

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ**



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ**

**ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ : «ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΩΝ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ ΣΤΗ  
ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΠΛΑΙΣΙΑΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ  
ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

**ΛΑΜΠΡΟΣ Γ. ΠΑΣΠΑΤΗΣ**

**Επιβλέπων : Επίκουρος Καθηγητής Ιωάννης Τσομπανάκης**

**ΧΑΝΙΑ, 2009**



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού διπλώματος ειδίκευσης του μεταπτυχιακού προγράμματος του Τομέα Μηχανικής “Μηχανική και τεχνολογία υλικών και κατασκευών” του Γενικού Τμήματος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Αντικείμενο της διατριβής αποτελεί η διερεύνηση της επιρροής των τοιχοπληρώσεων στους φορείς οπλισμένου σκυροδέματος υπό σεισμικά φορτία με σύγχρονες υπολογιστικές μεθόδους.

Η ανάθεση του θέματος και η επίβλεψη της εργασίας έγινε από τον κ. Ιωάννη Τσομπανάκη, Επικ. Καθηγητή Πολυτεχνείου Κρήτης. Θεωρώ υποχρέωση μου να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου για την πολύτιμη καθοδήγηση και συμπαράσταση που έδειξε καθ’όλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής τον Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Προβιδάκη και την Λέκτορα κ. Μαρία Σταυρουλάκη για τις υποδείξεις τους. Τέλος, επιθυμώ να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την ηθική συμπαράσταση της.

Πασπάτης Λάμπρος

Χανιά, 2009





## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

|                                                                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>                                                                           | <b>1</b>  |
| 1.1 Σκοπός– Στόχοι.....                                                                                     | 1         |
| 1.2 Δομή εργασίας.....                                                                                      | 2         |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ.....</b>                                                    | <b>3</b>  |
| 2.1 Γενικά στοιχεία.....                                                                                    | 3         |
| 2.2 Δυσμενείς διατάξεις τοιχοπληρώσεων.....                                                                 | 4         |
| 2.3 Μηχανισμοί αστοχίας.....                                                                                | 8         |
| 2.3.1. Διατμητική αστοχία ολίσθησης.....                                                                    | 9         |
| 2.3.2. Αστοχία θλιβόμενης διαγώνιου.....                                                                    | 12        |
| 2.3.3. Αστοχία διαγώνιου λόγω εφελκυσμού.....                                                               | 13        |
| 2.4 Επίδραση τοιχοπληρώσεων στη δυναμική ανάλυση των κατασκευών.....                                        | 14        |
| 2.4.1 Αναφορά στον κανονισμό επεμβάσεων (ΚΑΝΕΠΕ).....                                                       | 14        |
| 2.4.2 Εκτίμηση αλληλεπίδρασης πλαισιακών φορέων- τοιχοπληρώσεων στον Ευρωκώδικα 8.....                      | 16        |
| 2.5 Προσομοίωση τοιχοπληρώσεων: Μέθοδος διαγώνιου θλιπτήρα & Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων.....            | 17        |
| 2.5.1. Προσομοίωση τοιχοπληρώσεων με τη μέθοδο θλιβόμενης διαγώνιου.....                                    | 18        |
| 2.5.2. Προσομοίωση τοιχοπληρώσεων με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.....                              | 21        |
| 2.6 Παρουσίαση μεθόδου υπερωθητικής ανάλυσης (Pushover Analysis).....                                       | 22        |
| 2.6.1 Παράμετροι υπερωθητικής ανάλυσης .....                                                                | 23        |
| 2.6.1.1 Κατανομή εγκάρσιας φόρτισης.....                                                                    | 23        |
| 2.6.1.2 ιδιότητες διατομών πλαστικών αρθρώσεων.....                                                         | 25        |
| 2.7 Επιρροή τοιχοποιιών πλήρωσης στην αλληλεπίδραση παρακείμενων κατασκευών με διαφορετικό ύψος ορόφων..... | 26        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....</b>                                                    | <b>31</b> |
| 3.1 Γενικά .....                                                                                            | 31        |
| 3.2 Παρουσίαση αριθμητικών προσομοιωμάτων.....                                                              | 31        |
| 3.2.1 Επίπεδος διώροφος φορέας.....                                                                         | 31        |
| 3.2.2 Επίπεδος επταόροφος φορέας.....                                                                       | 33        |
| 3.2.3 Επίπεδος πολυώροφος ασύμμετρος φορέας.....                                                            | 34        |
| 3.2.4 Επίπεδος πολυώροφος συμμετρικός φορέας.....                                                           | 35        |
| 3.3 Υλικά.....                                                                                              | 36        |
| 3.4 Παρουσίαση σεισμικών καταγραφών.....                                                                    | 37        |
| 3.5 Παρουσίαση βημάτων προσομοίωσης.....                                                                    | 41        |

|                                                                                                        |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.5.1.1 Αναλύσεις προσομοιώνοντας τους τοίχους πλήρωσης με τη μέθοδο της θλιβόμενης διαγωνίου.....     | 41        |
| 3.5.1.2 Αναλύσεις προσομοιώνοντας τους τοίχους πλήρωσης με τη μέθοδο των πετρερασμένων στοιχείων ..... | 45        |
| 3.5.2. “Μη-γραμμική” δυναμική ανάλυση.....                                                             | 48        |
| 3.5.3 Pushover ανάλυση.....                                                                            | 52        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....</b>                                                      | <b>58</b> |
| 4.1. Γενικά.....                                                                                       | 58        |
| 4.2. Παρουσίαση αποτελεσμάτων δυναμικών αναλύσεων.....                                                 | 59        |
| 4.2.1. Αποτελέσματα δυναμικών αναλύσεων διώροφου πλαισιακού φορέα.....                                 | 59        |
| 4.2.1.1. Παρουσίαση ιδιομορφών διώροφου φορέα.....                                                     | 59        |
| 4.2.1.2. Αποτελέσματα διώροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro.....                     | 63        |
| 4.2.1.3. Αποτελέσματα διώροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου.....                       | 67        |
| 4.2.2. Αποτελέσματα δυναμικών αναλύσεων επταόροφου πλαισιακού φορέα.....                               | 71        |
| 4.2.2.1. Παρουσίαση ιδιομορφών επταόροφου φορέα.....                                                   | 71        |
| 4.2.2.2. Αποτελέσματα επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro.....                   | 74        |
| 4.2.2.3. Αποτελέσματα επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση της Καλαμάτας.....                  | 78        |
| 4.2.2.4. Αποτελέσματα επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου.....                     | 82        |
| 4.2.3. Αποτελέσματα δυναμικών αναλύσεων πολυώροφου πλαισιακού ασύμμετρου φορέα.....                    | 86        |
| 4.2.3.1. Παρουσίαση ιδιομορφών πολυώροφου ασύμμετρου φορέα.....                                        | 86        |
| 4.2.3.2. Αποτελέσματα πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro.....        | 89        |
| 4.2.3.3. Αποτελέσματα πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου.....          | 93        |
| 4.2.3.4. Αποτελέσματα πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση της Καλαμάτας.....       | 97        |
| 4.2.4. Αποτελέσματα δυναμικών αναλύσεων πολυώροφου πλαισιακού συμμετρικού φορέα.....                   | 101       |
| 4.2.4.1. Παρουσίαση ιδιομορφών πολυώροφου συμμετρικού φορέα.....                                       | 101       |
| 4.2.4.2. Αποτελέσματα πολυώροφου συμμετρικού πλαισίου - σεισμική διέγερση Elcentro.....                | 104       |
| 4.2.4.3. Αποτελέσματα πολυώροφου συμμετρικού πλαισίου - σεισμική διέγερση Αιγίου.....                  | 108       |
| 4.3 Αποτελέσματα Pushover αναλύσεων.....                                                               | 111       |
| 4.3.1. Αποτελέσματα Pushover αναλύσεων επταόροφου πλαισιακού φορέα.....                                | 112       |
| 4.3.2. Αποτελέσματα Pushover αναλύσεων πολυώροφου ασύμμετρου πλαισιακού φορέα.....                     | 116       |
| 4.3.3. Αποτελέσματα Pushover αναλύσεων πολυώροφου συμμετρικού πλαισιακού φορέα.....                    | 119       |

|                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b> | <b>124</b> |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>              | <b>126</b> |



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

#### **1.1 Σκοπός–στόχοι**

Η εκτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς των κατασκευών και η μετέπειτα διαστασιολόγηση τους ώστε να πληρούν όλα τα κριτήρια ασφάλειας και λειτουργικότητας των υφιστάμενων κανονισμών, πραγματοποιείται κάνοντας χρήση μιας σειράς από παραδοχές και απλουστεύσεις. Αυτές μπορεί να αφορούν την ίδια την κατασκευή και την εν γένει συμπεριφορά των μελών της στις διάφορες φορτίσεις, καθώς και άλλα μεγέθη που υπεισέρχονται στις αναλύσεις όπως οι σεισμικές διεγέρσεις, οι ιδιότητες του εδάφους και η αλληλεπίδραση του με την κατασκευή κτλ. Προκειμένου να συμπεριληφθούν όσο το δυνατόν καλύτερα οι αβεβαιότητες που προκύπτουν, κατά την ανάλυση γίνεται χρήση διάφορων συντελεστών ασφαλείας. Ωστόσο η συμπεριφορά ορισμένων στοιχείων μιας κατασκευής πολλές φορές δεν είναι δυνατόν να εκτιμηθεί, άλλοτε μπορεί να δρουν ευεργετικά και άλλοτε επιβλαβή στην απόκρισή της.

Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί η επίδραση των τοιχοπληρώσεων στους φορείς οπλισμένου σκυροδέματος υπό σεισμικές φορτίσεις. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι τοιχοπληρώσεις θεωρούνται ως μη φέροντα στοιχεία και λαμβάνεται υπόψη μόνο η κατακόρυφη φόρτιση που μεταφέρουν στο φορέα λόγω του ίδιου βάρους τους. Αγνοείται λοιπόν η αλληλεπίδραση τους με τον υπόλοιπο φορέα και απουσιάζουν από τους υπολογισμούς. Ωστόσο έχει αποδειχθεί ότι οι τοιχοπληρώσεις δεν έχουν αμελητέα δυσκαμψία και αντοχή, αλλά αντιθέτως η παρουσία τους μεταβάλλει ουσιαστικά τα δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής καθώς και τη συνολική σεισμική συμπεριφορά της.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της επιρροής των τοίχων πλήρωσης στους φορείς οπλισμένου σκυροδέματος υπό σεισμική καταπόνηση. Πραγματοποιούνται για το λόγο αυτό δυναμικές αναλύσεις φορέων καθώς και αναλύσεις με τη μέθοδο Pushover, με χρήση του

υπολογιστικού προγράμματος SAP V9 NonLinear, προσομοιώνοντας τις τοιχοπληρώσεις με τη μέθοδο του ισοδύναμου διαγώνιου θλιπτήρα, καθώς και με χρήση πεπερασμένων στοιχείων.

## **1.2 Δομή εργασίας**

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο της παρούσας εργασίας. Συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά στους κυριότερους μηχανισμούς αστοχίας των τοίχων πλήρωσης, στον Ελληνικό Κανονισμό Επεμβάσεων (ΚΑΝΕΠΕ) καθώς επίσης και στον Ευρωκώδικα 8, ενώ παρουσιάζονται οι μέθοδοι προσομοίωσης των τοιχοπληρώσεων που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα μοντέλα και οι σεισμικές φορτίσεις που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και η αναλυτική παρουσίαση των προσομοιώσεων και των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στο πρόγραμμα SAP, ενώ στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθενται και αναλύονται τα αποτελέσματα. Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διερεύνηση.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ**

#### **2.1 Γενικά στοιχεία**

Τις τελευταίες δεκαετίες είναι προφανής η επικράτηση του σκυροδέματος ως το βασικότερο δομικό στοιχείο των κατασκευών, το οποίο συνήθως συνδυάζεται με τη χρήση άοπλης τοιχοποιίας για τη μερική ή ολική κάλυψη των φανωμάτων, αποτελώντας τον κυρίαρχο τύπο κτιριακών φορέων. Ως τοιχοποιία χρησιμοποιείται κυρίως οπτοπλινθοδομή, δηλαδή οπτές πλίνθοι (τούβλα), των οποίων η κυρίαρχη σύσταση είναι αργιλικός πηλός και συνδετικό κονίαμα. Η οπτοπλινθοδομή συνήθως τοποθετείται άοπλη στα φανώματα με ενδιάμεσες οριζόντιες οπλισμένες ζώνες σκυροδέματος (πρέκια).

Ωστόσο, παρόλο που η τοιχοποιία αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο του δομικού συστήματος και είναι γενικώς παραδεκτή η επιρροή της στη σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών, στη συνήθη πρακτική η προσομοίωση της δεν λαμβάνεται υπόψη στο αναλυτικό μοντέλο των κατασκευών. Αυτό οφείλεται στο ότι δεν υπάρχει κοινή αντίληψη για τη συμπεριφορά των τοιχοπληρώσεων κατά την αλληλεπίδραση τους με τα πλαίσια. Κατά συνέπεια εξακολουθούν να υπάρχουν αβεβαιότητες για την προσέγγιση και μοντελοποίηση της πραγματικής συμπεριφοράς τους με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν κοινά αποδεκτές συστάσεις για το θέμα αυτό.

Βασική αιτία είναι ότι, η μορφή απόκρισης-αστοχίας πλαισίων με τοιχοπλήρωση επηρεάζεται και διαφοροποιείται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι η σημαντική διαφοροποίηση που υπάρχει στα πραγματικά μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοπλήρωσης εξαιτίας των διαφορετικών ιδιοτήτων των υλικών της (πλίνθοι και συνδετικό κονίαμα), όσο και των κατασκευαστικών λεπτομερειών, όπως τη γεωμετρία των πλαισίων που περιβάλλει την τοιχοποιία, την αντοχή και τη δυσκαμψία των δομικών στοιχείων του πλαισίου, την ύπαρξη ανοιγμάτων, την πιθανή εντός ή και εκτός

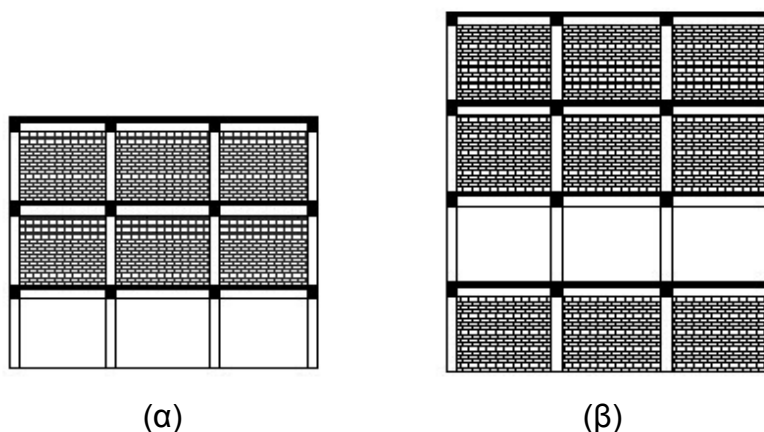
επιπέδου αστοχία της τοιχοπλήρωσης. Συν τοις άλλοις, η μη γραμμική απόκριση των τοιχοπληρώσεων ακόμα και σε χαμηλά επίπεδα φόρτισης καθιστά σε ορισμένες περιπτώσεις ακατάλληλη τη χρήση γραμμικών ελαστικών στοιχείων προσομοίωσης.

## 2.2 Δυσμενείς διατάξεις τοιχοπληρώσεων

Ο σημαντικότερος παράγοντας που καθορίζει αν οι τοιχοπληρώσεις έχουν ευμενή ή δυσμενή επιρροή στη συμπεριφορά–απόκριση μιας κατασκευής είναι η διάταξη τους σε κάτοψη-τομή αλλά και εντός των φανωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος. Τοιχοπληρώσεις, οι οποίες κατανέμονται ομοιόμορφα κατά μήκος της περιμέτρου του κτιρίου και χωρίς ασυνέχειες καθ' ύψος έχουν γενικά ευνοϊκό ρόλο σε σχέση με την αντίσταση του κτιρίου σε σεισμικά φορτία. Η θετική αυτή επιρροή είναι σημαντική κυρίως στους πλαίσιακούς φορείς οπλισμένου σκυροδέματος σχεδιασμένους με παλαιότερες κανονιστικές διατάξεις, αφού αυξάνουν την αντοχή υπό οριζόντια φορτία καθώς και την πλευρική δυσκαμψία των φορέων, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι μετακινήσεις λόγω σεισμού, άρα και τα φαινόμενα δευτέρας τάξης, τα οποία συνήθως προκαλούν την κατάρρευση υπό σεισμικά φορτία.

Στην πραγματικότητα όμως, ελάχιστοι είναι οι φορείς με γεωμετρία που να καθορίζεται από συμμετρίες και τοιχοπληρώσεις ομοιόμορφα κατανεμημένες σε κάτοψη και τομή. Στις περισσότερες περιπτώσεις η γεωμετρία του φορέα καθώς και η διάταξη των τοιχοπληρώσεων χαρακτηρίζεται από ασυμμετρία και μη κανονικότητα, με αποτέλεσμα την πιθανή δυσμενή επιρροή των τοιχοπληρώσεων στην απόκριση του φορέα. Εξαιρετικά δυσμενής διάταξη είναι εκείνη κατά την οποία οι τοιχοπληρώσεις είναι ανομοιόμορφα κατανεμημένες καθ' ύψος, όπως στην περίπτωση του σχήματος 2.1.





**Σχήμα 2.1.** Δυσμενής διάταξη τοιχοπληρώσεων, (α) πυλωτή, (β) ενδιάμεσος μη τοιχοπληρωμένος όροφος.

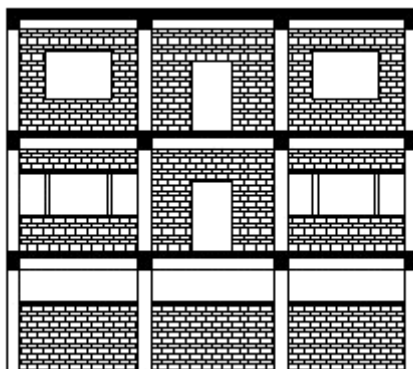
Τέτοιες διατάξεις, όπως είναι η πυλωτή ή ο ενδιάμεσος μη τοιχοπληρωμένος όροφος, οδηγούν σε πολλές περιπτώσεις στην ανεπιθύμητη ανάπτυξη μηχανισμών μαλακού ορόφου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, η ύπαρξη της τοιχοπλήρωσης σε έναν όροφο συνεισφέρει σημαντικά στη διατμητική αντοχή του ορόφου. Επίσης, εμποδίζει την ανάπτυξη ανελαστικών παραμορφώσεων του περιβάλλοντος πλαισίου με αποτέλεσμα όλες οι παραμορφώσεις που αναπτύσσει η κατασκευή από έναν σεισμό να συγκεντρώνονται στον μη τοιχοπληρωμένο όροφο.

Ουσιαστικά σε αυτές τις περιπτώσεις έχουμε δημιουργία μηχανισμού με πλαστικές αρθρώσεις στην κορυφή και στη βάση των υποστυλωμάτων του “γυμνού” ορόφου και τοπική συγκέντρωση όλων των μετακινήσεων της κατασκευής με επακόλουθο την ανάπτυξη φαινομένων δευτέρας τάξεως που οδηγούν σε μερική ή ολική κατάρρευση (Φωτ. 2.1).



**Φωτ. 2.1.** Φαινόμενο pilotis: Κατάρρευση κτίσματος λόγω αστοχίας μαλακού ορόφου.

Μια επίσης δυσμενής διάταξη των τοιχοπληρώσεων ακόμη και αν αυτές είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες στην περίμετρο της κατασκευής, δημιουργείται όταν οι τοιχοπληρώσεις διακόπτονται καθ' ύψος, π.χ. στη στάθμη της ποδιάς των παραθύρων σε όλο το μήκος του φανώματος ή σε υψηλότερη στάθμη (για λόγους αερισμού και φωτισμού) που συναντάται σε πολλές περιπτώσεις σχολικών κτιρίων (Σχ. 2.2).



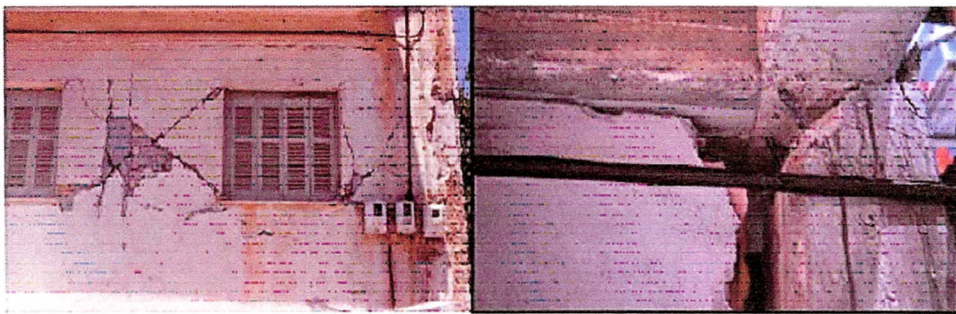
**Σχήμα 2.2.** Διακοπή καθ' ύψος τοιχοπληρώσεων στη στάθμη της ποδιάς των παραθύρων σε όλο το μήκος του φανώματος ή σε ψηλότερη στάθμη.

Αποτέλεσμα της διακοπής των τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος μέσα σε ένα φάνωμα είναι η δημιουργία κοντών υποστυλωμάτων, στοιχείων μικρής λυγηρότητας που κατά τη σεισμική διέγερση της κατασκευής καταπονούνται ιδιαίτερα. Ειδικά όταν αυτά βρίσκονται στον κατώτατο όροφο, όπου αναπτύσσεται η μέγιστη σεισμική τέμνουσα, αστοχούν διατμητικά, αναπτύσσοντας διαγώνιες ρωγμές (Φωτ. 2.2).



**Φωτ. 2.2.** Διατμητική αστοχία κοντών υποστυλωμάτων.

Όταν οι τοιχοπληρώσεις είναι αρκετά δύσκαμπτες, με υψηλή αντοχή και περιβάλλονται από σχετικά αδύναμα πλαίσια οπλισμένου σκυροδέματος, τότε μπορούν να προκαλέσουν τοπικές αστοχίες στα γειτονικά στοιχεία. Η διαγώνια δύναμη που ασκεί ο τοίχος στο πλαίσιο μπορεί να προκαλέσει διατμητική αστοχία του υποστυλώματος, η οποία συνεχίζεται και στον υπερκείμενο κόμβο. Επίσης, ένα υποστύλωμα μπορεί να είναι αρκετά ασθενέστερο από την τοιχοπλήρωση, οπότε η ρηγμάτωση που αναπτύσσεται στην τοιχοπλήρωση μπορεί και το διαπερνάει με αρκετή ευκολία (Φωτ. 2.3.).



**Φωτ.2.3.** Αστοχία υποστυλωμάτων λόγω ισχυρών τοιχοπληρώσεων.

Επιπροσθέτως, έντονη ανομοιομορφία στην κατανομή των τοιχοπληρώσεων σε κάτοψη, δημιουργεί ασυμμετρίες που οδηγούν σε εκκεντρότητα μεταξύ του κέντρου μάζας και του ενεργού κέντρου δυσκαμψίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αναπτύσσεται στρέψη περί τον κατακόρυφο άξονα της κατασκευής, όταν αυτή υποβάλλεται σε σεισμική διέγερση. Λόγω του ότι οι τοιχοπληρώσεις συμβάλλουν στη συνολική αντοχή και δυσκαμψία και στις δυο οριζόντιες διευθύνσεις, η ένταση και οι σεισμικές μετακινήσεις και παραμορφώσεις στο τμήμα της κάτοψης με τις λιγότερες τοιχοπληρώσεις είναι περίπου αντίστοιχες με αυτές που θα αναπτύσσονταν στο “γυμνό” δομικό σύστημα από την ίδια σεισμική δράση. Το πρόβλημα είναι αρκετά σημαντικό σε κτίρια με έντονη εκκεντρότητα των τοιχοπληρώσεων σε κάτοψη, π.χ. σε γωνιακά κτίρια.



### 2.3 Μηχανισμοί αστοχίας

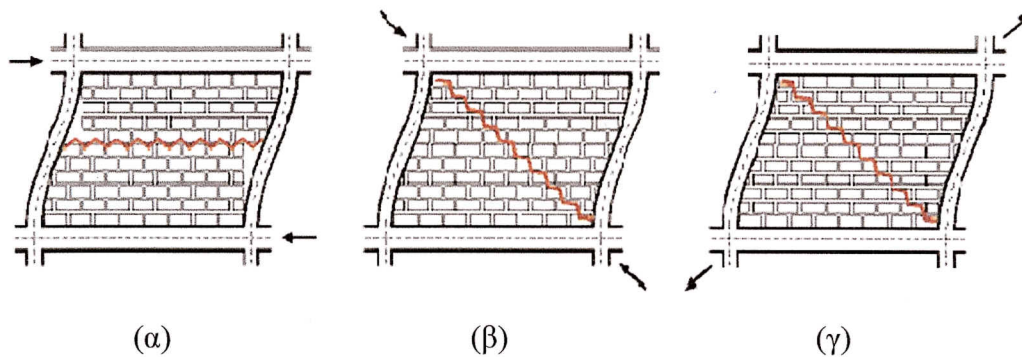
Η συμπεριφορά τοιχοπληρωμένων πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος αλλά και τοιχοπληρωμένων μεταλλικών πλαισίων υπό πλευρική φόρτιση μελετήθηκε από αρκετούς ερευνητές. Στις αρχές της δεκαετίας του '70 οι Fiorato et al. (1970) μελέτησαν τη συμπεριφορά μη πλάστιμων πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος (διεξάγοντας πειράματα σε κλίμακα 1/8) τοιχοπληρωμένων με κοινό τούβλο, υπό μονοτονική αλλά και ανακυκλιζόμενη ένταση. Τα πειράματα αυτά συνεχίστηκαν από τους Klinger και Bertero (1978), Bertero και Brokken (1983), Zarnic και Tomazevic (1985) και Schmid (1989). Παρόμοια πειράματα τοιχοπληρωμένων πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος μελετήθηκαν αργότερα από τους Mehrabi et al. (1996) και τους Angel et al. (1994). Οι τελευταίοι μελέτησαν τη συμπεριφορά τόσο για φορτία εντός, όσο και για φορτία εκτός του επιπέδου της τοιχοπλήρωσης. Όλες οι εργασίες των ερευνητών που αναφέρθηκαν παραπάνω, κατέδειξαν πως η συνολική συμπεριφορά ενός τοιχοπληρωμένου πλαισίου εξαρτάται άμεσα από την αλληλεπίδραση της τοιχοπλήρωσης με το περιβάλλον πλαίσιο.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η συνολική αντίσταση στη σεισμική δράση δεν μπορεί να θεωρηθεί ως άθροισμα των επιμέρους (άθροισμα αντίστασης πλαισίου και τοιχοπλήρωσης), και αυτό γιατί ο τρόπος με τον οποίο αυτά τα δυο αλληλεπιδρούν, μπορεί να μεταβάλλει σημαντικά τον μηχανισμό αντίστασης που αναπτύσσεται από το καθένα ξεχωριστά. Για χαμηλά επίπεδα φόρτισης ένα τοιχοπληρωμένο πλαίσιο συμπεριφέρεται μονολιθικά σαν ένα σύνολο, όπου τοιχοπλήρωση και περιβάλλον πλαίσιο καταπονούνται με ενιαίο τρόπο. Όσο το δυναμικό φορτίο αυξάνεται, η τοιχοπλήρωση αρχίζει να αποκολλάται από το πλαίσιο στις δύο απέναντι γωνίες και αναπτύσσεται μηχανισμός θλιβόμενης διαγωνίου ανάμεσα στις δυο γωνίες που βρίσκονται σε επαφή με το πλαίσιο.

Ο μηχανισμός θλιβόμενης διαγωνίου που αναφέρθηκε παραπάνω είναι πολύ συνηθισμένος αλλά δεν είναι ο μοναδικός. Ο κύριος μηχανισμός αντίστασης που θα αναπτυχθεί κατά περίπτωση εξαρτάται από πολλές παραμέτρους με σημαντικότερη τη σχετική δυσκαμψία και αντοχή του περιβάλλοντος πλαισίου και της τοιχοπλήρωσης. Οι κυριότεροι μηχανισμοί

αστοχίας που έχουν διαπιστωθεί στις διάφορες ερευνητικές εργασίες (πειραματικές και αριθμητικές), είναι οι εξής:

- Η διατμητική αστοχία (ολίσθησης) (Σχ. 2.3α).
- Η αστοχία θλιβόμενης διαγωνίου (Σχ. 2.3β).
- Η αστοχία διαγωνίου λόγω εφελκυσμού (Σχ. 2.3γ).
- Η εφελκυστική αστοχία λόγω καμπτικών δυνάμεων.



**Σχήμα 2.3.** Κυριότερες μορφές αστοχίας τοιχοπληρώσεων: α) διατμητική αστοχία, β) αστοχία θλιβόμενης διαγωνίου, γ) αστοχία διαγωνίου λόγω εφελκυσμού.

### 2.3.1. Διατμητική αστοχία ολίσθησης

Ο διατμητικός μηχανισμός αστοχίας χαρακτηρίζεται από μια οριζόντια ρωγμή στην τοιχοπλήρωση, η οποία συνήθως εμφανίζεται στη θέση του αρμού και οδηγεί στην εμφάνιση κοντών υποστυλωμάτων. Οι πλαστικές αρθρώσεις δημιουργούνται στα υποστυλώματα, ενώ είναι συνηθισμένη η περίπτωση κατά την οποία τα υποστυλώματα αστοχούν διατμητικά αναπτύσσοντας διαγώνιες ρωγμές.

Ο υπολογισμός της μέγιστης διατμητικής δύναμης που μπορεί να αναπτυχθεί είναι δυνατόν να υπολογισθεί με βάση το κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb.

$$\tau_f = \tau_0 + \mu \cdot \sigma_N \quad (1)$$

όπου:

$\tau_0$  είναι η συνεκτική διατμητική ικανότητα του συνδετικού κονιάματος που χρησιμοποιείται στην τοιχοποιία,

$\mu$  η σταθερά τριβής στις θέσεις των αρμών,

$\sigma_N$  η ορθή θλιπτική τάση αντοχής των τοιχοπληρώσεων.

Έτσι η μέγιστη διατμητική δύναμη  $V_f$  προκύπτει από τη σχέση:

$$V_f = \tau_0 \cdot t \cdot l_m + \mu \cdot N \quad (2)$$

όπου :

$t$  το πάχος της τοιχοποιίας

$l_m$  το μήκος του τοίχου πλήρωσης

$N$  κατακόρυφη φόρτιση του τοίχου πλήρωσης

Κατά τον Αμερικάνικο Κανονισμό FEMA 306 (1998), η παράμετρος  $N$  υπολογίζεται ως η κατακόρυφη φόρτιση του τοίχου πλήρωσης που αναπτύσσεται λόγω της κατακόρυφης παραμόρφωσης της τοιχοποιίας και που προκύπτει από τις οριζόντιες μετακινήσεις της:

$$N = l_m \cdot t \cdot E_m \cdot r^2 \quad (3)$$

όπου :

$E_m$  το μέτρο ελαστικότητας της τοιχοποιίας,

$r$  η σχετική μετακίνηση των ορόφων.

Ωστόσο, η κατακόρυφη φόρτιση του τοίχου πλήρωσης  $N$  μπορεί να εκτιμηθεί ως το άθροισμα των εξωτερικών κατακόρυφων φορτίσεων της τοιχοποιίας και της κατακόρυφης συνιστώσας της διαγώνιας θλιπτικής δύναμης  $R_c$  που αναπτύσσεται στο θλιπτήρα. Θεωρώντας ότι οι εξωτερικές κατακόρυφες φορτίσεις είναι μηδενικές, η μέγιστη διατμητική δύναμη που αναπτύσσεται μπορεί να υπολογισθεί σύμφωνα με το σχ. 2.4 ως εξής:

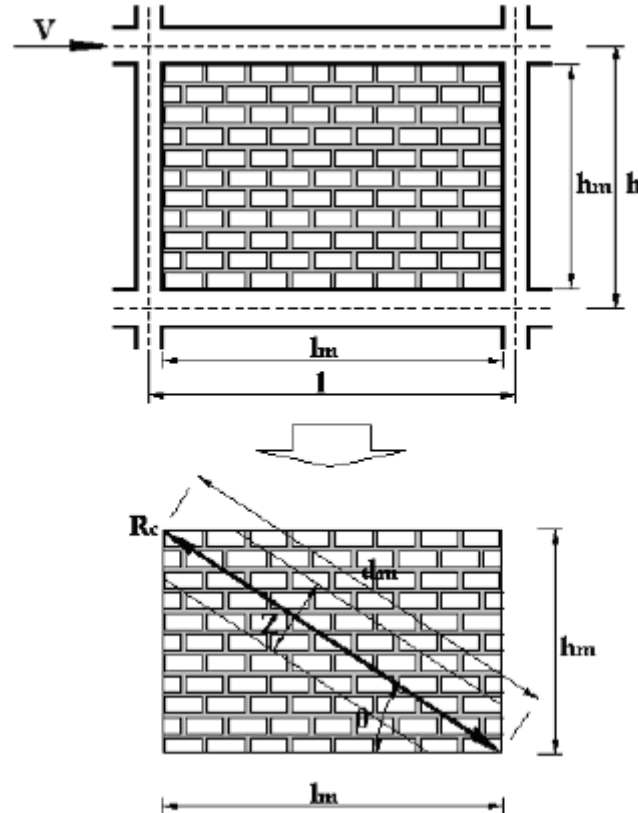
$$V_f = R_c \cdot \cos \theta \quad (3)$$

Οπότε προκύπτει ότι:

$$R_c \cdot \cos \theta = t_0 \cdot \tau \cdot l_m + \mu \cdot R_c \cdot \sin \theta \quad (4)$$

άρα:

$$V_f = \frac{\tau_0 \cdot t \cdot l_m}{1 - \mu \cdot \tan \theta} \quad (5)$$



**Σχήμα 2.4.** Τοιχοπλήρωση και παράμετροι ισοδύναμου διαγώνιου θλιπτήρα.

Τυπικές τιμές της συνεκτικότητας του συνδετικού κονιάματος  $\tau_0$  είναι μεταξύ των τιμών  $1 \leq \tau_0 \leq 15 \text{ kg/cm}^2$ . Σύμφωνα με τις οδηγίες του κανονισμού, η συνεκτικότητα  $\tau_0$  υπολογίζεται κατά προσέγγιση σύμφωνα με τη σχέση:

$$\tau_0 = 0.04 \cdot f'_m \quad (6)$$

Τέλος, η σταθερά τριβής  $\mu$  υπολογίζεται από την πειραματική σχέση του CHEN (1996):

$$\mu = 0.654 + 0.000515 \cdot f'_j \quad (7)$$

όπου :

$f'_j$  = η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας.

### 2.3.2 Αστοχία θλιβόμενης διαγωνίου

Κατά τον μηχανισμό θλιβόμενης διαγωνίου αναπτύσσεται στην τοιχοπλήρωση μια διαγώνια ρωγμή, η οποία ξεκινάει από τη γωνία που ασκείται το φορτίο και καταλήγει στην απέναντι γωνία, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να συνοδεύεται και από ολίσθηση σε ενδιάμεσο αρμό. Στην περίπτωση αυτή η τοιχοπλήρωση λειτουργεί σαν θλιβόμενη διαγώνιος, η οποία συνήθως οδηγεί σε ψαθυρή αστοχία των γωνιών του τοίχου και ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων ή διατμητικών ρωγμών (διατμητικές αστοχίες) στα μέλη του πλαισίου οπλισμένου σκυροδέματος.

Η διατμητική δύναμη που αναπτύσσεται είναι δυνατόν να υπολογισθεί από την ακόλουθη σχέση που προτείνουν οι Stafford-Smith και Carter (1969), ενώ το πλάτος του ισοδύναμου θλιπτήρα  $z$  υπολογίζεται σύμφωνα με σχέση που προτείνεται από τον Αμερικάνικο κανονισμό FEMA 306 (1998).

$$V_c = z \cdot t \cdot f'_m \cdot \cos \theta \quad (8)$$

όπου:

$f'_m$  είναι η θλιπτική τάση αντοχής των λιθοσωμάτων της τοιχοποιίας, η οποία για αργιλικά τούβλα με διάκενα συνήθους μορφής είναι ίση με 2.2 MPa.

$z$  είναι το πλάτος του ισοδύναμου θλιπτήρα που κατά τον Αμερικάνικο Κανονισμό FEMA 306 είναι ίσο με:

$$z = 0.175 (\lambda \cdot h)^{-0.4} \cdot d_m \quad (9)$$

$$\text{ενώ :} \quad \lambda = \left[ \frac{E_m \cdot t \cdot \sin 2\theta}{4 E_c \cdot I_g \cdot h_m} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (10)$$

όπου:

$h$  το ύψος του υποστυλώματος σε cm

$h_m$  το ύψος του τοίχου πλήρωσης,

$E_c$  το μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος  $240000 \text{ kg/cm}^2$ ,



$I_g$  η ροπή αδράνειας κατακόρυφων μελών σε  $\text{cm}^2$ ,

$d_m$  το μήκος της διαγωνίου της τοίχοπλήρωσης,

$t$  το πάχος τοίχου πλήρωσης και ισοδύναμης διαγώνιας θλιπτικής ράβδου,

$\theta$  η γωνία της οποίας η εφαπτομένη είναι ο λόγος ύψος προς μήκος της τοιχοποιίας

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{h_m}{l_m} \right) \quad (11)$$

$l_m$  το μήκος του τοίχου πλήρωσης.

### 2.3.3 Αστοχία διαγωνίου λόγω εφελκυσμού

Η περίπτωση αυτή δε θεωρείται γενική μορφή αστοχίας. Οι υψηλότερες εγκάρσιες δυνάμεις μπορούν να υπολογισθούν από τις άλλες μορφές αστοχίας, ωστόσο θεωρείται ως κριτήριο λειτουργικότητας και καθορίζεται ως εξής:

$$H_t = 2\sqrt{2} \cdot t \cdot h_m \cdot f_t \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta \quad (12)$$

όπου

$f_t$  η αντοχή σε θραύση της τοιχοποιίας

Προσεγγιστικά θεωρείται ότι  $f_t = 0.166\sqrt{f'_p}$ , ενώ με  $f'_p$  συμβολίζεται η θλιπτική αντοχή στοιχείου τοιχοποιίας (MPa).

## 2.4 Επίδραση τοιχοπληρώσεων στη δυναμική ανάλυση των κατασκευών

### 2.4.1 Αναφορά στον κανονισμό επεμβάσεων (ΚΑΝΕΠΕ)

Για την πρακτική προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων, οι συνήθειες περιπτώσεις που προτείνονται και υιοθετούνται και από τον κανονισμό επεμβάσεων (ΚΑΝΕΠΕ, 2009) είναι η προσομοίωση με χρήση θλιβόμενης διαγωνίου αλλά και με χρήση διατμητικού φατνώματος. Σχετικά με τη μέθοδο της θλιβόμενης διαγωνίου, η τοιχοπλήρωση εξιδανικεύεται με ένα γραμμικό στοιχείο που δουλεύει μόνο σε θλίψη. Το πάχος του στοιχείου εξαρτάται από το πάχος της τοιχοπλήρωσης ενώ το πλάτος του εξαρτάται από το μήκος επαφής της τοιχοπλήρωσης με το περιβάλλον πλαίσιο. Όσο αυξάνονται οι οριζόντιες μετακινήσεις τόσο μεγαλώνουν οι βλάβες της τοιχοπλήρωσης και μειώνεται το πλάτος επαφής.

Ο κανονισμός επεμβάσεων (ΚΑΝΕΠΕ) προτείνει τιμές για το πλάτος της θλιβόμενης διαγωνίου που θα χρησιμοποιείται στις αναλύσεις, ανάλογα με την επιθυμητή στάθμη επιτελεστικότητας:

- Σχεδόν πλήρης λειτουργικότητα κατά τον σεισμό:  $z = 0.2 \cdot l_m$ .
- Άμεση χρήση μετά το σεισμό:  $z = 0.15 \cdot l_m$ .
- Προστασία ζωής:  $z = 0.1 \cdot l_m$ .

Στην τελευταία στάθμη επιτελεστικότητας: "Αποφυγή οιονεί κατάρρευσης", όπου οι βλάβες στο φέροντα οργανισμό είναι πολύ προχωρημένες, οι τοιχοπληρώσεις θεωρούνται πλήρως αποδιοργανωμένες και δεν λαμβάνονται υπόψη ( $w=0$ ).

Στην περίπτωση που οι τοιχοπληρώσεις διαθέτουν ανοίγματα ελέγχεται το κατά πόσον η διάταξη των ανοιγμάτων επιτρέπει τη διαμόρφωση λοξών θλιβομένων διαγωνίων και η προσομοίωση προσαρμόζεται κατάλληλα. Εναλλακτικά, και ελλείψει λεπτομερέστερης διερευνήσεως, προτείνεται όταν υπάρχουν ανοίγματα κοντά στα άκρα του φατνώματος η τοιχοπλήρωση να αμελείται, ενώ όταν υπάρχει άνοιγμα του οποίου οι διαστάσεις είναι μικρότερες από το 20% των αντίστοιχων διαστάσεων του φατνώματος και είναι τοποθετημένο κοντά στο κέντρο, η επιρροή του στα χαρακτηριστικά της

τοιχοπλήρωσης μπορεί να αμελείται. Όταν το άνοιγμα αυτό έχει διαστάσεις >50% του φατνώματος, είναι δυνατόν να αγνοείται ολόκληρη η τοιχοπλήρωση. Για διαστάσεις ανοίγματος μεταξύ του 20% και του 50% μπορεί να γίνει γραμμική παρεμβολή για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών του φατνώματος ή χρήση δύο λοξών θλιβομένων διαγωνίων ανά φάτνωμα. Οι θλιπτήρες αυτοί θα ξεκινούν από τα άκρα της θλιβόμενης διαγωνίου και θα καταλήγουν στο μέσον της υποκείμενης και της υπερκείμενης δοκού αντιστοίχως. Σε αυτή την περίπτωση, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επιρροή των θλιπτήρων στην έναντι τέμνουσας ασφάλεια των δοκών.

Στην περίπτωση που η προσομοίωση γίνεται με τη χρήση διατμητικού φατνώματος, η αντιστοίχιση δυστένειας ( $EA$ ) – δυστμησίας ( $GA$ ) θλιβόμενης διαγωνίου – διατμητικού φατνώματος δίδεται από τη σχέση:

$$E_s A_s = \frac{G_v A_v}{\cos^2 a \cdot \sin a} \quad (13)$$

όπου  $a$  η γωνία τις θλιβόμενης διαγωνίου.

Σύμφωνα με τον κανονισμό επεμβάσεων, όταν γίνεται συνεκτίμηση των τοιχοποιιών πλήρωσης, πρέπει να γίνονται δυο αναλύσεις ώστε να γίνεται συνεκτίμηση τόσο των θετικών όσο και των αρνητικών συνεπειών των τοιχοπληρώσεων. Η μία ανάλυση προτείνεται να γίνεται θεωρώντας για τα στοιχεία τοιχοπλήρωσης τη δυστένεια ή δυστμησία που αντιστοιχεί στο σημείο του διαγράμματος δύναμης – μετακίνησης τις τοιχοπλήρωσης στη μέγιστη αντοχή της, ενώ η δεύτερη θεωρώντας δυστένεια ή δυστμησία που αντιστοιχεί σε σχετικό βέλος ορόφου συμβατό με τις μετακινήσεις του φορέα. Διαδικασία η οποία απαιτεί επαναλήψεις και διαδοχικές προσεγγίσεις. Απλοποιητικά μπορεί να λαμβάνεται δυστμησία που αντιστοιχεί σε γωνιακή παραμόρφωση 2 έως 3 φορές μεγαλύτερη από την παραμόρφωση  $\gamma(\tau_{max})$ .

### **2.4.2 Εκτίμηση αλληλεπίδρασης πλαισιακών φορέων- τοιχοπληρώσεων στον Ευρωκώδικα 8**

Ο Ευρωκώδικας 8 για το σχεδιασμό νέων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος περιλαμβάνει διατάξεις για τη συνεκτίμηση τις αλληλεπίδρασης των τοιχοπληρώσεων με τις πλαισιακούς φορείς οπλισμένου σκυροδέματος. Συγκεκριμένα, αν σε κτίριο με πλαισιακό δομικό σύστημα οι τοιχοπληρώσεις προκαλούν έντονη εκκεντρότητα, ο κανονισμός απαιτεί για Κατηγορία Πλαστιμότητας Υψηλή (H) –και συνιστά για Μέση (M) ή Χαμηλή (L)– να συμπεριλαμβάνονται οι τοιχοπληρώσεις στο προσομοίωμα για την ανάλυση της κατασκευής στο χώρο.

Στο προσομοίωμα αυτό οι τοιχοπληρώσεις μπορούν να περιληφθούν ως θλιβόμενες διαγώνιοι των οποίων οι διαστάσεις θα λαμβάνονται κατάλληλα. Ο κανονισμός προτείνει να γίνεται επιλεκτική αφαίρεση των τοιχοπληρώσεων από ένα ποσοστό (π.χ. του 25%) των τοιχοπληρωμένων φανωμάτων, κυρίως από την πλευρά του κτιρίου με τις λιγότερες τοιχοπληρώσεις και να εξετάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών. Αν η ανομοιομορφία τις κατανομής των τοιχοπληρώσεων σε κάτοψη δεν είναι έντονη ο Ευρωκώδικας 8 δέχεται την υποκατάσταση της προσομοίωσης των τοιχοπληρώσεων στην ανάλυση του δομήματος, με διπλασιασμό της τυχηματικής εκκεντρότητας (δηλαδή από 5% της κάθετης διάστασης του ορόφου σε κάτοψη, σε 10%).

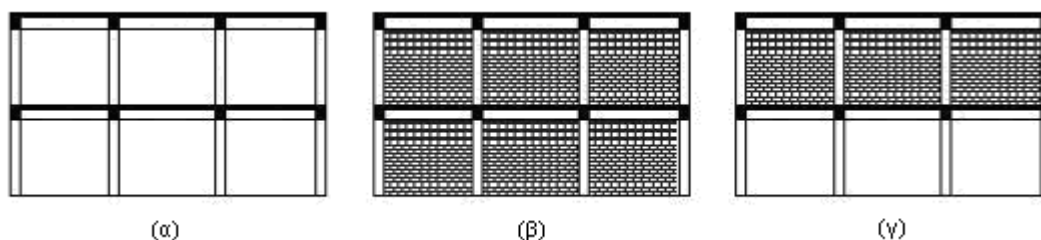
Για τη δυσμενή επίδραση των τοιχοπληρώσεων λόγω ανομοιομορφίας κατανομής καθ' ύψος (δημιουργία μαλακού ορόφου, πυλωτή) προτείνεται η αύξηση της σεισμικής έντασης σχεδιασμού των στοιχείων των μη τοιχοπληρωμένων ορόφων ώστε να καλυφθεί το έλλειμμα στη συνολική αντοχή του ορόφου από την παρουσία περισσότερων τοιχοπληρώσεων στον αμέσως επόμενο όροφο. Η αύξηση αυτή γίνεται με πολλαπλασιασμό των εντατικών μεγεθών (αξονικές, τέμνουσες, ροπές) που προκύπτουν από την ανάλυση για το σεισμό σχεδιασμού επί έναν συντελεστή ο οποίος ισούται με τη μονάδα, συν το λόγο του ελλείμματος της συνολικής διατμητικής αντοχής των τοιχοπληρώσεων του ορόφου, δια την τέμνουσα του ορόφου που προκύπτει από την ανάλυση.

Η εν λόγω προσαύξηση της έντασης σχεδιασμού χρειάζεται να γίνεται στα κατακόρυφα στοιχεία του λιγότερου τοιχοπληρωμένου ορόφου και

επιβάλλεται στα πλαίσιακά δομικά συστήματα πλαστιμότητας H, ενώ καλό θα ήταν να εφαρμόζεται και για αυτά με μικρότερη πλαστιμότητα (M, L). Οι διατάξεις αυτές για την προσαύξηση της σεισμικής έντασης δεν ισχύουν όταν το κτίριο διαθέτει τοιχώματα δυσκαμψίας που αναλαμβάνουν τουλάχιστον το 50% τις σεισμικής τέμνουσας βάσης στην υπόψη οριζόντια διεύθυνση. Για την εξαιρετικά δυσμενή περίπτωση της ύπαρξης κοντών υποστυλωμάτων και ειδικά στις περιπτώσεις που ο φορέας δεν διαθέτει τοιχώματα, ο κανονισμός επιβάλλει μια σειρά υπολογιστικών και κατασκευαστικών μέτρων για την αποφυγή της διατμητικής αστοχίας. Συγκεκριμένα, απαιτεί υπολογισμό της ικανοτικής τέμνουσας σχεδιασμού, ανάληψη της σεισμικής τέμνουσας με δισδιάγωνιο οπλισμό όταν το ύψος του κοντού υποστυλώματος είναι μικρότερο από  $1.5h_c$  ( $h_c$  το πλάτος του υποστυλώματος στο επίπεδο του τοίχου) καθώς και τοποθέτηση του οπλισμού κρίσιμων περιοχών σε όλο το ύψος του υποστυλώματος. Επίσης θεωρείται ότι τα υποστυλώματα του ισογείου του τοιχοπληρωμένου πλαισίου είναι κρίσιμα σε όλο τους το ύψος, έτσι ώστε να υπάρχει προστασία έναντι πρόωρης αστοχίας των τοιχοπληρώσεων του ισογείου και μετατροπής του ισογείου σε πυλωτή.

## **2.5 Προσομοίωση τοιχοπληρώσεων: Μέθοδος διαγώνιου θλιπτήρα & Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων**

Στην παρούσα εργασία θα πραγματοποιηθούν δυναμικές αναλύσεις δισδιάστατων φορέων οπλισμένου σκυροδέματος, θεωρώντας αρχικά φορείς χωρίς τοιχοπληρώσεις, λαμβάνοντας δηλαδή υπόψη κατά τις αναλύσεις μόνο τα γραμμικά μέλη του “γυμνού” φορέα. Στη συνέχεια, αναλύονται οι ίδιοι φορείς θεωρώντας τοιχοπληρώσεις σε όλα τα ζυγώματα τους, καθώς και τοιχοπληρώσεις μονάχα στους ανώτερους ορόφους έτσι ώστε στο ισόγειο να εμφανίζεται το φαινόμενο της πυλωτής.

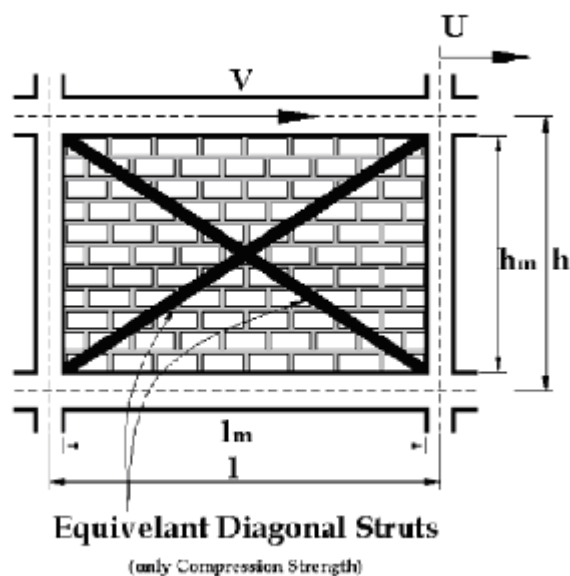


**Σχήμα. 2.5.** (α) Κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις, (β) Κτίριο πλήρως τοιχοπληρωμένο, (γ) Κτίριο με μαλακό όροφο στο ισόγειο (πυλωτή).

Η προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων πραγματοποιείται με τη μέθοδο τις θλιβόμενης διαγωνίου, καθώς και με τη χρήση πεπερασμένων στοιχείων ενώ αποτελέσματα των αναλύσεων θα συγκριθούν με αυτά ανάλογης ερευνητικής εργασίας που πραγματοποιήθηκε από τους Καραγιάννη και Φαββατά (2007) και αναλύεται περαιτέρω στη συνέχεια.

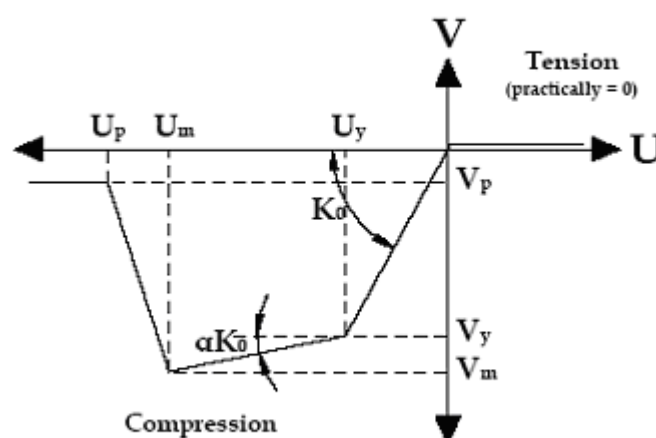
### **2.5.1. Προσομοίωση τοιχοπληρώσεων με τη μέθοδο θλιβόμενης διαγωνίου**

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η συμπεριφορά των τοιχοπληρώσεων σε μία πλαισιωτή κατασκευή είναι δυνατόν να προσομοιωθεί με ένα σύστημα αποτελούμενο από δύο διαγώνιους θλιπτήρες (ράβδους που εμφανίζουν μόνο θλιπτική αντοχή και όχι εφελκυστική), θεωρώντας αμελητέα την εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας (ή και από μονάχα ένα διαγώνιο θλιπτήρα-ελκυστήρα που εμφανίζει θλιπτική και εφελκυστική αντοχή). Έτσι, προκύπτει ένας ισοδύναμος πλευρικός μηχανισμός αντίστασης για τις επιβαλλόμενες στο πλαίσιο σεισμικές φορτίσεις όμοιος με αυτόν που θα συνεισέφερε στο πλαίσιο η τοιχοποιία (Σχ. 2.6).



**Σχ. 2.6** Προσομοίωση τοιχοπλήρωσης με διαγώνιους θλιπτήρες.

Στο διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων τις τοιχοποιίας (Σχ. 2.7), φαίνονται οι διατμητικές δυνάμεις  $V_y$ ,  $V_p$ ,  $V_m$  κατά την παραμόρφωση διαρροής  $U_y$ , κατά τη μέγιστη παραμόρφωση η οποία μπορεί να παραληφθεί  $U_m$ , καθώς και λίγο πριν την αστοχία τις τοιχοποιίας  $U_p$ , αντιστοίχως.



**Σχήμα 2.7.** Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων τις τοιχοποιίας.

όπου :

α: είναι ο λόγος της ακαμψίας της τοιχοποιίας μετά τη διαρροή της προς την αρχική ακαμψία ο οποίος θεωρείται ίσος με 0,2 στη συγκεκριμένη μελέτη.

Ο προσδιορισμός των παραπάνω παραμέτρων πραγματοποιείται από τις δύο βασικές μορφές αστοχίας, ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι υπολογίζονται από σχέσεις, οι οποίες θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.

Η μέγιστη μετακίνηση κατά τη μέγιστη πλευρική δύναμη εκτιμάται από τη σχέση:

$$U_m = \frac{\varepsilon'_m \cdot d_m}{\cos \theta} \quad (14)$$

όπου:

$\varepsilon'_m$  είναι η μέγιστη θλιπτική παραμόρφωση κατά τη μέγιστη θλιπτική τάση,

( $\varepsilon'_m = 0,0018$ ),

$d_m$  συμβολίζει το μήκος του διαγώνιου θλιπτήρα.

