

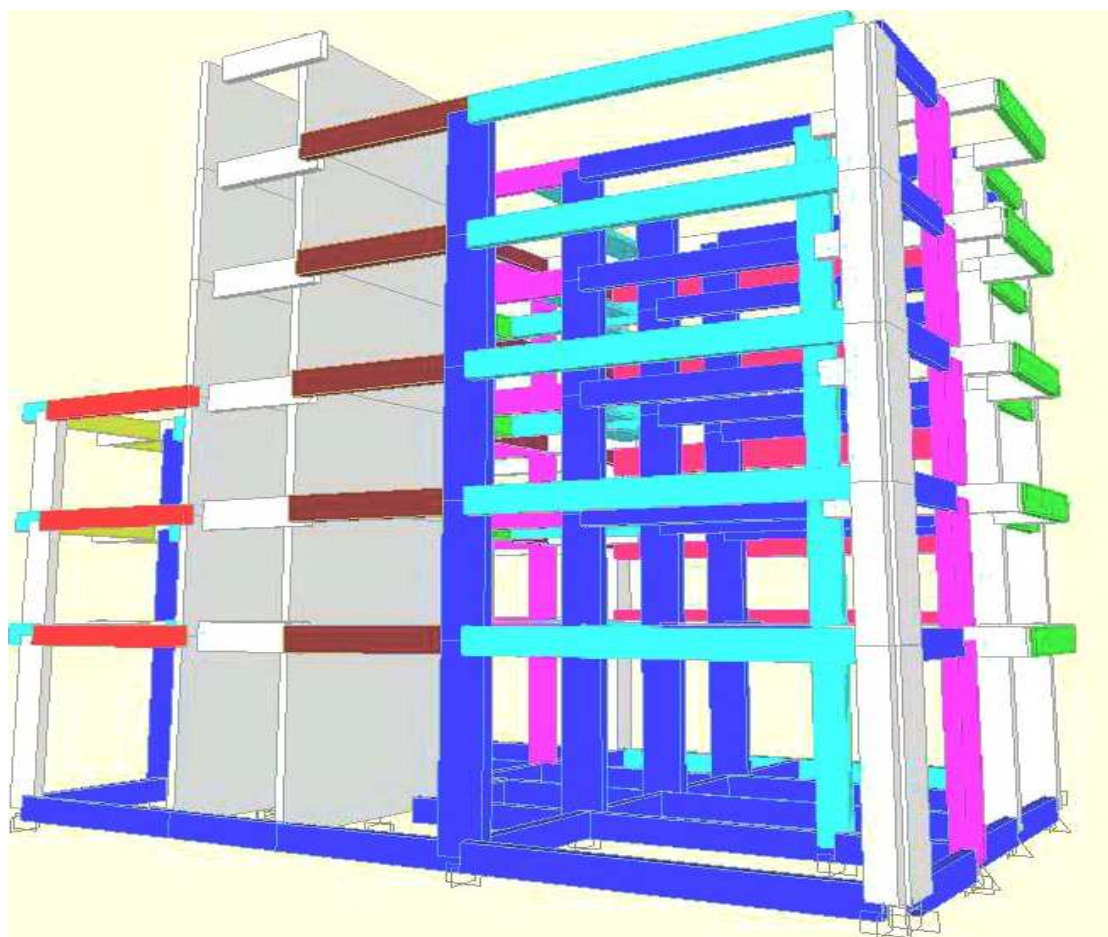


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Εργαστήριο Στατικής και Αντισεισμικών Ερευνών

Διπλωματική Εργασία

**«ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ
ΤΟΝ ΚΥΠΡΙΑΚΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟ ΚΩΔΙΚΑ»**



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΜΙΧΑΗΛ ΧΡΙΣΤΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Β. ΚΟΥΜΟΥΣΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ
ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Σ. ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ, ΔΙΔΑΚΤΟΡΑΣ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2011

Ευχαριστίες

Καταρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ακαδημαϊκούς καθηγητές οι οποίοι μου πρόσφεραν εκτός από γνώση και μαθήματα ζωής.

Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ τόσο στον επιβλέποντα καθηγητή μου, Κύριο Κουμούση Βλάση, Καθηγητή Ε.Μ.Π., για την βοήθεια, την στήριξη, την συνέπεια του καθώς και για την γνώση που μου μετέδωσε όλα αυτά τα χρόνια. Επίσης ένα τεράστιο ευχαριστώ στον συνεπιβλέποντα Κύριο Τριανταφύλλου Σάββα, Διδάκτορα Ε.Μ.Π., για την καθοριστική και ουσιαστική καθοδήγηση του στην εργασία αυτή.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της επιτροπής Κύριο Παπαδόπουλο Βησσαρίωνα, Λέκτορα Ε.Μ.Π. και τον Κύριο Λαγαρό Νικόλαο, Λέκτορα Ε.Μ.Π. για την συμμετοχή τους καθώς και για την αξιολογήση της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Ακόμα ευχαριστώ ιδιαίτερα το τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης και συγκεκριμένα την Κυρία Μορισσώ, Διευθύντρια του τμήματος, καθώς και την Κυρία Πηλείδου, Σεισμολόγο του τμήματος, για την πολύτιμη βοήθεια τους καθώς και για την χορήγηση των επιταχυνσιογραφημάτων.

Τέλος θα επιθυμούσα να αφιερώσω την εργασία αυτή αφενός σε αγαπημένους φίλους και συγγενείς, αφετέρου θα ήθελα να την αφιερώσω κυρίως στην οικογένεια μου σαν ένα μεγάλο ευχαριστώ για την αγάπη και την στήριξη τους.

*Στην αδερφή μου,
Ιωάννα.*

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την σεισμική συμπεριφορά υφιστάμενης κατασκευής με την εφαρμογή ανελαστικών στατικών και δυναμικών μεθόδων. Αυτές οι αναλύσεις θα καταδείξουν την ασφάλεια της κατασκευής ανάλογα με το επίπεδο παραμορφωσιμότητας της, στάθμες επιτελεστικότητας. Η προσομοίωση της κατασκευής καθώς και η εφαρμογή των μεθόδων πραγματοποιήθηκαν στο λογισμικό SAP 2000v14.2

Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται μία αναφορά για το αντικείμενο εργασίας όπως επίσης και μία μικρή εισαγωγή στην προσέγγιση της δυναμικής απόκρισης. Ασφαλώς και αναφέρεται το φαινόμενο του σεισμού και πώς αυτό καταπονεί τις κατασκευές, με μία σύντομη αναφορά στην εξέλιξη του αντισεισμικού σχεδιασμού.

Το 2^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει περιληπτικά τα κυριότερα σημεία που αφορούν την Δυναμική των Κατασκευών, με σχήματα, θεμελιώδεις σχέσεις και παραπομπές οι οποίες θα βοηθήσουν τον αναγνώστη σε μία γρήγορη υπενθύμιση.

Στο 3^ο κεφάλαιο και με αφορμή τα επιταχυνσιογραφήματα που μας δόθηκαν πραγματοποιήθηκε μία σύντομη διαδρομή στο σημαντικό κεφάλαιο της Τεχνικής Σεισμολογίας, όπου και αναφέρονται τα σημαντικότερα στοιχεία για τους σεισμούς, τους τρόπους διάδοσης τους και τις μεθόδους για την καταγραφή τους.

Στο 4^ο κεφάλαιο αναπτύσσεται η ιστορική γεωλογική εξέλιξη της Κύπρου. Με την ανασκόπηση αυτή μπορεί να προσδιοριστεί η υπάρχουσα γεωλογική δομή του νησιού καθώς και η τεκτονική του

δομή. Επίσης γίνεται μία αναφορά στους σεισμούς που έπληξαν το νησί.

Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η κατασκευή που πρόκειται να μελετηθεί. Αναφέρονται κάποιες γενικές πληροφορίες, ενδεικτικά κάποιες διατομές του φορέα, φορτία που δρουν στον φορέα και οι συνδυασμοί φορτίσεων για την οριακή κατάσταση αστοχίας και λειτουργικότητας.

Στο 6^ο κεφάλαιο εξετάζεται η ιδιομορφική ανάλυση με την περιγραφή της φασματικής δυναμικής μεθόδου. Γίνεται εισαγωγή του φάσματος κατά τον ΕΑΚ, ορίζονται συνδυασμοί φορτίσεων και παρουσιάζονται τα παραμορφωσιακά και εντατικά μεγέθη κάποιων προεπιλεγμένων μελών και κόμβων.

Στο 7^ο κεφάλαιο πραγματοποιείται η αναλυτική περιγραφή της Ανελαστικής στατικής ανάλυσης. Παρουσιάζεται η διαδικασία καθορισμού των σταθμών επιτελεστικότητας και αναφέρονται μέθοδοι υπολογισμού της στοχευόμενης μετατόπισης.

Στο 8^ο κεφάλαιο εφαρμόζεται η ανελαστική στατική μέθοδος. Με την ολοκλήρωση του ορισμού των ιδιοτήτων και των πιθανών θέσεων εμφάνισης των πλαστικών αρθρώσεων πραγματοποιείται η ανάλυση Pushover με έλεγχο των παραμορφώσεων. Με την ανάλυση αυτή προσδιορίστηκε η καμπύλη ικανότητας και το σημείο επιτελεστικότητας της κατασκευής.

Στο 9^ο κεφάλαιο αναφέρονται τα αποτελέσματα της Ανελαστικής δυναμικής ανάλυσης μετά την εφαρμογή τεσσάρων γραφημάτων σεισμικών γεγονότων κατά τις διευθύνσεις X και Ψ. Παρουσιάζονται ακόμα τα γραφήματα συναρτήσεως του σεισμικού γεγονότος των μελών και των κόμβων που θεωρούνται κρίσιμοι.

Στο 10⁰ κεφάλαιο αναφέρονται τα σημαντικότερα σημεία του Κυπριακού Αντισεισμικού Κανονισμού του 1991.

Στο 11⁰ κεφάλαιο γίνονται κάποιες εισηγήσεις για μελλοντική – περαιτέρω μελέτη του συγκεκριμένου φορέα.

Στο παράρτημα Α παρουσιάζεται μία αναλυτική πινακοποιημένη περιγραφή του κτιρίου και επισυνάπτονται τα σχέδια των ξυλοτύπων.

Το παράρτημα Β αποτελεί ένα βοήθημα για νέους χρήστες του λογισμικού για αυτό και παρουσιάζονται τα βήματα μόρφωσης του συγκεκριμένου φορέα στο πρόγραμμα. Επίσης σημειώνονται σημεία που θέλουν ιδιαίτερη προσοχή.

ABSTRACT

In this diploma thesis inelastic, static and dynamic methods are applied to an existing four storey building with a pilotis which was designed and constructed in 2005 according to the earthquake resistant design code of 1991. A dynamic spectral analysis was applied initially, which determined the special characteristics / features of this structure followed by an inelastic static analysis (pushover analysis) with a deformation control. This analysis indicated the possible plastic zones and provided the performance point of the building. The realistic response of the structure is achieved through the inelastic dynamic method with a time history analysis. In this cause four accelerations records were applied based on two earthquakes which occurred in Cyprus, one in Dekelia and one in Limassol, an earthquake which happened in Athens and a harmonious seismic stimulation based on a cosine function. This analysis helps to determine whether the structure is safe or not.

More specifically application of the pushover analysis yields that the structure is not likely to collapse, its strong column – weak beam concept is not fully attained for these particular earthquakes. This analysis showed that the points which yield are at the foundation of the column and reach yielding at the end aereral beams of the lower floors

During the application of the inelastic dynamic analysis and based on the acceleration response, it was evident that the structure remains stable only as far as the Cyprus earthquakes are concerned. In fact none of its critical sections reach the yielding limit. A coefficient damping of 5% was adopted in this analysis. When the coefficient damping was equal to zero only two critical sections reached the yielding limit. As for the other two causes there were

many collapses and therefore the structure is considered to be unsafe even if we take into consideration the coefficient damping of 5% or the one equal to zero.

Therefore the structure is considered to be safe. The simulation of the structure and the application of the alternative methods of analysis were performed using the software SAP2000v14.2.

Περιεχόμενα

<i>1^ο Κεφάλαιο: Εισαγωγή</i>	1
1.1 <i>Αντικείμενο εργασίας:</i>	1
1.2 <i>Εισαγωγή:</i>	3
<i>2^ο Κεφάλαιο: Δυναμική των Κατάσκευών</i>	7
2.1 <i>Εισαγωγή:</i>	7
2.2 <i>Διακριτοποίηση Φορέων:</i>	7
2.3 <i>Δυναμικά Φορτία:</i>	8
2.4 <i>Εξίσωση κίνησης από Δυναμική Φόρτιση:</i>	9
2.5 <i>Δυναμικά χαρακτηριστικά συστήματος:</i>	10
2.6 <i>Μονοβάθμιος Ταλαντωτής:</i>	12
2.7 <i>Πολυβάθμιοι Ταλαντωτές:</i>	16
2.8 <i>Φάσμα Απόκρισης:</i>	21
2.9 <i>Βιβλιογραφία:</i>	24
<i>3^ο Κεφάλαιο: Τεχνική Σεισμολογία</i>	25
3.1 <i>Αντικείμενο της Σεισμολογίας:</i>	25
3.2 <i>Όργανα Καταγραφής των σεισμών:</i>	25
3.3 <i>Εστία, Επίκεντρο και Εστιακό Βάθος:</i>	27
3.4 <i>Μέγεθος και Ενέργεια Σεισμών:</i>	27
3.5 <i>Τρόποι Γένεσης των Σεισμών:</i>	28
3.6 <i>Βιβλιογραφία:</i>	30
<i>4^ο Κεφάλαιο: Γεωλογική και Σεισμική Δομή της Κύπρου</i>	31
4.1 <i>Εισαγωγή – Γενικές πληροφορίες:</i>	31
4.2 <i>Η Γεωλογική Εξέλιξη της Κύπρου:</i>	31
4.3 <i>Η Γεωλογική Δομή της Κύπρου:</i>	33
4.4 <i>Η Σεισμικότητα της Κύπρου:</i>	34
4.5 <i>Νεοτεκτονικές Μελέτες στην Κύπρο:</i>	37
4.6 <i>Ιστορικοί Σεισμοί:</i>	40

4.7	Πηγή:	42
5 ⁰	Κεφάλαιο: Περιγραφή Κτιρίου.....	43
5.1	Γενικές Πληροφορίες:	43
5.2	Μόρφωση Φορέα:	44
5.3	Διάτομες Δομικών Στοιχείων του Φορέα:	47
5.4	Φορτία Κατάσκευής:	51
5.5	Προσομοίωση Φορέα:	52
5.6	Συνδυασμοί Φορτίσεων:	53
6 ⁰	Κεφάλαιο: Δυναμική Φασματική Μέθοδος.....	55
6.1	Εισαγωγή:	55
6.2	Μόρφωση του Φάσματος Σχεδιασμού:	56
6.3	Ιδιομορφική Ανάλυση:	59
6.4	Συνδυασμοί Σεισμικών Φορτίων:	62
6.5	Εντατικά και Παραμορφωσιακά Μεγέθη:	64
7 ⁰	Κεφάλαιο: Ανελαστική Στατική Ανάλυση.....	81
7.1	Εισαγωγή:	81
7.2	Έννοιες – Παραδοχές:	82
7.3	Στάθμες Επιτελεστικότητας:	84
7.4	Καμπύλη Αντίστασης:.....	86
7.5	Έλεγχος στοχευόμενης ικανότητας:.....	91
7.6	Εκτίμηση στοχευμένης μετακίνησης:.....	93
7.7	Βιβλιογραφία:	112
8 ⁰	Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή.....	113
8.1	Η έννοια της Πλαστικής Αρθρώσεως:	113
8.2	Προσομοίωση Συμπεριφοράς Δομικών Στοιχείων:.....	114
8.3	Ορισμός Θέσεων και Ιδιοτήτων των Πλαστικών Αρθρώσεων:	119
8.4	Εφαρμογή Ανάλυσης Pushover:	124
8.5	Αποτελέσματα Pushover Ανάλυσης κατά X:.....	127
8.6	Αποτελέσματα Pushover Ανάλυσης κατά Ψ:.....	142

9 ^ο Κεφάλαιο: <i>Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση</i>	153
9.1 <i>Εισαγωγή:</i>	153
9.2 <i>Εφαρμογή του Σεισμού της Δεκέλειας:</i>	155
9.3 <i>Εφαρμογή του σεισμού της Αθήνας:</i>	173
9.4 <i>Αρμονική Φόρτιση:</i>	194
9.5 <i>Εφαρμογή σεισμού της Λεμεσού:</i>	212
9.6 <i>Συμπεράσματα:</i>	216
10 ^ο Κεφάλαιο: <i>Ο Κυπριακός Αντισεισμικός Κανονισμός</i>	221
10.1 <i>Εισαγωγή:</i>	221
10.2 <i>Επιδιώξεις και Πεδίο Εφαρμογής:</i>	221
10.3 <i>Κριτήρια υπολογισμού:</i>	222
10.4 <i>Μέθοδοι Υπολογισμού:</i>	224
10.5 <i>Βιβλιογραφία:</i>	228
11 ^ο Κεφάλαιο: <i>Περαιτέρω Μελέτη</i>	229
11.1 <i>Εισαγωγή:</i>	229
11.2 <i>Εισηγήσεις:</i>	229
Παραρτήματα A και B:.....	233
A. <i>Παράρτημα A: Αναλυτική περιγραφή Κτιρίου.</i>	233
B. <i>Παράρτημα B: Διαδικασία Προσομοίωσης:</i>	243

1⁰ Κεφάλαιο: Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο εργασίας:

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η ανελαστική στατική, «pushover analysis», και η ανελαστική δυναμική ανάλυση, «Non-linear Dynamic Analysis», σε υφιστάμενη κατασκευή από την Κύπρο.

Επίσης παρουσιάσθηκαν τα κυριότερα σημεία του κυπριακού αντισεισμικού κανονισμού, κείμενο του 1991, το οποίο και συντάχθηκε με την βοήθεια του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και του Imperial College του Λονδίνου.

Όλες οι αναλύσεις καθώς και η προσομοίωση του φορέα διενεργήθηκαν στο πρόγραμμα SAP 2000 V14.2 (Computers and Structures Inc).

Συγκεκριμένα η εν λόγω κατασκευή είναι μία τετραώροφη πολυκατοικία με πλοτί στο ισόγειο. Βρίσκεται στην περιοχή της Λευκωσίας και πρόκειται για μία καινούρια κατασκευή η οποία μελετήθηκε το 2005. Ο φέρων οργανισμός της είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα.

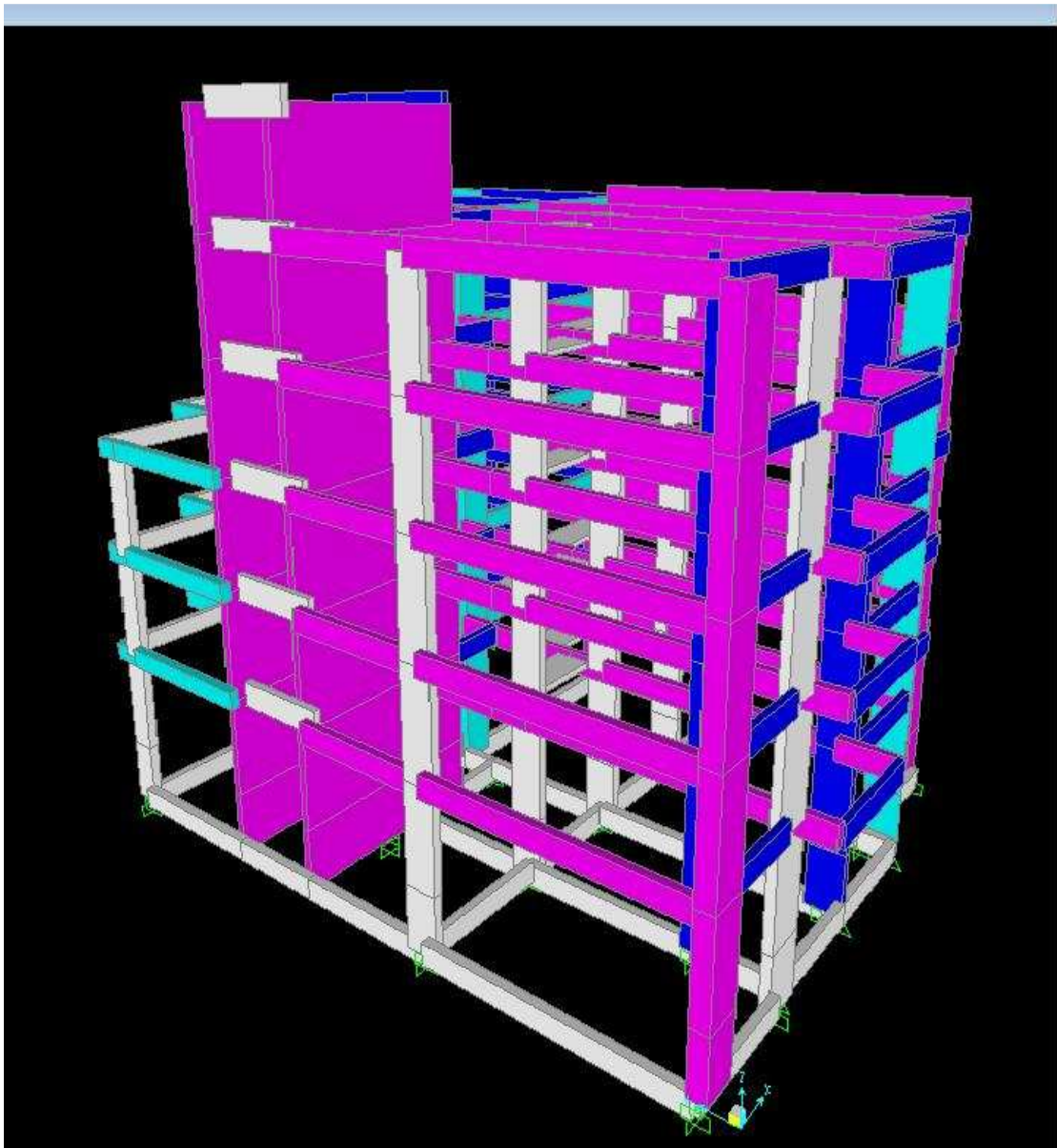
Για την ρεαλιστικότερη απεικόνιση της σεισμικής συμπεριφοράς της κατασκευής, χορηγήθηκαν από το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης της Κύπρου τιμές επιταχυνσιογραφημάτων από δύο πρόσφατα σεισμικά γεγονότα που συνέβηκαν στο νησί.

1^ο Κεφάλαιο: Εισαγωγή

Συγκεκριμένα μελετήθηκε η συμπεριφορά της κατασκευής στα εξής γεγονότα

- 1) Στον σεισμό της Δεκέλειας (15/10/2006)
- 2) Στον σεισμό της Λεμεσού (12/01/2005)
- 3) Στον σεισμό της Αθήνας (07/09/1999)
- 4) Σε αρμονική διέγερση.

Σημείωση: οι σεισμοί της Δεκέλειας και της Λεμεσού προέρχονται από τον Κυπριακό χώρο.



Σχήμα 1.1.1: Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατασκευής.

Στο προηγούμενο σχήμα παρουσιάστηκε μία γενική τρισδιάστατη απεικόνιση του κτιρίου μετά από την προσομοίωση του.

1.2 Εισαγωγή:

Αφενός για την διαστασιολόγηση των διατομών ενός φορέα γίνεται χρήση των στατικών μεθόδων ανάλυσης και συγκεκριμένα διενεργούνται οι συνδυασμοί φορτίσεων σε οριακή κατάσταση αστοχίας και σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας. Αφετέρου δε το πρόβλημα της δυναμικής συμπεριφοράς της κατασκευής δεν μπορεί να προσεγγισθεί με την χρήση των στατικών μεθόδων ανάλυσης.

