

## ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΜΗ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΑΚΟΥ ΦΟΡΕΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥΣ ΔΙΚΤΥΩΤΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ.

### ΚΟΛΕΤΣΗ ΑΓΑΠΗ

#### Περίληψη

*Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η σεισμική συμπεριφορά μη συμμετρικών κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα όπου η σεισμική προστασία γίνεται με διαγώνιους συνδέσμους. Αρχικά γίνεται μία αναφορά στη μέθοδο ενίσχυσης με δικτυωτούς συνδέσμους καθώς και στα είδη των συνδέσμων. Ακολούθως εξετάζονται πέντε προσομοιώματα σε πέντε σεισμούς (Αιγίου, Καλαμάτας, Λευκάδας, Πάρνηθας και Βουκουρεστίου). Το πρώτο προσομοίωμα είναι μία συνήθης πλαισιακή κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα χωρίς ενίσχυση, στα υπόλοιπα τοποθετούνται χιαστί μεταλλικοί σύνδεσμοι με διαφορετική διάταξη και μελετάται η απόκριση τους στους πέντε σεισμούς κατά τις διευθύνσεις  $x$  και  $y$  ξεχωριστά. Σκοπός της εργασίας είναι να βρεθεί η καλύτερη διάταξη που πρέπει να έχουν οι χιαστί σύνδεσμοι αναφορικά με την απόκριση του κτιρίου.*

#### 1.Εισαγωγή

Η τοποθέτηση δικτυωτών συνδέσμων σε πλαισιακό φέροντα οργανισμό είναι μία από τις πιο συνήθεις μεθόδους ενίσχυσης κατασκευών. Η μέθοδος αυτή μπορεί να προσφέρει ιδιαίτερα σημαντική αύξηση στην αντοχή και στην δυσκαμψία της κατασκευής ενώ συγχρόνως μπορεί να συνεισφέρει και στην πλαστιμότητα της. Με την προσθήκη των συνδέσμων οι σεισμικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στο πλαίσιο αναλαμβάνονται κυρίως από τις αξονικές δυνάμεις των συνδέσμων. Οι δικτυωτοί σύνδεσμοι λόγω των όλκιμων χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς του χάλυβα μπορούν να αναλάβουν μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις και κατά συνέπεια ενδείκνυνται για την απορρόφηση της σεισμικής ενέργειας.

Πέραν της εύκολης τοποθέτησης και της ταχύτατης εφαρμογής, οι δικτυωτοί σύνδεσμοι παρουσιάζουν επίσης το πλεονέκτημα της μικρής επιβάρυνσης των κατακορύφων φορτίων του φορέα μηδενίζοντας έτσι το κόστος θεμελίωσης, ενώ και από αρχιτεκτονικής πλευράς παρέχουν μεγάλη ευελιξία στην διαμόρφωση χώρων, ενώ ελάχιστα αλλοιώνουν τη φυσιογνωμία του κτιρίου και επηρεάζουν το φωτισμό των εσωτερικών του χώρων. Επίσης σε περίπτωση που το φάτνωμα στο οποίο πρόκειται να τοποθετηθούν έχει τοιχοπλήρωση, είναι δυνατόν να τοποθετηθούν εξωτερικά του πλαισίου με κατάλληλη διάταξη, χωρίς να διαφοροποιείται η συμπεριφορά τους. Τέλος στα πλεονεκτήματα πρέπει να προστεθεί η ευκολία της επισκευής ή αντικατάστασης των στοιχείων ενίσχυσης σε περίπτωση αστοχίας.

Όσον αφορά στη διαστασιολόγηση των δικτυωτών συνδέσμων, ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στις θέσεις των συνδέσεων με την υφιστάμενη κατασκευή, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής μεταφορά δυνάμεων μεταξύ των στοιχείων που προστίθενται και αυτών που προϋπάρχουν. Επίσης πρέπει να κατανοηθεί ότι η χρήση δικτυωτών συνδέσμων μπορεί να μεταβάλλει εξ ολοκλήρου τη σεισμική συμπεριφορά του αρχικού φορέα και να απαιτήσει πληθώρα άλλων επεμβάσεων λόγω ανακατανομής των δυνάμεων στα διάφορα στοιχεία του φέροντα οργανισμού. Επίσης ένα πρόβλημα που προκύπτει είναι η αξιοπιστία μίας ελαστικής ανάλυσης δεδομένου ότι τα δύο υλικά (ο/σ και χάλυβας) έχουν διαφορετική μετελαστική συμπεριφορά.

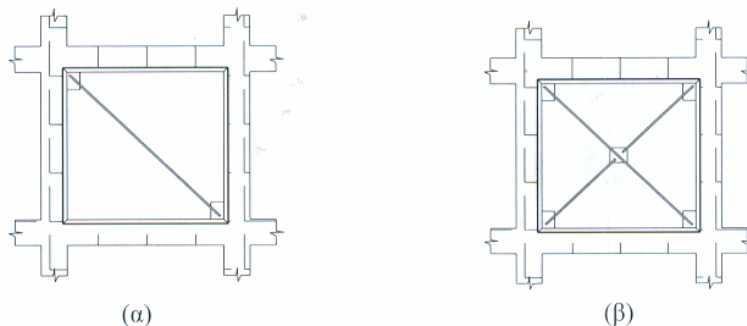
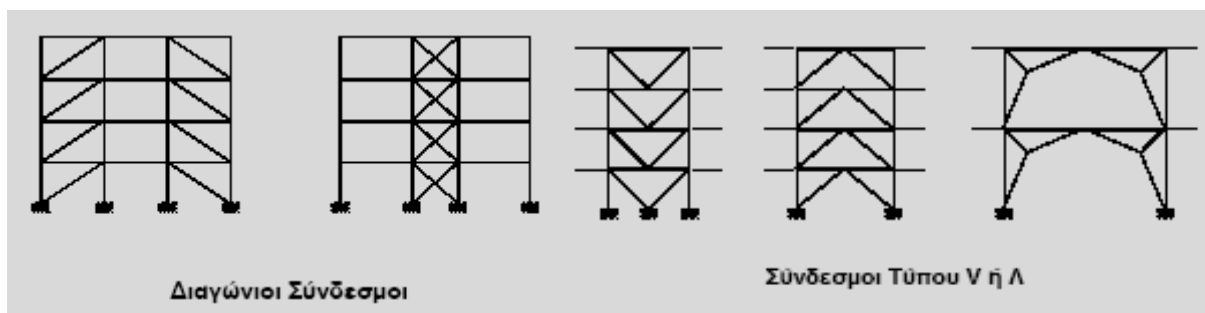
Κρίσιμος επίσης γίνεται και ο λυγισμός των διαγώνιων ράβδων.