Επίσης, από τα πειραματικά αποτελέσματα των Mehrabi et al και Chen (1996) προκύπτει ότι :

$$\frac{U_m}{h_m} = 0,8\% \quad (15)$$

Η αρχική ακαμψία της τοιχοποιίας είναι ίση με:

$$K_0 = 2(V_m / U_m) \quad (16)$$

Η πλευρική δύναμη διαρροής και η αντίστοιχη μετακίνηση της τοιχοποιίας προκύπτουν σύμφωνα με το σχήμα 2.7 και είναι ίσες με:

$$V_y = \frac{V_m - a \cdot K_0 \cdot U_m}{1 - a} \quad (17)$$

$$U_y = \frac{V_y}{K_0} \quad (18)$$

Τέλος, η διατμητική δύναμη  $V_p$  και η αντίστοιχη παραμόρφωση  $U_p$  κατά την αστοχία της τοιχοποιίας, μπορούν να εκτιμηθούν από πειραματικές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί ως:

$$V_p = 0.3 \cdot V_m \quad (19)$$

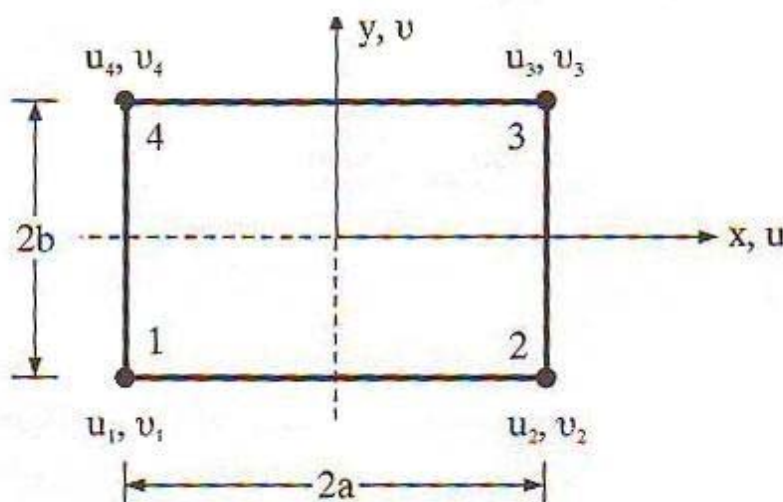
$$U_p = 3.5 \cdot (0.01 \cdot h_m - U_m) \quad (20)$$



### 2.5.2. Προσομοίωση τοιχοπληρώσεων με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων

Η προσομοίωση με πεπερασμένα στοιχεία αποτελεί αδιαμφισβήτητα μία πιο ακριβή και αξιόπιστη μέθοδο για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς των τοιχοπληρώσεων και της επιρροή τους, στους φορείς οπλισμένου σκυροδέματος. Ιδιαίτερα, η χρήση τρισδιάστατων πεπερασμένων στοιχείων σε τρισδιάστατους φορείς θα αποτελούσε εξαιρετική προσέγγιση στην πραγματική συμπεριφορά τοιχοπληρωμένων φορέων, ωστόσο θα καθιστούσε δυσχερή και χρονοβόρα την προσομοίωση και τις αναλύσεις.

Για το λόγο αυτό, στην παρούσα εργασία γίνεται διακριτοποίηση των τοίχων πλήρωσης των πλαισιακών φορέων οπλισμένου σκυροδέματος σε επιμέρους διακριτά ορθογωνικά τετρακομβικά στοιχεία επίπεδης έντασης (Σχ. 2.8), με τη βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος SAP.



**Σχήμα 2.8.** Ορθογωνικά τετρακομβικά στοιχεία επίπεδης έντασης.

Η θλιπτική αντοχή κάθε διακριτού στοιχείου τοιχοποιίας, στο οποίο συνυπολογίζεται η οπτοπλινθοδομή με το συνδετικό κονίαμα, υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση που προτείνουν οι Paulay και Priestley (1992):

$$f'_p = \frac{f'_{cb} \cdot (f'_{tb} + a \cdot f'_j)}{U_u \cdot (f'_{tb} + a f'_{cb})} \quad (21)$$

$$a = \frac{j}{4 \cdot I \cdot h_b} \quad (22)$$

Όπου:

$f'_{tb}$  η εφελκυστική αντοχή της οπτοπλινθοδομής,

$f'_{cb}$  η θλιπτική αντοχή της οπτοπλινθοδομής,

$f'_j$  η θλιπτική αντοχή του συνδετικού κονιάματος,

$h_b$  το ύψος του διακριτού στοιχείου τοιχοποιίας (ύψος τούβλου, 60mm),

$j$  το πάχος του συνδετικού κονιάματος μεταξύ των οπτοπλινθοδομών (15mm),

$U_u$  ο συντελεστής ανομοιομορφίας τάσεων ίσος με 1,5.

Τέλος, προσεγγιστικά μπορεί να θεωρηθεί ότι:

$$f'_{tb} = 0,1 \cdot f'_{cb} \quad (23)$$

Στο επόμενο κεφάλαιο, παρουσιάζεται αναλυτικά η διακριτοποίηση των τοίχων πλήρωσης καθώς και τα βήματα της προσομοίωσης στο λογισμικό SAP 2000.

## 2.6 Παρουσίαση μεθόδου υπερωθητικής ανάλυσης (Pushover Analysis)

Για τη διερεύνηση της επιρροής των τοίχων πλήρωσης στους φορείς οπλισμένου σκυροδέματος, πραγματοποιούνται στην παρούσα εργασία εκτός των δυναμικών αναλύσεων και αναλύσεις με τη μέθοδο Pushover. Η εν λόγω μέθοδος χρησιμοποιεί ανελαστικές στατικές αναλύσεις με χρήση ενός μονοτονικά αυξανόμενου εγκάρσιου φορτίου. Η κατασκευή μετακινείται έως ότου η μετακίνηση αυτή φτάσει κάποια προκαθορισμένα όρια, τα οποία βασίζονται σε διάφορα κριτήρια όπως η μέγιστη επιτρεπόμενη μετακίνηση ορόφου ή όρια ολκιμότητας. Εναλλακτικά, το κτίριο μετακινείται μέχρι να προκύψει στατικά αόριστο και να καταρρεύσει.

Από την Pushover ανάλυση, προκύπτει η καμπύλη της διάτμησης στη βάση της κατασκευής προς τη μετατόπιση της κορυφής, γνωστή και ως καμπύλη Pushover. Η καμπύλη αυτή, παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τη συνολική κατάσταση της κατασκευής, όπως η αρχική ελαστική ακαμψία, η έναρξη της πρώτης διαρροής ή το στάδιο της απότομης επιδείνωσης της ακαμψίας της κατασκευής. Επιπρόσθετα, η ζημιά που έχει υποστεί η κατασκευή σε κάθε επίπεδο διαρροής είναι δυνατόν να ευρεθεί εξετάζοντας άλλους παράγοντες όπως οι θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων, ή η ολκιμότητα των μελών. Επίσης, μπορούν να εντοπιστούν προβληματικά δομικά μέλη και άλλα ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά της κατασκευής όπως μαλακοί όροφοι.

### **2.6.1 Παράμετροι υπερωθητικής ανάλυσης**

#### **2.6.1.1 Κατανομή εγκάρσιας φόρτισης**

Η κατανομή της εγκάρσιας φόρτισης που χρησιμοποιείται στην PUSHOVER ανάλυση, όπως είναι προφανές, επηρεάζει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων που προκύπτουν. Ιδεατά, η κατανομή αυτή πρέπει να αντιπροσωπεύει την εγκάρσια κατανομή της αδρανειακής δύναμης που προκαλεί τις κυριότερες αποκρίσεις στην κατασκευή και εξαρτάται κυρίως από τα δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής και τη σεισμική απόκριση. Συνήθως, χρησιμοποιούνται δύο ειδών κατανομές: οι αμετάβλητου φορτίου και οι μεταβλητού. Στις κατανομές αμετάβλητου φορτίου, χρησιμοποιείται εγκάρσια φόρτιση ομοιόμορφη, τριγωνική ή σημειακή, η οποία όμως παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια της ανάλυσης (επιβάλλεται όμως στο κτίριο βηματικά). Αντίθετα, στις κατανομές μεταβλητού φορτίου, η κατανομή μεταβάλλεται όσο το κτίριο υποβάλλεται σε μεγαλύτερες παραμορφώσεις. Τέτοιες κατανομές συνήθως είναι ανάλογες, των ιδιομορφών που παράγονται σε κάθε βήμα της ανάλυσης ή της διατμητικής αντίστασης του ορόφου σε κάθε βήμα. Γενικώς, είναι δυσχερέστερος ο υπολογισμός τους, ενώ επίσης δεν έχει αποδειχθεί ανωτερότητα τους έναντι της απλούστερης αμετάβλητης κατανομής.

Για τις ανάγκες του υπολογισμού εγκάρσιας φόρτισης των φορέων οπλισμένου σκυροδέματος της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιήθηκε τριγωνική αμετάβλητη κατανομή, ο υπολογισμός της οποίας έγινε όπως προβλέπεται από τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ2000, παρ 3.5.2).

Πιο συγκεκριμένα, η κατανομή καθ' ύψος δίδεται από τη σχέση:

$$F_i = (V_0 - V_H) \cdot \frac{m_i \cdot \phi_i}{\sum_j m_j \cdot \phi_j}, \quad i,j=1,2,\dots,N \quad (24)$$

όπου:

$m_i$  είναι η συγκεντρωμένη μάζα στη στάθμη  $i$

$\phi_i$  είναι η συνιστώσα στη στάθμη  $i$  της θεμελιώδους ιδιομορφής μεταφορικής ταλάντωσης κατά την θεωρούμενη κύρια διεύθυνση του κτιρίου (η οποία υπολογίζεται με οποιαδήποτε κλασσική μέθοδο της Μηχανικής),

$V_H = 0,07 T V_0 (\leq 0,25 V_0)$  είναι μία πρόσθετη δύναμη που εφαρμόζεται στην κορυφή του κτιρίου όταν  $T \geq 1 \text{ sec}$ ,

$N$  είναι ο αριθμός των ορόφων.

Προκειμένου να υπολογισθεί η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος της κατασκευής δημιουργείται μία ιδιομορφική ανάλυση στο πρόγραμμα SAP, από την οποία προκύπτει και η συνιστώσα  $\phi_i$  στη στάθμη  $i$ . Για κάθε κύρια διεύθυνση του κτιρίου το συνολικό μέγεθος των σεισμικών φορτίων (τέμνουσα βάσης) υπολογίζεται από τη σχέση :

$$V_0 = M R_D(T) \quad (25)$$

Όπου:

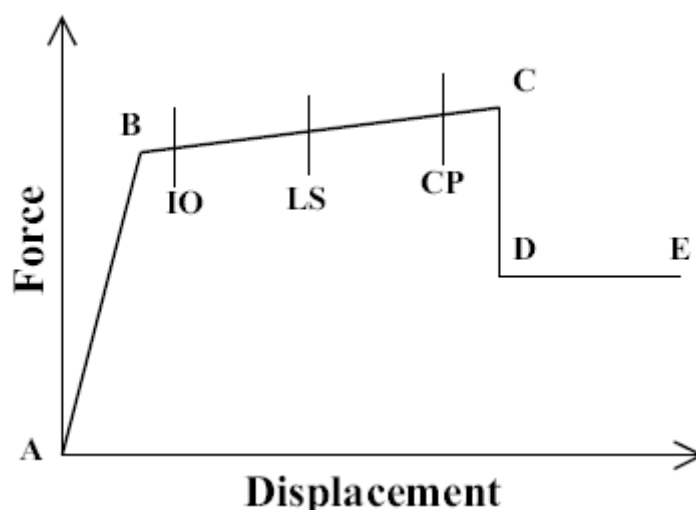
$M$  είναι η συνολική ταλαντούμενη μάζα της κατασκευής,

$R_D(T)$  είναι η τιμή της φασματικής επιτάχυνσης σχεδιασμού όπως προκύπτει από την εξίσωση (2.1) του ΕΑΚ,

$T$  είναι η θεμελιώδης ασύζευκτη ιδιοπερίοδος μεταφορικής ταλάντωσης κατά τη θεωρούμενη κύρια διεύθυνση του κτιρίου, η οποία υπολογίζεται με οποιαδήποτε κλασσική μέθοδο της Μηχανικής.

### 2.6.1.2 Ιδιότητες διατομών πλαστικών αρθρώσεων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η Pushover ανάλυση είναι μία στατική μη γραμμική διαδικασία, στην οποία το μέγεθος της στατικής φόρτισης αυξάνεται σημαντικά αναφορικά με κάποια προκαθορισμένα πρότυπα. Με την αύξηση του στατικού φορτίου, εμφανίζονται προβληματικά μέλη και μορφές κατάρρευσης της κατασκευής. Η επίδραση της κυκλικής συμπεριφοράς και της αναστροφής του φορτίου, συνεκτιμώνται μέσω της χρήσης ενός μονοτονικού διαγράμματος δύναμης-παραμόρφωσης. Συγκεκριμένα στο SAP, χρησιμοποιείται η καμπύλη που δίδεται παρακάτω και η οποία προβλέπεται από τον κανονισμό FEMA 273, χωρίς όμως να είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί αυτή η μορφή από το χρήστη.



Σχήμα 2.9 Καμπύλη δύναμης-παραμόρφωσης.

Στην παραπάνω καμπύλη εμφανίζονται 5 σημεία τα οποία είναι τα εξής:

**Σημείο Α:** Αποτελεί πάντα την αρχή των αξόνων.

**Σημείο Β:** Αντιπροσωπεύει την έναρξη της διαρροής. Μέχρι αυτό το σημείο η παραμόρφωση είναι ελαστική. Μόνο η πλαστική παραμόρφωση πέρα από το σημείο αυτό θα ληφθεί από την πλαστική άρθρωση.

**Σημείο C:** Αντιπροσωπεύει την απόλυτη ικανότητα για την PUSHOVER ανάλυση.

**Σημείο D:** Αντιπροσωπεύει την παραμένουσα δύναμη για την PUSHOVER ανάλυση.

**Σημείο E:** Αντιπροσωπεύει την πλήρη αστοχία της πλαστικής άρθρωσης.

Επίσης, είναι δυνατόν να προσδιοριστούν και τρεις άλλες τιμές στα σημεία Immediate Occupancy (IO), Life Safety (LS), Collapse Prevention (CP) που αντιστοιχούν σε άμεση εκκένωση, σε ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής και παρεμπόδιση κατάρρευσης αντίστοιχα, οι οποίες όμως δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά της κατασκευής. Οι πλαστικές αυτές ιδιότητες ορίζονται στα μέλη της κατασκευής που επιθυμεί ο χρήστης, για κάθε βαθμό ελευθερίας.

Στην παρούσα εργασία για τις pushover αναλύσεις, ορίζονται πλαστικές ιδιότητες μόνο στα μέλη οπλισμένου σκυροδέματος των φορέων και όχι στους τοίχους πλήρωσης, καθώς αντικείμενο διερεύνησης αποτελεί η συμπεριφορά των φορέων στις σεισμικές διεγέρσεις υπό την επίδραση των τοίχων πλήρωσης και όχι η συμπεριφορά των τοίχων μεμονωμένα.

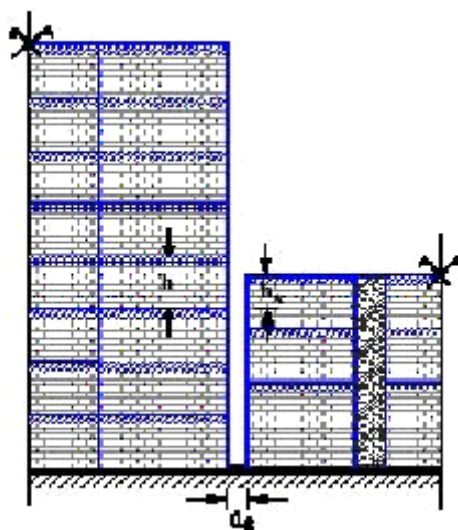
## **2.7 Επιρροή τοιχοποιιών πλήρωσης στην αλληλεπίδραση παρακείμενων κατασκευών με διαφορετικό ύψος ορόφων**

Ανάλογη ερευνητική εργασία έχει πραγματοποιηθεί από τους Καραγιάννη και Φαββατά (2007) με τίτλο "Επιρροή τοιχοποιιών πλήρωσης στην αλληλεπίδραση παρακείμενων κατασκευών με διαφορετικό ύψος ορόφων". Στην εργασία αυτή, όπως και στην παρούσα άλλωστε, δεν αποτέλεσε στόχος η μελέτη της συμπεριφοράς και των μορφών αστοχίας της τοιχοποιίας αλλά η επιρροή της στη συνολική συμπεριφορά των κατασκευών. Θεωρώντας ως

βασική μορφή αστοχίας των τοιχοπληρώσεων τη διαγώνια ρηγμάτωση, οι Καραγιάννης και Φαββατά μελέτησαν μεμονωμένα την επίδραση των τοιχοπληρώσεων στις κατασκευές καθώς επίσης και την αλληλεπίδραση παρακείμενων πολυώροφων κατασκευών με διαφορετικό αριθμό και ύψος ορόφων. Πραγματοποιήθηκαν δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις βήμα προς βήμα με τη βοήθεια του προγράμματος ανελαστικής ανάλυσης κατασκευών ADAPTIC, προσομοιώνοντας παράλληλα τους τοίχους πλήρωσης με τη μέθοδο του ισοδύναμου διαγώνιου θλιπτήρα.

Για τις ανάγκες της ανάλυσης στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε μία οκταόροφη πλαισιακή κατασκευή, η οποία έρχεται σε επαφή με ένα τριώροφο κτίριο μικτού δομικού συστήματος κατά τη διάρκεια της σεισμικής διεγέρσεως του Northridge 1994 USA (Σχ. 2.9) ενώ η επιρροή των τοιχοπληρώσεων μελετάται για τρεις διαφορετικούς τρόπους πλήρωσης:

- α) Τοιχοπλήρωση σε όλους τους ορόφους.
- β) Τοιχοπλήρωση από τον πρώτο όροφο και άνω (πυλωτή).
- γ) Κτίρια χωρίς τοιχοποιίες.



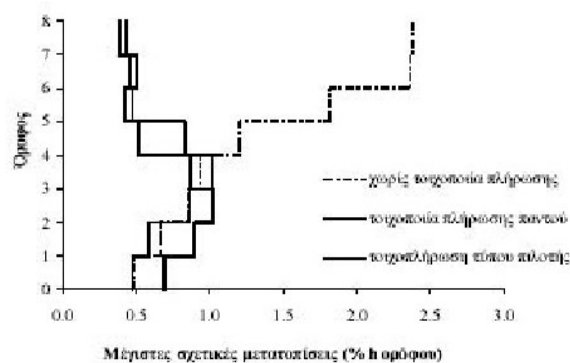
**Σχήμα 2.9** Οκταόροφη και τριώροφη πλαισιακή κατασκευή που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις (Καραγιάννης και Φαββατά, 2007).

Η εργασία των Καραγιάννη και Φαββατά παρουσιάζεται επιγραμματικά χωρίς να διερευνώνται η προσομοίωση και οι παράμετροι που

χρησιμοποιήθηκαν καθώς ενδιαφέρουν περισσότερο τα συμπεράσματα που εξήχθησαν σχετικά με την επίδραση των τοιχοπληρώσεων στις κατασκευές και η σύγκριση τους με τα αντίστοιχα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας.

Παρακάτω, παρουσιάζονται αποτελέσματα των μέγιστων καθ' ύψος αναπτυσσόμενων σχετικών μετατοπίσεων της οκταώροφης κατασκευής, η οποία αναλύεται: (α) χωρίς την επιρροή των τοιχοποιιών πλήρωσης, (β) με τοιχοποιίες πλήρωσης παντού και (γ) τοιχοπλήρωση τύπου πυλωτής (ανοικτό ισόγειο).

Στην περίπτωση του πλήρως τοιχοπληρωμένου πλαισίου παρατηρείται σημαντική μείωση των μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων από τον 4<sup>ο</sup> όροφο και άνω, σε σχέση με το πλαίσιο χωρίς τοιχοποιίες. Μείωση των μετατοπίσεων στους άνω ορόφους του κτιρίου παρατηρείται και στην περίπτωση της πυλωτής. Ωστόσο, η επιρροή της είναι σημαντική κυρίως για τους κάτω ορόφους του πλαισίου, όπου παρατηρείται μεγάλη αύξηση των μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων στους τρεις πρώτους ορόφους (Σχ. 2.10).



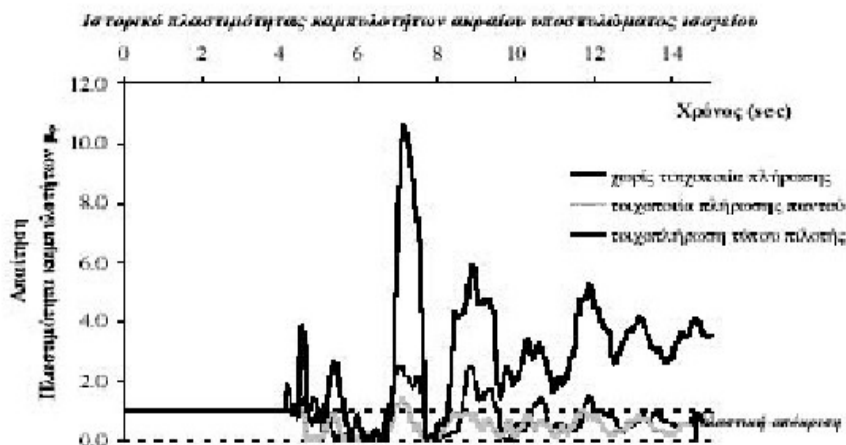
**Σχήμα 2.10.** Επιρροή τοιχοποιιών πλήρωσης στις μέγιστες καθ' ύψος αναπτυσσόμενες σχετικές μετατοπίσεις του οκταώροφου κτιρίου κατά τη διέγερση Northridge 1994 (χωρίς αλληλεπίδραση κατασκευών) (Καραγιάννης και Φαββατά, 2007).

Η επιρροή των τοιχοπληρώσεων στις απαιτήσεις σε πλαστιμότητα καμπυλοτήτων του ακραίου υποστυλώματος στη βάση του ισογείου της πολυώροφης κατασκευής παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.11 για τις προαναφερθείσες τρεις περιπτώσεις. Με μαύρη διακεκομμένη γραμμή σημειώνεται η περιοχή ελαστικής απόκρισης του υποστυλώματος κατά τη



διάρκεια της σεισμικής διεγέρσεως, η οποία εφόσον δημιουργηθεί πλαστική άρθρωση, κυμαίνεται από 0.0~1.0 (σε κάθε περίπτωση  $\mu_\phi \leq 1.0$  για ελαστική απόκριση καθ' όλη τη διάρκεια της ανάλυσης). Παρατηρείται ότι στην περίπτωση που το κτίριο μελετάται ως πλήρως τοιχοπληρωμένο οι απαιτήσεις σε πλαστιμότητα είναι μικρότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες απαιτήσεις που αναπτύσσει το ίδιο υποστύλωμα χωρίς την επιρροή των τοιχοποιιών, καθ' όλη τη διάρκεια της σεισμικής διεγέρσεως. Επιπλέον, η μέγιστη τιμή πλαστιμότητας καμπυλοτήτων που αναπτύσσεται με την επιρροή των τοιχοπληρώσεων είναι  $\mu_\phi = 1.39$  στα 7.15sec έναντι  $\mu_\phi = 2.54$  στα 7.01sec, όταν το πλαίσιο είναι χωρίς τοιχοπληρώσεις.

Ωστόσο, ιδιαίτερα δυσμενής φαίνεται ότι είναι η επιρροή της πυλωτής (ανοικτό ισόγειο) στις απαιτήσεις σε πλαστιμότητα καμπυλοτήτων του ακραίου υποστυλώματος στη βάση του ισογείου. Παρατηρείται σημαντική αύξηση των απαιτήσεων αυτών καθ' όλη τη διάρκεια της σεισμικής διέγερσης με τη μέγιστη απαίτηση σε πλαστιμότητα να φθάνει την τιμή  $\mu_\phi = 10.60$  στα 7.14sec (Σχ. 2.11).



**Σχήμα 2.11.** Επιρροή τοιχοποιιών πλήρωσης στις απαιτήσεις σε πλαστιμότητα καμπυλοτήτων ακραίου υποστυλώματος ισογείου του οκτώροφου πλαισίου χωρίς αλληλεπίδραση κατασκευών (Καραγιάννης και Φαββατά, 2007).

Συνοπτικά από την εργασία αυτή συμπεραίνεται ότι:

1. Η παρουσία τοιχοποιιών καθ' ύψος όλου του κτιρίου περιορίζει την ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων στα υποστυλώματα, κυρίως από τον 5<sup>ο</sup>

όροφο και άνω, όπου συγκριτικά με την περίπτωση πλαισίου χωρίς τοιχοπληρώσεις τα υποστυλώματα παραμένουν στην ελαστική περιοχή.

2. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η επιρροή των τοιχοπληρώσεων στα υποστυλώματα του ισογείου, με εκτεταμένο το μήκος ανελαστικής περιοχής τους.
3. Μικρότερη είναι η επιρροή των τοιχοποιιών στις δοκούς.
4. Όπως αναμενόταν, οι τοιχοποιίες που αστοχούν είναι καταρχήν του 1ου ορόφου και ακολουθούν των υπολοίπων ( $2^{\circ}$ - $5^{\circ}$ ).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ**

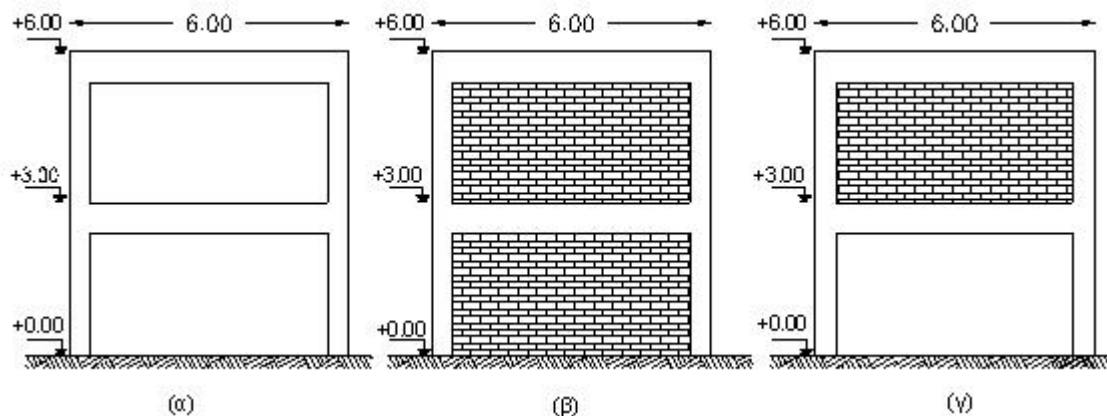
#### **3.1 Γενικά**

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί διερεύνηση της επιρροής των τοιχοπληρώσεων στους φορείς οπλισμένου σκυροδέματος, πραγματοποιήθηκαν δυναμικές αναλύσεις και χρησιμοποιήθηκαν επίπεδοι πλαισιακοί φορείς οπλισμένου σκυροδέματος. Στους φορείς αυτούς επιβλήθηκαν σεισμικές φορτίσεις που θα παρουσιαστούν σε επόμενη παράγραφο, ενώ όπως έχει ήδη αναφερθεί οι τοίχοι πλήρωσης προσομοιώθηκαν με τις μεθόδους του ισοδύναμου διαγώνιου θλιπτήρα καθώς και των πεπερασμένων στοιχείων. Παρακάτω παρουσιάζονται τα μοντέλα, οι σεισμικές φορτίσεις, καθώς και τα βήματα των προσομοιώσεων στο υπολογιστικό πρόγραμμα SAP V9 NonLinear.

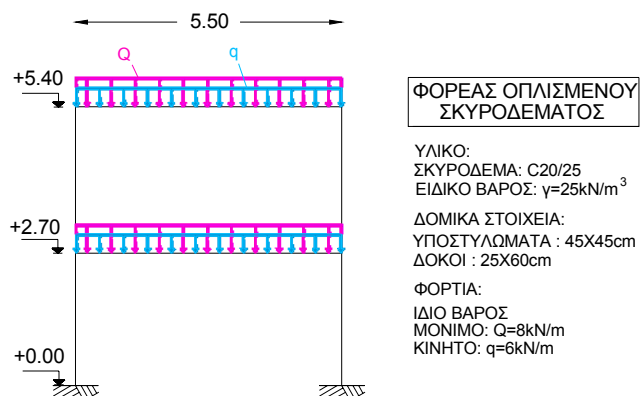
#### **3.2 Παρουσίαση αριθμητικών προσομοιωμάτων**

##### **3.2.1 Επίπεδος δώροφος φορέας**

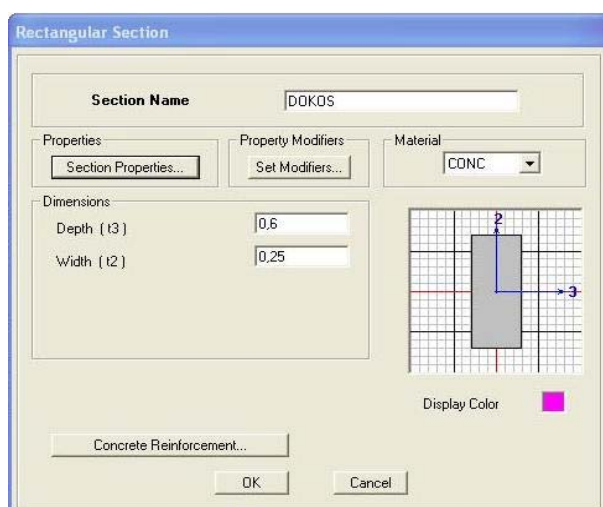
Ο φορέας οπλισμένου σκυροδέματος αποτελείται από δύο ζυγώματα ανοίγματος 6.00m έχοντας συνολικό ύψος επίσης 6.00m και φορτίζεται, πέραν του ιδίου βάρους του, από ομοιόμορφο κατανεμημένο μόνιμο φορτίο  $Q=8kN/m$  και κινητό  $q=6kN/m$  σε κάθε ζύγωμα του. Στο επόμενο σχήμα (Σχ. 3.1), παρουσιάζεται ο φορέας καθώς και οι θέσεις των τοίχων πλήρωσης για τις οποίες έγιναν οι αναλύσεις, ενώ επίσης παρουσιάζονται ο ισοδύναμος γραμμικός φορέας που εισάγεται στο πρόγραμμα για την περίπτωση του φορέα χωρίς τοίχους πλήρωσης (Σχ. 3.2), οι διατομές των δοκών και οι ιδιότητές τους (Σχ. 3.3 και 3.4), καθώς και οι διατομές των υποστυλωμάτων (Σχ. 3.5).



**Σχήμα 3.1.** Επίπεδο πλαίσιο αναλύσεων (α) Φορέας χωρίς τοιχοπληρώσεις, (β) Φορέας πλήρως τοιχοπληρωμένος, (γ) Μερικώς τοιχοπληρωμένος φορέας (φαινόμενο pilotis).



**Σχήμα 3.2.** Ισοδύναμος γραμμικός φορέας (περίπτωση χωρίς τοίχους πλήρωσης).



**Σχήμα 3.3.** Διατομή δοκού επίπεδου διώροφου φορέα (Διαστάσεις στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων SI).

| Property Data                  |           |                                 |           |
|--------------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|
| Section Name: DOKOS            |           |                                 |           |
| Properties:                    |           |                                 |           |
| Cross-section (axial) area     | 0,15      | Section modulus about 3 axis    | 0,015     |
| Torsional constant             | 2,307E-03 | Section modulus about 2 axis    | 6,250E-03 |
| Moment of Inertia about 3 axis | 4,500E-03 | Plastic modulus about 3 axis    | 0,0225    |
| Moment of Inertia about 2 axis | 7,813E-04 | Plastic modulus about 2 axis    | 9,375E-03 |
| Shear area in 2 direction      | 0,125     | Radius of Gyration about 3 axis | 0,1732    |
| Shear area in 3 direction      | 0,125     | Radius of Gyration about 2 axis | 0,0722    |

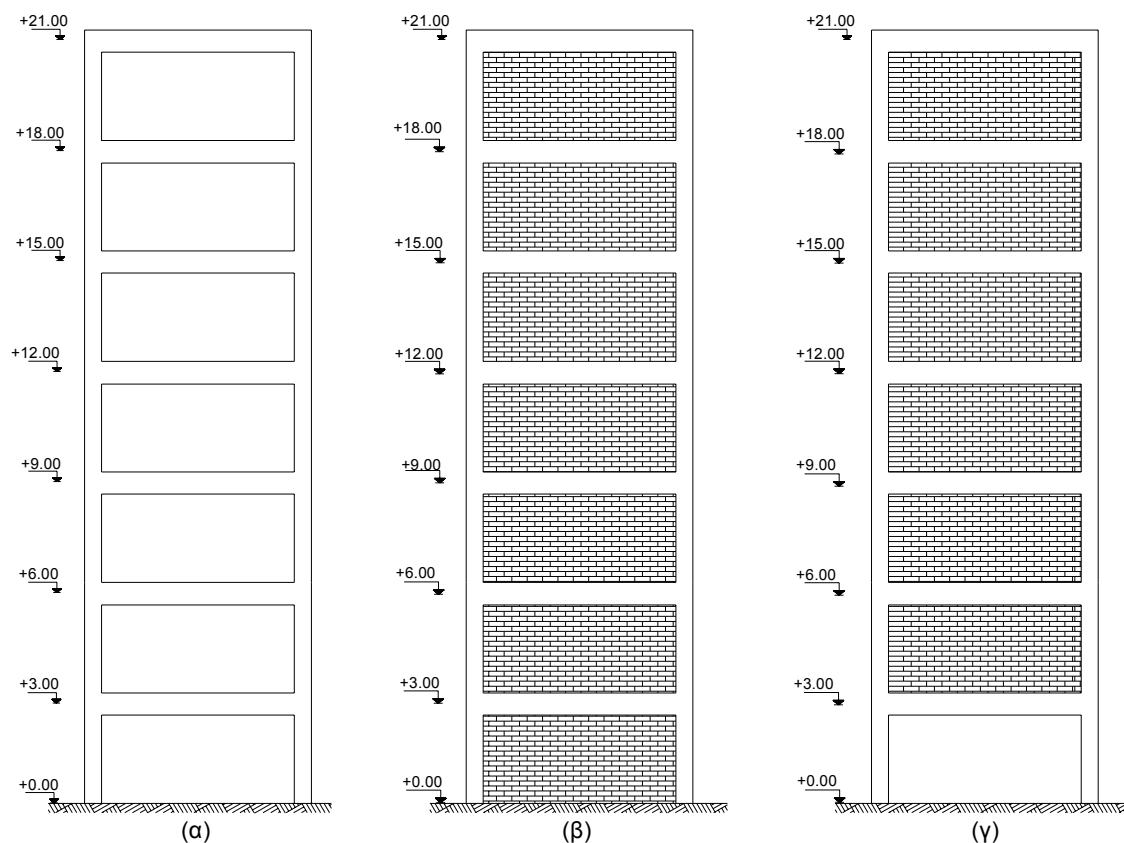
**Σχήμα 3.4.** Ιδιότητες διατομής δοκού επίπεδου διώροφου φορέα (Διαστάσεις στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων SI).

| Rectangular Section       |                    |                                        |
|---------------------------|--------------------|----------------------------------------|
| Section Name: YPOSTYLVMA  |                    |                                        |
| Properties                | Property Modifiers | Material                               |
| Section Properties...     | Set Modifiers...   | CONC                                   |
| Dimensions:               |                    |                                        |
| Depth (t3)                | 0,45               |                                        |
| Width (t2)                | 0,45               |                                        |
| Concrete Reinforcement... |                    | Display Color <input type="checkbox"/> |

**Σχήμα 3.5.** Διατομή υποστυλωμάτων επίπεδου διώροφου φορέα (Διαστάσεις στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων SI).

### 3.2.2 Επίπεδος επαόροφος φορέας

Ο φορέας οπλισμένου σκυροδέματος αποτελείται από 7 ορόφους ανοίγματος 6m, έχει συνολικό ύψος 21.00m και φορτίζεται πέραν του ιδίου βάρους του, από ομοιόμορφο κατανεμημένο μόνιμο φορτίο  $Q=8kN/m$  και κινητό  $q=6kN/m$  σε κάθε ζύγωμα του. Παρακάτω (Σχ. 3.6), παρουσιάζεται ο φορέας και οι θέσεις των τοίχων πλήρωσης.

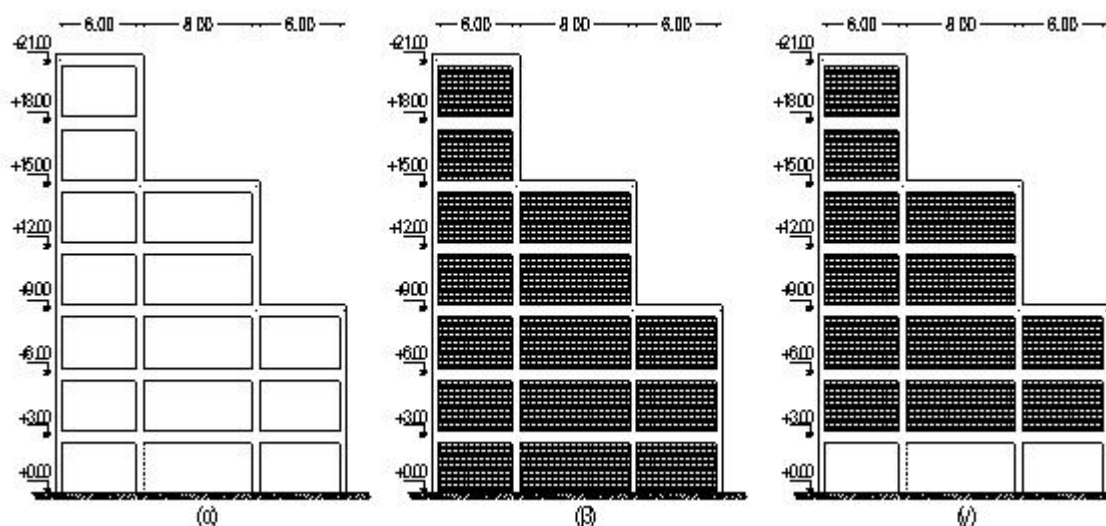


**Σχήμα 3.6.** Επίπεδο επταόροφο πλαίσιο αναλύσεων (α) Φορέας χωρίς τοιχοπληρώσεις, (β) Φορέας πλήρως τοιχοπληρωμένος, (γ) Μερικώς τοιχοπληρωμένος φορέας (φαινόμενο pilotis).

Οι διατομές των μελών του φορέα είναι όμοιες με εκείνου της παραγράφου 3.2.1.

### 3.2.3 Επίπεδος πολυώροφος ασύμμετρος φορέας

Ο φορέας οπλισμένου σκυροδέματος αποτελείται από 3 ανοίγματα και έχει συνολικό ύψος 21,00m, ενώ χαρακτηρίζεται από ασυμμετρία καθ' ύψος (σχ. 3.7). Όπως και παραπάνω, φορτίζεται εκτός του ίδιου βάρους, από ομοιόμορφο κατανεμημένο μόνιμο φορτίο  $Q=8kN/m$  και κινητό  $q=6kN/m$  σε κάθε ζύγωμα του.

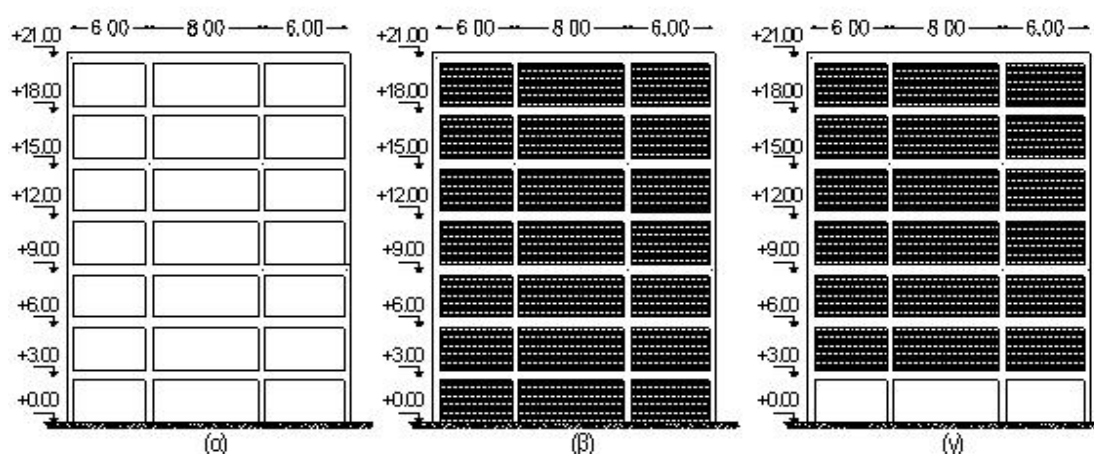


**Σχήμα 3.7.** Επίπεδο πολυώροφο ασύμμετρο πλαίσιο αναλύσεων (α) Φορέας χωρίς τοιχοπληρώσεις, (β) Φορέας πλήρως τοιχοπληρωμένος, (γ) Μερικώς τοιχοπληρωμένος φορέας (φαινόμενο pilotis).

Οι διατομές των μελών και αυτού του φορέα είναι όμοιες με των προηγούμενων.

### 3.2.4 Επίπεδος πολυώρφος συμμετρικός φορέας

Ο φορέας οπλισμένου σκυροδέματος αποτελείται από 3 ανοίγματα και έχει συνολικό ύψος 21,00μ (σχ. 3.8).



**Σχήμα 3.8.** Επίπεδο πολυώροφο συμμετρικό πλαίσιο αναλύσεων (α) Φορέας χωρίς τοιχοπληρώσεις, (β) Φορέας πλήρως τοιχοπληρωμένος, (γ) Μερικώς τοιχοπληρωμένος φορέας (φαινόμενο pilotis).

Όπως και παραπάνω, φορτίζεται εκτός του ίδιου βάρους, από ομοιόμορφο κατανεμημένο μόνιμο φορτίο  $Q=8\text{KN/m}$  και κινητό  $q=6\text{KN/m}$  σε κάθε ζύγωμα του, ενώ οι διατομές των μελών του είναι όμοιες με των προηγούμενων.

### 3.3 Υλικά

Οι πλαισιακοί φορείς που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους αποτελούνται από σκυρόδεμα C20/25, του οποίου οι ιδιότητες, δίδονται παρακάτω, όπως έχουν εισαχθεί στο πρόγραμμα SAP (Σχ. 3.1).

**Σχήμα 3.9.** Ιδιότητες σκυροδέματος τύπου C20/25, όπως ορίσθηκαν στο πρόγραμμα SAP.

Επίσης για τις ανάγκες της προσομοίωσης των τοίχων πλήρωσης με πεπερασμένα στοιχεία έχει χρησιμοποιηθεί ένα ακόμη υλικό, το οποίο έχει τις ιδιότητες της τοιχοποιίας, δηλαδή της λιθοδομής και του συνδετικού κονιάματος. Θεωρώντας θλιπτική και εφελκυστική αντοχή οπτοπλινθοδομής ίση με  $f'_{cb} = 23\text{kg} / \text{m}^2$  και  $f'_{tb} = 0.1 \cdot f'_{cb}$  αντιστοίχως, ύψος οπτόπλινθου ίσο με  $60\text{mm}$  και πάχος συνδετικού κονιάματος  $15\text{mm}$ , προκύπτει από τις σχέσεις (21),(22),(23) (παρ.2.5 κεφ.2) η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας ίση με  $f'_b = 2.16\text{MPa}$  (Σχ.3.10).



**Σχήμα 3.10.** Ιδιότητες τοίχου πλήρωσης για τις ανάγκες της προσομοίωσης του με πεπερασμένα στοιχεία.

Επίσης, από διάφορες πειραματικές εργασίες έχει προκύψει ότι η εφελκυστική αντοχή άοπλης τοιχοποιίας δεν ξεπερνά τα  $0.80 \text{ MPa}$ .

### 3.4 Παρουσίαση σεισμικών καταγραφών

Για τη διερεύνηση της συμπεριφοράς των φορέων οπλισμένου σκυροδέματος με τοίχους εκτελούνται δυναμικές αναλύσεις, στις οποίες ως σεισμικά φορτία επιβάλλονται πραγματικά επιταχυνσιογραφήματα, όπως αυτά έχουν καταγραφεί. Ως γνωστόν, κάθε σεισμική διέγερση εμφανίζει ένα ξεχωριστό χαρακτήρα και ως εκ τούτου, η φόρτιση που προκαλεί σε μια κατασκευή είναι δυνατόν να διαφέρει από ανάλογο σεισμό ίδιου μεγέθους και εστιακής απόστασης. Η εξαγωγή λοιπόν όσο τον δυνατόν ασφαλέστερων συμπερασμάτων για τη σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών και των φέροντων ή μη στοιχείων τους, απαιτεί την επιβολή ενός σημαντικού αριθμού χρονικών καταγραφών επιτάχυνσης. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, χρησιμοποιούνται τρία πραγματικά επιταχυνσιογραφήματα, τα οποία σε συνδυασμό με τη χρήση τριών διαφορετικών πλαισιακών κατασκευών δίδουν ένα ικανοποιητικό αριθμό αναλύσεων. Τα επιταχυνσιογραφήματα αυτά αντιστοιχούν σε καταγεγραμμένους σεισμούς με πλούσιο φασματικό περιεχόμενο και είναι αυτά που φαίνονται στον πίνακα 3.1.

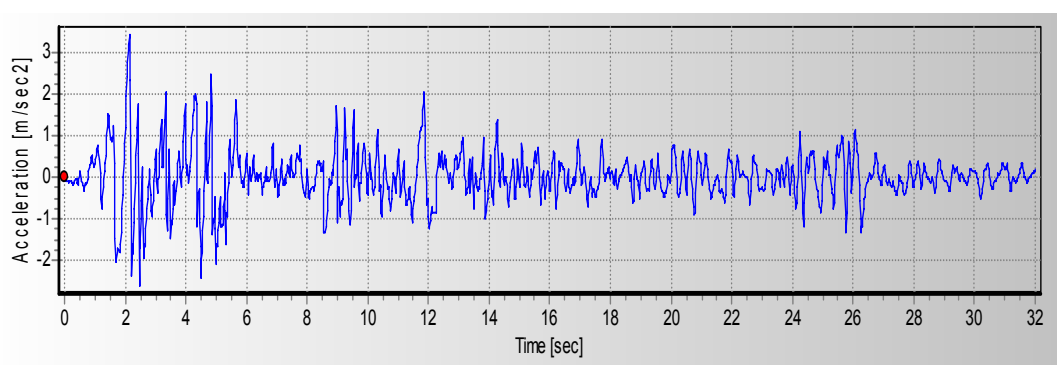
| ΟΝΟΜΑΣΙΑ  | ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ | ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ | ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ |
|-----------|------------|-----------|-------------------|
| EL CENTRO | 1940       | N-δ       | ΜΑΛΑΚΟ ΕΔΑΦΟΣ     |
| ΑΙΓΙΟ     | 1995       | L         | ΜΑΛΑΚΟ ΕΔΑΦΟΣ     |
| ΚΑΛΑΜΑΤΑ  | 1985       | N-S       | ΣΚΛΗΡΟ ΕΔΑΦΟΣ     |

| ΟΝΟΜΑΣΙΑ  | ΑΠΟΣΤΑΣΗ<br>ΑΠΟ<br>ΕΠΙΚΕΝΤΡΟ<br>(Km) | ΜΕΓΙΣΤΗ<br>ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ<br>(g) | ΜΕΓΕΘΟΣ |
|-----------|--------------------------------------|------------------------------|---------|
| EL CENTRO | 10                                   | 0.35                         | M=7.1   |
| ΑΙΓΙΟ     | 18                                   | 0.49                         | M=6.2   |
| ΚΑΛΑΜΑΤΑ  | 9                                    | 0.24                         | M=6.2   |

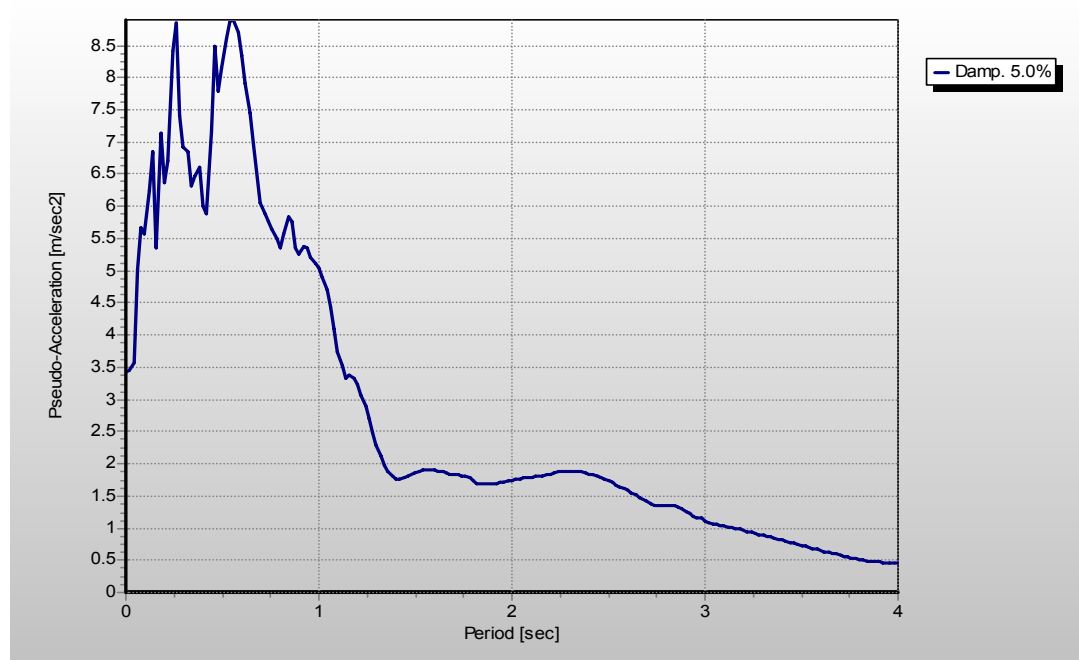
Πίνακας 3.1. Επιταχυνσιογραφήματα που επιβάλλονται στους φορείς της μελέτης

Στη συνέχεια, δίδονται οι χρονικές καταγραφές των παραπάνω σεισμικών διεγέρσεων καθώς και τα ελαστικά φάσματα τους για απόσβεση 5%.

- Σεισμική καταγραφή EL CENTRO



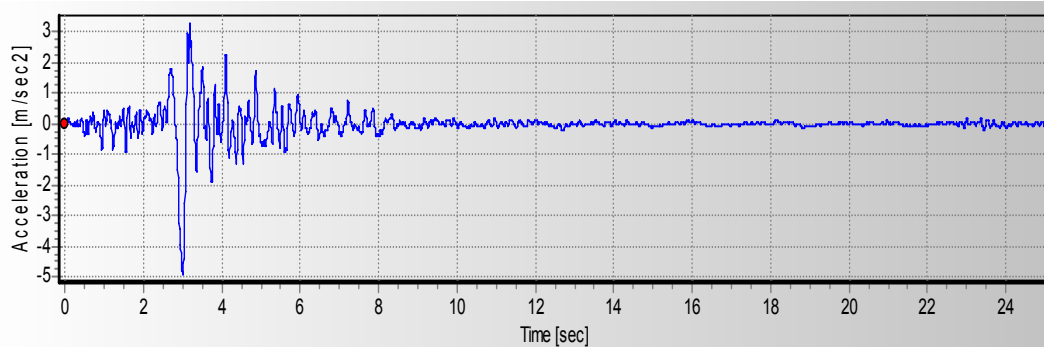
(α)



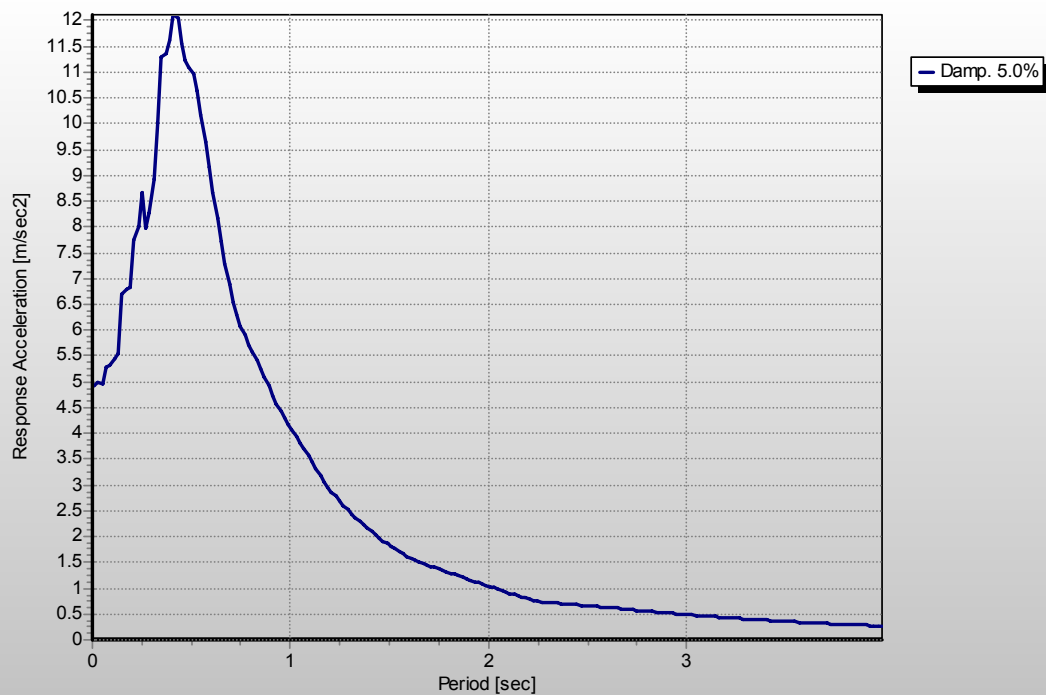
(β)

Σχήμα 3.11 (α) Επιταχυνσιογράφημα El Centro, (β) Ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%.

- Σεισμική καταγραφή ΑΙΓΙΟΥ



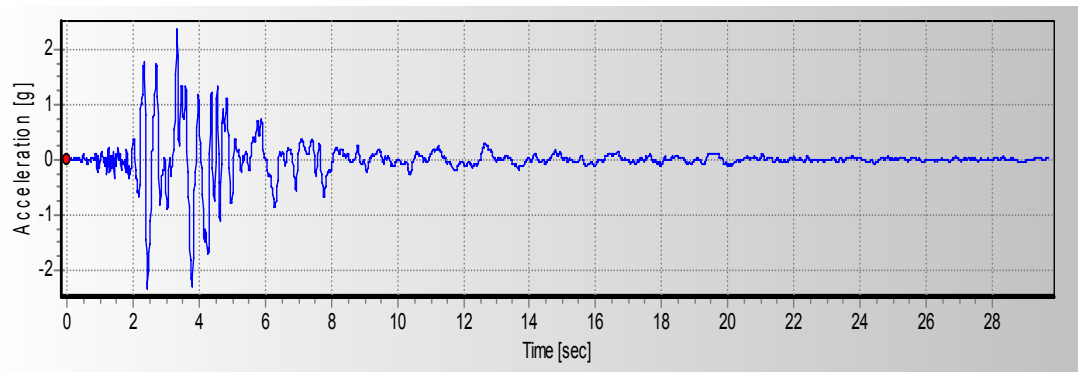
(α)



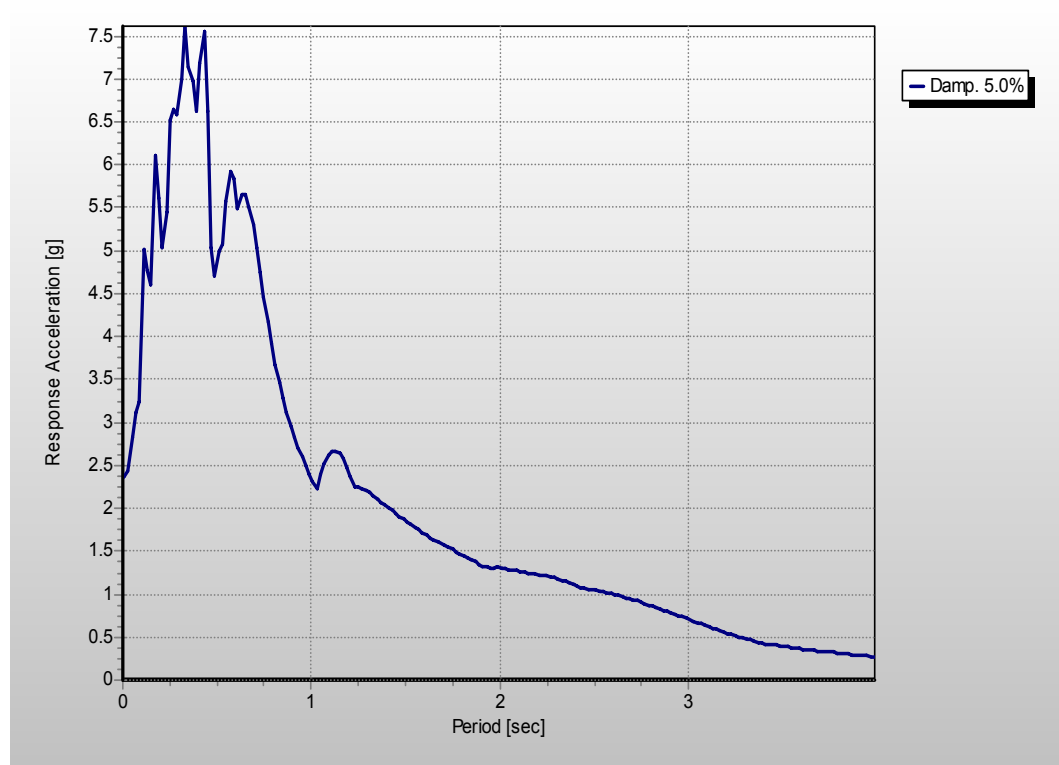
(β)

**Σχήμα 3.12** (α) Επιταχυνσιογράφημα ΑΙΓΙΟΥ, (β) ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%.

- Σεισμική καταγραφή ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ



(α)



(γ)

**Σχήμα 3.13** (α) Επιταχυνσιογράφημα ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ, (β) ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%.