Για την ρεαλιστικότερη προσέγγιση της δυναμικής απόκρισης μίας κατασκευής θα πρέπει τόσο η σεισμική διέγερση όσο και τα χαρακτηριστικά της να προσομοιωθούν με τον καλύτερο τρόπο, αφού ο δυναμικός χαρακτήρας της κατασκευής είναι άμεσα εξαρτημένος με την σεισμική διέγερση.

Γενικά ο σεισμός αποτελεί μία επιβεβλημένη μετακίνηση στη θεμελίωση του φορέα και τον 'αναγκάζει' να ταλαντωθεί. Όμως η μελέτη της σεισμικής συμπεριφοράς δεν επικεντρώνεται αποκλειστικά στην θεμελίωση αλλά στο ακόλουθο σύστημα : έδαφος – θεμελίωση – ανωδομή .

Το έδαφος μεταφέρει την ενέργεια που απελευθερώνεται από το ρήγμα στην επιφάνεια του εδάφους είτε αυξημένη είτε απομειωμένη.

Η θεμελίωση δέχεται αυτή την επιβεβλημένη μετακίνηση και τη μεταφέρει στην ανωδομή αναγκάζοντας τη κατασκευή να ακολουθήσει την κίνηση των εδαφικών σημείων επαφής.

Η ανωδομή λόγω της μάζας και σε συνάρτηση με την επιβολή της επιτάχυνσης στα σημεία της αναπτύσσει αδρανειακές δυνάμεις και

ροπές. Αποτέλεσμα των αδρανειακών αυτών δυνάμεων είναι η ύπαρξη σχετικών παραμορφώσεων των μελών του φορέα.

Η κίνηση της κατασκευής στην εξαναγκασμένη ταλάντωση, μέσω της θεμελίωσης, φορτίζει το έδαφος με μία προσθετή δυναμική φόρτιση, μία αντιταλάντωση.

Οι καταστροφικοί σεισμοί που συνέβηκαν στο παρελθόν οδήγησαν στην αύξηση της έρευνας στον κλάδο της αντισεισμικής μηχανικής.

Σύγχρονες αντιλήψεις σε συνδυασμό με την εξέλιξη των δομικών υλικών και των υπολογιστικών προσομοιωμάτων βρήκαν εφαρμογή στην ακριβέστερη προσέγγιση της συμπεριφοράς των δομικών υλικών και συνεπώς την ακριβέστερη διαστασιολόγηση τους.

Νέες παράμετροι εισήχθηκαν έτσι ώστε να μπορούν τα κτίρια να χαρακτηρισθούν ως ασφαλή. Ο ορισμός της πλαστιμότητας εκφράζει το πόσο μία κατασκευή μπορεί να παραμορφωθεί ανελαστικά πέραν του ορίου διαρροής με ταυτόχρονη κατανάλωση της ενέργειας.

Η ακριβής εκτίμηση της αντοχής και της σεισμικής συμπεριφοράς των κτιρίων επιτυγχάνεται με τη εφαρμογή διαδικασιών που στηρίζονται σε ανελαστικές μεθόδους ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα στην ανελαστική στατική και στην ανελαστική δυναμική ανάλυση.

Κατά την ανελαστική φάση της απόκρισης τους η συμπεριφορά των δομικών μελών περιγράφεται μέσω διαγραμμάτων έντασης – παραμόρφωσης και οι έλεγχοι ασφάλειας γίνονται σε όρους παραμορφώσεων. Έτσι η ικανότητα ενός φορέα εκτιμάται με μεγαλύτερη ακρίβεια με την αποφυγή της εφαρμογής των κλασσικών μεθόδων ανάλυσης, αφού εξετάζουν την συμπεριφορά της κατασκευής μέχρι να αρχίσουν οι ζημιές (ελαστική απόκριση).

1^ο Κεφάλαιο: Εισαγωγή

Για την επίτευξη του βέλτιστου συνδυασμού ασφάλειας και οικονομίας εφαρμόζεται ο αντισεισμικός σχεδιασμός με τις στάθμες επιτελεστικότητας. Ο σχεδιασμός αυτός βασίζεται στην αρχή του καθορισμού αποδεκτού επιπέδου ζημιών (στάθμης επιτελεστικότητας) ανάλογα με την πιθανότητα εμφάνισης της σεισμικής δόνησης σχεδιασμού.

Κανονιστικά πρότυπα που αναφέρουν τις σύγχρονες διαδικασίες ανάλυσης είναι τα Αμερικάνικα ATC – 40 και FEMA 356, ο Ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) και μέρος του Ευρωκώδικα 8.

2^ο Κεφάλαιο: Δυναμική των Κατάσκευών

2.1 Εισαγωγή:

Κάθε κατασκευή καταπονείται στο σύνολο της από δυναμικά φορτία. Τα φορτία αυτά προέρχονται είτε από δυναμικά φαινόμενα είτε από τα μόνιμα ή από τα κινητά φορτία που δρουν στην κατασκευή. Παρακάτω παρατίθενται οι ουσιώδεις διαφορές μεταξύ της στατικής φόρτισης, θεωρείται υποπερίπτωση της δυναμικής φόρτισης, και της δυναμικής φόρτισης.

Στη στατική φόρτιση τα φορτία θεωρούνται σταθερά και τόσο η ένταση όσο και η παραμόρφωση που αναπτύσσεται είναι επίσης σταθερή. Ενώ στη δυναμική φόρτιση τα φορτία μεταβάλλονται συναρτήσει του χρόνου, δηλαδή το μέγεθος, η διεύθυνση και η θέση τους. Ακόμα η ανάπτυξη αδρανειακών δυνάμεων είναι άμεση συνέπεια ύπαρξης της μάζας του φορέα σε συνάρτηση με τις αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις των σημείων του.

Τελικά αντικείμενο της Δυναμικής Ανάλυσης των Κατασκευών είναι ο προσδιορισμός της εντατικής κατάστασης και της παραμόρφωσης μίας κατασκευής όταν αυτή υποβάλλεται σε δυναμική φόρτιση.

2.2 Διακριτοποίηση Φορέων:

Στην πραγματικότητα κάθε κατασκευή είναι ένα άπειρο σύστημα βαθμών ελευθερίας, το οποίο περιλαμβάνει μετακινήσεις και στροφές στο επίπεδο ή στον χώρο. Η πιο βασική τεχνική απλοποίησης του υπό μελέτη φορέα είναι η παραδοχή συγκεντρωμένων μαζών, σύμφωνα με την οποία η διανεμημένη μάζα του πραγματικού συστήματος

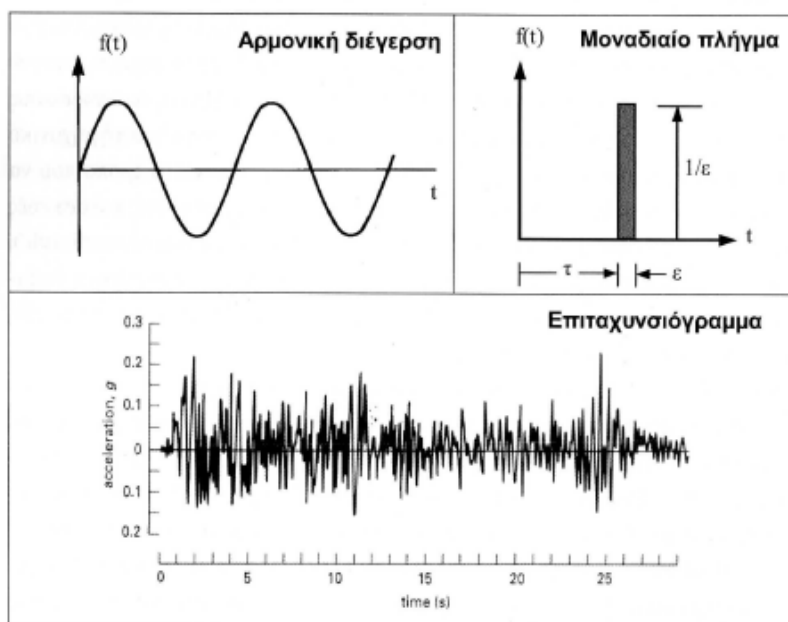
θεωρείται ότι δρα σε κάποια επιλεγμένα σημεία, κυρίως κόμβους. Επίσης μία άλλη μέθοδος υποβιβασμού του αριθμού των βαθμών ελευθερίας είναι η παράλειψη των ψευδοδυναμικών βαθμών ελευθερίας. Αφού είναι προφανές ότι το μέγεθος των αδρανειακών εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος της επιτάχυνσης. Όταν οι αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις είναι μικρές, τότε η φόρτιση που οφείλεται στις αδρανειακές δυνάμεις είναι επίσης μικρή και συνεπώς μπορεί να παραλειφθεί.

2.3 Δυναμικά Φορτία:

Φυσικά φαινόμενα όπως σεισμοί ή τυφώνες, μπορεί να έχουν καταστροφικές συνέπειες για το δομημένο περιβάλλον. Όμως και δυναμικά φορτία που προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες, (όπως: κίνηση μηχανών, έκρηξη, κίνηση οχημάτων κλπ), ενδέχεται να δημιουργήσουν προβλήματα λειτουργικότητας εξαιτίας της δυσμενούς επίδρασης τους σε ανθρώπους και εξοπλισμό.

Τα δυναμικά φορτία χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Στα αιτιοκρατικά ή ντετερμινιστικά φορτία και στα τυχαία ή στοχαστικά φορτία.

Ο σεισμός αποτελεί μία επιβεβλημένη μετακίνηση στη θεμελίωση της κατασκευής, η οποία οφείλεται σε μία ισχυρή κίνηση του εδάφους και μπορεί να αναχθεί σε ισοδύναμο δυναμικό φορτίο όταν είναι γνωστό το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού.



Σχήμα 2.3.1: Κατηγορίες Δυναμικών Διεγέρσεων.

2.4 Εξίσωση κίνησης από Δυναμική Φόρτιση:

Οι διαφορικές εξισώσεις που διέπουν την κίνηση των δυναμικών συστημάτων μπορούν να προκύψουν με διαφορετικούς τρόπους, καταλήγοντας πάντα στο ίδιο αποτέλεσμα.

Οι τρόποι μόρφωσης των εξισώσεων κινήσεως είναι οι εξής:

- (α) με την αρχή D'Alembert,
- (β) με την αρχή των δυνατών έργων,
- (γ) με την αρχή του Hamilton και
- (δ) με τις εξισώσεις Lagrange.

Η εξίσωση κινήσεως εκφράζει την δυναμική ισορροπία του συστήματος και είναι διαφορική εξίσωση δευτέρας τάξης ως προς τη άγνωστη εξαρτημένη μεταβλητή $u(t)$.

Η επίλυση της εξίσωσης δίνει την μετατόπιση του συστήματος συναρτήσει του χρόνου. Για τα πολυβάθμια συστήματα διατυπώνονται τόσες εξισώσεις κίνησης όσοι και οι βαθμοί ελευθερίας της κίνησης.

Ως δυναμικά βέλη αναφέρονται οι συνιστώσες μετακινήσεως του κινούμενου συστήματος (μεταφορικές ή στροφικές).

2.5 Δυναμικά χαρακτηριστικά συστήματος:

Τα δυναμικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος είναι: η μάζα του, m , η δυσκαμψία του, k , η απόσβεση του, c , και η εξωτερική φόρτιση $P(t)$.

Για να υπάρξει ταλάντωση ενός συστήματος, είτε αυτό είναι μονοβάθμιο είτε είναι πολυβάθμιο, θα πρέπει μία από τις πιο κάτω συνθήκες να είναι αληθής.

- a) Να υπάρχει διέγερση του συστήματος από μία εξωτερική δύναμη.
- b) Κάποια από τις αρχικές συνθήκες του να έχει μη μηδενική τιμή, δηλαδή να υπάρχει ή αρχική μετατόπιση ή αρχική ταχύτητα στο σύστημα.
- c) Να συμβαίνουν οι παραπάνω συνθήκες ταυτόχρονα.

Ελεύθερη ταλάντωση εκτελεί ένα σύστημα μόνο και μόνο όταν σε αυτό δεν επενεργεί εξωτερική φόρτιση αλλά όταν κάποια από τις αρχικές του συνθήκες έχει τιμή διάφορη του μηδέν.

Εξαναγκασμένη ταλάντωση εκτελεί οποιοδήποτε σύστημα εάν και εφόσον σ' αυτό επιβάλλεται μία εξωτερική δύναμη.

Παραδοχή:

Για όλες τις παρακάτω περιπτώσεις που θα αναφερθούν θα υποθεθεί ότι ο λόγος απόσβεσης ξ είναι: $0 < \xi < 1$, επομένως το σύστημα να έχει υποκρίσιμη απόσβεση. Για λόγους πληρότητας αναφέρονται όλοι οι τύποι απόσβεσης, ανάλογα με την τιμή του ξ .

- ο Για $\xi=0$, χωρίς απόσβεση.

2^ο Κεφάλαιο: Δυναμική των Κατασκευών

- ο Για $0 < \xi < 1$, υποκρίσιμη απόσβεση.
- ο Για $\xi = 1$, κρίσιμη απόσβεση.
- ο Για $\xi > 1$, υπερκρίσιμη απόσβεση.

Βασικοί Ορισμοί:

T: ορίζεται ως η ιδιοπερίοδος της κατασκευής, είναι χαρακτηριστικό της κατασκευής και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (2.5.1)$$

ω : είναι η ιδιοσυχνότητα της κατασκευής και συνδέεται με την ιδιοπερίοδο βάσει της σχέσης:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.5.2)$$

ω_D : καλείται η ιδιοπερίοδος της κατασκευής με απόσβεση και υπολογίζεται από την σχέση:

$$\omega_D = \omega\sqrt{1-\xi^2} \quad (2.5.3)$$

$\bar{\omega}$: είναι η ιδιοπερίοδος της φόρτισης.

Λόγος απόκρισης R(t): ορίζεται ο λόγος του δυναμικού βέλους ως προς το στατικό βέλος. Πρόκειται για ένα αδιάστατο μέγεθος το οποίο υποδεικνύει το ποσοστό λάθους στη μελέτη εάν χρησιμοποιηθεί μόνο το στατικό βέλος.

$$R(t) = \frac{u(t)}{u_{\sigma\tau}} \quad (2.5.4)$$

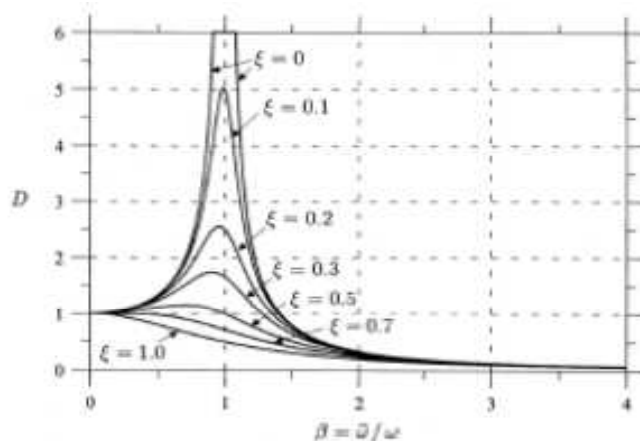
Δυναμικός συντελεστής μεγέθυνσης, D: πρόκειται για την μέγιστη απόλυτη τιμή του λόγου αποκρίσεως. Η μεγάλη χρησιμότητα του

είναι στο ότι για μία δεδομένη φόρτιση προσδιορίζονται πλήρως οι ακραίες καταστάσεις παραμόρφωσης και έντασης της κατασκευής.

$$D = |\max R(t)| \quad (2.5.5)$$

β : είναι ο λόγος της ιδιοσυχνότητας φόρτισης προς την ιδιοσυχνότητα της κατασκευής. Όπου όταν ο συντελεστής β λάβει την τιμή 1 παρουσιάζεται το φαινόμενο του συντονισμού, αφού οι δύο ιδιοσυχνότητες ταυτίζονται.

$$\beta = \frac{\bar{\omega}}{\omega} \quad (2.5.6)$$



Σχήμα 2.5.1: Γραφική παράσταση της συνάρτησης $D(\beta, \xi)$.

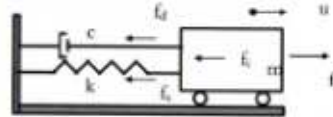
2.6 Μονοβάθμιος Ταλαντωτής:

Πρόκειται για το απλούστερο δυναμικό προσομοίωμα, αφού διαθέτει μόνο ένα βαθμό ελευθερίας. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση του είναι επεκτάσιμα και στην γενική περίπτωση των πολυβάθμιων συστημάτων.

Η θεμελιώδης διαφορική εξίσωση κίνησης του μονοβάθμιου συστήματος είναι η εξής: $m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = P(t)$

Όπου:

- m : είναι η μάζα του συστήματος
- c : είναι η απόσβεση του συστήματος και δίνεται από την σχέση: $c = 2m\omega\xi$
- k : είναι η ακαμψία του συστήματος και δίνεται από την σχέση: $k = \omega^2 m$



Σχήμα 2.6.1: Προσομοίωμα Μονοβάθμιου συστήματος.

Ελεύθερη Ταλάντωση:

Για την περίπτωση αυτή η διαφορική εξίσωση κίνησης είναι:

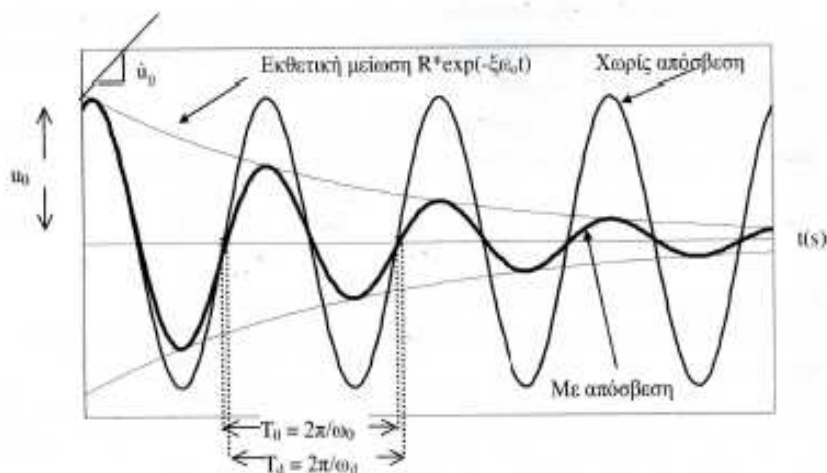
$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = 0.$$

Οπότε για να υπάρξει ελεύθερη ταλάντωση θα πρέπει το σύστημα να διαθέτει είτε αρχική μετατόπιση, είτε αρχική ταχύτητα ή και τις δυο αρχικές συνθήκες μη μηδενικές.

Το δυναμικό βέλος για την γενικότερη περίπτωση, $0 < \xi < 1$, δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$u(t) = e^{-\xi\omega t} \left[\frac{\dot{u}_0 + u_0\xi\omega}{\omega_D} \sin(\omega_D t) + \dot{u}_0 \cos(\omega_D t) \right] \quad (2.6.1)$$

Σημείωση: ο εκθετικός όρος της πιο πάνω εξίσωσης μηδενίζει γρήγορα την αρχική μετατόπιση, δηλαδή παράγει μία γρήγορη απόσβεση.



Σχήμα 2.6.2: Γραφικά η επιρροή του εκθετικού όρου

Εξαναγκασμένη ταλάντωση:

Στην περίπτωση αυτή η διαφορική εξίσωση κίνησης είναι:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = P(t)$$

Ακολουθώς μελετάται η γενικότερη περίπτωση, κατά την οποία οι αρχικές συνθήκες είναι διάφορες του μηδέν και η εξωτερική διέγερση είναι τυχούσα.

Το δυναμικό βέλος για την περίπτωση προκύπτει:

$$u(t) = e^{-\xi\omega t} \left[\frac{\dot{u}_0 + u_0 \xi \omega}{\omega_D} \sin(\omega_D t) + u_0 \cos(\omega_D t) \right] + \frac{1}{m\omega_D} \int_0^t P(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin[\omega_D(t-\tau)] d\tau \quad (2.6.2)$$

Παρατηρείται πως το πρώτο μέλος της ισότητας ταυτίζεται με το αποτέλεσμα της γενικής περίπτωσης στην ελεύθερη ταλάντωση, δηλαδή εκφράζει την επιρροή των αρχικών συνθηκών. Το δεύτερο μέλος αποτελεί την εξωτερική φόρτιση και πρόκειται για το ολοκλήρωμα Duhamel.

Σημείωση: Η λύση της διαφορικής εξίσωσης κίνησης αποτελείται από το άθροισμα της ομογενούς λύσης - ελεύθερη ταλάντωση λόγω αρχικών συνθηκών - και της μη ομογενούς λύσης - λόγω εξωτερικής φόρτισης - κατά την οποία απουσιάζουν οι αρχικές συνθήκες. Οι

αρχικές συνθήκες εφαρμόζονται στην τελική λύση, δηλαδή εφαρμόζονται και στην ομογενή και στη μη ομογενή λύση.

Ταλάντωση με φόρτιση πλήγματος:

Εδώ αναφέρονται κάποιες εφαρμογές του ολοκληρώματος Duhamel, που είναι χαρακτηριστικές μορφές δυναμικής φόρτισης. Στα πλήγματα εξαιτίας της μικρής τους διάρκειας σε σύγκριση με την ιδιοπερίοδο του συστήματος, αγνοείται η ύπαρξη της απόσβεσης. Αυτό οφείλεται στο ότι η μέγιστη τιμή της απόκρισης του συστήματος από το πλήγμα παρουσιάζεται γρήγορα με άμεση συνέπεια να μην προλαβαίνουν να αναπτυχθούν οι μηχανισμοί απόσβεσης.

- ο Πλήγμα ορθογωνικής μορφής.
- ο Πλήγμα τριγωνικής μορφής.
- ο Τριγωνικό πλήγμα με ανιόντα και κατιόντα κλάδο.

Επίσης περιπτώσεις των παραπάνω είναι η σταθερή φόρτιση και η στατική φόρτιση, που φυσικά δεν θεωρούνται πλήγματα αφού έχουν μεγάλη διάρκεια.

Σημείωση: στις περιπτώσεις των πληγμάτων, της σταθερής και της στατικής φόρτισης για την επίλυση τους γίνεται αναλυτικός υπολογισμός του ολοκληρώματος Duhamel.

Αριθμητική ολοκλήρωση εξίσωσης κίνησης: (αναφορά των μεθόδων)

- i. Μέθοδος Κεντρικών Διαφορών (Central Difference Method)
- ii. Μέθοδος Μέσης Επιτάχυνσης ή Μέθοδος Newmark
- iii. Μέθοδος της Αναλογικής Εξίσωσης (Analog Equation Method)

2.7 Πολυβάθμιοι Ταλαντωτές:

Στα πολυβάθμια συστήματα οι βαθμοί ελευθερίας ελέγχονται στην πλάκα αφού οι μάζες είναι συγκεντρωμένες εκεί. Επίσης λόγω της παραδοχής συγκεντρωμένων μαζών υπάρχει δέσμευση των μετακινήσεων και στροφών περί τον κατακόρυφο άξονα, συνεπώς οι βαθμοί ελευθερίας της πλάκας είναι τρεις.

Η διαφορική εξίσωση κίνησης που χαρακτηρίζει ένα πολυβάθμιο σύστημα, γραμμένο σε μητρωϊκή μορφή, είναι:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{P(t)\} \quad (2.7.1)$$

Όπου τα μητρώα μάζας, απόσβεσης και δυσκαμψίας είναι τετραγωνικά με διαστάσεις $3n * 3n$ (n είναι ο αριθμός των ορόφων της κατασκευής). Ενώ τα μητρώα επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετατόπισης και εξωτερικής φόρτισης είναι μητρώα στήλη με διαστάσεις $3n * 1$.

