

**ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΝΕΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (Ε.Α.Κ. 2003 – Ε.Κ.Ω.Σ. 2000)  
ΑΠΟΤΙΜΩΜΕΝΗΣ ΜΕ *pushover* ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΚΑΝ.ΕΠΕ.**

**ΤΕΝΤΟΛΟΥΡΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ – ΚΑΛΟΓΕΡΟΠΟΥΛΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ**

**Περίληψη**

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι να γίνει έλεγχος της συμπεριφοράς μιας νέας κατασκευής, σχεδιασμένης με τους σύγχρονους κανονισμούς (Ε.Α.Κ. 2003 , Ε.Κ.Ω.Σ. 2000), όταν αποτιμηθεί σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Για την ανάλυση σύμφωνα με τους νέους κανονισμούς, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα δυναμικής ελαστικής ανάλυσης NEXT 2005, ενώ για την αποτίμηση με στατική ανελαστική ανάλυση (*pushover*), χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα S.A.P. 2000.

Έγινε μελέτη για μια μονώροφη και μια διώροφη κατοικία από οπλισμένο σκυρόδεμα.

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η συνεχής εξέλιξη των επιστημών, και κατά συνέπεια της επιστήμης του Πολιτικού Μηχανικού, επιφέρει αλλαγές στη φιλοσοφία μόρφωσης και ανάλυσης των κατασκευών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι υφιστάμενες κατασκευές πιθανόν να παρουσιάζουν αδυναμίες. Για να αποτιμηθεί ο βαθμός αδυναμίας είναι αναγκαία η ανάπτυξη ενός κανονισμού. Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. αποτελεί μια προσπάθεια δημιουργίας ενός τέτοιου κανονισμού αποτίμησης, επεμβάσεων και ενισχύσεων. Παρά το γεγονός ότι μια, σωστά σχεδιασμένη, νέα κατασκευή θα ήταν παράδοξο να μη συμπεριφερθεί με τον επιθυμητό τρόπο, θα γίνει έλεγχος αυτού του ενδεχομένου.

**ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΟΝΩΡΟΦΟΥ**

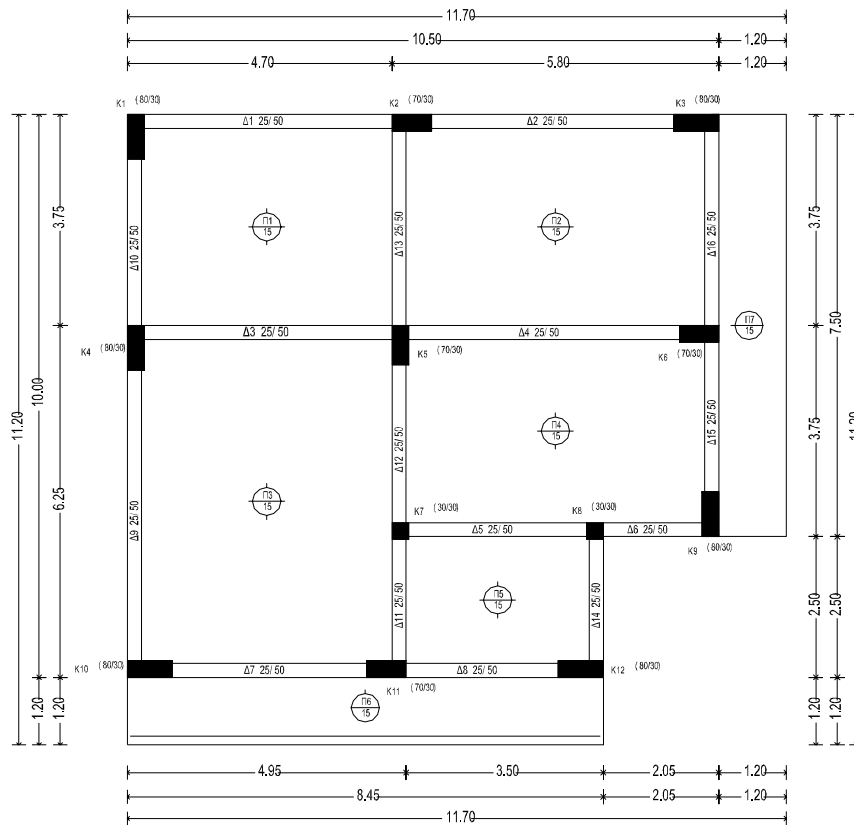
Η ελαστική δυναμική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα NEXT 2005 σύμφωνα με τους σύγχρονους ελληνικούς κανονισμούς (Ε.Α.Κ. 2003 , Ε.Κ.Ω.Σ. 2000). Για την κατασκευή ισχύουν τα εξής:

- ο Περιοχή ζώνης σεισμικότητας II, (A=0,24g)
- ο Κατηγορία εδάφους B
- ο Κατηγορία σπουδαιότητας: συνήθης (Σ2)
- ο Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν: Σκυρόδεμα C20/25 , Χάλυβας S500.
- ο Φορτίο επικάλυψης 2 kN/m<sup>2</sup>
- ο Κινητό φορτίο πλακών 2 kN/m<sup>2</sup>
- ο Κινητό φορτίο προβόλων 5 kN/m<sup>2</sup>
- ο Γραμμικό φορτίο προβόλων 2.5 kN/m
- ο Φορτίο μπατικής τοιχοποιίας 3.6 kN/m<sup>2</sup>
- ο Φορτίο δρομικής τοιχοποιίας 2.1 kN/m<sup>2</sup>
- ο Ύψος ορόφου 3 m

Περιμετρικά σε κάθε όροφο θεωρήθηκε ότι υπάρχει μπατική τοιχοποιία, ενώ εσωτερικά θεωρήθηκε ότι υπάρχει δρομική τοιχοποιία.

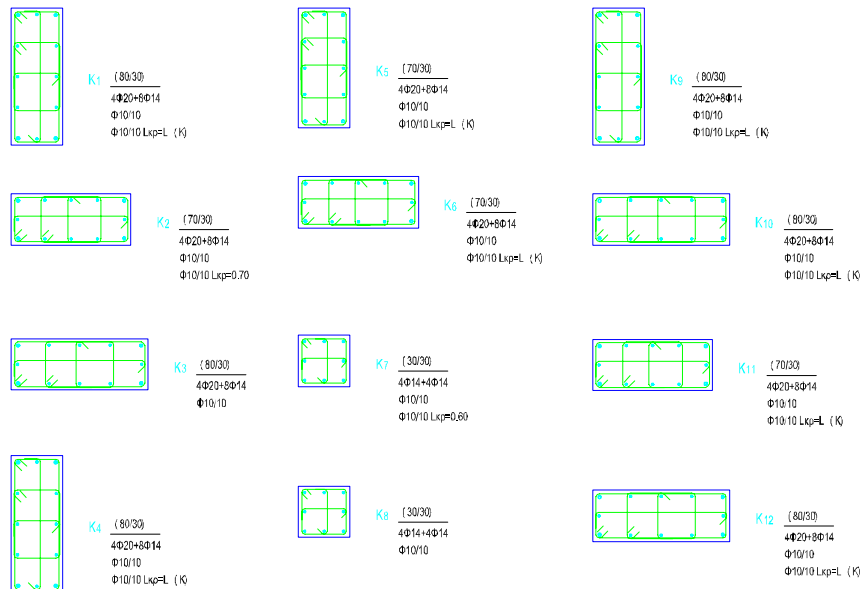
Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε θεωρώντας διαφραγματική λειτουργία στις στάθμες των πλακών και η διαστασιολόγηση έγινε βάσει του ικανοτικού ελέγχου των κόμβων, ούτως ώστε να προηγηθεί η διαρροή των δοκών της διαρροής των υποστυλωμάτων.

