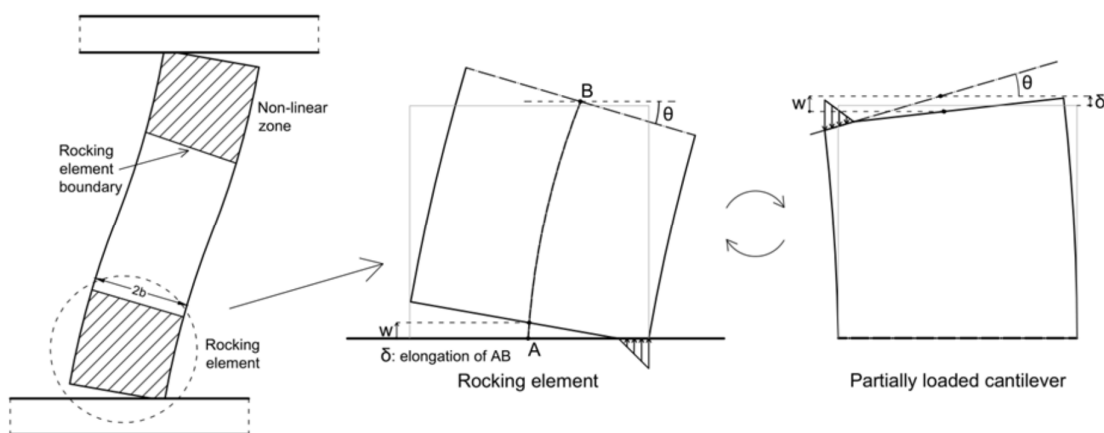
ΣΧΗΜΑ 1.2β: Ροπή-στροφή άκαμπτου λικνιστικού μέλους

1.2.1 ΛΙΚΝΙΖΟΜΕΝΟ ΜΕΛΟΣ ΠΟΥ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥΣ

Λικνιζόμενα μέλη που δέχονται περιορισμούς, όπως για παράδειγμα αυτά που προστίθενται σε μία κατασκευή το οποίο αφορά την παρούσα διπλωματική, αποκρίνονται πολύ διαφορετικά σε σχέση με τα ελεύθερα λικνιζόμενα στοιχεία. Αυτό συμβαίνει διότι αναπτύσσονται κατακόρυφες δυνάμεις, οι οποίες μεταβάλλουν κάθε φορά τη συμπεριφορά τους και προκαλούν παραμορφώσεις στη βάση τους.

Είναι γνωστό πως τα περισσότερα μοντέλα που είχαν προταθεί είτε δε λάμβαναν υπόψη τη μεταβολή των κατακόρυφων δυνάμεων και την παραμορφωσιμότητα στη βάση των μελών, είτε λάμβαναν υπόψη μη γραμμική συμπεριφορά μόνο στην επιφάνεια επαφής των μελών αυτών. Έτσι καθιστούσε δύσκολη την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την ακριβή απόκρισή τους. Πρόσφατα, ο υποψήφιος διδάκτορας του Εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου Ευάγγελος Αυγενάκης έχει προτείνει ένα μακροστοιχείο το οποίο καινοτομεί σε σχέση με τα υπόλοιπα, καθώς λαμβάνει υπόψη όχι μόνο τη μη γραμμικότητα καθ' ύψος του στοιχείου αλλά και την παραμορφωσιμότητα στη βάση του.

Γενικά η ιδέα στην οποία στηρίζεται το μακροστοιχείο είναι η ανάπτυξη συμπίεστικών τάσεων μόνο στο μήκος της διεπιφάνειας του στοιχείου με εξωτερικά στοιχεία, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη μη γραμμική συμπεριφορά του. Η μοντελοποίηση γίνεται με τη θεώρηση ότι το στοιχείο λειτουργεί ως ισοδύναμος πρόβολος μερικώς φορτιζόμενος στην ελεύθερη επιφάνεια με την ίδια κατανομή τάσεων, όπως δείχνει το Σχήμα 1.2.1.



ΣΧΗΜΑ 1.2.1: Τρόπος λειτουργίας λικνιζόμενου μέλους που υφίσταται περιορισμούς

Η προβλεπόμενη μεθοδολογία λαμβάνει υπόψη την επιρροή της λικνιστικής κίνησης στον άξονα του στοιχείου και συνεπώς τη μεταβολή της αξονικής δύναμης που δρα σε αυτό. Αυτό καθιστά δυνατή την εισαγωγή του συγκεκριμένου μακροστοιχείου σε κατασκευές, οι οποίες υποβάλλουν περιορισμούς, διότι οι περιορισμοί αυτοί μεταβάλλουν την αξονική δύναμη, που αναπτύσσεται στο στοιχείο. Επιπλέον, μέσω αυτού του μακροστοιχείου μπορεί να υπολογιστεί και η απόκριση ενός λικνιζόμενου στοιχείου, χωρίς κάποιον περιορισμό. Τέλος το μακροστοιχείο χρησιμοποιεί τους ίδιους βαθμούς ελευθερίας, όπως τα υπάρχοντα γεωμετρικά μη γραμμικά στοιχεία, πράγμα που

διευκολύνει την εισαγωγή του στοιχείου σε προγράμματα πεπερασμένων στοιχείων, ενώ ο χρόνος εκτέλεσης είναι πολύ γρήγορος σε σχέση με συμβατικά πεπερασμένα μοντέλα.

1.3 ΤΟ ΚΤΗΡΙΟ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΕ

Στα πλαίσια της παρούσης διπλωματικής, σκοπός είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς τον βαθμό με τον οποίο η εισαγωγή του προτεινόμενου στοιχείου λικνισμού μπορεί να έχει ευεργετικά αποτελέσματα ως προς την αντισεισμικότητα της κατασκευής που μελετήθηκε. Κατασκευάστηκε λοιπόν ένα τρώροφο κτήριο τριών ανοιγμάτων σε κάθε όροφο μέσω του στατικού πρόγραμματος **FESPA**, όπου έγινε και η διαστασιολόγηση του σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 ώστε να υπολογιστούν οι σπλισμοί δοκών και υποστυλωμάτων.

Έπειτα πραγματοποιήθηκε η μη-γραμμική στατική ανάλυση (PUSHOVER), ώστε να παραχθούν οι καμπύλες ικανότητας του κτηρίου, πριν και μετά την προσθήκη στοιχείων λικνισμού (rocking elements), μελετώντας έτσι την σεισμική απόκρισή του σε κάθε περίπτωση και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα.

Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις όλης της κατασκευής, χωρίς την παρουσία του λικνιζόμενου στοιχείου και στη συνέχεια με την προσθήκη του στο μεσαίο άνοιγμα κάθε ορόφου για πλάτη στοιχείου $b=1.0m$, $b=1.5m$ και $b=2.0m$.

Χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα **OpenSees** για την προσομοίωση του κτηρίου ως δισδιάστατο επίπεδο πλαίσιο τριών ορόφων και τριών ανοιγμάτων με ανελαστικά στοιχεία. Αρχικά πραγματοποιήθηκε ανάλυση κατακόρυφων φορτίων (φορτία βαρύτητας-dead load analysis) και στη συνέχεια έγινε ανάλυση για σταδιακώς αυξανόμενο συνολικό οριζόντιο φορτίο F_b (τέμνουσα βάσης) και για δεδομένη ομοιόμορφη **τριγωνική κατανομή φορτίων** καθ' ύψος του κτηρίου, η οποία προέκυψε από την πρώτη ιδιομορφή.

Έπειτα έγινε αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς των πλαισίων για συγκεκριμένο φάσμα σχεδιασμού κατά τον ΕΚ8 και υπολογίστηκαν οι στοχευόμενες μετακινήσεις. Το ελαστικό φάσμα του ΕΚ8 που χρησιμοποιήθηκε αντιστοιχούσε σε κατηγορία σπουδαιότητας **II**, ζώνη επικινδυνότητας **Z2** με $agR=0.24g$ και κατηγορία **εδάφους B**.

Έγινε χρήση της μεθόδου **ATC-40** (Applied Technology Council), για τον υπολογισμό της στοχευόμενης μετακίνησης, με μία μετατροπή για το ενισχυμένο πλαίσιο λόγω της ύπαρξης στοιχείου λικνισμού. Χαρακτηριστικό της μεθόδου αυτής είναι ότι για τον υπολογισμό της ενεργού απόσβεσης λαμβάνεται υπόψη και η απόσβεση λόγω υστερητικής συμπεριφοράς.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ανελαστική δυναμική ανάλυση χρονοιστορίας σεισμών τόσο στο απλό πλαίσιο όσο και στο ενισχυμένο, ώστε να υπολογιστούν και πάλι οι στοχευόμενες μετατοπίσεις που προκαλούν οι διάφορες σεισμικές καταγραφές και να συγκριθούν με αυτές της μη γραμμικής στατικής ανάλυσης.

2 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ

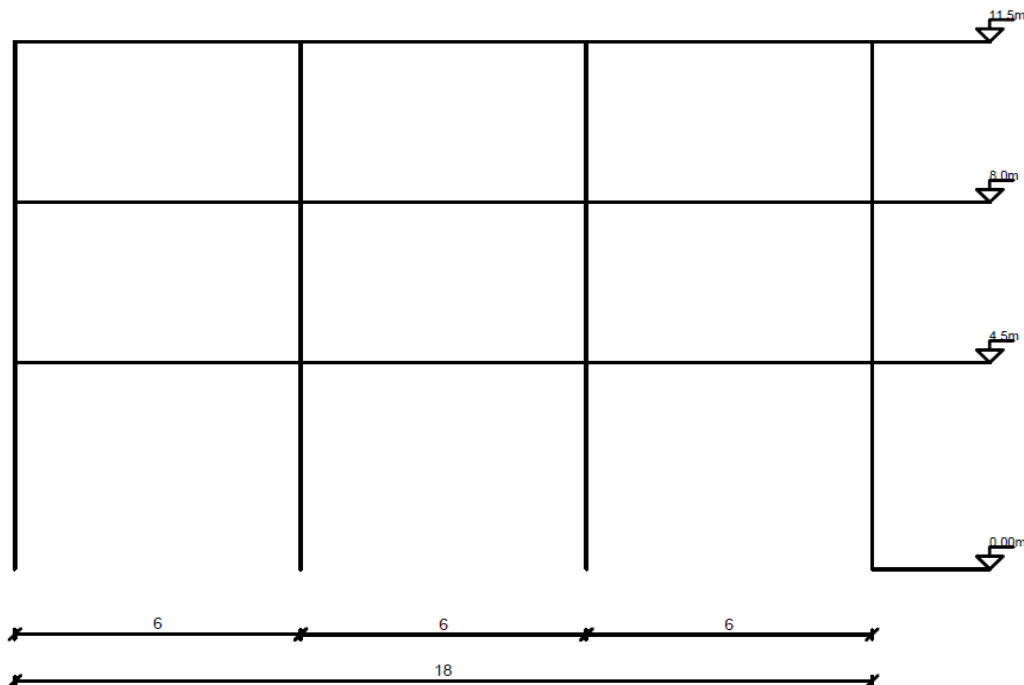
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό πως τα τελευταία χρόνια πραγματοποιούνται πολλές ενισχύσεις κτηρίων με βάση τις σύγχρονες μεθόδους, διαδικασία όμως που απαιτεί χρόνο και πολυπλοκότητα. Ωστόσο, ακόμη κι αν ενισχυθούν τα κτήρια, στο σεισμό θα υποστούν σημαντικές ζημιές. Ενισχύοντας λοιπόν ένα κτήριο με προκατασκευασμένα λικνιζόμενα τοιχία από σπλισμένο σκυρόδεμα, τα οποία στη διάρκεια του σεισμού εμφανίζουν λικνιστική συμπεριφορά, αναμένεται λιγότερη σύνθετη διαδικασία, μεγαλύτερη ανθεκτικότητα και συνεπώς λιγότερες ζημιές στο σεισμό.

2.2 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ FESPA

Διαστασιολογήθηκε και μελετήθηκε τριώροφο κτήριο, συνολικού ύψους **11.5m** και τριών ανοιγμάτων μήκους **6m** στον κάθε όροφο. (Σχήμα 2.2α)

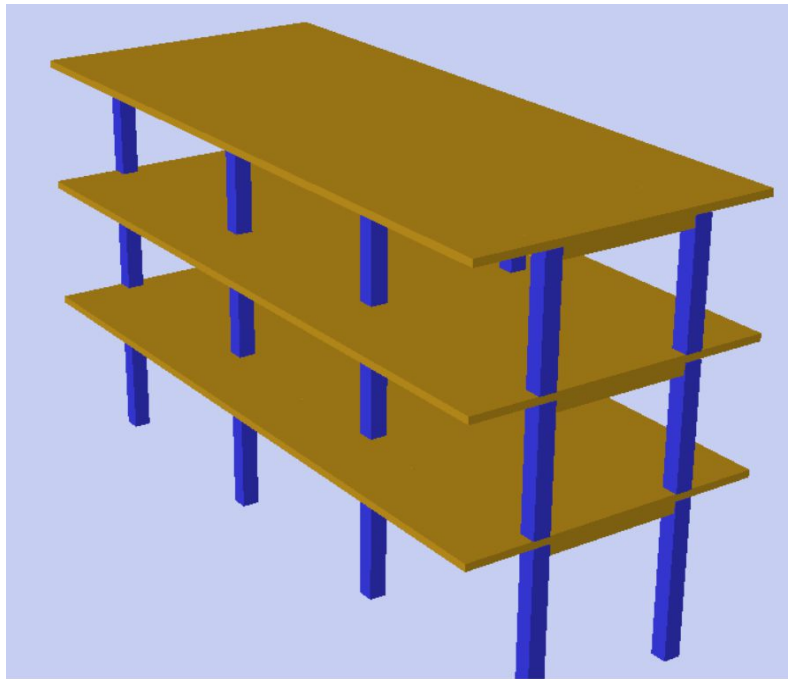
ΟΡΟΦΟΣ	ΥΨΟΣ(m)
1 ^{ος}	4.5
2 ^{ος}	3.5
3 ^{ος}	3.5



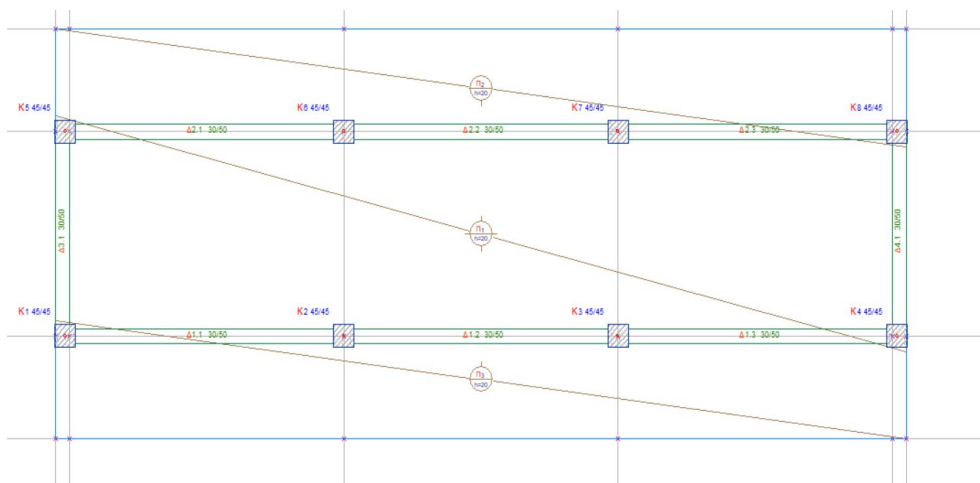
ΣΧΗΜΑ 2.2α: Επίπεδο Τριώροφο Πλαίσιο

Το πρόγραμμα που επιλέχθηκε στην παρούσα διπλωματική για την διαστασιολόγηση του κτηρίου είναι το **FESPA** της εταιρίας **ΛΗ Λογισμική**, το οποίο πραγματοποιεί ανάλυση, διαστασιολόγηση και σχεδίαση τρισδιάστατων κατασκευών χρησιμοποιώντας τους Ευροκώδικες.

Λόγω της μη ύπαρξης επίπεδης ανάλυσης στο πρόγραμμα αυτό, επιλέχθηκε να διαστασιολογηθεί ένα τρισδιάστατο κτήριο με δύο παράλληλα όμοια πλαίσια τριών ανοιγμάτων, η κάτοψη των οποίων φαίνεται στο Σχήμα 2.2γ, ώστε να έχουμε συμμετρική όπλιση υποστυλωμάτων και δοκών, και συνεπώς να πραγματοποιηθεί ορθή μοντελοποίηση του **επίπεδου** τριώροφου πλαισίου στο **OpenSees**.



ΣΧΗΜΑ 2.2β: Τρισδιάστατο Μοντέλο στο FESPA



ΣΧΗΜΑ 2.2γ: Κάτοψη Τυπικού Ορόφου Κατασκευής

Επιλέχθηκε σκυρόδεμα C25/30 και χάλυβας οπλισμού B500C. Ελήφθη σεισμική επιτάχυνση σχεδιασμού $a_g=0.24g$ (σεισμική ζώνη 2), κατηγορία σπουδαιότητας II ($\gamma_I=1.00$) και συντελεστής εδάφους $S=1.20$.

Φορτία Κατασκευής

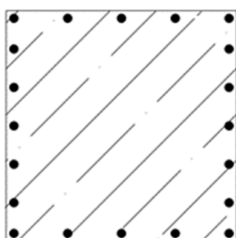
Το ίδιο βάρος του σκυροδέματος ελήφθη $g=25 \text{ kN/m}^3$, το φορτίο των επικαλύψεων $g_{ep}=1.2 \text{ kN/m}^2$ και το κινητό φορτίο $q=2.0 \text{ kN/m}^2$.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2 : Παραδοχές διαστασιολόγησης στο πρόγραμμα FESPA

Παραδοχές Υπολογισμού			
[1] Υλικά		[6] Στοιχεία αντισεισμικού σχεδιασμού	
Σκυρόδεμα	C25/30	Εθνικό προσάρτημα	GR(Ελλάς)
Χάλυβας οπλισμού	B500C	Κατηγορία πλασιμότητας	ΚΓΠΜ
Κατηγορία έκθεσης	[XC3]	Σεισμική ζώνη	$a_{gR} = 0,216$
Δομικός χάλυβας	S235	Σπουδαιότητα	II
Δομική ξυλεία	C24	Κατακόρυφη συνιστώσα	$\gamma_I = 1,00$
		Τύπος φάσματος Σχεδιασμού	OXI
		Εδαφικός τύπος	1
		Ιδιοπερίοδοι φάσματος	$S = 1,20$
[2] Μόνιμα φορτία		Συντ. απόσβεσης	$T_D = 2,50$
Ειδικό βάρος σκυροδέματος	25.0 kN/m ³	Συντελεστής τοπογραφίας	$\xi = 5,00\%$
Ειδικό βάρος χάλυβα	78.5 kN/m ³		$S_T = 1,00$
Δρομικής πλινθοδομής	2.1 kN/m ²	[6.1] Συντελεστής συμπεριφοράς	
Μπατικής πλινθοδομής	3.6 kN/m ²	Συντ. σεισμικής συμπεριφοράς οριζ.	$q_{\chi} = 3,45$
Επικάλυψη πλακών γενικά	1.2 kN/m ²	Συντ. σεισμικής συμπεριφοράς κατακόρυφα	$q_{\psi} = 1,50$
Επικάλυψη κλιμάκων	2.5 kN/m ²	Στατικό σύστημα: (Διεύθυνση X)	
Επικάλυψη δώματος/Στέγης	2.0 kN/m ²	ΠΛΑΙΣΙΩΤΟ ΠΟΛΥΩΡΟΦΟ ΣΥΣΤΗΜΑ(ΠΟΛΛΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ)	
Ειδικό βάρος γαιών	20.0 kN/m ³	Στατικό σύστημα: (Διεύθυνση Z)	
Ειδικό βάρος Δομικής Ξυλείας	3.5 kN/m ³	ΠΛΑΙΣΙΩΤΟ ΠΟΛΥΩΡΟΦΟ ΣΥΣΤΗΜΑ(ΠΟΛΛΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ)	
[3] Μεταβλητά φορτία		Κανονικότητα σε κάτωση	OXI
Δάπεδα κατοικιών-γραφείων	2.0 kN/m ²	Κανονικότητα καθ' ύψος	Z: NAI
Δάπεδα και κλιμάκ. καταστημάτων	5.0 kN/m ²	Βασική τιμή συντ. συμπεριφοράς	$q_{0\chi} = 3,45$
Κλιμάκων κατοικίας-γραφείων	3.5 kN/m ²	Λόγος υπεραντοχής	$q_{0Z} = 3,45$
Δάπεδα εξωστών	5.0 kN/m ²	Συντελεστής τοιχωμάτων	$a_{\mu}/a_{\chi} = 1,15$
Δάπεδα χώρων στάθμευσης	5.0 kN/m ²	Αντισεισμική Ανάλυση	$a_{\mu}/a_{\psi} = 1,15$
Δώμα / Στέγη (μη βατή)	0.5 kN/m ²	Ανάλυση pushover	$K_{w_X} = 1,00$
		Συντ. μείωσης μετακινήσεων Ο.Κ.Π.Β.	$K_{w_Z} = 1,00$
		Ικανοτικός σχεδιασμός σε κάμψη	Δυναμική με Μ.Μαζών
			OXI
			v=0,50
			Z: NAI

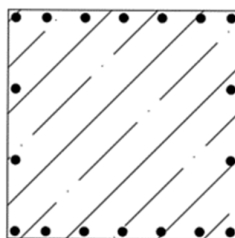
Διαστάσεις και οπλισμοί

Τα υποστυλώματα ήταν διατομής 0.45m×0.45m και οι δοκοί 0.30m×0.50m, ενώ το πάχος της πλάκας 0.20m.



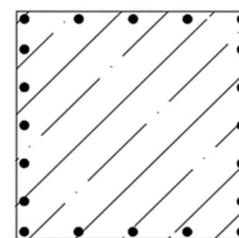
45×45

20Φ16



45×45

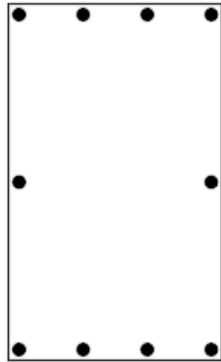
18Φ16



45×45

22Φ16

Τα εξωτερικά υποστυλώματα του ισογείου ήταν διατομής 22Φ16 ενώ τα υπόλοιπα εξωτερικά των ορόφων διατομής 20Φ16. Όλα τα εσωτερικά υποστυλώματα ήταν διατομής 18Φ16.

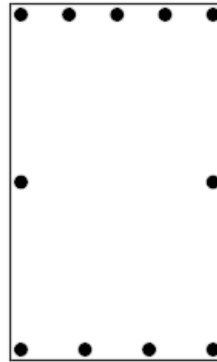


30×50

4Φ12

2Φ12

4Φ16



30×50

5Φ16

2Φ12

4Φ12

Οι εξωτερικές δοκοί όλων των ορόφων είχαν διατομή με 5Φ16 στην άνω παρειά, 2Φ12 ενδιάμεσα και 4Φ12 στην κάτω παρειά ενώ όλες οι εσωτερικές δοκοί είχαν διατομή 4Φ12 στην άνω παρειά, 2Φ12 ενδιάμεσα και 4Φ16 στην κάτω παρειά.

3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ OPENSEES

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καθοριστική επίδραση των σεισμικών διεγέρσεων στη συμπεριφορά των κατασκευών έχει οδηγήσει στη δημιουργία εξειδικευμένων λογισμικών μη γραμμικής ανάλυσης που επικεντρώνονται στα φαινόμενα αυτά. Ένα τέτοιο λογισμικό είναι το **OpenSees** (Open System for Earthquake Engineering Simulation) που ανπτύχθηκε στην δυτική ακτή των ΗΠΑ, από το **Pacific Earthquake Engineering Research Center** (PEER) σε γλώσσα **Tcl**, με κύριο σκοπό την ανάλυση της σεισμικής συμπεριφοράς των κατασκευών. Παρέχει στους χρήστες πληθώρα επιλογών καθώς διαθέτει μεγάλο εύρος στοιχείων (γραμμικά, επιφανειακά, χωρικά) που μπορούν να συνδυαστούν με σύνθετους νόμους υλικών, ώστε να μπορέσουν να προσεγγίσουν όσο το δυνατό καλύτερα, την πραγματική συμπεριφορά των εκάστοτε κατασκευών μέσω μη γραμμικών αναλύσεων στατικών και δυναμικών.

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

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

Ωστόσο, παρά τα προτερήματα που διαθέτει το OpenSees, τη χρήση του συχνά αποθαρρύνει η απουσία γραφικού περιβάλλοντος. Το στοιχείο αυτό αποτελεί αναμφίβολα ένα μειονέκτημα του εν λόγω λογισμικού καθώς δυσχεραίνει τον έλεγχο της ορθότητας του φορέα και περιορίζει την εποπτεία επί των αποτελεσμάτων. Παρόλ' αυτά η χρήση εντολών της Tcl κατά τη μόρφωση του φορέα και την εκτέλεση των αναλύσεων μπορεί να βοηθήσει τόσο στην αποφυγή σφαλμάτων όσο και στην ευκολότερη χρήση του λογισμικού.

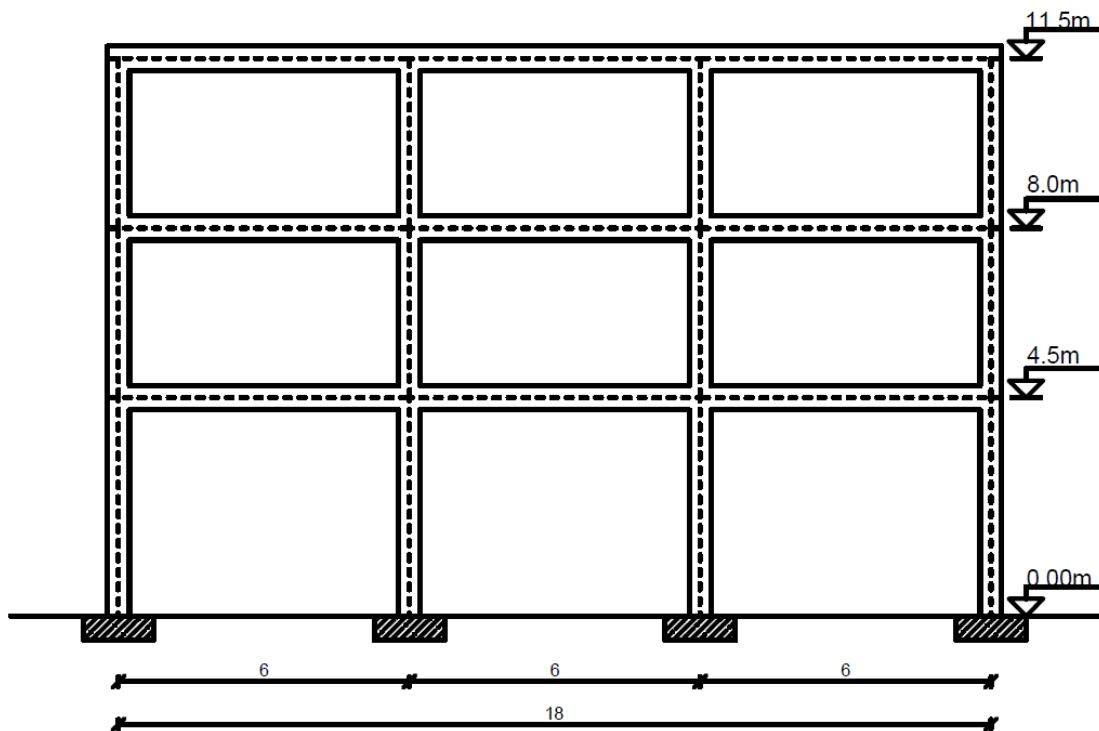
Το παρόν κεφάλαιο έχει σκοπό να παρουσιάσει τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την προσομοίωση του φορέα και της σεισμικής φόρτισης (μη-γραμμική στατική και δυναμική) με το λογισμικό OpenSees και σε καμία περίπτωση δεν αποσκοπεί στην υποκατάσταση του εγχειριδίου χρήσης.

Συγκεκριμένα προσομοιώθηκε πλαισιωτός τριώροφος φορέας απο οπλισμένο σκυρόδεμα με σκοπό την εκτέλεση στατικών μονοτονικών αναλύσεων καθώς και δυναμικών αναλύσεων. Οι αναλύσεις έγιναν τόσο στο αρχικό μη ενισχυμένο πλαίσιο, όσο και στο ενισχυμένο με το στοιχείο λικνισμού με σκοπό τη σύγκριση της απόκρισης της κατασκευής στις περιπτώσεις αυτές. Το στοιχείο λικνισμού

όπως έχει αναφερθεί προσομοιώθηκε και κωδικοποιήθηκε από τον διδακτορικό φοιτητή Ευάγγελο Αυγενάκη.

Η ακριβής κωδικοποίηση που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική παρουσιάζεται στο **Παράρτημα Α**.

3.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΟΡΕΑ



ΣΧΗΜΑ 3.2: Δημιουργία Φορέα

3.2.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

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

```
model BasicBuilder -ndm 2 -ndf3
```

που υποδηλώνει ότι το μοντέλο είναι δισδιάστατο και κάθε κόμβος διαθέτει 3 β.ε.

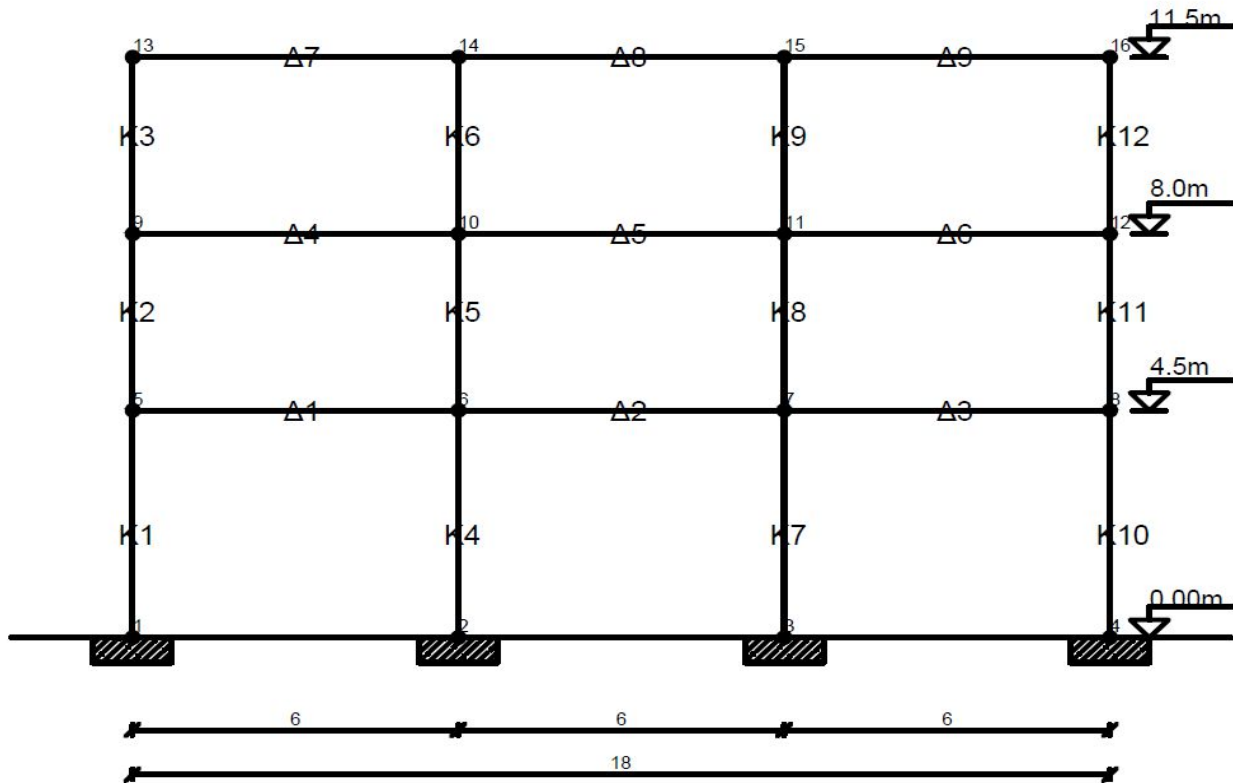
Στη συνέχεια πρέπει να οριστούν οι συντεταγμένες των κόμβων με την εντολή:

```
nodei xi yi
```

Η κατασκευή διαστασιολογήθηκε θεωρώντας τις στηρίξεις ως πλήρεις πακτώσεις, επομένως πρέπει να δεσμευτούν όλοι οι βαθμοί ελευθερίας των κόμβων έδρασης. Αυτό πραγματοποιείται με την εντολή:

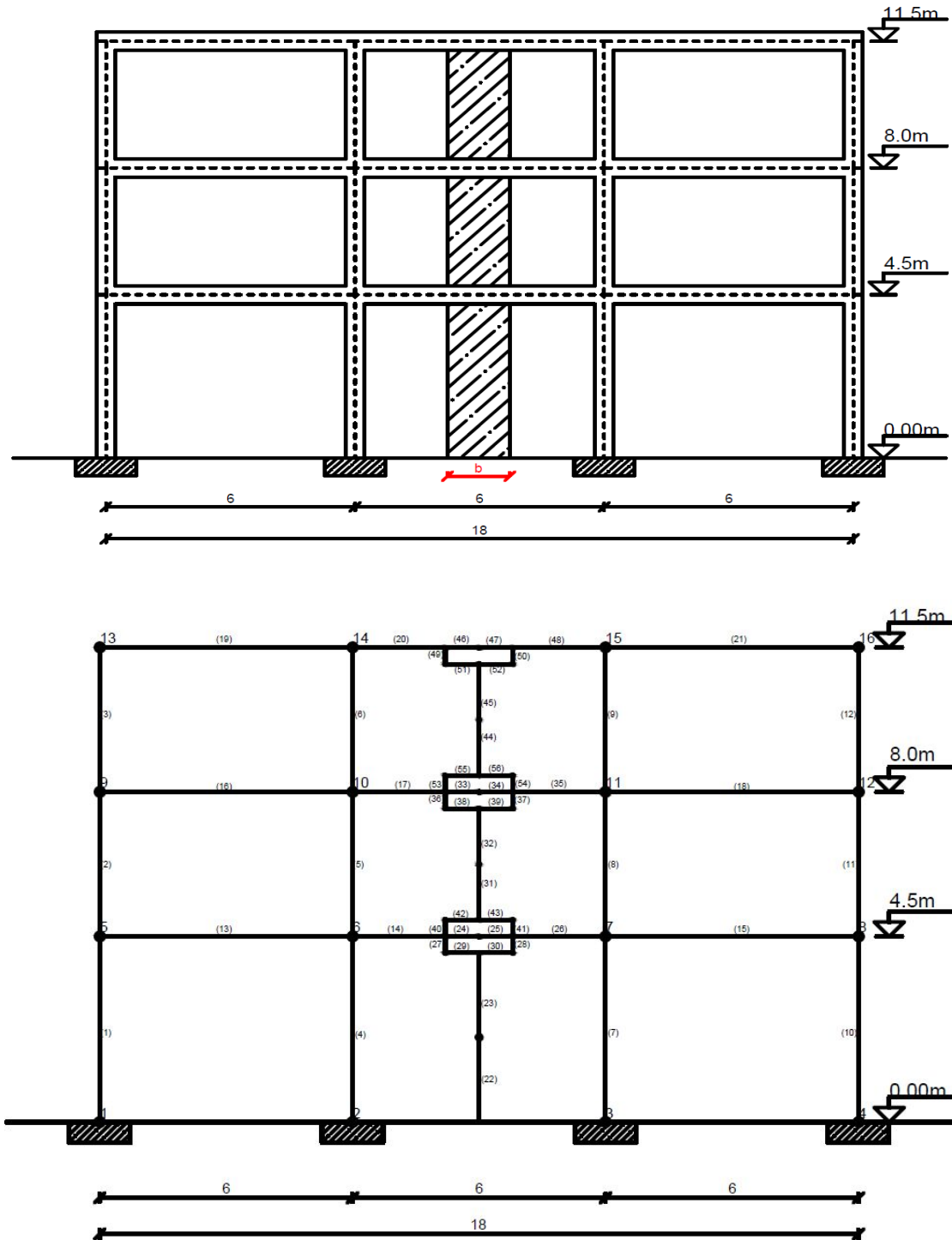
fixi 1 1 1

Αρχικά λυτόν προσομοιώθηκε το αρχικό κτήριο χωρίς τα στοιχεία λικνισμού με χρήση του **Notepad++**, ένα τριώροφο επίπεδο πλαίσιο τριών ανοιγμάτων όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2.1α.



ΣΧΗΜΑ 3.2.1α: Μοντελοποίηση του μη ενισχυμένου φορέα στο OPENSEES

Στη συνέχεια προστέθηκε στο ήδη υπάρχον μοντέλο το λικνιζόμενο μέλος. Δημιουργήθηκαν μοντέλα με το στοιχείο λικνισμού στο **μεσαίο άνοιγμα** να προστίθεται αρχικά στο ισόγειο και έπειτα στους δύο επόμενους ορόφους. Σε κάθε ένα από αυτά τα μοντέλα (σχήμα 3.2.1β) έγιναν αναλύσεις pushover και δυναμικές αναλύσεις για πλάτη τοιχίου **b=1.0m**, **b=1.5m** και τέλος **b=2.0m**.



ΣΧΗΜΑ 3.2.1β: Μοντελοποίηση του ενισχυμένου φορέα στο OPENSEES

3.2.2 ΔΟΚΟΙ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Για την προσομοίωση των δοκών και των υποστυλωμάτων, τα οποία συμπεριφέρονται ανελαστικά, χρησιμοποιήθηκαν **fiber elements**, δηλαδή μη γραμμικά ραβδόμορφα πεπερασμένα στοιχεία, **κατανεμημένης πλαστικότητας** (distributed plasticity) και διατομής διακριτοποιημένης σε ίνες. Στην πλέον ρεαλιστική θεώρηση της κατανεμημένης πλαστικότητας, η πλαστικοποίηση πραγματοποιείται σταδικά καθ' ύψος της διατομής και κατά τον διαμήκη άξονα των ραβδωτών στοιχείων του φορέα, με αποτέλεσμα η συμπεριφορά να είναι μη γραμμική σε κάθε προσαυξητικό βήμα φόρτισης. Στην περίπτωση αυτή ακολουθείται μια προσαυξητική-επαναληπτική διαδικασία για τον υπολογισμό της καμπύλης ικανότητας.

Ενά fiber element για να οριστεί χρειάζεται πρώτα να έχει οριστεί η διατομή του μέλους και το υλικό της. Τα υλικά της διατομής των δοκών και των υποστυλωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν είναι το σκυρόδεμα **C25/30** και ο χάλυβας **B500C**.

Οι δοκοί και τα υποστυλώματα ορίστηκαν με την εντολή :

```
element forceBeamColumn $eleTag $iNode $jNode $numIntgrPts $secTag $transfTag
```

όπου:

\$eleTag: αριθμός ο οποίος υποδεικνύει το στοιχείο με τις συγκεκριμένες ιδιότητες

\$iNode: κόμβος αρχής του στοιχείου

\$jNode: κόμβος πέρατος του στοιχείου

\$numIntgrPts: αριθμός σημείων ολοκλήρωσης Gauss-Lobatto κατά μήκος του στοιχείου

\$secTag: χαρακτηριστικός αριθμός διατομής

\$transfTag: δείκτης ο οποίος υποδεικνύει τον μετασχηματισμό από το τοπικό στο καθολικό σύστημα συντεταγμένων. Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε γεωμετρικός μετασχηματισμός που λαμβάνει υπόψη τα **δευτερεύοντα φαινόμενα (PDelta Transformation)**.

Με αυτό τον τρόπο ορισμού των στοιχείων, ο υπολογισμός των εντατικών μεγεθών βασίζεται στη **μέθοδο των δυνάμεων** και στην ολοκλήρωση Gauss-Lobatto.

3.2.3 ΥΛΙΚΑ

3.2.3.1 Σκυρόδεμα

Για την προσομοίωση της συμπεριφοράς του σκυροδέματος (Σχήμα 3.2.3.1) έγινε χρήση της εντολής:

uniaxialMaterial Concrete01 \$matTag \$fpc \$epsC0 \$fpcu \$epsU

όπου:

\$matTag: ο χαρακτηριστικός αριθμός με τον οποίο αποθηκεύεται το υλικό

\$fpc: η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος στις 28 ημέρες

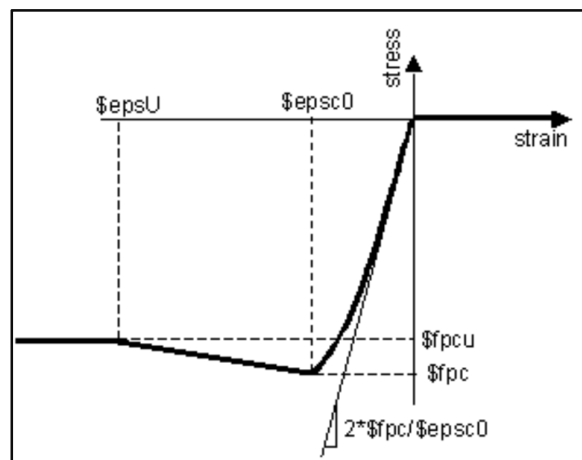
\$epsC0: η ανηγμένη θλιπτική παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην παραπάνω αντοχή

\$fpcu: η τάση θραύσης του σκυροδέματος, η οποία αντιστοιχεί στο 20% της αντοχής του σκυροδέματος

\$epsU: η ανηγμένη παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη θραύση του σκυροδέματος

Τα μεγέθη των τάσεων εισάγονται σε **kPa**.

Στην εντολή του υλικού του σκυροδέματος είναι ενσωματωμένος ο νόμος των **Kent-Scott-Park** (Σχήμα 3.2.3.1). Σύμφωνα με αυτόν η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι μηδενική, ενώ η θλιπτική αντοχή ακολουθεί πτωτικό κλάδο αφού φτάσει στη μέγιστη τιμή της. Στην παρούσα διπλωματική θεωρήθηκε $f_{pc} = f_{pcu}$, αφού υπό **ταχεία φόρτιση**, όπως είναι ο σεισμός δεν παρουσιάζεται μείωση της θλιπτικής αντοχής του.



ΣΧΗΜΑ 3.2.3.1: Διάγραμμα Τάσεων-Παραμορφώσεων Σκυροδέματος

3.2.3.2 Χάλυβας

Για την προσομοίωση της συμπεριφοράς του χάλυβα έγινε χρήση της εντολής:

```
uniaxialMaterial Steel01 $matTag $Fy $E0 $b
```

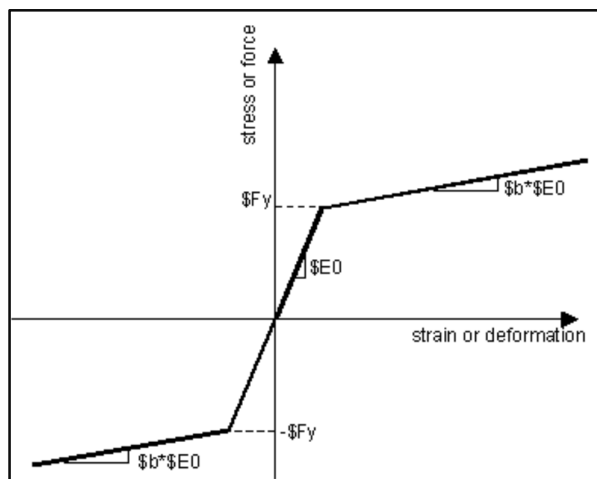
όπου:

\$matTag: ο χαρακτηριστικός αριθμός με τον οποίο αποθηκεύεται το υλικό

\$Fy: το όριο διαρροής του χάλυβα

\$E0: το αρχικό μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα

\$b: η κράτυνση του χάλυβα



ΣΧΗΜΑ 3.2.3.2: Διάγραμμα Τάσεων-Παραμορφώσεων Χάλυβα

3.3 ΔΙΑΤΟΜΕΣ

Ορίστηκε η διατομή μέσω της εντολής:

```
Section fiberSec $secTag {  
    fiber...  
    patch...  
    layer...  
}
```

Η προσομοίωση του σκυροδέματος έγινε με ομάδες ινών (patch quad) ενώ ο χάλυβας σπλισμού με σειρά ισαπέχουσων ινών κατα μήκος μιας γραμμής. (layer straight)

Στο OPENSEES εισάγονται οι ομάδες ινών με τον τρόπο που περιγράφεται πιο κάτω:

patch quad \$matTag \$numSubdivIJ \$numSubdivJK \$yI \$zI \$yJ \$zJ \$yK \$zK \$yL \$zL

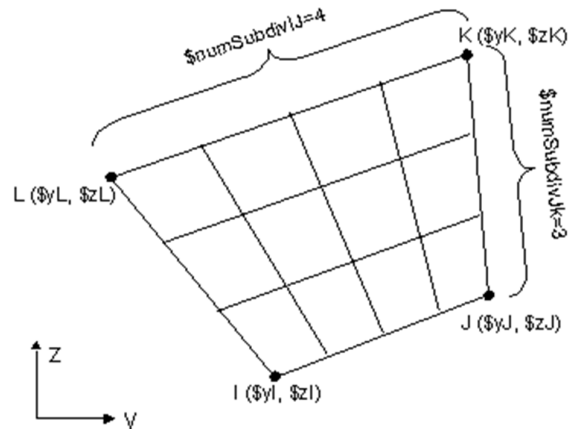
όπου:

\$matTag: ο αριθμός που αντιπροσωπεύει το υλικό της διατομής που έχει οριστεί προηγουμένως

\$numSubdivIJ: ο αριθμός των ινών στη διεύθυνση IJ

\$numSubdivJK: ο αριθμός των ινών στη διεύθυνση JK

\$yI \$zI \$yJ \$zJ \$yK \$zK \$yL \$zL: συντεταγμένες στοιχείου, οι οποίες πρέπει να εισαχθούν με την αντίστοιχη σειρά όπως είναι και στο Σχήμα 3.3α.



ΣΧΗΜΑ 3.3α: Ορισμός διατομής στο OPENSEES

Οι ισαπέχουσες ίνες εισάγονται με την εντολή :

layer straight \$matTag \$numFiber \$areaFiber \$yStart \$zStart \$yEnd \$zEnd

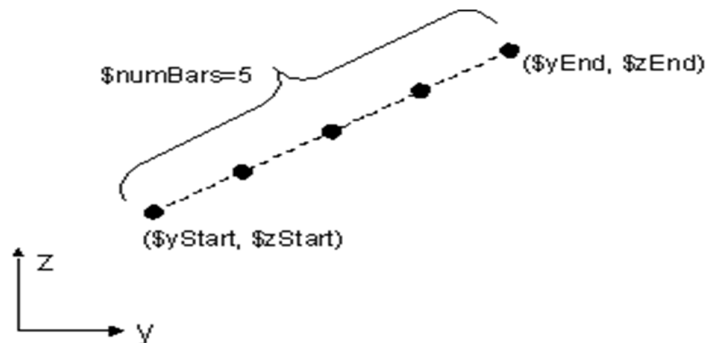
όπου:

\$matTag: ο αριθμός που αντιπροσωπεύει το υλικό της διατομής που έχει οριστεί προηγουμένως

\$numFibers: ο αριθμός των ράβδων οπλισμού που περιέχονται στη συγκεκριμένη σειρά

\$areaFiber: το εμβαδό της μιας ράβδου

$\$yStart$ $\$zStart$ $\$yEnd$ $\$zEnd$: οι συντεταγμένες στο τοπικό σύστημα αξόνων της πρώτης και της τελευταίας ράβδου οπλισμού αντίστοιχα.



ΣΧΗΜΑ 3.3β: Ορισμός ράβων οπλισμού διατομής στο OPENSEES

3.4 ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Το επίπεδο πλαίσιο που προσομοιώθηκε στο OPENSEES λόγω της μη ύπαρξης διαφράγματος δεν διέθετε διαφραγματική λειτουργία, πράγμα που διαπιστώθηκε από τις σημαντικές αξονικές δυνάμεις που παρουσιάστηκαν στις δοκούς καθώς και των διαφορετικών μετατοπίσεων και drifts που παρουσίασαν υποστυλώματα ίδιου ορόφου.

Για το λόγο αυτό για την εξασφάλιση της διαφραγματικής λειτουργίας στο μοντέλο έγινε επιπλέον πρόσθεση **ελαστικών ράβδων άπειρης δυστένειας** παράλληλα σε κάθε στοιχείο δοκού. Η ράβδος αυτή σύνδεε τους κόμβους πέρατος των υποστυλωμάτων του κάθε ορόφου ώστε να αναλαμβάνει τις αναπτυσσόμενες αξονικές δυνάμεις. Για την τοποθέτησή της χρειάστηκε να προστεθούν κόμβοι παράλληλα στους κόμβους πέρατος των δοκών, οι οποίοι θα είχαν κοινούς βαθμούς ελευθερίας τον στροφικό και τον κατακόρυφο και όχι τον αξονικό. Αυτή η δέσμευση πραγματοποιήθηκε μέσω της εντολής **equalDOF**.

equalDOF \$rNodeTag \$cNodeTag \$dof1 \$dof2

όπου:

$\$rNodeTag$: κύριος κόμβος

$\$cNodeTag$: δεσμευμένος κόμβος

$\$dof1$ $\$dof2$: δεσμευμένοι βαθμοί ελευθερίας

Το **υλικό** που ορίστηκε για την εισαγωγή των δύσκαμπτων δοκών:

uniaxialMaterial Elastic \$matTag \$E

όπου:

\$matTag: χαρακτηριστικός αριθμός του υλικού

\$E: μέτρο ελαστικότητας του υλικού(αρκετά μεγάλη τιμή ίση 20000000000000.0 με για να επιτευχθεί η δυσκαμψία)

Η προσομοίωση της ράβδου έγινε με **στοιχείο δικτυώματος** (truss element), η οποία σύνδεε τους κόμβους πέρατος των υποστυλωμάτων

element truss \$eleTag \$iNode \$jNode \$A \$matTag

όπου:

\$eleTag: χαρακτηριστικός αριθμός στοιχείου

\$iNode, \$jNode: κόμβοι αρχής και πέρατος του στοιχείου

\$A: εμβαδό διατομής στοιχείου

\$matTag: αριθμός που αντιστοιχεί στο υλικό της διατομής του στοιχείου

3.5 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ ΛΙΚΝΙΣΜΟΥ

Ο κώδικας του λικνιστικού στοιχείου, ο οποίος δόθηκε από τον διδακτορικό φοιτητή Βαγγέλη Αυγενάκη, προσαρμόστηκε στο αρχικό μοντέλο με βάση συγκεκριμένη μεθοδολογία. Η εισαγωγή στο μοντέλο έγινε μέσω της εντολής :

element RockingBC2d eleTag iNode jNode E nu B W sheardef

όπου:

eleTag: αριθμός του στοιχείου

iNode: κόμβος αρχής

jNode: κόμβος πέρατος

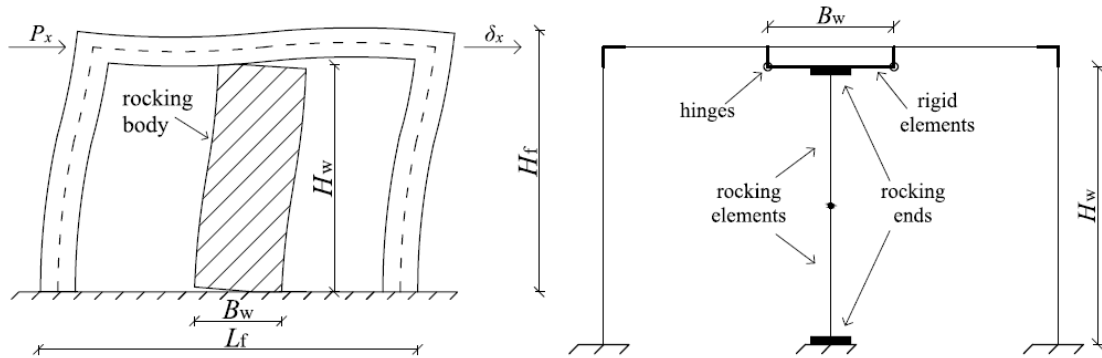
E: μέτρο ελαστικότητας του στοιχείου

nu: λόγος Poisson

B: πάχος του στοιχείου

W: πλάτος του στοιχείου

sheardef: δείκτης που παίρνει τις τιμές 1 ή 0, ανάλογα με το αν ληφθεί ή όχι υπόψη η συμβολή των διατμητικών παραμορφώσεων.



ΣΧΗΜΑ 3.5: Προσομοίωση του στοιχείου λικνισμού

Εισάγοντας την εντολή αυτή λαμβάνεται υπόψη μόνο το ανασήκωμα του κόμβου j του στοιχείου. Επομένως εάν χρειάζεται διπλό ανασήκωμα, όπως συμβαίνει συνήθως απαιτείται η διασύνδεση δύο τέτοιων στοιχείων, με κατάλληλη αρίθμηση κόμβων, ώστε πάντα ο κόμβος j να είναι αυτός που ανασηκώνεται. Έτσι σε κάθε όροφο τοποθετήθηκαν δύο τέτοια στοιχεία όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5. Το στοιχείο λικνισμού συνδέθηκε με τις δοκούς μέσω ελαστικών στοιχείων δοκού-υποστυλώματος άπειρης δυσκαμψίας (elasticBeamColumn element).

Για την εισαγωγή του στοιχείου λικνισμού στο αρχικό προσομοίωμα έγινε προσθήκη δύο επιπλέον κόμβων στις μεσαίες δοκούς κάθε ορόφου. Επιπλέον, δεδομένου ότι και οι νέες δοκοί συνδέονταν με το στοιχείο λικνισμού έπρεπε να εισαχθούν παράλληλα και στις νέες δοκούς δύσκαμπτες δοκοί ώστε να επιτευχθεί και στο ενισχυμένο μοντέλο διαφραγματική λειτουργία.

3.6 ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (PUSHOVER)

3.6.1 Στόχος της μη γραμμικής στατικής ανάλυσης

Κύριος στόχος της ανελαστικής στατικής ανάλυσης είναι η εκτίμηση του μεγέθους των ανελαστικών παραμορφώσεων που θα αναπτυχθούν στα δομικά στοιχεία όταν το κτήριο υπόκειται στη σεισμική δράση για την οποία γίνεται η αποτίμηση ή ο ανασχεδιασμός.

Η μέθοδος αναφέρεται και ως μέθοδος ελέγχου των μετακινήσεων. Εκτός από τις τιμές των ανελαστικών παραμορφώσεων, η μέθοδος δίνει και τιμές των δυνάμεων (εντατικών μεγεθών) στα δομικά στοιχεία που έχουν εισέλθει στην μετελαστική περιοχή της απόκρισής τους. Οι τιμές αυτές είναι εν γένει πιο αξιόπιστες από εκείνες που υπολογίζονται με βάση τις ελαστικές μεθόδους.

Ουσιαστικά, η χρήση της μεθόδου έχει μια σειρά στόχων οι οποίοι είναι οι εξής:

- Τη δημιουργία της καμπύλης αντίστασης της κατασκευής, η οποία εκφράζει τη μη-γραμμική σχέση μεταξύ του επιβαλλόμενου οριζόντιου φορτίου και της μετατόπισης κορυφής (**κόμβου ελέγχου**). Η καμπύλη αυτή αποτελεί τη βάση για όλους τους απαιτούμενους ελέγχους ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεσματικότητας
- Την τεκμηρίωση της ύπαρξης επαρκούς υπεραντοχής στο κτήριο (λόγος α_u/α_1).
- Την εποπτεία της συμπεριφοράς των μελών της κατασκευής ως προς τη σειρά και τα σημεία εμφάνισης των πλαστικών αρθρώσεων. Επιτυγχάνεται με αυτόν τον τρόπο η αποτύπωση της κατανομής των ζημιών στην κατασκευή και γίνεται κατανοητός ο μηχανισμός απορρόφησης ενέργειας καθώς και ο έλεγχος σχεδιαστικών απαιτήσεων όπως ο ικανοτικός σχεδιασμός ισχυρού υποστυλώματος-ασθενούς δοκού. Ο μελετητής μηχανικός έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει τη μέθοδο Pushover τόσο στην αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό παλαιότερων κτηρίων όσο και στην ανάλυση νέων κατασκευών.

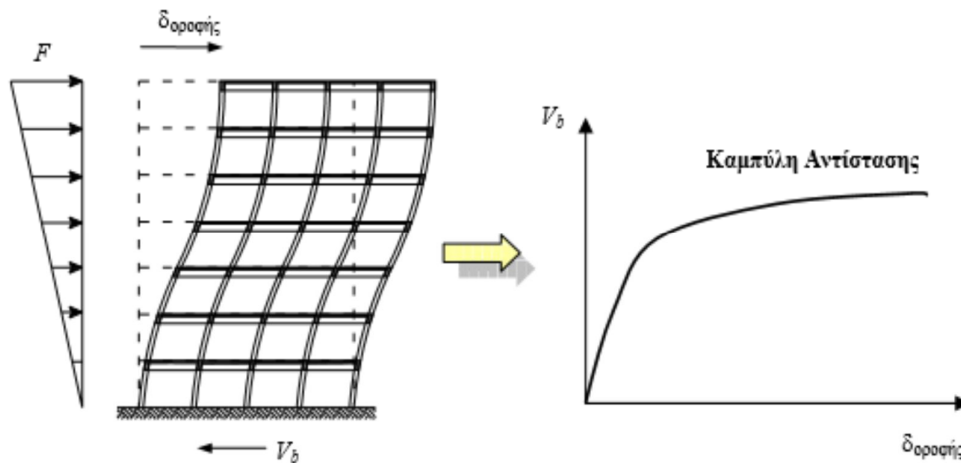
3.6.2 Περιγραφή της μη γραμμικής στατικής ανάλυσης

Η ανελαστική στατική ανάλυση λαμβάνει υπόψη την πραγματική κατάσταση του κτηρίου με την πιθανή ανομοιομορφία στην δυσκαμψία και επιπλέον επιτρέπει τους κόμβους των μελών να γίνουν πλαστικές αρθρώσεις (σημείο ροπής διαρροής). Από εκείνο το σημείο και μετά αυξάνονται αρκετά οι παραμορφώσεις και οι μετατοπίσεις του κτηρίου με αποτέλεσμα το κτήριο πολλές φορές να χρήζει άμεσης ενίσχυσης.

Η εφαρμογή της αφορά επιβολή στο προσομοίωμα της κατασκευής στατικών σεισμικών φορτίων, επαυξανόμενων σε μέγεθος, έως την κατάρρευσή της. Μεγέθη έντασης (τέμνουσα βάσεως) και απόκρισης (μετακίνηση οροφής) χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων ενός Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος. Η σεισμική απόκριση του αρχικού πολυβάθμιου φορέα προκύπτει συναρτήσει της ανελαστικής σεισμικής απόκρισης του ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος.

Για την προσομοίωση και την ανάλυση θα δημιουργείται η **καμπύλη αντίστασης** (τέμνουσα βάσεως – οριζόντια μετακίνηση του κόμβου ελέγχου), η οποία θα υπολογίζεται για μετακινήσεις του κόμβου ελέγχου οι οποίες θα κυμαίνονται από μηδέν έως πέρα της εξεταζόμενης μετακίνησης. Τα κατακόρυφα φορτία των στοιχείων θα συμπεριλαμβάνονται στο προσομοίωμα, ώστε να συνδυάζονται με τα οριζόντια φορτία σύμφωνα με τον σεισμικό συνδυασμό του **EC 8-1**.

Ενώ, τα οριζόντια φορτία θα πραγματοποιούνται σε αρνητική - θετική διεύθυνση και ο έλεγχος θα γίνεται για τα δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη κάθε στοιχείου. Στο προσομοίωμα θα περιέχονται τα πρωτεύοντα και τα δευτερεύοντα στοιχεία καθώς και οι τοιχοπληρώσεις. Το αναλυτικό προσομοίωμα θα περιέχει τη σχέση έντασης – παραμόρφωσης κάθε περιοχής στην οποία υπάρχει η πιθανότητα να εμφανιστεί ανελαστική συμπεριφορά. Θα συμπεριλαμβάνεται δηλαδή, μέσω πλήρων καμπύλων μονότονης φόρτισης μέχρι αστοχίας. Επίσης, είναι εφικτή η χρήση απλοποιημένης στατικής ανελαστικής ανάλυσης, όπου στη προσομοίωση τοποθετούνται δεδομένα μόνο από πρωτεύοντα στοιχεία ανάληψης σεισμικών δυνάμεων της κατασκευής. Η σχέση έντασης – παραμόρφωσης κάθε τέτοιου στοιχείου θα είναι διγραμμική.



ΣΧΗΜΑ 3.6.2: Καμπύλη τέμνουσας βάσης – μετακίνησης (V-δ) για μη γραμμική στατική ανάλυση υπό σταδιακώς αυξανόμενη ένταση

Τα οριζόντια στατικά φορτία θα εφαρμόζονται στη στάθμη κάθε διαφράγματος (πλάκα ορόφου), σύμφωνα με την κατανομή των αδρανειακών φορτίων του σεισμού. Οι κατανομές, σύμφωνα με τον EC 8-1 μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- Ομοιόμορφη, δηλαδή βασισμένη σε οριζόντια φορτία ανάλογα ως προς τη μάζα κάθε ορόφου ανεξάρτητα από τη στάθμη του.
- Ιδιομορφική, δηλαδή ανάλογη προς οριζόντια φορτία συμβατά προς την κατανομή οριζόντιων φορτίων στην υπό εξέταση διεύθυνση, όπως προκύπτει από την ελαστική ανάλυση.

3.7 ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑΣ ΣΕΙΣΜΩΝ

Η ανελαστική δυναμική ανάλυση αφορά τη μη-γραμμική ανελαστική απόκριση του φορέα, όπου η δράση των οριζόντιων φορτίων είναι **δυναμικού τύπου** και προκαλεί την αδρανειακή απόκριση της κατασκευής. Στη δυναμική ανελαστική ανάλυση χρησιμοποιείται ένα προσομοίωμα του φορέα το οποίο ενσωματώνει ανελαστικούς νόμους φορτίου-παραμόρφωσης για τα επιμέρους δομικά στοιχεία του κτηρίου. Στον φορέα εφαρμόζεται σεισμική φόρτιση με την μορφή **επιταχυνσιογραφημάτων** εδαφικών κινήσεων, από όπου υπολογίζεται μέσω επαναληπτικής διαδικασίας η απόκριση του φορέα. Ενώ η ανελαστική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας είναι η ακριβέστερη μέθοδος ανάλυσης, χρησιμοποιείται σε περιορισμένο βαθμό στο σχεδιασμό των κατασκευών, λόγω του μεγάλου υπολογιστικού κόστους, της ανάγκης προσεκτικής επιλογής επιταχυνσιογραφημάτων και της δυσκολίας στην επεξεργασία του μεγάλου όγκου των εξαγόμενων αποτελεσμάτων. Η ανελαστική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας χρησιμοποιείται κυρίως για ερευνητικούς σκοπούς ως σημείο αναφοράς και εργαλείο αξιολόγησης της ακρίβειας των αποτελεσμάτων των υπόλοιπων μεθόδων ανάλυσης και κυρίως της ανελαστικής στατικής μεθόδου.

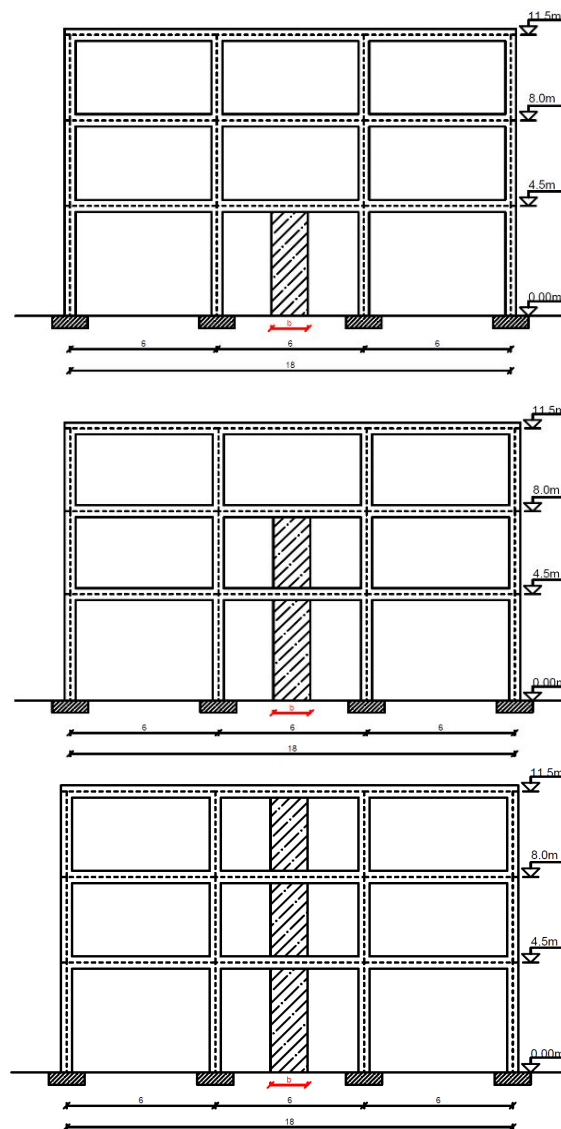


4 ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

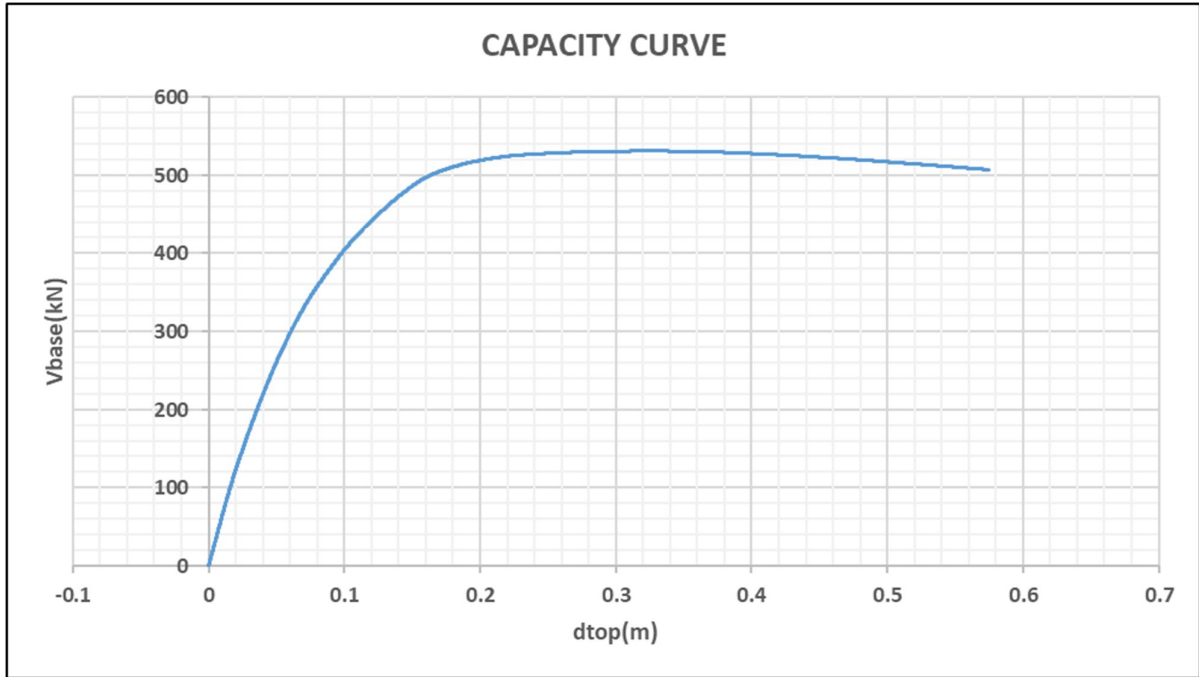
4.1 Καμπύλη Ικανότητας κατασκευής και Στοχευόμενη Μετακίνηση

4.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

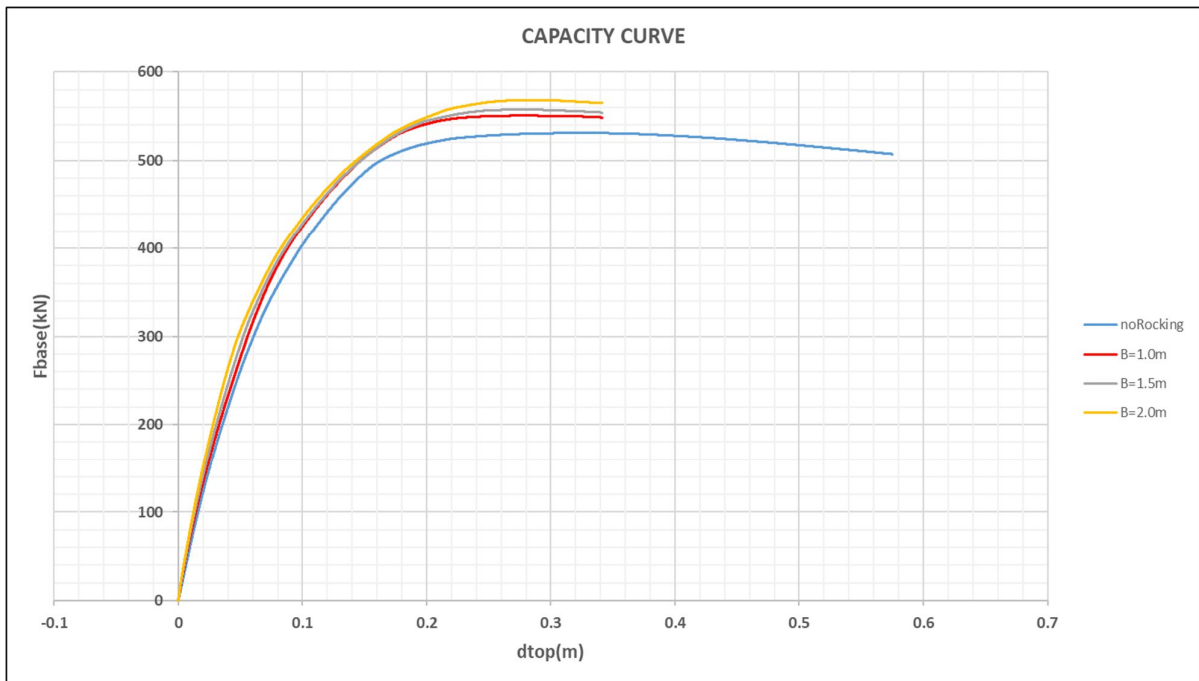
Για την αρχική διερεύνηση κατα πόσο η προσθήκη στοιχείου λικνισμού (rocking element) συντελεί στην βελτίωση της σεισμικής απόκρισης της κατασκευής πραγματοποιήθηκε μη γραμμική στατική ανάλυση (pushover analysis) και σύγκριση της καμπύλης ικανότητας πριν και μετά την προσθήκη του στοιχείου. Η σύγκριση έγινε ανάμεσα στο αρχικό γυμνό τριώροφο πλαίσιο και στα ενισχυμένα τριώροφα πλαίσια με ένα, δύο κα τρία τοιχεία λικνισμού πλάτους $b=1\text{m}$ στο μεσαίο άνοιγμα. Στη συνέχεια έγινε περεταίρω σύγκριση για αυξημένα πλάτη λικνιστικού στοιχείου 1.5m και 2.0m. Με τη βοήθεια του **OpenSees** έγιναν οι απαραίτητες αναλύσεις και δημιουργήθηκαν γραφικές παραστάσεις στο **Excel**, τα αποτελέσματα των οποίων φαίνονται στη συνέχεια.



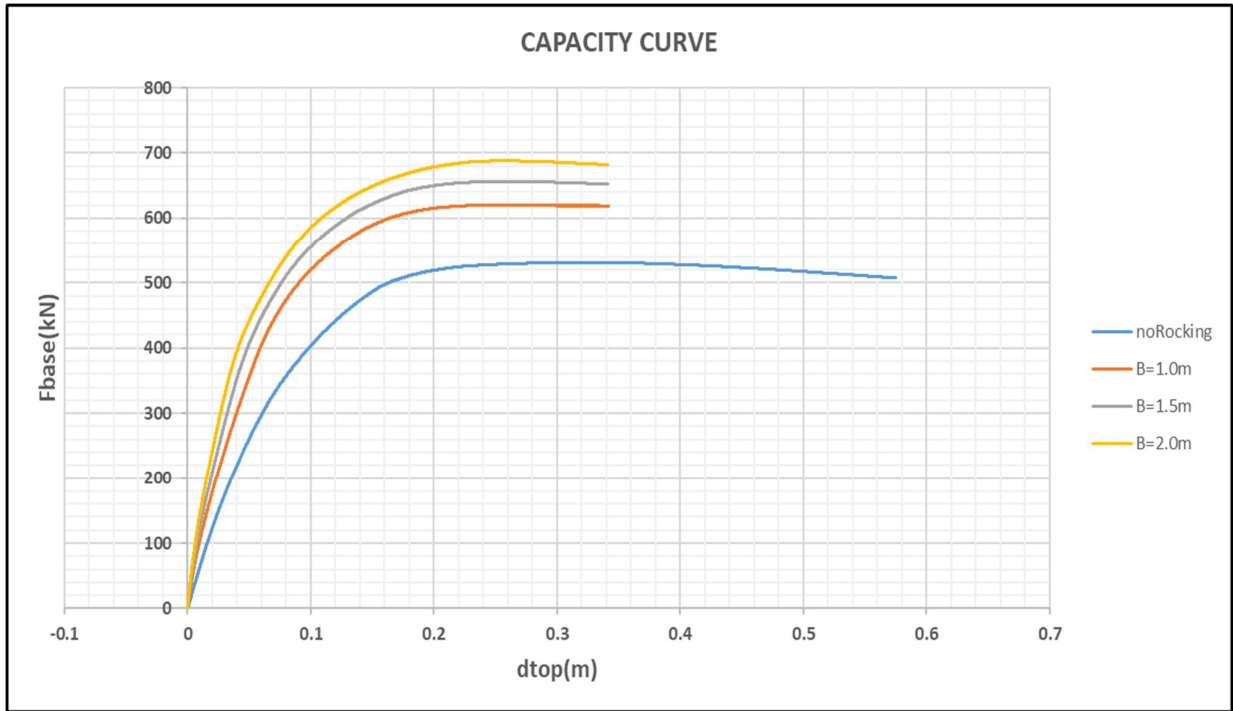
4.1.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ



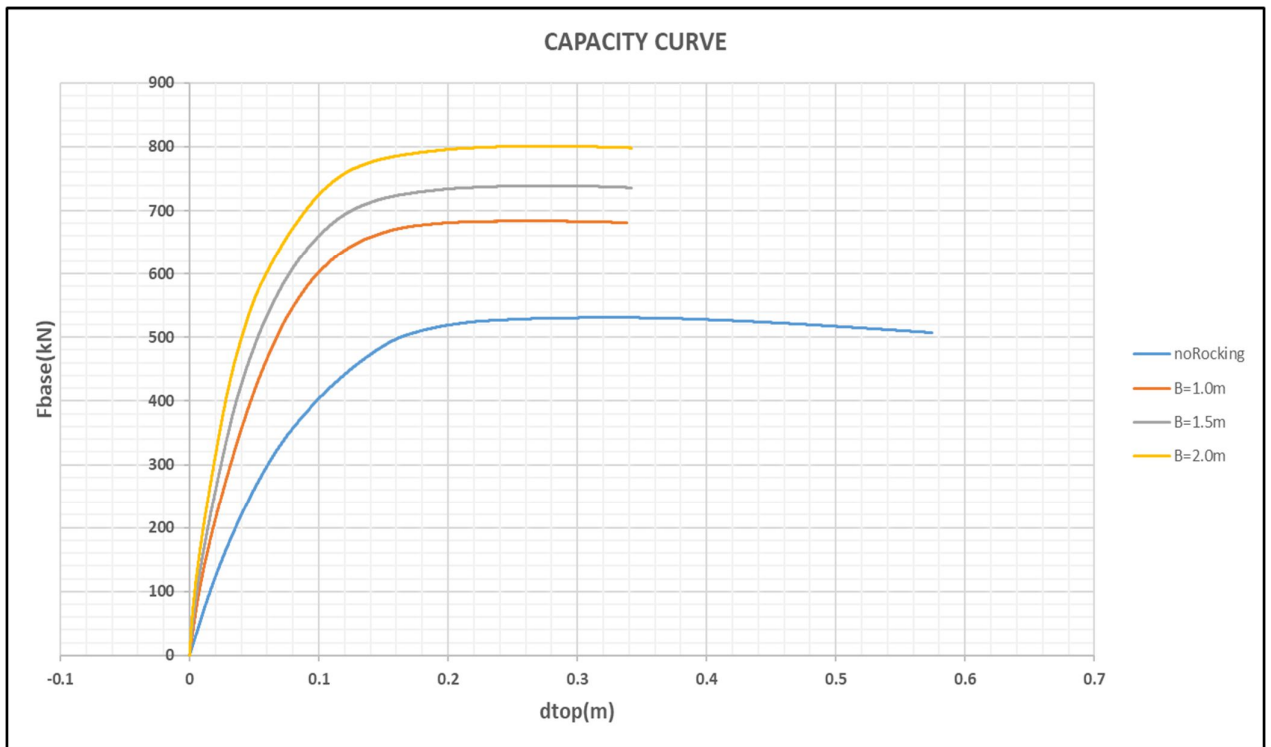
Διάγραμμα 4.1.2α: Καμπύλη Ικανότητας μη ενισχυμένου πλαισίου



Διάγραμμα 4.1.2β: Σύγκριση Καμπύλης Ικανότητας ενισχυμένου πλαισίου με τοίχιο λικνισμού στο ισόγειο για διαφορετικά πλάτη σε σχέση με μη ενισχυμένου



Διάγραμμα 4.1.2γ: Σύγκριση Καμπύλης Ικανότητας ενισχυμένου πλαισίου με τοιχίο λικνισμού στο ισόγειο και στον 1ο όροφο για διαφορετικά πλάτη σε σχέση με μη ενισχυμένου



Διάγραμμα 4.1.2δ: Σύγκριση Καμπύλης Ικανότητας ενισχυμένου πλαισίου με τοιχίο λικνισμού και στους τρεις ορόφους για διαφορετικά πλάτη σε σχέση με μη ενισχυμένου

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρατηρείται γενικά αύξηση της ακαμψίας της κατασκευής και της ικανότητάς της να αντιστέκεται στο σεισμό με τη προσθήκη στοιχείου λικνισμού. Συγκεκριμένα με την προσθήκη στοιχείου λικνισμού κάθε φορά σε περισσότερους ορόφους **έχουμε καλύτερη συμπεριφορά στο σεισμό. Τέλος η αύξηση του πλάτους του στοιχείου βελτιώνει τη γενική συμπεριφορά της** κατασκευής, διότι για μεγαλύτερα πλάτη στοιχείου το ανασήκωμά του περιορίζεται περισσότερο από τη δοκό, ενώ η ροπή που αναπτύσσεται σε αυτό είναι περίπου ανάλογη με το πλάτος του.

4.1.3 Στοχευόμενη μετακίνηση

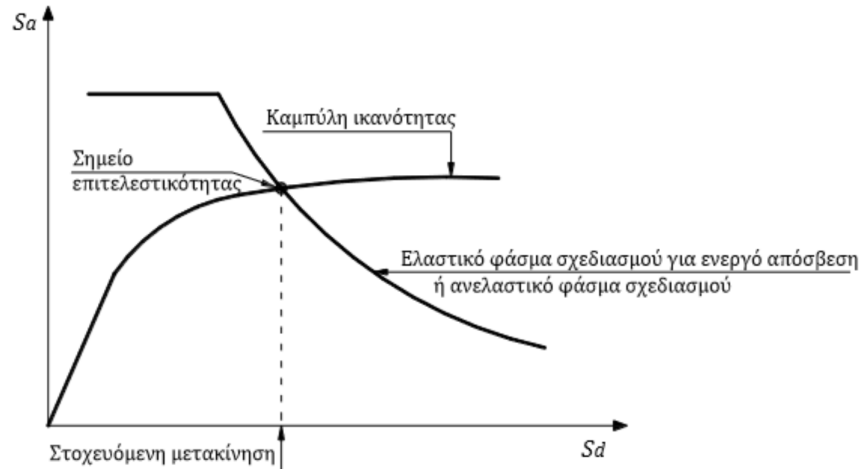
4.1.3.1 Τρόπος Υπολογισμού-Μέθοδος ATC-40

Για τον υπολογισμό της στοχευόμενης μετακίνησης, ο ακριβέστερος τρόπος είναι με μη-γραμμική ανάλυση χρονιοιστορίας η οποία θα παρουσιαστεί πιο μετά, τα αποτελέσματα της οποίας δεν είναι κατ' ανάγκη αξιόπιστα, επειδή εξαρτώνται από την επιλογή των σεισμικών διεγέρσεων που θα χρησιμοποιηθούν στις αναλύσεις. Να σημειωθεί πως η μη γραμμική ανάλυση χρονιοιστορίας απαιτεί σημαντικό υπολογιστικό χρόνο και απαιτούνται πολλές επιλύσεις με σεισμικές διεγέρσεις διαφορετικών χαρακτηριστικών για να βγούν ορθά ποσοτικά αποτελέσματα.

Καταρχάς απλοποιητικά, η στοχευόμενη μετακίνηση μπορεί να υπολογιστεί με προσεγγιστικές μεθόδους (π.χ μέθοδος των συντελεστών) ή με στατική μη-γραμμική ανάλυση (μέθοδος pushover). Γενικά έχουν προταθεί διάφορες εναλλακτικές μεθοδολογίες εφαρμογής της στατικής μη-γραμμικής ανάλυσης, όπως η μέθοδος ATC-40, η μέθοδος N2, η ιδιομορφική στατική μη-γραμμική ανάλυση (modal pushover analysis), η προσαρμοζόμενη στατική μη-γραμμική ανάλυση (adaptive pushover) κ.α.