### 3.5 Παρουσίαση βημάτων προσομοίωσης

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα βήματα της προσομοίωσης, όπως αυτά εισήχθησαν στο υπολογιστικό πρόγραμμα SAP 9 Nonlinear, καθώς και τα είδη των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν. Η παρουσίαση γίνεται ενδεικτικά, μόνο για τον επίπεδο διώροφο φορέα.

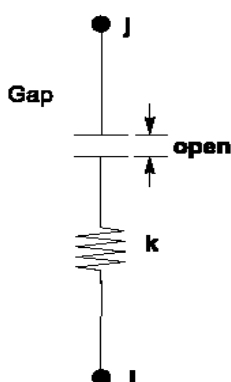
#### 3.5.1.1 Αναλύσεις προσομοιώνοντας τους τοίχους πλήρωσης με τη μέθοδο της θλιβόμενης διαγωνίου

Για την προσομοίωση των τοίχων πλήρωσης στο πρόγραμμα SAP με τη μέθοδο της θλιβόμενης διαγωνίου γίνεται χρήση δύο διαγώνιων θλιπτήρων τύπου GAP. Τα στοιχεία GAP αποτελούν μη γραμμικά ελατήρια των οποίων η μη γραμμικότητα συνίσταται στο γεγονός ότι έχουν τη δυνατότητα να παραλαμβάνουν μονάχα θλιπτικές δυνάμεις και όχι εφελκυστικές, θεώρηση ανάλογη με αυτή των τοιχοπληρώσεων.

Η σχέση δύναμης-μετατόπισης που χαρακτηρίζει τα στοιχεία GAP δίδεται παρακάτω :

$$f = \begin{cases} k(d + open) & d + open < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

όπου  $k$  είναι η σταθερά του ελατηρίου ενώ ως 'open' ορίζεται το άνοιγμα το οποίο λειτουργεί το ελατήριο Σχ. 3.14.



Σχήμα 3.14 Στοιχείο GAP LINK.

Για κάθε βαθμό ελευθερίας του ελατηρίου, είναι δυνατόν να προσδιοριστούν διαφορετικές ιδιότητες, δηλαδή ακαμψία, άνοιγμα (open) και απόσβεση, οι οποίες είναι και ανεξάρτητες μεταξύ τους. Τα ελατήρια GAP λειτουργούν ως μη γραμμικά μόνο για μη γραμμικές αναλύσεις. Αντίθετα, για γραμμικές αναλύσεις λειτουργούν ως γραμμικά παραλαμβάνοντας θλιπτικές και εφελκυστικές δυνάμεις.

Ο προσδιορισμός της σταθεράς  $k$  του ελατηρίου GAP ως την ισοδύναμη ακαμψία των τοίχων πλήρωσης για το διώροφο πλαίσιο του Σχ. 3.3, πραγματοποιείται θεωρώντας διαστάσεις τοίχου πλήρωσης  $h_m=2.70m$ ,  $l_m=5.50m$  και πάχος τοιχοποιίας  $t=0.25m$ . Η μέγιστη διατμητική δύναμη που μπορεί να αναπτυχθεί στην τοιχοποιία  $V_c$  υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$V_c = z \cdot t \cdot f'_m \cdot \cos \theta \quad [\text{Εξ.8, Παρ.2.3.2, Κεφ.2}]$$

όπου:

- $\theta = \tan^{-1} \left( \frac{h_m}{l_m} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{2.70}{5.50} \right) = 29.052^\circ$  [Εξ.11, Παρ.2.3.2, Κεφ.2]
- $\lambda = \left[ \frac{E_m \cdot t \cdot \sin 2\theta}{4E_c \cdot I_g \cdot h_m} \right]^{\frac{1}{4}} = \left[ \frac{33000 \cdot 25 \cdot \sin 2\theta}{4 \cdot 240000 \cdot 833333 \cdot 270} \right]^{\frac{1}{4}} = 0.0741$  [Εξ.10, Παρ.2.3.2, Κεφ.2]

Επίσης υπολογίζεται το πλάτος του ισοδύναμου διαγώνιου θλιπτήρα  $z$ :

$$z = 0.175 \cdot (\lambda \cdot h)^{-0.4} \cdot d_m = 0.175 \cdot (0.0741 \cdot 300)^{-0.4} \cdot 613 = 31.02$$

ακόμη:

$$V_c / t \cdot l_m = z \cdot t \cdot f'_m \cdot \cos \theta / t \cdot l_m = 31.02 \cdot 25 \cdot 44 \cdot 0.874 / 35 \cdot 550 = 1.55 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

θεωρώντας:

$$f'_{ib} = 0.1 \cdot f'_{cb}$$

Υπολογίζεται η εγκάρσια δύναμη όπως προκύπτει από το μηχανισμό διατμητικής αστοχίας (ολίσθησης):

$$V_f / t \cdot l_m = \frac{1.76}{1 - \mu \cdot \tan \theta} = \frac{1.76}{1 - 0.68 \cdot 0.555} = 2.8269 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

Επιλέγεται η ελάχιστη διατμητική δύναμη από τους μηχανισμούς αστοχίας:

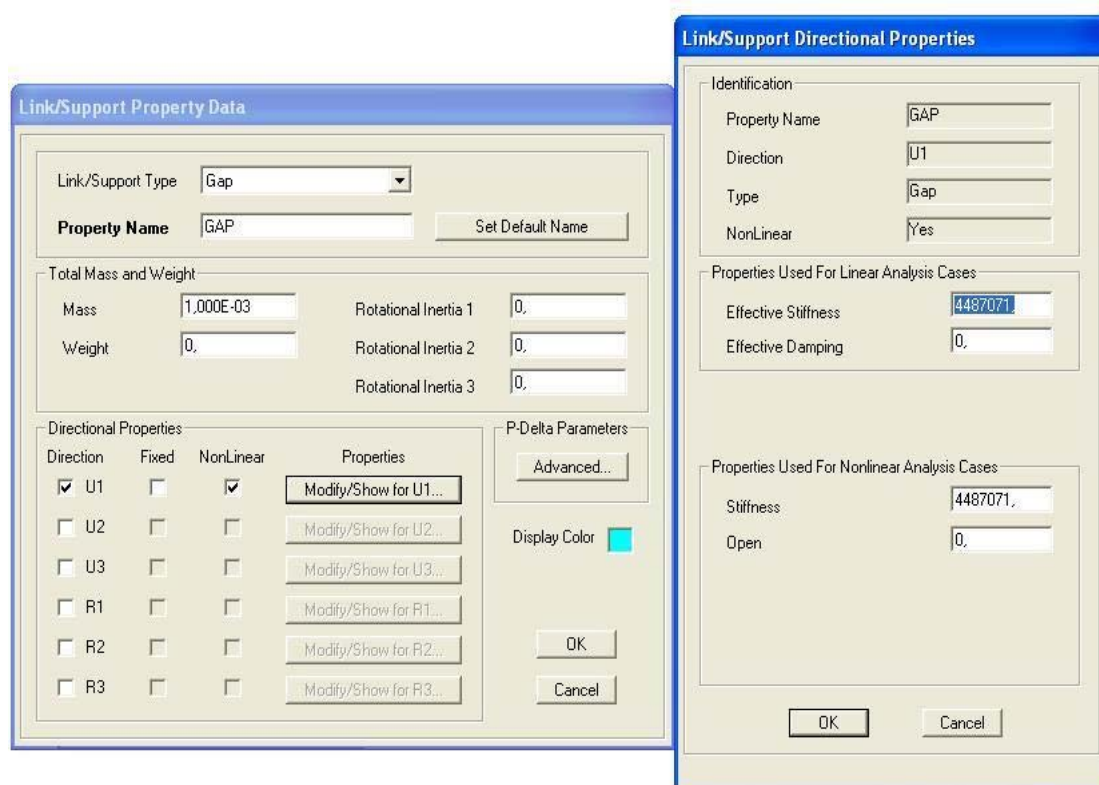
$$V_m = 2.8269 \cdot 400 \cdot 25 = 28268.55 \text{ kgf}$$

Η μέγιστη μετακίνηση κατά τη μέγιστη πλευρική δύναμη εκτιμάται από την εξίσωση (14):

$$U_m = \frac{\varepsilon'_m \cdot d_m}{\cos \theta} = \frac{0.0018 \cdot 6.12}{0.874} = 1.26 \text{ cm}$$

Τέλος, προκύπτει η αρχική ακαμψία της τοιχοποιίας η οποία εισάγεται στα ελατήρια GAP στο πρόγραμμα (Σχ.3.15).

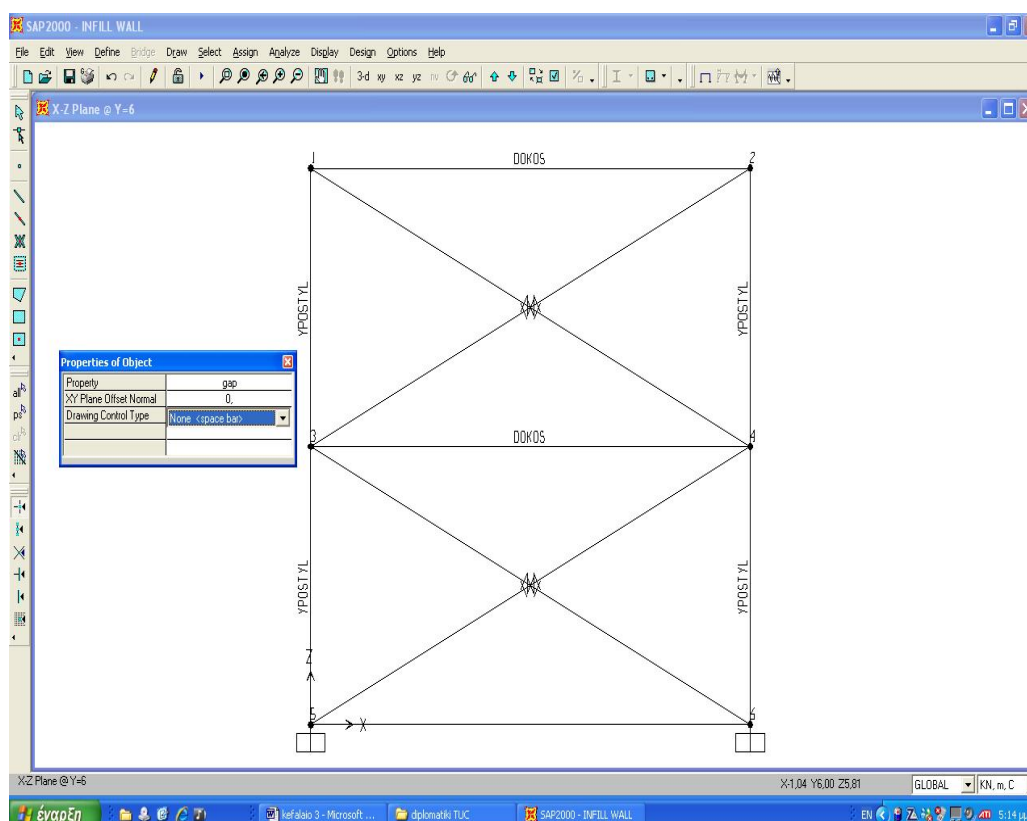
$$K_0 = 2 \cdot (V_m / U_m) = 2 \cdot \frac{28268.55}{1.26} = 44870.71 \text{ kg / cm}^2$$



**Σχ.3.15.** Ελατήριο τύπου GAP - εισαγωγή ισοδύναμης ακαμψίας τοιχοποιίας.

Παρατηρώντας την παραπάνω εικόνα αξίζει να σημειωθεί ότι προκειμένου το πρόγραμμα να αντιληφθεί την ύπαρξη των μη γραμμικών

μελών εισάγεται μία μικρή τιμή μάζας σε αυτά, καθώς το πρόγραμμα δεν αντιλαμβάνεται βαθμό ελευθερίας δίχως μάζα, συνεπώς ορίζεται αυτή η ποσότητα, η οποία δεν επηρεάζει την ανάλυση, για υπολογιστικούς λόγους, ενώ επίσης η ακαμψία των ελατηρίων GAP (ισοδύναμη ακαμψία τοιχοποιίας) εισάγεται και στις γραμμικές ιδιότητες τους για τον υπολογισμό των ιδιομορφών του φορέα, ο οποίος πραγματοποιείται με γραμμικές αναλύσεις.



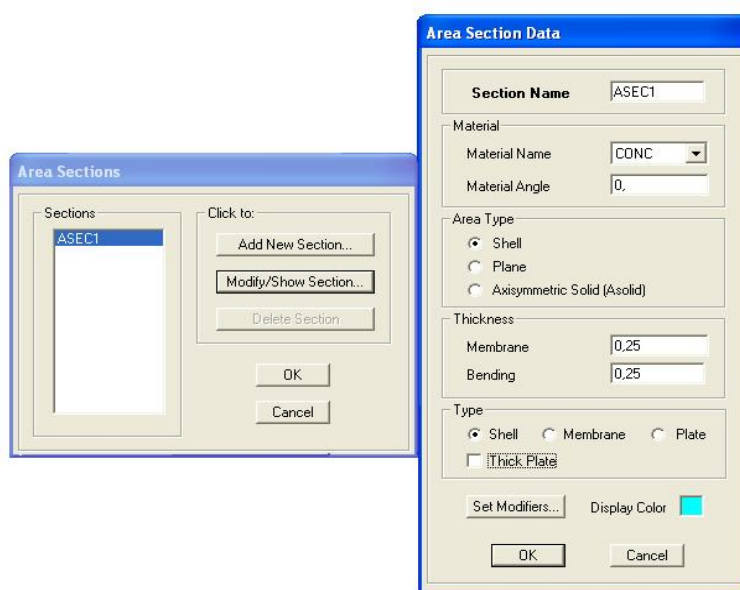
**Σχ.3.16.** Φορέας με ισοδύναμους διαγώνιους θλιπτήρες τύπου GAP.

Η χρήση διαγώνιου ζεύγους θλιπτήρων τύπου GAP στην παρούσα μελέτη, γίνεται για την προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων στις δυναμικές αναλύσεις με χρονοιστορία. Αντιθέτως, στις υπερωθητικές (pushover) αναλύσεις που θα παρουσιαστούν σε επόμενες παραγράφους γίνεται χρήση ενός διαγώνιου γραμμικού ελατηρίου τύπου Link.

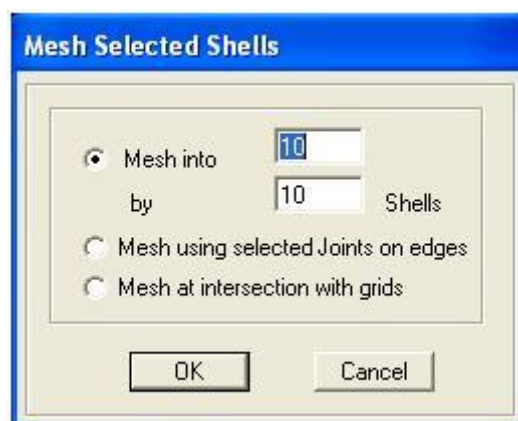


### **3.5.1.2 Αναλύσεις προσομοιώνοντας τους τοίχους πλήρωσης με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων**

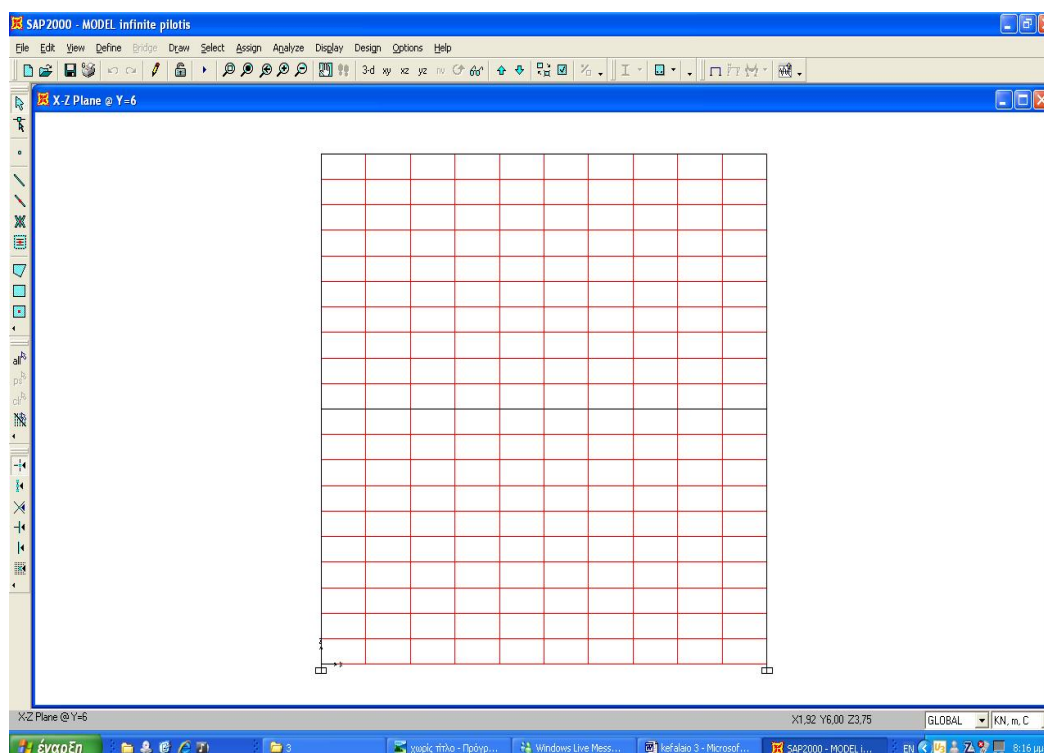
Στην παρούσα εργασία γίνεται διακριτοποίηση των τοίχων πλήρωσης των πλαισιακών φορέων οπλισμένου σκυροδέματος σε επιμέρους διακριτά ορθογωνικά τετρακομβικά στοιχεία επίπεδης έντασης –παραμόρφωσης, με τη βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος SAP. Η προσομοίωση της τοιχοποιίας πραγματοποιείται με χρήση στοιχείου κέλυφους (shell) (Σχ. 3.18). Πρόκειται για ένα τρικομβικό ή τετρακομβικό στοιχείο το οποίο μπορεί να συνδυάζει ξεχωριστά ιδιότητες μεμβράνης και επίπεδης κάμψης και είναι κατάλληλο για προσομοίωση διατμητικών τοίχων. Στην παρούσα φάση δεν αποτελεί αντικείμενο η αναλυτική παρουσίαση του στοιχείου shell, καθώς μπορεί κανείς να ανατρέξει στο εγχειρίδιο χρήσης του προγράμματος SAP για περαιτέρω λεπτομέρειες. Στο στοιχείο shell ορίζονται οι ιδιότητες των τοίχων πλήρωσης όπως έχουν παρουσιαστεί στην παρ. 3.3 –θεωρώντας υλικό CONC (Σχ. 3.9) του παρόντος κεφαλαίου και εν συνεχεία πραγματοποιείται κατάλληλη διακριτοποίηση του στοιχείου σε διακριτά στοιχεία διαστάσεων όσο περίπου και ενός οπτόπλινθου. Συγκεκριμένα, για το διώροφο πλαίσιο πραγματοποιείται διαμέριση της τοιχοπλήρωσης σε 100 ορθογωνικά τετρακομβικά επίπεδα επιμέρους στοιχεία (Σχ.3.18 και 3.19).



**Σχ.3.17.** Στοιχείο shell, που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση των τοίχων πλήρωσης.



**Σχ. 3.18.** Διακριτοποίηση τοίχου πλήρωσης σε 100 πεπερασμένα στοιχεία.



**Σχ.3.19.** Διακριτοποίηση τοίχων πλήρωσης σε 100 πεπερασμένα στοιχεία ανά ζύγωμα, για το πλήρως τοιχοπληρωμένο πλαίσιο.

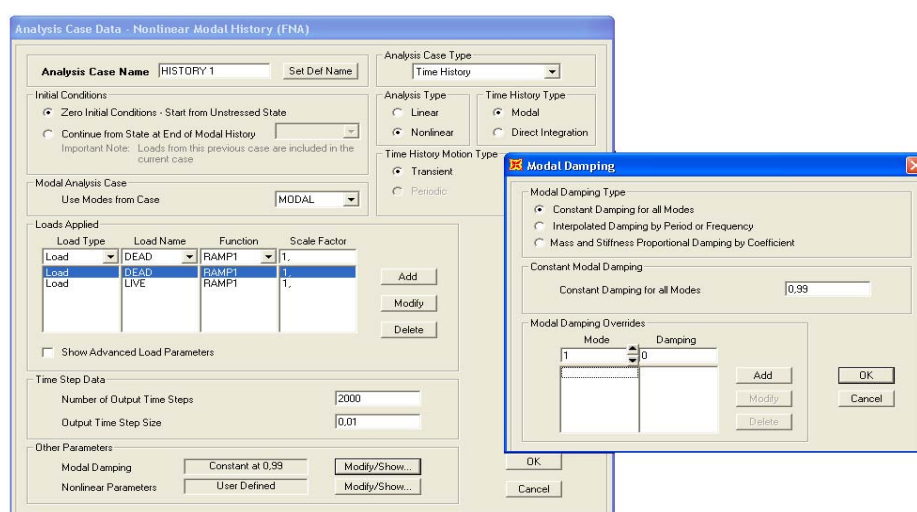
Κατά την ανάλυση λαμβάνονται υπόψη δυνάμεις και παραμορφώσεις εντός του επιπέδου του πλαισίου και της τοιχοποιίας, ενώ επίσης θεωρείται πλήρης σύνδεση μεταξύ των ακραίων κόμβων των διακριτών στοιχείων της προσομοίωσης με τα φέροντα στοιχεία του φορέα οπλισμένου σκυροδέματος. Εκτός επιπέδου παραμορφωσιακές καταστάσεις ή και τυχόν αποκόλληση της τοιχοποιίας από το πλαίσιο δεν αποτελούν αντικείμενο έρευνας της παρούσας εργασίας, καθώς πραγματοποιούνται αναλύσεις σε επίπεδους δισδιάστατους φορείς.

Επιπροσθέτως, δεν λαμβάνονται υπόψη οριζόντιες ζώνες οπλισμένου σκυροδέματος (σεναζ) στην προσομοίωση των τοίχων πλήρωσης καθώς επίσης και ανοίγματα, καθώς επιχειρείται σύγκριση των μεθόδων προσομοίωσης με διαγώνιους θλιπτήρες και με πεπερασμένα στοιχεία και τέτοιου είδους προσομοιώσεις είναι δυσχερείς με την πρώτη μέθοδο.

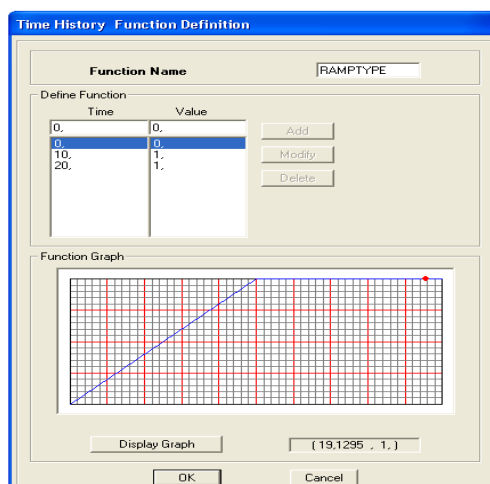
### 3.5.2. “Μη-γραμμική” δυναμική ανάλυση.

Για τη διερεύνηση της επιρροής των τοίχων πλήρωσης στους φορείς οπλισμένου σκυροδέματος υπό την επίδραση των σεισμικών διεγέρσεων, πραγματοποιούνται μη γραμμικές δυναμικές αναλύσεις στο SAP, στις οποίες λαμβάνονται υπόψη και μη γραμμικότητες μελών (π.χ μη γραμμικά ελατήρια GAP).

Τη στιγμή της έναρξης της σεισμικής διέγερσης, θεωρείται ότι υπάρχουν ήδη κάποιες παραμορφωσιακές συνθήκες στην κατασκευή από τις στατικές φορτίσεις της, όπως συμβαίνει στην πραγματικότητα. Προκειμένου να υπάρχουν οι αρχικές αυτές συνθήκες, ορίζεται μία χρονοϊστορία για τις στατικές φορτίσεις της κατασκευής με την επωνομασία HISTORY 1 (Σχ.3.20). Η εφαρμογή των στατικών φορτίσεων γίνεται σταδιακά και αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός διαγράμματος τύπου RAMP TYPE (Σχ. 3.21), το οποίο αυξάνεται γραμμικά μέχρι τη μονάδα σε χρονικό διάστημα 10 φορές μεγαλύτερο από την πρώτη ιδιομορφή της κατασκευής και για απόσβεση κατασκευής ίση με 0,99. Έτσι επιτυγχάνεται η εισαγωγή των στατικών φορτίσεων ως δυναμικές φορτίσεις στο πρόγραμμα, δημιουργώντας κάποιες αρχικές συνθήκες, ώστε να επακολουθήσει η σεισμική διέγερση.

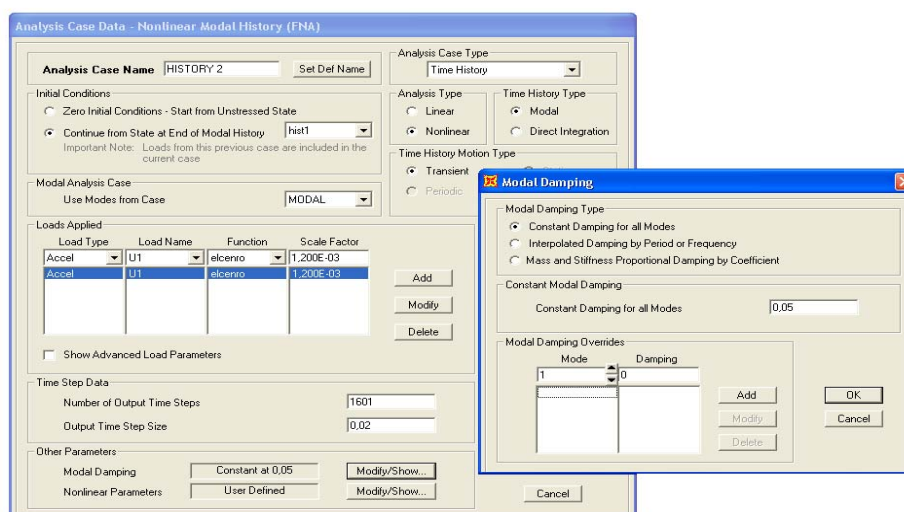


Σχήμα 3.20. Χρονοϊστορία HISTORY 1 για τις στατικές φορτίσεις της κατασκευής.



**Σχήμα 3.21.** Διάγραμμα τύπου RAMP TYPE.

Για την επιβολή της σεισμικής διέγερσης στην κατασκευή, δημιουργείται μία χρονοϊστορία HISTORY 2 (Σχ. 3.22), η οποία πραγματοποιεί μη γραμμική δυναμική ανάλυση υπό την επίδραση του σεισμού που εξετάζεται κάθε φορά.



**Σχήμα 3.22.** Χρονοϊστορία HISTORY 2 για την επιβολή της σεισμικής φόρτισης του El Centro στην κατασκευή.

Το πρόγραμμα SAP V9 Nonlinear έχει τη δυνατότητα να εκτελέσει τη μη γραμμική δυναμική ανάλυση με την ιδιομορφική μέθοδο (Modal) καθώς και με τη μέθοδο της άμεσης ολοκλήρωσης (Direct Integration). Στην παρούσα ανάλυση, επιλέχθηκε η μέθοδος Modal, η οποία χρησιμοποιεί τη μέθοδο της

επαλληλίας των ιδιομορφών. Η μέθοδος αυτή αποτελεί ένα ιδιαίτερα αποτελεσματικό αλγόριθμο στην ανάλυση κατασκευών με περιορισμένες μη γραμμικότητες, ενώ λαμβάνει υπόψη και μη γραμμικότητες ελατηρίων.

**Analysis Case Data - Modal**

Analysis Case Name: MODAL [Set Def Name]

Analysis Case Type: Modal

Stiffness to Use:

- ☒ Zero Initial Conditions - Unstressed State
- ☐ Stiffness at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Type of Modes:

- ☐ Eigen Vectors
- ☒ Ritz Vectors

Number of Modes:

Maximum Number of Modes: 60

Minimum Number of Modes: 1

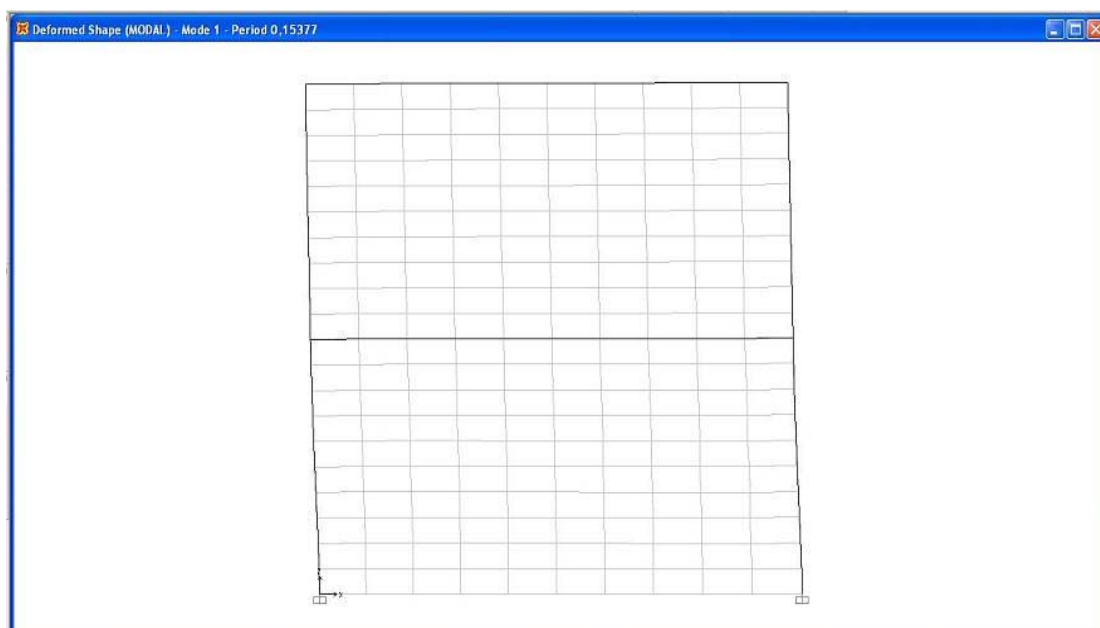
Loads Applied:

| Load Type | Load Name | Maximum Cycles | Target Dynamic Participation Ratios (%) |
|-----------|-----------|----------------|-----------------------------------------|
| Load      | DEAD      | 0              | 99,                                     |
| Load      | LIVE      | 0              | 99,                                     |
| Accel     | UX        | 0              | 99,                                     |
| Link      | All       | 0              | 99,                                     |

Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

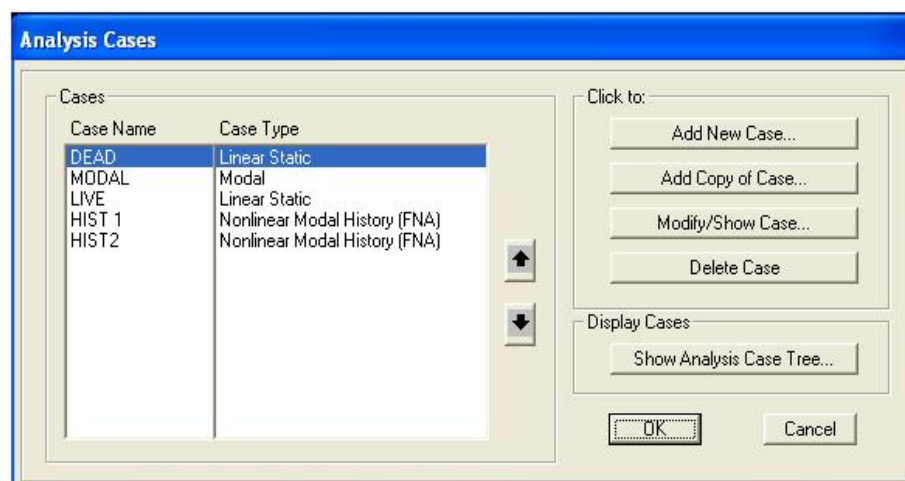
**Σχήμα 3.23.** Ιδιομορφική ανάλυση (Modal Analysis).

Η μη γραμμική ανάλυση με τη μέθοδο της επαλληλίας, αντλεί δεδομένα από μία ιδιομορφική ανάλυση (Modal Analysis, Σχ. 3.23), την οποία δημιουργεί το πρόγραμμα αυτομάτως μετά την επιλογή της μεθόδου Modal. Η ιδιομορφική ανάλυση Modal είναι πάντα γραμμική και είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με τη μέθοδο Ritz Vectors καθώς και με τη μέθοδο EigenVectors. Λόγω του ότι όμως, η μέθοδος Ritz δίδει μεγαλύτερης ακρίβειας αποτελέσματα, για αναλύσεις με χρονοϊστορία (Time History Analysis) που βασίζονται στη μέθοδο της επαλληλίας των ιδιομορφών, καθώς και για περιπτώσεις που σχετίζονται με μη γραμμικότητες ελατηρίων, προτιμήθηκε από τη μέθοδο EigenVectors. Στο σχ.3.24 δίδεται η πρώτη ιδιομορφή για τον πλήρως τοιχοπληρωμένο επίπεδο φορέα (προσομοίωση τοίχων με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων) υπό την επίδραση του σεισμού El Centro με τη μέθοδο RITZ VECTORS.



**Σχήμα 3.23** 1<sup>η</sup> ιδιομορφή για τον πλήρως τοιχοπληρωμένο επίπεδο φορέα (προσομοίωση τοίχων με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων) υπό την επίδραση του σεισμού El Centro με τη μέθοδο RITZ VECTORS.

Στο Σχ.3.25 φαίνονται όλες οι αναλύσεις που πραγματοποιούνται συμπεριλαμβανόμενων και των αναλύσεων για τις στατικές φορτίσεις (μόνιμα και κινητά φορτία).



**Σχήμα 3.25.** Πραγματοποιούμενες αναλύσεις.

### 3.5.3 Υπερωθητική ( *Pushover*) ανάλυση

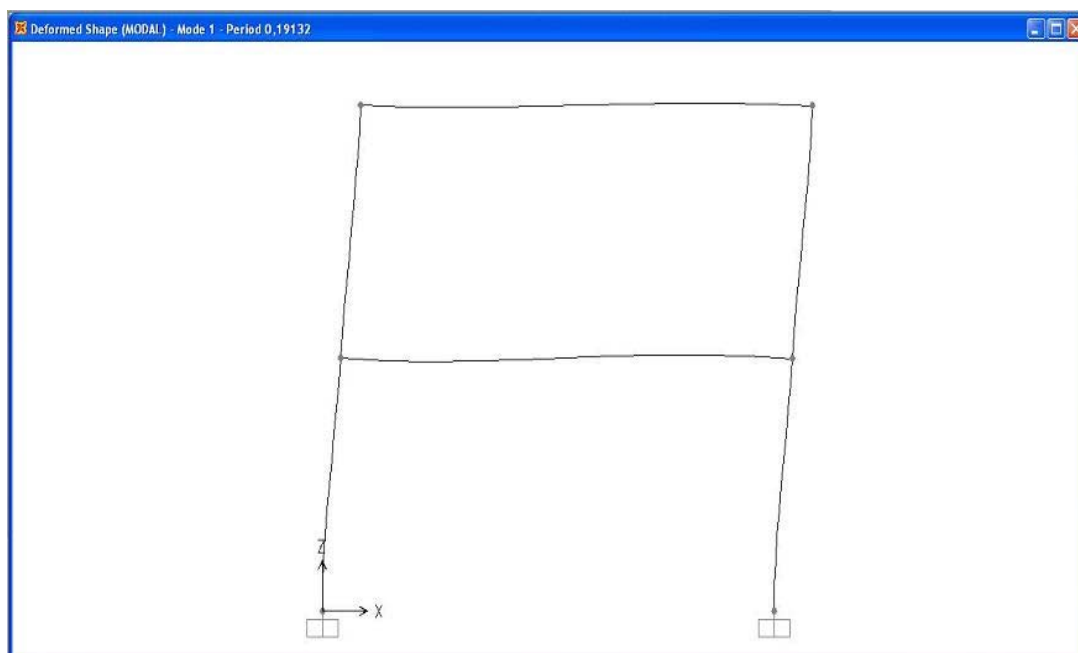
Για τη διερεύνηση της επιρροής των τοίχων πλήρωσης στους φορείς οπλισμένου σκυροδέματος υπό την επίδραση σεισμικών φορτίσεων πραγματοποιούνται πέραν των δυναμικών αναλύσεων και στατικές ανελαστικές αναλύσεις με τη μέθοδο *Pushover*. Οι αναλύσεις πραγματοποιούνται για όλα τα μοντέλα που παρουσιάστηκαν στην αρχή του παρόντος κεφαλαίου θεωρώντας τοίχους πλήρωσης με προσομοίωση θλιβόμενης διαγωνίου και όχι επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων. Αυτό συμβαίνει διότι το SAP, εφαρμόζει την πλαστιμότητα κατά την υπερωθητική ανάλυση σε συγκεκριμένα σημεία των γραμμικών μελών των φορέων. Συνεπώς η χρήση επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων θα είχε σαν αποτέλεσμα η πλαστιμότητα να εξακολουθεί να εφαρμόζεται στα γραμμικά μέλη και όχι στην διεπιφάνεια επαφής μεταξύ γραμμικών μελών και πεπερασμένων στοιχείων και συνεπώς θα αποτελούσε λανθασμένη προσομοίωση. Αντιθέτως, θα ήταν δυνατόν να γίνει χρήση γραμμικών πεπερασμένων στοιχείων ωστόσο κάτι τέτοιο θα αποτελούσε πλεονασμό στη συγκεκριμένη μελέτη, καθώς αντικείμενο ενδιαφέροντος αποτελεί η επιρροή των τοίχων πλήρωσης στους φορείς οπλισμένου σκυροδέματος και όχι οι διάφοροι μέθοδοι προσομοίωσης τους.

Για την προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων στις αναλύσεις με την μέθοδο *pushover*, γίνεται χρήση γραμμικού θλιπτήρα-ελκυστήρα τύπου LINK και όχι χρήση διαγωνίου ζεύγους θλιπτήρων τύπου GAP. Η διαφοροποίηση αυτή πραγματοποιήθηκε διότι η χρήση των μη γραμμικών μελών GAP, δημιουργούσε αριθμητικά προβλήματα στο SAP που δεν επέτρεπαν την αποπεράτωση των αναλύσεων με τη μέθοδο *pushover*.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η προσομοίωση για τον επίπεδο διώροφο φορέα, ενώ ανάλογη είναι η διαδικασία και για τους υπόλοιπους φορείς. Η κατασκευή φορτίζεται εκτός από το ίδιο βάρος της από ομοιόμορφο καταναμημένο φορτίο 8kN/m μόνιμο και 6kN/m κινητό καθώς και από εγκάρσια τριγωνική φόρτιση, η οποία υπολογίσθηκε σύμφωνα με την παράγραφο 2.6.1.1 Κεφ.2 (ΕΑΚ, παρ. 3.5.2) για κατηγορία εδάφους Α και σεισμική εδαφική επιτάχυνση 0.24g.

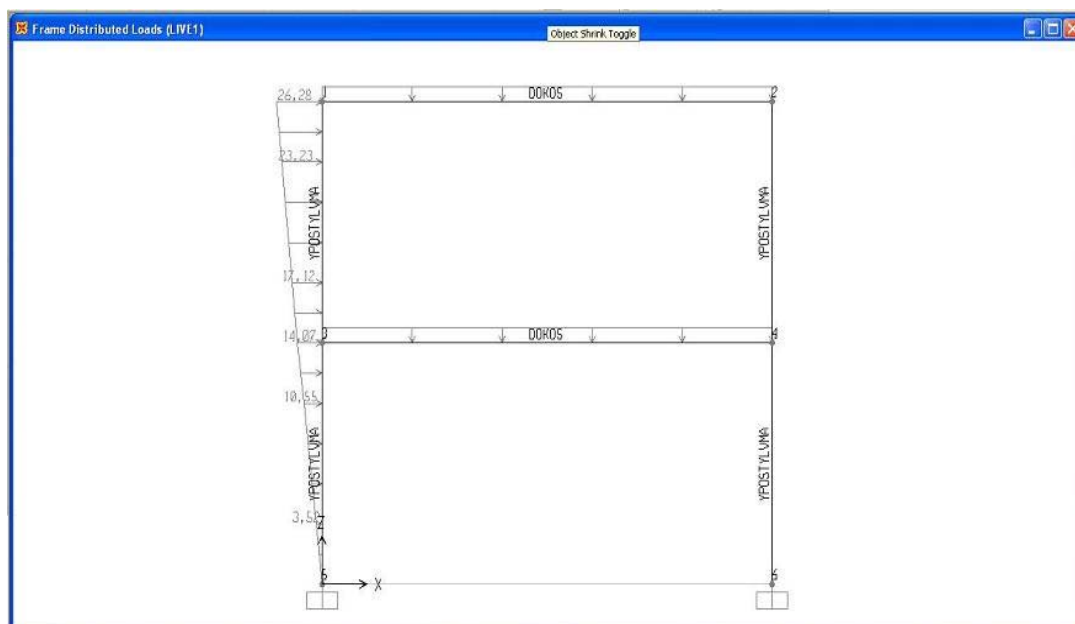


Για την επιλογή του φάσματος σχεδιασμού των οριζόντιων συνιστωσών του σεισμού (παρ. 2.3.1 ΕΑΚ 2000) υπολογίζεται η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος της κατασκευής, από την ιδιομορφική ανάλυση του προγράμματος SAP (Σχ.3.26) και εν συνεχεία, υπολογίζεται το συνολικό μέγεθος των σεισμικών φορτίων  $V_0$  (τέμνουσα βάση) για την κύρια διεύθυνση του κτιρίου (Κεφ.2, παρ.2.6.1.1, εξ.25).



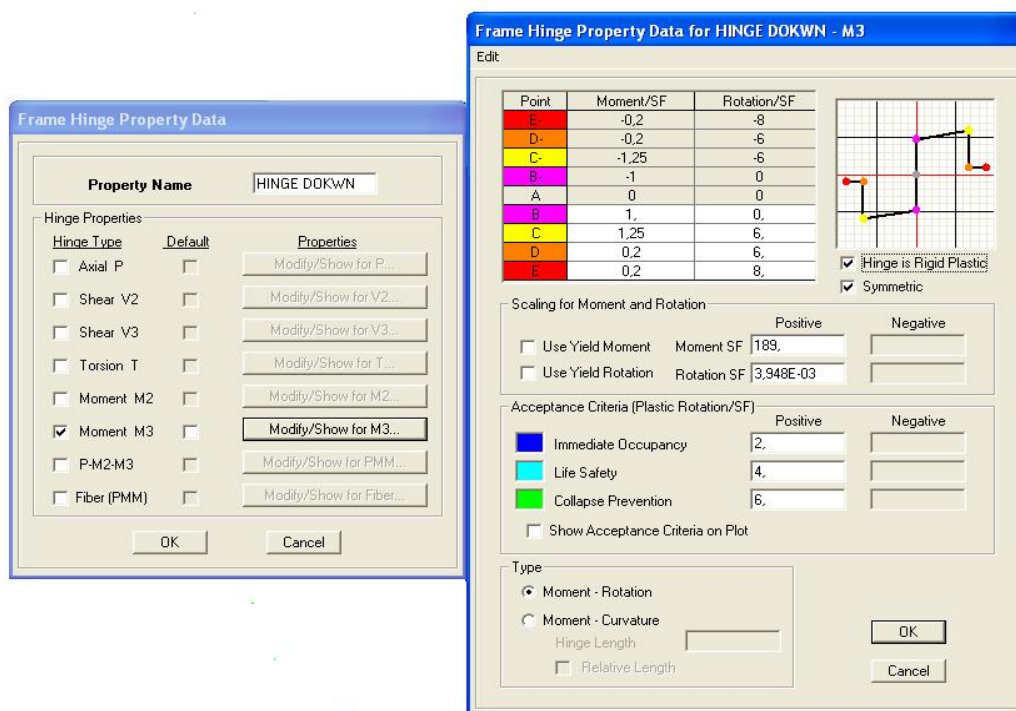
**Σχ. 3.26.** Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος δώροφου φορέα χωρίς τοίχους πλήρωσης.

Η τριγωνική κατανομή καθ' ύψος υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση (24), κεφ.2, παρ. 2.6.1.1, και για την περίπτωση του δώροφου φορέα χωρίς τοίχους πλήρωσης έχει μηδενική τιμή στη βάση της κατασκευής, 14,07kN στο μέσο και 26.28 kN στην κορυφή της (Σχ.3.27).

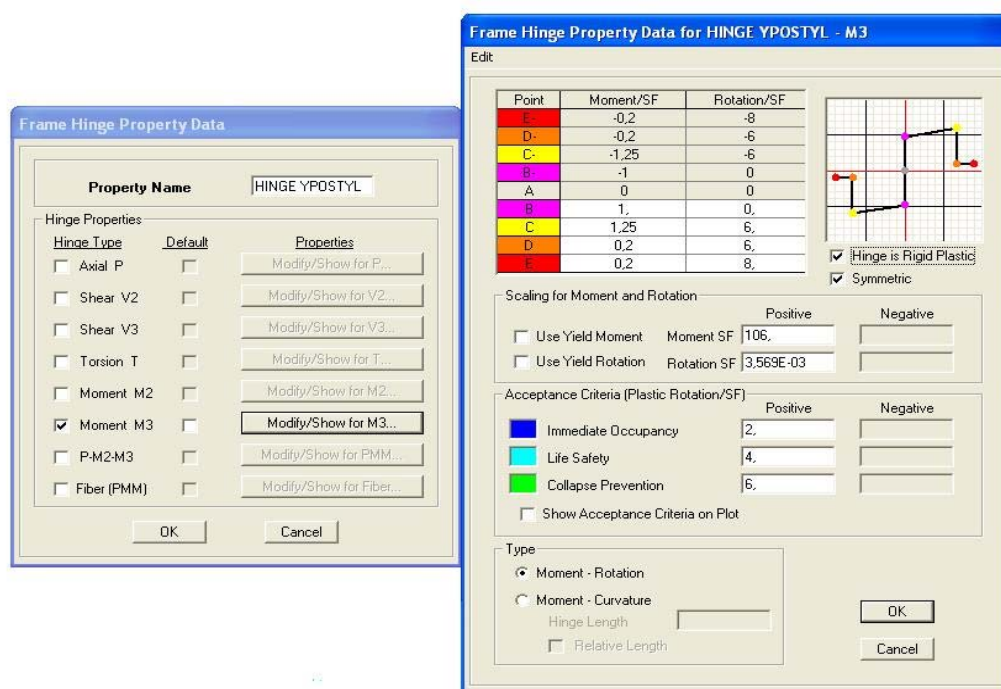


Σχήμα 3.27. Τριγωνική κατανομή καθ' ύψος του διώροφου φορέα χωρίς τοίχους πλήρωσης.

Στα δοκάρια και στα υποστυλώματα της κατασκευής ορίζονται πλαστικές ιδιότητες (Σχ. 3.28, 3.29) όσον αφορά στη ροπή περί τον άξονα Y (πλαίσιο στο επίπεδο XZ).



Σχήμα 3.28. Πλαστικές ιδιότητες διατομής δοκού όπως ορίσθηκαν στο SAP.



**Σχήμα 3.29.** Πλαστικές ιδιότητες διατομής υποστυλώματος όπως ορίσθηκαν στο SAP.

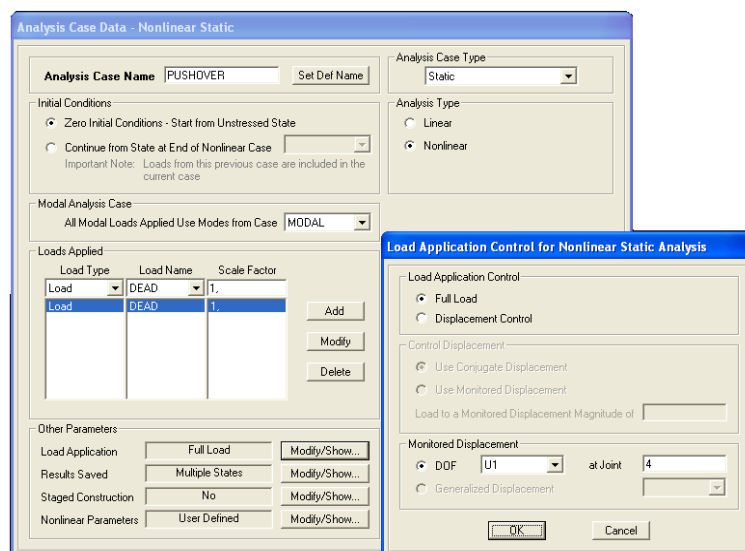
Το πρόγραμμα ορίζει ένα διάγραμμα ροπής στροφής και ο χρήστης ορίζει τις τιμές της ροπής και της στροφής διαρροής, οι οποίες πολλαπλασιαζόμενες με το προκαθορισμένο διάγραμμα δίδουν το διάγραμμα της κάθε διατομής. Η πλαστική ροπή αντοχής των μελών οπλισμένου σκυροδέματος του φορέα υπολογίζεται με τους γνωστούς τρόπους της Μηχανικής. Εν συνεχεία, υπολογίζεται η αντίστοιχη στρόφη από τη σχέση:

$$\phi_y = M_y / EI \quad (26)$$

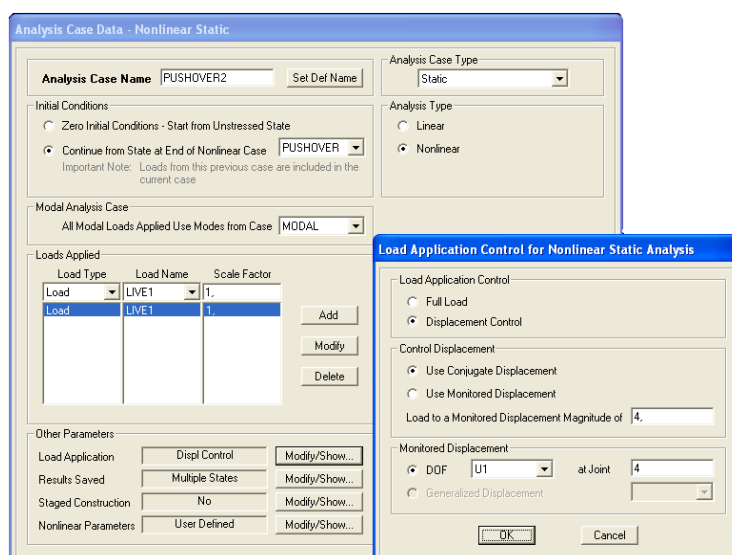
Κατόπιν από τη σχέση  $\theta_y = \phi_y + 0,0025$  υπολογίζεται η καμπυλότητα η οποία και εισάγεται στο πρόγραμμα ως yield rotation. Έτσι, για τη δοκό 25X60 υπολογίζεται ακαμψία διατομής  $EI = 130500 kNm$ , ροπή αντοχής ίση με  $M_y = 189 kNm$  και  $\theta_y = 0,003948$ .

Η Pushover ανάλυση στο πρόγραμμα SAP πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Αρχικά πραγματοποιείται μη γραμμική στατική ανάλυση για το ίδιο βάρος και το σταθερό φορτίο της κατασκευής (ίδιο βάρος και ομοιόμορφο καταναμεμένο στα ζυγώματα) (Σχ.3.30). Η ανάλυση αυτή έχει μηδενικές αρχικές συνθήκες, ενώ στις παραμέτρους επιλέγεται να καθορίζεται από το

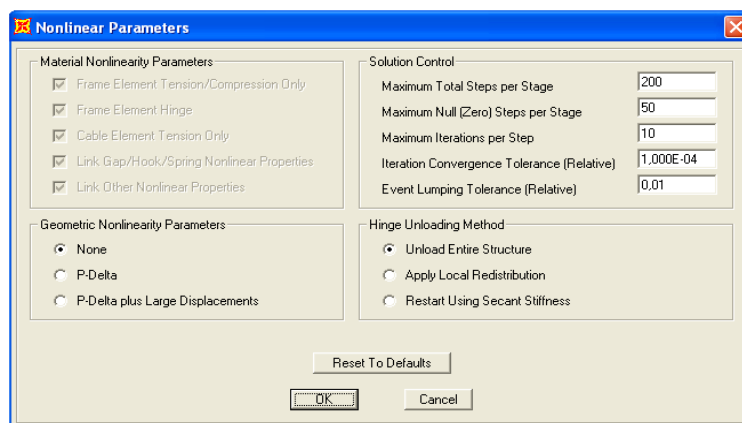
φορτίο (full load application control), γεγονός που υποδηλώνει ότι η κατασκευή αναμένεται να έχει τη δυνατότητα παραλαβής του φορτίου και συνήθως επιλέγεται στην πρώτη ανάλυση για τα ίδια βάρη και τα σταθερά φορτία της κατασκευής. Στη συνέχεια, ακολουθεί η ανάλυση με την εγκάρσια φόρτιση, η οποία επιλέγεται να καθορίζεται από τις μετακινήσεις (displacement control) (Σχ.3.31) και συνηθίζεται στις περιπτώσεις κατά τις οποίες η κατασκευή κινδυνεύει να γίνει στατικά αόριστη και να απολέσει την ικανότητα παραλαβής φορτίων κατά τη διάρκεια της ανάλυσης. Όσον αφορά στις παραμέτρους της Pushover ανάλυσης, επιλέγεται η αποφόρτιση κατά τη διάρκεια της, η οποία συμβαίνει όταν η διατομή βρίσκεται σε τμήμα του διαγράμματος τάσης-παραμόρφωσης με αρνητική κλίση να συμβαίνει σε όλη την κατασκευή (entire structure unloading) και όχι να γίνεται τοπική ανακατανομή (local redistribution) στα δομικά μέλη (Σχ.3.32).



**Σχ.3.30.** Ανάλυση για τα σταθερά φορτία της κατασκευής.



Σχ.3.31. Ανάλυση για την εγκάρσια φόρτιση της κατασκευής.



Σχ.3.32. Παράμετροι pushover ανάλυσης.

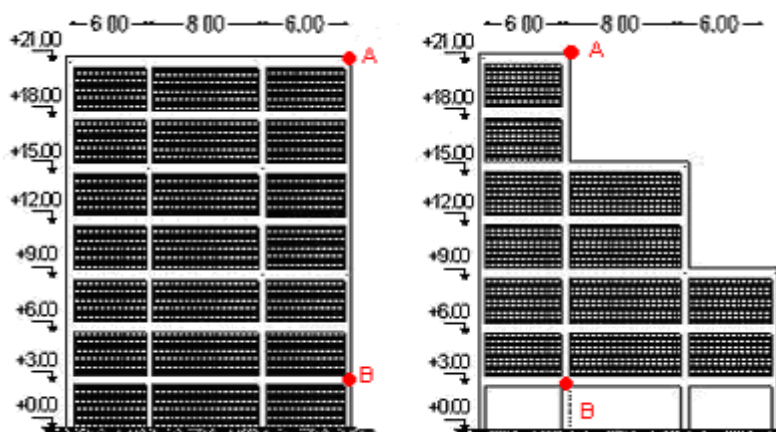
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

#### 4.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δυναμικών καθώς και των pushover αναλύσεων, για τους 4 επίπεδους πλαισιακούς φορείς που εξετάζονται, για τις διάφορες θέσεις και προσομοιώσεις των τοίχων πλήρωσης που έχουν παρουσιαστεί στο προηγούμενο κεφάλαιο. Οι παράμετροι που εξετάζονται είναι η οριζόντια μετακίνηση των ανώτερων ζυγμάτων των πλαισιακών φορέων, η οριζόντια μετακίνηση και η στροφή του πρώτου υπέργειου ζυγώματος (στη στάθμη της πυλωτής) και οι μέγιστες σχετικές μετακινήσεις των ορόφων (interstorey drifts) των πλαισιακών κατασκευών.