## 2.Κατηγορίες Δικτυωτών Συνδέσμων

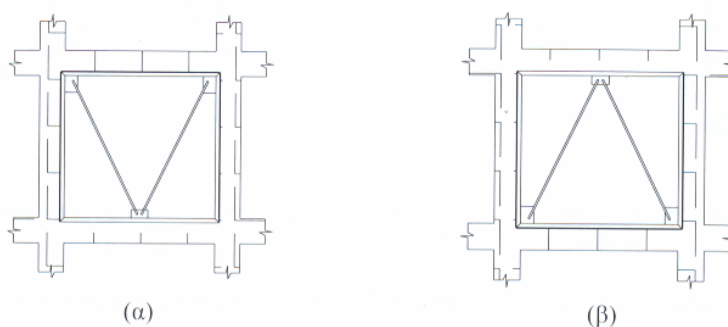
Ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης των διαγώνιων μελών με το ζύγωμα του φατνώματος, οι δικτυωτοί σύνδεσμοι διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

### ➤ Δικτυωτοί σύνδεσμοι χωρίς εκκεντρότητα.

Για τη διαστασιολόγηση των διαγώνιων συνδέσμων (Σχ2.1) θεωρούμε ότι οι εναλλασσόμενης φοράς οριζόντιες σεισμικές δυνάμεις αναλαμβάνονται από τις εκάστοτε εφελκόμενες διαγωνίους, ενώ η συνεισφορά των αντίστοιχων θλιβομένων διαγώνιων μπορεί να αγνοείται. Σύμφωνα με τον ΕΑΚ2000 για τους απλους Δ.Σ. (Σχ.2.1(α)) το γινόμενο του εμβαδού της διατομής επί την κλίση δύο διαγώνιων ( $A_{cos\phi}$ ) του ίδιου ορόφου που καταπονούνται σε αντίθετη δράση, να μη διαφέρει περισσότερο από 10% .

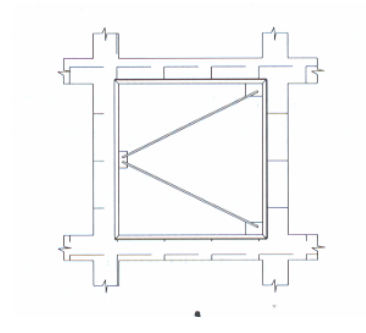


Σχήμα 2.1: Διαγώνιοι δικτυωτοί .(α) Απλοί. (β) Χιαστί



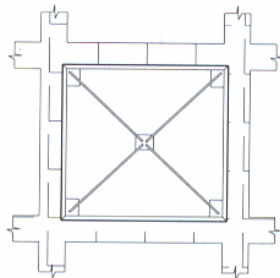
Σχήμα 2.3: (α) Δικτυωτοί σύνδεσμοι τύπου V (β) Δικτυωτοί σύνδεσμοι τύπου Λ

**ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΜΗ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΑΚΟΥ ΦΟΡΕΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥΣ ΔΙΚΤΥΩΤΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ.**



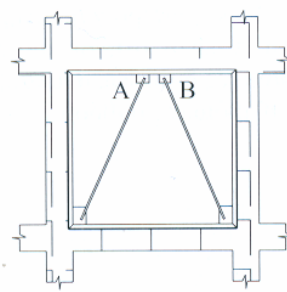
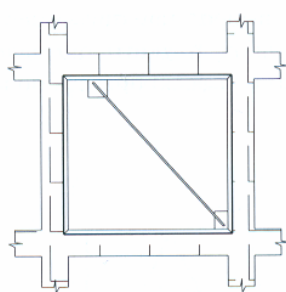
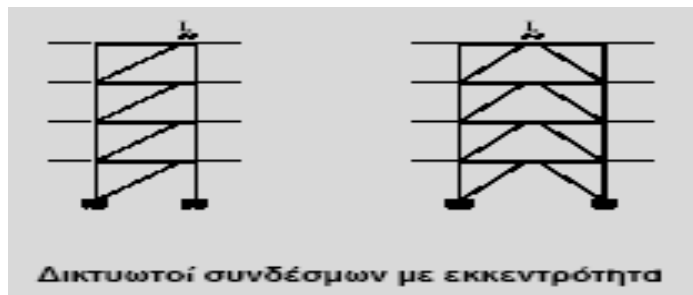
Σχήμα 2.4: Δικτυωτοί σύνδεσμοι τύπου Κ.

Η χρήση αυτού του τύπου επιτρέπεται μόνο σε περιοχές σεισμικότητας Ι και κατασκευές σπουδαιότητας (ΕΑΚ2000).



Σχήμα 2.5: Χιαστί διαγώνιοι σύνδεσμοι με έλασμα στο κέντρο του φατώματος

➤ Δικτυωτοί σύνδεσμοι χωρίς εκκεντρότητα.

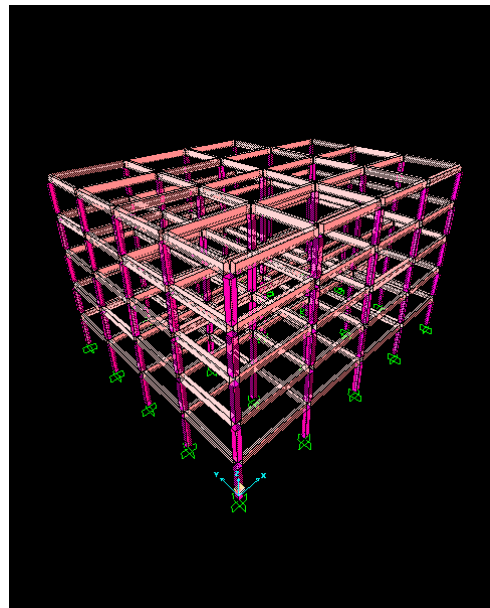
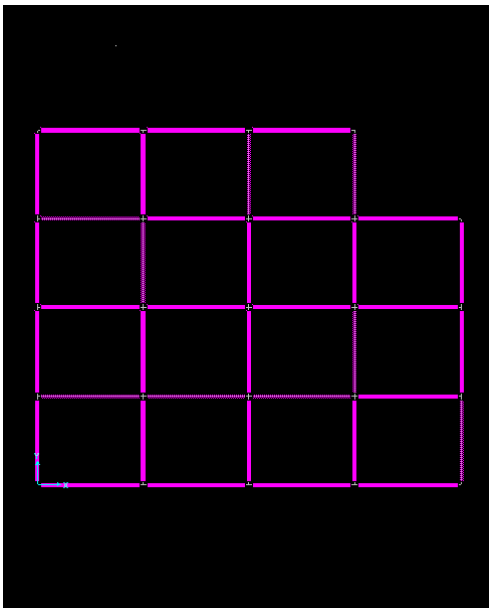


Σχήμα 2.2: Τύποι δικτυωτών συνδέσμων με εκκεντρότητα .  
(α) Έκκεντρη διαγώνιος (β) Έκκεντρη τύπου Λ

### 3. Στατικό πρόγραμμα επίλυσης SAP2000-NL

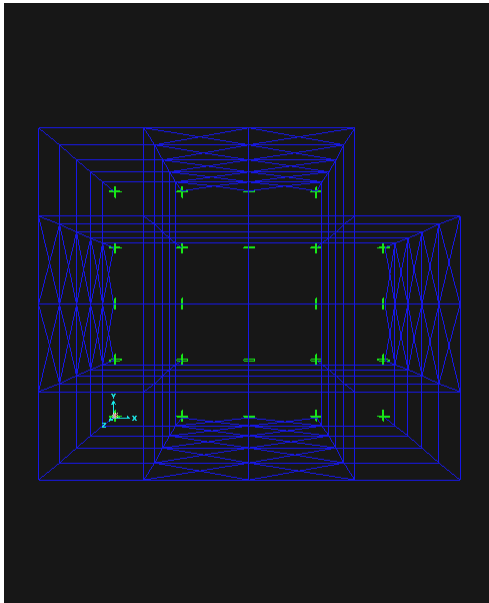
Για την προσομοίωση του φορέα επιλέχτηκε το στατικό πρόγραμμα επίλυσης SAP2000 V8.3.3. Το πρόγραμμα μας δίνει τη δυνατότητα δυναμικής ανάλυσης με χρονοϊστορία, υπολογισμού των μέγιστων μετατοπίσεων σε κάθε κόμβο καθώς επίσης και υπολογισμού της τέμνουσας βάσης. Επίσης το πρόγραμμα μας δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε διαφορετικούς λόγους απόσβεσης για κάθε υλικό. Η μέθοδος ανάλυσης που επιλέχτηκε είναι με ιδιοδιανύσματα Ritz γιατί λαμβάνουν υπόψη τη χωρική κατανομή των δυνάμεων, που ασκούνται στο κτίριο. Αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να έχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα και επιτρέπει την εύρεση μικρότερου αριθμού ιδιομορφών, προκειμένου να εκπληρωθεί το κριτήριο του 90% της ταλαντούμενης μάζας. Ο λόγος απόσβεσης που επιλέχτηκε είναι 5% για το σκυρόδεμα και 10% για τον χάλυβα.