Στην παρούσα διπλωματική η στοχευόμενη μετακίνηση υπολογίστηκε με χρήση της μεθόδου **ATC-40 (Applied Technology Council)** που βασίζεται στη μη γραμμική στατική ανάλυση. Είναι σπουδαίο να σημειωθεί ότι οι στατικές μέθοδοι δεν έχουν πάντα ικανοποιητική ακρίβεια αποτελεσμάτων αφού βασίζονται στην απόκριση ενός **ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος**.

Η γενική φιλοσοφία υπολογισμού που ακολουθήθηκε στην παρούσα φάση, είναι ότι για τη στοχευόμενη μετακίνηση η ικανότητα της κατασκευής να παραλαμβάνει σεισμικά φορτία (capacity) πρέπει να είναι ίδια με την αντίστοιχη απαίτηση σύμφωνα με το φάσμα σχεδιασμού (demand). Δηλαδή, το σημείο επιτελεστικότητας προκύπτει ως το σημείο τομής του φάσματος ικανότητας της κατασκευής (το φάσμα ικανότητας προκύπτει από την μετατροπή της καμπύλης ικανότητας σε μορφή **ADRS**-η διαδικασία περιγράφεται παρακάτω) και του ελαστικού φάσματος, στην περίπτωση μας, (επίσης σε μορφή ADRS) για την αντίστοιχη πλαστιμότητα ή του ελαστικού φάσματος για την ενεργό απόσβεση. (σχήμα 4.1.3.1α)



ΣΧΗΜΑ 4.1.3.1α : Προσδιορισμός της στοχευόμενης μετακίνησης του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος

Επαναλαμβάνεται πως η ακρίβεια που επιτυγχάνεται με αυτές τις στατικές μεθόδους δεν είναι γενικά ικανοποιητική. Παρόλα αυτά, όσον αφορά τις ανάγκες της παρούσης έρευνας, κρίνεται ικανοποιητική ως προς την εξαγωγή ποιοτικά ορθών αποτελεσμάτων.

Για τη μετατροπή της καμπύλης ικανότητας του κτηρίου σε φάσμα ικανότητας του ισοδύναμου μονοβαθμίου σε μορφή ADRS γίνεται χρησιμοποιώντας τις παρακάτω σχέσεις:

$$S_a = \frac{F_b}{a \cdot m_{tot}} \quad [4.1\alpha]$$

$$S_d = \frac{\Delta}{\Gamma^* \varphi_{top}} \quad [4.1\beta]$$

$$\Gamma = \frac{\sum m_i \varphi_i}{\sum m_i \varphi_i^2} \quad [4.1\gamma]$$

$$M^* = \sum m_i \varphi_i \quad [4.1\delta]$$

$$A = \frac{\Gamma m^*}{m_{tot}} \quad [4.1\epsilon]$$

Η μεθοδολογία που προτείνεται στο **ATC-40** για τον υπολογισμό της στοχευόμενης μετακίνησης βασίζεται στη μεθοδολογία του ισοδύναμου ελαστικού συστήματος. Σύμφωνα με αυτή, η μέγιστη δύναμη **Fm** και η μέγιστη μετακίνηση **dm** που θα συμβούν σε ένα ανελαστικό σύστημα κατά τη διάρκεια ενός σεισμού μπορεί να υπολογιστεί από τη μετακίνηση ενός ισοδύναμου ελαστικού συστήματος με ενεργό δυσκαμψία K_{eff} και ενεργό απόσβεση ζ_{eff} .

Η ενεργός απόσβεση υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη και την απόσβεση λόγω υστερητικής συμπεριφοράς **zhyst**, που αντιστοιχεί στον κύκλο απόκρισης για τη μέγιστη μετακίνηση. Για τον υπολογισμό της ζ_{hyst} συνήθως χρησιμοποιείται η σχέση Chorga (1995), η οποία βασίζεται στην ισοδυναμία των ενεργειών του ελαστοπλαστικού και του ισοδύναμου ελαστικού συστήματος:

$$\zeta_{hyst} = \frac{1}{4\pi} * \frac{ED}{ES0} \quad [4.1\zeta]$$

όπου :

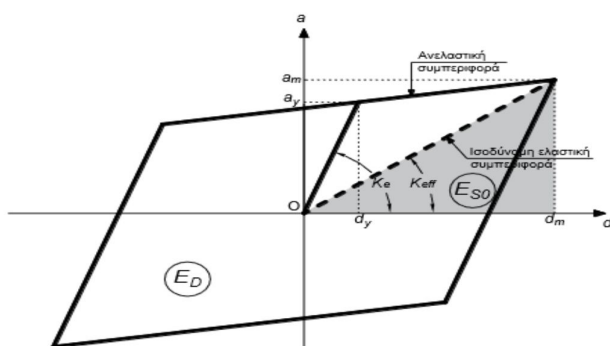
ES0 : η ελαστική ενέργεια του ισοδύναμου ελαστικού συστήματος

ED: η υστερητική ενέργεια του ανελαστικού συστήματος

Όμως, το λικνιζόμενο στοιχείο δεν συμπεριφέρεται ελαστοπλαστικά. Επομένως θα ήταν λάθος να θεωρηθεί πως όταν το στοιχείο αυτό προστίθεται σε μια κατασκευή συνεισφέρει στην υστερητική ενέργεια του ανελαστικού συστήματος.

Για αυτό και στην παρούσα διπλωματική για τον υπολογισμό της στοχευόμενης μετακίνησης στα πλαίσια που περιείχαν λικνιζόμενα τοιχεία, ο όρος ED προέκυψε από το φάσμα ικανότητας της κατασκευής πριν την ενίσχυση.

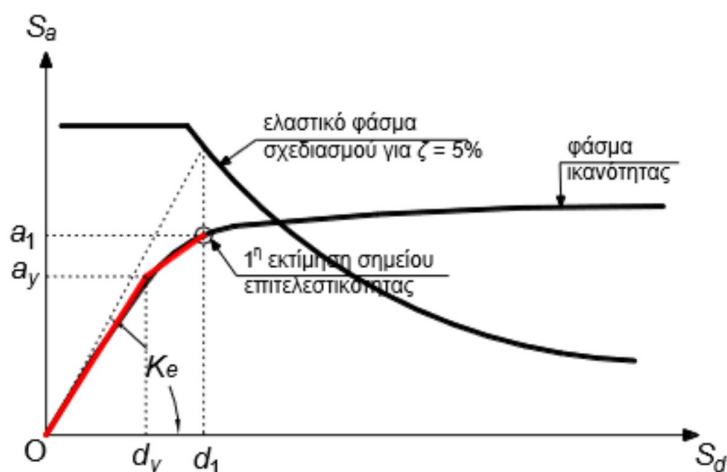
Σημειώνεται ότι τόσο για τον υπολογισμό της ενεργούς δυσκαμψίας K_{eff} όσο και για τον υπολογισμό της ενεργούς απόσβεσης ζ_{eff} απαιτείται η μέγιστη μετακίνηση d_m , η οποία όμως δεν είναι η γνωστή αλλά η ζητούμενη στοχευόμενη μετακίνηση. Γι' αυτό η μέθοδος απαιτεί **δοκιμές** μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση.



ΣΧΗΜΑ 4.1.3.1β: Ορισμός Ισοδύναμου Ελαστικού Συστήματος

Σύμφωνα με τη μέθοδο ATC-40 για τον υπολογισμό της στοχευόμενης μετακίνησης ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα(σχήμα 4.1.3.1γ):

- Μετατροπή του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού για $\zeta=5\%$ και του φάσματος ικανότητας σε μορφή ADRS
- Εύρεση του πρώτου σημείου δοκιμών από το ελαστικό φάσμα για $\zeta=5\%$ για τη δυσκαμψία K_e που αντιστοιχεί σε ρηγματωμένες διατομές
- Διγραμμικοποίηση του φάσματος ικανότητας μέχρι το σημείο της 1^{ης} εκτίμησης του σημείου επιτελεστικότητας με κριτήριο τα αποκοπτόμενα εμβαδά πάνω και κάτω από την καμπύλη να είναι ίσα και η διγραμμικοποιημένη καμπύλη να τέμνει την αρχική στο σημείο $(0.6a_y, 0.6d_y)$



ΣΧΗΜΑ 4.1.3.1γ: Εύρεση του πρώτου σημείου δοκιμών και κατασκευή διγραμμικού φάσματος ικανότητας

- Υπολογισμός της ενεργούς απόσβεσης ως $\zeta_{eff} = 5\% + \zeta_{hyst}$
Η σχέση **CHOPRA** για τον υπολογισμό της υστερητικής απόσβεσης γράφεται :

$$\zeta_{eff}(\%) = 5 + \frac{63.7\kappa(ayd_1 - a_1d_y)}{amdm}$$

[4.1η]

Όπου κ ο διορθωτικός συντελεστής που ορίζεται ανάλογα με την ποιότητα της κατασκευής σε συνδυασμό με την αναμενόμενη σεισμική διέγερση.

Το κτήριο θεωρήθηκε μέτρια αντισεισμικό (Πίνακας 4.1.3.1β), άρα ο τύπος συμπεριφοράς Β (Πίνακας 4.1.3.1α) και η τιμή του κ λαμβάνεται για κάθε περίπτωση σύμφωνα με την τιμή του ζ_{hyst} (Πίνακας 4.1.3.1γ). Τα a_y , d_y και a_1 , d_1 αναφέρονται στο φάσμα ικανότητας του μη ενισχυμένου πλαισίου, ενώ τα a_m , d_m στο ενισχυμένο αν πρόκειται να θέλουμε να υπολογίσουμε την στοχευόμενη μετατόπιση κορυφής του ενισχυμένου, αλλιώς όλα αναφέρονται στο μη ενισχυμένο. Είναι λοιπόν κατανοητό πως στο προηγούμενο βήμα θα πρέπει να γίνει διγραμμικοποίηση όχι του ενισχυμένου αλλά του αρχικού φάσματος ικανότητας για $d_1 = d_m$. Ο λόγος που γίνεται αυτή η παραλλαγή για το ενισχυμένο πλαίσιο είναι όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, ότι δηλαδή το λικνιζόμενο μέλος δεν συμπεροφέρεται ελαστοπλαστικά.

- Υπολογισμός του απομειωμένου ελαστικού φάσματος σχεδιασμού που αντιστοιχεί για απόσβεση $\zeta = \zeta_{eff}$, πολλαπλασιάζοντας τις τιμές του φάσματος για $\zeta = 5\%$ με τους συντελεστές SRA και SRV στα τμήματα που αντιστοιχούν σε σταθερή επιτάχυνση και σταθερή ταχύτητα αντίστοιχα.

Οι συντελεστές SRA και SRV δίνονται από τις σχέσεις :

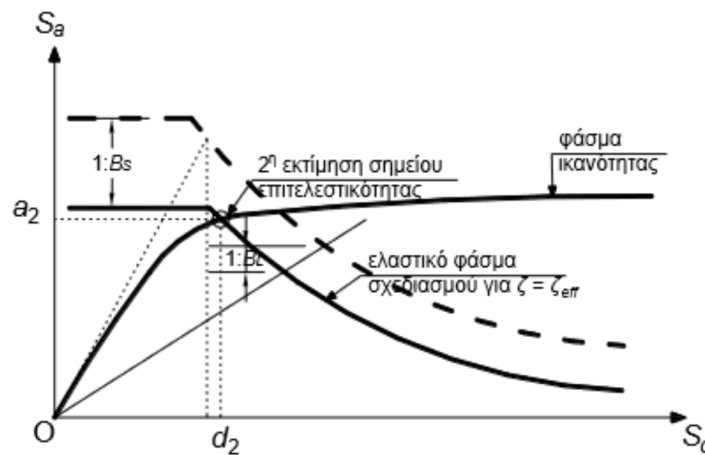
$$SRA = \frac{3.21 - 0.68 \ln \zeta_{eff}}{2.12} \geq SRA_{min} \quad [4.1\theta]$$

$$SRV = \frac{2.31 - 0.41 \ln \zeta_{eff}}{1.65} \geq SRV_{min} \quad [4.1\iota]$$

- Προσδιορισμός του νέου σημείου επιτελεσματικότητας ως σημείο τομής του φάσματος σχεδιασμού για $\zeta = \zeta_{eff}$ και του φάσματος ικανότητας. Η προβολή αυτού του σημείου στους άξονες S_a και S_d ορίζει την νέα επιτάχυνση a_2 και τη νέα μετακίνηση d_2 αντίστοιχα.
- Ελέγχεται η σύγκλιση και η επαναληπτική διαδικασία συνεχίζεται έως ότου να ισχύει $0.95d_1 < d_2 < 1.05d_1$. Αφού επιτευχθεί η σύγκλιση το d_2 θα αντιστοιχεί στη στοχευόμενη μετακίνηση του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος.
- Τέλος υπολογίζεται η στοχευόμενη μετακίνηση κορυφής της κατασκευής με τις πιο κάτω σχέσεις.

$$\Delta = \Gamma \cdot \varphi_{top} \cdot d_2 \quad [4.1\kappa]$$

$$F_b = S_a \cdot a \cdot m_{tot} \quad [4.1\lambda]$$



ΣΧΗΜΑ 4.1.3.1δ: Προσδιορισμός σημείου επιτελεσματικότητας

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.3.1α: Τύποι Συμπεριφοράς κτηρίων

Τύπος συμπεριφοράς	$SR_{A,min}$	$SR_{V,min}$
A	0.33	0.50
B	0.44	0.56
C	0.56	0.67

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.3.1β: Ελάχιστες τιμές συντελεστών SRA, SRV

Διάρκεια σεισμού	Νέες, καλές αντισεισμικές κατασκευές	Μέτριες αντισεισμικά κατασκευές	Φτωχές αντισεισμικά κατασκευές
Μικρή (κοντά στο επίκεντρο)	A	B	C
Μεγάλη (μακριά από επίκεντρο, γενικώς για ζώνες Z3 & Z4)	B	C	C

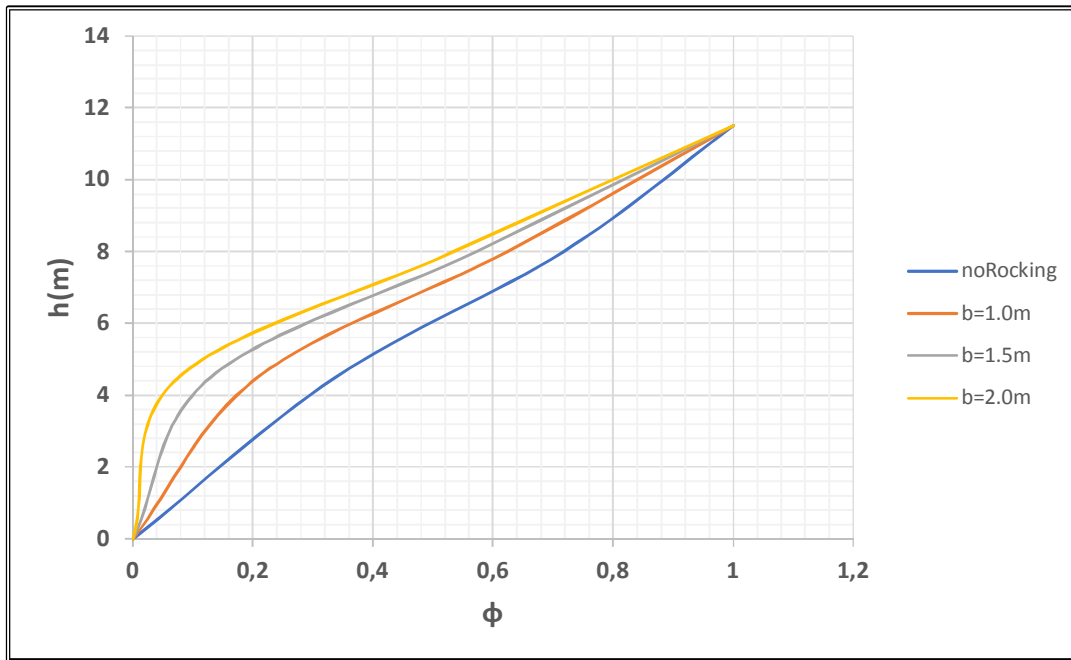
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.3.1γ: Τιμές συντελεστή κ

Τύπος συμπεριφοράς	ζ_{hyst} (%)	κ
A	≤ 16.25	1.00
	> 16.25	$1.13 - \frac{0.51 \cdot (a_y \cdot d_m - d_y \cdot a_m)}{a_m \cdot d_m}$
B	< 25	0.67
	> 25	$0.845 - \frac{0.446 \cdot (a_y \cdot d_m - d_y \cdot a_m)}{a_m \cdot d_m}$
C	Όλες οι τιμές	0.33

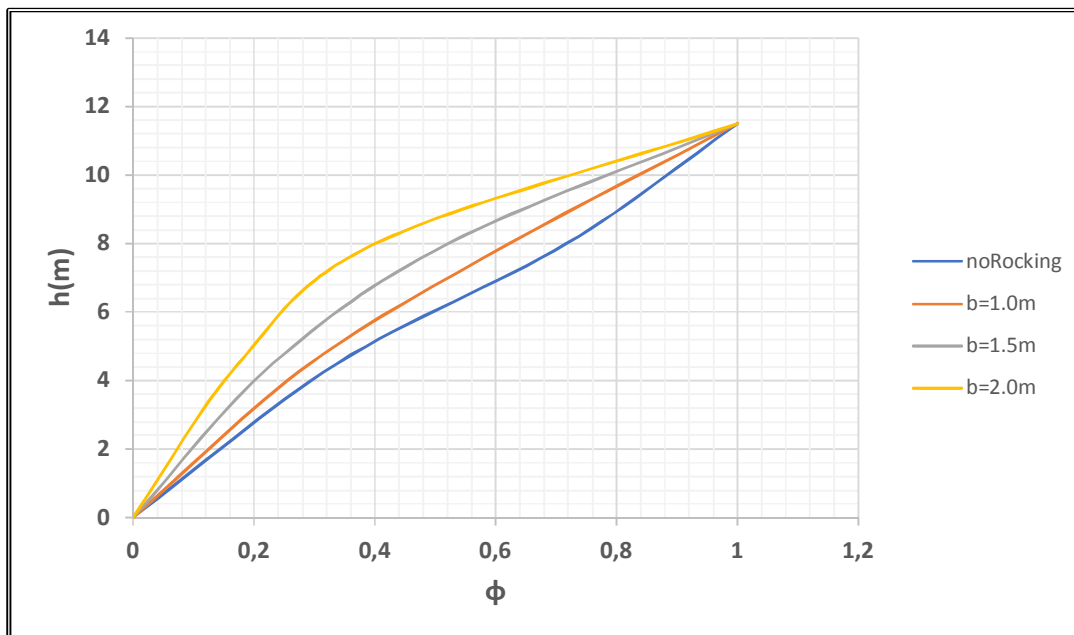
4.1.3.2 Μετατροπή σε ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα

Υπολογίστηκαν οι ιδιομορφές του κτηρίου μέσω του OpenSees, ώστε να προσδιοριστούν οι τιμές των συντελεστών Γ (συντελεστής συμμετοχής) και α και επομένως το ADRS του ισοδύναμου μονοβάθμιου όπως περιγράφεται πιο πάνω.

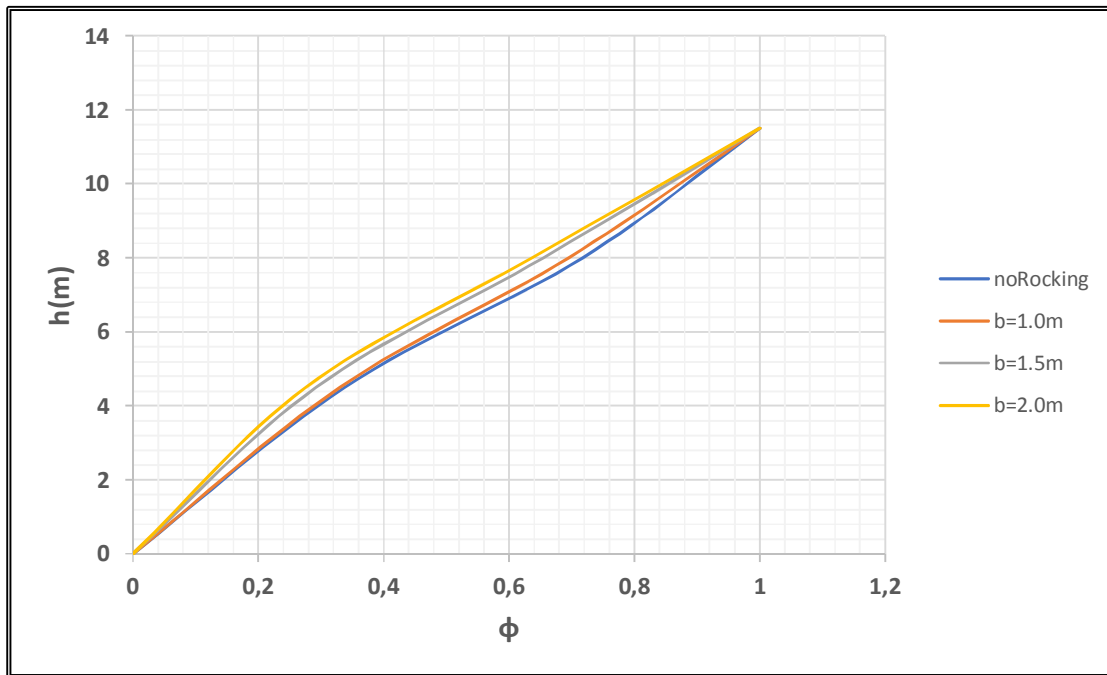
Πιο κάτω φαίνονται σχηματικά η 1^η ιδιομορφή (δεσπόζουσα) συναρτήσει του ύψους του κτηρίου.



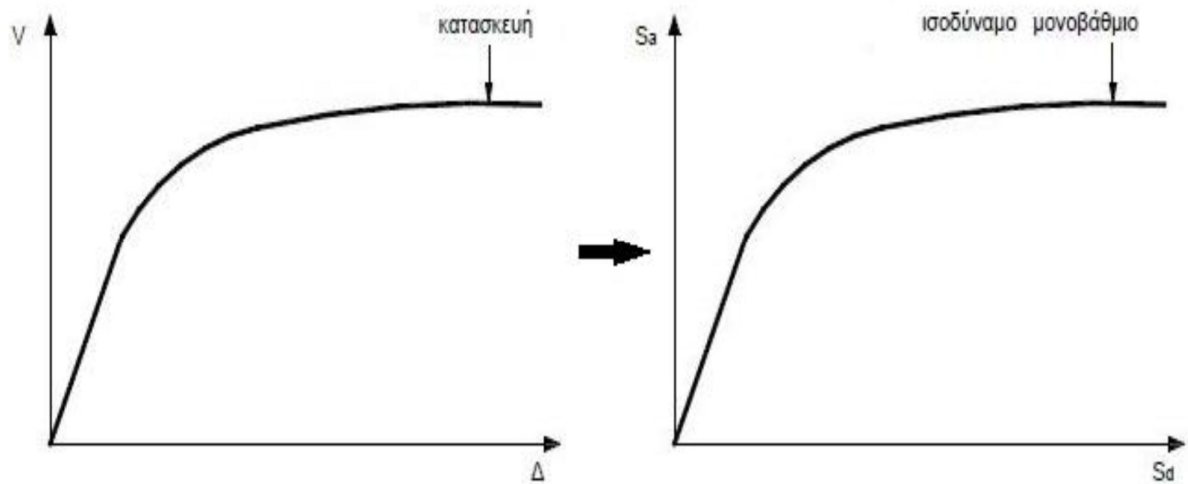
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.1.3.2α: 1η Ιδιομορφή για πλάτη $B=0, 1.0, 1.5, 2m$ στο πλαίσιο με λικνιζόμενο τοίχιο στο ισόγειο



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.1.3.2β: 1η Ιδιομορφή για πλάτη $B=0, 1.0, 1.5, 2m$ στο πλαίσιο με λικνιζόμενο τοίχιο στο ισόγειο και στον 1ο όροφο

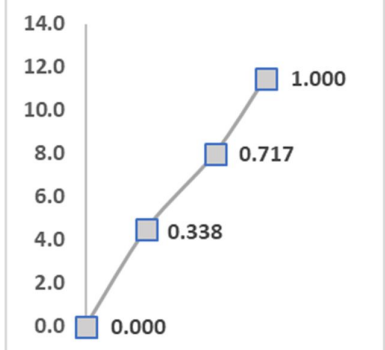
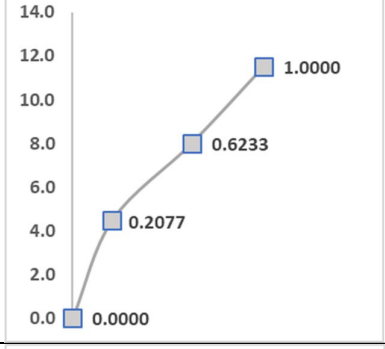
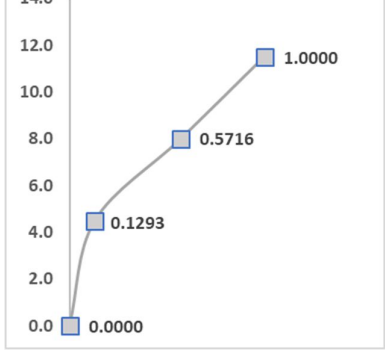
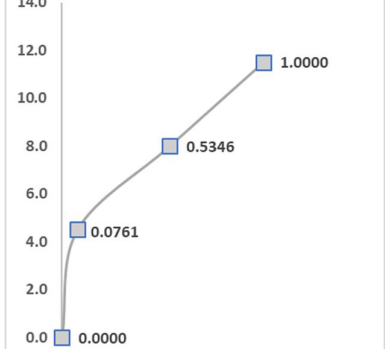


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.1.3.2γ: 1η Ιδιομορφή για πλάτη B= 0, 1.0, 1.5, 2m στο πλαίσιο με λικνιζόμενο τοίχιο στο ισόγειο, 1ο όροφο και 2ο όροφο

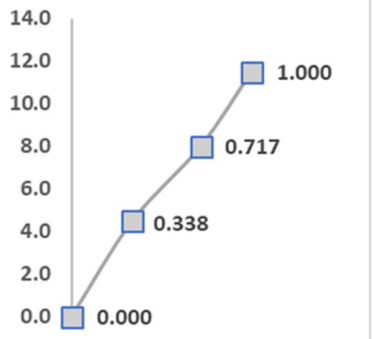
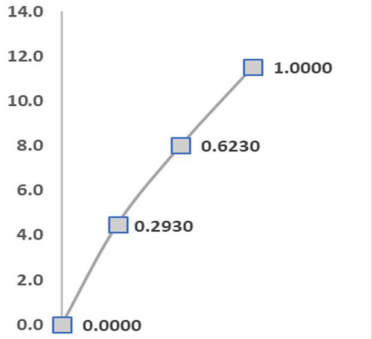
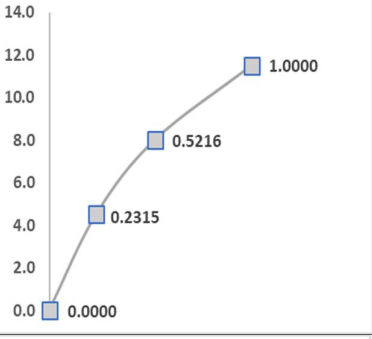
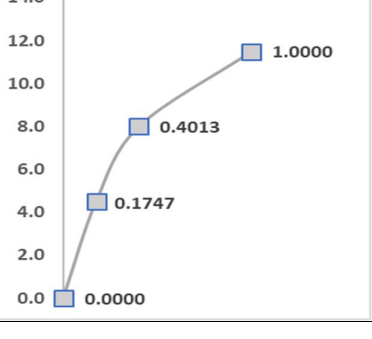


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.1.3.2δ: Μετατροπή καμπύλης αντίστασης σε φάσμα αντίστασης

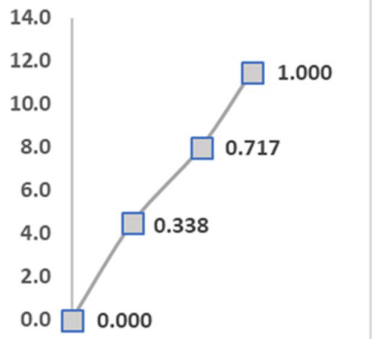
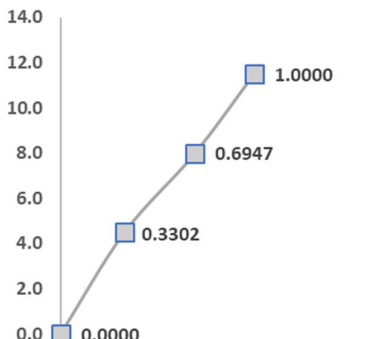
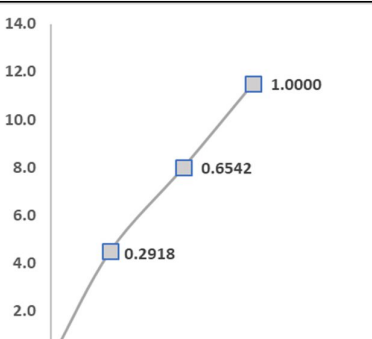
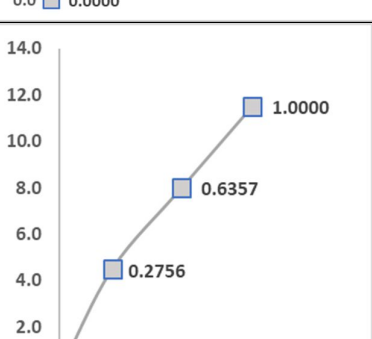
Πίνακας 4.1.3.2α: 1η ιδιομορφή και συντελεστές για την μετατροπή του πολυβάθμιου συστήματος σε μονοβάθμιο για τριώροφο πλαίσιο με λικνιζόμενο μέλος στο ισόγειο

ΜΟΝΤΕΛΟ (Λικνιζόμενο τοιχίο στο ισόγειο)	1 ^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ			
Μη ενισχυμένο πλαίσιο B=0m		Γ	1.27141	-
		α	0.86246	-
		m_{tot}	222.04125	Mgr
		m^*	191.50207	Mgr
Ενισχυμένο πλαίσιο B=1.0m		Γ	1.28995	-
		α	0.77692	-
		m_{tot}	222.04125	Mgr
		m^*	172.5075	Mgr
Ενισχυμένο πλαίσιο B=1.5m		Γ	1.27690	-
		α	0.71256	-
		m_{tot}	222.04125	Mgr
		m^*	158.21876	Mgr
Ενισχυμένο πλαίσιο B=2.0m		Γ	1.25718	-
		α	0.66305	-
		m_{tot}	222.04125	Mgr
		m^*	147.22451	Mgr

Πίνακας 4.1.3.2β: 1η ιδιομορφή και συντελεστές για την μετατροπή του πολυβάθμιου συστήματος σε μονοβάθμιο για τριώροφο πλαίσιο με λικνιζόμενο μέλος στο ισόγειο και 1ο όροφο

ΜΟΝΤΕΛΟ (Λικνιζόμενο τοιχίο στο ισόγειο και 1 ^ο όροφο)	1 ^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ			
Μη ενισχυμένο πλαίσιο B=0m		Γ	1.27141	-
		α	0.86246	-
		m _{tot}	222.04125	Mgr
		m*	191.50207	Mgr
Ενισχυμένο πλαίσιο B=1.0m		Γ	1.31155	-
		α	0.82799	-
		m _{tot}	225.0563	Mgr
		m*	183.848725	Mgr
Ενισχυμένο πλαίσιο B=1.5m		Γ	1.33608	-
		α	0.76976	-
		m _{tot}	225.0563	Mgr
		m*	170.91793	Mgr
Ενισχυμένο πλαίσιο B=2.0m		Γ	1.33756	-
		α	0.69037	-
		m _{tot}	225.0563	Mgr
		m*	153.29013	Mgr

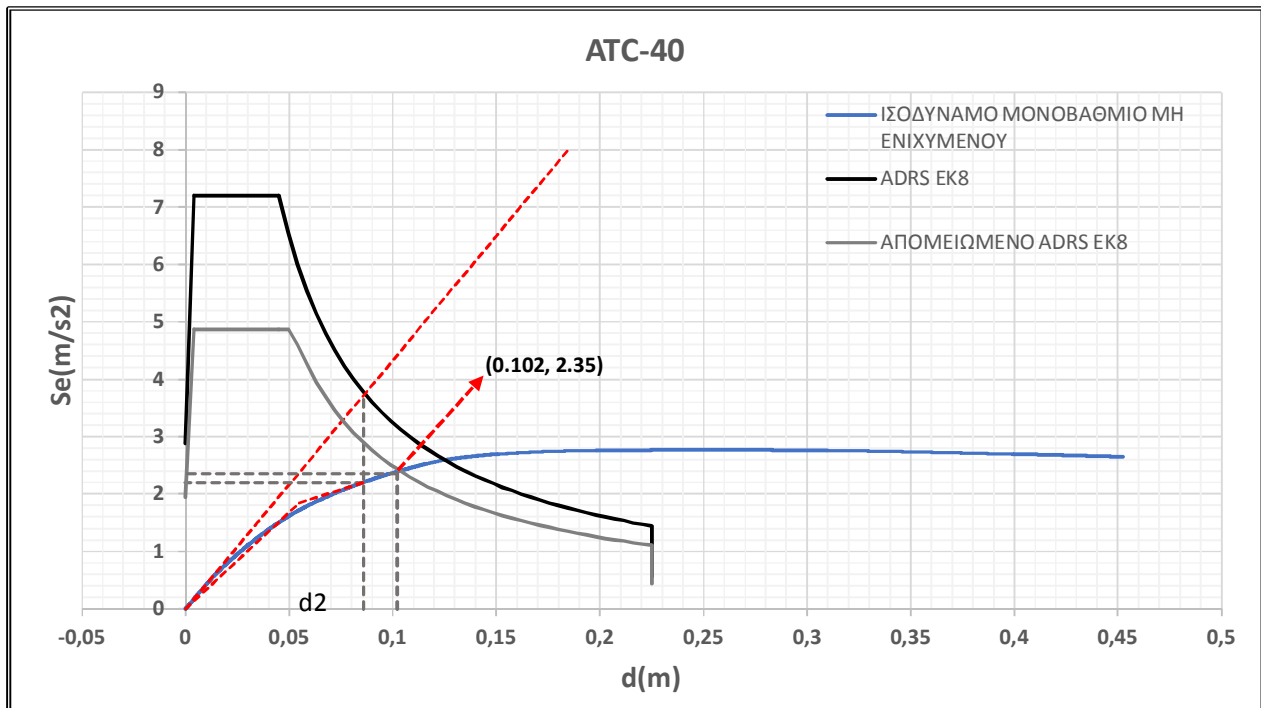
Πίνακας 4.1.3.2γ: 1η ιδιομορφή και συντελεστές για την μετατροπή του πολυβάθμιου συστήματος σε μονοβάθμιο για τριώροφο πλαίσιο με λικνιζόμενο μέλος στο ισόγειο , 1ο και 2ο όροφο

ΜΟΝΤΕΛΟ (Λικνιζόμενο τοιχίο στο ισόγειο)	1 ^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ			
Μη ενισχυμένο πλαίσιο Β=0m		Γ	1.27141	-
		α	0.86246	-
		m _{tot}	222.04125	Mgr
		m*	191.50207	Mgr
Ενισχυμένο πλαίσιο Β=1.0m		Γ	1.28435	-
		α	0.85636	-
		m _{tot}	226.10375	Mgr
		m*	193.62582	Mgr
Ενισχυμένο πλαίσιο Β=1.5m		Γ	1.30038	-
		α	0.83115	-
		m _{tot}	228.1350	Mgr
		m*	189.61328	Mgr
Ενισχυμένο πλαίσιο Β=2.0m		Γ	1.30730	-
		α	0.81913	-
		m _{tot}	230.16625	Mgr
		m*	188.53648	Mgr

4.1.3.3 Αποτελέσματα μεθόδου ATC-40

Εξετάστηκε η συμπεριφορά της κατασκευής για το φάσμα σχεδιασμού του Ευρωκώδικα 8, όπου η κατηγορία εδάφους θεωρήθηκε B και η κατηγορία σπουδαιότητας II. Η μελέτη της συμπεριφοράς έγινε τόσο για το μη ενισχυμένο πλαίσιο, όσο και για το ενισχυμένο με τοιχία λικνισμού, για ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Z2 ($a_g=0.24g$).

❖ ΤΡΙΩΡΟΦΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΜΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ

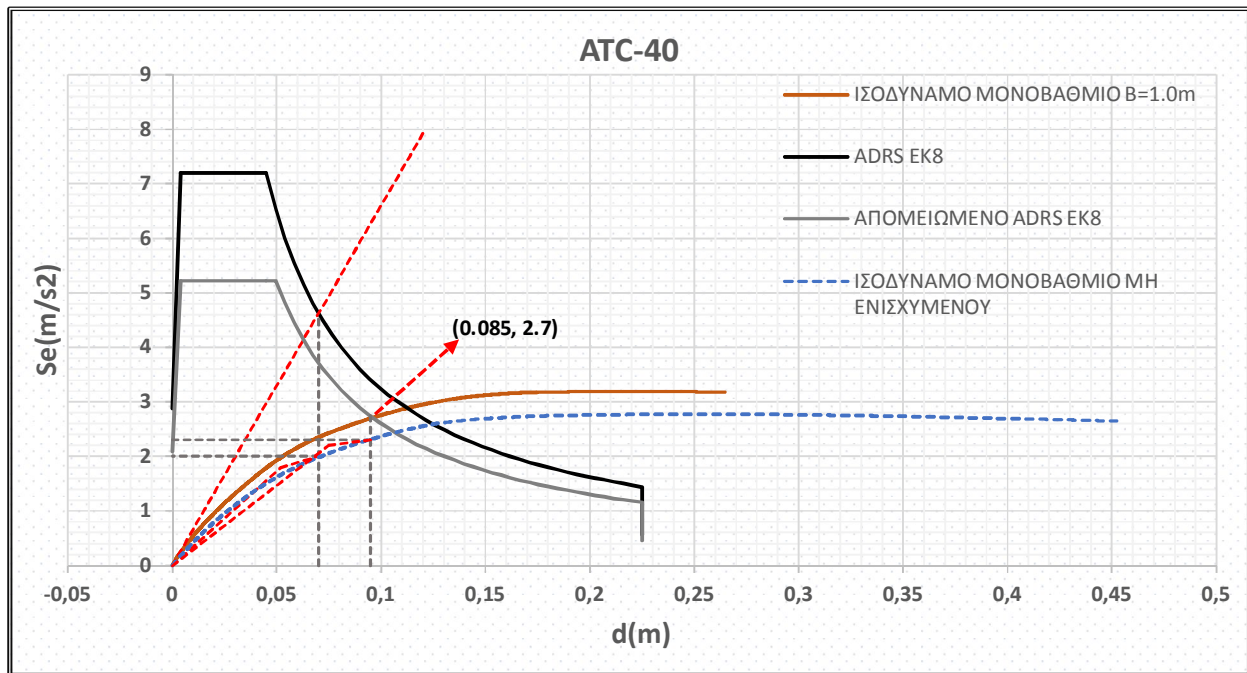


ΣΧΗΜΑ 4.1.3.3α: Στοχευόμενη μετατόπιση ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος μη ενισχυμένου πλαισίου

Στοχευόμενη Μετακίνηση Κατασκευής $\Delta = \Gamma \cdot \phi_{top} \cdot d = 0.129684 \text{ m}$

Τέμνουσα Βάσης Κατασκευής $F_b = S_a \cdot a \cdot m_{tot} = 450.0299 \text{ kN}$

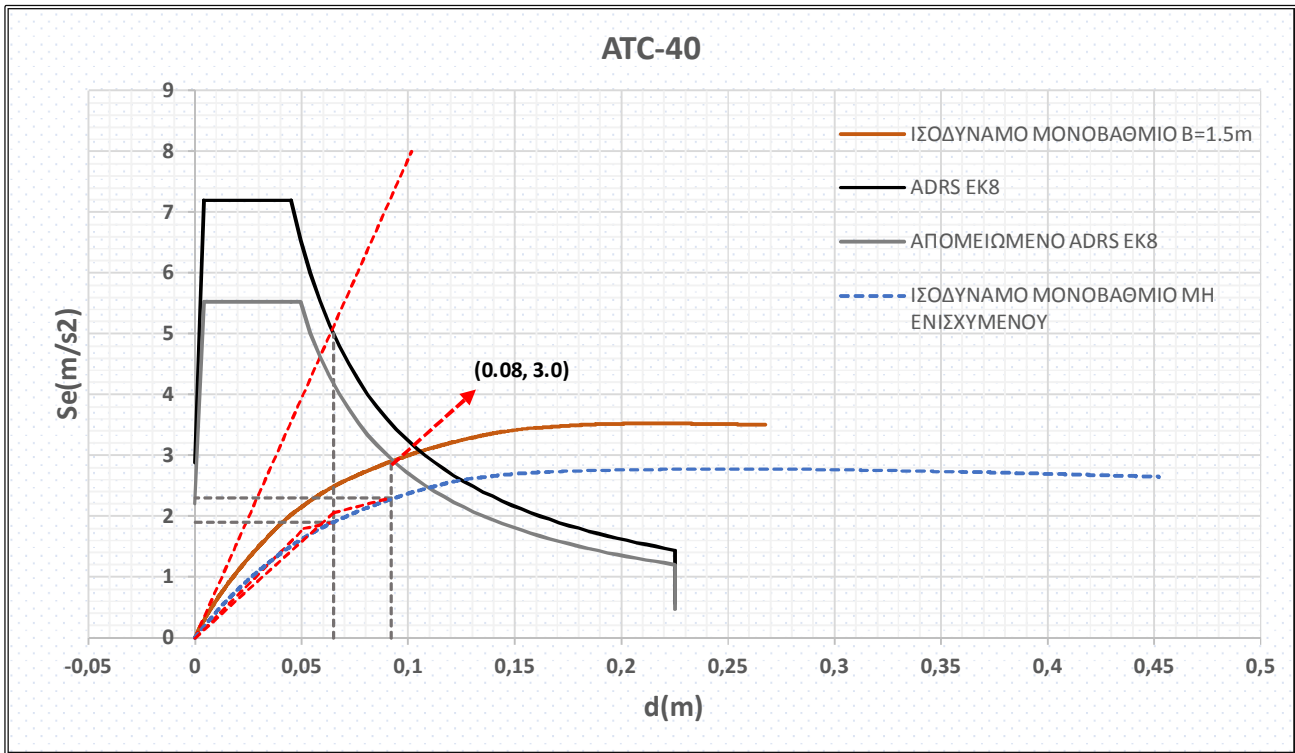
❖ ΤΡΙΩΡΟΦΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ ΜΕ ΕΝΑ ΔΙΚΝΙΖΟΜΕΝΟ ΤΟΙΧΙΟ ΣΤΟ ΙΣΟΓΕΙΟ



ΣΧΗΜΑ 4.1.3.3β: Στοχευόμενη μετατόπιση ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος ενισχυμένου πλαισίου B=1.0m στο ισόγειο

Στοχευόμενη Μετακίνηση Κατασκευής $\Delta = \Gamma * \phi_{top} * d = 0.122545 \text{ m}$

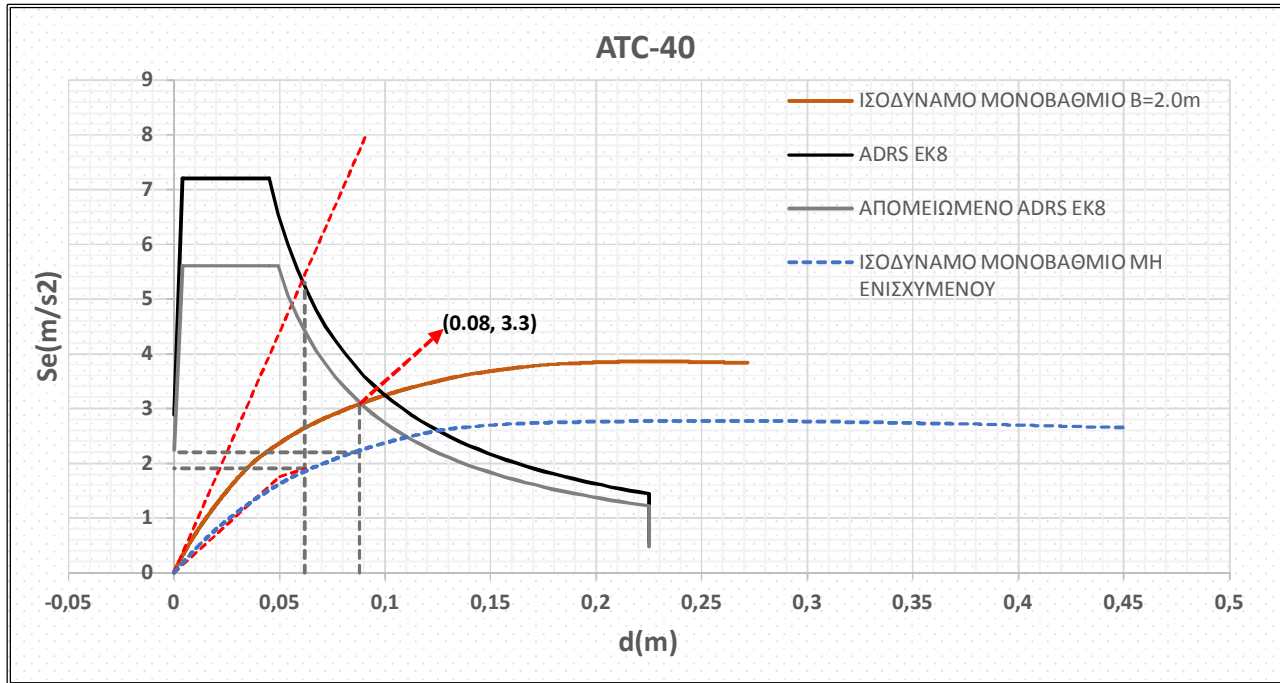
Τέμνουσα Βάσης Κατασκευής $F_b = S_a * a * m_{tot} = 465.7703 \text{ kN}$



ΣΧΗΜΑ 4.1.3.3γ: Στοχευόμενη μετατόπιση ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος ενισχυμένου πλαισίου **B=1.5m** στο ισογειο

Στοχευόμενη Μετακίνηση Κατασκευής $\Delta = \Gamma \cdot \phi_{top} \cdot d = 0.117475 \text{ m}$

Τέμνουσα Βάσης Κατασκευής $F_b = S_a \cdot a \cdot m_{tot} = 474.6563 \text{ kN}$

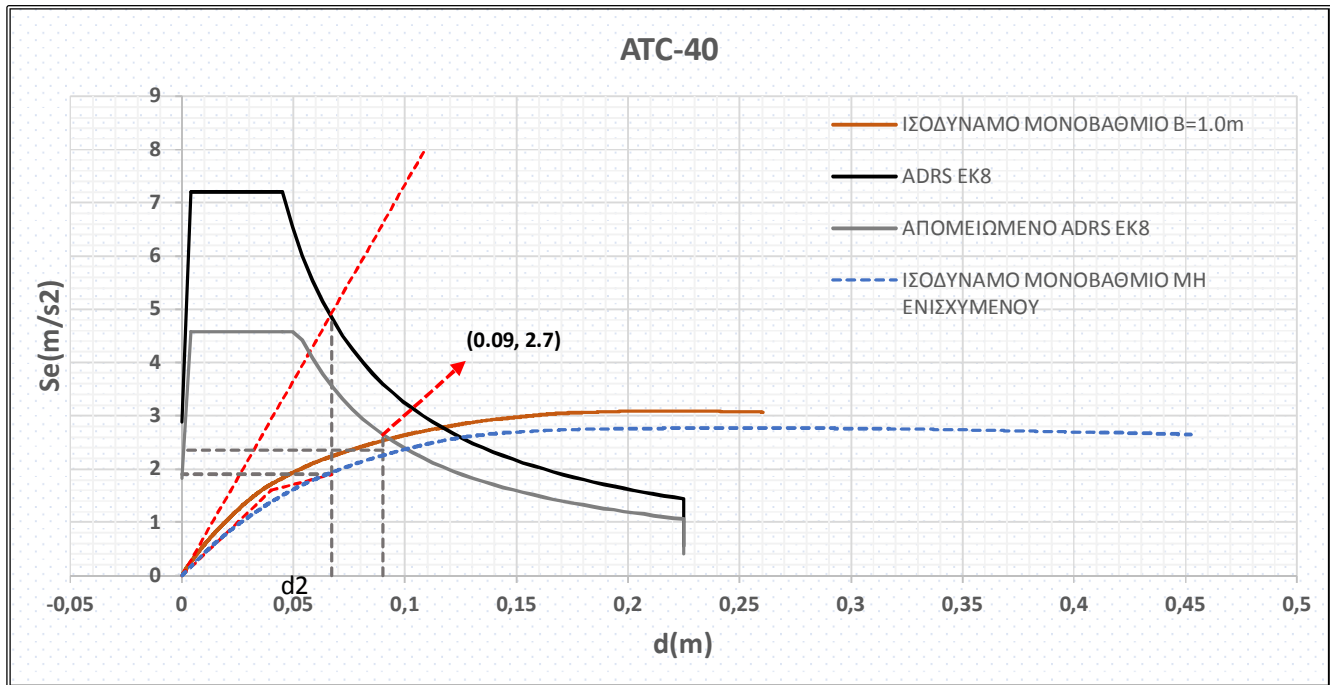


ΣΧΗΜΑ 4.1.3.3δ: Στοχευόμενη μετατόπιση ισοδύναμο μονοβάθμιου συστήματος ενισχυμένου πλαισίου B=2.0m στο ισογείο

Στοχευόμενη Μετακίνηση Κατασκευής $\Delta = \Gamma \cdot \phi_{top} \cdot d = 0.110632 \text{ m}$

Τέμνουσα Βάσης Κατασκευής $F_b = S_a \cdot a \cdot m_{tot} = 485.8409 \text{ kN}$

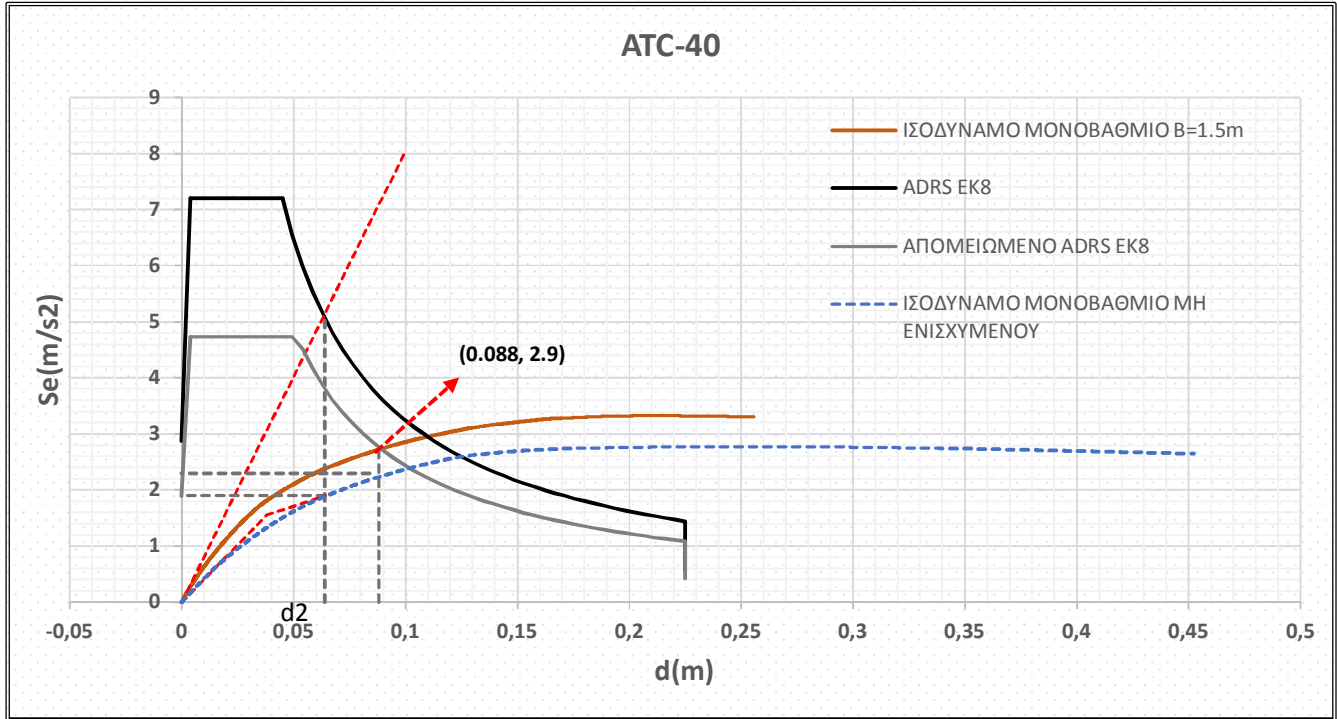
❖ ΤΡΙΩΡΟΦΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ ΜΕ ΕΝΑ ΛΙΚΝΙΖΟΜΕΝΟ ΤΟΙΧΙΟ ΣΤΟ ΙΣΟΓΕΙΟ ΚΑΙ 1^ο ΟΡΟΦΟ



ΣΧΗΜΑ 4.1.3.3ε: Στοχευόμενη μετατόπιση ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος ενισχυμένου πλαισίου **B=1.0m** στο ισόγειο και 1ο όροφο

Στοχευόμενη Μετακίνηση Κατασκευής $\Delta = \Gamma \cdot \phi_{top} \cdot d = 0.118039 \text{ m}$

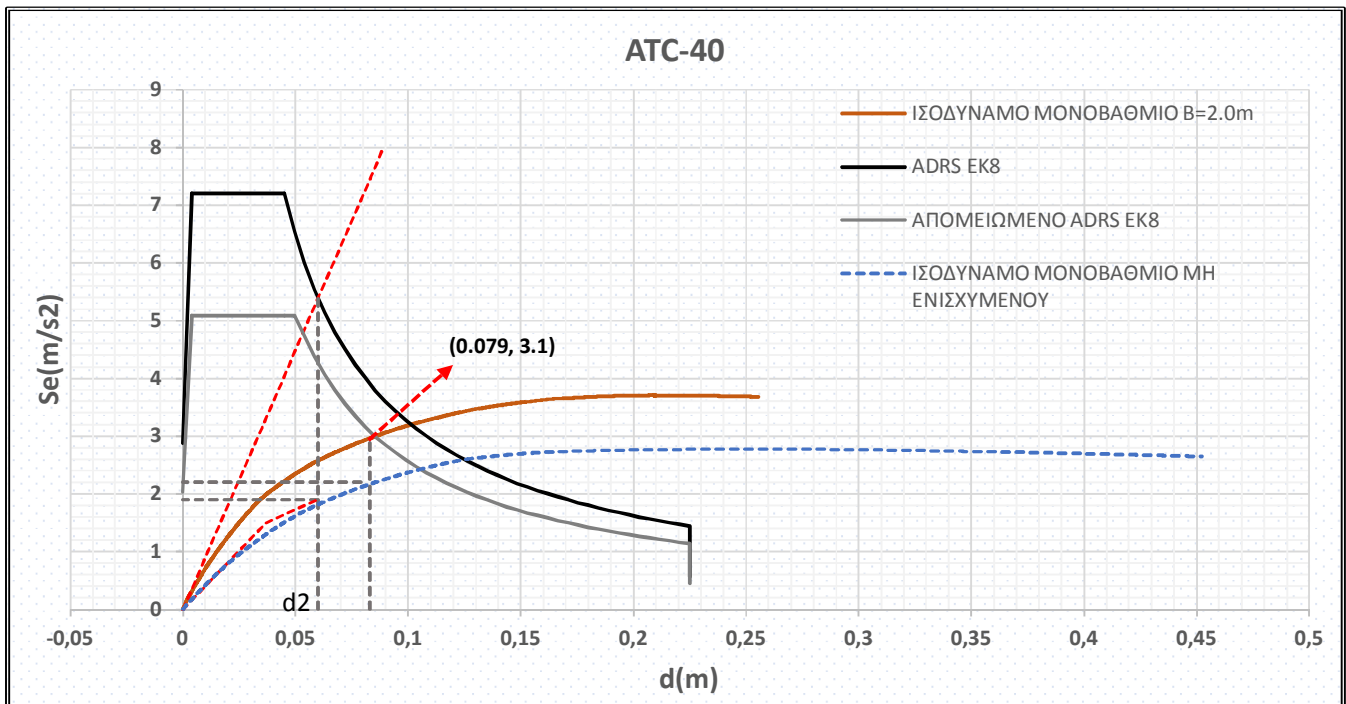
Τέμνουσα Βάσης Κατασκευής $F_b = S_a \cdot a \cdot m_{tot} = 496.3916 \text{ kN}$



ΣΧΗΜΑ 4.1.3.3ζ: Στοιχεύμενη μετατόπιση ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος ενισχυμένου πλαισίου B=1.5m στο ισογειο και 1ο όροφο

Στοιχεύμενη Μετακίνηση Κατασκευής $\Delta = \Gamma * \phi_{top} * d = 0.112231 \text{ m}$

Τέμνουσα Βάσης Κατασκευής $F_b = S_a * a * m_{tot} = 512.7538 \text{ kN}$

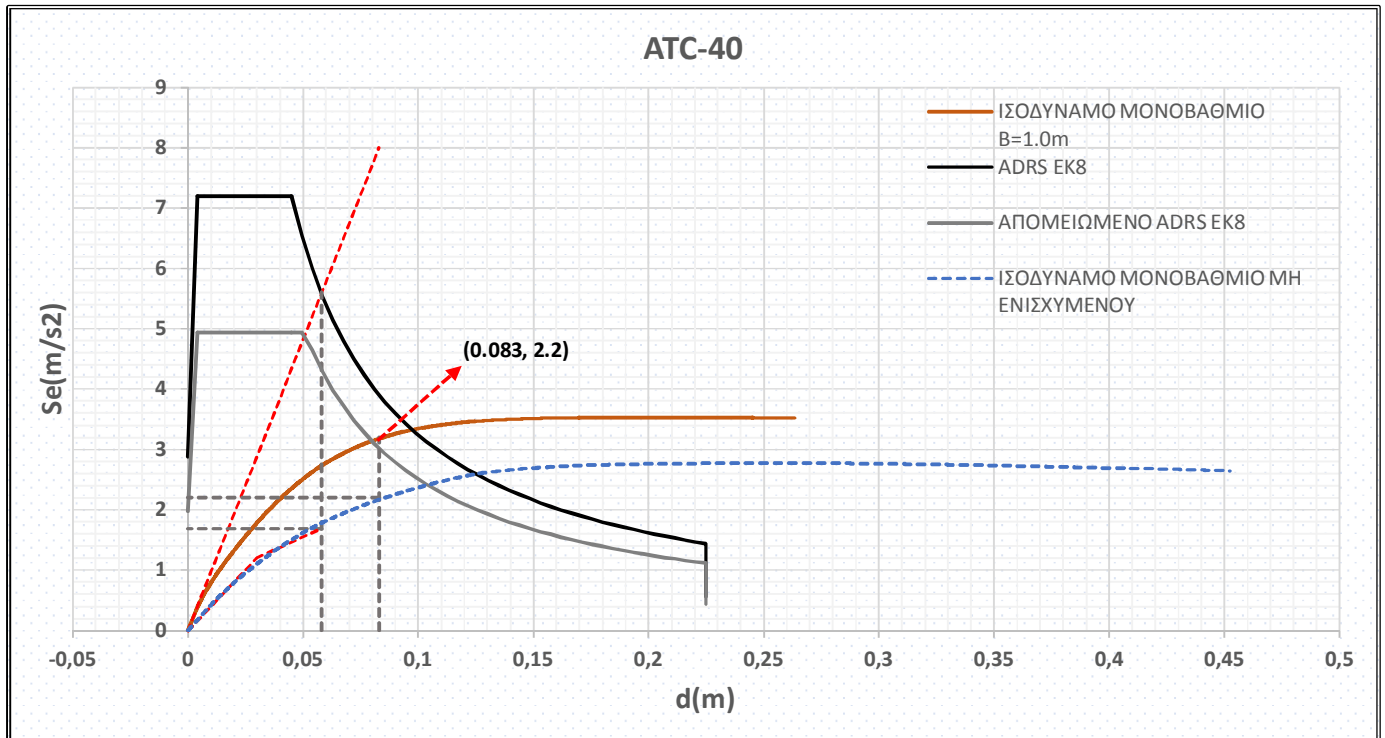


ΣΧΗΜΑ 4.1.3.3η: Στοχευόμενη μετατόπιση ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος ενισχυμένου πλαισίου **B=2.0m** στο ισόγειο και 1ο όροφο

Στοχευόμενη Μετακίνηση Κατασκευής $\Delta = \Gamma * \phi_{top} * d = 0.105667 \text{ m}$

Τέμνουσα Βάσης Κατασκευής $F_b = S_a * a * m_{tot} = 582.5025 \text{ kN}$

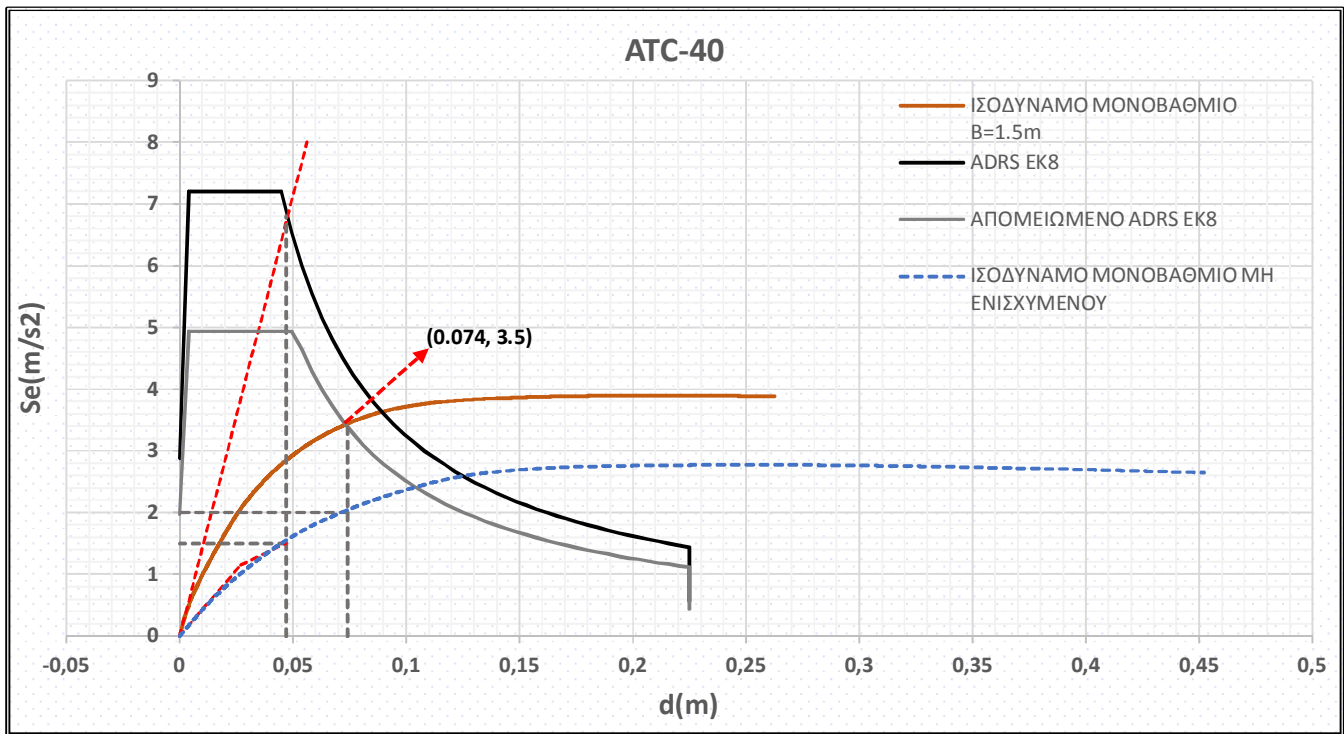
❖ ΤΡΙΩΡΟΦΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ ΜΕ ΕΝΑ ΔΙΚΝΙΖΟΜΕΝΟ ΤΟΙΧΙΟ ΣΤΟ ΙΣΟΓΕΙΟ, 1^ο ΚΑΙ 2^ο ΟΡΟΦΟ



ΣΧΗΜΑ 4.1.3.30: Στοχευόμενη μετατόπιση ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος ενισχυμένου πλαισίου **B=1.0m** στο ισόγειο, 1ο και 2ο όροφο

Στοχευόμενη Μετακίνηση Κατασκευής $\Delta = \Gamma \cdot \phi_{top} \cdot d = 0.106601 \text{ m}$

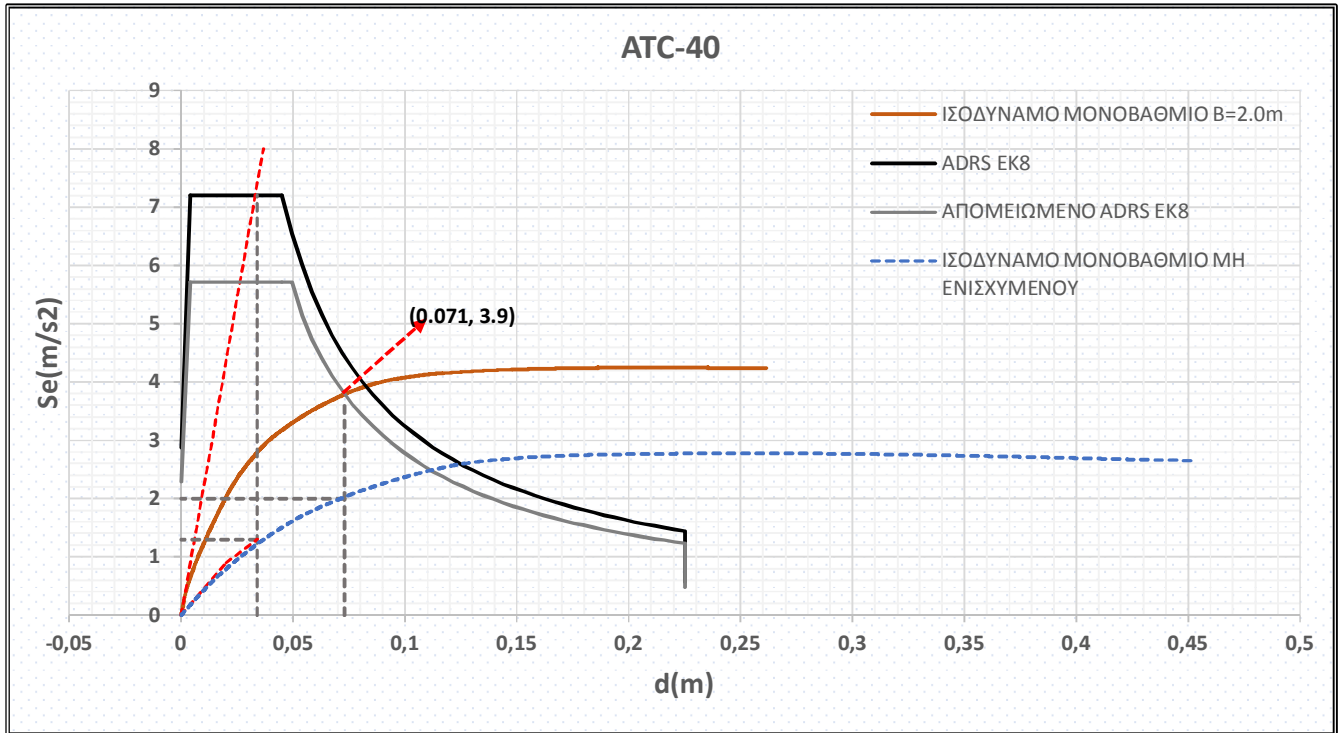
Τέμνουσα Βάσης Κατασκευής $F_b = S_a \cdot a \cdot m_{tot} = 619.6026 \text{ kN}$



ΣΧΗΜΑ 4.1.3.3i: Στοχευόμενη μετατόπιση ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος ενισχυμένου πλαισίου B=1.5m στο ισόγειο, 1ο και 2ο όροφο

Στοχευόμενη Μετακίνηση Κατασκευής $\Delta = \Gamma \cdot \phi_{top} \cdot d = 0.096228 \text{ m}$

Τέμνουσα Βάσης Κατασκευής $F_b = S_a \cdot a \cdot m_{tot} = 663.6465 \text{ kN}$



ΣΧΗΜΑ 4.1.3.3κ: Στοχευόμενη μετατόπιση ισοδύναμο μονοβάθμιου συστήματος ενισχυμένου πλαισίου **B=2.0m** στο ισόγειο, 1ο και 2ο όροφο

Στοχευόμενη Μετακίνηση Κατασκευής $\Delta = \Gamma \cdot \phi_{top} \cdot d = 0.092818 \text{ m}$
 Τέμνουσα Βάσης Κατασκευής $F_b = S_a \cdot a \cdot m_{tot} = 735.2923 \text{ kN}$

Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα με τη μέθοδο ATC-40

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.3.3α: Τέμνουσα Βάσης-μετατόπιση κορυφής πλαισίου με τοίχιο στο ισόγειο

B (m)	Fbase (kN)	dtop(m)
0	450.0299	0.129684
1	465.7703	0.122545
1.5	474.6563	0.117475
2.0	485.8409	0.110632

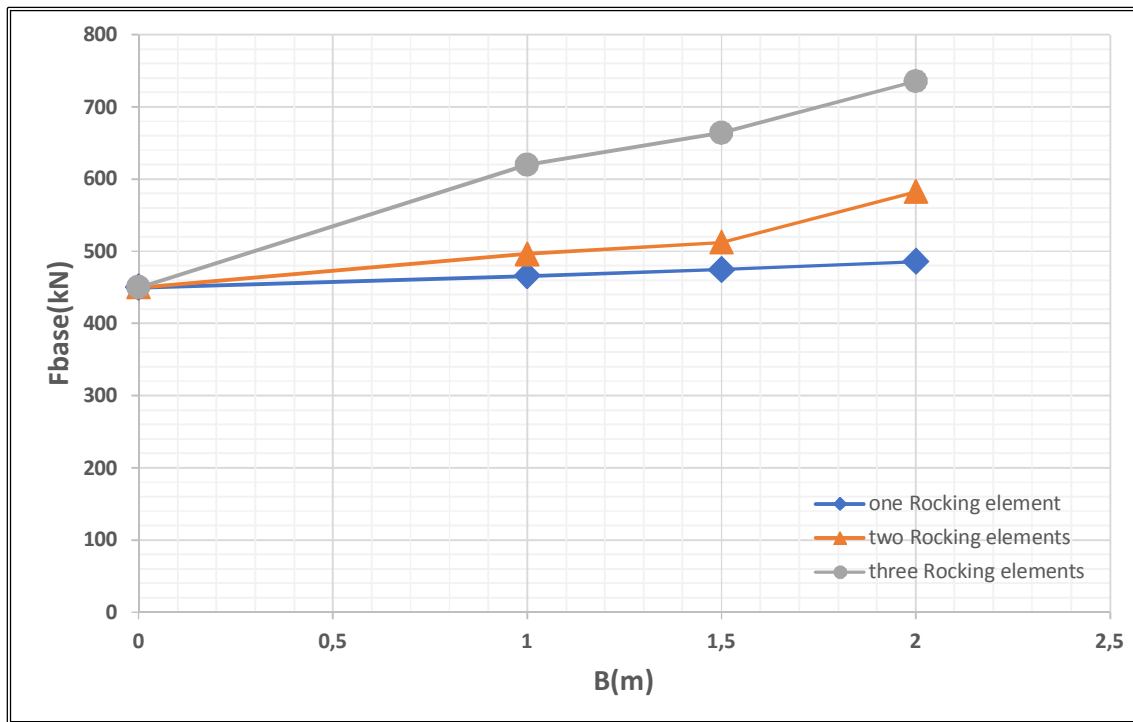
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.3.3β: Τέμνουσα Βάσης-μετατόπιση κορυφής πλαισίου με τοίχιο στο ισόγειο και 1ο όροφο

B (m)	Fbase (kN)	dtop(m)
0	450.0299	0.129684
1	496.3916	0.118039
1.5	512.7538	0.112231
2.0	582.5025	0.105667

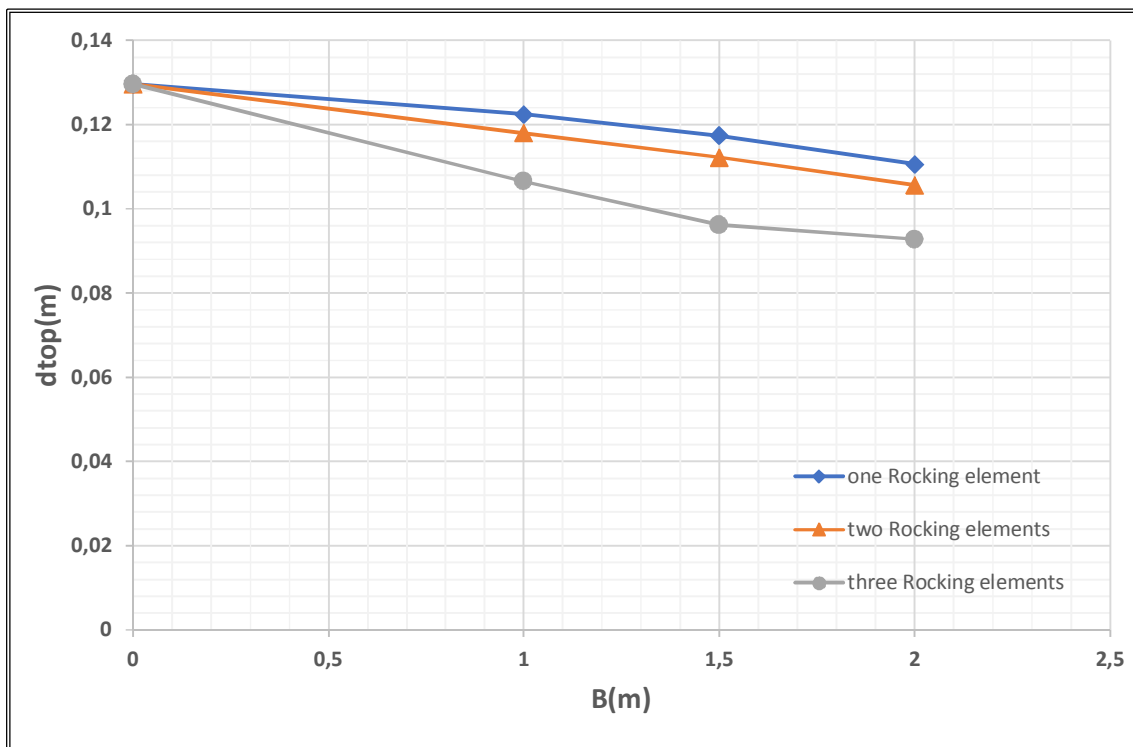
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.3.3γ: Τέμνουσα Βάσης-μετατόπιση κορυφής πλαισίου με τοίχιο στο ισόγειο, 1ο και 2ο όροφο

B (m)	Fbase (kN)	dtop(m)
0	450.0299	0.129684
1	619.6026	0.106601
1.5	663.6465	0.096228
2.0	735.2923	0.092818

4.1.3.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων μη ενισχυμένου και ενισχυμένου πλαισίου



ΣΧΗΜΑ 4.1.3.4α: Αναπτυσσόμενη τέμνουσα βάσης(Fb) συναρτήσει πλάτους(B) στοιχείου λικνισμού



ΣΧΗΜΑ 4.1.3.3β: Μετακίνηση κορυφής(dtop) συναρτήσει πλάτους(B) στοιχείου λικνισμού

4.1.3.5 Συμπεράσματα

Προσθέτοντας λικνιζόμενο τοίχιο στο μεσαίο άνοιγμα του πλαισίου, παρατηρείται ότι αυξάνεται η τέμνουσα βάσης που μπορεί να παραλάβει το κτήριο, ενώ παράλληλα η στοχευόμενη μετατόπιση μειώνεται σημαντικά.

Επιπλέον όσο αυξάνεται το πλάτος του τοιχίου καθώς επίσης και ο αριθμός των τοιχίων που υπάρχουν στην κατασκευή, τόσο μεγαλύτερες είναι οι αυξομειώσεις των F_b και d_{top} . Τα παραπάνω έχουν διαπιστωθεί και από την κατασκευή των καμπυλών αντίστασης των διαφόρων μοντέλων.

5 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑΣ

Ολοκληρώνοντας το στατικό μοντέλο και πραγματοποιώντας ανάλυση pushover, πραγματοποιείται δυναμική ανάλυση χρονοιστορίας προκειμένου να πραγματοποιηθεί η πραγματική απόκριση της κατασκευής στην επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση.

✚ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ

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

✚ Απόσβεση

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

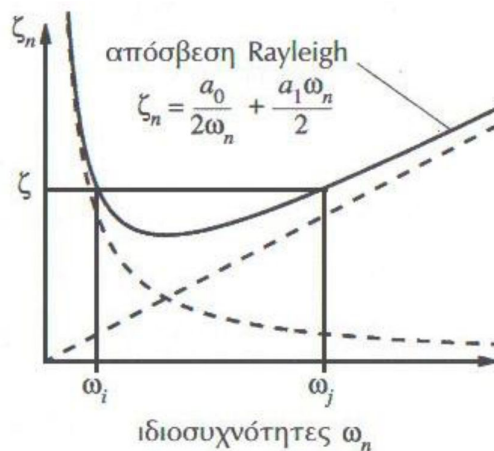
$$[C]=a_0[M]+a_1[K]$$

όπου

[M] το μητρώο μάζας

[K] το μητρώο δυσκαμψίας

Ο λόγος απόσβεσης της n-οστής ιδιομορφής είναι $\zeta_n = \frac{a_0}{2\omega_n} + \frac{a_1\omega_n}{2}$



ΣΧΗΜΑ 5: Λόγος Απόσβεσης $\zeta(\omega_n)$ για απόσβεση Rayleigh

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

$$a_0 = \zeta \frac{2\omega_i \omega_j}{\omega_i + \omega_j} \quad \text{και} \quad a_1 = \zeta \frac{2}{\omega_i + \omega_j}$$

[5α,5β]

Οι ιδιομορφές που επιλέχθηκαν είναι η 1^η και η 2^η σημαντικότερη (κυρίως η πρώτη) για την εξεταζόμενη διεύθυνση σεισμού καθώς οι επόμενες έχουν πολύ μικρούς συντελεστές συμμετοχής.

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

rayleigh \$a0 \$a1 0 0

Παράμετροι ανάλυσης

Η ανάλυση που χρησιμοποιείται είναι δυναμική με σταθερό χρονικό βήμα οπότε

analysis Transient

και επομένως απαιτείται αριθμητική ολοκλήρωση της εξισώσεως κίνησης.

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

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

Η απαιτούμενη εντολή είναι :

Integrator Newmark \$NewmarkGamma \$NewmarkBeta

Οι παράμετροι διαφέρουν από την ανάλυση των φορτίων βαρύτητας αλλά δεν έχει νόημα να αναφερθούν καθώς δεν διατηρούνται σταθεροί σε όλη την επίλυση. Αλλάζουν στα πλαίσια μιας υποστηρικτικής ρουτίνας αντιστοιχίας με αυτήν της ανάλυσης pushover, που ενεργοποιείται όταν

παρουσιάζονται δυσκολίες σύγκλισης και χρησιμοποιείται έως ότου διαπιστωθεί ότι είναι αδύνατη η περαιτέρω σύγκλιση.

5.1 ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ

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

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

Στην παρούσα διπλωματική δόθηκαν σεισμικές καταγραφές από τον κύριο Ι.Ταφλαμπά του εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας.

Πιο κάτω παρουσιάζονται για κάθε χρονοιστορία σεισμού το επιταχυνσιογράφημα και το ελαστικό φάσμα για απόσβεση **5%**.

Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν για συντελεστή μεγέθυνσης (scale factor) ίσο με τη μονάδα.

Οι καταγραφές είναι από τον σεισμό της 30-10-2016 Norcia Umbria στην Ιταλία από διαφορετικούς σταθμούς και από το σεισμό της 13-09-1986 στην Καλαμάτα.