Φυσική ερμηνεία:

K_{ij} : είναι ο κάθε όρος του μητρώου δυσκαμψίας και εκφράζει το τι δύναμη πρέπει να ασκηθεί κατά τον βαθμό i για να αναπτυχθεί μοναδιαία και μοναδική μετατόπιση κατά τον βαθμό j .

C_{ij} : είναι ο κάθε όρος του μητρώου απόσβεσης και εκφράζει το τι δύναμη απόσβεσης πρέπει να ασκηθεί κατά τον βαθμό i για να αναπτυχθεί μοναδιαία και μοναδική ταχύτητα κατά τον βαθμό j .

M_{ij} : είναι ο κάθε όρος του μητρώου μάζας και εκφράζει το τι αδρανειακή δύναμη πρέπει να ασκηθεί κατά τον βαθμό i για να αναπτυχθεί μοναδιαία και μοναδική επιτάχυνση κατά τον βαθμό j .

2^ο Κεφάλαιο: Δυναμική των Κατασκευών

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο μητρώο αυτό οι μη διαγώνιοι όροι του είναι μηδενικοί, δηλαδή για $i \neq j$, αφού πρόκειται για ένα διακριτό σύστημα κατά το οποίο ενεργοποιείται πάντα μία μόνο μετατόπιση και οι μάζες δεν συνδέονται μεταξύ τους.

Κανονικοποίηση κανονικών μορφών ταλάντωσης:

Εφόσον το μητρώο μάζας και το μητρώο δυσκαμψίας έχουν μορφωθεί για το πολυβάθμιο σύστημα, μπορούν μέσω της ακόλουθης σχέσης να υπολογισθούν οι ιδιοσυχνότητες ταλάντωσης, ω_i^2 :

$$\det([K] - \omega_i^2 [M]) = 0 \quad (2.7.2)$$

Ακολουθως από την επόμενη σχέση υπολογίζεται το μητρώο ιδιοδιανυσμάτων ή ιδιομορφών ταλάντωσης $[\beta]$, το οποίο μορφώνεται N φορές· μία για κάθε ω_i^2 .

$$[k - \omega_i^2 m][\beta] = 0 \quad (2.7.3)$$

Τέλος το μητρώο κανονικών μορφών $[\Phi]$ προκύπτει με κανονικοποίηση των ιδιομορφών ταλάντωσης, η οποία γίνεται με τους εξής δύο τρόπους:

- 1^{ος} Τρόπος: με κανονικοποίηση ως προς την μέγιστη απόλυτη τιμή του μητρώου $[\beta]$, συνεπώς στο μητρώο $[\Phi]$ η μέγιστη τιμή θα είναι η μονάδα. Αυτό βοηθά στην εποπτεία των αποτελεσμάτων και στη καλύτερη κατανόηση για το που καταπονείται περισσότερο η κατασκευή.

$$\underline{\varphi}_i = \begin{bmatrix} \varphi_{1i} \\ \varphi_{2i} \\ \cdot \\ \cdot \\ \varphi_{Ni} \end{bmatrix} = \frac{1}{\max \beta_{ki}} \begin{bmatrix} 1 \\ \beta_{2i} \\ \cdot \\ \cdot \\ \beta_{Ni} \end{bmatrix} \Rightarrow [\Phi] = \begin{bmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} & \cdot & \cdot & \Phi_{1N} \\ \Phi_{21} & \Phi_{22} & \cdot & \cdot & \Phi_{2N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \Phi_{N1} & \Phi_{N2} & \cdot & \cdot & \Phi_{NN} \end{bmatrix} \quad (2.7.4)$$

- 2^οΣ Τρόπος: με κανονικοποίηση ως προς το μητρώο μάζας. Με τον τρόπο αυτό το γενικευμένο μητρώο μάζας θα έχει τιμή ίση με μονάδα. Η μέθοδος αυτή απλοποιεί τις πράξεις και έχει μεγάλη χρησιμότητα σε περιπτώσεις όπου η απόσβεση λαμβάνεται υπόψη.

$$\Phi_i = \frac{\beta_i}{\sqrt{\beta_i^T \underline{M} \beta_i}} \quad (2.7.5)$$

Ορθογωνικότητα ιδιομορφών:

Η σπουδαιότερη ιδιότητα των πολυβάθμιων συστημάτων είναι η ορθογωνικότητα των ιδιομορφών ως προς τα μητρώα μάζας και δυσκαμψίας. Η ιδιότητα αυτή εκφράζεται με τις αντίστοιχες σχέσεις:

$$\Phi_N^T \underline{M} \Phi_i = 0 \text{ και } \Phi_N^T \underline{K} \Phi_i = 0 \text{ για } N \neq i$$

Για $N=N$ προκύπτουν τα γενικευμένα μητρώα μάζας και δυσκαμψίας, τα οποία είναι διαγώνια και η σχέση τους δίνεται ακολούθως.

$$\underline{M}_N = \Phi_N^T \underline{M} \Phi_N \text{ και } \underline{K}_N = \Phi_N^T \underline{K} \Phi_N$$

Με την εφαρμογή της ιδιότητας αυτής αποζεύχθηκε το συζευγμένο σύστημα εξισώσεων του πολυβάθμιου συστήματος (N εξισώσεις), σε N γενικευμένα μονοβάθμια συστήματα των οποίων η γενική τους λύση είναι γνωστή.

Ελεύθερη ταλάντωση:

Καταρχάς θα πρέπει να σημειωθεί ότι το δυναμικό βέλος εκφράζεται μέσω μίας χωροχρονικής συνάρτησης η οποία είναι η εξής: $u(t) = \Phi Y(t)$

Για την περίπτωση αυτή η διαφορική εξίσωση κίνησης γίνεται:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\} \quad (2.7.6)$$

Η λύση της οποίας δίνεται παρακάτω:

$$Y_n(t) = e^{-\xi_n \omega_n t} \left[\frac{\dot{Y}_n(0) + Y_n(0) \xi_n \omega_n}{\omega_{Dn}} \sin(\omega_{Dn} t) + Y_n(0) \cos(\omega_{Dn} t) \right] \quad (2.7.7)$$

$$\Rightarrow u(t) = \sum_{n=1}^N \Phi_n Y_n(t) \quad (2.7.8)$$

Εξαναγκασμένη ταλάντωση:

Η διαφορική εξίσωση κίνησης για την συγκεκριμένη περίπτωση είναι:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{P(t)\} \quad (2.7.9)$$

Για την λύση του πιο πάνω προβλήματος μπορεί να εφαρμοστεί μία από τις ακόλουθες τέσσερις μεθόδους,

1. Μέθοδος επαλληλίας των ιδιομορφών.
2. Η μέθοδος του φάσματος απόκρισης.
3. Η άμεση αριθμητική ολοκλήρωση των εξισώσεων κίνησης.
4. Η ανάλυση στο πεδίο των συχνοτήτων.

Στις μεθόδους της επαλληλίας των ιδιομορφών και του φάσματος απόκρισης χρειάζεται να γίνει πρώτα ο προσδιορισμός των

ιδιοσυχνοτήτων και ιδιομορφών, ο οποίος και αναπτύχθηκε. Η άμεση αριθμητική ολοκλήρωση των εξισώσεων κίνησης είναι μία εξολοκλήρου αριθμητική μέθοδος και η ανάλυση στο πεδίο των συχνοτήτων απαιτεί τον υπολογισμό μετασχηματισμών Fourier καθώς και των αντιστρόφων τους.

Ακολουθώς δίνεται η γενική λύση για τυχούσα φόρτιση, με μη μηδενικές αρχικές συνθήκες και για λόγο απόσβεσης $0 < \xi < 1$.

$$\ddot{Y}_n + 2\xi_n \omega_n \dot{Y}_n + \omega_n^2 Y_n = \frac{P_n(t)}{M_n} \quad (2.7.10)$$

$$\Rightarrow Y_n(t) = e^{-\xi_n \omega_n t} \left[\frac{\dot{Y}_n(0) + Y_n(0) \xi_n \omega_n}{\omega_{Dn}} \sin(\omega_{Dn} t) + Y_n(0) \cos(\omega_{Dn} t) \right] + \frac{1}{M_n \omega_{Dn}} \int_0^t P_n(\tau) e^{-\xi_n \omega_n (t-\tau)} \sin[\omega_{Dn} (t-\tau)] d\tau \quad (2.7.11)$$

Επίσης οι αρχικές συνθήκες δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$Y_n(0) = \frac{\Phi_n^T M u(0)}{M_n} \quad \text{και} \quad \dot{Y}_n(0) = \frac{\Phi_n^T M \dot{u}(0)}{M_n} \quad \text{για } n = 1, 2, \dots, N$$

Το μητρώο απόσβεσης αν και δεν εμφανίζεται στη λύση, μπορεί να χρειαστεί να μορφωθεί γιατί ενδέχεται σε μία εξαναγκασμένη ταλάντωση να απαιτείται κατά βήμα ολοκλήρωση. Λόγω της δυσκολίας μόρφωσης του εν λόγω μητρώου φτιάχνεται το λεγόμενο αναλογικό μητρώο απόσβεσης από το οποίο και απαιτείται να πληροί τη συνθήκη ορθογωνικότητας ως προς τις κανονικές μορφές ταλάντωσης, αφού τα μητρώα μάζας και δυσκαμψίας την ικανοποιούν.

Ένα αναλογικό μητρώο απόσβεσης μπορεί να μορφωθεί μ'έναν από τους ακόλουθους τρόπους:

1. Βάσει του Rayleigh, όπου υπάρχουν τρεις περιπτώσεις.
2. Βάσει του Caughey.
3. Βάσει των ιδιομορφών ταλάντωσης.

Φυσικά θα πρέπει να ισχύουν τα πιο κάτω:

$$\begin{aligned} \Phi_n^T C \Phi_i &= 0, \\ \Phi_n^T C \Phi_n &= C_n \end{aligned} \quad \text{και} \quad C_n = 2\omega_n \xi_n M_n$$

2.8 Φάσμα Απόκρισης:

Είναι η περιβάλλουσα της συμπεριφοράς μονοβάθμιων ταλαντωτών, για συγκεκριμένη σεισμική διέγερση, ιδιοπερίοδο και απόσβεση. Η περιβάλλουσα αυτή παρουσιάζει τη μέγιστη απόκριση κάθε μονοβάθμιου ταλαντωτή στα δεδομένα χαρακτηριστικά. Από το επιταχυνσιογράφημα μπορεί να μορφωθεί το φάσμα απόκρισης. Επίσης η απόκριση ενός ταλαντωτή προκύπτει από την επίλυση του ολοκληρώματος Duhamel.

Διακρίνονται φάσματα ολικών επιταχύνσεων, SA(T,ζ), σχετικών ταχυτήτων, SV(T,ζ) και σχετικών μετακινήσεων, SD(T,ζ). Επίσης μπορούν να ορισθούν και άλλα με σχετιζόμενες παραμέτρους με τα τρία παραπάνω βασικά είδη φασμάτων.

Στον οριζόντιο άξονα τοποθετείται η ιδιοπερίοδος, T, και στον κατακόρυφο κάποια από τις παραμέτρους οι οποίες προαναφέρθηκαν.

Κρίνεται σκόπιμο για λόγους σύγκρισης να κατασκευάζονται στο ίδιο διάγραμμα φάσματα απόκρισης με διαφορετικό λόγο απόσβεσης, αφού οι τιμές των φασματικών μεγεθών μειώνονται με την αύξηση του λόγου απόσβεσης.

Γενικά για $\zeta < 20\%$, ισχύει:

$$SA \cong PSA = \omega^2 * SD \quad (2.8.1)$$

$$SV \cong PSV = \omega * SD \quad (2.8.2)$$

Όπου PSA (Pseudo Spectral Acceleration): ψευδοφασματική επιτάχυνση, και

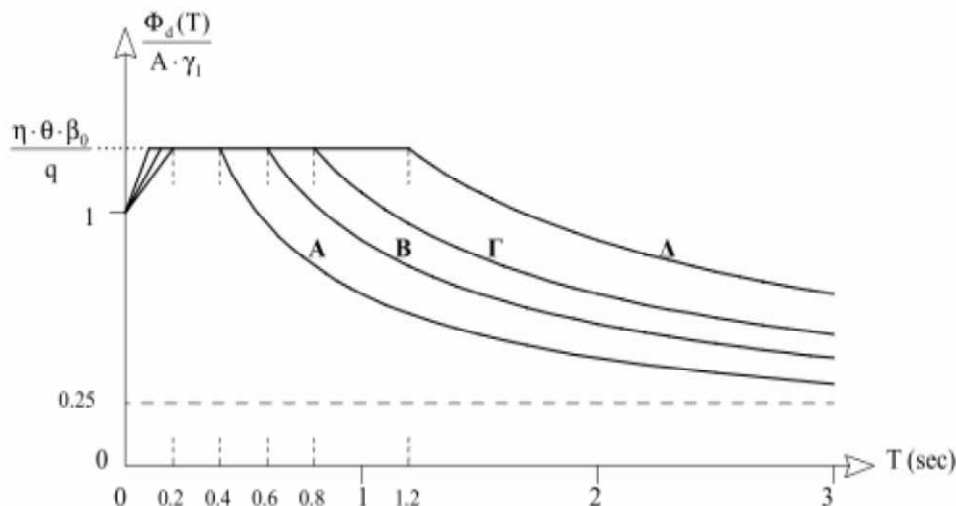
PSV (Pseudo Spectral Velocity): ψευδοφασματική ταχύτητα

Στον αντισεισμικό υπολογισμό των κατασκευών χρησιμοποιούνται φάσματα απόκρισης τα οποία έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία έτσι ώστε να λαμβάνουν υπόψη κάποιες παραμέτρους της σεισμικής δόνησης. Φυσικά προκύπτουν και από την ανάλυση της σεισμικής επικινδυνότητας σε συνδυασμό με τα κριτήρια σχεδιασμού.

Το ελαστικό φάσμα επιτάχυνσης Φ_e , δεν αντιστοιχεί σε κάποια πραγματική δόνηση αφού είναι αποτέλεσμα στατιστικής επεξεργασίας πολλών σεισμικών δονήσεων και ομαλοποίησης της τελικής φασματικής γραμμής. Το συγκεκριμένο φάσμα χρησιμοποιείται μόνο στην περίπτωση ελαστικής συμπεριφοράς της κατασκευής και όταν η απόκριση υπολογίζεται με την δυναμική φασματική μέθοδο.

Με τον όρο σεισμική απόκριση εννοείται γενικά η ένταση και η μετακίνηση που προκύπτει σε κάποιο σημείο του συστήματος από την σεισμική δόνηση του εδάφους.

Για τον υπολογισμό της σεισμικής απόκρισης χρησιμοποιείται η “ισοδύναμη” γραμμική ανάλυση με ταυτόχρονη χρήση του κατάλληλου φάσματος σχεδιασμού και του αντίστοιχου συντελεστή συμπεριφοράς. Το φάσμα σχεδιασμού σύμφωνα με τον ΕΑΚ είναι το ακόλουθο:



Σχήμα 2.8.1: Φάσμα σχεδιασμού: $\frac{\Phi_d(T)}{A \cdot \gamma_1}$ [Σχεδίαση για

$$\frac{n^* \theta^* \beta_0}{q} = 2,5 / 2,0]$$

Η σύνδεση μεταξύ ελαστικού και ανελαστικού φάσματος επιτυγχάνεται κυρίως μέσω ενός συντελεστή συμπεριφοράς, q , ο οποίος όταν λάβει τιμή ίση με μονάδα τότε προκύπτει το ελαστικό φάσμα. Ο συντελεστής συμπεριφοράς έχει καθοριστική σημασία στην ανελαστική απόκριση καθώς δηλώνει πόσες φορές μικρότερο είναι το σεισμικό φορτίο σχεδιασμού από το φορτίο που θα αναπτυσσόταν από ένα απείρως ελαστικό σύστημα. Εξαρτάται κυρίως από την υπεραντοχή και την διαθέσιμη πλαστιμότητα. Συνεπώς όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς που χρησιμοποιείται στον αντισεισμικό σχεδιασμό, τόσο περισσότερο επιτρέπεται στη κατασκευή να παραμορφωθεί πέραν του ορίου ελαστικότητας.

Το σεισμικό φορτίο, μέχρι το οποίο σχεδιάζεται η κατασκευή να συμπεριφερθεί ελαστικά προσδιορίζεται από το φάσμα σχεδιασμού. Όμως λόγω της υπεραντοχής η κατασκευή θα συμπεριφερθεί ελαστικά για μεγαλύτερο φορτίο.

2.9 Βιβλιογραφία:

- ✓ Ι.Θ.Κατσικαδέλης «Δυναμική των Κατασκευών» Τόμος Ι
- ✓ Ι.Θ.Κατσικαδέλης «Δυναμική των Κατασκευών» Τόμος ΙΙ
- ✓ ANIL K. Chopra «Δυναμική των Κατασκευών» Θεωρία και Εφαρμογές στην Σεισμική Μηχανική
- ✓ Π.Καρύδης «Σημειώσεις Αντισεισμικής Τεχνολογίας» Εκδόσεις Ε.Μ.Π
- ✓ Δ.Παπασταματίου, Ι.Ψυχάρης «Βοηθητικές Σημειώσεις Αντισεισμικής Τεχνολογίας» Εκδόσεις Ε.Μ.Π
- ✓ Κ.Αναστασιάδη «Αντισεισμικές Κατασκευές Ι»
- ✓ Vitelmo V.Bertero – Yousef Bozorgia «Earthquake Engineering»

3^ο Κεφάλαιο: Τεχνική Σεισμολογία

3.1 Αντικείμενο της Σεισμολογίας:

Σεισμοί είναι οι εδαφικές δονήσεις οι οποίες γεννιούνται από τις διαταράξεις της μηχανικής ισορροπίας των γήινων πετρωμάτων.

Η μηχανική ενέργεια που απελευθερώνεται στις θέσεις αυτές διαδίδεται με την μορφή κυμάτων, τα λεγόμενα σεισμικά κύματα. Τα σεισμικά κύματα εκδηλώνονται με δονήσεις του εδάφους.

Η σεισμολογία μελετά τα σεισμικά κύματα τα οποία υπάγονται στην κατηγορία των ελαστικών κυμάτων.

3.2 Όργανα Καταγραφής των σεισμών:

Η κίνηση του εδάφους μπορεί να διακριθεί σε μετάθεση, περιστροφή και παραμόρφωση. Συνεπώς για την πλήρη καταγραφή της σεισμικής κίνησης χρειάζονται τρία είδη σεισμικών οργάνων. Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον το συγκεντρώνει η μετάθεση, καθώς και τα παράγωγα μεγέθη της ως προς τον χρόνο.

Η καταγραφή της σεισμικής κίνησης επιτυγχάνεται με τους σειсмоγράφους. Το σειсмоγράφημα που λαμβάνεται γίνεται είτε με γραφίδα πάνω σε αιθαλωμένη ταινία είτε με φωτεινή κηλίδα πάνω σε φωτογραφική ταινία.

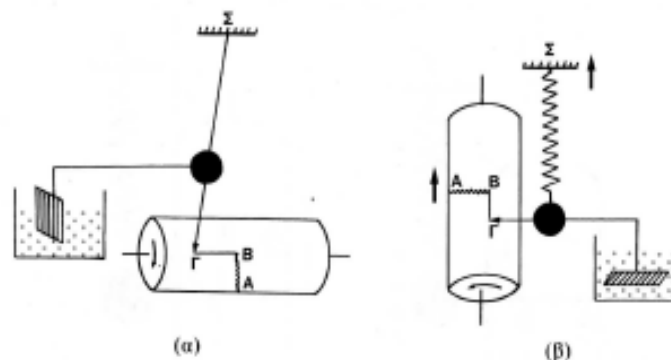
Ο σειсмоγράφος αποτελείται από τα εξής τρία μέρη: το εκκρεμές, το σύστημα ενίσχυσης και το σύστημα αναγραφής.

Συγκεκριμένα το εκκρεμές είναι το μέρος του σειсмоγράφου που αμέσως αποκρίνεται στην εδαφική κίνηση και η κίνηση του επηρεάζεται αφενός από το πλάτος της ταλάντωσης και αφετέρου από τον λόγο της περιόδου της κίνησης ως προς την ιδιοπερίοδο του εκκρεμούς.

Το σύστημα ενίσχυσης συνδέεται με το εκκρεμές τα οποία μαζί με την γραφίδα μεγεθύνουν την κίνηση κατά ένα σταθερό παράγοντα, ο οποίος καλείται στατική μεγέθυνση. Όλο αυτό το σύστημα αποτελεί το σύστημα ενίσχυσης.

Για την διάκριση των διαφόρων καταγραφών από σεισμικά κύματα, η ταινία καταγραφής τυλίγεται σε κύλινδρο ο οποίος περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ενώ συγχρόνως μετακινείται κατά την διεύθυνση του άξονα του.

Τα επιταχυνσιόμετρα δίνουν σειсмоγραφήματα τα οποία ορίζουν την σεισμική επιτάχυνση σε συνάρτηση με το χρόνο. Τα επιταχυνσιόμετρα τοποθετούνται συνήθως μέσα σε κτίρια και ενεργοποιούνται με την κατάλληλη διέγερση στην αρχή του σεισμού και καταγράφουν την προκαλούμενη επιτάχυνση από τον σεισμό.



Σχήμα 3.2.1: Αρχή λειτουργίας οριζόντιο (α) και κατακόρυφο (β) σεισμόμετρου

3.3 Εστία, Επίκεντρο και Εστιακό Βάθος:

Η πηγή ενός σεισμού κατανέμεται γύρω από ένα σημείο, από το οποίο τα σεισμικά κύματα ξεκινούν το ταξίδι τους. Το σημείο αυτό καλείται εστία και συνήθως αποτελεί το σημείο από το οποίο ξεκίνησε η διάρρηξη στο ρήγμα.

Η θέση της εστίας είναι γνωστή ως υπόκεντρο και η προβολή της στην επιφάνεια της γης ορίζει το επίκεντρο. Επίσης εστιακό βάθος λέγεται η απόσταση μεταξύ της εστίας ενός σεισμού και του επίκεντρου του.

3.4 Μέγεθος και Ενέργεια Σεισμών:

Ο σεισμός είναι αποτέλεσμα απελευθέρωσης ενέργειας η οποία είχε συσσωρευτεί στο σειсмоγόνο χώρο του με τη μορφή ενέργειας παραμόρφωσης των πετρωμάτων. Η ενέργεια αυτή μετατρέπεται σε κυματική.

Μέτρο της εκλυόμενης ενέργειας κατά την διάρκεια του σεισμού είναι το έργο που παράγεται κατά την ολίσθηση του ρήγματος. Το μέτρο αυτό καλείται σεισμική ροπή και ορίζεται ως το γινόμενο του εμβαδού ρηγμάτωσης επί την ολίσθηση του ρήγματος επί το μέτρο διάτμησης του υλικού του φλοιού.

$$M_0 = G * L * W * \delta \quad (3.4.1)$$

Όπου : G μέτρο διάτμησης του υλικού του φλοιού

L μήκος ρηγμάτωσης

W πλάτος ρηγμάτωσης

δ ολίσθηση ρήγματος

μονάδες [kNm].

Το μέγεθος της σεισμικής ροπής προκύπτει από την σεισμική ροπή, μέσω της σχέσης:

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_0 - 6 \quad (3.4.2)$$

Επίσης εκτός από το σεισμικό μέγεθος, M_w , χρησιμοποιούνται και τα ακόλουθα είδη σεισμικών μεγεθών.

