

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ  
ΠΑΡΑΚΕΙΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ Ω.Σ.**



***ΦΟΙΤΗΤΕΣ:***

**ΚΑΛΑΒΡΟΥ ΜΑΡΓΑΡΙΤΑ (Α.Μ.: 41343)**

**ΓΛΑΡΟΥ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ (Α.Μ.: 41133)**

***ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:***

**ΡΕΠΑΠΗΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ**

**ΠΕΙΡΑΙΑΣ, ΔΕΚΕΜΒΡΗΣ 2016**

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η.....Καλαβρά Μαργαρίτα....., του  
Λεωνίδα φοιτητής του Τμήματος.....Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε.....

του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να ολοκληρώσει εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού βμήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18. παρ.5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Ο Δηλών  
Καλαβρά

Ημερομηνία  
22/12/2016

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η.....ΓΙΑΡΟΥ ΓΙΑΝΓΚΗΛΙΑ....., του  
ΓΕΩΡΓΙΟΥ φοιτητής του Τμήματος ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να ολοκληρώσει εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού 6μήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18. παρ.5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Ο Δηλών



Ημερομηνία

22/12/2016

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην πτυχιακή μας εργασία θα διερευνηθεί η αλληλεπίδραση παρακείμενων κατασκευών κατά την διάρκεια σεισμικής διέγερσης. Ο λόγος για τον οποίο επιλέχτηκε το συγκεκριμένο θέμα είναι ότι η συμπεριφορά δυο κατασκευών κατά την σεισμική δόνηση είναι διαφορετική όταν βρίσκεται η κάθε κατασκευή μόνη της και άλλη όταν εφάπτονται (μεταξύ τους). Παρόλο που η Ελλάδα είναι σεισμογενής χώρα, δεν έχουν γίνει αρκετές μελέτες για τις καταστροφές που προέρχονται από την σύγκρουση παρακείμενων κατασκευών.

Το γεγονός αυτό μας έκανε να ασχοληθούμε και να μελετήσουμε την συγκεκριμένη περίπτωση. Επίσης το ενδιαφέρον και η βοήθεια του καθηγητή μας κ. Ρεπαπή συντέλεσε στο να ολοκληρωθεί η εργασία. Στην ερευνά μας, μας βοήθησε το υλικό της βιβλιοθήκης του ΑΕΙ Πειραιά Τ.Τ. και το διαδίκτυο.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
1.1. Διατύπωση προβλήματος.....	4
1.2. Σκοπός εργασίας.....	5
1.3. Περιεχόμενο εργασίας.....	5
2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ .....	7
2.1. Το πρόβλημα των παρακείμενων κατασκευών.....	7
2.2. Αλληλεπίδραση παρακείμενων κατασκευών.....	9
2.2.1. Διερεύνηση αλληλεπίδρασης σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος.....	9
2.2.2. Αλληλεπίδραση με ίσο ύψος ορόφων.....	10
2.2.3. Αλληλεπίδραση με διαφορετικές στάθμες ορόφων.....	11
2.2.4. Σεισμικός αρμός πλήρους διαχωρισμού.....	12
2.2.5. Συστάσεις κανονισμών.....	13
2.3. Επιρροή τοιχοποιίας πλήρωσης.....	14
2.3.1. Η ύπαρξη τοιχοπληρώσεων συμπαγών ή με ανοίγματα.....	15
2.3.2. Προσομοίωση της τοιχοποιίας πλήρωσης.....	16
2.3.3. Σύνοψη.....	17
2.4. Κόμβοι δοκών-υποστυλωμάτων.....	18
2.4.1. Βασικές μορφές απόκρισης και αστοχίας κόμβων.....	19
2.4.2. Επιρροή πυλωτής.....	19
2.4.3. Συμπεράσματα.....	20
3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	21
3.1. Δεδομένα - Περιγραφή κτιρίων.....	21
3.1.1. Ξυλότυποι και λεπτομέρειες υποστυλωμάτων τετραώροφου πλαισίου.....	21
3.1.2. Ξυλότυποι και λεπτομέρειες υποστυλωμάτων οκταώροφου πλαισίου.....	23
3.2. Προσομοίωση.....	27
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	31
4.1. Καλαμάτα.....	31
4.1.1. Σύγκρουση κτιρίων.....	31
4.1.2. Μετατοπίσεις υποστυλωμάτων.....	32
4.1.3. Ροπές υποστυλωμάτων.....	35
4.1.4. Τέμνουσες δυνάμεις.....	37
4.2. EL CENTRO.....	43
4.2.1. Μετατοπίσεις υποστυλωμάτων.....	43
4.2.2. Σύγκρουση κτιρίων.....	45
4.2.3. Ροπές υποστυλωμάτων.....	46
4.2.4. Τέμνουσες δυνάμεις.....	50

4.3. ΚΟΒΕ.....	55
4.3.1. Μετατοπίσεις υποστυλωμάτων.....	55
4.3.2. Σύγκρουση κτιρίων.....	57
4.3.3. Ροπές υποστυλωμάτων.....	58
4.3.4. Τέμνουσες δυνάμεις.....	63
5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	70
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	71

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

## 1.1. ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Σε αυτή την εργασία θα μελετήσουμε τη σεισμική συμπεριφορά δύο υφιστάμενων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, όταν τους ασκείται μια σεισμική φόρτιση, καθώς και την αλληλεπίδραση μεταξύ τους.

Η απόφαση μας να ασχοληθούμε με αυτό το φαινόμενο έχει να κάνει με το γεγονός ότι η χώρα μας αποτελεί μια από τις πιο σεισμογενείς χώρες παγκοσμίως κάτι που προκύπτει από τη θέση της.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον όσον αφορά την συμπεριφορά γειτονικών κτιρίων κατά τη διάρκεια σεισμού λόγω του ότι θεωρείται μία από τις κυριότερες αιτίες κατάρρευσης και σημαντικών βλαβών στα κτίρια. (Παπαϊωάννου, 1999)

Το πρόβλημα εντοπίζεται και στην Ελλάδα αφού μόνο τα τελευταία 25 χρόνια έχει θρηνήσει αρκετούς νεκρούς ενώ είχε και μεγάλες οικονομικές ζημιές (άμεσες και έμμεσες). Το γεγονός ότι αυτές προκλήθηκαν από σεισμούς αρκετά μικρότερους από τους μέγιστους αναμενόμενους σε διάφορες τεκτονικές πλάκες της χώρας μας καθιστά το πρόβλημα ακόμα μεγαλύτερο. Αυτό έχει να κάνει με το ότι μεγάλο κομμάτι των κτιρίων της χώρας (σχεδόν το 70% του δομικού πλούτου) έχει κατασκευαστεί πριν από το 1984, οπότε τότε έγινε η πρώτη τροποποίηση του Αντισεισμικού Κανονισμού (που είχε θεσπιστεί για πρώτη φορά το 1959), με αποτέλεσμα τα περισσότερα κτίρια να υστερούν σημαντικά από πλευράς σεισμικής επάρκειας σε σχέση με τα σύγχρονα κτίρια.

Το γεγονός ότι για τόσα πολλά χρόνια δεν υπήρξαν τροποποιήσεις στον αντισεισμικό κανονισμό, παρά την πλούσια ανοικοδόμηση που επικρατούσε τις δεκαετίες του '60 - '70 έχει να κάνει με την απουσία ισχυρών σεισμών και άρα ήταν δύσκολο να γίνουν αντιληπτές οι αδυναμίες που είχαν να κάνουν τόσο με τους κανονισμούς όσο και με το τρόπο σχεδίασης των κατασκευών. (Μαραγκός και Παγουλάτος, 2011)

Οι σύγχρονοι κανονισμοί προκειμένου να αντιμετωπίσουν το φαινόμενο της αλληλεπίδρασης προβλέπουν σεισμικούς αρμούς πλήρους διαχωρισμού μεταξύ τους, το εύρος του οποίου προκύπτει από τις μέγιστες αναμενόμενες μετατοπίσεις των κατασκευών.

Παρόλα αυτά έχει παρατηρηθεί η μη εφαρμογή μερικώς ή και πλήρως, των κανονισμών λόγω διάφορων παραγόντων. Τέτοιοι είναι το μεγάλο κόστος της γης, ή και το πολύ μικρό μέγεθος των οικοπέδων εφόσον η γη αποτελεί ένα ακριβό αγαθό που οι κάτοχοι του προσπαθούν να το εκμεταλλευτούν στο

μεγαλύτερο δυνατό βαθμό ακόμα στις μεγάλες πόλεις όπου το σύστημα δομήσεως είναι συνεχές τα ήδη υπάρχοντα κτίρια είναι παλιά και σχεδιασμένα με παλιούς κανονισμούς εμποδίζοντας έτσι την εφαρμογή του σεισμικού αρμού.

Ακόμα και όταν εφαρμόζονται οι κανονισμοί στην πλειοψηφία τους, οι αρμοί που αφήνονται μεταξύ των κατασκευών είναι ανεπαρκείς, για να ανταποκριθούν σε ανελαστική απόκριση με μεγάλες μετατοπίσεις κατά τη διάρκεια μεγάλων σεισμικών διεγέρσεων. (Καραγιάννης και Φαββατά 2007).

## **1.2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Σκοπός της εργασίας είναι η παρουσίαση των συνεπειών της αλληλεπίδρασης στην απόκριση των κατασκευών και ο έλεγχος της αποτελεσματικότητας των μέτρων προστασίας των κτιρίων που προτείνονται από τους κανονισμούς. Γίνεται μελέτη της συμπεριφοράς δύο παρακείμενων κατασκευών κατά τη διάρκεια εφαρμογής σε αυτές διάφορων σεισμικών διεγέρσεων. Βασικό σημείο στο οποίο επικεντρώνεται η εργασία είναι οι διαφορές όσον αφορά τις μετατοπίσεις, τις τέμνουσες, τις ροπές στα δύο κτίρια όταν βρίσκονται το ένα δίπλα στο άλλο και το καθένα ξεχωριστά μόνο του. Θέλουμε έτσι να καταλάβουμε και να βγάλουμε ένα χρήσιμο συμπέρασμα για το πως επηρεάζει η παρουσία της μιας κατασκευής την άλλη, το πώς επηρεάζει ο κανονισμός με τον οποίο έχει κατασκευαστεί το κάθε κτίριο, το εμβαδό του, τα υλικά του, ο σχεδιασμός του. Θέλοντας με αυτή να ενισχύσουμε τη προσπάθεια για καλύτερη πρόβλεψη της συμπεριφοράς διαφόρων κατασκευών κατά τη σεισμική διέγερση, και τη δημιουργία κατασκευών που να λειτουργούν σε μια σεισμική διέγερση με μεγαλύτερη ασφάλεια. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων γίνεται έπειτα από τη πραγματοποίηση μίας σειρά παραδοχές που έχουν να κάνουν με το ύψος των κατασκευών και την μεταξύ τους απόσταση.

## **1.3. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

### **➤ ΠΡΩΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ**

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά στους λόγους που μας οδήγησαν στην επιλογή του συγκεκριμένου θέματος. Το γεγονός δηλαδή ότι είναι ένα φαινόμενο που δεν έχει μελετηθεί αρκετά και ότι είναι σημαντικό για τη χώρα μας αφού είναι μια από τις πιο σεισμογενείς χώρες παγκοσμίως και το μεγαλύτερο κομμάτι των κτιρίων έχει κατασκευαστεί χωρίς αντισεισμικούς κανονισμούς. Ταυτόχρονα γίνεται αναφορά στο σκοπό της εργασίας και στο περιεχόμενο της.



## ➤ ΔΕΥΤΕΡΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση των παραγόντων που επηρεάζουν την σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Γίνεται αναφορά στην αλληλεπίδραση κατασκευών με διαφορετικό ύψος ορόφων και με ίσο ύψος ορόφων. Επιπλέον αναφέρονται τρόποι αντιμετώπισης του φαινομένου και ειδικότερα για το σεισμικό αρμό πλήρους διαχωρισμού. Τέλος γίνεται λόγος για την τοιχοποιία πλήρωσης και την επιρροή της στη συμπεριφορά των κτιρίων κατά τη διάρκεια ενός σεισμού.

## ➤ ΤΡΙΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Εδώ παρουσιάζονται κάποια στοιχεία για το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε (Etabs) για τις δυναμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας. Γίνεται παρουσίαση των δεδομένων - στοιχείων των κτιρίων που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση των μελών οπλισμένου σκυροδέματος.

## ➤ ΤΕΤΑΡΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση και ανάλυση των αποτελεσμάτων όσον αφορά τις μετατοπίσεις των υποστυλωμάτων, τη σύγκρουση κτιρίων, τις ροπές των υποστυλωμάτων και τις τέμνουσες δυνάμεις ενός 8όροφου και 4όροφου κτιρίου όταν αλληλεπιδρούν κατά τη διάρκεια τριών διαφορετικών σεισμών (El centro, Kobe και Καλαμάτα).

## ➤ ΠΕΜΠΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από την εφαρμογή των μεθόδων και διαδικασιών σεισμικής αποτίμησης.

## 2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.

---

### 2.1. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΚΕΙΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Το πρόβλημα των παρακείμενων κατασκευών εμφανίζεται κυρίως σε μεγάλα αστικά κέντρα όπου χαρακτηρίζονται από το υψηλό κόστος της γης και το μικρό μέγεθος των οικοπέδων. Για το λόγο αυτό το σύστημα δόμησης που συνήθως εφαρμόζεται στα μεγάλα αστικά κέντρα είναι το συνεχές σύστημα δόμησης (Οικονόμου, 2003).

Το συνεχές σύστημα δόμησης, με βάση το οποίο έχουν οικοδομηθεί τα μεγάλα αστικά κέντρα στην Ελλάδα (Αθήνα), προβλέπει την τοποθέτηση του κτιρίου το ένα δίπλα στο άλλο (σε επαφή). Παρόλο που τα τελευταία χρόνια έχουν υπάρξει μεγάλες βελτιώσεις στους αντισεισμικούς κανονισμούς, συχνά αυτοί δεν εφαρμόζονται προκειμένου να αξιοποιηθεί περισσότερος οικοδομήσιμος χώρος. Οι περισσότεροι σύγχρονοι κανονισμοί όπως και ο Ελληνικός προβλέπουν την εφαρμογή σεισμικού αρμού πλήρους διαχωρισμού μεταξύ των παρακείμενων κατασκευών. Παρόλα αυτά τα περισσότερα κτίρια έχουν κατασκευαστεί πριν την εφαρμογή αυτών των κανονισμών (Καραγιάννης, 2013).

Το μεγαλύτερο λοιπόν ποσοστό των κατασκευών (πάνω από το 80%) βρίσκονται σε επαφή μεταξύ τους ή με κάποιο πολύ μικρό αρμό μεταξύ τους. Γι' αυτό ακριβώς το λόγω είναι σύνηθες κατά τη διάρκεια σεισμικών διεγέρσεων να υπάρχει αλληλεπίδραση των κατασκευών υπό τη μορφή συνεχών κρούσεων ανάμεσα στις μάζες των πλακών ή υποστυλωμάτων και πλακών. Οι κρούσεις αυτές είναι δυνατόν να προκαλέσουν βλάβες στη κατασκευή ακόμα και τη κατάρρευση της (Φαββατά, 2006).

Έχει παρατηρηθεί εξάλλου ότι τις τελευταίες δεκαετίες σε όλους τους ισχυρούς σεισμούς που έχουν συμβεί σε μεγάλες πόλεις, πολλές κατασκευές έχουν παρουσιάσει προβλήματα λόγω της επιρροής της αλληλεπίδρασης. Σε τέτοιες περιπτώσεις έχει καταγραφεί στη βιβλιογραφία ότι η αλληλεπίδραση παρακείμενων κατασκευών αποτελεί συχνά αιτία πρόκλησης βλαβών ενώ έχει καταγραφεί ακόμη και ως βασική αιτία για την έναρξη καταρρέψεων.

Ειδικότερα, στον καταστρεπτικό σεισμό του Μεξικού το 1985, έχει υποστηριχθεί (Bertero 1986, Rosenblueth & Meli 1986) ότι το 40% από τα 330 κτίρια που υπέστησαν σοβαρές βλάβες ή κατέρρευσαν και το 15% των περιπτώσεων που κατέληξαν σε κατάρρευση, οφείλονταν στη πρόσκρουση μεταξύ παρακείμενων κατασκευών. (Καραγιάννης, 2013).

Ένα από τα σημαντικά προβλήματα που αντιμετωπίζουμε στην διερεύνηση της απόκρισης των κατασκευών είναι η αναγνώριση και ο συνυπολογισμός των παραγόντων επιρροής της σεισμικής συμπεριφοράς των πολυώροφων κατασκευών. Σημαντικοί παράγοντες θα μπορούσαν να θεωρηθούν, η ύπαρξη τοιχοπληρώσεων (συμπαγών ή με ανοίγματα) ή η αλληλεπίδραση παρακείμενων κατασκευών (Καραγιάννης, 2013).

Η σημαντική επιρροή της αλληλεπίδρασης των κατασκευών στη σεισμική τους απόκριση έχει επιβεβαιωθεί και από επί τόπου παρατηρήσεις και καταστροφές μετά από καταστρεπτικούς σεισμούς σε όλο τον κόσμο. Για την αποφυγή του φαινομένου οι σύγχρονοι κανονισμοί προβλέπουν σεισμικούς αρμούς πλήρους διαχωρισμού μεταξύ των κατασκευών. Βέβαια πολλές φορές οι κανονισμοί αυτοί δεν εφαρμόζονται λόγω πολλών παραγόντων, τέτοιοι παράγοντες μπορεί να είναι η ύπαρξη του ενός από τα δύο κτίρια από πριν σε συνδυασμό με το μικρό μέγεθος των οικοπέδων και το μεγάλο κόστος της γης στις μεγάλες πόλεις.

Η πιθανότητα πρόσκρουσης δύο κτιρίων μπορεί να προκύψει από τη μετατόπιση των κτιρίων κατά τη διάρκεια μίας σεισμικής δόνησης.

Σε μία μελέτη πρέπει να εντοπιστεί θεωρητικά η απόκριση, εφαρμόζοντας θεωρητικά τις σεισμικές δυνάμεις σχεδιασμού και να υπολογιστεί με βάση την ταλάντωση του κτιρίου η μέγιστη μετατόπιση που θα προκύψει.

Είναι εύκολα κατανοητό ότι ένα κτίριο κατά τη διάρκεια ενός σεισμού θα αμφιταλαντευτεί. Ωστόσο, δύο γειτονικά κτίρια μπορεί να ταλαντεύονται με εντελώς διαφορετική ιδιοπερίοδο και κατά τη διάρκεια ενός σεισμού το ένα ενδέχεται να απομακρύνεται από το άλλο και μετέπειτα να πλησιάζει το ένα το άλλο.

Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά τη συμπεριφορά απόκρισης των κτιρίων, όπως είναι διαφορές στη γεωμετρία, διαφορές στις ιδιότητες των υλικών, τοπικές παραλλαγές στη γεωλογία και η φύση του σεισμού πολλαπλασιασμού.

Ο πλέον κατάλληλος τρόπος για να μειωθεί και να αποφευχθεί μία πιθανή πρόσκρουση μεταξύ δύο γειτονικών κτιρίων είναι η ύπαρξη κατάλληλης απόστασης διαχωρισμού μεταξύ των κτιρίων.

Άλλος ένας παράγοντας που μπορεί να προκαλέσει βλάβες σε δύο γειτονικά κτίρια είναι η θέση και το ύψος των πλακών των διπλανών κτιρίων μιας οικοδομής. Πιο έντονο είναι το πρόβλημα όταν οι πλάκες του ενός κτιρίου είναι σε διαφορετικό ύψος. Τότε οι πλάκες του ενός συγκρούονται με τα υποστυλώματα του διπλανού κτιρίου με αποτέλεσμα την αστοχία των υποστυλωμάτων. Από αυτό γίνεται καλύτερα αντιληπτή η ανάγκη τα κτίρια να διαχωρίζονται μεταξύ τους με σεισμικούς αρμούς, έτσι ώστε να αποφεύγεται η

αλληλεπίδραση του ενός με το άλλο και να διασφαλίζεται η ανεξαρτησία κινήσεων του κάθε κτιρίου.

## 2.2. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΑΡΑΚΕΙΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

### 2.2.1. Διερεύνηση αλληλεπίδρασης σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος

Τα τελευταία χρόνια πολυώροφα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα έχουν μελετηθεί για την αλληλεπίδραση τους. Στις μελέτες αυτές η γεωμετρία των κατασκευών, η αντοχή του σκυροδέματος και του χάλυβα όπως και ο οπλισμός τους (ποσότητα και θέση) παρουσιάζονται με τα αληθινά δεδομένα.

Έχουν γίνει προσπάθειες στη διερεύνηση πολυβάθμιων συστημάτων, την δεκαετία 1990, όπως επίσης και σε πολυβάθμια συστήματα με διαφορετικό συνολικό ύψος (Anagnostopoulos & Spiliopoulos 1992). Η προσομοίωση των κατασκευών έχει γίνει με συγκεντρωμένες μάζες συνδεδεμένες μεταξύ τους με διατμητικούς συνδέσμους.

Σύμφωνα με τους συγγραφείς μελετήθηκαν οι επιπτώσεις της αλληλεπίδρασης παρακείμενων κατασκευών με την συμπεριφορά ομοίων 5-ορόφων κατασκευών που ήταν σε σειρά διάταξη 2, 3 και 4 κτιρίων. Επίσης διερευνήθηκε η επιρροή της πρόσκρουσης δύο κατασκευών με διαφορετικό συνολικό ύψος ορόφων. Στην περίπτωση αυτή η αλληλεπίδραση μπορεί να προκαλέσει επικίνδυνες καταστροφές. Επί πλέον προτείνονται από τους Maison and Kasai (1990 & 1992), βελτιωμένες μέθοδοι για την διερεύνηση των πολυβάθμιων συστημάτων.

Έχει διαπιστωθεί ότι το υποστύλωμα που υφίσταται το πλήγμα από το διαφορετικό ύψος ορόφων, κατά την αλληλεπίδραση των παρακείμενων κατασκευών, βρίσκεται σε κρίσιμη κατάσταση διατμητικής αστοχίας. Από την αρχή, σε κάθε ανάλυση, η εύκαμπτη πολυώροφη κατασκευή βρίσκεται σε επαφή ή πολύ κοντά με μια άλλη λιγότερο εύκαμπτη. Η σύγκρουση συμβαίνει όταν οι μετατοπίσεις των κατασκευών είναι μεγαλύτερη από την αρχική απόσταση ( $d_g$ ) των δυο κατασκευών.

Η στάθμη των ορόφων του πιο χαμηλού και δύσκαμπτου κτιρίου είναι τα σημεία επαφής. Από την ανάλυση όλων των περιπτώσεων οι συγγραφείς κατέληξαν ότι η σεισμική απόκριση των κατασκευών επηρεάζεται μόνο από τη θέση και τα χαρακτηριστικά του σημείου επαφής του πάνω ορόφου της πιο δύσκαμπτης και χαμηλότερης κατασκευής, καθώς και ότι είναι αμελητέα η επιρροή των άλλων σημείων επαφής ακόμα και στην περίπτωση που βρισκόταν σε επαφή από την αρχή οι δυο κατασκευές. Το αποτέλεσμα αυτό συμβαίνει γιατί στις εξεταζόμενες περιπτώσεις αλληλεπιδράσεις οι δυο κατασκευές έχουν

μεγάλη διαφορά ύψους. Για το γεγονός αυτό οι Καραγιάννης & Φαββάτα (2007) στις αναλύσεις που πραγματοποίησαν θεώρησαν ως σημείο πρόσκρουσης των κατασκευών μόνο την πλάκα του επάνω ορόφου της δύσκαμπτης κατασκευής.

### 2.2.2. Αλληλεπίδραση μεταξύ κατασκευών με ίσο ύψος οροφών

Η αλληλεπίδραση μεταξύ κατασκευών των οποίων οι όροφοι βρίσκονται στο ίδιο ύψος έχει μελετηθεί διεθνώς σε αρκετή έκταση. Οι αρχικές διερευνήσεις έγιναν με μονοβάθμιους ταλαντωτές σε σειρά.

Μεταξύ των συμπερασμάτων που εξήχθηκαν από τα αποτελέσματα, ήταν και ότι οι εξωτερικοί από τους μονοβάθμιους ταλαντωτές που ευρίσκοντο σε σειρά, καταπονούνται από τη πρόσκρουση περισσότερο από τους εσωτερικούς. Επί πλέον, παρατηρήθηκε μείωση της έντασης της απόκρισης των εσωτερικών συστημάτων σε σχέση με την ένταση της σεισμικής τους απόκρισης χωρίς την αλληλεπίδραση των γειτονικών. Στο ίδιο πλαίσιο έρευνας μελετήθηκε από την Athanasiadou (1994) η επιρροή της διαφοράς φάσεως στην ταλάντωση σχηματισμών σε σειρά με παρεμφερή συμπεράσματα (Καραγιάννης 2013).

Στη δεκαετία 1990 αναφέρονται προσπάθειες για την διερεύνηση πολυβάθμιων συστημάτων καθώς και πολυβάθμιων συστημάτων με διαφορετικό συνολικό ύψος (Anagnostopoulos & Spiliopoulos 1992). Στις περιπτώσεις αυτές, οι κατασκευές προσομοιώνονται με συγκεντρωμένες μάζες, που συνδέονται με συνδέσμους διατμητικού τύπου με διγραμμικά χαρακτηριστικά δύναμης - παραμόρφωσης. Επί πλέον, διερευνήθηκε η επιρροή της πρόσκρουσης δύο κατασκευών με διαφορετικό συνολικό ύψος ορόφων. Συμφώνα με τους Καραγιάννη και Φαββατά (2007) σ' αυτήν τη περίπτωση η αλληλεπίδραση μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες.

Σε αυτές τις εργασίες το πρόβλημα διερευνάται μεταξύ μονοβάθμιων ή πολυβάθμιων θεωρητικών συστημάτων και όχι μεταξύ κατασκευών που έχουν μελετηθεί με συγκεκριμένο κανονισμό οπλισμένου σκυροδέματος και έχουν σχεδιασθεί με συγκεκριμένο κανονισμό. Κατ' αυτόν τον τρόπο δεν λαμβάνονται υπόψη τα δυναμικά χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες απόκρισης των υλικών και των στοιχείων των πραγματικών κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος (Καραγιάννης 2013).

Σε εργασίες που δημοσιεύθηκαν πρόσφατα (Καραγιάννης & Φωτοπούλου 1998, Καραγιάννης & Φαββατά 2005) στις οποίες μελετώνται περιπτώσεις αλληλεπίδρασης κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, λαμβάνονται υπ' όψη τα πραγματικά χαρακτηριστικά της κατασκευής.

Σύμφωνα με τους συγγραφείς των παραπάνω εργασιών οι υπό εξέταση κατασκευές είχαν διαφορετικό συνολικό ύψος αλλά ίσα ύψη των ορόφων με αποτέλεσμα οι κρούσεις να γίνονται μεταξύ των μαζών των ορόφων τους.

Από την αλληλεπίδραση των κατασκευών, κατά την διερεύνηση, φάνηκε ότι οι απαιτήσεις σε πλαστιμότητα των στοιχείων του ψηλότερου πλαισίου αυξάνονται. Για την άμεση ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων και καλύτερη αντίληψη οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν το συντελεστή  $\gamma_{\mu}$  ο οποίος χαρακτηρίζει την αύξηση των απαιτήσεων σε πλαστιμότητα λόγω της αλληλεπίδρασης και ορίζεται ως  $\gamma_{\mu} = \mu_{\phi, dg} / \mu_{\phi}$  όπου  $\mu_{\phi, dg}$  η απαίτηση σε πλαστιμότητα καμπυλοτήτων του υπό εξέταση υποστυλώματος λαμβάνοντας υπόψη ότι οι κατασκευές κατά την αλληλεπίδραση απέχουν μεταξύ τους απόσταση ίση με  $d_g$  (εύρος αρμού) και  $\mu_{\phi}$  η απαίτηση σε πλαστιμότητα του ίδιου στοιχείου όταν το κτίριο αποκρίνεται στον ίδιο σεισμό χωρίς την επιρροή της παρακείμενης κατασκευής (χωρίς αλληλεπίδραση). (Καραγιάννης 2013)

### 2.2.3. Αλληλεπίδραση μεταξύ κατασκευών με διαφορετικές στάθμες οροφών

Σε πολλές εργασίες διεθνώς, όπως και στις παραπάνω αναφερόμενες διερευνήσεις, η μελέτη της αλληλεπίδρασης παρακείμενων κατασκευών περιορίζεται στη περίπτωση που υπάρχει ισοσταθμία μεταξύ των ορόφων των παρακείμενων κτιρίων. Έτσι η πρόσκρουση των κατασκευών γίνεται στη στάθμη των πλακών και δεν διερευνάται η περίπτωση εμβολισμού υποστυλώματος από πλάκα του παρακείμενου κτιρίου. Στη συνηθισμένη περίπτωση, όμως, κατά την οποία η παρακείμενη κατασκευή έχει διαφορετικές στάθμες οροφών είναι πολύ πιθανόν να παρατηρηθούν κρούσεις των πλακών σε ενδιάμεσα σημεία του ύψους των υποστυλωμάτων.

Σε ένα υποσύλωμα που υφίσταται κρούσεις από πλάκα της παρακείμενης κατασκευής η αναπτυσσόμενη εντατική κατάσταση ανάλογα με τη θέση στην οποία το υποσύλωμα υφίσταται το πλήγμα, είναι δυνατόν να είναι πρωτίστως καμπτικού χαρακτήρα ή διατμητικού κυρίως και δευτερευόντως καμπτικού. Στη πρώτη περίπτωση το αποτέλεσμα είναι αν αυξάνονται πάρα πολύ οι απαιτήσεις σε πλαστιμότητα, ενώ στη δεύτερη που είναι και η πιο συνηθισμένη που ένα υποσύλωμα έχει δεχθεί πλήγμα από πλάκα παρακείμενης κατασκευής, η αναπτυσσόμενη εντατική κατάσταση είναι διατμητικού χαρακτήρα οπότε οδηγείται σε ανεξέλεγκτες ψαθυρές τοπικές αστοχίες που μπορεί να αποτελέσουν και αρχή γενικής αστοχίας ή και κατάρρευσης.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διερεύνηση της ικανότητας του υποστυλώματος της πολυώροφης πλαισιωτής κατασκευής που εμβολίζεται από τη πλάκα του ανώτερου ορόφου της παρακείμενης πιο δύσκαμπτης κατασκευής με μικρότερο

ύψος από αυτή. Η περίπτωση αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως πιο κρίσιμη περίπτωση αλληλεπίδρασης παρακείμενων κατασκευών.

Σημαντικό βέβαια ρόλο παίζει και η απόσταση μεταξύ των παρακείμενων κατασκευών.

Σε όλες τις μελετώμενες περιπτώσεις εξετάζεται η επιρροή της αρχικής απόστασης  $d_g$  μεταξύ των κτιρίων. Έτσι για την εξέταση της επιρροής της απόστασης  $d_g$  μεταξύ των παρακείμενων κτιρίων, οι παραπάνω περιπτώσεις αλληλεπίδραση μελετώνται όταν  $d_g = 0.0$  cm (κατασκευές σε επαφή),  $d_g = 0.2$  cm και  $d_g = 5.0$  cm οπότε οι κατασκευές ταλαντώνονται ελεύθερα (χωρίς επιρροή αλληλεπίδρασης).

Τα περισσότερα από τα συμπεράσματα επικεντρώνονται στην συμπεριφορά του υποστρώματος που υφίσταται τον εμβολισμό από την πλάκα.

Σύμφωνα με τους Καραγιάννη και Φαββατά στις περιπτώσεις αλληλεπίδρασης που μελετήσαν δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη μελέτη της τοπικής συμπεριφοράς του υποστρώματος που υφίσταται τη κρούση (εμβολίζεται) από τη πλάκα της παρακείμενης με μικρότερο συνολικό ύψος κατασκευής. Οι συνέπειες της πρόσκρουσης αυτής μπορεί να είναι πολύ σοβαρές για την ικανότητα του υποστρώματος. (Καραγιάννης και Φαββατά 2007)

Έτσι κατέληξαν στο συμπέρασμα (Καραγιάννης και Φαββατά 2007) ότι στις εξεταζόμενες περιπτώσεις η επιρροή της παρακείμενης κατασκευής είναι πιθανόν να προκαλέσει τοπική ψαθυρή διατμητική αστοχία του υποστρώματος στο κάτω τμήμα του και να έχει έτσι ως αποτέλεσμα την έναρξη γενικής αστοχίας.

#### **2.2.4. Σεισμικός αρμός πλήρους διαχωρισμού**

Για την αντιμετώπιση των συνεπειών της αλληλεπίδρασης κατά τη διάρκεια σεισμικών διεγέρσεων οι σύγχρονοι κανονισμοί προβλέπουν διαχωριστικό κενό μεταξύ των παρακείμενων κατασκευών το σεισμικό αρμό πλήρους διαχωρισμού το εύρος του οποίου εξαρτάται από τι αναμενόμενες μέγιστες μετατοπίσεις τους.

Ο προσδιορισμός του ελάχιστου εύρους του αρμού πλήρους διαχωρισμού εξαρτάται κυρίως από την δυσκαμψία των παρακείμενων κατασκευών και τη δυνατότητα τους για την πλευρική μετατόπιση.

Ο σεισμικός αρμός πλήρους διαχωρισμού είναι υποχρεωτικός σε κάθε περίπτωση, κατά την οποία υπάρχει πιθανότητα εμβολισμού υποστρωμάτων ενός κτιρίου από πλάκες ή άλλα στοιχεία παρακείμενου κτιρίου.