Η κάτοψη του ορόφου παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.

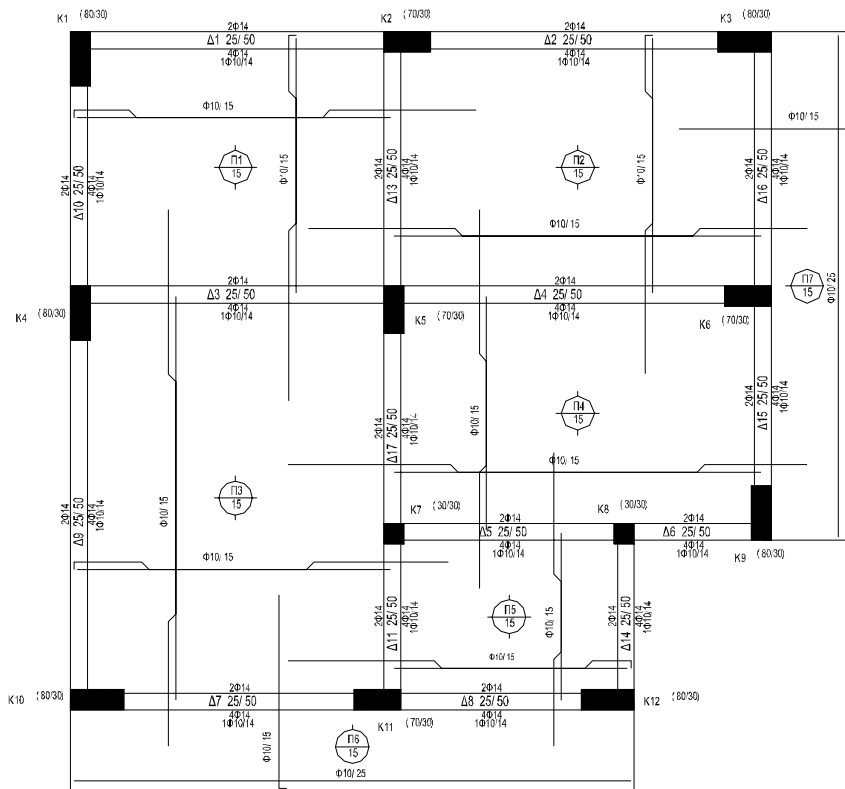


Εικόνα 1 Τυπική κάτοψη ορόφου

Από την δυναμική ελαστική ανάλυση προέκυψαν οι οπλισμοί πλακών, δοκών και υποστυλωμάτων όπως παρουσιάζονται στις Εικόνες 2, 3.



Εικόνα 2 Οπλισμοί υποστυλωμάτων



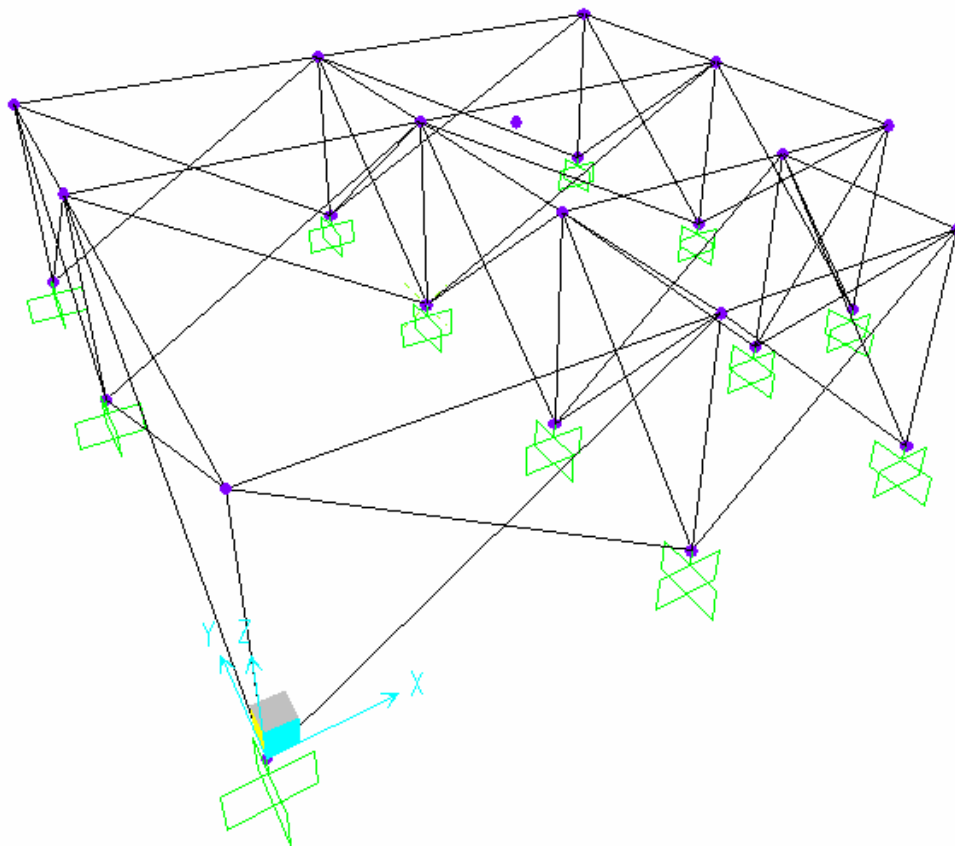
Εικόνα 3 Ξυλότυπος οροφής ισογείου

## ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΟΝΩΡΟΦΟΥ

Για την ανελαστική στατική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SAP 2000, κάνοντας εφαρμογή του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και λαμβάνοντας υπόψη τη συνεισφορά των τοιχοπληρώσεων. Ακολούθησε η παρακάτω διαδικασία:

### 1. Κατασκευή του φορέα

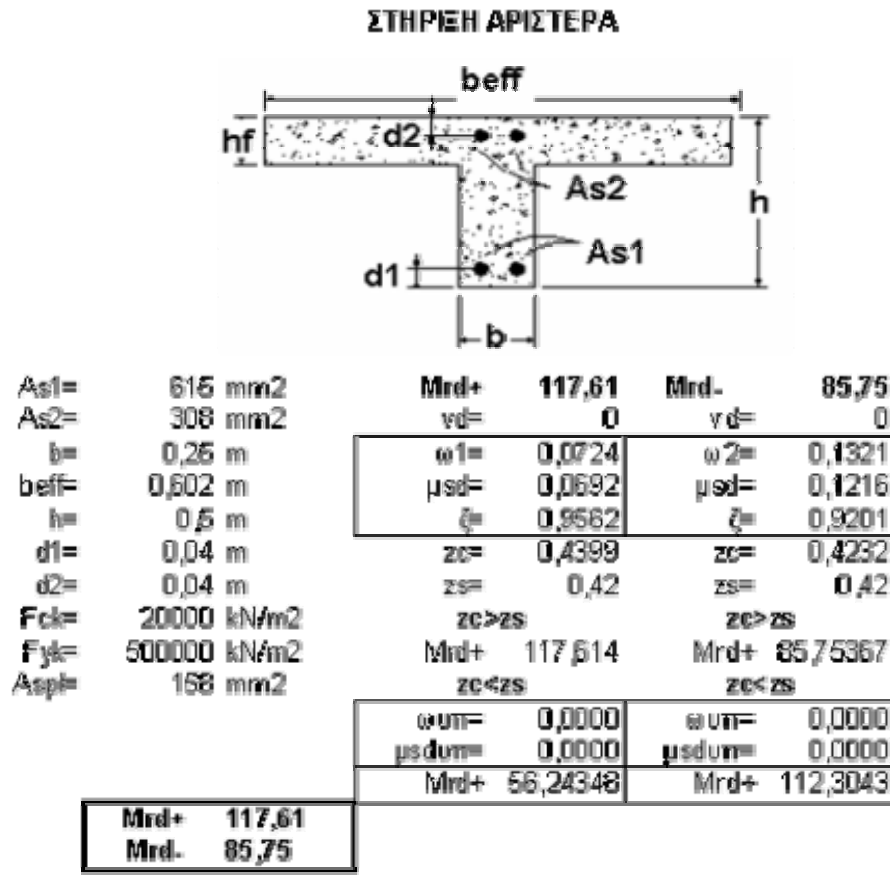
Η κατασκευή του φορέα έγινε σύμφωνα με την παραπάνω κάτοψη και τα φορτία εξιδανικεύονται ως γραμμικά κατά μήκος των δοκών. Ο σεισμός προσομοιώθηκε ως μία συγκεντρωμένη δύναμη στο κέντρο μάζας της πλάκας. Φυσικά έχει προηγηθεί η λειτουργία διαφράγματος στην στάθμη της πλάκας.



Εικόνα 2 Τρισδιάστατος φορέας και διαγώνιοι θλιπτήρες

### 2. Εισαγωγή διαγράμματος ροπής – στροφής χορδής δοκού

Για την εισαγωγή του διαγράμματος ροπής – στροφής χορδής επιβάλλεται να γνωρίζουμε τη ροπή αντοχής στις παρειές και σε κάθε πέλμα. Η ροπή αντοχής υπολογίζεται από τον οπλισμό που προέκυψε από την ελαστική δυναμική ανάλυση. Για τον υπολογισμό της ροπής αντοχής της κάθε δοκού χρησιμοποιήθηκε ένα πρόγραμμα αυτοματοποιημένης διαδικασίας στο EXCEL. Ενδεικτικά, παρατίθεται στην Εικόνα 3 ο υπολογισμός της ροπής αντοχής στην αριστερή στήριξη για την δοκό Δ1.



Εικόνα 3 Υπολογισμός ροπής αντοχής

Στη συνέχεια ακολουθεί ο υπολογισμός της μέσης τιμής του πλαστικού τμήματος της μέσης γωνίας στροφής χορδής κατά την αστοχία της κάθε δοκού, σύμφωνα με τη σχέση (Σ.8β), ΚΑΝ.ΕΠΕ.

$$\theta_{um}^{pl} = 0.0145(0.25^v) \left[ \frac{\max(0.01, \omega')}{\max(0.01, \omega)} \right]^{0.3} (f_c)^{0.2} (\alpha_s)^{0.35} 25^{\left( \alpha_{ps} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1.275^{100\rho_d})$$

και ο υπολογισμός της μέσης τιμής της γωνίας στροφής χορδής κατά την αστοχία, σύμφωνα με τη σχέση (Σ.8α), ΚΑΝ.ΕΠΕ.

$$\theta_{um} = 0.016(0.3^v) \left[ \frac{\max(0.01, \omega')}{\max(0.01, \omega)} f_c \right]^{0.225} (\alpha_s)^{0.35} 25^{\left( \alpha_{ps} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1.25^{100\rho_d})$$

Η μέση τιμή της γωνίας στροφής χορδής κατά τη διαρροή υπολογίστηκε από την παρακάτω σχέση:

$$\theta_y = \theta_{um} - \theta_{um}^{pl}$$

Για τον υπολογισμό των παραπάνω χρησιμοποιήθηκε ένα πρόγραμμα αυτοματοποιημένης διαδικασίας στο EXCEL, όπου υπολογίζονται οι  $\theta_{um}^{pl}$ ,  $\theta_{um}$  και  $\theta_y$  για το κάθε πέλμα της κάθε παρειάς.

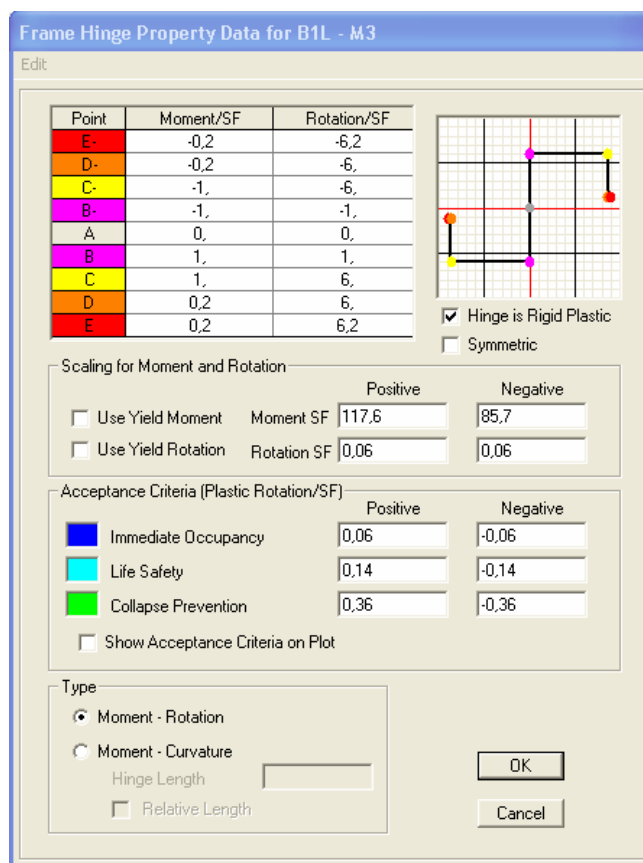
Ενδεικτικά, παρατίθεται στην Εικόνα 4 ο υπολογισμός των παραπάνω στην αριστερή στήριξη για την δοκό Δ1.