Οι παραπάνω παράμετροι εξετάζονται σε κάποιους συγκεκριμένους κόμβους αναφοράς. Έτσι, στα διαγράμματα όπου αναφέρεται “άνω κόμβος” εξετάζεται ο κόμβος του ανώτατου ζυγώματος του κάθε πλαισίου, ενώ όπου αναφέρεται κόμβος “στη στάθμη πυλωτής”, εξετάζεται ο κόμβος του πρώτου υπέργειου ζυγώματος ανεξάρτητα από την ύπαρξη ή όχι πυλωτής (Σχ. 4.1).



Σχήμα 4.1. Κόμβοι αναφοράς: (A)- Άνω κόμβος πλαισίου, (B)- Κόμβος στη στάθμη πυλωτής πλαισίου.

## **4.2. Παρουσίαση αποτελεσμάτων δυναμικών αναλύσεων**

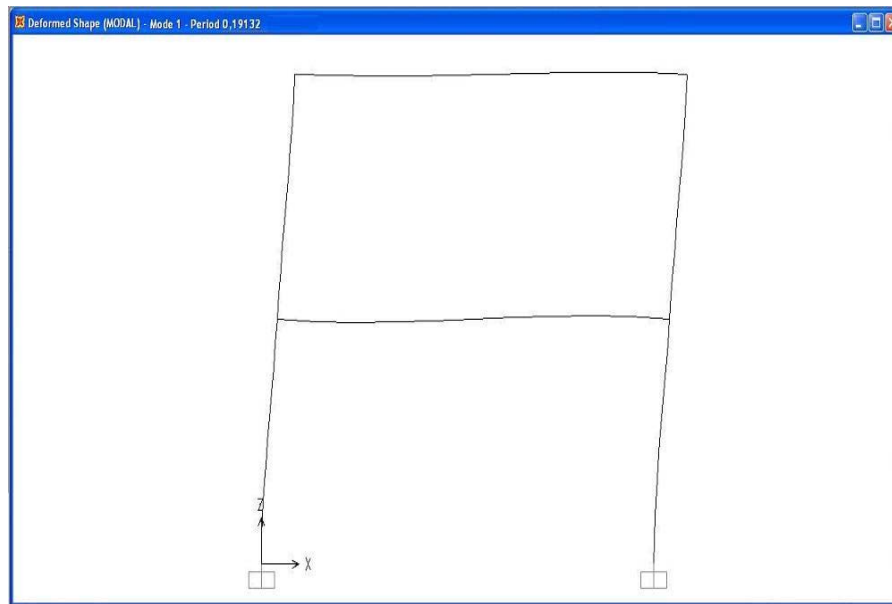
### **4.2.1. Αποτελέσματα δυναμικών αναλύσεων διώροφου πλαισιακού φορέα**

#### **4.2.1.1. Παρουσίαση ιδιομορφών διώροφου φορέα**

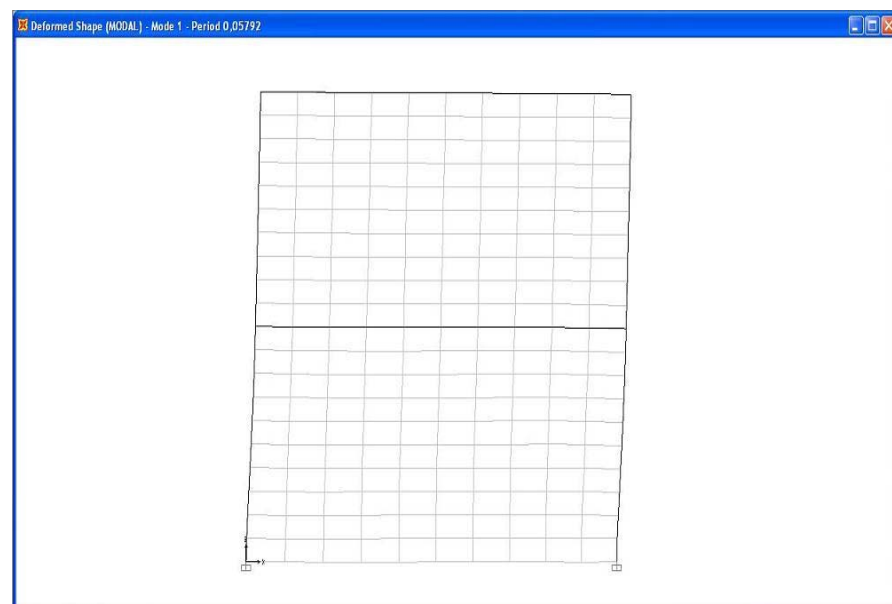
Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται οι κύριες ιδιομορφές του διώροφου πλαισιακού φορέα για τις διάφορες θέσεις των τοιχοπληρώσεων, οι οποίες καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την ταλάντωση του, υπό την επίδραση σεισμικών διεγέρσεων. Παρατηρώντας τις ιδιομορφές του φορέα για τις διάφορες θέσεις των τοίχων πλήρωσης, είναι φανερό η επιρροή τους στη συνολική ακαμψία του φορέα καθώς και στον τρόπο κατά τον οποίο ταλαντώνεται ο φορέας λόγω των δυναμικών φορτίων.

Η κύρια ιδιοπερίοδος του φορέα χωρίς τοίχους πλήρωσης (Σχ.4.1) με τις αντίστοιχες του πλήρως τοιχοπληρωμένου φορέα (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων Σχ.4.2, μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου Σχ.4.3) εμφανίζεται σημαντικά μεγαλύτερη, γεγονός που καταδεικνύει τη μεγαλύτερη περίοδο επαναφοράς της ταλάντωσης του ελευθέρου από τοίχους πλήρωσης φορέα και συνεπώς την αύξηση της ακαμψίας που προσδίδει στον φορέα η ύπαρξη τοιχοπληρώσεων. Ομοίως οι περίοδοι επαναφοράς των μερικώς τοιχοπληρωμένων φορέων (Σχ.4.5, 4.6) είναι μεγαλύτερες από την αντίστοιχη του ελευθέρου φορέα και μικρότερες από αυτές του πλήρως τοιχοπληρωμένου φορέα. Σημαντική διαφοροποίηση αποτελεί η μορφή της ταλάντωσης στην περίπτωση του φορέα με πυλωτή καθώς φαίνεται ότι το άνω ζύγωμα του φορέα που έχει τοιχοπλήρωση μετακινείται σαν ενιαίο σώμα μεταφέροντας την ένταση στα υποστυλώματα του κάτω ζυγώματος.

Επιπρόσθετα, μπορούμε να παρατηρήσουμε τη σύγκλιση των δύο μεθόδων προσομοίωσης των τοιχοπληρώσεων (θλιβόμενης διαγωνίου και πεπερασμένων στοιχείων) ως προς τις σημαντικές ιδιομορφές αλλά και ως προς τις ιδιοπερίόδους.

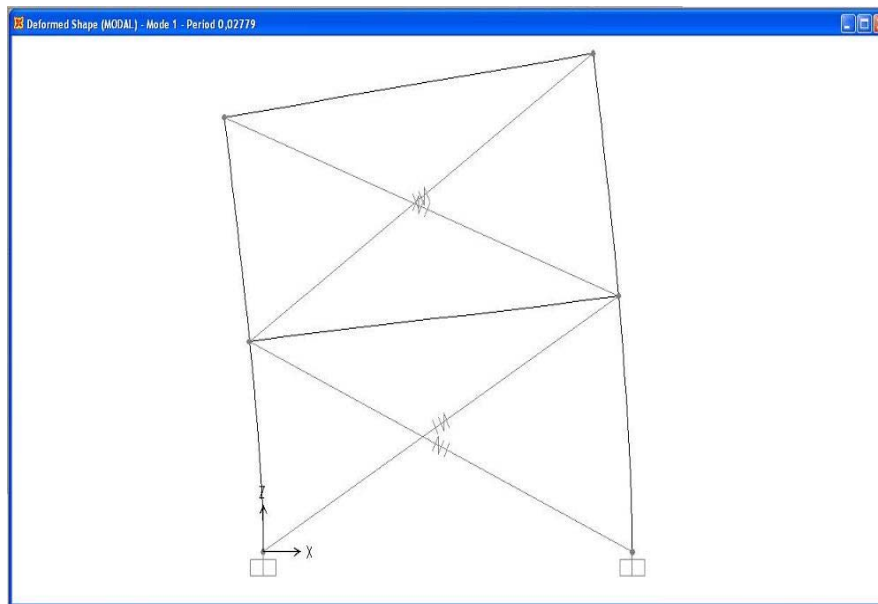


**Σχήμα 4.2.** 1<sup>η</sup> ιδιομορφή δώροφου φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις ( $T_1=0.19132$  sec).

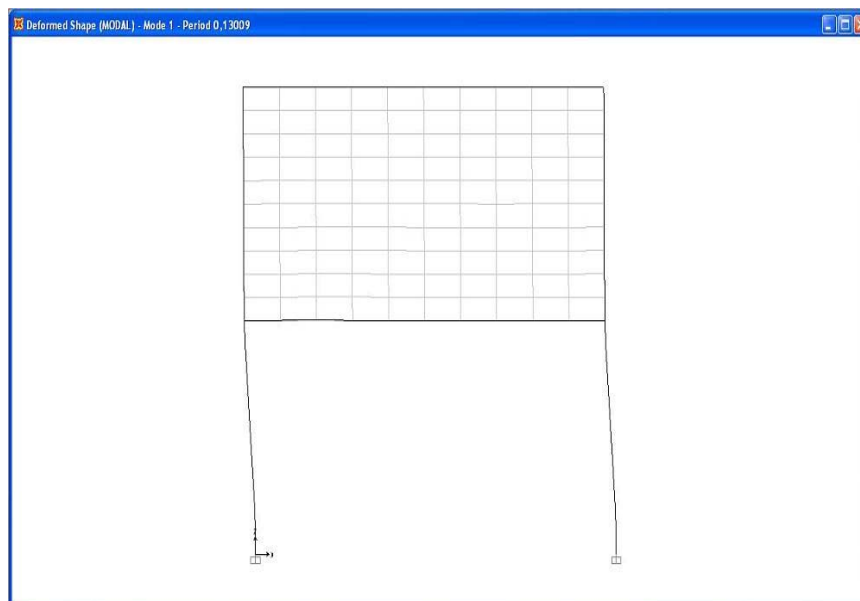


**Σχήμα 4.3.** 1<sup>η</sup> ιδιομορφή δώροφου φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένου με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων ( $T_1=0.05792$  sec).

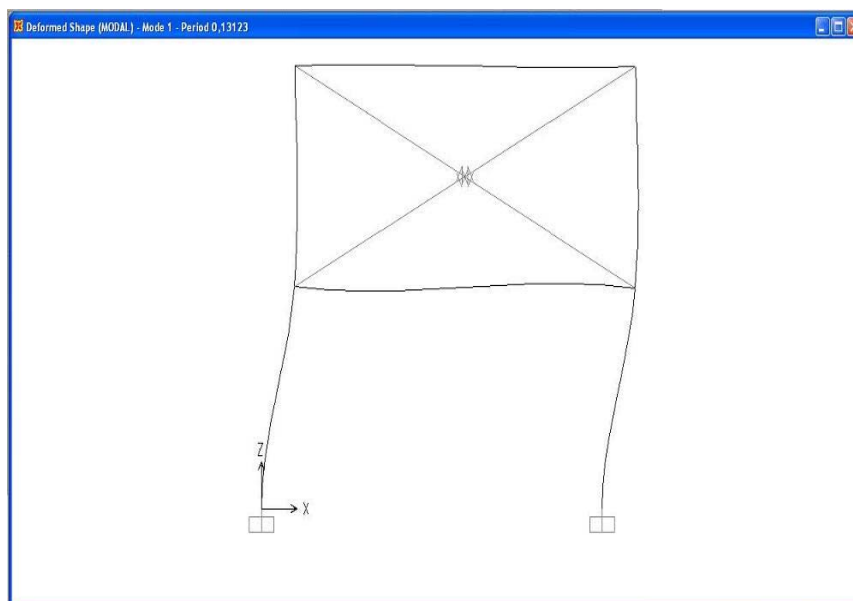




**Σχήμα 4.4.** 1<sup>η</sup> ιδιομορφή δώροφου φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένου με τη μέθοδο της θλιβόμενης διαγωνίου ( $T_1=0.02779$  sec).



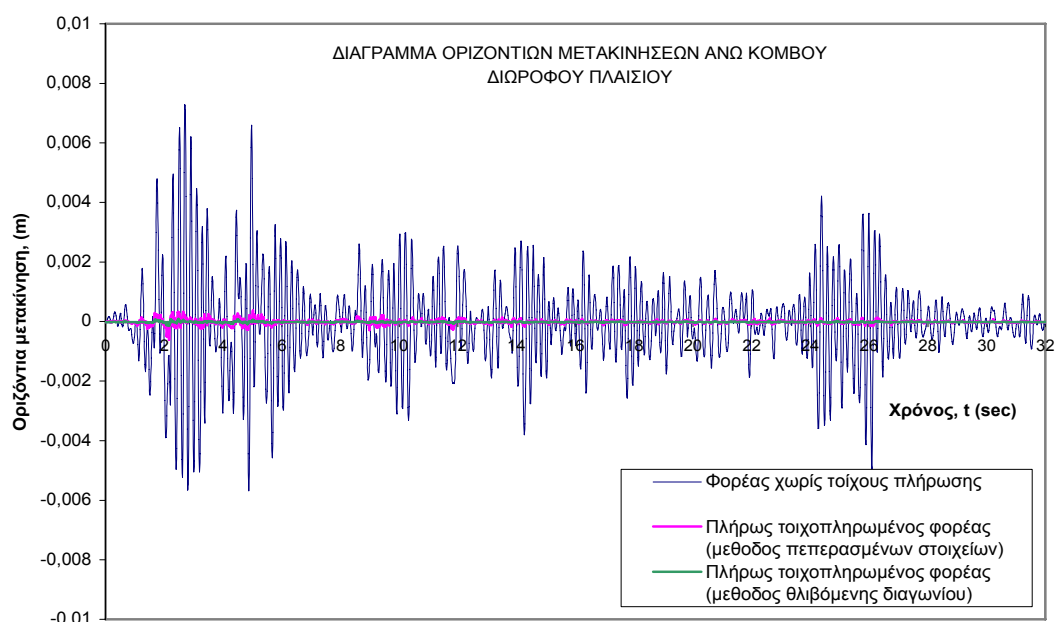
**Σχήμα 4.5.** 1<sup>η</sup> ιδιομορφή δώροφου φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένου (pilotis) με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων ( $T_1=0.13009$  sec).



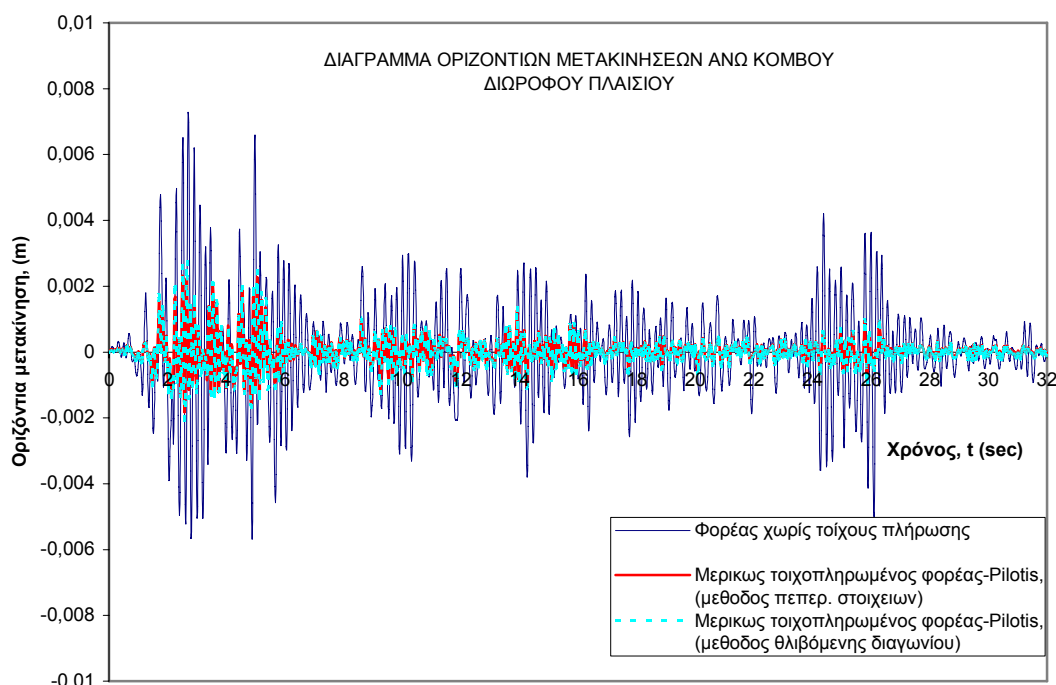
**Σχήμα 4.6.** 1<sup>η</sup> ιδιομορφή δώροφου φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένου (pilotis) με τη μέθοδο της θλιβόμενης διαγωνίου ( $T_1=0.13123$  sec).

Στις επόμενες παραγράφους, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δυναμικών αναλύσεων του δώροφου πλαισίου για τις σεισμικές διεγέρσεις του Elcentro (παρ. 4.2.1.2.) και του Αιγίου (παρ. 4.2.1.3.). Συγκεκριμένα παρουσιάζονται τα διαγράμματα των οριζόντιων μετακινήσεων στην κορυφή και στη στάθμη της πυλωτής του πλαισίου για τις διάφορες θέσεις των τοίχων πλήρωσης, τα διαγράμματα των στροφών του κόμβου στη στάθμη της πυλωτής καθώς και το διάγραμμα των σχετικών μετακινήσεων των ορόφων του πλαισίου το οποίο αποτελεί ένα δείκτη των πιθανών βλαβών που μπορεί να εμφανιστούν σε ένα κτίριο κατά την επιβολή της σεισμικής διέγερσης. Εξετάζεται η επιρροή των τοιχοπληρώσεων στην συνολική δυσκαμψία της κατασκευής καθώς και η συμπεριφορά της κατά την ύπαρξη ή μη πυλωτής.

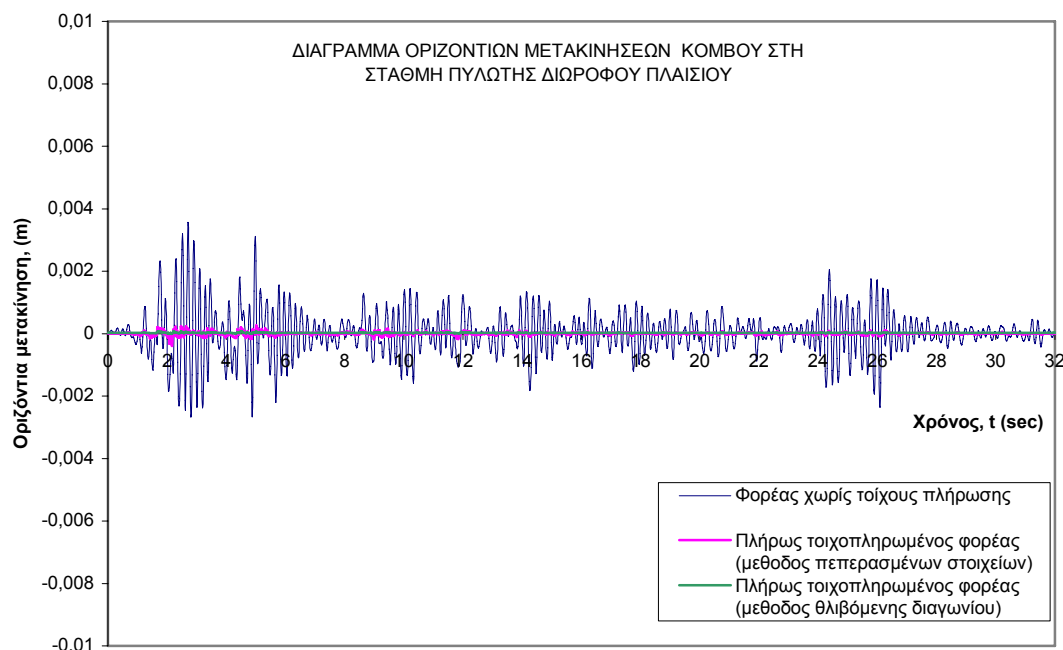
#### 4.2.1.2. Αποτελέσματα διώροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro.



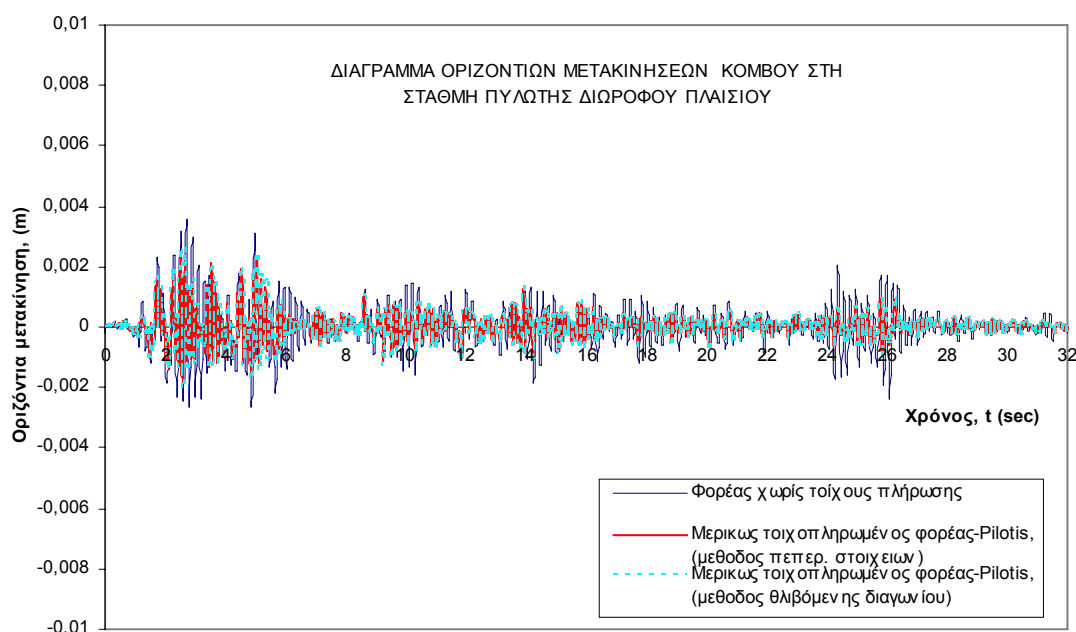
**Σχήμα 4.7.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων άνω ζυγώματος διώροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



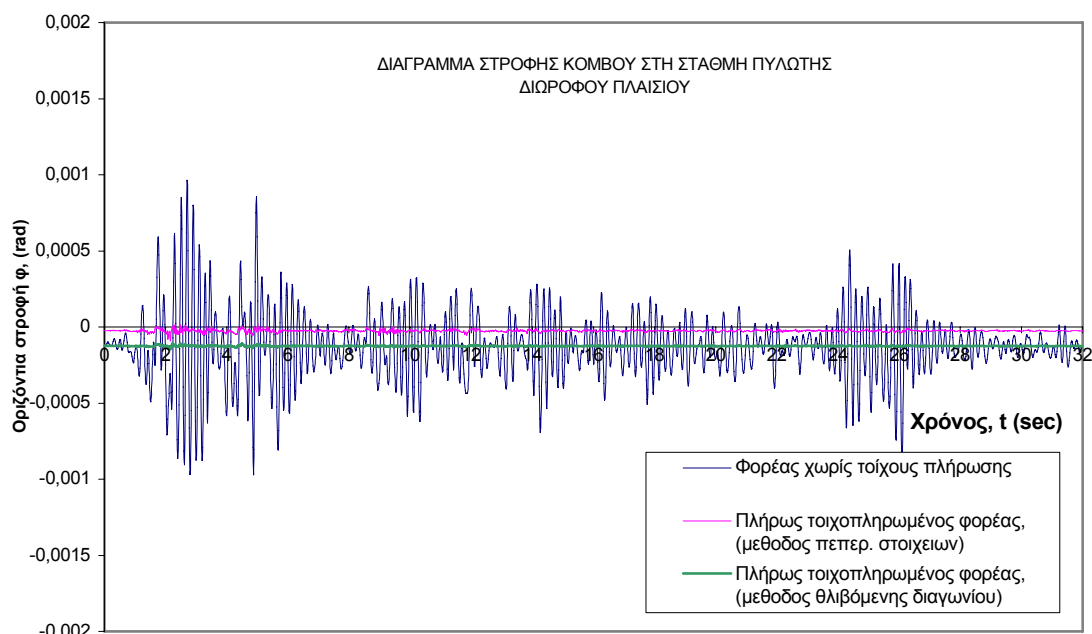
**Σχήμα 4.8.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων ζυγώματος στη στάθμη της πυλωτής διώροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο -πυλωτή- (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο -πυλωτή- (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



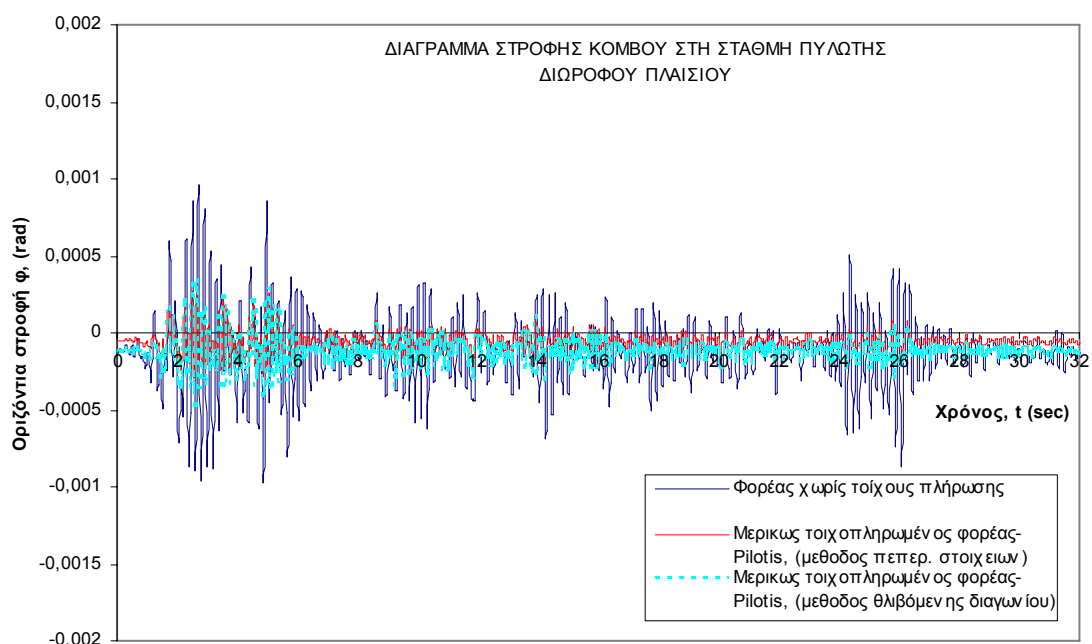
**Σχήμα 4.9.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων ζυγώματος στη στάθμη της πυλωτής διώροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



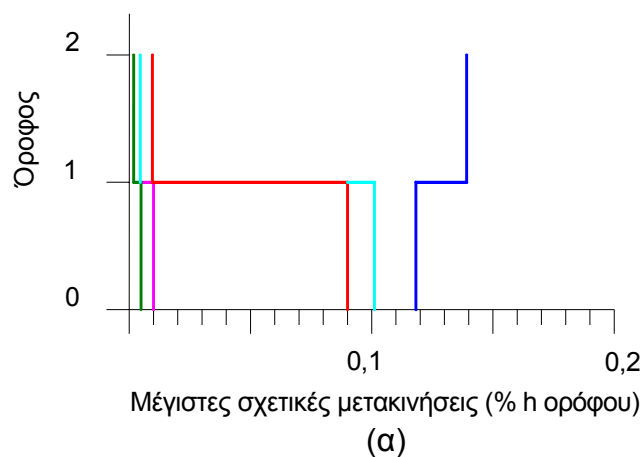
**Σχήμα 4.10.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων ζυγώματος στη στάθμη της πυλωτής διώροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο -πυλωτή- (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο -πυλωτή- (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



**Σχήμα 4.11.** Διάγραμμα στρόφης κόμβου στη στάθμη της πυλωτής διώροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



**Σχήμα 4.12.** Διάγραμμα στρόφης κόμβου στη στάθμη της πυλωτής διώροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο -πυλωτή- (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο -πυλωτή-(μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις (% h ορόφου)

Όροφος

0-1 1-2

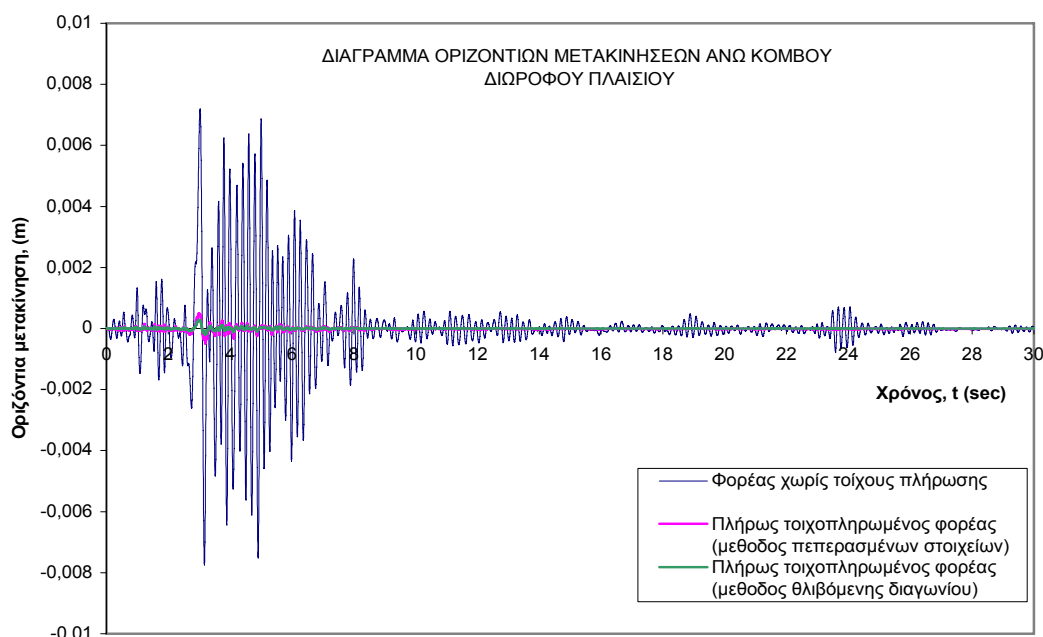
- Φορέας χωρίς τοιχοπληρώσεις
- Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθοδος πεπερ. στοιχειων)
- Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθοδος θλιβ. διαγωνίου)
- Μερικώς τοιχοπληρωμένος φορέας - rilotis (μεθοδος πεπερ. στοιχειων)
- Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθοδος θλιβ. διαγωνίου)

| 0-1     | 1-2    |
|---------|--------|
| 0,118   | 0,137  |
| 0,0096  | 0,0042 |
| 0,00035 | 0,005  |
| 0,085   | 0,0092 |
| 0,104   | 0,0048 |

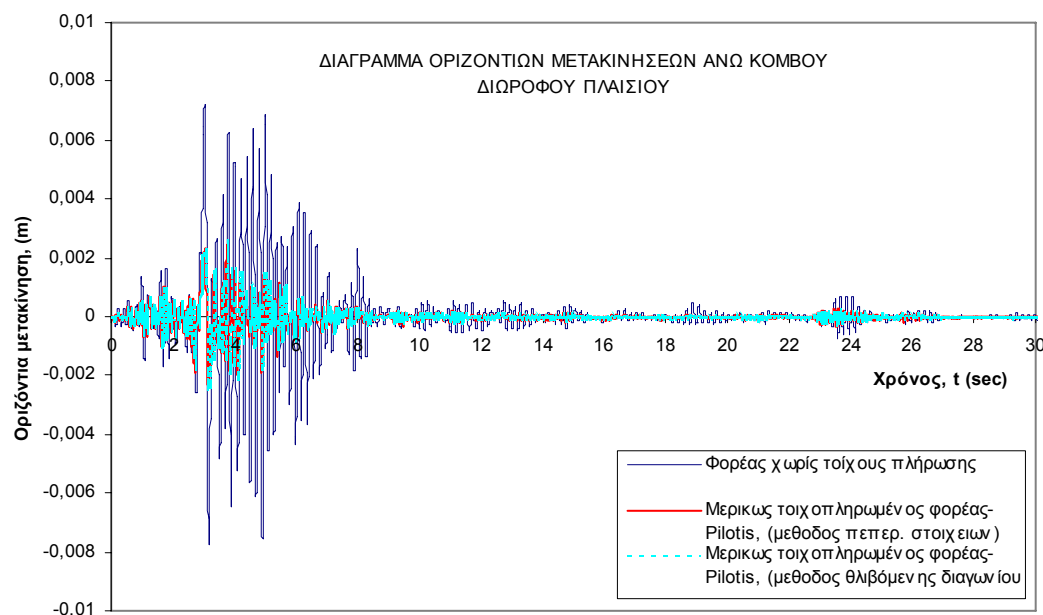
(β)

**Σχήμα 4.13.** (α) Διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων δώροφου φορέα υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro, β) Πίνακας τιμών μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων δώροφου φορέα.

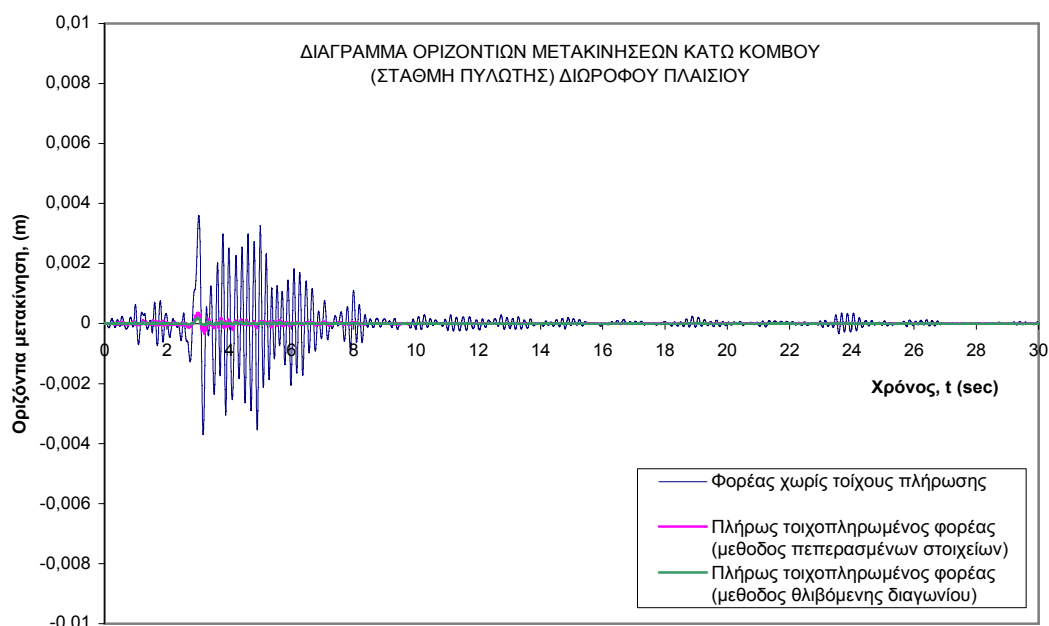
### 4.2.1.3. Αποτελέσματα διώροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου.



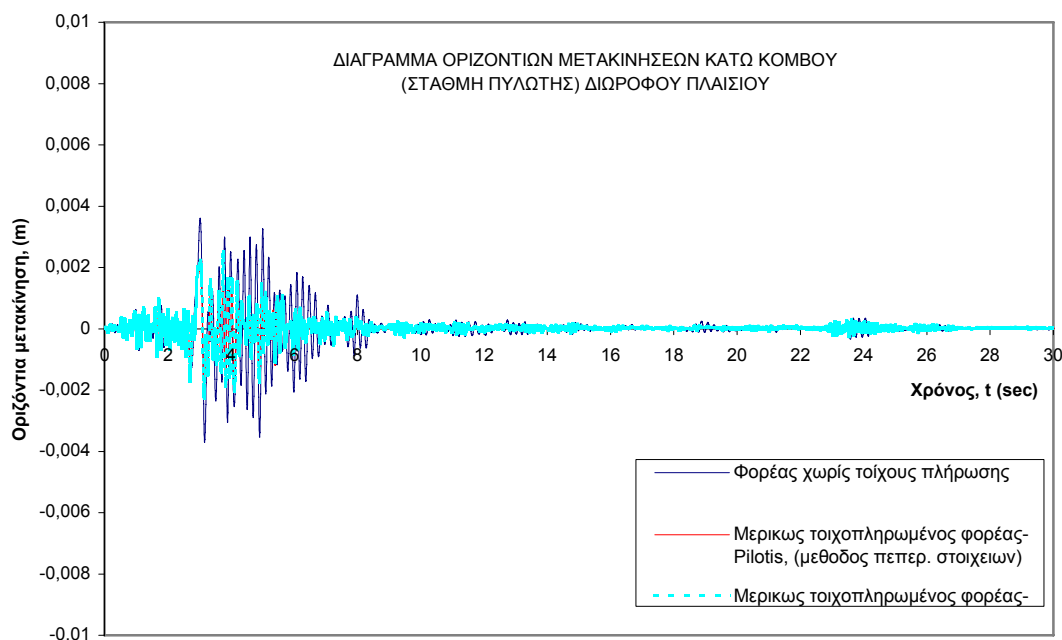
**Σχήμα 4.14.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων άνω ζυγώματος διώροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



**Σχήμα 4.15.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων άνω ζυγώματος διώροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).

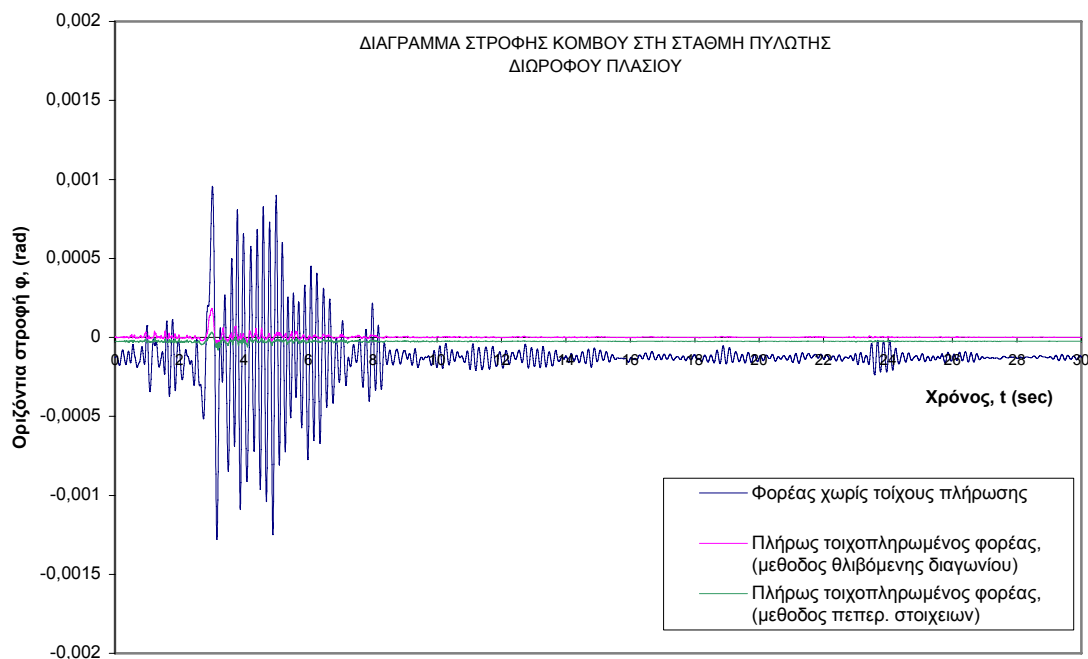


**Σχήμα 4.16.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων ζυγώματος στη στάθμη της πυλωτής διώροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).

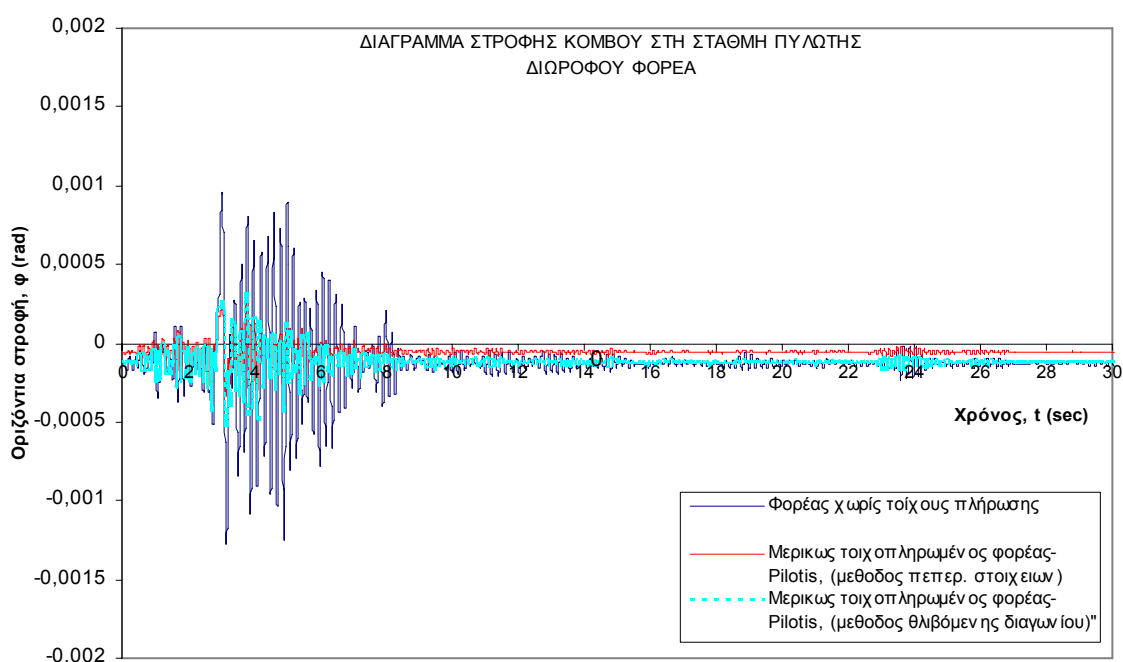


**Σχήμα 4.17** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων ζυγώματος στη στάθμη της πυλωτής διώροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).

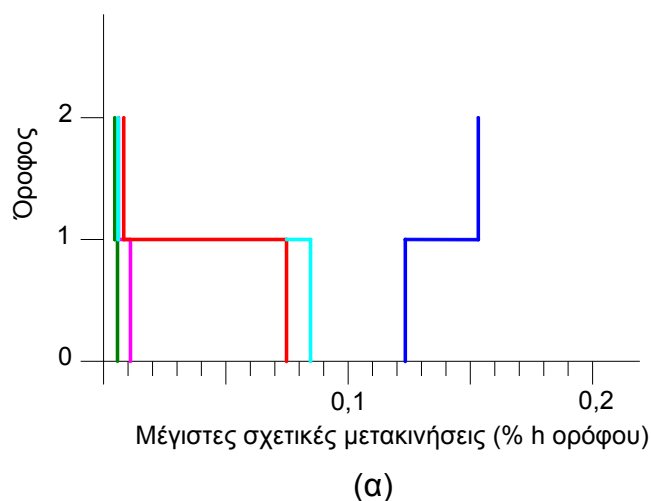




**Σχήμα 4.18.** Διάγραμμα στρόφης κόμβου στη στάθμη της πυλωτής διώροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



**Σχήμα 4.19.** Διάγραμμα στρόφης κόμβου στη στάθμη της πυλωτής διώροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



| Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις (% h ορόφου) |                                                                     | Ορόφος |        |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------|--------|
|                                             |                                                                     | 0-1    | 1-2    |
| —                                           | Φορέας χωρίς τοιχοπληρώσεις                                         | 0,123  | 0,151  |
| —                                           | Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθοδος πεπερ. στοιχειων)            | 0,012  | 0,0064 |
| —                                           | Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθοδος θλιβομ. διαγωνιου)           | 0,0061 | 0,0056 |
| —                                           | Μερικως τοιχοπληρωμένος φορέας - pilotis (μεθοδος πεπερ. στοιχειων) | 0,075  | 0,0076 |
| —                                           | Μερικως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθοδος θλιβομ. διαγωνιου)          | 0,084  | 0,0056 |

(α)

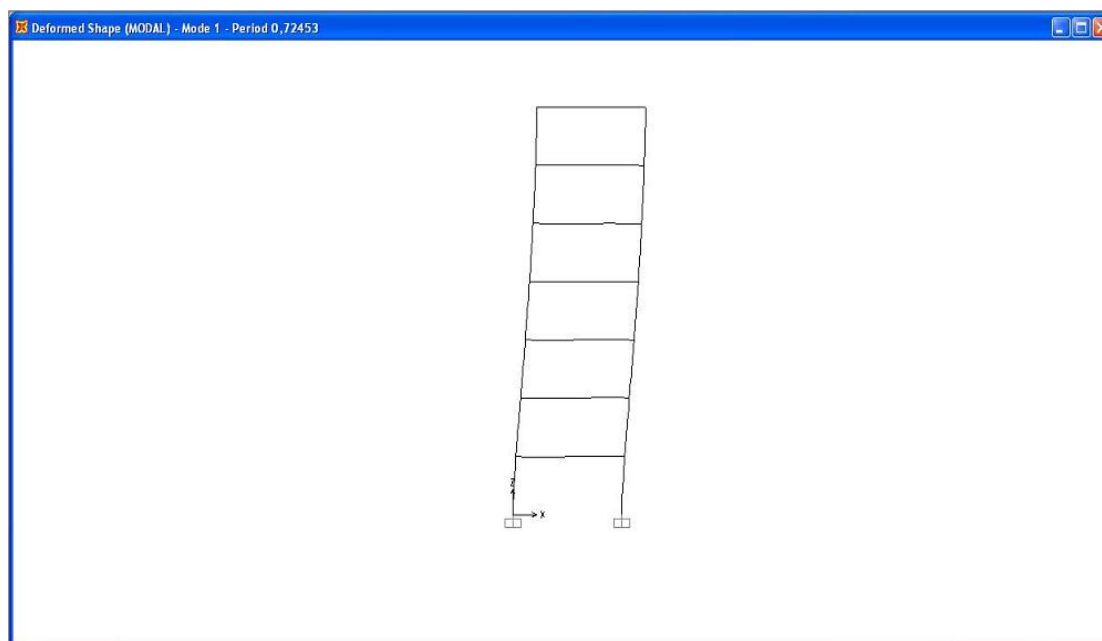
**Σχήμα 4.20.** (α) Διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων διώροφου φορέα υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου, β) Πίνακας τιμών μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων διώροφου φορέα.

Τα αποτελέσματα των δυναμικών αναλύσεων του διώροφου πλαισίου για τις δύο σεισμικές διεγέρσεις που παρουσιάστηκαν παραπάνω, δε διαφοροποιούν τα συμπεράσματα που προαναφέρθηκαν κατά την παρουσίαση των ιδιομορφών του φορέα για τις διάφορες θέσεις των τοιχοπληρώσεων. Όπως φαίνεται λοιπόν από τα διαγράμματα των οριζόντιων μετατοπίσεων πλαισίου, η ύπαρξη τοιχοπληρώσεων μειώνει σημαντικά τις μετακινήσεις στο ανώτερο ζύγωμα του πλαισίου, γεγονός που συμβαίνει και στην στάθμη της πυλωτής. Κατά την απουσία τοιχοπληρώσεων στο κατώτερο ζύγωμα του πλαισίου (πυλωτή), παρατηρούνται μεγάλες οριζόντιες μετακινήσεις και στροφές στη στάθμη της πυλωτής, οι οποίες προσεγγίζουν τις αντίστοιχες του “γυμνού” από τοιχοπληρώσεις φορέα. Τέλος εξετάζοντας τα διαγράμματα των σχετικών μετακινήσεων είναι φανερό η επιρροή της πυλωτής για τον κατώτερο όροφο του πλαισίου όπου εμφανίζεται μεγάλη αύξηση των μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων.

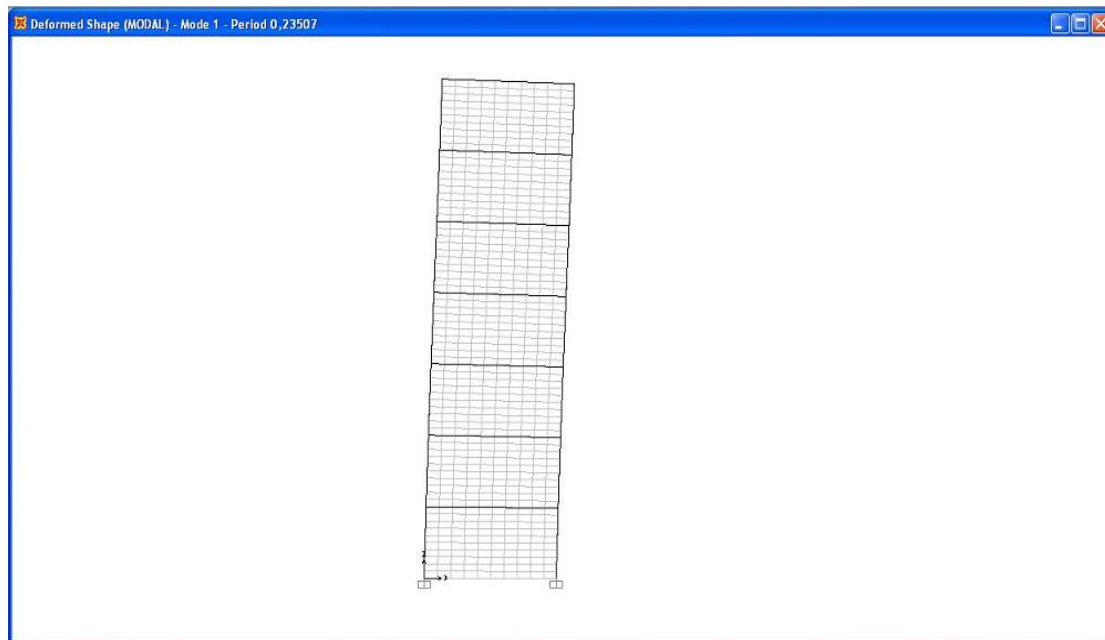
#### 4.2.2. Αποτελέσματα δυναμικών αναλύσεων επταόροφου πλαισιακού φορέα

##### 4.2.2.1. Παρουσίαση ιδιομορφών επταόροφου φορέα

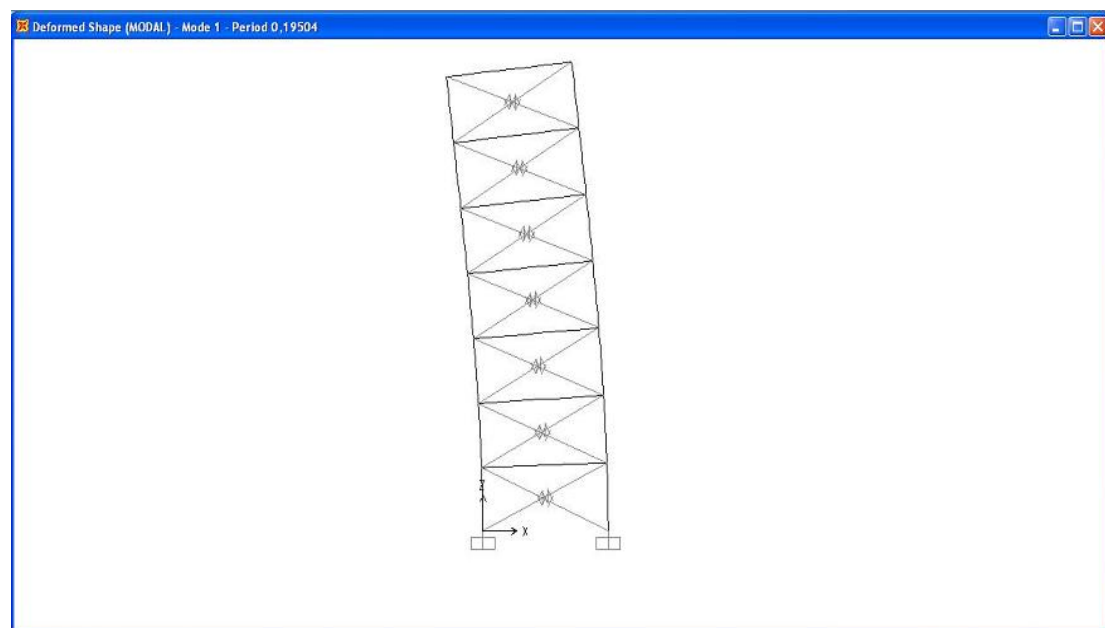
Και στην περίπτωση του επταόροφου φορέα, είναι φανερή η επίδραση των τοιχοπληρώσεων στη συνολική ακαμψία της κατασκευής. Όπως είναι αναμενόμενο λόγω του αυξημένου συνολικού ύψους του, εμφανίζονται αρκετά μεγαλύτερες ιδιοπεριόδους καθώς και μεγαλύτερες ταλαντώσεις στις σεισμικές επιδράσεις σε σχέση με τις αντίστοιχες του διώροφου φορέα, με αποτέλεσμα η επίδραση των τοιχοπληρώσεων στην απόκριση του φορέα να γίνεται ακόμη πιο έντονα αντιληπτή.



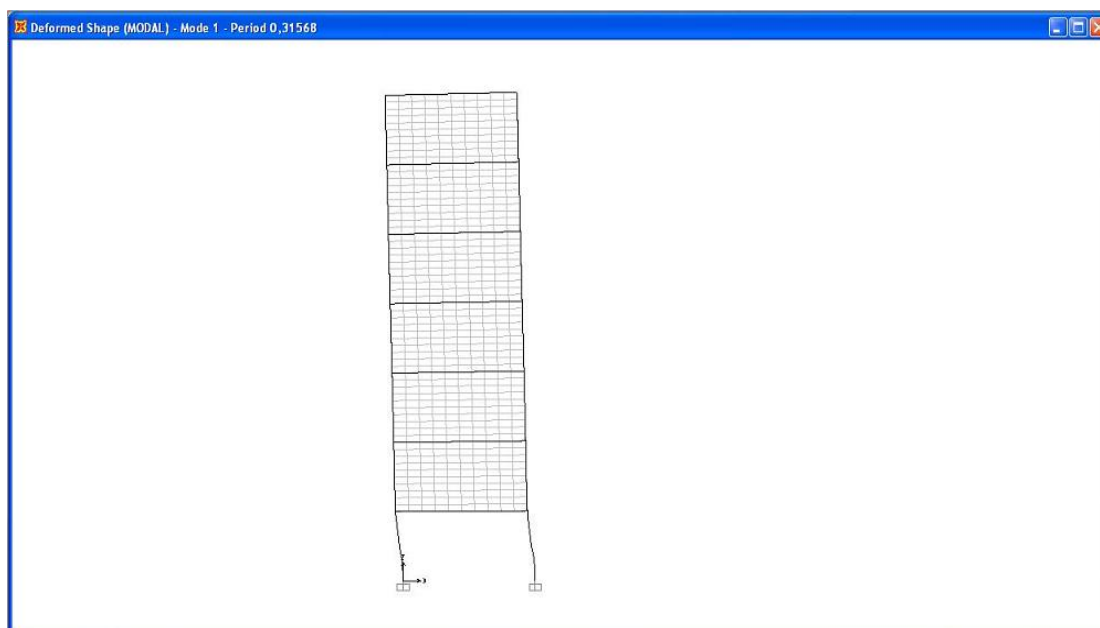
**Σχήμα 4.21.** 1<sup>η</sup> ιδιομορφή επταόροφου φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις ( $T_1=0.72453$  sec).