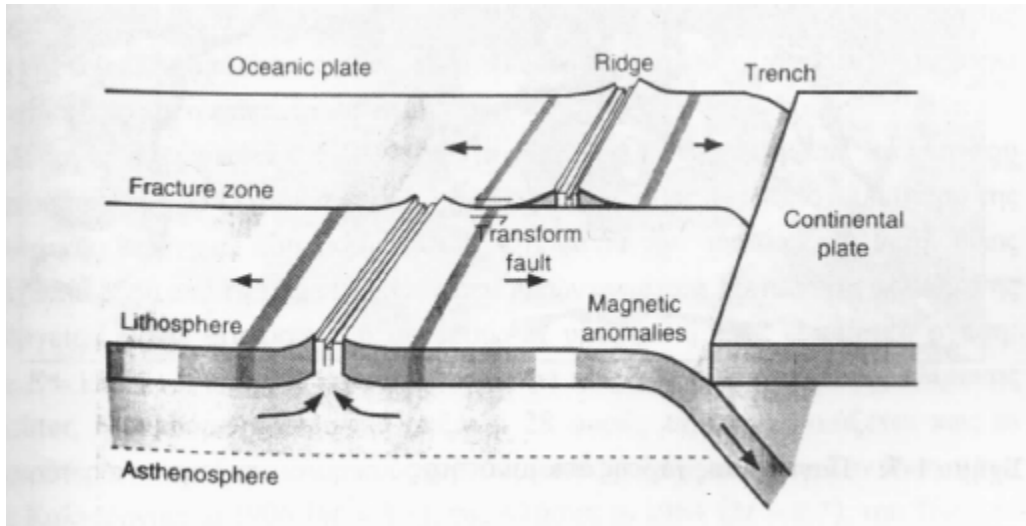
- Τοπικό μέγεθος, M_L : υπολογίζεται από τον δεκαδικό λογάριθμο του μέγιστου πλάτους της καταγραφής σε πρότυπο σειсмоγράφο στρέψεως που βρίσκεται σε απόσταση 100 Km από το επίκεντρο του σεισμού.
- Μέγεθος, m_b : βασιζόμενο στην μέτρηση των διαμήκων κυμάτων χώρου.
- Επιφανειακό μέγεθος, M_S : βασιζόμενο στην μέτρηση των επιφανειακών κυμάτων.
- Ενοποιημένο μέγεθος m .

3.5 Τρόποι Γένεσης των Σεισμών:

Το αίτιο των σεισμών είναι η διάρρηξη των λιθοσφαιρικών πλακών που απαρτίζουν το εξωτερικό στερεό κέλυφος της γης.

Το πάχος της λιθόσφαιρας είναι μεταξύ 70 έως 100 km, περιλαμβάνοντας τον φλοιό και το εξωτερικό στρώμα του μανδύα, την λεγόμενη ασθενόσφαιρα. Η ασθενόσφαιρα έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από τον φλοιό και βρίσκεται σε ημίρρευστη κατάσταση. Η λιθόσφαιρα δεν είναι ενιαία αλλά απαρτίζεται από τις τεκτονικές πλάκες. Τα όρια μεταξύ των πλακών σχηματίζουν ζώνες με συστήματα διάρρηξης. Δηλαδή οι λιθοσφαιρικές πλάκες επιπλέον πάνω στην ασθενόσφαιρα και παρουσιάζουν σχετικές μετατοπίσεις της τάξης των μερικών cm ανά έτος, που οφείλονται σε ρεύματα μεταφοράς του ημίρρευστου υλικού της ασθενόσφαιρα. Καθώς τα

ρεύματα αυτά ασκούν εφαπτομενικές πιέσεις στις κάτω επιφάνειες των πλακών, έχουν ως αποτέλεσμα είτε την σύγκλιση τους, (ηπειρωτικό σύστημα διάρρηξης), είτε την απόκλιση τους, (ωκεάνιο σύστημα διάρρηξης).



Σχήμα 3.5.1: Απλοποιημένο μοντέλο ζώνης διάρρηξης

Η γένεση των σεισμών ακολουθεί τα κάτωθι βήματα:

- (α) σύγκρουση τεκτονικών πλακών,
- (β) τριβές και εμπλοκή των πετρωμάτων σε ορισμένα σημεία τα οποία καλούνται κλείθρα,
- (γ) σταδιακή παραμόρφωση των πετρωμάτων και συσσώρευση δυναμικής ενέργειας,
- (δ) υπέρβαση της αντοχής των πετρωμάτων,
- (ε) θραύση πετρωμάτων στα κλείθρα και δημιουργία σεισμικού ρήγματος,
- (στ) μετατροπή της δυναμικής ενέργειας σε κινητική και
- (ζ) εκπομπή ελαστικών κυμάτων.

Τα σεισμικά κύματα που μεταφέρουν την ενέργεια από το σεισμικό ρήγμα μέχρι την επιφάνεια του, είναι αρχικά χωρικού τύπου και κατατάσσονται σε δύο είδη:

- τα επιμήκη (P – waves), που δημιουργούν πίεση / εφελκυσμό κατά μήκος της διεύθυνσης διάδοσης τους και
- τα εγκάρσια κύματα (shear / S – waves), που παρουσιάζουν ταλαντώσεις μέσα στο επίπεδο που είναι κάθετο προς την διεύθυνση διάδοσης.

Καθώς τα χωρικά κύματα πλησιάζουν την επιφάνεια της γης ανακλώνται και διαθλώνται μέσω των μαλακών εδαφικών στρωμάτων, με συνέπεια οι κυρίαρχες επιφανειακές δονήσεις να οφείλονται σε οριζοντίως πολωμένα εγκάρσια κύματα (SH – waves).

Ταυτόχρονα, δημιουργείται μία σωρεία επιφανειακών κυμάτων, όπως τα κύματα του Rayleigh λόγω της ελεύθερης επιφάνειας, και τα κύματα του Love όταν υπάρχει βραχώδες υπόβαθρο με υπερκείμενο μαλακό εδαφικό στρώμα.

Οι ταχύτητες διάδοσης όλων αυτών των σεισμικών κυμάτων μέσα από τα εδαφικά στρώματα των τελευταίων 100-300 m πριν επιφάνεια της γης είναι οί πλέον χαμηλές.

3.6 Βιβλιογραφία:

- ✓ Παπαζάχος Β. «Εισαγωγή στη Σεισμολογία»
- ✓ Π.Γ.Καρύδης και Ι.Μ.Ταφλαμπάς «Τεχνική Σεισμολογία», παραδόσεις 2006-2007.

4⁰ Κεφάλαιο: Γεωλογική και Σεισμική Δομή της Κύπρου

4.1 Εισαγωγή – Γενικές πληροφορίες:

Η Κύπρος βρίσκεται στην ανατολική λεκάνη της Μεσογείου θάλασσας και αποτελεί σταυροδρόμι τριών ηπείρων. Είναι το τρίτο μεγαλύτερο νησί της Μεσόγειου μετά την Σικελία και την Σαρδηνία, με έκταση 9251 Km². Η γεωγραφική της θέση ορίζεται μεταξύ των παραλλήλων 34⁰ 33' και 35⁰ 42' Β καθώς και των μεσημβρινών 32⁰ 16' και 34⁰ 15' Α.

Το μεγαλύτερο μήκος του νησιού από το δυτικότερο στο ανατολικότερο άκρο είναι 225 Km, ενώ το μεγαλύτερο πλάτος από το βορειότερο στο νοτιότερο άκρο είναι 94 Km.

4.2 Η Γεωλογική Εξέλιξη της Κύπρου:

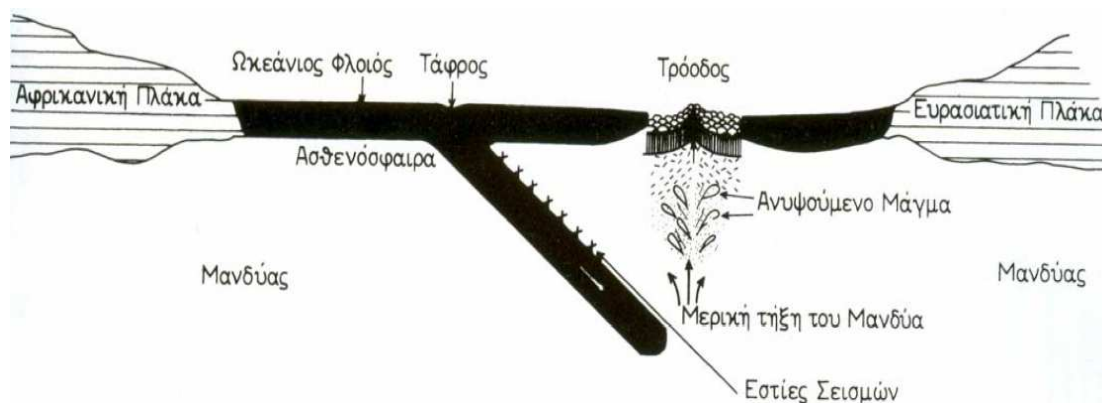
Η γένεση του νησιού πραγματοποιήθηκε μέσα από μία ακολουθία πολύπλοκων γεωλογικών διεργασιών. Η ανάδυση της σαν ενιαίο κομμάτι ξεκίνησε μετά από μία σειρά τεκτονικών επεισοδίων, κατά την διάρκεια των τελευταίων 2 εκατομμυρίων ετών.

Προήθλε από την καταβύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική πλάκα και τη γένεση του οφιόλιθου του Τροόδους, ακολούθησε η αποκόλληση και η αριστερόστροφη περιστροφή του κατά 90⁰ και η προσκόλληση σ' αυτόν παλαιότερων πετρωμάτων στα νότια και δυτικά περιθώρια του (Ζώνη Μαμωνίων). Ακολούθησε μία περίοδος η οποία χαρακτηρίστηκε από σχετική τεκτονική ηρεμία και από την απόθεση θαλάσσιων ασβεστολιθικών ιζημάτων κατά την βαθμιαία μείωση του βάθους των θαλασσών (Σχηματισμός Λευκάρων

και Πάχνας). Κατά την διάρκεια του προτελευταίου τεκτονικού επεισοδίου ολοκληρώθηκε αφενός η προσκόλληση της οροσειράς του Πενταδάκτυλου στη βόρεια πλευρά της ζώνης του Τροόδους και αφετέρου η ανύψωση της Κύπρου στην σημερινή της μορφή.

Με την καταβύθιση των πλακών και τις ανάλογες αναπροσαρμογές τους, οι πλάκες κινήθηκαν βορειότερα. Έτσι τα νοτιότερα κράσπεδα του βρέθηκαν στην περιοχή όπου τελικά θα προσκολλούταν η οροσειρά του Πενταδακτύλου. Σχετική τεκτονική ηρεμία με θαλάσσια ιζηματογένεση επικρατούσε μετά την συνένωση των γεωλογικών Ζωνών Τροόδους και Μαμωνίων. Παράλληλα, μετά την δημιουργία του, το Τρόδος άρχισε να αναδύεται σχηματίζοντας το σημερινό νησί. Στο βορειότερο τμήμα της περιοχής που θα αποτελούσε την Κύπρο, μια σειρά από αλλόχθονους ασβεστόλιθους επωθήθηκαν νότια πάνω στις παρυφές της Ζώνης του Τροόδους, πτυχώνοντας και εκτοπίζοντας τα νεώτερα ιζήματα που συνάντησαν στην πορεία τους. Ανατολικά της Κύπρου, η Τήθυς θάλασσα έκλεισε και η Μεσόγειος απέκτησε το σχεδόν το σημερινό της σχήμα.

Η επανένωση της Μεσογείου με τον Ατλαντικό και η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας είχε ως αποτέλεσμα την απόθεση νέων ιζημάτων, τα οποία αντιπροσωπεύονται σήμερα από τις μάργες και ασβεστολιθικούς ψαμμίτες των Σχηματισμών Λευκωσίας και Αθαλάσσης. Μια απότομη ανύψωση της περιοχής συνέβη περίπου πριν από 2 εκατομμύρια χρόνια (τελευταίο τεκτονικό επεισόδιο), όταν τόσο το Τρόδος όσο και ο Πενταδάκτυλος ανυψώθηκαν σε υψόμετρα μεγαλύτερα των σημερινών. Η απότομη ανύψωση σε συνδυασμό με ψηλές βροχοπτώσεις είχε ως αποτέλεσμα την εκτενή διάβρωση των οροσειρών, ειδικά δε αυτής του Τροόδους, με την μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων υλικού διάβρωσης (κλαστικά ιζήματα). Αυτά τα κλαστικά ιζήματα αποτέθηκαν σε μεγάλες κοιλάδες στην περιοχή Μεσαορίας, σχηματίζοντας το Πλειστοκαινικό Σύναγμα.



Σχήμα 4.2.1: Σχηματική απεικόνιση της σύγκρουσης λιθοσφαιρικών πλακών και της έναρξης του σχηματισμού του Τροόδους

4.3 Η Γεωλογική Δομή της Κύπρου:

Η Κύπρος διαιρείται σε τέσσερις γεωλογικές ζώνες: (α) Ζώνη Πενταδακτύλου ή Κερύνειας, (β) Ζώνη ή Οφιόλιθος Τροόδους, (γ) Ζώνη ή Σύμπλεγμα Μαμωνίων, και (δ) Ζώνη των Αυτοχθόνων Ιζηματογενών Πετρωμάτων.



Σχήμα 4.3.1: Απεικόνιση των τεσσάρων γεωλογικών ζωνών

Η Ζώνη Πενταδακτύλου είναι η βορειότερη γεωλογική ζώνη της Κύπρου. Η βάση της ζώνης αυτής αποτελείται κυρίως από μια ακολουθία αλλόχθονων συμπαγών και ανακρυσταλλομένων ασβεστόλιθων, δολομιτών και μαρμάρων.

Η Ζώνη ή ο Οφιόλιθος Τροόδους κυριαρχεί στο κεντρικό μέρος του νησιού, αποτελεί τον γεωλογικό πυρήνα της Κύπρου και έχει μια χαρακτηριστική επιμήκη θολοειδή δομή. Θεωρείται ως ο πιο πλήρης και μελετημένος οφιόλιθος στον κόσμο. Αποτελεί κομμάτι ενός πλήρως αναπτυγμένου ωκεάνιου φλοιού, αποτελούμενο από πλουτώνια πετρώματα, φλεβικά πετρώματα, ηφαιστειακά πετρώματα και χημικά ιζήματα (φαιόχωμα).

Η Ζώνη ή το Σύμπλεγμα των Μαμωνιών εμφανίζεται στην περιοχή της Πάφου, στα νοτιοδυτικά του νησιού. Αποτελείται από μια ακολουθία πυριγενών, ιζηματογενών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων.

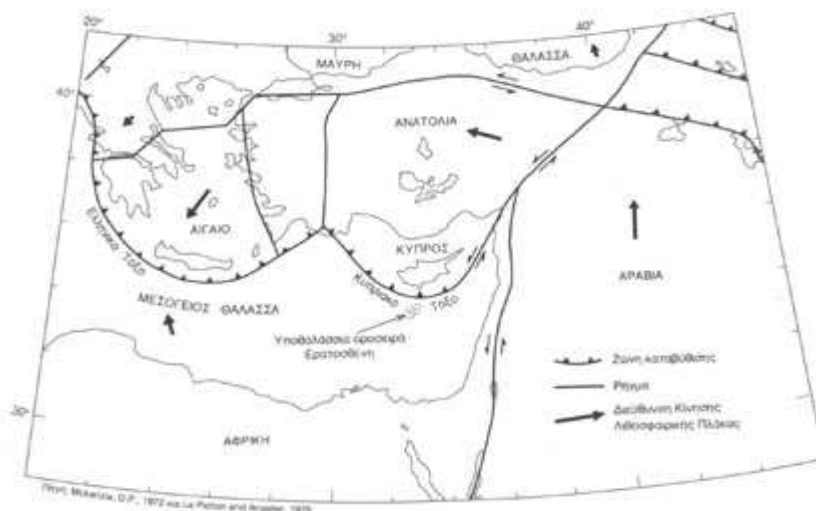
Η Ζώνη των Αυτοχθόνων Ιζηματογενών Πετρωμάτων, καλύπτει την περιοχή μεταξύ των Ζωνών Πενταδακτύλου και Τροόδους (κοιλιάδα Μεσαορίας) καθώς επίσης και το νότιο μέρος του νησιού. Η ιζηματογένεση αρχίζει με την απόθεση του Σχηματισμού Κανναβιού, ακολουθούμενη από τη απόθεση των Σχηματισμών Μονής και Κάθηκα. Η κλασική ανάπτυξη του Σχηματισμού αντιπροσωπεύεται από τέσσερα Μέλη: Κατώτερες Μάργες, Κρητίδες με στρώσεις κερατολίθων, συμπαγείς κρητίδες και Ανώτερες Μάργες. Τον Σχηματισμό Λευκάρων ακολουθεί ο Σχηματισμός Πάχνας ο οποίος αποτελείται κυρίως από κιτρινωπές μάργες και κρητίδες. Το χρώμα των πετρωμάτων, η παρουσία στρώσεων ασβεστολιθικού ψαμμίτη και η περιστασιακή ανάπτυξη κροκαλοπαγών είναι χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τον Σχηματισμό Πάχνας από τον Σχηματισμό Λευκάρων.

4.4 Η Σεισμικότητα της Κύπρου:

Η Κύπρος βρίσκεται στη σειсмоγόνο ζώνη των Άλπεων-Ιμαλαΐων, μέσα στην οποία εκδηλώνονται 15% των σεισμών παγκοσμίως. Η

4^ο Κεφάλαιο: Γεωλογική και Σεισμική Δομή της Κύπρου

σεισμικότητα της Κύπρου αποδίδεται κατά κύριο λόγο στο «Κυπριακό Τόξο», που αποτελεί το τεκτονικό όριο μεταξύ της Αφρικανικής και Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας. Κατά μήκος του τόξου αυτού παρατηρείται συγκέντρωση πολλών επίκεντρων σεισμών, δείχνοντας ότι οι τεκτονικές κινήσεις σε όλο του το μήκος είναι η αιτία πολλών σεισμών.



Σχήμα 4.4.1: Διάταξη λιθοσφαιρικών πλακών στην Ανατολική Μεσόγειο. «Το Κυπριακό Τόξο»

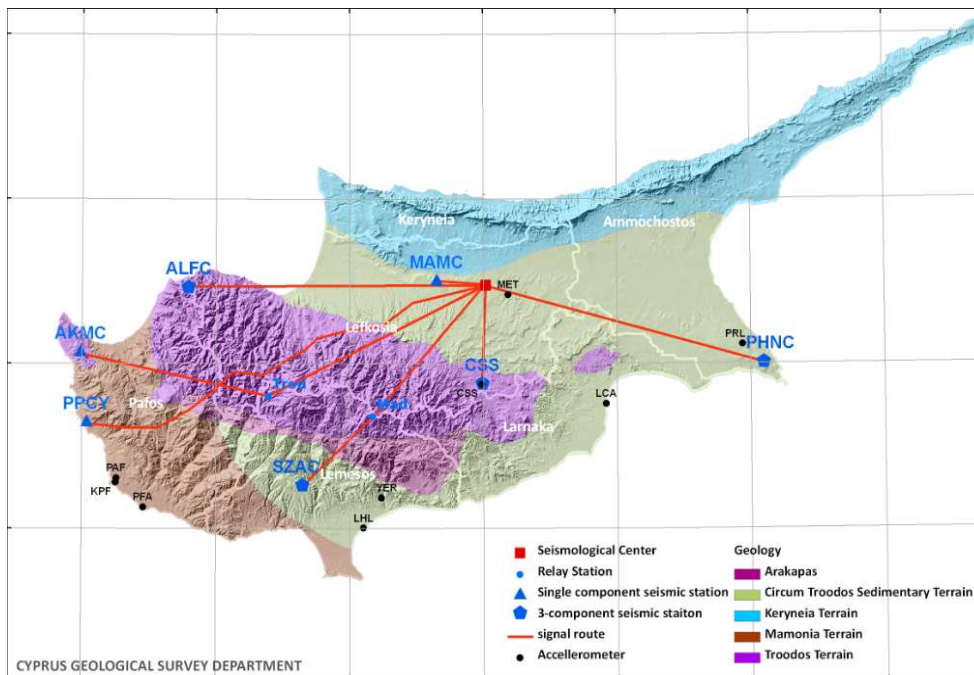
Με την λειτουργία σεισμολογικών σταθμών άρχισαν να συλλέγονται ακριβέστερα στοιχεία για τους σεισμούς που συμβαίνουν στον Κυπριακό χώρο. Αναφορικά να επισημαίνεται ότι υπάρχουν στοιχεία σεισμών από το 1896, όταν και λειτούργησαν σεισμολογικοί σταθμοί σε γειτονικές χώρες.

Η μελέτη των ιστορικών και των πρόσφατων σεισμών δείχνει ότι η χρονική κατανομή της σεισμικής δραστηριότητας δεν είναι κανονική, αλλά υπάρχουν περίοδοι έντονης δραστηριότητας ακολουθούμενες από περιόδους σεισμικής ύφεσης.

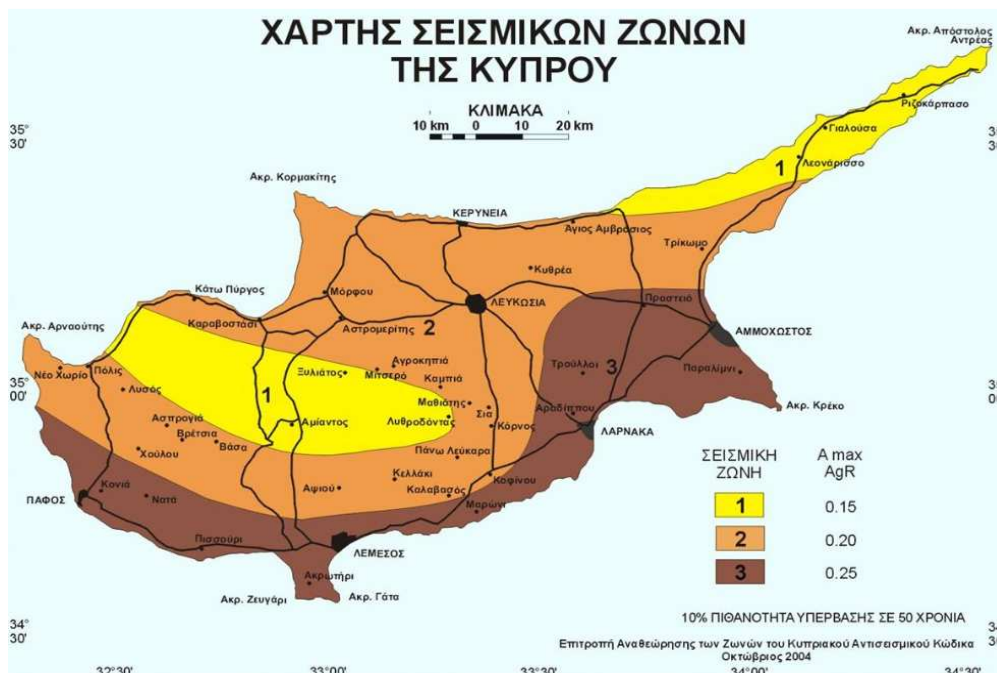
Η Κύπρος θεωρείται σεισμόπληκτη περιοχή με αποκορύφωμα την παράκτια της ζώνη, η οποία εκτείνεται από την Πάφο ως την Αμμόχωστο.

4⁰ Κεφάλαιο: Γεωλογική και Σεισμική Δομή της Κύπρου

Για την καλύτερη κατανόηση της σεισμικής συμπεριφοράς έχει εγκατασταθεί ένα σύγχρονο σεισμολογικό δίκτυο (Σχήμα 4.4.2). Επίσης για την αξιόπιστη κατασκευή σεισμικών ζωνών έχει μελετηθεί η συμπεριφορά των εδαφών κατά την διάρκεια ενός σεισμού (Σχήμα 4.4.3).