### 4. Επιλογή φορέα

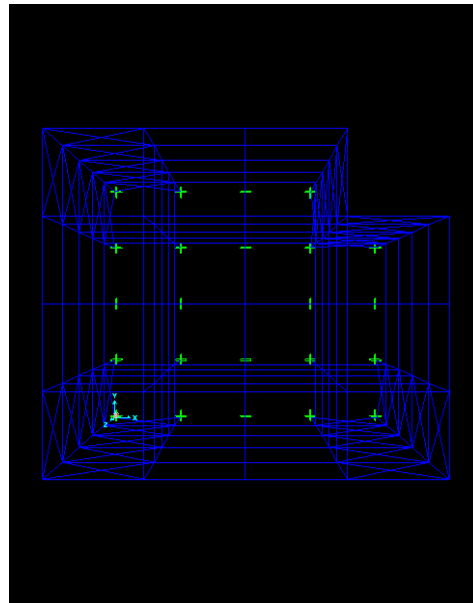


Επιλέγεται να μελετηθεί ένα μη συμμετρικό πενταώροφο χωρικό κτίριο. Το ύψος κάθε ορόφου είναι 3m και τα ανοίγματα είναι 6m κατά την διεύθυνση x και 5m κατά την διεύθυνση y. Το κτίριο αποτελείται από υποστηλώματα διαστάσεων 40\*40 cm, δοκάρια διαστάσεων 30\*60 cm, πλάκες από ο/σ πάχους 17 cm και οι χιαστί σύνδεσμοι είναι πλατύπελμα δοκάρια IPBv(HE-M)300. Οι φορτίσεις που ελήφθησαν υπόψη κατά τον EC-1: 1,2 KN/m<sup>2</sup> μόνιμο και 2 KN/m<sup>2</sup> κινητό φορτίο. Τα φορτία ελήφθησαν υπόψη μόνο για την παραγωγή του μητρώου μάζας του κτιρίου. Για το λόγο αυτό τοποθετήθηκε στο κ.β. κάθε στάθμης ένας κύριος κόμβος (master joint) όπου αποδόθηκαν οι δύο οριζόντιες μεταθέσεις κατά x και y, και μία στροφική ροπή αδράνειας κατά τον κατακόρυφο άξονα. Για τον υπολογισμό των μαζών ελήφθη υπόψη ο συνδυασμός  $G + 0.3 Q$  όπως απαιτεί ο ΕΑΚ 2000.

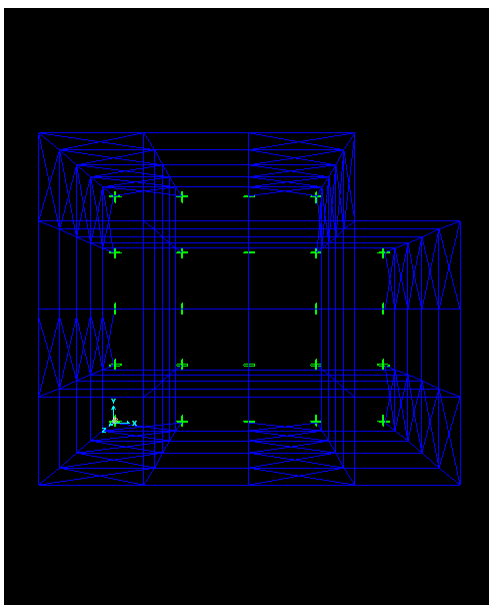
**5. Διάταξη χιαστί συνδέσμων στα ενισχυμένα προσομοιώματα:**



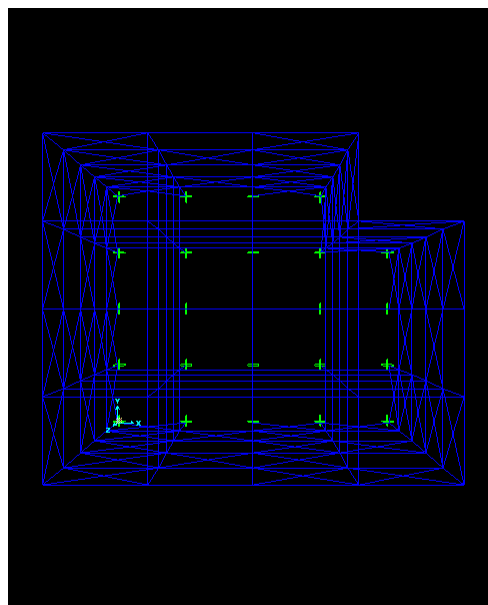
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1<sup>η</sup>: X 1



ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2<sup>η</sup>: X 2



ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 3<sup>η</sup>: X 3



ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1<sup>η</sup>: X 4

Πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση X1 και X2 έχουμε ίδιο αριθμό χιαστί διαγωνίων στην περίπτωση X3 αυξάνονται στην διεύθυνση y κατά 25% και στην περίπτωση X4 αυξάνονται κατά 50% στην διεύθυνση x και κατά 65% στην διεύθυνση y.