## 2.2.5. Συστάσεις κανονισμών

Οι κανονισμοί EC8 και ΕΑΚ προτείνουν για την αποφυγή της αλληλεπίδρασης δημιουργία αντισεισμικού αρμού. Πιο συγκεκριμένα αναφέρουν:

**ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ(ΕΑΚ-2000)** Ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ 2000) αναφέρει ότι, αν δεν γίνεται ακριβέστερος υπολογισμός, ο σεισμικός αρμός πλήρους διαχωρισμού  $\Delta_{αρμού}$  μπορεί να υπολογίζεται ως

$$\Delta_{αρμού} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}$$

$\Delta_1$  ,  $\Delta_2$  οι μέγιστες σεισμικές μετατοπίσεις των δύο παρακειμένων κτιρίων στις θέσεις των επικίνδυνων υποστυλωμάτων συμπεριλαμβανομένης και της επίδρασης της στροφής. Η μέγιστη σεισμική μετατόπιση λαμβάνεται ως  $\Delta = q\Delta_{ελ}$

όπου  $\Delta_{ελ}$  η μέγιστη ελαστική σεισμική μετατόπιση και  $q$  ο συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής. Αν δεν είναι δυνατή ακριβέστερη εκτίμηση των μετακινήσεων του υφισταμένου κτιρίου (παλιό κτίριο με άγνωστο δομικό σύστημα) μπορούν αυτές να ληφθούν ίσες με τις αντίστοιχες του υπό μελέτη κτιρίου. Σε αυτή τη περίπτωση  $\Delta_{αρμού} = \Delta_1\sqrt{2}$

Σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει πιθανότητα εμβολισμού υποστυλωμάτων σε κανένα από τα δύο κτίρια (ίσο ύψος ορόφων), το εύρος του αντίστοιχου αρμού, εφ' όσον δεν γίνεται ακριβέστερος υπολογισμός, είναι δυνατόν να καθορίζεται με βάση τον συνολικό αριθμό των υπέρ το έδαφος εν επαφή ορόφων ως εξής :

- i) Πλάτος αρμού 4 cm για επαφή μέχρι 4 ορόφους.
- ii) Πλάτος αρμού 8 cm για επαφή από 4 μέχρι 8 ορόφους.
- iii) Πλάτος αρμού 10 cm για επαφή σε περισσότερους από 8 ορόφους.

Στους υπογείους ορόφους (και τη θεμελίωση) δεν είναι υποχρεωτική η πρόβλεψη αντισεισμικού αρμού.

## ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 8 (EC8)

Ο Ευρωκώδικας 8 αναγνωρίζει το πρόβλημα και επιβάλλει την αντιμετώπισή του με την ίδια μεθοδολογία όπως και ο ΕΑΚ-2000. Αναφέρεται ότι :



- i) Η κατασκευή στα σημεία πιθανής κρούσης με την κατασκευή της παρακείμενης ιδιοκτησίας, θα πρέπει να απέχει από τη γραμμή ιδιοκτησίας όχι λιγότερο από τη μέγιστη σεισμική οριζόντια μετατόπιση  $d_s$  της κατασκευής.
- ii) Η απόσταση μεταξύ κατασκευών που ανήκουν στην ίδια ιδιοκτησία δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από

$$d = \sqrt{d_{s1}^2 + d_{s2}^2}$$

όπου  $d_{s1}, d_{s2}$  οι μέγιστες σεισμικές οριζόντιες μετατοπίσεις των δύο παρακείμενων κατασκευών.

- iii) Αν τα ύψη των ορόφων δύο παρακείμενων κατασκευών είναι ίσα μεταξύ τους τότε η παραπάνω αναφερομένη ελάχιστη απόσταση μεταξύ των κατασκευών μπορεί να μειωθεί πολλαπλασιαζόμενη επί τον συντελεστή 0.7.

Στις παραπάνω σχέσεις η μέγιστη σεισμική μετατόπιση της κατασκευής  $d_s$  λαμβάνεται ως  $d_s = q_d d_e$

όπου  $q_d$  ο συντελεστής συμπεριφοράς κατά EC8 και  $d_e$  η μετακίνηση όπως αυτή υπολογίζεται από ελαστική ανάλυση.

## 2.3 ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΩΝ ΠΛΗΡΩΣΗΣ

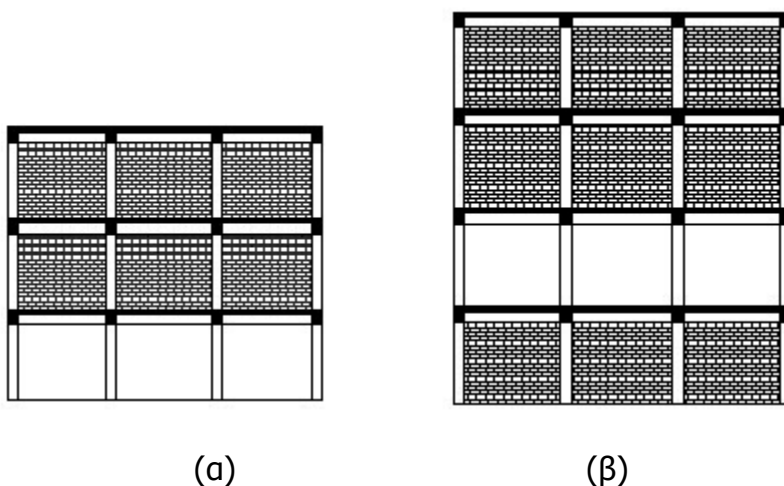
Η επίδραση των τοιχοπληρώσεων στους φορείς οπλισμένου σκυροδέματος υπό σεισμικές φορτίσεις αποτελεί χαρακτηριστική περίπτωση. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι τοιχοπληρώσεις θεωρούνται ως μη φέροντα στοιχεία και λαμβάνεται υπόψη μόνο η κατακόρυφη φόρτιση που μεταφέρουν στο φορέα λόγω του ίδιου βάρους 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. Υπάρχουν παραδείγματα στα οποία οι τοιχοποιίες πλήρωσης συνέβαλαν στη δημιουργία επικίνδυνων μορφών αστοχίας για την κατασκευή όπως τη δημιουργία μηχανισμού ορόφου στην κατασκευή (πυλωτή). Από την άλλη υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι τοιχοπληρώσεις μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την δυσκαμψία και αντοχή της κατασκευής έναντι σεισμικών δράσεων, όταν η τοιχοποιίες είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες τόσο σε κάτοψη όσο και καθ' ύψος στην κατασκευή. Μάλιστα αρκετές φορές για να ενισχυθεί μια κατασκευή χρησιμοποιούνται τοιχοποιίες που βελτιώνουν την σεισμική συμπεριφορά της όταν αυτές είναι καλά σχεδιασμένες (Μουστακάτου 2009).

### 2.3.1. Η ύπαρξη τοιχοπληρώσεων συμπαγών ή με ανοίγματα.

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 πλαισιακούς 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 το σύνηθες είναι η γεωμετρία του φορέα καθώς και η διάταξη των τοιχοπληρώσεων να 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 κατανομημένες καθ' ύψος, όπως στην περίπτωση του σχήματος 2.1.



**Σχήμα 2.1. Δυσμενής διάταξη τοιχοπληρώσεων, (α) πυλωτή, (β) ενδιάμεσος μη τοιχοπληρωμένος όροφος.** (Αντωνόπουλος 2006)

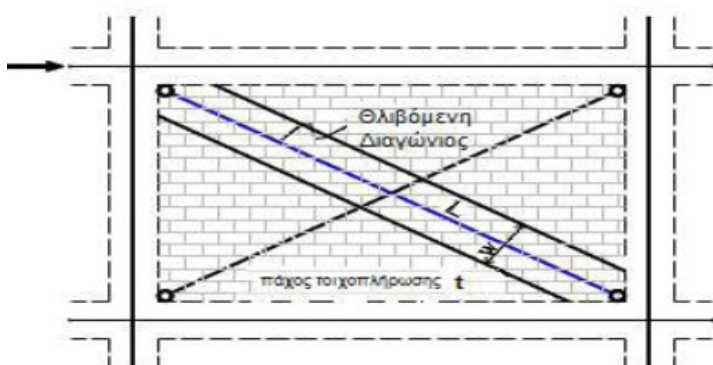
Τέτοιες διατάξεις, όπως είναι η πυλωτή ή ο ενδιάμεσος μη τοιχοπληρωμένος όροφος, οδηγούν σε πολλές περιπτώσεις στην ανεπιθύμητη ανάπτυξη μηχανισμών μαλακού ορόφου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, η ύπαρξη της τοιχοπλήρωσης σε έναν όροφο συνεισφέρει σημαντικά στη διατμητική αντοχή του ορόφου. Επίσης, 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 δημιουργείται μηχανισμός 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. (Καραγιάννης & Φαββατά 2007)

### 2.3.2. Προσομοίωση της τοιχοποιίας πλήρωσης

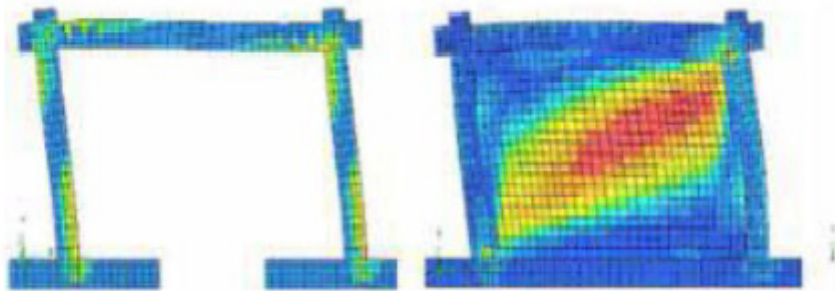
Η κύρια μορφή αστοχίας της τοιχοπλήρωσης υπό σεισμικά φορτία είναι η διαγώνια ρηγμάτωση. Οι βασικότεροι μέθοδοι προσομοίωσης της τοιχοποιίας είναι οι εξής:

1) Η μέθοδος του διαγώνιου θλιπτήρα, στην οποία ασκείται μόνο θλιπτικό φορτίο μεταξύ των διαγώνιων απέναντι κόμβων μέσω μιας διαγώνιας αντηρίδας. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της αντηρίδας εξαρτώνται από το πάχος της τοιχοπλήρωσης και από το μήκος της επαφής της τοιχοπλήρωσης με το περιβάλλον πλαίσιο.



**Σχήμα 2.2 Προσομοίωση τοιχοπλήρωσης με διαγώνιους θλιπτήρες**  
(Αντωνόπουλος 2008)

2) Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων, το στοιχείο πλήρωσης όπως και το πλαίσιο αναλύονται σαν πεπερασμένα στοιχεία, επίπεδα και γραμμικά, αντίστοιχα.



**Σχήμα 2.3 Προομοίωση τοιχοπήρωσης με πεπερασμένα στοιχεία**  
(Αντωνόπουλος 2008)

### 2.3.3. Σύνοψη

1. Όταν το κτίριο μελετάται πλήρως τοιχοπληρωμένο τότε οι απαιτήσεις σε πλαστιμότητα θα είναι μικρότερες από τις απαιτήσεις που το ίδιο υποστυλώμα θα αναπτύξει χωρίς την επιρροή των τοιχοποιιών, καθ όλη τη διάρκεια της σεισμικής διέγερσης. (Καραγιάννης & Φαββατά, 2007).
2. Παρατηρείται ότι στην περίπτωση με ανοιχτό ισόγειο (πυλωτή) η σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών είναι κρίσιμη για τα υποστυλώματα του ισόγειου γιατί αυξάνονται οι απαιτήσεις τους σε πλαστιμότητα, όπως αυξάνεται και το μήκος της ανελαστικής τους περιοχής.
3. Οι διατμητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στο κρίσιμο τμήμα του υποστυλώματος σε όλες τις εξεταζόμενες περιπτώσεις ξεπερνούν τη διαθέσιμη αντοχή του. Ιδιαίτερα εμφανής είναι η επιρροή των τοιχοπληρώσεων δεδομένου ότι σε σύγκριση με την αντίστοιχη συμπεριφορά που αναπτύσσει το υποστυλώμα όταν το πολώροφο πλαίσιο είναι χωρίς τοιχοποιίες, οι διατμητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται είναι μεγαλύτερες και μάλιστα ξεπερνούν, αρκετές και περισσότερες φορές την αντοχή του υποστυλώματος κατά την διάρκεια της ανάλυσης.
4. Η αντοχή και η πλευρική δυσκαμψία των κτιρίων αυξάνονται με την παρουσία των τοιχοπληρώσεων. Επίσης μειώνονται οι μέγιστες αναπτυσσόμενες σχετικές μετατοπίσεις κυρίως στους επάνω ορόφους.
5. Η αστοχία των τοιχοπληρώσεων ξεκινάει από τους κάτω ορόφους του κτιρίου.

Από τους λόγους που αναφέρθηκαν φαίνεται ότι είναι σημαντική η συνεισφορά της τοιχοποιίας πλήρωσης και κατά την αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

## 2.4. ΚΟΜΒΟΙ ΔΟΚΩΝ -ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΩΝ

Ένα σημαντικό θέμα, που προβληματίζει για την προσομοίωση της σεισμικής απόκρισης, είναι η συμπεριφορά των κόμβων και ιδιαίτερα των ακραίων κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων. Υπάρχει διεθνώς επιστημονική διαφωνία για την διαδικασία σχεδιασμού και τον τρόπο λειτουργίας τους, για αυτό δεν έχει βρεθεί κοινά αποδεκτό μοντέλο μηχανισμού απόκρισης.

Για να εκτιμήσουμε την σεισμική συμπεριφορά κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, συνήθως χρησιμοποιούμε αναλυτικό μοντέλο προσομοίωσης περιλαμβάνοντας στοιχεία μιας διάστασης που περιγράφουν την απόκριση των δοκών και των υποστυλωμάτων, ενώ για την προσομοίωση των κόμβων χρησιμοποιούμε άκαμπτες ζώνες θεωρώντας έτσι ελαστική, με άπειρη αντοχή και δυσκαμψία, την απόκριση στην περιοχή του κόμβου.

Βέβαια σε παλιού τύπου κατασκευές μια τέτοια συμπεριφορά δεν είναι πάντα εφικτή. Έτσι η συνολική απόκριση της κατασκευής δεν δίνεται με ακρίβεια σε περίπτωση ρηγμάτωσης ή αστοχίας των κόμβων.

### **Κύριοι παράμετροι που λαμβάνονται στην προσομοίωση:**

1. Οπλισμοί δοκού, από τους οποίους εξαρτάται η αντοχή της δοκού(σε ροπή διαρροής) και το επίπεδο μέγιστης διατμητικής τάσης κόμβου,
2. γεωμετρία κόμβου, από την οποία εξαρτάται η αντοχή της θλιβόμενης διαγωνίου (σε ροπή),
3. εγκάρσιος οπλισμός κόμβου (συνδετήρες),
4. μορφή αγκύρωσης - επάρκεια συνολικού μήκους και επάρκεια ευθύγραμμου μήκους,
5. αντοχή διαρροής της δοκού ( $M_{Rd}$ ) σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή του υποστυλώματος ( $M_{Rc}$ ), δηλαδή ο λόγος  $\alpha = M_{Rc} / M_{Rb}$

Οι αναλυτικές μελέτες διερεύνησης της σεισμικής συμπεριφοράς κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος στις οποίες λαμβάνεται υπόψη ο τρόπος λειτουργίας των κόμβων μέχρι σήμερα είναι ελάχιστες. Όταν γίνεται αυτό χρησιμοποιούνται στροφικά ελατήρια για την προσομοίωση της συμπεριφοράς των κόμβων, στην οποία όμως η απόκριση δεν λαμβάνει υπόψη τη βαθμιαία μείωση της αντοχής

και την πιθανή ψαθυρή αστοχία του κόμβου. Άρα ως προς την διερεύνηση η επιρροή της τοπικής ανελαστικής απόκρισης των κόμβων στην σεισμική συμπεριφορά πολυώροφων κατασκευών είναι ανοικτό πρόβλημα. (Φαββάτα & Καραγιάννης 2007)

#### 2.4.1. Βασικές μορφές απόκρισης και αστοχίας ακραίων κόμβων

- A. Βλάβη εκτός κόμβου-Διαρροή δοκού
- B. Αποδιοργάνωση-αστοχία κόμβου
- C. Αποδιοργάνωση κόμβου με χαρακτηριστικά αστοχίας αγκύρωσης

#### 2.4.2. Επιρροή πυλωτής

Σε μία πολυώροφη κατασκευή, η παρουσία πυλωτής επηρεάζει αρνητικά τους ακραίους κόμβους των κάτω ορόφων, χωρίς συνδετήρες, στους οποίους παρουσιάζονται χαρακτηριστικά πλήρους αποδιοργάνωσης. Οι τοιχοποιίες σε άλλες περιπτώσεις δείχνουν ότι βελτιώνουν την συμπεριφορά των κόμβων. Παράλληλα φαίνεται ότι μία πολυώροφη κατασκευή, χωρίς τις τοιχοποιίες πλήρωσης, παρουσιάζει χαρακτηριστικά αποδιοργάνωσης στους επάνω ορόφους αφού οι ακραίοι με μειωμένη αντοχή κόμβοι ξεπερνούν τη μέγιστη αντοχή τους. Αντίθετα στην περίπτωση που έχουμε πυλωτή κρίσιμη είναι η απόκριση των κόμβων στους κάτω ορόφους του κτιρίου. (Φαββάτα & Καραγιάννης 2007)

Οι Φαββάτα και Καραγιάννης (2007) εξέτασαν είκοσι έξι (26) περιπτώσεις αλληλεπίδρασης πολυώροφης κατασκευής, σε συνδυασμό πλέον με την τοπική απόκριση των κόμβων, στις οποίες υπάρχει πιθανότητα εμβολισμού των υποστυλωμάτων της από τις πλάκες παρακείμενης κατασκευής με μικρότερο συνολικό ύψος και πιο δύσκαμπτη. Στις συγκεκριμένες περιπτώσεις μελετήθηκε η απόκριση πολυώροφου κτιρίου όταν όλοι οι ακραίοι κόμβοι του:

- A)** ήταν παλαιού τύπου (χωρίς συνδετήρες) και έτσι η προσομοίωσή τους έγινε με το προτεινόμενο μοντέλο-στοιχείο
- B)** για λόγους σύγκρισης, αποκρινόταν ελαστικά με άπειρη αντοχή και δυσκαμψία και έτσι η προσομοίωσή τους έγινε με χρήση άκαμπτων ζωνών.

Ο στόχος αυτής της διερεύνησης ήταν να εξεταστούν κατά πόσο επηρεάζει την αλληλεπίδραση 1) η θέση η οποία έρχονται σε επαφή τα δύο κτίρια (έξι συνολικά διαφορετικές θέσεις αλληλεπίδρασης) και 2) η επιρροή της αρχικής απόστασης  $d_g$  μεταξύ των κατασκευών (δύο διαφορετικές αποστάσεις), συναρτήσει της τοπικής απόκρισης των κόμβων.

### 2.4.3. Συμπεράσματα

Η αντοχή και κυρίως η ικανότητα της πολυώροφης κατασκευής για παραλαβή φορτίου πέρα από το μέγιστο (φθίνοντας κλάδος απόκρισης), μειώνεται σημαντικά από πιθανή βλάβη ή και αστοχία των ακραίων κόμβων. (Φαββάτα & Καραγιάννης 2007)

Η επιρροή της αλληλεπίδρασης στην τοπική απόκριση των ακραίων (από την πλευρά επαφής) κόμβων των πολυώροφων κατασκευών με τοιχοπήρωση φαίνεται ότι είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Συγκεκριμένα υπερβαίνεται η μέγιστη ικανότητα των ακραίων κόμβων πολυώροφου πλαισίου πάνω από το σημείο επαφής των δύο κατασκευών και παρουσιάζονται χαρακτηριστικά έντονης ή και πλήρους αποδιοργάνωσης (πτωτικό κλάδο απόκρισης) λόγω της αλληλεπίδρασης.

Στο σημείο κάτω από την επαφή των κατασκευών, εξαιτίας της αλληλεπίδρασης, οι κόμβοι βελτιώνουν την συμπεριφορά τους.

Εντοπίζεται ότι κανένας κόμβος δεν ξεπερνάει την μέγιστη αντοχή του σε πολυώροφη κατασκευή με τοιχοπήρωση, αντίθετα όταν έχουμε περίπτωση πυλωτής, κρίσιμη είναι η απόκριση των κόμβων στους κάτω ορόφους.

Η τοπική απόκριση του υποστυλώματος του πολυώροφου πλαισίου, που δέχεται την πρόσκρουση από την πλάκα της πιο δύσκαμπτης και με μικρότερο συνολικό ύψος παρακείμενης κατασκευής, είναι το πιο σημαντικό πρόβλημα από την αλληλεπίδραση των κατασκευών με διαφορετικό ύψος ορόφων. Σε σύγκριση λοιπόν, με την αντίστοιχη συμπεριφορά του κρίσιμου υποστυλώματος χωρίς την επιρροή της τοπικής απόκρισης των κόμβων, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- A)** η πιθανή βλάβη των ακραίων κόμβων, βελτιώνει την καμπτική συμπεριφορά του υποστυλώματος, οι απαιτήσεις σε πλαστιμότητα που αναπτύσσει είναι σε κάθε περίπτωση μικρότερες με την επιρροή των κόμβων.
- B)** ωστόσο, η πιθανή βλάβη των ακραίων κόμβων, ελάχιστα περιορίζει-βελτιώνει τη διατμητική συμπεριφορά του υποστυλώματος. Σε κάθε περίπτωση οι αναπτυσσόμενες διατμητικές δυνάμεις ξεπερνούν τη διαθέσιμη αντοχή του υποστυλώματος αρκετές φορές, κατά τη διάρκεια της ανάλυσης.

Παραπάνω αναφέρεται ήδη ότι λόγο της αλληλεπίδρασης πιο κρίσιμη είναι απόκριση των τοιχοπηρώσεων στους ορόφους της πολυώροφης κατασκευής πάνω από το σημείο επαφής. Σε κάθε περίπτωση η πιθανή βλάβη ή και αστοχία των ακραίων κόμβων φαίνεται ότι επηρεάζει δυσμενώς την τοπική απόκριση των τοιχοπηρώσεων αυτών. (Φαββάτα & Καραγιάννης 2007)

### 3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

#### 3.1. ΔΕΔΟΜΕΝΑ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΩΝ

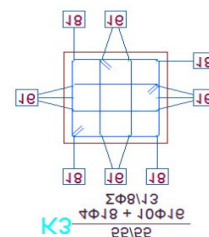
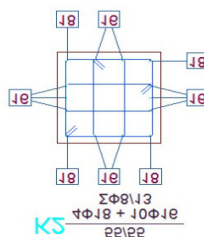
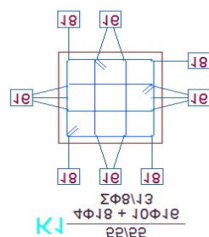
Στην εργασία διερευνάται η απόκριση και η αλληλεπίδραση δύο παρακείμενων κατασκευών για τρεις σεισμικές διεγέρσεις. Για αυτό το λόγο επιλέγονται μια οκταώροφη και μια τετραώροφη κατασκευή.

Τα κτίρια έχουν σχεδιασθεί με βάση τον Ευρωκώδικα 8 (EC8), η ποιότητα του σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε είναι κατηγορίας C25/30, ο οπλισμός είναι χάλυβας κατηγορίας B500c και βρίσκονται σε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ι. Οι κατασκευές είναι πλαισιωτές. Επιλέγεται ένα τυπικό πλαίσιο από κάθε κατασκευή και οι αναλύσεις γίνονται στο επίπεδο. Το τετραώροφο πλαίσιο έχει 2 ανοίγματα και το μήκος των φατνωμάτων είναι 4.5 m. Οι δοκοί του πλαισίου είναι 25/60 cm, ενώ τα υποστυλώματα έχουν διαστάσεις 55x55 cm στην 1<sup>η</sup> στάθμη έως 45x45 cm στην ανώτερη στάθμη. Το οκταώροφο πλαίσιο έχει 3 ανοίγματα και το μήκος των φατνωμάτων είναι 4.5 m. Οι δοκοί του πλαισίου είναι 25/60 cm σε όλες τις στάθμες, ενώ τα υποστυλώματα έχουν διαστάσεις 55x55 cm στην 1<sup>η</sup> στάθμη έως 40x40 cm στην ανώτερη στάθμη. Τα ποσοστά των οπλισμών στα υποστυλώματα είναι χαμηλά (1.0% – 1.2%).

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται οι ξυλότυποι και οι λεπτομέρειες υποστυλωμάτων των δύο κτιρίων.

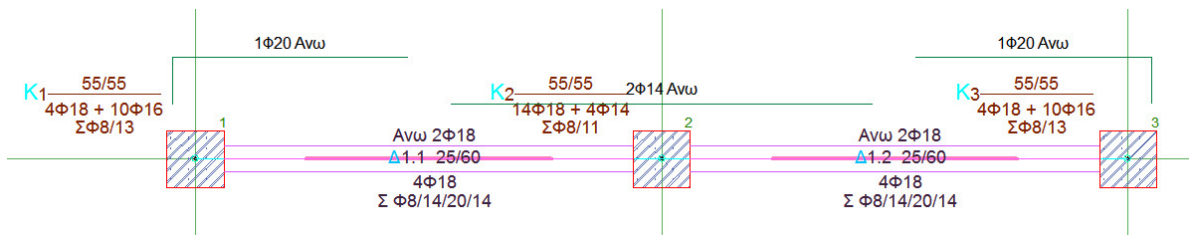
#### 3.1.1. ΞΥΛΟΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΤΕΤΡΑΩΡΟΦΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

##### 1<sup>ος</sup> όροφος υποστυλώματα

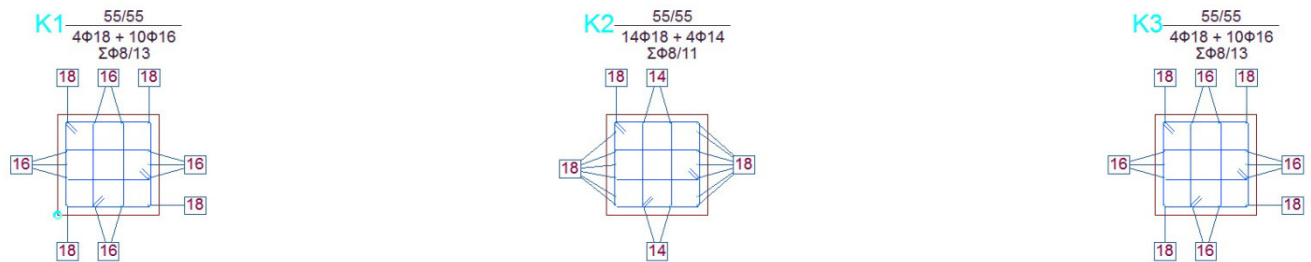




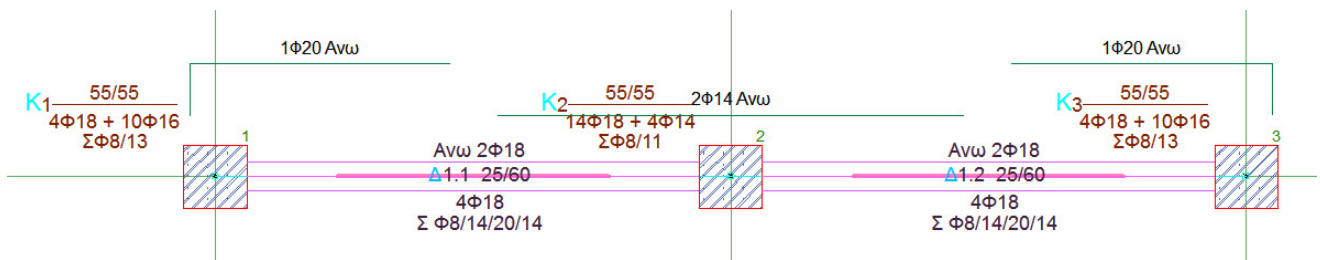
## 1<sup>ος</sup> όροφος δοκοί



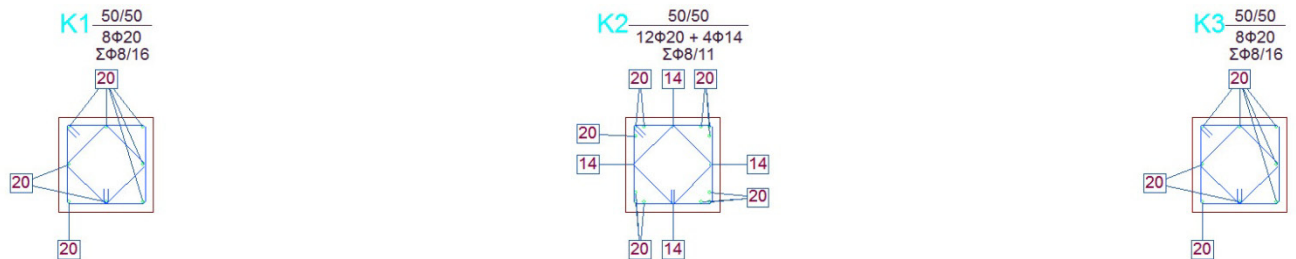
## 2<sup>ος</sup> όροφος υποστυλώματα



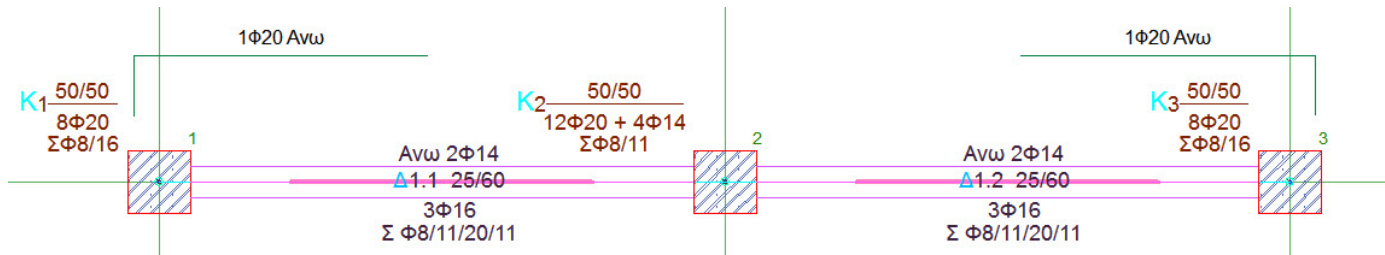
## 2<sup>ος</sup> όροφος δοκοί



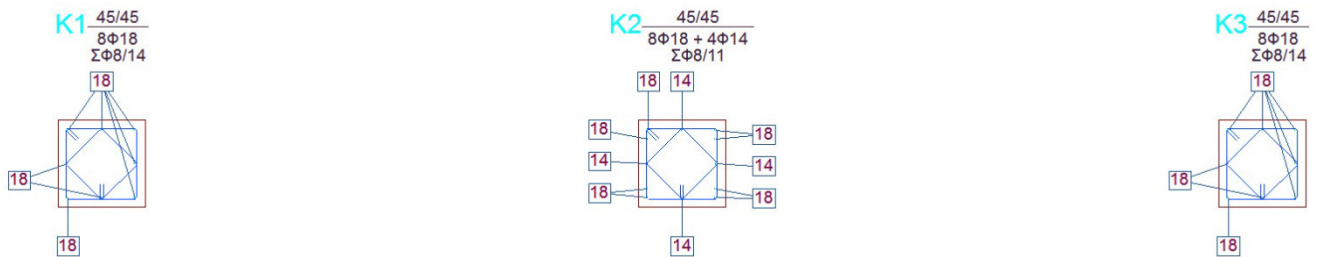
## 3<sup>ος</sup> όροφος υποστυλώματα



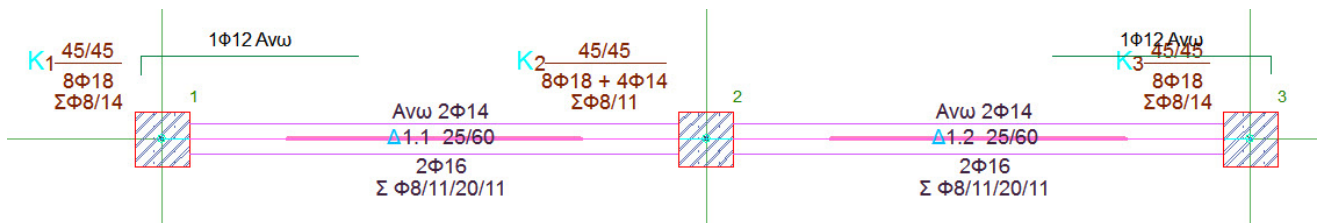
### 3<sup>ος</sup> όροφος δοκοί



### 4<sup>ος</sup> όροφος υποστυλώματα

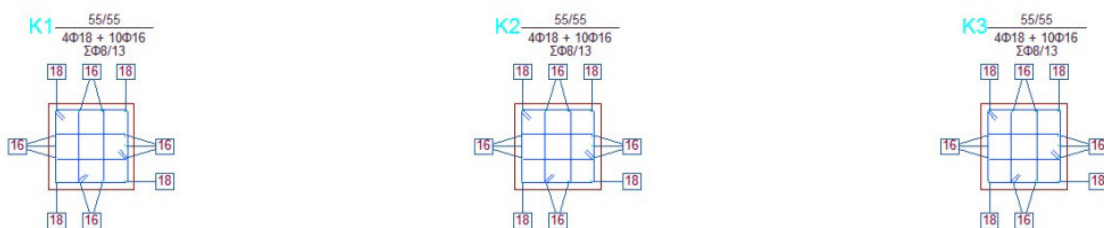


### 4<sup>ος</sup> όροφος δοκοί

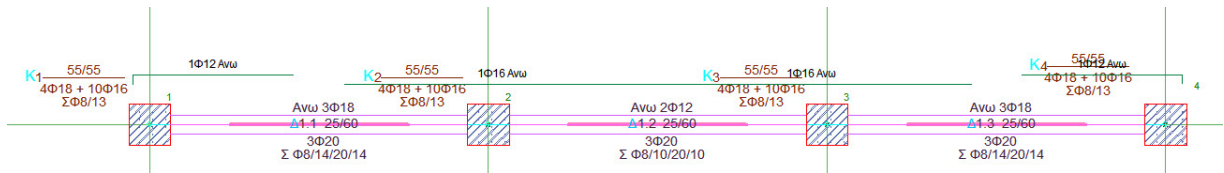


## 3.1.2. ΕΥΛΟΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΟΚΤΑΩΡΟΦΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