Σχήμα 4.4.2: Σεισμολογικό Δίκτυο



Σχήμα 4.4.3: Οι σεισμικές ζώνες του Νησιού

4.5 Νεοτεκτονικές Μελέτες στην Κύπρο:

Διαμέσου των γεωλογικών ερευνών, όπως είναι οι νεοτεκτονικές μελέτες, μπορούν να εξαχθούν αρκετά στοιχεία και πληροφορίες οι οποίες βοηθούν τόσο στο σωστό πολεοδομικό σχεδιασμό όσο και σε ένα ασφαλή αντισεισμικό κώδικα.

Οι νεοτεκτονικές μελέτες αποσκοπούν στο γεωλογικό προσδιορισμό και την ανάλυση των τεκτονικών δομών και ειδικότερα των ρηγμάτων, τα οποία ενεργοποιούμενα μπορεί να παράξουν ισχυρούς σεισμούς. Η γεωμετρία των δομών αυτών, ο μηχανισμός ενεργοποίησης τους και η ταχύτητα ολίσθησης μπορούν να δώσουν ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με το μέγιστο αναμενόμενο μέγεθος σεισμού, καθώς και για την χρονική περίοδο επανάληψης του.

Οι σημαντικότερες τεκτονικές δομές του νησιού είναι οι εξής:

1. Η ρηξιγενής ζώνη της Πάφου.
2. Η ρηξιγενής ζώνη του Ακρωτηρίου Άσπρο.
3. Η ρηξιγενής ζώνη του Αρακαπά.
4. Η ρηξιγενής ζώνη της Γεράσας.
5. Η ρηξιγενής ζώνη της Οβγού.

Η ρηξιγενής ζώνη της Πάφου είναι μία τοξοειδής και σχετικά στενή τεκτονική ζώνη που διασχίζει την νοτιοδυτική Κύπρο. Ξεκινά από την δυτική πλευρά του χωριού Ακρωτήρι και φτάνει μέχρι το Ακρωτήριο του Ακάμα. Πρόκειται για μια ζώνη συρραφής αλλόχθονων πετρωμάτων που προέρχονται από τη λιθοσφαιρική πλάκα της Αφρικής με τα πετρώματα του Τροόδους.



Σχήμα 4.5.1: Η ρηξιγενής ζώνη της Πάφου

Η ρηξιγενής ζώνη του Ακρωτηρίου Άσπρο τοποθετείται μέσα στη θάλασσα. Πρόσφατες τεκτονικές μετακινήσεις τεκμηριώνουν πως ανατολικά του Ακρωτηρίου Άσπρο και προς τον κόλπο της Αυδήμου υπάρχει μία ζώνη ανάστροφων και πλάγιων ρηγμάτων μέσα στο θαλάσσιο χώρο.



Σχήμα 4.5.2: Η ρηξιγενής ζώνη του Ακρωτηρίου Άσπρο

Ο οφιόλιθος του Τροόδους χωρίζεται σε δύο μέρη, το βόρειο και το νότιο, εξαιτίας της ρηξιγενοῦς ζώνης του Αρακαπά. Εμφανίζεται ως μία κοιλάδα πλάτους ενός χιλιομέτρου και μήκους περίπου 35Km. Τοποθετείται μεταξύ των χωριών Άγιος Μάμας και Βάβλας.



Σχήμα 4.5.3: Η ρηξιγενής ζώνη του Αρακαπά

Η ρηξιγενής ζώνη της Γεράσας είναι κλιμακωτή ζώνη. Κατά το μήκος της ζώνης έχουν παρατηρηθεί μορφολογικά χαρακτηριστικά ενεργών ρηγμάτων, (τεκτονική ανύψωση περιοχής, τοπογραφικά βυθίσματα). Η ζώνη αυτή είναι μεταξύ του χωριού Άγιος Μάμας και Φοινικαρίας.



Σχήμα 4.5.4: Η ρηξιγενής ζώνη της Γεράσας

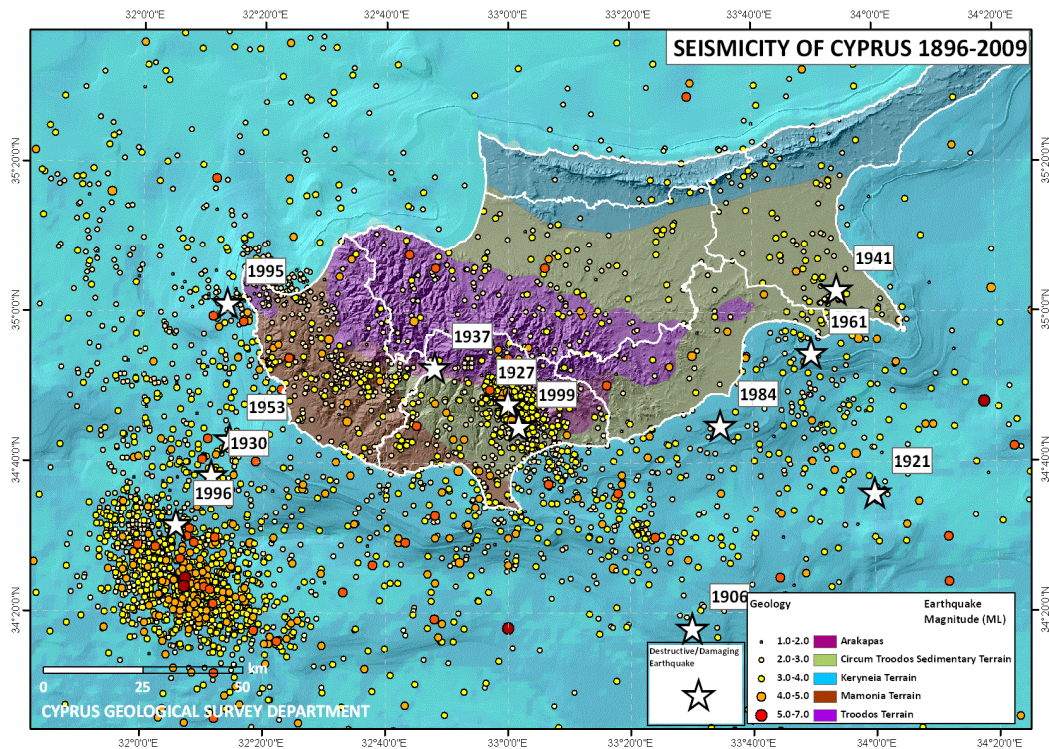
Η κυριότερη τεκτονική δομή της Κύπρου είναι αυτή της ρηξιγενής ζώνης της Οβγού, η οποία διασχίζει όλο το νησί από τα δυτικά στα ανατολικά με μήκος 120Km. Τα ρήγματα είναι σχεδόν κατακόρυφα με μικρή κλίση προς τα βόρεια.



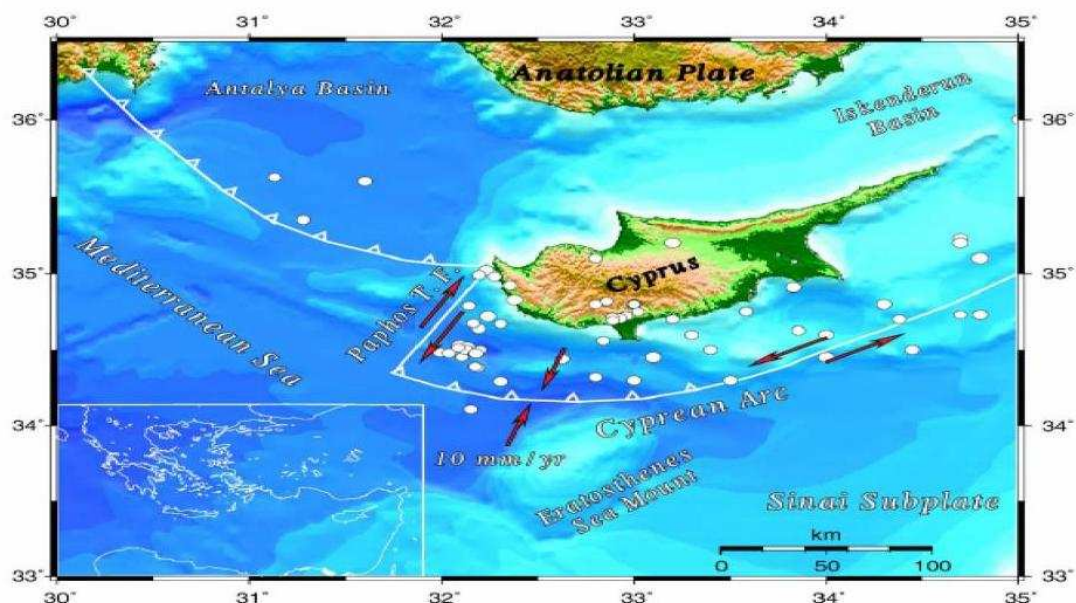
Σχήμα 4.5.5: Η ρηξιγενής ζώνη της Οβγού

4.6 Ιστορικοί Σεισμοί:

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα επίκεντρα σεισμών που συνέβηκαν την περίοδο από το 1896 έως το 2009.



Σχήμα 4.5.6: Επίκεντρα σεισμών απο το 1896 έως το 2009.



Σχήμα 4.5.7: Απεικόνιση λιθοσφαιρικών πλακών και επίκεντρα σεισμών μεγέθους $M \geq 5.0$

Στη συνέχεια αναφέρονται οι καταστρεπτικοί σεισμοί που συνέβηκαν στο νησί από το 1896 μέχρι σήμερα.

- 29/6/1896 Σεισμός μεγέθους MS 6,5 στη θαλάσσια περιοχή της Λεμεσού. Ο εν λόγω σεισμός ήταν καταστρεπτικός.
- 5/1/1900 Σεισμός μεγέθους MS 5,7 στην θαλάσσια περιοχή Νοτιοανατολικά της Λάρνακας. Υπήρξαν μικρές ζημιές.
- 23/2/1906 Σεισμός μεγέθους MS 5,3 και πάλι στην θαλάσσια περιοχή της Λεμεσού. Έγινε αισθητός σε όλο το νησί και προξένησε μικρές ζημιές στην περιοχή Κολότσι.
- 18/2/1924 Σεισμός μεγέθους MS 6,0 στην θαλάσσια περιοχή της Αμμοχώστου, όπου και προκλήθηκαν μικρές ζημιές.
- 13/12/1927 Σεισμός μεγέθους MS 5,0 στην πόλη της Λεμεσού. Καταγράφηκαν μικρές ζημιές στην πόλη της Λεμεσού, στο Κοιλάνι, στο Πέρα Πέδι και στο Μονάγρι.
- 9/5/1930 Σεισμός μεγέθους MS 5,4 στην θαλάσσια περιοχή της Πάφου όπου παρατηρήθηκαν ζημιές στην πόλη και στη γύρω περιοχή.
- 26/6/1937 Σεισμός μεγέθους MS 4,7 ο οποίος προκάλεσε ζημιές στην ΝοτιοΔυτική Κύπρο.
- 20/1/1941 Σεισμός μεγέθους MS 5,9 στην περιοχή της Αμμοχώστου. Στην γειτονική περιοχή του Παραλιμνίου αρκετά άτομα τραυματίστηκαν και πολλές οικοδομές κατέρρευσαν. Οι ζημιές ήταν περιορισμένες στις επαρχίες Λευκωσίας, Λάρνακας και Κερύνειας.
- 10/9/1953 Σεισμός μεγέθους MS 6,1 στην περιοχή της Πάφου. Υπήρξαν 63 νεκροί 200 τραυματίες ενώ 4000 άνθρωποι έμειναν άστεγοι. Αρκετά σπίτια κατέρρευσαν σε 158 χωριά.
- 15/9/1961 Σεισμός μεγέθους MS 5,7 στον κόλπο της Λάρνακας. Παρατηρήθηκαν ρωγμές σε σπίτια από την Λάρνακα έως το Παραλίμνι και την Αμμόχωστο.
- 28/3/1984 Σεισμός μεγέθους MS 4,5 ο οποίος έγινε αισθητός κυρίως στην πόλη και της επαρχίας της Λάρνακας.

4⁰ Κεφάλαιο: Γεωλογική και Σεισμική Δομή της Κύπρου

- 23/2/1995 Σεισμό μεγέθους MS 5,7 στη θαλάσσια περιοχή βορειοδυτικά της Πάφου. Καταστρεπτικός στην επαρχία Πάφου με νεκρούς. Σπίτια κατέρρευσαν στα χωριά Πάνω Αρόδες και Μηλιού. Αρκετές ζημιές και στα γύρω χωριά.
- 9/10/1996 Σεισμός μεγέθους MS 6,5 στη θαλάσσια περιοχή της Πάφου και της Λεμεσού, δηλαδή στο νοτιοδυτικό τμήμα της Κύπρου. Προκλήθηκε πανικός σε κατοίκους των εν λόγω πόλεων καθώς και σε ενοίκους πολυώροφων κτιρίων στη Λευκωσία, Λάρνακα και Παραλίμνι. Οι ζημιές ήταν περιορισμένες.
- 11/8/1999 Σεισμός μεγέθους MS 5,6 στη Γεράσα. Προκλήθηκαν ζημιές σε κτίρια στη Λεμεσό. Ο σεισμός έγινε αισθητός σε όλη την Κύπρο ενώ ακολούθησε μεγάλος αριθμός μετασεισμών.

4.7 Πηγή:

Για την συγγραφή του κεφαλαίου αυτού συλλέχθηκαν πληροφορίες από το "Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης" της Κύπρου.

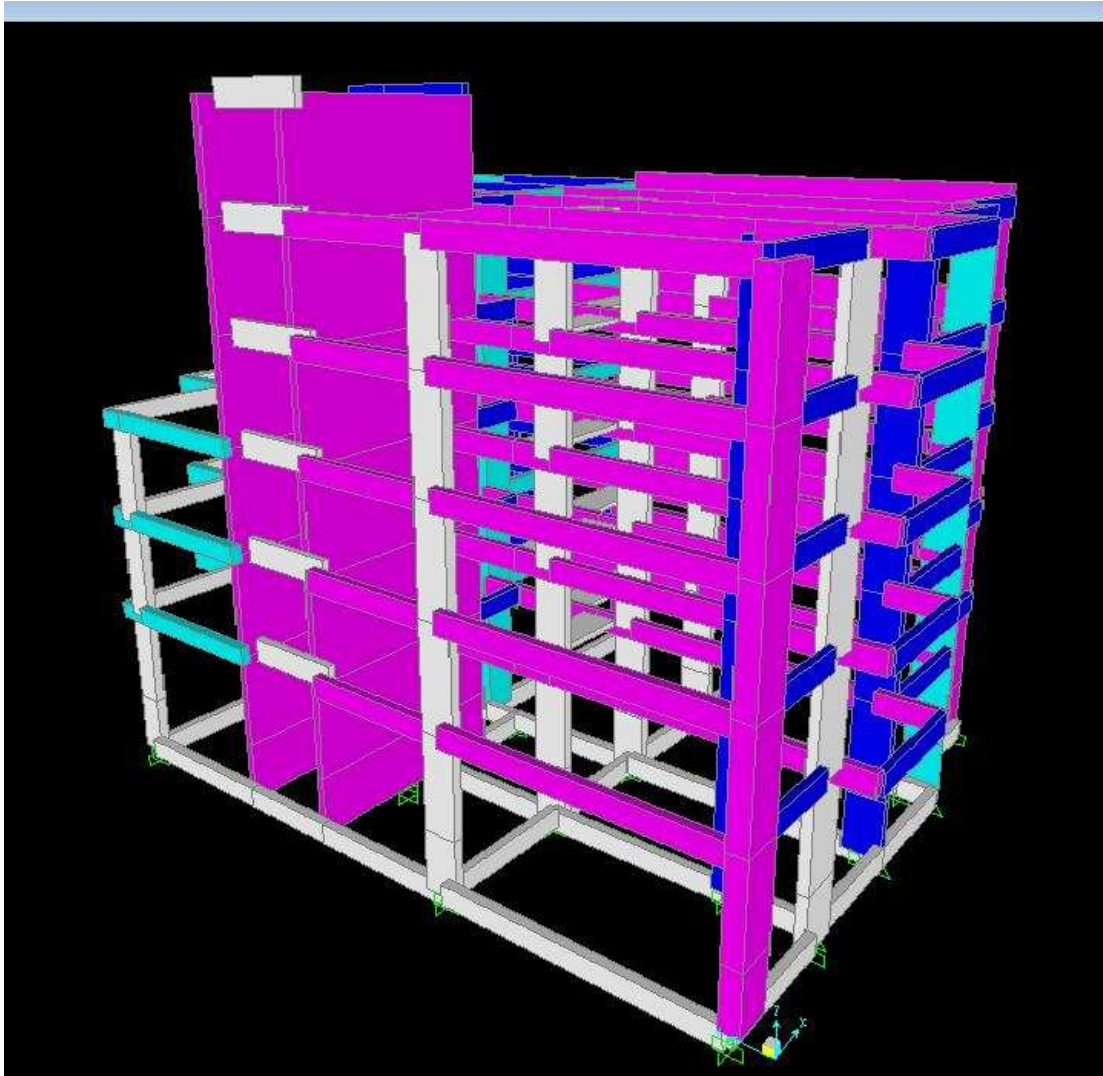
Ιστοσελίδα:

«http://www.moa.gov.cy/moa/gsd/gsd.nsf/dmlindex_gr/dmlindex_gr?OpenDocument»

5^ο Κεφάλαιο: Περιγραφή Κτιρίου

5.1 Γενικές Πληροφορίες:

Η κατασκευή που χρησιμοποιήθηκε στη διπλωματική αυτή, είναι μία τετραώροφη πολυκατοικία με πιλοτή στό ισόγειο και με δώμα στον 5^ο όροφο. Η κατασκευή μελετήθηκε το 2005 και είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το εν λόγω κτίριο βρίσκεται στην περιοχή Παλλουριώτισσα της Λευκωσίας.

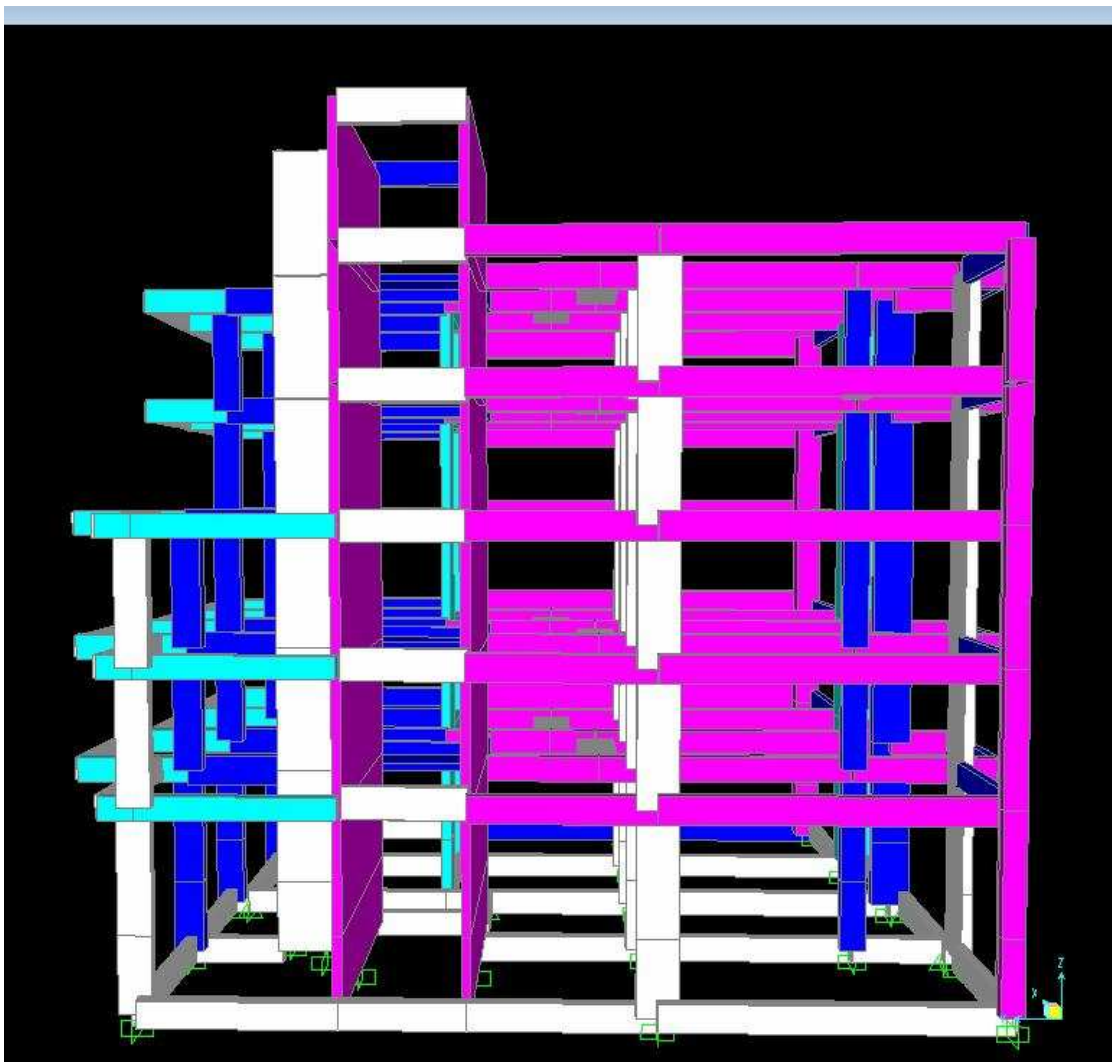


Σχήμα 5.1.1: Τρισδιάστατη απεικόνιση του φορέα

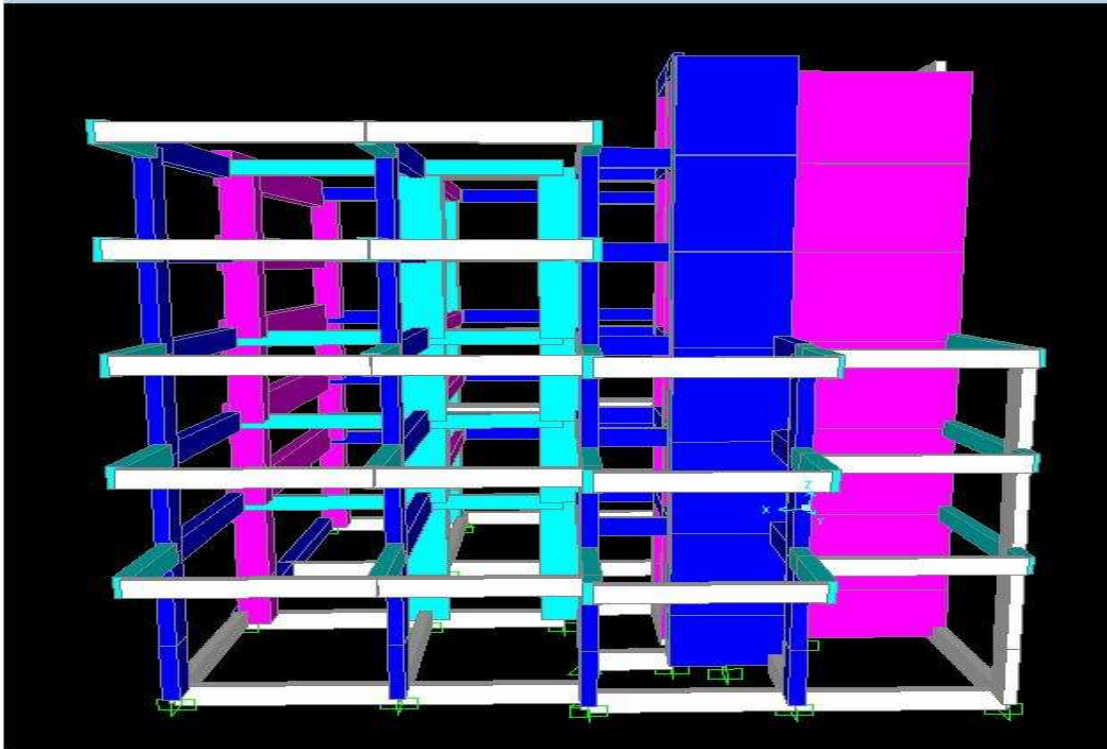
5.2 Μόρφωση Φορέα:

Η ανάλυση του φορέα επιτυγχάνεται μέσω ενός χωρικού προσομοιώματος, που για την μόρφωση του χρησιμοποιήθηκαν εκείνα τα δομικά στοιχεία που συμβάλλουν άμεσα στην ακαμψία του. Οι τοιχοποιίες δεν λήφθηκαν υπόψη. Σε κάθε μέλος του προσομοιώματος, είτε οριζόντιο είτε κάθετο, ορίζονται 6 βαθμοί ελευθερίας.