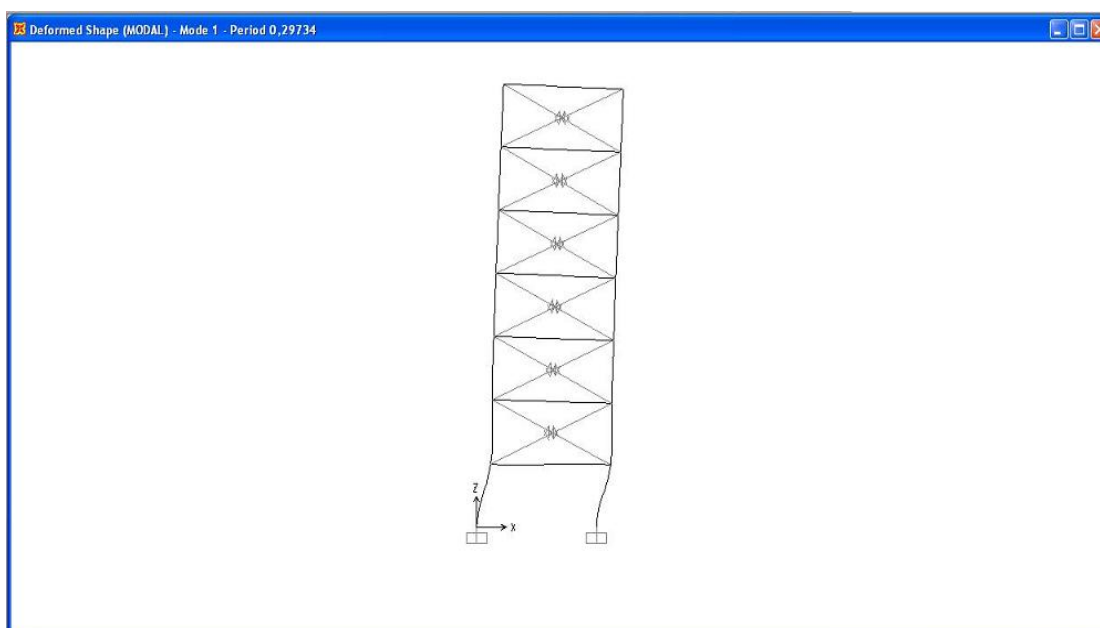
**Σχήμα 4.22.** 1<sup>η</sup> ιδιομορφή επταόροφου φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένου με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων ( $T_1=0.23507$  sec).



**Σχήμα 4.23.** 1<sup>η</sup> ιδιομορφή επταόροφου φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένου με τη μέθοδο της θλιβόμενης διαγωνίου ( $T_1=0.19504$  sec).



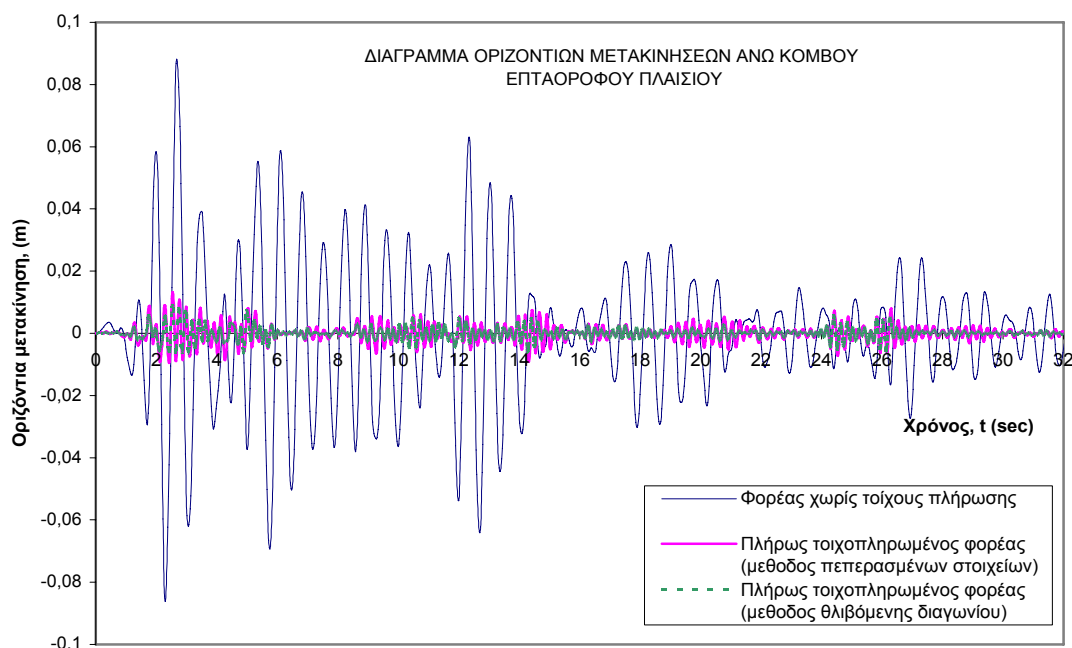
**Σχήμα 4.24.** 1<sup>η</sup> ιδιομορφή επταόροφου φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένου (pilotis) με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων ( $T_1=0.31568$  sec).



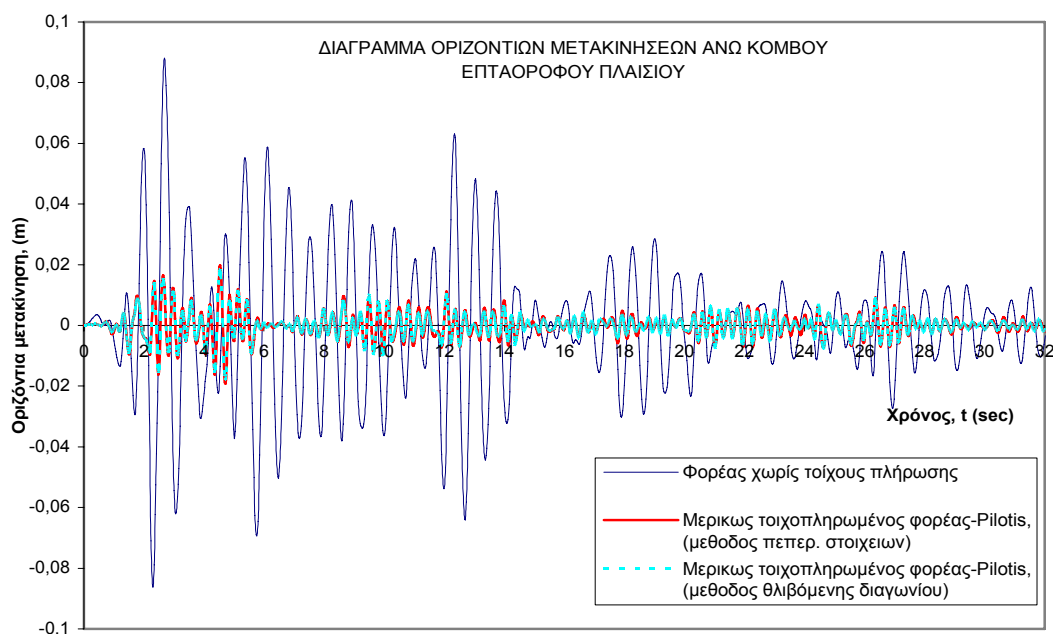
**Σχήμα 4.25.** 1<sup>η</sup> ιδιομορφή επταόροφου φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένου (pilotis) με τη μέθοδο της θλιβόμενης διαγωνίου ( $T_1=0.29734$  sec).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δυναμικών αναλύσεων του επταόροφου φορέα, για τις σεισμικές διεγέρσεις του Elcentro (παρ. 4.2.2.2.), της Καλαμάτας (παρ. 4.2.2.3.) και του Αιγίου (παρ. 4.2.2.4.). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η επιρροή των τοίχων πλήρωσης διακρίνεται εντονότερα σε σχέση με το διώροφο πλαίσιο, λόγω του αυξημένου ύψους του φορέα.

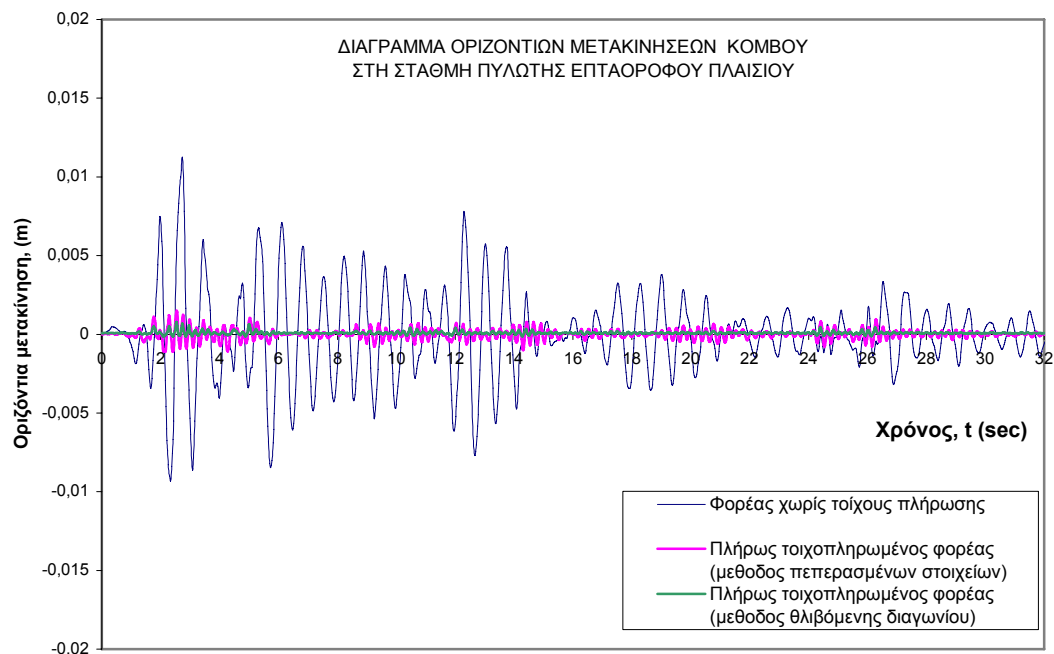
#### 4.2.2.2. Αποτελέσματα επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro.



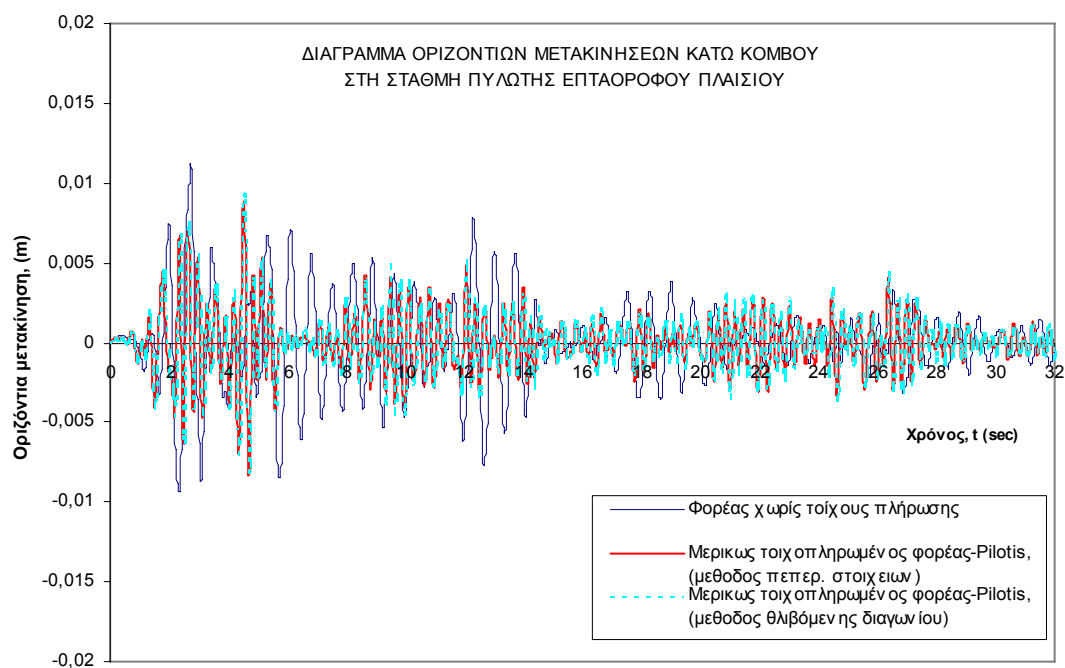
**Σχήμα 4.26** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων άνω ζυγώματος επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



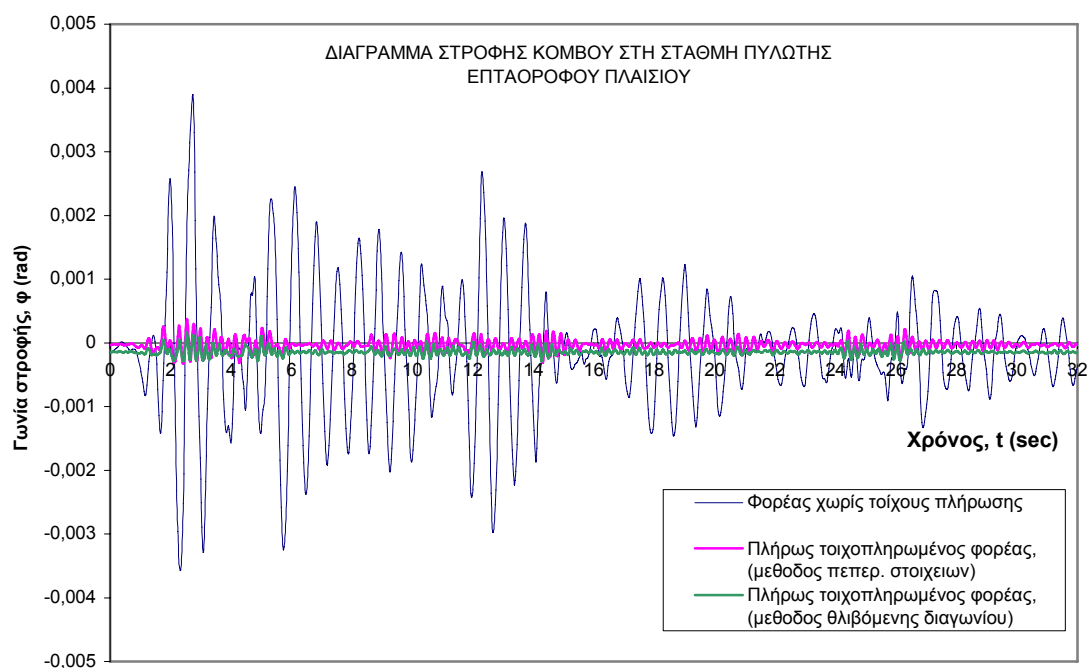
**Σχήμα 4.27.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων άνω ζυγώματος επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



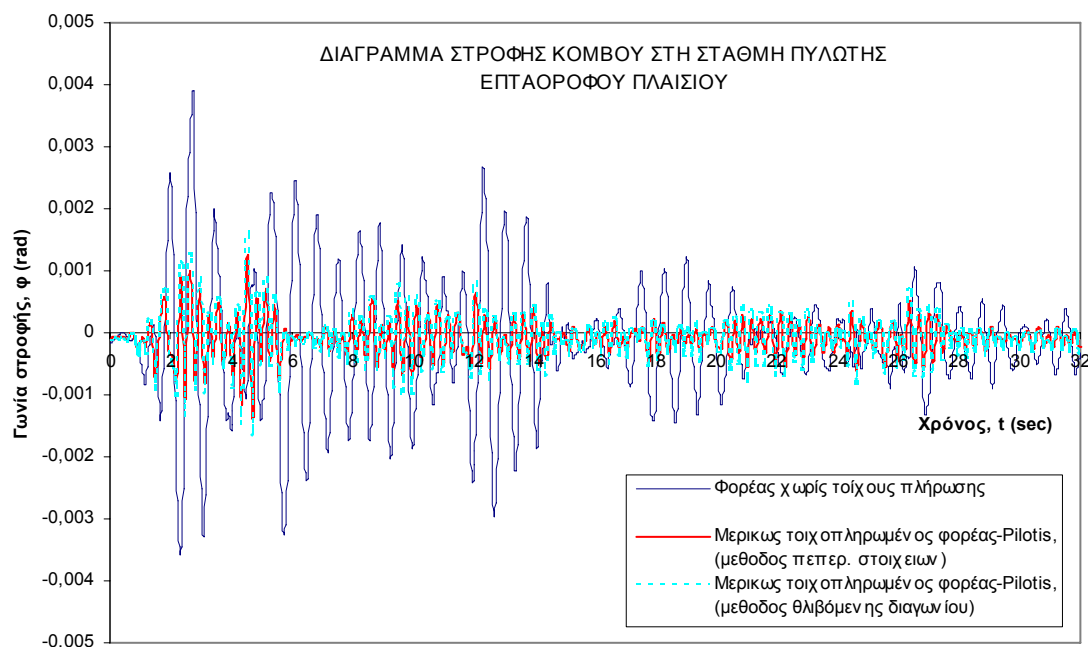
**Σχήμα 4.28.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων κόμβου στη στάθμη της πυλωτής επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



**Σχήμα 4.29.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων κόμβου στη στάθμη της πυλωτής επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).

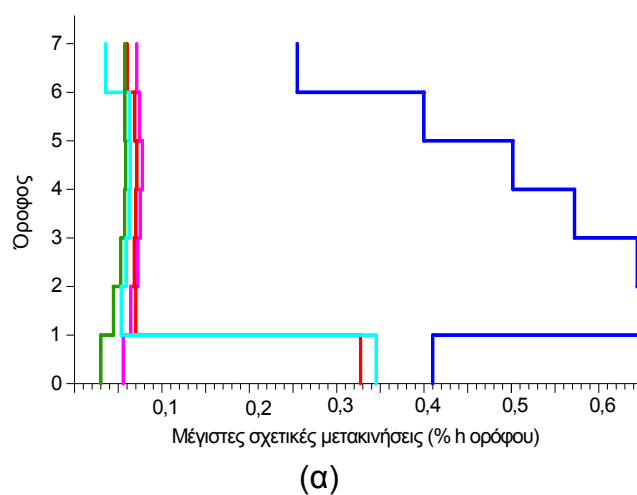


**Σχήμα 4.30.** Διάγραμμα στρώσης κόμβου στη στάθμη της πυλωτής επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



**Σχήμα 4.31.** Διάγραμμα στρώσης κόμβου στη στάθμη της πυλωτής επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).





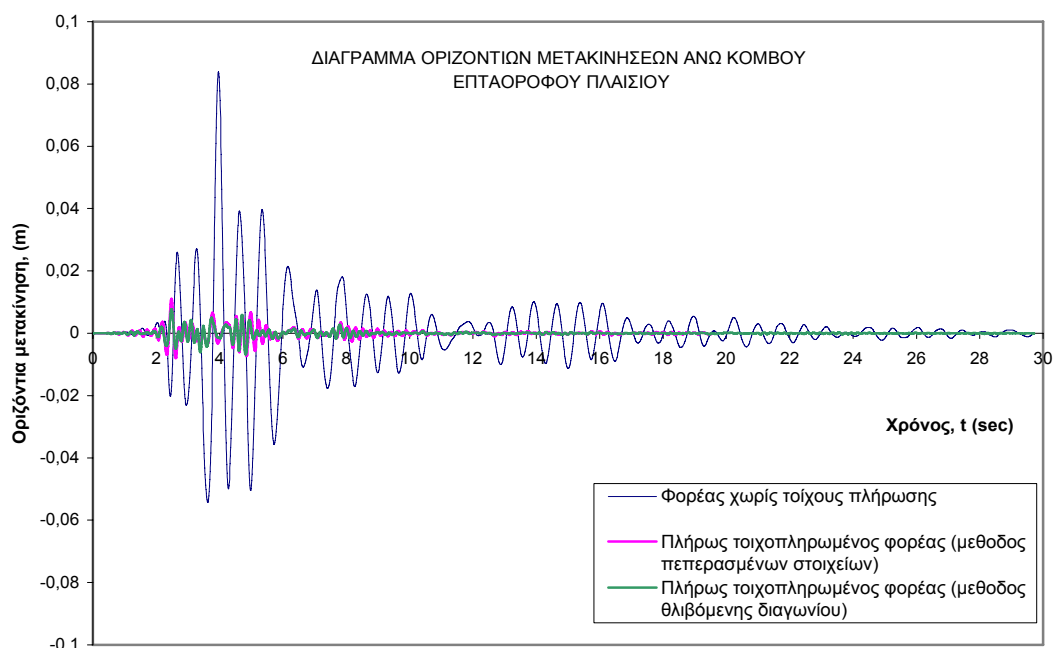
Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις (% h ορόφου)

|                                                                     | Όροφος |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                     | 0-1    | 1-2   | 2-3   | 3-4   | 4-5   | 5-6   | 6-7   |
| Φορέας χωρίς τοιχοπληρώσεις                                         | 0,417  | 0,646 | 0,643 | 0,572 | 0,506 | 0,401 | 0,254 |
| Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθοδος πεπερ. στοιχειων)            | 0,056  | 0,062 | 0,073 | 0,077 | 0,079 | 0,075 | 0,069 |
| Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθοδος θλιβομ. διαγωνίου)           | 0,029  | 0,043 | 0,053 | 0,057 | 0,058 | 0,057 | 0,057 |
| Μερικώς τοιχοπληρωμένος φορέας - pilotis (μεθοδος πεπερ. στοιχειων) | 0,328  | 0,071 | 0,068 | 0,070 | 0,071 | 0,067 | 0,061 |
| Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθοδος θλιβομ. διαγωνίου)           | 0,345  | 0,053 | 0,057 | 0,062 | 0,063 | 0,061 | 0,056 |

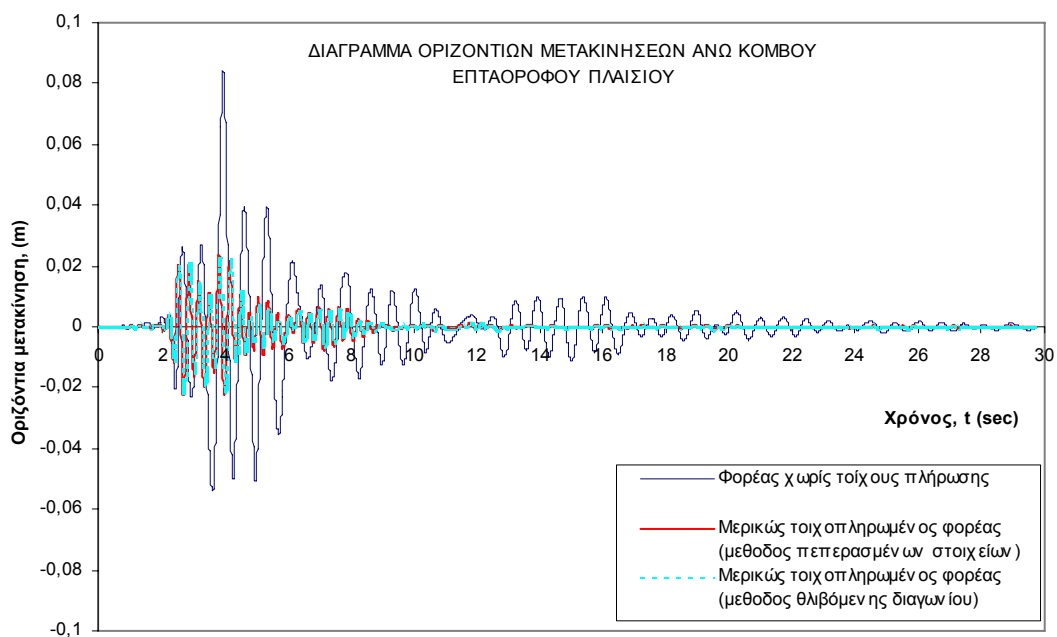
(β)

**Σχήμα 4.32.** (α) Διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων επταόροφου φορέα υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro, β) Πίνακας τιμών μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων επταόροφου φορέα.

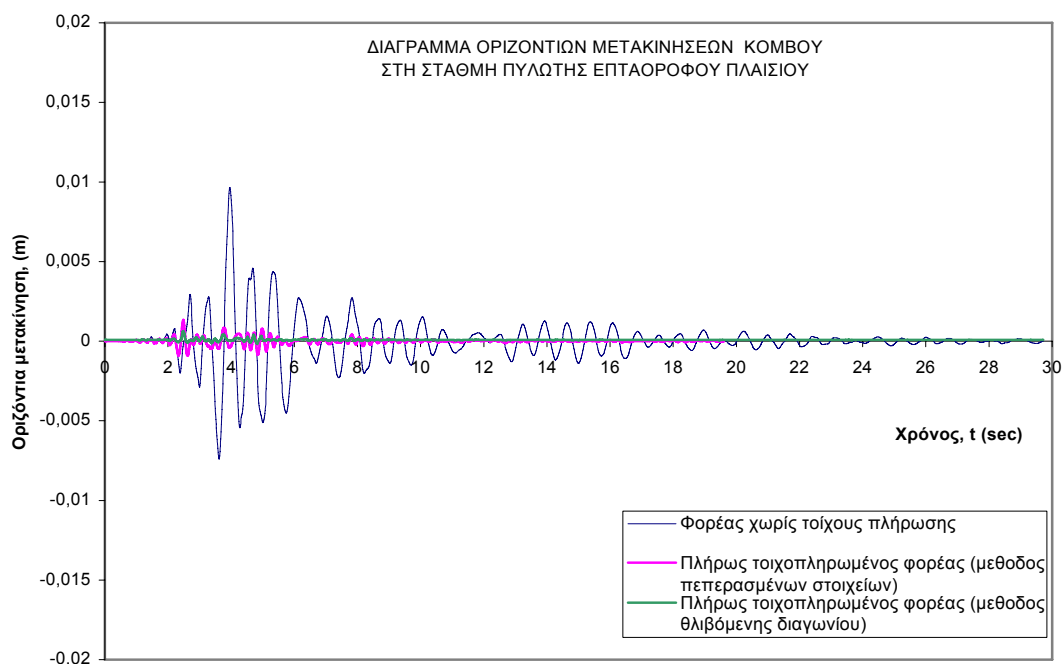
#### 4.2.2.3. Αποτελέσματα επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση της Καλαμάτας.



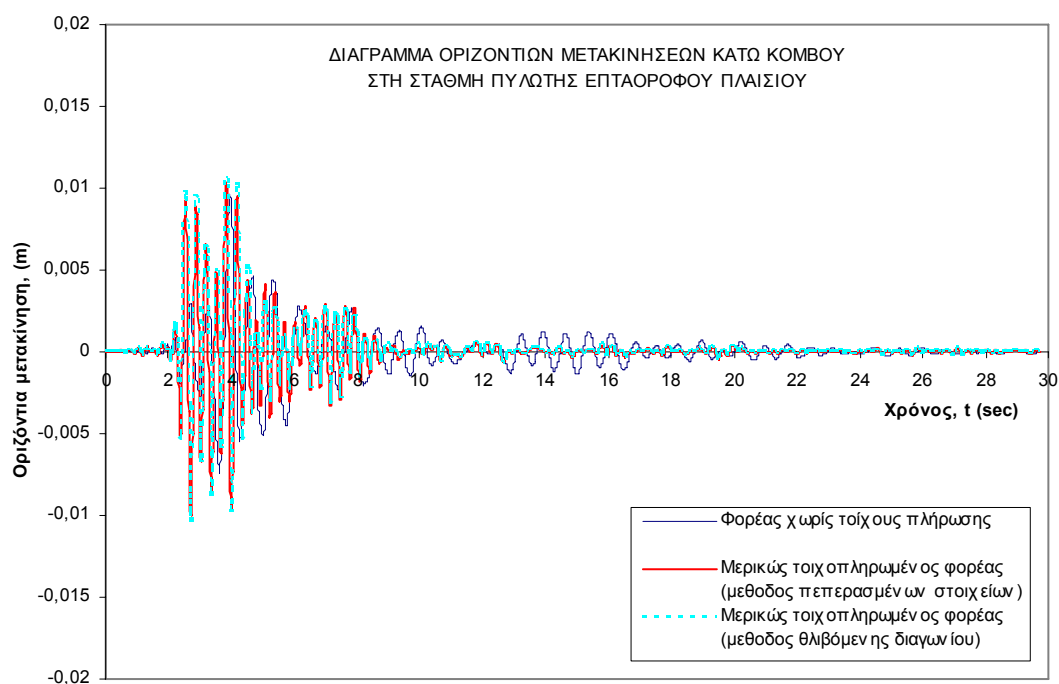
**Σχήμα 4.33.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων άνω κόμβου επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση της Καλαμάτας θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



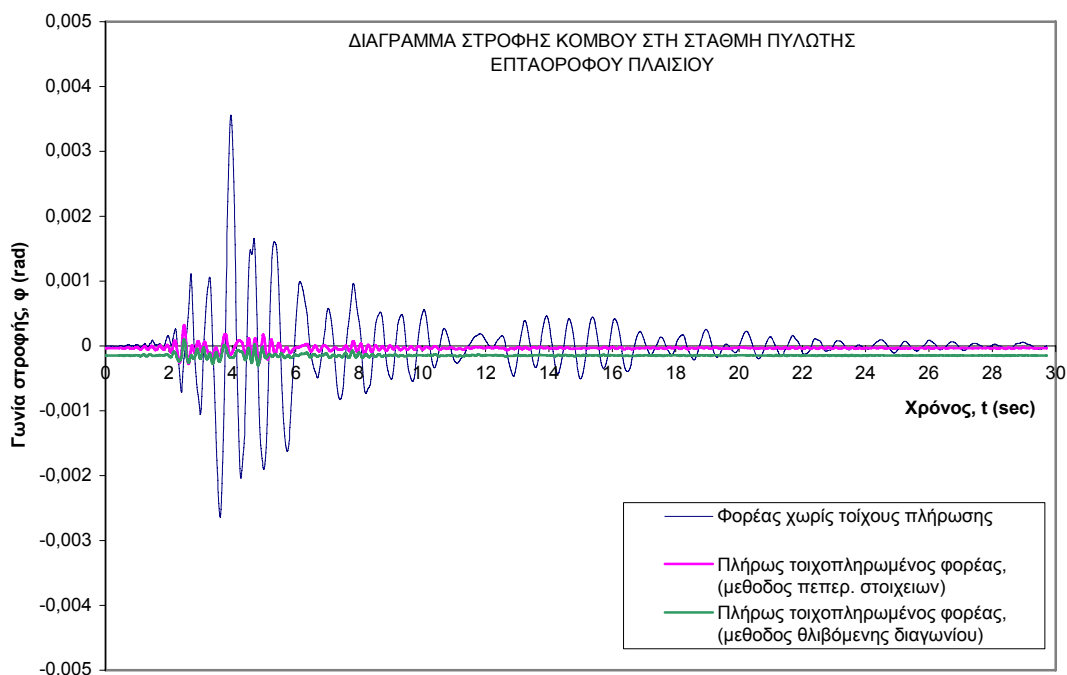
**Σχήμα 4.34.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων άνω κόμβου επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση της Καλαμάτας θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



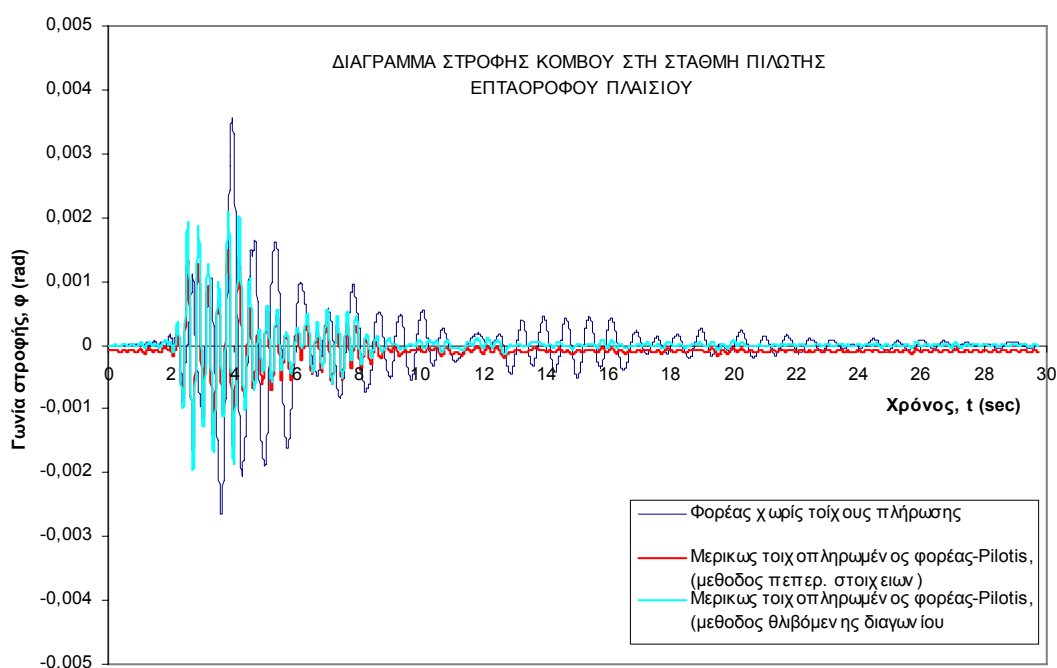
**Σχήμα 4.35.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων κόμβου στη στάθμη πυλωτής επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση της Καλαμάτας θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



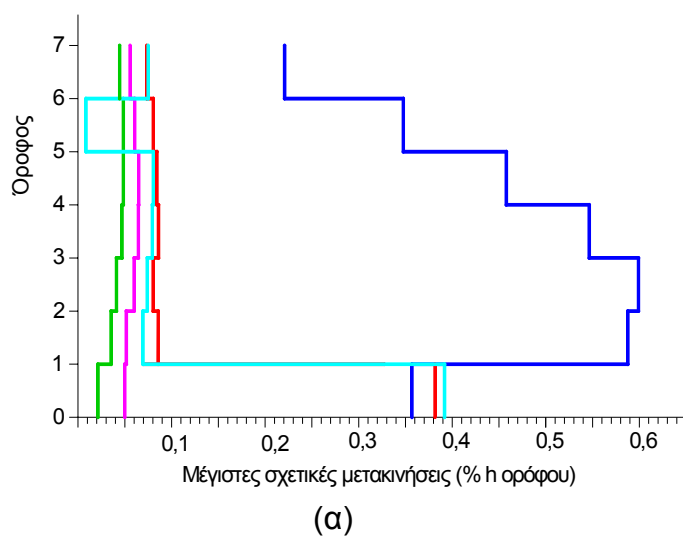
**Σχήμα 4.36.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων κόμβου στη στάθμη πυλωτής επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση της Καλαμάτας θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



**Σχήμα 4.37.** Διάγραμμα στρόφης κόμβου στη στάθμη πυλωτής επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση της Καλαμάτας θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



**Σχήμα 4.38.** Διάγραμμα στρόφης κόμβου στη στάθμη πυλωτής επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση της Καλαμάτας θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



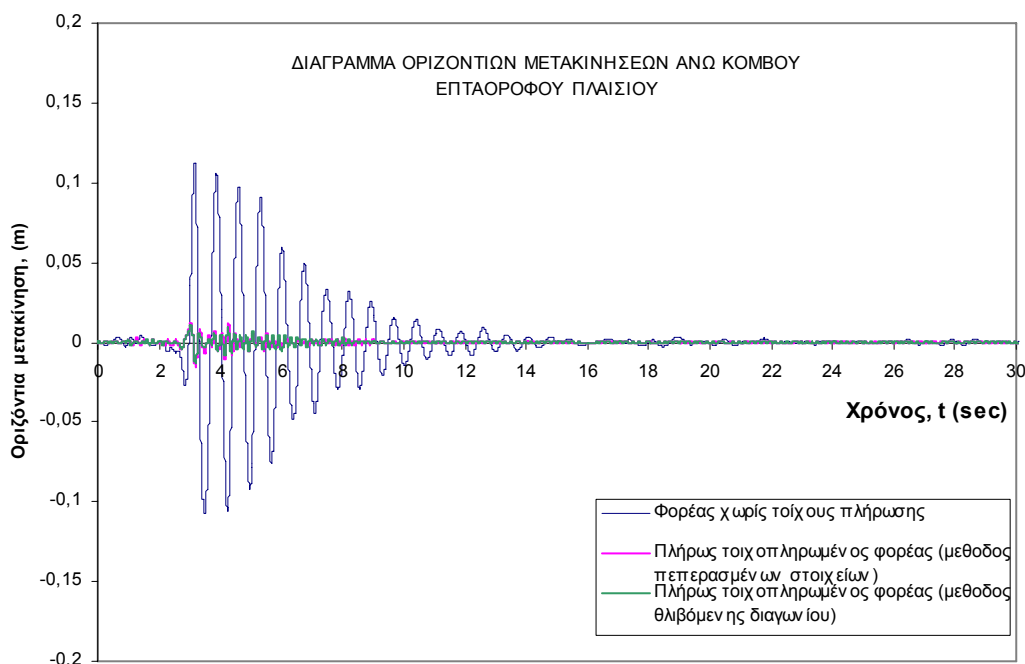
Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις (% h ορόφου)

|   |                                                                     | Όροφος |       |       |       |       |       |       |
|---|---------------------------------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   |                                                                     | 0-1    | 1-2   | 2-3   | 3-4   | 4-5   | 5-6   | 6-7   |
| — | Φορέας χωρίς τοιχοπληρώσεις                                         | 0,357  | 0,587 | 0,600 | 0,547 | 0,457 | 0,348 | 0,221 |
| — | Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθόδος πεπερ. στοιχείων)            | 0,050  | 0,053 | 0,061 | 0,064 | 0,065 | 0,061 | 0,055 |
| — | Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθόδος θλιβομ. διαγωνίου)           | 0,023  | 0,034 | 0,042 | 0,047 | 0,049 | 0,049 | 0,044 |
| — | Μερικώς τοιχοπληρωμένος φορέας - pilotis (μεθόδος πεπερ. στοιχείων) | 0,383  | 0,086 | 0,082 | 0,086 | 0,085 | 0,081 | 0,073 |
| — | Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθόδος θλιβομ. διαγωνίου)           | 0,392  | 0,069 | 0,073 | 0,080 | 0,081 | 0,008 | 0,075 |

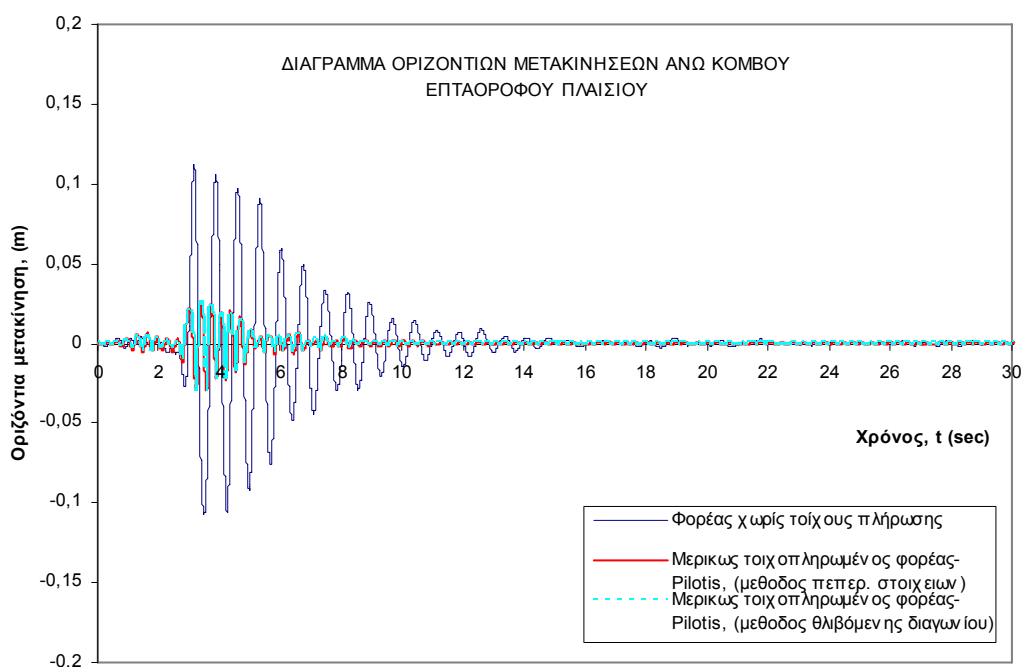
(β)

**Σχήμα 4.39.** (α) Διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων επταόροφου φορέα υπό τη σεισμική διέγερση της Καλαμάτας, β) Πίνακας τιμών μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων επταόροφου φορέα.

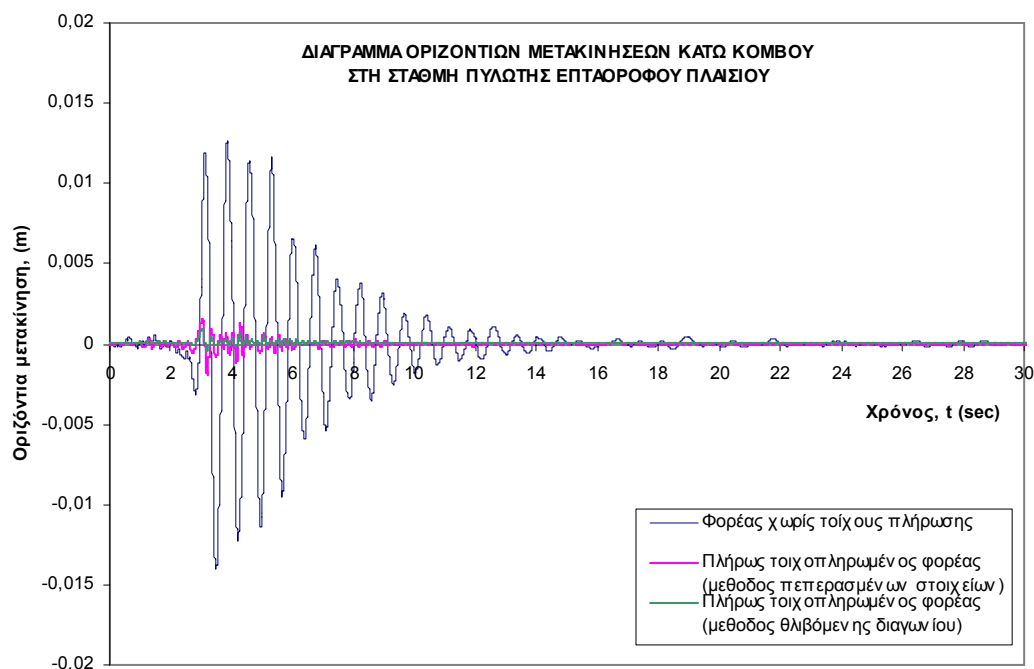
#### 4.2.2.4. Αποτελέσματα επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου.



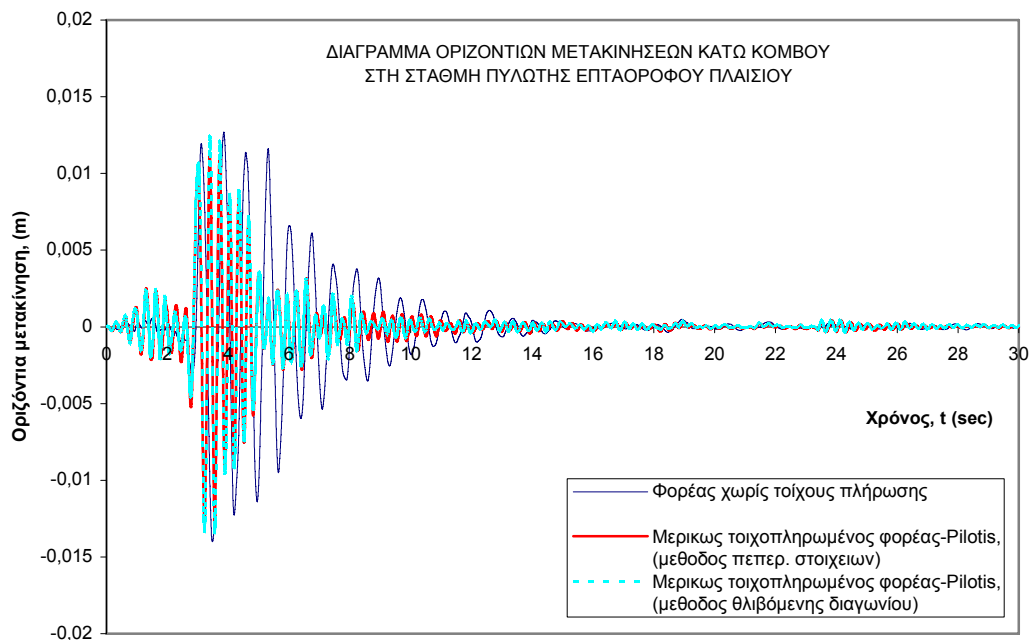
**Σχήμα 4.40.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων άνω κόμβου επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



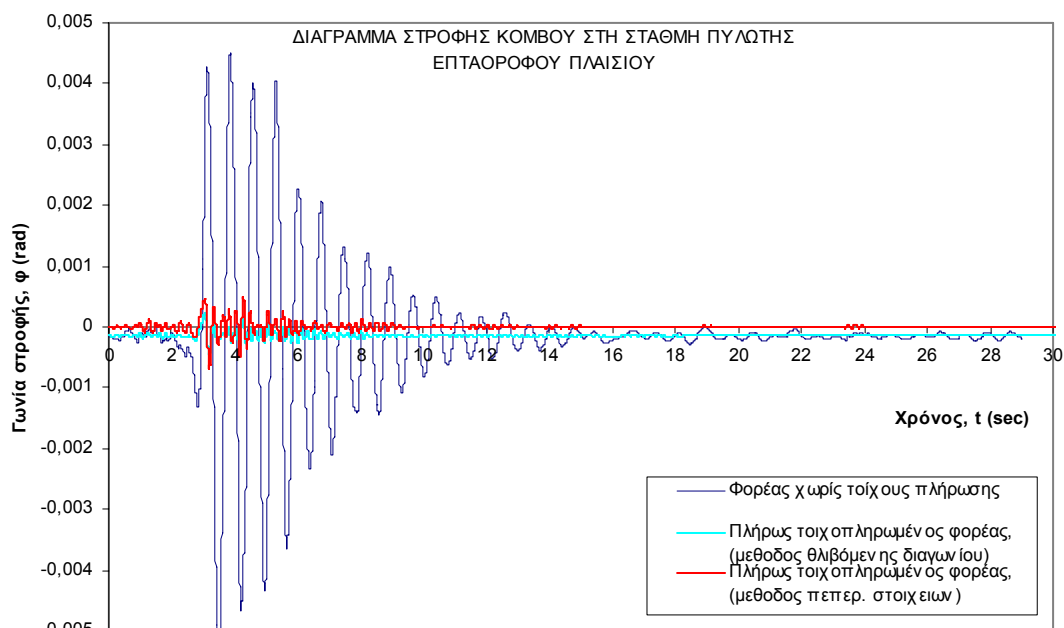
**Σχήμα 4.41.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων άνω κόμβου επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



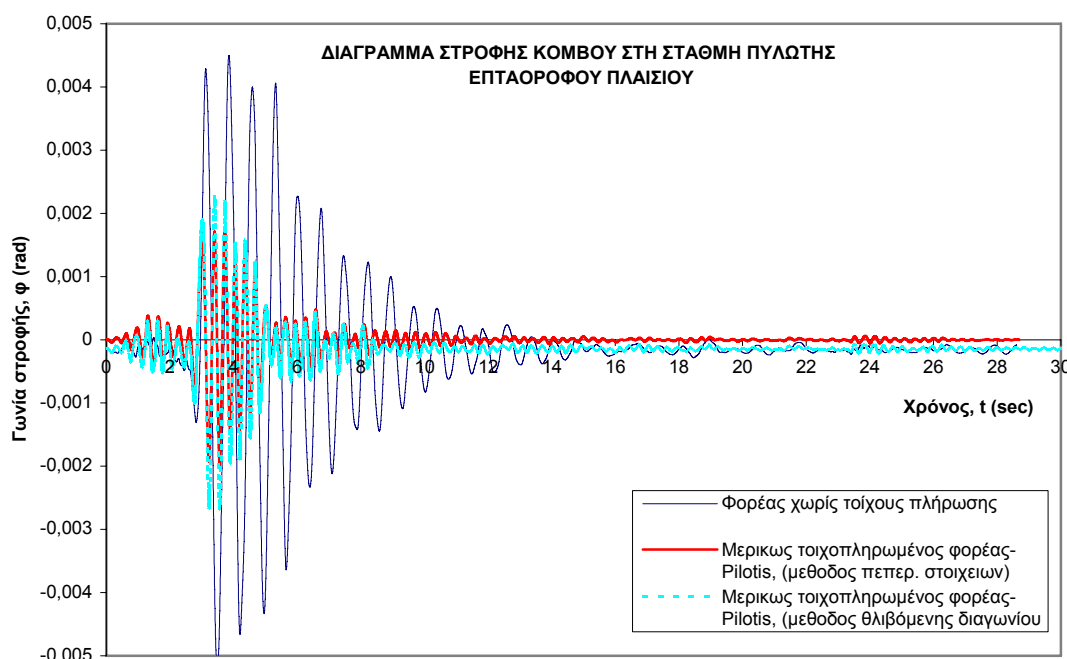
**Σχήμα 4.42.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων κόμβου στη στάθμη πυλωτής επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



**Σχήμα 4.43.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων κόμβου στη στάθμη πυλωτής επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).

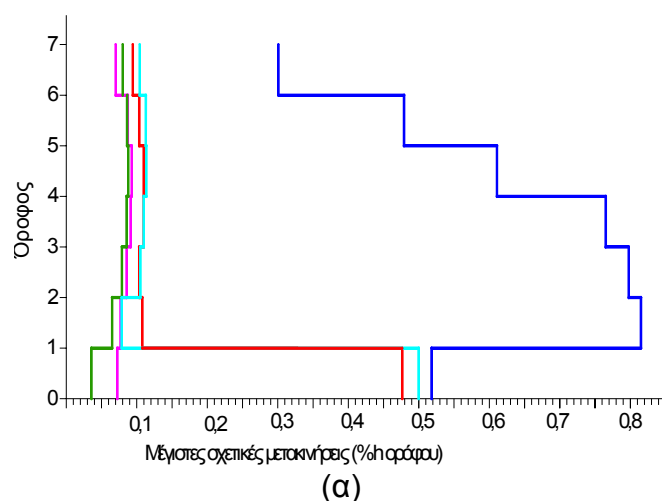


**Σχήμα 4.44.** Διάγραμμα στρώσης κόμβου στη στάθμη πυλωτής επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



**Σχήμα 4.45.** Διάγραμμα στρώσης κόμβου στη στάθμη πυλωτής επταόροφου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).





Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις (% h ορόφου)

|                                                                     | Όροφος |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                     | 0-1    | 1-2   | 2-3   | 3-4   | 4-5   | 5-6   | 6-7   |
| Φορέας χωρίς τοιχοπληρώσεις                                         | 0,519  | 0,816 | 0,795 | 0,764 | 0,613 | 0,479 | 0,306 |
| Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθόδος πεπερ. στοιχείων)            | 0,072  | 0,076 | 0,086 | 0,091 | 0,092 | 0,088 | 0,080 |
| Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθόδος θλβου, διαγωνίου)            | 0,036  | 0,065 | 0,079 | 0,086 | 0,088 | 0,087 | 0,082 |
| Μερικώς τοιχοπληρωμένος φορέας - pilotis (μεθόδος πεπερ. στοιχείων) | 0,477  | 0,108 | 0,103 | 0,109 | 0,109 | 0,103 | 0,094 |
| Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθόδος θλβου, διαγωνίου)            | 0,500  | 0,078 | 0,105 | 0,109 | 0,112 | 0,110 | 0,104 |

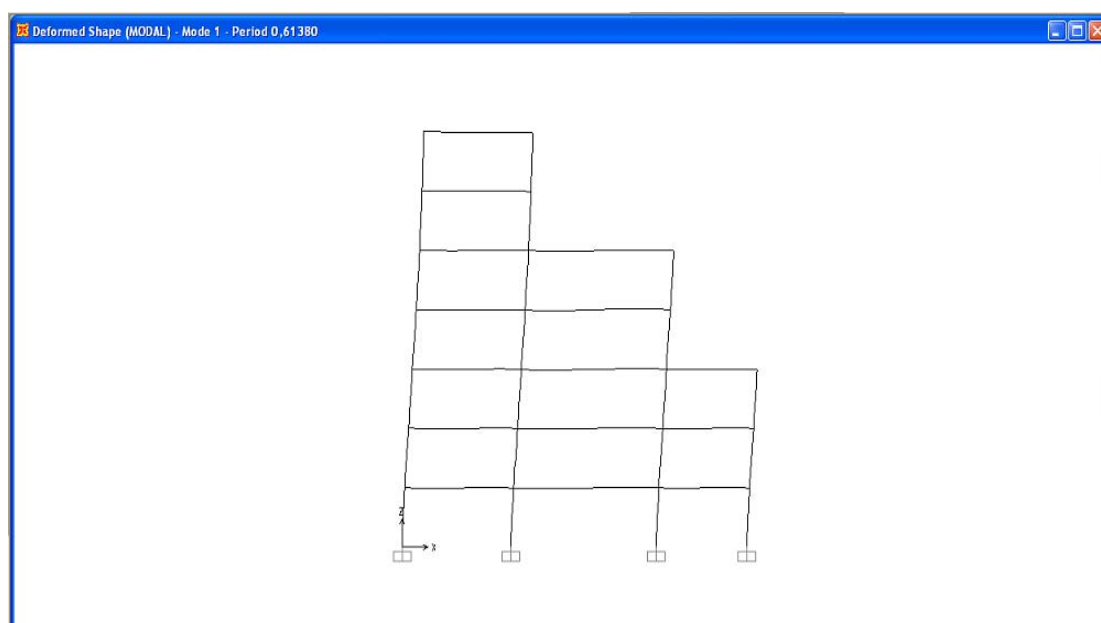
(β)

**Σχήμα 4.46.** (α) Διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων επταόροφου φορέα υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου β) Πίνακας τιμών μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων επταόροφου φορέα.

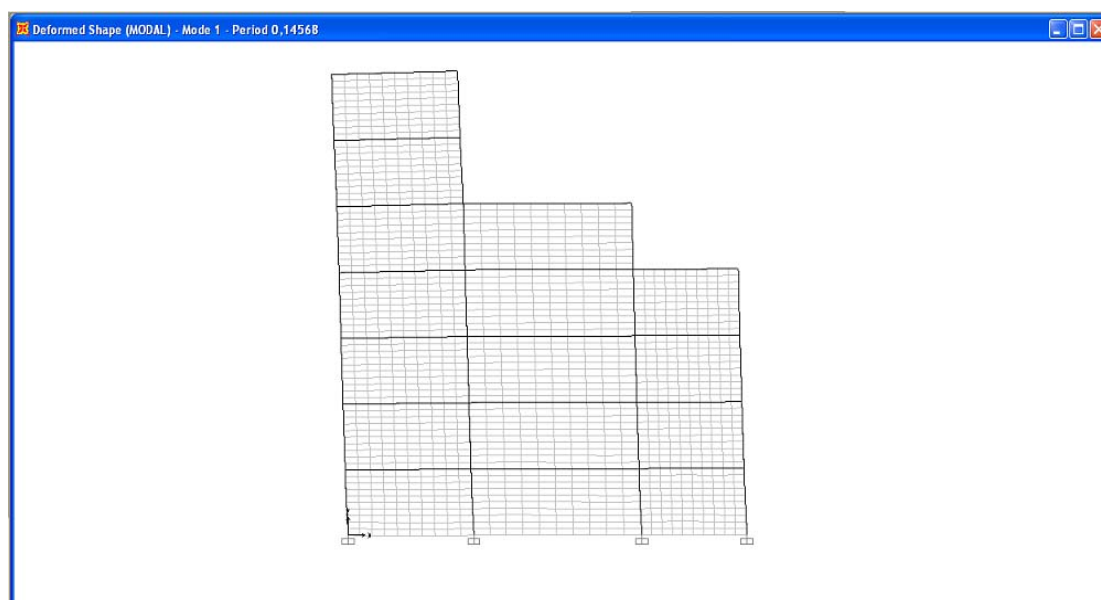
Ενδιαφέρον στην περίπτωση του επταόροφου φορέα παρουσιάζει το γεγονός ότι οι μετατοπίσεις στη στάθμη της πυλωτής του φορέα με πυλωτή προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό τις αντίστοιχες του "γυμνού" φορέα, την ίδια στιγμή που οι μετατοπίσεις της κορυφής του φορέα με πυλωτή είναι αρκετά μικρότερες από τις αντίστοιχες του φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, όπως φαίνεται στα διαγράμματα των οριζόντιων μετατοπίσεων αλλά και στα διαγράμματα των σχετικών μετατοπίσεων. Λαμβάνοντας επίσης υπόψη ότι αντίστοιχο γεγονός εμφανίζεται και με τις στροφές των υποστυλωμάτων στην στάθμη της πυλωτής, είναι φανερό ότι η ύπαρξη πυλωτής επιβαρύνει ιδιαίτερα τα φέροντα στοιχεία του ισογείου και κυρίως τα υποστυλώματα. Αντίθετα, ο πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας εμφανίζει σχετικά χαμηλές οριζόντιες μετατοπίσεις στην κορυφή αλλά και στο ισόγειο, ενώ και οι σχετικές μετατοπίσεις μεταξύ των ζυγωμάτων του είναι αρκετά ομαλές.