ΚΑΤΩ ΠΕΛΑΜΑ (Mrd+)				ΑΝΩ ΠΕΛΑΜΑ (Mrd-)			
Ec	30000	Mpa		Ec	30000	Mpa	
Es	210000	Mpa		Es	210000	Mpa	
As(εφελκ)	615	mm <sup>2</sup>		As(εφελκ)	466	mm <sup>2</sup>	
As(θλιβ)	466	mm <sup>2</sup>		As(θλιβ)	615	mm <sup>2</sup>	
N	0	N	$\theta_{\text{upl}} =$	N	0	N	$\theta_{\text{upl}} =$
b	250	mm		b	250	mm	
h	500	mm		h	500	mm	
di	40	mm	<u>0,300</u>	di	40	mm	<u>0,300</u>
fck	20	Mpa		fck	20	Mpa	
Asx	158	mm <sup>2</sup>		Asx	158	mm <sup>2</sup>	
sh	140	mm		sh	140	mm	
L	4400	mm	$\theta_{\text{um}} =$	L	4400	mm	$\theta_{\text{um}} =$
fyw	500	Mpa		fyw	500	Mpa	
fc	28	Mpa		fc	28	Mpa	
$\alpha$	7	-	<u>0,360</u>	$\alpha$	7	-	<u>0,360</u>
$\omega$	0,00535	-		$\omega$	0,004052	-	
$\acute{\omega}$	0,00405	-		$\acute{\omega}$	0,005348	-	
as	4,782609	-	$\theta_y =$	as	4,782609	-	$\theta_y =$
ps	0,004514	-		ps	0,004514	-	
v	0	-	<u>0,060</u>	v	0	-	<u>0,060</u>
max(0,01- $\omega$ )	0,01	-		max(0,01- $\omega$ )	0,01	-	
max(0,01- $\acute{\omega}$ )	0,01	-		max(0,01- $\acute{\omega}$ )	0,01	-	

Εικόνα 4 Υπολογισμός γωνιών στροφής χορδής

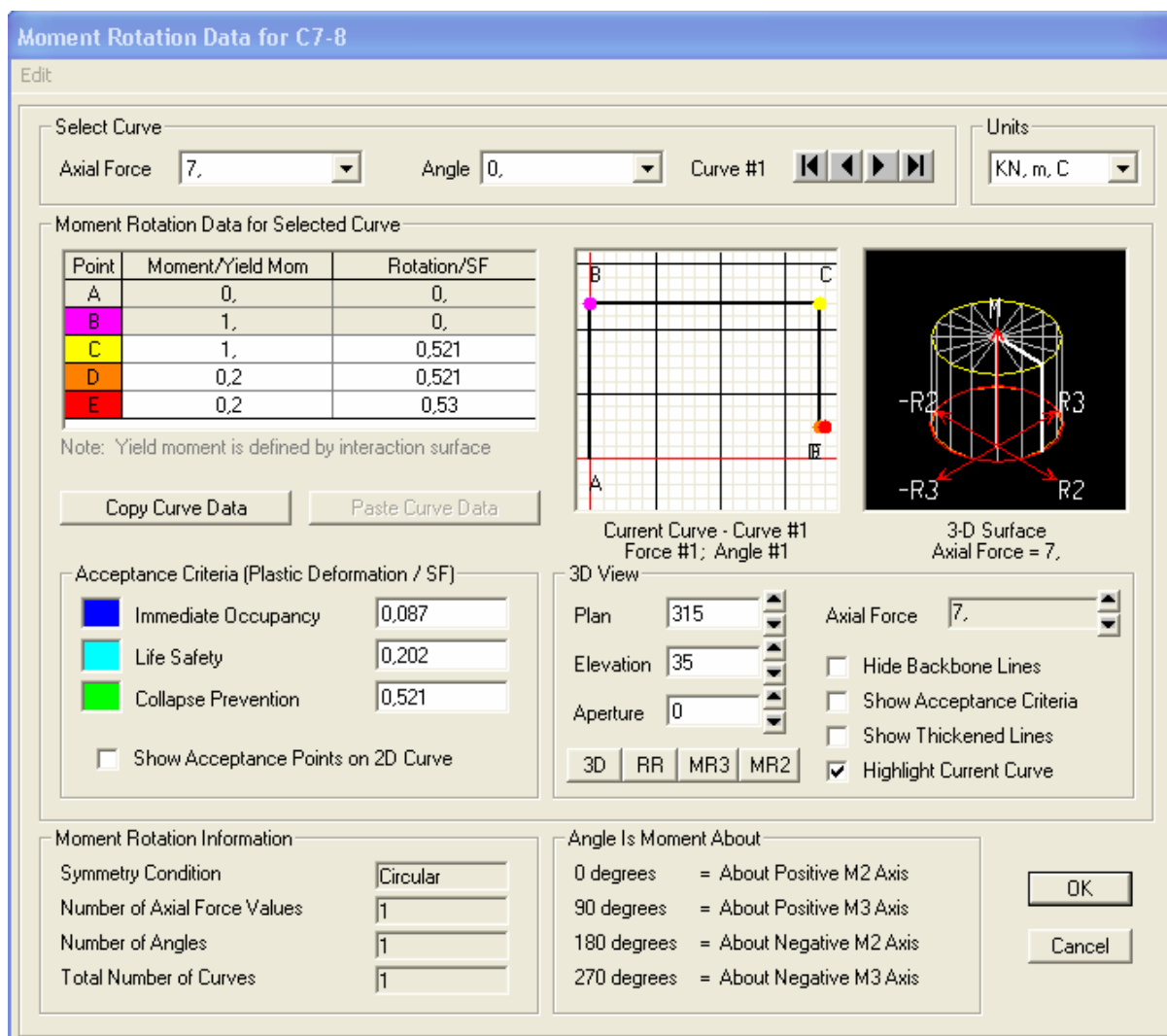
Ενδεικτικά, στην Εικόνα 5, παρουσιάζεται ο τρόπος εισαγωγής των παραπάνω δεδομένων σε μια καρτέλα του προγράμματος SAP 2000 ώστε να προκύψει το διάγραμμα ροπής – στροφής χορδής (συμπεριφορά πλαστικής άρθρωσης), για την αριστερή παρειά της δοκού Δ1.

Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., η μέση τιμή της γωνίας στροφής χορδής για στάθμη επιτελεστικότητας Β (Προστασία Ζωής), δίνεται από την ακόλουθη σχέση: 
$$\frac{1}{1.5} \frac{(\vartheta_{um} + \vartheta_y)}{2}$$



Εικόνα 5 Διάγραμμα ροπής - στροφής χορδής δοκού

3. Εισαγωγή διαγράμματος ροπής – στροφής χορδής υποστρώματος  
 Για την εισαγωγή του διαγράμματος ροπής – στροφής χορδής απαιτείται ο υπολογισμός της ροπής αντοχής στις δύο διευθύνσεις. Τοποθετώντας τον οπλισμό που προέκυψε από την ανάλυση του προγράμματος NEXT, ο υπολογισμός της ροπής αντοχής έγινε αυτόματα. Ο υπολογισμός της μέσης τιμής του πλαστικού τμήματος της μέσης γωνίας στροφής χορδής κατά την αστοχία, της μέσης τιμής της γωνίας στροφής χορδής κατά την αστοχία και της μέσης τιμής της γωνίας στροφής χορδής κατά τη διαρροή έγινε όπως στην προηγούμενη περίπτωση.



Εικόνα 6 Διάγραμμα ροπής - στροφής χορδής υποστυλώματος

#### 4. Προσομοίωση τοιχοπληρώσεων

Για την αποτίμηση, σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., λήφθηκε υπόψη η συμβολή των τοιχοπληρώσεων, προσομοιώνοντάς τις με διαγώνιους θλιπτήρες, των οποίων τα χαρακτηριστικά υπολογίστηκαν σύμφωνα με την παράγραφο 7.4.1.

Το πλάτος του θλιπτήρα, για στάθμη επιτελεστικότητας B (Προστασία Ζωής), ισούται με  $w = 0,1L$ , όπου L το μήκος της διαγώνιου του αντίστοιχου φατνώματος, ενώ το πάχος του ισούται με το πάχος της τοιχοπλήρωσης.

Η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας υπολογίστηκε από την ακόλουθη σχέση (Σ.13), ΚΑΝ.ΕΠΕ.:  $f_{wc} = k f_{bc}^{0.7} f_{mc}^{0.3}$

και το μέτρο ελαστικότητας υπολογίστηκε από την σχέση (Σ.14), ΚΑΝ.ΕΠΕ.:  $E_E = K_E f_{wc}$

#### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

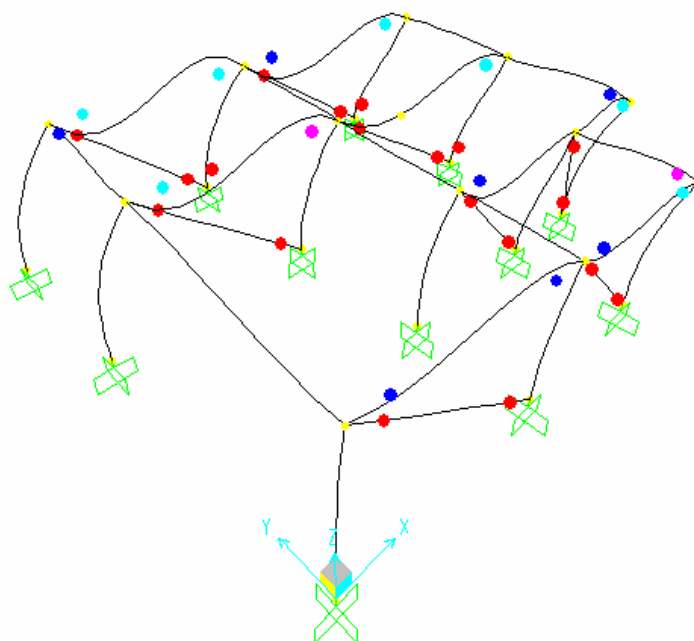
Σύμφωνα με την φιλοσοφία σχεδιασμού των σύγχρονων κατασκευών, ως επιθυμητή συμπεριφορά κατά την διάρκεια του σεισμού σχεδιασμού, είναι η δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα των δοκών, χωρίς σημαντικές βλάβες στα υποστυλώματα.

Σκοπός της στατικής ανελαστικής ανάλυσης, είναι η εύρεση των θέσεων των πλαστικών αρθρώσεων κατά τον σεισμό σχεδιασμού, ώστε να εκτιμηθεί η συμπεριφορά της κατασκευής.

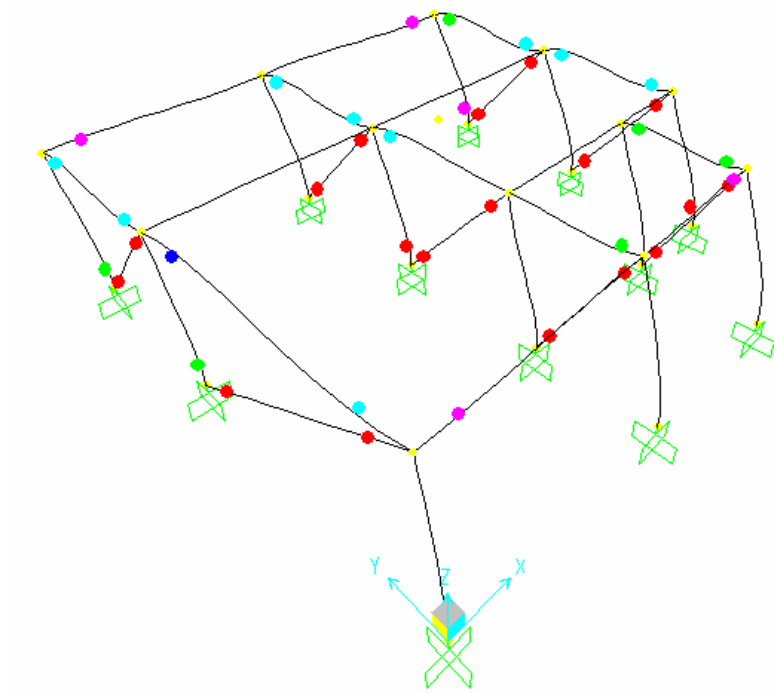


Στις παρακάτω Εικόνες (7,8,9,10) παρουσιάζεται η συμπεριφορά της κατασκευής για σεισμική διέγερση  $\pm X$  και  $\pm Y$ .