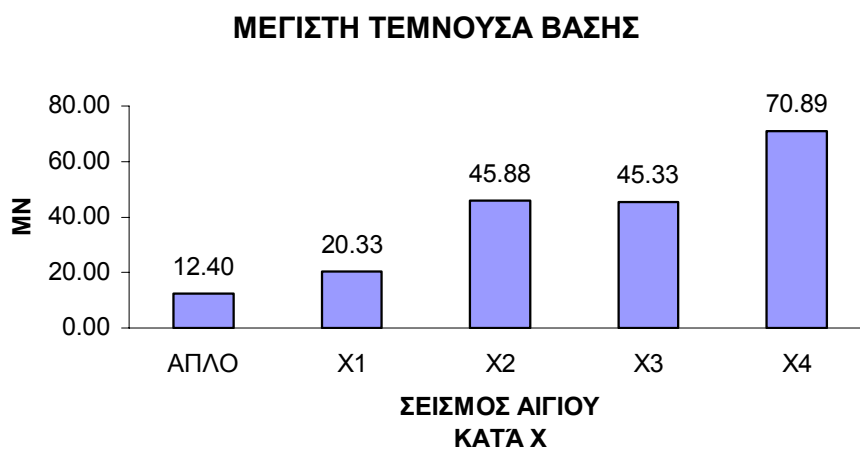
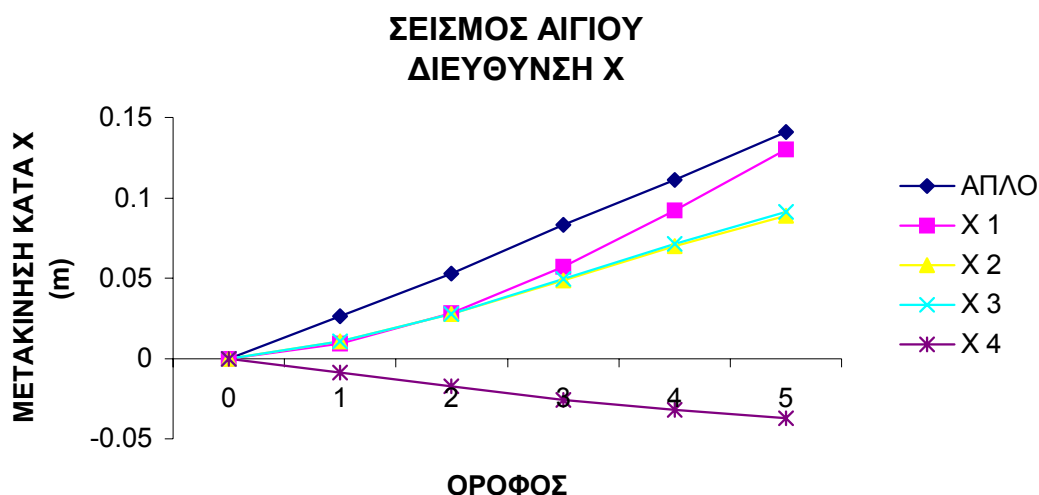
**6. Αποτελέσματα επιλύσεων τετραώροφου**

Οι φορείς επιλύθηκαν για τους σεισμούς, που αναφέρονται παρακάτω μαζί με την μέγιστη επιτάχυνση κατά απόλυτη τιμή:

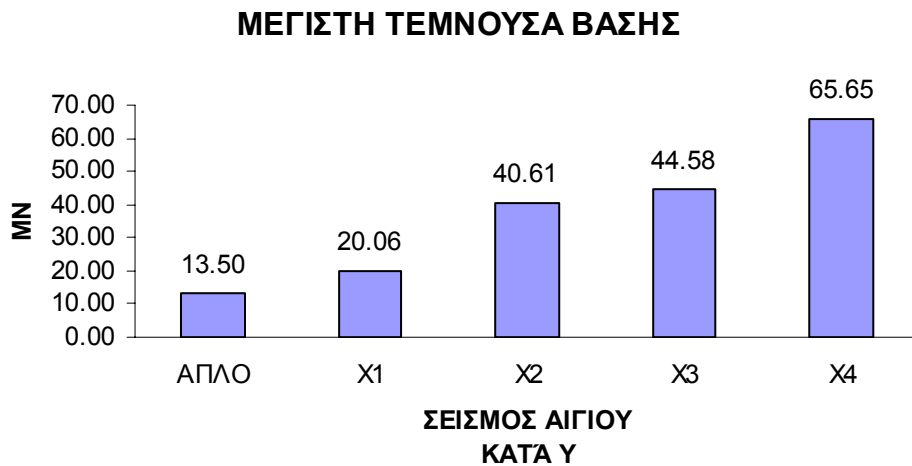
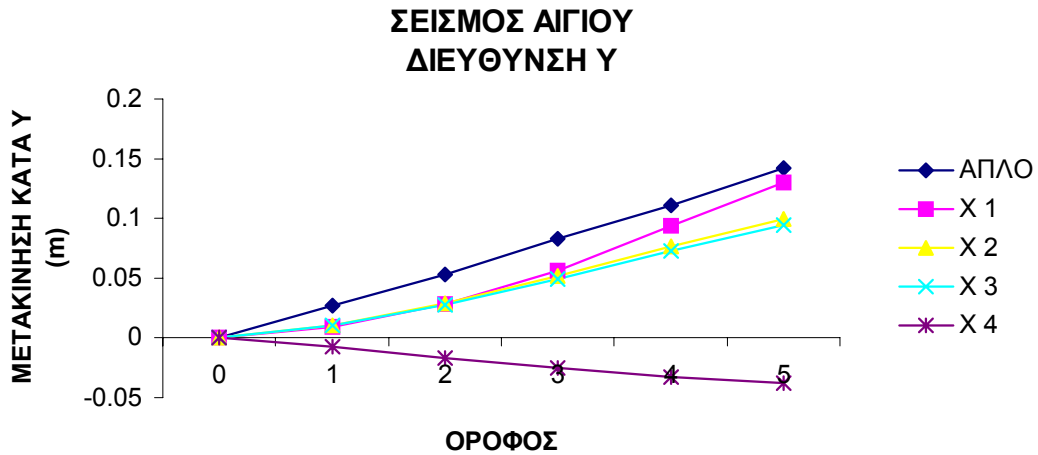
ΑΙΓΙΟ	4,9m/ sec <sup>2</sup>
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	2,67m/ sec <sup>2</sup>
ΛΕΥΚΑΔΑ	5,19m/ sec <sup>2</sup>
ΠΑΡΝΗΘΑ	4,9m/sec <sup>2</sup>
ΒΟΥΚΟΥΡΕΣΤΙ	2,0m/ sec <sup>2</sup>

Η επίλυση των παραπάνω φορέων για τις σεισμικές διεγέρσεις, που αναφέρθηκαν μας οδήγησε στα ακόλουθα αποτελέσματα και συμπεράσματα:

➤ Σεισμός Αιγίου-Διεύθυνση x



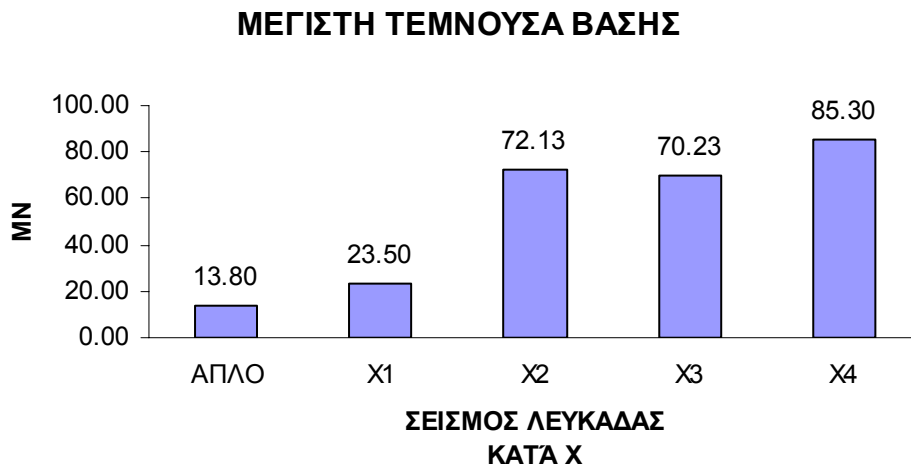
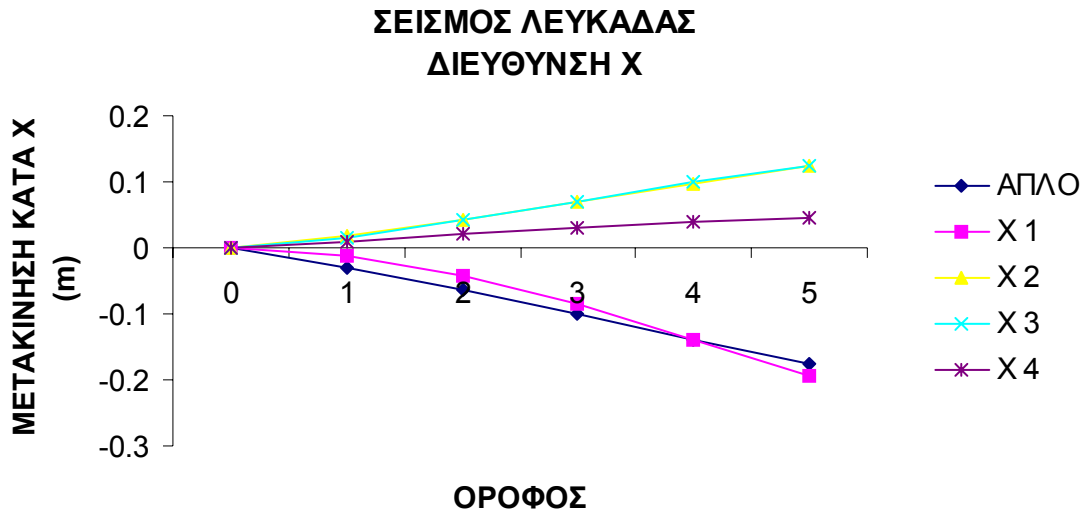
**Σεισμός Αιγίου-Διεύθυνση γ**