### 1<sup>ος</sup> όροφος υποστυλώματα



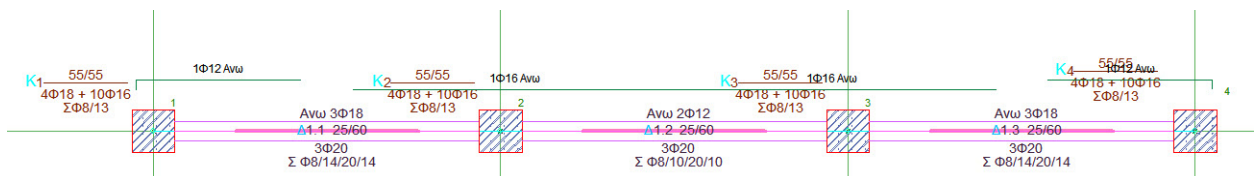
## 1<sup>ος</sup> όροφος δοκοί



## 2<sup>ος</sup> όροφος υποστυλώματα



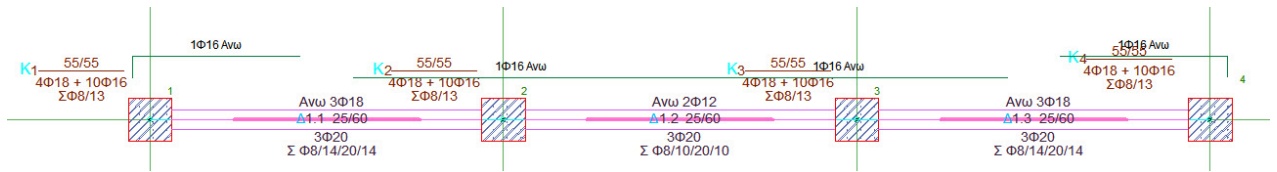
## 2<sup>ος</sup> όροφος δοκοί



## 3<sup>ος</sup> όροφος υποστυλώματα



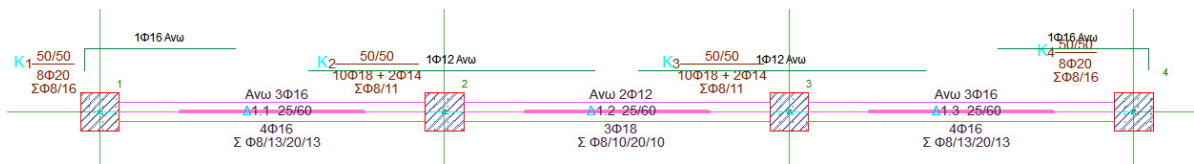
### 3<sup>ος</sup> όροφος δοκοί



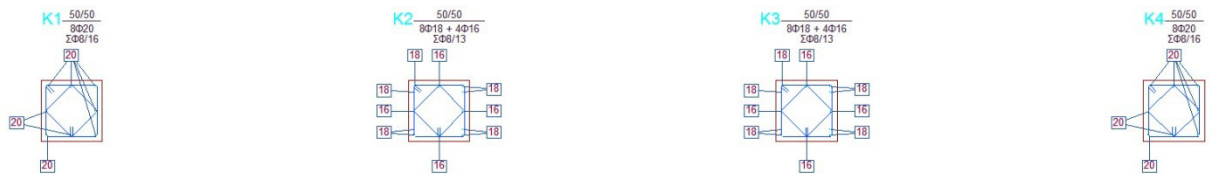
### 4<sup>ος</sup> όροφος υποστυλώματα



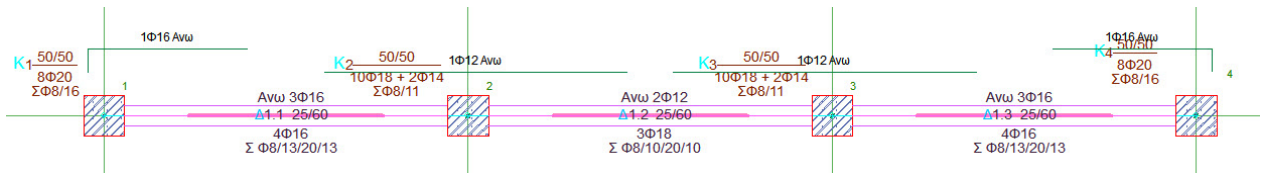
### 4<sup>ος</sup> όροφος δοκοί



### 5<sup>ος</sup> όροφος υποστυλώματα



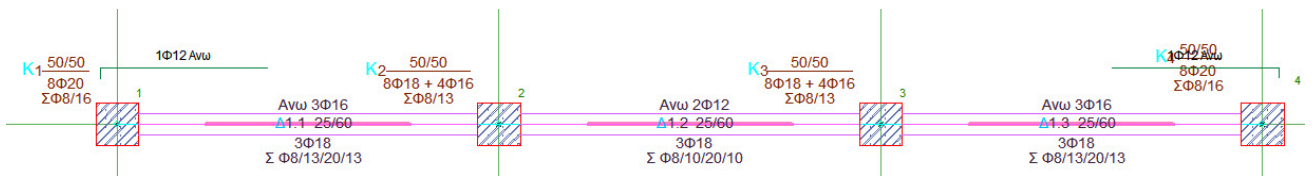
## 5<sup>ος</sup> όροφος δοκοί



## 6<sup>ος</sup> όροφος υποστυλώματα



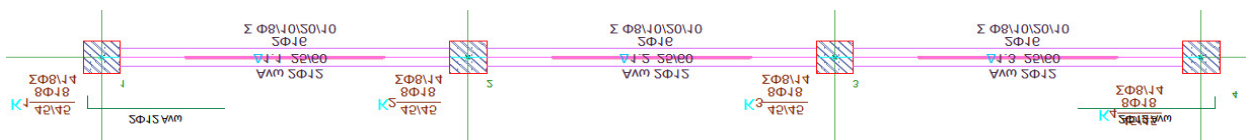
## 6<sup>ος</sup> όροφος δοκοί



## 7<sup>ος</sup> όροφος υποστυλώματα



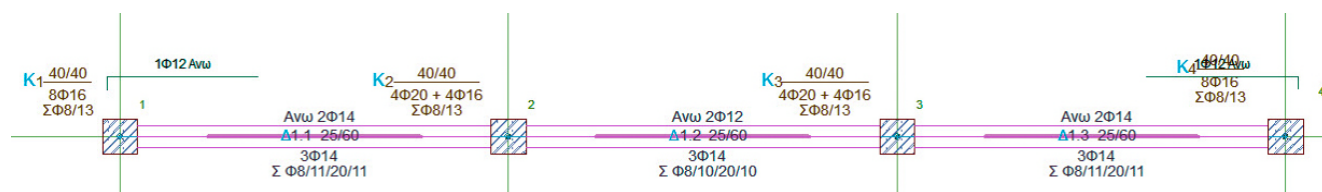
## 7<sup>ος</sup> όροφος δοκοί



## 8<sup>ος</sup> όροφος υποστυλώματα



## 8<sup>ος</sup> όροφος δοκοί



## 3.2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Για τη προσομοίωση των κτιρίων στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Etabs της εταιρίας CSI.

Το Etabs είναι ένα λογισμικό ανάλυσης και διαστασιολόγησης κτιρίων. Έχει την δυνατότητα πραγματοποίησης ελαστικών και ανελαστικών στατικών και δυναμικών αναλύσεων.

Το Etabs θεωρείται παγκοσμίως ένα από τα δημοφιλέστερα προγράμματα ανάλυσης και διαστασιολόγησης κτιριακών έργων αλλά και πρωτοπόρο στο χώρο των πολιτικών μηχανικών. Η πρωτοτυπία του έγκειται στο ότι το Etabs περιέχει όρους δομικών αντικειμένων που χρησιμοποιούνται καθημερινά, όπως υποστυλώματα, δοκοί, σύνδεσμοι ακαμψίας, τοιχώματα σε αντίθεση με κοινά προγράμματα στατικής ανάλυσης που χρησιμοποιούν κόμβους, μέλη κλπ. Το Etabs είναι ιδιαίτερα φιλικό και εύκολο στη μόρφωση του φορέα και την εισαγωγή φορτίσεων, προσφέροντας επιπλέον πολλές σύνθετες και υπερσύγχρονες δυνατότητες ανάλυσης και διαστασιολόγησης που δεν υπάρχουν σε άλλα λογισμικά.

Κάποιες από τις δυνατότητες που δίνει το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι:

- η ανάλυση και διαστασιολόγηση κτηριακών δομημάτων με μόρφωση συστήματος δοκών, πλακών, υποστυλωμάτων, τοιχωμάτων, συνδέσμων ακαμψίας από στάθμη σε στάθμη με χρήση μελών από διάφορα υλικά

όπως χάλυβας, σύμμεικτες διατομές, διατομές από οπλισμένο σκυρόδεμα ή από οποιοδήποτε υλικό ορίσει ο χρήστης.

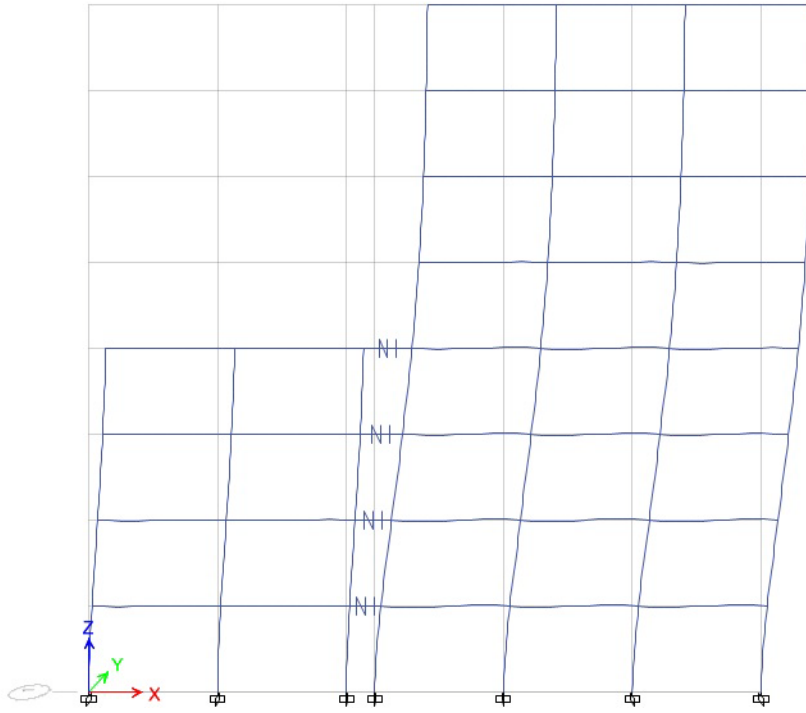
- Τεχνικές γένεσης φορτίων βαρύτητας και των οριζόντιων φορτίων (φορτία σεισμού και ανέμου) με ευκολία στη χρήση σε σχέση με τα γενικά προγράμματα ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν δυναμικές ελαστικές αναλύσεις χρονοϊστορίας με το λογισμικό Etabs.

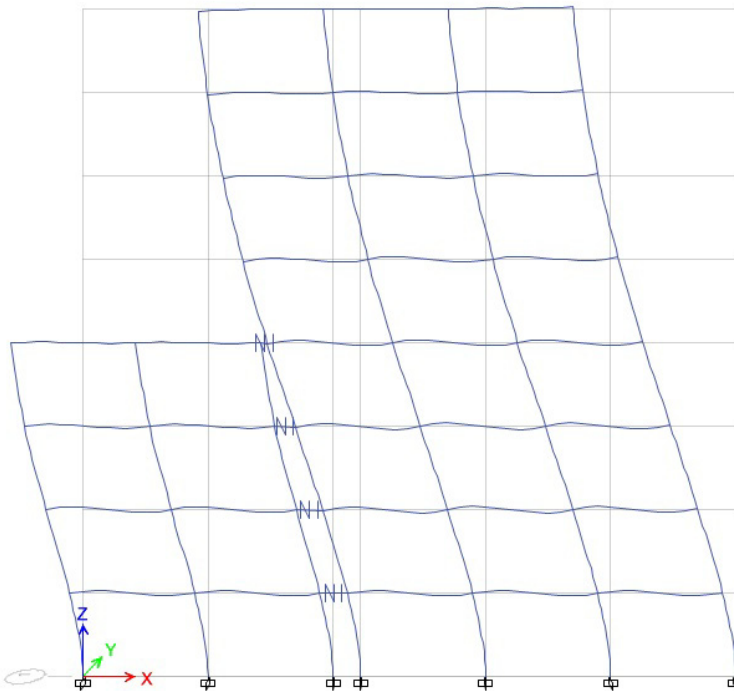
Έχουν επιλεγθεί οι παρακάτω τρεις σεισμοί:

- El Centro (18 Μαΐου 1940 στο Imperial Valley, σύνορα Η.Π.Α. και Μεξικό)
- Kobe (17 Ιανουαρίου 1995 στην Ιαπωνία)
- Καλαμάτα (15 Σεπτεμβρίου 1986 στην Καλαμάτα)

Οι δοκοί και τα υποστυλώματα προσομοιώνονται με γραμμικά στοιχεία. Η μάζα λαμβάνεται από τον σεισμικό συνδυασμό  $g + 0.3 q$ . Τα πλαίσια λαμβάνονται πακτωμένα στην βάση τους. Για την προσομοίωση της αλληλεπίδρασης των δύο κτιρίων χρησιμοποιούνται μη γραμμικά ελατήρια στα πιθανά σημεία σύγκρουσης τους. Σε κάθε στάθμη χρησιμοποιούνται μη γραμμικά ελατήρια τα οποία λειτουργούν μόνο σε θλίψη για να μεταφέρουν δυνάμεις από το ένα κτίριο στο άλλο την στιγμή της σύγκρουσης. Η ενεργοποίηση των ελατηρίων πραγματοποιείται μετά την εξάντληση του αρμού μεταξύ των κτιρίων, δίνοντας στα μη γραμμικά ελατήρια ένα κενό (gap) ίσο με τον αρμό. Η δυσκαμψία των μη γραμμικών ελατηρίων είναι μεγάλη, μεγαλύτερη από την δυσκαμψία των κατασκευών ( 1000000 kN/m) ώστε να μεταφέρει τις δυνάμεις κατά την σύγκρουση. Το προσομοίωμα φαίνεται στο Σχήμα 3.1, 3.2, 3.3, 3.4.

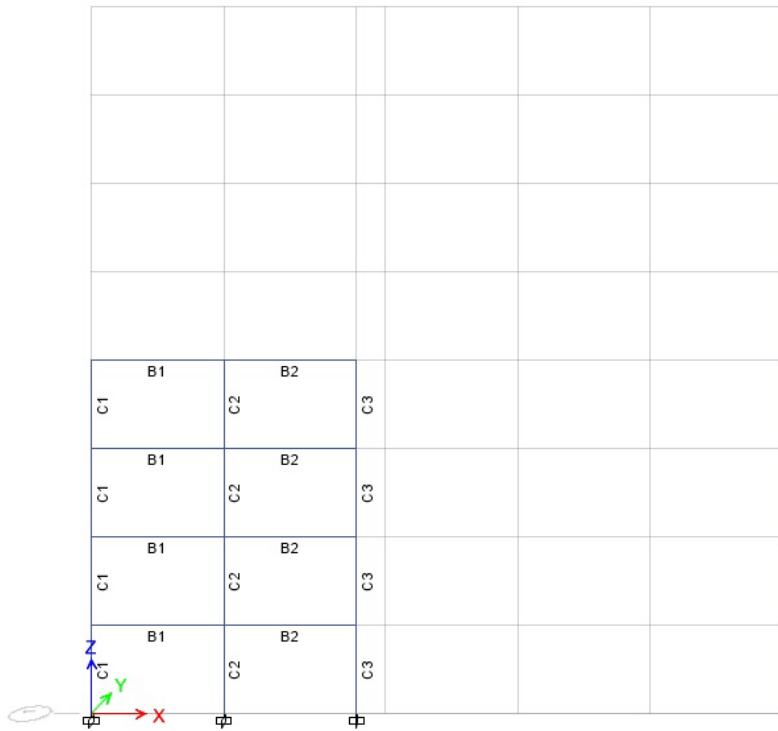


**Σχήμα 3.1 Προσομοίωμα τετραωρόφου και οκταωρόφου κτιρίου που αλληλεπιδρούν.**

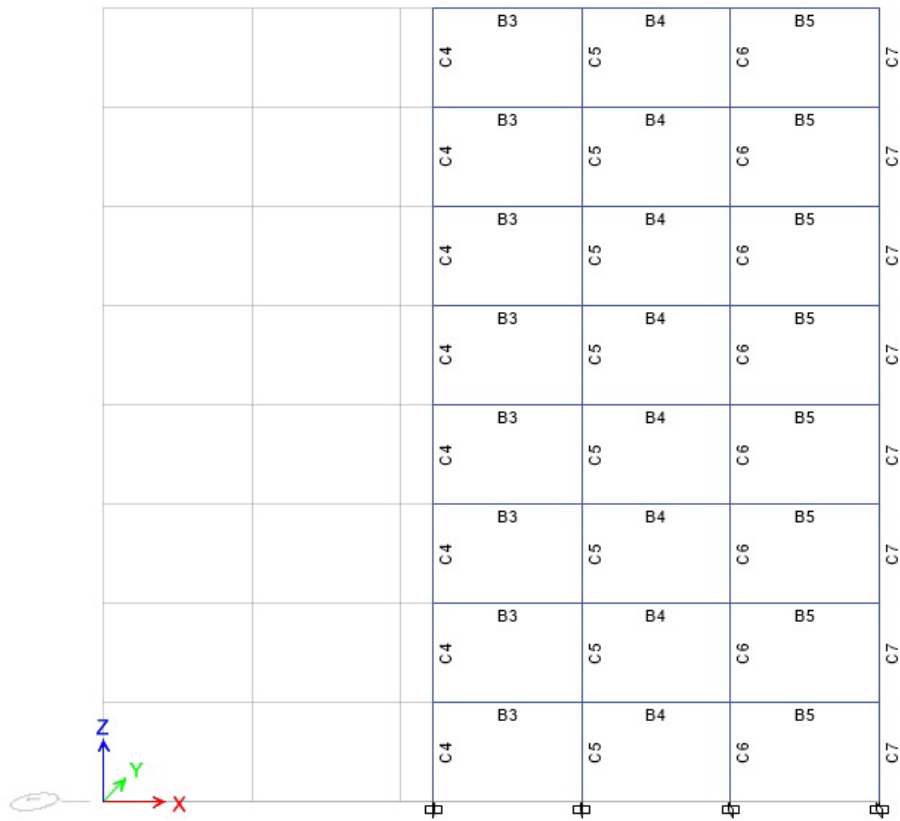


**Σχήμα 3.2 Προσομοίωμα τετραωρόφου και οκταωρόφου κτιρίου που συγκρούονται.**





**Σχήμα 3.3 Προσομοίωμα τετραώροφου κτιρίου.**



**Σχήμα 3.4 Προσομοίωμα οκταώροφου κτιρίου.**

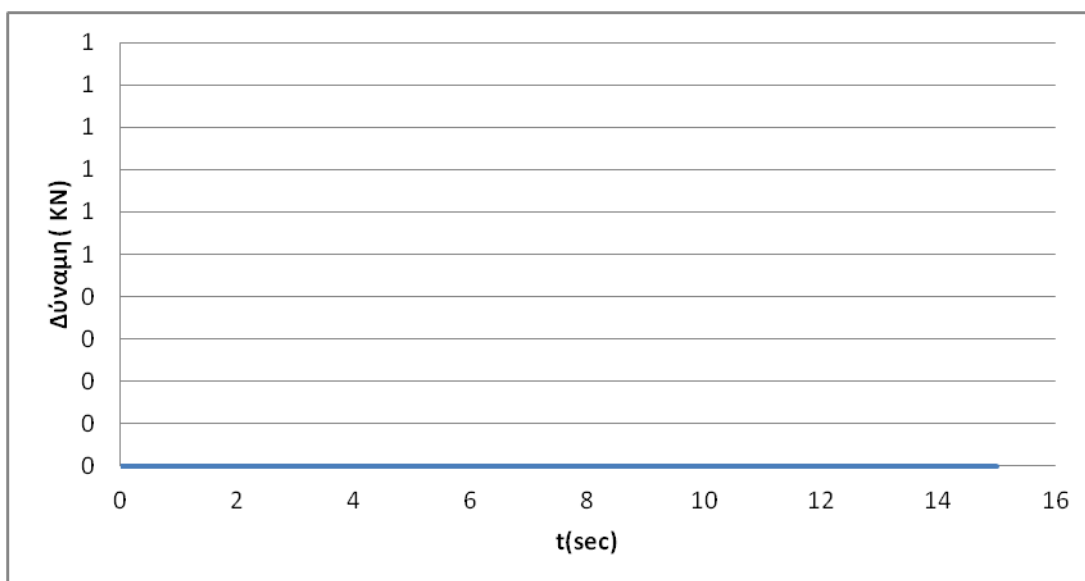
## 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Το οκταώροφο και το τετραώροφο πλαίσιο υποβάλλονται σε τρεις σεισμικές διεγέρσεις. Αρχικά τα κτίρια αναλύονται το καθένα μόνο του. Στην συνέχεια τα κτίρια τοποθετούνται σε απόσταση 3 cm και πάλι υποβάλλονται στις ίδιες σεισμικές διεγέρσεις. Μεταξύ των κτιρίων τοποθετούνται τα μη γραμμικά ελατήρια, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, για να διερευνηθεί η αλληλεπίδραση των κτιρίων στον σεισμό. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την αλληλεπίδραση των κτιρίων για τις τρεις σεισμικές διεγέρσεις καθώς και συγκρίσεις της συμπεριφοράς τους με την περίπτωση που δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

### 4.1. ΚΑΛΑΜΑΤΑ

#### 4.1.1. Σύγκρουση κτιρίων

Στην αρχή θα ελεγχθεί αν τα δύο κτίρια συγκρούονται κατά τη διάρκεια του σεισμού ΚΑΛΑΜΑΤΑ. Για τις ανάγκες του προγράμματος τοποθετήθηκαν μη γραμμικά ελατήρια ανάμεσα στους κοινούς ορόφους των κτιρίων. Τα ελατήρια αυτά είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να λειτουργούν μόνο κατά τη σύγκλιση των ορόφων, και όχι κατά την απομάκρυνση αυτών, γι' αυτό και λαμβάνουν μόνο αρνητικές τιμές. (Σχήμα 4)

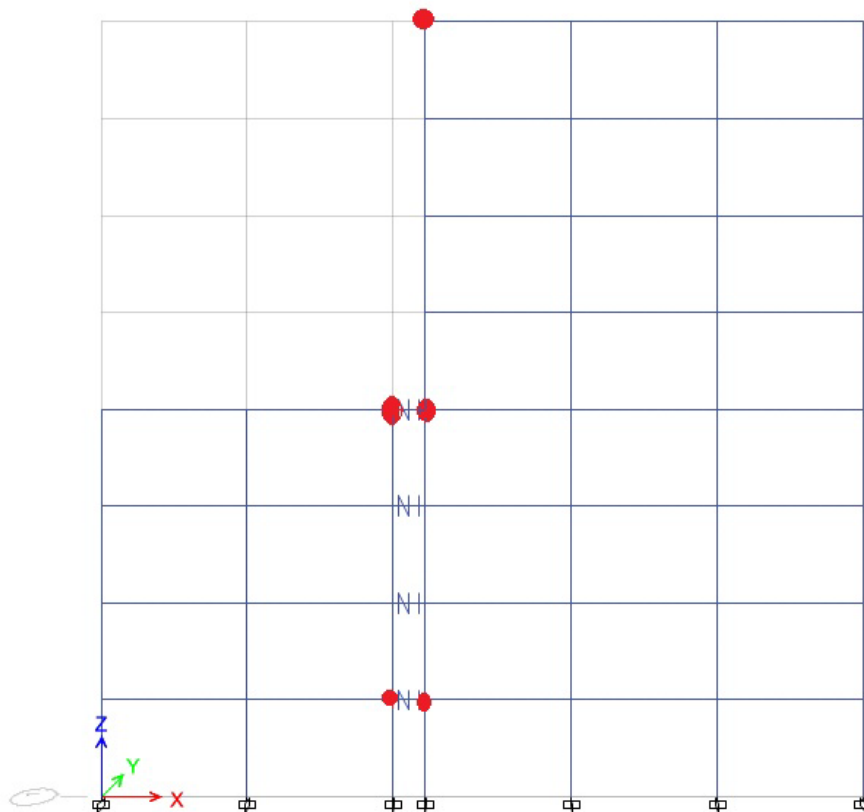


**Σχήμα 4: Χρονοϊστορία δύναμης ελατηρίου**

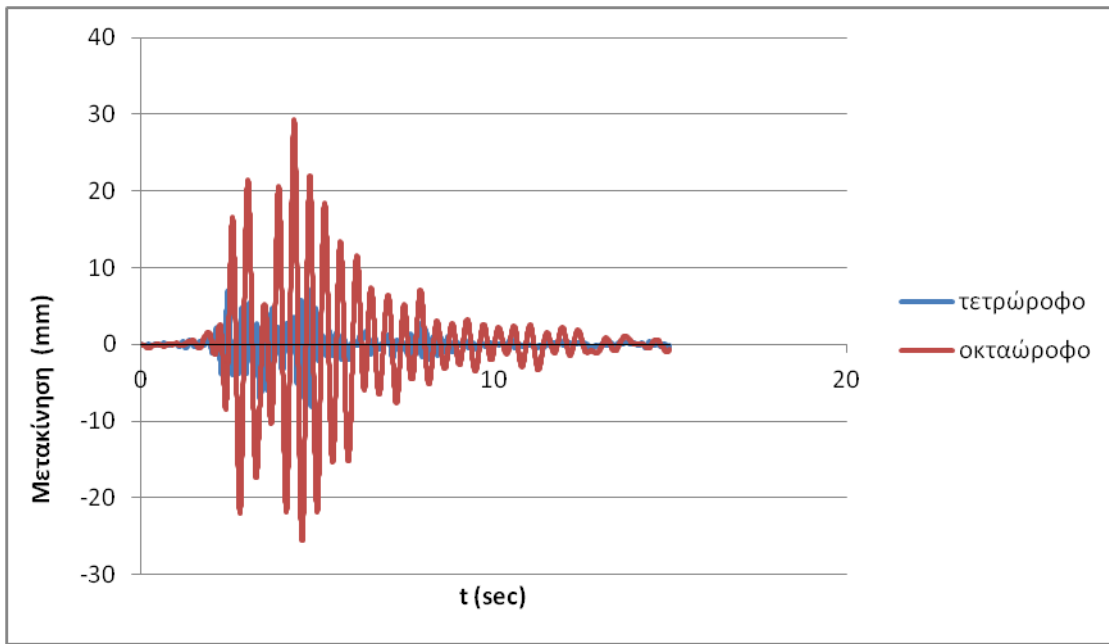
Από το Σχήμα 4 φαίνεται ότι τα κτίρια δεν συγκρούονται αφού καθ' όλη τη διάρκεια του σεισμού τα ελατήρια δεν έχουν παραλάβει καθόλου αρνητικές τιμές. Αυτό αιτιολογεί τα παρακάτω συμπεράσματα, δηλαδή ότι οι μετακινήσεις των κτιρίων όταν εξετάζονται μεμονωμένα και όταν εξετάζονται να βρίσκονται σε κοντινή απόσταση παραμένουν ίδιες.

#### 4.1.2 Μετατοπίσεις υποστυλωμάτων

Στη συνέχεια δύναται να ελεγχθούν οι μετατοπίσεις των υποστυλωμάτων του 4<sup>ου</sup> και του 8<sup>ου</sup> ορόφου των δυο κατασκευών, όταν σε αυτά ασκείται ο σεισμός ΚΑΛΑΜΑΤΑ. Οι κόμβοι που εξετάζονται φαίνονται στο Σχήμα 4.1. Θα ελεγχθεί η συμπεριφορά τους όταν είναι ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, καθώς και όταν αλληλεπιδρούν και βρίσκονται σε απόσταση 0.03 m. (Σχήματα 4.2, 4.3, 4.4, και 4.5)

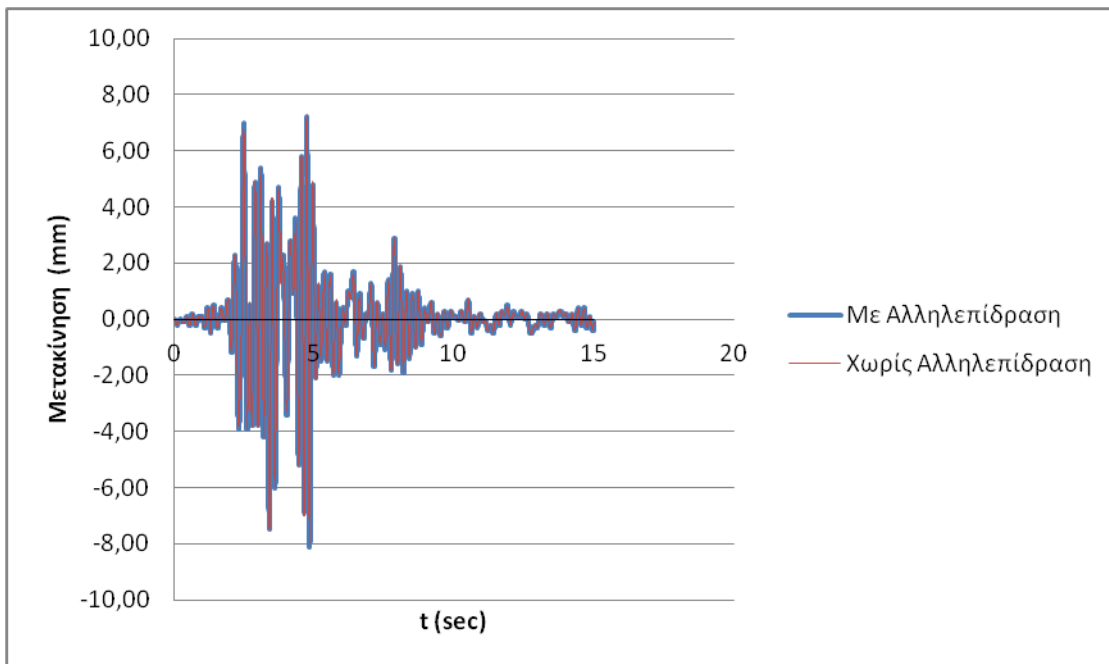


**Σχήμα 4.1 : Κόμβοι που εξετάζονται**



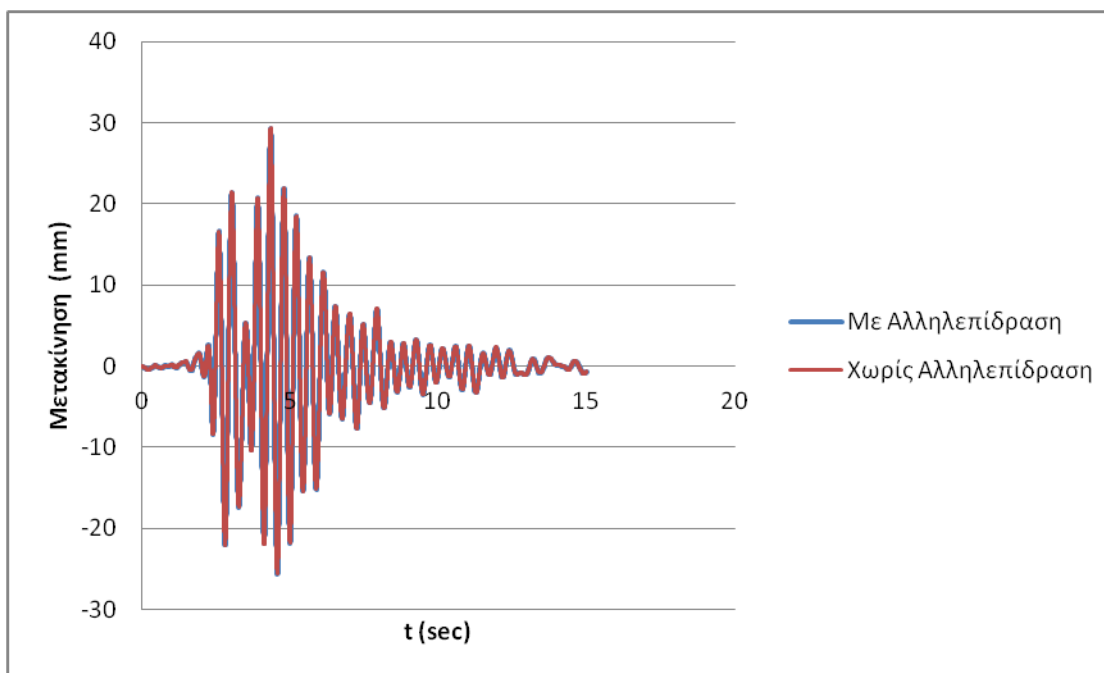
**Σχήμα 4.2: Χρονοϊστορία μετακινήσεων 4<sup>ου</sup> ορόφου**

Αυτό που γίνεται διακριτό από το διάγραμμα είναι ότι το οκταώροφο κτίριο παρουσιάζει κατά πολύ μεγαλύτερες (σχεδόν τις τριπλάσιες) μετακινήσεις σε σύγκριση με το τετραώροφο στην αντίστοιχη στάθμη του 4<sup>ου</sup> ορόφου όταν τα δύο κτίρια βρίσκονται σε αλληλεπίδραση μεταξύ τους. (Σχήμα 4.2)



**Σχήμα 4.3: Χρονοϊστορία μετακινήσεων 4<sup>ου</sup> ορόφου ΤΕΤΡΑΩΡΟΦΟΥ**

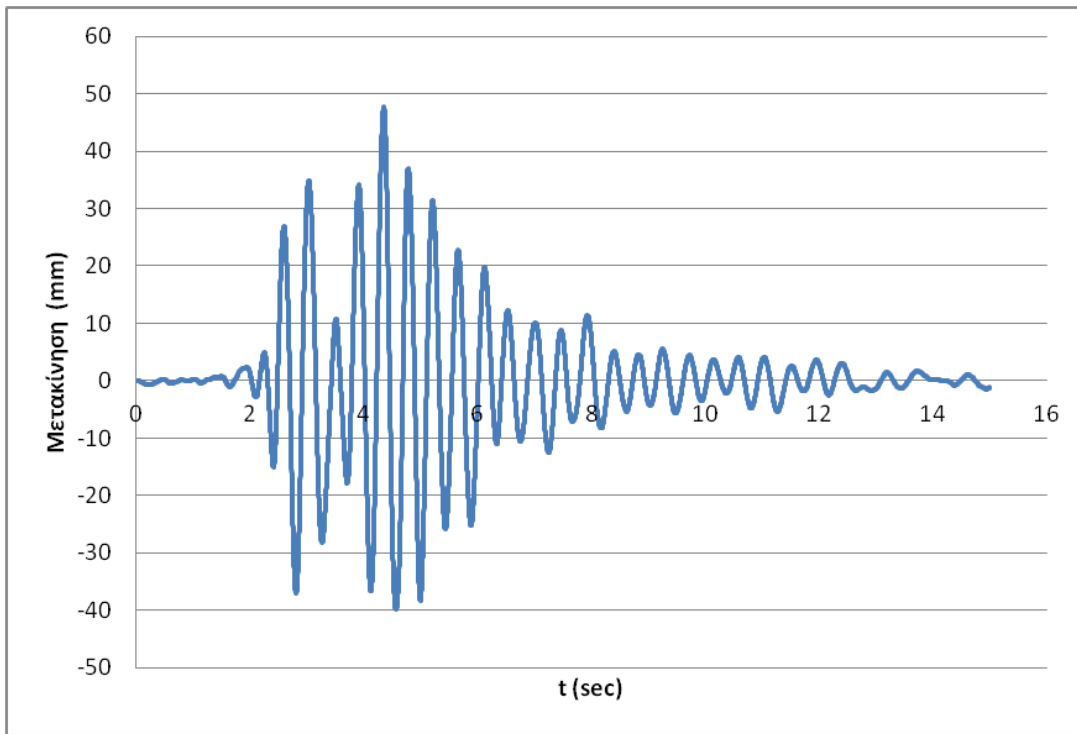
Στο Σχήμα 4.3 μπορούμε να δούμε ότι οι μετατοπίσεις των υποστρωμάτων στην τετραώροφη κατασκευή στη στάθμη του 4<sup>ου</sup> ορόφου παρουσιάζουν ανεπαίσθητες διαφορές, όταν οι κατασκευές μας βρίσκονται σε αλληλεπίδραση, σε σχέση με όταν αυτές δρούσαν ανεξάρτητα ή μια από την άλλη κατά τη διάρκεια του σεισμού ΚΑΛΑΜΑΤΑ.