AMT Amatrice station

NCR Nocera station

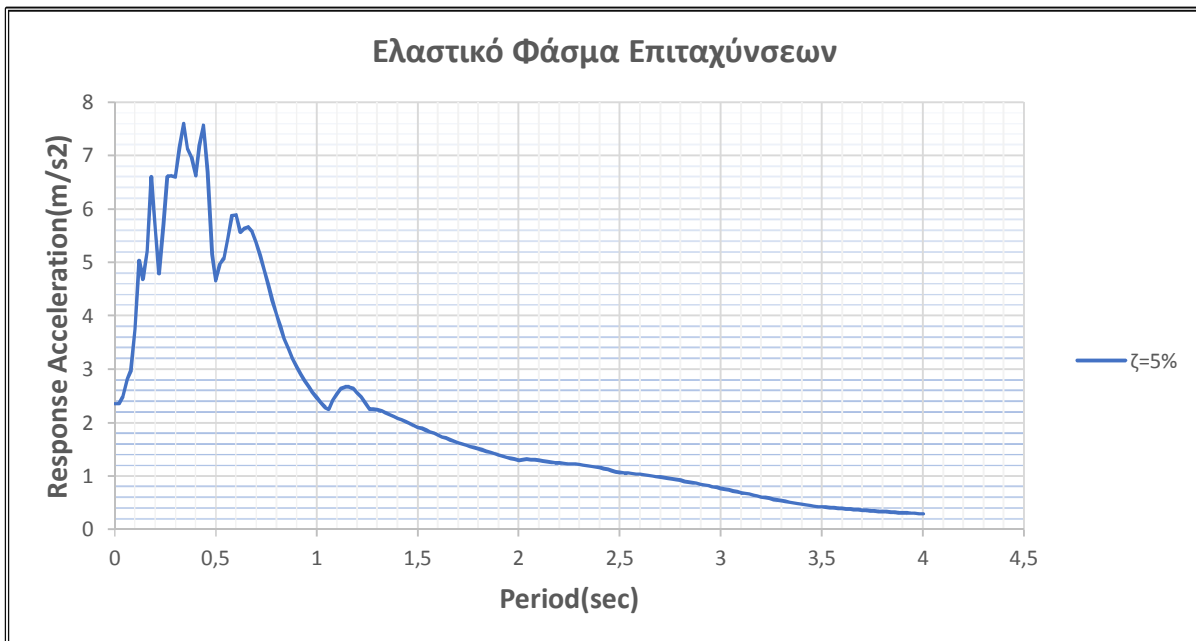
NOR Norcia la Castellina station

NRC Norcia station

1. ΣΕΙΣΜΟΣ : ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

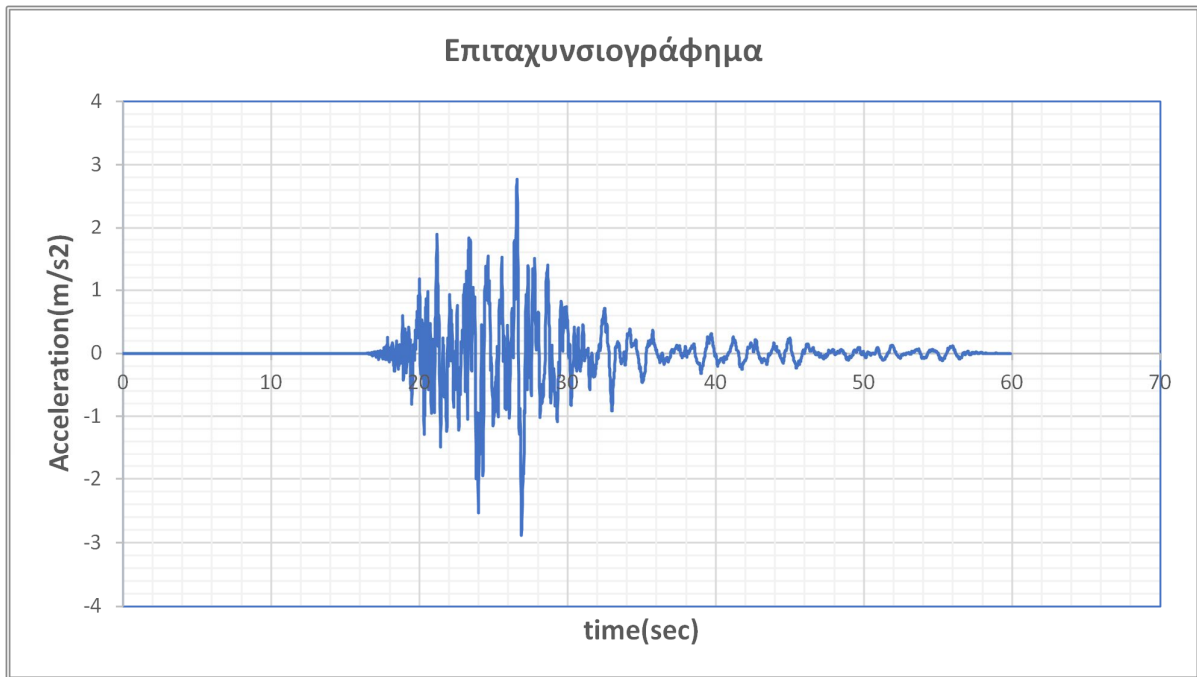


ΣΧΗΜΑ 5.1α : Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 1



ΣΧΗΜΑ 5.1β: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 1

2. ΣΕΙΣΜΟΣ: NOR

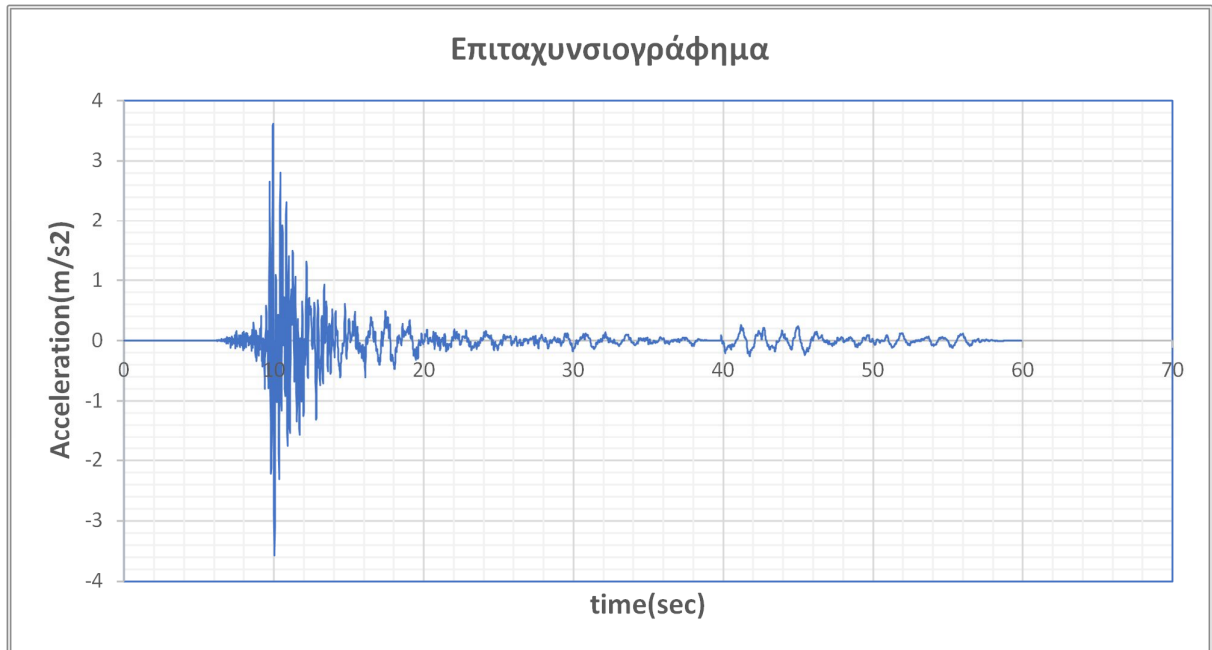


ΣΧΗΜΑ 5.1γ : Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 2



ΣΧΗΜΑ 5.1δ: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 2

3. ΣΕΙΣΜΟΣ: NRC

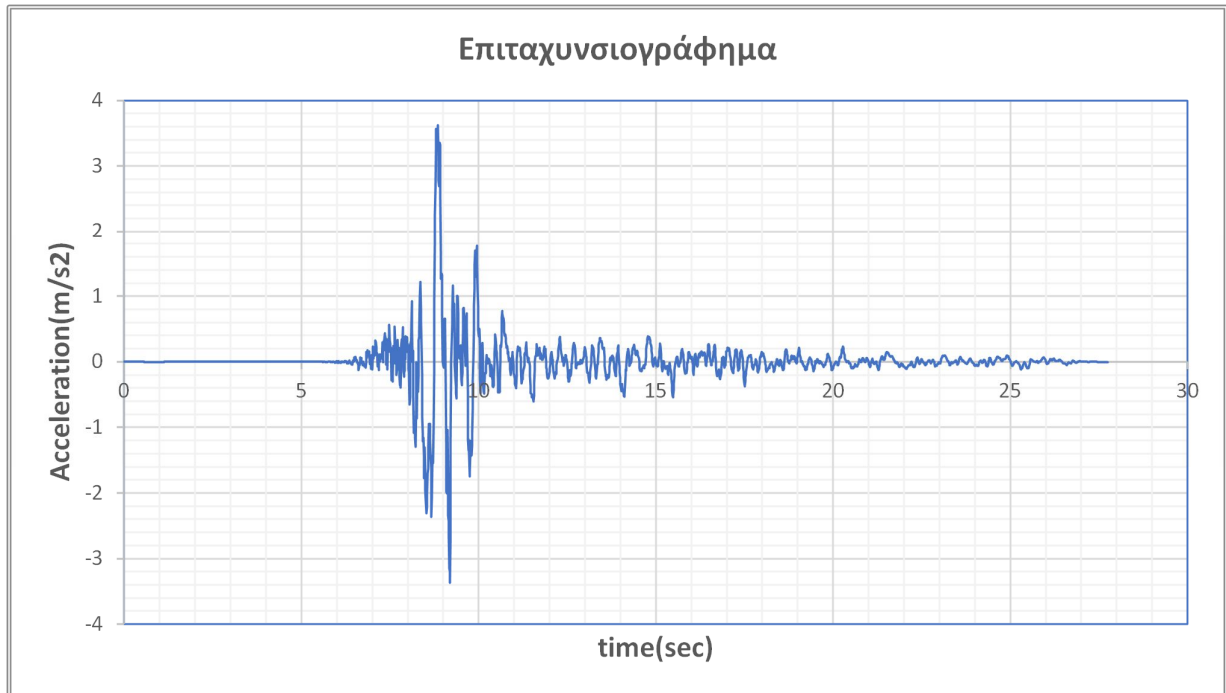


ΣΧΗΜΑ 5.1ε : Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 3

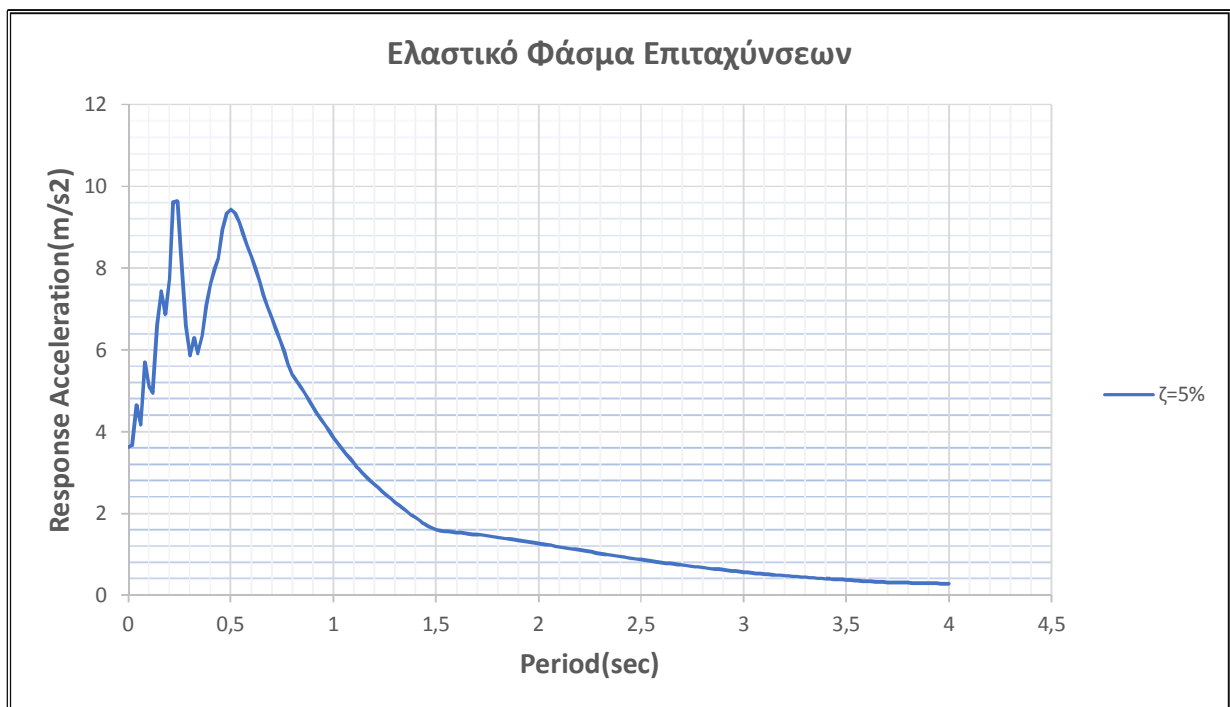


ΣΧΗΜΑ 5.1δ: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 3

4. ΣΕΙΣΜΟΣ : ΑΜΤ

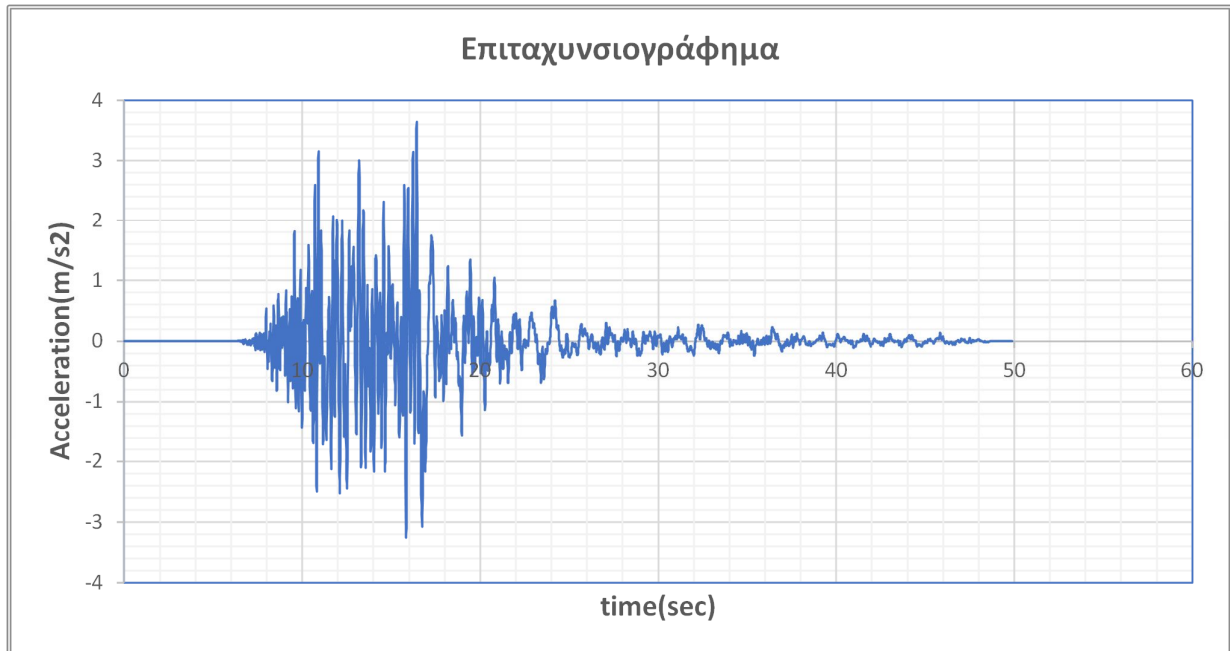


ΣΧΗΜΑ 5.1ε : Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 4

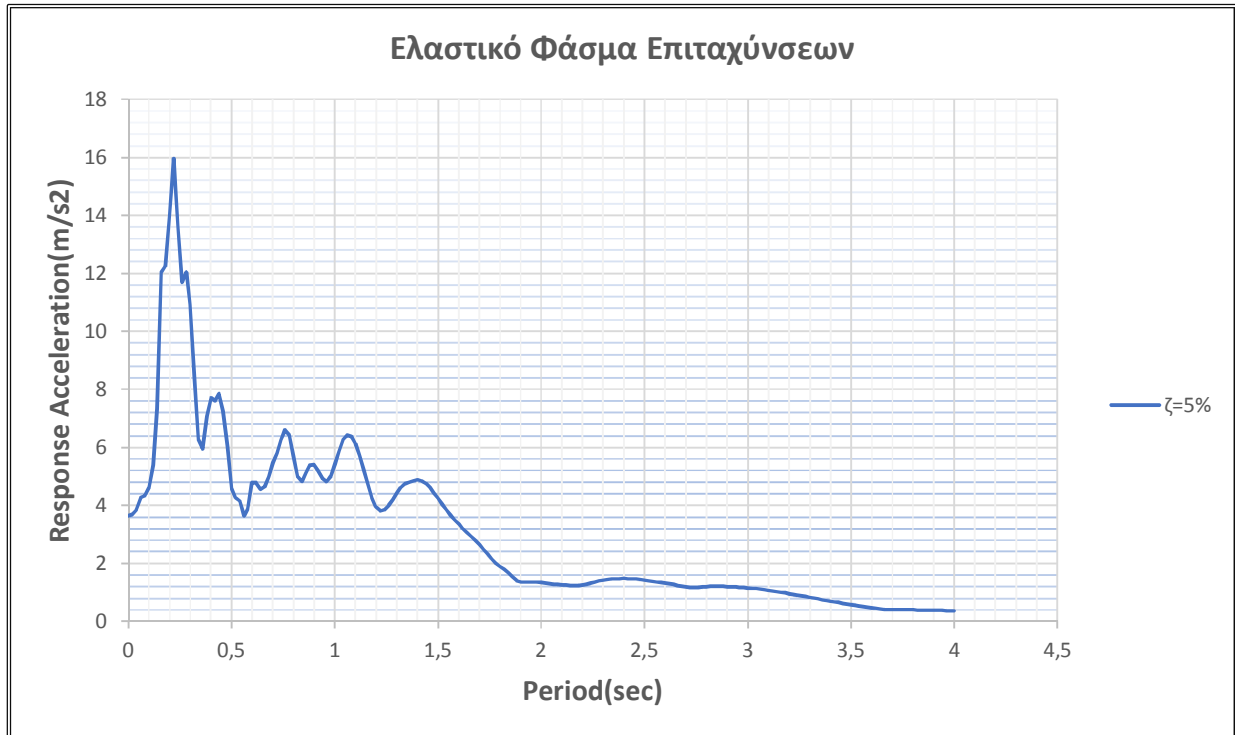


ΣΧΗΜΑ 5.1ζ: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 4

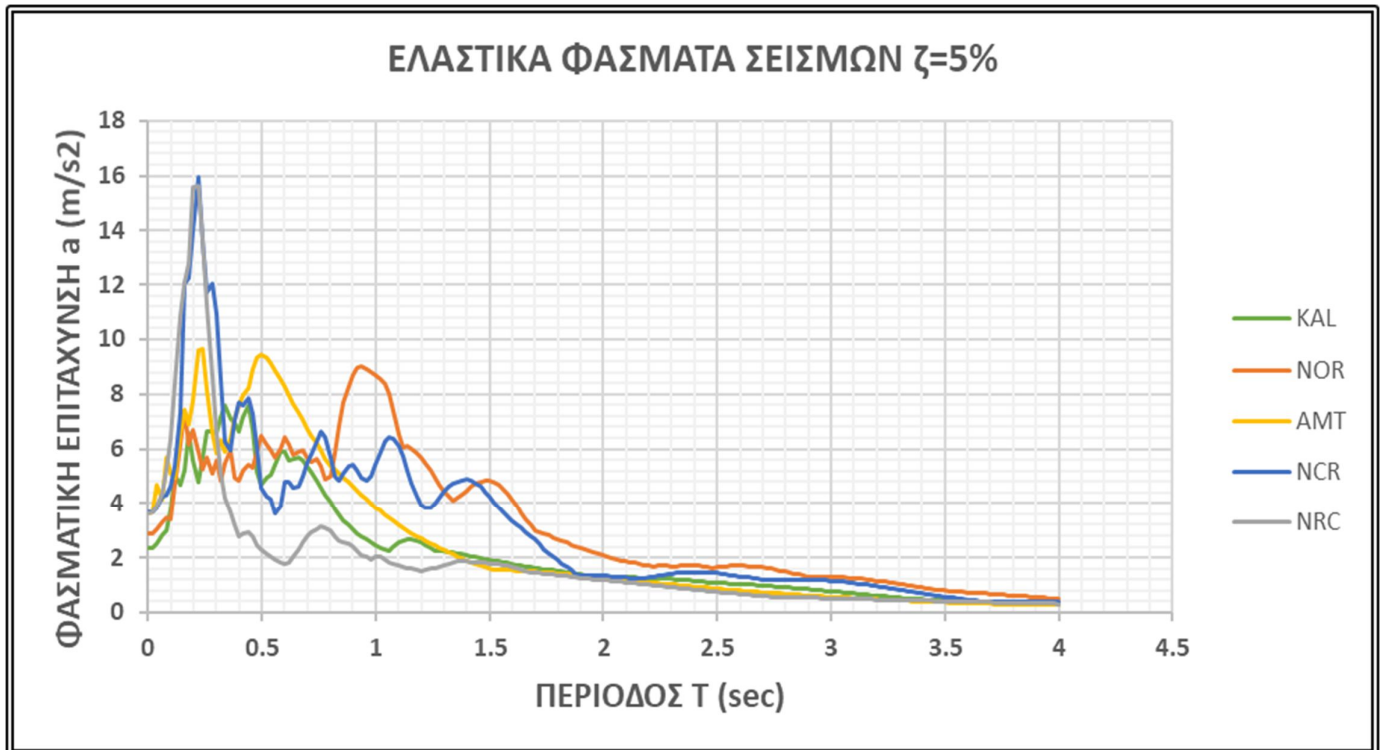
5. ΣΕΙΣΜΟΣ: NCR



ΣΧΗΜΑ 5.1η : Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 5



ΣΧΗΜΑ 5.10: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 5



ΣΧΗΜΑ 5.1ι: Ελαστικά Φάσματα Επιταχύνσεων καταγραφών

Με τη βοήθεια των εντολών του OpenSees, πραγματοποιήθηκε δυναμική ανάλυση χρονιοστορίας των σεισμών που φαίνονται πιο πάνω, ώστε να διερευνηθεί η σεισμική απόκριση του τριόροφου επίπεδου πλαισίου τόσο χωρίς όσο και με λικνιζόμενα μέλη. Έτσι προέκυψαν τα αποτελέσματα και δημιουργήθηκαν διαγράμματα χρονιοστοριών μετατοπίσεων και επιταχύνσεων ορόφων, drifts και τεμουσών βάσεως.

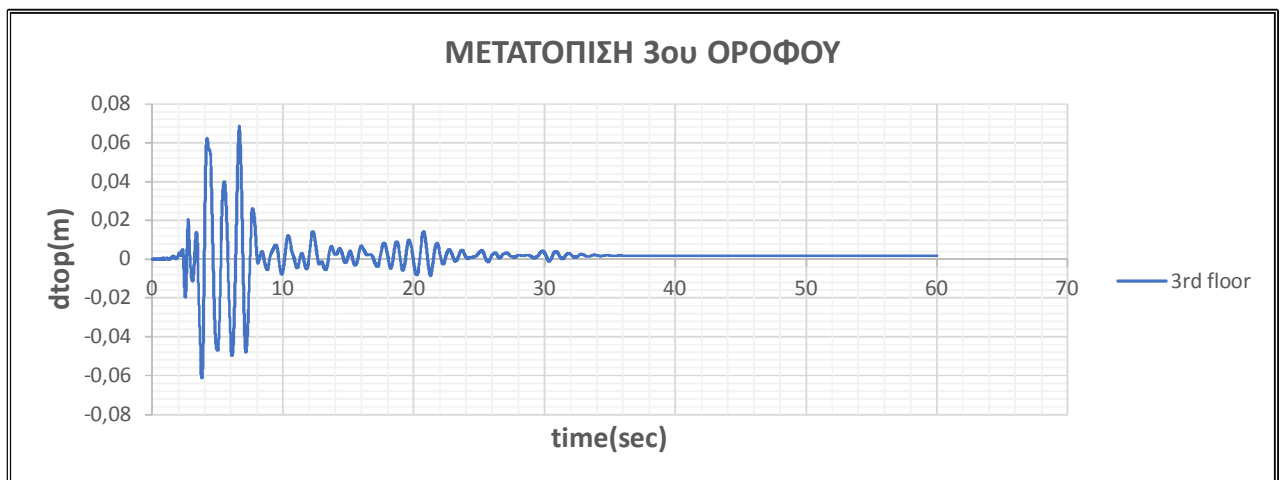
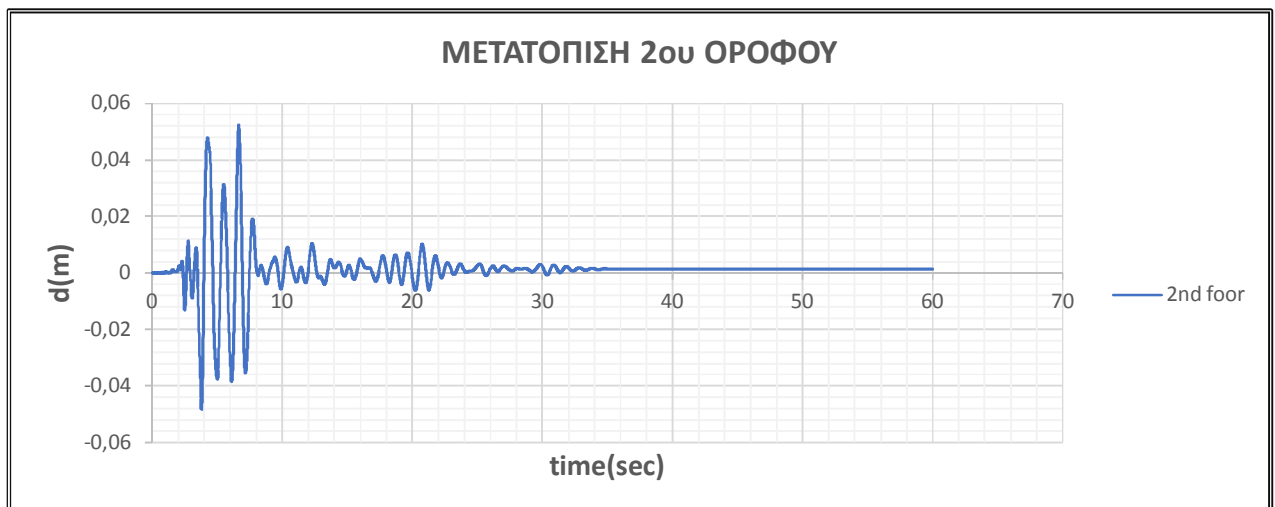
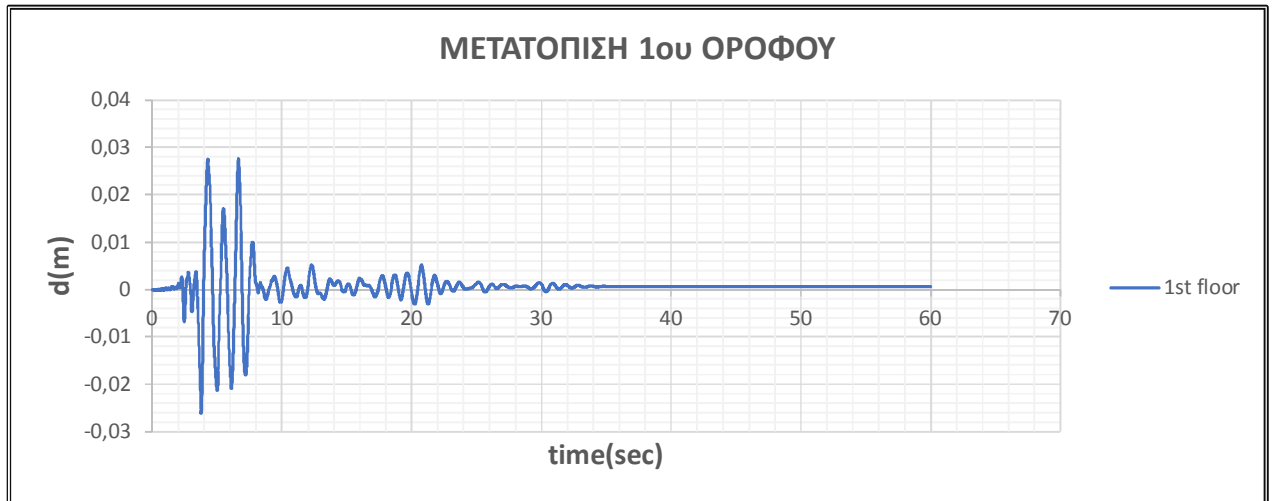
Αξίζει να σημειωθεί ότι η διαδικασία της δυναμικής ανάλυσης χρονιοστορίας των σεισμών στα μοντέλα με τα **λικνιζόμενα τοιχία** στο πρόγραμμα OpenSees ήταν αρκετά χρονοβόρα. Αυτό οφειλόταν λόγω συνεχόμενων επαναλήψεων μέχρι να συγκλίνει η ανάλυση των μοντέλων αυτών σε αντίθεση με τα μοντέλα χωρίς τα λικνιζόμενα τοιχία, των οποίων η ανάλυση σύγκλιζε σε λίγα δευτερόλεπτα η λεπτά.

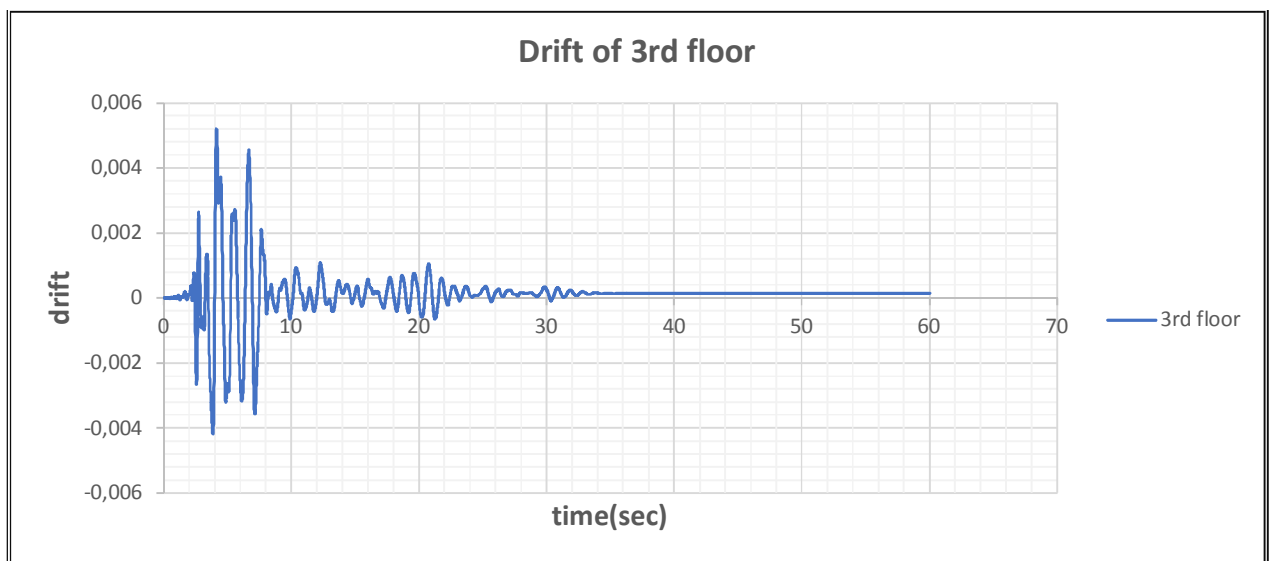
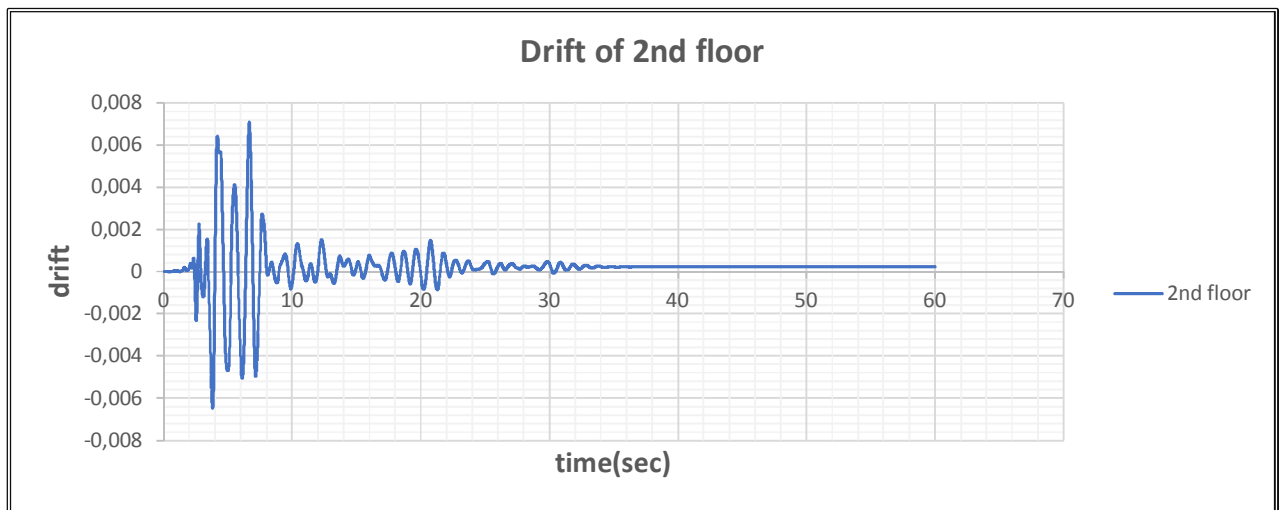
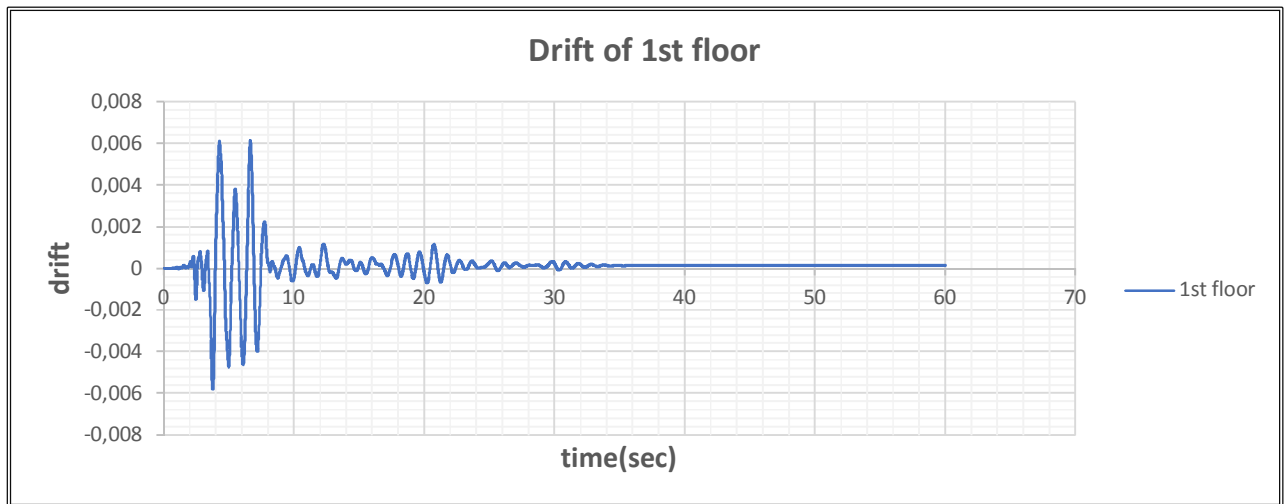
Σε κάποιες περιπτώσεις λόγω της κατάστασης αυτής, υπήρχε ανάγκη να μειωθεί ο **συντελεστής μεγέθυνσης** (ή κλίμακας-Scale Factor) κάποιων σεισμών για να επιτευχθεί η σύγκλιση.

Πιο κάτω παρουσιάζονται κάποια διαγράμματα που κατασκευάστηκαν ώστε να γίνει κατανοητή η απόκριση του μοντέλου προσθέτοντας λικνιζόμενα τοιχία.

5.2 Δυναμική Ανάλυση μη ενισχυμένου πλαισίου

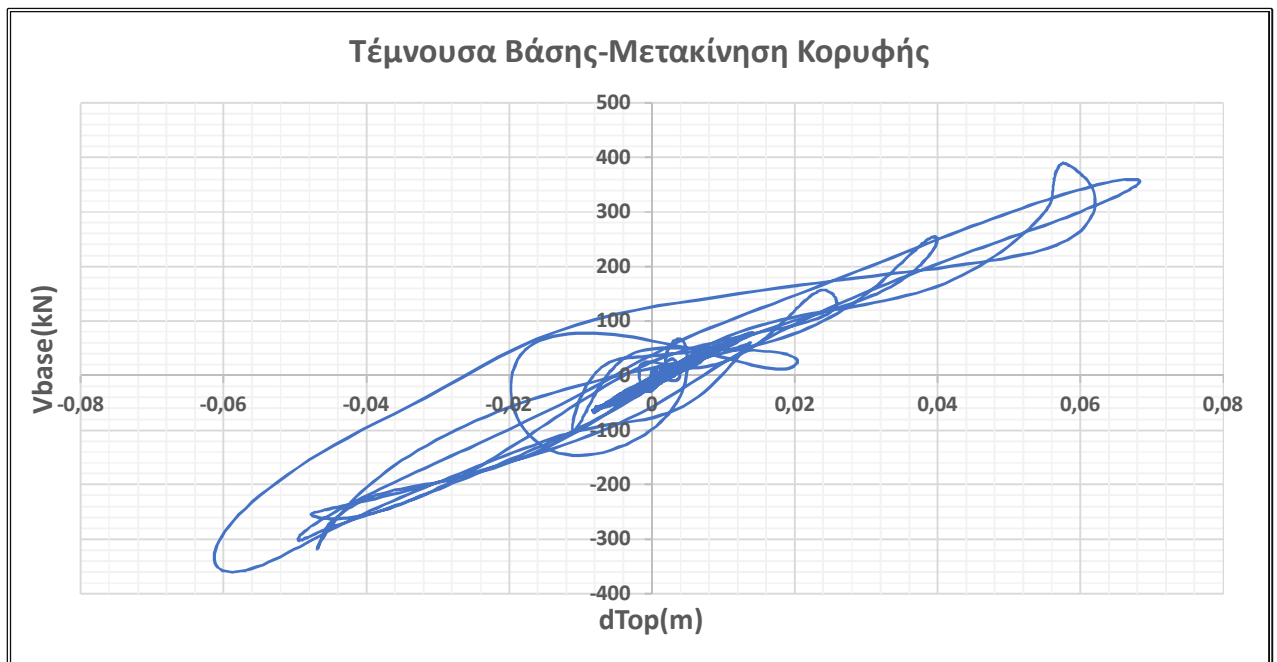
1. ΣΕΙΣΜΟΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ





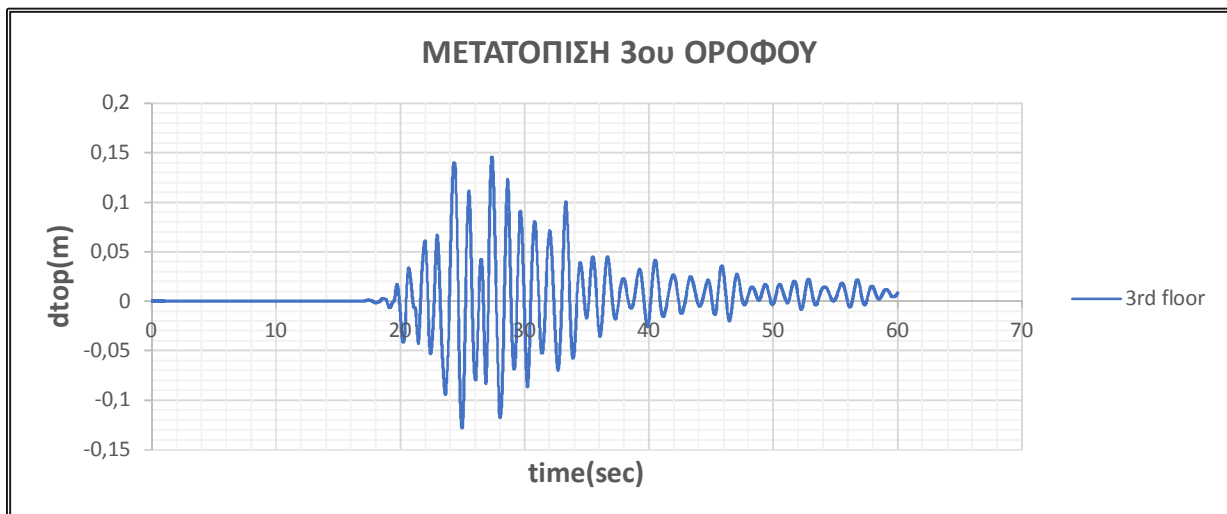
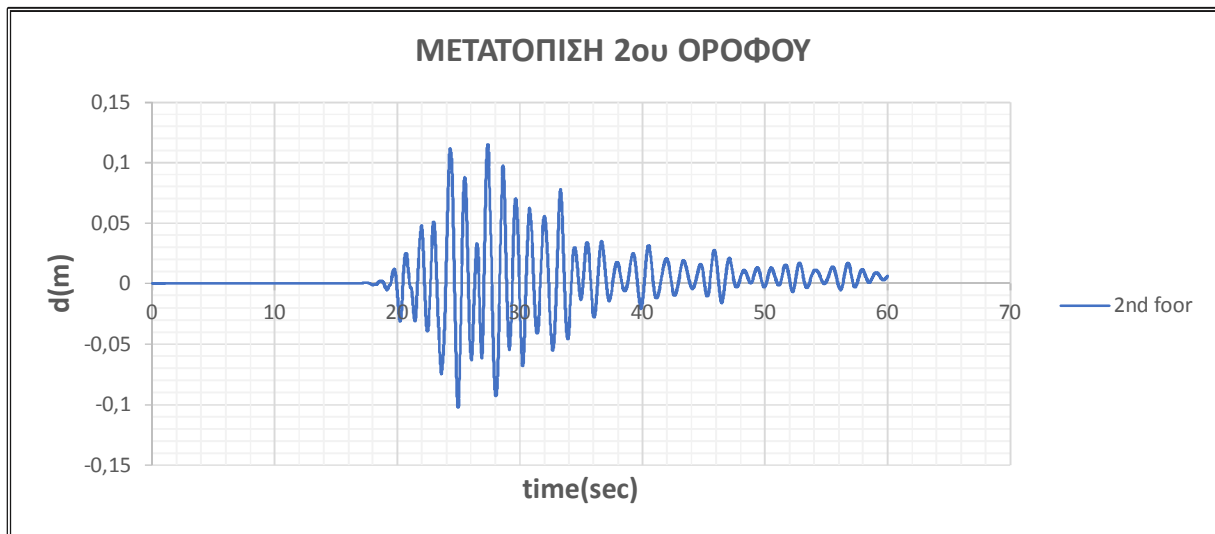
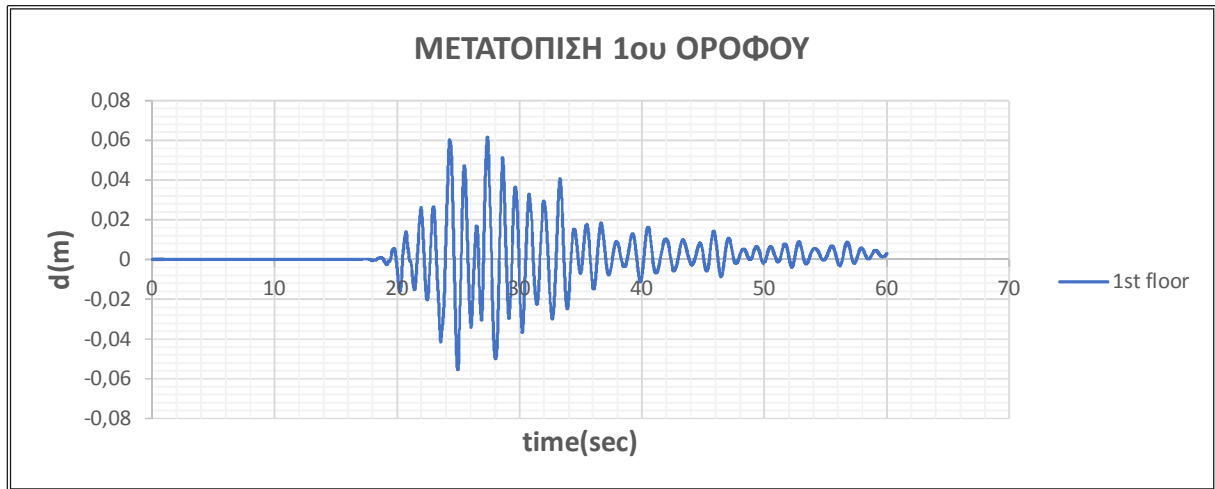


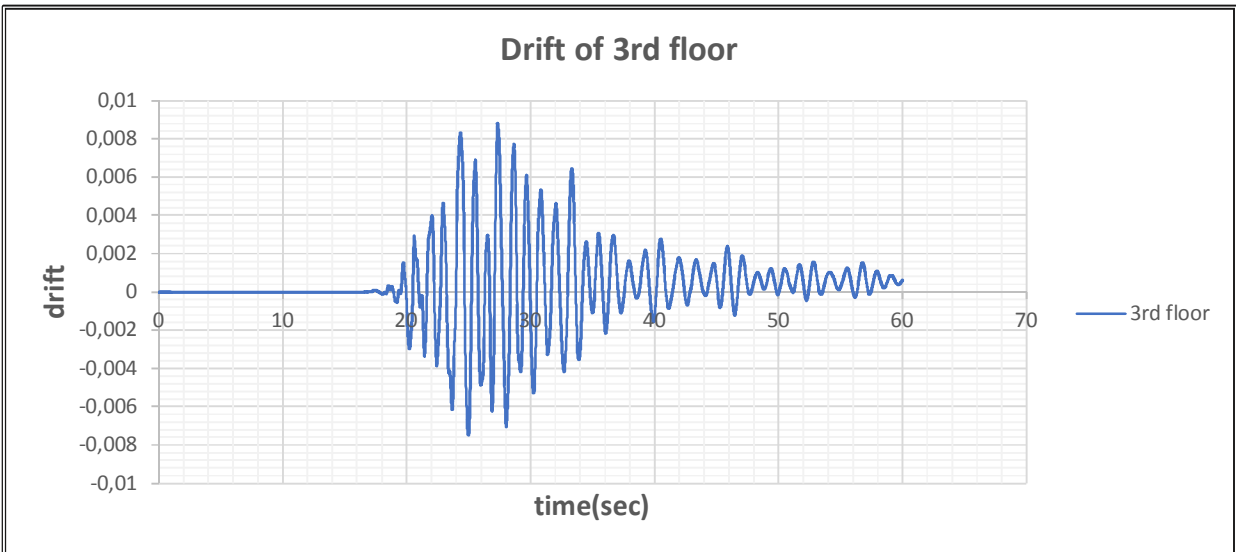
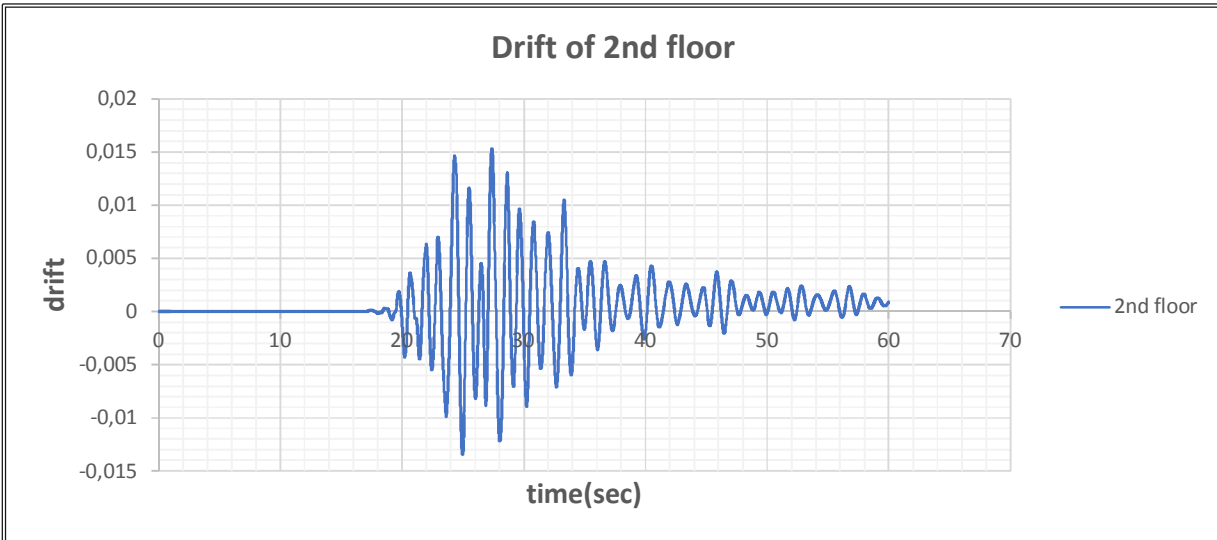
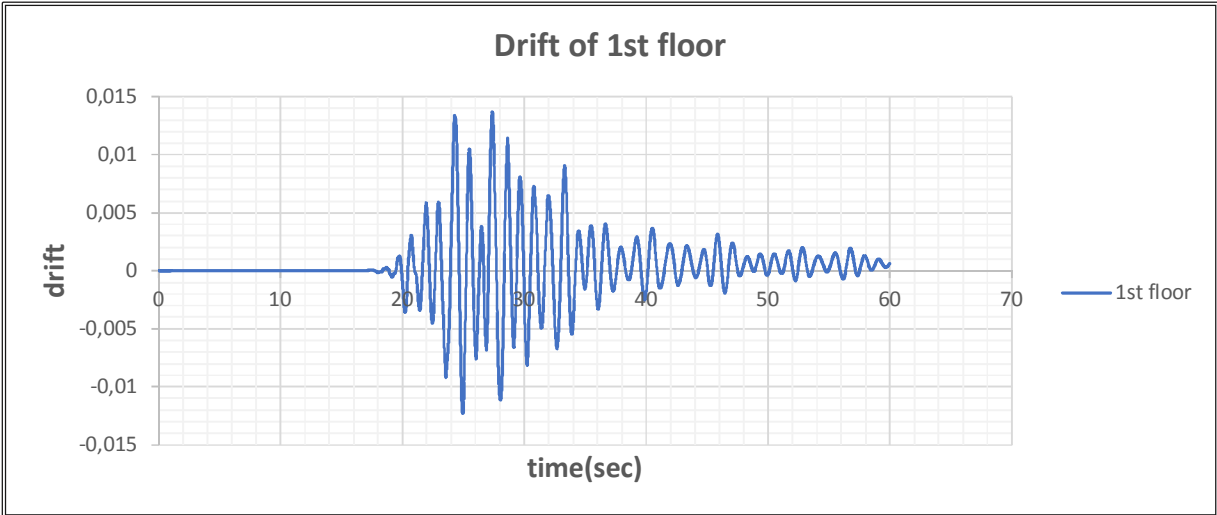
ΣΧΗΜΑ 5.2α: Χρονοιστορία Τέμνουσας Βάσεως σεισμού 1

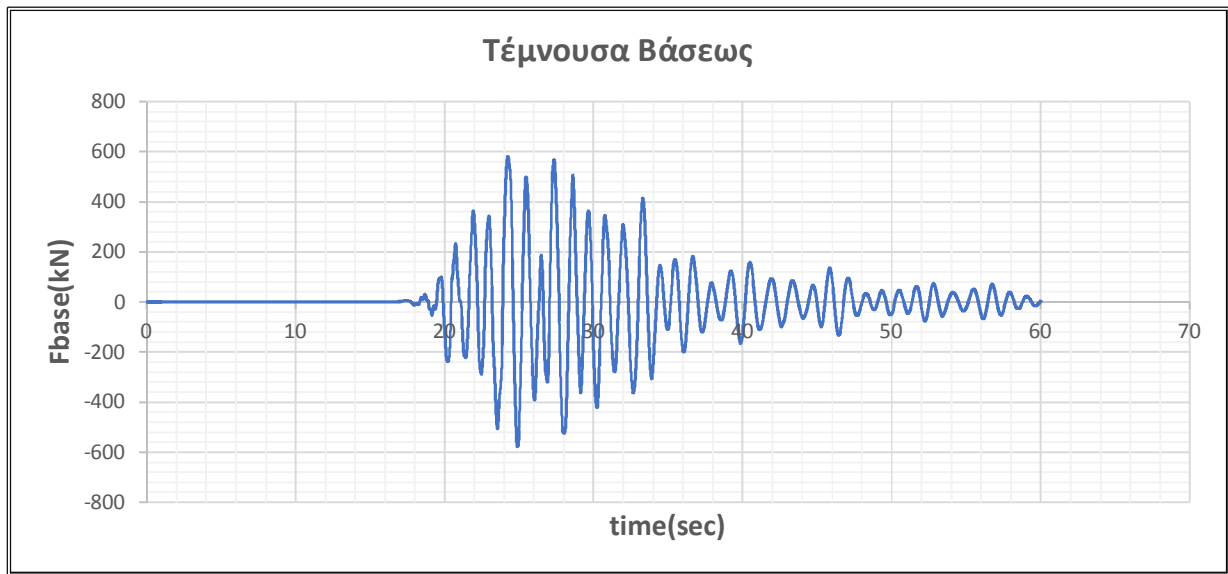


ΣΧΗΜΑ 5.2β: Τέμνουσα βάσεως-Μετακίνηση κορυφής σεισμού 1

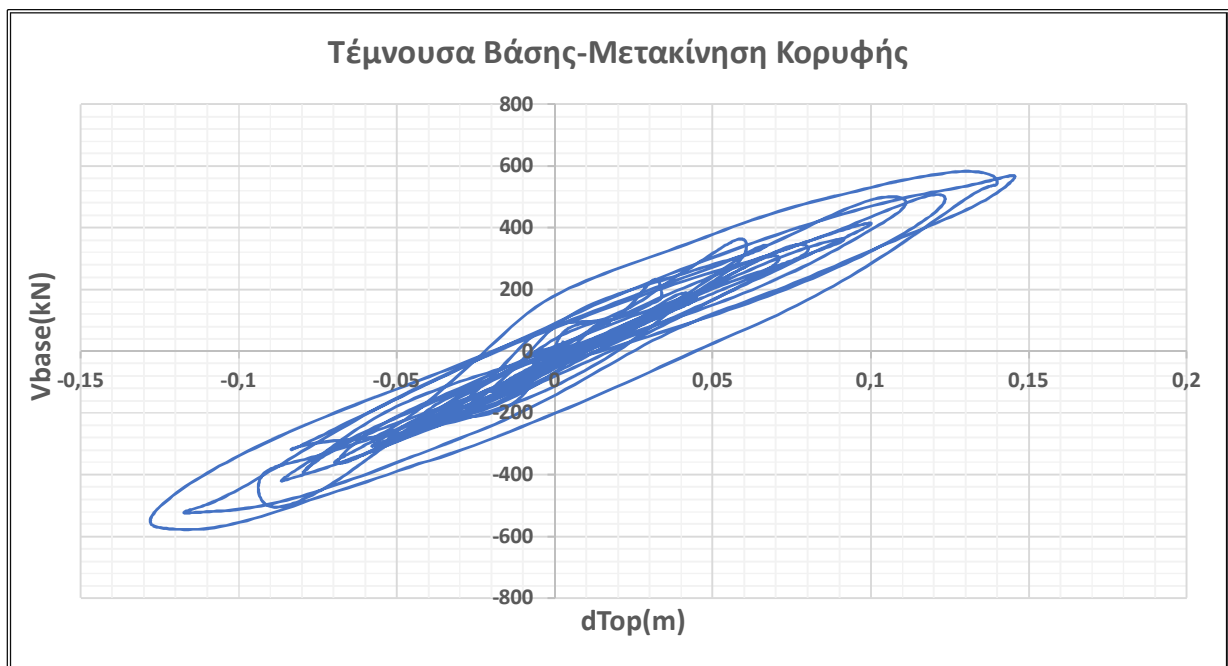
2. ΣΕΙΣΜΟΣ NOR





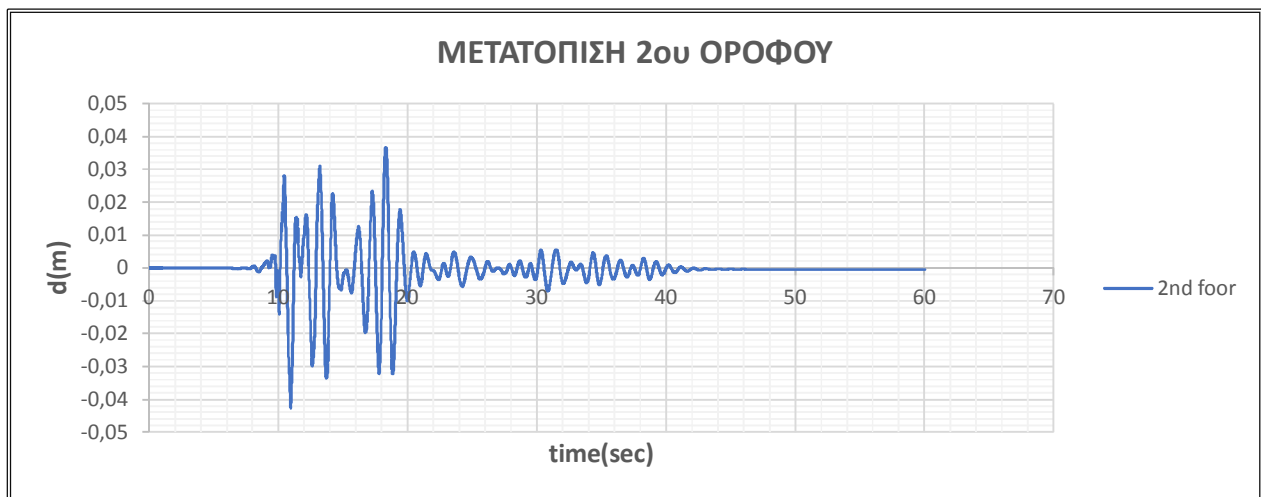
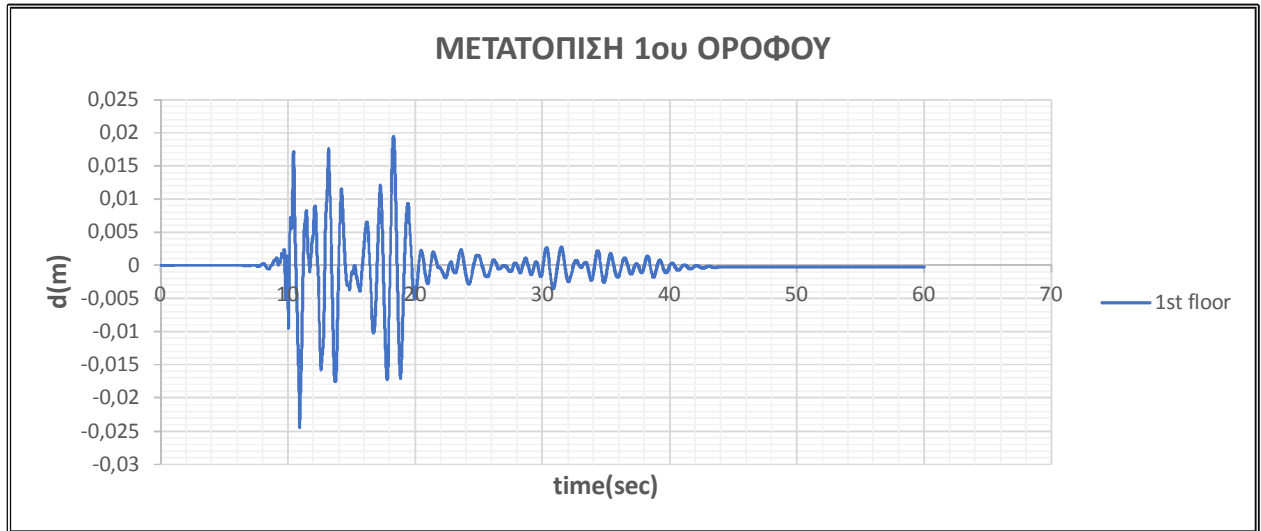


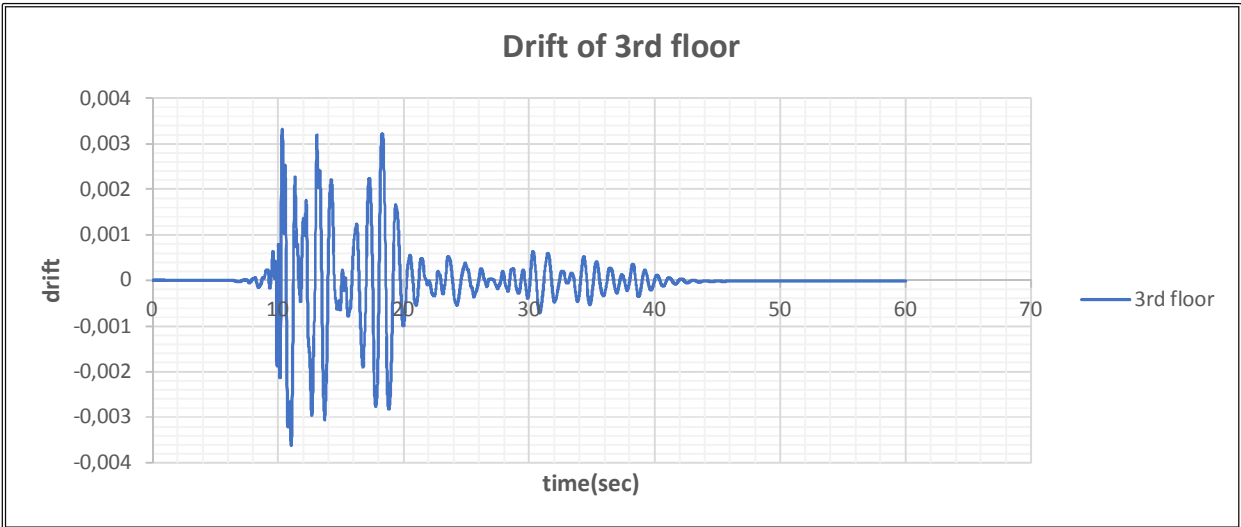
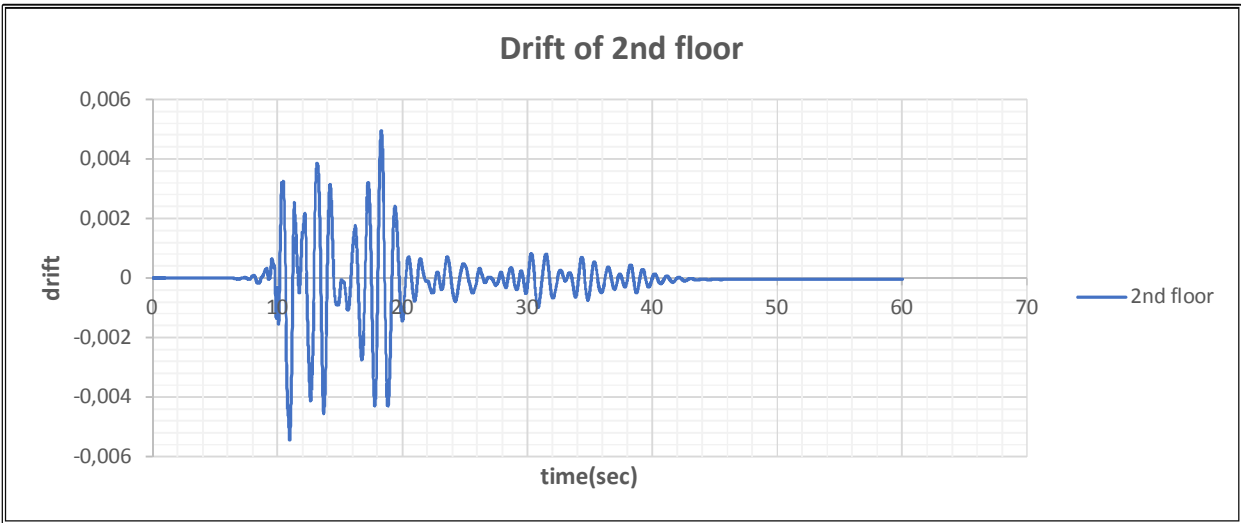
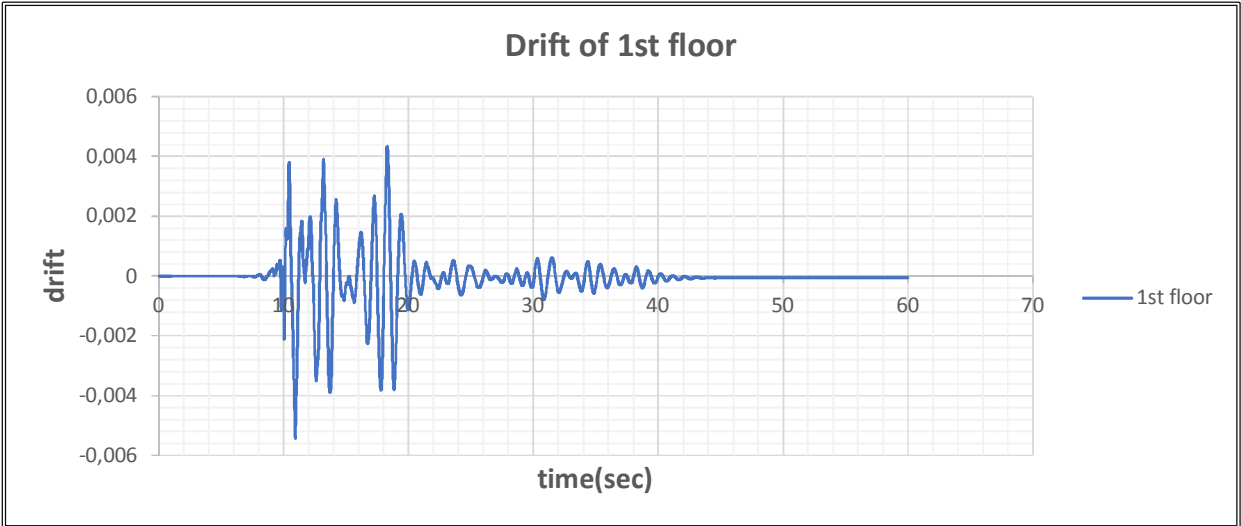
ΣΧΗΜΑ 5.2γ: Χρονοιστορία Τέμνουσας Βάσεως σεισμού 2



ΣΧΗΜΑ 5.2δ: Τέμνουσα βάσεως-Μετακίνηση κορυφής σεισμού 2

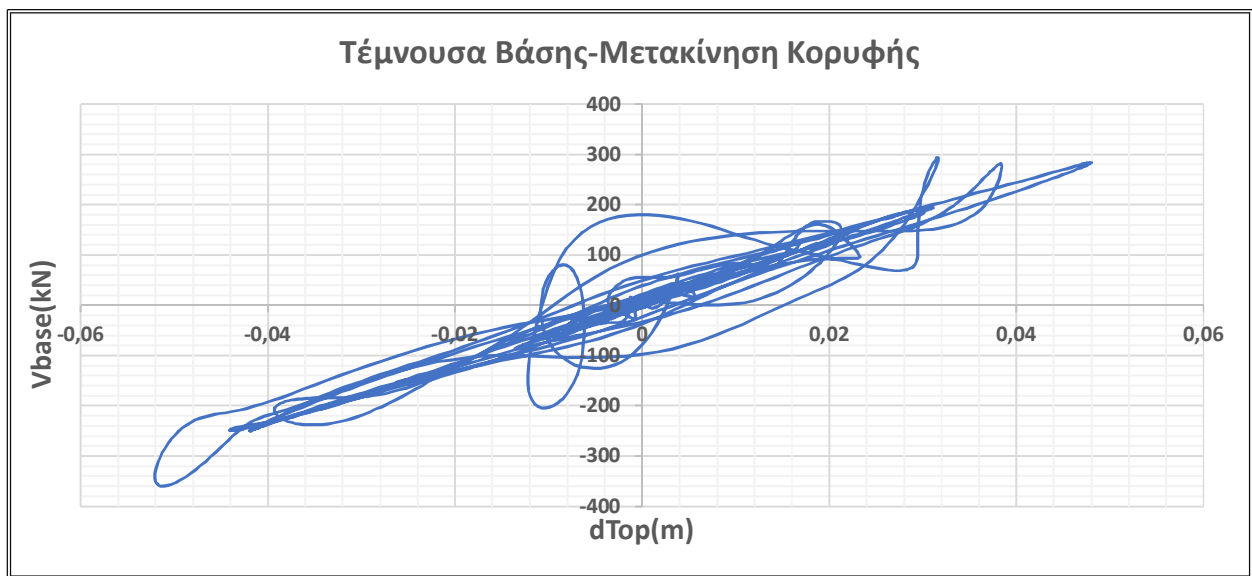
3. ΣΕΙΣΜΟΣ NRC





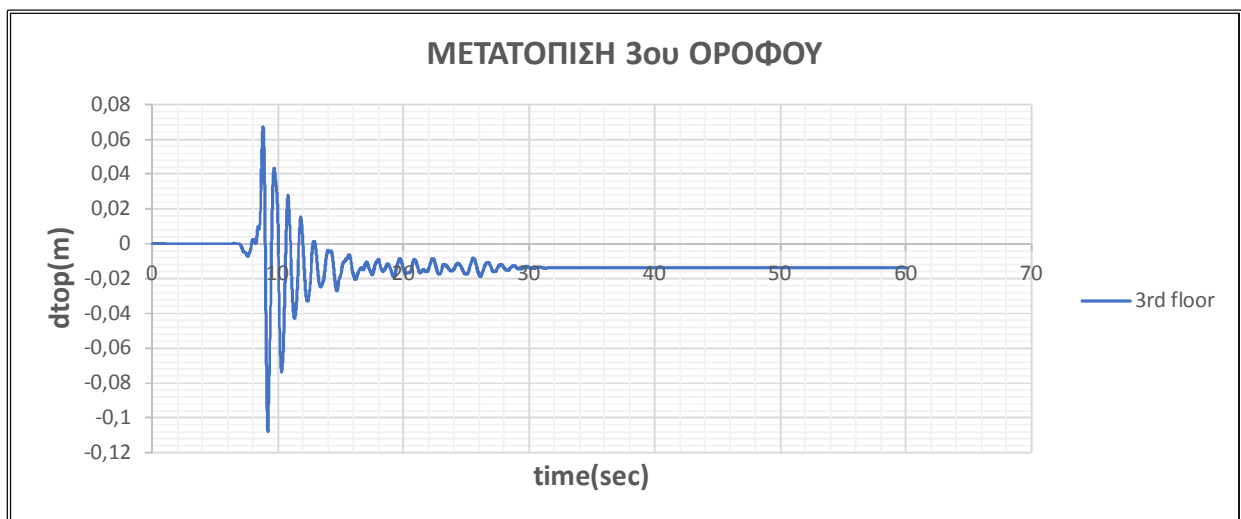
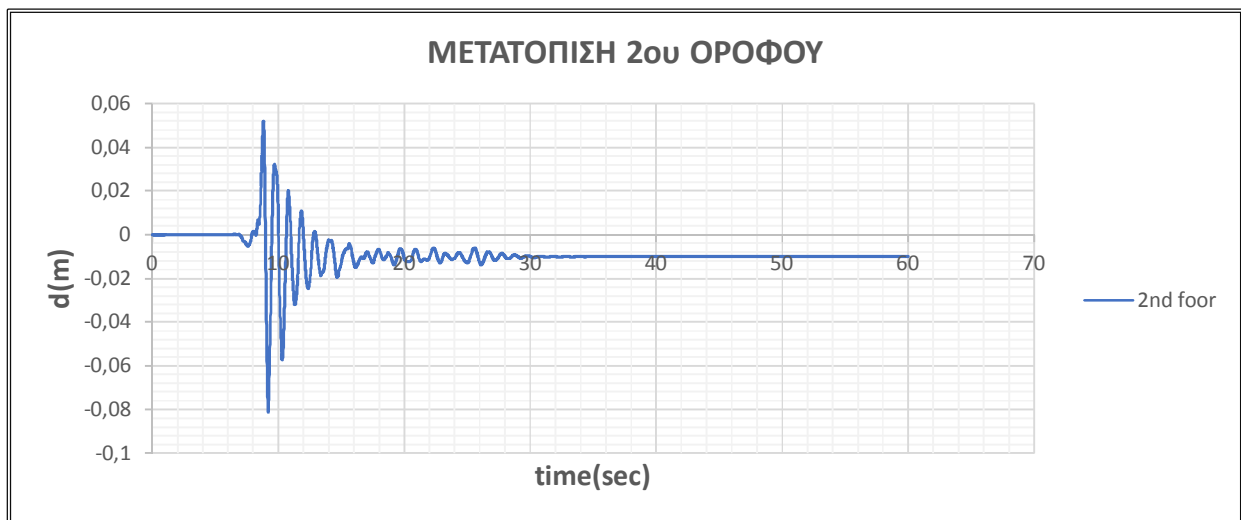
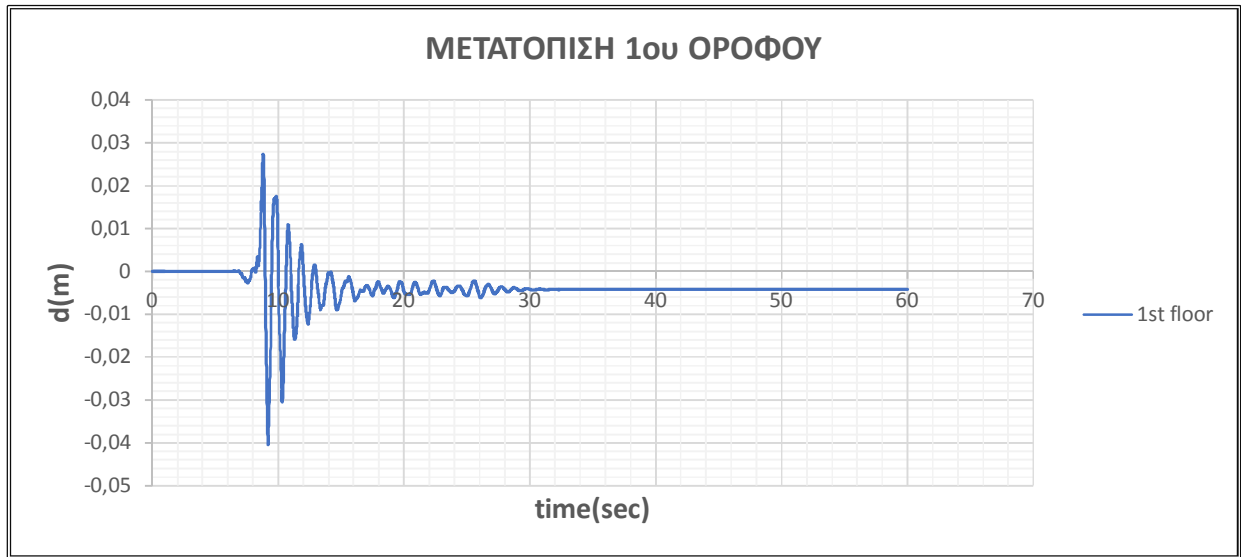


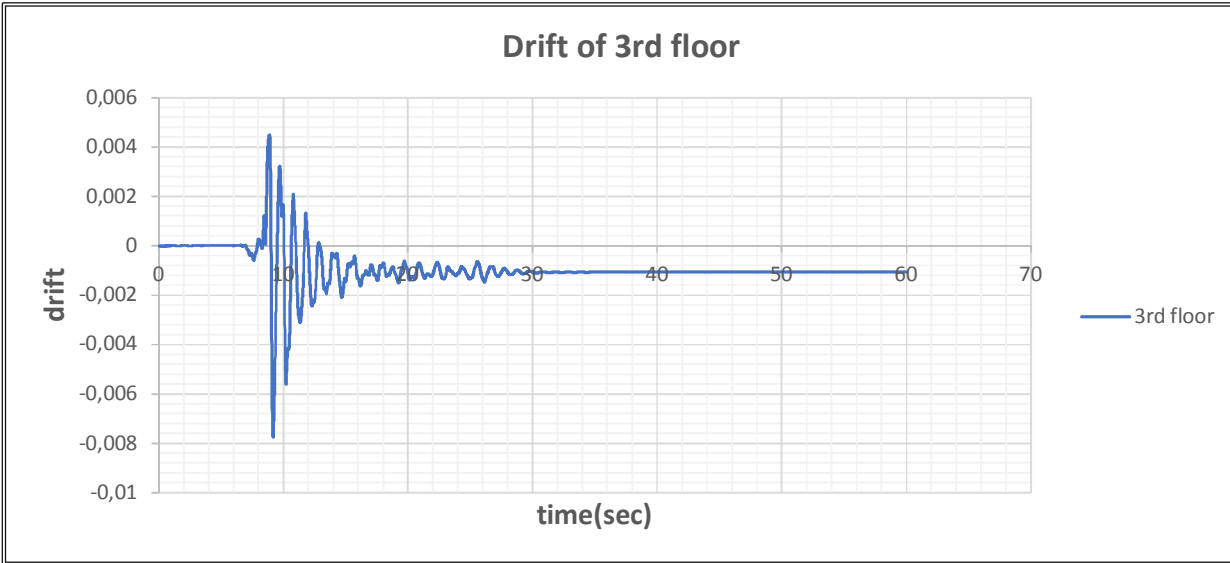
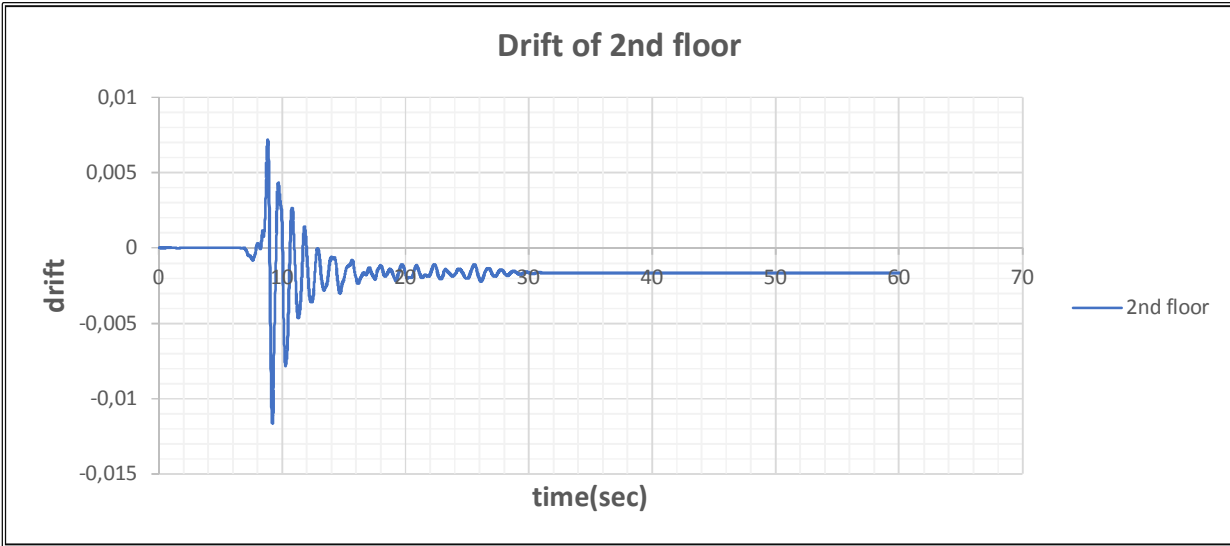
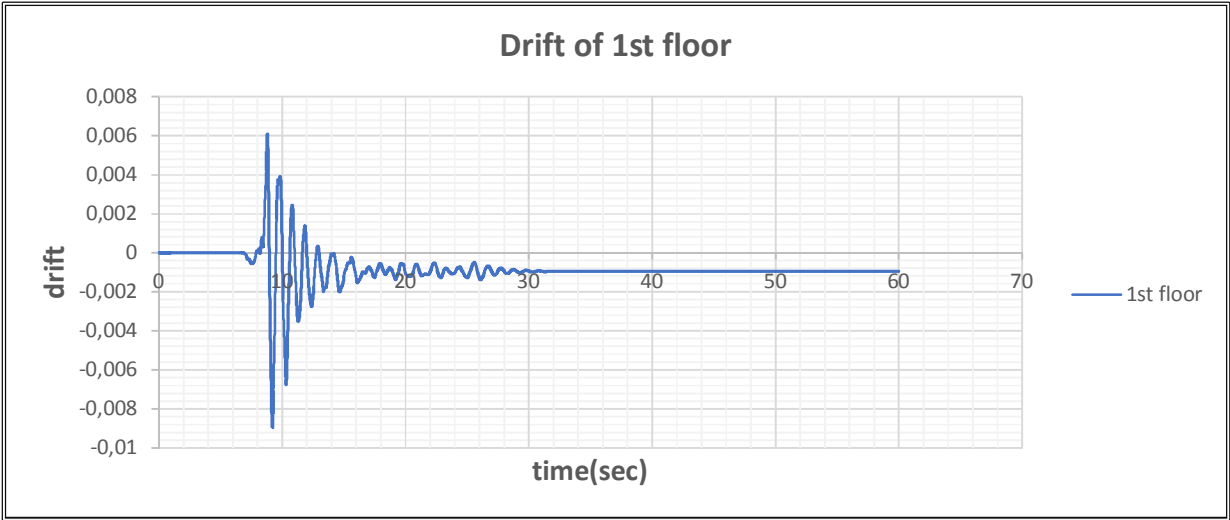
ΣΧΗΜΑ 5.2ε: Χρονιστορία Τέμνουσας Βάσεως σεισμού 3