Παρατηρούμε ότι και στις δύο διευθύνσεις οι μετακινήσεις του X2 και X3 σχεδόν ταυτίζονται μειώνοντας τη μετακίνηση του 5<sup>ου</sup> ορόφου κατά 35% περίπου σε σχέση με τον μη ενισχυμένο φορέα, (κατά 30 % ο X2 και 34 % ο X3).

Αντίθετα στον X1 η μετακίνηση του 5<sup>ου</sup> ορόφου είναι κοντά σε αυτήν του μη ενισχυμένου φορέα (μείωση περίπου 8%). Μεγαλύτερη μείωση μας έδωσε ο X4, μειώθηκε κατά 74%!

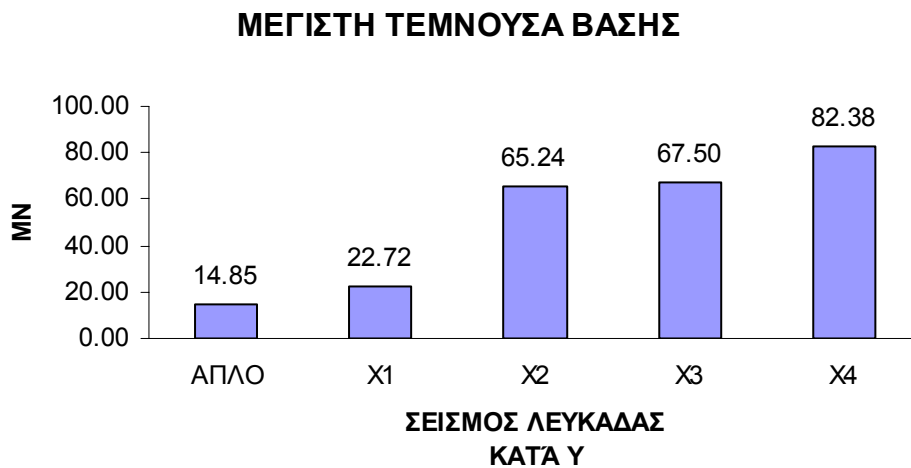
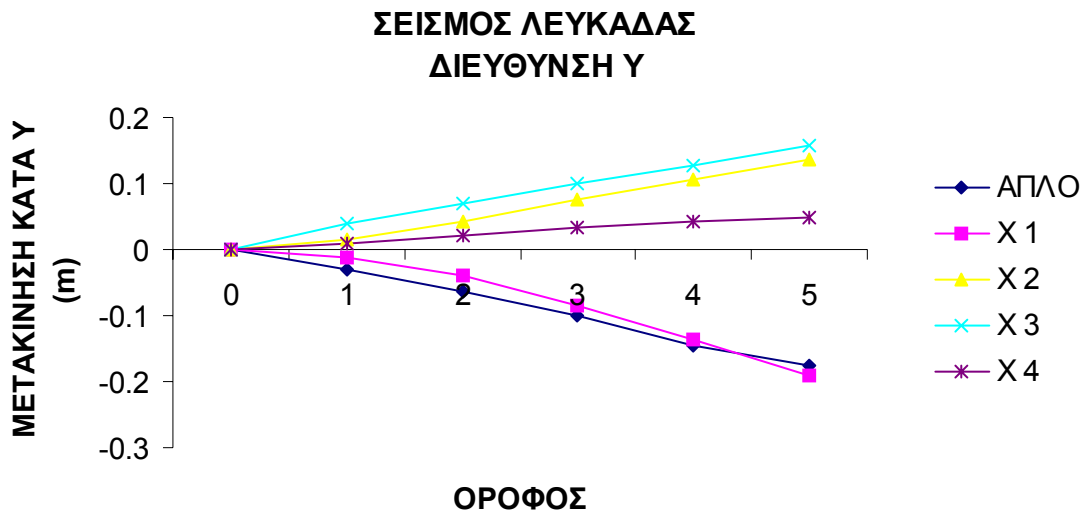
➤ Σεισμός Λευκάδας - Διεύθυνση x



Παρατηρούμε όπως και προηγουμένως ότι οι μετακινήσεις του X2 και X3 ταυτίζονται μειώνοντας τη μετακίνηση του 5<sup>ου</sup> ορόφου κατά 30%. Στην περίπτωση όμως του X1 αυξήθηκε κατά 10%! Ομοίως με το σεισμό του Αιγίου ο X4 μείωσε τη μετακίνηση του 5<sup>ου</sup> ορόφου κατά 74%.