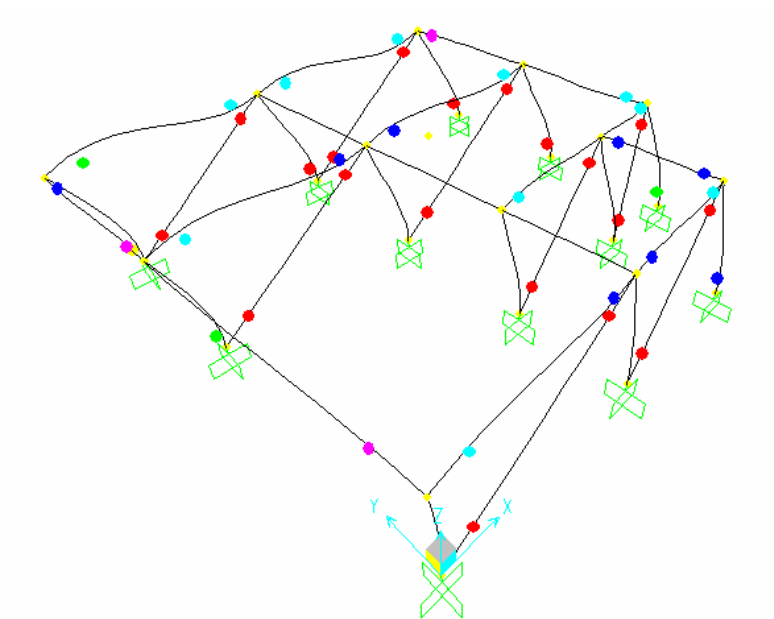
Διαρροή  
Άμεση χρήση  
Προστασία Ζωής  
Οιονεί κατάρρευση  
Όριο θραύσης  
Απώλεια φέρουσας ικανότητας



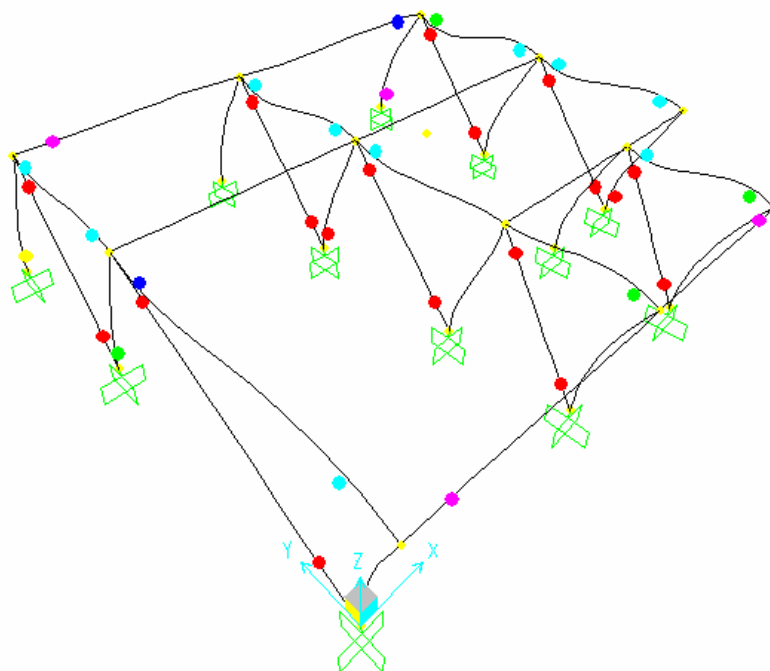
Εικόνα 7 Σεισμός κατά +X



Εικόνα 8 Σεισμός κατά +Y



Εικόνα 9 Σεισμός κατά -X



Εικόνα 10 Σεισμός κατά -Y

### ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Από τις παραπάνω εικόνες προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Αστοχία και θραύση τοιχοπληρώσεων.
- Δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων στις παρειές των δοκών και όχι των υποστυλωμάτων.
- Μηχανισμός δοκού και όχι μηχανισμός ορόφου.

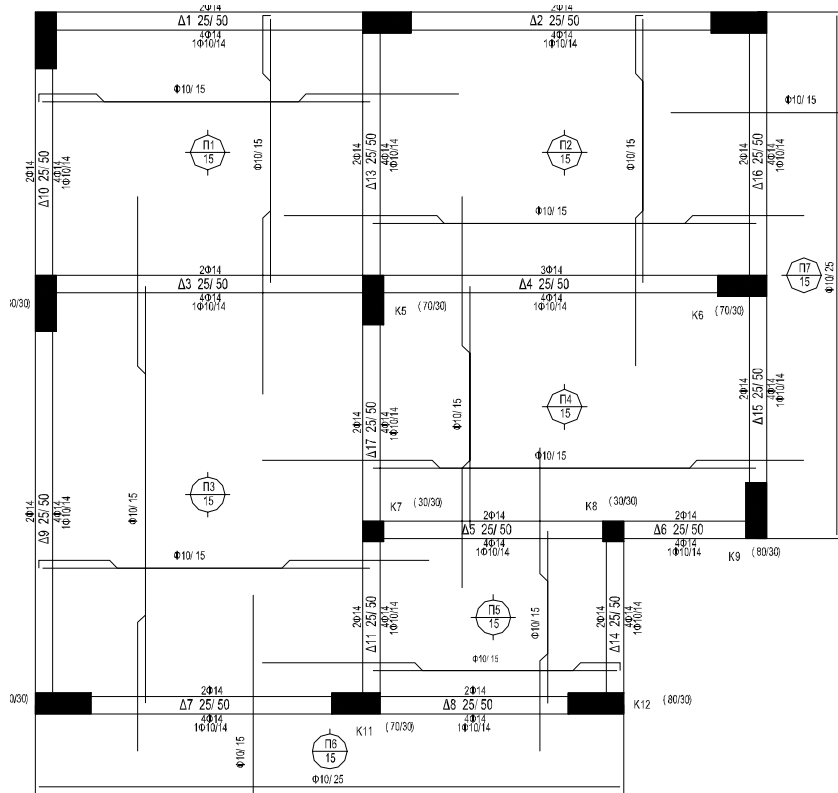
Η συμπεριφορά της κατασκευής κρίνεται επιθυμητή.

### ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΩΡΟΦΟΥ

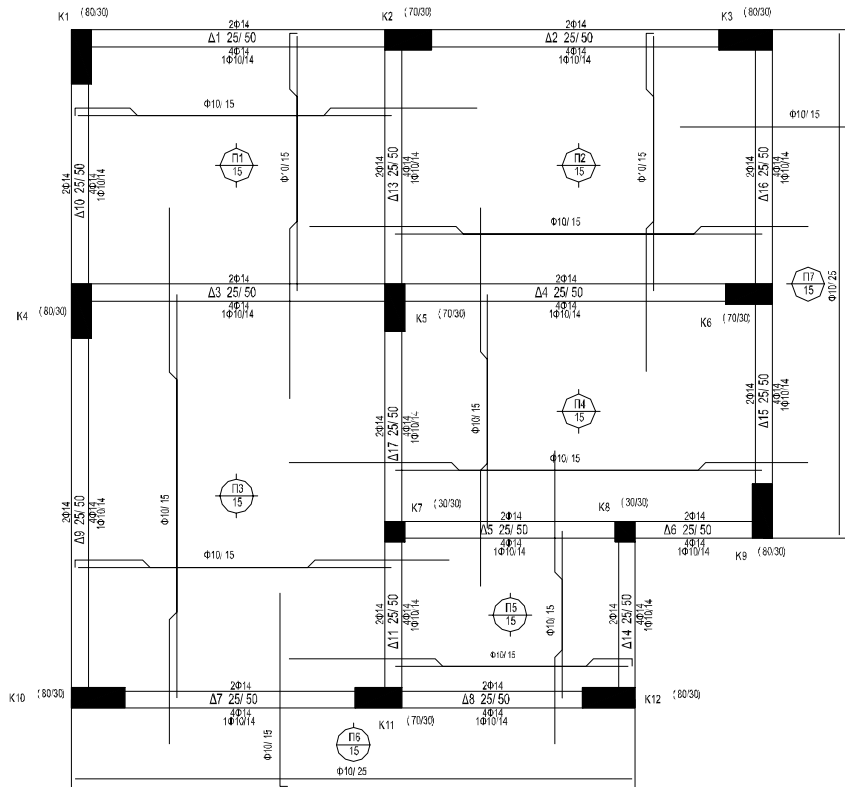
Για την ελαστική δυναμική ανάλυση του διωρόφου ισχύουν οι ίδιες παραδοχές και τα ίδια δεδομένα, με την περίπτωση του μονωρόφου.