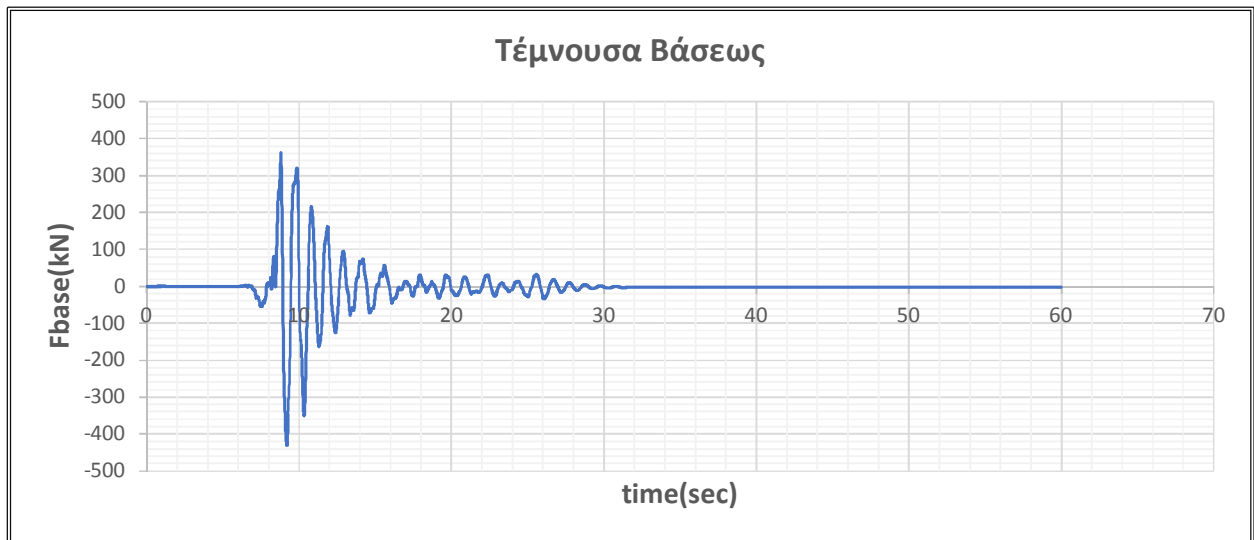


ΣΧΗΜΑ 5.2ζ: Τέμνουσα βάσεως-Μετακίνηση κορυφής σεισμού 3

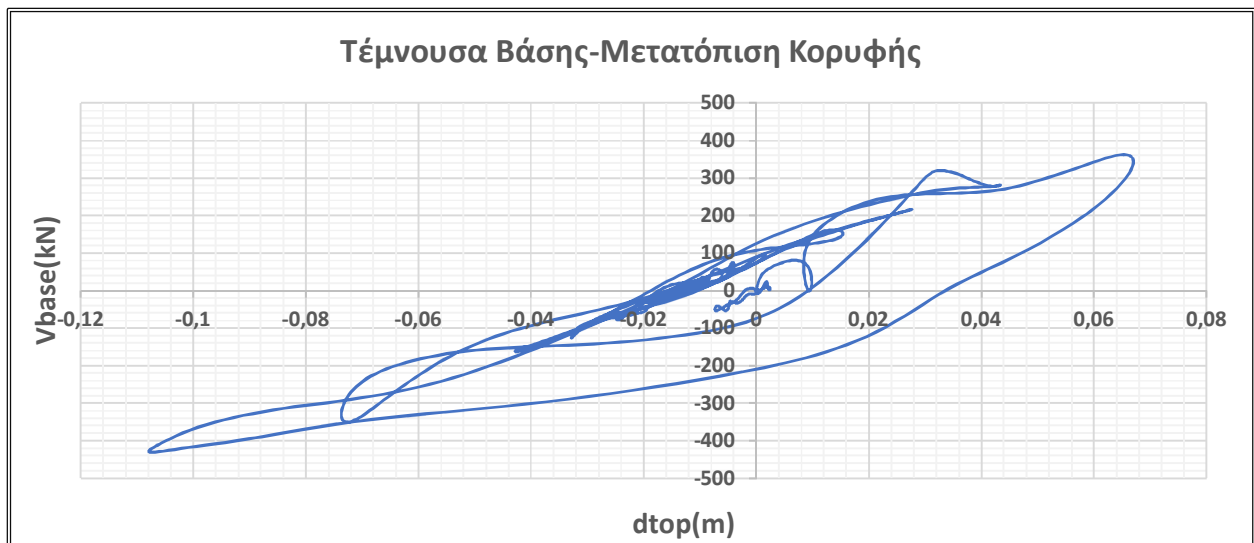
4. ΣΕΙΣΜΟΣ ΑΜΤ





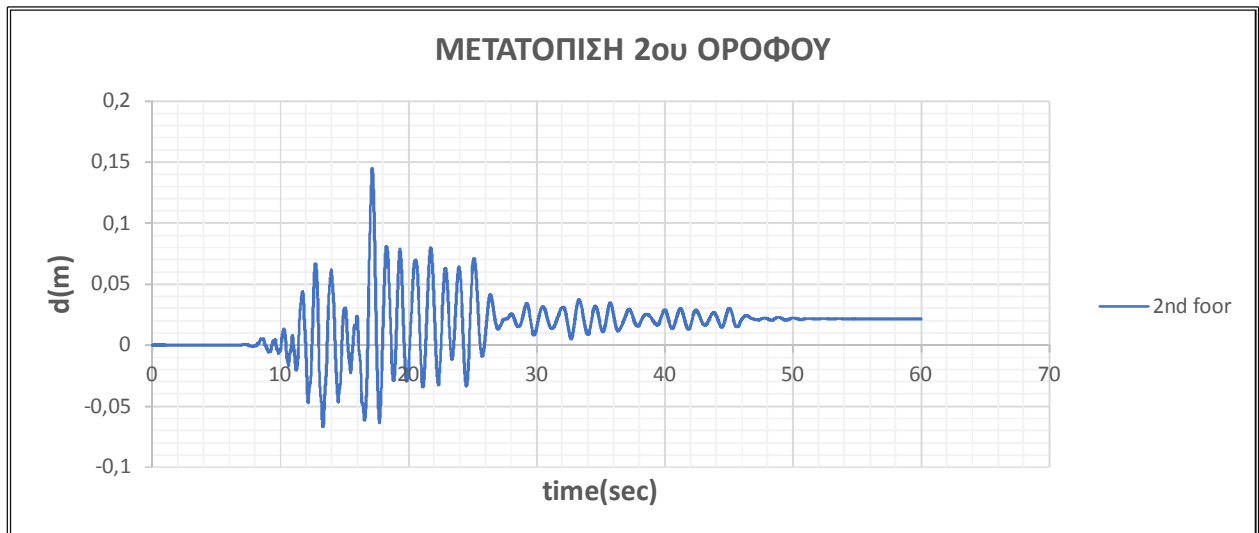
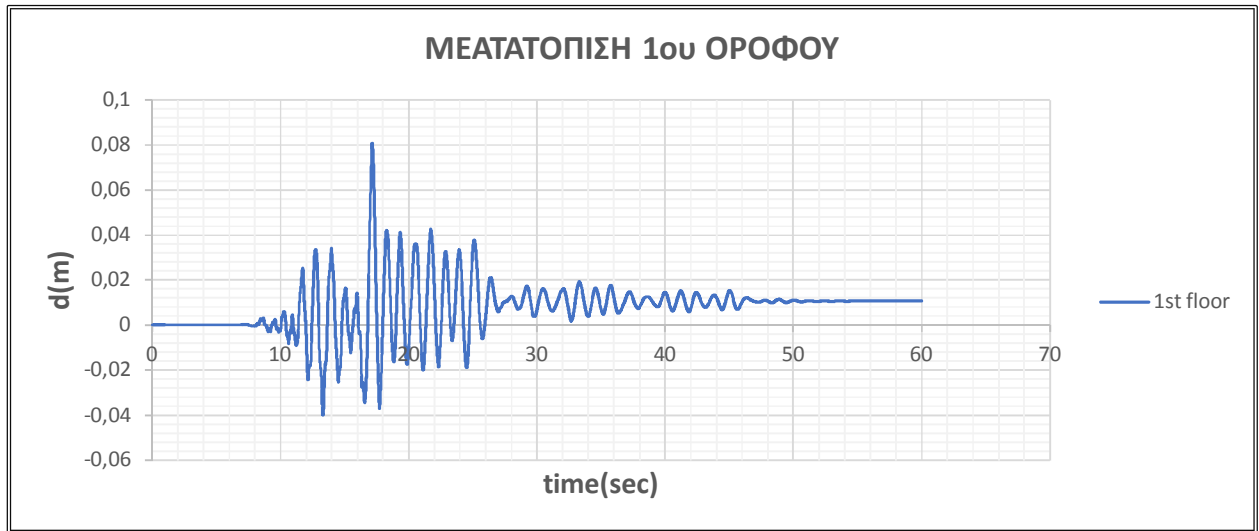


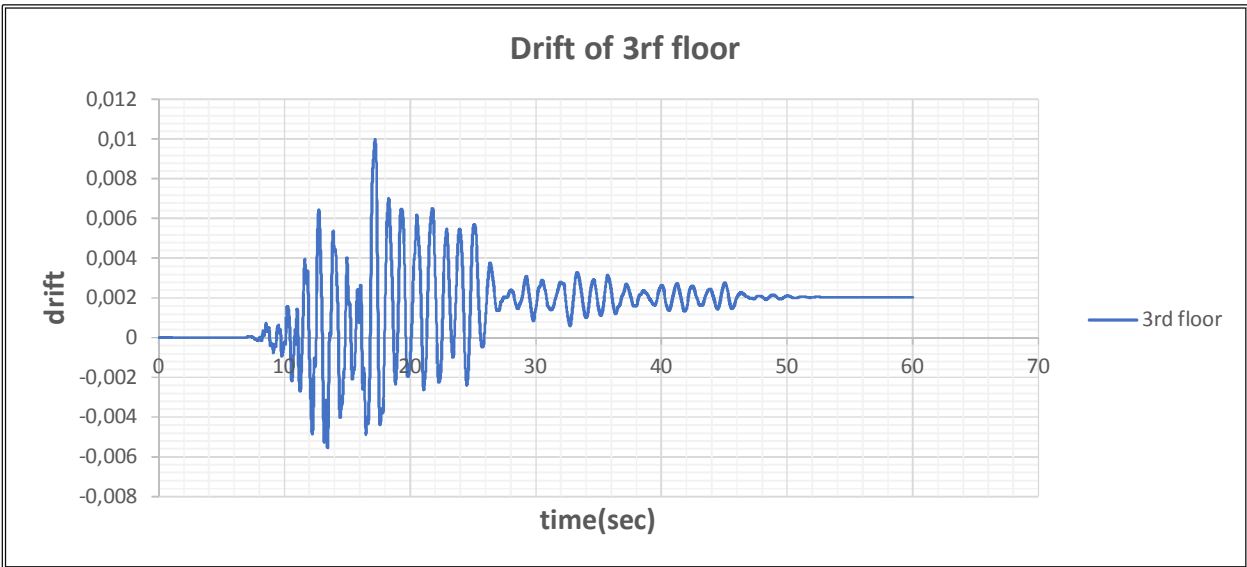
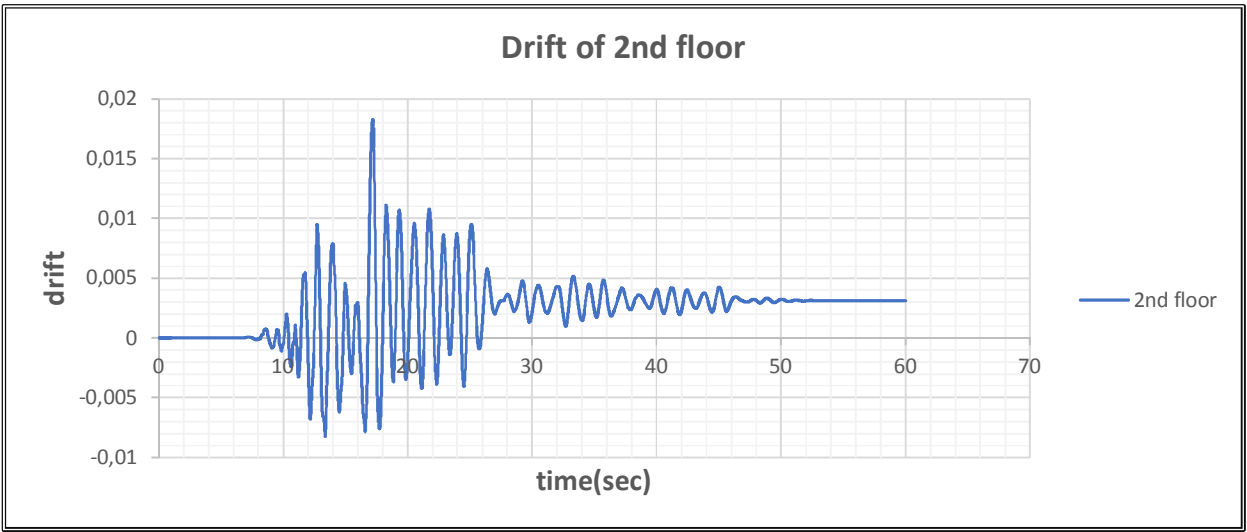
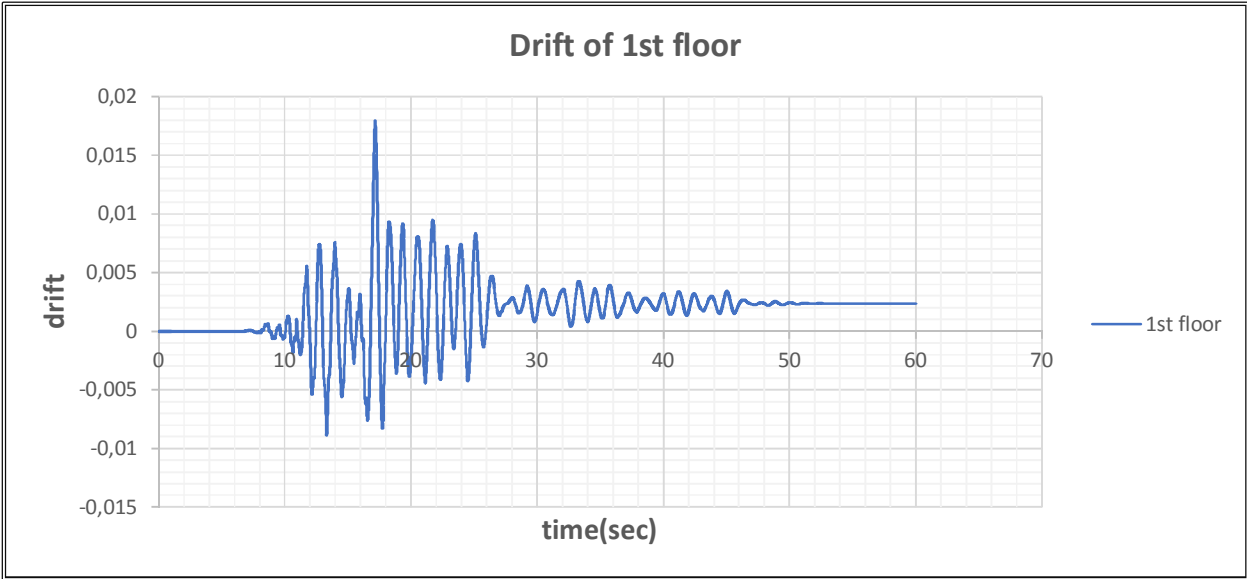
ΣΧΗΜΑ 5.2η: Χρονοιστορία Τέμνουσας Βάσεως σεισμού 4

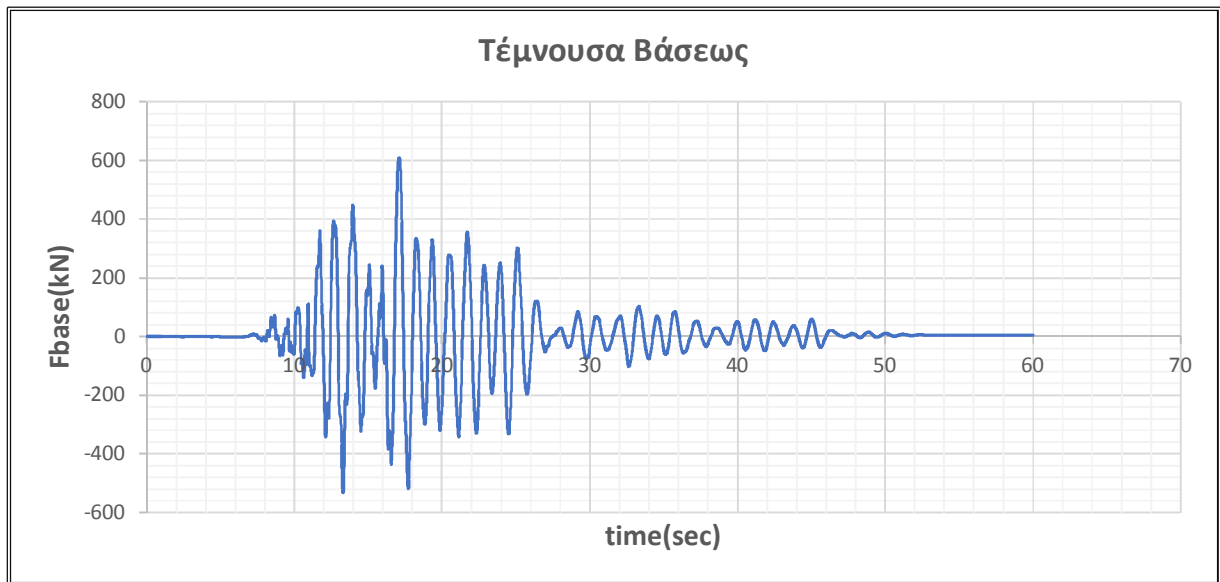


ΣΧΗΜΑ 5.2θ: Τέμνουσα βάσεως-Μετακίνηση κορυφής σεισμού 4

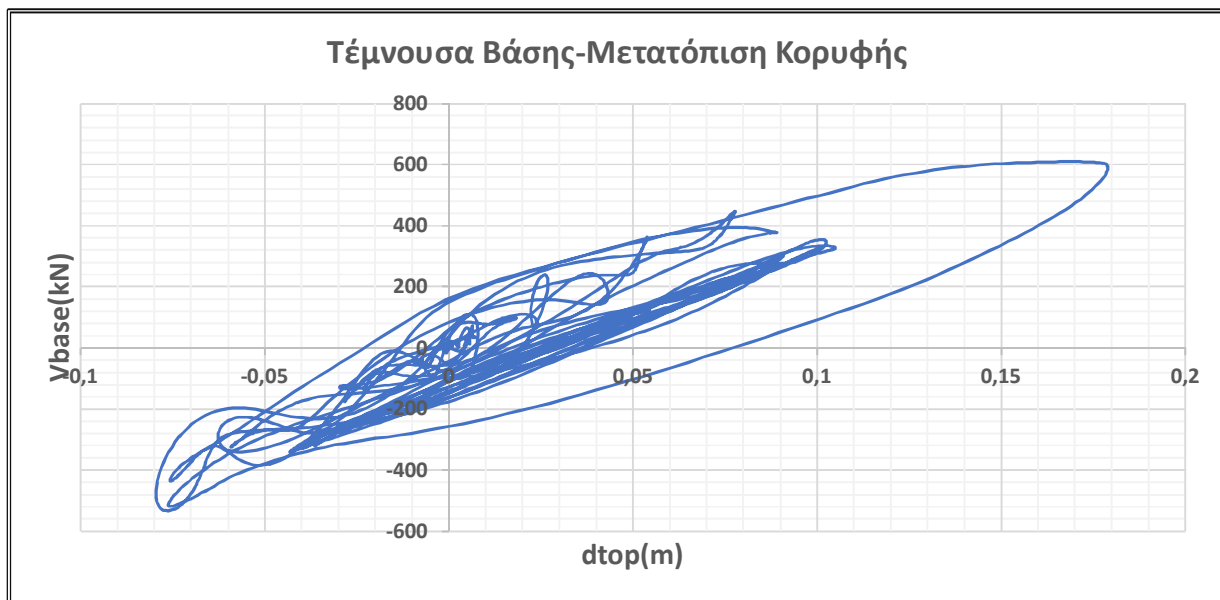
5. ΣΕΙΣΜΟΣ NCR







ΣΧΗΜΑ 5.2ι: Χρονοιστορία Τέμνουσας Βάσεως σεισμού 5



ΣΧΗΜΑ 5.2κ: Τέμνουσα βάσεως-Μετακίνηση κορυφής σεισμού 5

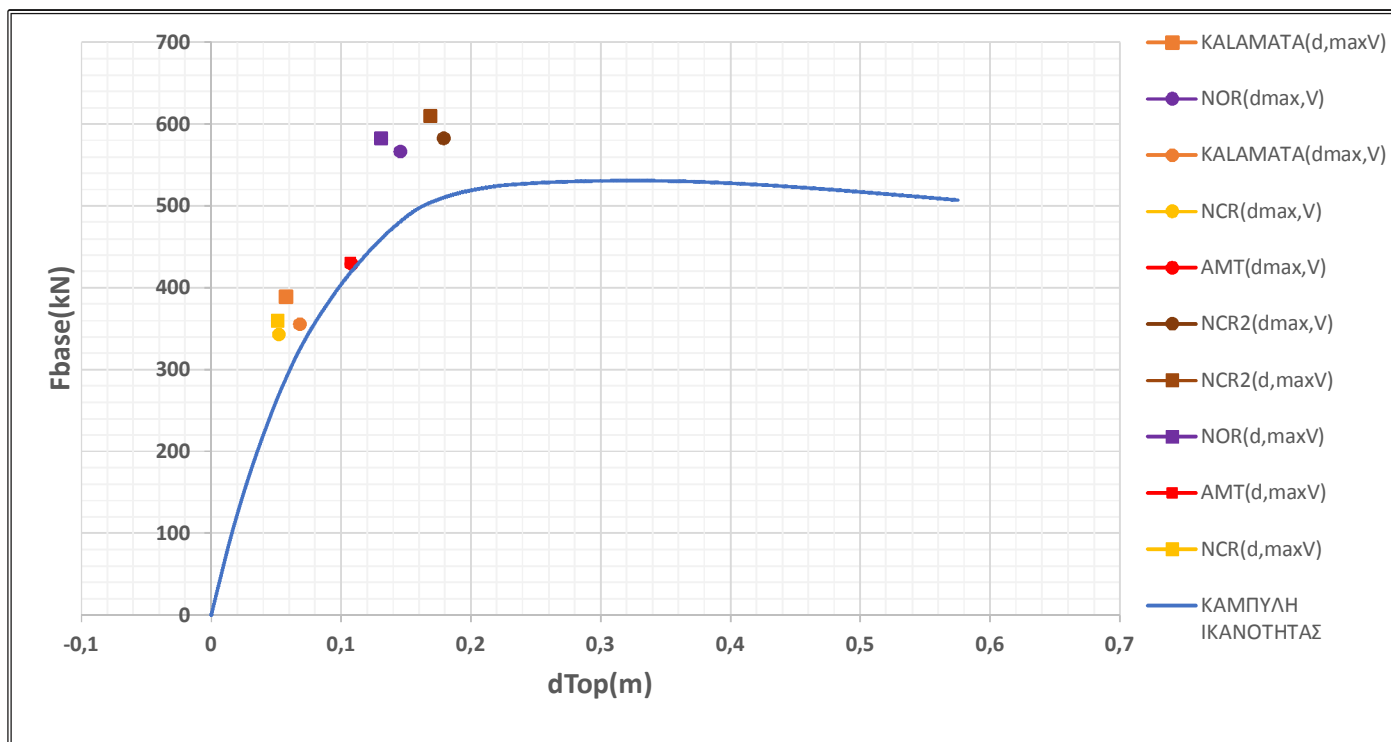
ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΜΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Για κάθε διέγερση καταγράφεται η μέγιστη μετακίνηση κορυφής με την ταυτόχρονη τέμνουσα βάσης (d_{max} , V_{dmax}) και η μέγιστη τέμνουσα βάσης με την ταυτόχρονη μετακίνηση κορυφής (d_{Vmax} , V_{max}). Οι τιμές των μεγίστων κατ' απόλυτη τιμή δίνονται στον Πίνακα 5.2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2: Σεισμική Απόκριση μη ενισχυμένου πλαισίου

EARTHQUAKE	d_{max} (m)	V_{dmax} (KN)	d_{Vmax} (m)	V_{max} (KN)
KALAMATA	0.068	355.1992	0.057687	388.9873
NOR	0.145583	566.073	0.130911	582.665
NRC	0.05207	343.1154	0.051127	359.9352
AMT	0.108	428.5087	0.107269	430.7947
NCR	0.17894	582.501	0.168832	609.581

Τα παραπάνω ζεύγη τιμών σχεδιάζονται στο ίδιο διάγραμμα με την καμπύλη ικανότητας (pushover) του μη ενισχυμένου τριόροφου πλαισίου, προκειμένου να γίνουν οι απαιτούμενες συγκρίσεις (σχήμα 5.2λ).



ΣΧΗΜΑ 5.2λ: Ζεύγη (d_{max} , V_{dmax}) και (d_{Vmax} , V_{max}) επί της καμπύλης pushover του μη ενισχυμένου πλαισίου

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως διαπιστώνεται, κάποιοι σεισμοί καταπονούν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή και κάποιοι από αυτούς την ωθούν ελαφρώς στην πλαστική περιοχή, καθώς αυτό διαπιστώνεται και από τα πιο πάνω διαγράμματα χρονιστορίας μετατοπίσεων τα οποία παρουσιάζουν παραμένουσα μετακίνηση. Είναι προφανές ότι γενικά τα σημεία προσεγγίζονται ικανοποιητικά από την καμπύλη ικανότητας, καθώς επίσης τα ζεύγη τιμών μέγιστης μετακίνησης και αντίστοιχης τέμνουσας και μέγιστης τέμνουσας και αντίστοιχης μετακίνησης κάθε σεισμού δεν παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ανώτερη ιδιομορφή είναι η πρώτη, η οποία λήφθηκε υπόψη στις αναλύσεις.

5.3 ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΕΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΤΕΜΝΟΥΣΕΣ ΒΑΣΕΩΣ (ΜΕΘΟΔΟΣ ATC-40)

Χρησιμοποιήθηκε το αντίστοιχο ελαστικό φάσμα κάθε σεισμού (**ADRS**) αντί για το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού του **EK8** που χρησιμοποιήθηκε στην μη-γραμμική στατική ανάλυση (pushover) για να υπολογιστούν οι **στοχευόμενες μετατοπίσεις** και να συγκριθούν με αυτές της δυναμικής ανάλυσης.

Η διαδικασία είναι γενικά όμοια με αυτή που παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο με μόνη διαφορά ότι τα απομειωμένα ADRS σεισμών υπολογίστηκαν, πολλαπλασιάζοντας κάθε φορά το προηγούμενο με τον συντελεστή η κι όχι με τους συντελεστές SR_A και SR_V όπως γίνεται για το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού του EK8.

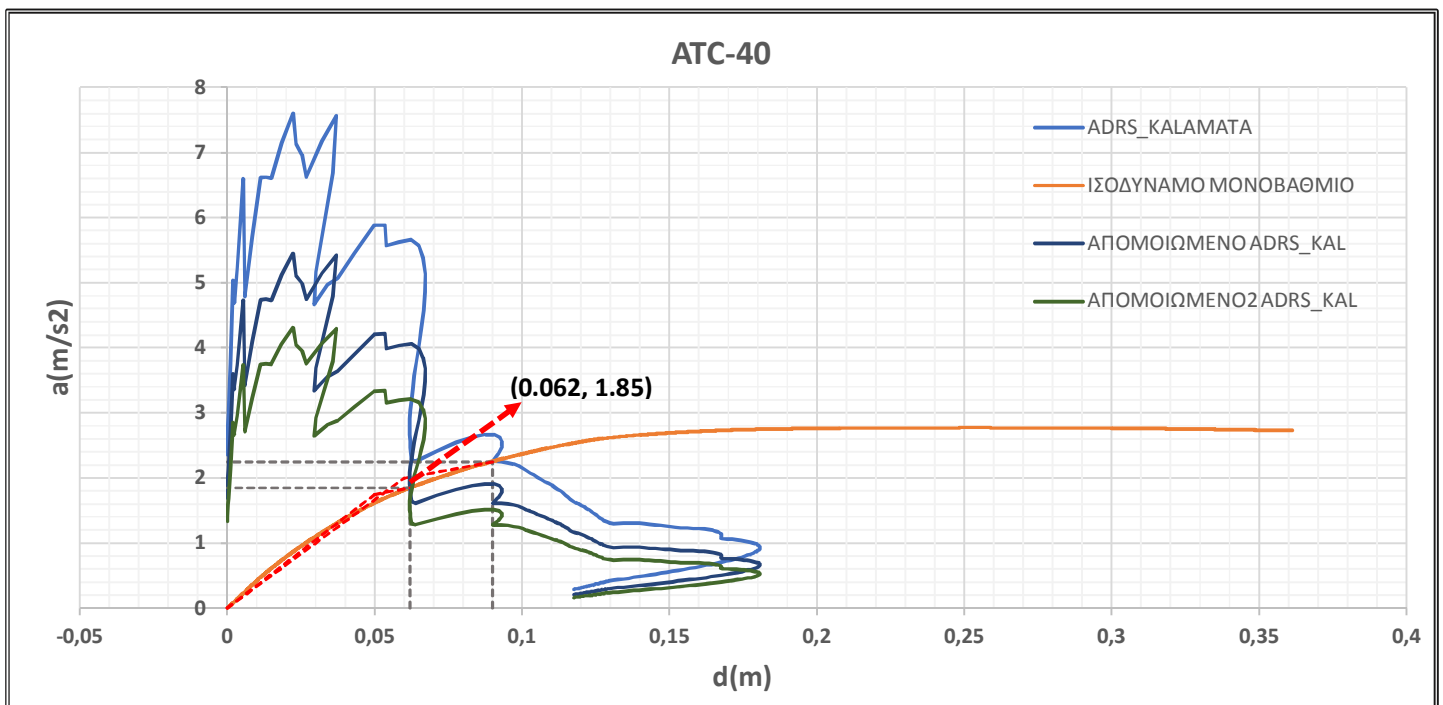
$$\text{όπου: } \eta = \sqrt{\frac{10}{\zeta+5}}$$

Η διαδικασία που πραγματοποιήθηκε φαίνεται στα πιο κάτω διαγράμματα, όπου υπολογίζεται η στοχευόμενη μετατόπιση και επιτάχυνση του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος για κάθε σεισμό και στη συνέχεια με τις σχέσεις **4.1κ** και **4.1λ** που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4, υπολογίζεται η αντίστοιχη στοχευόμενη μετακίνηση και τέμνουσα βάσεως της κατασκευής.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα επόμενα διαγράμματα:

Γ	3.4596
a	0.8625
$\Gamma \cdot \phi_{top}$	1.2714
$a \cdot m_{tot}$	191.5021

ΣΕΙΣΜΟΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

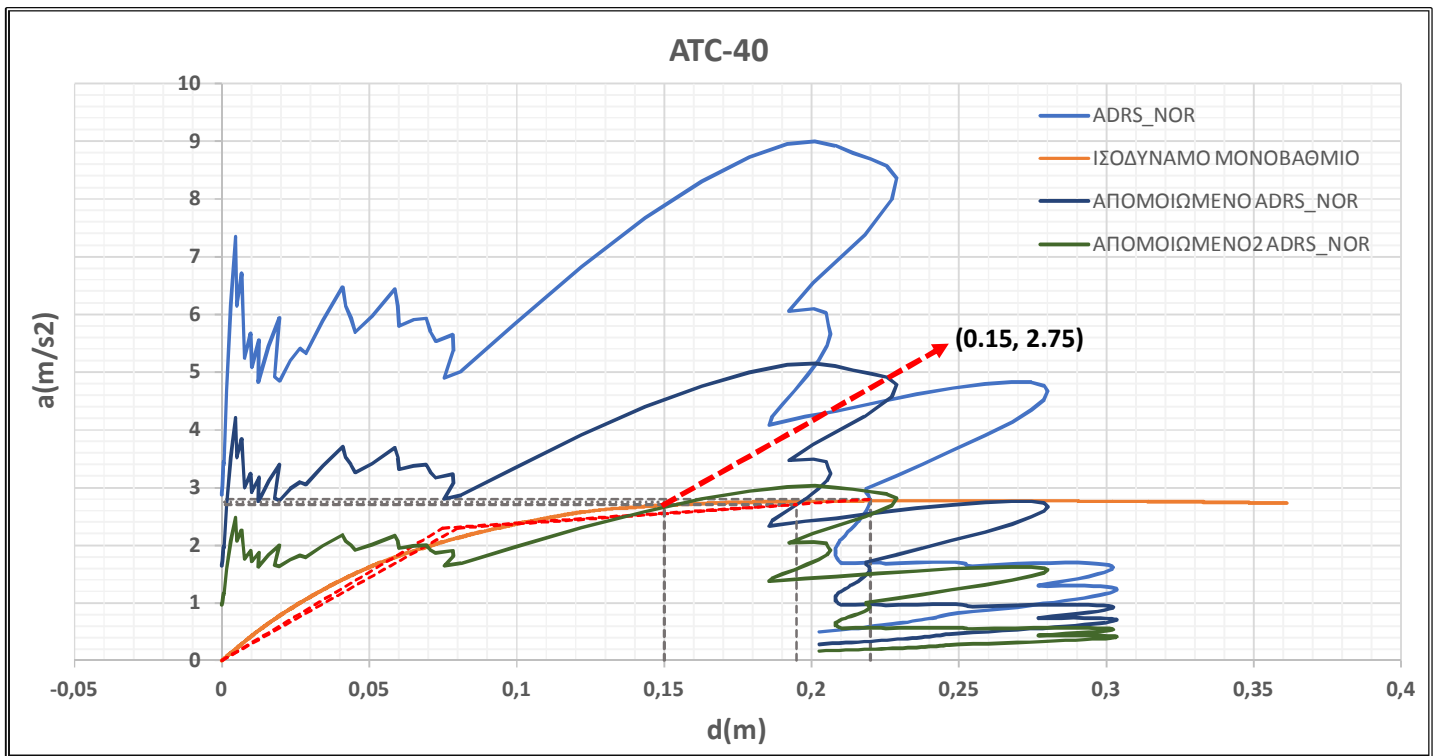


ΣΧΗΜΑ 5.3α: Στοχευόμενη μετατόπιση ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος σεισμού Καλαμάτας

Στοχευόμενη Μετακίνηση Κατασκευής $\Delta = \Gamma \cdot \phi_{top} \cdot d = 0.0788 \text{ m}$

Τέμνουσα Βάσης Κατασκευής $F_b = S_a \cdot a \cdot m_{tot} = 354.2788 \text{ Kn}$

ΣΕΙΣΜΟΣ NOR

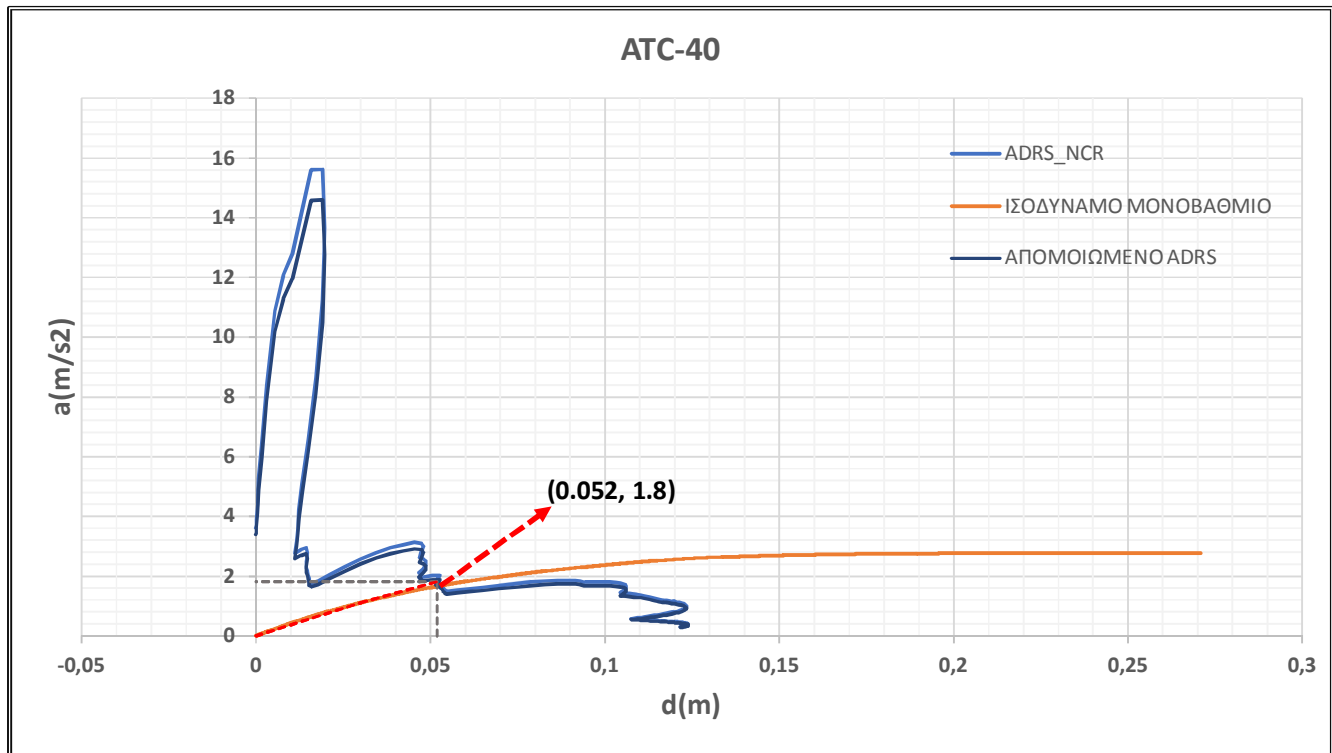


ΣΧΗΜΑ 5.3β: Στοχευόμενη μετατόπιση ισοδύναμο μονοβάθμιου συστήματος σεισμού NOR

Στοχευόμενη Μετακίνηση Κατασκευής $\Delta = \Gamma * \phi_{top} * d = 0.1907 \text{ m}$

Τέμνουσα Βάσης Κατασκευής $F_b = S_a * a * m_{tot} = 526.6307 \text{ kN}$

ΣΕΙΣΜΟΣ NRC

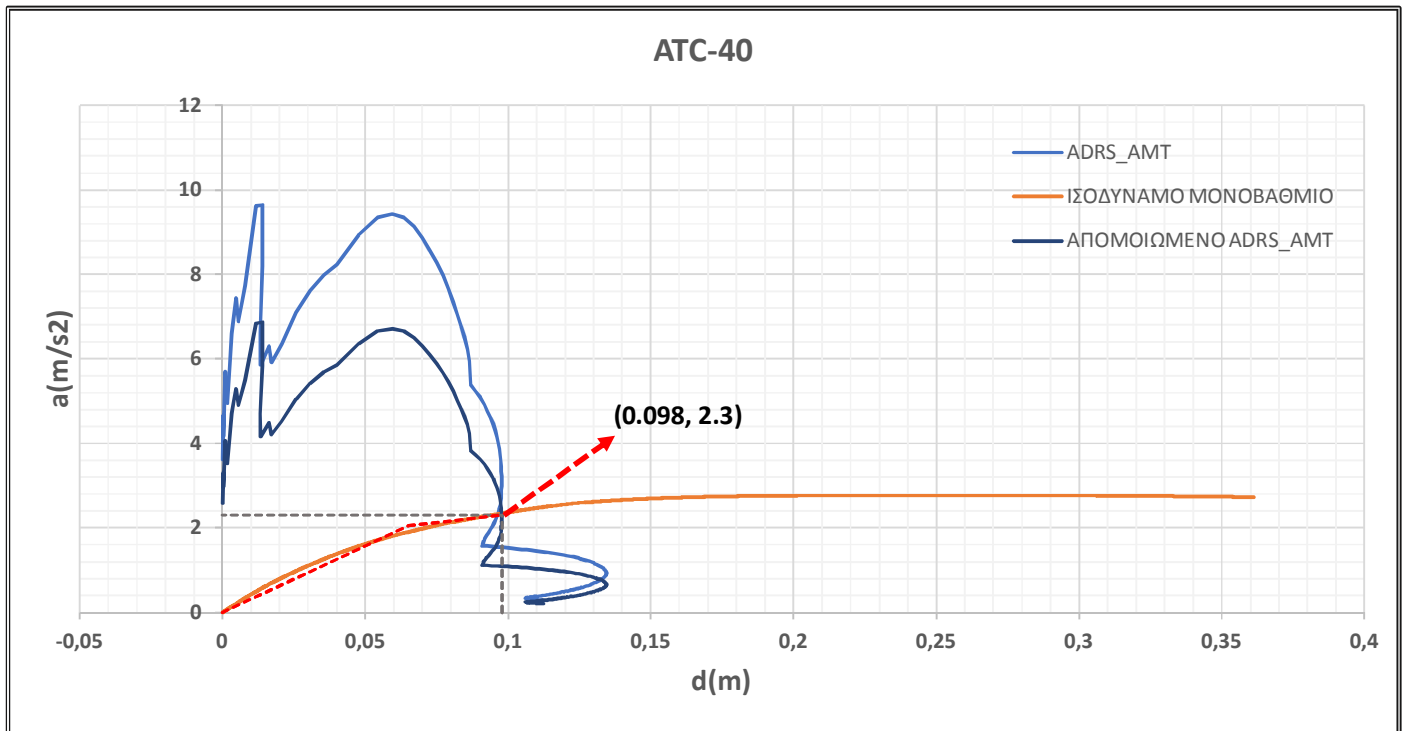


ΣΧΗΜΑ 5.3γ: Στοχευόμενη μετατόπιση ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος σεισμού NRC

Στοχευόμενη Μετακίνηση Κατασκευής $\Delta = \Gamma \cdot \phi_{top} \cdot d = 0.0661 \text{ m}$

Τέμνουσα Βάσης Κατασκευής $F_b = S_a \cdot a \cdot m_{tot} = 344.7037 \text{ kN}$

ΣΕΙΣΜΟΣ ΑΜΤ

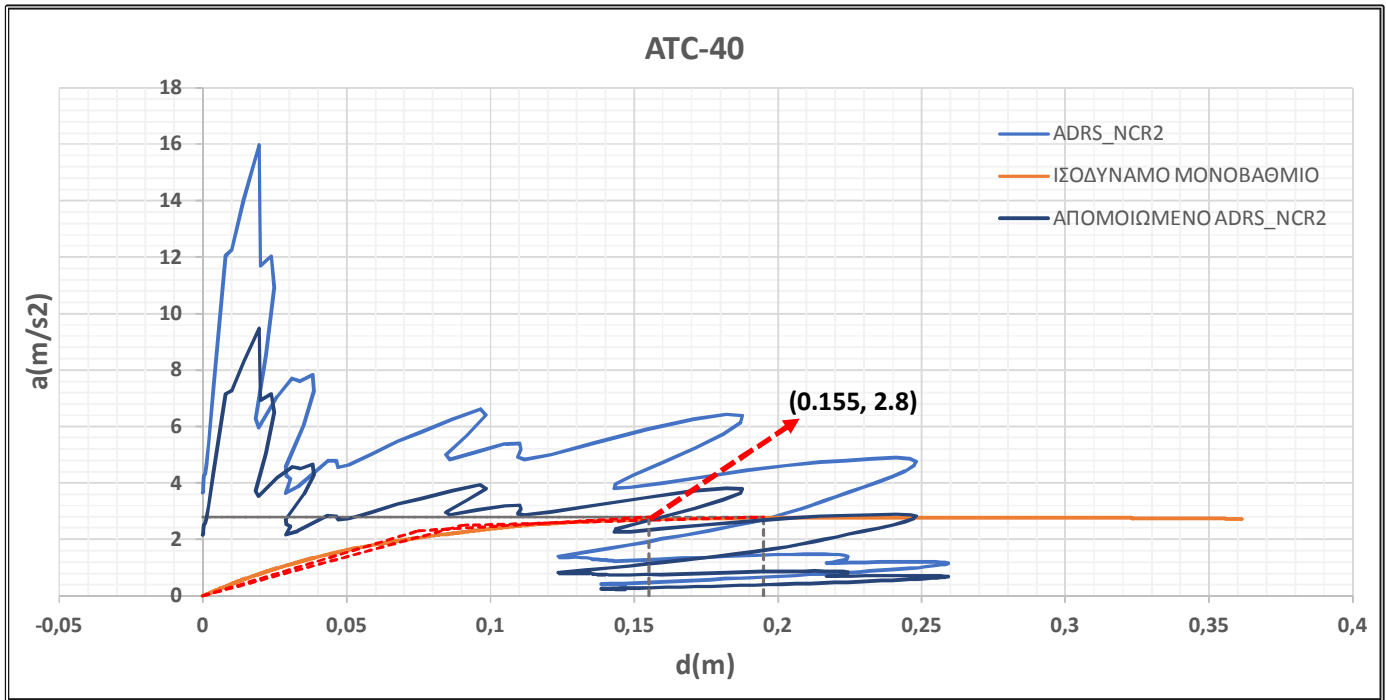


ΣΧΗΜΑ 5.3δ: Στοχευόμενη μετατόπιση ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος σεισμού ΑΜΤ

Στοχευόμενη Μετακίνηση Κατασκευής $\Delta = \Gamma \cdot \phi_{top} \cdot d = 0.1246 \text{ m}$

Τέμνουσα Βάσης Κατασκευής $F_b = S_a \cdot a \cdot m_{tot} = 440.4548 \text{ kN}$

ΣΕΙΣΜΟΣ NCR



ΣΧΗΜΑ 5.3ε: Στοχευόμενη μετατόπιση ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος σεισμού NCR

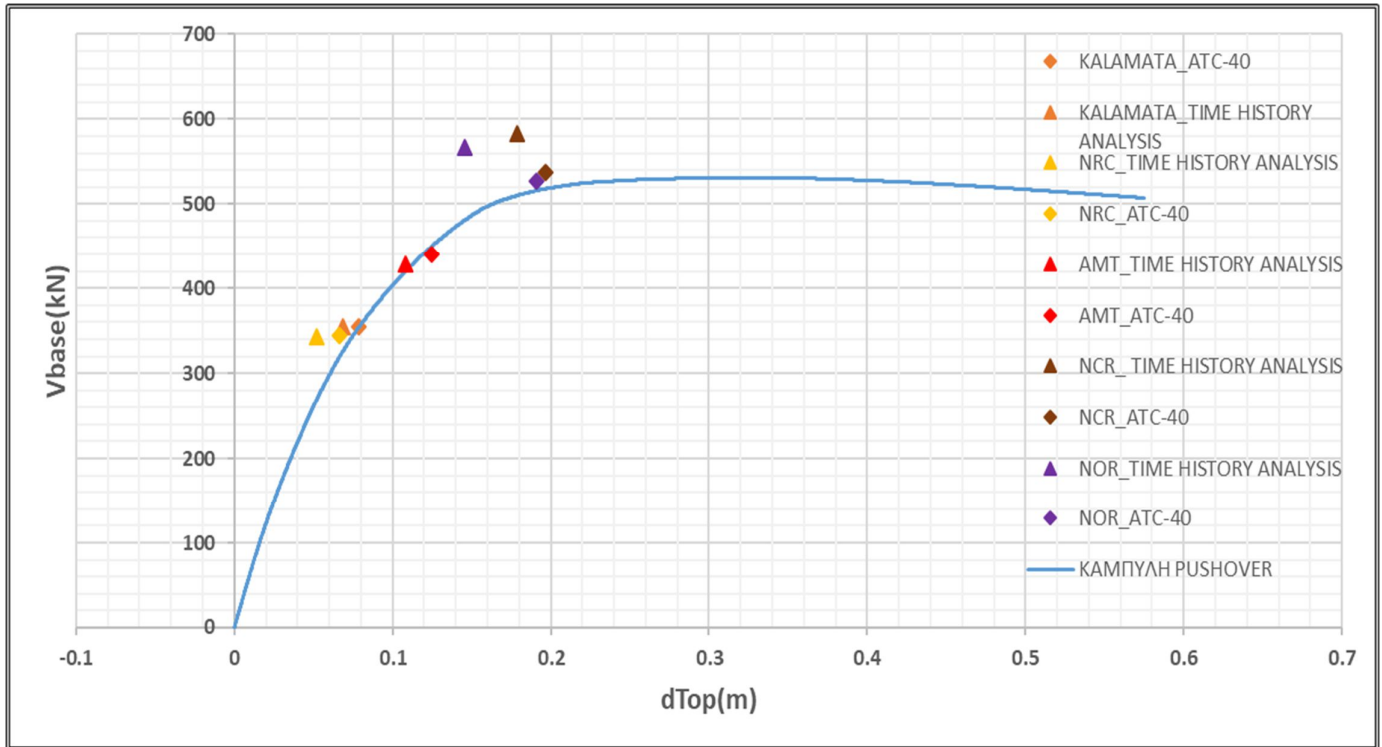
Στοχευόμενη Μετακίνηση Κατασκευής $\Delta = \Gamma * \phi_{top} * d = 0.1971 \text{ m}$

Τέμνουσα Βάσης Κατασκευής $F_b = S_a * a * m_{tot} = 536.2058 \text{ kN}$

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3: Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα με τη μέθοδο ATC-40

EARTHQUAKE	Δ_{top} (m) (ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΟΡΥΦΗΣ)	F_b (kN) (ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΒΑΣΗΣ)
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	0.078827	354.2788
NOR	0.190711	526.6307
NRC	0.066113	344.7037
AMT	0.124598	440.4548
NCR	0.197068	536.2058

5.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΜΕΘΟΔΟΥ ATC-40 ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑΣ ΜΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ



ΣΧΗΜΑ5.4: Σύγκριση dtop και Vbase δυναμικής ανάλυσης και pushover

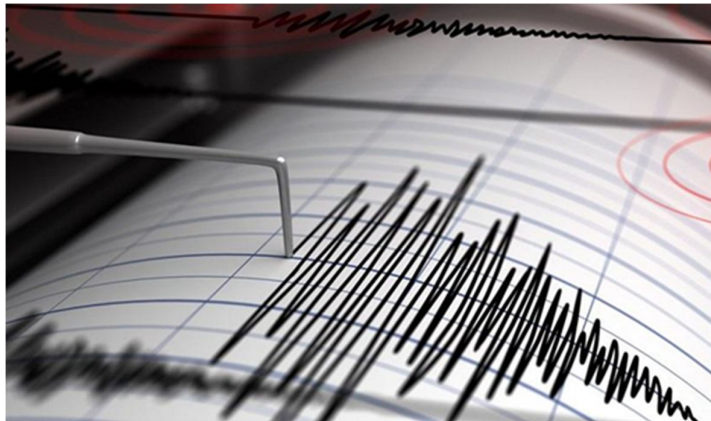
5.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΜΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Παρατηρείται ότι τα σημεία στοχευόμενης μετατόπισης και αντίστοιχης τέμνουσας δεν παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση για τις δύο αναλύσεις του μη ενισχυμένου κτηρίου, σε αντίθεση είναι πολύ κοντά. Φαίνεται επομένως τα αποτελέσματα της δυναμικής ανάλυσης να ακολουθούν αυτά της μη γραμμικής στατικής ανάλυσης.

5.6 Δυναμική Ανάλυση ενισχυμένου πλαισίου με λικνιζόμενο τοιχίο σε όλους τους ορόφους πλάτους **B** στο μεσαίο άνοιγμα

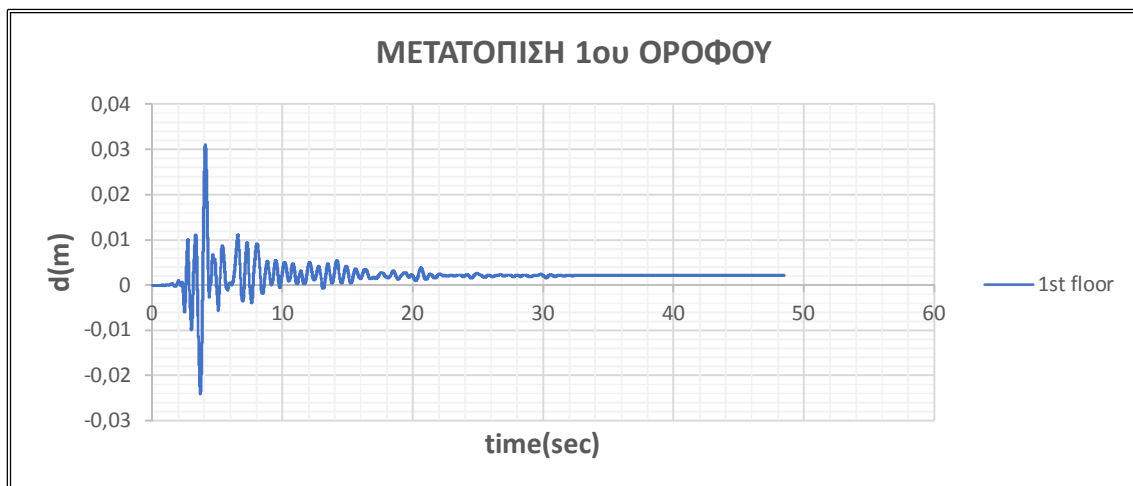
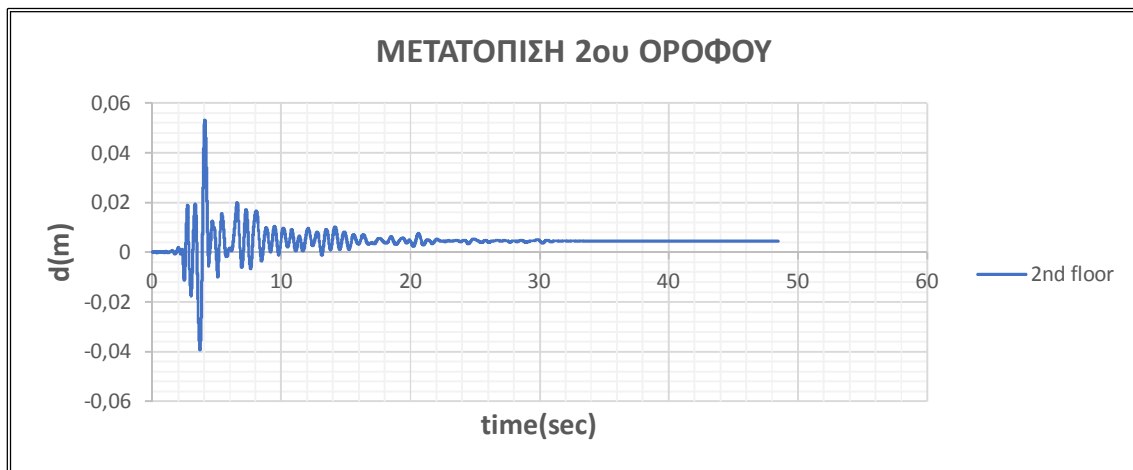
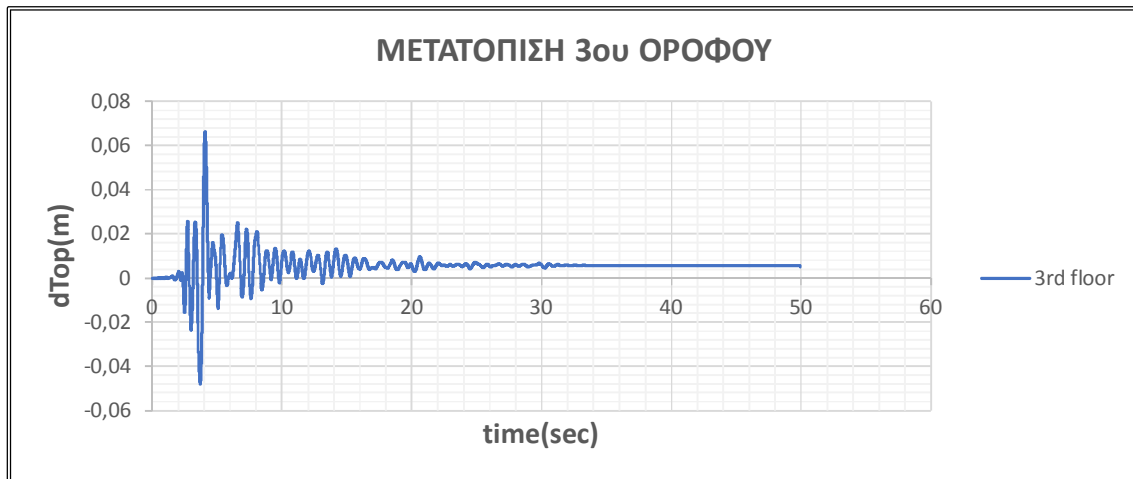
Πραγματοποιήθηκαν δυναμικές αναλύσεις (με Scale Factor=1.0) στα ενισχυμένα πλαίσια με ένα, δύο και τρία λικνιζόμενα τοιχία και ως παράμετρο το **πλάτος B** του τοιχίου. Δημιουργήθηκαν διαγράμματα μετατοπίσεων και drifts ορόφων, καθώς επίσης χρονιοιστορίες τεμνουσών βάσεων.

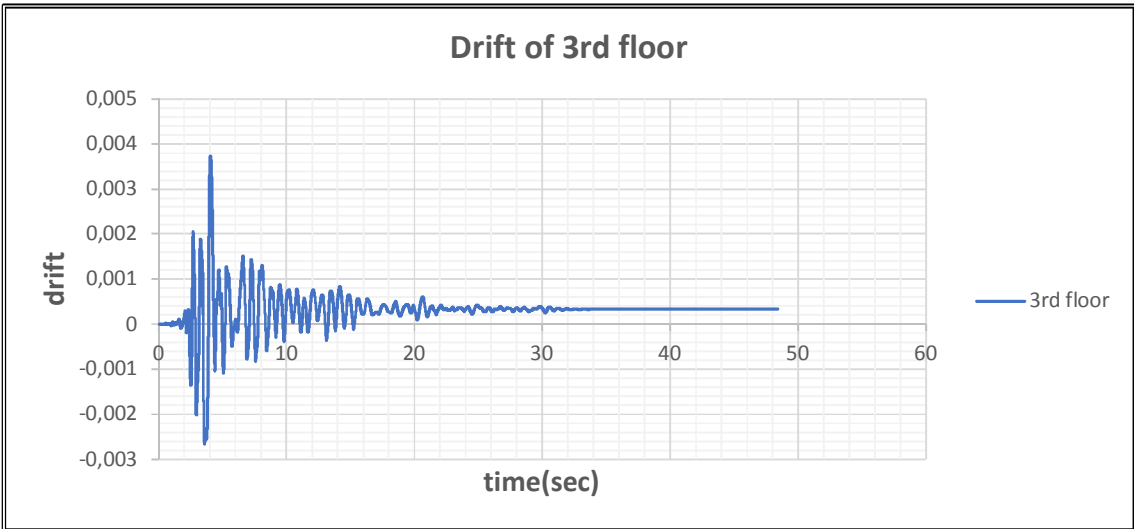
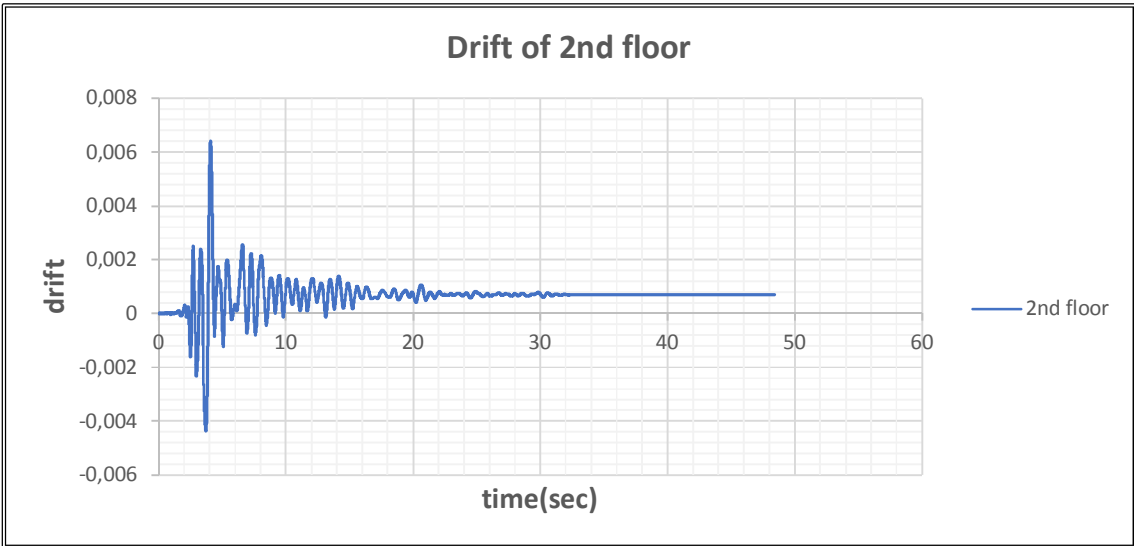
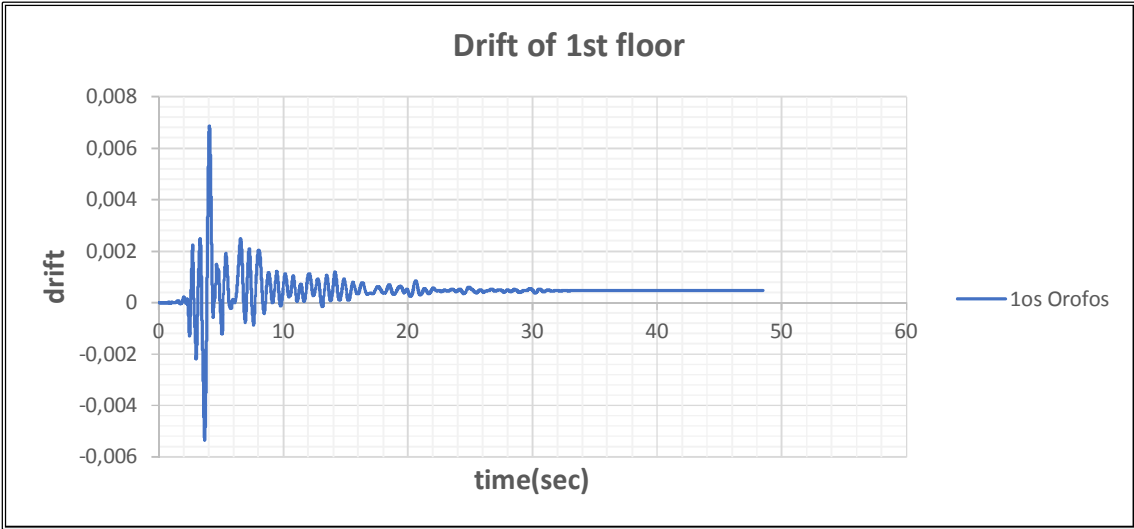
Λόγω πολλών μοντέλων και σεισμών και συνεπώς πολλών διαγραμμάτων, πιο κάτω παρουσιάζονται μόνο τα διαγράμματα για το ενισχυμένο πλαίσιο με **τρία λικνιζόμενα μέλη** πλάτους **B=1.5m** και στη συνέχεια τα ζεύγη (d_{max} , Vd_{max}) και (dV_{max} , V_{max}) επί της καμπύλης pushover του ενισχυμένου πλαισίου για ένα, δύο και τρία λικνιζόμενα τοιχία αντίστοιχα.

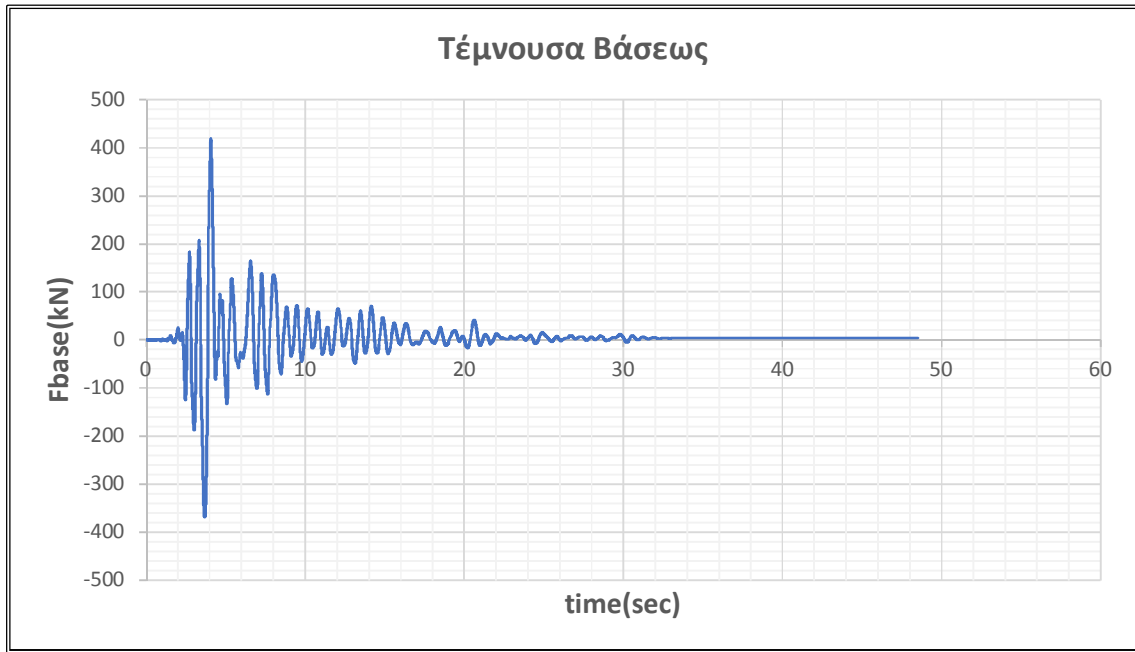


❖ $B=1.5m$ (Πλάτος Λικνιζόμενου Τοιχίου)

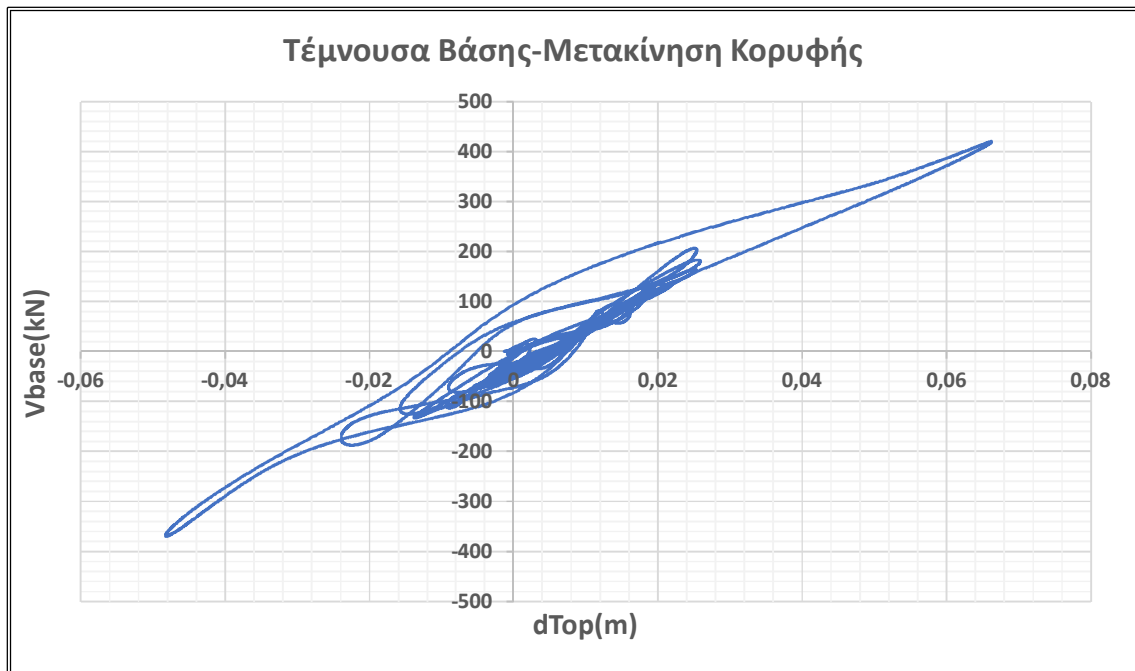
1. ΣΕΙΣΜΟΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ





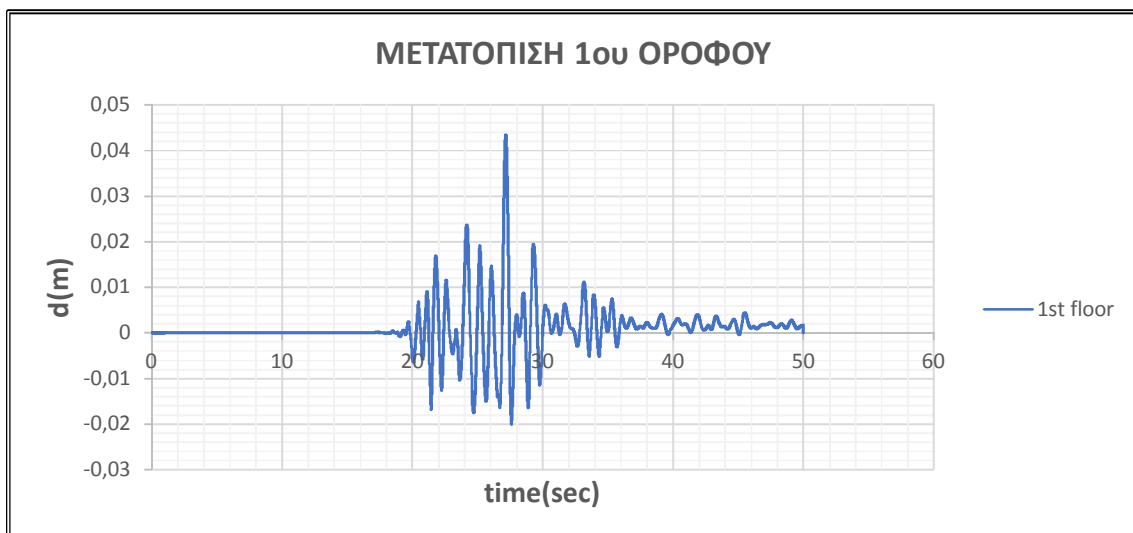
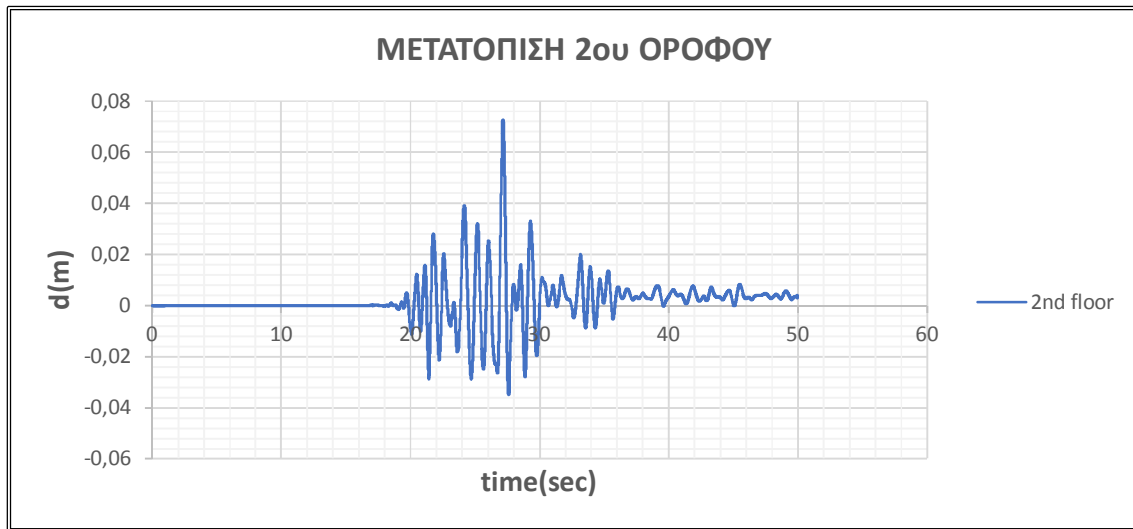
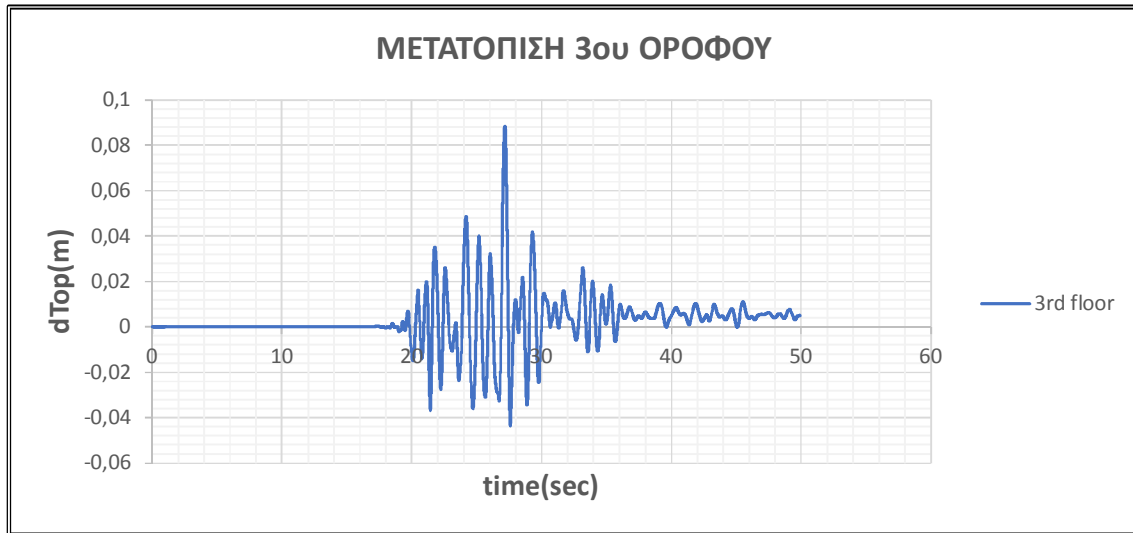


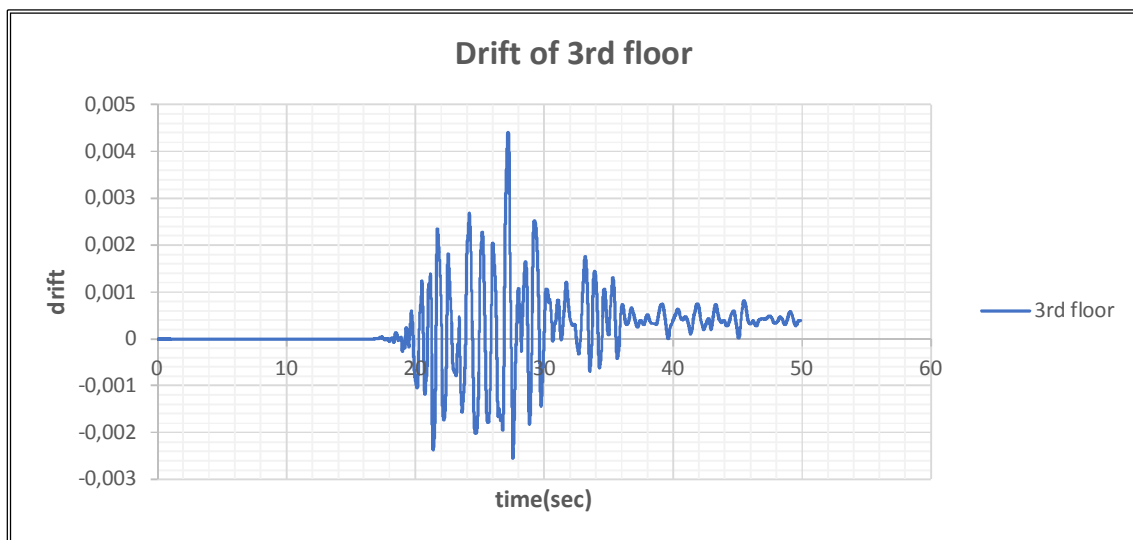
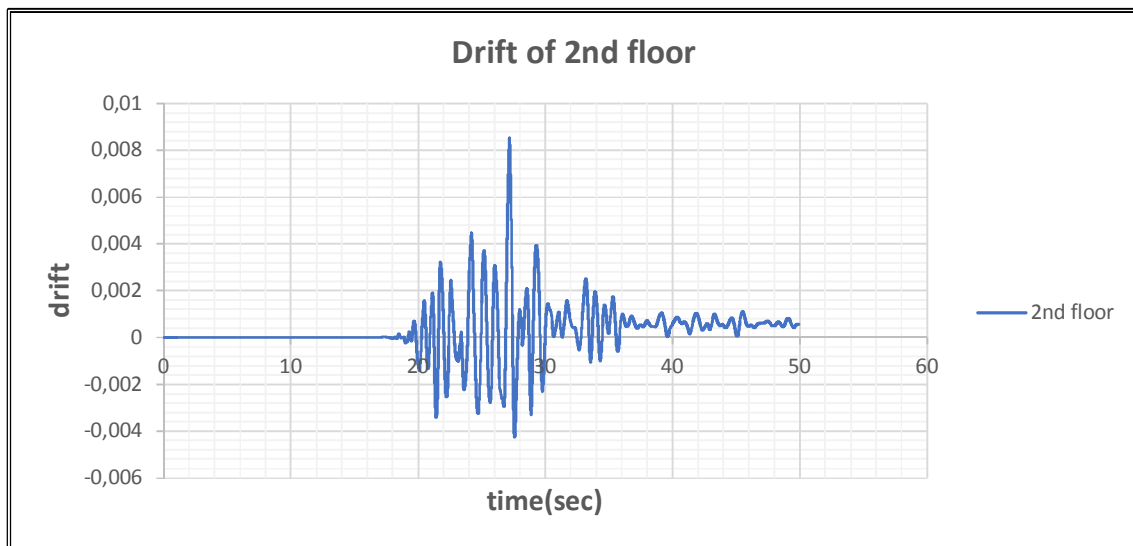
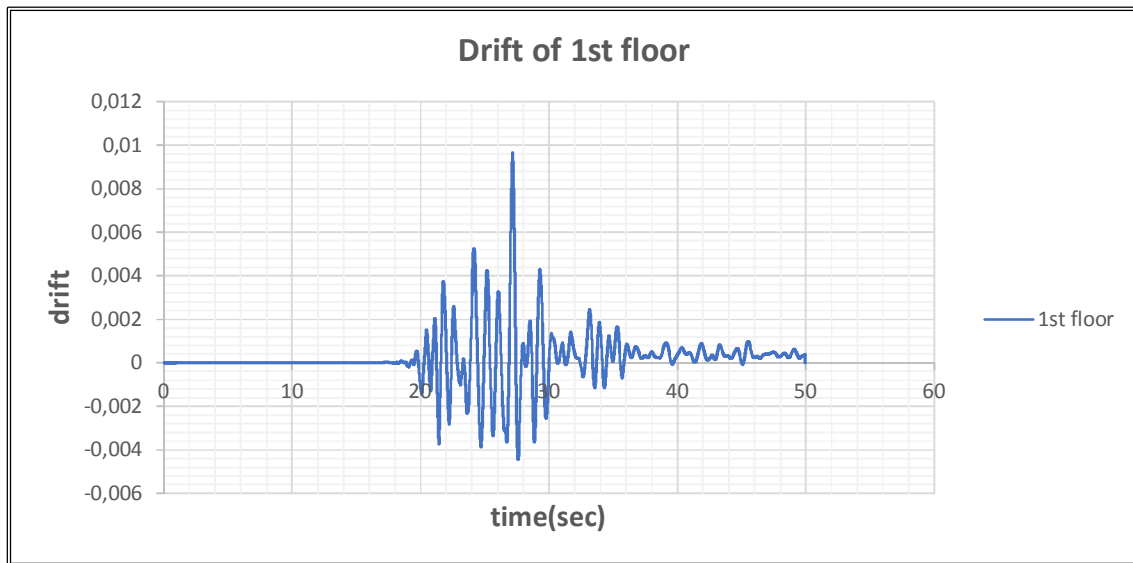
ΣΧΗΜΑ 5.6α: Χρονιστορία Τέμνουσα Βάσεως σεισμού 1