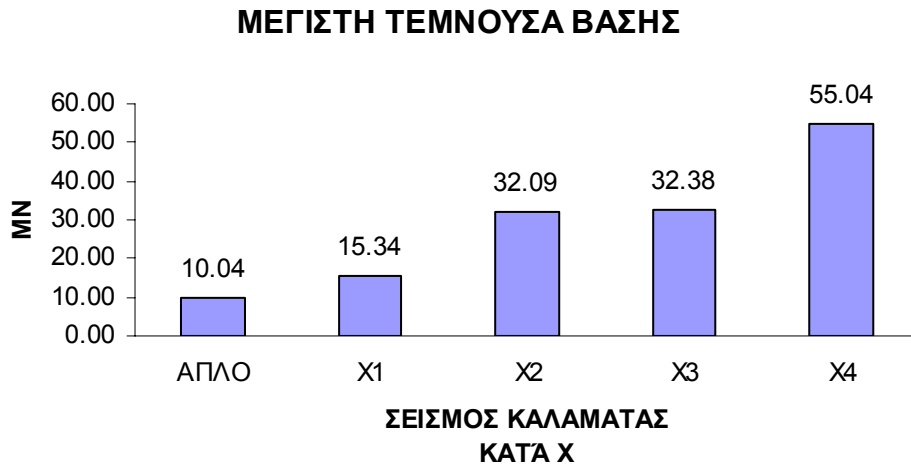


➤ Σεισμός Λευκάδας -Διεύθυνση γ



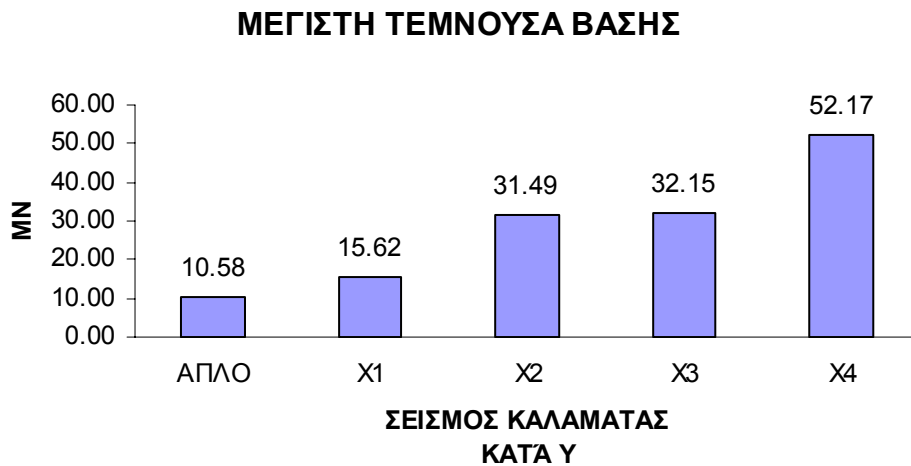
Παρατηρούμε ότι σε αυτή τη διεύθυνση οι μετακινήσεις του X2 και X3 δεν ταυτίζονται όπως γίνεται στη διεύθυνση X. Ο X2 μειώνει τη μετακίνηση του 5<sup>ου</sup> ορόφου κατά 23% ενώ ο X3 κατά 11%. Και σε αυτή τη διεύθυνση στο X1 αυξήθηκε η μετακίνηση του 5<sup>ου</sup> ορόφου κατά 8% και μειώθηκε στο X4 κατά 74%.

➤ Σεισμός Καλαμάτας-Διεύθυνση x



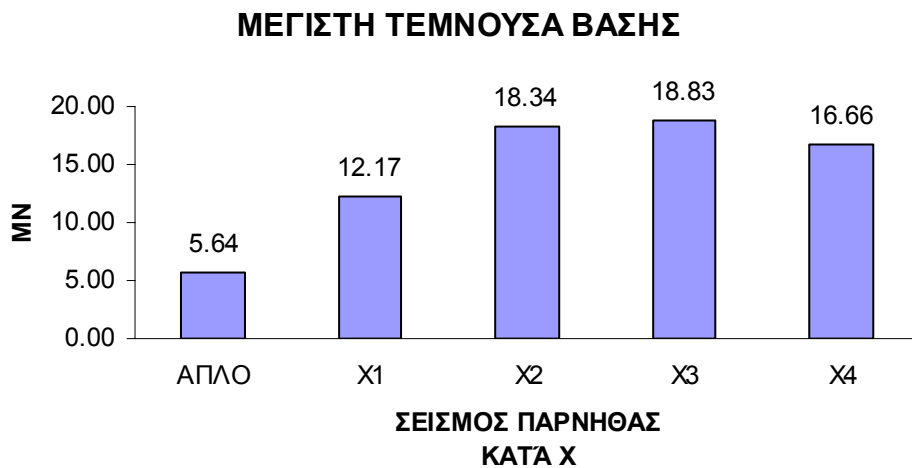
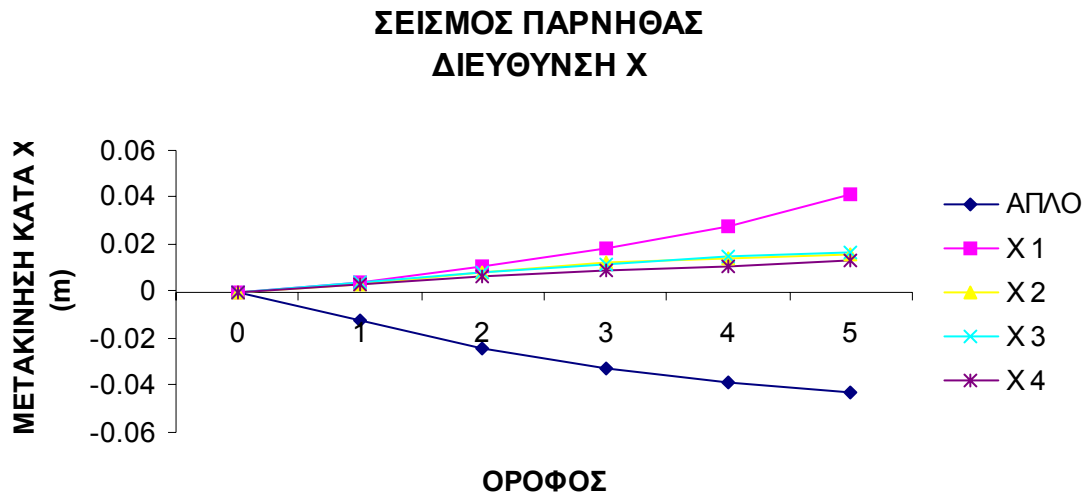
Σε αυτό το σεισμό παρατηρούμε ότι στο απλό κτίριο υπάρχει διαφορά προσήμου στη δεύτερη στάθμη ενώ σε όλα τα υπόλοιπα δεν υπάρχει. Οι μετακινήσεις του 5<sup>ου</sup> ορόφου μειώνονται κατά 17% στο X1, 53% στο X2, 50% στο X3 και 73% στο X4.