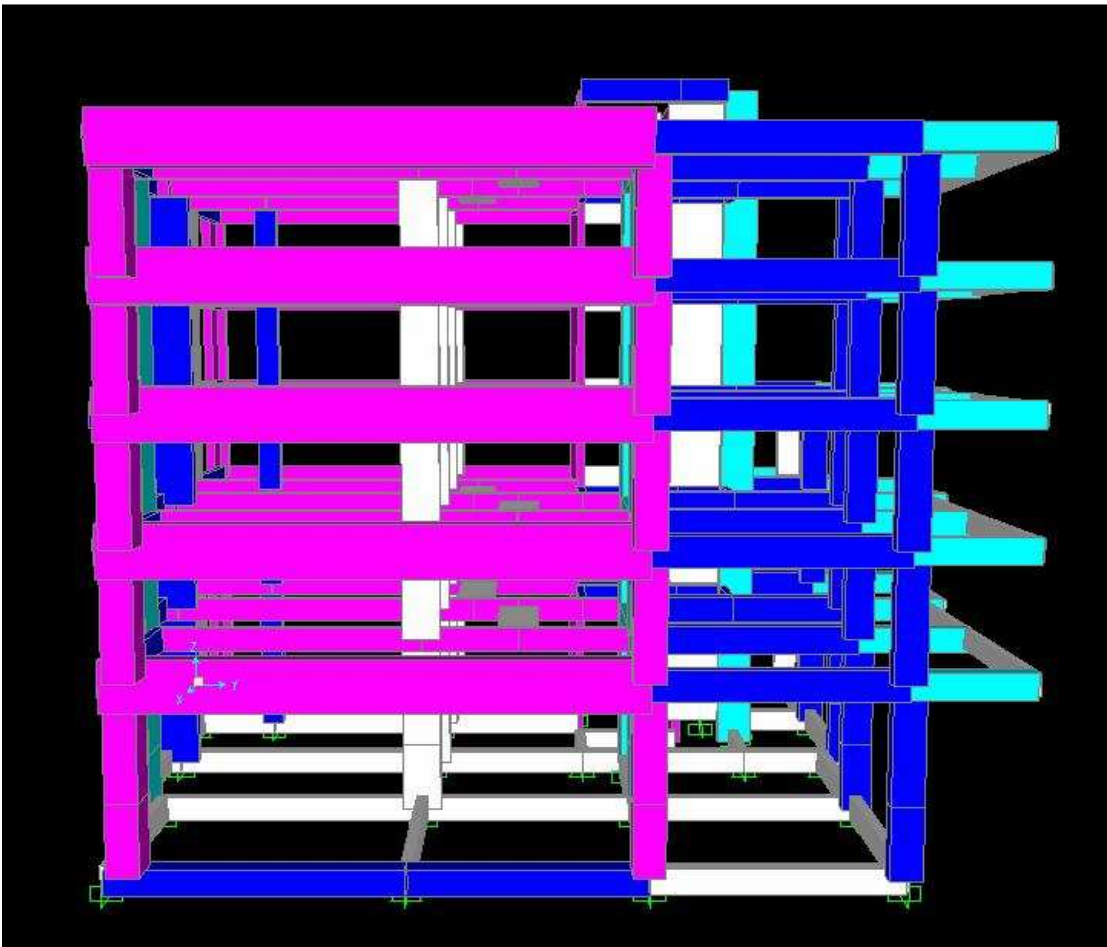
Ο φορέας θεωρήθηκε ότι εδράζεται επί ελαστικού εδάφους με παραδοχή πακτώσεως στις θέσεις των μεμονωμένων πεδίων και αρθρώσεων στις ενώσεις των συνδετήριων δοκών.



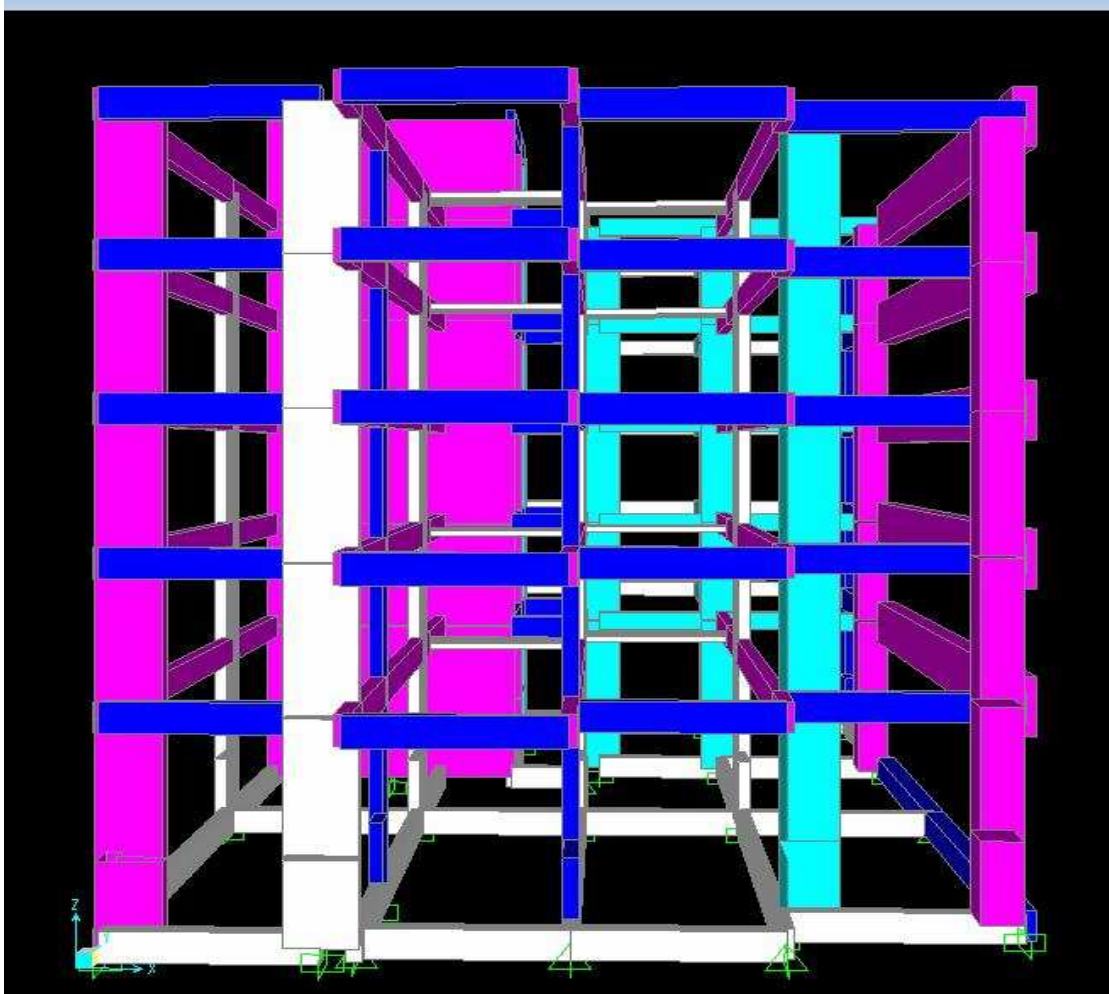
Σχήμα 5.2.1: Βόρεια Όψη



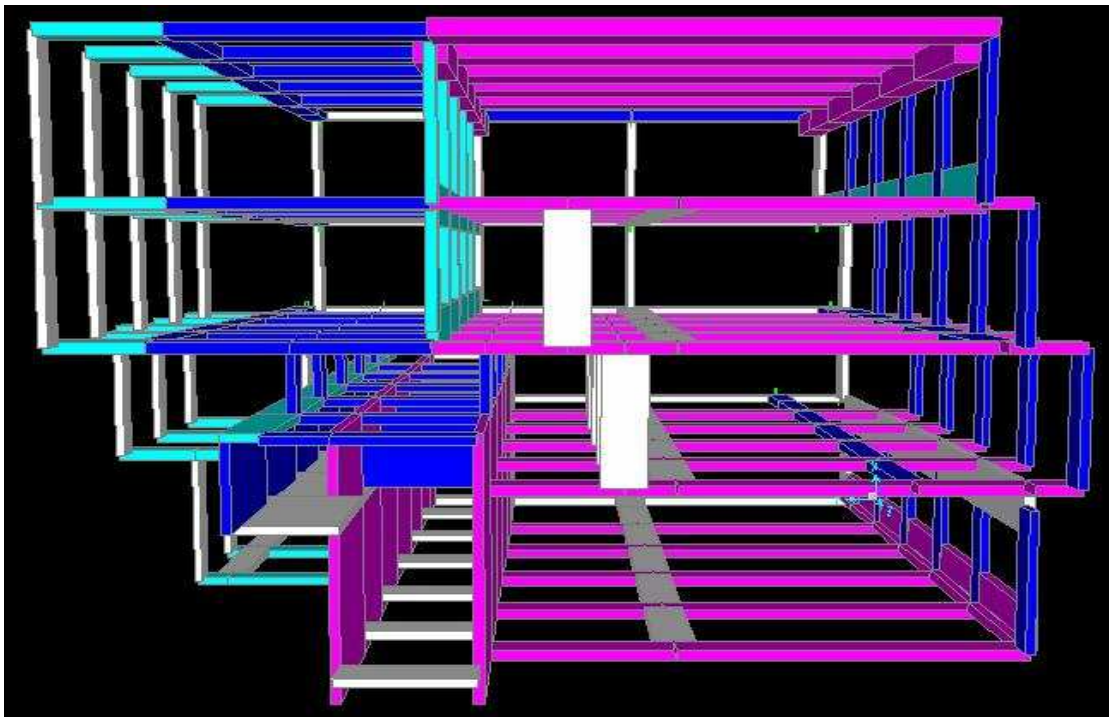
Σχήμα 5.2.2: Ανατολική Όψη



Σχήμα 5.2.3: Νότια Όψη



Σχήμα 5.2.4: Δυτική Όψη



Σχήμα 5.2.5: Κάτοψη Κτιρίου

5.3 Διάτομες Δομικών Στοιχείων του Φορέα:

Οι διατομές των δομικών στοιχείων που ορίζονται βάσει των ξυλοτύπων παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα Α. Επίσης εκεί παρουσιάζονται και οι ξυλότυποι του κτιρίου. Ακολούθως θα αναφερθούν ενδεικτικά κάποιες διατομές του κτιρίου.

Υποστυλώματα:

K1: με διαστάσεις 25/70 cm και με οπλισμό 10 Φ20.

K2: με διαστάσεις 30/70 cm και με οπλισμό 10 Φ22.

K3: με διαστάσεις 30/70 cm και με οπλισμό 10 Φ22.

Τοιχώματα:

K6: με διαστάσεις 25/100 cm και με οπλισμό 12 Φ20.

K7: με διαστάσεις 25/100 cm και με οπλισμό 12 Φ20.

Δοκάρια:

Δ1: με πλάτος 20 cm και ύψος 50 cm με οπλισμό, κάτω: 4 Φ14
άνω: 2 Φ12.

Δ2: με πλάτος 20 cm και ύψος 50 cm με οπλισμό, κάτω: 4 Φ14
άνω: 2 Φ12.

Δ3: με πλάτος 20 cm και ύψος 50 cm με οπλισμό, κάτω: 4 Φ14
άνω: 2 Φ12.

Δ4: με πλάτος 20 cm και ύψος 50 cm με οπλισμό, κάτω: 4 Φ14
άνω: 2 Φ12.

Δ5: με πλάτος 20 cm και ύψος 60 cm με οπλισμό, κάτω: 4 Φ14
άνω: 3 Φ12.

Συνδετήρες Υποστυλωμάτων:

K1: συνδετήρες στο μέσο: 2 Φ8/15 cm και στα άκρα: 2 Φ8/10 έως 70 cm.

K2: συνδετήρες στο μέσο: 2 Φ8/15 cm και στα άκρα: 2 Φ8/10 έως 70 cm.

K3: συνδετήρες στο μέσο: 2 Φ8/15 cm και στα άκρα: 2 Φ8/10 έως 70 cm.

Συνδετήρες Τοιχωμάτων:

K6: συνδετήρες στο μέσο: 3 Φ8/15 cm και στα άκρα: 3 Φ8/10 έως 100 cm.

K7: συνδετήρες στο μέσο: 3 Φ8/15 cm και στα άκρα: 3 Φ8/10 έως 100 cm.

Συνδετήρες Δοκαρίων:

Δ1: συνδετήρες στο μέσο: Φ8/15 cm και στα άκρα: Φ8/10 έως 100 cm.

Δ2: συνδετήρες στο μέσο: Φ8/15 cm και στα άκρα: Φ8/10 έως 100 cm.

Δ3: συνδετήρες στο μέσο: Φ8/15 cm και στα άκρα: Φ8/10 έως 100 cm.

Δ4: συνδετήρες στο μέσο: Φ8/15 cm και στα άκρα: Φ8/10 έως 100 cm.

Δ5: συνδετήρες στο μέσο: Φ8/10 cm και στα άκρα: Φ8/10 cm.

Μεμονωμένα πέδιλα:

K1 : με διαστάσεις 150/150/60 cm και με οπλισμό Φ16/15 cm.

K2 : με διαστάσεις 240/240/60 cm και με οπλισμό Φ22/15 cm.

K16: με διαστάσεις 200/300/70 cm και με οπλισμό Φ25/15 cm.

Συνδετήριες δοκοί:

Θ1: με πλάτος 25 cm και ύψος 60 cm, με οπλισμό 3 Φ16 πάνω και κάτω. Με συνδετήρες Φ8/20 cm.

Πλάκες:

Ο φορέας αποτελείται από 9 πλάκες ίδιου πάχους στον 1^ο όροφο, στον 2^ο όροφο και στον 3^ο όροφο ενώ αποτελείται από 7 πλάκες ίδιου πάχους στον 4^ο όροφο και στο δώμα. Η πλάκα του ισογείου πραγματοποιείται με την τοποθέτηση σχάρας τύπου A252 και έχει πάχος 15 cm. Όλες οι πλάκες του κτιρίου έχουν πάχος 15 cm.

Για την όπλιση των πλακών γίνεται αρχικά ο διαχωρισμός τους σε πλάκες καμπτόμενες κατά μία ή δύο διευθύνσεις. Οι πλάκες που ορίζονται ως καμπτόμενες κατά μία διεύθυνση έχουν λόγο μεγάλης προς μικρής πλευράς μεγαλύτερο από 1.5 -2.0, ενώ ως καμπτόμενες κατά δύο διευθύνσεις ορίζονται οι πλάκες που έχουν λόγο μεγάλης προς μικρής πλευράς μεταξύ: 1.0 – 1.5 ή 2.0.

Η πλάκα του 1^{ου}, 2^{ου} και 3^{ου} ορόφου διαθέτουν 2 πλάκες καμπτόμενες κατά δύο διευθύνσεις και 7 πλάκες καμπτόμενες κατά μία διεύθυνση. Η πλάκα του 4^{ου} ορόφου και του δώματος διαθέτουν εξολοκλήρου πλάκες που είναι καμπτόμενες κατά μία διεύθυνση.

Διαστάσεις πλακών:

Π1: μεγάλη πλευρά μήκους: 5.00 m και μικρή πλευρά μήκους: 3.75 m.

Π2: μεγάλη πλευρά μήκους: 4.90 m και μικρή πλευρά μήκους: 3.65 m.

5^ο Κεφάλαιο: Περιγραφή Κτιρίου

Π3: μεγάλη πλευρά μήκους: 8.10 m και μικρή πλευρά μήκους: 3.40 m.

Οπλισμός Πλακών:

Π1: κατά την κύρια διεύθυνση τίθενται: κύριος Φ8/15 cm κάτω και απόσχισης Φ8/20 cm και κατά την δευτερεύουσα διεύθυνση τίθενται: κύριος Φ8/15 cm και απόσχισης Φ8/20 cm.

Π2: κατά την κύρια διεύθυνση τίθενται: κύριος Φ8/15 cm κάτω και απόσχισης Φ10/15 cm με μήκος 100 cm και κατά την δευτερεύουσα διεύθυνση τίθενται: κύριος Φ8/15 cm και απόσχισης Φ8/20 cm.

Επικαλύψεις οπλισμών:

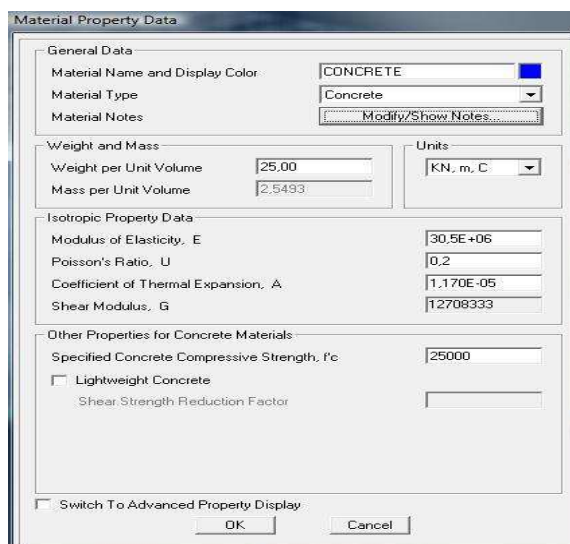
Οι επικαλύψεις των οπλισμών στα δομικά στοιχεία του φορέα ορίζονται ως εξής:

- i. σε συνδετήριες δοκούς, δοκάρια, υποστυλώματα και τοιχώματα είναι 3 cm.
- ii. σε μεμονωμένα πέδιλα είναι 5 cm και
- iii. σε πλάκες είναι 2 cm.

Σημείωση: Το βάθος θεμελίωσης έχει ορισθεί σε βάθος 1.68 m από την ελεύθερη επιφάνεια όπου θεωρήθηκε ένα ενιαίο ύψος έως το ταβάνι της πιλοτής ίσο με 4.36 m. Τα ύψη του 1^{ου} ορόφου, 2^{ου} ορόφου και 3^{ου} ορόφου είναι 2.95 m. Το ύψος του 4^{ου} ορόφου είναι 2.90 m. Το ύψος του δώματος είναι 2.89m.

Υλικά κατασκευής:

Για την υλοποίηση όλων των δομικών στοιχείων του φορέα χρησιμοποιείται σκυρόδεμα ποιότητας C25/30 και χάλυβας ποιότητας S400. Για το μπετόν καθαριότητας (πάχος τουλάχιστον 10 cm) χρησιμοποιείται σκυρόδεμα ποιότητας C15.



Σχήμα 5.3.1: Ορισμός του σκυροδέματος C25/30

5.4 Φορτία Κατάσκευής:

Στον φορέα δρουν φορτία από τις εξής 3 κατηγορίες φορτίων:

1. Μόνιμα Φορτία

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τα εξής:

α) τα ίδια βάρη των στοιχείων της κατασκευής τα οποία υπολογίζονται σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί στο πρόγραμμα.

β) το φορτίο της επικάλυψης, στο οποίο έχει ορισθεί η τιμή 2.0 kN/m².

γ) τη μόνωση της οροφής, η οποία δρα με φορτίο 3.0 kN/m².

δ) τα φορτία από τις τοιχοποιίες, όπου για λόγους απλότητας έχουν παραληφθεί.

2. Κινητά φορτία

Στην κατηγορία αυτή υπάγονται οι εξής δύο κατηγορίες:

α) για τα δάπεδα λήφθηκε ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο στην πλάκα με τιμή 2.0 kN/m².

β) για τις κλίμακες λήφθηκε φορτίο κατανεμημένο σε επιφάνεια με τιμή 4.0 kN/m^2 .

3. Τυχηματικά φορτία

Πρόκειται για τα φορτία που είναι απαραίτητα για την σεισμική διέγερση της κατασκευής.

5.5 Προσομοίωση Φορέα:

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την προσομοίωση του φορέα παρουσιάζεται εκτενώς στο Παράρτημα Β.

Υποστυλώματα και Δοκάρια:

Σε κάθε μέλος του φορέα, το οποίο προσομοιώνεται, αντιστοιχούν τρεις τοπικοί άξονες. Στο γραφικό περιβάλλον οι τοπικοί αυτοί άξονες συμβολίζονται ως εξής:

- ο Ο άξονας 1: ορίζεται ως ο διαμήκης άξονας του στοιχείου και απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα.
- ο Ο άξονας 2: που απεικονίζεται με άσπρο χρώμα.
- ο Ο άξονας 3: που απεικονίζεται με κυανό χρώμα.

Ο προσανατολισμός των τοπικών αξόνων 2 και 3 εξαρτάται άμεσα από την σχέση του τοπικού άξονα 1 με τον καθολικό άξονα Z (κατακόρυφο).

Δηλαδή:

- i. Εάν το στοιχείο είναι οριζόντιο τότε ο τοπικός άξονας 2 λαμβάνεται στην διεύθυνση του θετικού καθολικού άξονα Z.
- ii. Εάν το στοιχείο είναι κατακόρυφο τότε ο τοπικός άξονας 2 λαμβάνεται οριζόντιος και παράλληλος κατά την θετική διεύθυνση του άξονα X.

Πλάκες:

Η πλάκα είναι ένα στοιχείο απείρως υπερστατικό με πολύ μικρή παραμόρφωση μέσα στο επίπεδό της. Έτσι οι πλάκες προσομοιώνονται με τον ορισμό διαφράγματος ώστε να απεικονισθεί η οριζόντια κίνηση τους με αυτή του επιπέδου στερεού σώματος. Άμεση συνέπεια του ορισμού αυτού είναι ότι τα άκρα των υποστυλωμάτων ακολουθούν τις κινήσεις της πλάκας καθώς επίσης δεσμεύονται οι αξονικές παραμορφώσεις των δοκών καθώς και η κάμψη τους μέσα στο επίπεδο της πλάκας. Συνεπώς επιτρέπεται η διανομή της αδρανειακής δύναμης ανάλογα με την δυσκαμψία τους και εξασφαλίζεται η υπερστατικότητα της κατασκευής αφού υπάρχει η δυνατότητα ανακατανομής των αντιδράσεων των κατακόρυφων μελών. Έτσι οι βαθμοί ελευθερίας κίνησης κάθε ορόφου κατά την οριζόντια κίνηση της πλάκας είναι τρεις, εκ των οποίων οι δύο είναι οριζόντιες μετατοπίσεις και μία στροφή.

Σε περίπτωση παράλειψης του διαφράγματος, τότε η υπερστατικότητα μειώνεται, καθώς επίσης και η δυνατότητα διανομής της αδρανειακής δύναμης και κατ' επέκταση η ολική δυσκαμψία του φορέα. Συνεπώς είναι πολύ πιθανόν να παρουσιασθούν μεγάλες μετατοπίσεις σε ορισμένα σημεία μόνο.

5.6 Συνδυασμοί Φορτίσεων:

Βάσει του ΕΚΩΣ 2000 διενεργούνται οι πιο κάτω δυσμενείς φορτίσεις κατά την προσομοίωση του φορέα.

1. Χωρίς σεισμό: $Q_{sd} = 1.35 \cdot G + 1.50 \cdot Q$

2. Με σεισμό: $Q_{sd} = 1.00 \cdot G + 0.30 \cdot Q$

Όπου G είναι οι μόνιμες δράσεις και Q οι μεταβλητές δράσεις.