ΣΧΗΜΑ 5.6β: Τέμνουσα βάσεως-Μετακίνηση κορυφής σεισμού 1

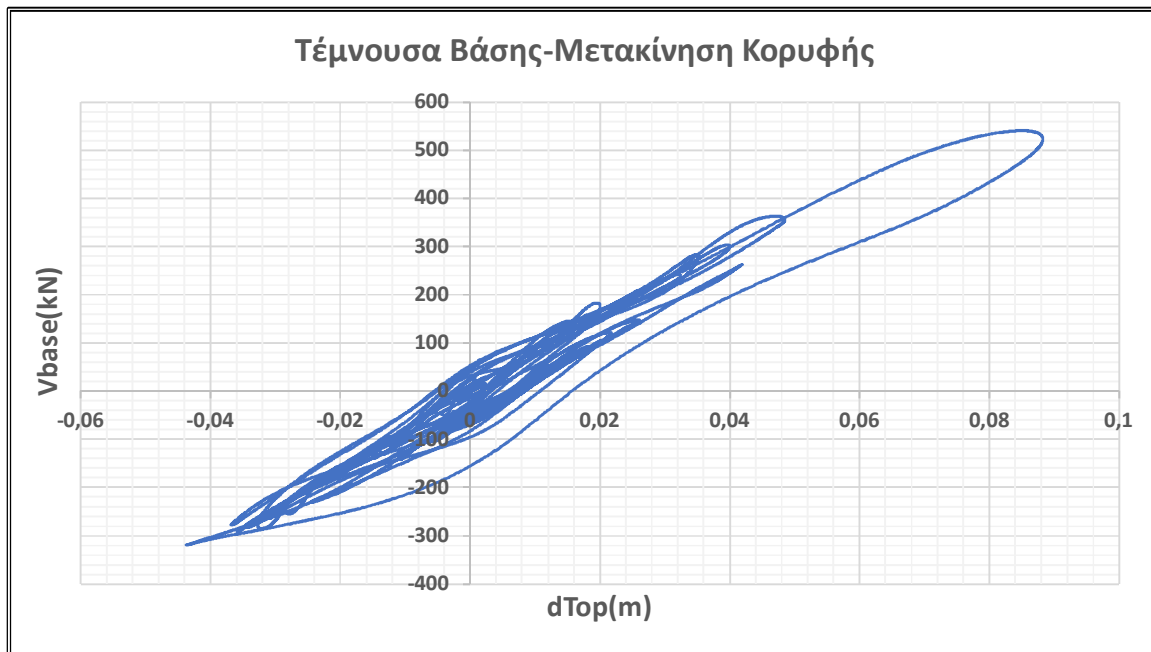
2. ΣΕΙΣΜΟΣ NOR





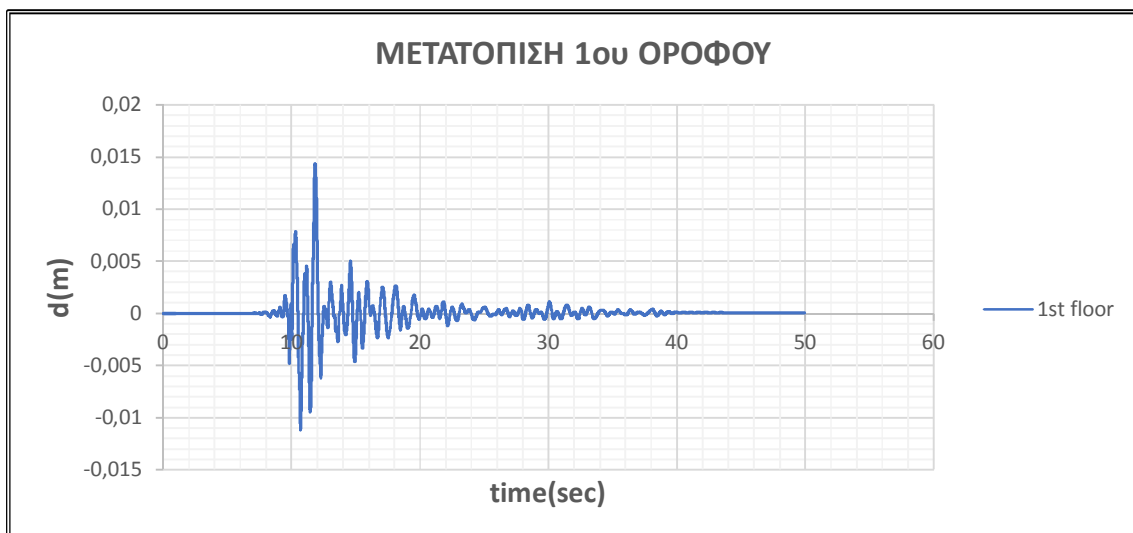
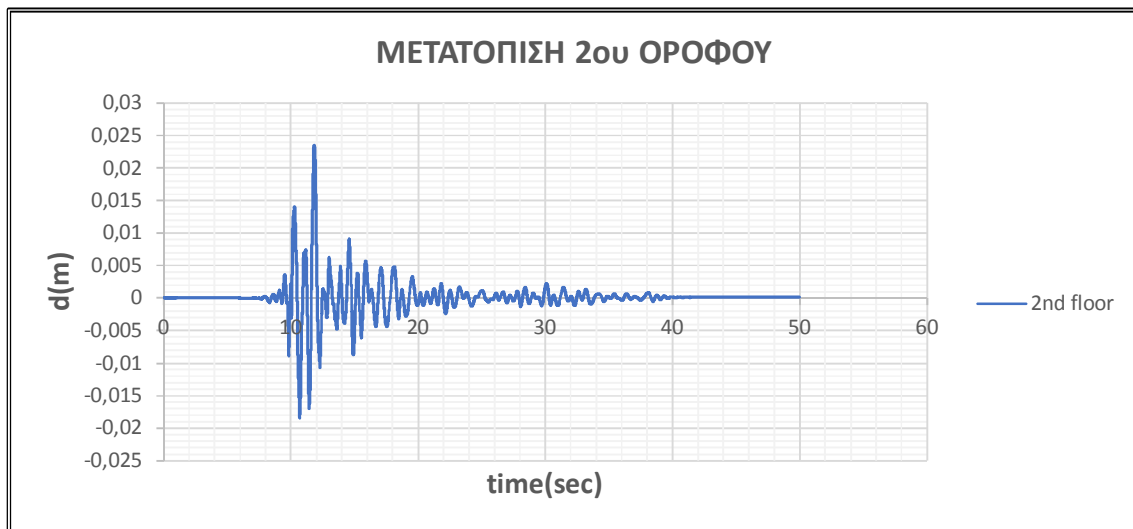
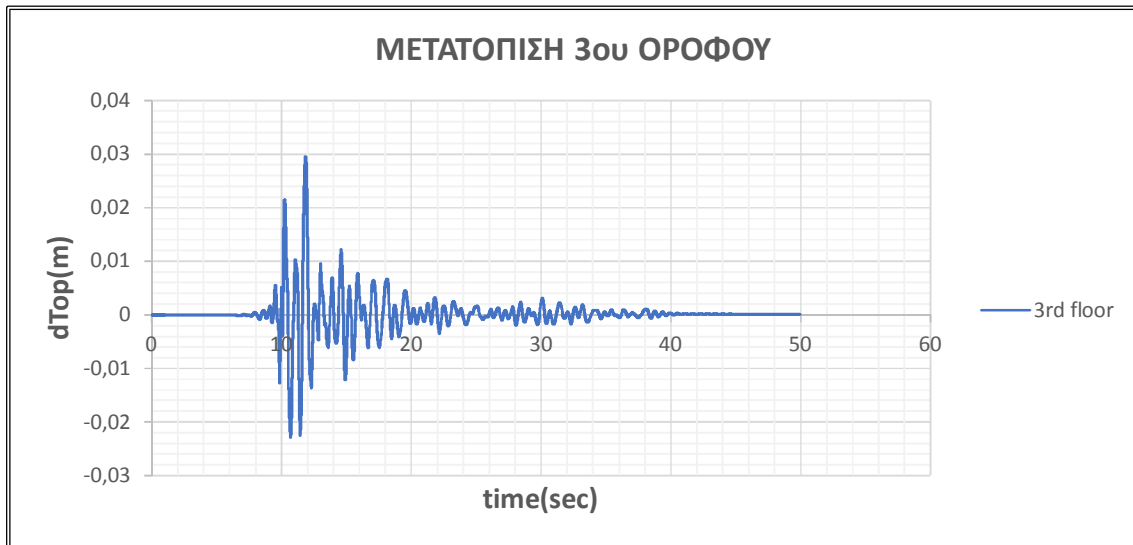


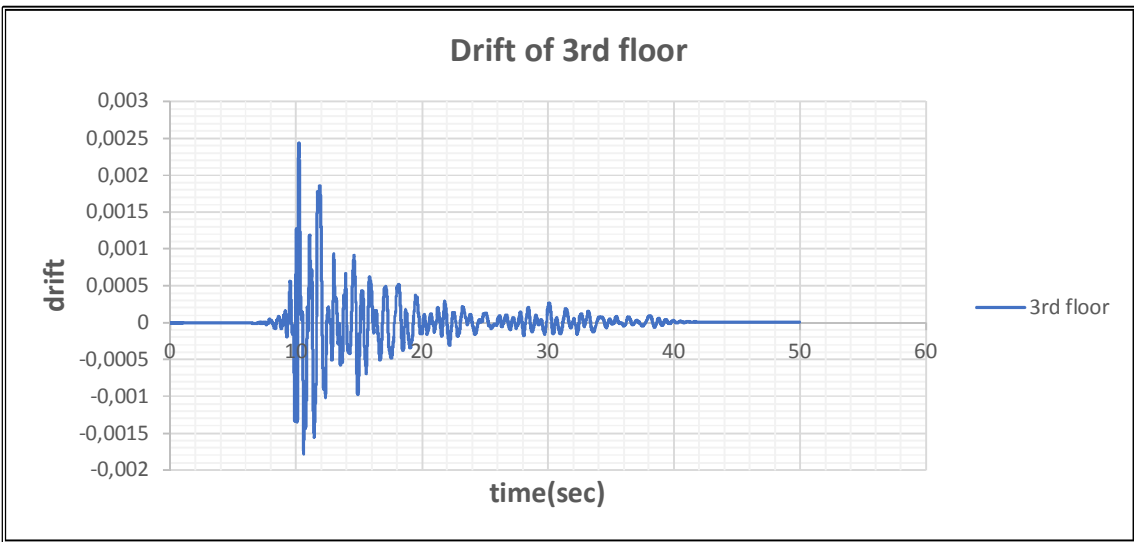
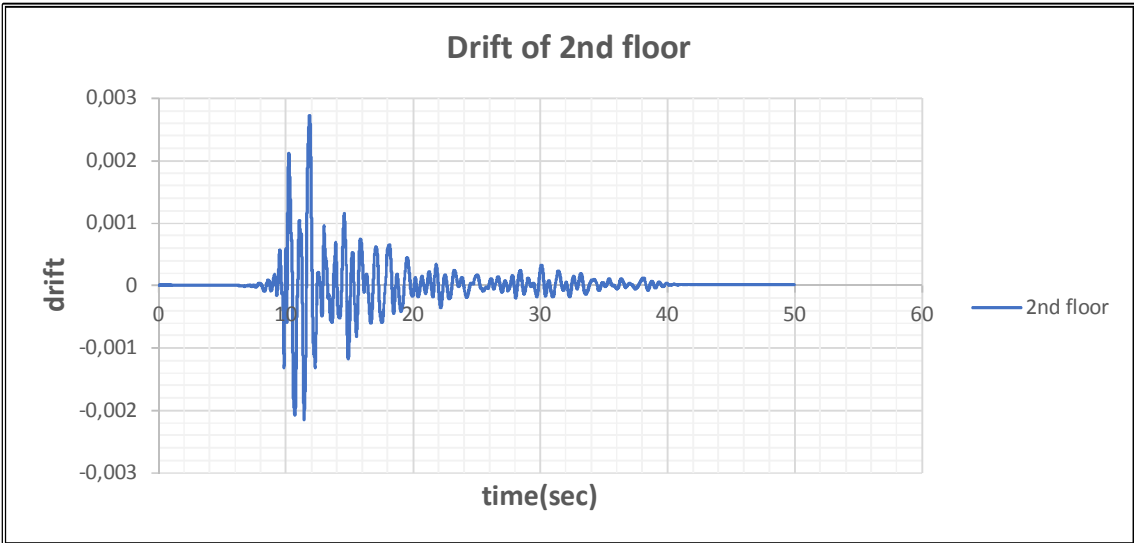
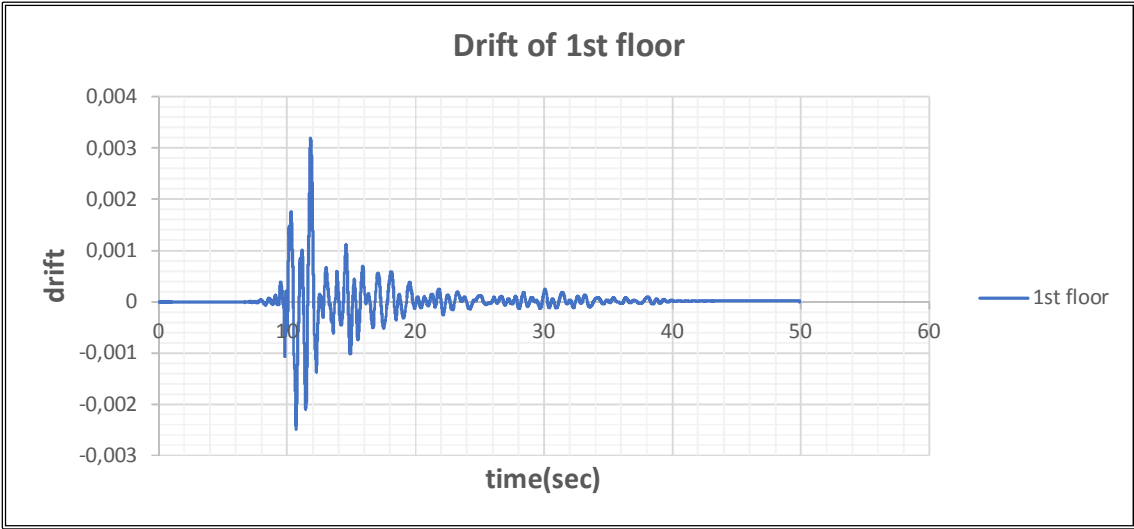
ΣΧΗΜΑ 5.6γ: Χρονιστορία Τέμνουσας Βάσεως σεισμού 2

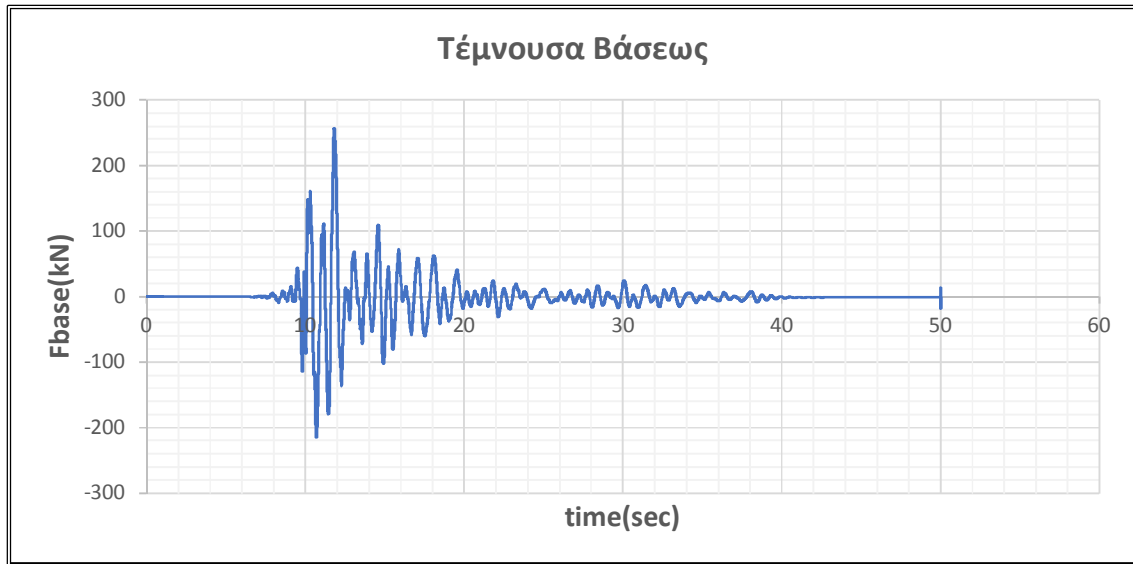


ΣΧΗΜΑ 5.6δ: Τέμνουσα βάσεως-Μετακίνηση κορυφής σεισμού 2

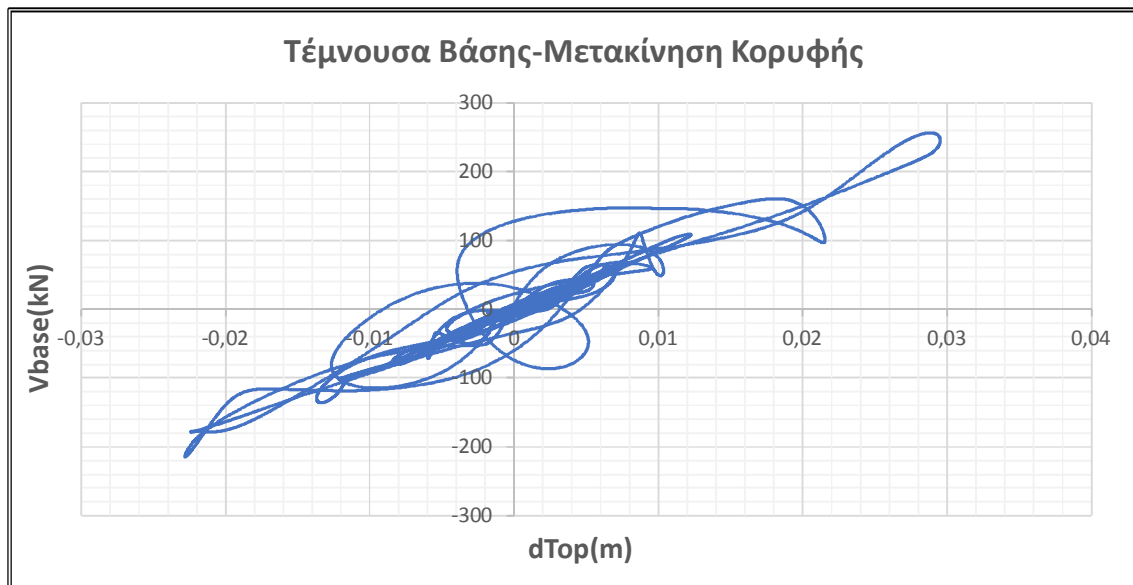
3. ΣΕΙΣΜΟΣ NRC





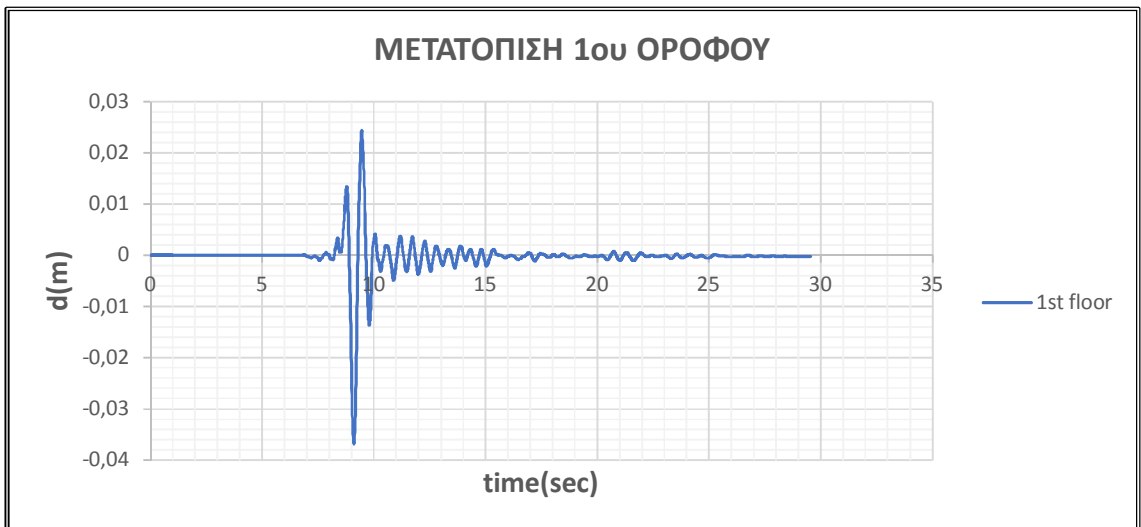
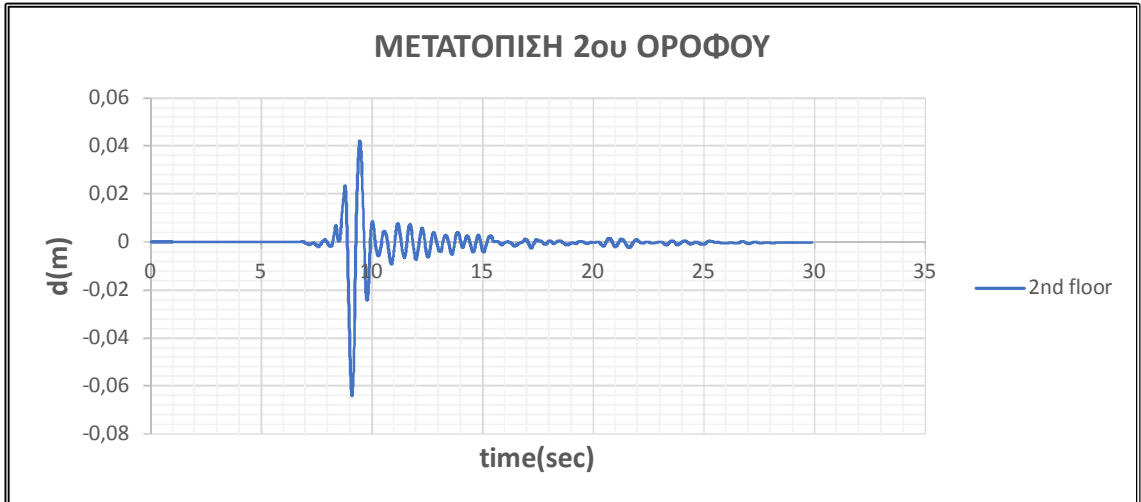


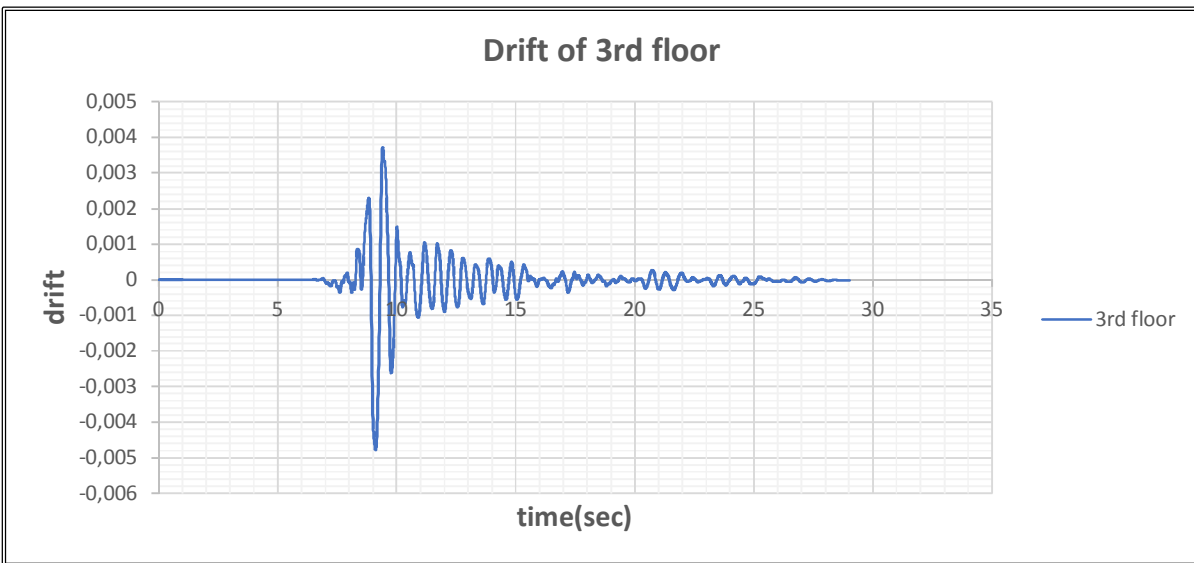
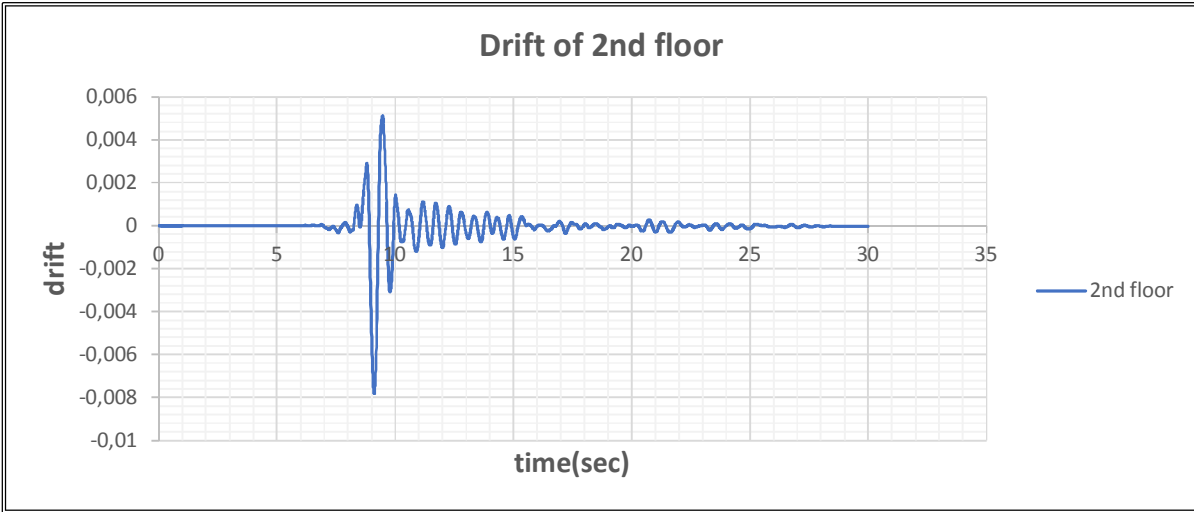
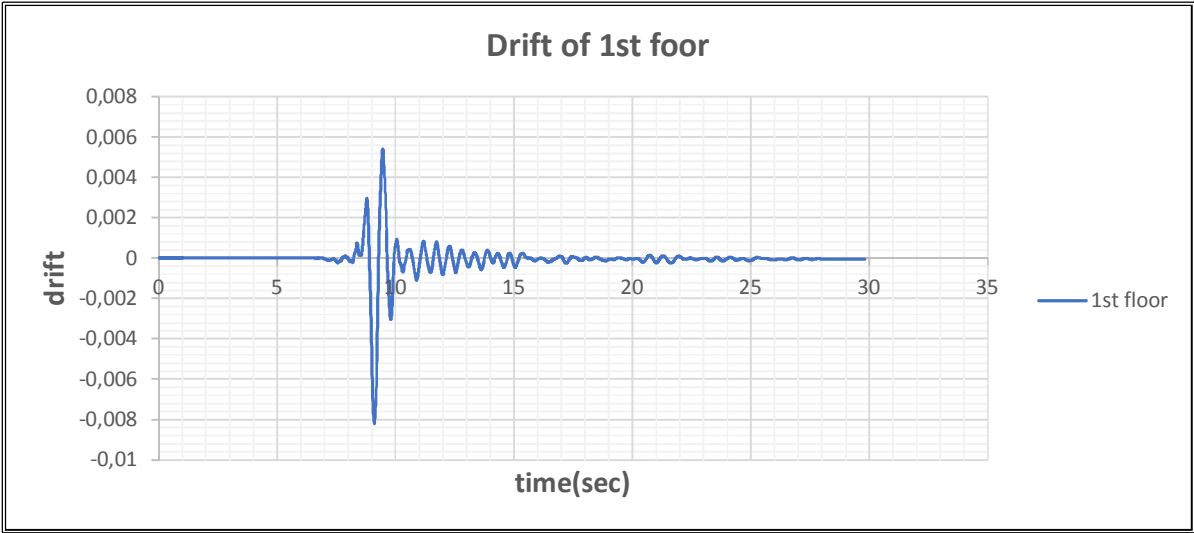
ΣΧΗΜΑ 5.6ε: Χρονοιστορία Τέμνουσας Βάσεως σεισμού 3



ΣΧΗΜΑ 5.6ζ: Τέμνουσα βάσεως-Μετακίνηση κορυφής σεισμού 3

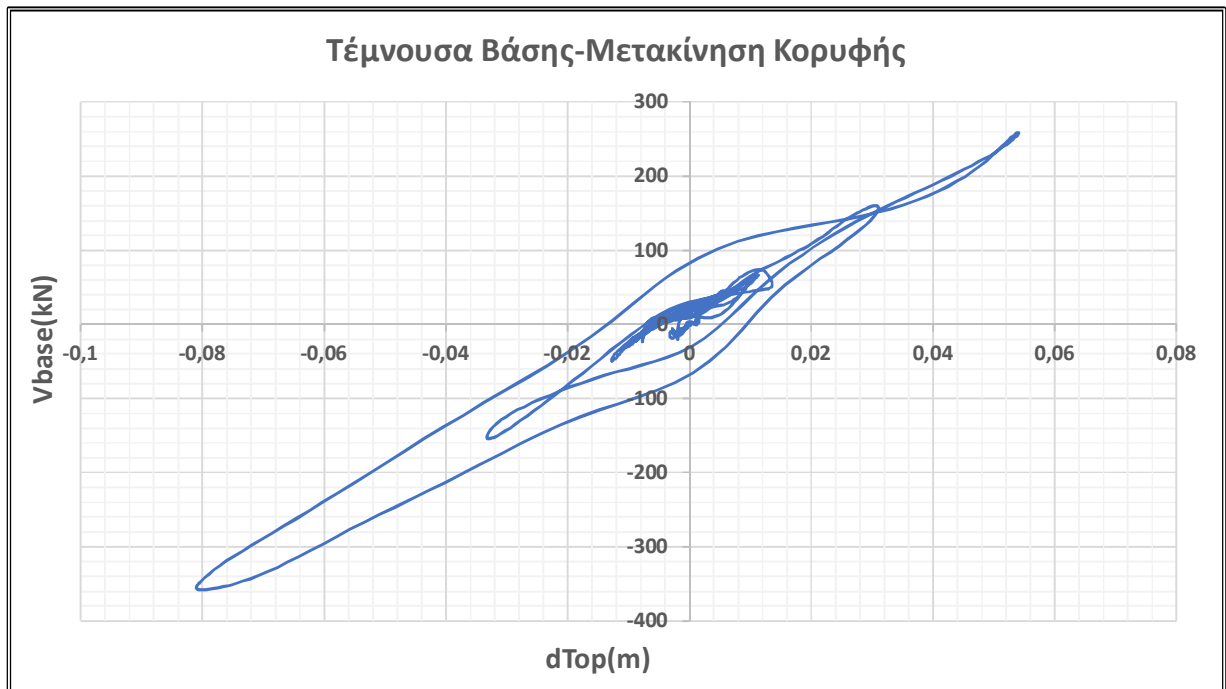
4. ΣΕΙΣΜΟΣ ΑΜΤ





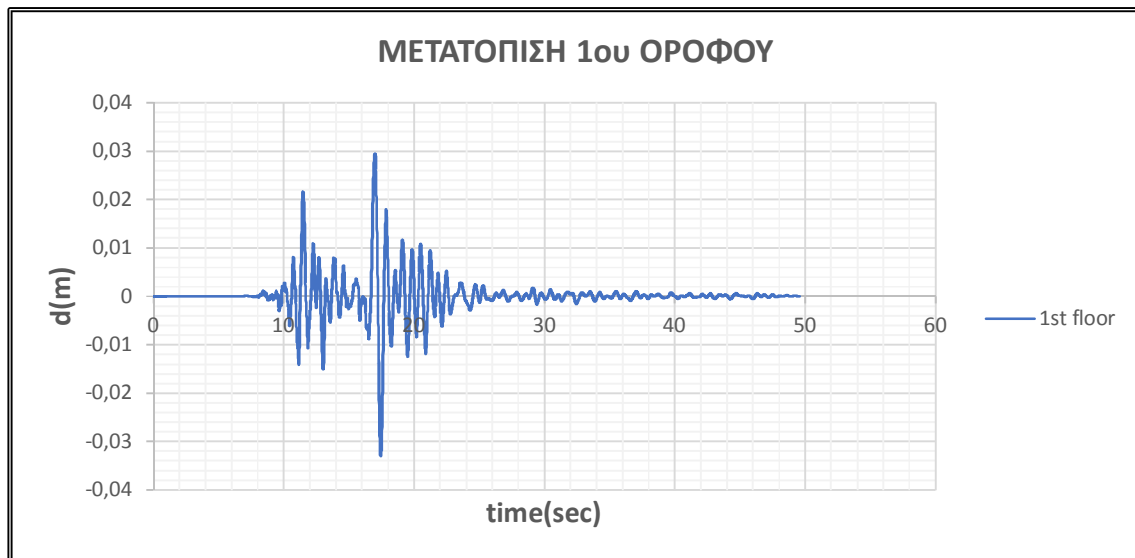
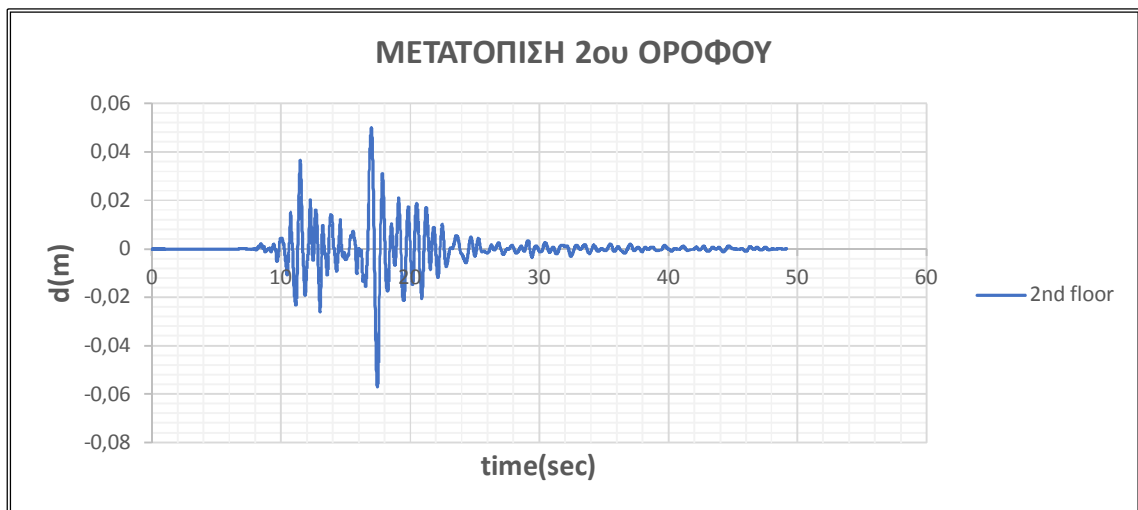
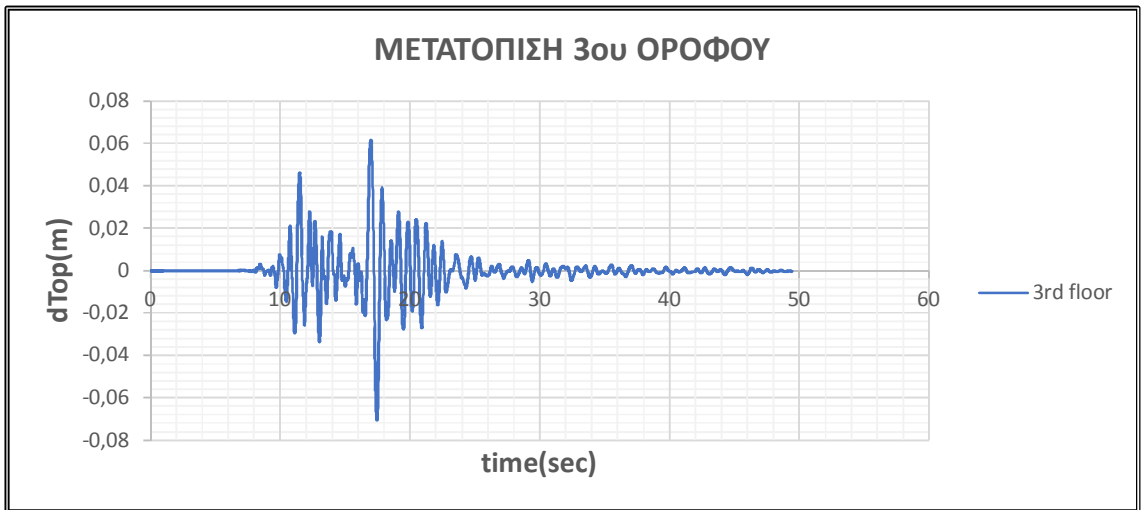


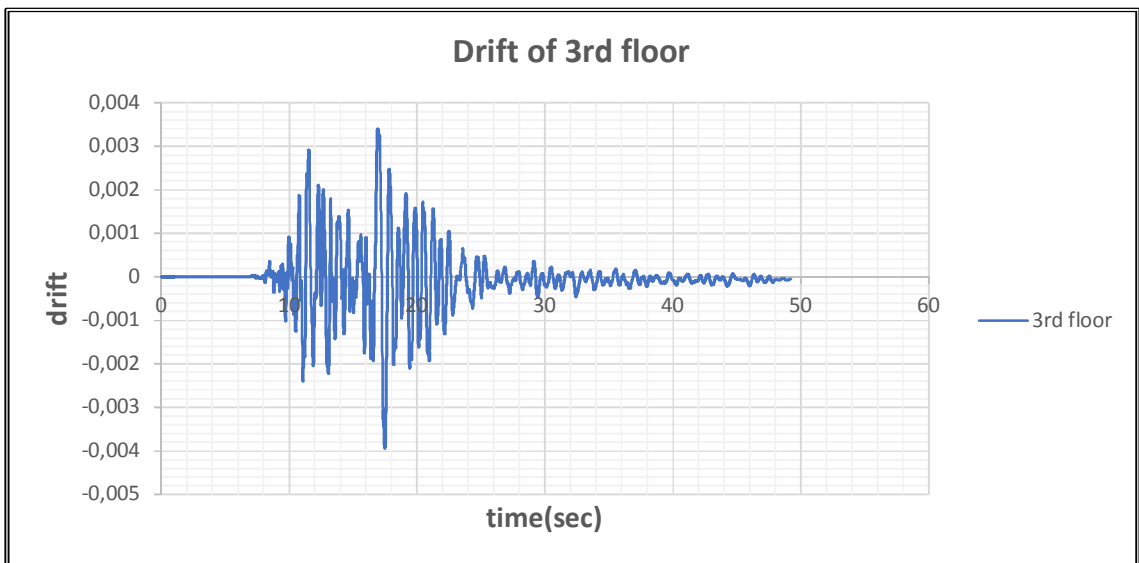
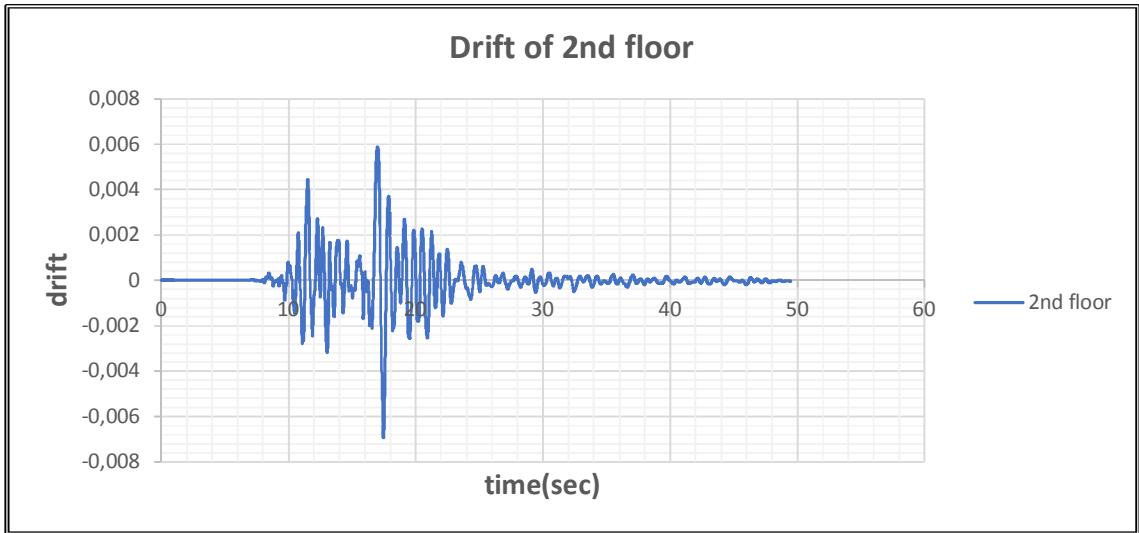
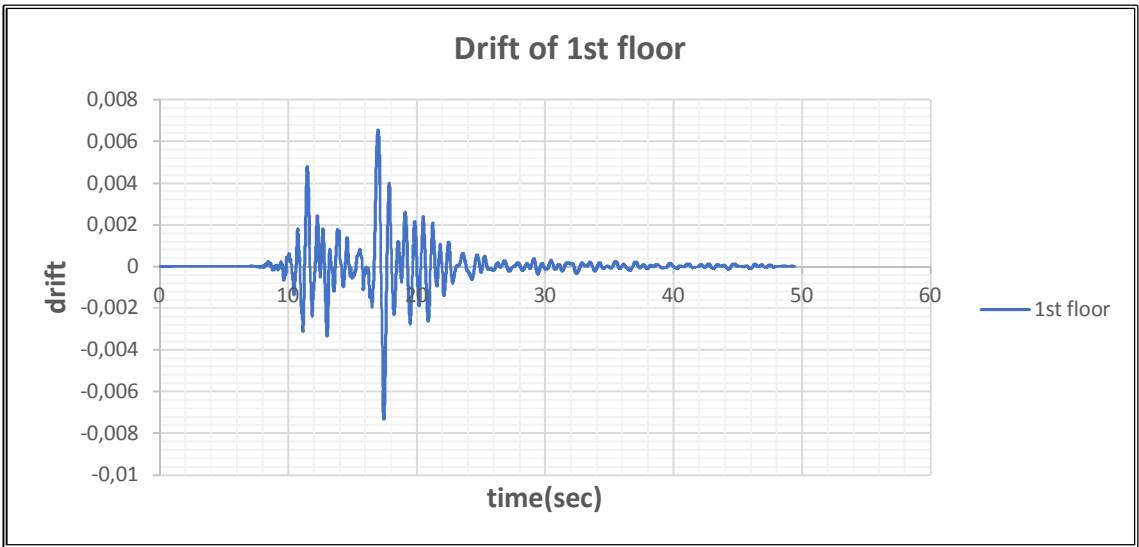
ΣΧΗΜΑ 5.6η: Χρονοιστορία Τέμνουσας Βάσεως σεισμού 4



ΣΧΗΜΑ 5.6θ: Τέμνουσα βάσεως-Μετακίνηση κορυφής σεισμού 4

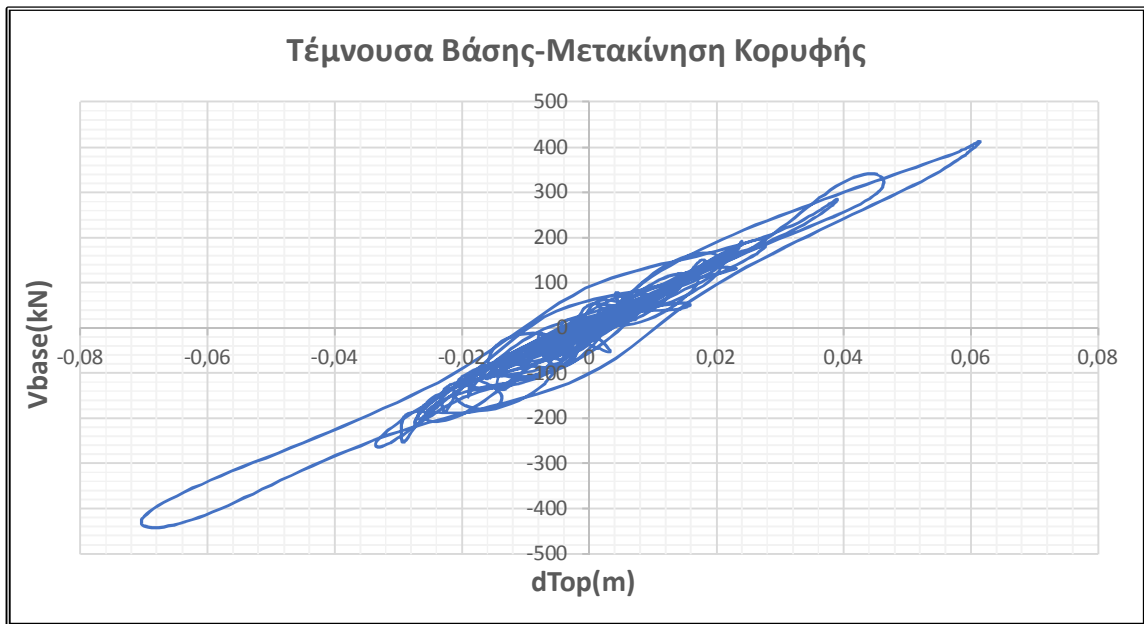
5. ΣΕΙΣΜΟΣ NCR







ΣΧΗΜΑ 5.6ι: Χρονοιστορία Τέμνουσας Βάσεως σεισμού 5



ΣΧΗΜΑ 5.6κ: Τέμνουσα βάσεως-Μετακίνηση κορυφής σεισμού 5

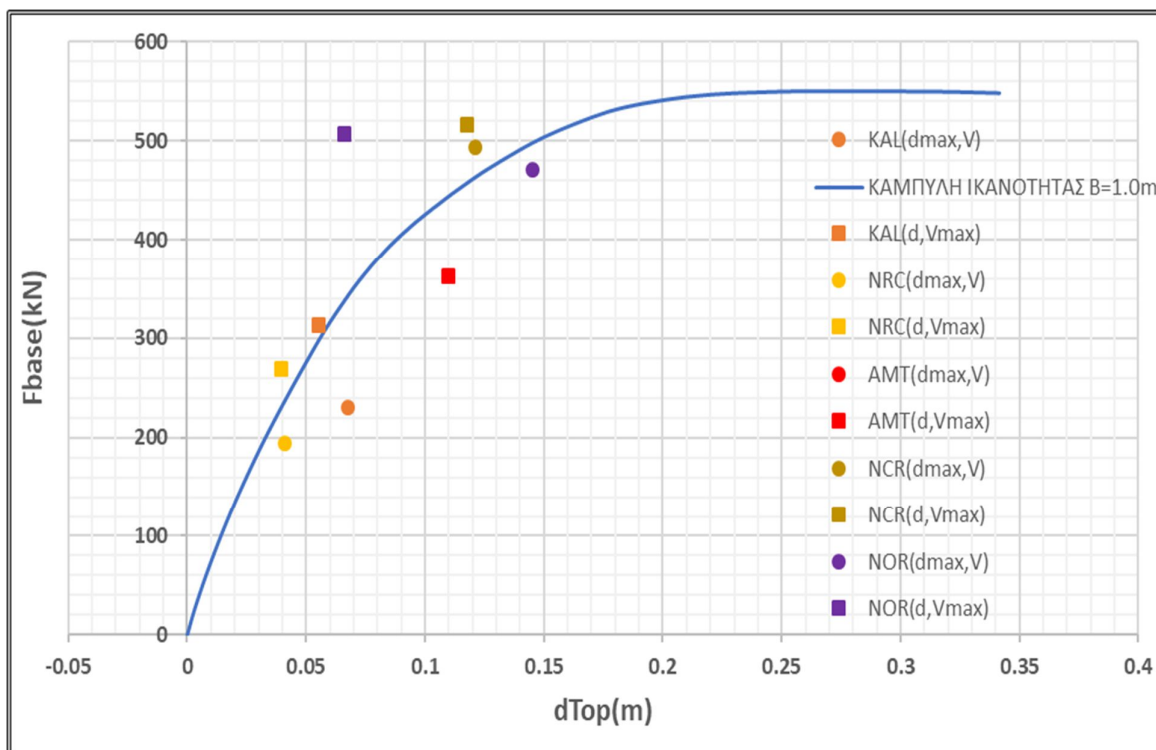
**ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΜΕ ΛΙΚΝΙΖΟΜΕΝΟ ΤΟΙΧΙΟ ΠΛΑΤΟΥΣ
B=1.0m ΣΤΟ ΙΣΟΓΕΙΟ**

Για κάθε σεισμική διέγερση καταγράφεται η μέγιστη μετακίνηση κορυφής με την ταυτόχρονη τέμνουσα βάσης (d_{max} , V_{dmax}) και η μέγιστη τέμνουσα βάσης με την ταυτόχρονη μετακίνηση κορυφής (d_{Vmax} , V_{max}). Οι τιμές των μεγίστων κατ' απόλυτη τιμή δίνονται στον Πίνακα 5.6α.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6α: Σεισμική Απόκριση ενισχυμένου πλαισίου B=1.0m στο ισόγειο

EARTHQUAKE	d_{max} (m)	V_{dmax} (KN)	d_{Vmax} (m)	V_{max} (KN)
KALAMATA	0.0678264	230.1463	0.0552048	312.8521
NOR	0.145	317.4625	0.0660186	506.68
NRC	0.0410297	194.0309	0.039747	268.6426
AMT	0.109654	362.7147	0.109654	362.7147
NCR	0.121202	493.533	0.11787	516.066

Τα παραπάνω ζεύγη τιμών σχεδιάζονται στο ίδιο διάγραμμα με την καμπύλη ικανότητας (pushover) του ενισχυμένου τριώροφου πλαισίου, προκειμένου να γίνουν οι απαιτούμενες συγκρίσεις (σχήμα 5.6λ).



ΣΧΗΜΑ 5.6λ: Ζεύγη (d_{max} , V_{dmax}) και (d_{Vmax} , V_{max}) επί της καμπύλης pushover του ενισχυμένου πλαισίου B=1.0m στο ισόγειο

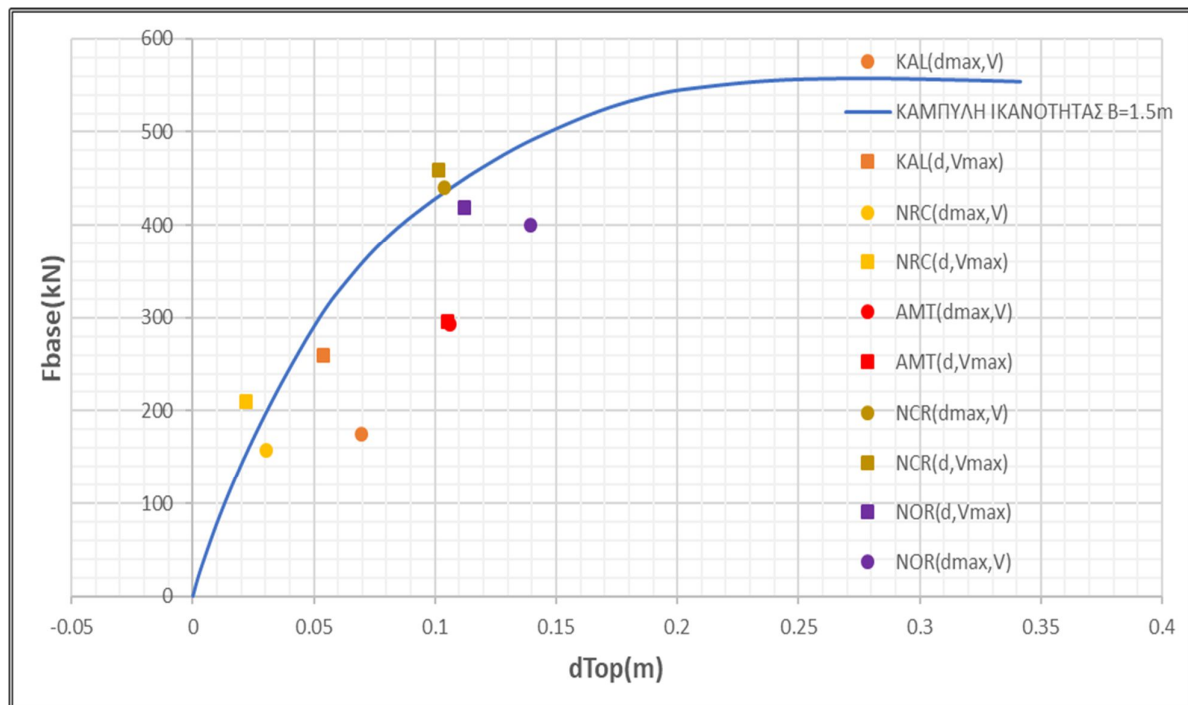
**ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΜΕ ΛΙΚΝΙΖΟΜΕΝΟ ΤΟΙΧΙΟ ΠΛΑΤΟΥΣ
B=1.5m ΣΤΟ ΙΣΟΓΕΙΟ**

Για κάθε διέγερση καταγράφεται η μέγιστη μετακίνηση κορυφής με την ταυτόχρονη τέμνουσα βάσης (d_{max} , V_{dmax}) και η μέγιστη τέμνουσα βάσης με την ταυτόχρονη μετακίνηση κορυφής (d_{Vmax} , V_{max}). Οι τιμές των μεγίστων κατ' απόλυτη τιμή δίνονται στον Πίνακα 5.6β.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6β: Σεισμική Απόκριση ενισχυμένου πλαισίου B=1.5m στο ισόγειο

EARTHQUAKE	d_{max} (m)	V_{dmax} (KN)	d_{Vmax} (m)	V_{max} (KN)
KALAMATA	0.0694201	174.53417	0.0538337	259.4462
NOR	0.1395	400.801	0.1122	418.478
NRC	0.0304585	158.0616	0.0218688	209.8168
AMT	0.105932	292.4631	0.105291	295.2491
NCR	0.103725	440.9988	0.101332	458.4863

Τα παραπάνω ζεύγη τιμών σχεδιάζονται στο ίδιο διάγραμμα με την καμπύλη ικανότητας (pushover) του ενισχυμένου τριώροφου πλαισίου, προκειμένου να γίνουν οι απαιτούμενες συγκρίσεις (σχήμα 5.6μ).



ΣΧΗΜΑ 5.6μ: Ζεύγη (d_{max} , V_{dmax}) και (d_{Vmax} , V_{max}) επί της καμπύλης pushover του ενισχυμένου πλαισίου B=1.5m στο ισόγειο

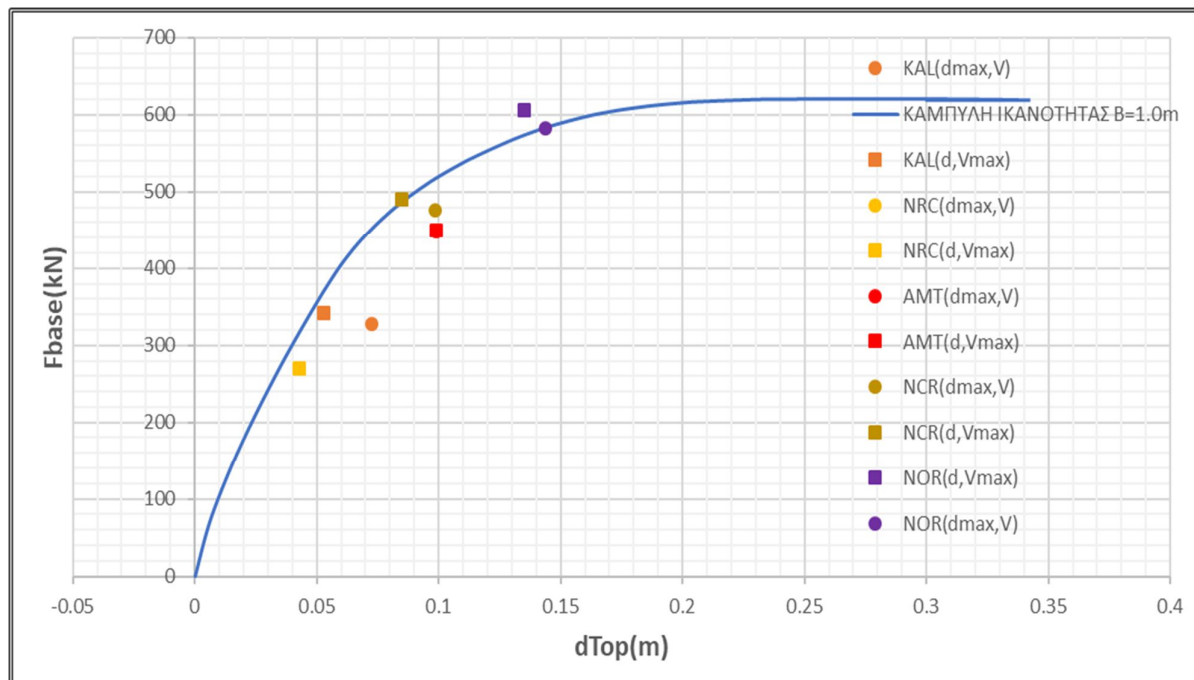
**ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΜΕ ΛΙΚΝΙΖΟΜΕΝΟ ΤΟΙΧΙΟ ΠΛΑΤΟΥΣ
B=1.0m ΣΤΟ ΙΣΟΓΕΙΟ ΚΑΙ 1^ο ΟΡΟΦΟ**

Για κάθε διέγερση καταγράφεται η μέγιστη μετακίνηση κορυφής με την ταυτόχρονη τέμνουσα βάσης (d_{max} , V_{dmax}) και η μέγιστη τέμνουσα βάσης με την ταυτόχρονη μετακίνηση κορυφής (d_{Vmax} , V_{max}). Οι τιμές των μεγίστων κατ' απόλυτη τιμή δίνονται στον Πίνακα 5.6γ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6γ: Σεισμική Απόκριση ενισχυμένου πλαισίου B=1.0m στο ισόγειο και 1^ο όροφο

EARTHQUAKE	d_{max} (m)	V_{dmax} (KN)	d_{Vmax} (m)	V_{max} (KN)
KALAMATA	0.07267	328.477	0.052692	341.755
NOR	0.14396	582.712	0.135246	606.03
NRC	0.04306	269.545	0.042873	270.23
AMT	0.09912	448.822	0.099066	449.0383
NCR	0.09843	476.969	0.084936	489.751

Τα παραπάνω ζεύγη τιμών σχεδιάζονται στο ίδιο διάγραμμα με την καμπύλη ικανότητας (pushover) του ενισχυμένου τριώροφου πλαισίου, προκειμένου να γίνουν οι απαιτούμενες συγκρίσεις (σχήμα 5.6ν).



ΣΧΗΜΑ 5.6ν: Ζεύγη (d_{max} , V_{dmax}) και (d_{Vmax} , V_{max}) επί της καμπύλης pushover του ενισχυμένου πλαισίου B=1.0m στο ισόγειο και 1^ο όροφο

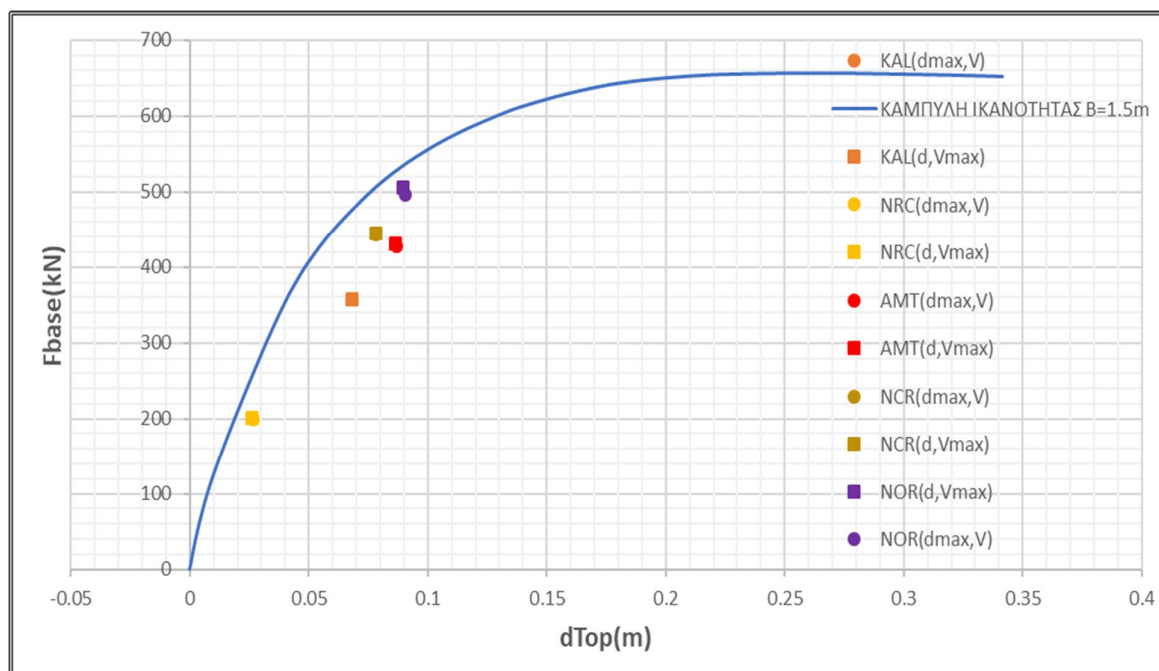
**ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΜΕ ΛΙΚΝΙΖΟΜΕΝΟ ΤΟΙΧΙΟ ΠΛΑΤΟΥΣ
B=1.5m ΣΤΟ ΙΣΟΓΕΙΟ ΚΑΙ 1^ο ΟΡΟΦΟ**

Για κάθε διέγερση καταγράφεται η μέγιστη μετακίνηση κορυφής με την ταυτόχρονη τέμνουσα βάσης (d_{max} , V_{dmax}) και η μέγιστη τέμνουσα βάσης με την ταυτόχρονη μετακίνηση κορυφής (d_{Vmax} , V_{max}). Οι τιμές των μεγίστων κατ' απόλυτη τιμή δίνονται στον Πίνακα 5.6γ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6δ: Σεισμική Απόκριση ενισχυμένου πλαισίου B=1.5m στο ισόγειο και 1^ο όροφο

EARTHQUAKE	d_{max} (m)	V_{dmax} (KN)	d_{Vmax} (m)	V_{max} (KN)
KALAMATA	0.06824	356.908	0.068221	357.048
NOR	0.09076	496.582	0.089566	506.305
NRC	0.02639	199.709	0.026264	201.461
AMT	0.08675	427.466	0.086314	431.243
NCR	0.07843	443.335	0.078248	445.427

Τα παραπάνω ζεύγη τιμών σχεδιάζονται στο ίδιο διάγραμμα με την καμπύλη ικανότητας (pushover) του ενισχυμένου τριώροφου πλαισίου, προκειμένου να γίνουν οι απαιτούμενες συγκρίσεις (σχήμα 5.6ξ).



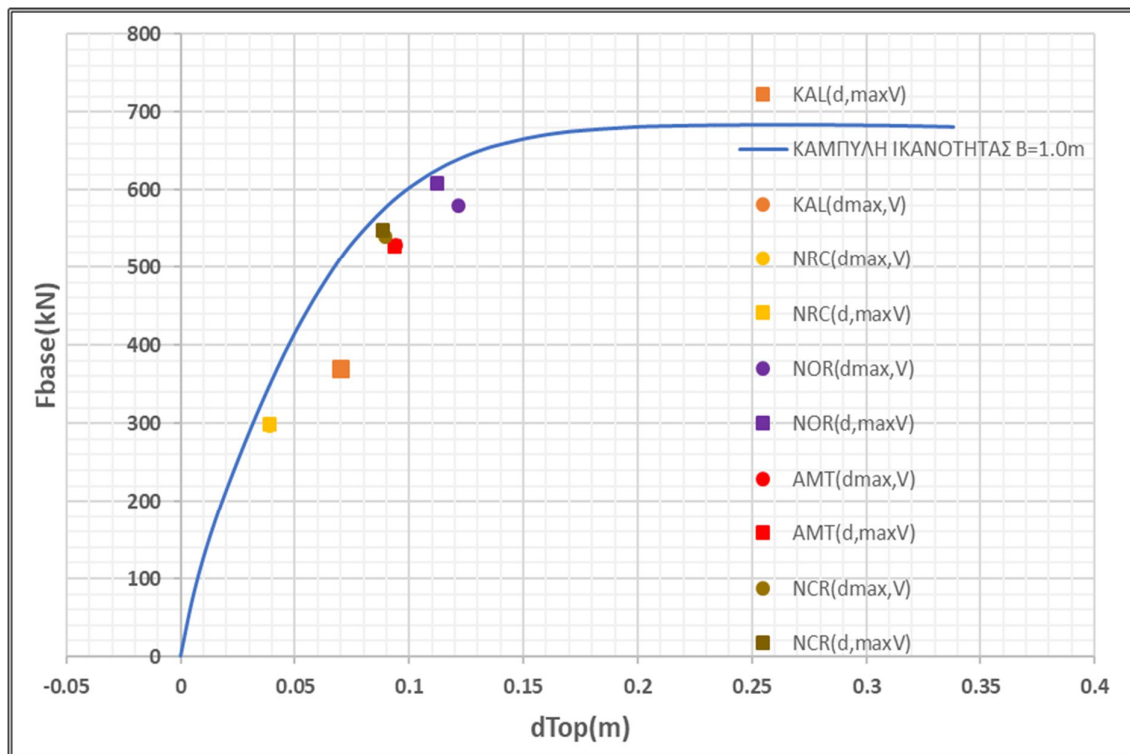
ΣΧΗΜΑ 5.6ξ: Ζεύγη (d_{max} , V_{dmax}) και (d_{Vmax} , V_{max}) επί της καμπύλης pushover του ενισχυμένου πλαισίου B=1.5m στο ισόγειο και 1^ο όροφο

**ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΜΕ ΛΙΚΝΙΖΟΜΕΝΟ ΤΟΙΧΙΟ ΠΛΑΤΟΥΣ
B=1.0m ΣΕ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΟΡΟΦΟΥΣ**

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6ε: Σεισμική Απόκριση ενισχυμένου πλαισίου B=1.0m σε όλους τους ορόφους

EARTHQUAKE	d_{max} (m)	V_{dmax} (KN)	d_{Vmax} (m)	V_{max} (KN)
KALAMATA	0.07006	370.7975	0.0700469	370.8143
NOR	0.121648	579.35	0.112026	608.319
NRC	0.0390531	296.8915	0.0389637	297.9028
AMT	0.0944354	528.915	0.0936402	527.928
NCR	0.089538	539.734	0.0886846	547.449

Τα παραπάνω ζεύγη τιμών σχεδιάζονται στο ίδιο διάγραμμα με την καμπύλη ικανότητας (pushover) του **ενισχυμένου τριόροφου πλαισίου**, προκειμένου να γίνουν οι απαιτούμενες συγκρίσεις (σχήμα 5.6ο).



ΣΧΗΜΑ 5.6ο: Ζεύγη (d_{max} , V_{dmax}) και (d_{Vmax} , V_{max}) επί της καμπύλης pushover του ενισχυμένου πλαισίου B=1.0m σε όλους τους ορόφους

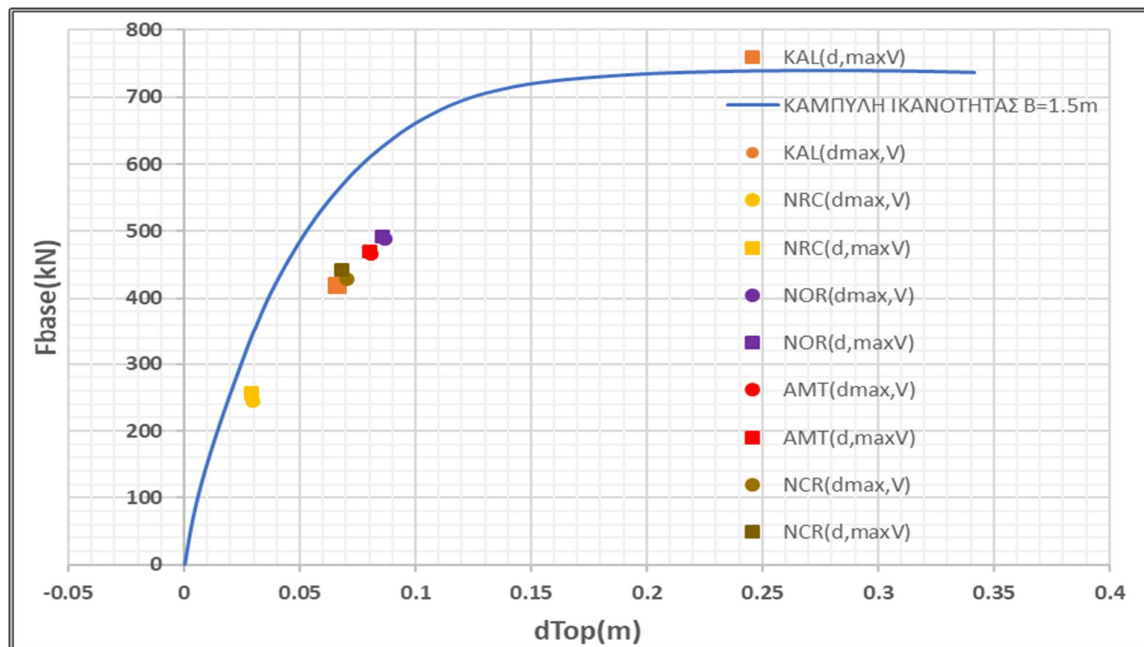
**ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΜΕ ΛΙΚΝΙΖΟΜΕΝΟ ΤΟΙΧΙΟ ΠΛΑΤΟΥΣ
B=1.5m ΣΕ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΟΡΟΦΟΥΣ**

Για κάθε διέγερση καταγράφεται η μέγιστη μετακίνηση κορυφής με την ταυτόχρονη τέμνουσα βάσης (d_{max} , V_{dmax}) και η μέγιστη τέμνουσα βάσης με την ταυτόχρονη μετακίνηση κορυφής (d_{Vmax} , V_{max}). Οι τιμές των μεγίστων κατ' απόλυτη τιμή δίνονται στον Πίνακα 5.6.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6ζ: Σεισμική Απόκριση ενισχυμένου πλαισίου B=1.5m σε όλους τους ορόφους

EARTHQUAKE	d_{max} (m)	V_{dmax} (KN)	d_{Vmax} (m)	V_{max} (KN)
KALAMATA	0.066251	419.1929	0.066197	419.5353
NOR	0.0870238	488.52	0.08599	491.68
NRC	0.02951	245.128	0.028848	256.6592
AMT	0.0810059	466.06	0.08035	470.1
NCR	0.07043	428.79	0.06826	441.91

Τα παραπάνω ζεύγη τιμών σχεδιάζονται στο ίδιο διάγραμμα με την καμπύλη ικανότητας (pushover) του ενισχυμένου τριώροφου πλαισίου, προκειμένου να γίνουν οι απαιτούμενες συγκρίσεις (σχήμα 5.6π).

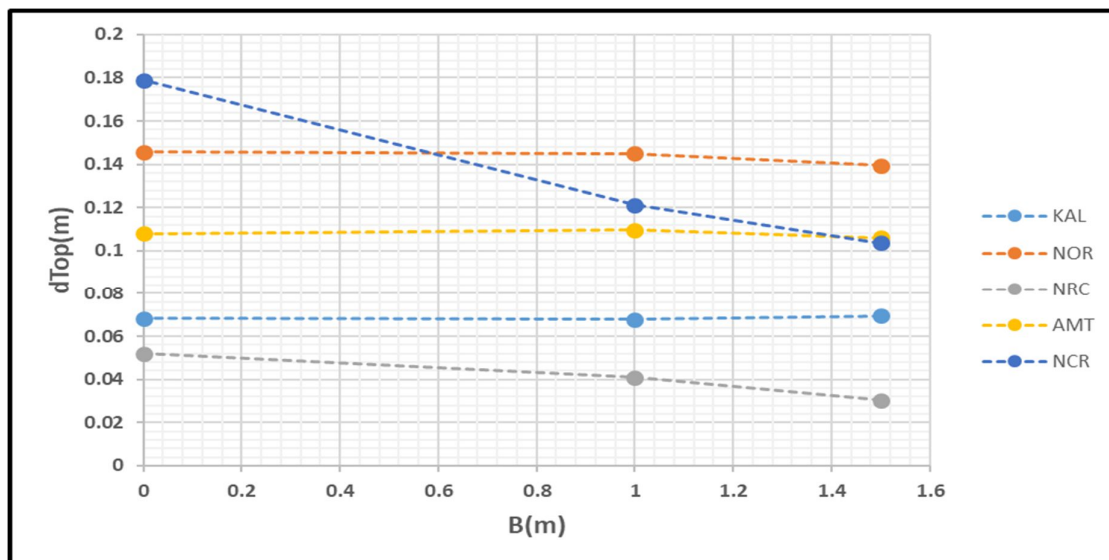


ΣΧΗΜΑ 5.6π: Ζεύγη (d_{max} , V_{dmax}) και (d_{Vmax} , V_{max}) επί της καμπύλης pushover του ενισχυμένου πλαισίου B=1.5m σε όλους τους ορόφους

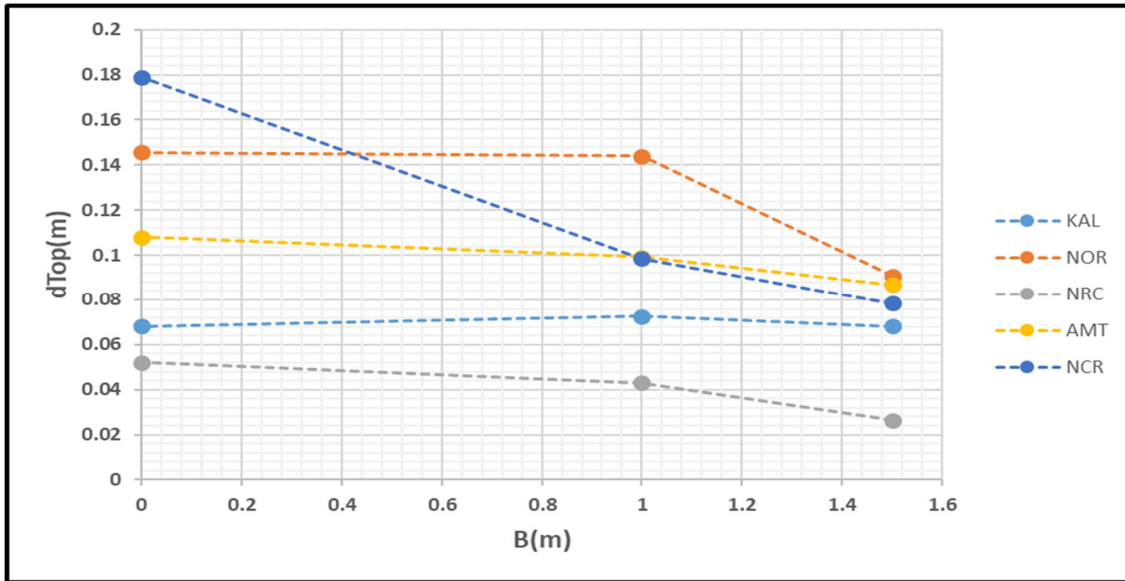
5.7 Σύγκριση αποτελεσμάτων δυναμικής ανάλυσης μη ενισχυμένου και ενισχυμένου πλαισίου

Παρατηρείται πως με την προσθήκη λικνιζόμενων τοιχίων στην κατασκευή η μετατόπιση κορυφής (κόμβος ελέγχου) μειώνεται και επομένως η κατασκευή καταπονείται ακόμα πιο κοντά στην ελαστική περιοχή και λιγότερο στην πλαστική, όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα πιο πάνω για τους διάφορους σεισμούς που έγινε η ανάλυση. Επομένως είναι γεγονός ότι οι γενικές πλαστιμότητες της κατασκευής μειώνονται, ενισχύοντας την με αυτά τα στοιχεία. Στη συνέχεια θα συγκριθούν σε επόμενο κεφάλαιο οι τοπικές πλαστιμότητες κάποιων επιλεγμένων στοιχείων της κατασκευής, ώστε να έχουμε καλύτερη εποπτεία. Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως η καμπύλη ικανότητας της κατασκευής σε κάποια μοντέλα όπως συμβαίνει στην περίπτωση του κτηρίου με λικνιζόμενα τοιχία σε όλους τους ορόφους υπερεκτιμά την αντοχή σε σχέση με τα αποτελέσματα της δυναμικής ανάλυσης, γεγονός που οφείλεται στην τιμή του συντελεστή μεγέθυνσης (scale factor) 1.0. Θα έπρεπε ίσως να έχουν γίνει αναλύσεις με μεγαλύτερο συντελεστή μεγέθυνσης του σεισμού σε αυτό το μοντέλο ώστε να είχαμε αποτελέσματα της δυναμικής ανάλυσης πιο κοντά στην καμπύλη ικανότητας της κατασκευής.

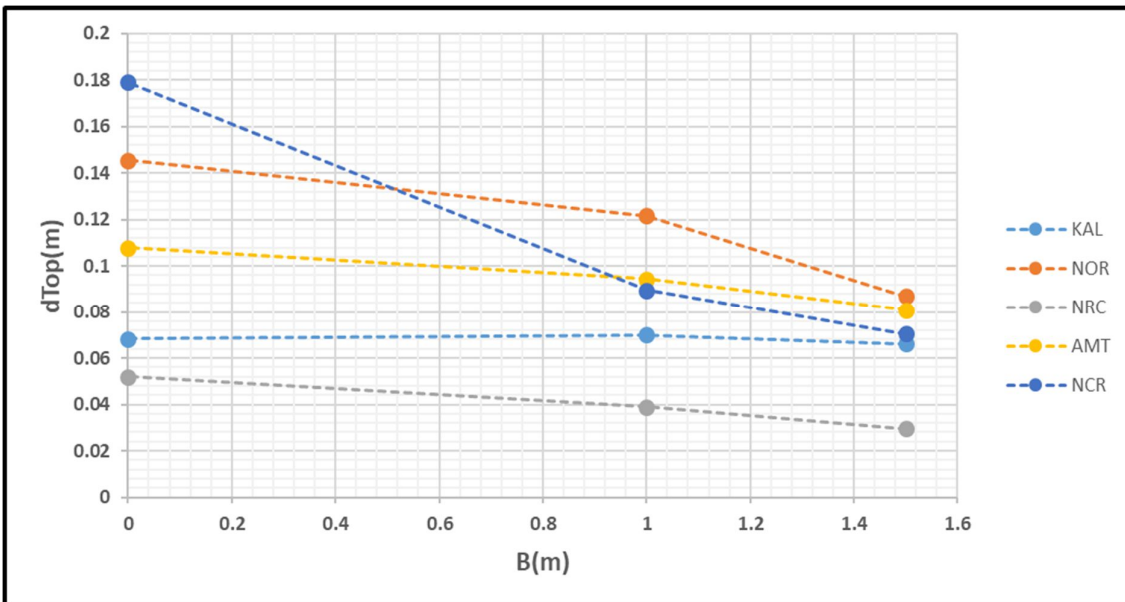
Πιο κάτω παρουσιάζονται οι **μέγιστες μετακινήσεις κορυφής (d_{top})** της κατασκευής συναρτήσει του **πλάτους του στοιχείου λικνισμού B** για τα ενισχυμένα μοντέλα:



ΣΧΗΜΑ 5.7α: Μετακίνηση κορυφής συναρτήσει πλάτους B (λικνιζόμενου τοιχίου) του ενισχυμένου πλαισίου στο ισόγειο



ΣΧΗΜΑ 5.7β: Μετακίνηση κορυφής συναρτήσει πλάτους B (λικνιζόμενου τοιχίου) του ενισχυμένου πλαισίου στο ισόγειο και 1^ο όροφο



ΣΧΗΜΑ 5.7γ: Μετακίνηση κορυφής συναρτήσει πλάτους B (λικνιζόμενου τοιχίου) του ενισχυμένου πλαισίου σε όλους τους ορόφους

6 ΤΟΠΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

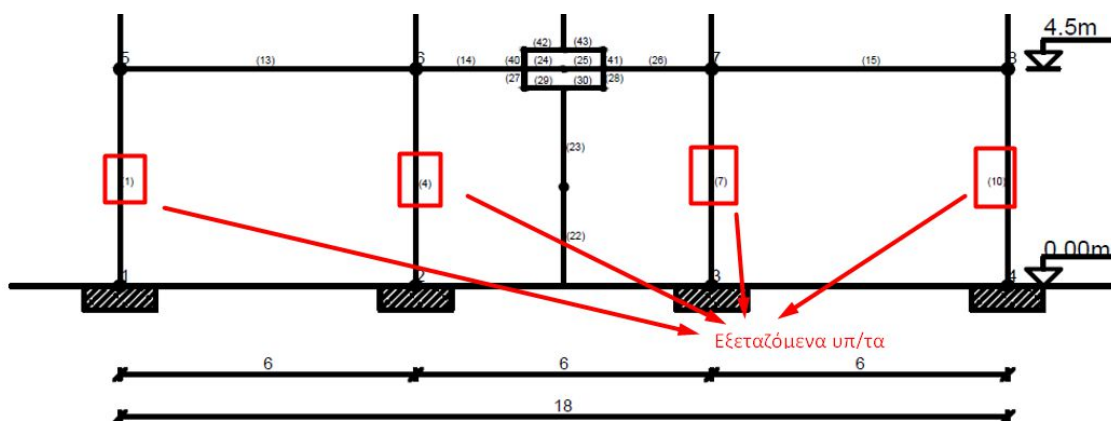
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως φαίνεται και στα προηγούμενα κεφάλαια, η προσθήκη λικνιζόμενων τοιχίων από οπλισμένο σκυρόδεμα στην κατασκευή, συμβάλλει σημαντικά στη βελτίωση της σεισμικής απόκρισης. Ωστόσο, η προσθήκη τέτοιων στοιχείων μπορεί να προκαλέσει σημαντικά τοπικά φαινόμενα στην κατασκευή.

Για παράδειγμα το ανασήκωμα τους προκαλεί μια επιπρόσθετη τέμνουσα στο σημείο επαφής του λικνιζόμενου τοιχίου με τη δοκό, την οποία πιθανόν να μην μπορεί να παραλάβει η δοκός. Επιπλέον στο σημείο επαφής αναπτύσσονται και σημαντικά μεγάλες ροπές και συνεπώς ζημιές. Παράλληλα, το ανασήκωμα αυτό δημιουργεί εφελκυστικές δυνάμεις στα υποστυλώματα, οι οποίες είναι πιθανόν να υπερβούν τις ήδη υπάρχουσες θλιπτικές κι έτσι όχι μόνο να μειωθεί η αντοχή τους αλλά να προκληθεί και το ανασήκωμά τους.

Το κεφάλαιο αυτό λοιπόν έχει ως σκοπό να παρουσιάσει τα τοπικά φαινόμενα (πλαστιμότητες, εντατικά μεγέθη) που αναπτύσσονται κατά τη δυναμική ανάλυση του μοντέλου, τόσο στο ενισχυμένο όσο και στο μη ενισχυμένο, ώστε να γίνουν συγκρίσεις και να διαπιστωθούν όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω.

Πιο κάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα εντατικών μεγεθών (N,V,M) των **υπ/των του ισογείου** τόσο για το απλό πλαίσιο όσο και για το ενισχυμένο με τρία λικνιζόμενα τοιχία πλάτους **B=1.5m** το καθένα.