➤ Σεισμός Καλαμάτας-Διεύθυνση γ



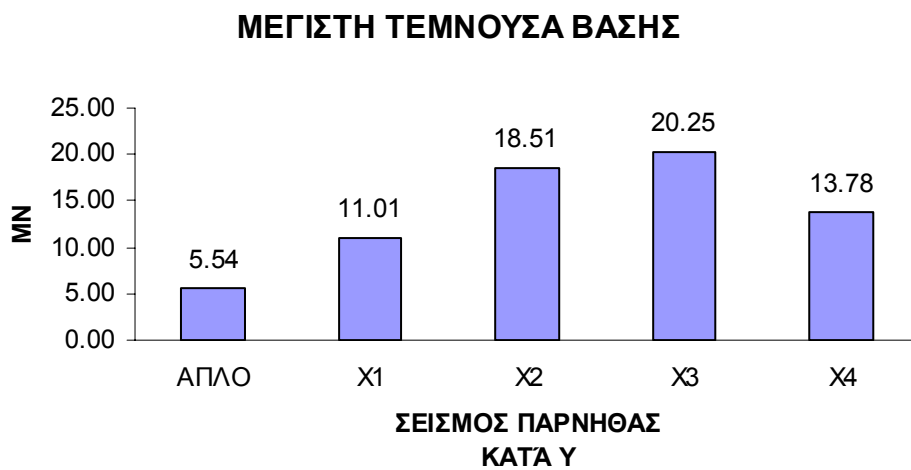
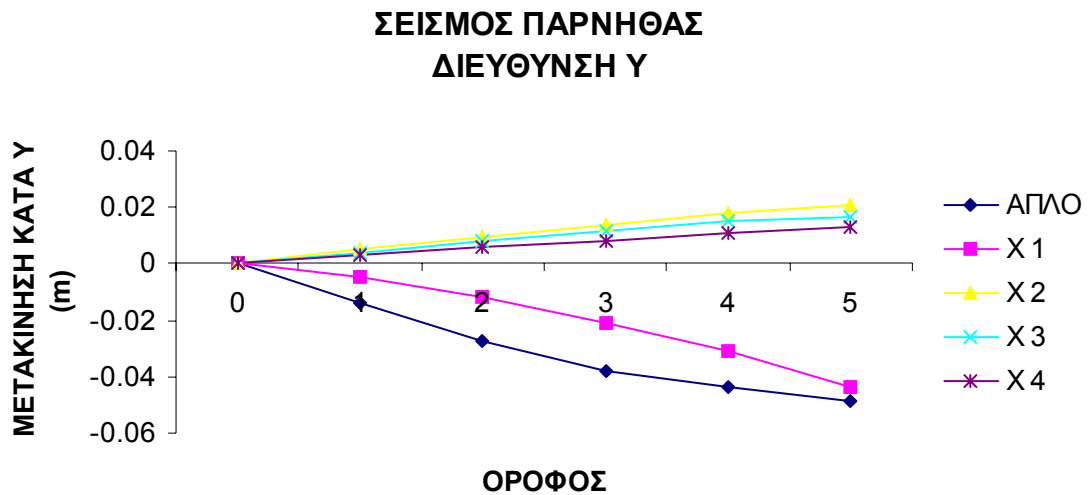
Ομοίως με την διεύθυνση x και στην διεύθυνση γ υπάρχει διαφορά προσήμου στη δεύτερη στάθμη ενώ και σε αυτή τη διεύθυνση σε όλα τα υπόλοιπα δεν υπάρχει. Οι μετακινήσεις του 5<sup>ου</sup> ορόφου μειώνονται κατά 9% στο X1, 40% στο X2, 47% στο X3 και 71,5% στο X4.

➤ Σεισμός Πάρνηθας- Διεύθυνση x



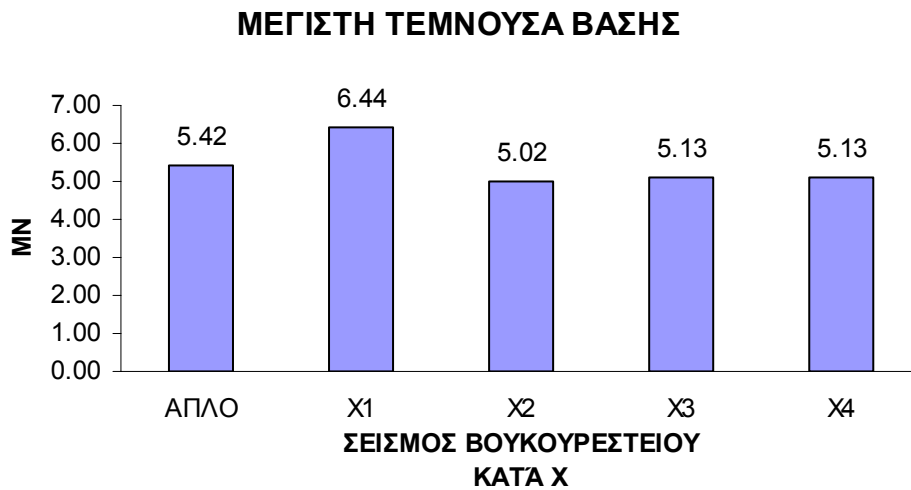
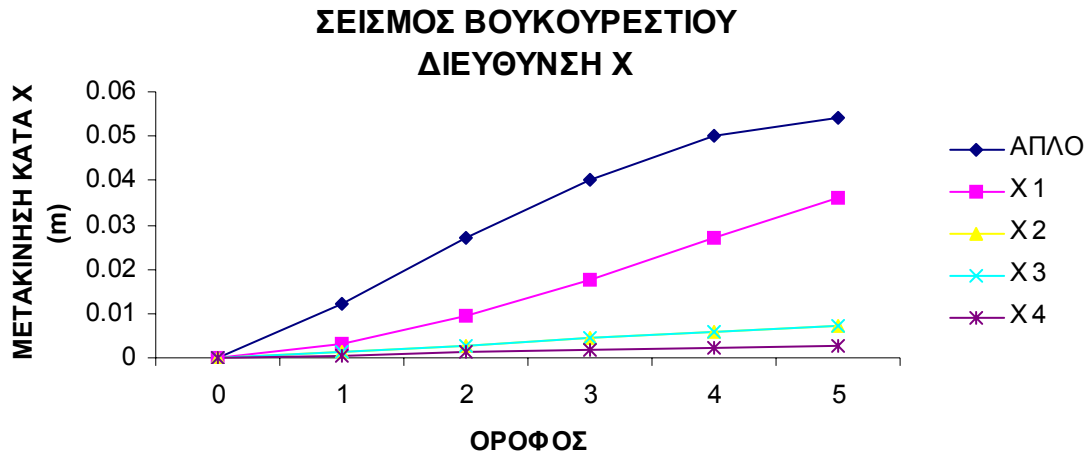
Είναι φανερό ότι οι X2, X3 και X4 συμπεριφέρονται ομοίως μειώνοντας τη μετακίνηση του 5<sup>ου</sup> ορόφου κατά 63%, 61.5% και 70% αντίστοιχα. Ο X1, αντίθετα μειώνει τη μετακίνηση του 5<sup>ου</sup> ορόφου 5%!

➤ Σεισμός Πάρνηθας- Διεύθυνση γ



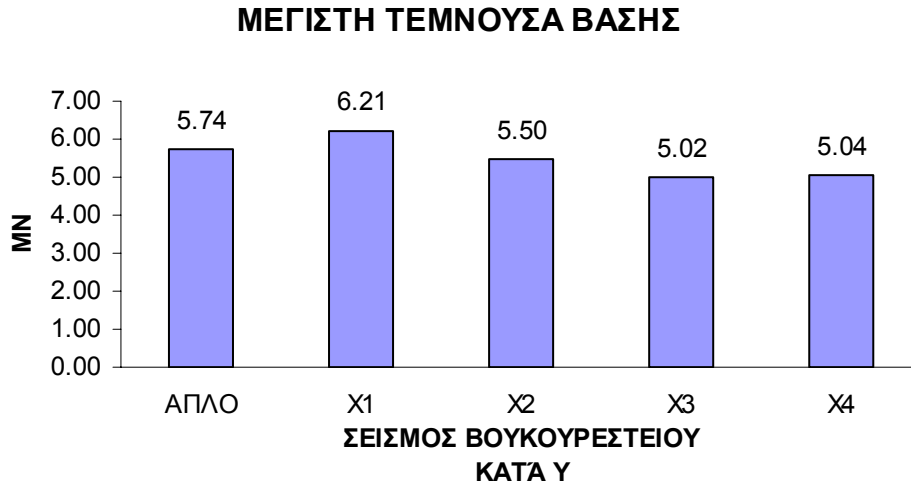
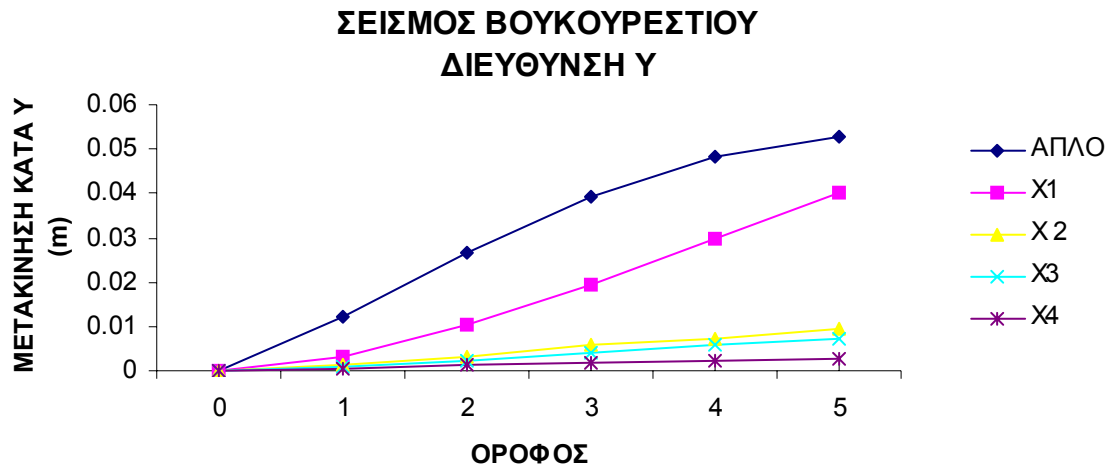
Στη διεύθυνση γ τα ποσοστά μείωσης της μετακίνησης του 5<sup>ου</sup> ορόφου των X2, X3 και X4 είναι 57%, 66%, και 73.5% αντίστοιχα. Ο X1 μειώνει τη μετακίνηση του 5<sup>ου</sup> ορόφου και 10%.