### 4.2.3. Αποτελέσματα δυναμικών αναλύσεων πολυώροφου πλαισιακού ασύμμετρου φορέα

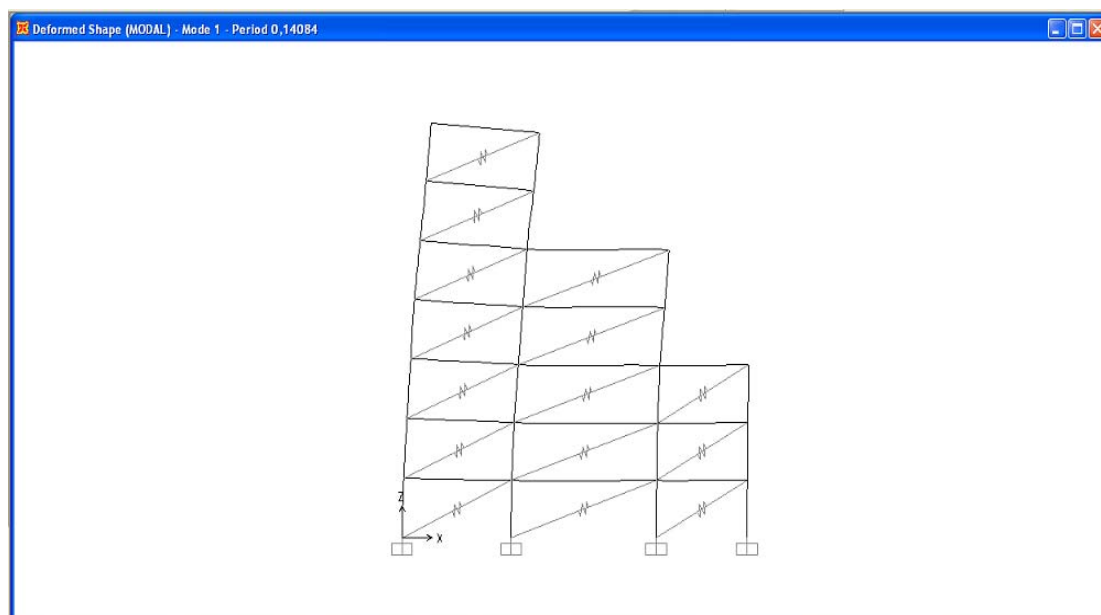
#### 4.2.3.1. Παρουσίαση ιδιομορφών πολυώροφου ασύμμετρου φορέα



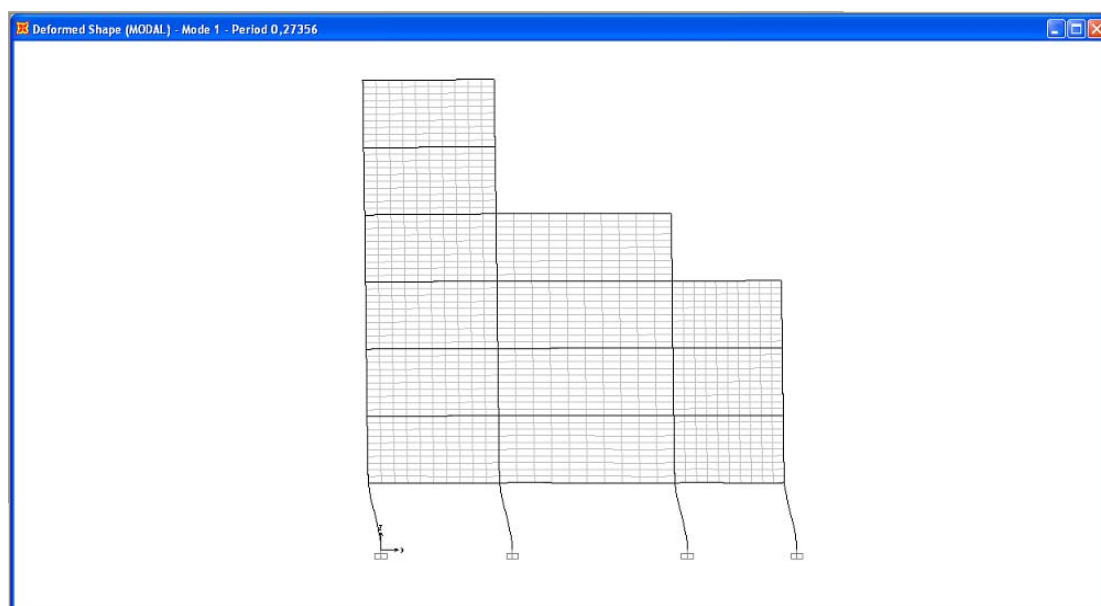
**Σχήμα 4.47.** 1<sup>η</sup> ιδιομορφή πολυώροφου ασύμμετρου φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις ( $T_1=0.61380$  sec).



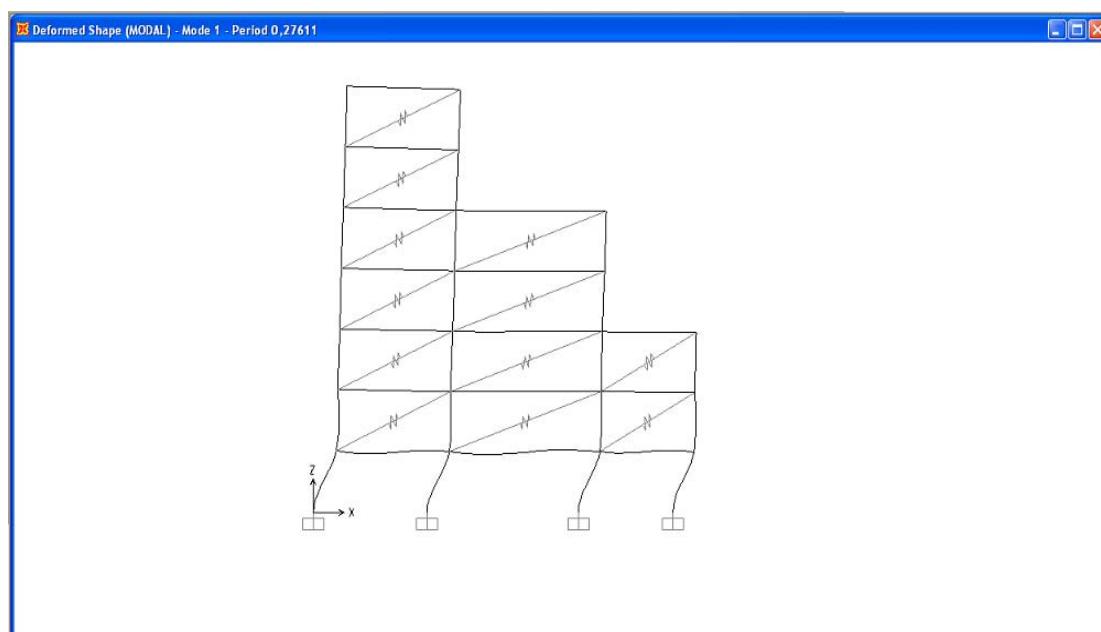
**Σχήμα 4.48.** 1<sup>η</sup> ιδιομορφή πολυώροφου ασύμμετρου φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένου με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων ( $T_1=0.14568$  sec).



**Σχήμα 4.49.** 1<sup>η</sup> ιδιομορφή πολυώροφου ασύμμετρου φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένου με τη μέθοδο της θλιβόμενης διαγωνίου ( $T_1=0.14084$  sec).



**Σχήμα 4.50.** 1<sup>η</sup> ιδιομορφή πολυώροφου ασύμμετρου φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένου (pilotis) με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων ( $T_1=0.27356$  sec).

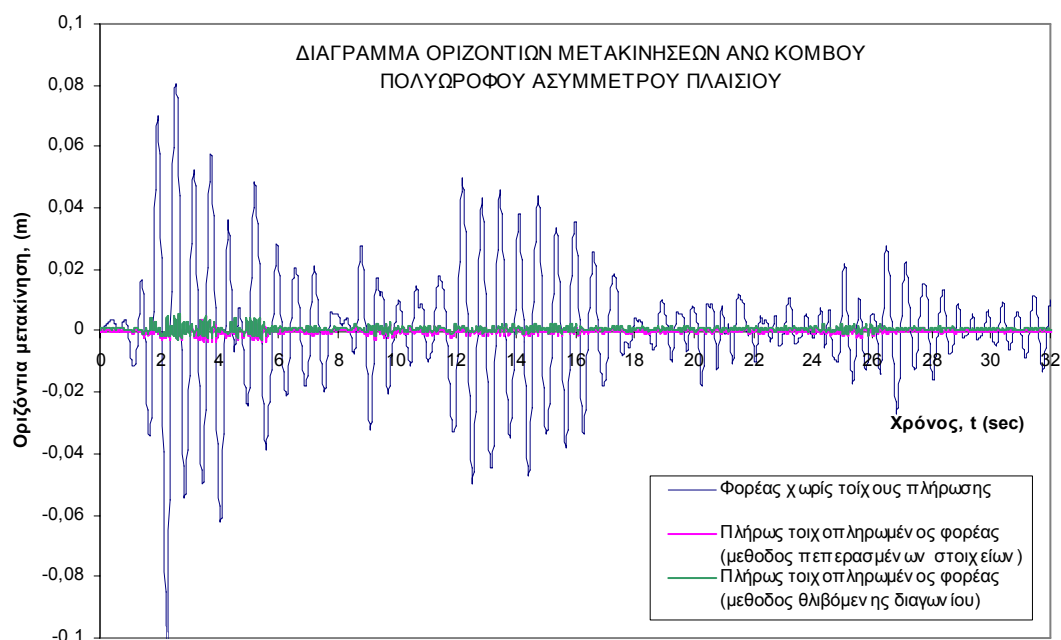


**Σχήμα 4.51.** 1<sup>η</sup> ιδιομορφή πολυώροφου ασύμμετρου φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένου (pilotis) με τη μέθοδο της θλιβόμενης διαγωνίου ( $T_1=0.27611$  sec).

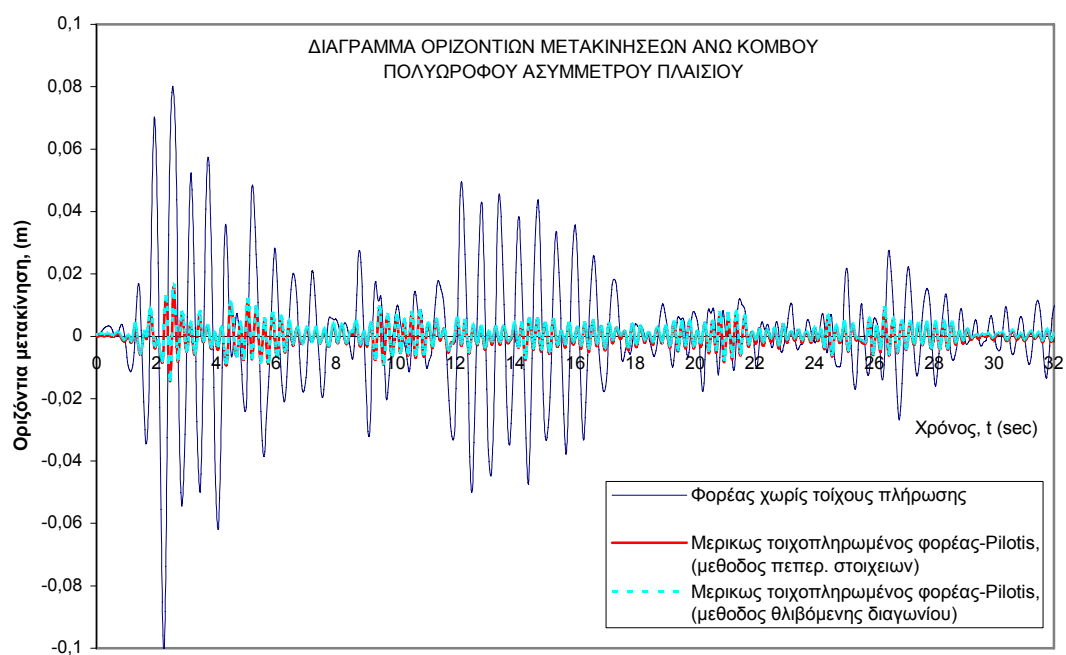
Η αύξηση της δυσκαμψίας του φορέα λόγω της ύπαρξης τοιχοπληρώσεων είναι εμφανής και στην περίπτωση του πολυώροφου ασύμμετρου φορέα, χωρίς να προκύπτει κάτι διαφορετικό από τα αποτελέσματα των ιδιομορφών σε σχέση με προηγούμενους φορείς.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δυναμικών αναλύσεων του πολυώροφου ασύμμετρου πλαισιακού φορέα για τις σεισμικές διεγέρσεις του Elcentro, του Αιγίου και της Καλαμάτας. Εξετάζεται η επιρροή των τοιχοπληρώσεων στη σεισμική απόκριση των φορέων σε συνάρτηση με την ύπαρξη συμμετρίας ή μη στο φορέα.

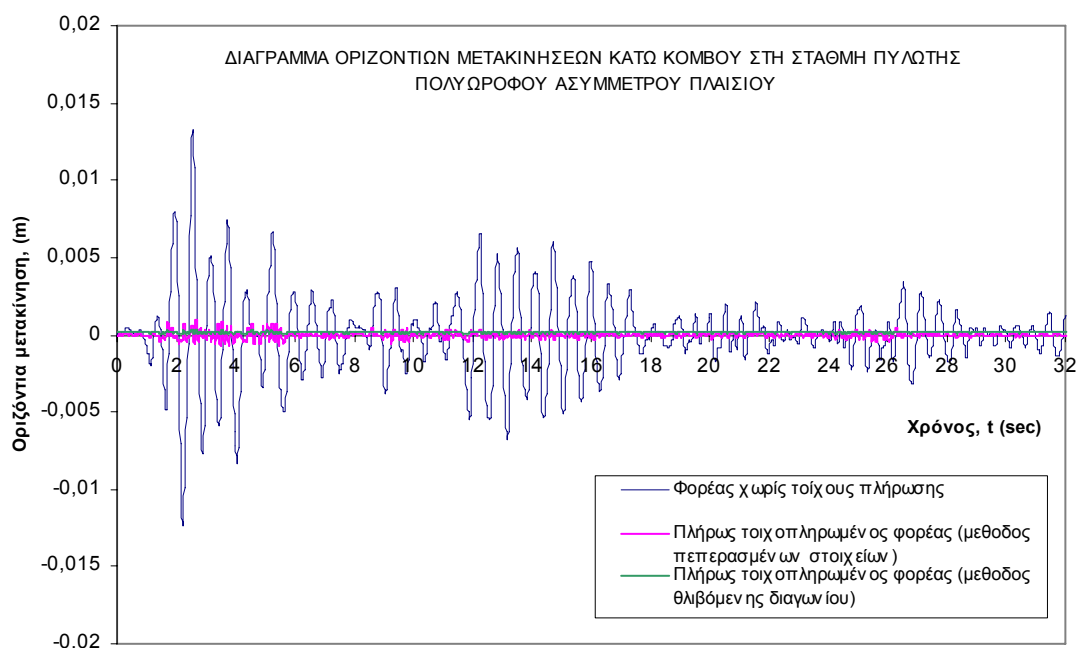
#### 4.2.3.2. Αποτελέσματα πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro.



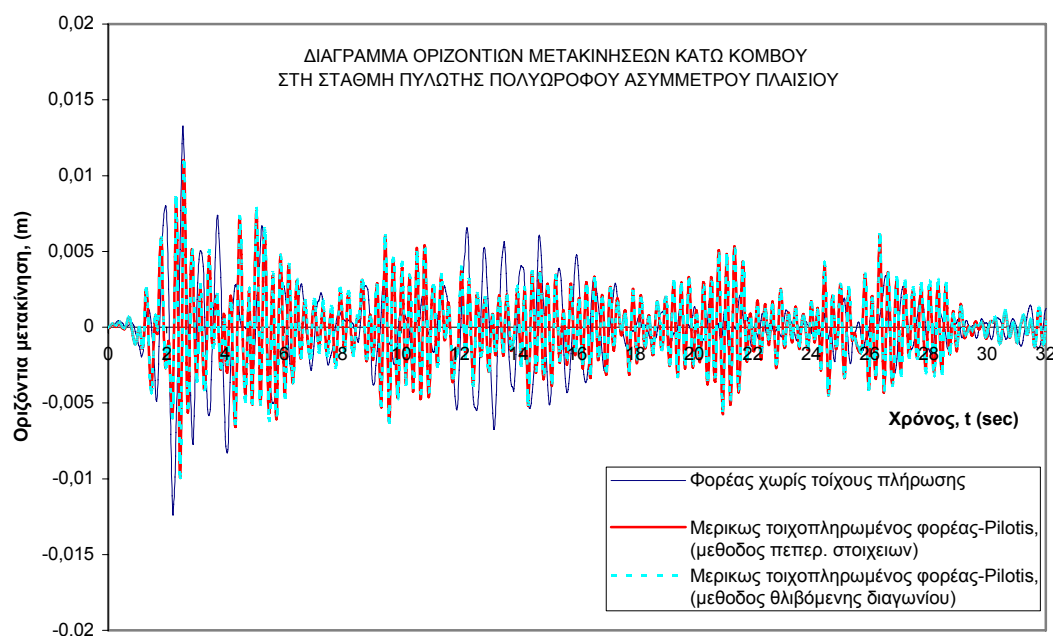
**Σχήμα 4.52.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων άνω κόμβου πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



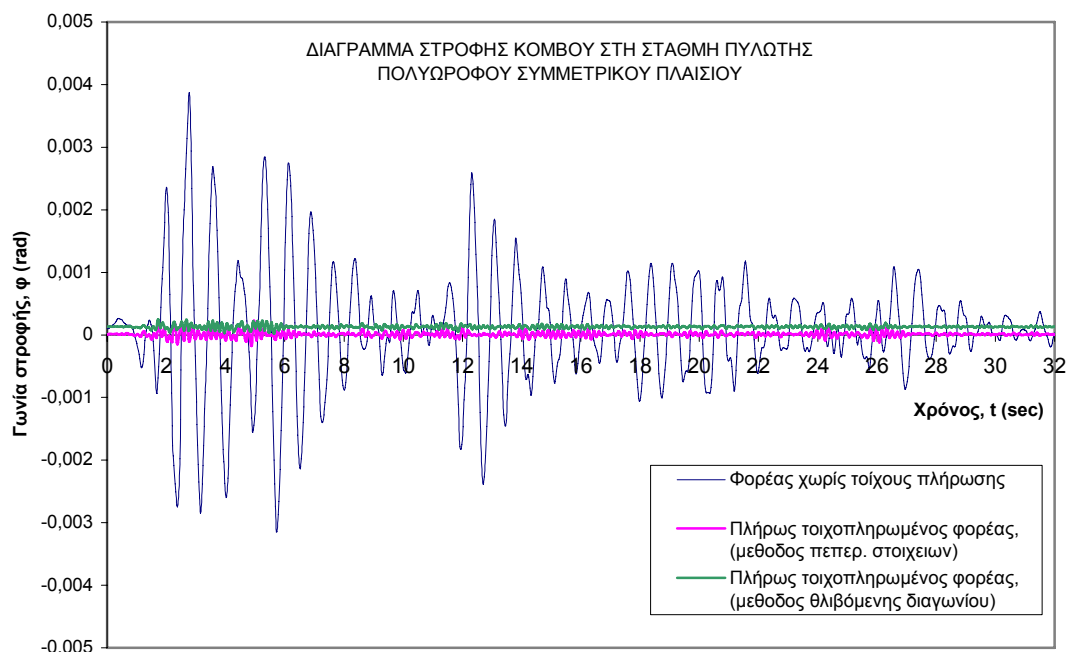
**Σχήμα 4.53.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων άνω κόμβου πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



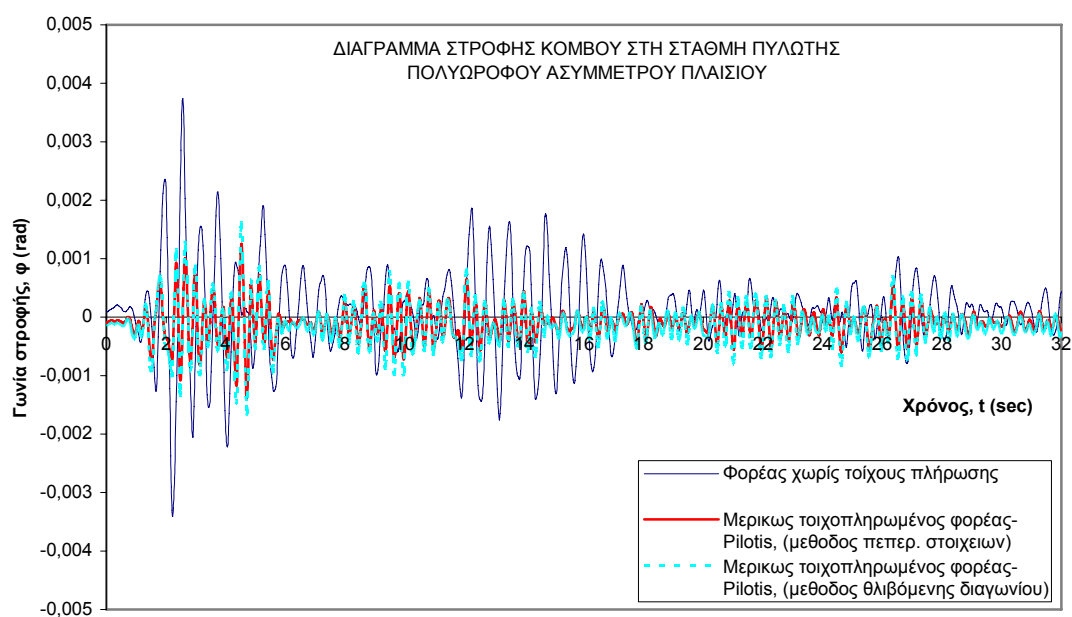
**Σχήμα 4.54.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων κόμβου στη στάθμη πυλωτής πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



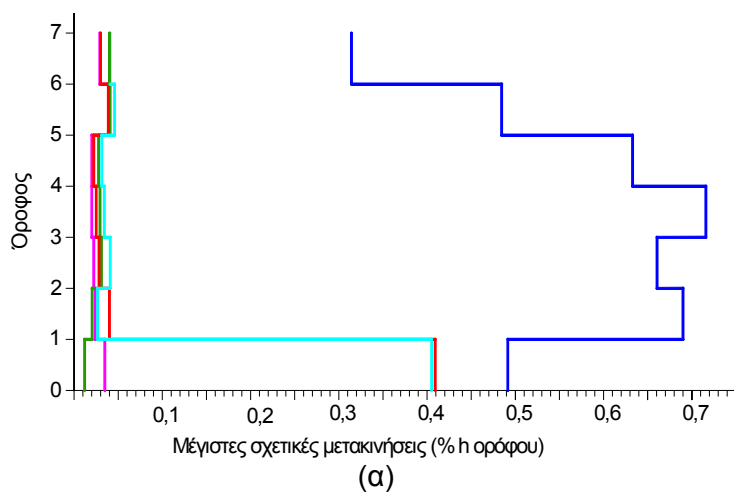
**Σχήμα 4.55.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων κόμβου στη στάθμη πυλωτής πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



**Σχήμα 4.56.** Διάγραμμα στροφής κόμβου στη στάθμη πυλωτής πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



**Σχήμα 4.57.** Διάγραμμα στροφής κόμβου στη στάθμη πυλωτής πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις (% h ορόφου)

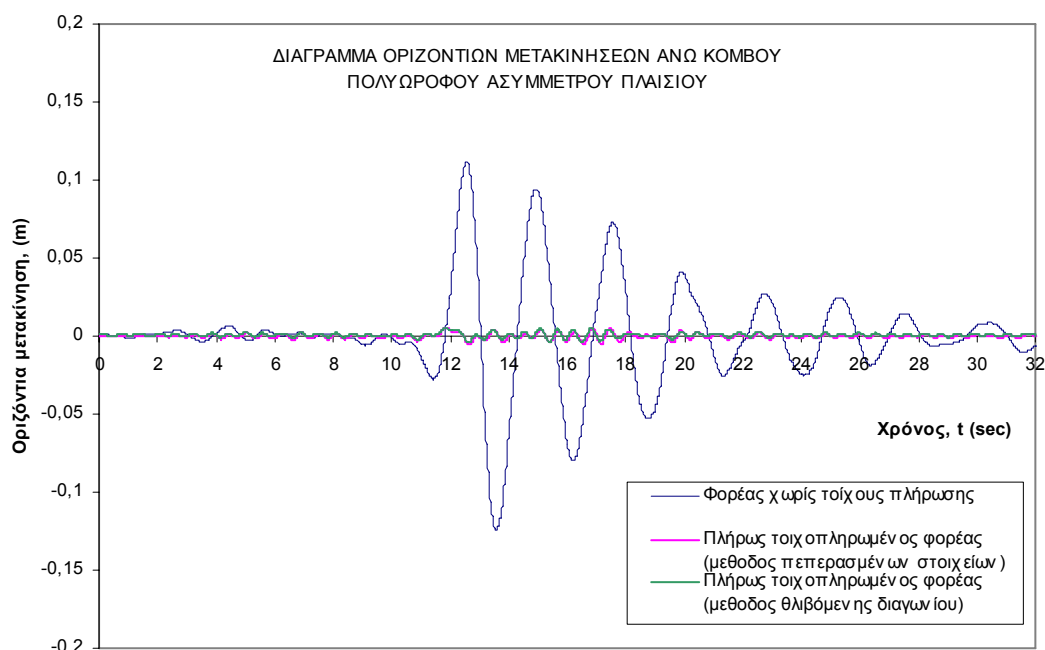
|                                                                     | Όροφος |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                     | 0-1    | 1-2   | 2-3   | 3-4   | 4-5   | 5-6   | 6-7   |
| Φορέας χωρίς τοιχοπληρώσεις                                         | 0,492  | 0,690 | 0,671 | 0,716 | 0,632 | 0,484 | 0,314 |
| Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθοδος πεπερ. στοιχειων)            | 0,035  | 0,024 | 0,022 | 0,020 | 0,020 | 0,038 | 0,029 |
| Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθοδος θλιβομ. διαγωνιου)           | 0,012  | 0,020 | 0,031 | 0,029 | 0,028 | 0,046 | 0,040 |
| Μερικώς τοιχοπληρωμένος φορέας - pilotis (μεθοδος πεπερ. στοιχειων) | 0,408  | 0,040 | 0,028 | 0,025 | 0,022 | 0,039 | 0,030 |
| Μερικώς τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθοδος θλιβομ. διαγωνιου)          | 0,405  | 0,024 | 0,041 | 0,034 | 0,032 | 0,047 | 0,041 |

(β)

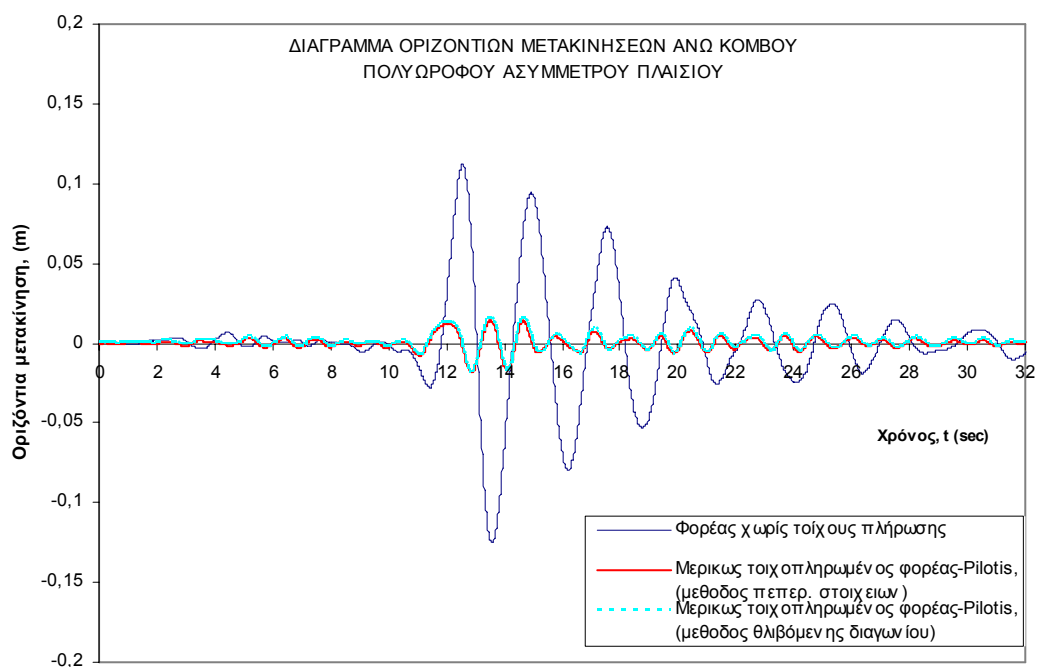
**Σχήμα 4.58.** (α) Διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων πολυώροφου ασύμμετρου φορέα υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro β) Πίνακας τιμών μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων πολυώροφου φορέα.



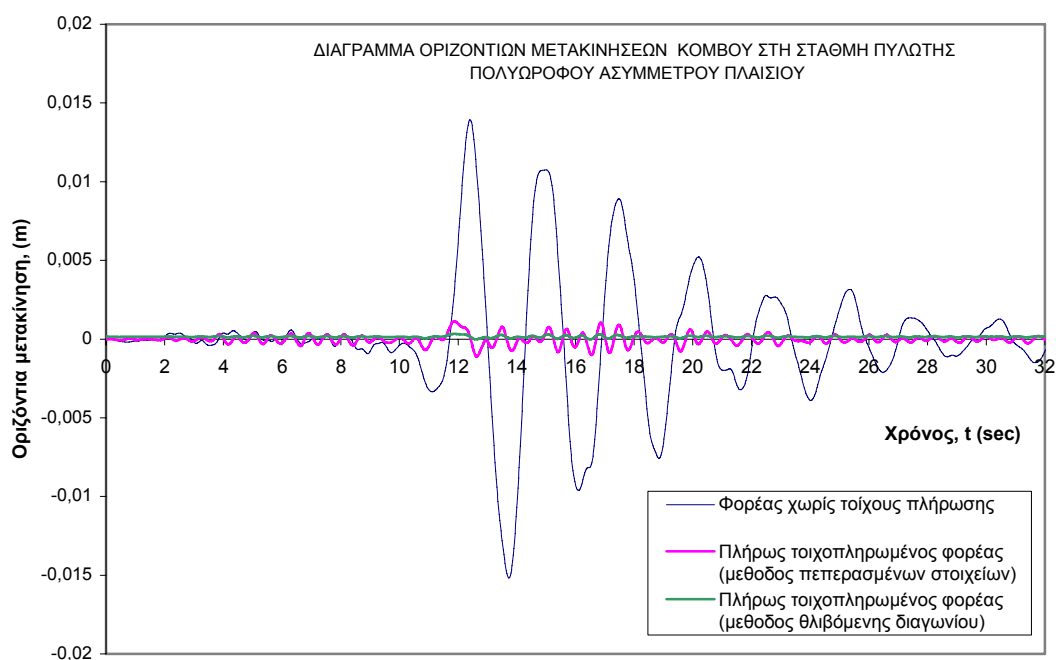
#### 4.2.3.3. Αποτελέσματα πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου.



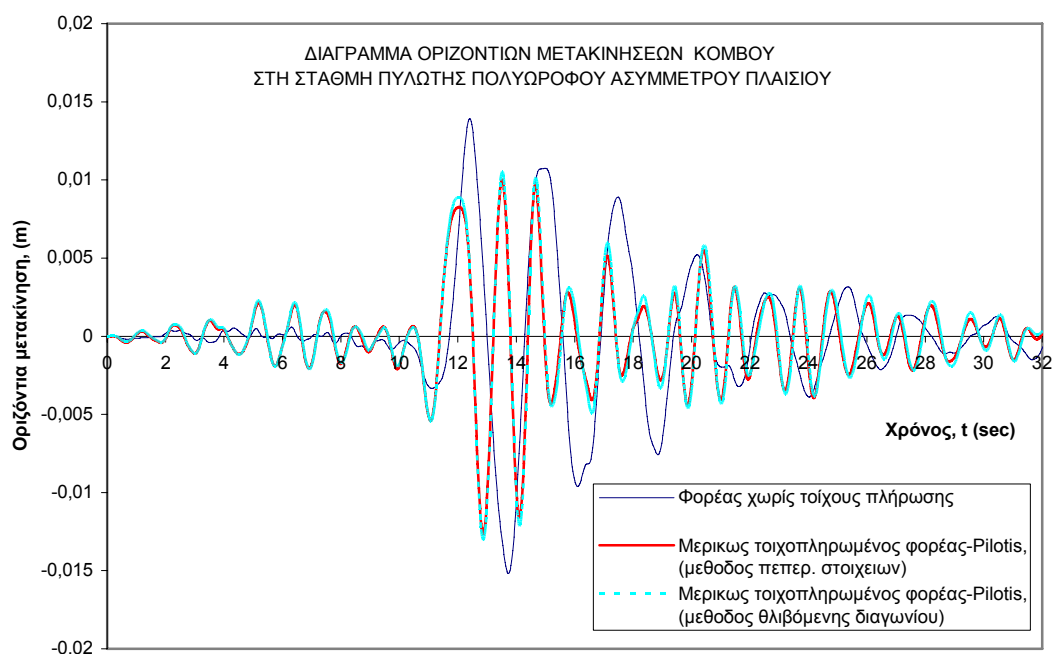
**Σχήμα 4.59.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων άνω κόμβου πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



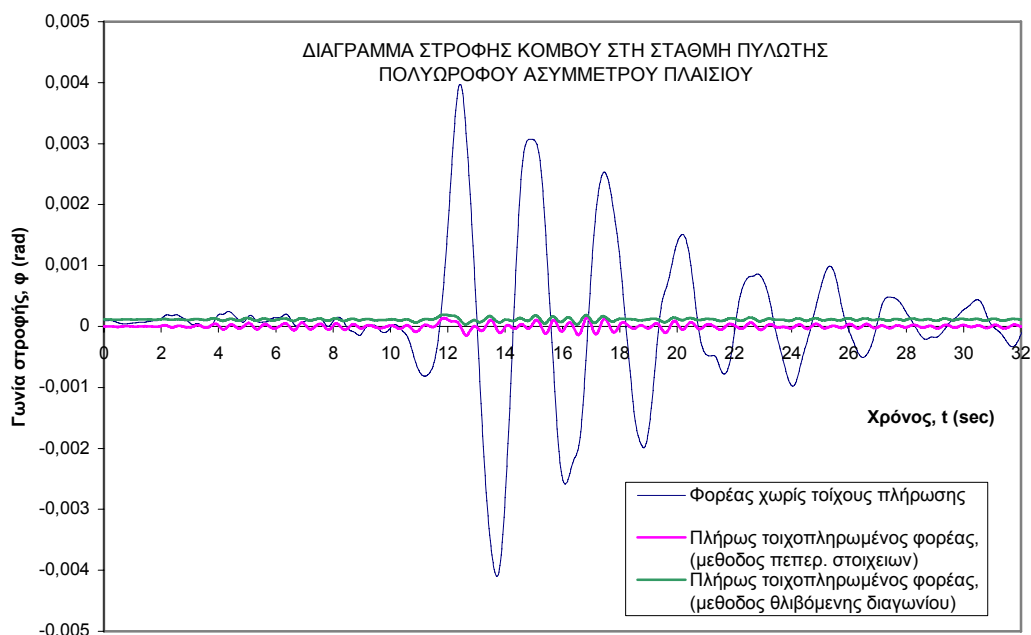
**Σχήμα 4.60.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων άνω κόμβου πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



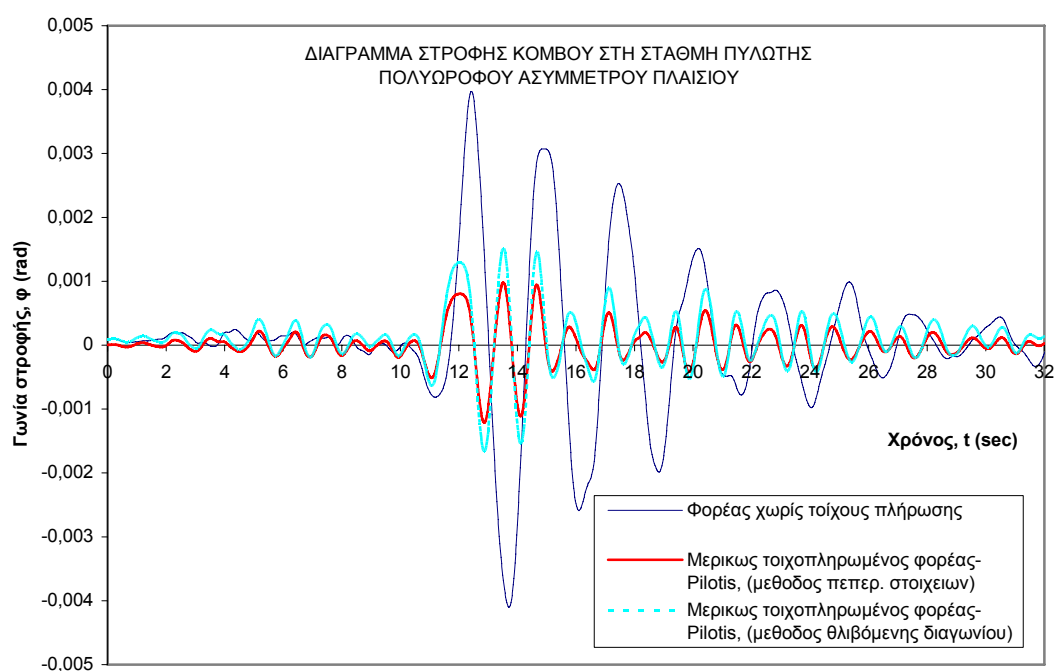
**Σχήμα 4.61.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων κόμβου στη στάθμη πυλωτής πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



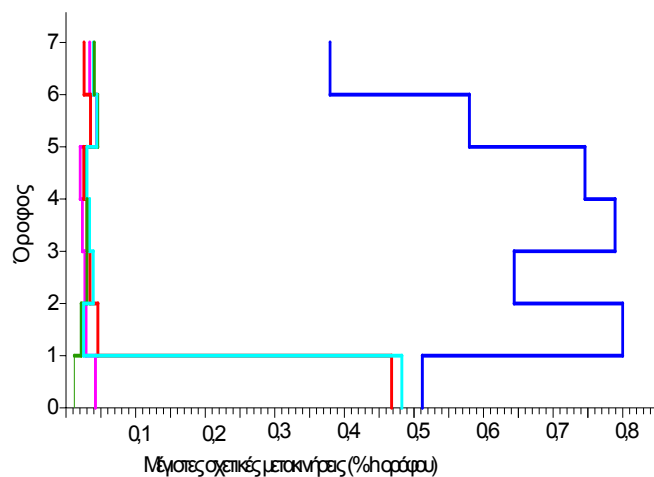
**Σχήμα 4.62** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων κόμβου στη στάθμη πυλωτής πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



**Σχήμα 4.63.** Διάγραμμα στρώσης κόμβου στη στάθμη πυλωτής πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



**Σχήμα 4.64.** Διάγραμμα στρώσης κόμβου στη στάθμη πυλωτής πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



(α)

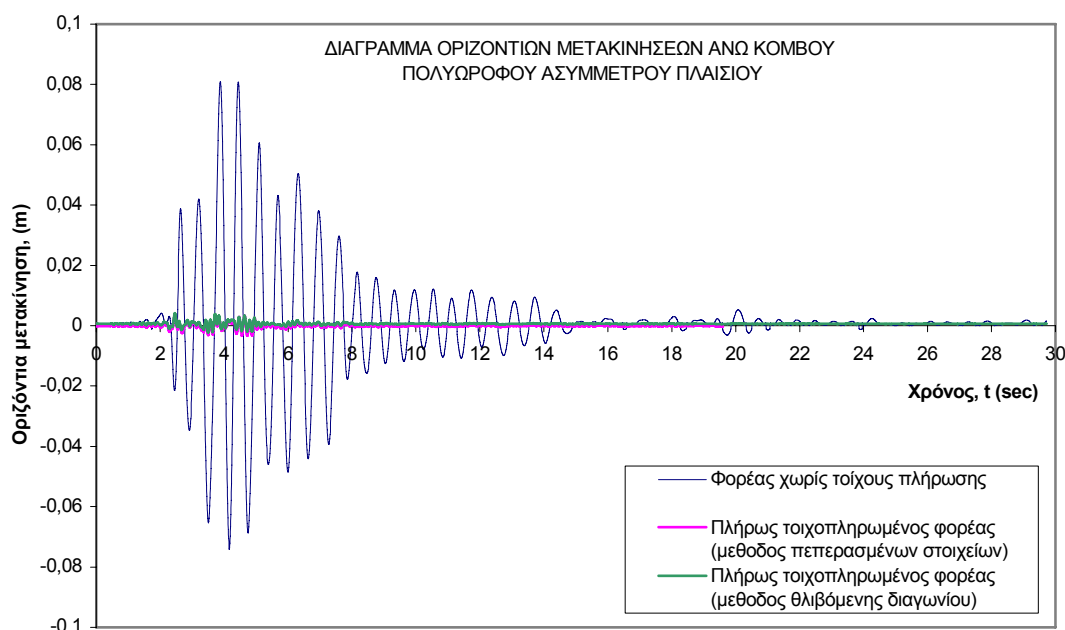
Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις (%h ορόφου)

|                                                                     | Όροφος |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                     | 0-1    | 1-2   | 2-3   | 3-4   | 4-5   | 5-6   | 6-7   |
| Φορέας χωρίς τοιχοπληρώσεις                                         | 0,562  | 0,804 | 0,643 | 0,788 | 0,747 | 0,579 | 0,378 |
| Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθόδος πεπερ. στοιχείων)            | 0,041  | 0,028 | 0,027 | 0,025 | 0,023 | 0,042 | 0,032 |
| Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθόδος θλιβ. διαγωνίου)             | 0,012  | 0,021 | 0,030 | 0,030 | 0,029 | 0,046 | 0,041 |
| Μερικώς τοιχοπληρωμένος φορέας - pilotis (μεθόδος πεπερ. στοιχείων) | 0,468  | 0,044 | 0,034 | 0,030 | 0,026 | 0,035 | 0,027 |
| Μερικώς τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθόδος θλιβ. διαγωνίου)            | 0,482  | 0,025 | 0,039 | 0,034 | 0,030 | 0,044 | 0,039 |

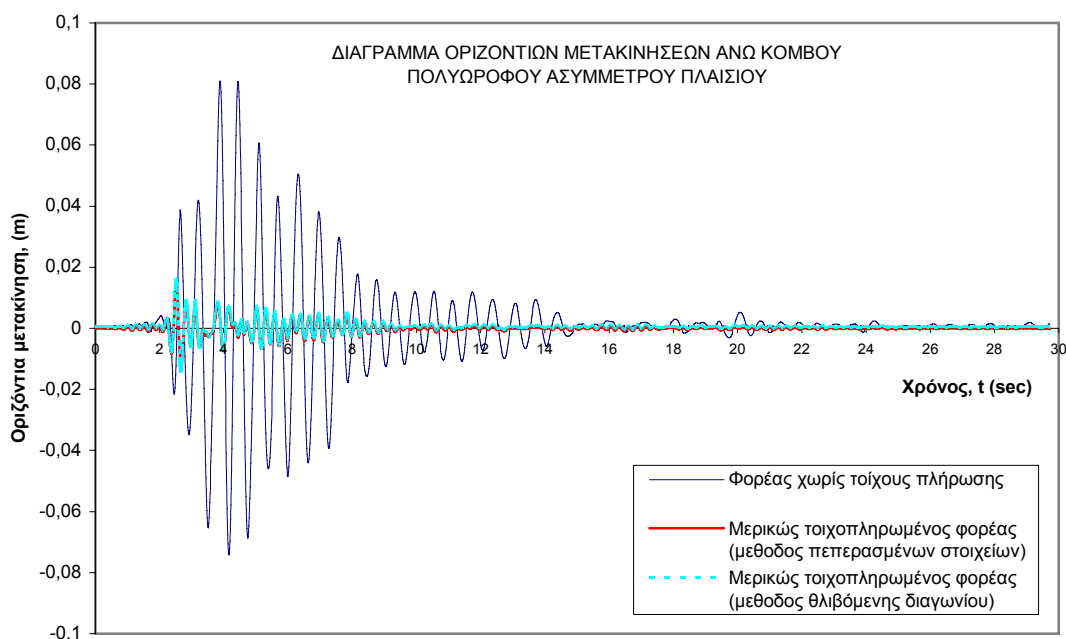
(β)

**Σχήμα 4.65.** (α) Διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων πολυώροφου ασύμμετρου φορέα υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου β) Πίνακας τιμών μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων πολυώροφου φορέα.

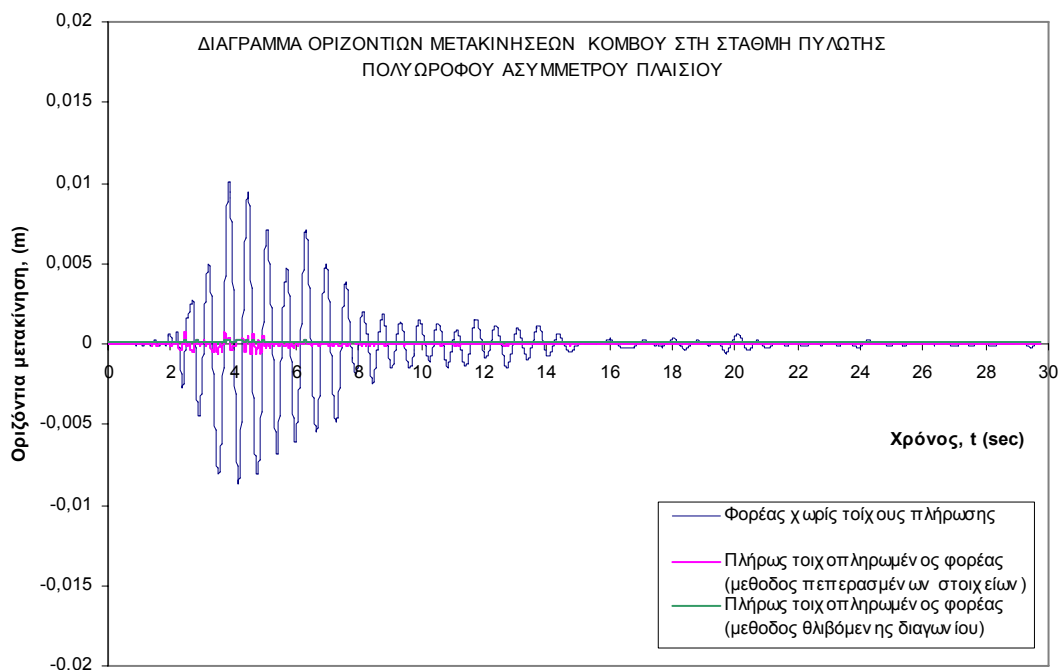
#### 4.2.3.4. Αποτελέσματα πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση της Καλαμάτας.



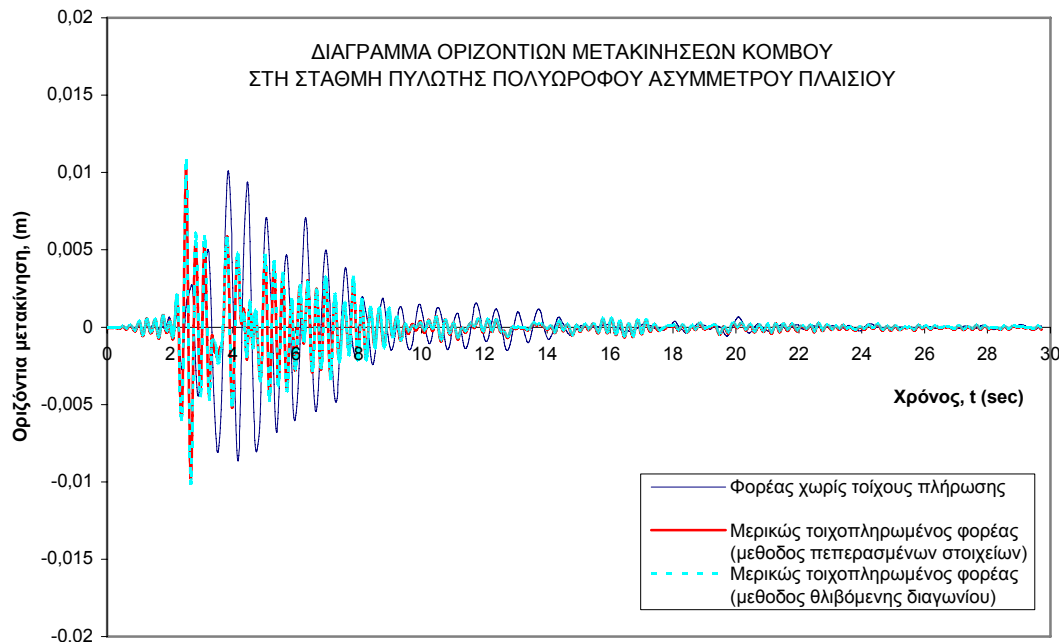
**Σχήμα 4.66.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων άνω κόμβου πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση της Καλαμάτας θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



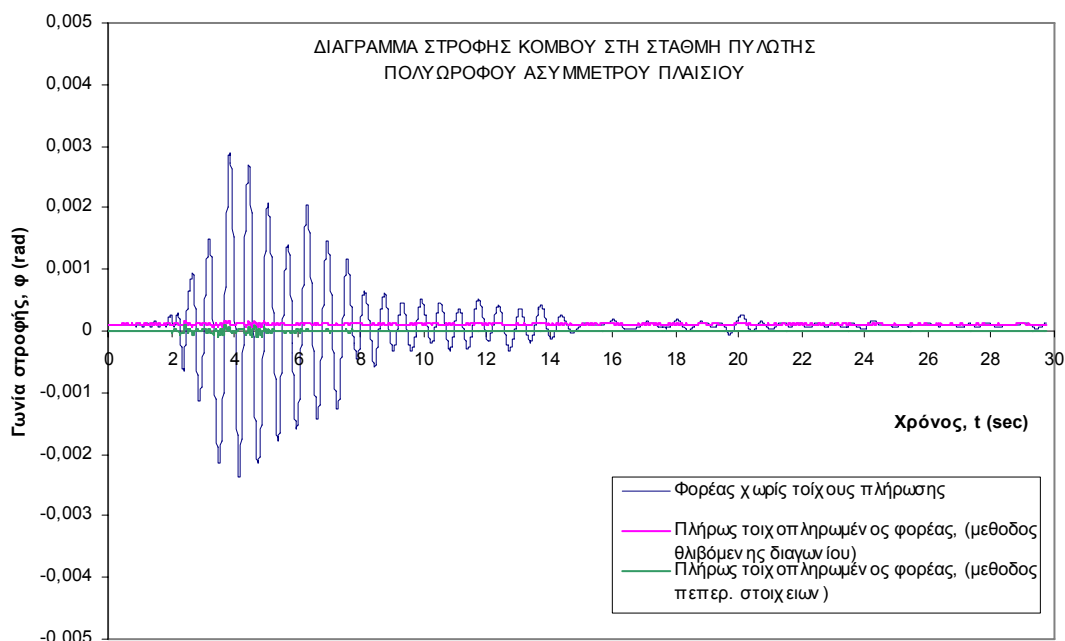
**Σχήμα 4.67.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων άνω κόμβου πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση της Καλαμάτας θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



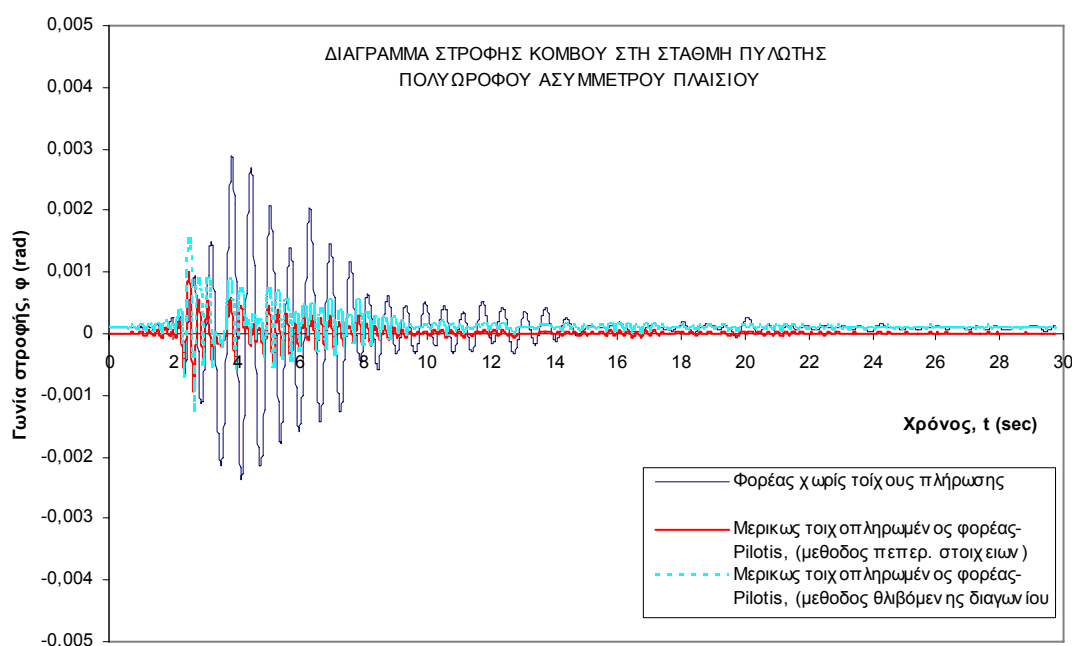
**Σχήμα 4.68.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων κόμβου στη στάθμη πυλωτής πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση της Καλαμάτας θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



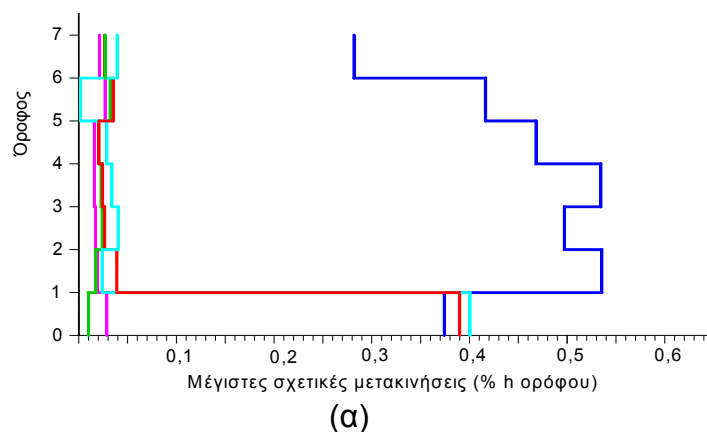
**Σχήμα 4.69.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων κόμβου στη στάθμη πυλωτής πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση της Καλαμάτας θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



**Σχήμα 4.70.** Διάγραμμα στροφής κόμβου στη στάθμη πυλωτής πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση της Καλαμάτας θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



**Σχήμα 4.71.** Διάγραμμα στροφής κόμβου στη στάθμη πυλωτής πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση της Καλαμάτας θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις (% h ορόφου)

|                                                                     | Όροφος |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                     | 0-1    | 1-2   | 2-3   | 3-4   | 4-5   | 5-6   | 6-7   |
| Φορέας χωρίς τοιχοπληρώσεις                                         | 0,374  | 0,535 | 0,498 | 0,534 | 0,468 | 0,417 | 0,282 |
| Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθοδος πεπερ. στοιχειων)            | 0,029  | 0,018 | 0,016 | 0,015 | 0,015 | 0,028 | 0,021 |
| Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθοδος θλιβομ. διαγωνιου)           | 0,010  | 0,016 | 0,024 | 0,023 | 0,021 | 0,032 | 0,028 |
| Μερικως τοιχοπληρωμένος φορέας - pilotis (μεθοδος πεπερ. στοιχειων) | 0,387  | 0,038 | 0,027 | 0,024 | 0,021 | 0,036 | 0,027 |
| Μερικως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθοδος θλιβομ. διαγωνιου)          | 0,402  | 0,024 | 0,039 | 0,033 | 0,029 | 0,004 | 0,039 |

(β)

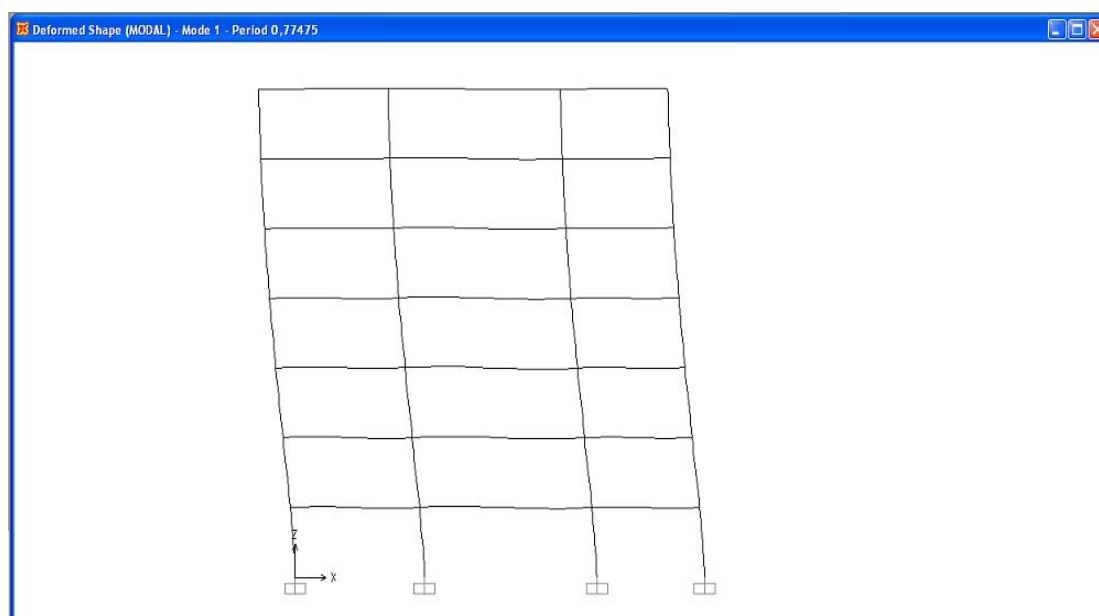
**Σχήμα 4.72.** (α) Διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων πολυώροφου ασύμμετρου φορέα υπό τη σεισμική διέγερση της Καλαμάτας. β) Πίνακας τιμών μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων πολυώροφου φορέα.