Η κάτοψη του κάθε ορόφου παραμένει ίδια, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.

Από την δυναμική ελαστική ανάλυση προέκυψαν οι οπλισμοί πλακών και δοκών όπως παρουσιάζονται στις Εικόνες 11, 12. Οι οπλισμοί των υποστυλωμάτων και για τους δύο ορόφους προκύπτουν ίδιοι, όπως στην περίπτωση του μονωρόφου, και φαίνονται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 11 Ξυλότυπος οροφής ισογείου



Εικόνα 12 Ξυλότυπος οροφής Α ορόφου

## ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΩΡΟΦΟΥ

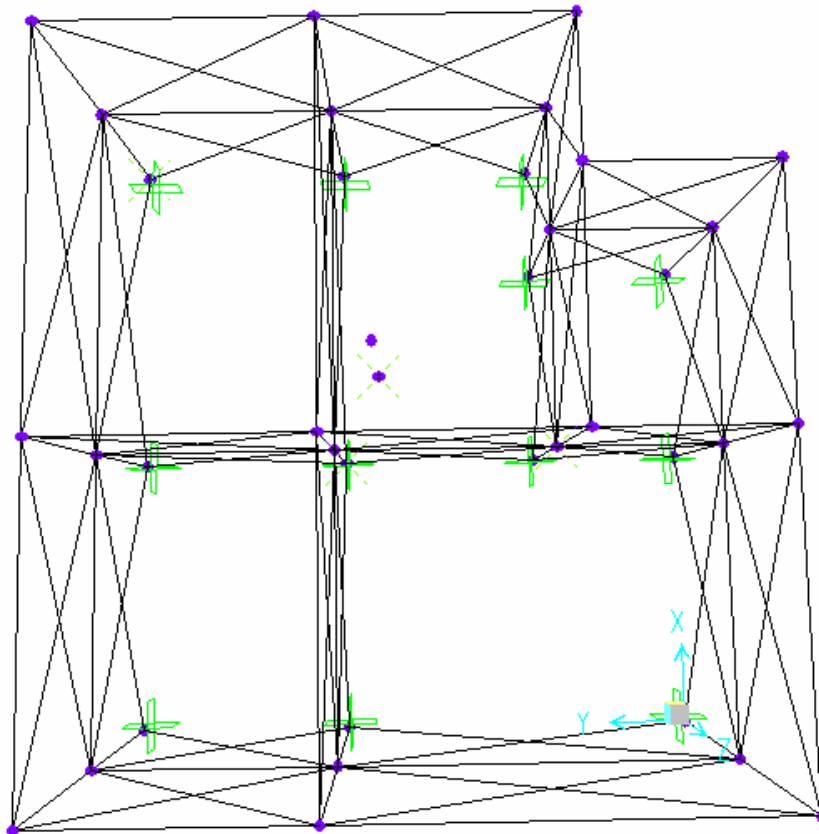
Για την ανελαστική στατική ανάλυση του διώροφου ισχύουν οι ίδιες παραδοχές και τα ίδια δεδομένα, με την περίπτωση του μονωρόφου και ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία:

### 1. Κατασκευή του φορέα

Η κατανομή των σεισμικών φορτίων καθ' ύψος έγινε σύμφωνα με τη σχέση (3.15) του

$$Ε.Α.Κ. 2000: F_i = (V_0 - V_H) \frac{m_i z_i}{\sum_j m_j z_j}$$

Τα σεισμικά φορτία εφαρμόστηκαν ως συγκεντρωμένη δύναμη στο κέντρο μάζας της πλάκας κάθε ορόφου.



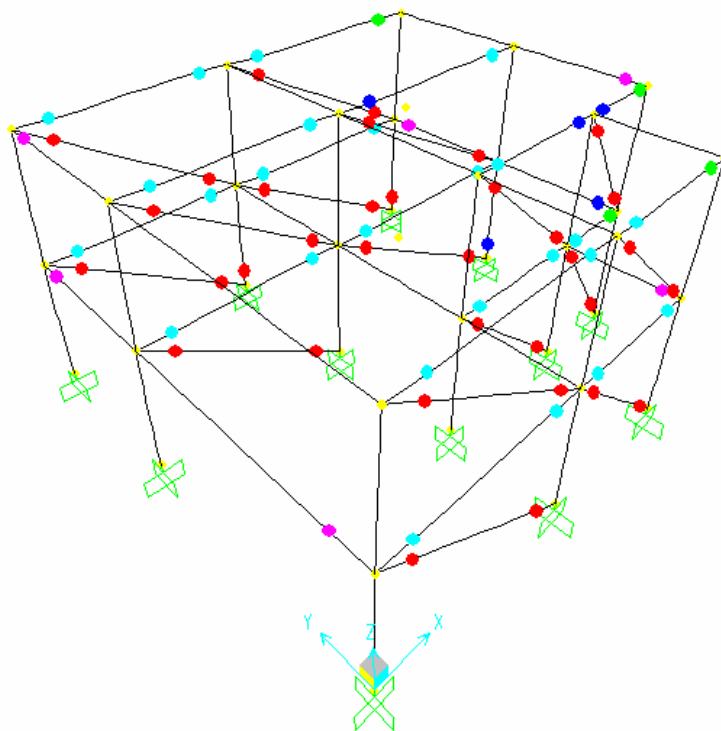
Εικόνα 13 Τρισδιάστατος φορέας και διαγώνιοι θλιπτήρες