**Σχήμα 4.4: Χρονοϊστορία μετακινήσεων 4<sup>ου</sup> ορόφου οκταώροφου**

Οι μετακινήσεις στην αντίστοιχη στάθμη της οκταώροφης κατασκευής είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές του 4<sup>ου</sup> ορόφου της τετραώροφης. Παρουσιάζουν αύξηση της τάξης του 30%. Παρ' όλα αυτά οι μετακινήσεις των υποστρωμάτων και στο οκταώροφο δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες μεταβολές (σχεδόν μηδενικές) όταν αυτό δρα ανεξάρτητα από το τετραώροφο ή σε αλληλεπίδραση με αυτό. (Σχήμα 4.4)

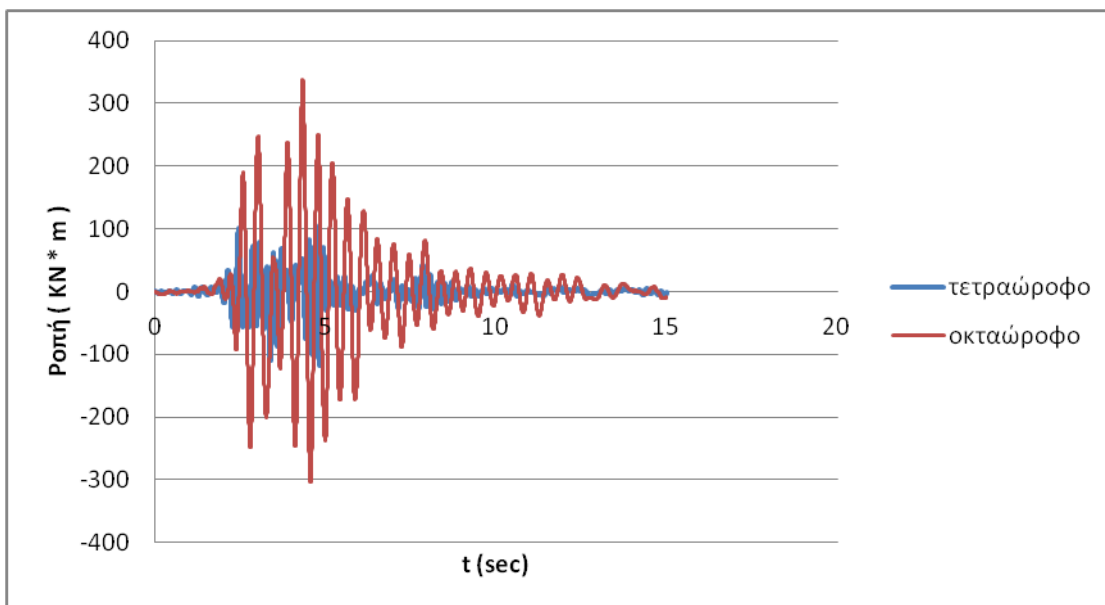
Γενικά αυτό που φαίνεται είναι ότι όσο πιο ψηλά είναι ο όροφος, τόσο πιο μεγάλες μετατοπίσεις έχει όταν τα κτίρια βρίσκονται σε αλληλεπίδραση. Χωρίς αλληλεπίδραση δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές. Άρα η αλληλεπίδραση επηρεάζει τους πιο ψηλούς ορόφους ανάμεσα σε 4<sup>ο</sup> και 8<sup>ο</sup>.



**Σχήμα 4.5: Χρονοϊστορία μετακινήσεων 8<sup>ου</sup> ορόφου οκταώροφου**

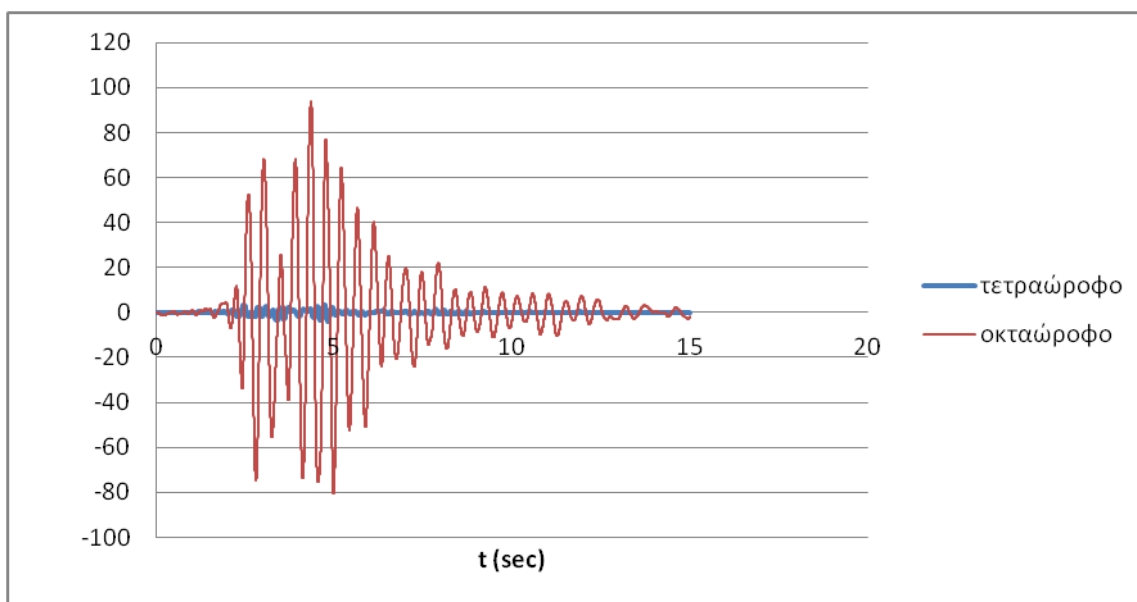
#### 4.1.3. Ροπές υποστυλωμάτων

Έπειτα θα ελεγχθούν και θα συγκριθούν οι ροπές των υποστυλωμάτων του 1<sup>ου</sup> και του 4<sup>ου</sup> ορόφου των δύο κτιρίων, όταν αυτά αλληλεπιδρούν υπό την δράση του ίδιου σεισμού και όταν λειτουργούν ανεξάρτητα.



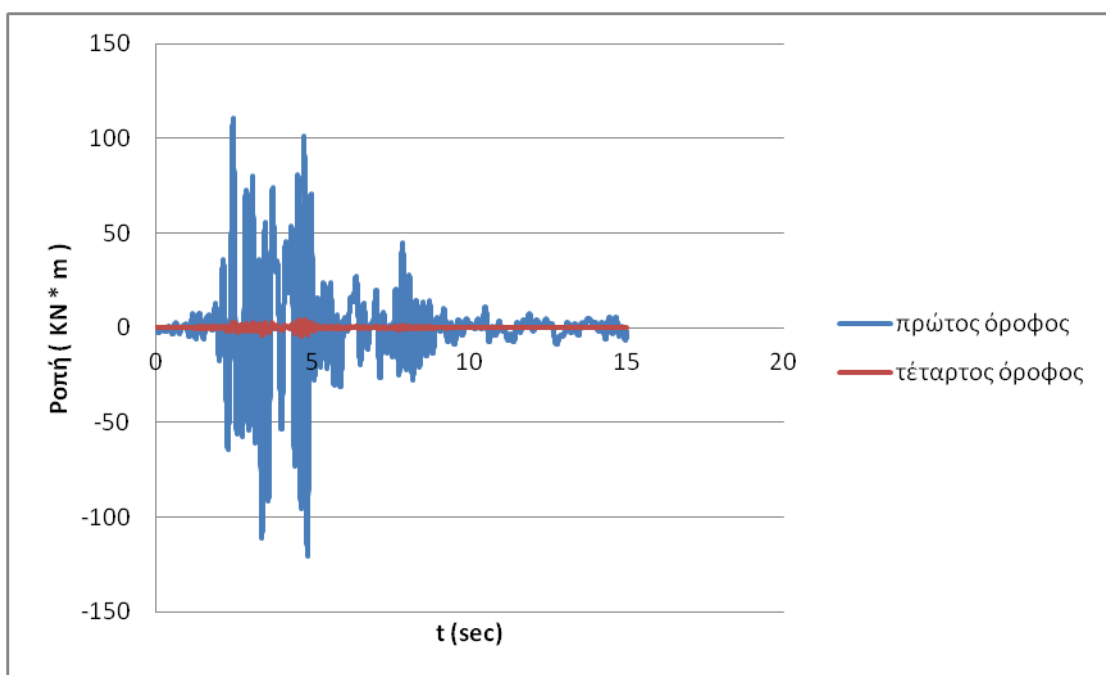
**Σχήμα 4.6: Χρονοϊστορία ροπών υποστυλωμάτων 1<sup>ου</sup> ορόφου με αλληλεπίδραση**

Σύμφωνα με το διάγραμμα θα μπορούσε να ειπωθεί ότι το οκταώροφο κτίριο αναπτύσσει μεγαλύτερες ροπές στα υποστυλώματα σε σχέση με αυτές που αναπτύσσει το τετραώροφο, στη στάθμη του 1<sup>ου</sup> ορόφου, κατά την αλληλεπίδραση των κατασκευών (Σχήμα 4.6).



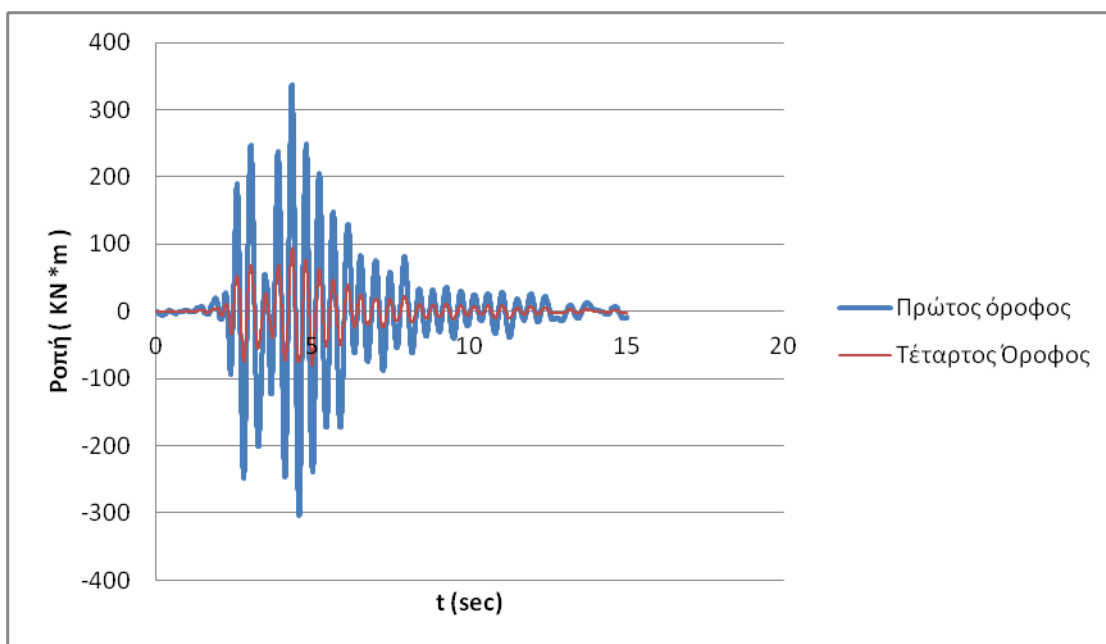
**Σχήμα 4.7: Χρονοϊστορία ροπών υποστυλωμάτων 4<sup>ου</sup> ορόφου με αλληλεπίδραση**

Το ίδιο φαίνεται να ισχύει και στον 4<sup>ο</sup> όροφο αφού και σε αυτήν την περίπτωση οι ροπές της οκταώροφης κατασκευής είναι αρκετά μεγαλύτερες, και σε αυτή την στάθμη, από τη τετραώροφη, λόγω της μεγαλύτερης δυσκαμψίας. (σχήμα 4.7).



**Σχήμα 4.8: Χρονοϊστορία ροπών τετραώροφου χωρίς αλληλεπίδραση**

Οι τιμές που παραλαμβάνει η τετραώροφη κατασκευή όσον αφορά τις ροπές στο 1<sup>ο</sup> όροφο όταν αυτή βρίσκεται σε αλληλεπίδραση με την οκταώροφη κατά τη διάρκεια του σεισμού ΚΑΛΑΜΑΤΑ έχουν σχετικά μικρές διαφορές σε σύγκριση με αυτές που εμφανίζει όταν αυτό δρα ανεξάρτητα από την οκταώροφη. Όταν αλληλεπιδρούν η μέγιστη ροπή είναι +104 ΚNm, και ελάχιστη -117 ΚNm, και όταν δεν αλληλεπιδρούν +110 ΚNm, -120 ΚNm, αντίστοιχα (Σχήματα 4.6,4.8). Οι ροπές του 4<sup>ου</sup> ορόφου της τετραώροφης κατασκευής είναι μεγαλύτερες όταν δεν αλληλεπιδρούν και λειτουργούν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο ενώ (+4.3 ΚNm,-4.8 ΚNm). Ενώ όταν βρίσκονται σε αλληλεπίδραση είναι μικρότερες (+ 3.4 ΚNm,-3.9 ΚNm). (Σχήμα 4.8)



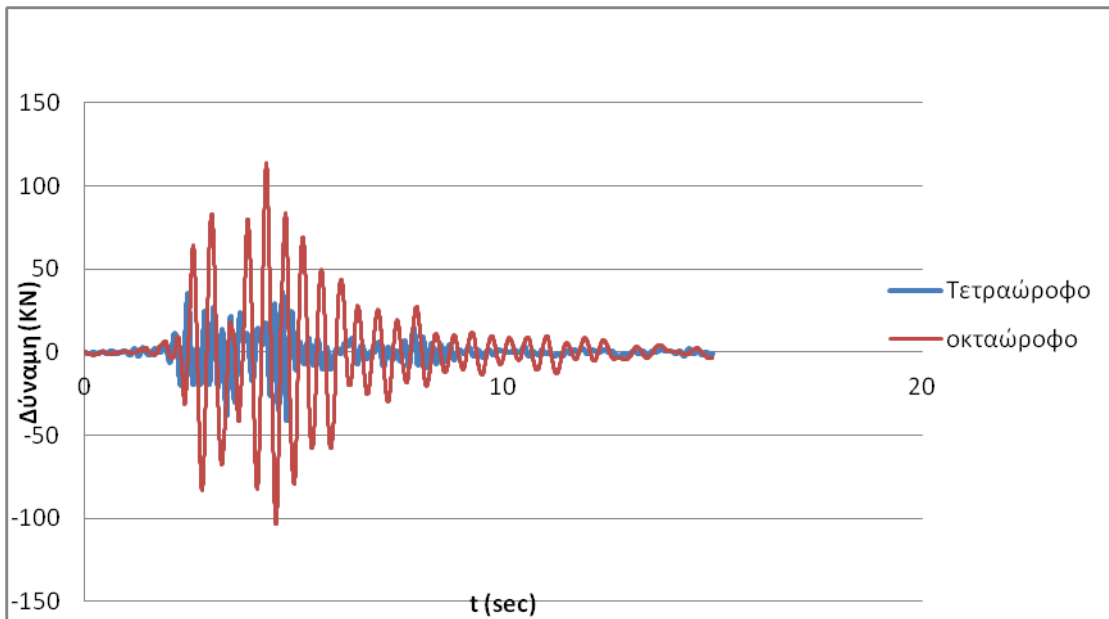
**Σχήμα 4.9: Χρονοϊστορία ροπών οκταώροφου χωρίς αλληλεπίδραση**

Όσον αφορά την οκταώροφη κατασκευή φαίνεται να έχει τις ίδιες ροπές και όταν αυτή δρα σε αλληλεπίδραση και όταν δρα ανεξάρτητα από την παρακείμενη τετραώροφη κατασκευή. Οι ροπές που παραλαμβάνει στον 1<sup>ο</sup> και στον 4<sup>ο</sup> όροφο είναι ίδιες και στις δύο περιπτώσεις. Οι ροπές στον 1<sup>ο</sup> όροφο είναι (+ 337.9 ΚNm, -303.7 ΚNm) και στον 4<sup>ο</sup> (+94 ΚNm,-80.6 ΚNm).

#### 4.1.4. Τέμνουσες δυνάμεις

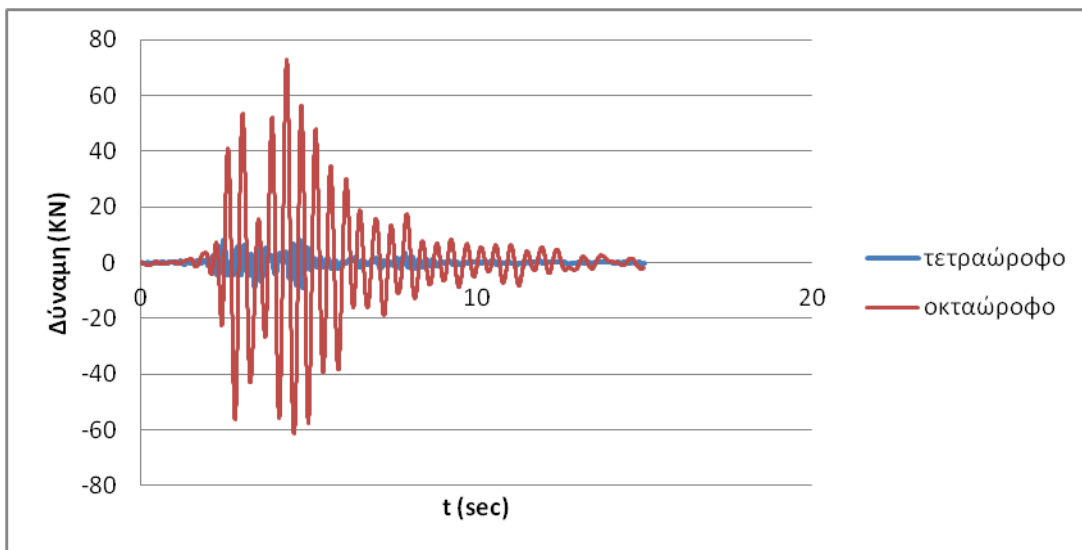
Τελευταίος γίνεται ο έλεγχος των τεμνουσών δυνάμεων των υποστυλωμάτων, του 1<sup>ου</sup> και 4<sup>ου</sup> ορόφου της τετραώροφης και της οκταώροφης κατασκευής, όταν αυτά αλληλεπιδρούν και χωρίς να βρίσκονται σε αλληλεπίδραση κατά τη διάρκεια του ίδιου σεισμού για λόγους σύγκρισης (σχήματα 10-15).





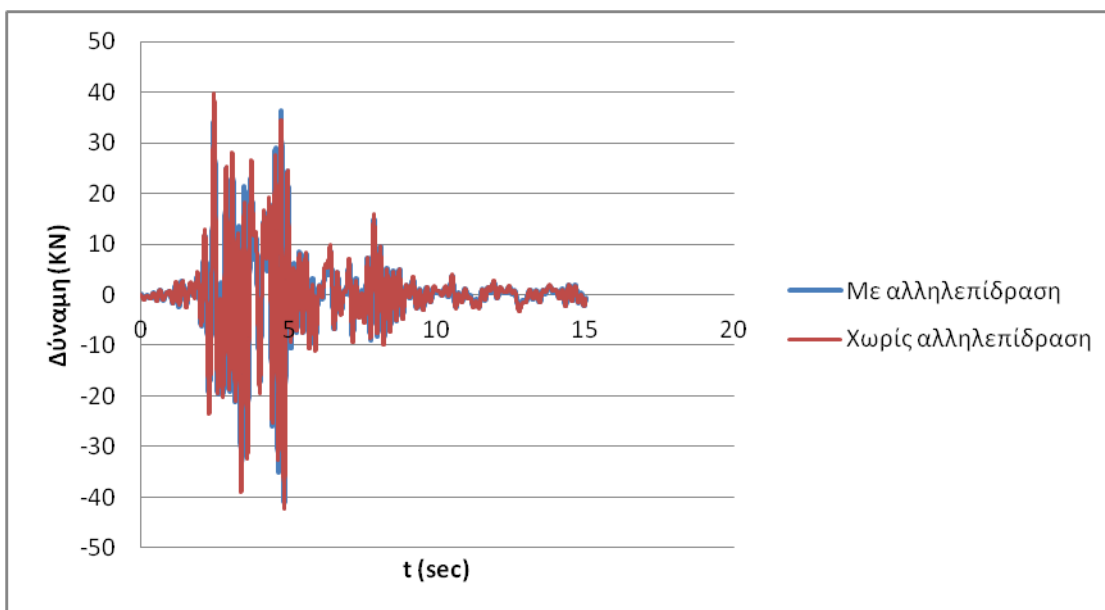
**Σχήμα 4.10: Χρονοϊστορία τέμνουσών 1<sup>ου</sup> ορόφου**

Στο Σχήμα 4.10 μπορούμε να διακρίνουμε ότι στο 1<sup>ο</sup> όροφο η οκταώροφη κατασκευή παραλαμβάνει αρκετά μεγάλες τέμνουσες, σε σχέση με το τετραώροφο. Αφού στο οκταώροφο είναι αυξημένες κατά 28% τουλάχιστον.



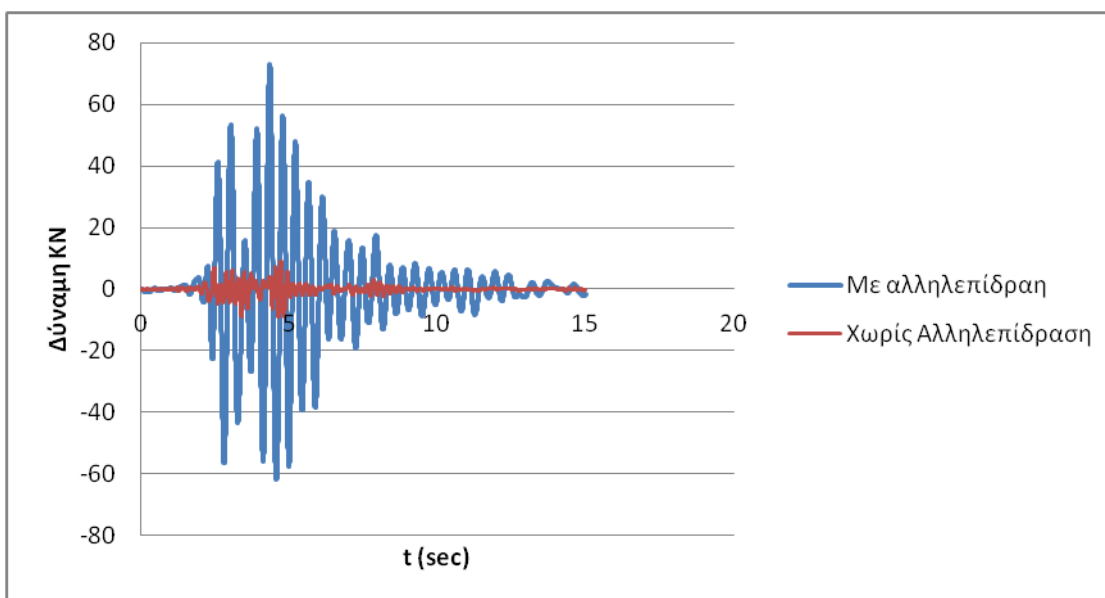
**Σχήμα 4.11: Χρονοϊστορία τέμνουσών 4<sup>ου</sup> ορόφου**

Οι τέμνουσες δυνάμεις που αναπτύσσονται στον 1<sup>ο</sup> όροφο είναι μεγαλύτερες απ' ότι στον 4<sup>ο</sup>, κατά την διάρκεια του σεισμού ΚΑΛΑΜΑΤΑ, τόσο για το τετραώροφο όσο και για το οκταώροφο κτίριο. Το οκταώροφο όπως είναι φυσικό αναπτύσσει και στο 4<sup>ο</sup> όροφο μεγαλύτερες τέμνουσες σχεδόν τριπλάσιες από αυτές του τετραώροφου (Σχήματα 4.10, 4.11).



**Σχήμα 4.12: Χρονοϊστορία τεμνουσών 1<sup>ου</sup> ορόφου τετραώροφου**

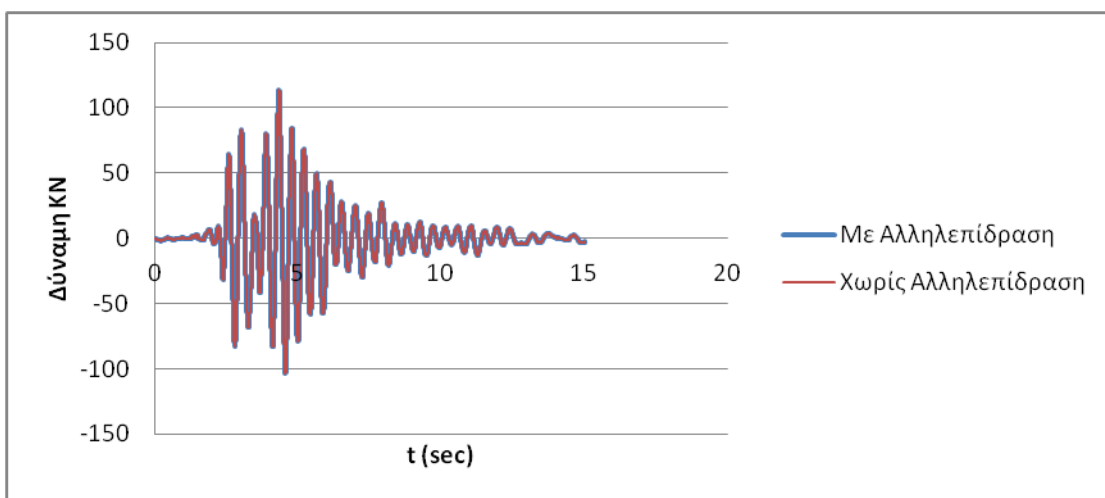
Στον 1<sup>ο</sup> όροφο του τετραώροφου κτιρίου αυτό που παρατηρείται είναι ότι οι τέμνουσες που αναπτύσσει είναι σχεδόν ίδιες στις περιπτώσεις που αυτό δρα σε αλληλεπίδραση με την οκταώροφη και όταν δρα ανεξάρτητα από αυτή. Παρόλα αυτά κάποιες φορές οι τιμές όταν δρα ανεξάρτητα είναι ελάχιστα μεγαλύτερες κατά απόλυτη τιμή (Σχήμα 4.12).



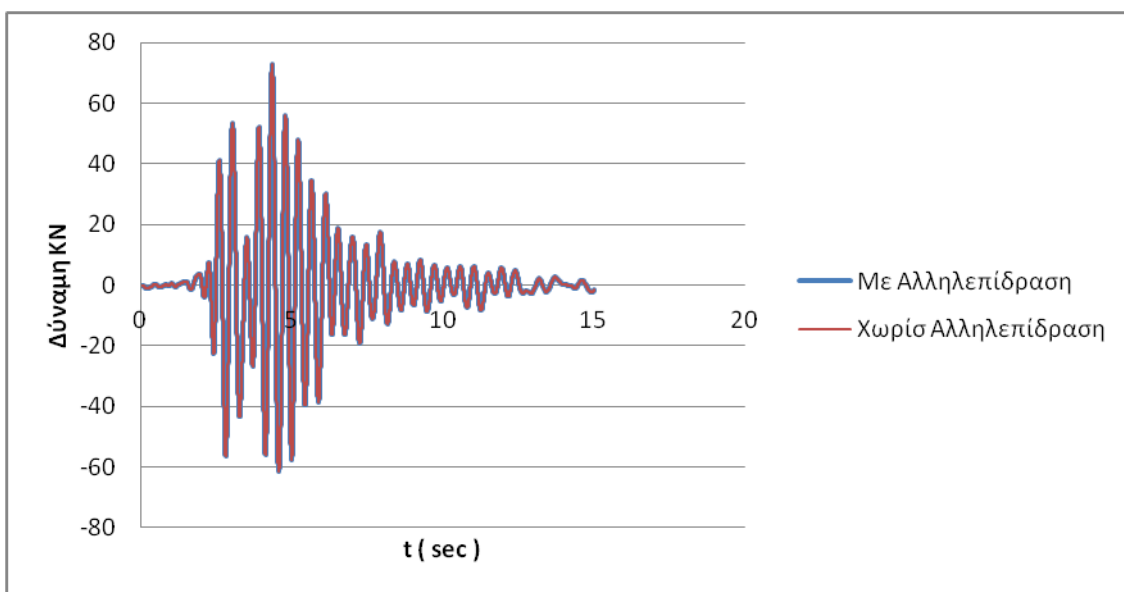
**Σχήμα 4.13: Χρονοϊστορία τεμνουσών 4<sup>ου</sup> ορόφου τετραώροφου**

Σε αντίθεση οι τέμνουσες δυνάμεις στη στάθμη του 4<sup>ου</sup> ορόφου της τετραώροφης κατασκευής παρουσιάζουν τεράστιες διαφορές στις τιμές όταν βρίσκονται σε αλληλεπίδραση σε σχέση με όταν αυτά συμπεριφέρονται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο στο σεισμό, οι τιμές όταν βρίσκονται σε

αλληλεπίδραση είναι έως και 70% μεγαλύτερη από αυτές χωρίς αλληλεπίδραση (Σχήμα 4.13).



**Σχήμα 4.14: Χρονοϊστορία τέμνουσών 1<sup>ου</sup> ορόφου οκταώροφου**



**Σχήμα 4.15: Χρονοϊστορία τέμνουσών 4<sup>ου</sup> ορόφου οκταώροφου**

Συγκρίνοντας τα διαγράμματα σχήμα 4.14 και 4.15 παρατηρείται ότι κυμαίνονται περίπου στα ίδια επίπεδα οι τέμνουσες που παρουσιάζει η οκταώροφη κατασκευή και στις δύο στάθμες του 1<sup>ου</sup> και του 4<sup>ου</sup> ορόφου που πραγματοποιούνται οι έλεγχοι. Βλέπουμε ότι στον 1<sup>ο</sup> όροφο οι τέμνουσες είναι μεγαλύτερες από ότι στον 4<sup>ο</sup>, στο οκταώροφο, και όταν αποκρίνεται ανεξάρτητα με το τετραώροφο και όταν αλληλεπιδρούν. (Σχήματα 4.14,4.15).

Στην συνέχεια παρουσιάζονται, στον πίνακα 4.1.1, οι ποσοστιαίες μεταβολές των μετακινήσεων των υποστυλωμάτων, τόσο του τετραώροφου (Κ3), όσο και του οκταώροφου [Κ4(4<sup>ος</sup>), Κ4(8<sup>ος</sup>)].

πίνακας μετακινήσεων υποστυλωμάτων					
	4οροφο	8οροφο	4οροφο-8οροφο		
Κ3(4ος)	7.3	-	7.20	(mm)	
Κ4(4ος)	-	29.30	29.30	(mm)	
Κ4(8ος)	-	47.70	47.70	(mm)	
				Ποσοστιαία Μεταβολή	
Σύγκριση					
Κ3(4ος)	7.3	-	7.20	1.37%	(μείωση)
Κ4(4ος)	-	29.30	29.30	0.00%	
Κ4(8ος)	-	47.70	47.70	0.00%	

#### **Πίνακας 4.1.1 Πίνακας μετακινήσεων των υποστυλωμάτων τετραώροφης και οκταώροφης κατασκευής.**

Το υποστύλωμα του 4<sup>ου</sup> ορόφου του τετραώροφου κτιρίου (Κ3), με αρχική μετακίνηση εκείνη που παρουσιάζει όταν συμπεριφέρεται ανεξάρτητα από το οκταώροφο, έχει μια μείωση 1,37% σε σχέση με την μετακίνηση του όταν αυτό αλληλεπιδρά με το οκταώροφο.

Επίσης, οι ίδιοι έλεγχοι μπορούν να γίνουν και για τα υποστυλώματα, στον τέταρτο και όγδοο όροφο, της οκταώροφης κατασκευής. Με αρχική μετακίνηση εκείνη που παρουσιάζει όταν συμπεριφέρεται ανεξάρτητα από το τετραώροφο. Παρατηρείται ότι στον τέταρτο όροφο όταν τα κτίρια αλληλεπιδρούν δεν υπάρχει κάποια διαφορά στις μετακινήσεις σε σχέση με όταν αυτό δρα ανεξάρτητα, όπως επίσης και στον όγδοο όροφο.

Από τα στοιχεία του παρακάτω πίνακα θα γίνει ο έλεγχος των ποσοστιαίων μεταβολών των ροπών των υποστυλωμάτων οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1.2, τόσο της τετραώροφης [Κ3(1<sup>ος</sup>),Κ3(4<sup>ος</sup>)] όσο και της οκταώροφης [Κ4(1<sup>ος</sup>),Κ4(4<sup>ος</sup>)].