➤ Σεισμός Βουκουρεστίου- Διεύθυνση x



Παρατηρούμε ότι τα ποσοστά μείωσης της μετακίνησης του 5<sup>ου</sup> ορόφου είναι : 33% για τον X1 , 86% για τους X2 & X3 και 94% για τον X4

**Σεισμός Βουκουρεστίου- Διεύθυνση γ**



Παρατηρούμε ότι τα ποσοστά μείωσης της μετακίνησης του 5<sup>ου</sup> ορόφου είναι : 24 % για τον X1, περίπου 80% για τους X2 & X3 , και 95% για τον X4.

### 7.Τελικό συμπέρασμα

Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο φορέας X1 δεν ήταν πολύ αποδοτικός ώστε να μειώσει την απόκριση του κτιρίου. Ο X2 (ο οποίος είχε τον ίδιο αριθμό χιαστί συνδέσμων με τον X1) είχε πολύ καλη απόδοση όπως και ο X3 και πολλές φορές η απόκριση τους ταυτίζονταν. Δεδομένου ότι ο X3 έχει στην διεύθυνση y 25% περισσότερους χιαστί συνδέσμους από τον X2 κρίνεται εκ των δύο ως πιο αποδοτικός ο X2. Τέλος την μέγιστη μείωση της απόκρισης είχε ο X4 με πολύ μεγάλα ποσοστά μείωσης όμως δεν μπορεί να συγκρηθεί με τον X2 λόγω του ότι ο X4 έχει περισσότερους χιαστί συνδέσμους από τον X2 (50% στη διεύθυνση x και 65% στη διεύθυνση y).

### 8.Συνήθεις αστοχίες Δικτυωτών Συνδέσμων

Συνοπτικά οι κυριότερες βλάβες που εμφανίζονται σε διαγώνια στοιχεία των δικτυωτών συνδέσμων είναι οι εξής:

- Αστοχία του διαγώνιου στοιχείου λόγω θραύσης όταν καταπονείται σε εφελκυσμό ή λυγισμό και αδυναμίας επαναφοράς στην ευθεία θέση όταν καταπονείται σε θλίψη. Στις περιπτώσεις αυτές το στοιχείο πρέπει να αντικατασταθεί από νέο.
- Διαρροή του διαγώνιου στοιχείου. Εάν η πλαστική παραμόρφωση δεν είναι μεγάλη δεν απαιτείται η αντικατάσταση του στοιχείου.
- Ολίσθηση των κοχλιών τριβής. Για ολίσθηση έως 2 mm συνιστάται να γίνονται πρόσθετες ραφές συγκόλλησης του διαγώνιου στοιχείου στο κομβοέλασμα. Για μεγαλύτερη τιμή της ολίσθησης οι προεντεταμένοι κοχλίες πρέπει να αντικαθίστανται.
- Θραύση των κοχλιών σύνδεσης του στοιχείου στο κομβοέλασμα. Συνιστάται η αντικατάσταση των κοχλιών με κοχλίες τριβής και η εκτέλεση πρόσθετων ραφών συγκόλλησης.
- Θραύση του κομβοελάσματος. Η βλάβη αποκαθίσταται με προσωρινή απομάκρυνση του στοιχείου του συνδέσμου, αντικατάσταση του κομβοελάσματος από άλλο μεγαλύτερου πάχους και επανατοποθέτηση του στοιχείου.
- Αποκόλληση του κομβοελάσματος είτε από το ζύγωμα είτε από το υποστύλωμα του πλαισίου. Στην περίπτωση αυτή πρέπει η συγκόλληση να επανεκτελεστεί με ραφή μεγαλύτερου πάχους και επίσης να ενισχυθεί το κομβοέλασμα με εγκάρσιες νευρώσεις.

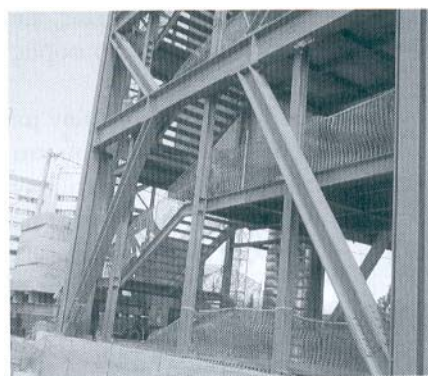
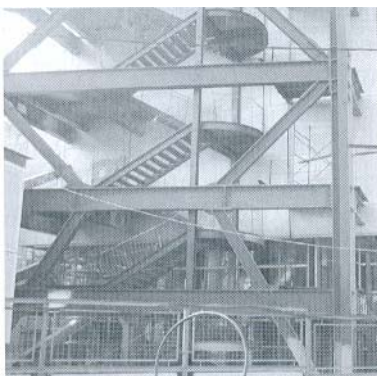


## 9.Βιβλιογραφία

- Σύμμικτες κατασκευές ,  
Αθ.Χ.Τριανταφύλλου,Πανεπιστημίο Πατρών 2005
- Δυναμική των κατασκευων  
Ray W. Clough ,Joseph Penzien,Fountas
- Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία  
Κωνσταντίνος Σπυράκος,Τ.Ε.Ε. 2004
- Αντισεισμικός σχεδιασμός κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα και τοιχοποιία  
Τ.Paulay,M.J.N. Priestley,Κλειδάριθμος
- 13<sup>ο</sup> Ελληνικό Συνέδριο,Τ.Ε.Ε.,Τόμος ΙΙΙ,Εισήγηση 5
- Ταλαντώσεις Μηχανικών Συστημάτων  
Σ. Νατσιάβας,Ζήτη
- ΕΑΚ 2000
- SAP2000 (manual)



Αντισεισμική ενίσχυση κατασκευής με χιαστί διαγώνιους συνδέσμους



Εφαρμογή δικτυωτών συνδέσμων κέντρο τύπου των Ολυμπιακών Αγώνων του 2004.