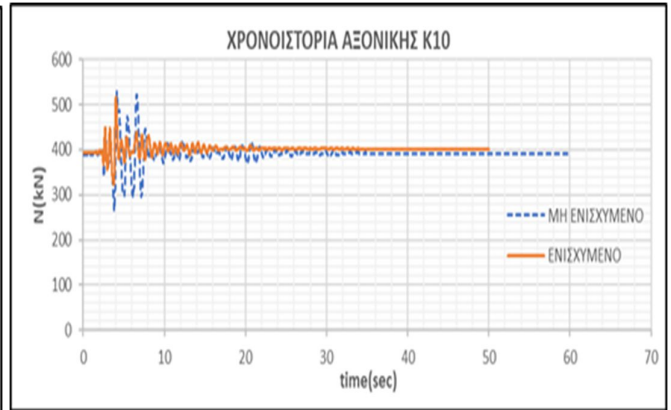
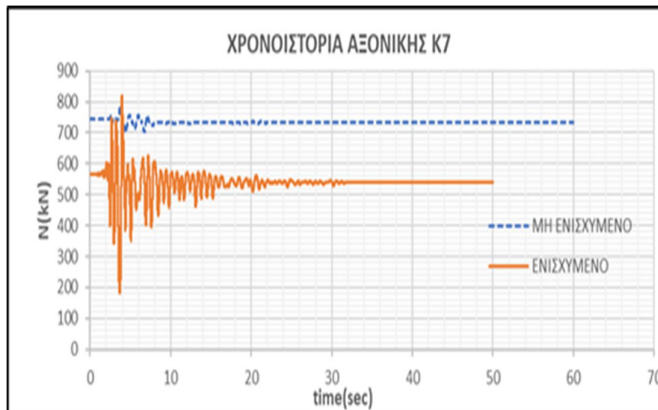
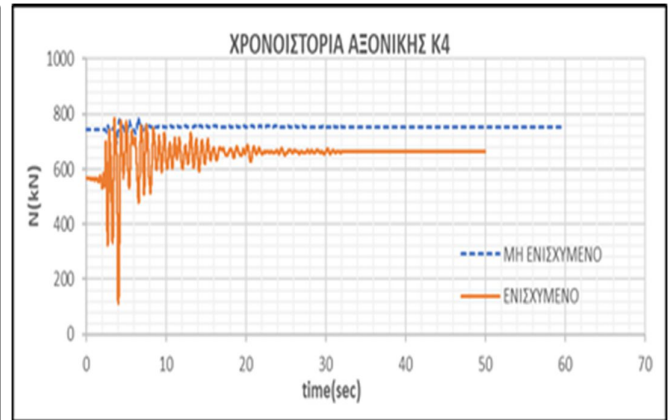
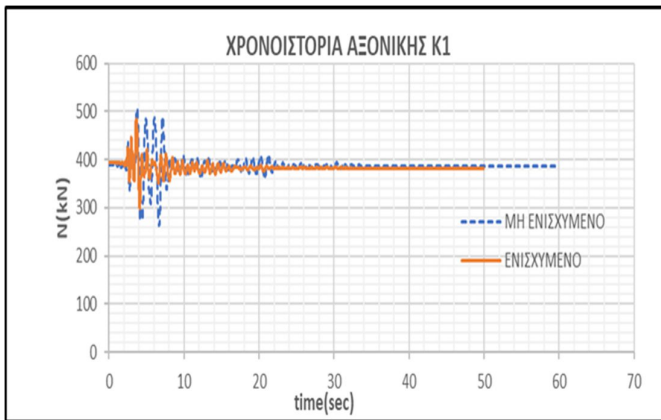


6.2 ΧΡΟΝΙΣΤΟΡΙΕΣ ΕΝΤΑΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ (Μ, Q, N) ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΜΕ ΤΡΙΑ ΤΟΙΧΙΑ ΛΙΚΝΙΣΜΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ B=1.5m

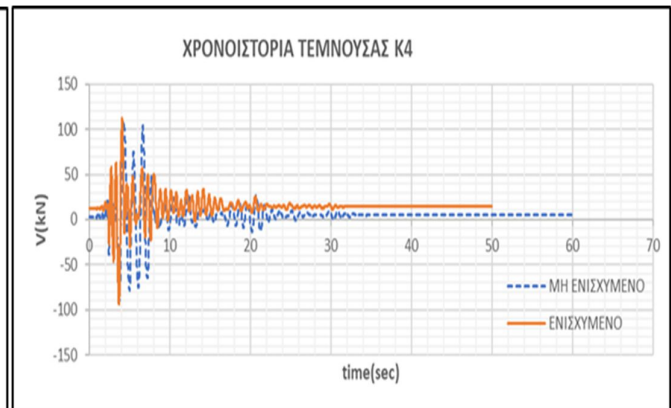
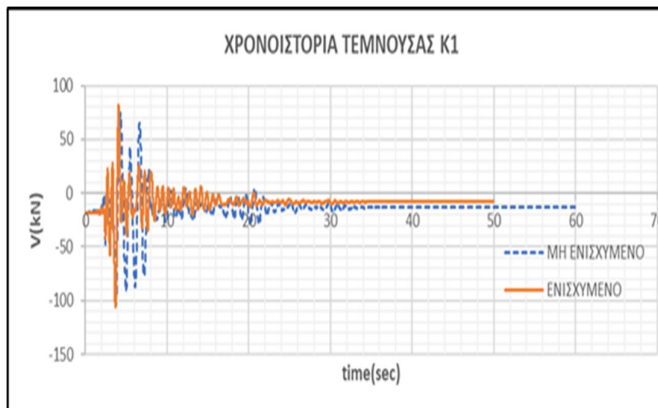
ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ ΙΣΟΓΕΙΟΥ

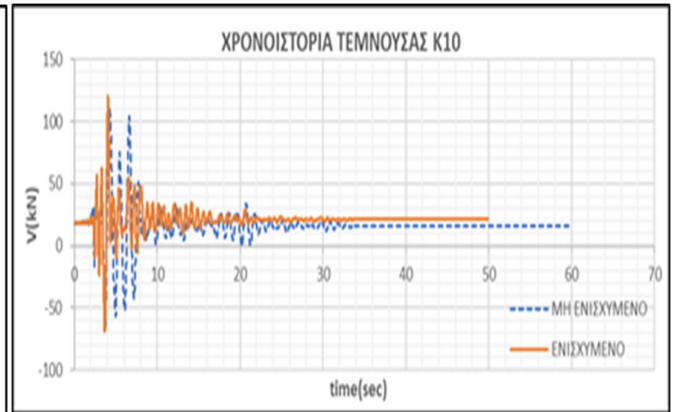
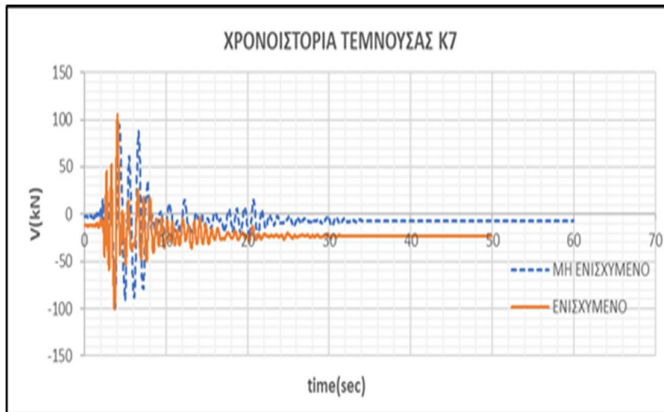
ΣΕΙΣΜΟΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

❖ ΧΡΟΝΙΣΤΟΡΙΑ ΑΞΟΝΙΚΩΝ

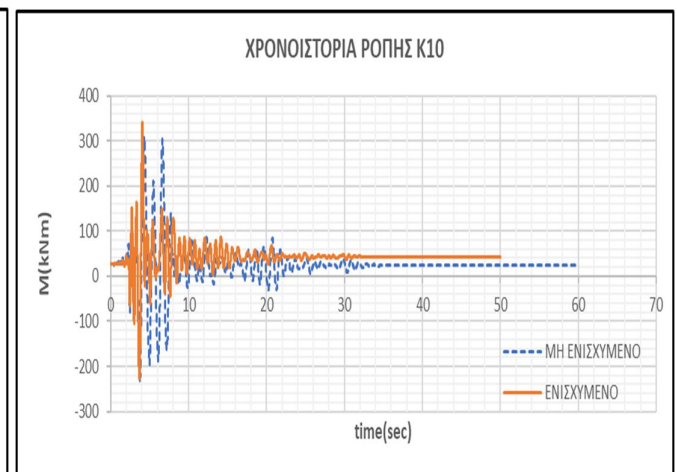
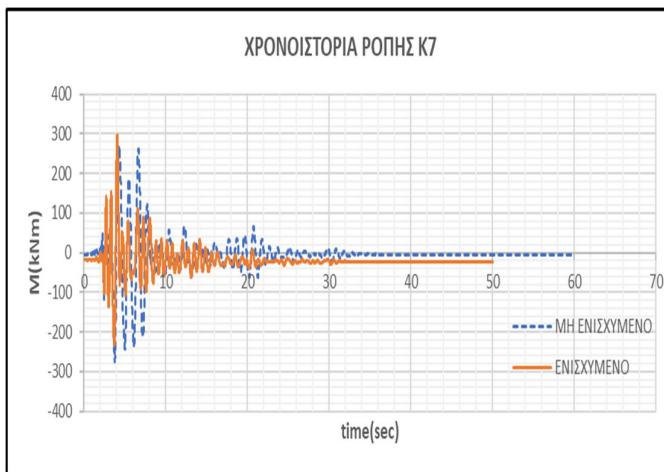
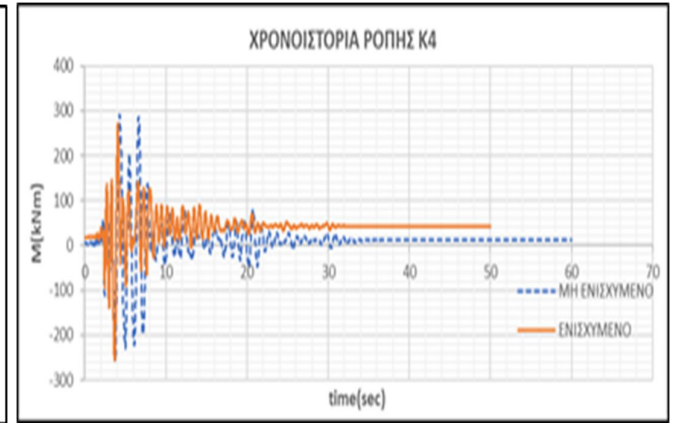
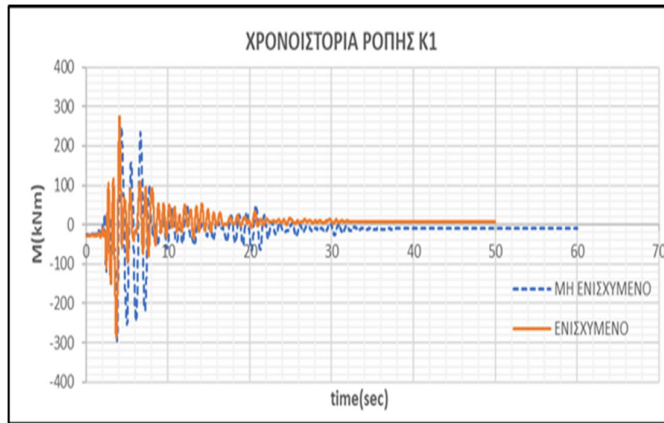


❖ ΧΡΟΝΙΣΤΟΡΙΑ ΤΕΜΝΟΥΣΩΝ



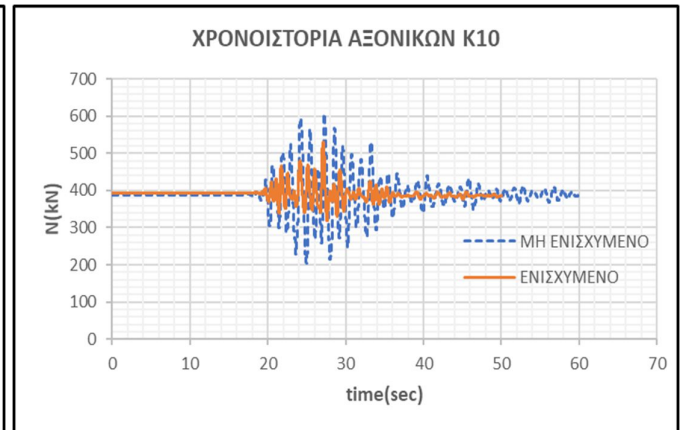
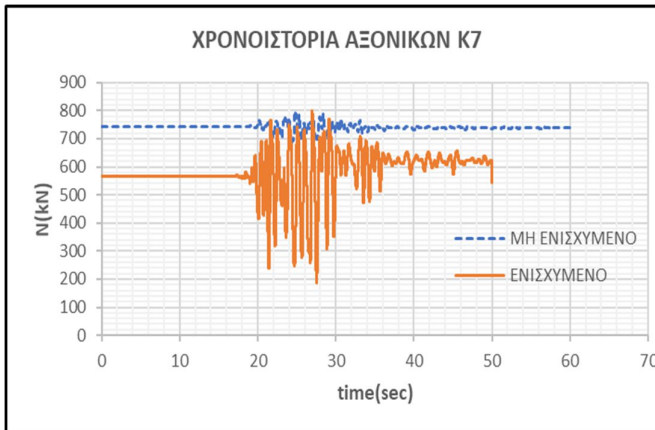
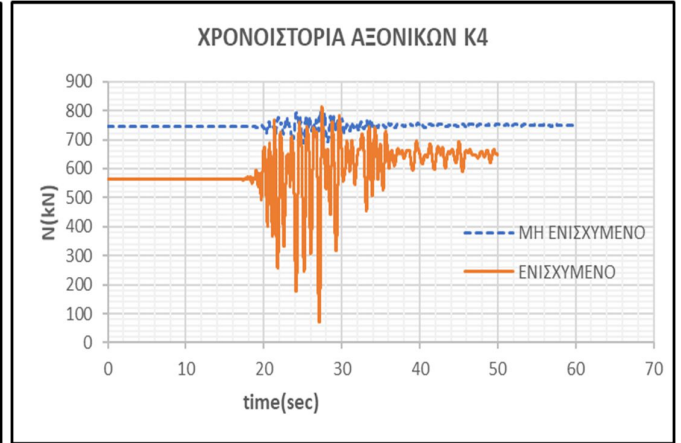
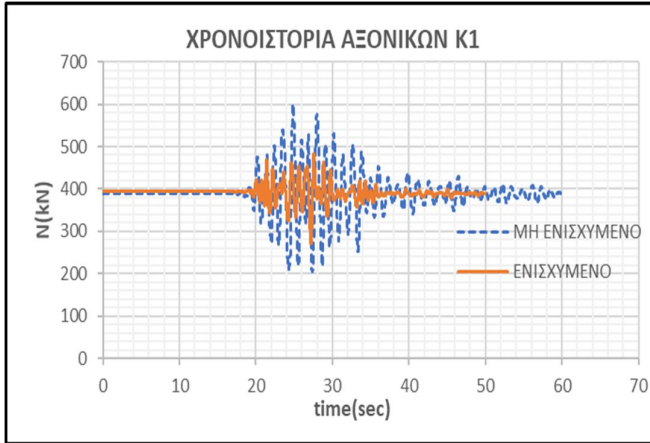


❖ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑ ΡΟΠΩΝ

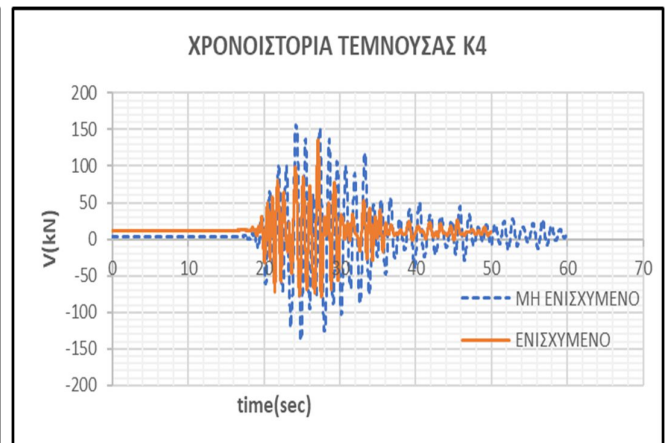
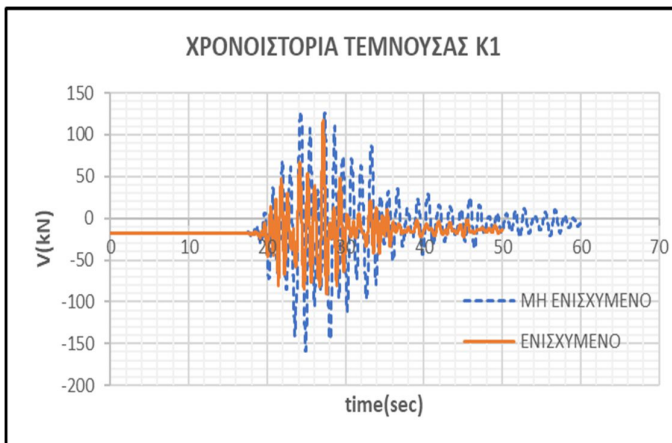


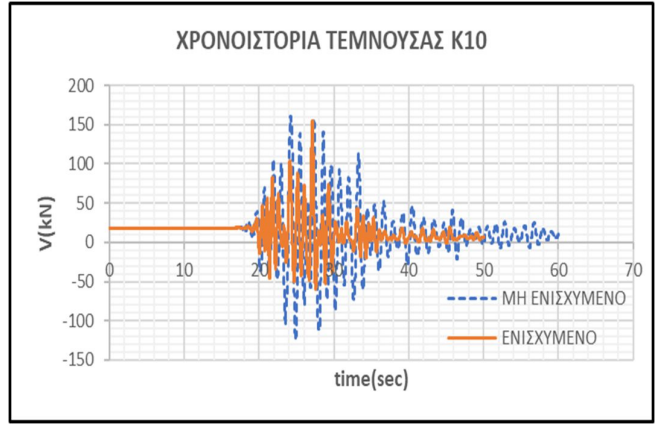
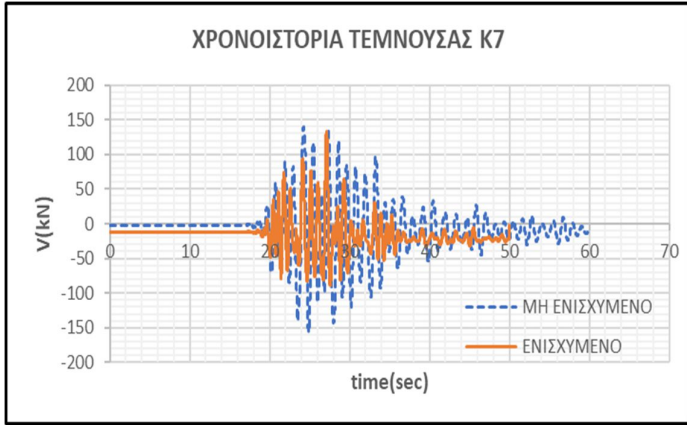
ΣΕΙΣΜΟΣ NOR

❖ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑ ΑΞΟΝΙΚΩΝ

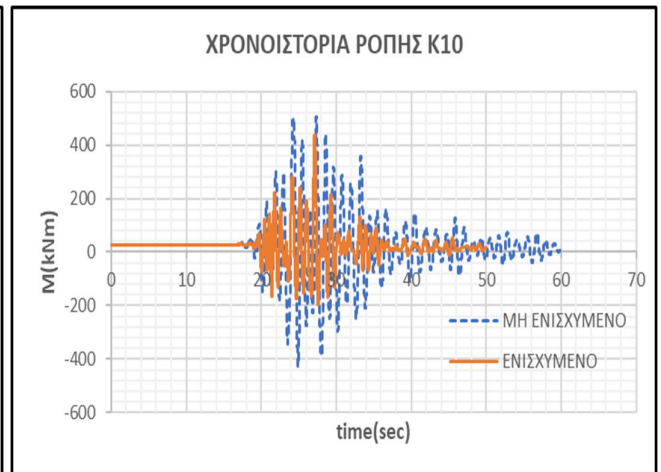
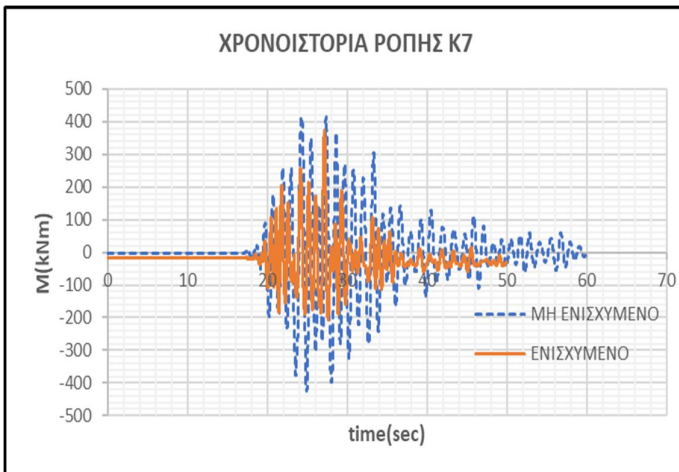
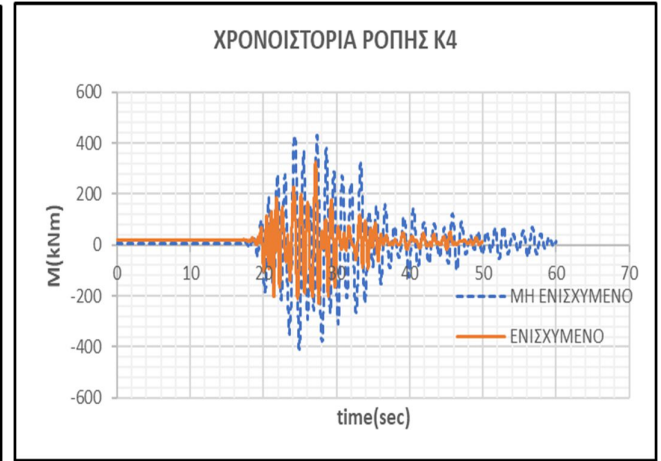
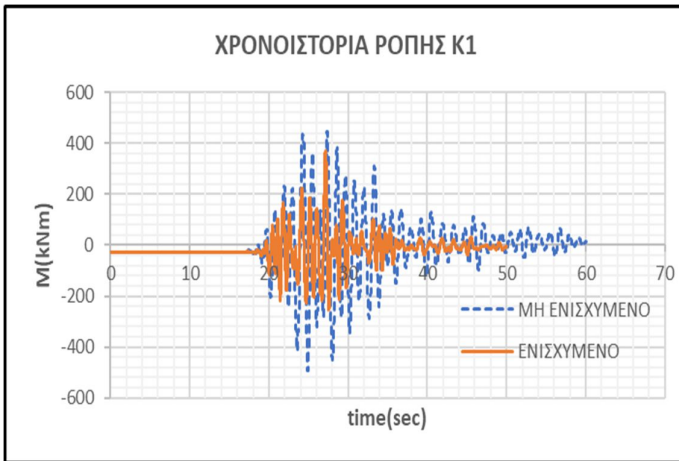


❖ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑ ΤΕΜΝΟΥΣΩΝ



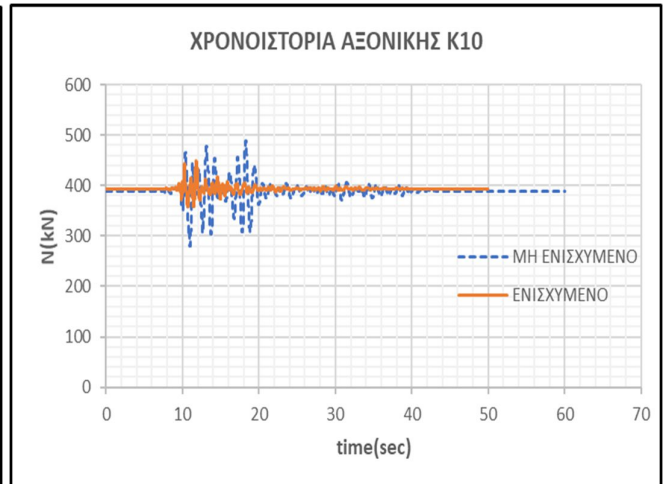
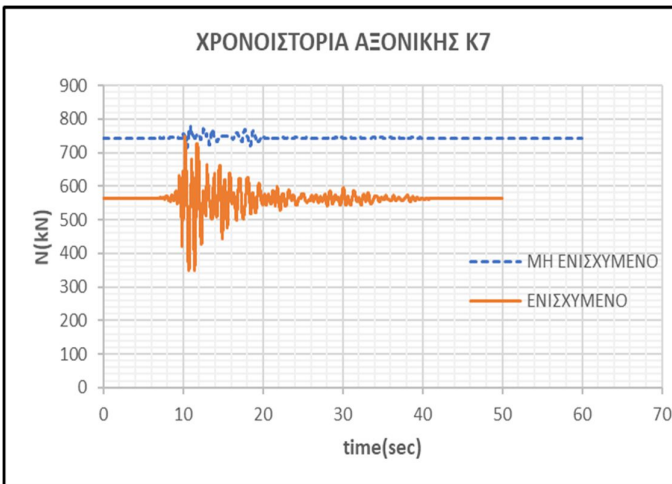
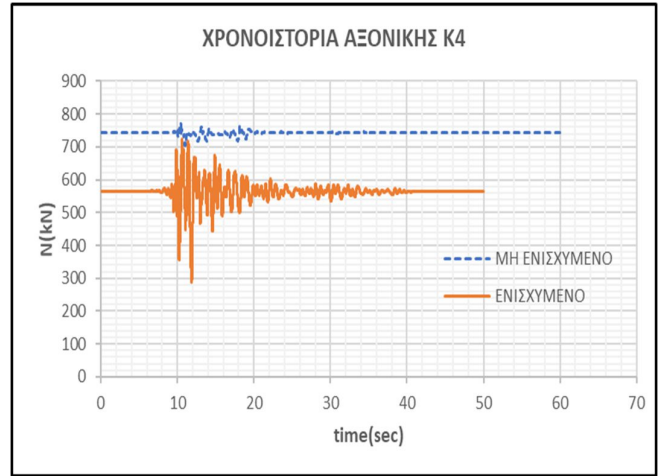
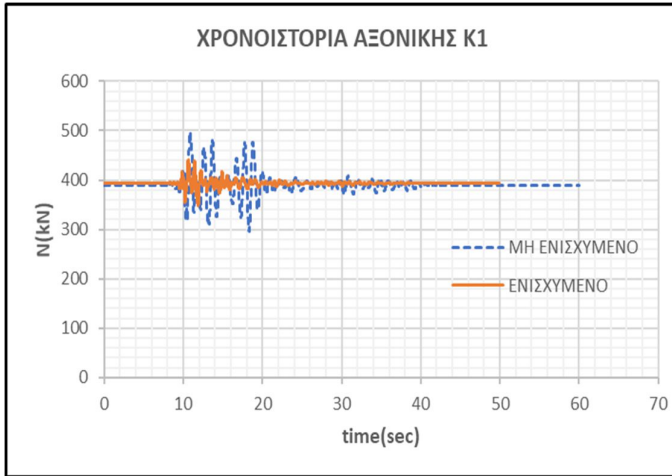


❖ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑ ΡΟΠΩΝ

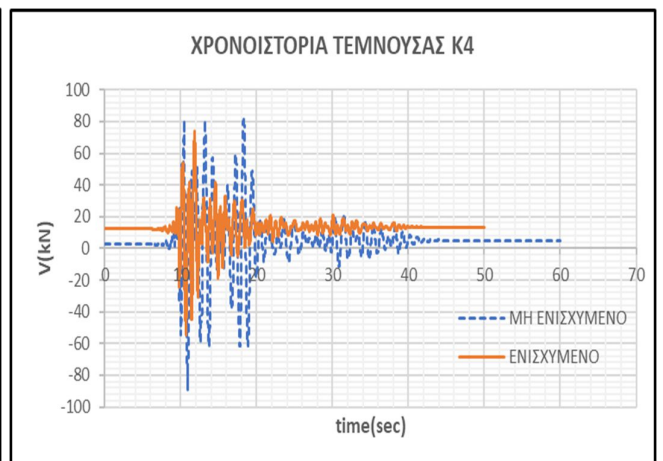
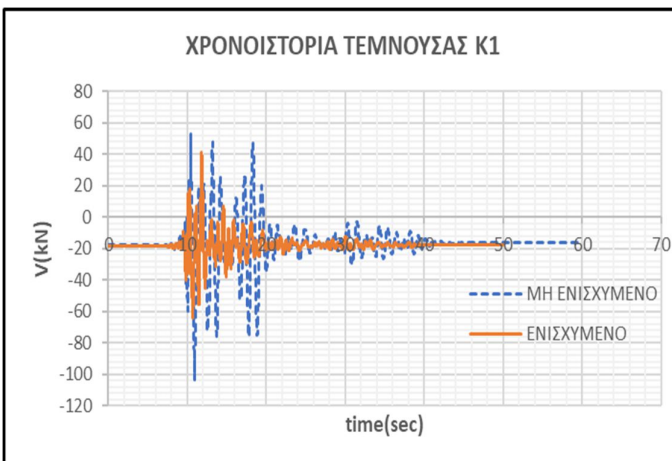


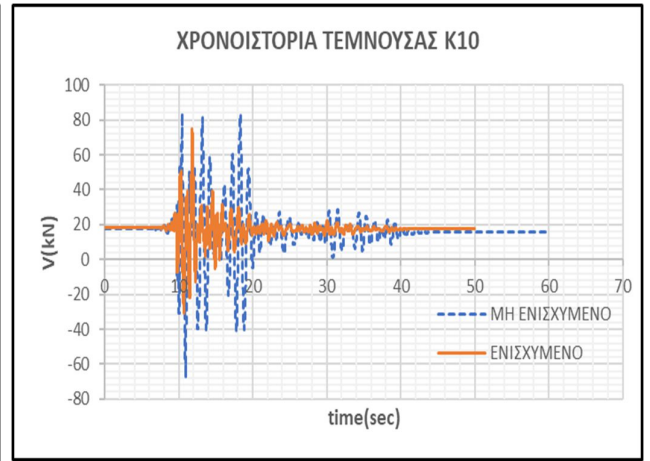
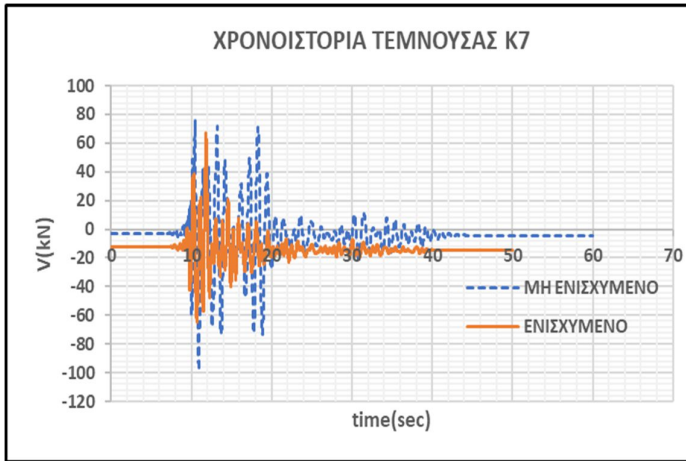
ΣΕΙΣΜΟΣ NRC

❖ ΧΡΟΝΙΣΤΟΡΙΑ ΑΞΟΝΙΚΩΝ

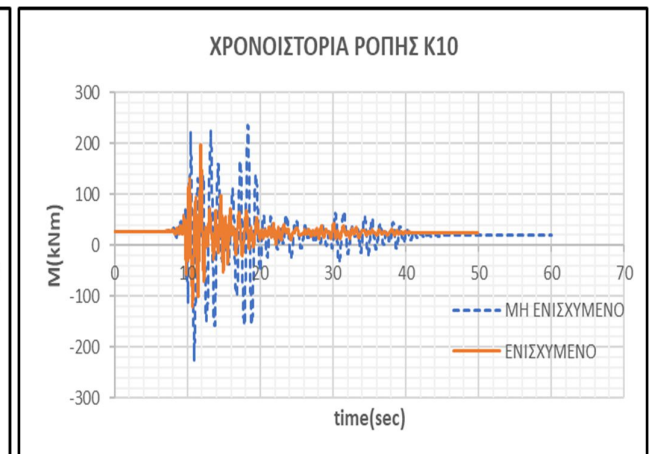
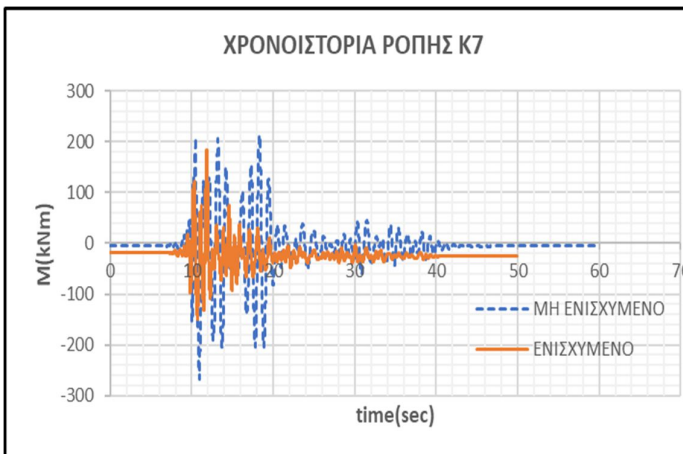
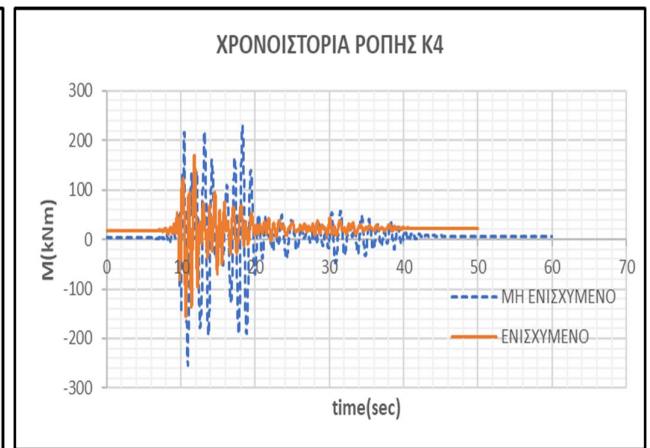
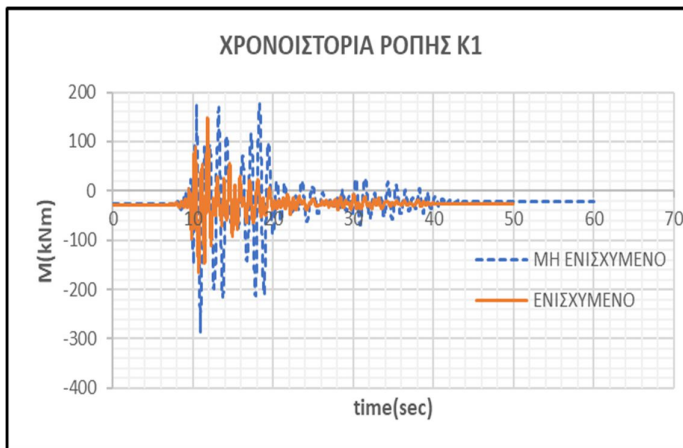


❖ ΧΡΟΝΙΣΤΟΡΙΑ ΤΕΜΝΟΥΣΩΝ



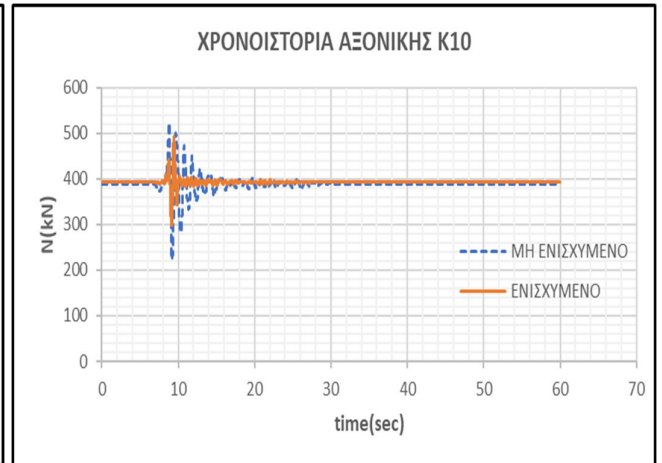
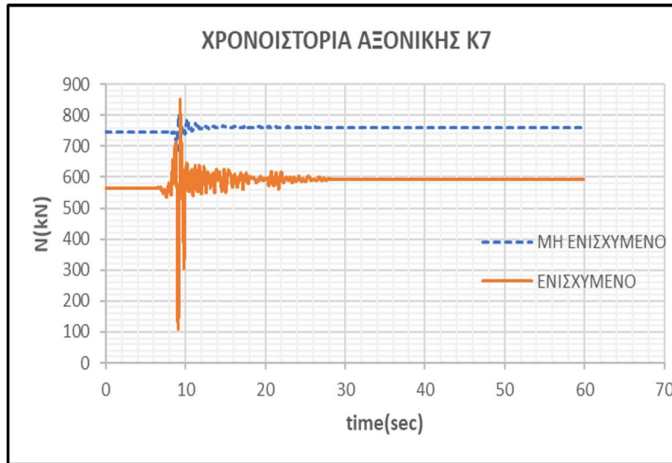
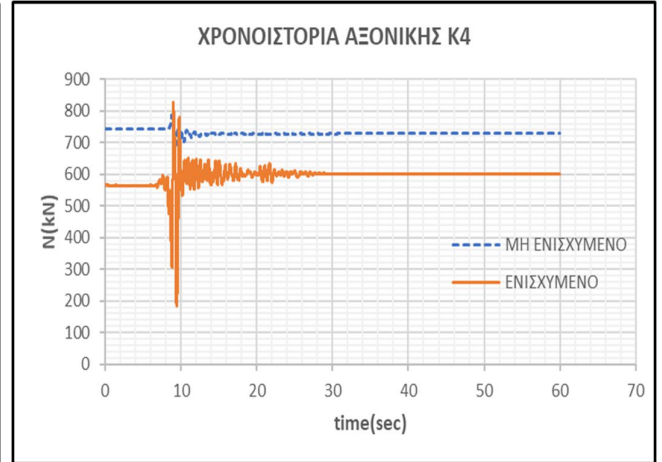
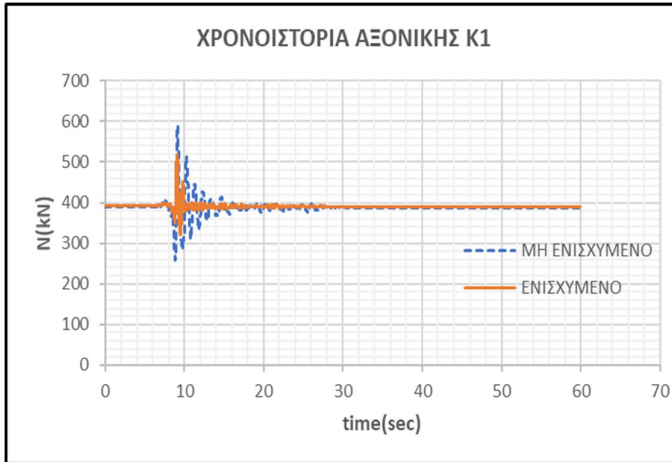


❖ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑ ΡΟΠΩΝ

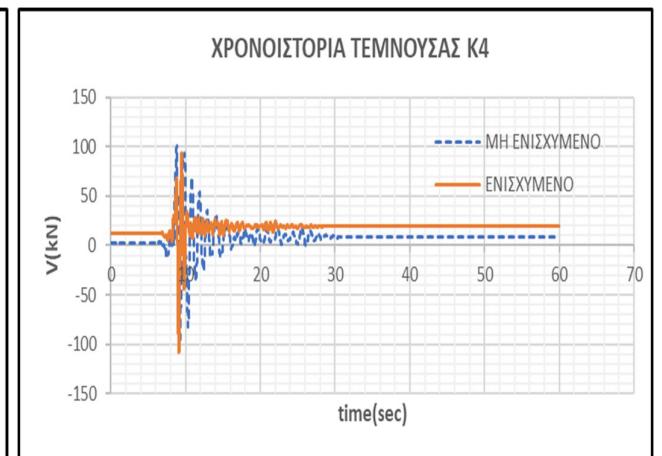
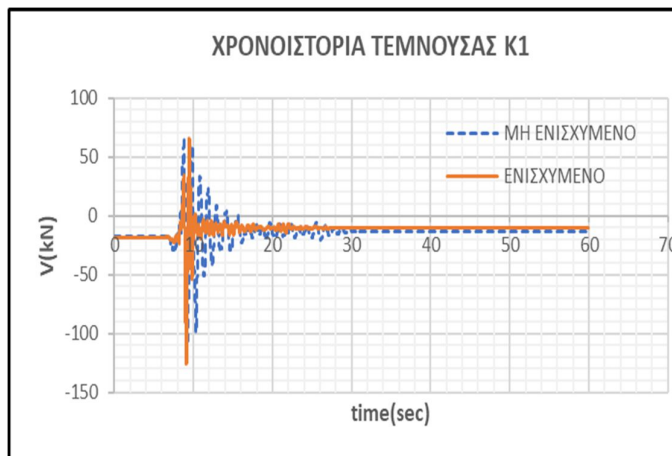


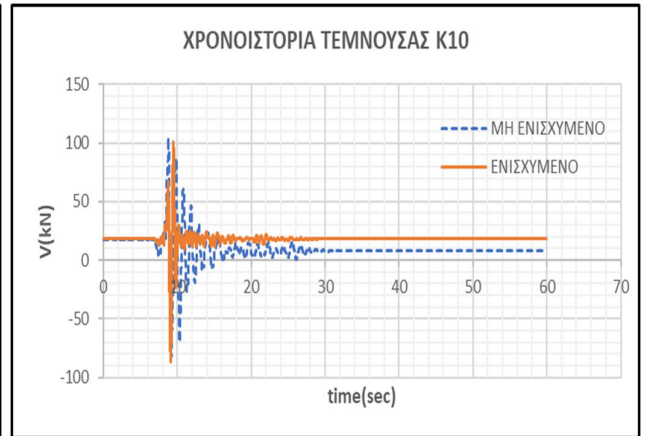
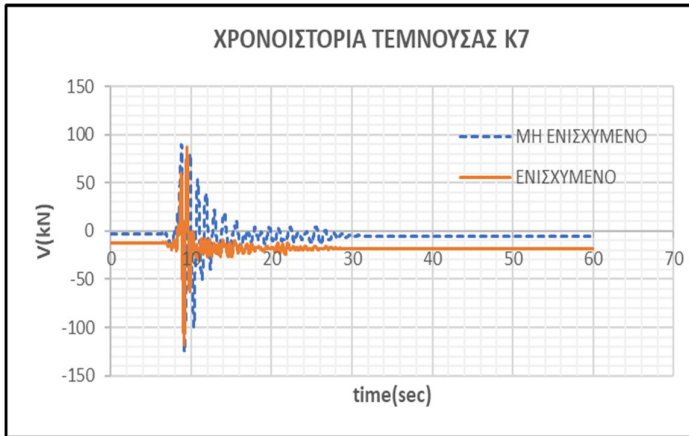
ΣΕΙΣΜΟΣ ΑΜΤ

❖ ΧΡΟΝΙΣΤΟΡΙΑ ΑΞΟΝΙΚΩΝ

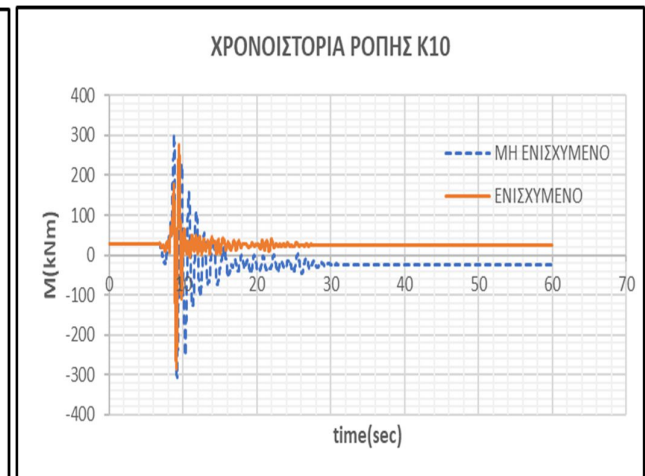
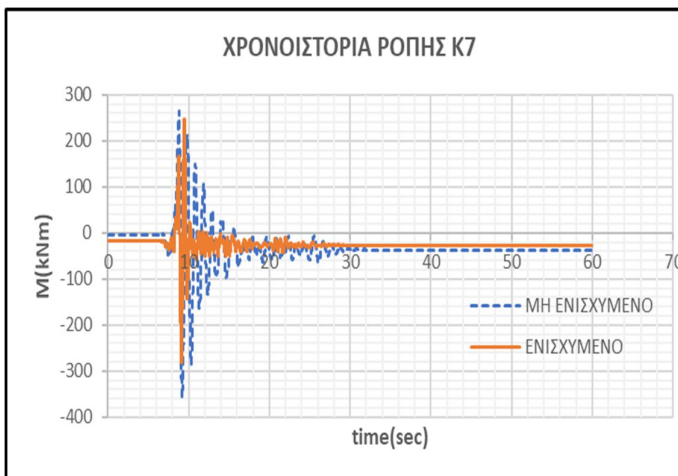
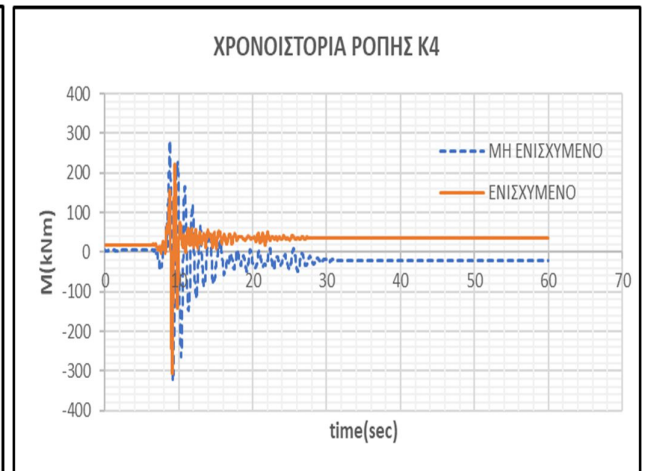
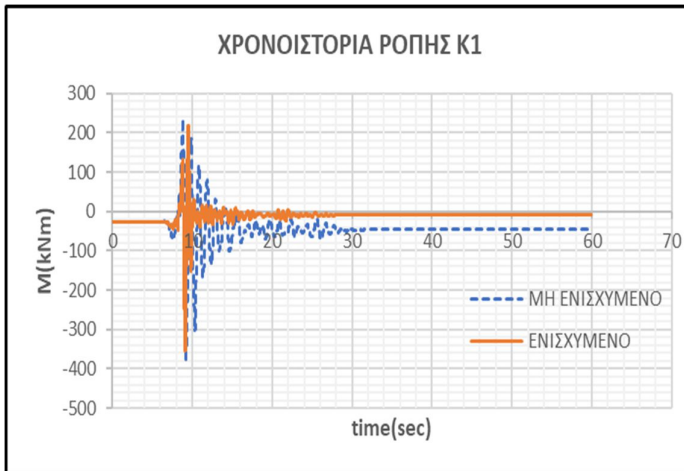


❖ ΧΡΟΝΙΣΤΟΡΙΑ ΤΕΜΝΟΥΣΩΝ



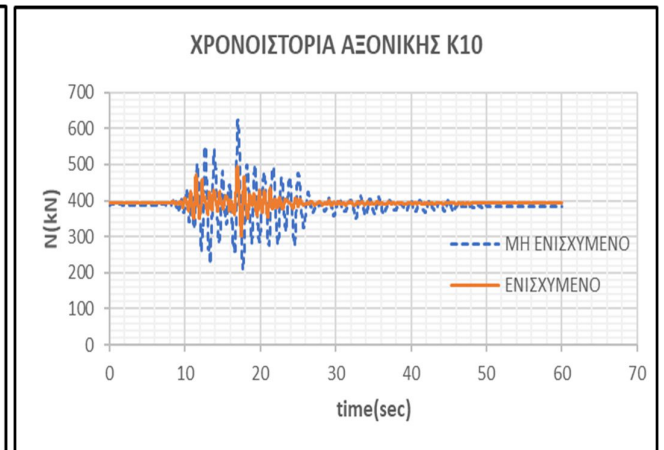
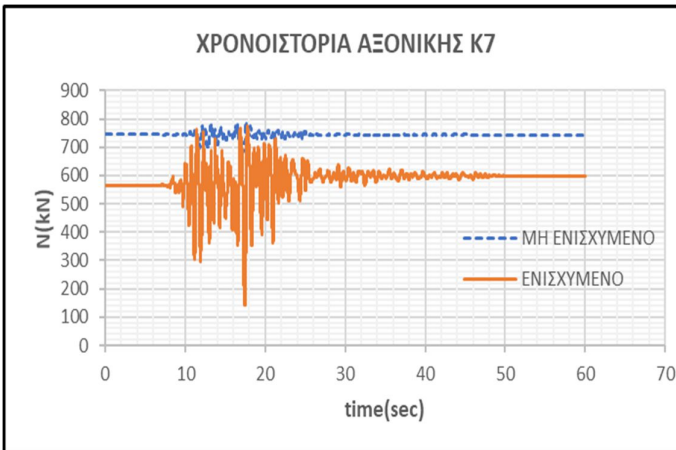
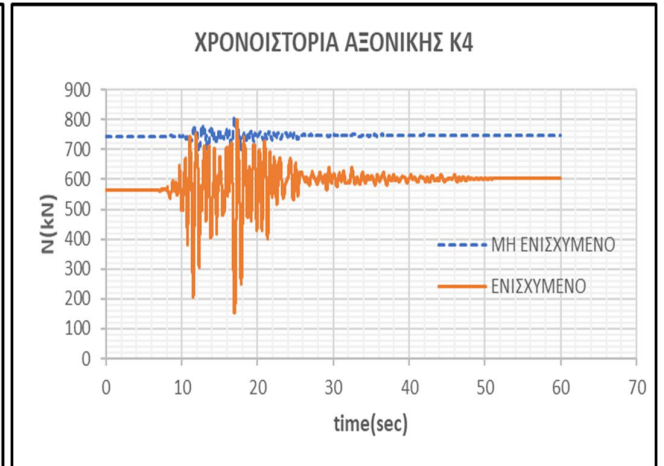
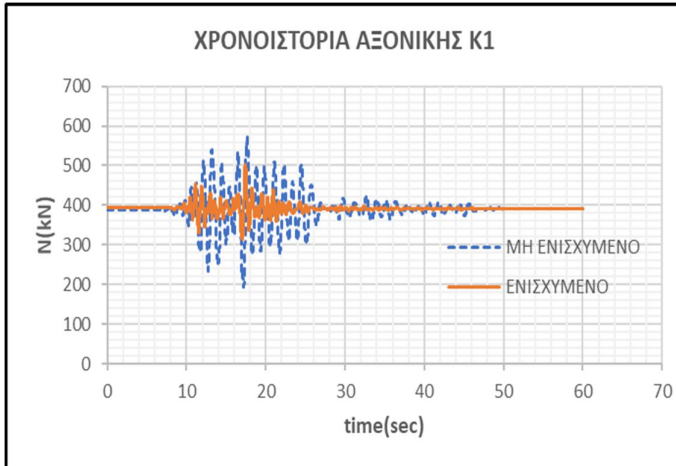


❖ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑ ΡΟΠΩΝ

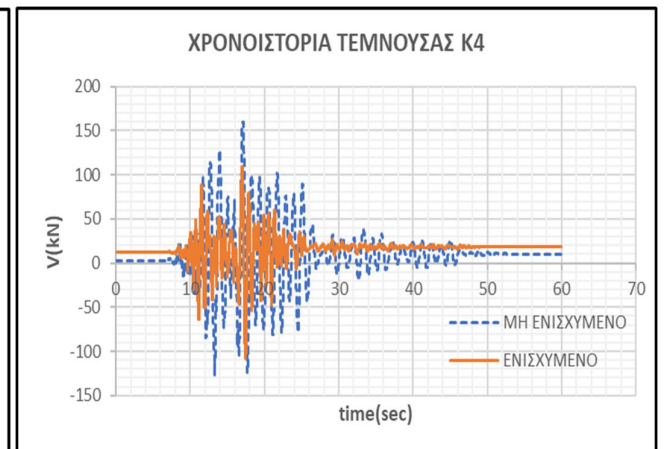
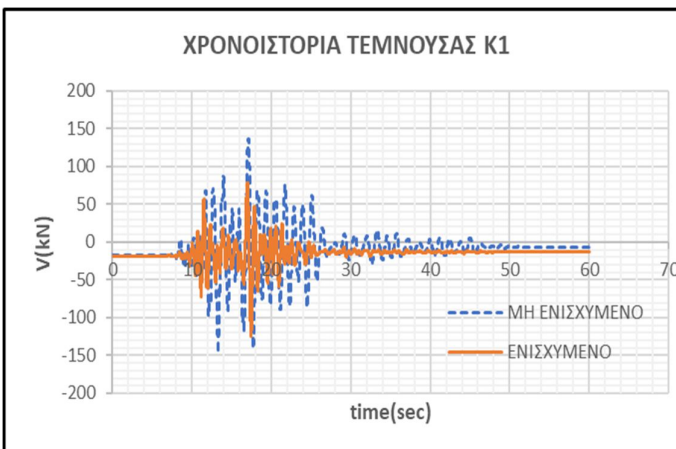


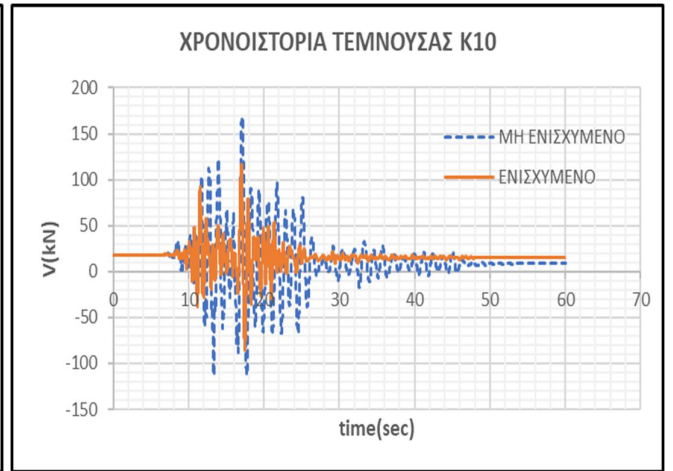
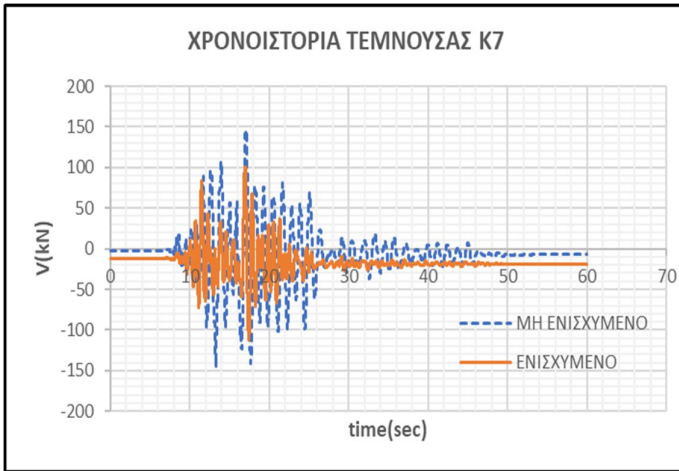
ΣΕΙΣΜΟΣ NCR

❖ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑ ΑΞΟΝΙΚΩΝ

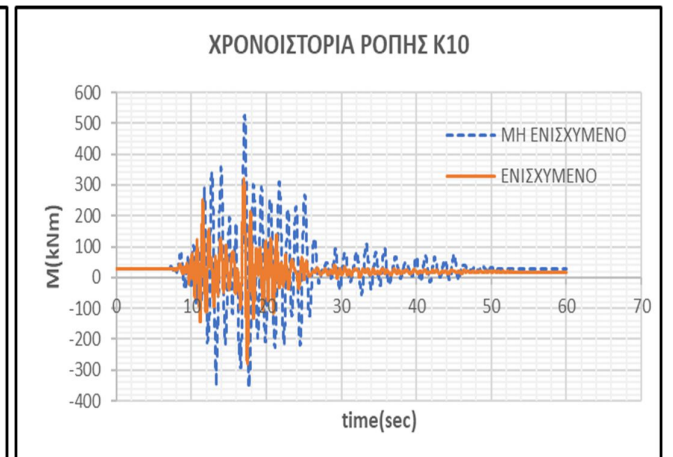
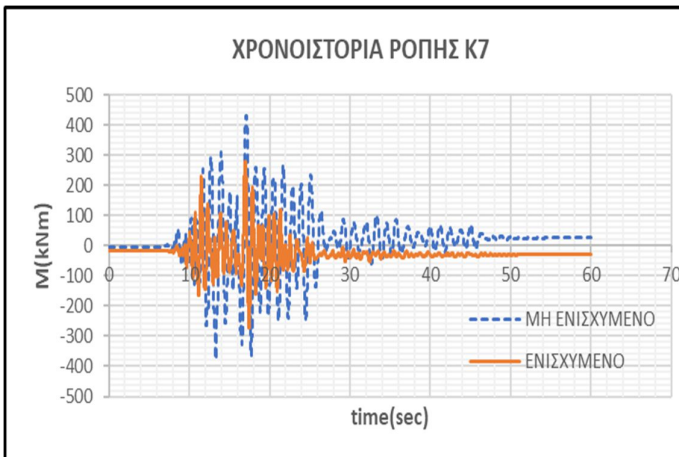
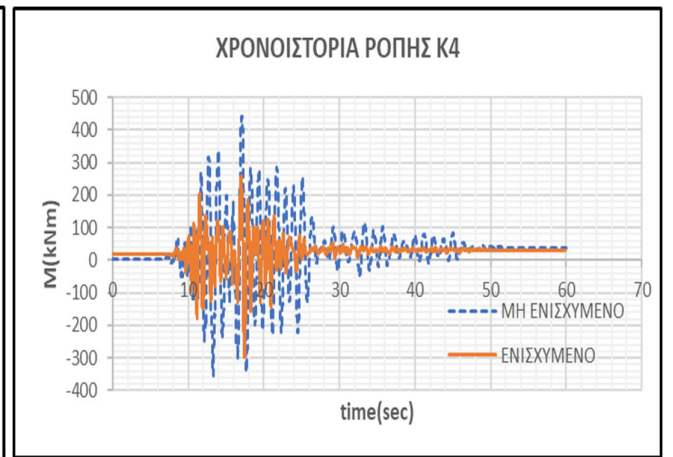
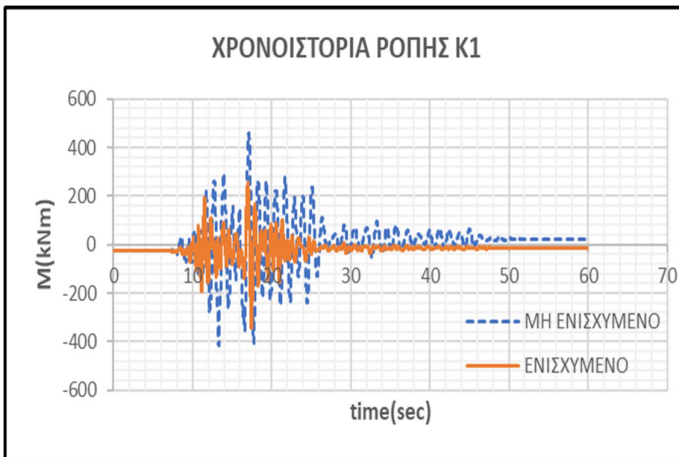


❖ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑ ΤΕΜΝΟΥΣΩΝ





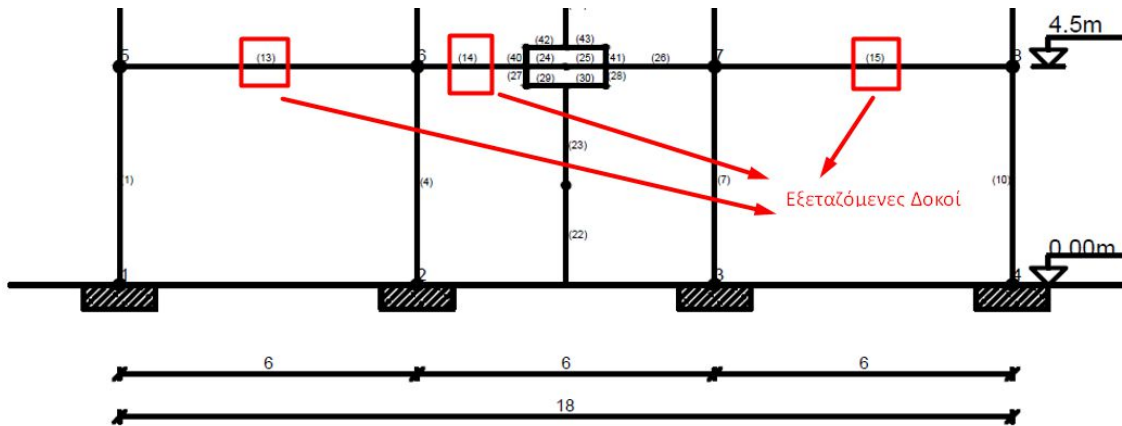
❖ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑ ΡΟΠΩΝ



Πιο κάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα εντατικών μεγεθών (V,M) των **δοκών του 1ου ορόφου** τόσο για το απλό πλαίσιο όσο και για το ενισχυμένο με τρία λικνιζόμενα τοιχεία πλάτους **B=1.5m** το καθένα.

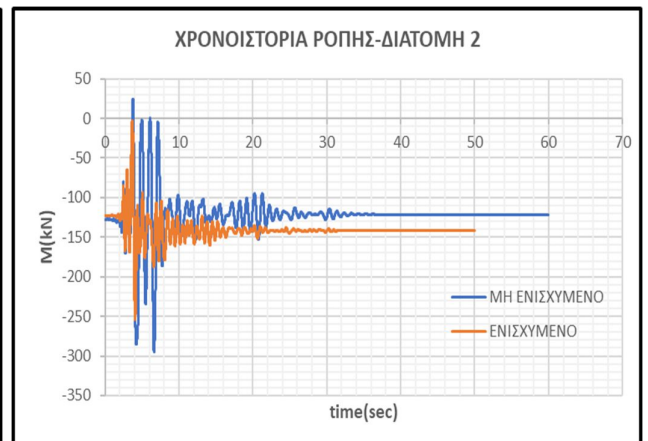
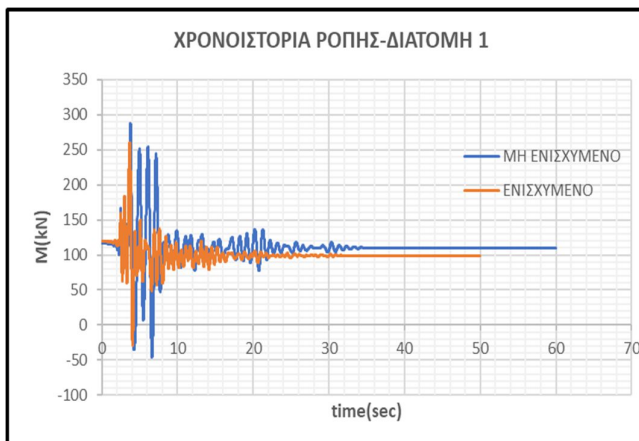
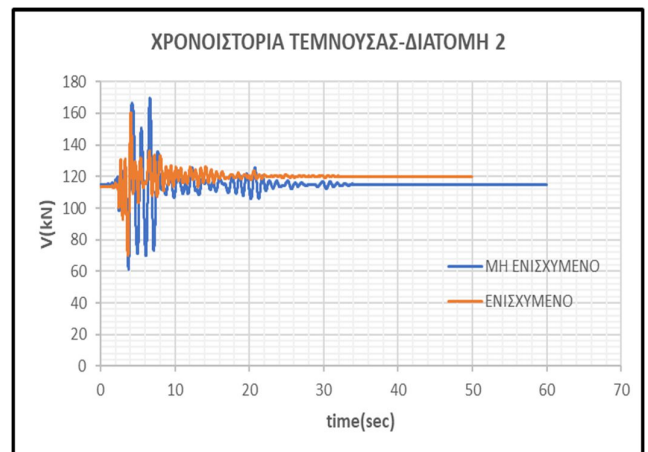
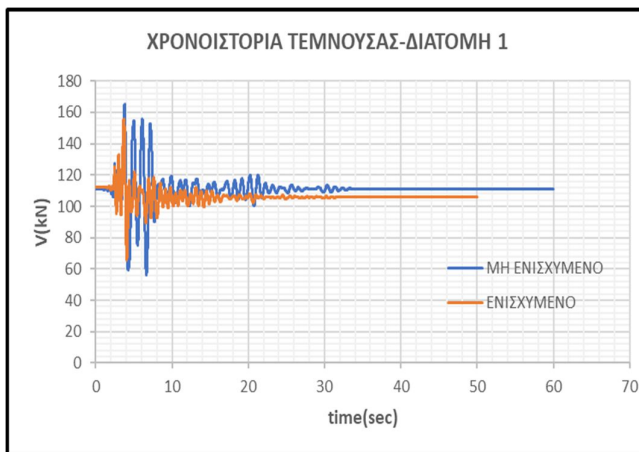
**διατομή 1 → αριστερά

**διατομή 2 → δεξιά

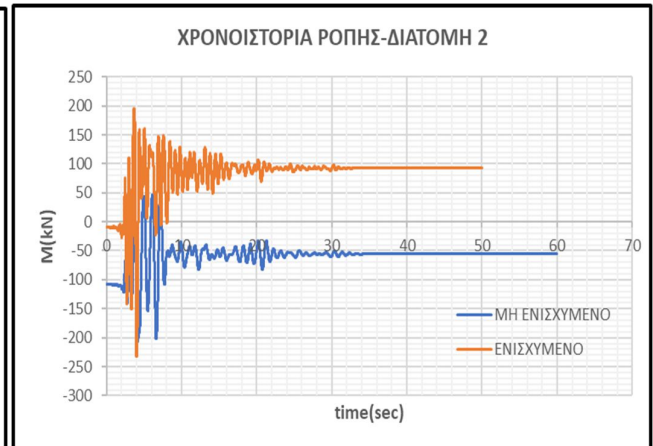
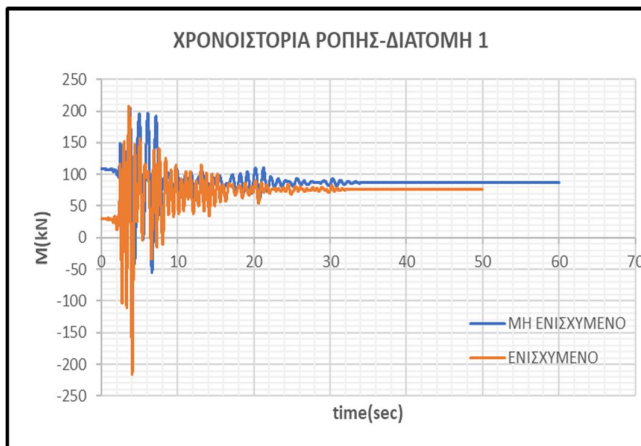
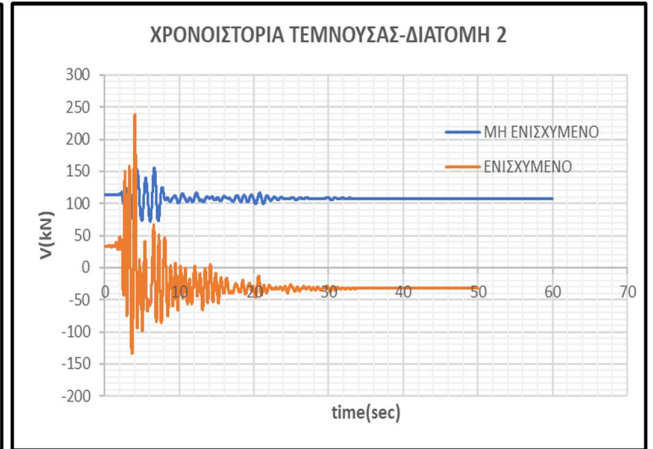
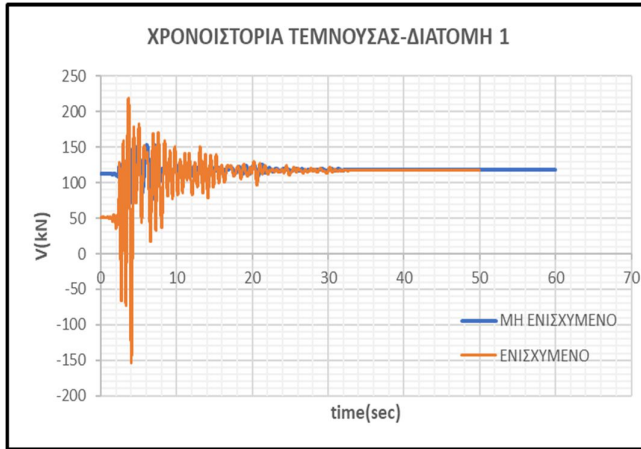


• ΣΕΙΣΜΟΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

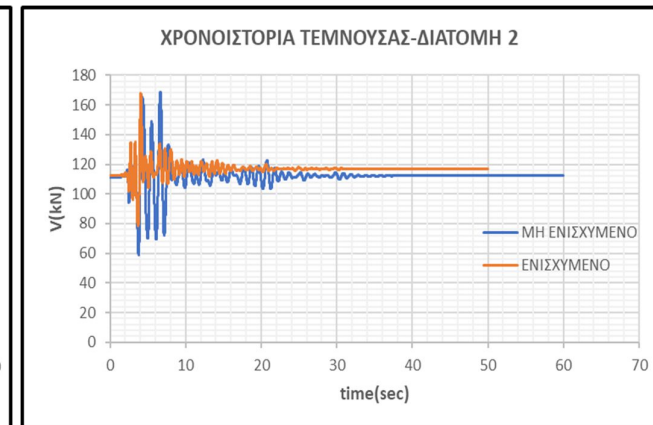
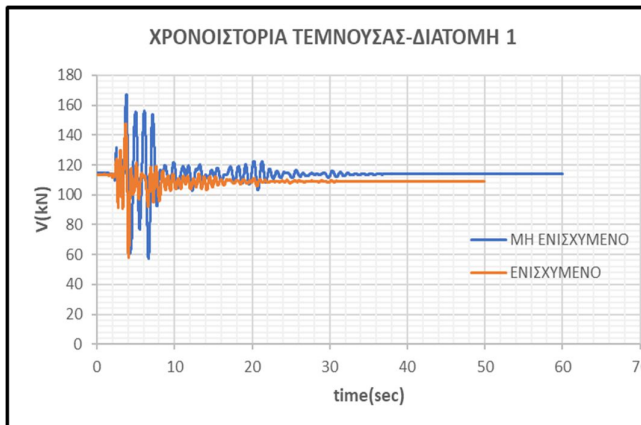
ΔΟΚΟΣ 13

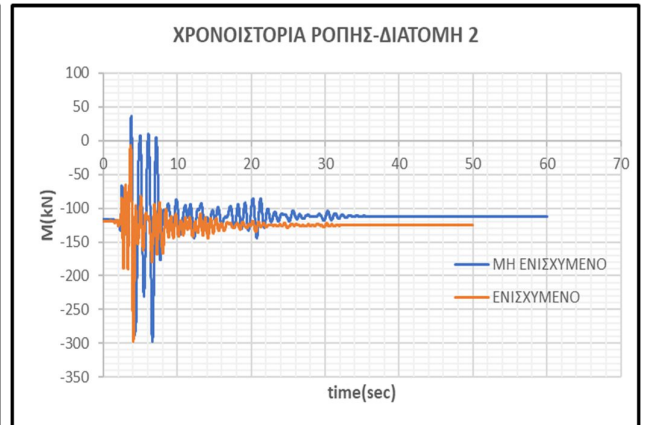
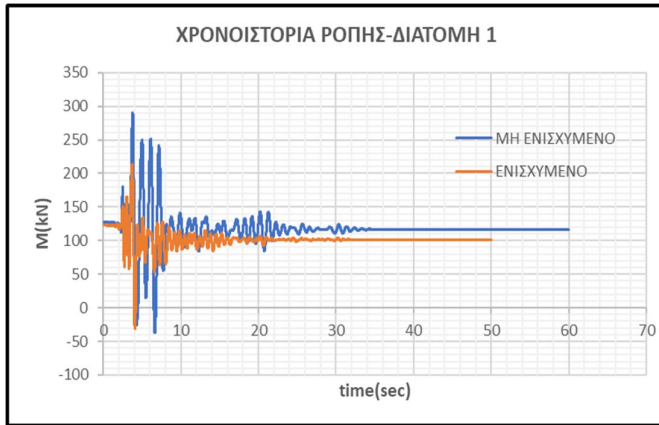


ΔΟΚΟΣ 14



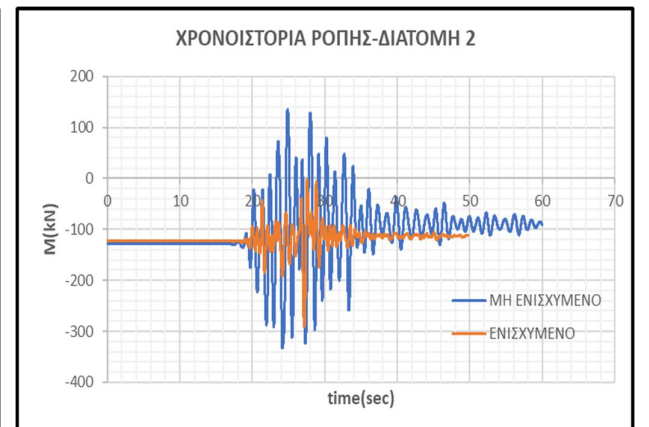
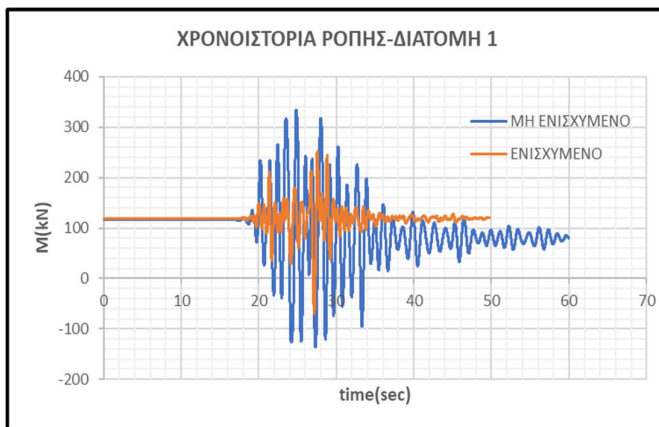
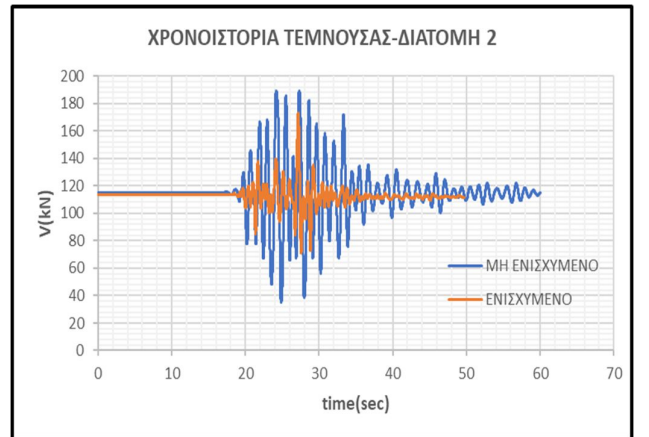
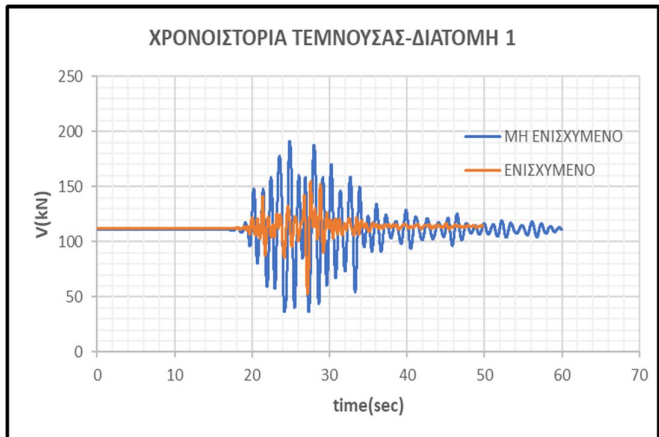
ΔΟΚΟΣ 15



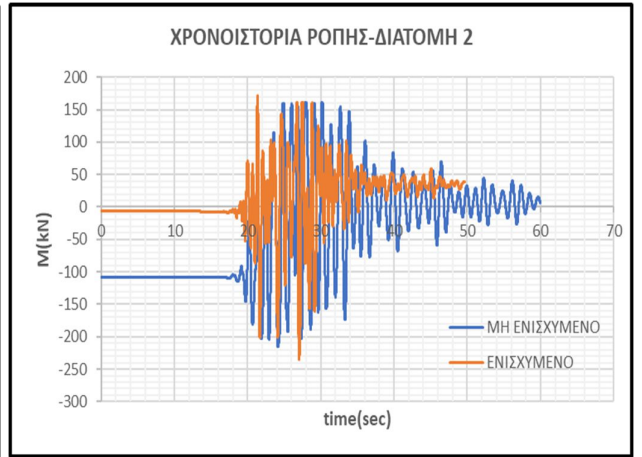
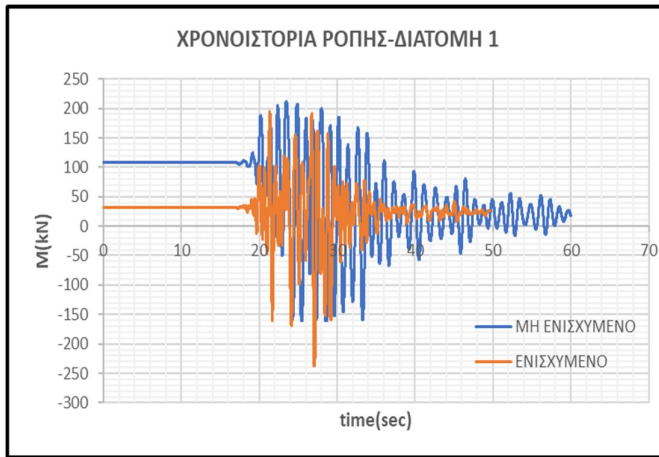
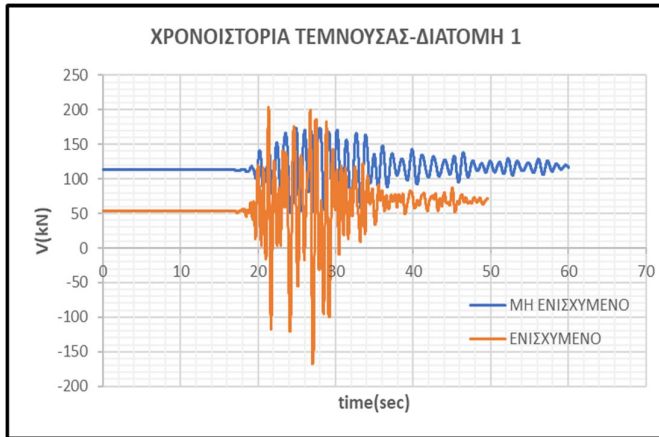


• ΣΕΙΣΜΟΣ NOR

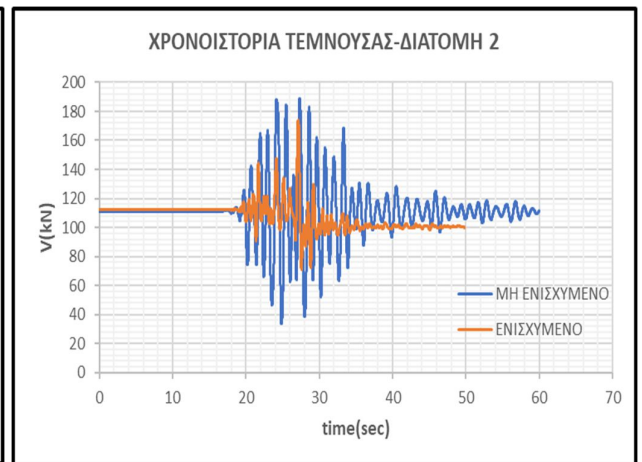
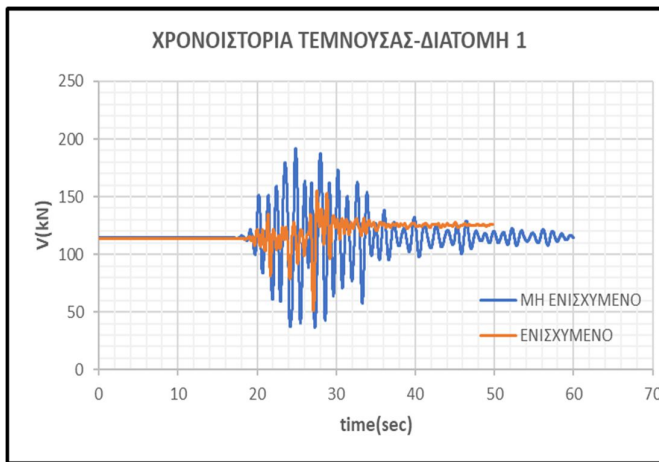
ΔΟΚΟΣ 13