πίνακας ροπών υποστυλωμάτων				
	4οροφο	8οροφο	4οροφο-8οροφο	
K3(1ος)	110.5756	-	104.6351	(KNm)
K3(4ος)	4.339	-	3.4419	(KNm)
K4(1ος)	-	337.9939	337.9938	(KNm)
K4(4ος)	-	94.0165	94.0165	(KNm)
				Ποσοστιαία Μεταβολή
Σύγκριση				
K3(1ος)	110.5756	-	104.6351	5.37%
K3(4ος)	4.339	-	3.4419	20.68%
K4(1ος)	-	337.9939	337.9938	0.00%
K4(4ος)	-	94.0165	94.0165	0.00%

#### Πίνακας 4.1.2 Πίνακας Ροπών των υποστυλωμάτων τετραώροφης και οκταώροφης κατασκευής.

Το υποστύλωμα του 1<sup>ου</sup> ορόφου του τετραώροφου κτιρίου (K3), με αρχική ροπή εκείνη που παρουσιάζει όταν συμπεριφέρεται ανεξάρτητα από το οκταώροφο, έχει μια μείωση 5,37% σε σχέση με την ροπή που αναπτύσσει όταν αυτό αλληλεπιδρά με το οκταώροφο. Ομοίως και στο υποστύλωμα του 4<sup>ου</sup> ορόφου του τετραώροφου όπου παρουσιάζεται μεγάλη μείωση 20,68%.

Επίσης, και για τα υποστυλώματα, στον τέταρτο και όγδοο όροφο, της οκταώροφης κατασκευής μπορούν να γίνουν οι ίδιοι έλεγχοι. Λαμβάνοντας ως αρχική την ροπή που αναπτύσσει το υποστύλωμα της οκταώροφης κατασκευής όταν συμπεριφέρεται ανεξάρτητα από το τετραώροφο. Για τον πρώτο όροφο, όταν τα κτίρια αλληλεπιδρούν δεν υπάρχει καμία διαφορά στις μετακινήσεις σε σχέση με όταν αυτό δρα ανεξάρτητα. Ομοίως και για τον τέταρτο όροφο.

Τέλος πραγματοποιείται ο έλεγχος τω ποσοστιαίων μεταβολών των τεμνουσών των υποστηλωμάτων από τα στοιχεία του παρακάτω πίνακα. Στον πίνακα 4.1.3 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές των τεμνουσών των υποστυλωμάτων, τόσο της τετραώροφης κατασκευής [K3(1<sup>ος</sup>),K3(4<sup>ος</sup>)], όσο και της οκταώροφης [K4(1<sup>ος</sup>),K4(4<sup>ος</sup>)].

πίνακας τεμνουσών υποστυλωμάτων					
	4οροφο	8οροφο	4οροφο-8οροφο		
K3(1ος)	39.8534	-	36.3572	(KN)	
K3(4ος)	8.842	-	8.1887	(KN)	
K4(1ος)	-	113.9112	113.9111	(KN)	
K4(4ος)	-	73.0409	73.0409	(KN)	
					Ποσοστιαία Μεταβολή
Σύγκριση					
K3(1ος)	39.8534	-	36.3572		-8.77% (μείωση)
K3(4ος)	8.842	-	8.1887		-7.39% (μείωση)
K4(1ος)	-	113.9112	113.9111		0.00%
K4(4ος)	-	73.0409	73.0409		0.00%

#### Πίνακας 4.1.3 Πίνακας Τεμνουσών των υποστυλωμάτων τετραώροφης και οκταώροφης κατασκευής.

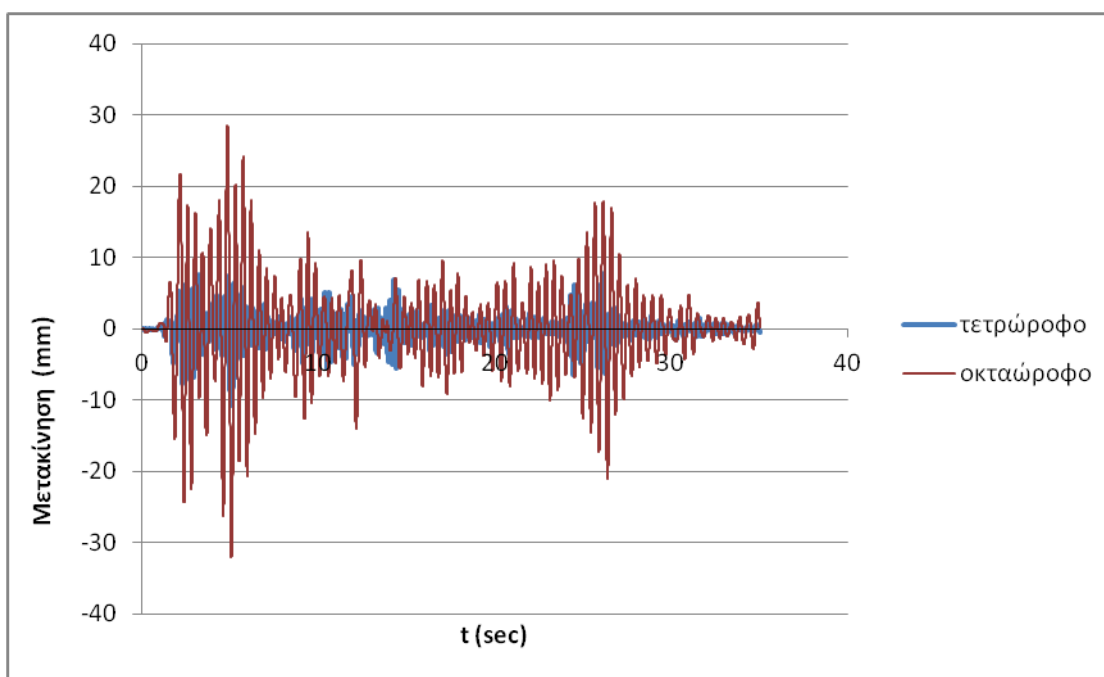
Λαμβάνοντας ως αρχική, την τέμνουσα δύναμη που αναπτύσσει όταν λειτουργεί ανεξάρτητα από την οκταώροφη, το υποστυλώμα του πρώτου ορόφου του τετραώροφου κτιρίου [Κ3(1<sup>ος</sup>)] έχει μια μείωση 8,77% σε σχέση με την τέμνουσα που αναπτύσσει όταν αλληλεπιδρά με την οκταώροφη κατασκευή, όπως και στον τέταρτο όροφο μείωση 7,39 %.

Στα υποστυλώματα της οκταώροφης κατασκευής στους ίδιους ορόφους, πραγματοποιούνται οι ίδιοι έλεγχοι. Σε σχέση με την τέμνουσα που αναπτύσσει το οκταώροφο κτίριο όταν αυτό αντιδρά στον σεισμό ανεξάρτητα από το τετραώροφο παρατηρείται ότι στον πρώτο όροφο, όταν τα κτίρια αλληλεπιδρούν, δεν υπάρχει καμία διαφορά.

## 4.2. EL CENTRO

### 4.2.1. Μετατοπίσεις υποστυλωμάτων

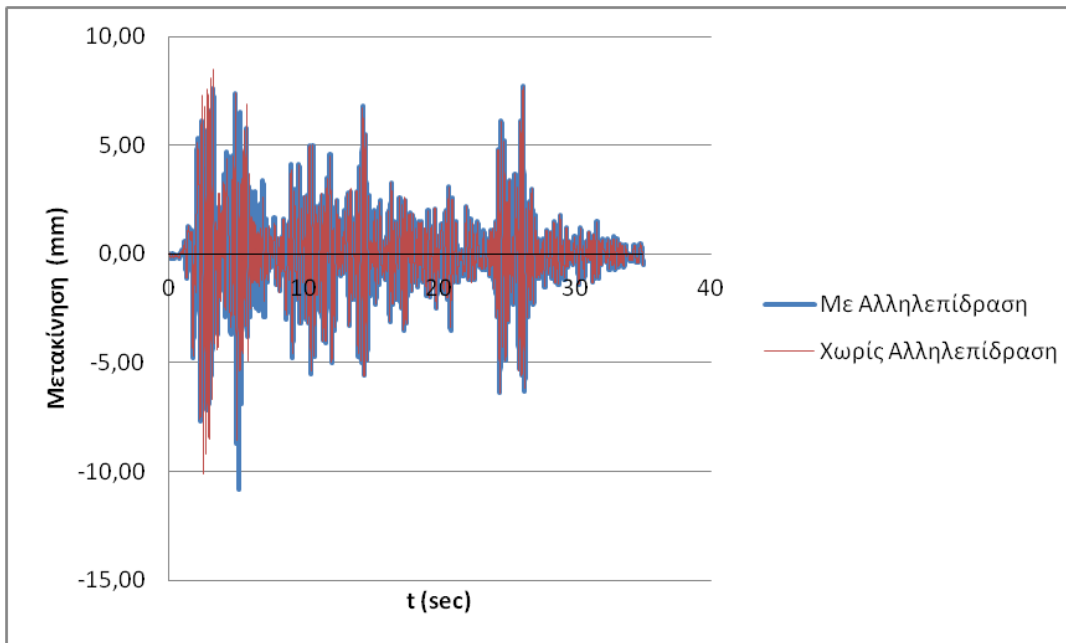
Αρχικά δύναται να ελεγχθούν οι μετατοπίσεις των υποστυλωμάτων του 4<sup>ου</sup> και 8<sup>ου</sup> ορόφου των δύο κατασκευών, όταν βρίσκονται υπό την επίδραση του σεισμού **El Centro**. Θα ελεγχθεί η συμπεριφορά τους όταν αλληλεπιδρούν σε απόσταση 0.03 m και όταν είναι ανεξάρτητα το ένα από το άλλο.



**Σχήμα 4.16: Χρονοϊστορία Μετακινήσεων 4<sup>ου</sup> ορόφου**

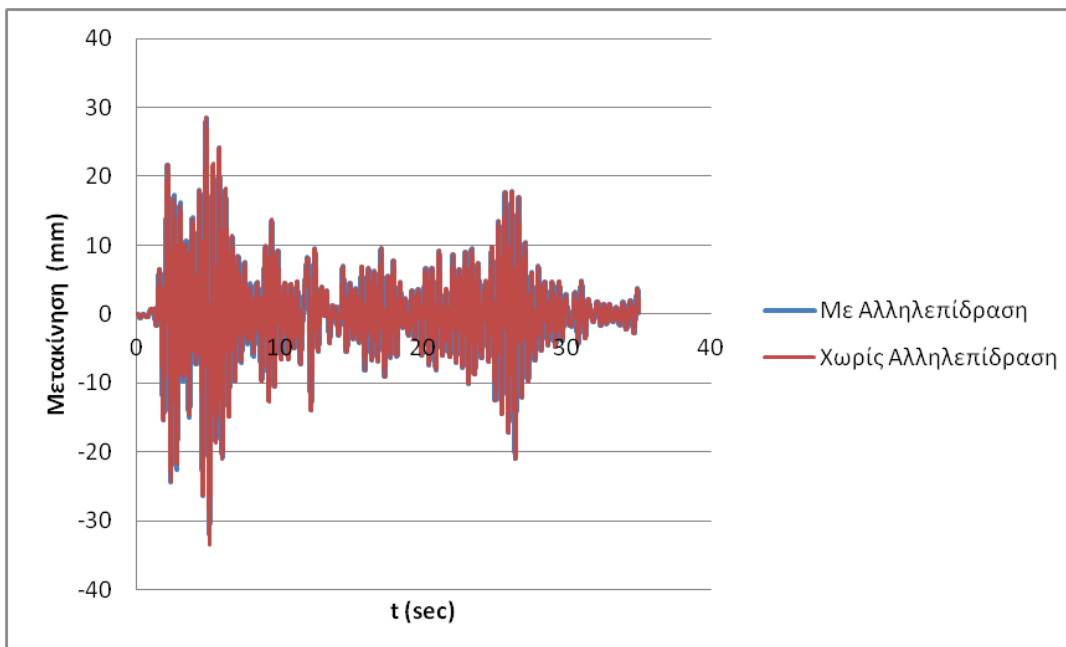
Αυτό που φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα που απεικονίζει τη χρονική πορεία του 4<sup>ου</sup> ορόφου είναι ότι υπάρχουν διαφορές στις μετακινήσεις των υποστυλωμάτων του 4<sup>ου</sup> ορόφου. Πιο συγκεκριμένα ο 4<sup>ος</sup> όροφος στο

οκταώροφο έχει πολύ μεγαλύτερες (σχεδόν τις τριπλάσιες) μετακινήσεις από ότι το τετραώροφο στην ίδια στάθμη (Σχήμα 4.16)



**Σχήμα 4.17: Χρονοϊστορία 4<sup>ου</sup> ορόφου τετραώροφου**

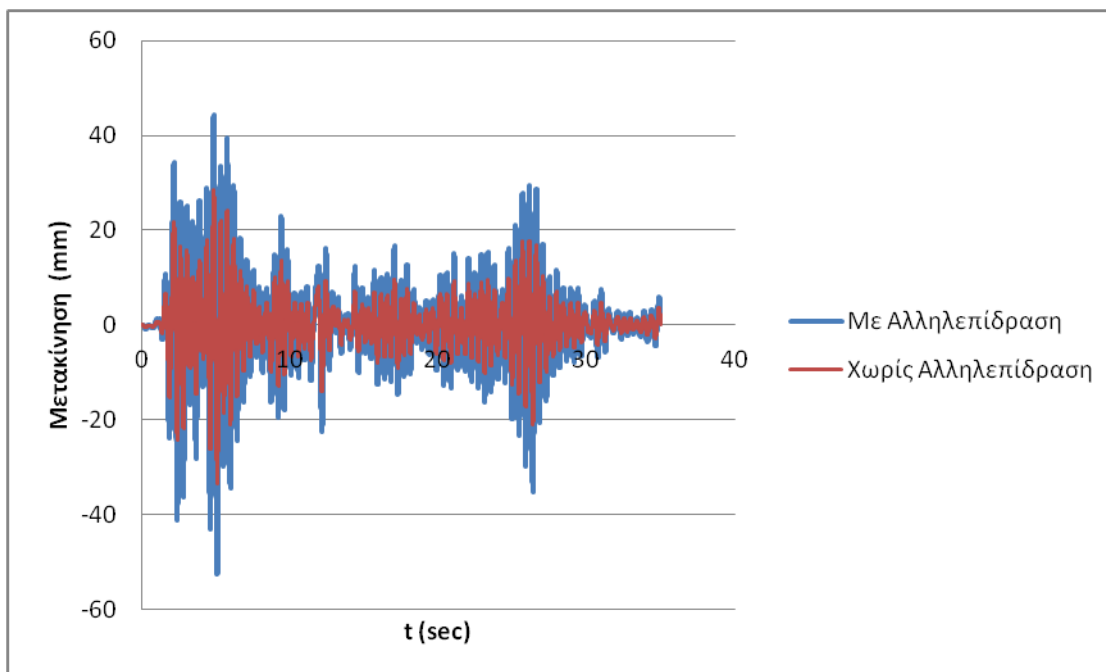
Οι μετατοπίσεις στα υποστυλώματα του 4<sup>ου</sup> ορόφου της τετραώροφης κατασκευής δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές όσον αφορά, τις μετατοπίσεις όταν το κτίριο βρίσκεται σε αλληλεπίδραση με το οκταώροφο σε σχέση με όταν αυτό αποκρίνεται μόνο του (Σχήμα 4.17).



**Σχήμα 4.18: Χρονοϊστορία Μετακινήσεων 4<sup>ου</sup> ορόφου οκταώροφου**

Ενώ στο οκτώροφο κτίριο θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο τέταρτος όροφος δεν επιρεάζεται από την αλληλεπίδραση αφού οι μετακινήσεις των υποστυλωμάτων του, όταν αυτό αλληλεπιδρά και όταν αυτό δρα ανεξάρτητα σχεδόν ταυτίζονται.

Συγκρίνοντας όμως τα δύο διαγράμματα σχήμα 4.17 και 4.18 μπορεί κανείς εύκολα να παρατηρήσει ότι οι μετατοπίσεις του 4<sup>ου</sup> ορόφου της τετράροφης κατασκευής είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με αυτές της αντίστοιχης στάθμης του οκτώροφου κτιρίου και στις δύο περιπτώσεις (με αλληλεπίδραση και χωρίς).



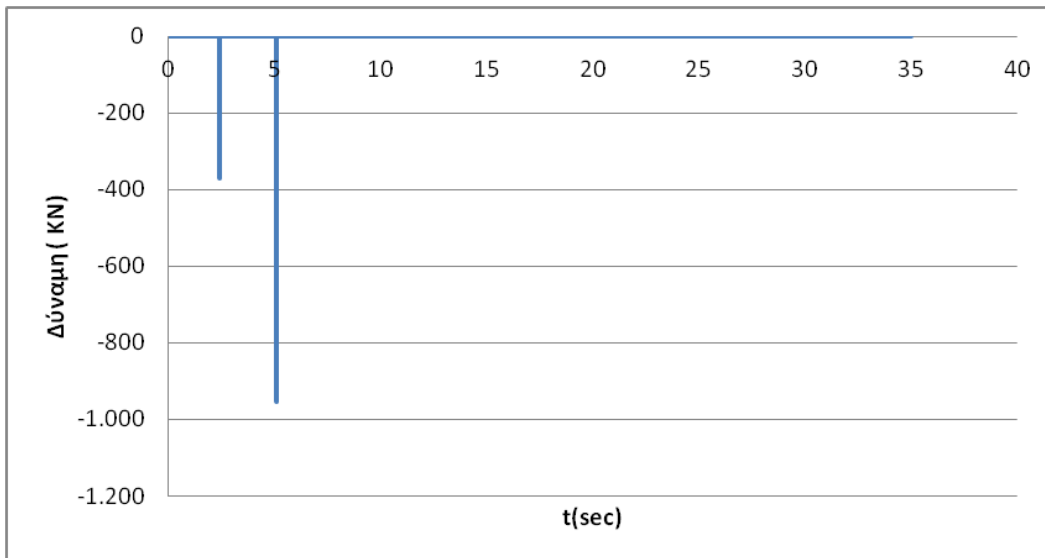
**Σχήμα 4.19: Χρονοϊστορία Μετακινήσεων 8<sup>ου</sup> ορόφου οκτώροφου**

Οι μετακινήσεις των υποστυλωμάτων της οκτώροφης κατασκευής στη στάθμη του 8<sup>ου</sup> ορόφου είναι σχετικά μεγαλύτερες, σχεδόν οι διπλάσιες όταν αυτό βρίσκεται σε αλληλεπίδραση με το τετράροφο, σε σχέση με όταν αλληλεπιδρά μόνο του. Και ότι ο 8<sup>ος</sup> όροφος παρουσιάζει τις πιο μεγάλες μετακινήσεις σε σχέση με τους άλλους.

#### 4.2.2. Σύγκρουση κτιρίων

Στη συνέχεια θα γίνει έλεγχος αν τα κτίρια συγκρούονται κατά τη διάρκεια του σεισμού **El Centro**. Για να μπορέσουμε να καταλήξουμε σε ένα συμπέρασμα όσον αφορά αυτό, τοποθετήσαμε μη γραμμικά ελατήρια στους κοινούς ορόφους των δύο κτιρίων. Τα ελατήρια είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να λειτουργούν μόνο κατά τη σύγκλιση των κτιρίων και όχι κατά την απομάκρυνση αυτών και για αυτό το λόγο λαμβάνουν μόνο αρνητικές τιμές .



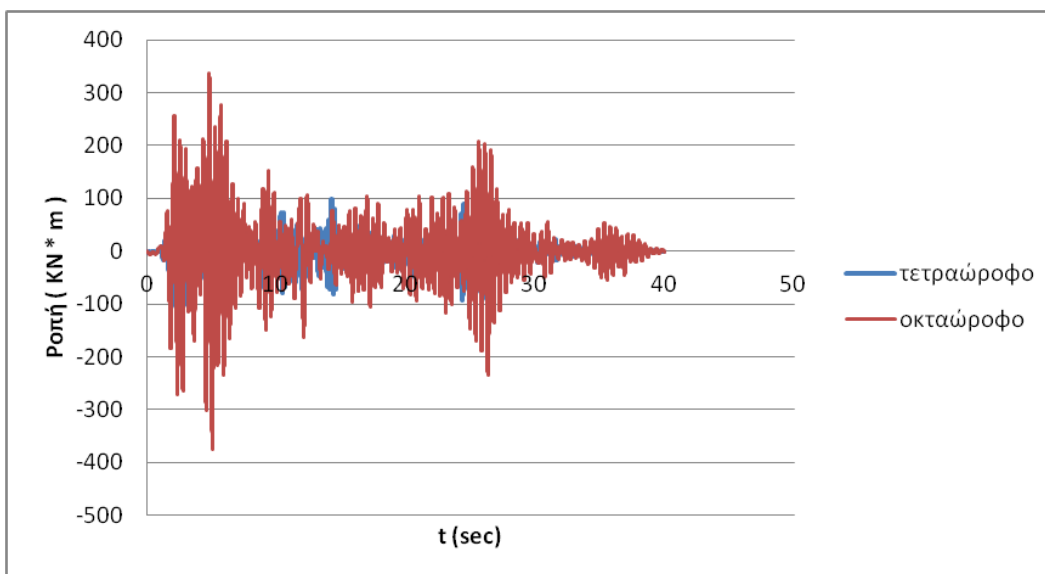


**Σχήμα 4. 20: Χρονοϊστορία δύναμης ελατηρίου**

Βλέποντας και το διάγραμμα (σχήμα 4.20) φαίνεται ότι τα κτίρια για δύο δευτερόλεπτα συγκρούονται ενώ καθ' όλη την υπόλοιπη διάρκεια του σεισμού δεν δίνονται αρνητικές τιμές στα ελατήρια άρα τα κτίρια δεν συγκρούονται.

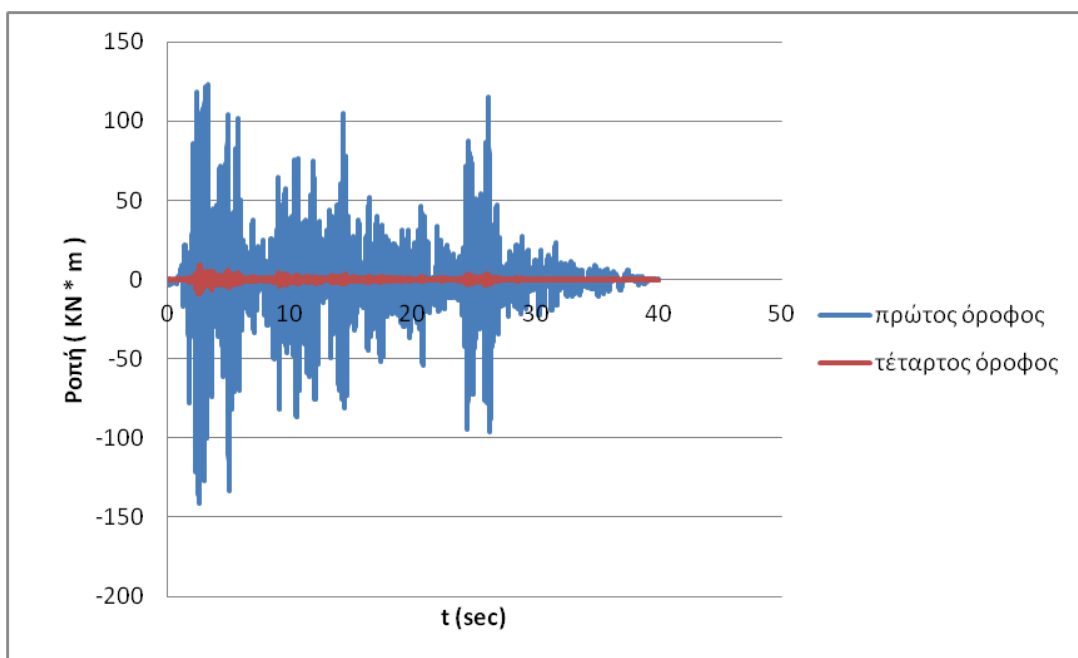
#### 4.2.3. Ροπές υποστυλωμάτων

Στη συνέχεια πραγματοποιείται έλεγχος και σύγκριση όσον αφορά τις ροπές των υποστυλωμάτων του 1<sup>ου</sup> και του 4<sup>ου</sup> ορόφου των δύο κτιρίων για την περίπτωση που αυτά αλληλεπιδρούν κατά τη διάρκεια του ίδιου σεισμού και όταν λειτουργούν ανεξάρτητα.



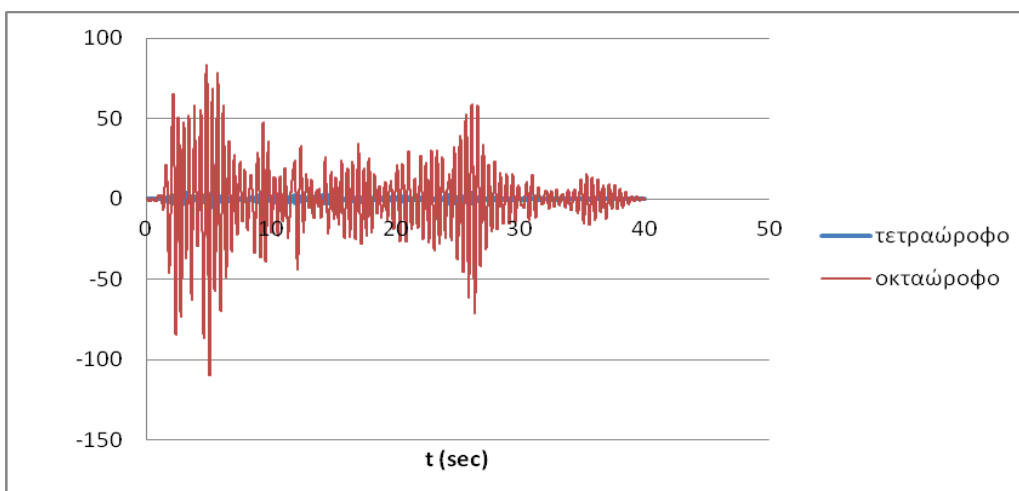
**Σχήμα 4.21: Χρονοϊστορία ροπών υποστυλωμάτων 1<sup>ου</sup> ορόφου με αλληλεπίδραση**

Στον 1<sup>ο</sup> όροφο της οκταώροφης κατασκευής οι ροπές των υποστυλωμάτων είναι μεγαλύτερες κατά απόλυτη τιμή συγκρινόμενες με τις ροπές του αντίστοιχου ορόφου της τετραώροφης κατασκευής όταν οι δύο κατασκευές βρίσκονται σε αλληλεπίδραση. (Σχήμα 4.21)



**Σχήμα 4.22: Χρονοϊστορία ροπών τετραώροφου χωρίς αλληλεπίδραση**

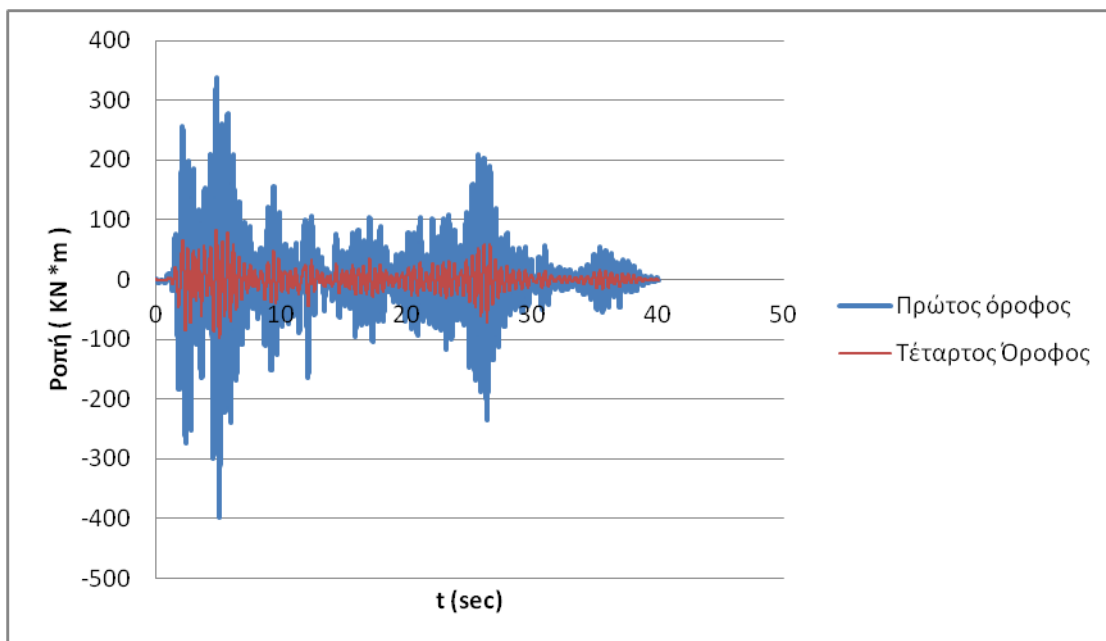
Παρατηρούμε ότι στον 1<sup>ο</sup> όροφο του τετραώροφου τα υποστυλώματα αναπτύσσουν ροπές οι οποίες κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα και όταν υπάρχει αλληλεπίδραση με το οκταώροφο και χωρίς αλληλεπίδραση. Λίγο μεγαλύτερες ροπές παρατηρούμε όταν αλληλεπιδρά όπως φαίνεται και από τις τιμές παρακάτω +112 KNm, -157 KNm (Σχήμα 4.22) ενώ όταν δεν αλληλεπιδρά +123 KNm, -141 KNm. Το ποσοστό αύξησης των ροπών είναι 11,35% (Σχήμα 4.22, 4.21).



**Σχήμα 4.23: Χρονοϊστορία ροπών υποστυλωμάτων 4<sup>ου</sup> ορόφου με αλληλεπίδραση**

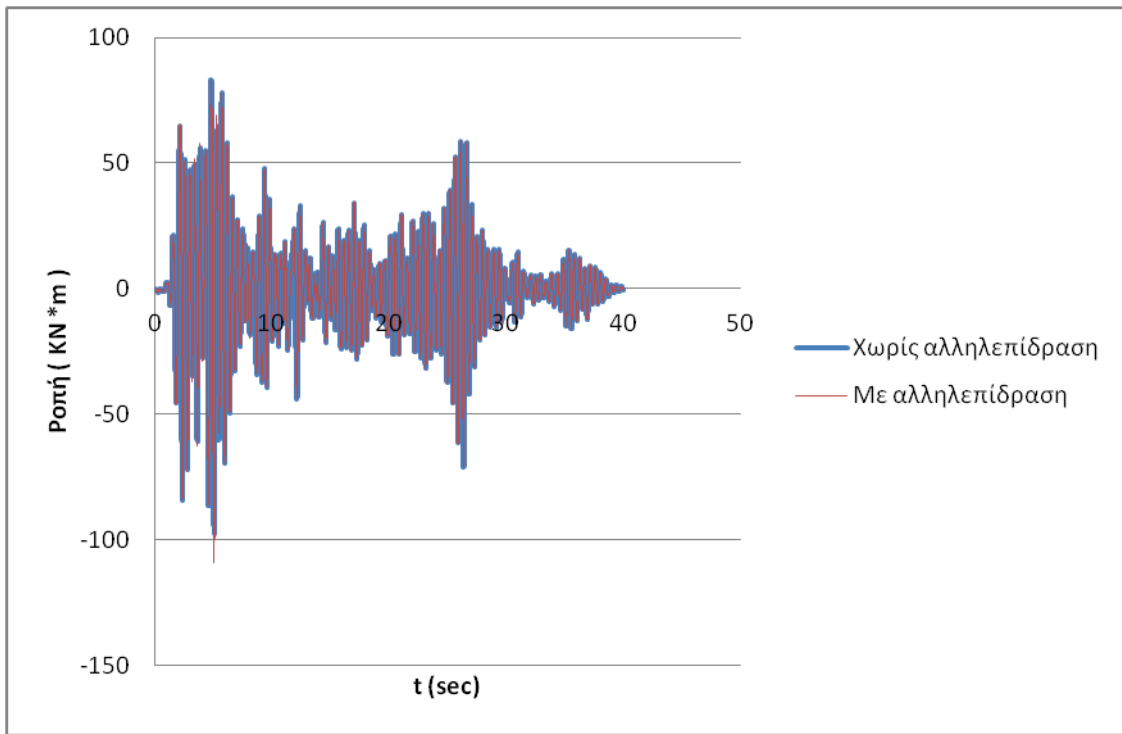
Στη συνέχεια βλέπουμε ότι το τετραώροφο κτίριο στη στάθμη του 4<sup>ου</sup> ορόφου παρουσιάζει ροπές όταν αλληλεπιδρά: (+3.7 KNm, - 5.2 KNm) (Σχήμα 4.23), ενώ όταν αντιδρούν στον σεισμό ανεξάρτητα από την παρακείμενη οκταώροφη κατασκευή: (+9.3 KNm,- 8.9 KNm) (Σχήμα 4.22).

Με βάση και το παραπάνω σχήμα προκύπτει ότι το οκταώροφο αναπτύσσει κατά πολύ μεγαλύτερες ροπές από το τετραώροφο, του οποίου οι ροπές είναι σχεδόν μηδενικές, στην ίδια στάθμη, λόγω του ότι είναι πιο κοντό και πιο δύσκαμπτο, όπως ήταν αναμενόμενο: (+ 83.1 KNm, -109.4 KNm) (Σχήμα 4.23).