Τα αποτελέσματα των δυναμικών αναλύσεων του πολυώροφου ασύμμετρου φορέα έρχονται σε πλήρη αντιστοιχία με αυτά που έχουν παρουσιαστεί στις προηγούμενες παραγράφους αναφορικά με την επίδραση των τοιχοπληρώσεων στη σεισμική απόκριση των φορέων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην περίπτωση αυτή αποτελεί το γεγονός ότι υπό τη σεισμική διέγερση της Καλαμάτας η οριζόντια μετακίνηση του πλαισίου με πυλωτή στην στάθμη του κατώτερου ζυγώματος εμφανίζεται μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του ελευθέρου από τοιχοπληρώσεις φορέα (Σχ.4.69, 4.72), γεγονός που μπορεί να οφείλεται στην αύξηση της ταλαντούμενης μάζας ή και στην εμφάνιση φαινομένων “συντονισμού”, καθώς η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος φορέα με πυλωτή ( $T_1 \sim 0.27 \text{ sec}$ , Σχ.4.50,4.51), βρίσκεται πολύ κοντά στη δεσπόζουσα περίοδο του σεισμού της Καλαμάτας ( $0,25 \text{ sec} < T < 0.30 \text{ sec}$ , Σχ.3.13). Ανάλογο φαινόμενο εμφανίζεται και στα αποτελέσματα του πολυώροφου συμμετρικού πλαισίου που παρουσιάζονται στη συνέχεια.

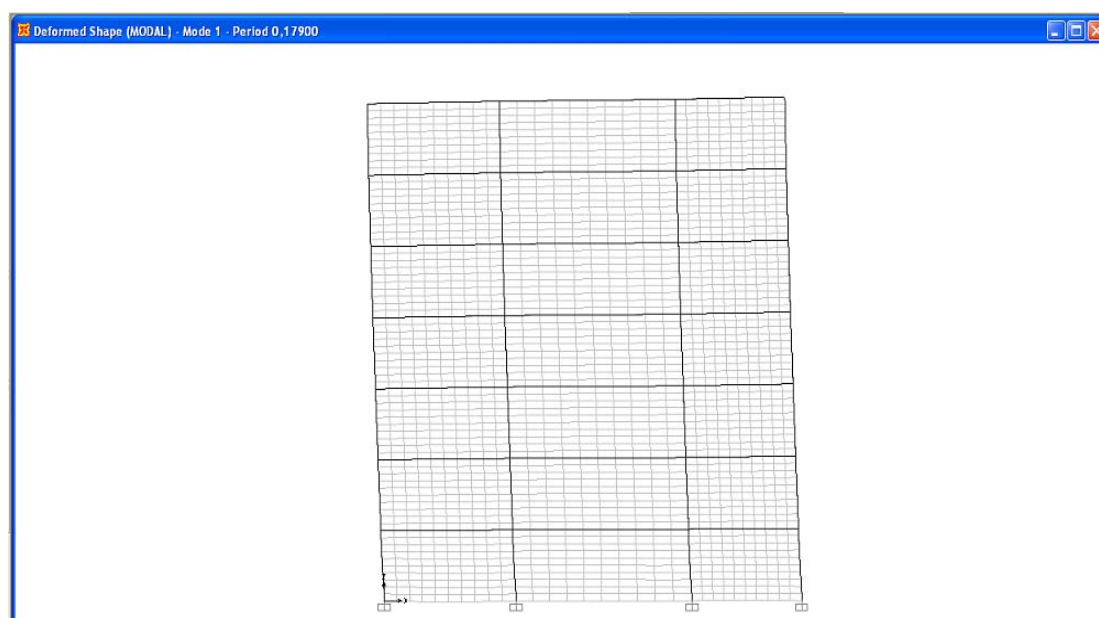


#### 4.2.4. Αποτελέσματα δυναμικών αναλύσεων πολυώροφου πλαισιακού συμμετρικού φορέα

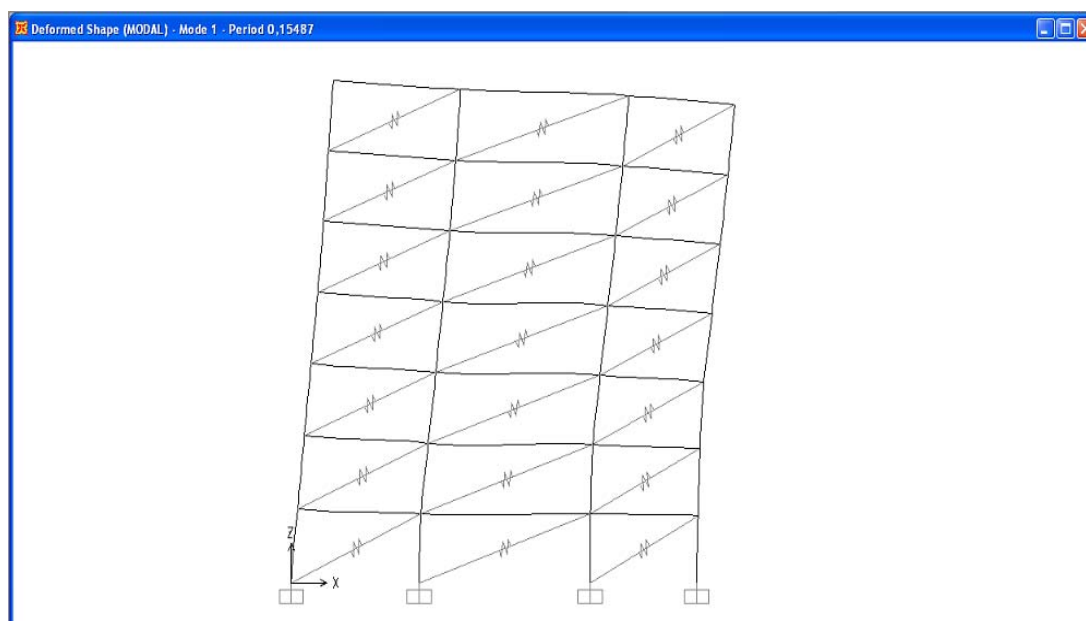
##### 4.2.4.1. Παρουσίαση ιδιομορφών πολυώροφου συμμετρικού φορέα



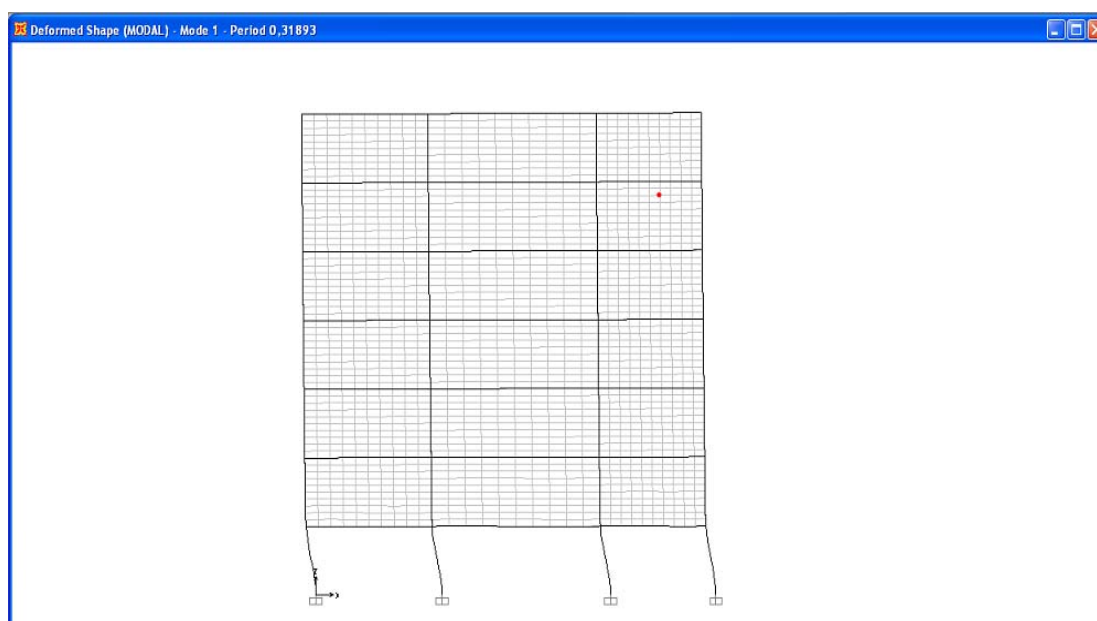
Σχήμα 4.73. 1<sup>η</sup> ιδιομορφή πολυώροφου συμμετρικού φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις ( $T_1=0.77475$  sec).



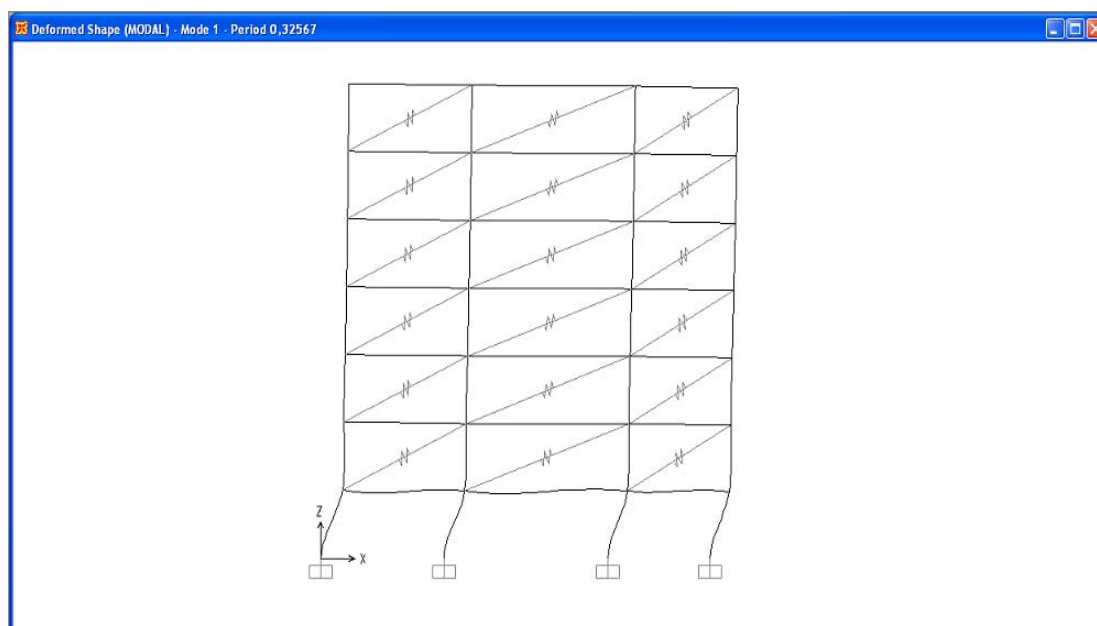
Σχήμα 4.74. 1<sup>η</sup> ιδιομορφή πολυώροφου συμμετρικού φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένου με τη μέθοδο των πετρεασμένων στοιχείων ( $T_1=0.17900$  sec).



**Σχήμα 4.75.** 1<sup>η</sup> ιδιομορφή πολυώροφου συμμετρικού φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένου με τη μέθοδο της θλιβόμενης διαγωνίου ( $T_1=0.15487$  sec).



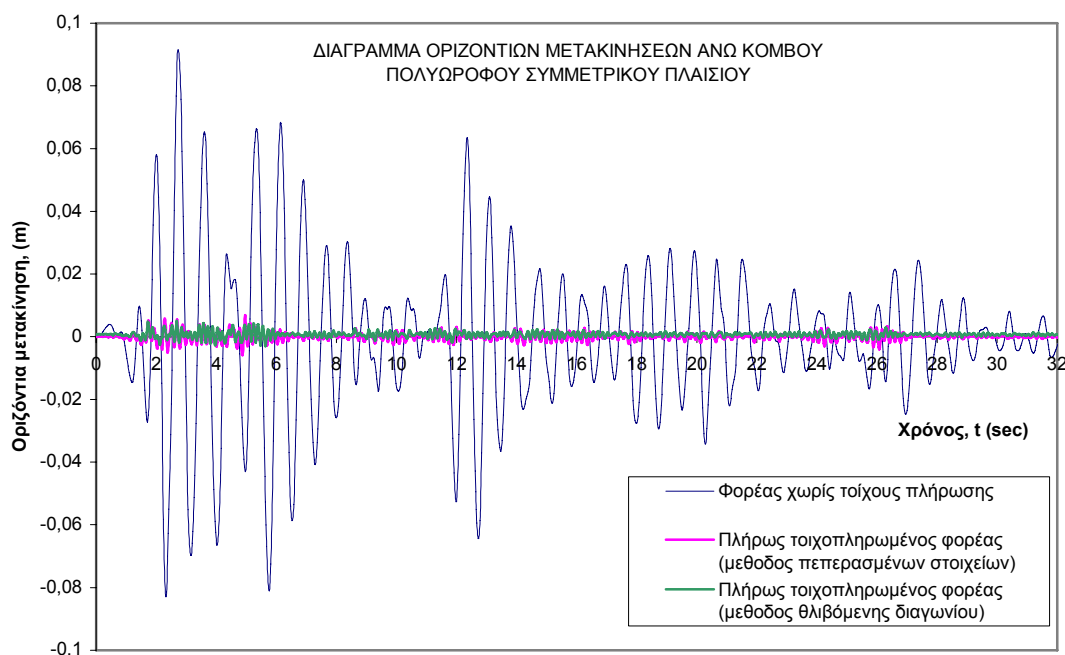
**Σχήμα 4.76.** 1<sup>η</sup> ιδιομορφή πολυώροφου συμμετρικού φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένου (pilotis) με τη μέθοδο των πετρερασμένων στοιχείων ( $T_1=0.31893$  sec).



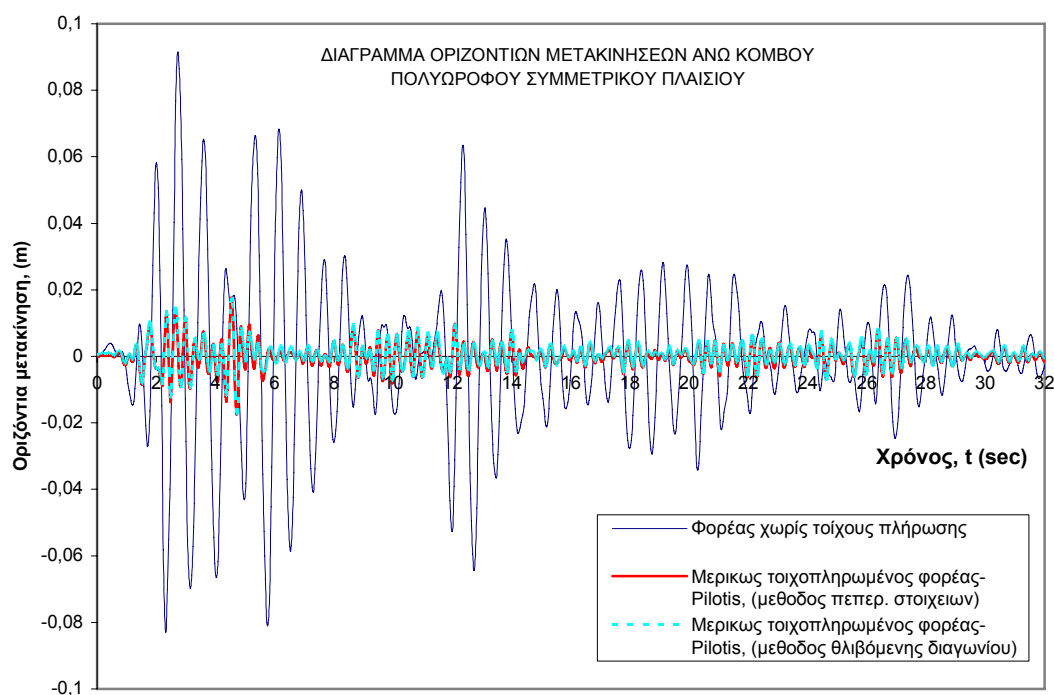
**Σχήμα 4.77.** 1<sup>η</sup> ιδιομορφή πολυώροφου συμμετρικού φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένου (pilotis) με τη μέθοδο της θλιβόμενης διαγωνίου ( $T_1=0.32567$  sec).

Και στην περίπτωση του πολυώροφου συμμετρικού φορέα, τα συμπεράσματα που προκύπτουν παρατηρώντας τις ιδιομορφές του είναι ανάλογα με αυτά των προηγούμενων πλαισιακών φορέων. Επιπρόσθετα, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δυναμικών αναλύσεων του πολυώροφου ασύμμετρου φορέα που παρουσιάστηκαν στις παραγράφους 4.2.3.2, 4.2.3.3 & 4.2.3.4. με τα αντίστοιχα του συμμετρικού φορέα που παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους (παρ. 4.2.4.2, 4.2.4.3.) για τις σεισμικές δράσεις του Elcentro και του Αιγίου, προκύπτει ότι ύπαρξη ή μη συμμετρίας στο φορέα δεν επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την επιρροή των τοίχων πλήρωσης στη σεισμική απόκρισή του.

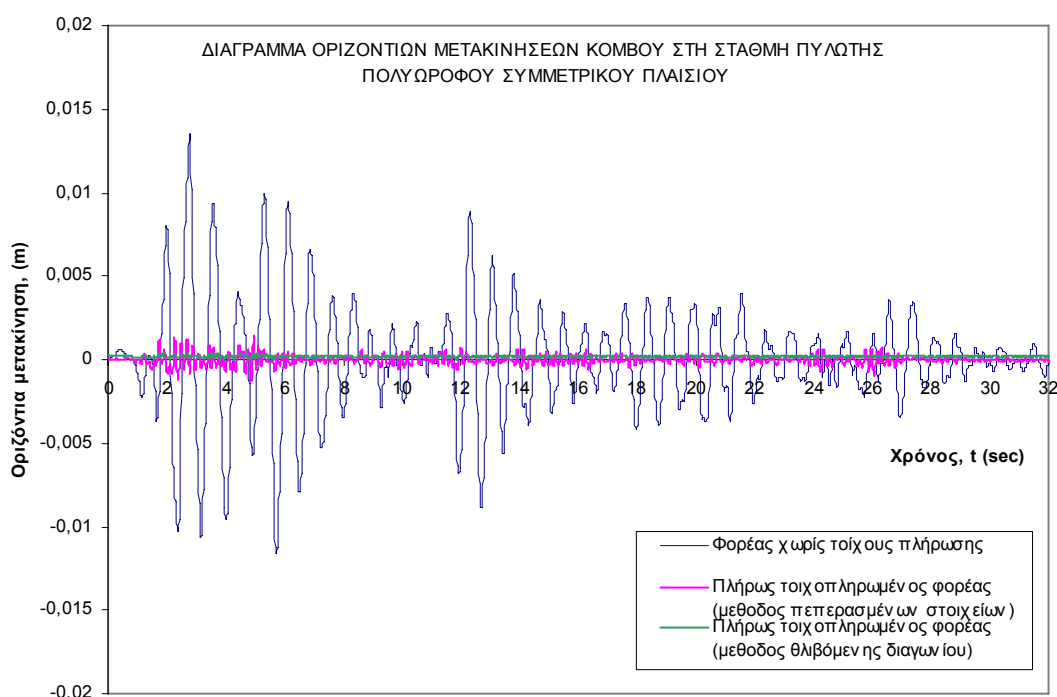
#### 4.2.4.2. Αποτελέσματα πολυώροφου συμμετρικού πλαισίου - σεισμική διέγερση Elcentro.



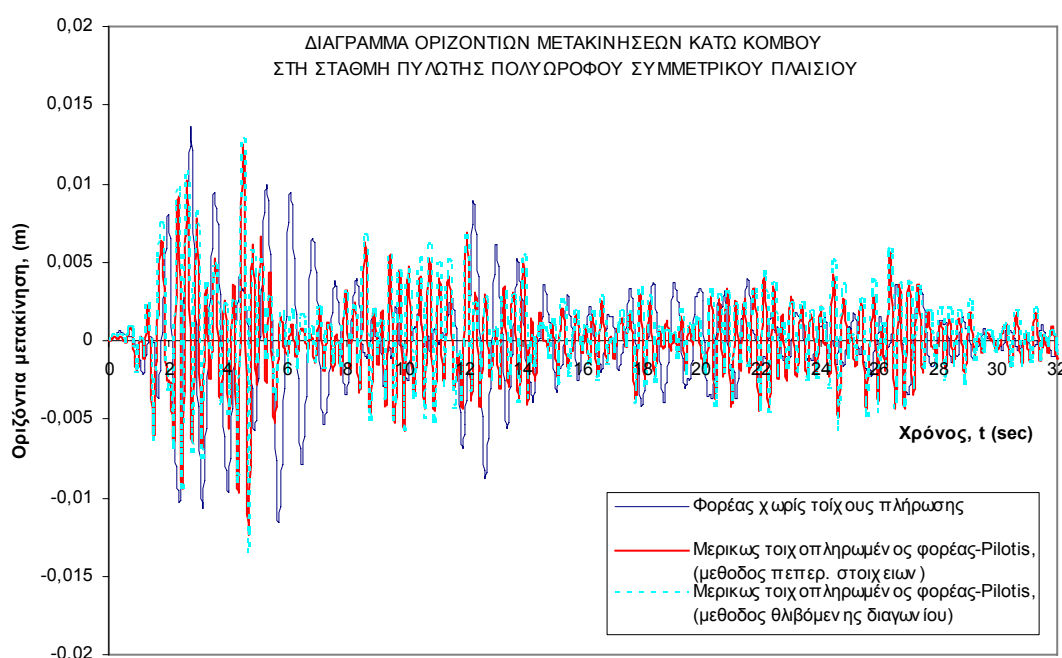
**Σχήμα 4.78.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων άνω κόμβου πολυώροφου συμμετρικού πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



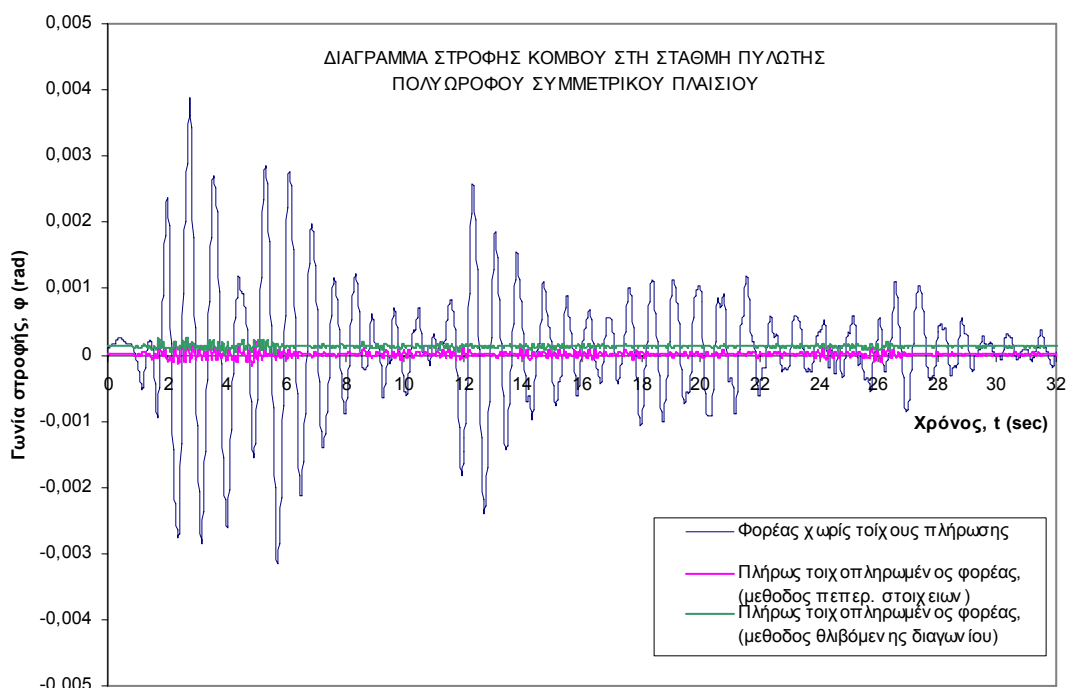
**Σχήμα 4.79.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων άνω κόμβου πολυώροφου συμμετρικού πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



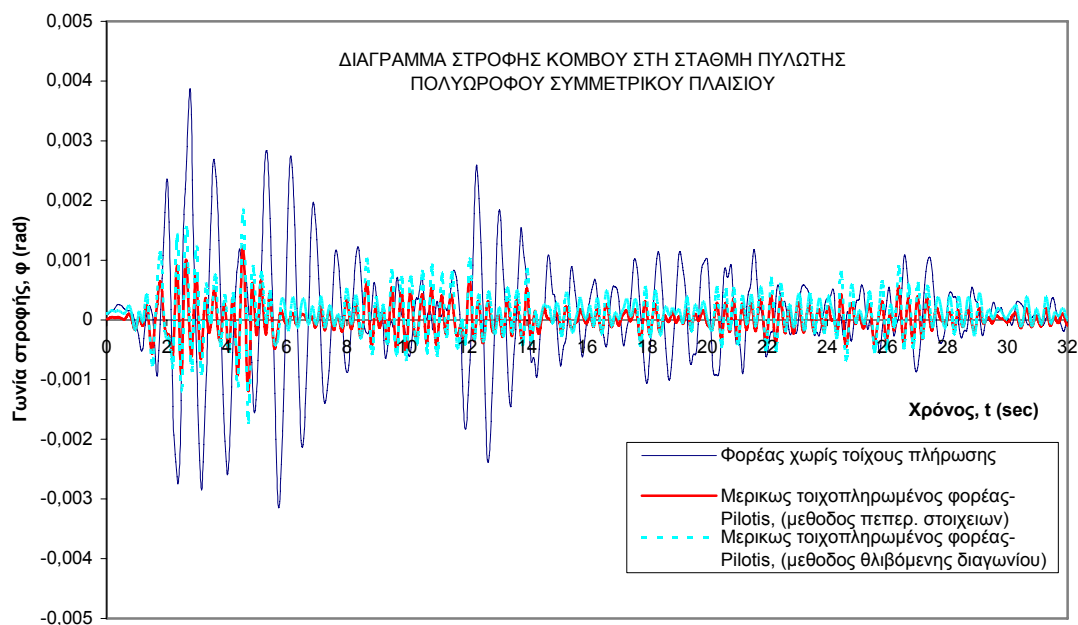
**Σχήμα 4.80.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων κόμβου στη στάθμη πυλωτής πολυώροφου συμμετρικού πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



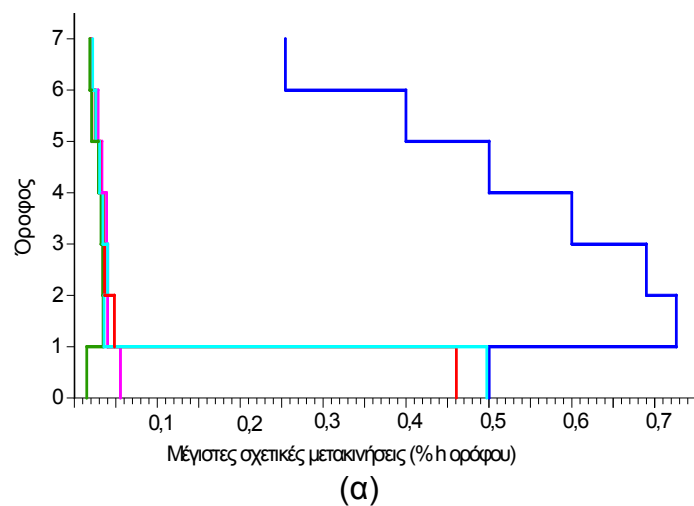
**Σχήμα 4.81.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων κόμβου στη στάθμη πυλωτής πολυώροφου συμμετρικού πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



**Σχήμα 4.82.** Διάγραμμα στρώφης κόμβου στη στάθμη πυλωτής πολυώροφου συμμετρικού πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πετερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



**Σχήμα 4.83.** Διάγραμμα στρώφης κόμβου στη στάθμη πυλωτής πολυώροφου συμμετρικού πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πετερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



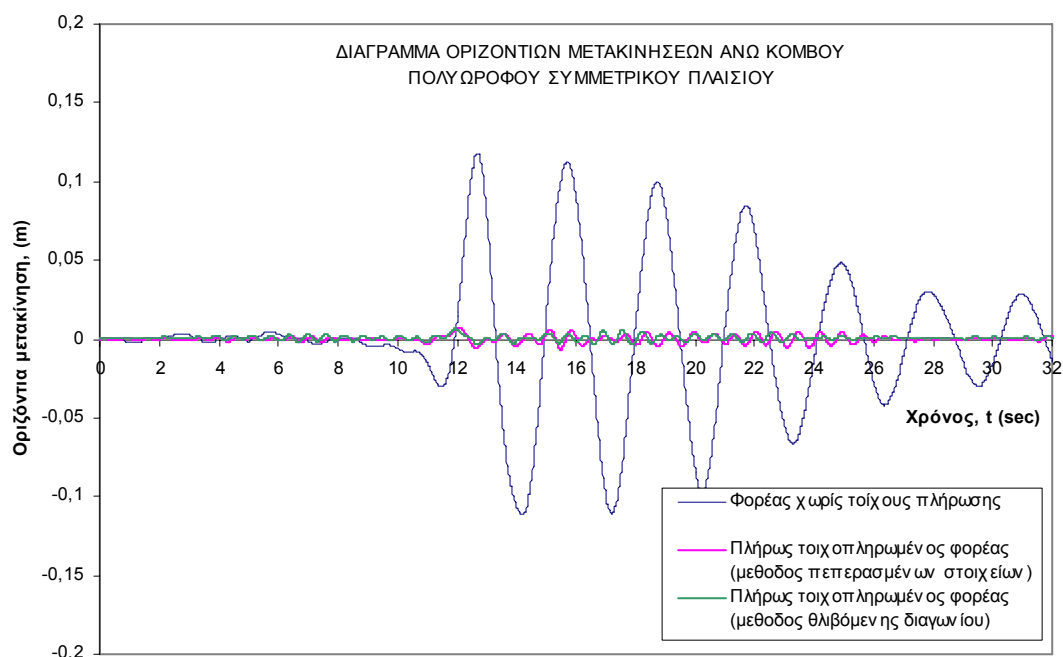
Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις (% h ορόφου)

|                                                                      | Όροφος |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                      | 0-1    | 1-2   | 2-3   | 3-4   | 4-5   | 5-6   | 6-7   |
| Φορέας χωρίς τοιχοπληρώσεις                                          | 0,503  | 0,727 | 0,690 | 0,602 | 0,505 | 0,402 | 0,254 |
| Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθοδος πεττερ. στοιχειων)            | 0,055  | 0,040 | 0,040 | 0,037 | 0,034 | 0,028 | 0,022 |
| Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθοδος θλιβ. διαγωνίου)              | 0,015  | 0,034 | 0,033 | 0,031 | 0,028 | 0,024 | 0,022 |
| Μερικώς τοιχοπληρωμένος φορέας - rilotis (μεθοδος πεττερ. στοιχειων) | 0,460  | 0,048 | 0,038 | 0,035 | 0,031 | 0,025 | 0,019 |
| Μερικώς τοιχοπληρωμένος φορέας (μεθοδος θλιβ. διαγωνίου)             | 0,498  | 0,036 | 0,040 | 0,034 | 0,030 | 0,026 | 0,023 |

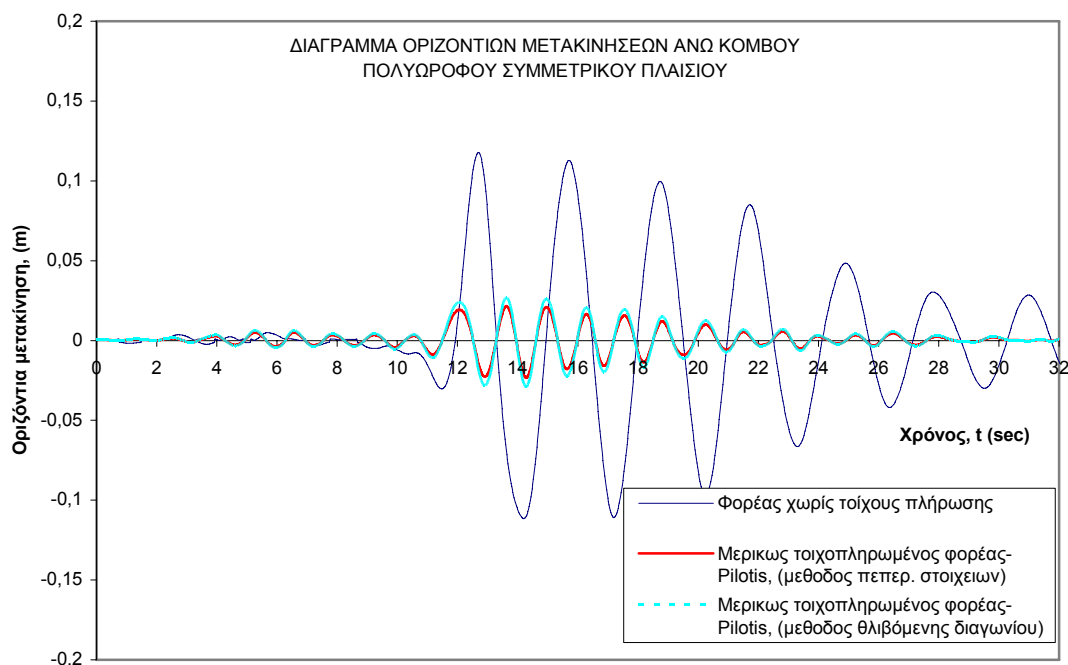
(β)

**Σχήμα 4.84.** (α) Διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων πολυώροφου συμμετρικού φορέα υπό τη σεισμική διέγερση του Elcentro β) Πίνακας τιμών μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων πολυώροφου φορέα.

#### 4.2.4.3. Αποτελέσματα πολυώροφου συμμετρικού πλαισίου-σεισμική διέγερση Αιγίου.

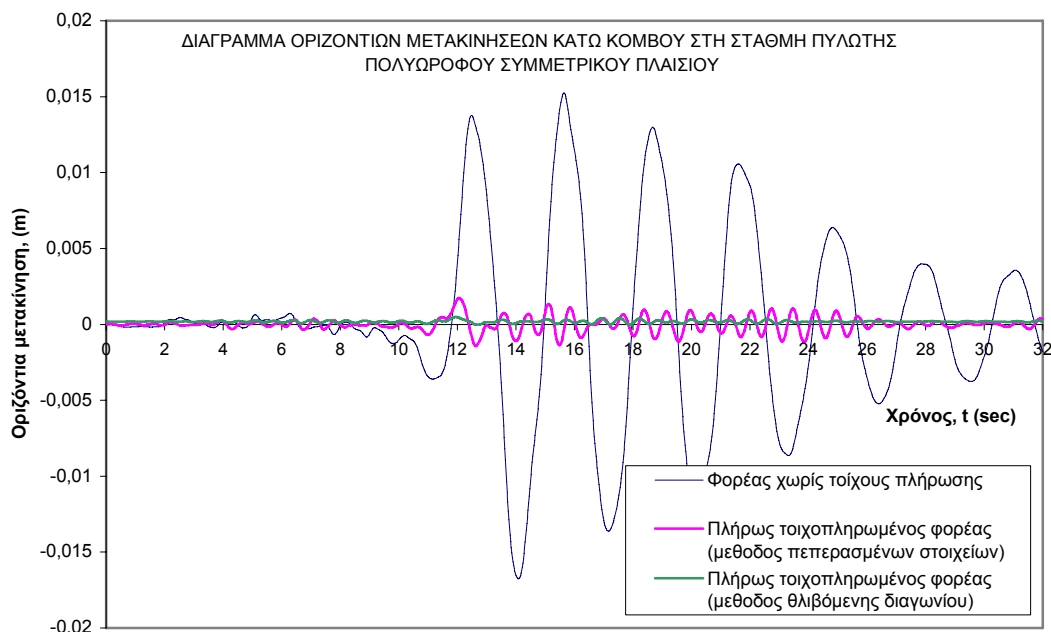


**Σχήμα 4.85.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων άνω κόμβου πολυώροφου συμμετρικού πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).

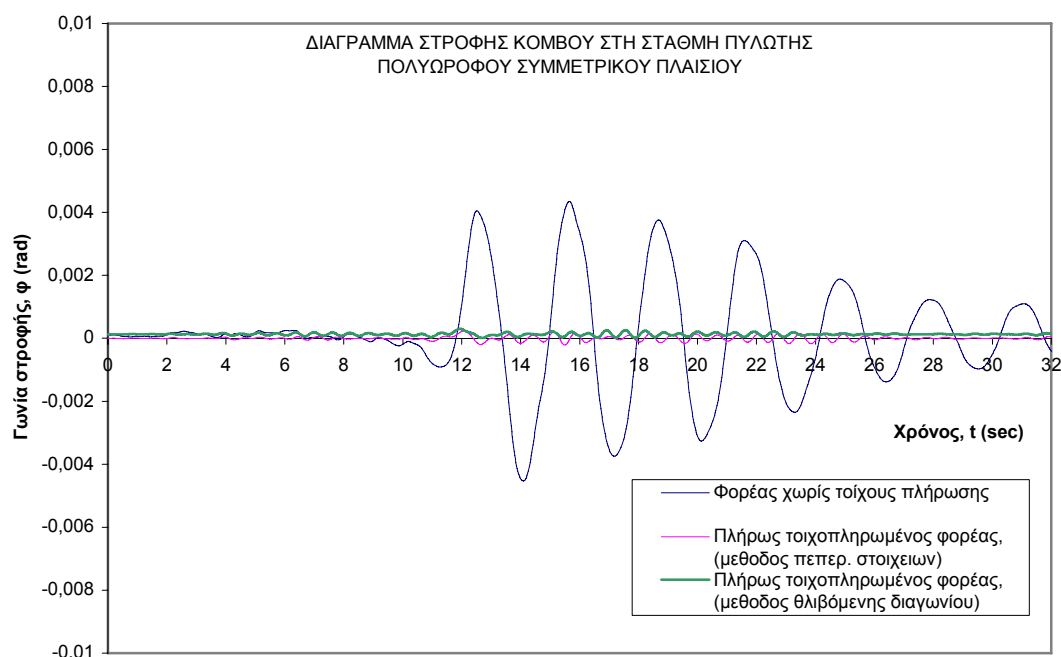


**Σχήμα 4.86.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων άνω κόμβου πολυώροφου συμμετρικού πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).

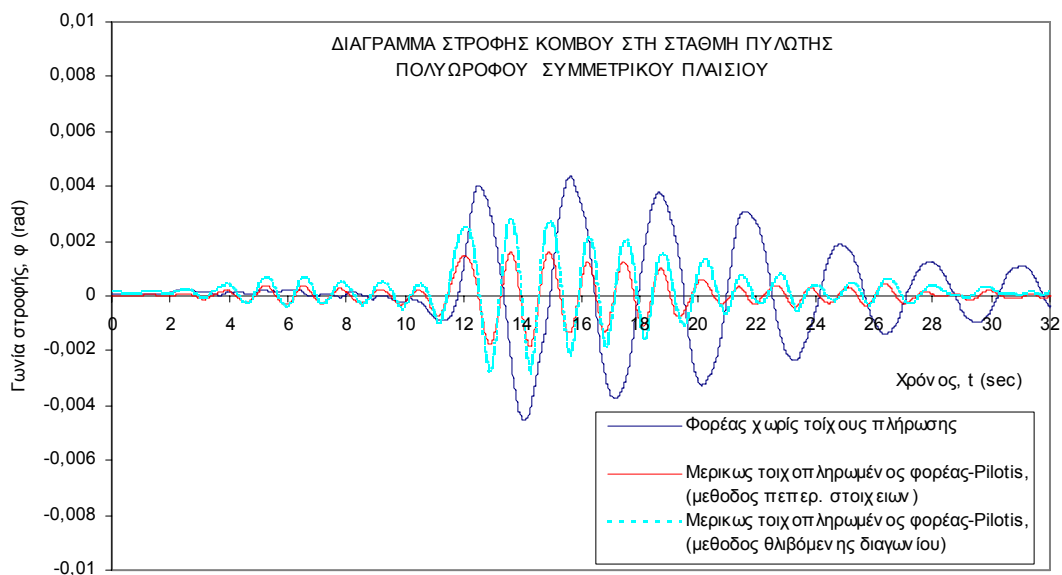




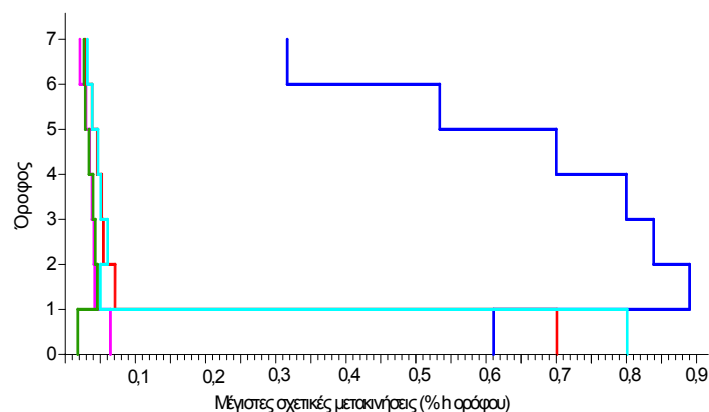
**Σχήμα 4.87.** Διάγραμμα οριζόντιων μετακινήσεων κόμβου στη στάθμη πυλωτής πολυώροφου συμμετρικού πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



**Σχήμα 4.88.** Διάγραμμα στρόφης κόμβου στη στάθμη πυλωτής πολυώροφου συμμετρικού πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



**Σχήμα 4.89.** Διάγραμμα στρόφης κόμβου στη στάθμη πυλωτής πολυώροφου συμμετρικού πλαισίου υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου θεωρώντας: α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), γ) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου).



(α)

Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις (% h ορόφου)

|                                                                     | Όροφος |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                     | 0-1    | 1-2   | 2-3   | 3-4   | 4-5   | 5-6   | 6-7   |
| Φορέας χωρίς τοιχοπληρώσεις                                         | 0,620  | 0,891 | 0,839 | 0,804 | 0,701 | 0,533 | 0,318 |
| Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μέθοδος πεπερ. στοιχείων)            | 0,064  | 0,042 | 0,041 | 0,038 | 0,035 | 0,029 | 0,022 |
| Πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (μέθοδος θλιβόμ. διαγωνίου)           | 0,018  | 0,046 | 0,043 | 0,039 | 0,034 | 0,028 | 0,026 |
| Μερικώς τοιχοπληρωμένος φορέας - pilotis (μέθοδος πεπερ. στοιχείων) | 0,701  | 0,071 | 0,057 | 0,053 | 0,046 | 0,038 | 0,027 |
| Μερικώς τοιχοπληρωμένος φορέας (μέθοδος θλιβόμ. διαγωνίου)          | 0,802  | 0,052 | 0,059 | 0,051 | 0,047 | 0,039 | 0,033 |

(β)

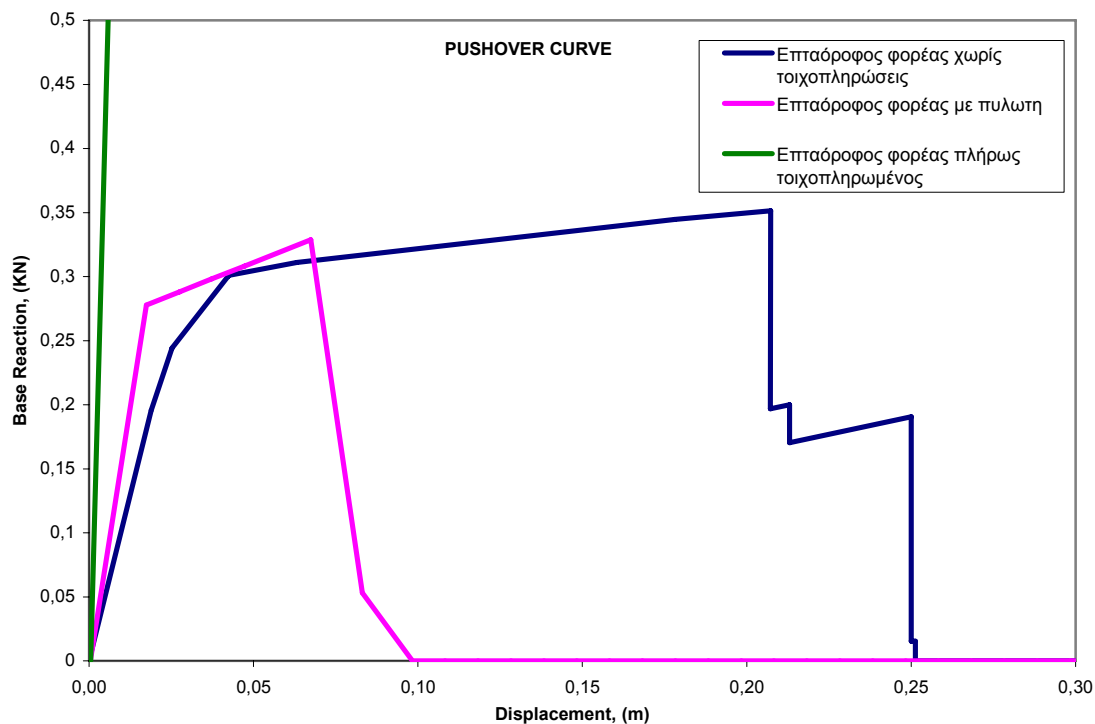
**Σχήμα 4.90.** (α) Διάγραμμα μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων πολυώροφου συμμετρικού φορέα υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου β) Πίνακας τιμών μέγιστων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων οκταώροφου φορέα.

### 4.3 Αποτελέσματα Pushover αναλύσεων

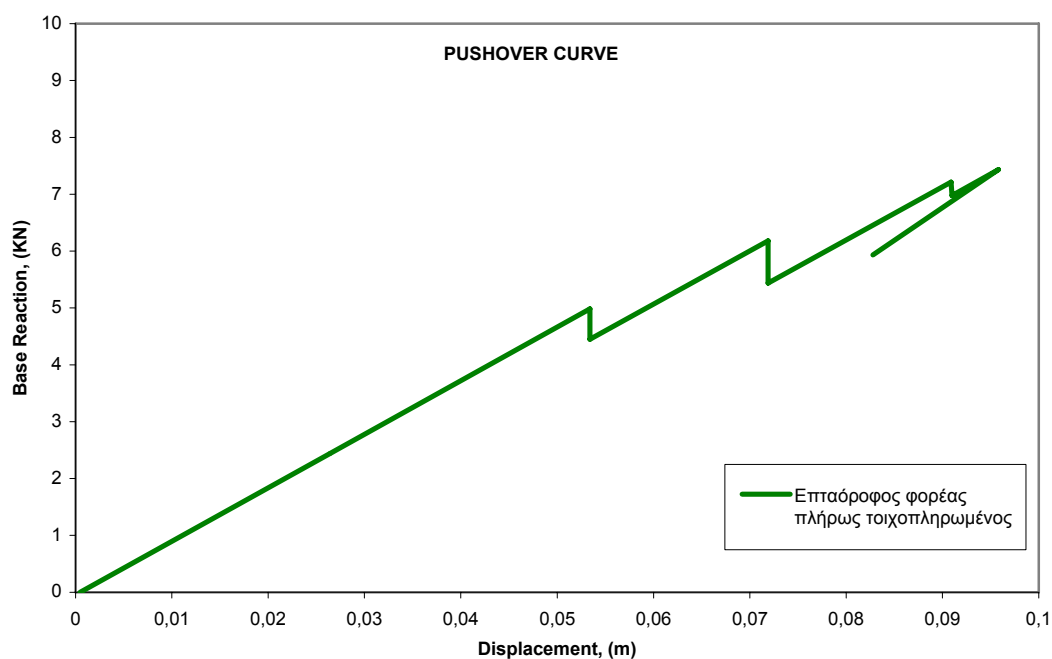
Όπως έχει ήδη αναφερθεί η Pushover πραγματοποιείται για τους φορείς στους οποίους οι τοιχοπληρώσεις προσομοιώνονται με τη μέθοδο της θλιβόμενης διαγωνίου, καθώς οι αναλύσεις με χρήση επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων δεν μπορούν να προσομοιώσουν ρεαλιστικά τη δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων. Ακολούθως παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των pushover αναλύσεων για τους τρεις πολυώροφους επίπεδους πλαισιακούς φορείς. Παρατηρώντας τις καμπύλες των Pushover αναλύσεων των φορέων, είναι προφανής η συμβολή των τοιχοπληρώσεων στη συνολική ακαμψία τους και στην εν γένει συμπεριφορά τους στις σεισμικές δράσεις. Όπως φαίνεται στα σχήματα 4.90, 4.98, 4.105 οι φορείς με πυλωτή φθάνουν στη διαρροή για μετακινήσεις μικρότερες από τις αντίστοιχες των “ελεύθερων” φορέων, ενώ η μεταφορά των φορέων στη στάθμη της κατάρρευσης παρουσιάζεται πολύ πιο απότομη. Αντιθέτως, οι πλήρως τοιχοπληρωμένοι φορείς, (Σχ. 4.90, 4.91, 4.98, 4.105) διαρρέουν σε μεγαλύτερες μετατοπίσεις και για πολύ μεγαλύτερες τέμνουσες βάσης, συνεπώς η ύπαρξη τοιχοπληρώσεων συμβάλλει στην αύξηση της πλαστιμότητας των κατασκευών.

Επίσης στα βήματα των pushover αναλύσεων που παρατίθενται στην επόμενη ενότητα, είναι φανερή η επιβάρυνση των υποστυλωμάτων στη βάση των κατασκευών στις περιπτώσεις ύπαρξης πυλωτής. Στα υποστυλώματα αυτά, δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις από τα πρώτα κίóλας βήματα των υπερωθητικών αναλύσεων (Σχ. 4.94, 4.101, 4.109) και σε αυτά δημιουργούνται μηχανισμοί οι οποίοι οδηγούν σε κατάρρευση τις κατασκευές (Σχ. 4.95, 4.102, 4.110). Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι ο πολυώροφος ασύμμετρος φορέας, στις αναλύσεις χωρίς τοιχοπληρώσεις καθώς και με τοιχοπληρώσεις σε όλα τα ανοίγματα του, επιβαρύνεται στα ανώτερα ζυγώματα του, που όπως είναι αναμενόμενο λόγω της μείωσης καθ' ύψος έχουν μικρότερη δυσκαμψία, στις αναλύσεις με πυλωτή όμως οι πλαστικές αρθρώσεις, οι οποίες οδηγούν την κατασκευή σε κατάρρευση, εμφανίζονται στα υποστυλώματα του ισογείου, όπως ακριβώς συμβαίνει και στους υπόλοιπους φορείς.

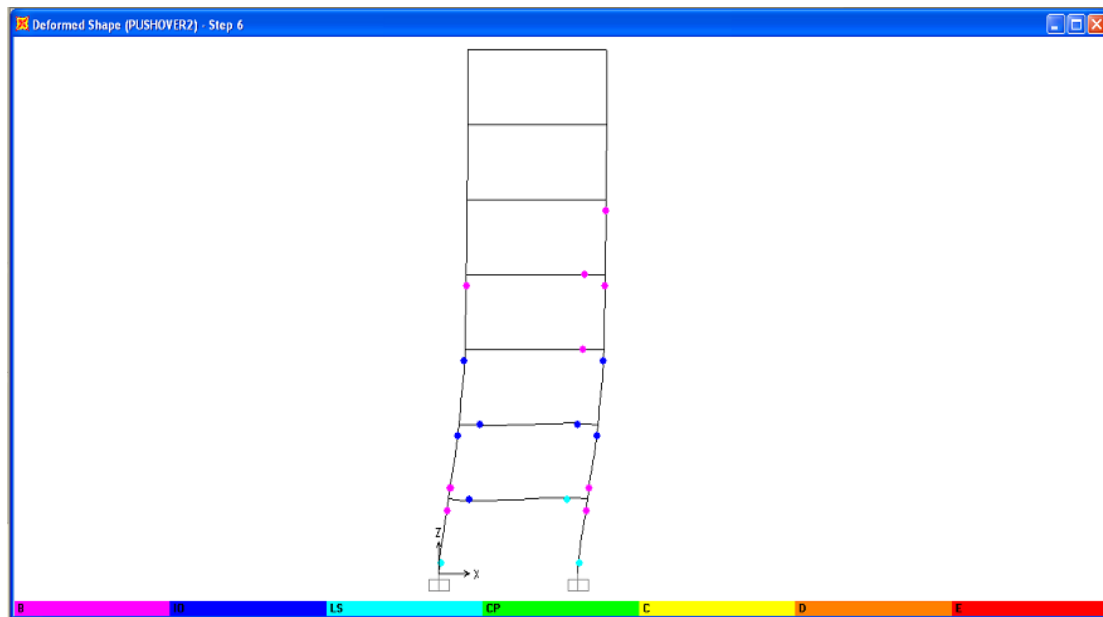
### 4.3.1. Αποτελέσματα *Pushover* αναλύσεων επταόροφου πλαισιακού φορέα.