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

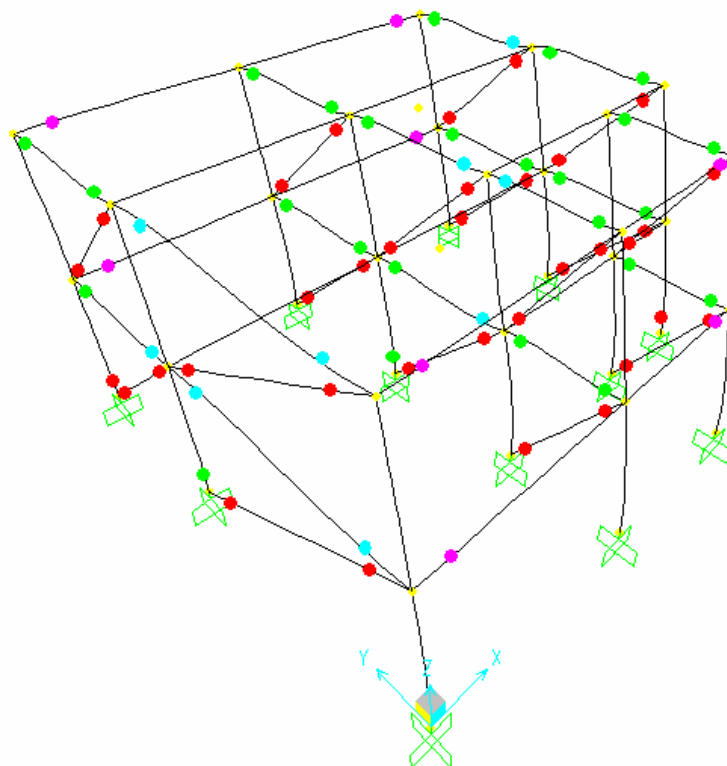
Σύμφωνα με την φιλοσοφία σχεδιασμού των σύγχρονων κατασκευών, ως επιθυμητή συμπεριφορά κατά την διάρκεια του σεισμού σχεδιασμού, είναι η δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα των δοκών, χωρίς σημαντικές βλάβες στα υποστυλώματα.

Σκοπός της στατικής ανελαστικής ανάλυσης, είναι η εύρεση των θέσεων των πλαστικών αρθρώσεων κατά τον σεισμό σχεδιασμού, ώστε να εκτιμηθεί η συμπεριφορά της κατασκευής.

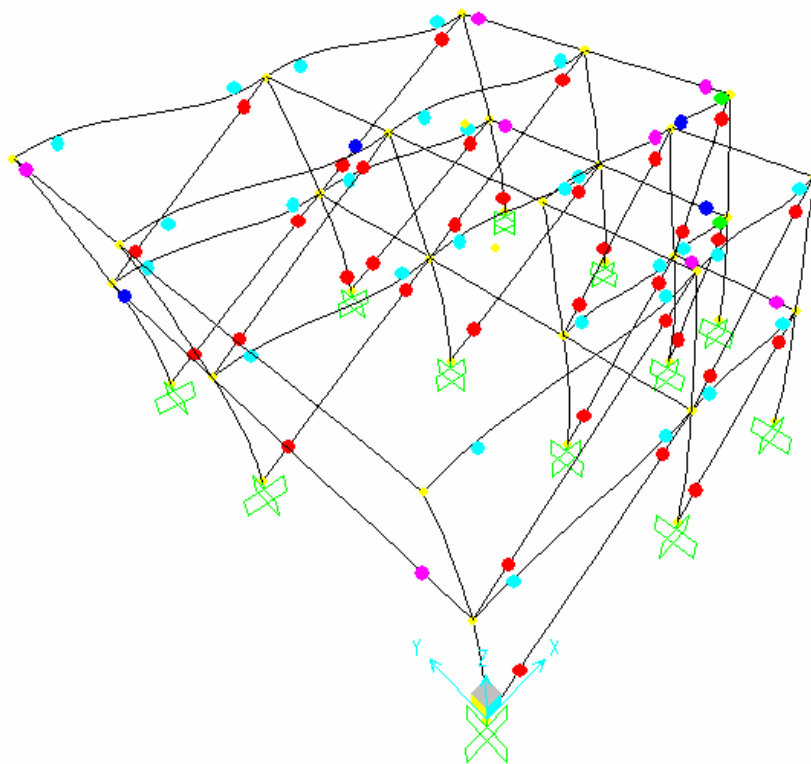
Στις παρακάτω Εικόνες (14,15,16,17) παρουσιάζεται η συμπεριφορά της κατασκευής για σεισμική διέγερση  $\pm X$  και  $\pm Y$ .



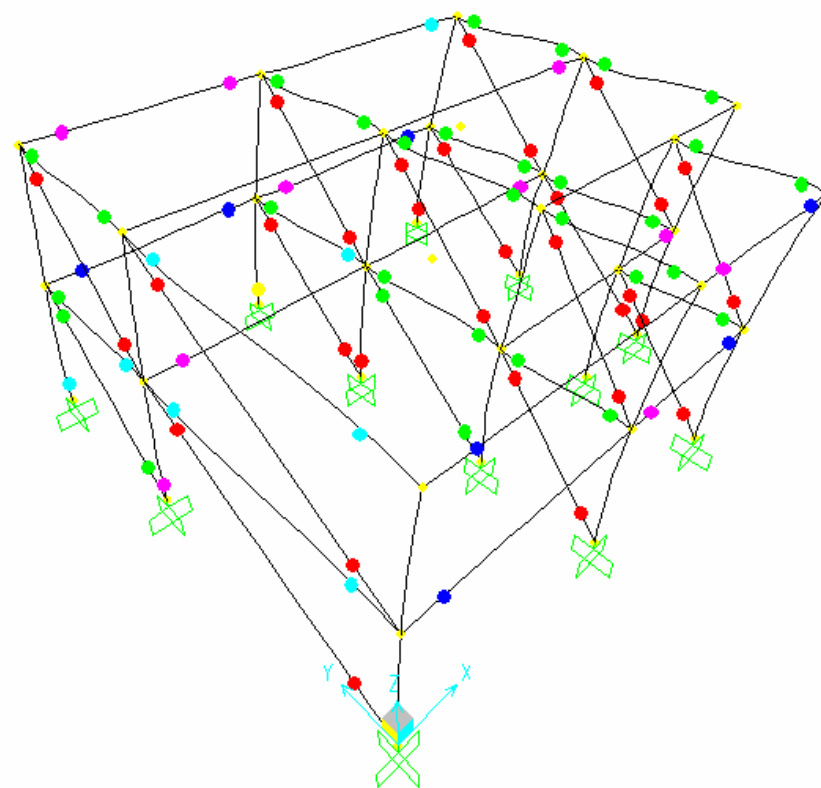
Εικόνα 14 Σεισμός κατά +X



Εικόνα 15 Σεισμός κατά +Y



Εικόνα 16 Σεισμός κατά -X



Εικόνα 17 Σεισμός κατά -Y



### **ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

Από τις παραπάνω εικόνες προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- ο Αστοχία και θραύση τοιχοπληρώσεων.
- ο Δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων στις παρειές των δοκών και όχι των υποστυλωμάτων.
- ο Μηχανισμός δοκού και όχι μηχανισμός ορόφου.

Η συμπεριφορά της κατασκευής κρίνεται επιθυμητή.

### **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] Ε.Α.Κ. 2003
- [2] Ε.Κ.Ω.Σ. 2000
- [3] ΚΑΝ.ΕΠΕ.