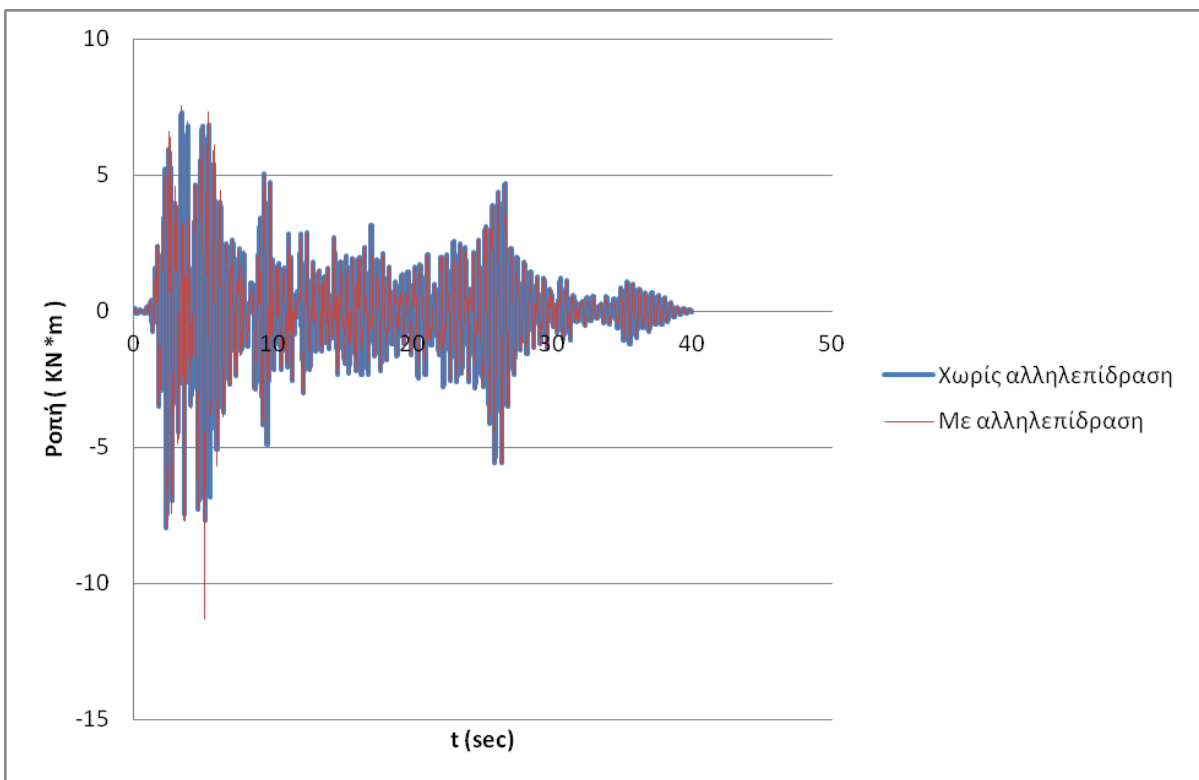


**Σχήμα 4.24: Χρονοϊστορία ροπών οκταώροφου χωρίς αλληλεπίδραση**

Στον 4<sup>ο</sup> όροφο της οκταώροφης κατασκευής, οι ροπές που αναπτύσσονται είναι μικρότερες όταν το κτίριο λειτουργεί ανεξάρτητα: (+83 KNm, -97.6 KNm) από ότι όταν αυτό αλληλεπιδρά με το τετραώροφο: (+83.1 KNm, - 109.4 KNm) (σχήμα 4.23). Αντίθετα με τον 1<sup>ο</sup> όροφο όπου οι ροπές της οκταώροφης κατασκευής είναι μεγαλύτερες όταν δεν είναι σε αλληλεπίδραση με την τετραώροφη και δίνει τιμές : (+337.3 KNm, -398.8 KNm), παρά όταν είναι με αλληλεπίδραση που δίνει τιμές : (+337.7 KNm, - 376 KNm) όπως φαίνεται και από τα παραπάνω διαγράμματα (Σχήμα 4.21, 4.24).



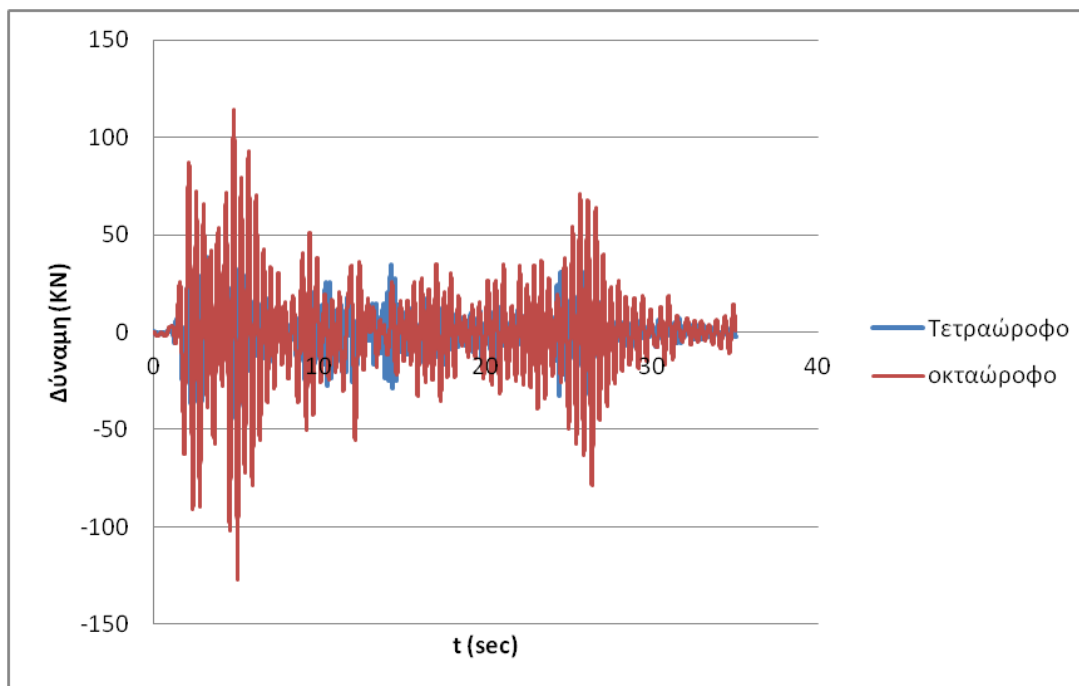
**Σχήμα 4.25: Χρονοϊστορία ροπών 4<sup>ου</sup> οκταώροφου**



**Σχήμα 4. 26: Χρονοϊστορία ροπών 8<sup>ου</sup> οκταώροφου**

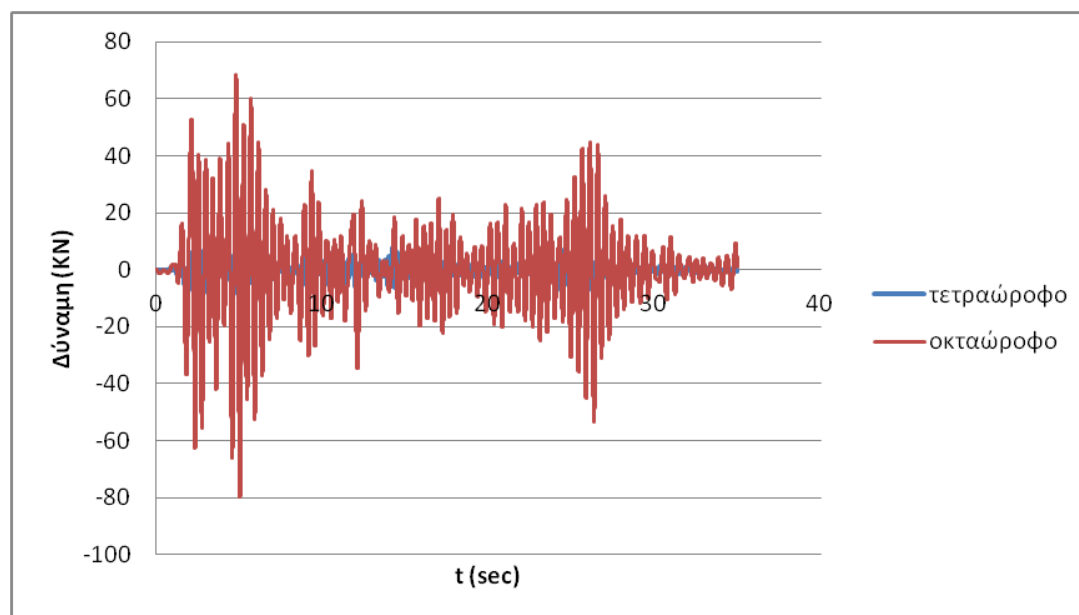
#### 4.2.4. Τέμνουσες δυνάμεις

Τέλος θα παρουσιασθούν τα αποτελέσματα όσον αφορά τις τέμνουσες δυνάμεις των υποστυλωμάτων, του 1<sup>ου</sup> και 4<sup>ου</sup> ορόφου της τετραώροφης και της οκταώροφης κατασκευής, όταν αλληλεπιδρούν ως προς τον ίδιο σεισμό και χωρίς αλληλεπίδραση για λόγους σύγκρισης (Σχήματα 4.27-4.30).



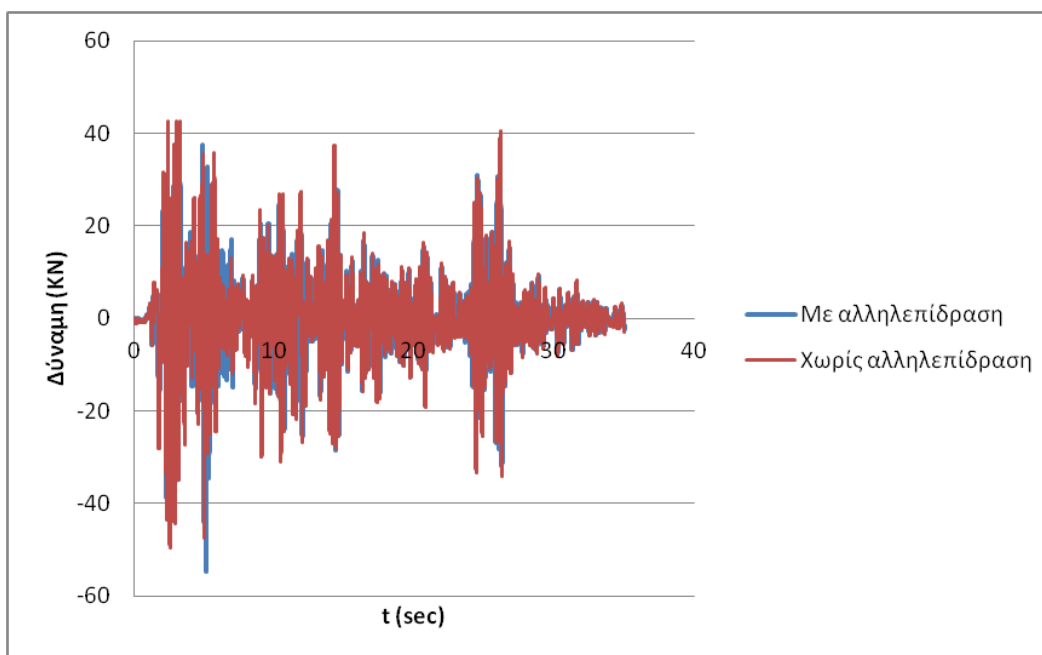
**Σχήμα 4.27: Χρονοϊστορία τέμνουσών 1<sup>ου</sup> ορόφου**

Στο Σχήμα 4.27 φαίνεται ότι στον 1<sup>ο</sup> όροφο της οκταώροφης κατασκευής αναπτύσσονται ανά διαστήματα μεγαλύτερες τιμές τέμνουσών δυνάμεων, από ότι στην ίδια στάθμη του τετραώροφου κτιρίου (σχήμα 4.27).



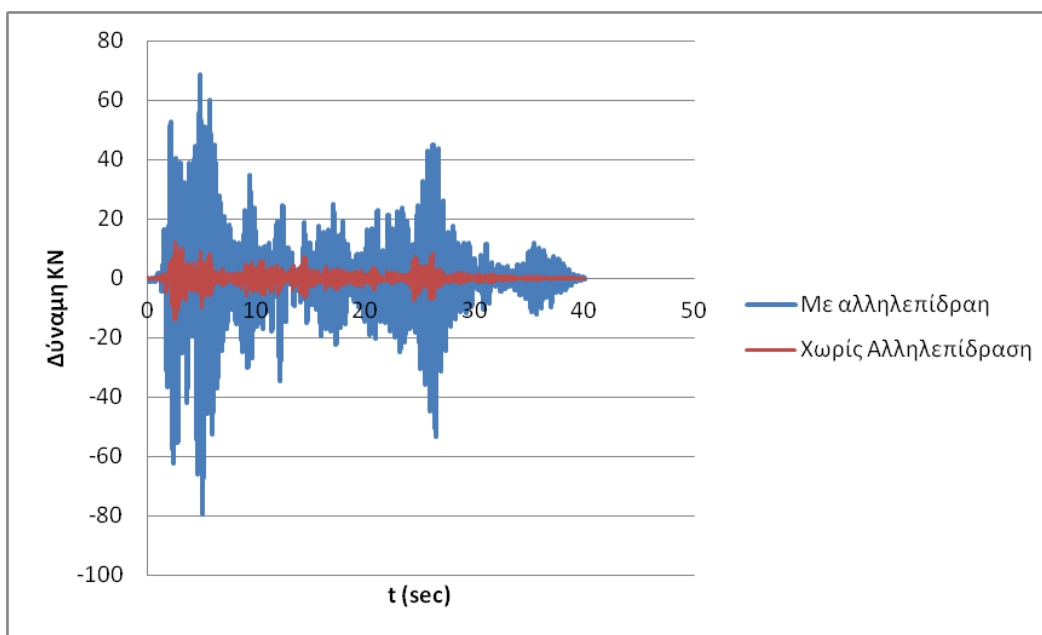
**Σχήμα 4. 28: Χρονοϊστορία τέμνουσών 4<sup>ου</sup> ορόφου**

Συγκρίνοντας τα δύο διαγράμματα παρατηρείται ότι στα υποστυλώματα του 1<sup>ου</sup> ορόφου και των δύο κτιρίων αναπτύσσονται μεγαλύτερες τέμνουσες δυνάμεις, τόσο αρνητικές όσο και θετικές, από ότι στον 4<sup>ο</sup> όροφο (Σχήματα 4.27,4.28).



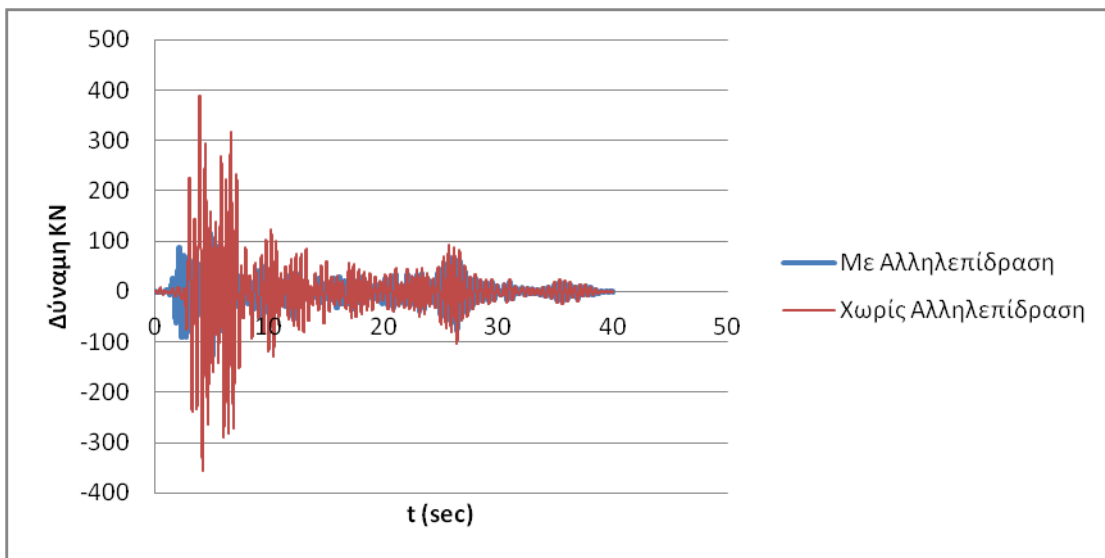
**Σχήμα 4. 29: Χρονοϊστορία τέμνουσών δυνάμεων 1<sup>ου</sup> ορόφου τετραώροφου**

Στη στάθμη του 1<sup>ου</sup> ορόφου, οι τέμνουσες που αναπτύσσονται στην τετραώροφη κατασκευή αυξάνονται, ανά διαστήματα, όταν αυτή δεν αλληλεπιδρά με την οκταώροφη, όπως προκύπτει από το παραπάνω σχήμα (σχήμα 4.29).



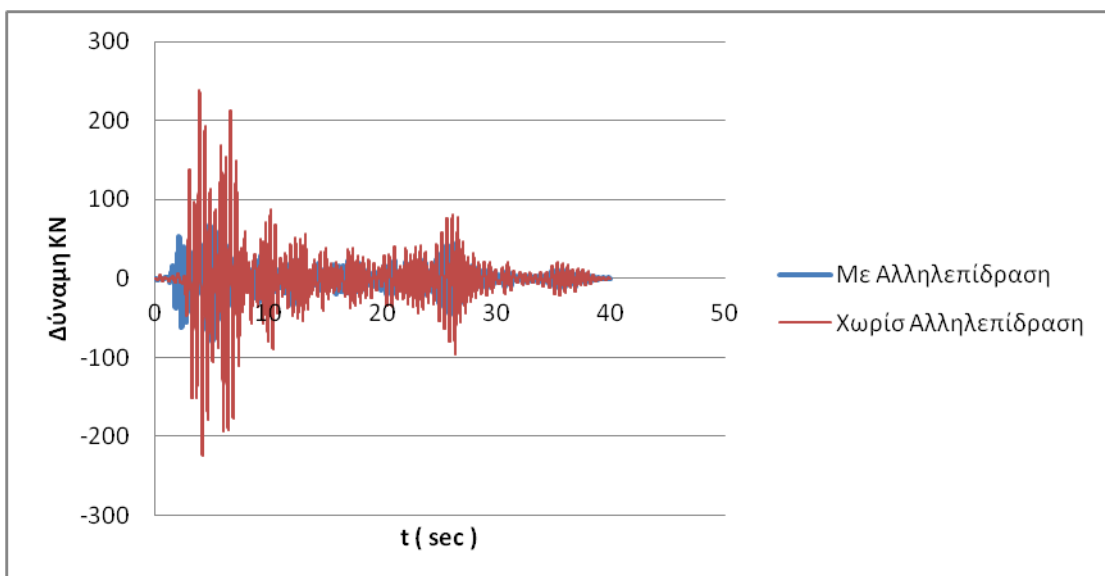
**Σχήμα 4. 30: Χρονοϊστορία τέμνουσών δυνάμεων 4<sup>ου</sup> ορόφου τετραώροφου**

Αντίστοιχα, στη στάθμη του 4<sup>ου</sup> ορόφου της τετραώροφης κατασκευής, οι τέμνουσες που αναπτύσσονται αυξάνονται κατά 13.87%, όταν αυτή δεν αλληλεπιδρά με την οκταώροφη κατασκευή (σχήμα 4.30)



**Σχήμα 4. 31: Χρονοϊστορία τέμνουσών 1<sup>ου</sup> ορόφου οκταώροφου**

Από το σχήμα 4.31 φαίνεται ότι στον 1<sup>ο</sup> όροφο του οκταώροφου, αναπτύσσονται μεγαλύτερες τέμνουσες (+338.8 KNm, -354.8 KNm) όταν δεν υπάρχει αλληλεπίδραση σε σχέση με την περίπτωση της αλληλεπίδρασης με το τετραώροφο (+114.5 KNm, -127.2 KNm).



**Σχήμα 4. 32: Χρονοϊστορία τέμνουσών 4<sup>ου</sup> ορόφου οκταώροφου**

Στην στάθμη του 4<sup>ου</sup> ορόφου του οκταώροφου, αναπτύσσονται μεγαλύτερες τέμνουσες όταν δεν υπάρχει αλληλεπίδραση (+239.1 KNm, -224 KNm) από όταν αυτό αλληλεπιδρά με το τετραώροφο (+68.6 KNm, -79.7 KNm), όπως βλέπουμε και παραπάνω. (σχήμα 4.32).

Παρατηρώντας τη συμπεριφορά του 1<sup>ου</sup> ορόφου και του 4<sup>ου</sup> του οκταώροφου κτιρίου καταλήγουμε σε δύο συμπεράσματα :

1. Και στις δύο στάθμες οι τιμές όταν το κτίριο δρα ανεξάρτητα από την τετραώροφη είναι μεγαλύτερες.
2. Οι τέμνουσες του 1<sup>ου</sup> ορόφου και στις δύο περιπτώσεις (με αλληλεπίδραση και χωρίς) είναι μεγαλύτερες από αυτές του 4<sup>ου</sup> ορόφου.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται, στον πίνακα 4.2.1, οι ποσοστιαίες μεταβολές των μετακινήσεων των υποστυλωμάτων, τόσο του τετραώροφου (K3), όσο και του οκταώροφου [K4(4<sup>ος</sup>), K4(8<sup>ος</sup>)].

πίνακας μετακινήσεων υποστυλωμάτων					
	4οροφο	8οροφο	4οροφο-8οροφο		
K3(4ος)	8.5	-	7.70	(mm)	
K4(4ος)	-	28.50	28.50	(mm)	
K4(8ος)	-	44.30	44.40	(mm)	
				Ποσοστιαία Μεταβολή	
Σύγκριση					
K3(4ος)	8.5	-	7.70	9.41%	(μείωση)
K4(4ος)	-	28.50	28.50	0.00%	
K4(8ος)	-	44.30	44.40	0.23%	(αύξηση)

#### **Πίνακας 4.2.1 Πίνακας Μετακινήσεων των υποστυλωμάτων τετραώροφης και οκταώροφης κατασκευής.**

Το υποστυλώμα του 4<sup>ου</sup> ορόφου του τετραώροφου κτιρίου (K3), με αρχική μετακίνηση εκείνη που παρουσιάζει όταν συμπεριφέρεται ανεξάρτητα από το οκταώροφο, έχει μια μείωση 9,41% σε σχέση με την μετακίνηση του όταν αυτό αλληλεπιδρά με το οκταώροφο.

Επίσης, οι ίδιοι έλεγχοι μπορούν να γίνουν και για τα υποστυλώματα, στον τέταρτο και όγδοο όροφο, της οκταώροφης κατασκευής. Με αρχική μετακίνηση εκείνη που παρουσιάζει όταν συμπεριφέρεται ανεξάρτητα από το τετραώροφο. Παρατηρείται ότι στον τέταρτο όροφο όταν τα κτίρια αλληλεπιδρούν δεν υπάρχει κάποια διαφορά στις μετακινήσεις σε σχέση με όταν αυτό δρα ανεξάρτητα, ενώ στον όγδοο όροφο υπάρχει μια αύξηση 0,23%.

Από τα στοιχεία του παρακάτω πίνακα θα γίνει ο έλεγχος των ποσοστιαίων μεταβολών των ροπών των υποστυλωμάτων οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2.2, τόσο της τετραώροφης [K3(1<sup>ος</sup>),K3(4<sup>ος</sup>)] όσο και της οκταώροφης [K4(1<sup>ος</sup>),K4(4<sup>ος</sup>)].



πίνακας ροπών υποστυλωμάτων					
	4οροφο	8οροφο	4οροφο-8οροφο		
K3(1ος)	123.064	-	112.0398	(KNm)	
K3(4ος)	9.2821	-	3.6855	(KNm)	
K4(1ος)	-	337.2998	337.7519	(KNm)	
K4(4ος)	-	83.0069	83.1423	(KNm)	
				Ποσοστιαία Μεταβολή	
Σύγκριση					
K3(1ος)	123.064	-	112.0398	8.96%	(μείωση)
K3(4ος)	9.2821	-	3.6855	60.29%	(μείωση)
K4(1ος)	-	337.2998	337.7519	0.13%	(αύξηση)
K4(4ος)	-	83.0069	83.1423	0.16%	(αύξηση)

#### Πίνακας 4.2.2 Πίνακας Ροπών των υποστυλωμάτων τετραώροφης και οκταώροφης κατασκευής.

Το υποστύλωμα του 1<sup>ου</sup> ορόφου του τετραώροφου κτιρίου (K3), με αρχική ροπή εκείνη που παρουσιάζει όταν συμπεριφέρεται ανεξάρτητα από το οκταώροφο, έχει μια μείωση 8,96% σε σχέση με την ροπή που αναπτύσσει όταν αυτό αλληλεπιδρά με το οκταώροφο. Ομοίως και στο υποστύλωμα του 4<sup>ου</sup> ορόφου του τετραώροφου όπου παρουσιάζεται μεγάλη μείωση 60,29%.

Επίσης, και για τα υποστυλώματα, στον τέταρτο και όγδοο όροφο, της οκταώροφης κατασκευής μπορούν να γίνουν οι ίδιοι έλεγχοι. Λαμβάνοντας ως αρχική την ροπή που αναπτύσσει το υποστύλωμα της οκταώροφης κατασκευής όταν συμπεριφέρεται ανεξάρτητα από το τετραώροφο. Για τον πρώτο όροφο, όταν τα κτίρια αλληλεπιδρούν, υπάρχει αύξηση των ροπών 0,13%. Ομοίως και για τον τέταρτο, υπάρχει αύξηση 0,16%.

Τέλος πραγματοποιείται ο έλεγχος των ποσοστιαίων μεταβολών των τεμνουσών των υποστηλωμάτων από τα στοιχεία του παρακάτω πίνακα.στον πίνακα 4.2.3 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές των τεμνουσών των υποστυλωμάτων, τόσο της τετραώροφης κατασκευής [K3(1<sup>ος</sup>),K3(4<sup>ος</sup>)], όσο και της οκταώροφης [K4(1<sup>ος</sup>),K4(4<sup>ος</sup>)].

πίνακας τεμνουσών υποστυλωμάτων					
	4οροφο	8οροφο	4οροφο-8οροφο		
K3(1ος)	42.7123	-	38.9301	(KN)	
K3(4ος)	11.9044	-	8.7682	(KN)	
K4(1ος)	-	388.8344	114.4735	(KN)	
K4(4ος)	-	239.1657	68.6338	(KN)	
				Ποσοστιαία Μεταβολή	
Σύγκριση					
K3(1ος)	42.7123	-	38.9301	8.86%	(μείωση)
K3(4ος)	11.9044	-	8.7682	26.34%	(μείωση)
K4(1ος)	-	388.8344	114.4735	70.56%	(μείωση)
K4(4ος)	-	239.1657	68.6338	71.30%	(μείωση)

#### Πίνακας 4.2.3 Πίνακας Τεμνουσών των υποστυλωμάτων τετραώροφης και οκταώροφης κατασκευής.

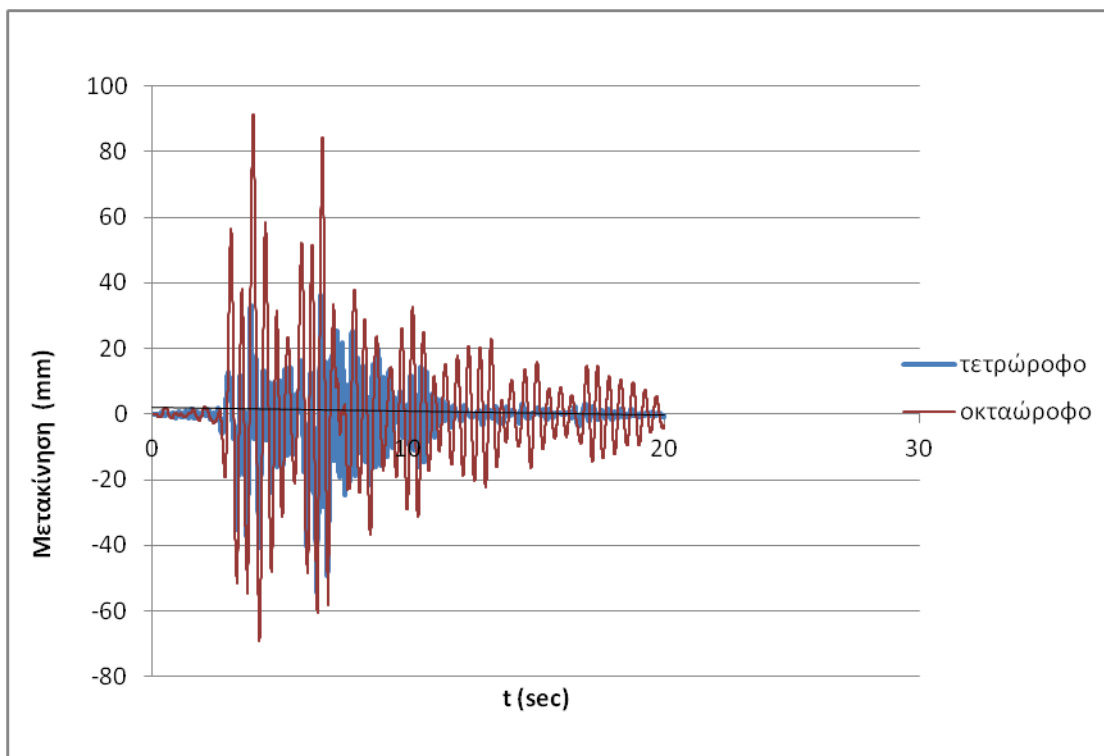
Λαμβάνοντας ως αρχική, την τέμνουσα δύναμη που αναπτύσσει όταν λειτουργεί ανεξάρτητα από την οκταώροφη, το υποστυλώμα του πρώτου ορόφου του τετραώροφου κτιρίου [Κ3(1<sup>ος</sup>)] έχει μια μείωση 8,86% σε σχέση με την τέμνουσα που αναπτύσσει όταν αλληλεπιδρά με την οκταώροφη κατασκευή, όπως και στον τέταρτο όροφο μείωση 26,34 %.

Στα υποστυλώματα της οκταώροφης κατασκευής στους ίδιους ορόφους, πραγματοποιούνται οι ίδιοι έλεγχοι. Σε σχέση με την τέμνουσα που αναπτύσσει το οκταώροφο κτίριο όταν αυτό αντιδρά στον σεισμό ανεξάρτητα από το τετραώροφο παρατηρείται ότι στον πρώτο όροφο, όταν τα κτίρια αλληλεπιδρούν, υπάρχει μείωση 70,56%.

## 4.3. KOBE

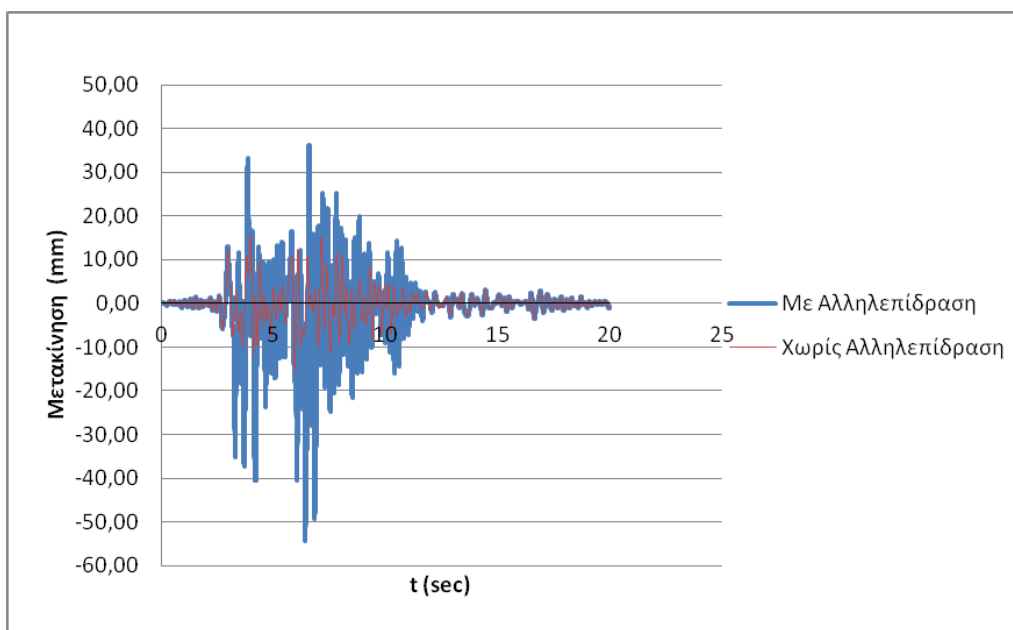
### 4.3.1. Μετατοπίσεις υποστυλωμάτων

Αρχικά θα ελεγχθούν οι μετατοπίσεις των υποστυλωμάτων του 4<sup>ου</sup> και 8<sup>ου</sup> ορόφου των δύο κατασκευών, όταν αυτές βρίσκονται υπό την επίδραση του σεισμού **Kobe**. Θα ελεγχθεί η συμπεριφορά τους όταν αλληλεπιδρούν σε απόσταση 0.03 m και όταν δρουν ο ένας ανεξάρτητα από τον άλλο.