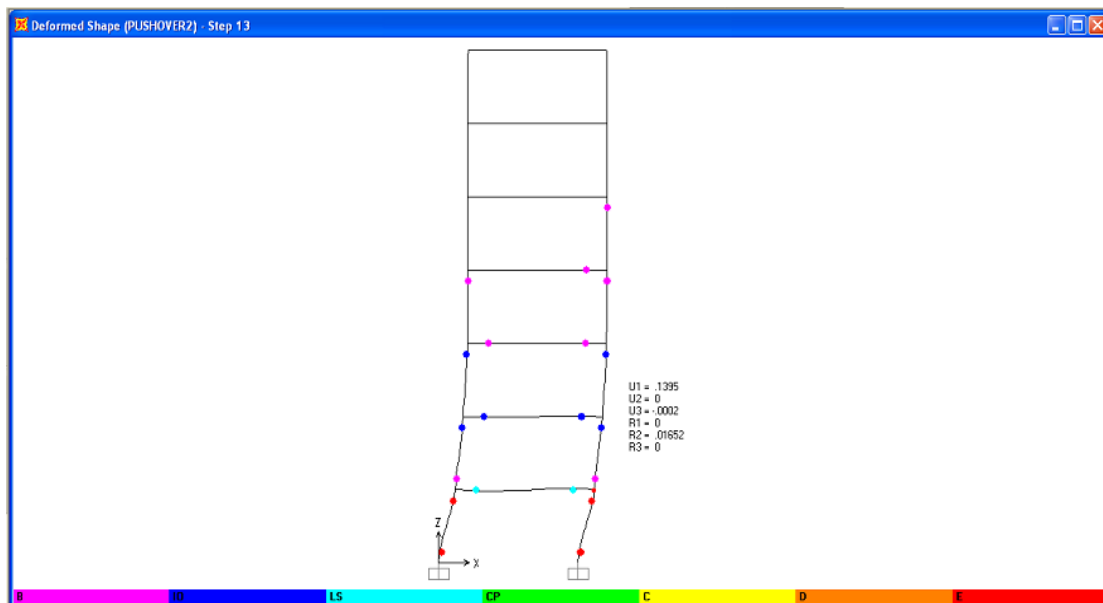
**Σχήμα 4.91.** Καμπύλες *Pushover* επταόροφου πλαισίου θεωρώντας α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (πυλωτή), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο



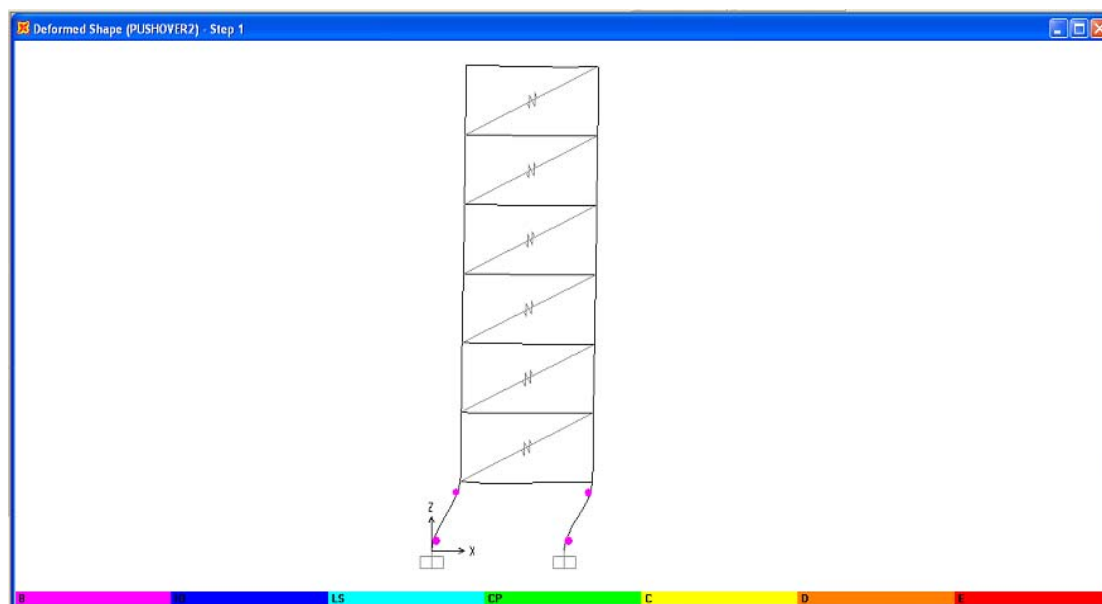
**Σχήμα 4.92.** Καμπύλη *Pushover* επταόροφου πλήρως τοιχοπληρωμένου φορέα.



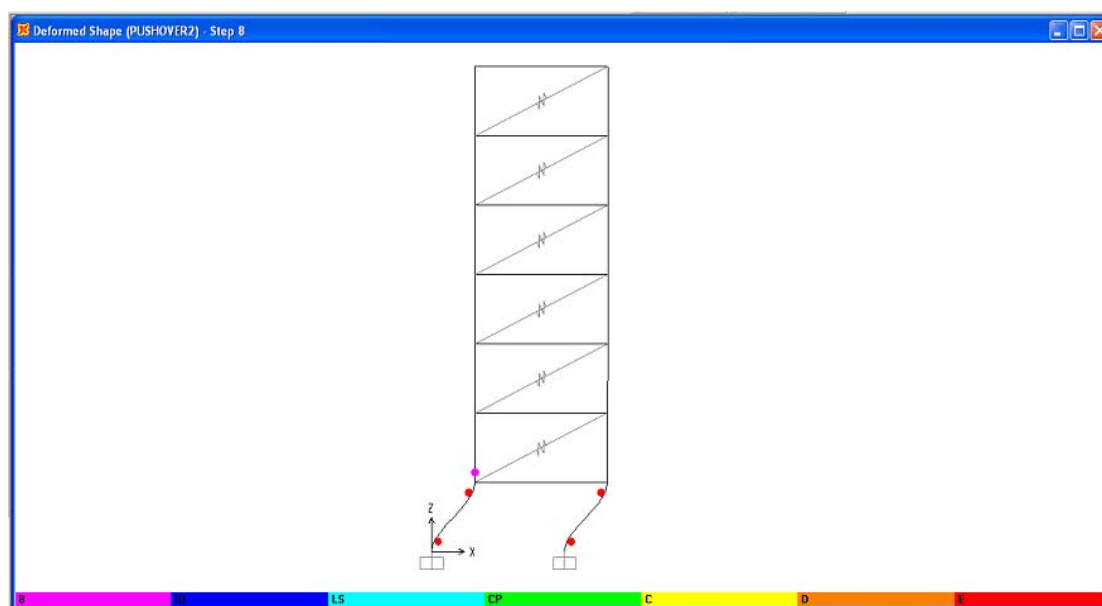
**Σχήμα 4.93.** Παρουσίαση 4<sup>ου</sup> βήματος Pushover ανάλυσης επταόροφου φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις.



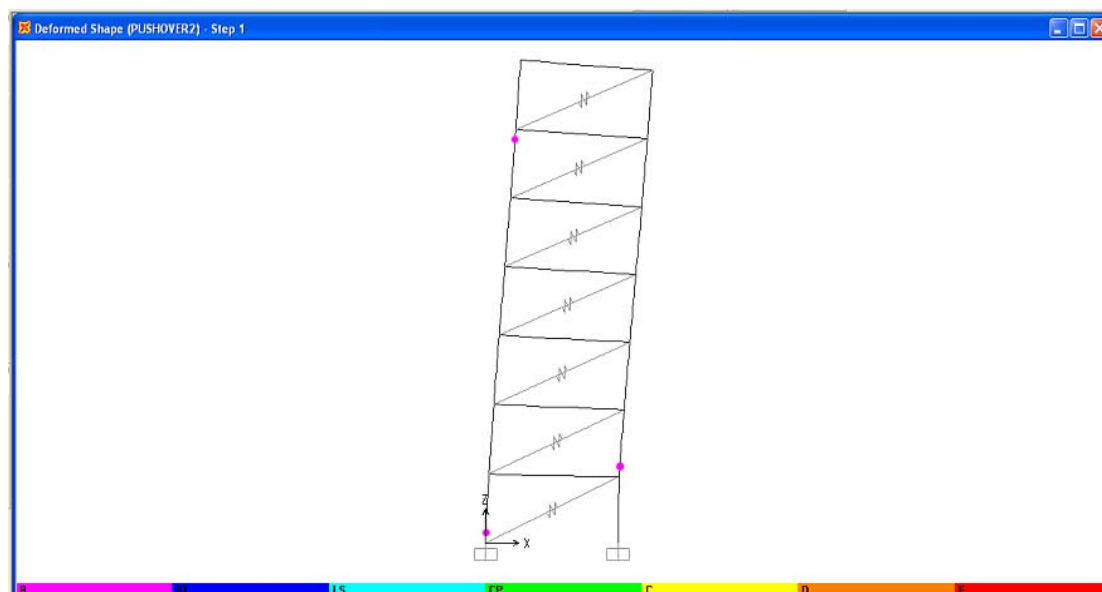
**Σχήμα 4.94.** Παρουσίαση 13<sup>ου</sup> βήματος Pushover ανάλυσης επταόροφου φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις (κατάρρευση φορέα).



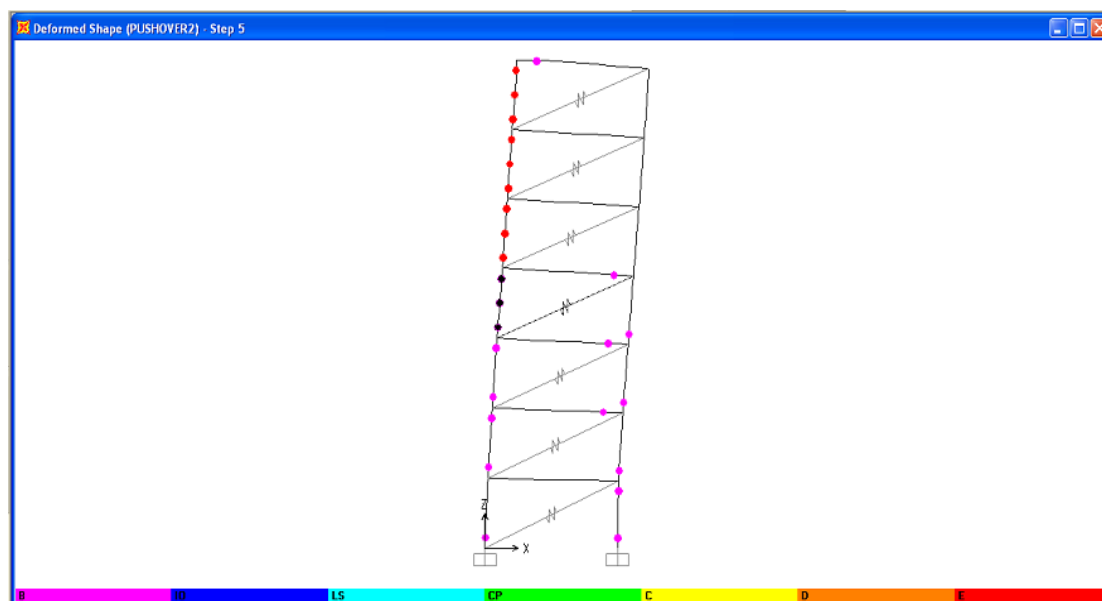
**Σχήμα 4.95.** Παρουσίαση 1<sup>ου</sup> βήματος Pushover ανάλυσης επταόροφου φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο.



**Σχήμα 4.96.** Παρουσίαση 8<sup>ου</sup> βήματος Pushover ανάλυσης επταόροφου φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένου (κατάρρευση φορέα).

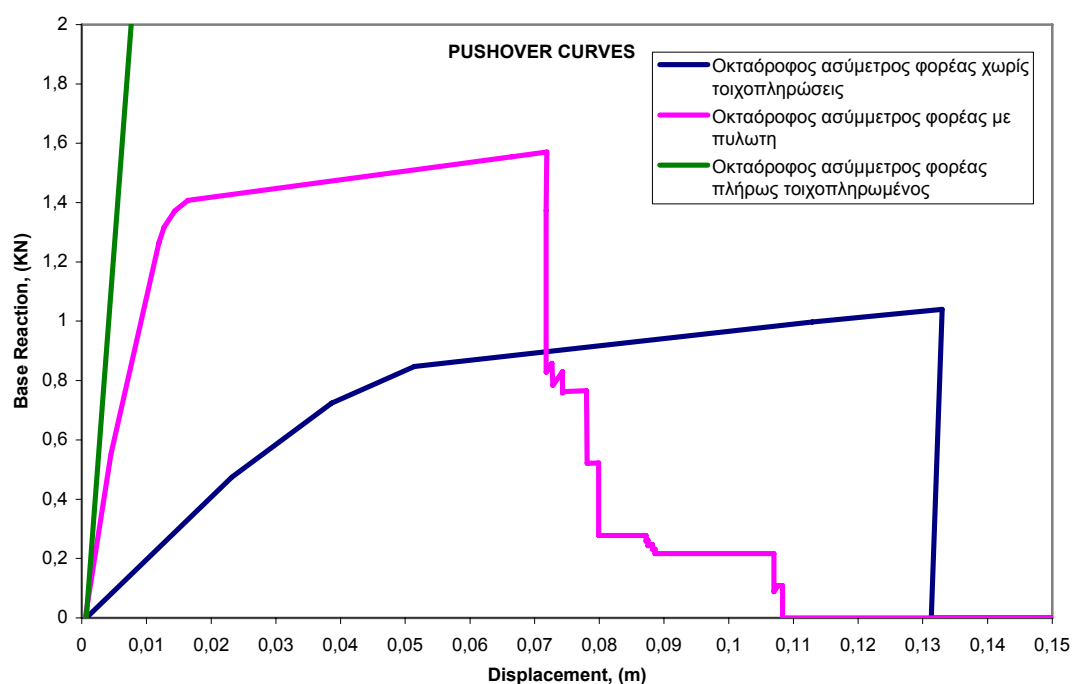


**Σχήμα 4.97.** Παρουσίαση 1<sup>ου</sup> βήματος Pushover ανάλυσης επταόροφου φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένου.

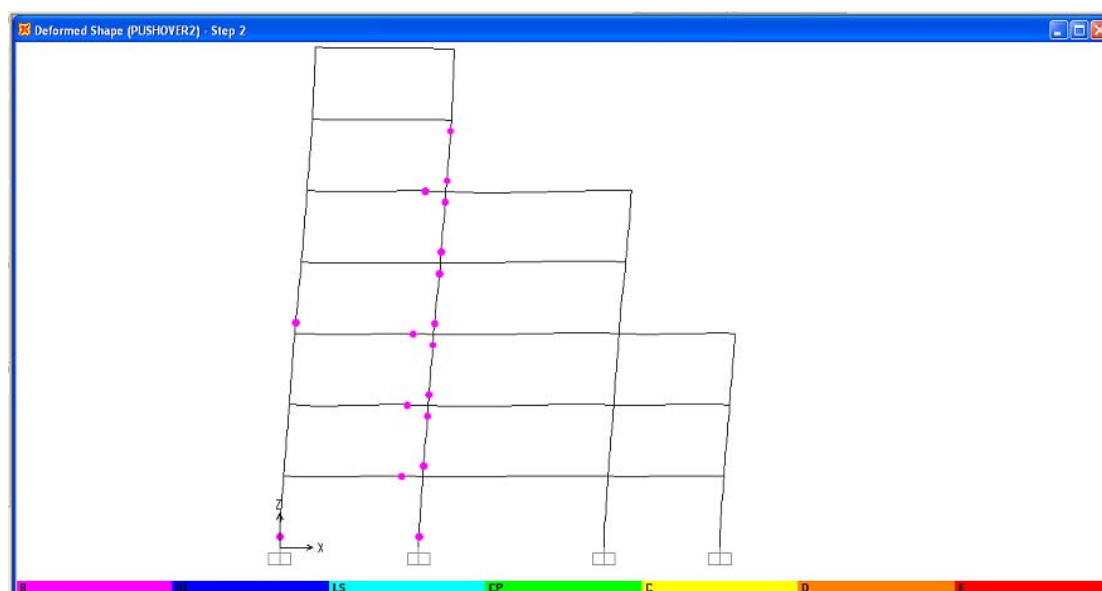


**Σχήμα 4.98.** Παρουσίαση 5<sup>ου</sup> βήματος Pushover ανάλυσης επταόροφου φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένου (κατάρρευση φορέα).

### 4.3.2. Αποτελέσματα *Pushover* αναλύσεων πολυώροφου ασύμμετρου πλαισιακού φορέα.

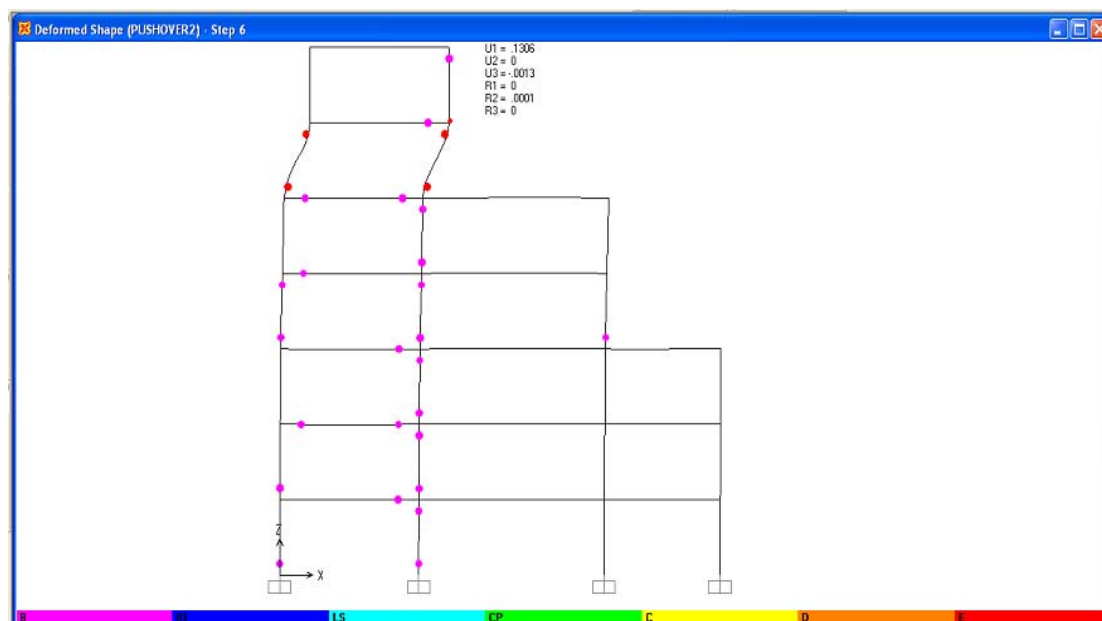


**Σχήμα 4.99.** Καμπύλες *Pushover* πολυώροφου ασύμμετρου πλαισίου θεωρώντας α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (πυλωτή), γ) Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο

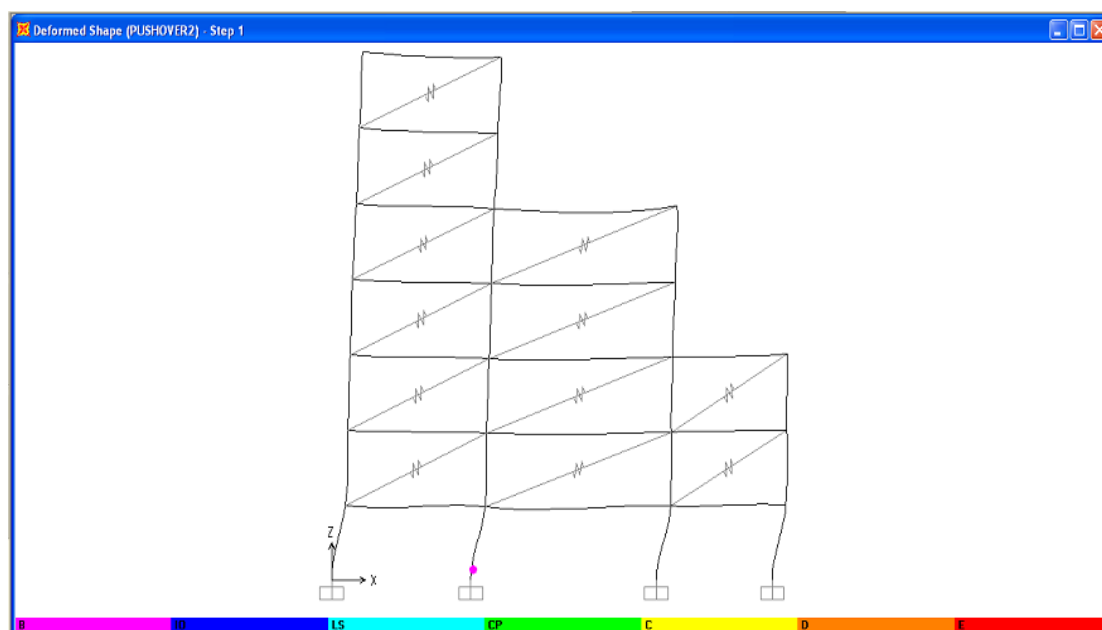


**Σχήμα 4.100.** Παρουσίαση 2<sup>ου</sup> βήματος *Pushover* ανάλυσης πολυώροφου ασύμμετρου φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις.

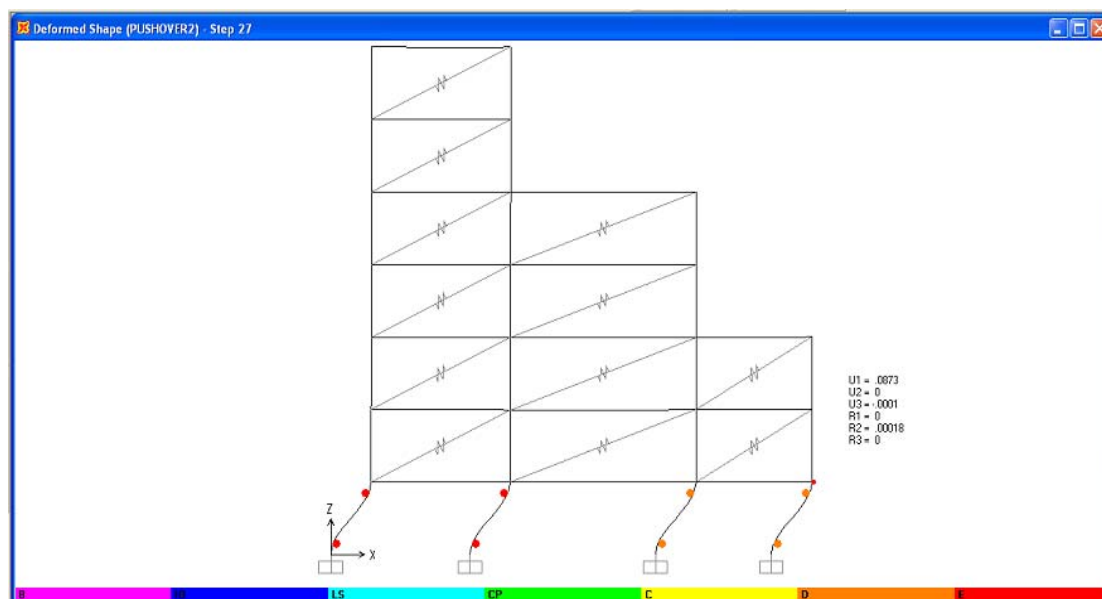




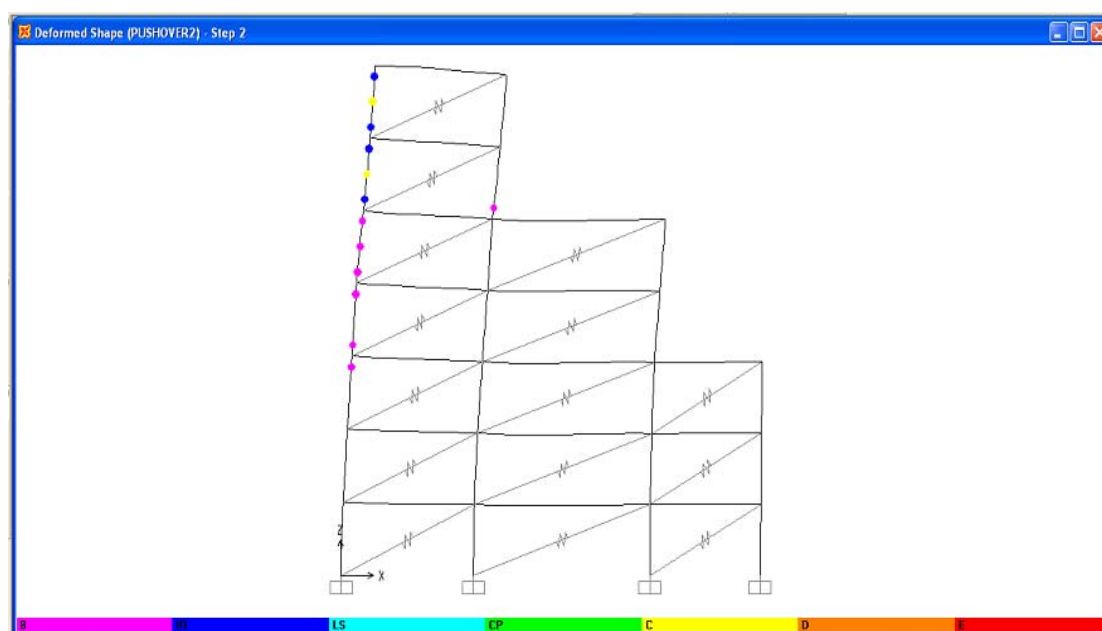
**Σχήμα 4.101.** Παρουσίαση 6<sup>ου</sup> βήματος Pushover ανάλυσης πολυώροφου ασύμμετρου φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις (Κατάρρευση).



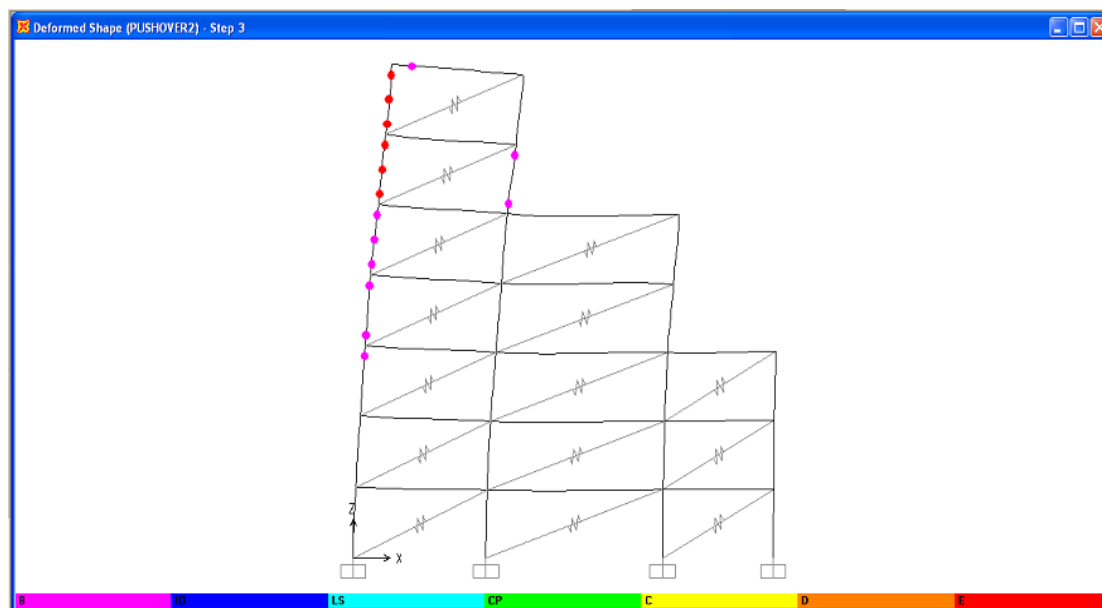
**Σχήμα 4.102.** Παρουσίαση 1<sup>ου</sup> βήματος Pushover ανάλυσης πολυώροφου ασύμμετρου φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένου.



**Σχήμα 4.103.** Παρουσίαση 27<sup>ου</sup> βήματος Pushover ανάλυσης πολυώροφου ασύμμετρου φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένου (κατάρρευση φορέα).

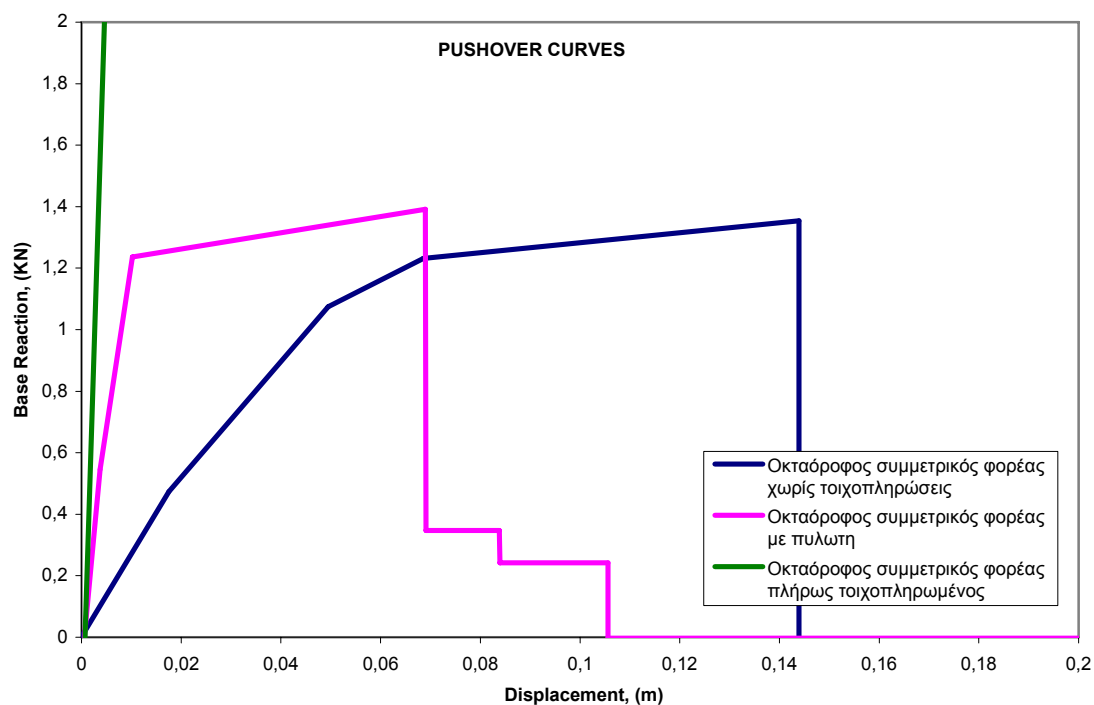


**Σχήμα 4.104.** Παρουσίαση 2<sup>ου</sup> βήματος Pushover ανάλυσης πολυώροφου ασύμμετρου φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένου.

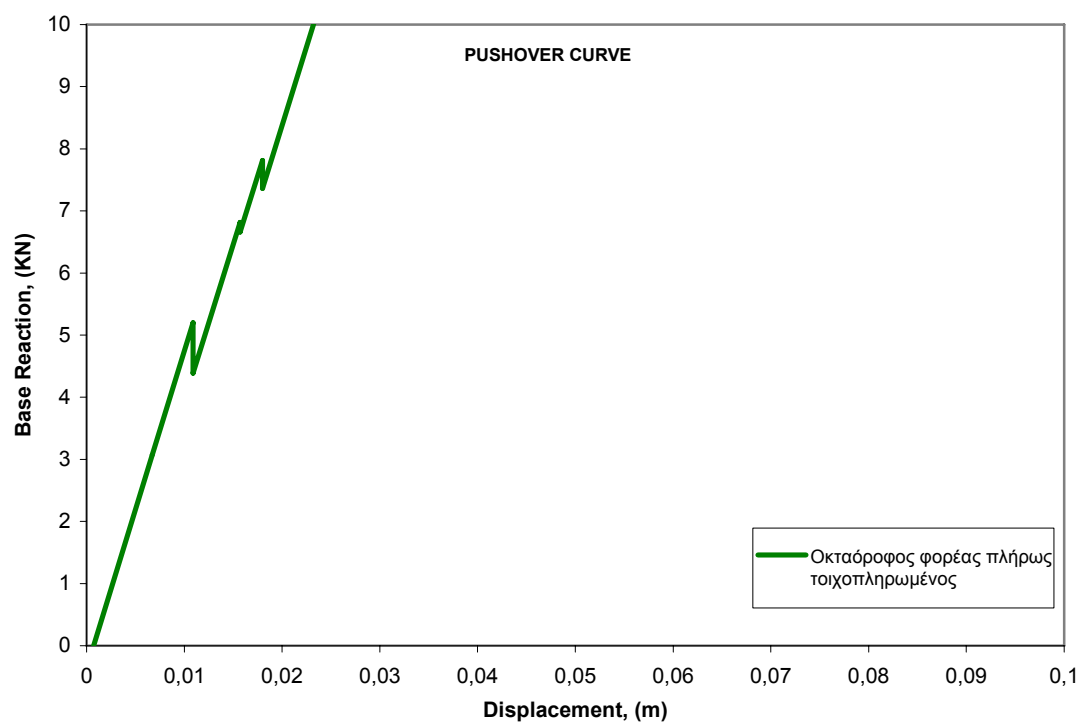


**Σχήμα 4.105.** Παρουσίαση 5<sup>ου</sup> βήματος Pushover ανάλυσης πολυώροφου ασύμμετρου φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένου (κατάρρευση φορέα).

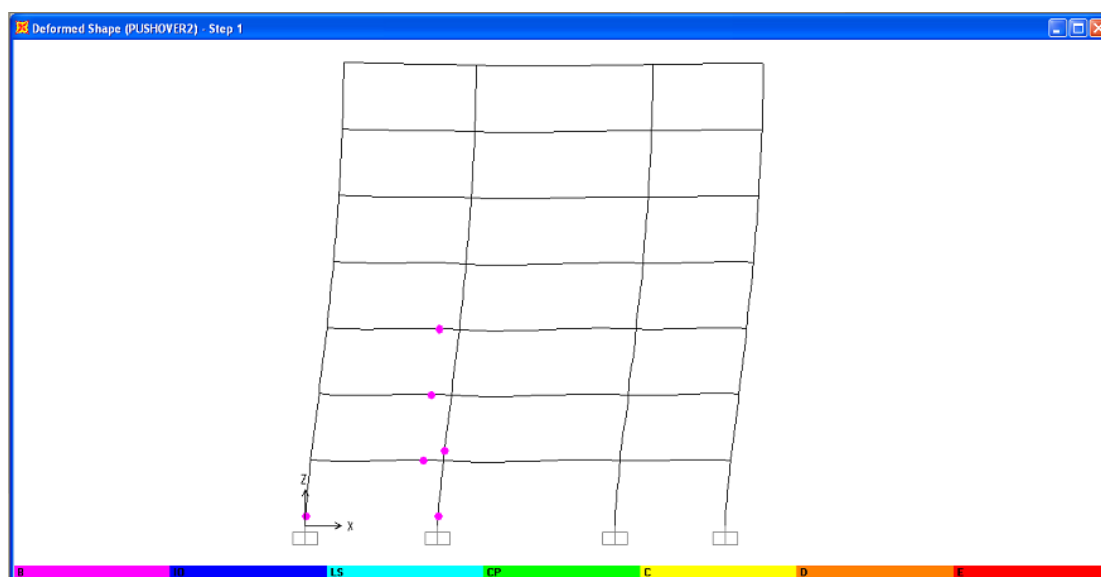
#### 4.3.3. Αποτελέσματα *Pushover* αναλύσεων πολυώροφου συμμετρικού πλαισιακού φορέα.



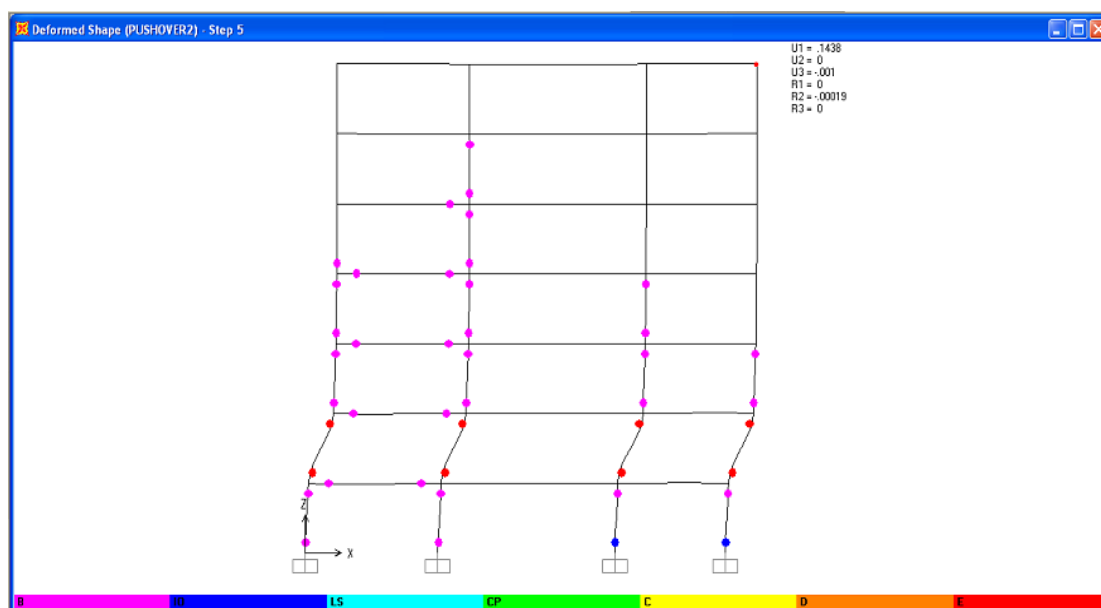
**Σχήμα 4.106.** Καμπύλες Pushover πολυώροφου συμμετρικού πλαισίου θεωρώντας  
α) Φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, β) Φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένο (πυλωτή), γ)  
Φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένο



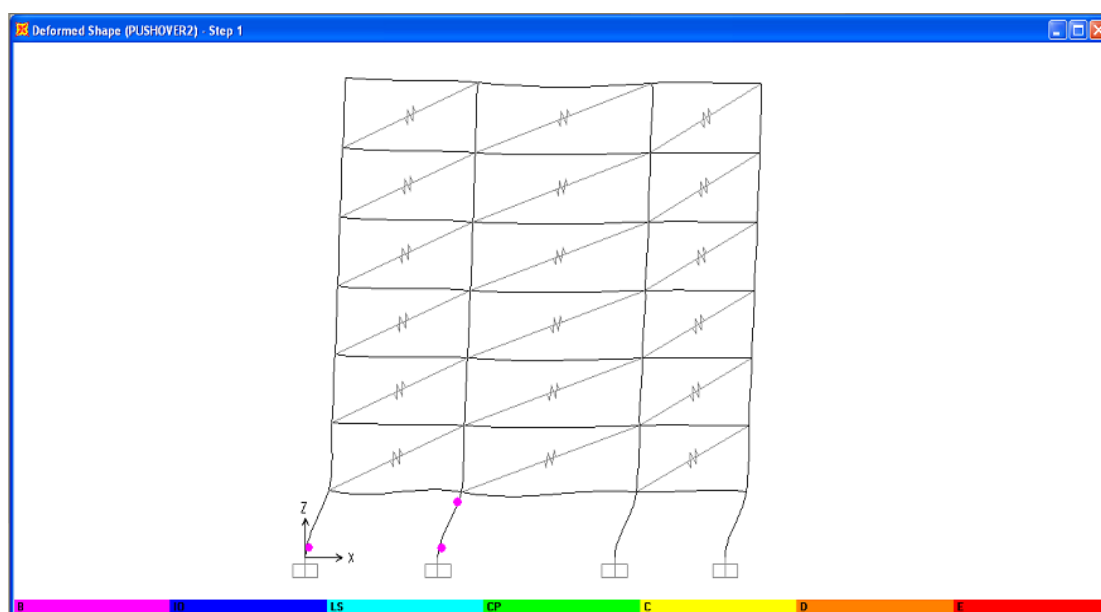
**Σχήμα 4.107.** Καμπύλη Pushover πολυώροφου συμμετρικού πλήρως τοιχοπληρωμένου φορέα



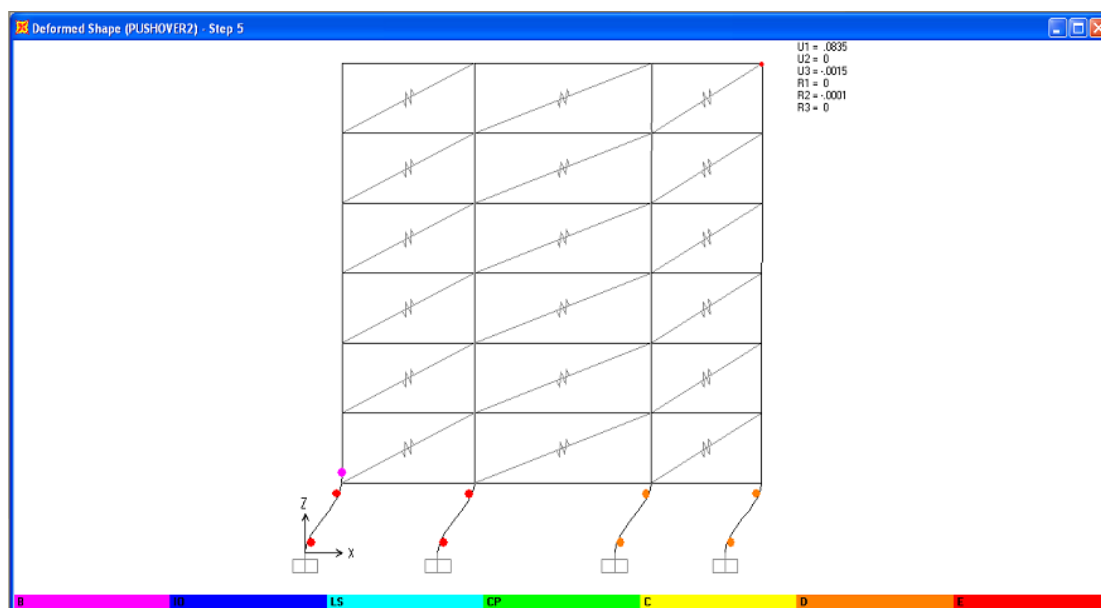
**Σχήμα 4.108.** Παρουσίαση 1<sup>ου</sup> βήματος Pushover ανάλυσης πολυώροφου συμμετρικού φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις.



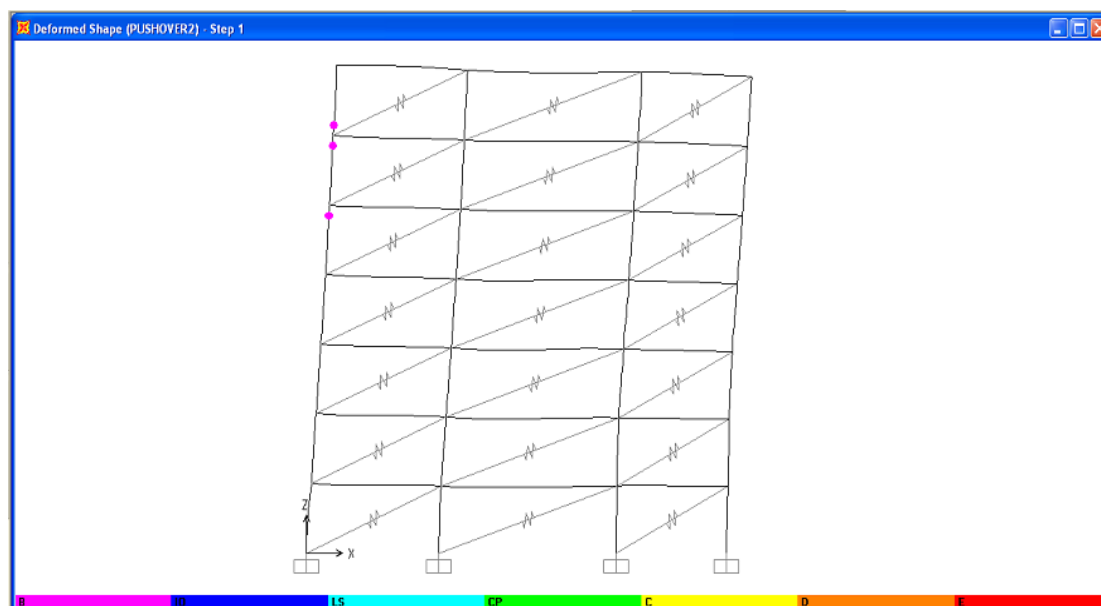
**Σχήμα 4.109.** Παρουσίαση 5<sup>ου</sup> βήματος Pushover ανάλυσης πολυώροφου συμμετρικού φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις (Κατάρρευση).



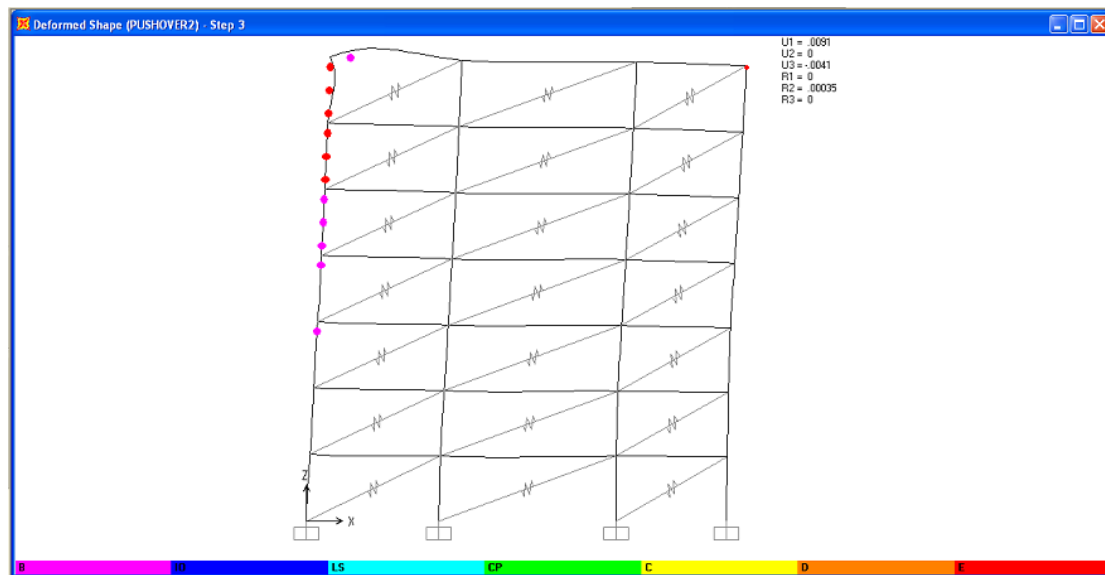
**Σχήμα 4.110.** Παρουσίαση 1<sup>ου</sup> βήματος Pushover ανάλυσης πολυώροφου συμμετρικού φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένου.



**Σχήμα 4.111.** Παρουσίαση 8<sup>ου</sup> βήματος Pushover ανάλυσης πολυώροφου συμμετρικού φορέα μερικώς τοιχοπληρωμένου (κατάρρευση φορέα).



**Σχήμα 4.112.** Παρουσίαση 1<sup>ου</sup> βήματος Pushover ανάλυσης πολυώροφου συμμετρικού φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένου.



**Σχήμα 4.113.** Παρουσίαση 5<sup>ου</sup> βήματος Pushover ανάλυσης πολυώροφου συμμετρικού φορέα πλήρως τοιχοπληρωμένου (κατάρρευση φορέα).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

#### **5.1 Σύνοψη και συμπεράσματα**

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε μία αριθμητική διερεύνηση της επιρροής των τοιχοπληρώσεων σε πλαισιακούς φορείς οπλισμένου σκυροδέματος υπό σεισμικά φορτία με σύγχρονες υπολογιστικές μεθόδους. Έγινε χρήση επίπεδων πλαισιακών φορέων οπλισμένου σκυροδέματος και πραγματοποιήθηκαν δυναμικές αλλά και υπερωθητικές (pushover) αναλύσεις για διάφορες διατάξεις των τοίχων πλήρωσης. Πιο συγκεκριμένα, οι φορείς αναλύθηκαν χωρίς τοιχοπληρώσεις, με τοιχοπληρώσεις σε όλους τους ορόφους, καθώς και με τοιχοπληρώσεις σε όλους τους ορόφους πλην του πρώτου υπέργειου (πυλωτή), ενώ η προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων έγινε με χρήση της μεθόδου της θλιβόμενης διαγωνίου καθώς και με πεπερασμένα στοιχεία. Τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από αναλύονται στη συνέχεια.

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα των δυναμικών αναλύσεων της παρούσας εργασίας, οι τοιχοπληρώσεις δεν έχουν αμελητέα δυσκαμψία και αντοχή, αλλά αντιθέτως η παρουσία τους μεταβάλλει ουσιαστικά τα δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής, καθώς και τη συνολική σεισμική συμπεριφορά της. Οι οριζόντιες μετακινήσεις, οι στρόφες, αλλά και οι μέγιστες σχετικές μετακινήσεις των ορόφων του φορέα με τοιχοπληρώσεις εμφανίζονται αρκετά μικρότερες από τις αντίστοιχες του “γυμνού” φορέα, καθώς η ύπαρξη τοιχοπληρώσεων συνεισφέρει σημαντικά στη συνολική δυσκαμψία του, μειώνοντας τις μετακινήσεις κατά την επιβολή των σεισμικών διεγέρσεων.

Στους φορείς με πυλωτή εμφανίζεται σημαντική διαφοροποίηση στη μορφή της ταλάντωσης, καθώς φαίνεται ότι τα ανώτερα ζυγώματα του φορέα που έχουν τοιχοπληρώσεις μετακινούνται σαν ενιαίο στερεό σώμα μεταφέροντας την ένταση στα υποστύλωμα του κάτω ζυγώματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, η ύπαρξη τοιχοπληρώσεων εμποδίζει την



ανάπτυξη ανελαστικών παραμορφώσεων στο πλαίσιο με αποτέλεσμα όλες οι παραμορφώσεις που αναπτύσσει η κατασκευή από τη σεισμική φόρτιση να συγκεντρώνονται στον μη τοιχοπληρωμένο όροφο. Αυτό το φαινόμενο οδηγεί στην ανάπτυξη μεγάλων παραμορφώσεων στα δομικά στοιχεία του συγκεκριμένου ορόφου, οι οποίες σε ορισμένες περιπτώσεις ξεπερνούν τις αντίστοιχες του ελεύθερου από τοίχους πλήρωσης φορέα, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στην αύξηση της ταλαντούμενης μάζας ή και στην εμφάνιση φαινομένων “συντονισμού”. Απόρροια της συγκέντρωσης των εντάσεων στα υποστυλώματα του μη τοιχοπληρωμένου ορόφου είναι η εμφάνιση του ανεπιθύμητου φαινομένου του “μαλακού” ορόφου.

Οι φορείς με πυλωτή φθάνουν στη διαρροή για μετακινήσεις μικρότερες από τις αντίστοιχες των “ελεύθερων” φορέων, ενώ η μετάβαση των φορέων στη στάθμη της κατάρρευσης παρουσιάζεται πολύ πιο απότομη. Αντιθέτως, οι πλήρως τοιχοπληρωμένοι φορείς, διαρρέουν σε μεγαλύτερες μετατοπίσεις και για πολύ μεγαλύτερες τέμνουσες βάσης. συνεπώς η ύπαρξη τοιχοπληρώσεων συμβάλλει στην αύξηση της ελαστικότητας των κατασκευών.

Επίσης, το γεγονός ότι η ύπαρξη πυλωτής είναι ιδιαίτερα επιβαρυντική για τα υποστυλώματα του ισογείου, φαίνεται και στα βήματα των υπερωθητικών (pushover) αναλύσεων, καθώς στα συγκεκριμένα φέροντα στοιχεία δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις από τα πρώτα κιάλας βήματα των υπερωθητικών αναλύσεων και σε αυτά δημιουργούνται μηχανισμοί οι οποίοι οδηγούν σε κατάρρευση τις κατασκευές.

Τέλος, μπορούμε να παρατηρήσουμε τη σύγκλιση των δύο μεθόδων προσομοίωσης των τοιχοπληρώσεων (θλιβόμενης διαγωνίου και πεπερασμένων στοιχείων) ως προς τις σημαντικές ιδιομορφές, τις ιδιοπεριόδους και γενικότερα ως προς το σύνολο των αποτελεσμάτων, συμπεραίνοντας ότι η μέθοδος της θλιβόμενης διαγωνίου αποτελεί αξιόπιστη μέθοδο προσομοίωσης των τοιχοπληρώσεων.

Σαν γενικό συμπέρασμα της παρούσας εργασίας μπορεί να ειπωθεί ότι κρίνεται απαραίτητη η πλήρης προσομοίωση ενός κτιρίου οπλισμένου σκυροδέματος, συμπεριλαμβανομένων και των τοιχοποιιών πλήρωσης, για να είναι δυνατή μία όσο το δυνατόν ρεαλιστικότερη αποτίμηση της δυναμικής συμπεριφοράς του.

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Angel R., Abrams D.P., Shapiro D., Uzarski J., Webster M., "Behavior of reinforced concrete frames with masonry infills", Struct. Res. Ser. 589, Department of Civ. Engrg., University of Illinois at Urbana-Champaign, IL, 1994.
2. Bertero V., Brokken, S., "Infills in seismic resistant building", Journal of the Structural Engineering, ASCE, Vol. 109, No 6, pp 1337-1361, 1983.
3. Eurocode 8, "Design of structures for earthquake resistance", Part 3: Strengthening and repair of Buildings (prEN 1998-3), 2004.
4. FEMA 306, "Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings -basic procedures manual". Washington, D.C., 1999.
5. Fiorato A.E. et al., "An investigation of the interaction of reinforced concrete frames with masonry filler walls", Struct. Res. Series No. 370, Civil Engineering Studies, University of Illinois, Urbana IL, 1970.
6. Karabinis A., Karayannis C.G., "Damage repairing influence on the seismic behaviour of RC buildings characteristics", Proc. Of 1st Alexandria Conference on Structural and Geotechnical Engineering, Alexandria, Vol. II, 885-894, 1990.
7. Karayannis C.G., Kakaletsis D.J., Favvata M.J., "Behavior of bare and masonry infilled R/C frames under cyclic loading. Experiments and analysis", Proc. of 5th International Conference on Earthquake Resistant Engineering Structures, Wessex Institute of Technology, 429-438, Skiathos, 2005.
8. Klinger R.E., Bertero V.V., "Earthquake resistance of infilled frames", Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 104, No. 6, pp. 973-989, 1978.
9. Mehrabi A.B. et al. "Experimental evaluation of masonry-infilled RC frames", Journal of Structural Engineering, Vol. 122: 228-237, 1996.
10. Mehrabi A.B., Shing P.B., Shuller M.P., Noland J.L., "Experimental evaluation of masonry-infilled RC frames", Journal of Structural Engineering ASCE, 122(3): 228-237, 1996.
11. Mostafaei H., Kabeyasawa T., "Effect of infill masonry walls on the seismic response of reinforced concrete buildings subjected to the 2003

- Bam earthquake strong motion: a case study of Bam telephone center”, Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo, Vol. 79, pp 133-156, 2004.
12. Naziris I., “Influence of Masonry Infill Walls in the framework of the Optimum Performance-Based Design of RC Buildings”, MSc Thesis, National Technical University of Athens, 2007.
13. Penzien J., Clough R.W., “Dynamics of structures”, μτφ Εκδ. Φούντας, 2008.
14. SAP 2000, “V9 NonLinear User’s Manual”, 2008.
15. Syrmakizis C.A., Vratsanou V.Y., “Influence of Infill Walls to R.C. Frames Response”, Proceedings of the Eighth European Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal, Vol.3, 47-53, 1986.
16. Zarnic R., and Tomazevic M., 1984, “The behavior of masonry infilled reinforced concrete frames subjected to seismic loading”, Proceedings of the 8th World Conference on Earthquake Engineering, California, VI: 863-870.
17. Αστερής Π.Γ., “Επιρροή των Τοιχοπληρώσεων στη Σεισμική Απόκριση Πλαισίων Ωπλισμένου Σκυροδέματος”, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Άρθρο 2022, Αθήνα, 5–7 Νοεμβρίου, 2008.
18. Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ), ΟΑΣΠ, 2000.
19. Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος (ΕΚΩΣ), ΟΑΣΠ, 2000
20. ΚΑΝΕΠΕ – Κανονισμός επεμβάσεων :Τελικό σχέδιο. 2009.
21. Καραγιάννης Χ.Γ. Φαββατά Μ.Ι., “Επιρροή τοιχοποιιών πλήρωσης στην αλληλεπίδραση παρακείμενων κατασκευών με διαφορετικό ύψος ορόφων” Τεχνικά Χρονικά, Σεπτέμβριος-Οκτώβριος 2007,
22. Καρύδης Π., Μουζάκης Χ., Καραπίττα Λ., “Πειραματική διερεύνηση τρόπων επέμβασης για την αντιμετώπιση του προβλήματος της πυλωτής σε υφιστάμενα κτίρια”, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Άρθρο 2042, Αθήνα, 5–7 Νοεμβρίου, 2008.
23. Τσίκας Π., Δρίτσος Σ., “ Διερεύνηση της Επιρροής Ανοιγμάτων Τοιχοπληρώσεων σε Πλαισιακές Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος”, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Άρθρο 2004, Αθήνα, 5–7 Νοεμβρίου, 2008.

24. Φαββατά Μ.Ι., “Διερεύνηση σεισμικής συμπεριφοράς και ικανότητας πολυωρόφων κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος. Ειδική προσομοίωση κόμβων και αλληλεπίδραση κατασκευών”, Διδακτορική Διατριβή, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 2006.