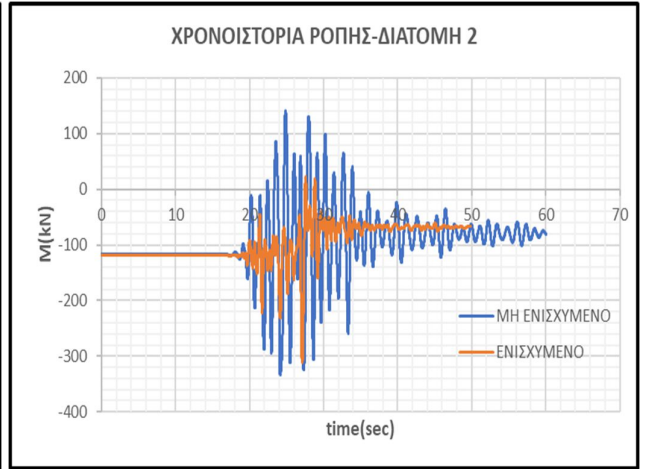
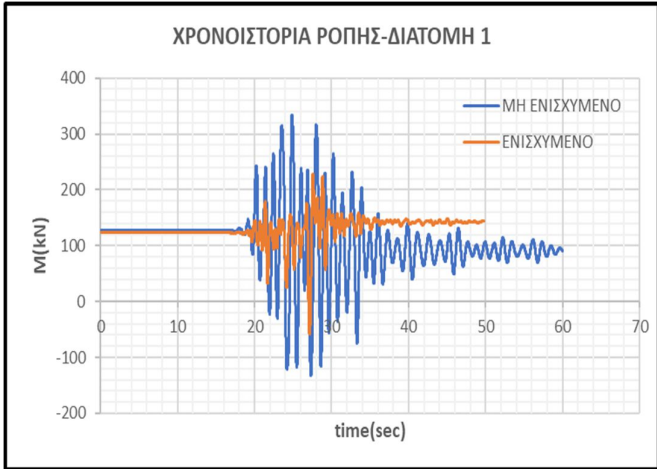


ΔΟΚΟΣ 14



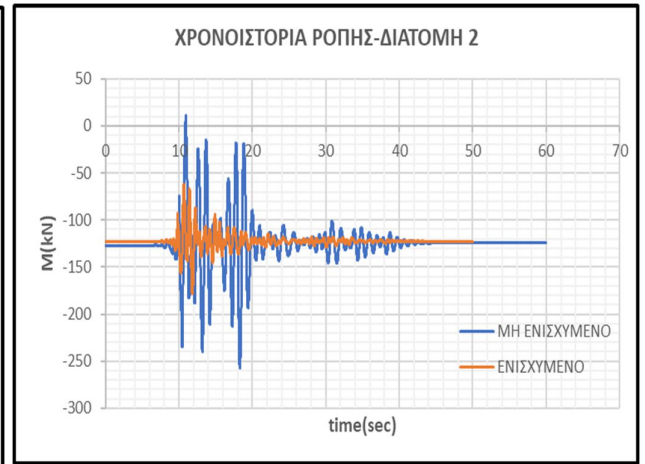
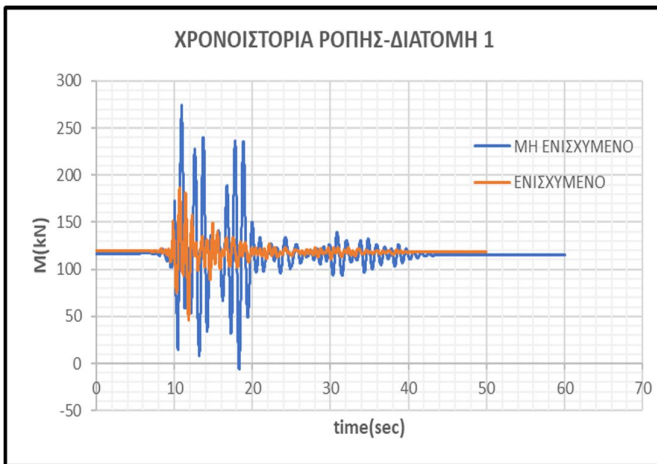
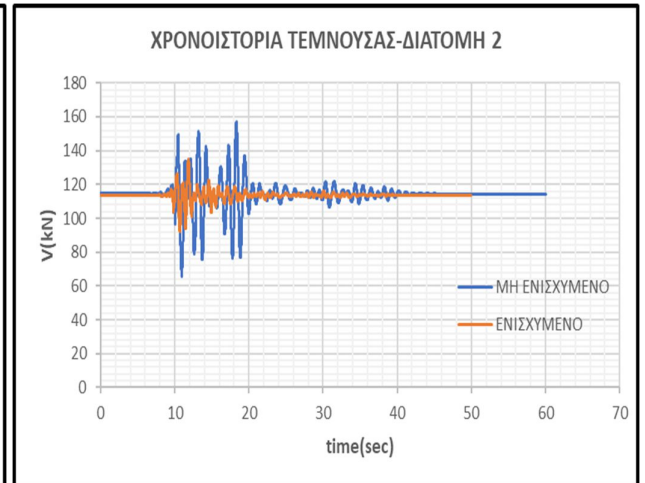
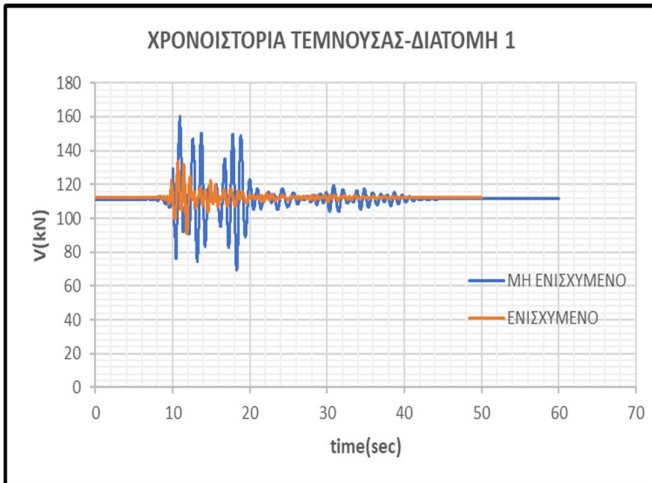
ΔΟΚΟΣ 15



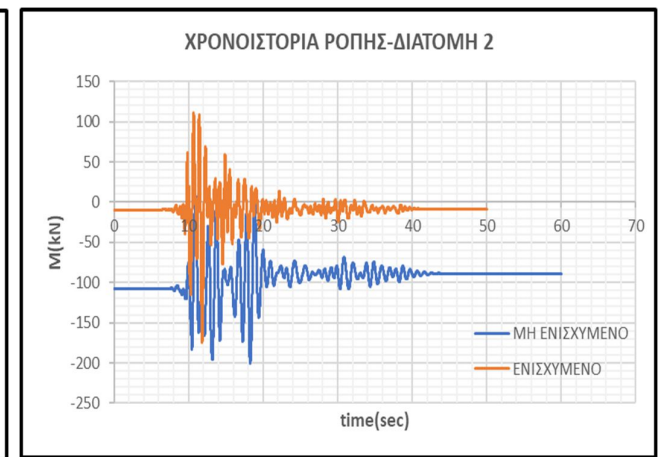
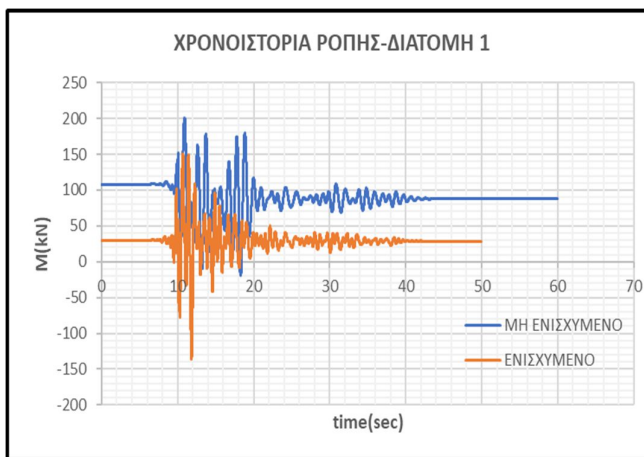
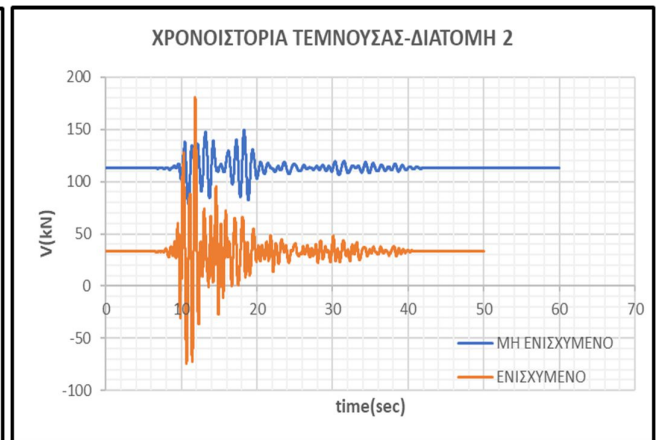
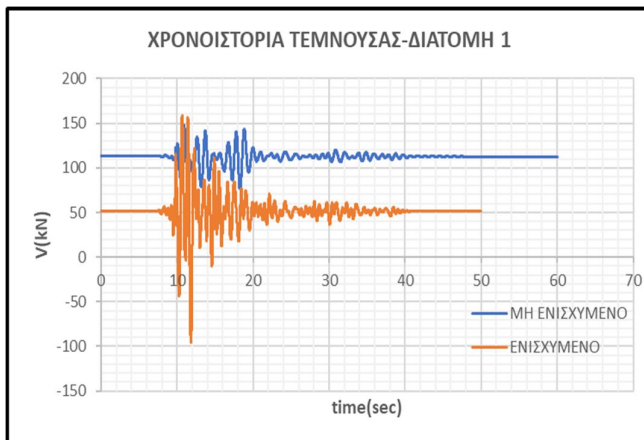


• ΣΕΙΣΜΟΣ NRC

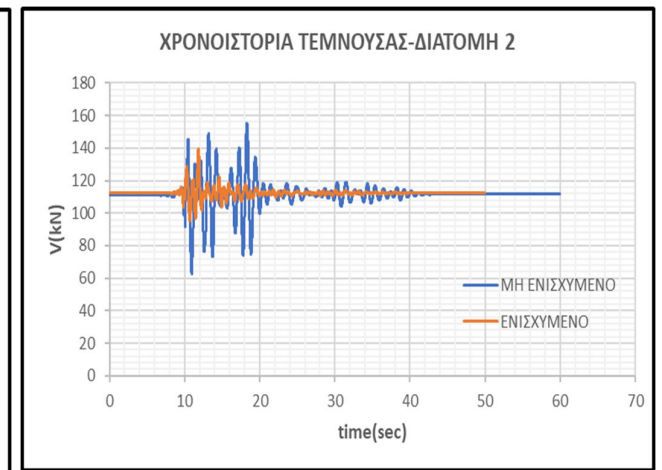
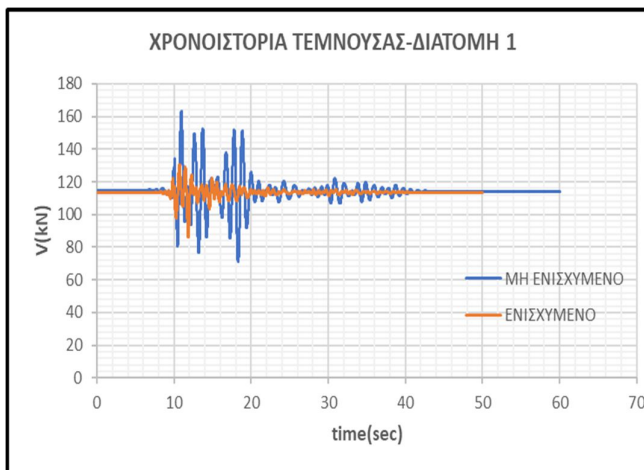
ΔΟΚΟΣ 13



ΔΟΚΟΣ 14

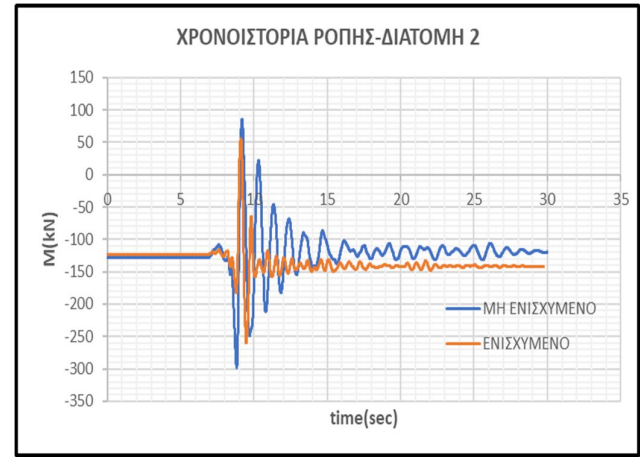
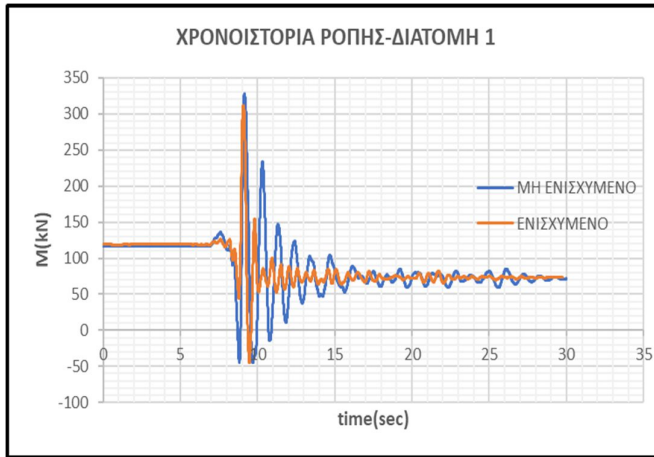
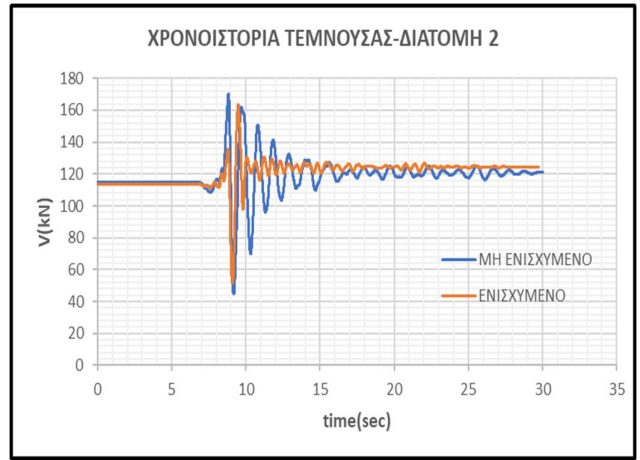
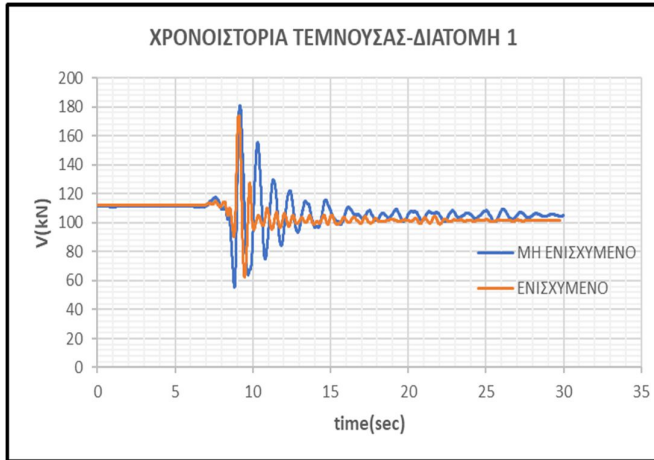


ΔΟΚΟΣ 15

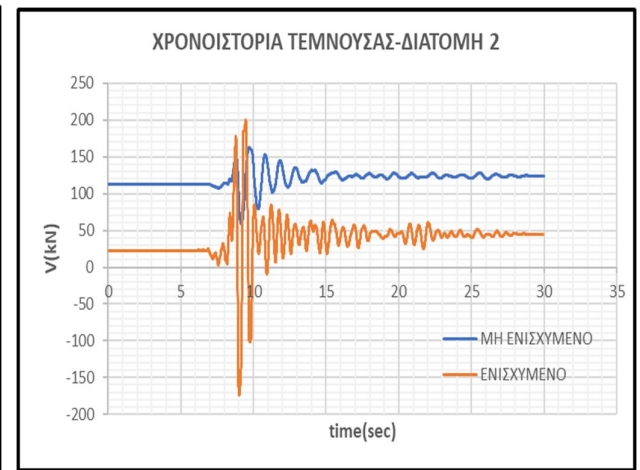
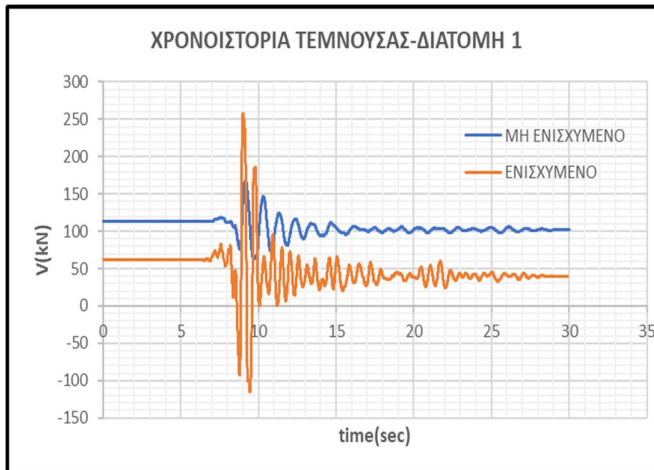


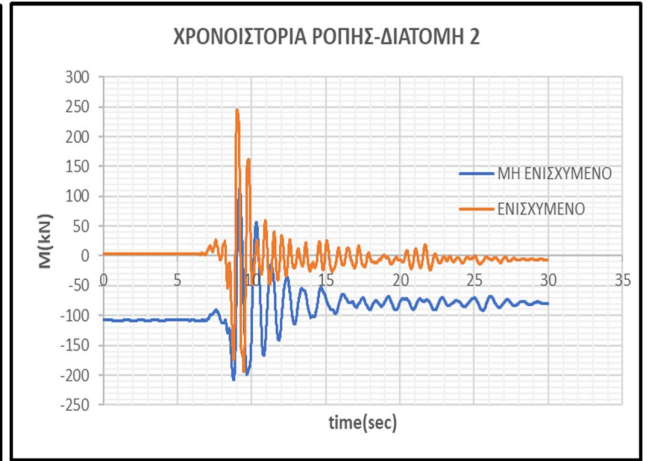
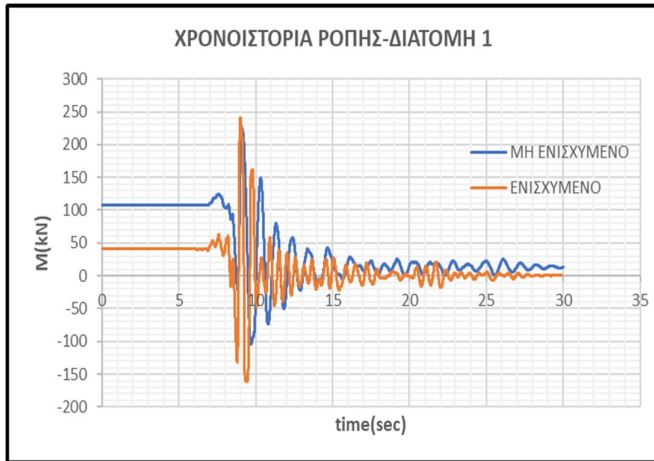
- ΣΕΙΣΜΟΣ ΑΜΤ

ΔΟΚΟΣ 13

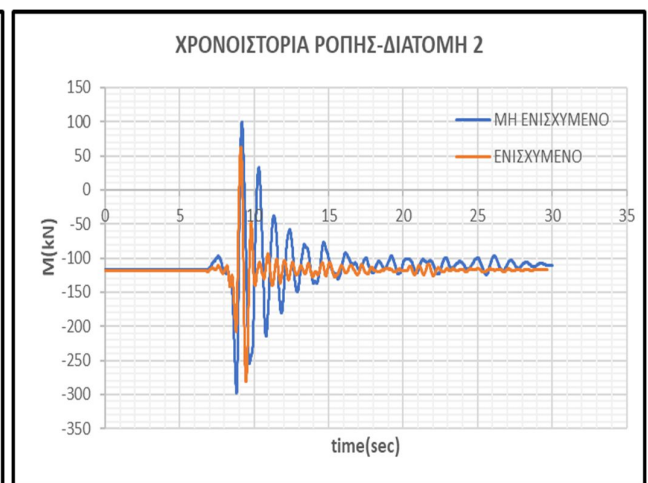
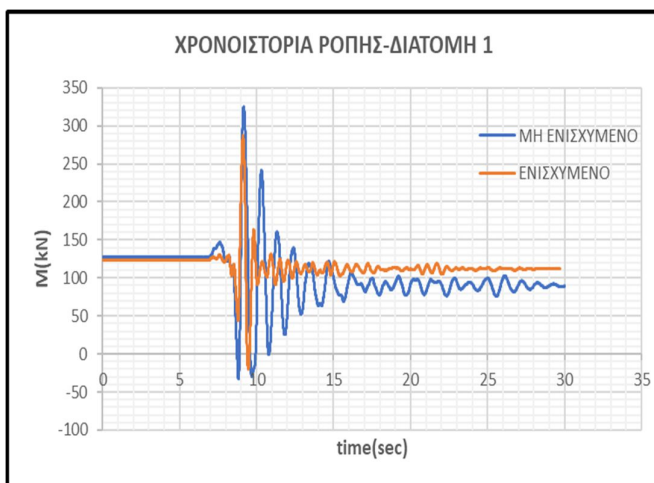
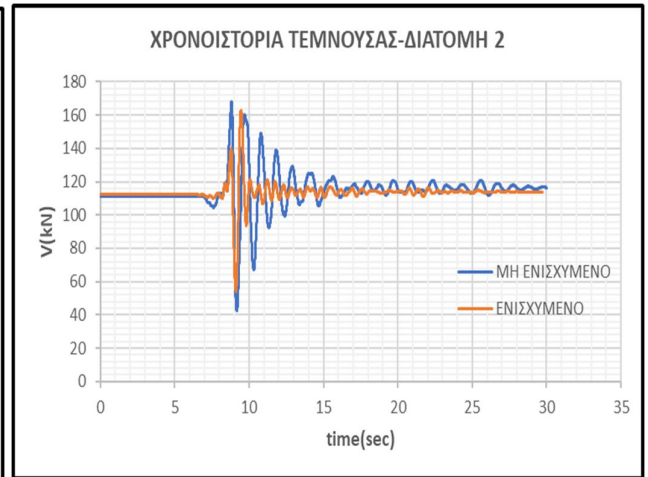
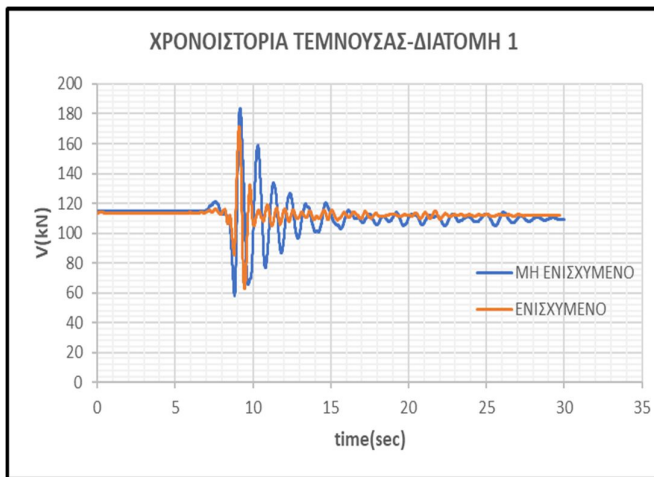


ΔΟΚΟΣ 14



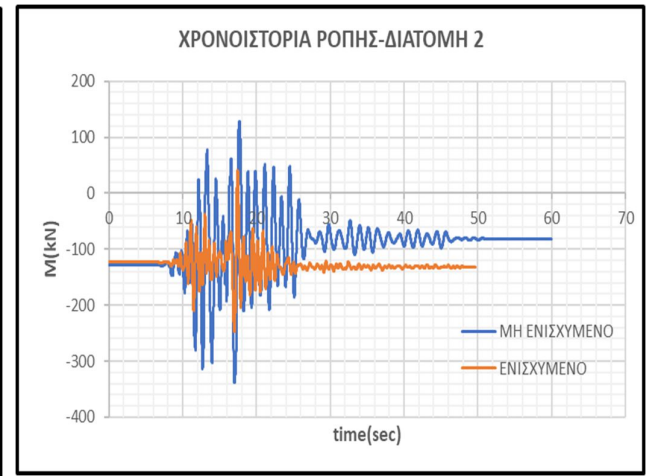
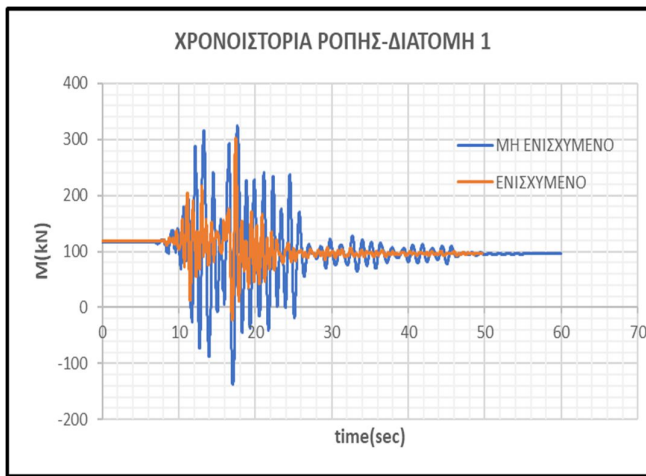
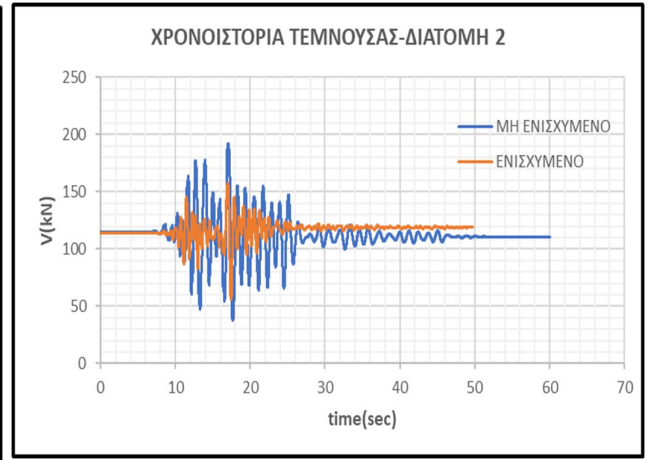
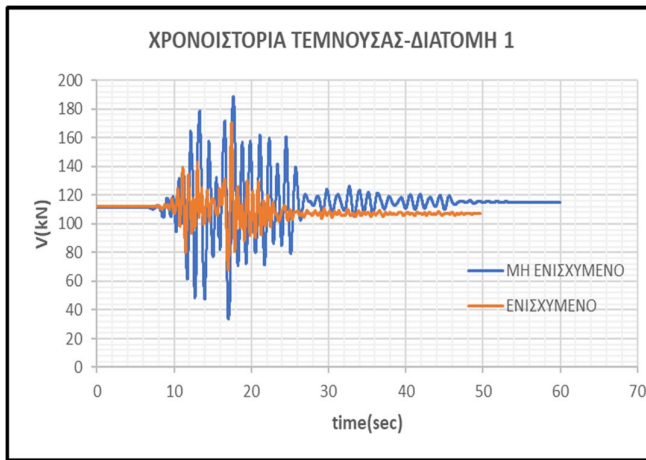


ΔΟΚΟΣ 15

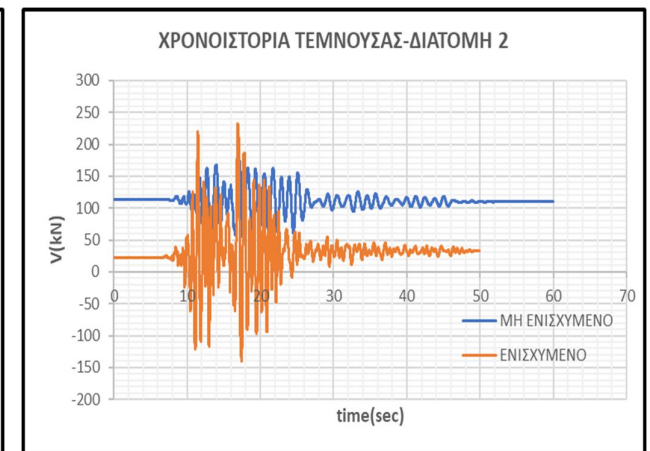
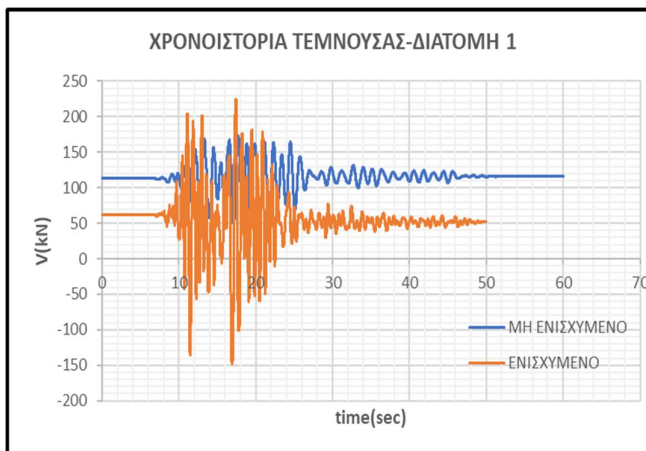


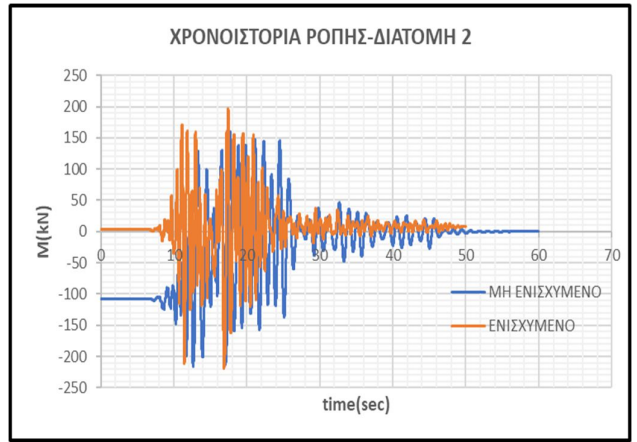
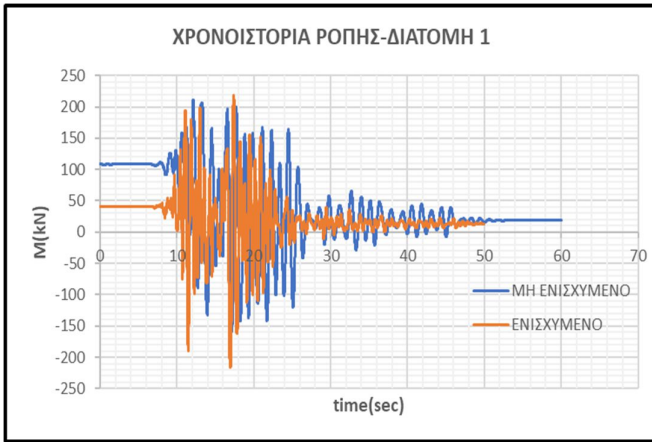
- ΣΕΙΣΜΟΣ NCR

ΔΟΚΟΣ 13

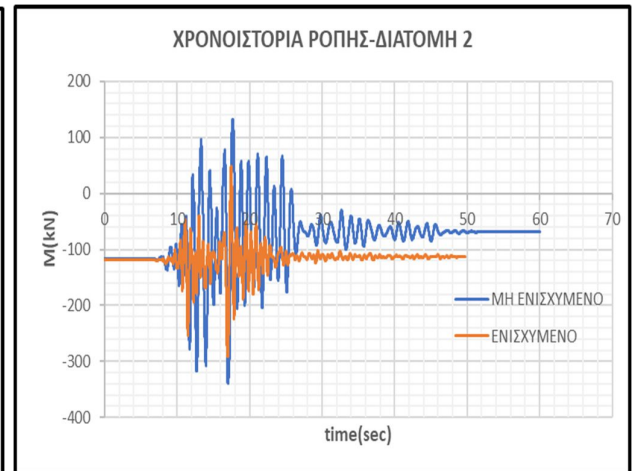
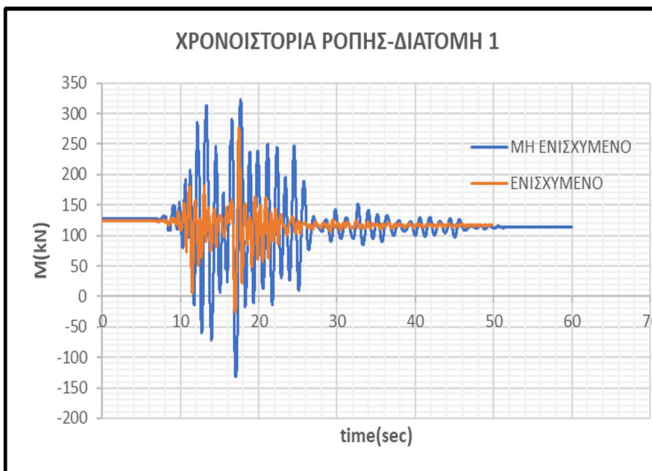
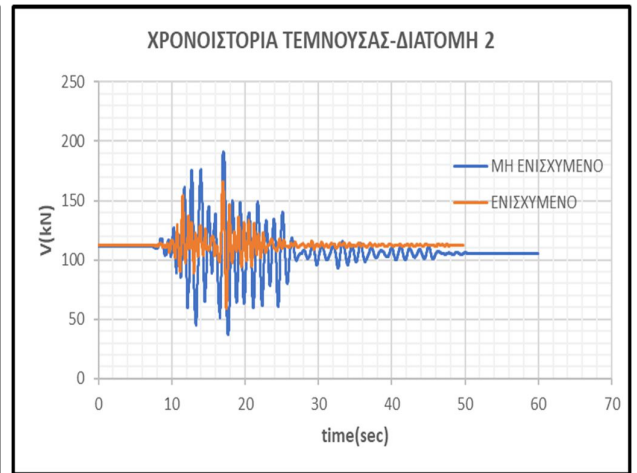
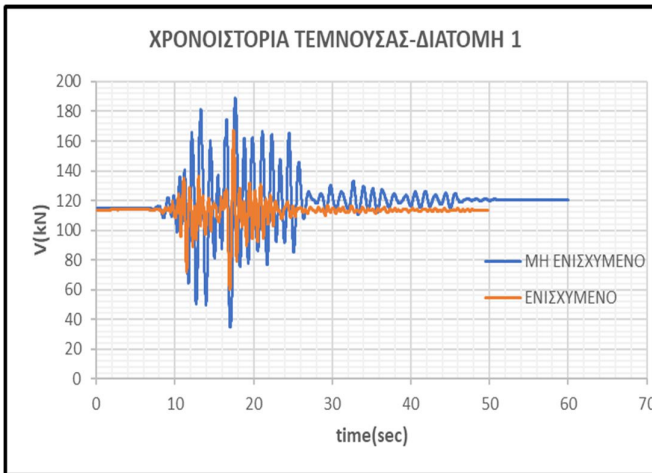


ΔΟΚΟΣ 14





ΔΟΚΟΣ 15



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για τα υποστυλώματα:

Είναι φανερό πως τα εντατικά μεγέθη (αξονικές, τέμνουσες, ροπές) μειώνονται τοποθετώντας λικνιζόμενα τοιχία στην κατασκευή. Εντούτοις, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω η πρόσθεση λικνιζόμενων τοιχίων δημιουργεί εφελκυστικές δυνάμεις στα υποστυλώματα (συγκεκριμένα αυτά που είναι δίπλα από τα λικνιζόμενα τοιχία, τα K4 και K7 στην περίπτωση αυτή) και σχεδόν σε κάποιους σεισμούς να υπερβεί τις ήδη υπάρχουσες θλιπτικές δυνάμεις. Αυτό θα είχε ως συνέπεια να προκληθεί το ανασήκωμά τους, αν γίνονταν δυναμικές αναλύσεις των ίδιων σεισμικών καταγραφών με μεγαλύτερο συντελεστή μεγέθυνσης της μονάδας.

Για τις δοκούς:

Εκ πρώτης όψεως τα εντατικά μεγέθη (τέμνουσες, ροπές) μειώνονται, ενισχύοντας το κτήριο με λικνιζόμενα προκατασκευασμένα τοιχία. Ωστόσο, στις δοκούς οι οποίες έχουν επαφή με το λικνιζόμενο στοιχείο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, ασκείται μια επιπρόσθετη τέμνουσα στο σημείο επαφής τους με αποτέλεσμα σε αυτές τις δοκούς να ασκούνται μεγαλύτερες τέμνουσες και επίσης σημαντικά μεγάλες ροπές όπως είναι φανερό από τα πιο πάνω διαγράμματα. Αποτέλεσμα είναι αυτές οι δοκοί να αστοχούν, αφού έχουν προκληθεί αρκετά μεγάλες ζημιές.

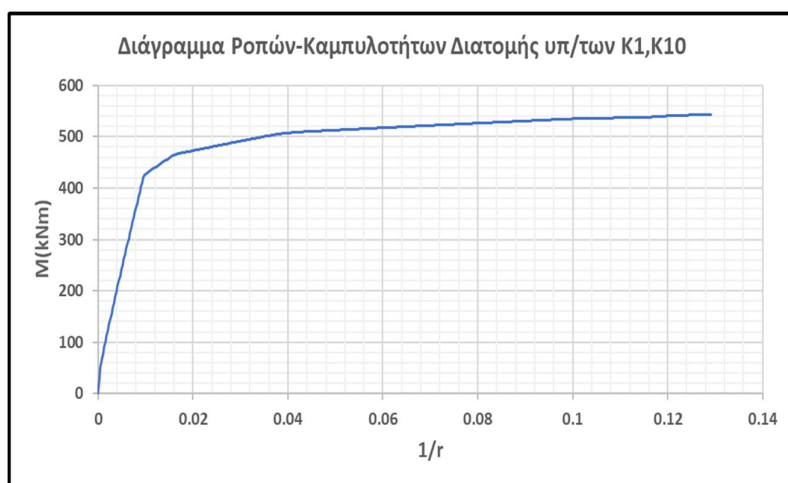
6.3 Τοπικές Πλαστιμότητες καμπυλοτήτων και στροφών-χορδών επιλεγμένων στοιχείων μη ενισχυμένου και ενισχυμένου πλαισίου

Υποστυλώματα Ισογείου

Αφού υπολογίστηκαν τα διαγράμματα ροπών καμπυλοτήτων των κάτω διατομών των υποστυλωμάτων του ισογείου (K1, K4, K7, K10) και συνεπώς η καμπυλότητα διαρροής $(1/r)_y$, στη συνέχεια από τη χρονοιστορία καμπυλοτήτων των διατομών των υποστυλωμάτων εντοπίστηκε η μέγιστη καμπυλότητα $(1/r)_{max}$ κι έτσι υπολογίστηκε η πλαστιμότητα καμπυλοτήτων $\mu(1/r) = \mu\phi = \mu\kappa$ από τη σχέση:

$$\mu(1/r) = (1/r)_{max} / (1/r)_y$$

[6.3α]

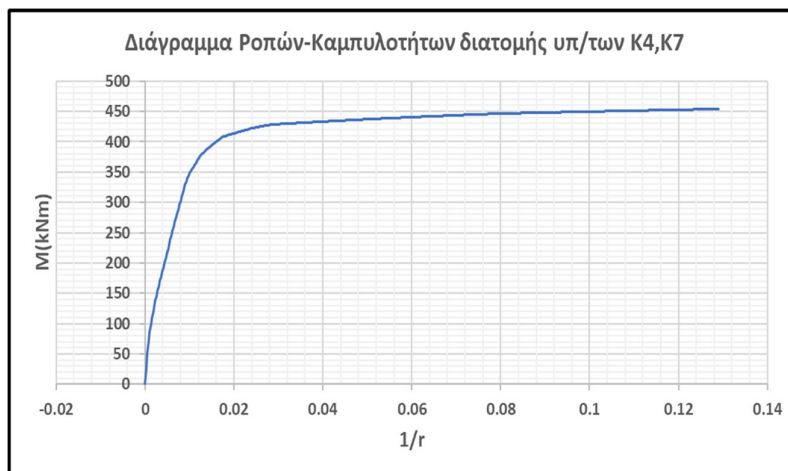


ΣΧΗΜΑ 6.3α : Διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων διατομής υπ/των K1, K10

Hcol=4.5m

Ls= 2.25 m (αμφίπακτα υπ/τα)

$(1/r)_y = 0.0086058$



ΣΧΗΜΑ 6.3α : Διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων διατομής υπ/των K4, K7

Hcol=4.5m

Ls= 2.25 m (αμφίπακτα υπ/τα)

$(1/r)_y = 0.0087$



ΣΧΗΜΑ 6.3γ : Παράδειγμα εντοπισμού μέγιστης καμπυλότητας διατομής

Πιο κάτω φαίνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών των πλαστιμοτήτων σε πίνακες με βάση το σεισμό και το πλάτος του λικνιζόμενου τοιχείου (μοντέλο με τρία λικνιζόμενα τοιχεία) και στη συνέχεια παρουσιάζονται σε διαγράμματα για καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3α : Πλαστιμότητες καμπυλοτήτων ακραίων υποστυλωμάτων ισογείου

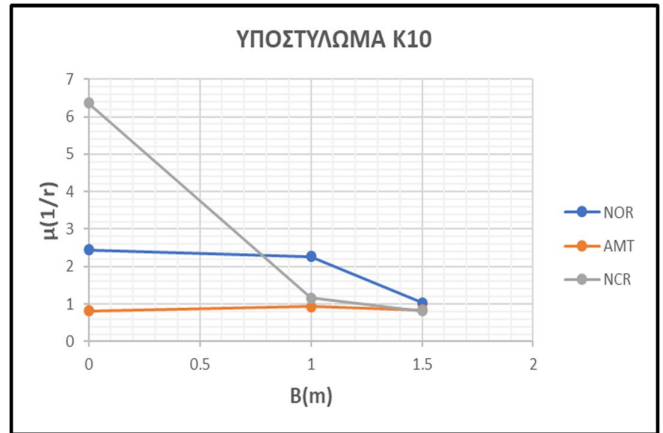
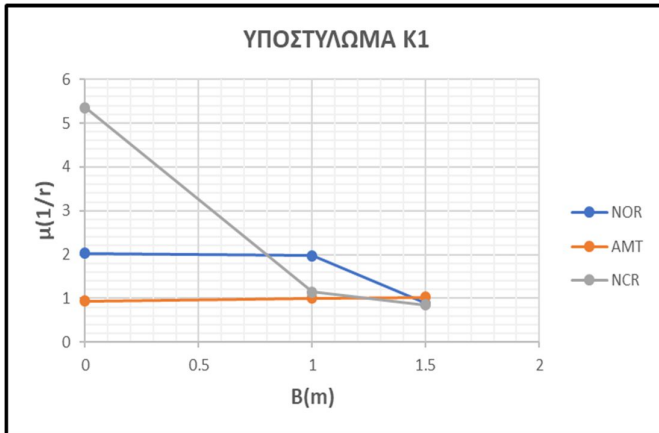
K1 B(m)	$\mu(1/r)$				
	KAL	NOR	NRC	AMT	NCR
0		2.0335		0.94122	5.35682
1	Elastic	1.9754	Elastic	1.00513	1.15038
1.5		Elastic		1.02256	Elastic

K10 B(m)	$\mu(1/r)$				
	KAL	NOR	NRC	AMT	NCR
0		2.4402			6.36776
1	Elastic	2.2659	Elastic	Elastic	1.162
1.5		1.035342			Elastic

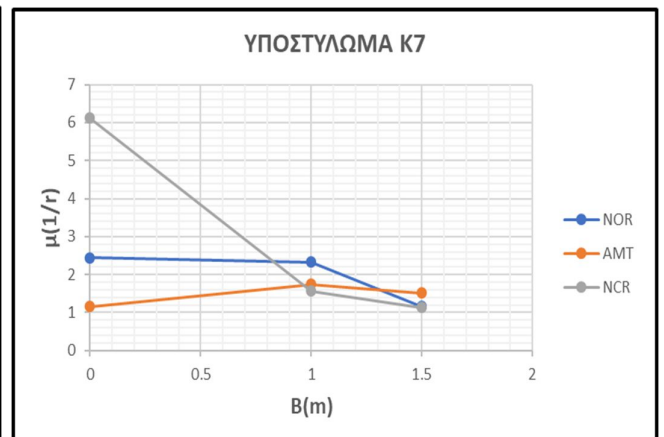
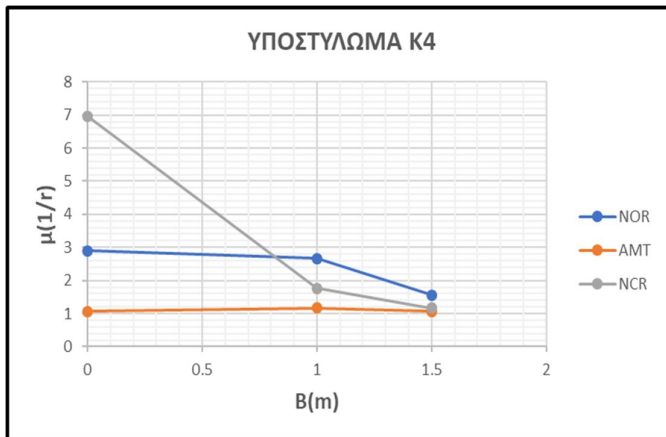
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3β : Πλαστιμότητες καμπυλοτήτων εσωτερικών υποστυλωμάτων ισογείου

K4 B(m)	$\mu(1/r)$				
	KAL	NOR	NRC	AMT	NCR
0		2.905		1.071364	6.972
1	Elastic	2.6726	Elastic	1.162	1.76624
1.5		1.55708		1.060325	1.162

K7 B(m)	$\mu(1/r)$				
	KAL	NOR	NRC	AMT	NCR
0		2.4402		1.162	6.12374
1	Elastic	2.324	Elastic	1.743	1.5687
1.5		1.162		1.5106	1.13876



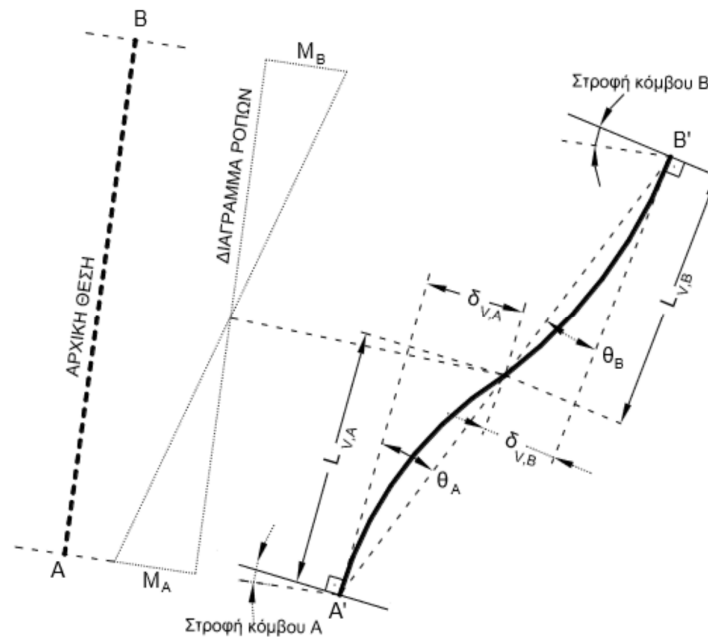
ΣΧΗΜΑ 6.3δ : Πλαστιμότητες καμπυλοτήτων ακραίων υποστυλωμάτων ισογείου



ΣΧΗΜΑ 6.3ε : Πλαστιμότητες καμπυλοτήτων εσωτερικών υποστυλωμάτων ισογείου

Όπως φαίνεται οι σεισμικές καταγραφές Καλαμάτας και ΝΡC δεν παρουσιάζονται στα διαγράμματα διότι δεν καταπονούν τα υποστυλώματα στην πλαστική περιοχή γι' αυτό και οι πλαστιμότητες που υπολογίστηκαν ήταν κάτω από τη μονάδα.

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι πλαστιμότητες **στροφών χορδών $\mu\theta$** των υποστυλωμάτων. Η γωνία **θ** ορίζεται ως η γωνία μεταξύ της εφαπτομένης στον άξονα του στοιχείου στο άκρο υπό διαρροή και της χορδής που συνδέει το άκρο αυτό με το άκρο του ανοίγματος διάτμησης, δηλ. το σημείο μηδενισμού των ροπών (ΣΧΗΜΑ 6.3ζ). Ουσιαστικά, η γωνία θ είναι η γωνία στροφής της χορδής που ενώνει τη βάση με την κορυφή ενός θεωρητικού προβόλου με μήκος ίσο με το **διατμητικό μήκος L_s** .



ΣΧΗΜΑ 6.3ζ: Ορισμός γωνίας στροφής χορδής

Η στροφή χορδής τη στιγμή της διαρροής θ_y υπολογίστηκε με βάση τη σχέση 6.3β του ΚΑΝ.ΕΠΕ (2η Αναθεώρηση 2017) για υποστυλώματα ως:

$$\theta_y = (1/r)_y \frac{L_s + a_v z}{3} + 0.0014 \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{(1/r)_y d_b f_y}{8\sqrt{f_c}} \quad [6.3\beta]$$

Ο πρώτος όρος εκφράζει τη συμβολή των καμπτικών παραμορφώσεων, ο δεύτερος όρος τις μέσες διατμητικές παραμορφώσεις στο μήκος L_s και ο τρίτος την επιρροή της εξόλκευσης του τμήματος των ράβδων πέραν της ακραίας διατομής του στοιχείου.

Επειδή όμως στο OpenSees στα fiber elements λαμβάνεται υπόψη μόνο ο πρώτος όρος και μάλιστα για $a_v=0$, αλλά και για λόγους απλοστευσης στην παρούσα διπλωματική το θ_y ελήφθη ως:

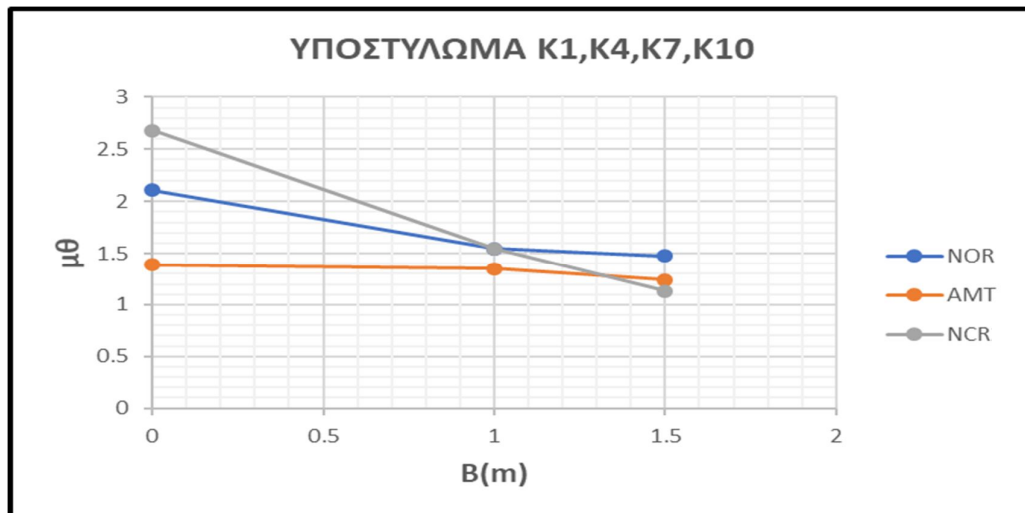
$$\theta_y = (1/r)_y \frac{L_s}{3}$$

Το θ_{max} ορίστηκε ως η γωνία στροφής της διατομής που αντιστοιχεί στη στοχευόμενη μετατόπιση, δηλαδή το **drift** του ορόφου.

Επομένως αφού τα εξεταζόμενα υποστυλώματα ήταν αυτά του ισογείου, είχαν ίδιο θ_{max} καθώς επίσης και ίδιο θ_{γ} αφού έχουν ίδιο ύψος και σχεδόν όμοιο $(1/r)_{\gamma}$. Έτσι οι πλαστιμότητες στροφών χορδών του ισογείου, οι οποίες φαίνονται πιο κάτω ήταν όμοιες για τα υπ/τα του ισογείου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3γ : Πλαστιμότητες στροφών χορδών υποστυλωμάτων ισογείου

K1,K4,K7,K10 B(m)	μθ				
	KAL	NOR	NRC	AMT	NCR
0		2.107093		1.386653	2.680347
1	Elastic	1.549333	Elastic	1.34792	1.549333
1.5		1.478064		1.239467	1.131013



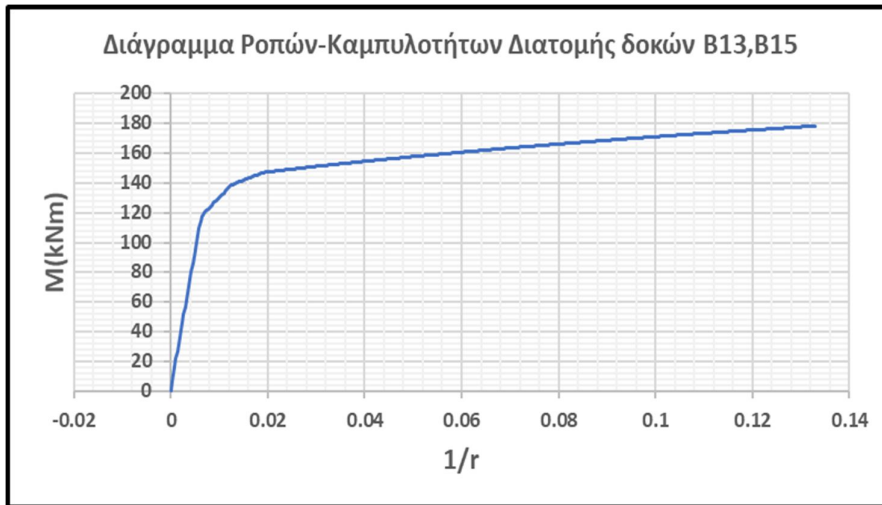
ΣΧΗΜΑ 6.3η : Πλαστιμότητες στροφών χορδών υποστυλωμάτων ισογείου

Δοκοί 1^{ου} ορόφου

Αφού υπολογίστηκαν τα διαγράμματα ροπών καμπυλοτήτων των διατομών 1 και 2 των δοκών του 1^{ου} ορόφου (B13, B14, B15) και συνεπώς η καμπυλότητα διαρροής $(1/r)_y$, στη συνέχεια από τη χρονοιστορία καμπυλοτήτων των διατομών των δοκών εντοπίστηκε η μέγιστη καμπυλότητα $(1/r)_{max}$ κι έτσι υπολογίστηκε όπως και στα υποστυλώματα η πλαστιμότητα καμπυλοτήτων $\mu(1/r) = \mu\phi = \mu\kappa$ από τη σχέση:

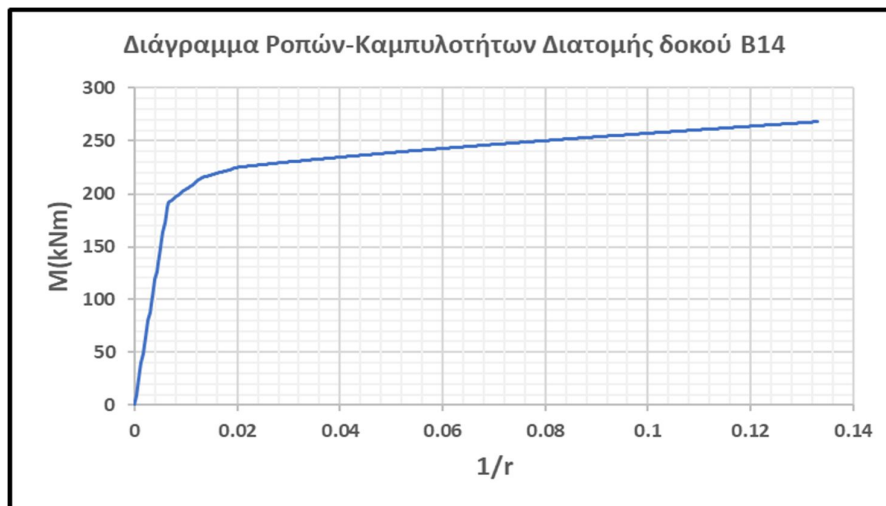
$$\mu(1/r) = (1/r)_{max} / (1/r)_y$$

[6.3γ]



$$(1/r)_y = 0.008862$$

ΣΧΗΜΑ 6.3θ : Διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων διατομής δοκών B13, B15



$$(1/r)_y = 0.00889$$

ΣΧΗΜΑ 6.3ι : Διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων διατομής δοκού B14



ΣΧΗΜΑ 6.3κ : Παράδειγμα εντοπισμού μέγιστης καμπυλότητας διατομής

Πιο κάτω φαίνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών των πλαστιμοτήτων σε πίνακες με βάση το σεισμό και το πλάτος του λικνιζόμενου τοιχίου (μοντέλο με τρία λικνιζόμενα τοιχία) και στη συνέχεια παρουσιάζονται σε διαγράμματα για καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3δ : Πλαστιμότητες καμπυλοτήτων δοκού 13^{ου} ορόφου

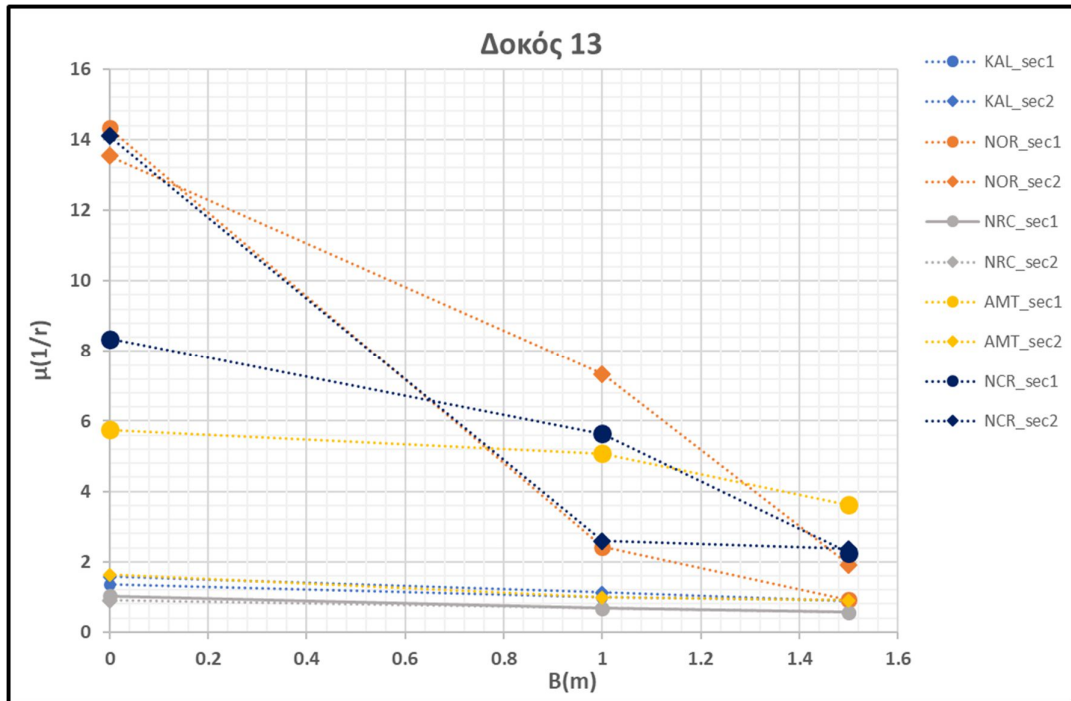
B13_sec1	μ(1/r)					B13_sec2	μ(1/r)				
B(m)	KAL	NOR	NRC	AMT	NCR	B(m)	KAL	NOR	NRC	AMT	NCR
0	1.35408	14.33068	1.026844	5.75484	8.35016	0	1.57976	13.5408	Elastic	1.63618	14.105
1	Elastic	2.414776	Elastic	5.0778	5.642	1	1.1284	7.3346	Elastic	Elastic	2.59532
1.5	Elastic	Elastic	Elastic	3.61088	2.2568	1.5	Elastic	1.91828	Elastic	Elastic	2.36964

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3ε : Πλαστιμότητες καμπυλοτήτων δοκού 14^{ου} ορόφου

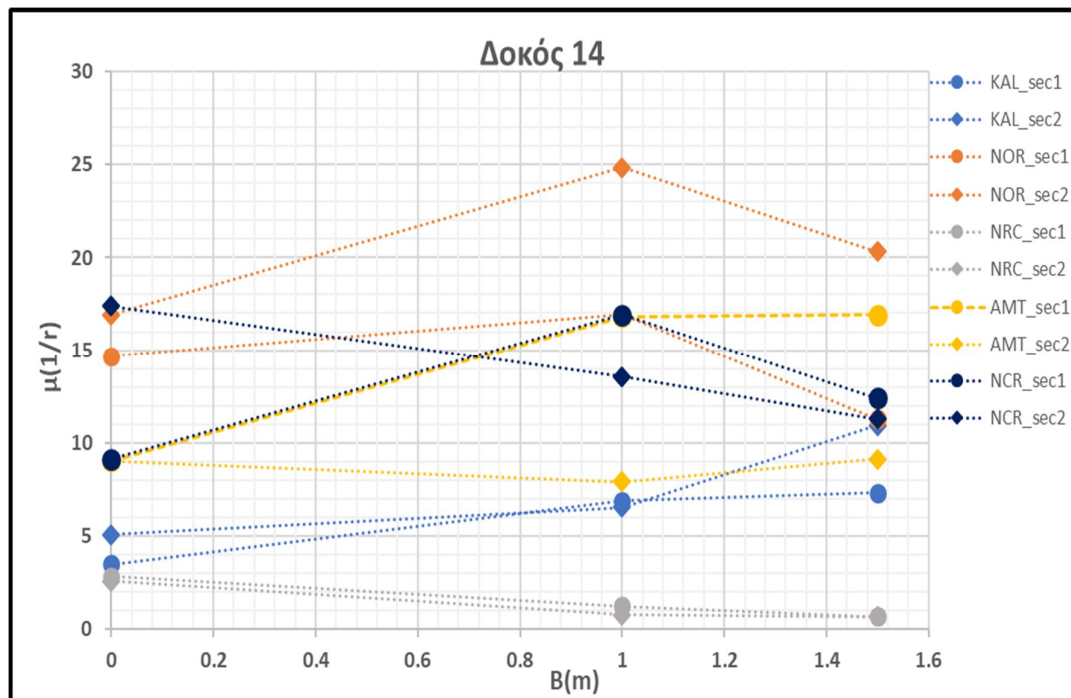
B14_sec1	μ(1/r)					B14_sec2	μ(1/r)				
B(m)	KAL	NOR	NRC	AMT	NCR	B(m)	KAL	NOR	NRC	AMT	NCR
0	3.49804	14.6692	2.821	9.0272	9.14004	0	5.0778	16.926	2.59532	9.0272	17.37736
1	6.88324	16.926	1.24124	16.82444	16.926	1	6.54472	24.8248	Elastic	7.8988	13.5408
1.5	7.3346	11.284	Elastic	16.926	12.4124	1.5	10.94548	20.3112	Elastic	9.14004	11.284

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3ζ : Πλαστιμότητες καμπυλοτήτων δοκού 15^{ου} ορόφου

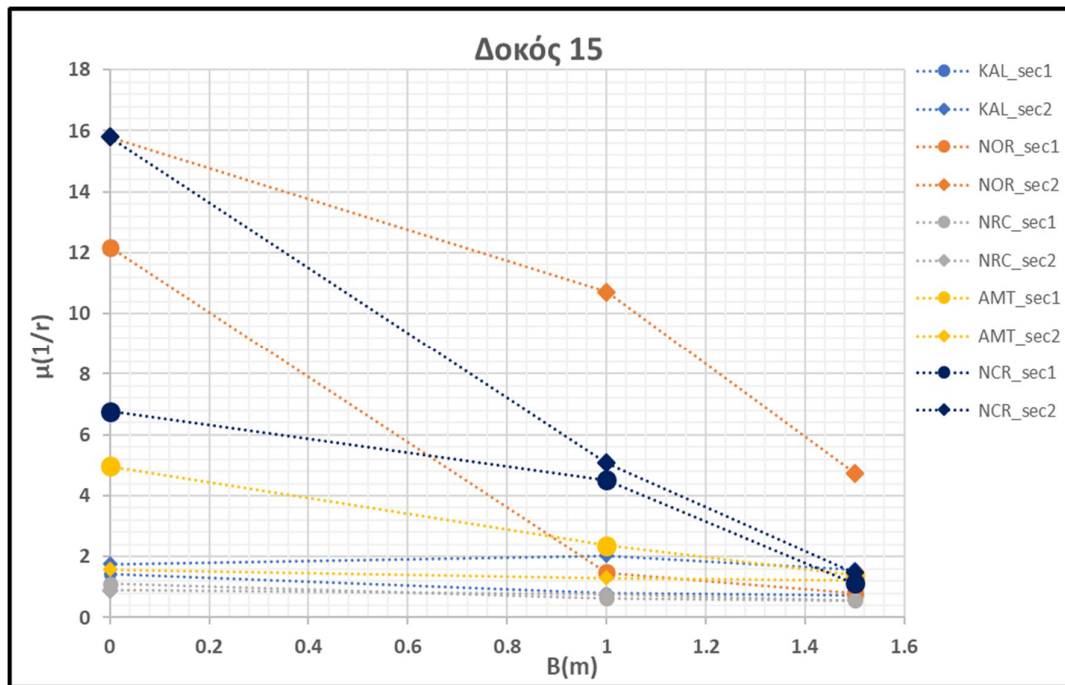
B15_sec1	μ(1/r)					B15_sec2	μ(1/r)				
B(m)	KAL	NOR	NRC	AMT	NCR	B(m)	KAL	NOR	NRC	AMT	NCR
0	1.421784	12.18672	1.117116	4.96496	6.7704	0	1.74902	15.7976	Elastic	1.57976	15.7976
1	Elastic	1.46692	Elastic	2.36964	4.5136	1	2.03112	10.7198	Elastic	1.308944	5.0778
1.5	Elastic	Elastic	Elastic	1.387932	1.1284	1.5	1.57976	4.73928	Elastic	1.229956	1.46692



ΣΧΗΜΑ 6.3λ : Πλαστιμότητες καμπυλοτήτων δοκού 13 1^{ου} ορόφου



ΣΧΗΜΑ 6.3μ : Πλαστιμότητες καμπυλοτήτων δοκού 14 1^{ου} ορόφου



ΣΧΗΜΑ 6.3v : Πλαστιμότητες καμπυλοτήτων δοκού 15 1^{ου} ορόφου

6.4 ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΤΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα υποστυλώματα όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα αναπτύσσουν πλαστιμότητες επιβάλλοντας στο μοντέλο τις σεισμικές καταγραφές, εκτός από δύο σεισμικές καταγραφές (Καλαμάτας, NRC) στις οποίες παραμένουν ελαστικά.

Επιπλέον είναι φανερό, πως όσο αυξάνεται το πλάτος B του λικνιζόμενου τοιχίου, μειώνεται η πλαστιμότητά τους και επομένως μειώνονται και οι ζημιές που θα προκληθούν κατά τη διάρκεια των σειμών αυτών.

Όσο αφορά τις δοκούς αναπτύσσουν και αυτές μεγάλες πλαστιμότητες κατά τη διάρκεια των σειμών, αρκετά μεγάλες σε κάποιους σεισμούς και μικρές σε άλλους. Αυτό που είναι σημαντικό να αναφερθεί είναι πως οι πλαστιμότητες των ακραίων δοκών (B13, B15) μειώνονται αρκετά όσο μεγαλώνει το πλάτος B του λικνιζόμενου τοιχίου. Σε αντίθεση με την δοκό B14 (εσωτερική δοκός), η οποία είναι σε επαφή με το λικνιζόμενο τοίχιο, αναπτύσσει γενικά πιο μεγάλες πλαστιμότητες όσο αυξάνεται το πλάτος B του τοιχίου, κι έτσι αστοχεί σε κάποιες σεισμικές καταγραφές.

6.5 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕ ΕΝΑ ΛΙΚΝΙΖΟΜΕΝΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΓΙΑ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΜΕΓΕΘΥΝΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ

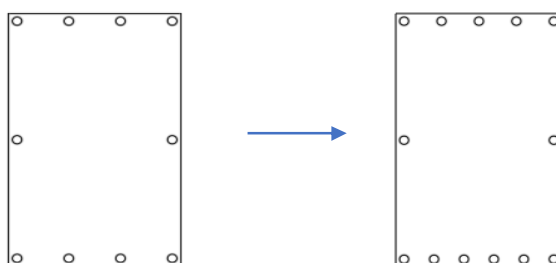
Πραγματοποιήθηκε δυναμική ανάλυση χρονοιστορίας για τη σεισμική καταγραφή **NCR** στο τριώροφο πλαίσιο με ένα λικνιζόμενο τοίχιο στο ισόγειο, με **συντελεστή μεγέθυνσης** ίσο με 2. Σκοπός ήταν η κατασκευή να διαρρέει αρκετά, ώστε η σύγκριση της κατασκευής με τοιχώματα και χωρίς να είναι πιο ξεκάθαρη.

Όπως διαπιστώθηκε και από την αρχή που πραγματοποιήθηκαν οι αναλύσεις, ο κώδικας δεν σύγκλινε για μεγάλους συντελεστές μεγέθυνσης και ο λόγος ήταν πως αναπτύσσονταν μεγάλες καμπυλότητες και συνεπώς μεγάλες πλαστιμότητες στη δοκό που είναι σε επαφή με το λικνιζόμενο τοίχιο όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.5α.



ΣΧΗΜΑ 6.5α: Χρονοιστορία καμπυλοτήτων εσωτερικής δοκού B14

Έγινε λοιπόν ενίσχυση της δοκού αυτής και της αντίστοιχης συμμετρικής της με μεγαλύτερο σπλισμό όπως φαίνεται πιο κάτω.



4Φ12

5Φ12

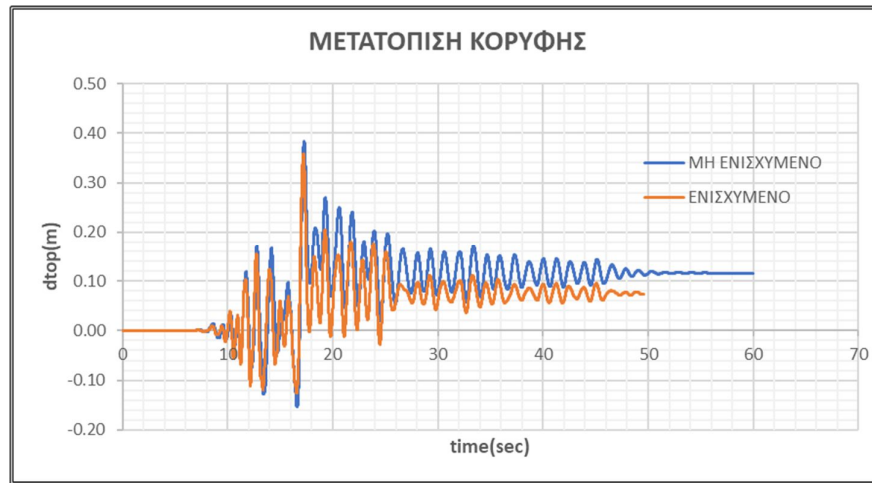
2Φ12

2Φ12

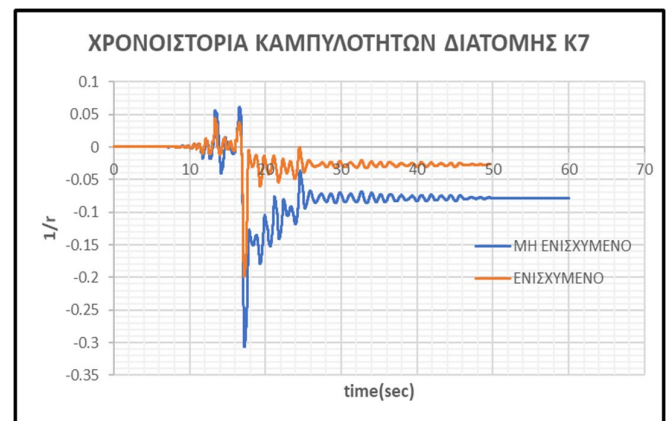
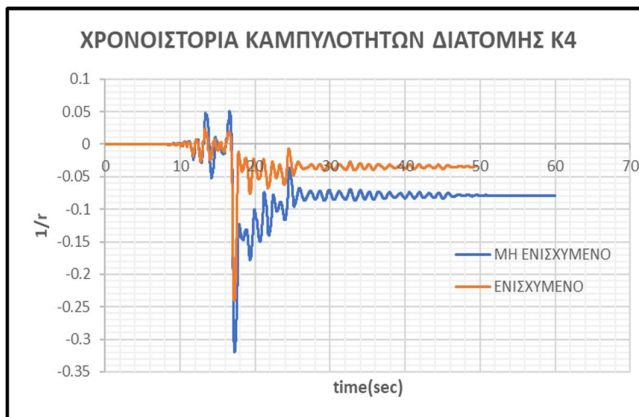
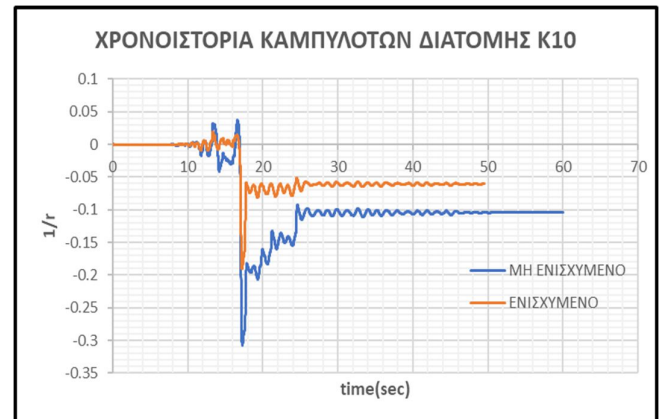
4Φ16

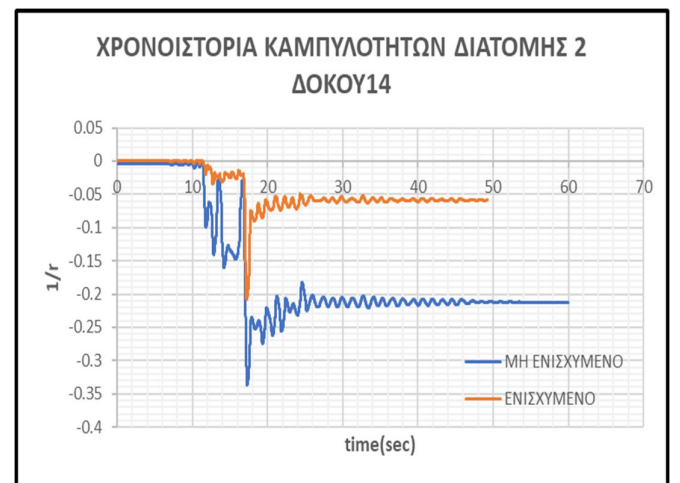
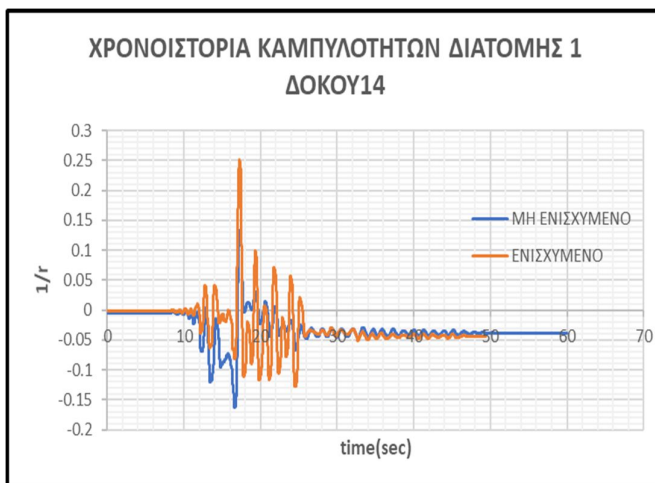
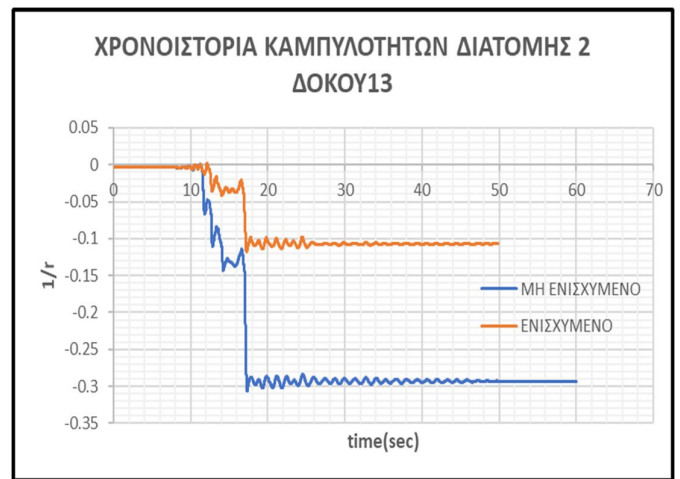
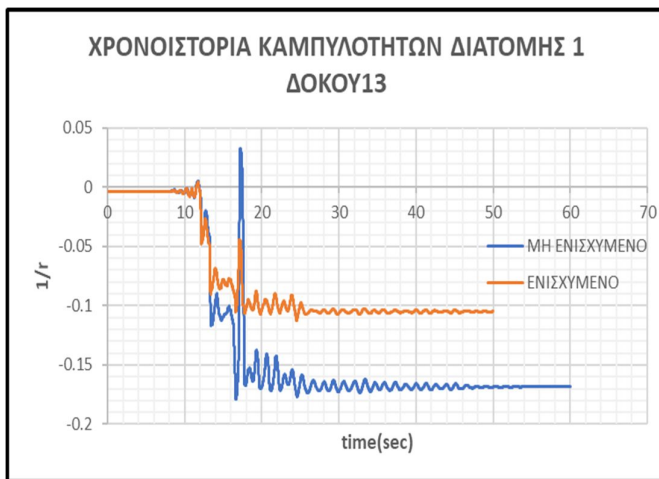
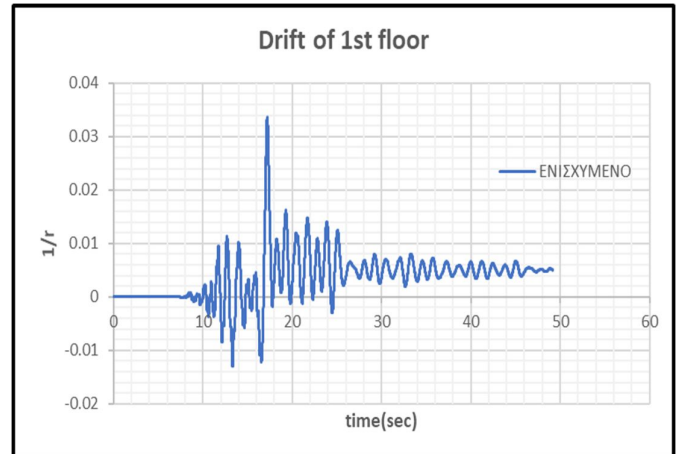
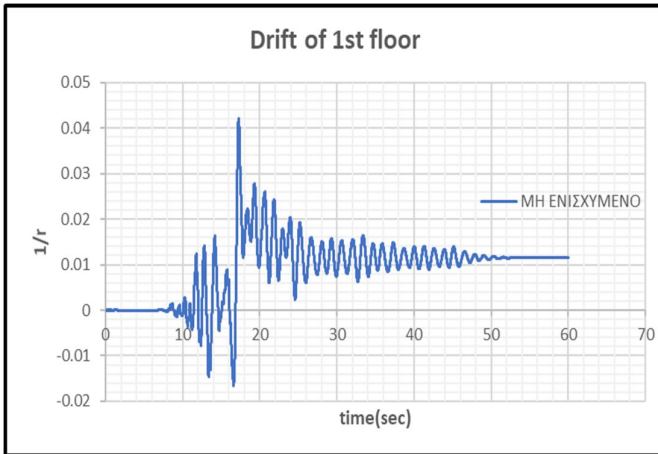
6Φ18

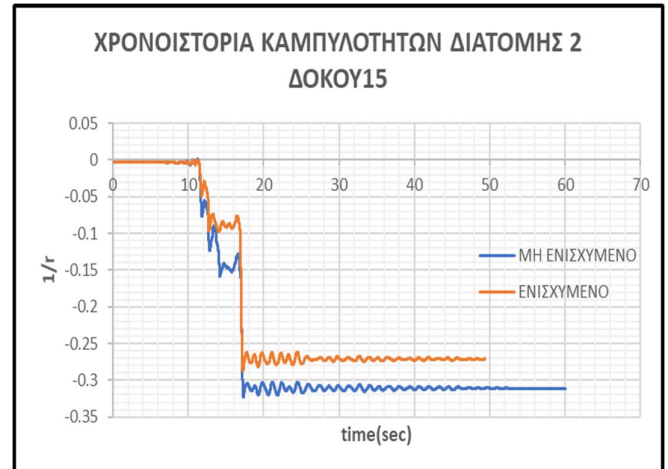
Με την ενίσχυση λυπόν της δοκού ο κώδικας σύγκλιε για συντελεστή μεγέθυνσης της καταγραφής ίσο με 2. Πιο κάτω παρουσιάζονται κάποια διαγράμματα τόσο του γυμνού πλαισίου όσο και του ενισχυμένου με το ένα λικνιζόμενο στοιχείο και ταυτόχρονη ενίσχυση της δοκού που προαναφέρθηκε για συντελεστή μεγέθυνσης (scale factor) ίσο με 2.



Πιο κάτω παρουσιάζονται οι καμπυλότητες των διατομών και στη συνέχεια οι πλαστιμότητες που έχουν προκύψει.







ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5α : Πλαστιμότητες καμπυλοτήτων και στρωφών-χορδών υπ/των ισογείου μη ενισχυμένου πλαισίου

ΥΠ/ΤΑ	$(1/r)_y$	$(1/r)_{max}$	$\mu(1/r)$	$\theta_y=(1/r)_y \cdot L_s/3$	$\theta_{max}=maxdrift$	$\mu\theta$
K1	0.008606	0.286	33.2332	0.006454389	0.041	6.352267
K4	0.008606	0.32	37.184	0.006454389	0.041	6.352267
K7	0.008606	0.304	35.3248	0.006454389	0.041	6.352267
K10	0.008606	0.307	35.6734	0.006454389	0.041	6.352267

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5β : Πλαστιμότητες καμπυλοτήτων και στρωφών-χορδών υπ/των ισογείου ενισχυμένου πλαισίου

ΥΠ/ΤΑ	$(1/r)_y$	$(1/r)_{max}$	$\mu(1/r)$	$\theta_y=(1/r)_y \cdot L_s/3$	$\theta_{max}=maxdrift$	$\mu\theta$
K1	0.008606	0.171	19.8702	0.006454389	0.0328	5.081813
K4	0.008606	0.24	27.888	0.006454389	0.0328	5.081813
K7	0.008606	0.2	23.24	0.006454389	0.0328	5.081813
K10	0.008606	0.19	22.078	0.006454389	0.0328	5.081813

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5γ : Πλαστιμότητες καμπυλοτήτων δοκών 1^{ου} ορόφου μη ενισχυμένου πλαισίου

ΔΟΚΟΙ	(1/r) γ	(1/r)max		$\mu(1/r)$	
		sec1	sec2	sec1	sec2
b13	0.008862	0.166	0.306	18.73144	34.52904
b14	0.008862	0.166	0.336	18.73144	37.91424
b15	0.008862	0.152	0.32	17.15168	36.1088

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5γ : Πλαστιμότητες καμπυλοτήτων δοκών 1^{ου} ορόφου ενισχυμένου πλαισίου

ΔΟΚΟΙ	(1/r) γ	(1/r)max		$\mu(1/r)$	
		sec1	sec2	sec1	sec2
b13	0.0089	0.112	0.117	12.58427	13.14607
b14	0.0089	0.25	0.206	28.08989	23.14607
b15	0.0089	0.07	0.28	7.86517	31.46067

6.5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρατηρείται πως με την προσθήκη του λικνιζόμενου μέλους στο ισόγειο η παραμένουσα μετακίνηση κορυφής που δημιουργεί αυτή η σεισμική διέγερση με αυτό τον συντελεστή μεγέθυνσης μειώνεται.

Μεγάλη μείωση επιπλέον παρατηρείται στις πλαστιμότητες των μελών της κατασκευής εκτός από μερικές εξαιρέσεις όπως συμβαίνει πάλι για τη δοκό που βρίσκεται δίπλα από το λικνιζόμενο στοιχείο που αντί να μειώνεται αυξάνεται για την αριστερή διατομή της.

Αξίζει να σημειωθεί πως με κατάλληλη ενίσχυση των μελών που είναι σε επαφή με το λικνιζόμενο τοιχίο μπορούν να αποφευχθούν οποιαδήποτε προβλήματα σύγκλισης της ανάλυσης προκύπτουν λόγω εμφάνισης μεγάλων πλαστιμοτήτων.

7. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΜΕΛΕΤΗ

7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας όλα τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει, είναι δυνατό να βγουν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την επιρροή των λικνιζόμενων προκατασκευασμένων τοιχίων στην σεισμική απόκριση πολυώροφων κτηρίων.

- Αρχικά προσθέτοντας στοιχεία λικνισμού, αυξάνεται η δυσκαμψία της κατασκευής και ικανότητά της να παραλάβει τη σεισμική δύναμη, ενώ μειώνεται η μετατόπιση κορυφής. Η συμπεριφορά της κατασκευής βελτιώνεται ακόμη περισσότερο αυξάνοντας το πλάτος Β του στοιχείου.
- Επιπλέον τα εντατικά μεγέθη των μελών (δοκοί, υποστυλώματα) μειώνονται ενισχύοντας την κατασκευή με λικνιζόμενα τοιχία. Ωστόσο υπάρχουν μέλη που πιθανόν να παρουσιάσουν προβλήματα και να χρειάζεται η ενίσχυσή τους. Συγκεκριμένα τα υποστυλώματα που βρίσκονται δίπλα από το λικνιζόμενο τοιχίο, δέχονται εφελκυστικές δυνάμεις οι οποίες πιθανόν να υπερβούν τις ήδη υπάρχουσες θλιπτικές και να μειωθεί αρκετά η αντοχή τους. Επίσης οι δοκοί που έχουν επαφή με το λικνιζόμενο τοιχίο δέχονται μια επιπρόσθετη τέμνουσα στο σημείο επαφής τους και σημαντικά μεγάλες ροπές με αποτέλεσμα να αστοχήσουν σε μεγάλους σεισμούς.
- Όσο αφορά τις πλαστιμότητες, με την τοποθέτηση των στοιχείων λικνισμού παρατηρείται μείωση των πλαστιμοτήτων τόσο των υποστυλωμάτων όσο και των ακραίων δοκών. Παράλληλα η πλαστιμότητα αυξάνεται για τις δοκούς που είναι σε επαφή με το στοιχείο λικνισμού όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα.
- Διαπιστώνεται ακόμη ότι με την ενίσχυση των δοκών και των υποστυλωμάτων που βρίσκονται κοντά στο τοιχίο λικνισμού, μπορούν να αποφευχθούν ζημιές και αστοχίες καθώς επίσης η κατάλληλη τοποθέτηση των λικνιζόμενων μελών σε ορθές θέσεις πιθανόν να αντιμετωπίζει τα προβλήματα αυτά και να μην χρειάζεται ενίσχυση των δοκών και υπ/των.

Γενικά η χρήση προκατασκευασμένων λικνιζόμενων τοιχίων δύναται να βελτιώσει την σεισμική απόκριση της κατασκευής και να περιορίσει τις αναπτυσσόμενες βλάβες σε ένα σεισμό. Αυτό όμως απαιτεί σωστή μελέτη ώστε οι θέσεις και ο αριθμός των τοιχίων που θα χρησιμοποιηθούν να είναι βέλτιστος.

7.2 ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

- Τοποθέτηση στοιχείων λικνισμού σε θέσεις (π.χ στα ακραία ανοίγματα), ώστε να αναιρούνται οι εφελκυστικές δυνάμεις που δημιουργούν και να μην χρειάζεται περαιτέρω ενίσχυση των μελών.
- Δυναμικές αναλύσεις χρονοιστοριών σεισμών με μεγαλύτερο συντελεστή μεγέθυνσης, προσαρμόζοντας τον κώδικα ανάλυσης να συγκλίνει και να μην εμφανίζονται σφάλματα.
- Σύγκριση σεισμικής απόκρισης πολυώροφου κτηρίου ενισχύοντάς το αρχικά με μονολιθικά τοιχία και στη συνέχεια με προκατασκευασμένα λικνιζόμενα τοιχία.
- Ανάλυση της κατασκευής με λικνιζόμενα τοιχία με παράμετρο το μήκος του ανοίγματος του πλαισίου παράλληλα με το πλάτος του λικνιζόμενου τοιχίου.



8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ψυχάρης Ιωάννης (2016) : Σημειώσεις αντισεισμικής τεχνολογίας , τεύχος 1.
2. Ψυχάρης Ιωάννης (2015) : Σημειώσεις αντισεισμικής τεχνολογίας , τεύχος 2.
3. ΚΑΝ.ΕΠΕ. (Κανονισμός Επεμβάσεων) Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ). 2η Αναθεώρηση 2017.
4. Evangelos Angenakis, “Modeling of Rocking Flexible Bodies Consideration the Deformability of their Base”, Master thesis, October 2015.
5. Chopra, A.K. (2007). Dynamics of structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering. Prentice-Hall, New Jersey.
6. Οδηγός σχεδιασμού σύμφωνα με τον Ευροκώδικα 8: Αντισεισμικός Σχεδιασμός Κατασκευών Κατά τα πρότυπα EN 1998-1 και EN 1998-5. Μιχαήλ Φαρδής, Πανεπιστήμιο Πατρών.
7. Ζαντής Χρίστος, “Συγκριτική Διερεύνηση της Στατικής Μη Γραμμικής Συμπεριφοράς Τυπικών Πλαισίων από Ω.Σ Ενισχυμένων με Λικνιζόμενα Προκατασκευασμένα Τοιχία”, Διπλωματική εργασία, Αθήνα, Ιούλιος 2016.
8. Seismic-Resistant Precast Concrete Structures: State of the Art. Yahya C. Kurama, M.ASCE; Sri Sritharan, M.ASCE; Robert B. Fleischman, M.ASCE; Jose I. Restrepo, M.ASCE; Richard S. Henry; Ned M. Cleland, M.ASCE; S. K. Ghosh, F.ASCE; and Patricio Bonelli
9. Evangelos Avgenakis and Ioannis N. Psycharis, A.M.ASCE. Modeling of Rocking Elastic Flexible Bodies under Static Loading Considering the Nonlinear Stress Distribution at Their Base.

Εγχειρίδια Λειτουργίας

Εγχειρίδιο Χειρισμού FESPA. LH Λογισμική, Αθήνα
Οδηγός Μελέτης με Ευροκώδικες. LH Λογισμική, Αθήνα
OpenSees Command Language Manual. University of California, Berkeley.

9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ-ΚΩΔΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

9.1 Μη ενισχυμένο πλαίσιο-Ανάλυση PUSHOVER

```
1 #SET UP.....#units
2 kg,kN,m,sec
3 wipe; #clear memory of all past model definitions
4 #Create ModelBuilder (with two-dimensions and 3 DOF/node)
5 model BasicBuilder -ndm 2 -ndf 3
6
7 # define MATERIAL properties -----
8 uniaxialMaterial Steel01 1 500000 200000000 0.0001;
9 uniaxialMaterial Concrete01 2 -25000.0 -0.002 -25000.0 -0.1;
10 uniaxialMaterial Elastic 3 2000000000000000.0
11
12 puts "TRIOROFO EPIPEDO PLAISIO"
13 #before build the model_set some parameters
14 set PI 3.1415926535897931
15 #DEFINE GEOMETRY
16 set Lf 6.0;
17 set Hf1 4.5; #Height of the first floor
18 set Hfi 3.5; #Height of the following floors
19 set H_cord [expr $Hf1+2*$Hfi];
20 set Hp 0.2; #Height of the slab
21 set Bcol 0.45; #Column Width
22 set Dcol 0.45; #Column Depth
23 set h_B 0.5; #Beam height
24 set b_B 0.30; #Beam Width
25 set coverCol 0.035; #cover of columns
26 set cover_B 0.03; #cover of beams
27
28
29
30 # calculate locations of beam/column intersections
31 set X1 0.;
32 set X2 [expr $X1 + $Lf];
33 set X3 [expr $X2 + $Lf];
34 set X4 [expr $X3 + $Lf];
35 set X5 [expr $X2 + $Lf/2.0];
36 set Y1 0.;
37 set Y2 [expr $Y1 + $Hf1];
38 set Y3 [expr $Y2 + $Hfi];
39 set Y4 [expr $Y3 + $Hfi];
40
41
42 #NODAL COORDINATES.....
43 node 1 $X1 $Y1
44 node 2 $X2 $Y1
45 node 3 $X3 $Y1
46 node 4 $X4 $Y1
47 node 5 $X1 $Y2
48
49 node 6 $X2 $Y2
50 node 7 $X3 $Y2
51 node 8 $X4 $Y2
52 node 18 $X2 $Y2
53 node 19 $X3 $Y2
54 node 20 $X4 $Y2
55 equalDOF 6 18 2 3
56 equalDOF 7 19 2 3
57 equalDOF 8 20 2 3
58
59
60 node 9 $X1 $Y3
```

```

61
62 node 10 $X2 $Y3
63 node 11 $X3 $Y3
64 node 12 $X4 $Y3
65 node 21 $X2 $Y3
66 node 22 $X3 $Y3
67 node 23 $X4 $Y3
68 equalDOF 10 21 2 3
69 equalDOF 11 22 2 3
70 equalDOF 12 23 2 3
71
72 node 13 $X1 $Y4
73
74 node 14 $X2 $Y4
75 node 15 $X3 $Y4
76 node 16 $X4 $Y4
77 node 24 $X2 $Y4
78 node 26 $X3 $Y4
79 node 27 $X4 $Y4
80 equalDOF 14 24 2 3
81 equalDOF 15 26 2 3
82 equalDOF 16 27 2 3
83
84
85 #SINGLE POINT COORDINATES
86 fix 1 1 1 1
87 fix 2 1 1 1
88 fix 3 1 1 1
89 fix 4 1 1 1
90
91 #loads
92 set gw 25.0; #kN/m3
93 set gk 1.0; #kN/m2
94 set qt 9; #kN/m
95 set q 2.0; #kN/m2
96
97 #disturbed load
98 set lep 4; #mhkos epiirrohs
99 set gPlate [expr ($gw*$Hp+$gk)*$lep];
100 set gBeam [expr $gw*($h_B-$Hp)*$b_B];
101 set distBeam [expr $gBeam+$gPlate+$qt+0.3*$q*$lep];
102 set distCol [expr $gw*$Dcol*$Bcol];
103 set g 10.0;
104 puts "Fortio dokwn"
105 puts $distBeam; puts "kN/m"
106 puts "Fortio Ypostilwmatwn"
107 puts $distCol; puts "kN/m"
108
109 #mesaioi komboi
110 set massIntDown [expr ($distBeam*$Lf+$distCol*($Hf1+$Hfi)/2.0)/$g];
111 set massIntMid [expr ($distBeam*$Lf+$distCol*$Hfi)/$g];
112 set massIntUp [expr ($distBeam*$Lf+$distCol*$Hfi/2.0)/$g];
113
114 set wIntDown [expr -$massIntDown*$g];
115 set wIntMid [expr -$massIntMid*$g];
116 set wIntUp [expr -$massIntUp*$g];
117
118 #akraioi komboi
119 set massExtDown [expr ($distBeam*$Lf/2.0+$distCol*($Hf1+$Hfi)/2.0)/$g];
120 set massExtMid [expr ($distBeam*$Lf/2.0+$distCol*$Hfi)/$g];
121 set massExtUp [expr ($distBeam*$Lf/2.0+$distCol*$Hfi/2.0)/$g];
122
123 set wExtDown [expr -$massExtDown*$g];
124 set wExtMid [expr -$massExtMid*$g];
125 set wExtUp [expr -$massExtUp*$g];
126

```

```

127 # calculate total Floor Mass
128 set MassFloor2 [expr ($massExtDown+$massIntDown)*2.0];
129 set MassFloor3 [expr ($massExtMid+$massIntMid)*2.0];
130 set MassFloor4 [expr ($massExtUp+$massIntUp)*2.0];
131 set MassTotal [expr $MassFloor2+$MassFloor3+$MassFloor4];
132
133 puts "Mazes Orofwn"
134 puts $MassFloor2; puts "Mgr isogeio"
135 puts $MassFloor3; puts "Mgr los orofos"
136 puts $MassFloor4; puts "Mgr 2os orofos"
137
138 set WeightFloor2 [expr $MassFloor2*$g];
139 set WeightFloor3 [expr $MassFloor3*$g];
140 set WeightFloor4 [expr $MassFloor4*$g];
141 set WeightTotal [expr $MassTotal*$g];
142
143 #define mass
144 mass 1 0.0 0.0 0.0;
145 mass 2 0.0 0.0 0.0;
146 mass 3 0.0 0.0 0.0;
147 mass 4 0.0 0.0 0.0;
148
149 mass 5 $massExtDown 0.0 0.0;
150 mass 6 $massIntDown 0.0 0.0;
151 mass 7 $massIntDown 0.0 0.0;
152 mass 8 $massExtDown 0.0 0.0;
153
154 mass 9 $massExtMid 0.0 0.0;
155 mass 10 $massIntMid 0.0 0.0;
156 mass 11 $massIntMid 0.0 0.0;
157 mass 12 $massExtMid 0.0 0.0;
158
159
160 mass 13 $massExtUp 0.0 0.0;
161 mass 14 $massIntUp 0.0 0.0;
162 mass 15 $massIntUp 0.0 0.0;
163 mass 16 $massExtUp 0.0 0.0;
164
165 #Define Bars
166 set numBarsCol_top_1 4
167 set numBarsCol_bot_1 4
168 set numBarsCol_top_2 5
169 set numBarsCol_bot_2 5
170 set numBarsCol_top_3 7
171 set numBarsCol_bot_3 7
172 set numBarsCol_top_4 6
173 set numBarsCol_bot_4 6
174 set numBarsCol_mid 2
175
176 set numBarsBeam_top1 2
177 set numBarsBeam_top2 3
178 set numBarsBeam_bot1 2
179 set numBarsBeam_bot2 3
180 set numBarsBeam_top3 4
181 set numBarsBeam_bot3 4
182 set numBarsBeam_top4 6
183 set numBarsBeam_bot4 6
184
185 set barAreaCol_f14 0.000153938; #φ14
186 set barAreaCol_f16 0.000201061; #φ16
187 set barAreaCol_f18 0.000254469; #φ18
188 set barAreaCol_f20 0.000314159; #φ20
189
190 set barAreaBeam_f12 0.000113097; #φ12
191 set barAreaBeam_f14 0.000153938; #φ14
192 set barAreaBeam_f16 0.000201061; #φ16
193 set barAreaBeam_f18 0.000254469; #φ18
194 set barAreaBeam_f20 0.000314159; #φ20
195

```



```

196 # FIBER SECTION properties
-----
197 # symmetric section
198 #
199 #
200 #
201 #
202 #          |
203 #          |
204 #          |
205 #          |
206 #          |
207 #          |
208 #          |
209 #          |
210 #          |
211 #
212
213 #Fiber Section Properties for columns
214 set coverY_c [expr $Bcol/2.0]
215 set coverZ_c [expr $Dcol/2.0]
216 set coreY_c [expr $coverY_c-$coverCol]
217 set coreZ_c [expr $coverZ_c-$coverCol]
218 set a [expr ($Dcol-2*$coverCol)/4]
219 set z1 $a
220 set ai [expr $a/2.0]
221 set z2 [expr 2.0*$ai]
222 set z3 [expr 3.0*$ai]
223
224
225
226 section fiberSec 3 {
227 patch quad 2 16 16 -$coverY_c -$coverZ_c $coverY_c -$coverZ_c $coverY_c
  $coverZ_c -$coverY_c $coverZ_c
228 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coverY_c -$z1 $coverY_c -
  $z1
229 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coverY_c $z1 $coverY_c
  $z1
230 layer straight 1 $numBarsCol_top_3 $barAreaCol_f16 -$coreY_c $coreZ_c
  $coreY_c $coreZ_c
231 layer straight 1 $numBarsCol_bot_3 $barAreaCol_f16 -$coreY_c -$coreZ_c
  $coreY_c -$coreZ_c
232 }
233
234
235
236
237 section fiberSec 4 {
238 patch quad 2 16 16 -$coverY_c -$coverZ_c $coverY_c -$coverZ_c $coverY_c
  $coverZ_c -$coverY_c $coverZ_c
239 layer straight 1 $numBarsCol_bot_1 $barAreaCol_f16 -$coreY_c -$coreZ_c
  $coreY_c -$coreZ_c
240
241 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coreY_c -$z3 $coreY_c -$z3
242 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coreY_c -$z2 $coreY_c -$z2
243 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coreY_c -$z1 $coreY_c -$z1
244 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coreY_c 0.0 $coreY_c 0.0
245 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coreY_c $z1 $coreY_c $z1
246 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coreY_c $z2 $coreY_c $z2
247 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coreY_c $z3 $coreY_c $z3
248
249
250 layer straight 1 $numBarsCol_top_1 $barAreaCol_f16 -$coreY_c $coreZ_c
  $coreY_c $coreZ_c
251 }
252
253
254

```

```

255 section fiberSec 5 {
256   patch quad 2 16 16 -$coverY_c -$coverZ_c $coverY_c -$coverZ_c $coverY_c
    $coverZ_c -$coverY_c $coverZ_c
257   layer straight 1 $numBarsCol_bot_2 $barAreaCol_f16 -$scoreY_c -$scoreZ_c
    $scoreY_c -$scoreZ_c
258
259   layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$scoreY_c -$z2 $scoreY_c -$z2
260   layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$scoreY_c -$z1 $scoreY_c -$z1
261   layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$scoreY_c 0.0 $scoreY_c 0.0
262   layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$scoreY_c $z1 $scoreY_c $z1
263   layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$scoreY_c $z2 $scoreY_c $z2
264
265   layer straight 1 $numBarsCol_top_2 $barAreaCol_f16 -$scoreY_c $scoreZ_c
    $scoreY_c $scoreZ_c
266
267 }
268
269
270 set BpBeam 1.1
271 set d1Pl 0.025; #plates
272 set d1Beam 0.041; #beams
273 set cover 0.047; #columns
274 set nfc 20;
275
276 set numBarsTopBeam 5;
277 set numBarsBotBeam 4;
278 set numBarsTopPl 5;
279 set numBarsBotPl 5;
280 set numBarsIntBeam 2;
281 set barAreaTopBeam 0.000201061; #φ16
282 set barAreaBotBeam 0.000113; #φ12
283 set barAreaTopPl 0.00005;
284 set barAreaBotPl 0.00005;
285 set barAreaIntBeam 0.000113; #φ12
286
287
288 set Y1 [expr $h_B/2 ];
289 set Y2 [expr $h_B/2 - $Hp ];
290
291 set YSP [expr $Y1 - $d1Pl ];
292 set YSB [expr $Y1 - $d1Beam ];
293 set YSPD [expr $Y1 - $Hp + $d1Pl];
294
295 set Z1 [expr $b_B/2];
296 set Z2 [expr $BpBeam/2];
297 set Z3 [expr $Z1-$d1Beam];
298 set Z4 [expr $Z2-$d1Pl];
299 set Z5 [expr $b_B+$d1Pl];
300
301 set numBarsTopPl [expr $numBarsTopPl/2];
302 set numBarsBotPl [expr $numBarsBotPl/2];
303
304 section fiberSec 10 {
305
306   #define beam patch
307   patch quad 2 $nfc $nfc -$Y1 -$Z1 $Y1 -$Z1 $Y1 $Z1 -$Y1 $Z1;
308   #define lefth plate patch
309   patch quad 2 $nfc $nfc $Y2 $Z1 $Y1 $Z1 $Y1 $Z2 $Y2 $Z2;
310   #define right plate patch
311   patch quad 2 $nfc $nfc $Y2 -$Z2 $Y1 -$Z2 $Y1 -$Z1 $Y2 -$Z1;
312
313   #define reinforcing layers
314   layer straight 1 $numBarsTopBeam $barAreaTopBeam $YSB -$Z3
    $YSB $Z3;
315   layer straight 1 $numBarsBotBeam $barAreaBotBeam -$YSB -$Z3 -
    $YSB $Z3;
316   layer straight 1 $numBarsIntBeam $barAreaIntBeam 0.0 -$Z3
    0.0 $Z3;

```



```

317     layer straight 1 $numBarsTopPl $barAreaTopPl $YSP $Z5
318     layer straight 1 $numBarsTopPl $barAreaTopPl $YSP -$Z4
319     layer straight 1 $numBarsTopPl $barAreaTopPl $YSPD $Z5
320     layer straight 1 $numBarsBotPl $barAreaBotPl $YSPD -$Z4
321
322 }
323
324
325
326 set numBarsTopBeam2 4;
327 set numBarsBotBeam2 4;
328 set barAreaTopBeam2 0.000113; #phi12
329 set barAreaBotBeam2 0.000201061; #phi16
330
331 section fiberSec 12 {
332
333     #define beam patch
334     patch quad 2 $nfc $nfc -$Y1 -$Z1 $Y1 -$Z1 $Y1 $Z1 -$Y1 $Z1;
335     #define lefth plate patch
336     patch quad 2 $nfc $nfc $Y2 $Z1 $Y1 $Z1 $Y1 $Z2 $Y2 $Z2;
337     #define right plate patch
338     patch quad 2 $nfc $nfc $Y2 -$Z2 $Y1 -$Z2 $Y1 -$Z1 $Y2 -$Z1;
339
340     #define reinforcing layers
341     layer straight 1 $numBarsTopBeam2 $barAreaTopBeam2 $YSB -$Z3
342     layer straight 1 $numBarsBotBeam2 $barAreaBotBeam2 -$YSB -$Z3
343     layer straight 1 $numBarsIntBeam $barAreaIntBeam 0.0 -$Z3
344     layer straight 1 $numBarsTopPl $barAreaTopPl $YSP $Z5
345     layer straight 1 $numBarsTopPl $barAreaTopPl $YSP -$Z4
346     layer straight 1 $numBarsTopPl $barAreaTopPl $YSPD $Z5
347     layer straight 1 $numBarsBotPl $barAreaBotPl $YSPD -$Z4
348
349 }
350
351
352
353
354 #define Geometric transformation
355 geomTransf PDelta 1; #beams
356 geomTransf PDelta 2; #columns
357
358
359 #define the Columns
360 set np 7; # number of Gauss integration points for nonlinear curvature
361 distribution-- np=2 for linear distribution ok
362 element forceBeamColumn 1 1 5 $np 4 2;
363 element forceBeamColumn 2 5 9 $np 5 2;
364 element forceBeamColumn 3 9 13 $np 5 2;
365 element forceBeamColumn 4 2 6 $np 3 2;
366 element forceBeamColumn 5 6 10 $np 3 2;
367 element forceBeamColumn 6 10 14 $np 3 2;
368 element forceBeamColumn 7 3 7 $np 3 2;
369 element forceBeamColumn 8 7 11 $np 3 2;
370 element forceBeamColumn 9 11 15 $np 3 2;
371 element forceBeamColumn 10 4 8 $np 4 2;
372 element forceBeamColumn 11 8 12 $np 5 2;
373 element forceBeamColumn 12 12 16 $np 5 2;

```

```

374 #define the Beams
375 element forceBeamColumn 13 5 18 $np 10 1;
376 element forceBeamColumn 14 6 19 $np 12 1;
377 element forceBeamColumn 15 7 20 $np 10 1;
378 element forceBeamColumn 16 9 21 $np 10 1;
379 element forceBeamColumn 17 10 22 $np 12 1;
380 element forceBeamColumn 18 11 23 $np 10 1;
381 element forceBeamColumn 19 13 24 $np 10 1;
382 element forceBeamColumn 20 14 26 $np 12 1;
383 element forceBeamColumn 21 15 27 $np 10 1;
384
385 #define truss elements
386 element truss 23 5 6 1 3
387 element truss 24 6 7 1 3
388 element truss 25 7 8 1 3
389 element truss 26 9 10 1 3
390 element truss 27 10 11 1 3
391 element truss 28 11 12 1 3
392 element truss 29 13 14 1 3
393 element truss 30 14 15 1 3
394 element truss 31 15 16 1 3
395
396
397
398 # GRAVITY LOADS # define gravity load applied to beams and columns --
eleLoad applies loads in local coordinate axis
399 pattern Plain 101 Linear {
400     eleLoad -ele 13 14 15 -type -beamUniform -$distBeam;
401     eleLoad -ele 16 17 18 -type -beamUniform -$distBeam;
402     eleLoad -ele 19 20 21 -type -beamUniform -$distBeam;
403
404
405     eleLoad -ele 1 4 7 10 -type -beamUniform 0.0 -$distCol;
406     eleLoad -ele 2 5 8 11 -type -beamUniform 0.0 -$distCol;
407     eleLoad -ele 3 6 9 12 -type -beamUniform 0.0 -$distCol;
408 }
409
410 set eigenValues [eigen 2];
411 puts $eigenValues;
412
413
414 # set eigenValues
415 puts "\nEigenvalues:"
416 set eigenValue [lindex $eigenValues 0]
417 puts "T[expr 0+1] = [expr 2*$PI/sqrt($eigenValue)]"
418 set eigenValue [lindex $eigenValues 1]
419 puts "T[expr 1+1] = [expr 2*$PI/sqrt($eigenValue)]"
420
421
422 #define recorders
423 recorder Node -file DFree_16_3osOrofos.out -time -node 16 -dof 1 disp;
#metatopisi korifis
424 recorder Node -file DFree_12_2osOrofos.out -time -node 12 -dof 1 disp;
#metatopisi 2ou orofou
425 recorder Node -file DFree_8_1osOrofos.out -time -node 8 -dof 1 disp;
#metatopisi lou orofou
426 recorder Node -file DBase.out -time -node 1 2 3 4 -dof 1 2 3 disp;
# displacements of support nodes
427 recorder Node -file RBase.out -time -node 1 2 3 4 -dof 1 2 3 reaction;
# support reaction
428
429

```

```

430 recorder Element -file globalforcesk1.out -time -ele 1 globalForce
; #Q,N,M columns
431 recorder Element -file globalforcesk2.out -time -ele 2 globalForce
432 recorder Element -file globalforcesk3.out -time -ele 3 globalForce
433 recorder Element -file globalforcesk4.out -time -ele 4 globalForce
434 recorder Element -file globalforcesk5.out -time -ele 5 globalForce
435 recorder Element -file globalforcesk6.out -time -ele 6 globalForce
436 recorder Element -file globalforcesk7.out -time -ele 7 globalForce
437 recorder Element -file globalforcesk8.out -time -ele 8 globalForce
438 recorder Element -file globalforcesk9.out -time -ele 9 globalForce
439 recorder Element -file globalforcesk10.out -time -ele 10 globalForce
440 recorder Element -file globalforcesk11.out -time -ele 11 globalForce
441 recorder Element -file globalforcesk12.out -time -ele 12 globalForce
442
443 recorder Element -file globalforcesb13.out -time -ele 13 globalForce
; #Q,N,M beams
444 recorder Element -file globalforcesb14.out -time -ele 14 globalForce
445 recorder Element -file globalforcesb15.out -time -ele 15 globalForce
446 recorder Element -file globalforcesb16.out -time -ele 16 globalForce
447 recorder Element -file globalforcesb17.out -time -ele 17 globalForce
448 recorder Element -file globalforcesb18.out -time -ele 18 globalForce
449 recorder Element -file globalforcesb19.out -time -ele 19 globalForce
450 recorder Element -file globalforcesb20.out -time -ele 20 globalForce
451 recorder Element -file globalforcesb21.out -time -ele 21 globalForce
452
453 recorder Drift -file k1_drift.out -time -iNode 1 -jNode 5 -dof 1 -perpDirn 2
; # lateral drift (first floor)
454 recorder Drift -file k4_drift.out -time -iNode 2 -jNode 6 -dof 1 -perpDirn 2
455 recorder Drift -file k7_drift.out -time -iNode 3 -jNode 7 -dof 1 -perpDirn 2
456 recorder Drift -file k10_drift.out -time -iNode 4 -jNode 8 -dof 1 -perpDirn 2
457
458 recorder Drift -file k2_drift.out -time -iNode 5 -jNode 9 -dof 1 -perpDirn 2
; # lateral drift (second floor)
459 recorder Drift -file k5_drift.out -time -iNode 6 -jNode 10 -dof 1 -perpDirn 2
460 recorder Drift -file k8_drift.out -time -iNode 7 -jNode 11 -dof 1 -perpDirn 2
461 recorder Drift -file k11_drift.out -time -iNode 8 -jNode 12 -dof 1 -perpDirn
2
462
463 recorder Drift -file k3_drift.out -time -iNode 9 -jNode 13 -dof 1 -perpDirn
2; # lateral drift (third floor)
464 recorder Drift -file k6_drift.out -time -iNode 10 -jNode 14 -dof 1 -perpDirn
2
465 recorder Drift -file k9_drift.out -time -iNode 11 -jNode 15 -dof 1 -perpDirn
2
466 recorder Drift -file k12_drift.out -time -iNode 12 -jNode 16 -dof 1
-perpDirn 2
467
468
469 recorder Element -file deformationk1.out -time -ele 1 section 1 deformation
470 recorder Element -file deformationk2.out -time -ele 2 section 1 deformation
471 recorder Element -file forces_k4.out -time -ele 4 section 1 force
472 recorder Element -file DefoColsec.out -time -ele 1 section 1 deformation;
473
474 #Analysis of dead loads
475 set Tol 1.0e-8
476 constraints Transformation
477 numberer RCM
478 system UmfPack
479 test EnergyIncr $Tol 400
480 algorithm Newton
481 set NstepGravity 10
482 set DGravity [expr 1.0/$NstepGravity]
483 integrator LoadControl $DGravity; #DGravity=the load factor increment E>
484 analysis Static
485 analyze $NstepGravity
486
487 loadConst -time 0.0
488
489 puts "Dead load analysis complete"
490
491

```



```

492 # PUSHOVERANALYSIS
493 #Set up parameters
494
495 set Dmax [expr 0.05*$H_cord]; # maximum displacement of pushover: 10%
roof drift
496 set Dincr [expr 0.0001*$Dmax]; # displacement increment
497
498 set eigenValues [eigen 2];
499 puts $eigenValues;
500
501
502
503 set f5 [nodeEigenvector 5 1 1];
504 set f6 [nodeEigenvector 6 1 1];
505 set f7 [nodeEigenvector 7 1 1];
506 set f8 [nodeEigenvector 8 1 1];
507 set f9 [nodeEigenvector 9 1 1];
508 set f10 [nodeEigenvector 10 1 1];
509 set f11 [nodeEigenvector 11 1 1];
510 set f12 [nodeEigenvector 12 1 1];
511 set f13 [nodeEigenvector 13 1 1];
512 set f14 [nodeEigenvector 14 1 1];
513 set f15 [nodeEigenvector 15 1 1];
514 set f16 [nodeEigenvector 16 1 1];
515
516 puts "fi"
517 puts "isogeio"
518 puts $f5;
519 puts $f6;
520 puts $f7;
521 puts $f8;
522 puts "1os orofos"
523 puts $f9;
524 puts $f10;
525 puts $f11;
526 puts $f12;
527 puts "2os orofos"
528 puts $f13;
529 puts $f14;
530 puts $f15;
531 puts $f16;
532
533
534
535 set F5 [expr $MassFloor2/6*$f5];
536 set F6 [expr $MassFloor2/3*$f6];
537 set F7 [expr $MassFloor2/3*$f7];
538 set F8 [expr $MassFloor2/6*$f8];
539 set F9 [expr $MassFloor3/6*$f9];
540 set F10 [expr $MassFloor3/3*$f10];
541 set F11 [expr $MassFloor3/3*$f11];
542 set F12 [expr $MassFloor3/6*$f12];
543 set F13 [expr $MassFloor4/6*$f13];
544 set F14 [expr $MassFloor4/3*$f14];
545 set F15 [expr $MassFloor4/3*$f15];
546 set F16 [expr $MassFloor4/6*$f16];
547
548 set sumMiFi [expr $F5+$F6+$F7+$F8+$F9+$F10+$F11+$F12+$F13+$F14+$F15+$F16];
549
550 set F5 [expr $F5/$sumMiFi];
551 set F6 [expr $F6/$sumMiFi];
552 set F7 [expr $F7/$sumMiFi];
553 set F8 [expr $F8/$sumMiFi];
554 set F9 [expr $F9/$sumMiFi];
555 set F10 [expr $F10/$sumMiFi];
556 set F11 [expr $F11/$sumMiFi];
557 set F12 [expr $F12/$sumMiFi];
558 set F13 [expr $F13/$sumMiFi];
559 set F14 [expr $F14/$sumMiFi];
560 set F15 [expr $F15/$sumMiFi];
561 set F16 [expr $F16/$sumMiFi];
562

```

```

563 puts "Fi"
564 puts "isogeio"
565 puts $F5;
566 puts $F6;
567 puts $F7;
568 puts $F8;
569 puts "los orofos"
570 puts $F9;
571 puts $F10;
572 puts $F11;
573 puts $F12;
574 puts "2os orofos"
575 puts $F13;
576 puts $F14;
577 puts $F15;
578 puts $F16;
579
580
581 pattern Plain 2 Linear {
582     load 5 $F5 0.0 0.0
583     load 6 $F6 0.0 0.0
584     load 7 $F7 0.0 0.0
585     load 8 $F8 0.0 0.0
586
587     load 9 $F9 0.0 0.0
588     load 10 $F10 0.0 0.0
589     load 11 $F11 0.0 0.0
590     load 12 $F12 0.0 0.0
591
592     load 13 $F13 0.0 0.0
593     load 14 $F14 0.0 0.0
594     load 15 $F15 0.0 0.0
595     load 16 $F16 0.0 0.0
596
597 };
598
599
600 set IDctrlNode 16; # node where disp is read for disp
601 control
602 set IDctrlDOF 1; # degree of freedom read for disp
603 control (1 = x displacement)
604 set ierrors 0
605 set Dstep 0.0
606 set ok 0
607
608 while {$Dstep <= 1.0&&$ok == 0} {
609     set controlDisp [lindex [nodeDisp $IDctrlNode $IDctrlDOF] 0]
610     set Dstep [expr $controlDisp/$Dmax]
611     test EnergyIncr 1.0e-8 10000
612     algorithm Newton
613     integrator DisplacementControl $IDctrlNode $IDctrlDOF $Dincr
614     set ok [analyze 1]
615
616     if {$ok != 0} {
617         incr ierrors; #increases by one
618         set Nk 100
619         set DincrReduced [expr $Dincr/$Nk];
620         integrator DisplacementControl $IDctrlNode $IDctrlDOF $DincrReduced
621         for {set ik 1} {$ik <=$Nk} {incr ik 1} {
622             test EnergyIncr 1.0e-8 1000
623             algorithm Newton
624             set ok [analyze 1]
625
626             if {$ok != 0} {
627                 puts "Decreasing Tolerance"
628                 test EnergyIncr 1.0e-8 10000
629                 algorithm Newton
630                 set ok [analyze 1]
631             }
632         }
633     }
634 }

```

```

631
632 if {$ok != 0} {
633     puts "Disp: $controlDisp, ModifiedNewton failed, Trying
        NewtonWithLineSearch"
634     test EnergyIncr 1.0e-8 100000
635     algorithm NewtonLineSearch -tol 1.0e-8 -maxIter 10000
636     set ok [analyze 1]
637 }
638 if {$ok != 0} {
639     puts "Disp: $controlDisp, NewtonWithLineSearch failed, Trying Broyden"
640     test EnergyIncr 1.0e-8 100000
641     algorithm BFGS
642     set ok [analyze 1]
643 }
644 }
645 }
646 }
647
648 if {$ok != 0} {
649     puts "Not all steps completed. Only $Dstep out of 1 completed"
650 }
651
652 puts "Pushover complete"
653
654
655
656 if {$ok != 0} {
657     puts "PROBLEM"
658 } else {
659     puts "DONE" }
660
661 print -node 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16;
662 print -ele;
663
664 wipe

```

9.2 Ενισχυμένο πλαίσιο(τρία λικνιζόμενα τοιχεία)-Ανάλυση PUSHOVER

```

1 #SET UP.....#units
  kg,kN,m,sec
2 wipe; #clear memory of all past model definitions
3 #Create ModelBuilder (with two-dimensions and 3 DOF/node)
4 model BasicBuilder -ndm 2 -ndf 3
5
6 # define MATERIAL properties -----
7 uniaxialMaterial Steel01 1 500000 200000000 0.0001;
8 uniaxialMaterial Concrete01 2 -25000.0 -0.002 -25000.0 -0.1;
9 uniaxialMaterial Elastic 3 200000000000000.0
10
11 puts "TRIOROFO EPIPEDO PLAISIO"
12 #before build the model_set some parameters
13 set PI 3.1415926535897931
14 #DEFINE GEOMETRY
15 set Lf 6.0;
16 set Hf1 4.5; #Height of the first floor
17 set Hfi 3.5; #Height of each following floors
18 set H_cord [expr $Hf1+2*$Hfi]; #Height of the 3-storey building
19 set Hp 0.2; #Height of the slab
20 set Bcol 0.45; #Column Width
21 set Dcol 0.45; #Column Depth
22 set h_B 0.5; #Beam height
23 set b_B 0.30; #Beam Width
24 set coverCol 0.035; #cover of columns
25 set cover_B 0.03; #cover of beams
26

```

```

27 #rocking
28 set B 1.0;
29 set tw 0.2;
30 set Hfedge1 [expr $Hf1-$h_B/2.0]
31 set Hf1middle [expr $Hfedge1/2.0]
32 set Lfmiddle [expr $Lf/2.0]
33 set Lfmiddle1 [expr $Lf + $Lfmiddle]
34 set left [expr $Lf + $Lfmiddle - $B/2.0]
35 set right [expr $Lf + $Lfmiddle + $B/2.0]
36
37 set rockingmass_1 [expr $Hf1middle*$B*$tw*2.5]; #misi maza tou
rocking_lo_Orofo
38 set rockingweight_1 [expr $rockingmass_1/10.0]; #kN
39
40
41 set Hfedgei [expr $Hfi-$h_B/2.0]
42 set Hfimiddle [expr ($Hfedgei-$h_B/2.0)/2.0]
43 set Hfedge2 [expr $Hf1+$Hfi-$h_B/2.0]
44 set rockingmass_2_3 [expr $Hfimiddle*$B*$tw*2.5]; #misi maza tou
rocking_2o+3o_Orofo
45 set rockingweight_2_3 [expr $rockingmass_2_3/10.0]; #kN
46
47 set Hfedge1_up [expr $Hf1+$h_B/2.0]
48 set Hfedge2_up [expr $Hfi+$Hfedge1_up]
49
50 set Hf2middle [expr $Hfedge1_up+$Hfimiddle]
51 set Hfedge3 [expr $H_cord-$h_B/2.0]
52 set Hf3middle [expr $Hfedge1_up+$Hfi+ $Hfimiddle]
53
54
55
56
57 # calculate locations of beam/column intersections
58 set X1 0.;
59 set X2 [expr $X1 + $Lf];
60 set X3 [expr $X2 + $Lf];
61 set X4 [expr $X3 + $Lf];
62 set Y1 0.;
63 set Y2 [expr $Y1 + $Hf1];
64 set Y3 [expr $Y2 + $Hfi];
65 set Y4 [expr $Y3 + $Hfi];
66
67
68 #NODAL COORDINATES.....
69 node 1 $X1 $Y1
70 node 2 $X2 $Y1
71 node 3 $X3 $Y1
72 node 4 $X4 $Y1
73 node 5 $X1 $Y2
74 node 6 $X2 $Y2
75 node 7 $X3 $Y2
76 node 8 $X4 $Y2
77 node 9 $X1 $Y3
78 node 10 $X2 $Y3
79 node 11 $X3 $Y3
80 node 12 $X4 $Y3
81 node 13 $X1 $Y4
82 node 14 $X2 $Y4
83 node 15 $X3 $Y4
84 node 16 $X4 $Y4
85 node 17 $left $Hf1
86 node 18 $left $Hfedge1
87 node 19 $right $Hf1
88 node 20 $right $Hfedge1
89 node 21 $Lfmiddle1 $Hfedge1
90 node 22 $Lfmiddle1 $Hf1middle
91 node 23 $Lfmiddle1 0.0
92 node 24 $left $Hfedge1
93 node 25 $right $Hfedge1
94 node 26 $Lfmiddle1 $Hf1

```



```

95 node 27 $left [expr $Hf1+$Hfi]
96 node 28 $left $Hfedge2
97 node 29 $right [expr $Hf1+$Hfi]
98 node 30 $right $Hfedge2
99 node 31 $Lfmiddle1 $Hfedge2
100 node 32 $Lfmiddle1 $Hf2middle
101 node 33 $Lfmiddle1 $Hfedge1_up
102 node 34 $left $Hfedge1_up
103 node 35 $right $Hfedge1_up
104 node 36 $left $Hfedge1_up
105 node 37 $right $Hfedge1_up
106 node 38 $left $Hfedge2
107 node 39 $right $Hfedge2
108 node 40 $Lfmiddle1 [expr $Hf1+$Hfi]
109 node 41 $left $H_cord
110 node 42 $left $Hfedge3
111 node 43 $right $H_cord
112 node 44 $right $Hfedge3
113 node 45 $Lfmiddle1 $Hfedge3
114 node 46 $Lfmiddle1 $Hf3middle
115 node 47 $Lfmiddle1 $Hfedge2_up
116 node 48 $left $Hfedge2_up
117 node 49 $right $Hfedge2_up
118 node 50 $left $Hfedge2_up
119 node 51 $right $Hfedge2_up
120 node 52 $left $Hfedge3
121 node 53 $right $Hfedge3
122 node 54 $Lfmiddle1 $H_cord
123
124 node 55 $X2 $Y2
125 node 56 $left $Hf1
126 node 57 $Lfmiddle1 $Hf1
127 node 58 $right $Hf1
128 node 59 $X3 $Y2
129 node 60 $X4 $Y2
130 node 61 $X2 $Y3
131 node 62 $left [expr $Hf1+$Hfi]
132 node 63 $Lfmiddle1 [expr $Hf1+$Hfi]
133 node 64 $right [expr $Hf1+$Hfi]
134 node 65 $X3 $Y3
135 node 66 $X4 $Y3
136 node 67 $X2 $Y4
137 node 68 $left $H_cord
138 node 69 $Lfmiddle1 $H_cord
139 node 70 $right $H_cord
140 node 71 $X3 $Y4
141 node 72 $X4 $Y4
142
143 equalDOF 6 55 2 3
144 equalDOF 17 56 2 3
145 equalDOF 26 57 2 3
146 equalDOF 19 58 2 3
147 equalDOF 7 59 2 3
148 equalDOF 8 60 2 3
149 equalDOF 10 61 2 3
150 equalDOF 27 62 2 3
151 equalDOF 40 63 2 3
152 equalDOF 29 64 2 3
153 equalDOF 11 65 2 3
154 equalDOF 12 66 2 3
155 equalDOF 14 67 2 3
156 equalDOF 41 68 2 3
157 equalDOF 54 69 2 3
158 equalDOF 43 70 2 3
159 equalDOF 15 71 2 3
160 equalDOF 16 72 2 3
161
162

```



```

163 #SINGLE POINT COORDINATES
164 fix 1 1 1 1
165 fix 2 1 1 1
166 fix 3 1 1 1
167 fix 4 1 1 1
168 fix 23 1 1 1
169
170 #loads
171 set gw 25.0; #kN/m3
172 set gk 1.0; #kN/m2
173 set qt 9; #kN/m
174 set q 2.0; #kN/m2
175
176 #disturbed load
177 set lep 4; #mhkos epirrohs
178 set gPlate [expr ($gw*$Hp+$gk)*$lep];
179 set gBeam [expr $gw*($h_B-$Hp)*$b_B];
180 set distBeam [expr $gBeam+$gPlate+$qt+0.3*$q*$lep];
181 set distCol [expr $gw*$Dcol*$Bcol];
182 set g 10.0; # m/s2
183 puts "Fortio dokwn"
184 puts $distBeam; puts "kN/m"
185 puts "Fortio Ypostilwmatwn"
186 puts $distCol; puts "kN/m"
187
188 #mesaioi komboi
189 set massIntDown [expr ($distBeam*$Lf+$distCol*($Hf1+$Hfi)/2.0)/$g];
190 set massIntMid [expr ($distBeam*$Lf+$distCol*$Hfi)/$g];
191 set massIntUp [expr ($distBeam*$Lf+$distCol*$Hfi/2.0)/$g];
192
193 set wIntDown [expr -$massIntDown*$g];
194 set wIntMid [expr -$massIntMid*$g];
195 set wIntUp [expr -$massIntUp*$g];
196
197 #akraioi komboi
198 set massExtDown [expr ($distBeam*$Lf/2.0+$distCol*($Hf1+$Hfi)/2.0)/$g];
199 set massExtMid [expr ($distBeam*$Lf/2.0+$distCol*$Hfi)/$g];
200 set massExtUp [expr ($distBeam*$Lf/2.0+$distCol*$Hfi/2.0)/$g];
201
202 set wExtDown [expr -$massExtDown*$g];
203 set wExtMid [expr -$massExtMid*$g];
204 set wExtUp [expr -$massExtUp*$g];
205
206 # calculate total Floor Mass
207 set MassFloor2 [expr ($massExtDown+$massIntDown)*2.0+$rockingmass_1+
$rockingmass_2_3];
208 set MassFloor3 [expr ($massExtMid+$massIntMid)*2.0+$rockingmass_2_3*2.0];
209 set MassFloor4 [expr ($massExtUp+$massIntUp)*2.0+$rockingmass_2_3];
210 set MassTotal [expr $MassFloor2+$MassFloor3+$MassFloor4];
211
212 puts "Mazes Orofwn"
213 puts $MassFloor2; puts "Mgr isogeio"
214 puts $MassFloor3; puts "Mgr los orofos"
215 puts $MassFloor4; puts "Mgr 2os orofos"
216
217 set WeightFloor2 [expr $MassFloor2*$g];
218 set WeightFloor3 [expr $MassFloor3*$g];
219 set WeightFloor4 [expr $MassFloor4*$g];
220 set WeightTotal [expr $MassTotal*$g];
221
222 #define mass
223 mass 1 0.0 0.0 0.0;
224 mass 2 0.0 0.0 0.0;
225 mass 3 0.0 0.0 0.0;
226 mass 4 0.0 0.0 0.0;
227
228 mass 5 $massExtDown 0.0 0.0;
229 mass 6 $massIntDown 0.0 0.0;
230 mass 22 [expr $rockingmass_1] 0.0 0.0;
231 mass 21 [expr $rockingmass_1/2.0] 0.0 0.0;
232 mass 7 $massIntDown 0.0 0.0;
233 mass 8 $massExtDown 0.0 0.0;
234

```

```

235 mass 9 $massExtMid 0.0 0.0;
236 mass 10 $massIntMid 0.0 0.0;
237 mass 33 [expr $rockingmass_2_3/2.0] 0.0 0.0;
238 mass 32 [expr $rockingmass_2_3] 0.0 0.0;
239 mass 31 [expr $rockingmass_2_3/2.0] 0.0 0.0;
240 mass 11 $massIntMid 0.0 0.0;
241 mass 12 $massExtMid 0.0 0.0;
242
243
244 mass 13 $massExtUp 0.0 0.0;
245 mass 14 $massIntUp 0.0 0.0;
246 mass 47 [expr $rockingmass_2_3/2.0] 0.0 0.0;
247 mass 46 [expr $rockingmass_2_3] 0.0 0.0;
248 mass 45 [expr $rockingmass_2_3/2.0] 0.0 0.0;
249 mass 15 $massIntUp 0.0 0.0;
250 mass 16 $massExtUp 0.0 0.0;
251
252 #Define Bars
253 set numBarsCol_top_1 4
254 set numBarsCol_bot_1 4
255 set numBarsCol_top_2 5
256 set numBarsCol_bot_2 5
257 set numBarsCol_top_3 7
258 set numBarsCol_bot_3 7
259 set numBarsCol_top_4 6
260 set numBarsCol_bot_4 6
261 set numBarsCol_mid 2
262
263 set numBarsBeam_top1 2
264 set numBarsBeam_top2 3
265 set numBarsBeam_bot1 2
266 set numBarsBeam_bot2 3
267 set numBarsBeam_top3 4
268 set numBarsBeam_bot3 4
269 set numBarsBeam_top4 6
270 set numBarsBeam_bot4 6
271
272 set barAreaCol_f14 0.000153938; #φ14
273 set barAreaCol_f16 0.000201061; #φ16
274 set barAreaCol_f18 0.000254469; #φ18
275 set barAreaCol_f20 0.000314159; #φ20
276
277 set barAreaBeam_f12 0.000113097; #φ12
278 set barAreaBeam_f14 0.000153938; #φ14
279 set barAreaBeam_f16 0.000201061; #φ16
280 set barAreaBeam_f18 0.000254469; #φ18
281 set barAreaBeam_f20 0.000314159; #φ20
282
283 # FIBER SECTION properties
284 -----
285 # symmetric section
286 #
287 #
288 #
289 # | o o o | | | -- cover
290 # | | | | | | |
291 # | | | | | | |
292 # z <--- | + | H |
293 # | | | | | | |
294 # | | | | | | |
295 # | o o o | | | -- cover
296 # |-----|
297 # |----- B -----|
298 #
299

```

```

300 #Fiber Section Properties for columns
301 set coverY_c [expr $Bcol/2.0]
302 set coverZ_c [expr $Dcol/2.0]
303 set coreY_c [expr $coverY_c-$coverCol]
304 set coreZ_c [expr $coverZ_c-$coverCol]
305 set a [expr ($Dcol-2*$coverCol)/4]
306 set z1 $a
307 set ai [expr $a/2.0]
308 set z2 [expr 2.0*$ai]
309 set z3 [expr 3.0*$ai]
310
311
312
313 section fiberSec 3 {
314 patch quad 2 16 16 -$coverY_c -$coverZ_c $coverY_c -$coverZ_c $coverY_c
    $coverZ_c -$coverY_c $coverZ_c
315 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coverY_c -$z1 $coverY_c
    -$z1
316 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coverY_c $z1 $coverY_c
    $z1
317 layer straight 1 $numBarsCol_top_3 $barAreaCol_f16 -$coreY_c $coreZ_c
    $coreY_c $coreZ_c
318 layer straight 1 $numBarsCol_bot_3 $barAreaCol_f16 -$coreY_c -$coreZ_c
    $coreY_c -$coreZ_c
319
320 }
321
322
323
324 section fiberSec 4 {
325 patch quad 2 16 16 -$coverY_c -$coverZ_c $coverY_c -$coverZ_c $coverY_c
    $coverZ_c -$coverY_c $coverZ_c
326 layer straight 1 $numBarsCol_bot_1 $barAreaCol_f16 -$coreY_c -$coreZ_c
    $coreY_c -$coreZ_c
327
328 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coreY_c -$z3 $coreY_c -
    $z3
329 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coreY_c -$z2 $coreY_c -
    $z2
330 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coreY_c -$z1 $coreY_c -
331 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coreY_c 0.0 $coreY_c 0.0
332 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coreY_c $z1 $coreY_c $z1
333 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coreY_c $z2 $coreY_c $z2
334 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coreY_c $z3 $coreY_c $z3
335
336
337 layer straight 1 $numBarsCol_top_1 $barAreaCol_f16 -$coreY_c $coreZ_c
    $coreY_c $coreZ_c
338 }
339
340
341
342 section fiberSec 5 {
343 patch quad 2 16 16 -$coverY_c -$coverZ_c $coverY_c -$coverZ_c $coverY_c
    $coverZ_c -$coverY_c $coverZ_c
344 layer straight 1 $numBarsCol_bot_2 $barAreaCol_f16 -$coreY_c -$coreZ_c
    $coreY_c -$coreZ_c
345
346 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coreY_c -$z2 $coreY_c -
    $z2
347 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coreY_c -$z1 $coreY_c -
    $z1
348 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coreY_c 0.0 $coreY_c 0.0
349 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coreY_c $z1 $coreY_c $z1
350 layer straight 1 $numBarsCol_mid $barAreaCol_f16 -$coreY_c $z2 $coreY_c $z2
351
352 layer straight 1 $numBarsCol_top_2 $barAreaCol_f16 -$coreY_c $coreZ_c
    $coreY_c $coreZ_c
353
354
355 }

```



```

356
357 set BpBeam 1.1
358 set d1Pl 0.025; #plates
359 set d1Beam 0.041; #beams
360 set cover 0.047; #columns
361 set nfc 20;
362
363 set numBarsTopBeam 5;
364 set numBarsBotBeam 4;
365 set numBarsTopPl 5;
366 set numBarsBotPl 5;
367 set numBarsIntBeam 2;
368 set barAreaTopBeam 0.000201061; #φ16
369 set barAreaBotBeam 0.000113; #φ12
370 set barAreaTopPl 0.00005;
371 set barAreaBotPl 0.00005;
372 set barAreaIntBeam 0.000113; #φ12
373
374
375 set Y1 [expr $h_B/2 ];
376 set Y2 [expr $h_B/2 - $Hp ];
377
378 set YSP [expr $Y1 - $d1Pl ];
379 set YSB [expr $Y1 - $d1Beam ];
380 set YSPD [expr $Y1 - $Hp + $d1Pl];
381
382 set Z1 [expr $b_B/2];
383 set Z2 [expr $BpBeam/2];
384 set Z3 [expr $Z1-$d1Beam];
385 set Z4 [expr $Z2-$d1Pl];
386 set Z5 [expr $b_B+$d1Pl];
387
388 set numBarsTopPl [expr $numBarsTopPl/2];
389 set numBarsBotPl [expr $numBarsBotPl/2];
390
391 section fiberSec 10 {
392
393     #define beam patch
394     patch quad 2 $nfc $nfc -$Y1 -$Z1 $Y1 -$Z1 $Y1 $Z1 -$Y1 $Z1;
395     #define lefth plate patch
396     patch quad 2 $nfc $nfc $Y2 $Z1 $Y1 $Z1 $Y1 $Z2 $Y2 $Z2;
397     #define right plate patch
398     patch quad 2 $nfc $nfc $Y2 -$Z2 $Y1 -$Z2 $Y1 -$Z1 $Y2 -$Z1;
399
400     #define reinforcing layers
401     layer straight 1 $numBarsTopBeam $barAreaTopBeam $YSB -$Z3
402     $YSB $Z3;
403     layer straight 1 $numBarsBotBeam $barAreaBotBeam -$YSB -$Z3 -
404     $YSB $Z3;
405     layer straight 1 $numBarsIntBeam $barAreaIntBeam 0.0 -$Z3
406     0.0 $Z3;
407     layer straight 1 $numBarsTopPl $barAreaTopPl $YSP $Z5
408     $YSP $Z4;
409     layer straight 1 $numBarsTopPl $barAreaTopPl $YSP -$Z4
410     $YSP -$Z5;
411     layer straight 1 $numBarsTopPl $barAreaTopPl $YSPD $Z5
412     $YSPD $Z4;
413     layer straight 1 $numBarsBotPl $barAreaBotPl $YSPD -$Z4
414     $YSPD -$Z5;
415
416 }
417
418 set numBarsTopBeam2 4;
419 set numBarsBotBeam2 4;
420 set barAreaTopBeam2 0.000113; #φ12
421 set barAreaBotBeam2 0.000201061; #φ16

```

```

419 section fiberSec 12 {
420
421     #define beam patch
422     patch quad 2 $nC $nC -$Y1 -$Z1 $Y1 -$Z1 $Y1 $Z1 -$Y1 $Z1;
423     #define lefth plate patch
424     patch quad 2 $nC $nC $Y2 $Z1 $Y1 $Z1 $Y1 $Z2 $Y2 $Z2;
425     #define right plate patch
426     patch quad 2 $nC $nC $Y2 -$Z2 $Y1 -$Z2 $Y1 -$Z1 $Y2 -$Z1;
427
428     #define reinforcing layers
429     layer straight 1 $numBarsTopBeam2 $barAreaTopBeam2 $YSB -$Z3
430     $YSB $Z3;
431     layer straight 1 $numBarsBotBeam2 $barAreaBotBeam2 -$YSB -$Z3
432     -$YSB $Z3;
433     layer straight 1 $numBarsIntBeam $barAreaIntBeam 0.0 -$Z3
434     0.0 $Z3;
435     layer straight 1 $numBarsTopPl $barAreaTopPl $YSP $Z5
436     $YSP $Z4;
437     layer straight 1 $numBarsTopPl $barAreaTopPl $YSP -$Z4
438     $YSP -$Z5;
439     layer straight 1 $numBarsTopPl $barAreaTopPl $YSPD $Z5
440     $YSPD $Z4;
441     layer straight 1 $numBarsBotPl $barAreaBotPl $YSPD -$Z4
442     $YSPD -$Z5;
443
444 }
445
446 #define Geometric transformation
447 geomTransf PDelta 1; #beams
448 geomTransf PDelta 2; #columns
449
450 #define the Columns
451 set np 7; # number of Gauss integration points for nonlinear curvature
452 distribution-- np=2 for linear distribution ok
453 element forceBeamColumn 1 1 5 $np 4 2;
454 element forceBeamColumn 2 5 9 $np 5 2;
455 element forceBeamColumn 3 9 13 $np 5 2;
456 element forceBeamColumn 4 2 6 $np 3 2;
457 element forceBeamColumn 5 6 10 $np 3 2;
458 element forceBeamColumn 6 10 14 $np 3 2;
459 element forceBeamColumn 7 3 7 $np 3 2;
460 element forceBeamColumn 8 7 11 $np 3 2;
461 element forceBeamColumn 9 11 15 $np 3 2;
462 element forceBeamColumn 10 4 8 $np 4 2;
463 element forceBeamColumn 11 8 12 $np 5 2;
464 element forceBeamColumn 12 12 16 $np 5 2;
465
466 #define the Beams
467 element forceBeamColumn 13 5 55 $np 10 1;
468 element forceBeamColumn 14 6 56 $np 12 1;
469 element forceBeamColumn 24 17 57 $np 12 1;
470 element forceBeamColumn 25 26 58 $np 12 1;
471 element forceBeamColumn 26 19 59 $np 12 1;
472 element forceBeamColumn 15 7 60 $np 10 1;
473 element forceBeamColumn 16 9 61 $np 10 1;
474 element forceBeamColumn 17 10 62 $np 12 1;
475 element forceBeamColumn 33 27 63 $np 12 1;
476 element forceBeamColumn 34 40 64 $np 12 1;
477 element forceBeamColumn 35 29 65 $np 12 1;
478 element forceBeamColumn 18 11 66 $np 10 1;
479 element forceBeamColumn 19 13 67 $np 10 1;
480 element forceBeamColumn 20 14 68 $np 12 1;
481 element forceBeamColumn 46 41 69 $np 12 1;
482 element forceBeamColumn 47 54 70 $np 12 1;
483 element forceBeamColumn 48 43 71 $np 12 1;
484 element forceBeamColumn 21 15 72 $np 10 1;

```

```

482 #Rocking element
483 # eleTag,iNode,jNode,E,nu,B,W, "συμβολή διατμητικών παραμορφώσεων 1-ναι
0-οχι"
484 element RockingBC2d 22 22 23 30000000 0.0 $B $tw 1
485 element RockingBC2d 23 22 21 30000000 0.0 $B $tw 1
486 element RockingBC2d 31 32 33 30000000 0.0 $B $tw 1
487 element RockingBC2d 32 32 31 30000000 0.0 $B $tw 1
488 element RockingBC2d 44 46 47 30000000 0.0 $B $tw 1
489 element RockingBC2d 45 46 45 30000000 0.0 $B $tw 1
490
491
492 #element connectivity-rigid elements
493 element elasticBeamColumn 27 18 17 0.15 30000000000 600 2
494 element elasticBeamColumn 28 20 19 0.15 30000000000 600 2
495 element elasticBeamColumn 36 28 27 0.15 30000000000 600 2
496 element elasticBeamColumn 37 30 29 0.15 30000000000 600 2
497 element elasticBeamColumn 40 17 34 0.15 30000000000 600 2
498 element elasticBeamColumn 41 19 35 0.15 30000000000 600 2
499 element elasticBeamColumn 49 42 41 0.15 30000000000 600 2
500 element elasticBeamColumn 50 44 43 0.15 30000000000 600 2
501 element elasticBeamColumn 53 27 48 0.15 30000000000 600 2
502 element elasticBeamColumn 54 29 49 0.15 30000000000 600 2
503
504
505 element elasticBeamColumn 29 24 21 0.15 30000000000 600 1
506 element elasticBeamColumn 30 21 25 0.15 30000000000 600 1
507 element elasticBeamColumn 38 38 31 0.15 30000000000 600 1
508 element elasticBeamColumn 39 31 39 0.15 30000000000 600 1
509 element elasticBeamColumn 42 36 33 0.15 30000000000 600 1
510 element elasticBeamColumn 43 33 37 0.15 30000000000 600 1
511 element elasticBeamColumn 51 52 45 0.15 30000000000 600 1
512 element elasticBeamColumn 52 45 53 0.15 30000000000 600 1
513 element elasticBeamColumn 55 50 47 0.15 30000000000 600 1
514 element elasticBeamColumn 56 47 51 0.15 30000000000 600 1
515
516 equalDOF 18 24 1 2
517 equalDOF 20 25 1 2
518 equalDOF 28 38 1 2
519 equalDOF 30 39 1 2
520 equalDOF 34 36 1 2
521 equalDOF 35 37 1 2
522 equalDOF 42 52 1 2
523 equalDOF 44 53 1 2
524 equalDOF 48 50 1 2
525 equalDOF 49 51 1 2
526
527
528 #define truss elements
529 element truss 57 5 6 1 3
530 element truss 58 6 17 1 3
531 element truss 59 17 26 1 3
532 element truss 60 26 19 1 3
533 element truss 61 19 7 1 3
534 element truss 62 7 8 1 3
535 element truss 63 9 10 1 3
536 element truss 64 10 27 1 3
537 element truss 65 27 40 1 3
538 element truss 66 40 29 1 3
539 element truss 67 29 11 1 3
540 element truss 68 11 12 1 3
541 element truss 69 13 14 1 3
542 element truss 70 14 41 1 3
543 element truss 71 41 54 1 3
544 element truss 72 54 43 1 3
545 element truss 73 43 15 1 3
546 element truss 74 15 16 1 3
547
548
549
550

```

```

551 # GRAVITY LOADS # define gravity load applied to beams and columns --
    eleLoad applies loads in local coordinate axis
552 pattern Plain 101 Linear {
553     eleLoad -ele 13 14 24 25 26 15 -type -beamUniform -$distBeam;
554     eleLoad -ele 16 17 33 34 35 18 -type -beamUniform -$distBeam;
555     eleLoad -ele 19 20 46 47 48 21 -type -beamUniform -$distBeam;
556
557
558     eleLoad -ele 1 4 7 10 -type -beamUniform 0.0 -$distCol;
559     eleLoad -ele 2 5 8 11 -type -beamUniform 0.0 -$distCol;
560     eleLoad -ele 3 6 9 12 -type -beamUniform 0.0 -$distCol;
561 }
562
563 pattern Plain 102 Linear {
564     load 22 0.0 [expr -$rockingweight_1] 0.0
565     load 21 0.0 [expr -$rockingweight_1/2.0] 0.0
566     load 33 0.0 [expr -$rockingweight_2_3/2.0] 0.0
567     load 32 0.0 [expr -$rockingweight_2_3] 0.0
568     load 31 0.0 [expr -$rockingweight_2_3/2.0] 0.0
569     load 47 0.0 [expr -$rockingweight_2_3/2.0] 0.0
570     load 46 0.0 [expr -$rockingweight_2_3] 0.0
571     load 45 0.0 [expr -$rockingweight_2_3/2.0] 0.0
572     load 54 0.0 [expr -$rockingweight_2_3/2.0] 0.0
573 }
574
575
576 set eigenValues [eigen 2];
577 puts $eigenValues;
578
579
580 # set eigenValues
581 puts "\nEigenvalues:"
582 set eigenValue [lindex $eigenValues 0]
583 puts "T[expr 0+1] = [expr 2*$PI/sqrt($eigenValue)]"
584 set eigenValue [lindex $eigenValues 1]
585 puts "T[expr 1+1] = [expr 2*$PI/sqrt($eigenValue)]"
586
587
588
589 #define recorders
590 recorder Node -file DFree_16_3osOrofos.out -time -node 16 -dof 1 disp
    ; #metatopisi korifis
591 recorder Node -file DFree_54_3osOrofos.out -time -node 54 -dof 1 disp
    ; #metatopisi korifis
592 recorder Node -file DFree_40_2osOrofos.out -time -node 40 -dof 1 disp
    ; #metatopisi 2ou orofou
593 recorder Node -file DFree_26_1osOrofos.out -time -node 26 -dof 1 disp
    ; #metatopisi lou orofou
594 recorder Node -file DBase.out -time -node 1 2 3 4 23 -dof 1 2 3 disp
    ; # displacements of support nodes
595 recorder Node -file RBase.out -time -node 1 2 3 4 23 -dof 1 2 3 reaction
    ; # support reaction
596
597
598 recorder Element -file globalforcesk1.out -time -ele 1 globalForce
    ; #N,Q,M columns
599 recorder Element -file globalforcesk2.out -time -ele 2 globalForce
600 recorder Element -file globalforcesk3.out -time -ele 3 globalForce
601 recorder Element -file globalforcesk4.out -time -ele 4 globalForce
602 recorder Element -file globalforcesk5.out -time -ele 5 globalForce
603 recorder Element -file globalforcesk6.out -time -ele 6 globalForce
604 recorder Element -file globalforcesk7.out -time -ele 7 globalForce
605 recorder Element -file globalforcesk8.out -time -ele 8 globalForce
606 recorder Element -file globalforcesk9.out -time -ele 9 globalForce
607 recorder Element -file globalforcesk10.out -time -ele 10 globalForce
608 recorder Element -file globalforcesk11.out -time -ele 11 globalForce
609 recorder Element -file globalforcesk12.out -time -ele 12 globalForce
610
611

```



```

612 recorder Element -file globalforcesElbeam29.out -time -ele 29 globalForce
613 recorder Element -file globalforcesElbeam30.out -time -ele 30 globalForce
614 recorder Element -file globalforcesElbeam24.out -time -ele 24 globalForce
615 recorder Element -file globalforcesElbeam25.out -time -ele 25 globalForce
616 recorder Element -file globalforcesElbeam33.out -time -ele 33 globalForce
617 recorder Element -file globalforcesElbeam34.out -time -ele 34 globalForce
618 recorder Element -file globalforcesElbeam38.out -time -ele 38 globalForce
619 recorder Element -file globalforcesElbeam39.out -time -ele 39 globalForce
620 recorder Element -file globalforcesElbeam46.out -time -ele 46 globalForce
621 recorder Element -file globalforcesElbeam47.out -time -ele 47 globalForce
622 recorder Element -file globalforcesElbeam51.out -time -ele 51 globalForce
623 recorder Element -file globalforcesElbeam52.out -time -ele 52 globalForce
624
625
626
627 recorder Drift -file k1_drift.out -time -iNode 1 -jNode 5 -dof 1 -perpDirn
2; # lateral drift (first floor)
628 recorder Drift -file k4_drift.out -time -iNode 2 -jNode 6 -dof 1 -perpDirn 2
629 recorder Drift -file k7_drift.out -time -iNode 3 -jNode 7 -dof 1 -perpDirn 2
630 recorder Drift -file k10_drift.out -time -iNode 4 -jNode 8 -dof 1 -perpDirn
2
631
632 recorder Drift -file k2_drift.out -time -iNode 5 -jNode 9 -dof 1 -perpDirn
2; # lateral drift (second floor)
633 recorder Drift -file k5_drift.out -time -iNode 6 -jNode 10 -dof 1 -perpDirn
2
634 recorder Drift -file k8_drift.out -time -iNode 7 -jNode 11 -dof 1 -perpDirn
2
635 recorder Drift -file k11_drift.out -time -iNode 8 -jNode 12 -dof 1
-perpDirn 2
636
637 recorder Drift -file k3_drift.out -time -iNode 9 -jNode 13 -dof 1 -perpDirn
2; # lateral drift (third floor)
638 recorder Drift -file k6_drift.out -time -iNode 10 -jNode 14 -dof 1
-perpDirn 2
639 recorder Drift -file k9_drift.out -time -iNode 11 -jNode 15 -dof 1
-perpDirn 2
640 recorder Drift -file k12_drift.out -time -iNode 12 -jNode 16 -dof 1
-perpDirn 2
641
642
643 recorder Element -file deformationk1.out -time -ele 1 section 1 deformation
644 recorder Element -file deformationk2.out -time -ele 2 section 1 deformation
645 # recorder Element -file forcesk1.out -time -ele 1 section 1 force
646 recorder Element -file forces_k4.out -time -ele 4 section 1 force
647
648
649
650
651 #Analysis of dead loads
652 set Tol 1.0e-8
653 constraints Transformation
654 numberer RCM
655 system UmfPack
656 test EnergyIncr $Tol 400
657 algorithm Newton
658 set NstepGravity 10
659 set DGravity [expr 1.0/$NstepGravity]
660 integrator LoadControl $DGravity; #DGravity=the load factor increment E»
661 analysis Static
662 analyze $NstepGravity
663
664 loadConst -time 0.0
665
666 puts "Dead load analysis complete"
667
668 #Set up parameters
669
670 set Dmax [expr 0.03*$H_cord]; # maximum displacement of pushover:
10% roof drift

```



```

671 set Dincr [expr 0.0001*$Dmax]; # displacement increment
672
673
674 set eigenValues [eigen 2];
675 puts $eigenValues;
676
677 set f5 [nodeEigenvector 5 1 1];
678 set f6 [nodeEigenvector 6 1 1];
679 set f7 [nodeEigenvector 7 1 1];
680 set f8 [nodeEigenvector 8 1 1];
681 set f9 [nodeEigenvector 9 1 1];
682 set f10 [nodeEigenvector 10 1 1];
683 set f11 [nodeEigenvector 11 1 1];
684 set f12 [nodeEigenvector 12 1 1];
685 set f13 [nodeEigenvector 13 1 1];
686 set f14 [nodeEigenvector 14 1 1];
687 set f15 [nodeEigenvector 15 1 1];
688 set f16 [nodeEigenvector 16 1 1];
689
690 puts "fi"
691 puts "isogeio"
692 puts $f5;
693 puts $f6;
694 puts $f7;
695 puts $f8;
696 puts "los orofos"
697 puts $f9;
698 puts $f10;
699 puts $f11;
700 puts $f12;
701 puts "2os orofos"
702 puts $f13;
703 puts $f14;
704 puts $f15;
705 puts $f16;
706
707
708
709 set F5 [expr $MassFloor2/6*$f5];
710 set F6 [expr $MassFloor2/3*$f6];
711 set F7 [expr $MassFloor2/3*$f7];
712 set F8 [expr $MassFloor2/6*$f8];
713 set F9 [expr $MassFloor3/6*$f9];
714 set F10 [expr $MassFloor3/3*$f10];
715 set F11 [expr $MassFloor3/3*$f11];
716 set F12 [expr $MassFloor3/6*$f12];
717 set F13 [expr $MassFloor4/6*$f13];
718 set F14 [expr $MassFloor4/3*$f14];
719 set F15 [expr $MassFloor4/3*$f15];
720 set F16 [expr $MassFloor4/6*$f16];
721
722 set sumMiFi [expr $F5+$F6+$F7+$F8+$F9+$F10+$F11+$F12+$F13+$F14+$F15+$F16];
723
724 set F5 [expr $F5/$sumMiFi];
725 set F6 [expr $F6/$sumMiFi];
726 set F7 [expr $F7/$sumMiFi];
727 set F8 [expr $F8/$sumMiFi];
728 set F9 [expr $F9/$sumMiFi];
729 set F10 [expr $F10/$sumMiFi];
730 set F11 [expr $F11/$sumMiFi];
731 set F12 [expr $F12/$sumMiFi];
732 set F13 [expr $F13/$sumMiFi];
733 set F14 [expr $F14/$sumMiFi];
734 set F15 [expr $F15/$sumMiFi];
735 set F16 [expr $F16/$sumMiFi];
736

```

```

737 puts "Fi"
738 puts "isogeio"
739 puts $F5;
740 puts $F6;
741 puts $F7;
742 puts $F8;
743 puts "los orofos"
744 puts $F9;
745 puts $F10;
746 puts $F11;
747 puts $F12;
748 puts "2os orofos"
749 puts $F13;
750 puts $F14;
751 puts $F15;
752 puts $F16;
753
754
755 pattern Plain 2 Linear {
756     load 5 $F5 0.0 0.0
757     load 6 $F6 0.0 0.0
758     load 7 $F7 0.0 0.0
759     load 8 $F8 0.0 0.0
760
761     load 9 $F9 0.0 0.0
762     load 10 $F10 0.0 0.0
763     load 11 $F11 0.0 0.0
764     load 12 $F12 0.0 0.0
765
766     load 13 $F13 0.0 0.0
767     load 14 $F14 0.0 0.0
768     load 15 $F15 0.0 0.0
769     load 16 $F16 0.0 0.0
770
771
772 };
773
774
775 set IDctrlNode 54; # node where disp is read for disp
776 control
777 set IDctrlDOF 1; # degree of freedom read for disp
778
779 set ierrors 0
780 set Dstep 0.0
781 set ok 0
782
783 while {$Dstep <= 1.0 && $ok == 0} {
784     set controlDisp [lindex [nodeDisp $IDctrlNode $IDctrlDOF] 0]
785     set Dstep [expr $controlDisp/$Dmax]
786     test EnergyIncr 1.0e-8 10000
787     algorithm Newton
788     integrator DisplacementControl $IDctrlNode $IDctrlDOF $Dincr
789     set ok [analyze 1]
790
791     if {$ok != 0} {
792         incr ierrors; #increases by one
793         set Nk 100
794         set DincrReduced [expr $Dincr/$Nk];
795         integrator DisplacementControl $IDctrlNode $IDctrlDOF $DincrReduced
796         for {set ik 1} {$ik <= $Nk} {incr ik 1} {
797             test EnergyIncr 1.0e-8 10000
798             algorithm Newton
799             set ok [analyze 1]
800
801             if {$ok != 0} {
802                 puts "Decreasing Tolerance"
803                 test EnergyIncr 1.0e-8 10000
804                 algorithm Newton
805                 set ok [analyze 1]

```

```

805 }
806
807 if {$ok != 0} {
808     puts "Disp: $controlDisp, ModifiedNewton failed, Trying
      NewtonWithLineSearch"
809     test EnergyIncr 1.0e-8 100000
810     algorithm NewtonLineSearch -tol 1.0e-8 -maxIter 10000
811     set ok [analyze 1]
812 }
813 if {$ok != 0} {
814     puts "Disp: $controlDisp, NewtonWithLineSearch failed, Trying
      Broyden"
815     test EnergyIncr 1.0e-8 100000
816     algorithm BFGS
817     set ok [analyze 1]
818 }
819 }
820 }
821 }
822
823 if {$ok != 0} {
824     puts "Not all steps completed. Only $Dstep out of 1 completed"
825 }
826
827 puts "Pushover complete"
828
829
830
831 if {$ok != 0} {
832     puts "PROBLEM"
833 } else {
834     puts "DONE" }
835
836 print -node 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 26 19;
837 print -ele;
838 wipe

```

9.3 Μη ενισχυμένο πλαίσιο-Δυναμική Ανάλυση

9.4 Ενισχυμένο πλαίσιο-Δυναμική Ανάλυση

Ο κώδικας εξακολουθεί να είναι ο ίδιος με αυτό της pushover ανάλυσης και γίνεται αλλαγή μόνο στον κώδικα της ανάλυσης ώστε να τρέχει δυναμική ανάλυση τόσο στο μη ενισχυμένο όσο και στο ενισχυμένο μοντέλο.

Πιο κάτω παρουσιάζεται ο κώδικας για τη δυναμική ανάλυση χρονιστορίας σεισμών ο οποίος είναι ίδιος για τα δύο μοντέλα.

```

puts "Running dynamic analysis..."

set DtAnalysis 0.005
set TmaxAnalysis 60.0
set Nsteps [expr int($TmaxAnalysis/$DtAnalysis)]

set xDamp 0.05;
set MpropSwitch 1.0;
set KcurrSwitch 0.0;
set KcommSwitch 0.0;
set KinitSwitch 1.0;
set nEigenI 1;      # mode 1
set nEigenJ 2;      # mode 2

set pi [expr 2.0*asin(1.0)];
set lambdaN [eigen [expr $nEigenJ]]
set lambdaI [lindex $lambdaN [expr $nEigenI-1]]

```

```

set lambdaJ [lindex $lambdaN [expr $nEigenJ-1]]
set omegaI [expr pow($lambdaI,0.5)]
set omegaJ [expr pow($lambdaJ,0.5)]
set T1 [expr 2.0*$pi/$omegaI];
puts "T1= $T1 s"; # 1st mode period of the structure
set T2 [expr 2.0*$pi/$omegaJ];
puts "T2= $T2 s";
set alphaM [expr $MpropSwitch*$xDamp*(2*$omegaI*$omegaJ)/($omegaI+$omegaJ)];
set betaKcurr [expr $KcurrSwitch*2.*$xDamp/($omegaI+$omegaJ)];
set betaKcomm [expr $KcommSwitch*2.*$xDamp/($omegaI+$omegaJ)];
set betaKinit [expr $KinitSwitch*2.*$xDamp/($omegaI+$omegaJ)];

rayleigh $alphaM $betaKcurr $betaKinit $betaKcomm;

timeSeries Path 200 -dt 0.01 -filePath "KAL-L.tcl" -factor 1.0
pattern UniformExcitation 300 1 -accel 200
constraints Transformation
numberer RCM
system UmfPack
test EnergyIncr 1.0e-6 5000
algorithm ModifiedNewton -initial
integrator Newmark 0.5 0.25
analysis Transient

set ierrors 0
set ok 0
set controlTime [getTime]
while {$controlTime < $TmaxAnalysis && $ok == 0} {

    set controlTime [getTime]
    test EnergyIncr 1.0e-6 5000
    algorithm ModifiedNewton -initial
    set ok [analyze 1 $DtAnalysis]

    if {$ok != 0} {
        incr ierrors
        set Nk 2
        set DtReduced [expr $DtAnalysis/$Nk];
        for {set ik 1} {$ik <=$Nk} {incr ik 1} {
            test EnergyIncr 1.0e-6 20000
            algorithm ModifiedNewton -initial
            set ok [analyze 1 $DtReduced]

            if {$ok != 0} {
                puts "Decreasing Tolerance"
                test EnergyIncr 1.0e-5 20000
                algorithm ModifiedNewton -initial
                set ok [analyze 1 $DtReduced]
            }
            if {$ok != 0} {
                puts "Time: $controlTime, ModifiedNewton failed, Trying
                NewtonWithLineSearch"
                test EnergyIncr 1.0e-6 100000
                algorithm NewtonLineSearch -tol 1.0e-6 -maxIter 50000
                set ok [analyze 1 $DtReduced]
            }
            if {$ok != 0} {
                puts "Time: $controlTime, NewtonWithLineSearch failed,
                Trying Broyden"
                test EnergyIncr 1.0e-6 100000
                algorithm BFGS
                set ok [analyze 1 $DtReduced]
            }
        }
    }
}

print -node 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16;
print -ele;

wipe all;

```