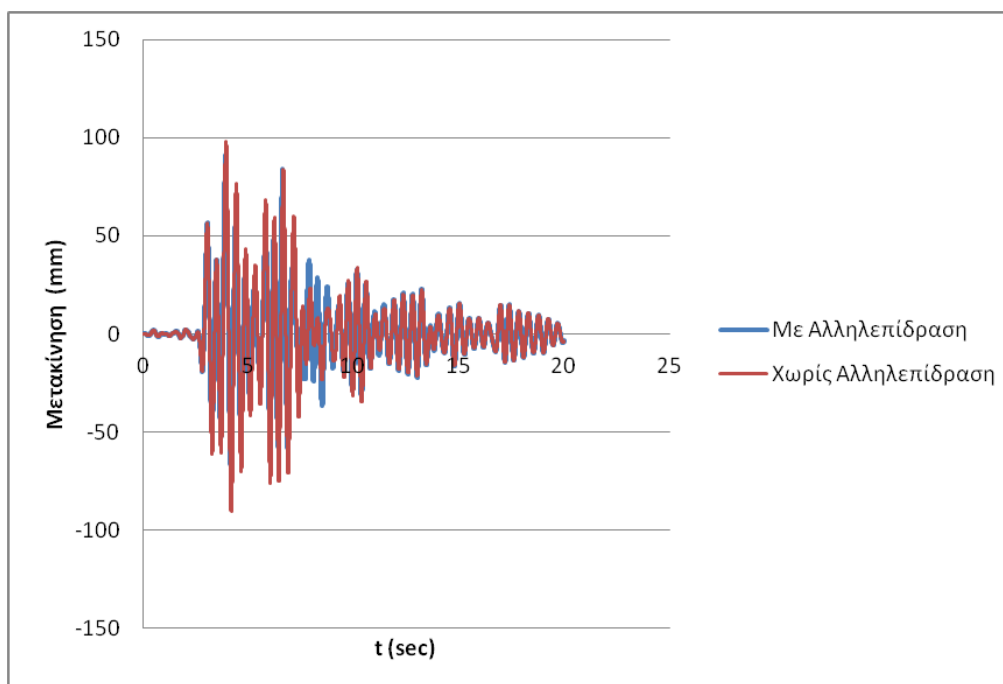
**Σχήμα 4. 33: Χρονοϊστορία μετακινήσεων 4<sup>ου</sup> ορόφου σε αλληλεπίδραση**

Η οκταώροφη κατασκευή παρουσιάζει μεγαλύτερες μετακινήσεις στα υποστυλώματα, από αυτές που παρουσιάζουν τα υποστυλώματα της τετραώροφης κατασκευής, στη στάθμη του 4<sup>ου</sup> ορόφου, όπως φαίνεται και από το παραπάνω διάγραμμα. Παρατηρείται ότι στη οκταώροφη κατασκευή αναπτύσσονται περίπου 30% μεγαλύτερες μετατοπίσεις. (σχήμα 4.33)



**Σχήμα 4.34: Χρονοϊστορία μετακινήσεων 4<sup>ου</sup> ορόφου τετραώροφου**

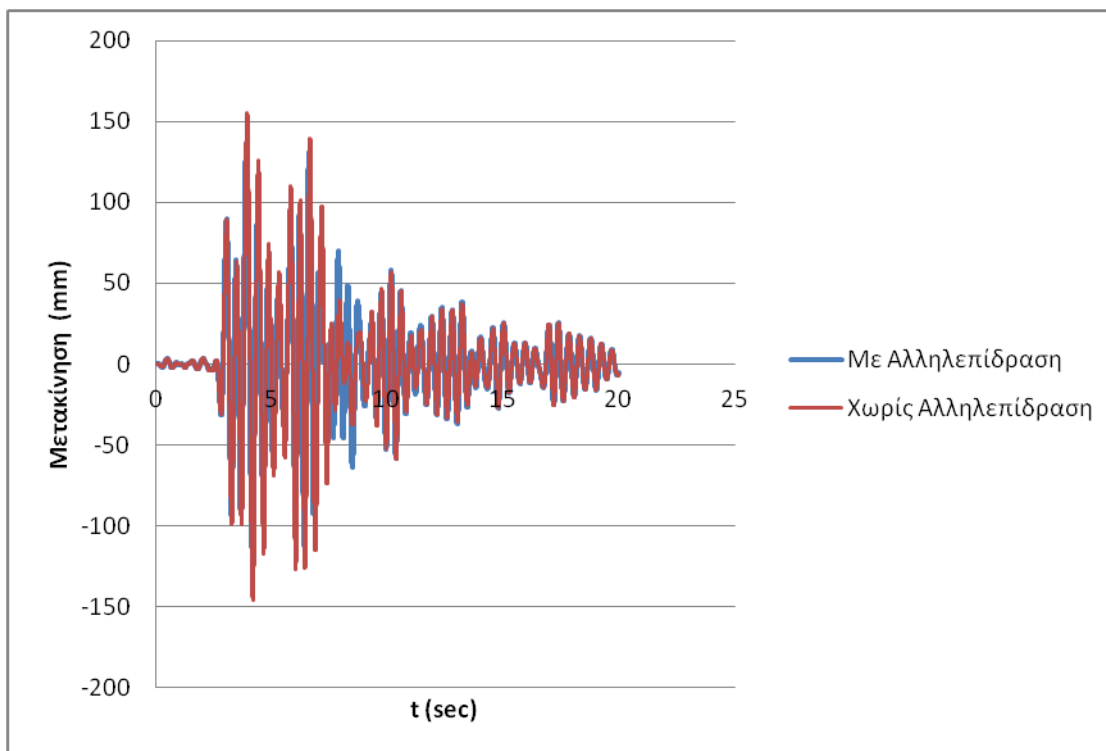
Αυτό που φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα είναι ότι, στην περίπτωση της αλληλεπίδρασης, οι μετακινήσεις του 4<sup>ου</sup> ορόφου του τετραώροφου κτιρίου μας είναι αρκετά μεγαλύτερες όταν οι τιμές συγκριθούν με τις αντίστοιχες που παρουσιάζει όταν το κτίριο δρα ανεξάρτητα από το οκταώροφο κατά τη διάρκεια του σεισμού. (σχήμα 4.34)



**Σχήμα 4.35: Χρονοϊστορία μετακινήσεων 4<sup>ου</sup> ορόφου οκταώροφου**

Οι διαφορές στις μετακινήσεις των υποστρωμάτων του οχταώροφου κτιρίου στον 4<sup>ο</sup> όροφο είναι μικρές όταν αυτό βρίσκεται σε αλληλεπίδραση ή χωρίς αλληλεπίδραση. Όταν αυτό αλληλεπιδρά με το τετραώροφο οι μετατοπίσεις είναι μικρότερες όπως βλέπουμε και παραπάνω (σχήμα 4.35).

Συγκρίνοντας τα δύο διαγράμματα διαπιστώνεται ότι ο 4<sup>ος</sup> όροφος του οκταώροφου κτιρίου έχει πιο μεγάλες μετακινήσεις από τον αντίστοιχο όροφο της τετραώροφης κατασκευής. (σχήμα 4.34,4.35)

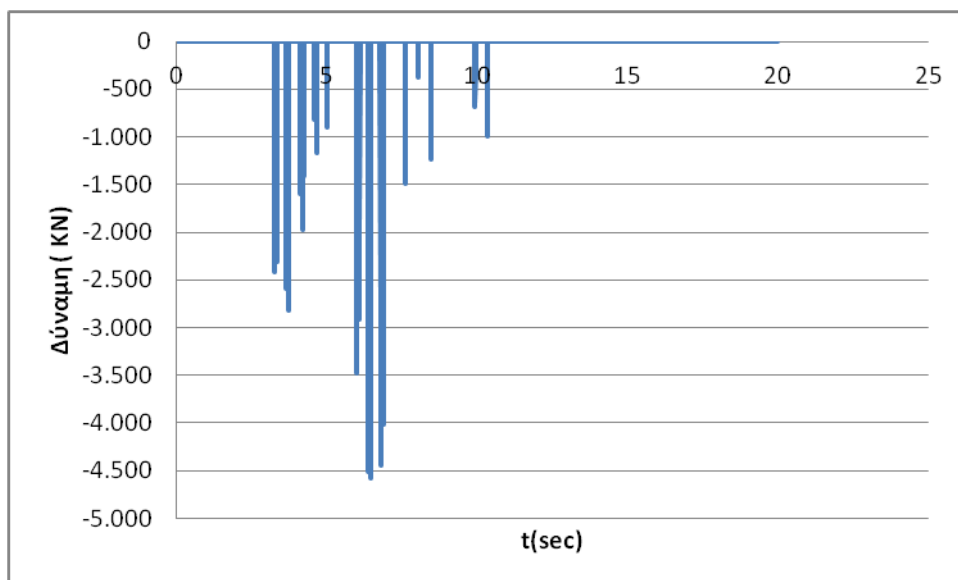


**Σχήμα 4. 36: Χρονοϊστορία μετακινήσεων 8<sup>ου</sup> ορόφου οχταώροφου**

Στο Σχήμα 4.36 φαίνεται ότι και σε αυτή την περίπτωση οι μετακινήσεις στον 8<sup>ο</sup> όροφο της οχταώροφης κατασκευής είναι μεγαλύτερες όταν αυτό δεν βρίσκεται σε αλληλεπίδραση με το τετραώροφο.

#### 4.3.2. Σύγκρουση κτιρίων

Στη συνέχεια θα εξεταστεί αν τα κτίρια συγκρούονται κατά τη διάρκεια του σεισμού **Kobe**. Για να μπορέσουμε να καταλήξουμε σε ένα συμπέρασμα όσον αφορά αυτό, τοποθετήσαμε μη γραμμικά ελατήρια στους κοινούς ορόφους των δύο κτιρίων. Τα ελατήρια είναι σχεδιασμένα για να λειτουργούν μόνο κατά τη σύγκλιση των ορόφων και όχι κατά την απομάκρυνση αυτών και για αυτό το λόγο λαμβάνουν μόνο αρνητικές τιμές .

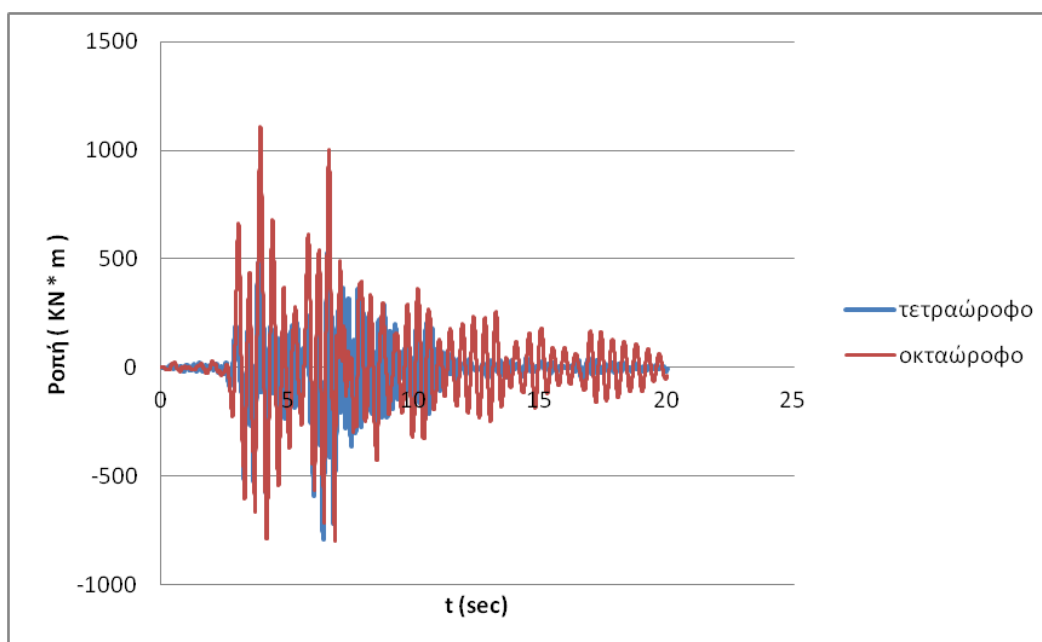


**Σχήμα 4. 37: Χρονοϊστορία δύναμης ελατήριου**

Βλέποντας το διάγραμμα τα κτίρια όχι μόνο συγκλίνουν αλλά και συγκρούονται αφού το ελατήριο για περίπου επτά δευτερόλεπτα λαμβάνει αρνητικές δυνάμεις. Το ελατήριο δίνει αρνητικές τιμές μόνο όταν συσπειρωθεί πιο πολύ από 0.03m που είναι η απόσταση μεταξύ των κτιρίων (σχήμα 4.37), οπότε και λειτουργεί και μεταφέρει δυνάμεις κατά την σύγκρουση των κτιρίων.

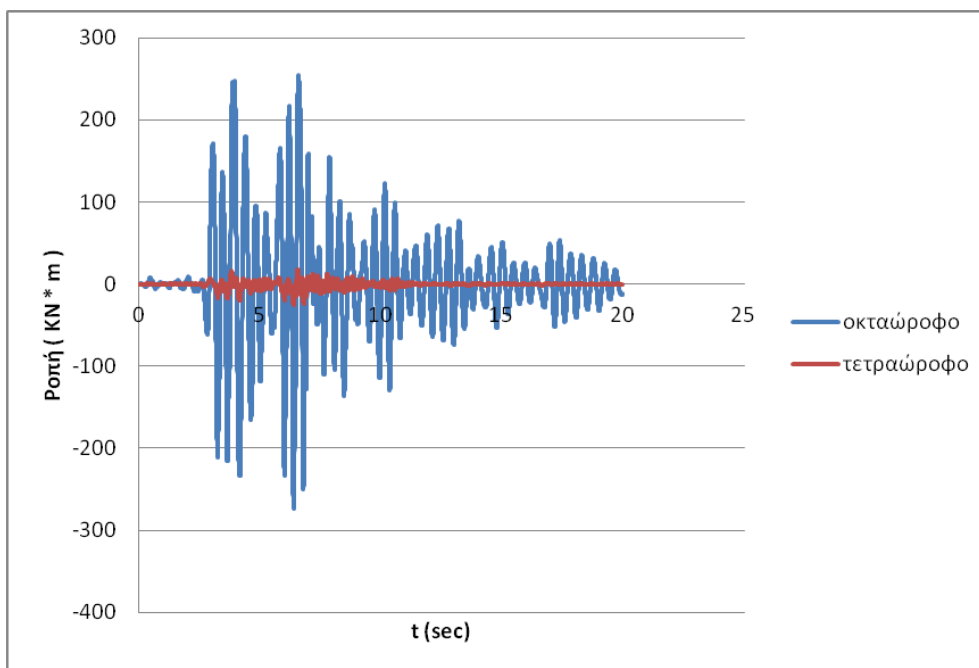
#### 4.3.3. Ροπές υποστυλωμάτων

Έπειτα γίνεται έλεγχος και σύγκριση μεταξύ των τιμών των ροπών που δίνουν τα υποστυλώματα του 1<sup>ου</sup> και του 4<sup>ου</sup> ορόφου των δύο κτιρίων, όταν αυτά βρίσκονται σε αλληλεπίδραση υπό την δράση του ίδιου σεισμού και όταν λειτουργούν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο.



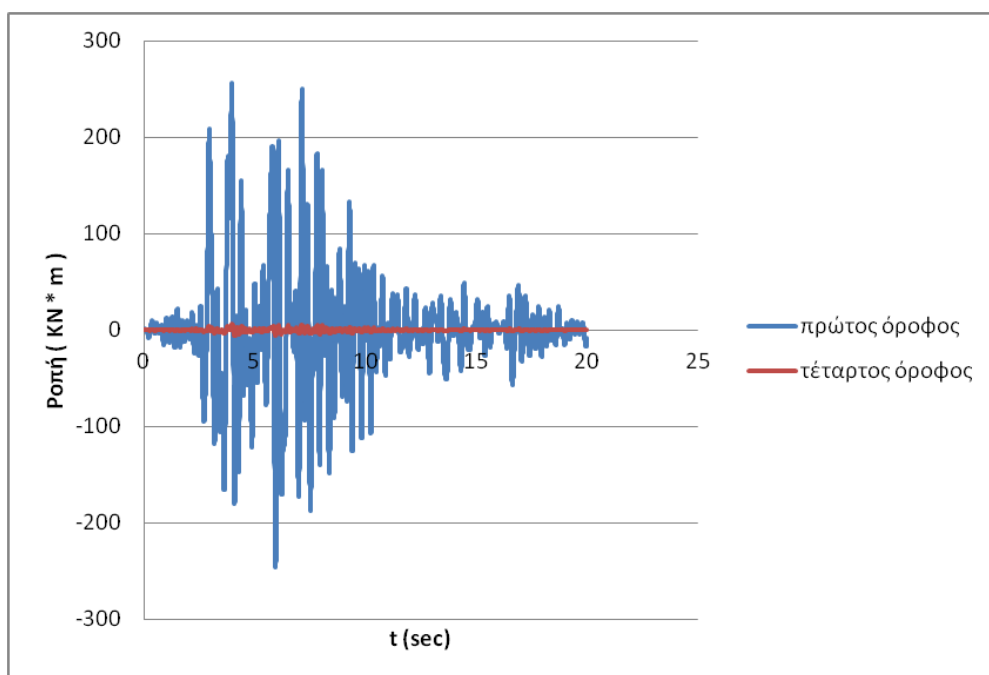
**Σχήμα 4. 38: Χρονοϊστορία ροπών υποστηλωμάτων 1<sup>ου</sup> με αλληλεπίδραση**

Στο 1<sup>ο</sup> όροφο του οκταώροφου κατά τη διάρκεια του σεισμού και ενώ βρίσκεται σε αλληλεπίδραση με την τετραώροφη κατασκευή φαίνονται γενικά να αναπτύσσονται μεγαλύτερες ροπές, σε σχέση με τον αντίστοιχο όροφο του τετραώροφου (σχήμα 4.38).



**Σχήμα 4.39: Χρονοϊστορία Ροπών 4<sup>ου</sup> ορόφου με αλληλεπίδραση**

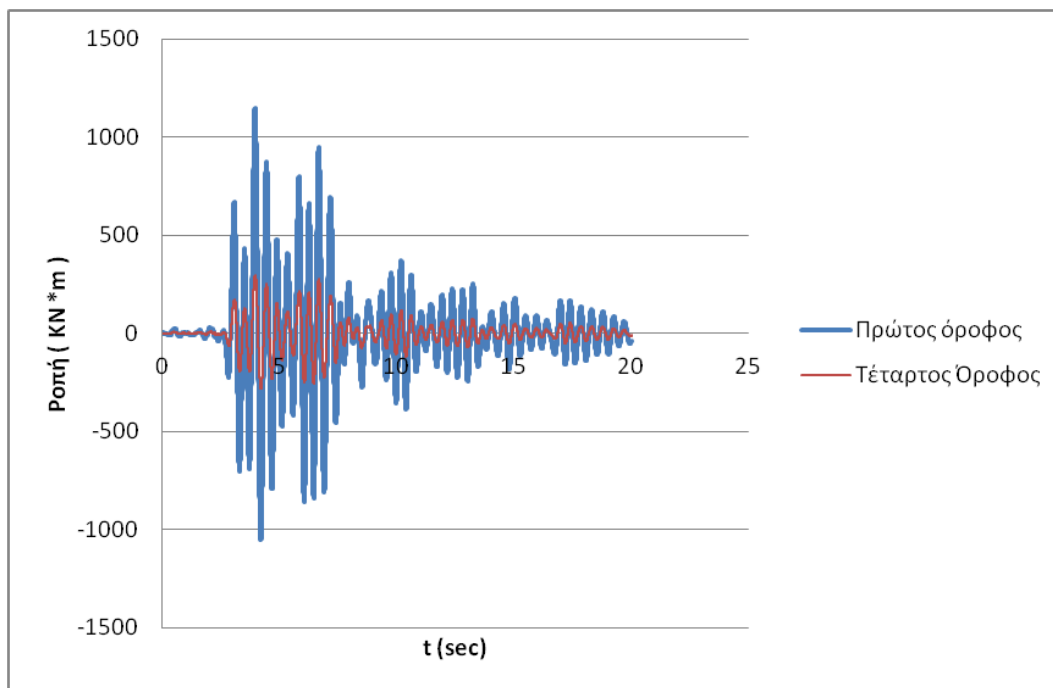
Το οκταώροφο κτίριο αναπτύσσει ροπές πολύ μεγαλύτερες, σε αυτή την στάθμη, από το τετραώροφο που αναπτύσσει πολύ μικρές ροπές λόγω της μεγαλύτερης δυσκαμψίας του. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι ροπές του 4<sup>ου</sup> ορόφου του οκταώροφου είναι σχεδόν 200 φορές μεγαλύτερες από αυτές του αντίστοιχου ορόφου του τετραώροφου (σχήμα 4.39).



**Σχήμα 4.40: Χρονοϊστορία ροπών τετραώροφου χωρίς αλληλεπίδραση**

Οι ροπές του 1<sup>ου</sup> ορόφου της τετραώροφης κατασκευής παρουσιάζουν αύξηση κατά 211% όταν αυτή αλληλεπιδρά με την οκταώροφη κατά την διάρκεια του σεισμού Kobe. Όταν αλληλεπιδρούν η μέγιστη ροπή είναι +526 KNm, και η ελάχιστη -791 KNm, και όταν δεν αλληλεπιδρούν +255 KNm, -246 KNm, αντίστοιχα. (σχήματα 4.38, 4.40).

Ταυτόχρονα και οι ροπές του 4<sup>ου</sup> ορόφου του τετραώροφου είναι μεγαλύτερες όταν αλληλεπιδρούν 308,5%.

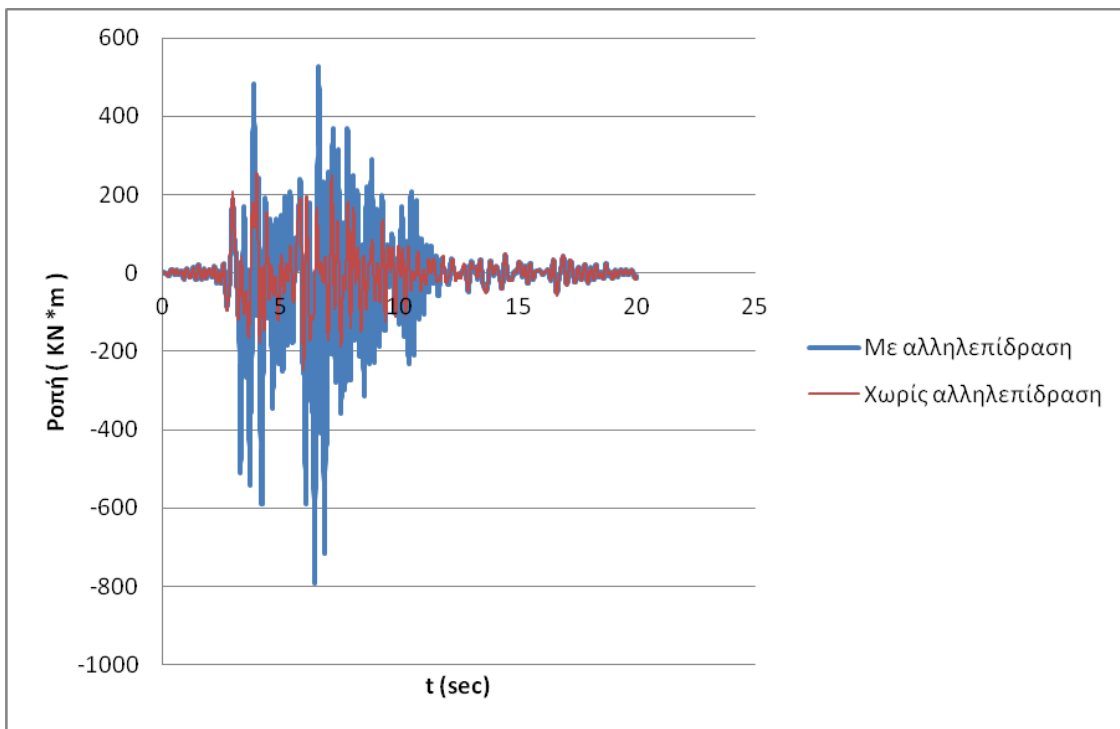


**Σχήμα 4.41: Χρονοϊστορία ροπών οκταώροφου χωρίς αλληλεπίδραση**

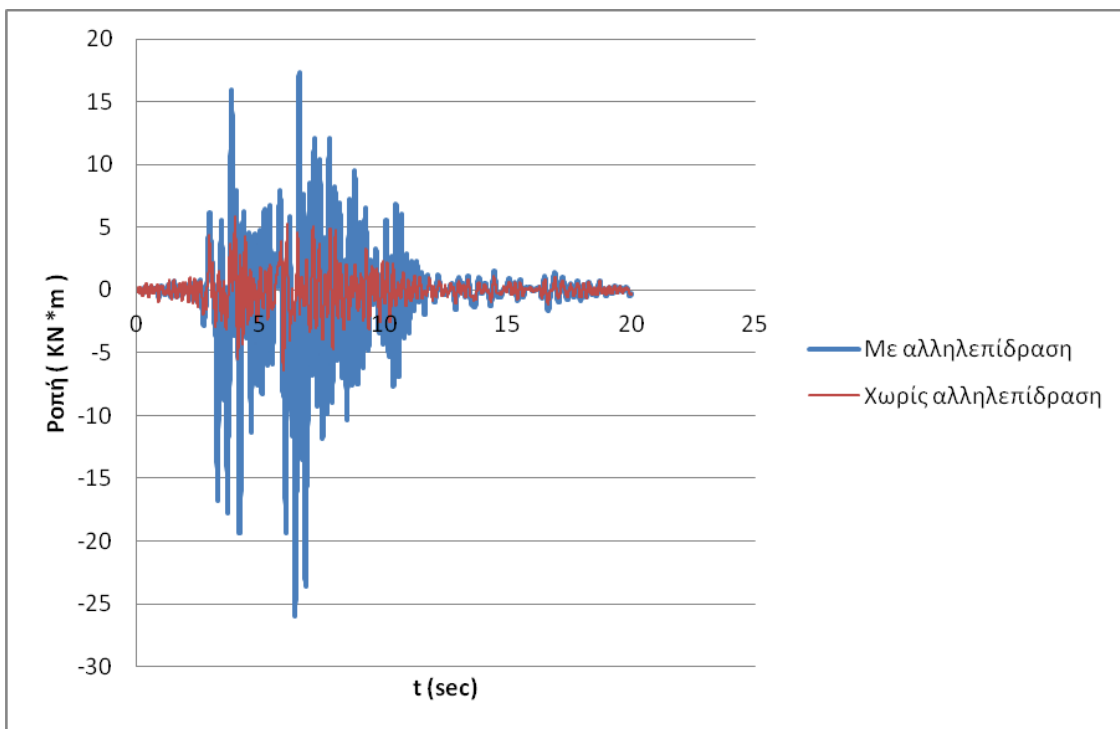
Στο οκταώροφο κτίριο όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα, υπάρχει μικρή αύξηση των ροπών και στους δύο ορόφους όπου πραγματοποιούνται οι έλεγχοι όταν αυτό δρα στο σεισμό μόνο του.

Οι ροπές είναι μεγαλύτερες όταν το κτίριο αποκρίνεται στον σεισμό ανεξάρτητα από το παρακείμενο τετραώροφο. Οι ροπές στον 1<sup>ο</sup> όροφο είναι (+1149.5 KNm, -1051.6 KNm) και στον 4<sup>ο</sup> (+296.6 KNm, -282.7 KNm). Ενώ όταν αλληλεπιδρά οι τιμές των ροπών είναι στον 1<sup>ο</sup> όροφο είναι (+1109.8 KNm, -797.7 KNm) και στον 4<sup>ο</sup> (+254.6 KNm, -273.8 KNm).

Γενικά στον 1<sup>ο</sup> όροφο παρατηρούνται πολύ μεγαλύτερες ροπές από ότι στον 4<sup>ο</sup> και για τα δύο κτίρια είτε αλληλεπιδρούν είτε όχι.



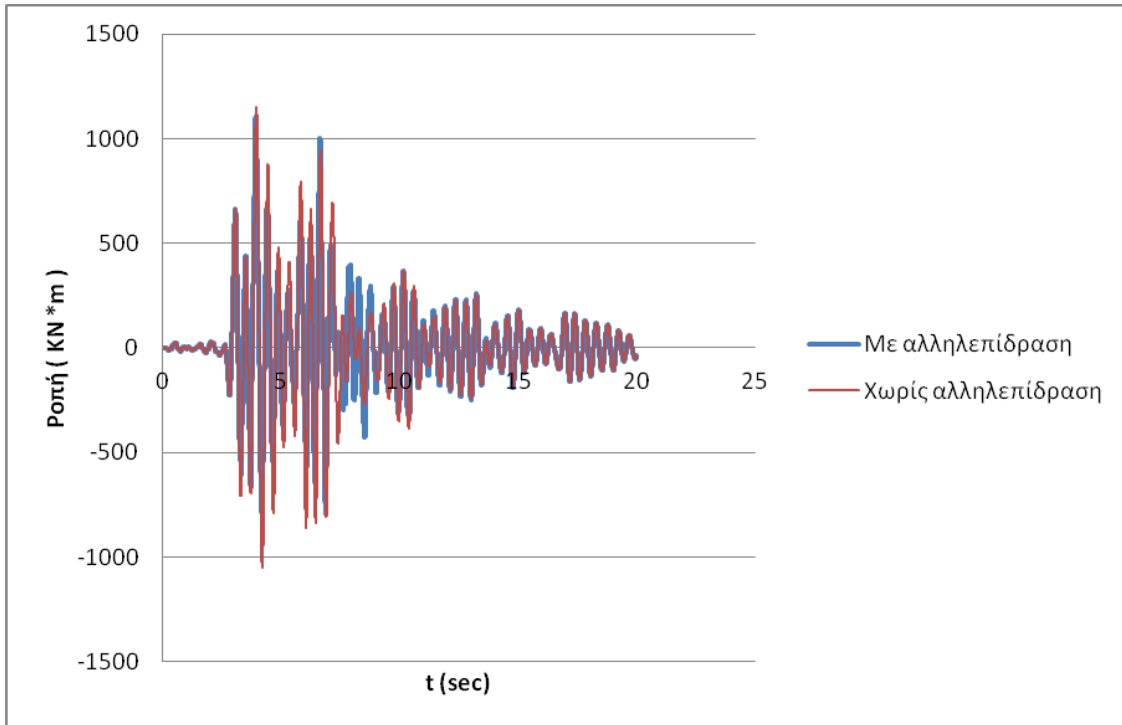
**Σχήμα 4. 42: Χρονοϊστορία ροπών 1<sup>ου</sup> ορόφου τετραώροφου**



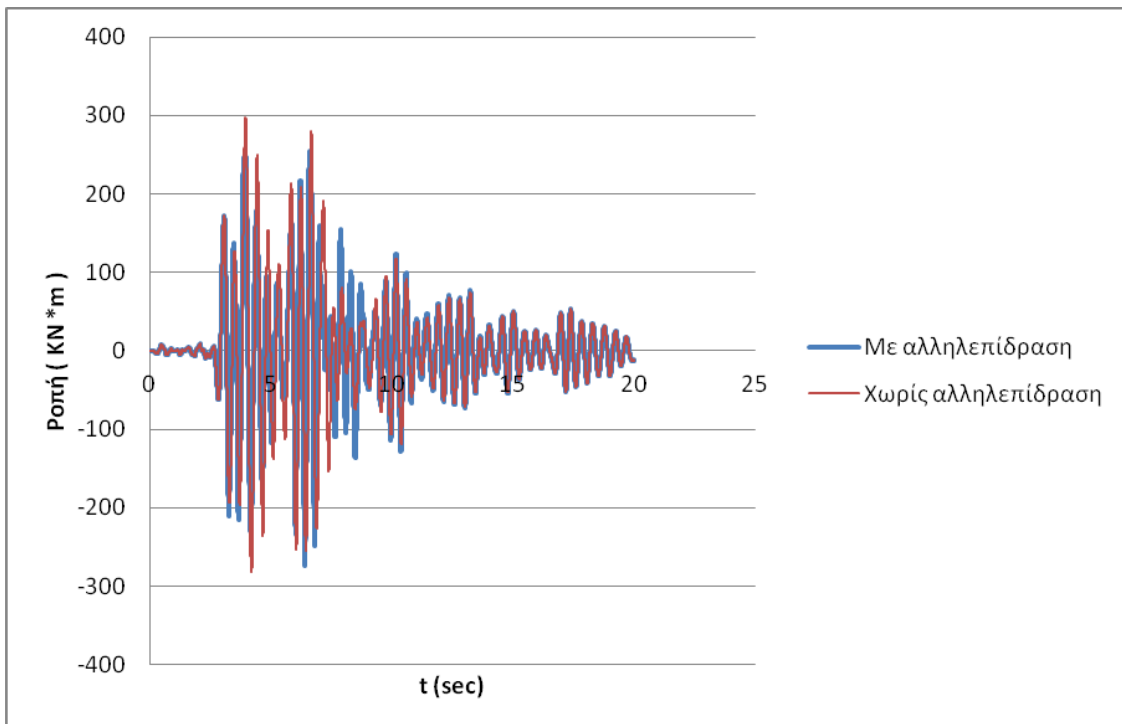
**Σχήμα 4. 43: Χρονοϊστορία ροπών 4<sup>ου</sup> ορόφου τετραώροφου**

Αυτό που φαίνεται από τα δύο παραπάνω διαγράμματα είναι ότι γενικά το τετραώροφο κτίριο παρουσιάζει μεγαλύτερες ροπές όταν αυτό βρίσκεται σε αλληλεπίδραση με το οκταώροφο παρουσιάζοντας τριπλάσιες τιμές από αυτές που δίνει όταν το κτίριο αποκρίνεται μόνο του.