6^ο Κεφάλαιο: Δυναμική Φασματική Μέθοδος

6.1 Εισαγωγή:

Αν και πρόκειται για μέθοδο γραμμικού υπολογισμού, της οποίας η αξιοπιστία μειώνεται σε κατασκευές με απότομες μεταβολές των αντοχών καθ ύψος, η δυναμική φασματική μέθοδος αποτελεί βάσει του ΕΑΚ – 2000 μία διαδικασία ελέγχου που εφαρμόζεται χωρίς περιορισμούς.

Με την εφαρμογή της μεθόδου αυτής εκτιμώνται οι πιθανές ακραίες τιμές κάποιου μεγέθους απόκρισης με τη χρήση της τετραγωνικής επαλληλίας των ιδιομορφικών τιμών.

Η μέθοδος περιλαμβάνει τα εξής:

- Οι ιδιομορφές ταλάντωσης και οι αντίστοιχες ιδιοσυχνότητες και ιδιοπεριόδους υπολογίζονται με την εφαρμογή ιδιομορφικής ανάλυσης.
- Κατά την ιδιομορφική απόκριση η ακραία απόκριση που αντιστοιχεί σε κάθε ιδιομορφή ταλάντωσης εκτιμάται με τη χρήση του φάσματος σχεδιασμού.
- Ιδιομορφική επαλληλία όπου υπολογίζεται η τιμή ενός τυχαίου μεγέθους της απόκρισης για κάθε συνιστώσα του σεισμού.
- Χωρική επαλληλία κατά την οποία για ταυτόχρονη δράση και των τριών συνιστωσών του σεισμού προσδιορίζεται η πιθανή ακραία τιμή ενός τυχαίου μεγέθους της απόκρισης.

Επίσης γίνεται η θεώρηση "Ισοτροπικής διέγερσης" δηλαδή οι εντάσεις των δύο οριζόντιων συνιστωσών να θεωρούνται ίσες. Μία θεώρηση προς την πλευρά της ασφάλειας δεδομένου ότι οι επικεντρικές διευθύνσεις μπορεί να είναι τυχούσες.

Οι σημαντικές ιδιομορφές που λαμβάνονται υπόψη για κάθε σεισμική διέγερση πρέπει να ικανοποιούν τις εξής δύο παραμέτρους:

- Σε κάθε συνιστώσα της σεισμικής διέγερσης λαμβάνονται υπόψη υποχρεωτικά τόσες ιδιομορφές έως ότου το άθροισμα της συνολικά ταλαντούμενης μάζας φτάσει τουλάχιστον το 90%.
- Οι ιδιομορφές με ιδιοπερίοδο $T \geq 0.20$ sec λαμβάνονται πάντοτε υπόψη αφού η συμμετοχή τους θεωρείται σημαντική.

6.2 Μόρφωση του Φάσματος Σχεδιασμού:

Για την μόρφωση του φάσματος σχεδιασμού χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες σχέσεις που ορίζονται από τον ΕΑΚ – 2000.

$$0 < T < T_1 : \Phi_d(T) = \gamma_1 * A * \left[1 + \frac{T}{T_1} * \left(\frac{n * \theta * \beta_0}{q} - 1 \right) \right] \quad (6.2.1)$$

$$T_1 < T < T_2 : \Phi_d(T) = \gamma_1 * A * \frac{n * \theta * \beta_0}{q} \quad (6.2.2)$$

$$T_2 < T : \Phi_d(T) = \gamma_1 * A * \frac{n * \theta * \beta_0}{q} * \left(\frac{T_2}{T} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (6.2.3)$$

Για τον υπολογισμό των τιμών της φασματικής επιτάχυνσης στους τρεις κλάδους του φάσματος έγιναν οι εξής παραδοχές όσον αφορά τις παραμέτρους:

- Συντελεστής σπουδαιότητας: $\gamma_1=1.00$

Το κτίριο ανήκει σε κατηγορία σπουδαιότητας Σ2

- Σεισμική επιτάχυνση εδάφους: $A=0.24g$

Θεώρηση ότι το κτίριο ανήκει στην ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας ΙΙ βάσει του ΕΑΚ – 2000.

- Κατηγορία εδάφους ορίσθηκε η Β.

Στην κατηγορία αυτή οι χαρακτηριστικές περίοδοι έχουν τιμές: $T_1=0.15$ και $T_2=0.60$ sec.

- Συντελεστής συμπεριφοράς: $q= 3.5$.

Αφού πρόκειται για κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα με πλαισιακό σύστημα λειτουργίας.

- Συντελεστής θεμελίωσης: $\theta=1.00$

Αφού έγινε θεώρηση εδάφους κατηγορίας Β

- Διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης: $n=1$.

Κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα με λόγο απόσβεσης $\zeta=5\%$

- Συντελεστής φασματικής ενίσχυσης: $\beta_0=2.5$

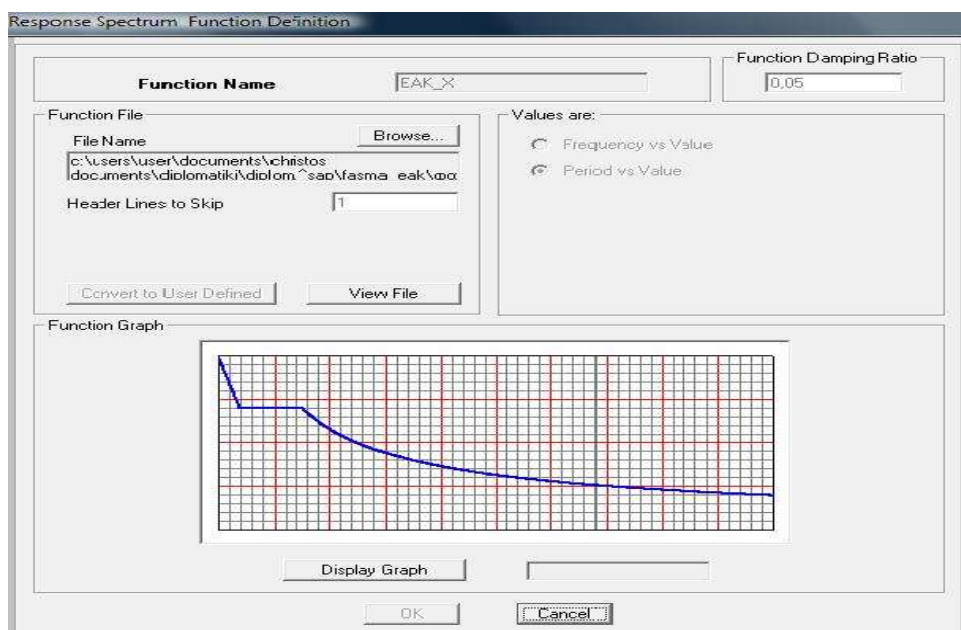
Σημείωση: Το g λήφθηκε ίσο με 9.81 (m/sec^2)

Από την εφαρμογή των προηγούμενων σχέσεων προέκυψαν οι ακόλουθες τιμές της φασματικής επιτάχυνσης:

T	$\Phi_d(T)$	T	$\Phi_d(T)$	T	$\Phi_d(T)$
0,0	2,3544	1,1	1,1227	2,2	0,7072
0,1	1,906	1,2	1,0594	2,3	0,6866
0,2	1,6817	1,3	1,0034	2,4	0,6674
0,3	1,6817	1,4	0,9560	2,5	0,6494

0,4	1,6817	1,5	0,9130	2,6	0,6327
0,5	1,6817	1,6	0,8745	2,7	0,6170
0,6	1,6817	1,7	0,8400	2,8	0,6022
0,7	1,5175	1,8	0,8084	2,9	0,5882
0,8	1,3882	1,9	0,7800	3,0	0,5751
0,9	1,2834	2,0	0,7536	3,1	0,5627
1,0	1,1963	2,1	0,7295	3,2	0,5509

Πίνακας 6.2.1: Τιμές για φάσμα σε χ και y διεύθυνση



Σχήμα 6.2.1: Φάσμα κατά τις διευθύνσεις X και Y στο SAP

Για την κατασκευή του φάσματος σχεδιασμού κατά την κατακόρυφη διεύθυνση χρησιμοποιούνται οι ίδιες σχέσεις με πριν με τις εξής όμως τροποποιήσεις:

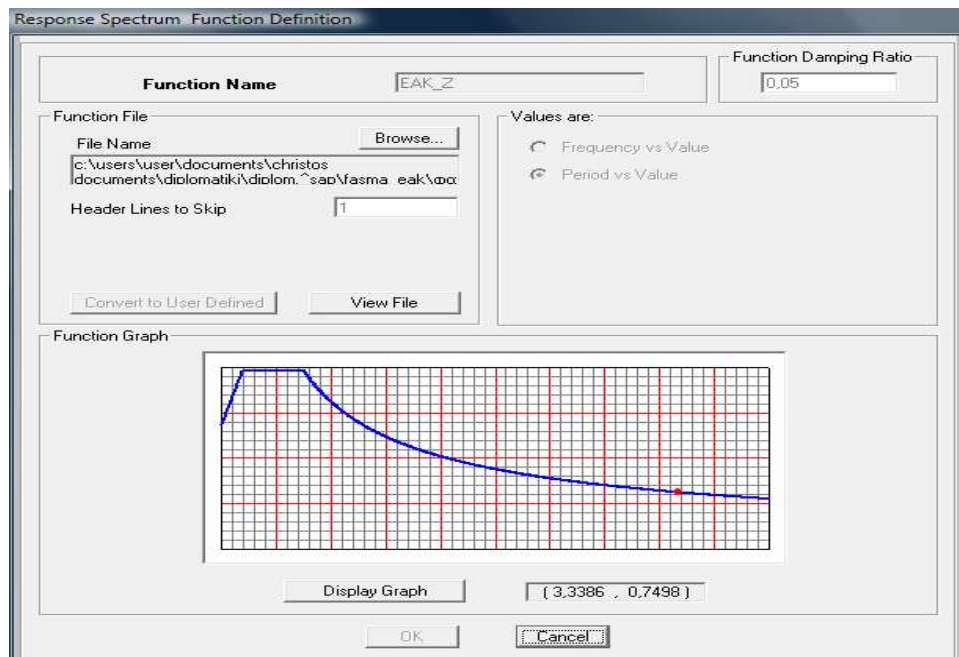
- $A_v=0,70 A$, όπου A η τιμή της εδαφικής επιτάχυνσης
- Ο συντελεστής συμπεριφοράς είναι ίσος με $q_v=0,50q$.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι τιμές που προέκυψαν από την εφαρμογή των σχέσεων

T	$\Phi_d(T)$	T	$\Phi_d(T)$	T	$\Phi_d(T)$
0,0	1,6481	1,1	1,5718	2,2	0,9902

0,1	2,1190	1,2	1,4832	2,3	0,9612
0,2	2,3544	1,3	1,4061	2,4	0,9343
0,3	2,3544	1,4	1,3383	2,5	0,9093
0,4	2,3544	1,5	1,2782	2,6	0,8858
0,5	2,3544	1,6	1,2243	2,7	0,8638
0,6	2,3544	1,7	1,1758	2,8	0,8431
0,7	2,1245	1,8	1,1319	2,9	0,8236
0,8	1,9435	1,9	1,0918	3,0	0,8052
0,9	1,7967	2,0	1,0551	3,1	0,7878
1,0	1,6749	2,1	1,0213	3,2	0,7713

Πίνακας 6.2.2: Τιμές για φάσμα κατά την διεύθυνση Z



Σχήμα 6.2.2: Φάσμα κατά την διεύθυνση Z στο SAP

6.3 Ιδιομορφική Ανάλυση:

Με την εφαρμογή της ιδιομορφικής ανάλυσης λαμβάνονται 15 ιδιομορφές, οι οποίες και παρουσιάζονται παρακάτω, με τις ιδιοπεριόδους και τις ιδιοσυχνότητες τους.

6^ο Κεφάλαιο: Δυναμική Φασματική Μέθοδος

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0,803688	1,2443	7,8179	61,12
MODAL	Mode	2	0,494078	2,024	12,717	161,72
MODAL	Mode	3	0,401734	2,4892	15,64	244,61
MODAL	Mode	4	0,247188	4,0455	25,419	646,11
MODAL	Mode	5	0,155619	6,426	40,376	1630,2
MODAL	Mode	6	0,126987	7,8748	49,479	2448,2
MODAL	Mode	7	0,120926	8,2695	51,959	2699,7
MODAL	Mode	8	0,113628	8,8006	55,296	3057,7
MODAL	Mode	9	0,111643	8,9571	56,279	3167,3
MODAL	Mode	10	0,109341	9,1457	57,464	3302,1
MODAL	Mode	11	0,108335	9,2306	57,998	3363,7
MODAL	Mode	12	0,105398	9,4878	59,614	3553,8
MODAL	Mode	13	0,102038	9,8003	61,577	3791,7
MODAL	Mode	14	0,101196	9,8818	62,089	3855,1
MODAL	Mode	15	0,098258	10,177	63,946	4089

Πίνακας 6.3.1: Ιδιομορφές Ταλάντωσης

TABLE: Modal Participating Mass Ratios								
OutputCase	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	1	0,803688	1,15E-01	7,70E-02	1,17E-06	0,11538	0,07697	1,17E-06
MODAL	2	0,494078	1,84E-01	6,26E-01	2,80E-04	0,29948	0,70302	2,80E-04
MODAL	3	0,401734	4,44E-01	1,00E-01	9,50E-06	0,74372	0,80315	2,90E-04
MODAL	4	0,247188	1,55E-02	4,25E-02	1,33E-05	0,75922	0,84559	3,00E-04
MODAL	5	0,155619	8,37E-03	8,46E-02	3,52E-03	0,76758	0,93015	3,82E-03
MODAL	6	0,126987	2,35E-03	3,16E-03	2,03E-02	0,76993	0,9333	2,42E-02
MODAL	7	0,120926	3,00E-03	4,78E-03	1,87E-03	0,77294	0,93808	2,60E-02
MODAL	8	0,113628	8,42E-03	1,31E-03	3,11E-02	0,78136	0,9394	5,71E-02
MODAL	9	0,111643	1,70E-04	7,93E-06	1,54E-02	0,78153	0,93941	7,25E-02
MODAL	10	0,109341	1,39E-03	9,20E-05	1,68E-02	0,78292	0,9395	8,94E-02
MODAL	11	0,108335	4,10E-04	6,60E-04	1,10E-02	0,78333	0,94016	1,00E-01
MODAL	12	0,105398	4,03E-02	2,69E-05	6,70E-04	0,82366	0,94018	1,01E-01
MODAL	13	0,102038	1,32E-01	2,36E-02	4,50E-03	0,95529	0,96381	1,05E-01
MODAL	14	0,101196	2,60E-04	8,35E-05	3,90E-04	0,95555	0,9639	1,06E-01
MODAL	15	0,098258	1,53E-03	3,80E-04	1,28E-03	0,95709	0,96428	1,07E-01

Πίνακας 6.3.2: Λόγοι ιδιομορφικής συμμετοχής μαζών

Από το ποσοστό της ταλαντούμενης μάζας που αντιστοιχεί σε κάθε ιδιομορφή προσδιορίζεται η κύρια ιδιοπερίοδος σε κάθε κατεύθυνση.

Λαμβάνονται υπόψη τόσες ιδιομορφές έως ότου το άθροισμα των ιδιομορφικών τους μαζών φτάσει το 90% της συνολικά ταλαντούμενης μάζας. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζεται κάθε συνιστώσα της σεισμικής διέγερσης.

Συνεπώς για τον προσδιορισμό της σεισμικής συνιστώσας κατά την διεύθυνση X θα πρέπει να συμμετέχουν οι 13 πρώτες ιδιομορφές. Αντιστοίχως για την διεύθυνση Y θα πρέπει να συμμετέχουν οι 5 πρώτες ιδιομορφές ενώ για την σεισμική συνιστώσα κατά την διεύθυνση Z ο αριθμός αυτός ξεπερνάει τις 60 ιδιομορφές.

- Η πρώτη ιδιομορφή ανήκει στη διεύθυνση X και έχει ιδιοπερίοδο $T_x=0,804$ sec, με ποσοστό ιδιομορφικής μάζας ίσο με 11,5% της συνολικά ταλαντούμενης μάζας της κατασκευής.

Παρατηρούμε ότι είναι $T_x > T_2(=0,60\text{sec})$, επομένως η φασματική επιτάχυνση στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι:

$$\Phi_{dx}(T) = \gamma_1 * A * \frac{n * \theta * \beta_0}{q} \left(\frac{T_2}{T} \right)^{\frac{2}{3}} = 1,385 \text{ m/sec}^2 \quad (6.3.1)$$

- Η δεύτερη ιδιομορφή χαρακτηρίζει κίνηση κατά τη διεύθυνση Y και έχει ιδιοπερίοδο $T_Y=0,494$ sec, με ποσοστό δρώσας ιδιομορφικής μάζας ίσο με 70,3% της συνολικής ταλαντούμενης μάζας της κατασκευής.

Στην περίπτωση αυτή ισχύει $T_1(=0,15 \text{ sec}) < T < T_2(=0,60 \text{ sec})$, συνεπώς η φασματική επιτάχυνση είναι:

$$\Phi_{dY}(T) = \gamma_1 * A * \frac{n * \theta * \beta_0}{q} = 1.6817 \text{ m/sec}^2 \quad (6.3.2)$$

- Η ιδιοπερίοδος κατά την διεύθυνση Z αντιστοιχεί στην 8^η ιδιομορφή και είναι $T_Z=0,114$ sec.

Συνεπώς ισχύει $0 < T < T_1 (= 0,15 \text{ sec})$, η φασματική επιτάχυνση κατά Z είναι:

$$\Phi_{dz}(T) = \gamma_1 * A * \left[1 + \frac{T}{T_1} * \left(\frac{n * \theta * \beta_0}{q} - 1 \right) \right] = 2,185 \text{ m/sec}^2 \quad (6.3.3)$$

6.4 Συνδυασμοί Σεισμικών Φορτίων:

Για τον προσδιορισμό της πιθανής ακραίας τιμής ενός τυχαίου μεγέθους της απόκρισης εξασφαλίζεται η χωρική επαλληλία για ταυτόχρονη δράση των τριών συνιστωσών του σεισμού.

Με τον σχηματισμό των ακόλουθων συνδυασμών φορτίσεων εξασφαλίζεται πως ο δυσμενέστερος συνδυασμός θα εισαχθεί.

Σημείωση: στις σχέσεις οι συμβολισμοί F_x , F_y και F_z παριστάνουν τα διανύσματα των σεισμικών φορτίων κατά τις τρεις διευθύνσεις αντιστοίχως και το F αντιπροσωπεύει την συνισταμένη σεισμική φόρτιση. Ακόμα οι F_x , F_y και F_z ορίσθηκαν ως RSP_EAK_X, RSP_EAK_Y και RSP_EAK_Z αντίστοιχα.

➤ Κύρια διεύθυνση του σεισμού κατά X:

RSP.COMB1: $G + 0.3Q + F_x + 0.3F_y + 0.3F_z$

RSP.COMB2: $G + 0.3Q + F_x - 0.3F_y + 0.3F_z$

RSP.COMB3: $G + 0.3Q + F_x - 0.3F_y - 0.3F_z$

RSP.COMB4: $G + 0.3Q + F_x + 0.3F_y - 0.3F_z$

RSP.COMB5: $G + 0.3Q - F_x + 0.3F_y + 0.3F_z$

RSP.COMB6: $G + 0.3Q - F_x - 0.3F_y + 0.3F_z$

RSP.COMB7: $G + 0.3Q - F_x + 0.3F_y - 0.3F_z$

RSP.COMB8: $G + 0.3Q - F_x - 0.3F_y - 0.3F_z$

➤ Κύρια διεύθυνση του σεισμού κατά Y:

RSP.COMB9 : $G + 0.3Q + F_y + 0.3F_x + 0.3F_z$

RSP.COMB10: $G + 0.3Q + F_y - 0.3F_x + 0.3F_z$

RSP.COMB11: $G + 0.3Q + F_Y - 0.3F_X - 0.3F_Z$

RSP.COMB12: $G + 0.3Q + F_Y + 0.3F_X - 0.3F_Z$

RSP.COMB13: $G + 0.3Q - F_Y + 0.3F_X + 0.3F_Z$

RSP.COMB14: $G + 0.3Q - F_Y - 0.3F_X + 0.3F_Z$

RSP.COMB15: $G + 0.3Q - F_Y + 0.3F_X - 0.3F_Z$

RSP.COMB16: $G + 0.3Q - F_Y - 0.3F_X - 0.3F_Z$

➤ Κύρια διεύθυνση του σεισμού κατά Z:

RSP.COMB17: $G + 0.3Q + F_Z + 0.3F_X + 0.3F_Y$

RSP.COMB18: $G + 0.3Q + F_Z - 0.3F_X + 0.3F_Y$

RSP.COMB19: $G + 0.3Q + F_Z - 0.3F_X - 0.3F_Y$

RSP.COMB20: $G + 0.3Q + F_Z + 0.3F_X - 0.3F_Y$

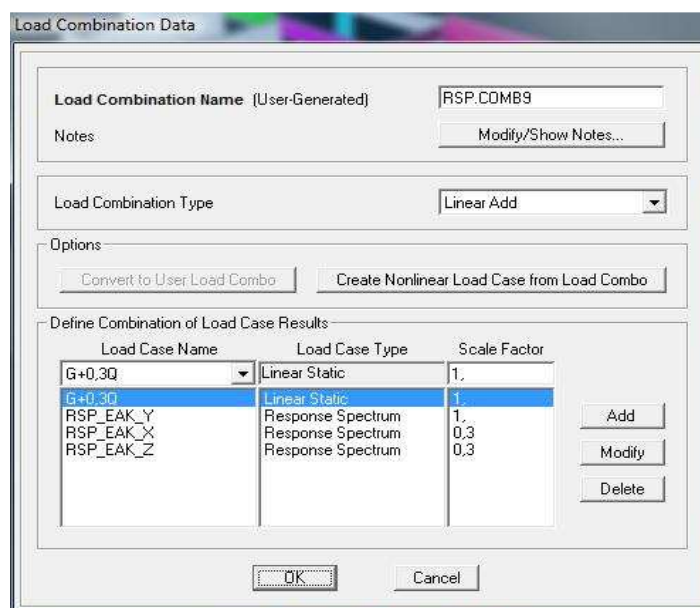
RSP.COMB21: $G + 0.3Q - F_Z + 0.3F_X + 0.3F_Y$

RSP.COMB22: $G + 0.3Q - F_Z - 0.3F_X + 0.3F_Y$

RSP.COMB23: $G + 0.3Q - F_Z + 0.3F_X - 0.3F_Y$

RSP.COMB24: $G + 0.3Q - F_Z - 0.3F_X - 0.3F_Y$

Ακολούθως παρουσιάζεται ο ορισμός ενός συνδυασμού, έστω ο RSP.COMB9, στο πρόγραμμα.