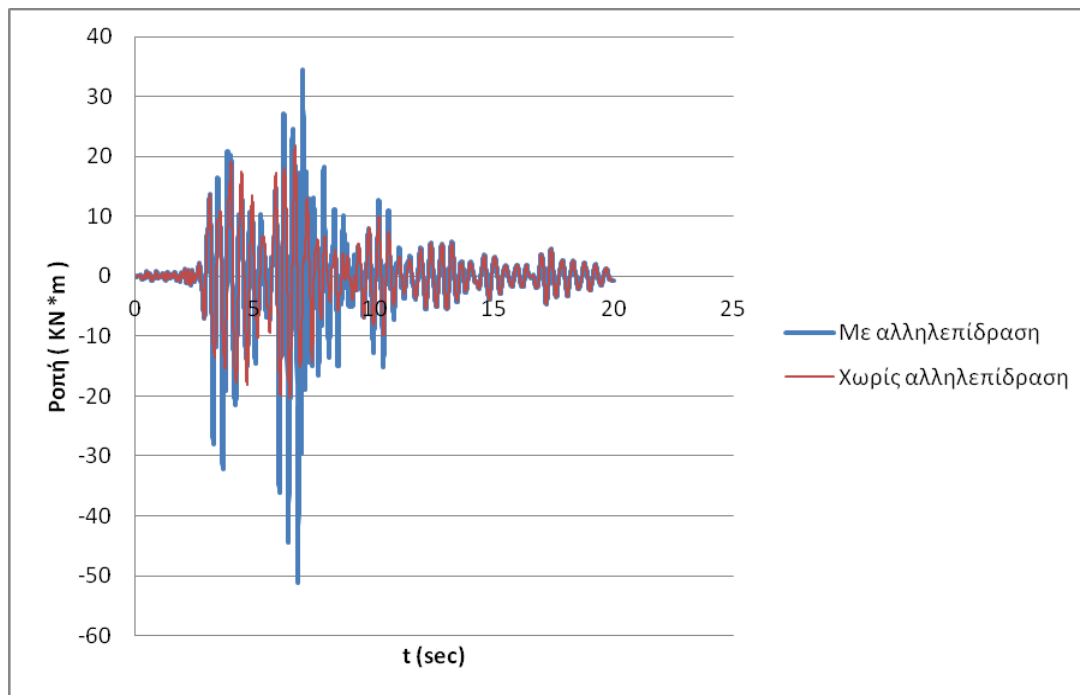




**Σχήμα 4. 44: Χρονοϊστορία ροπών 1<sup>ου</sup> ορόφου οκταώροφου**



**Σχήμα 4. 45: Χρονοϊστορία ροπών 4<sup>ου</sup> ορόφου οκταώροφου**

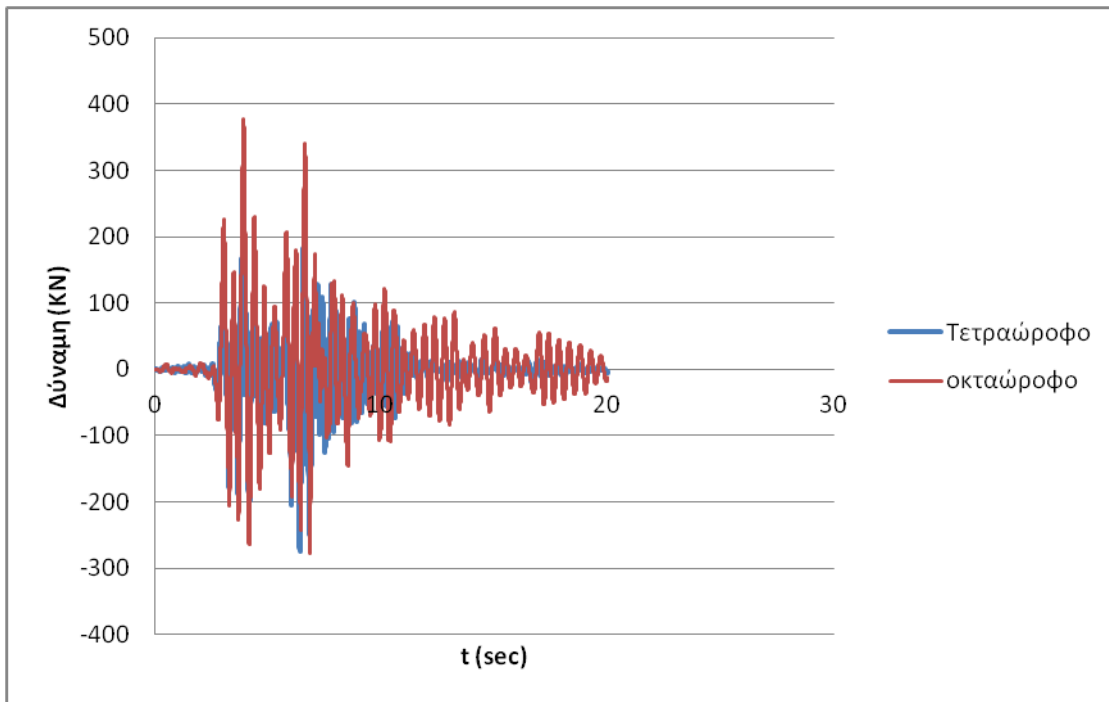


**Σχήμα 4. 46: Χρονοϊστορία ροπών 8<sup>ου</sup> ορόφου οκταώροφου**

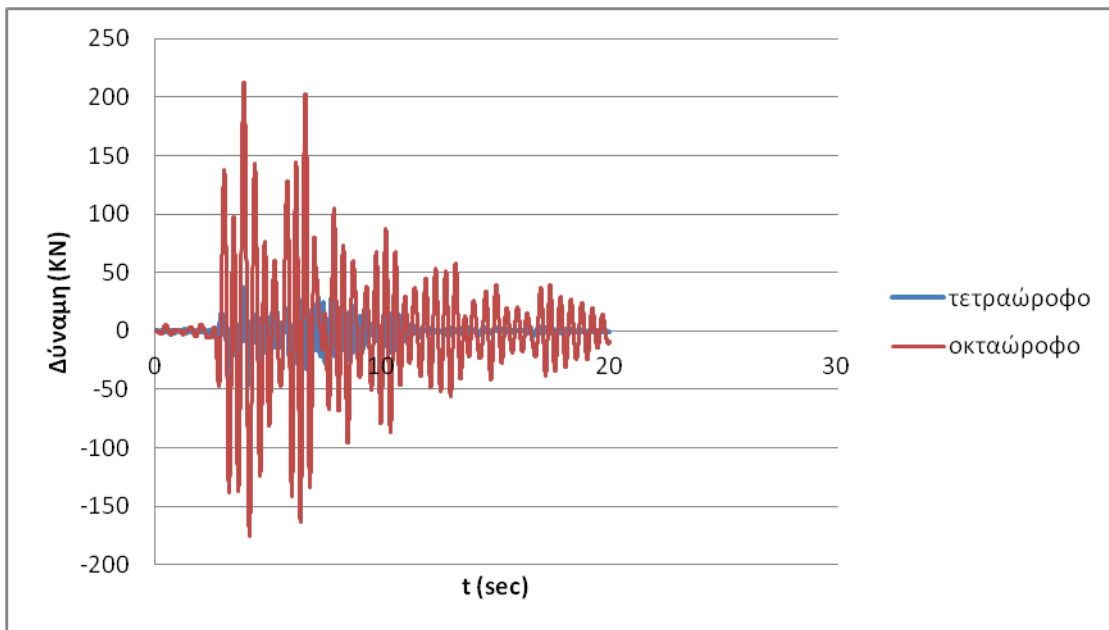
Το ίδιο ισχύει βλέποντας τα διαγράμματα που περιγράφουν τη συμπεριφορά των υποστυλωμάτων του οκταώροφου κτιρίου. Φαίνεται δηλαδή ότι και το οκταώροφο κτίριο παρουσιάζει μεγαλύτερες ροπές όταν βρίσκεται σε αλληλεπίδραση. Αν και σε αυτή τη περίπτωση η διαφορά δεν είναι τόσο μεγάλη, φαίνεται δηλαδή πιο καθαρά κυρίως στο όγδοο όροφο.

#### 4.3.4. Τέμνουσες δυνάμεις

Τελευταίος έλεγχος που γίνεται είναι αυτός των τεμνουσών δυνάμεων των υποστυλωμάτων, τόσο του 1<sup>ου</sup> και όσο και του 4<sup>ου</sup> ορόφου της τετραώροφης και οκταώροφης κατασκευής, όταν αλληλεπιδρούν υπό την δράση του σεισμού Kobe και όταν δρουν ανεξάρτητα η μία από την άλλη.

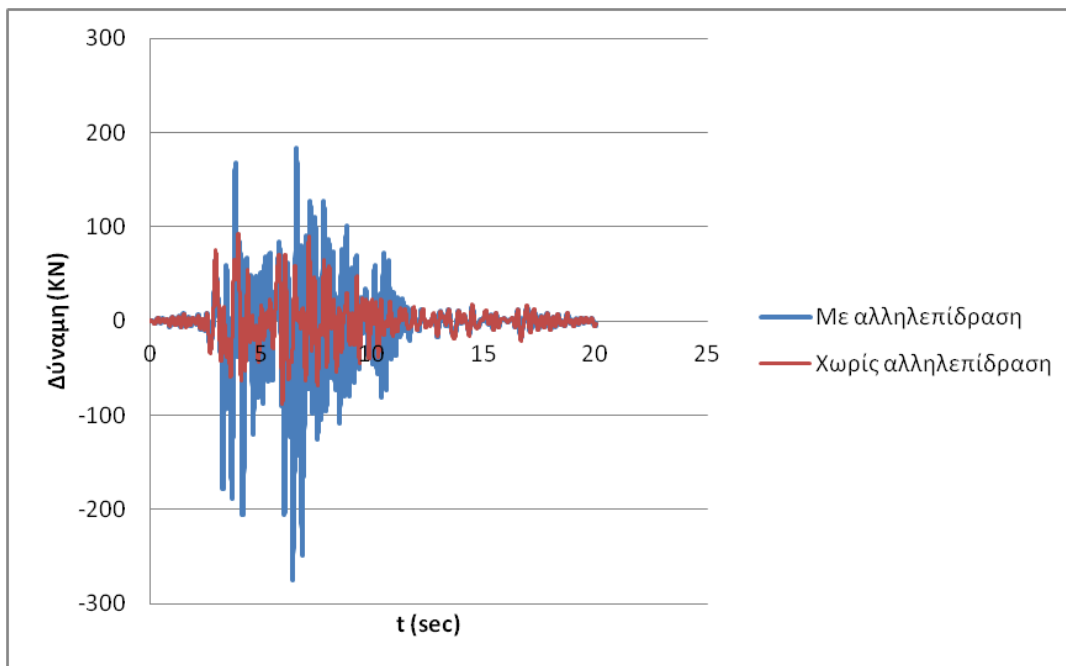


**Σχήμα 4. 47: Χρονοϊστορία τεμνουσών 1<sup>ου</sup> ορόφου**



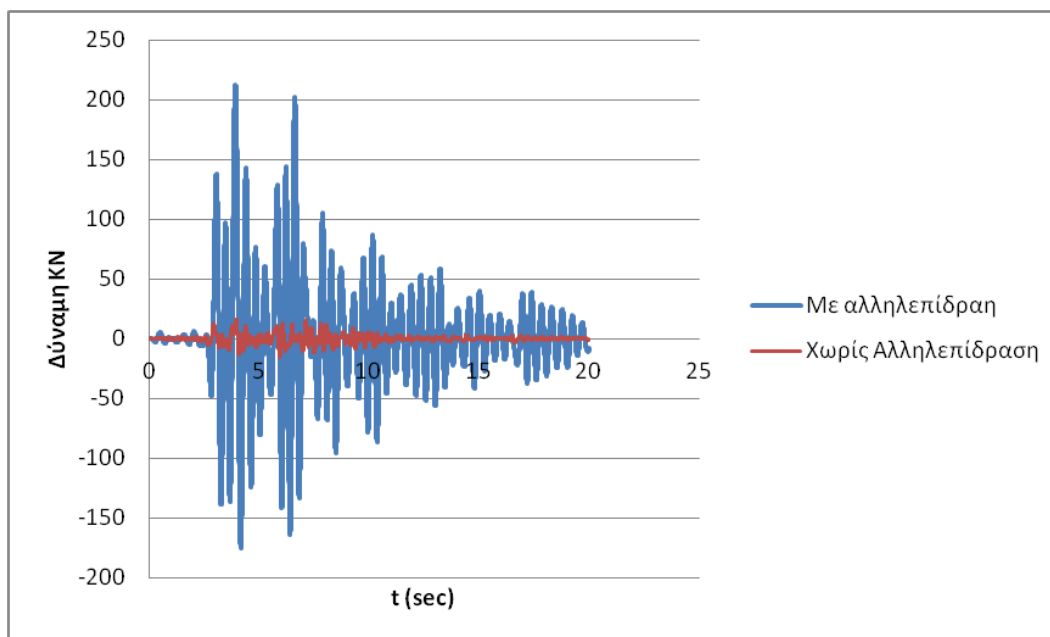
**Σχήμα 4. 48: Χρονοϊστορία τεμνουσών 4<sup>ου</sup> ορόφου**

Μεγαλύτερες είναι οι τέμνουσες δυνάμεις που αναπτύσσονται στον 1<sup>ο</sup> όροφο από ότι στον 4<sup>ο</sup> τόσο για το τετράωροφο κτίριο όσο και για το οκταώροφο κτίριο κατά την διάρκεια του σεισμού. Το οκταώροφο όπως είναι φυσικό αναπτύσσει μεγαλύτερες τέμνουσες από το τετράωροφο όπως φαίνεται και στα διαγράμματα (σχήματα 4.47,4.48).



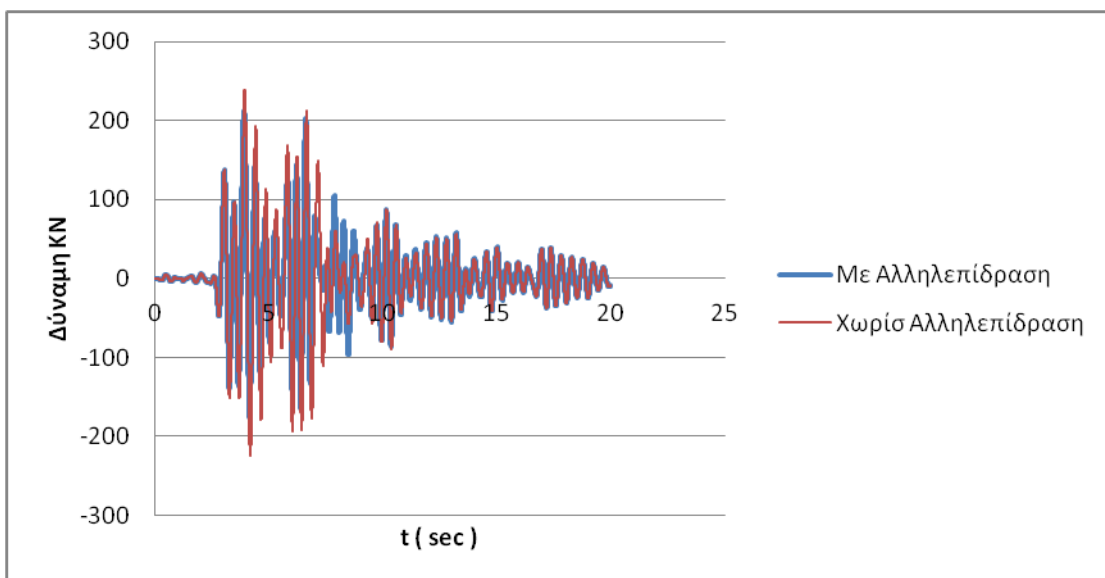
**Σχήμα 4. 49: Χρονοϊστορία τεμνούσων 1<sup>ου</sup> ορόφου τετραώροφου**

Αναπτύσσονται μεγαλύτερες τέμνουσες στα υποστυλώματα του 1<sup>ου</sup> ορόφου όταν η τετραώροφη κατασκευή αποκρίνεται στον σεισμό σε αλληλεπίδραση με την οκταώροφη κατασκευή, όπως βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα. (σχήμα 4.49). Η αύξηση που παρατηρείται είναι 197,2%.

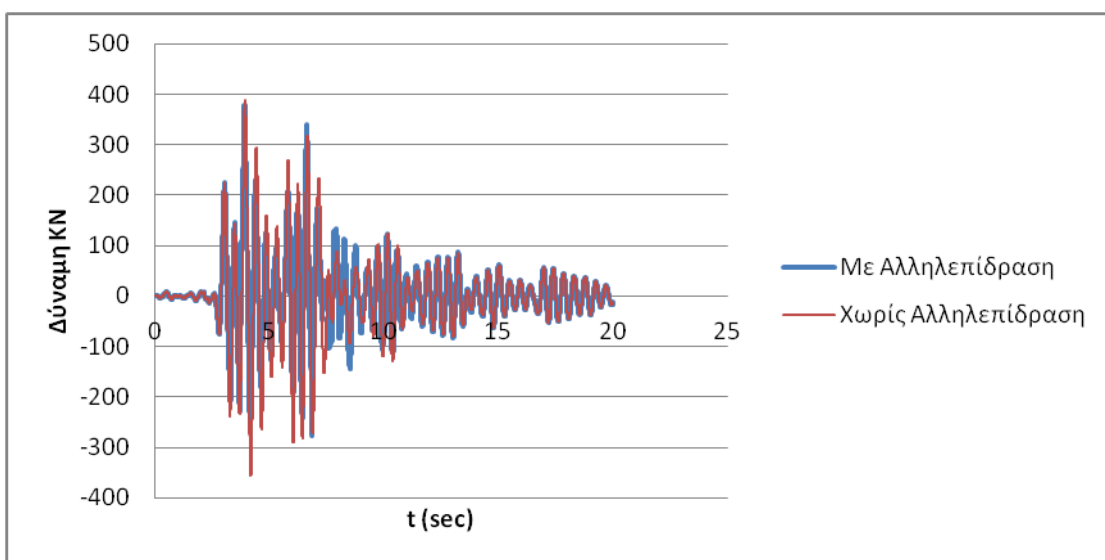


**Σχήμα 4. 50: Χρονοϊστορία τεμνουσών 4<sup>ου</sup> ορόφου τετραώροφου**

Παρατηρείται αύξηση, των τεμνουσών δυνάμεων στη στάθμη του 4<sup>ου</sup> ορόφου όταν το τετραώροφο κτίριο αλληλεπιδρά με το οκταώροφο, κατά 282,1%. (σχήμα 4.50)

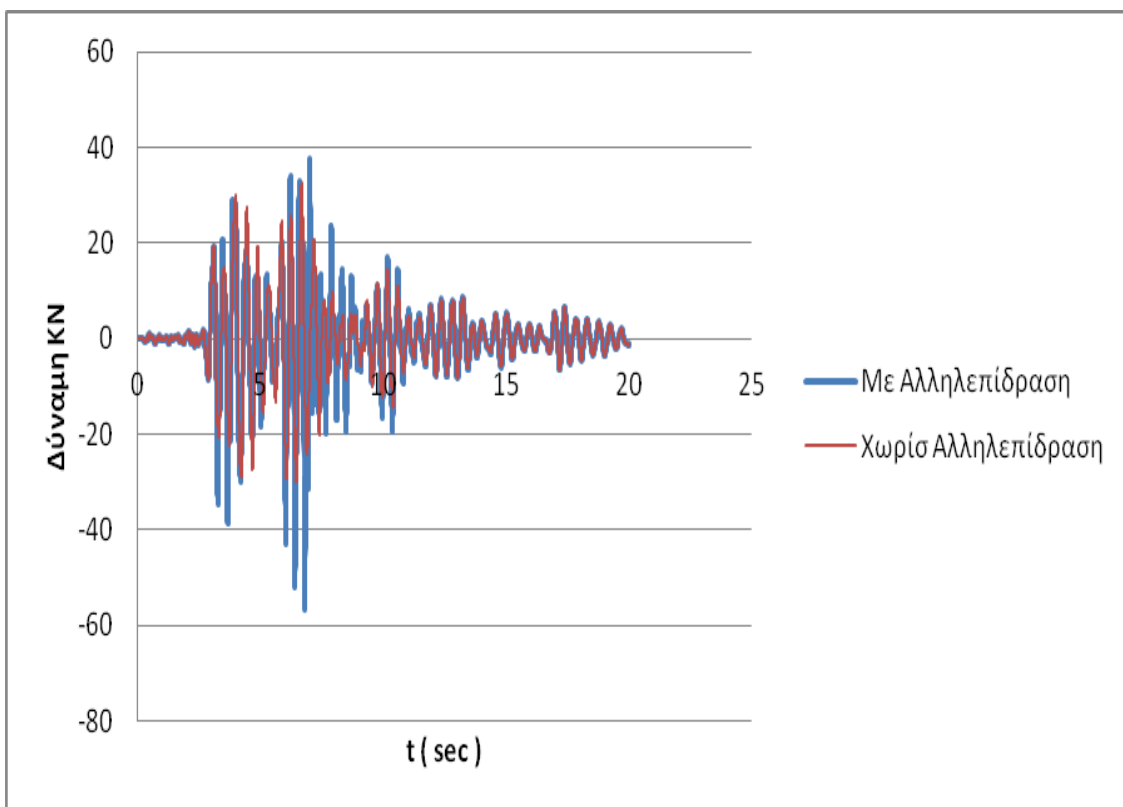


**Σχήμα 4.51: Χρονοϊστορία τεμνουσών 4<sup>ου</sup> ορόφου οκτώροφου**



**Σχήμα 4.52: Χρονοϊστορία τεμνουσών 1<sup>ου</sup> ορόφου οκτώροφου**

Περίπου στα ίδια επίπεδα κυμαίνονται οι τέμνουσες που παρουσιάζει η οκτώροφη κατασκευή και στις δύο στάθμες (1<sup>ος</sup> όροφος και 4<sup>ος</sup> όροφος) που πραγματοποιούνται οι έλεγχοι, με μικρή αύξηση όταν τα κτίρια συμπεριφέρονται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. (σχήματα 4.51, 4.52).



**Σχήμα 4.53: Χρονοϊστορία τεμνουσών 8<sup>ου</sup> ορόφου οκταώροφου**

Αυτό που διακρίνεται στο σχήμα 4.53 είναι ότι στο 8<sup>ο</sup> όροφο της οκταώροφης κατασκευής αναπτύσσονται μεγαλύτερες τέμνουσες δυνάμεις όταν αυτό βρίσκεται σε αλληλεπίδραση σε σχέση με όταν δρα μόνο του.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται, στον πίνακα 4.3.1, οι ποσοστιαίες μεταβολές των μετακινήσεων των υποστυλωμάτων, τόσο του τετραώροφου (Κ3), όσο και του οκταώροφου [Κ4(4<sup>ος</sup>), Κ4(8<sup>ος</sup>)].

πίνακας μετακινήσεων υποστυλωμάτων					
	4οροφο	8οροφο	4οροφο-8οροφο		
Κ3(4ος)	15.8	-	36.20	(mm)	
Κ4(4ος)	-	98.00	91.20	(mm)	
Κ4(8ος)	-	155.30	136.50	(mm)	
					Ποσοστιαία Μεταβολή
Σύγκριση					
Κ3(4ος)	15.8	-	36.20		129.11% (αύξηση)
Κ4(4ος)	-	98.00	91.20		6.94% (μείωση)
Κ4(8ος)	-	155.30	136.50		12.11% (μείωση)

**Πίνακας 4.3.1 Πίνακας Μετακινήσεων των υποστυλωμάτων τετραώροφης και οκταώροφης κατασκευής.**

Το υποστύλωμα του 4<sup>ου</sup> ορόφου του τετραώροφου κτιρίου (Κ3), με αρχική μετακίνηση εκείνη που παρουσιάζει όταν συμπεριφέρεται ανεξάρτητα από το οκταώροφο, έχει μια αύξηση 129,11% σε σχέση με την μετακίνηση του όταν αυτό αλληλεπιδρά με το οκταώροφο.

Επίσης, οι ίδιοι έλεγχοι μπορούν να γίνουν και για τα υποστυλώματα, στον τέταρτο και όγδοο όροφο, της οκταώροφης κατασκευής. Με αρχική μετακίνηση εκείνη που παρουσιάζει όταν συμπεριφέρεται ανεξάρτητα από το τετραώροφο. Παρατηρείται ότι στον τέταρτο όροφο όταν τα κτίρια αλληλεπιδρούν υπάρχει μείωση στις μετακινήσεις κατά 6,94% σε σχέση με όταν αυτό δρα ανεξάρτητα, ενώ στον όγδοο όροφο υπάρχει επίσης μείωση 12,11%.

Από τα στοιχεία του παρακάτω πίνακα θα γίνει ο έλεγχος των ποσοσטיαίων μεταβολών των ροπών των υποστυλωμάτων οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3.2, τόσο της τετραώροφης [K3(1<sup>ος</sup>),K3(4<sup>ος</sup>)] όσο και της οκταώροφης [K4(1<sup>ος</sup>),K4(4<sup>ος</sup>)].

πίνακας ροπών υποστυλωμάτων					
	4οροφο	8οροφο	4οροφο-8οροφο		
K3(1ος)	255.7422	-	526.7818 (KNm)		
K3(4ος)	5.8536	-	17.3281 (KNm)		
K4(1ος)	-	1149.641	1109.835 (KNm)		
K4(4ος)	-	296.5751	254.601 (KNm)		
				Ποσοστιαία Μεταβολή	
Σύγκριση					
K3(1ος)	255.7422	-	526.7818	105.98%	(αύξηση)
K3(4ος)	5.8536	-	17.3281	196.02%	(αύξηση)
K4(1ος)	-	1149.641	1109.835	3.46%	(μείωση)
K4(4ος)	-	296.5751	254.601	14.15%	(μείωση)

#### **Πίνακας 4.3.2 Πίνακας Ροπών των υποστυλωμάτων τετραώροφης και οκταώροφης κατασκευής.**

Το υποστυλώμα του 1<sup>ου</sup> ορόφου του τετραώροφου κτιρίου (K3), με αρχική ροπή εκείνη που παρουσιάζει όταν συμπεριφέρεται ανεξάρτητα από το οκταώροφο, έχει μια αύξηση 105,98% σε σχέση με την ροπή που αναπτύσσει όταν αυτό αλληλεπιδρά με το οκταώροφο. Ομοίως και στο υποστυλώμα του 4<sup>ου</sup> ορόφου του τετραώροφου όπου παρουσιάζεται μεγάλη αύξηση 196,02%.

Επίσης, και για τα υποστυλώματα, στον τέταρτο και όγδοο όροφο, της οκταώροφης κατασκευής μπορούν να γίνουν οι ίδιοι έλεγχοι. Λαμβάνοντας ως αρχική την ροπή που αναπτύσσει το υποστυλώμα της οκταώροφης κατασκευής όταν συμπεριφέρεται ανεξάρτητα από το τετραώροφο. Για τον πρώτο όροφο, όταν τα κτίρια αλληλεπιδρούν, υπάρχει μείωση των ροπών 3,46%. Ομοίως και για τον τέταρτο, υπάρχει μείωση 14,15%.

Τέλος πραγματοποιείται ο έλεγχος των ποσοσטיαίων μεταβολών των τεμνουσών των υποστυλωμάτων από τα στοιχεία του παρακάτω πίνακα. στον πίνακα 4.3.3 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι ποσοσטיαίες μεταβολές των τεμνουσών των υποστυλωμάτων, τόσο της τετραώροφης κατασκευής [K3(1<sup>ος</sup>),K3(4<sup>ος</sup>)], όσο και της οκταώροφης [K4(1<sup>ος</sup>),K4(4<sup>ος</sup>)].

πίνακας τέμνουσών υποστυλωμάτων					
	4οροφο	8οροφο	4οροφο-8οροφο		
K3(1ος)	92.5501	-	183.0392	(KN)	
K3(4ος)	16.1487	-	41.2257	(KN)	
K4(1ος)	-	388.8344	378.1788	(KN)	
K4(4ος)	-	239.1657	212.8221	(KN)	
				Ποσοστιαία Μεταβολή	
Σύγκριση					
K3(1ος)	92.5501	-	183.0392	97.77%	(αύξηση)
K3(4ος)	16.1487	-	41.2257	155.29%	(αύξηση)
K4(1ος)	-	388.8344	378.1788	2.74%	(μείωση)
K4(4ος)	-	239.1657	212.8221	11.01%	(μείωση)

### **Πίνακας 4.3.3 Πίνακας Τέμνουσών των υποστυλωμάτων τετραώροφης και οκταώροφης κατασκευής.**

Λαμβάνοντας ως αρχική, την τέμνουσα δύναμη που αναπτύσσει όταν λειτουργεί ανεξάρτητα από την οκταώροφη, το υποστυλώμα του πρώτου ορόφου του τετραώροφου κτιρίου [K3(1<sup>ος</sup>)] έχει μια αύξηση 97,77% σε σχέση με την τέμνουσα που αναπτύσσει όταν αλληλεπιδρά με την οκταώροφη κατασκευή, όπως και στον τέταρτο όροφο αύξηση 155,29%.

Στα υποστυλώματα της οκταώροφης κατασκευής στους ίδιους ορόφους, πραγματοποιούνται οι ίδιοι έλεγχοι. Σε σχέση με την τέμνουσα που αναπτύσσει το οκταώροφο κτίριο όταν αυτό αντιδρά στον σεισμό ανεξάρτητα από το τετραώροφο παρατηρείται ότι στον πρώτο όροφο, όταν τα κτίρια αλληλεπιδρούν, υπάρχει μείωση 2,74%.



## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

Στην συγκεκριμένη εργασία έγινε διερεύνηση της αλληλεπίδρασης παρακείμενων κατασκευών. Εξετάστηκε η περίπτωση δύο κτιρίων, ενός τετραώροφου και ενός οκταώροφου με ίδιες στάθμες ορόφων σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Η προσομοίωση των κτιρίων έγινε με το λογισμικό Etabs. Για να προσομοιωθεί η αλληλεπίδραση των κατασκευών χρησιμοποιήθηκαν μη γραμμικά ελατήρια, τα οποία λειτουργούν μόνο σε θλίψη ώστε να προσομοιωθεί η σύγκρουση των κτιρίων και να μεταφερθούν οι δυνάμεις. Τα κτίρια υποβλήθηκαν σε δυναμική ανάλυση για τρεις διαφορετικές σεισμικές διεγέρσεις. Επιλέχθηκαν οι σεισμοί KALAMATA (1986), ElCentro (1940) και Kobe (1995).

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Για τον σεισμό της Καλαμάτας δεν παρατηρήθηκε σύγκρουση των δύο κτιρίων, οπότε οι μετακινήσεις και τα εντατικά μεγέθη παραμένουν σταθερά.
- Για τους σεισμούς El Centro και Kobe παρατηρήθηκε σύγκρουση των δύο κατασκευών. Οι μετακινήσεις στο τετραώροφο κτίριο στον 4<sup>ο</sup> όροφο αυξάνονται όταν τα κτίρια αλληλεπιδρούν. Αντίθετα, οι μετακινήσεις στον 4<sup>ο</sup> όροφο του οκταώροφου μειώνονται κατά την αλληλεπίδραση ενώ του 8<sup>ου</sup> ορόφου αυξάνονται.
- Οι ροπές και οι τέμνουσες δυνάμεις, για τον σεισμό Kobe, στο υποστύλωμα του 4<sup>ου</sup> ορόφου του τετραώροφου παρουσιάζουν σημαντική αύξηση κατά την σύγκρουση των δύο κτιρίων. Αντίθετα, οι ροπές και τέμνουσες του 4<sup>ου</sup> ορόφου του οκταώροφου παρουσιάζουν μικρή μείωση.
- Οι ροπές και οι τέμνουσες δυνάμεις, για τον σεισμό El centro, στο υποστύλωμα του 4<sup>ου</sup> ορόφου του τετραώροφου παρουσιάζουν μείωση όταν τα δύο κτίρια συγκρούονται. Αντίθετα στον 4<sup>ο</sup> όροφο του οκταώροφου οι ροπές και οι τέμνουσες έχουν μια μικρή αύξηση.
- Για τους σεισμούς El Centro και Kobe ο πρώτος όροφος και στις δύο κατασκευές παρουσιάζει μεγαλύτερες τέμνουσες από ότι ο τέταρτος.

Στο τετραώροφο σχεδόν τέσσερις φορές μεγαλύτερες και όταν αλληλεπιδρά και όταν αυτό δρα ανεξάρτητα.

Στο οκταώροφο περίπου δύο φορές μεγαλύτερες.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω αναλύσεων πρέπει να επιβεβαιωθούν με ανελαστικές αναλύσεις. Επίσης πρέπει να επιλεγούν περισσότερες σεισμικές διεγέρσεις για να διερευνηθεί και η επιρροή της διέγερσης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

>> Παπαϊωάννου Κώστας (1999), Αριθμητική μελέτη της αλληλεπίδρασης επίπεδων πολυώροφων γειτονικών κτιρίων, με ή χωρίς σεισμικό αρμό διαχωρισμού, για σεισμική διέγερση της βάσης, Μεταπτυχιακή εργασία, Α.Π.Θ.

>> Μαραγκός Χρήστος, Παγουλάτος Νικόλαος-Δημήτριος (2011), Αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς υφιστάμενων και νέων κτιρίων Ω.Σ., Πτυχιακή εργασία ΤΕΙ Πειραιά

>> Οικονόμου Δημήτρης (2002), Πολεοδομία ΙΙ: Πολεοδομικός σχεδιασμός, Σημειώσεις ακαδημαϊκού έτους 2002-2003, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος

>> Καραγιάννης Χρ., Φαββάτα Μ. (2007), Διερεύνηση σεισμικής συμπεριφοράς και ικανότητας πολυώροφων Κ.Ω.Σ. ειδική προσομοίωση κόμβων-αλληλεπίδραση κατασκευών>>, Μελέτη, Τεχνικά Χρονικά, Τεύχος 5 (Σεπτέμβριος-Οκτώβριος 2007)

>> Καραγιάννης Χρ., Φαββάτα Μ. (2007), Επιρροή τοιχοποιιών πλήρωσης στην αλληλεπίδραση παρακείμενων κατασκευών με διαφορετικό ύψος ορόφων, Μελέτη, Τεχνικά Χρονικά, Τεύχος 5 (Σεπτέμβριος-Οκτώβριος 2007)

>> Καραγιάννης Χρ. (2013) Σχεδιασμός-Συμπεριφορά Κατασκευών από ΩΣ έναντι Σεισμού, Εκδόσεις ΣΟΦΙΑ, Θεσσαλονίκη

>> Φαββάτα Μαρία (2006), Διερεύνηση σεισμικής συμπεριφοράς και ικανότητας πολυώροφων Κ.Ω.Σ. Ειδική προσομοίωση κόμβων-αλληλεπίδραση κατασκευών, διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δ.Π.Θ.

>> Τουλιάτος Παν. (2011), Αρχιτεκτονική και σεισμός, Σημειώσεις για το κατ' επιλογήν μάθημα του 6<sup>ου</sup> εξαμ. Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

>> Γεωργιάδης Δημ., Γιούνη Ελισάβετ (2012), Συγκρούσεις παρακείμενων κατασκευών λόγω αλληλεπίδρασης, 18<sup>ο</sup> Φοιτητικό συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών, Πάτρα

>> Κοσμόπουλος Αντώνης (2005), Αποτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς και ενίσχυση μη κανονικών σε κάτοψη κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος, Διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Πατρών

>> Κωνσταντινίδης Απ. (2013), Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Στατική και Σεισμική Ανάλυση, Τόμος Β', Εκδόσεις Ιδιωτική

>> Κόντου Χρύσα (2010), Επιρροή των τοιχοπληρώσεων στην σεισμική συμπεριφορά κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος, Πτυχιακή Εργασία, ΤΕΙ Πειραιά

>> Γιαννοπούλου Στ., Στράγαλη Αικ. (2010), Τελικό Σχέδιο Κανονισμού Επεμβάσεων (ΚΑΝΕΠΕ) Υφιστάμενων Κτιρίων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, Πτυχιακή εργασία, ΤΕΙ Πειραιά

>>Δασκαλοπούλου Μ. (2012), εφαρμογή της Ιδιομορφικής Στατικής Ανελαστικής Ανάλυσης στον Αντισεισμικό Σχεδιασμό και Έλεγχο Γεφυρών, μεταπτυχιακή εργασία, ΕΜΠ

>>Ψυχάρης Γιάννης Αθήνα (2015), Αντισεισμικός Σχεδιασμός με Στάθμες Επιτελεστικότητας

>>Ραγκούσης Ανδρέας (2015), Αποτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς κτιρίου σχεδιασμένο με κανονισμό του '54/'59 μέσω στατικών ανελαστικών αναλύσεων (Pushover), 21<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών 2015, Πάτρα 2015

>>Παπαδρακάκης Μ., (2003), Μαθήματα Στατικής V, Πλαστική Ανάλυση Ραβδωτών Φορέων, Σύγχρονες Μέθοδοι (Μέρος ΙΙ),ΕΜΠ

>>Μουσιόπουλος Νικόλαος κ.α.(συντακτική επιτροπή), (2008), 30 χρόνια μετά το σεισμό της Θεσσαλονίκης Μνήμες και προοπτική Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ.

>>Μπάκας Ν., Λαγαρός Ν.Δ., Παπαδρακάκης Μ. (2006), Βέλτιστος σχεδιασμός κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα υπό σεισμικές δράσεις, 15<sup>ο</sup> συνέδριο σκυροδέματος, Αλεξανδρούπολη, Οκτώβριος 2006

>>Μπαρδάκης Βασίλειος (2014), Ανάλυση κτιρίου πριν και μετά την επέμβαση, Σεμινάριο :<<Ο νέος Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.), Αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών και επεμβάσεις>>,ΤΕΕ

>>Ντάμπαμπας Αντ., Μακρίδου Γ. (2012), Καταστροφές κτιρίων από σειμούς- μέτρα πρόληψης και αποκατάστασης, Πτυχιακή εργασία ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής

>>Φαρδής Μιχ., Κόλιας Βασ., Κανιτάκη Ειρ., (2009), Αντισεισμικός Σχεδιασμός Κατασκευών-μερος 1, Γενικοί Κανόνες, Σεισμικές Δράσεις, Κανόνες για Κτίρια

>>ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2012, ΟΑΣΠ

>>( <http://www.gsi-eng.eu/index.asp?mod=articles&id=11>) (Λογισμικό ETABS)