Σχήμα 6.4.1: Ο συνδυασμός RSP.COMB9

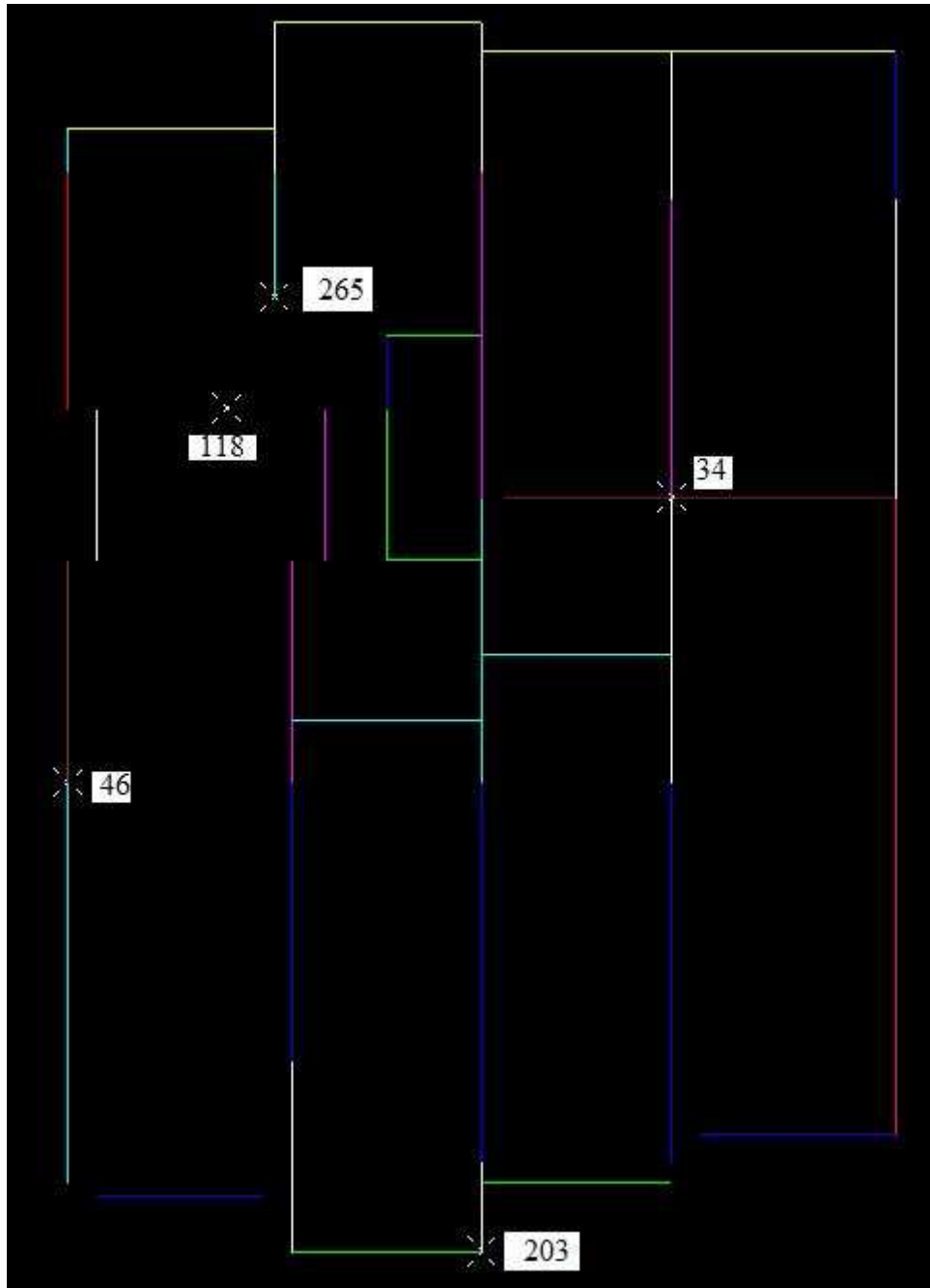
6.5 Έντατικά και Παραμορφωσιακά Μεγέθη:

Τα μεγέθη έντασης και παραμόρφωσης που αναπτύχθηκαν στον φορέα παρουσιάζονται ενδεικτικά πιο κάτω μέσω κάποιων επιλεγμένων σημείων.

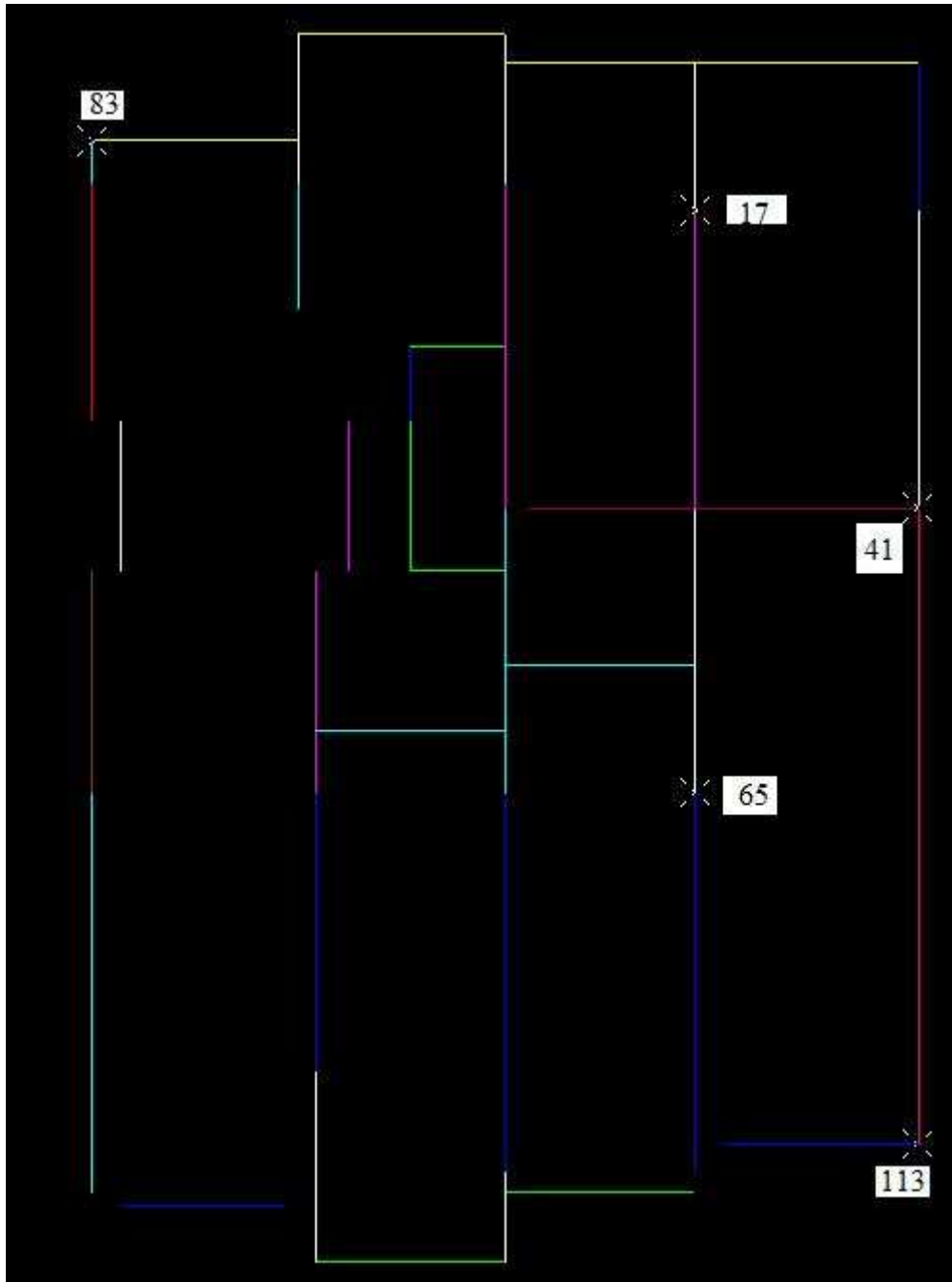
Τα σημεία που επιλέχθηκαν είναι τα ακόλουθα:

- Από το ισόγειο: 265, 203, 118, 34 και 46.
- Από τον 1⁰ όροφο: 83, 113, 65, 41 και 17.
- Από τον 2⁰ όροφο: 165, 232, 196, 206 και 148.
- Από τον 3⁰ όροφο: 149, 37, 73, 156 και 173.
- Από τον 4⁰ όροφο: 122, 150, 181, 116 και 220.
- Από το δώμα: 123 και 262.

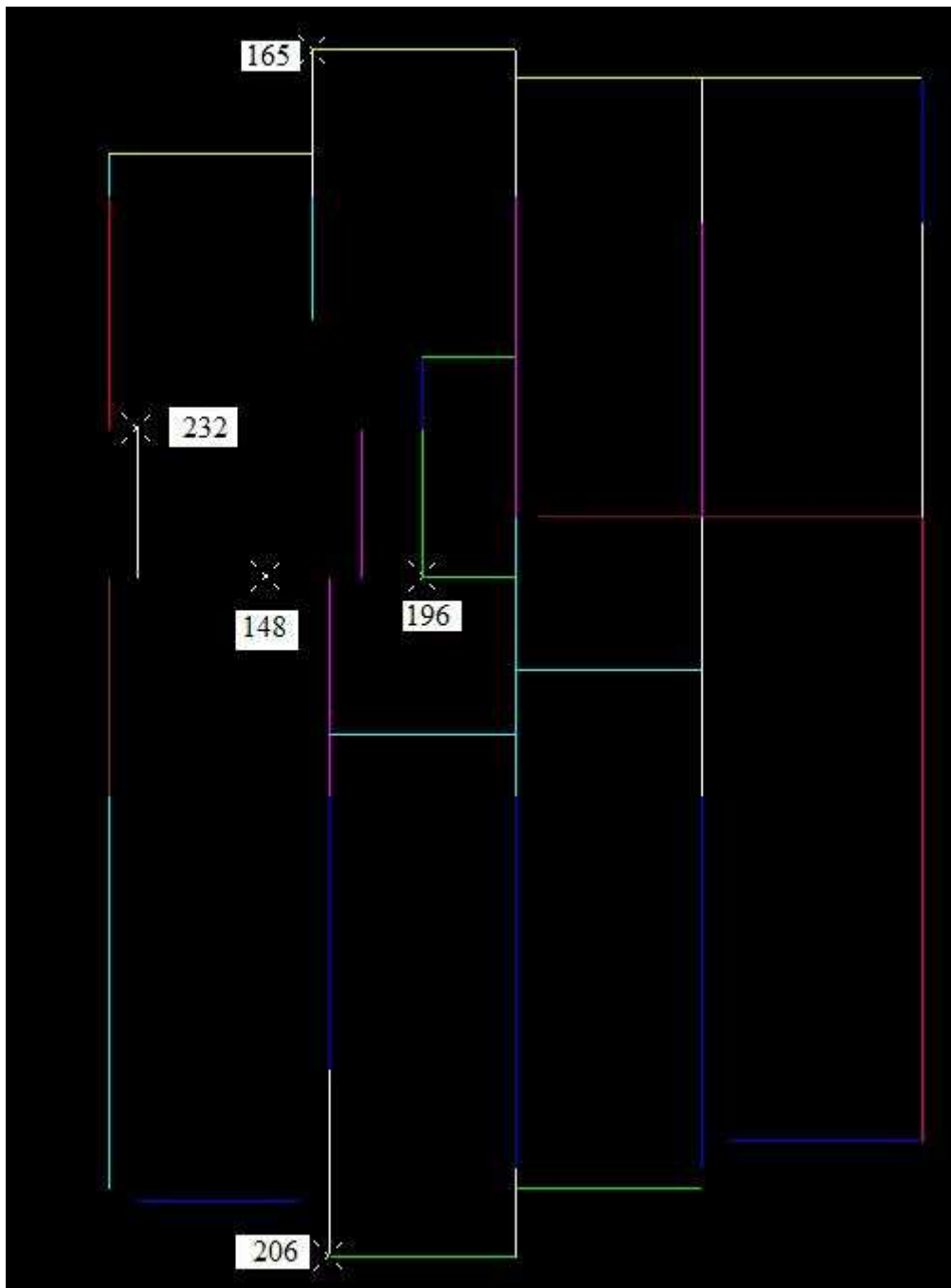
Η ακριβής θέση των κόμβων που επιλέχθηκαν παρουσιάζεται στα σχήματα που ακολουθούν.



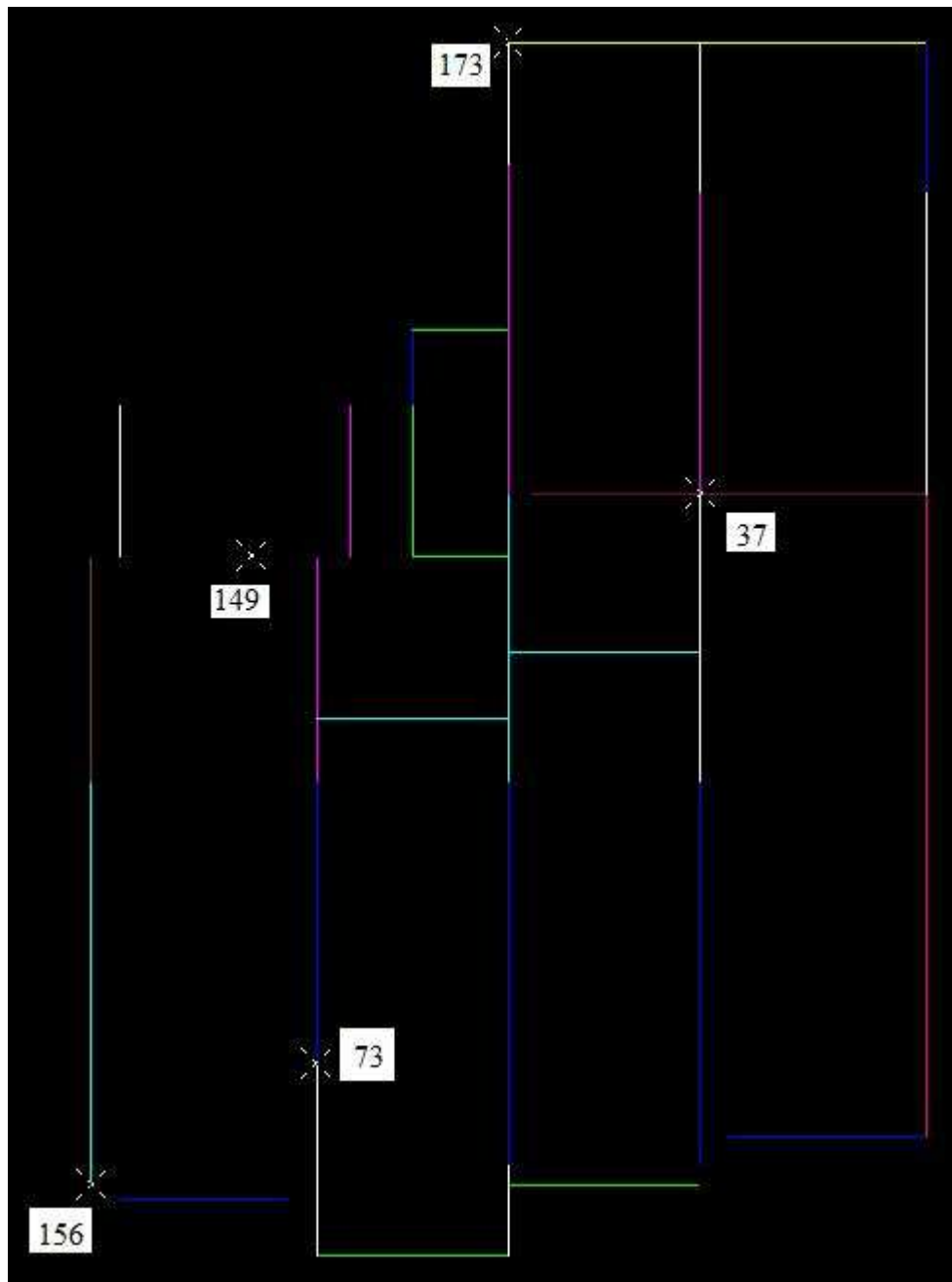
Σχήμα 6.5.1: Επιλεγμένοι κόμβοι ισογείου.



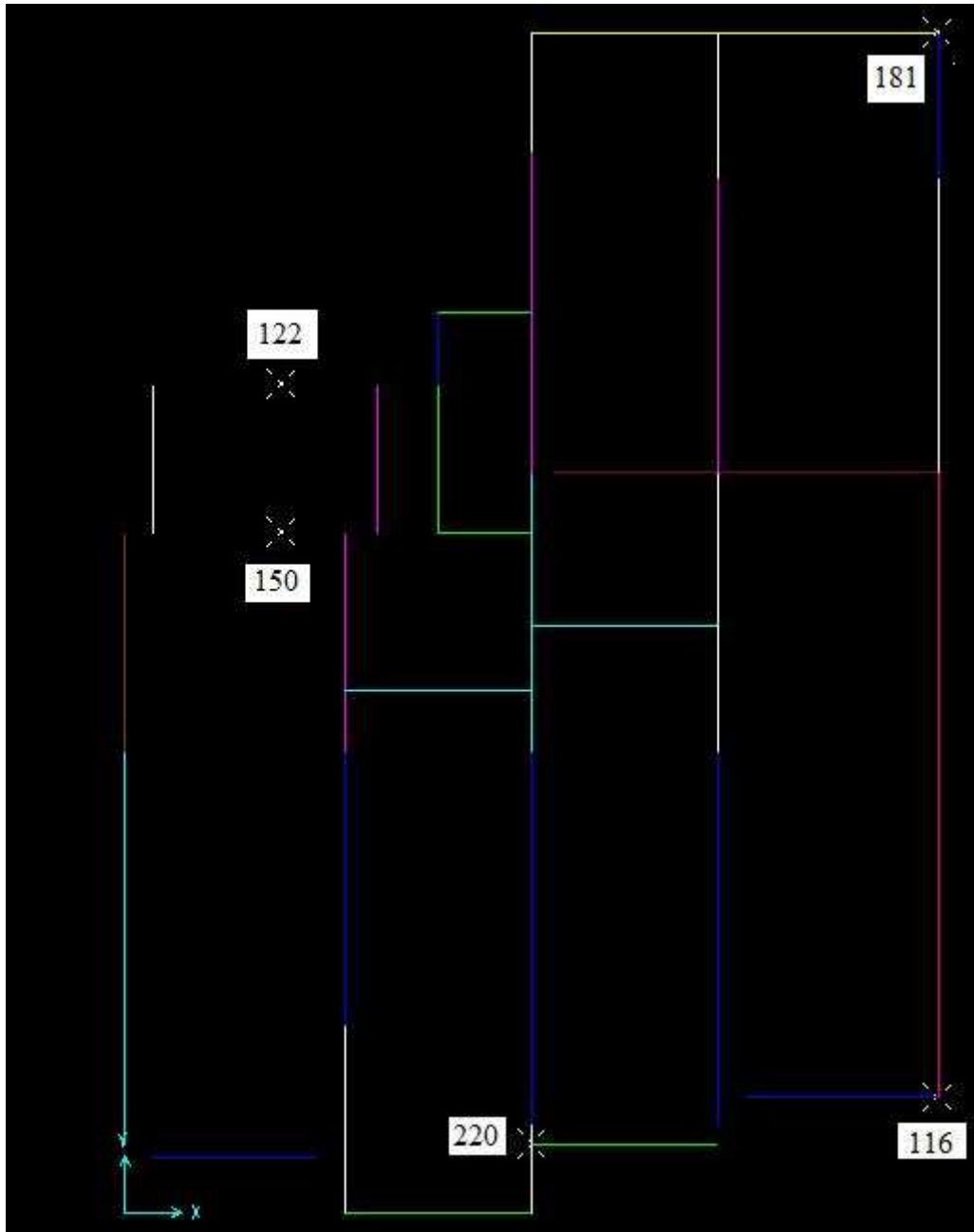
Σχήμα 6.5.2: Επιλεγμένοι κόμβοι πρώτου ορόφου.



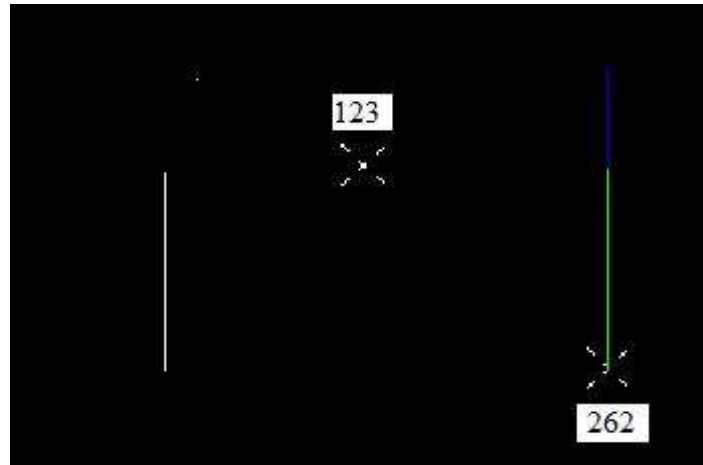
Σχήμα 6.5.3: Επιλεγμένοι κόμβοι δευτέρου ορόφου.



Σχήμα 6.5.4: Επιλεγμένοι κόμβοι τρίτου ορόφου.



Σχήμα 6.5.5: Επιλεγμένοι κόμβοι τετάρτου ορόφου.



Σχήμα 6.5.6: Επιλεγμένοι κόμβοι δώματος.

TABLE: Joint Displacements							
Joint	OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
34	RSP_EAK_X	0,000885	0,001952	0,00006	0,000025	0,000275	0,000219
34	RSP_EAK_Y	0,000832	0,004236	0,000041	0,00004	0,000253	0,000302
34	RSP_EAK_Z	0,000038	0,000153	0,000093	0,000037	8,58E-06	0,000012
46	RSP_EAK_X	0,001325	0,002117	0,000027	0,00056	0,00044	0,000219
46	RSP_EAK_Y	0,002151	0,002723	0,000027	0,000701	0,000686	0,000302
46	RSP_EAK_Z	0,000076	0,000075	0,000077	0,000014	0,000018	0,000012
118	RSP_EAK_X	0,000996	0,001793	0,000266	0,000281	0,000279	0,000219
118	RSP_EAK_Y	0,000659	0,002852	0,00037	0,000396	0,000191	0,000302
118	RSP_EAK_Z	0,00004	0,000085	0,000032	9,81E-06	4,30E-06	0,000012
203	RSP_EAK_X	0,002968	0,001677	0,000767	0,000441	0,000297	0,000219
203	RSP_EAK_Y	0,004628	0,003513	0,001507	0,000849	0,000667	0,000302
203	RSP_EAK_Z	0,000168	0,00012	0,000111	0,000031	0,000041	0,000012
265	RSP_EAK_X	0,001265	0,001729	0,000389	0,000336	0,000292	0,000219
265	RSP_EAK_Y	0,000875	0,002938	0,000644	0,000556	0,000221	0,000302
265	RSP_EAK_Z	0,000052	0,00009	0,000029	0,000014	6,68E-06	0,000012

Πίνακας 6.5.1: Παραμορφωσιακά μεγέθη στο Ισόγειο

TABLE: Joint Displacements							
Joint	OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
17	RSP_EAK_X	0,003122	0,003605	0,000113	0,000457	0,000497	0,000411
17	RSP_EAK_Y	0,002378	0,007722	0,00023	0,000944	0,00033	0,000558
17	RSP_EAK_Z	0,000076	0,000228	0,000099	0,000087	0,000022	0,000014
41	RSP_EAK_X	0,001959	0,00468	0,000172	0,000446	0,000388	0,000411
41	RSP_EAK_Y	0,001808	0,009527	0,000219	0,00089	0,000357	0,000558
41	RSP_EAK_Z	0,000059	0,000282	0,000156	0,000026	0,000012	0,000014

6^ο Κεφάλαιο: Δυναμική Φασματική Μέθοδος

65	RSP_EAK_X	0,002685	0,003605	0,000013	0,000473	0,000474	0,000411
65	RSP_EAK_Y	0,004197	0,007722	0,000022	0,000989	0,000677	0,000558
65	RSP_EAK_Z	0,000108	0,000228	0,000207	0,000032	0,000021	0,000014
83	RSP_EAK_X	0,003539	0,003997	0,000476	0,000602	0,000111	0,000411
83	RSP_EAK_Y	0,002964	0,005039	0,0006	0,000758	0,000155	0,000558
83	RSP_EAK_Z	0,000089	0,000092	0,000022	0,000028	0,000046	0,000014
113	RSP_EAK_X	0,004849	0,00468	0,000355	0,000501	0,000718	0,000411
113	RSP_EAK_Y	0,007599	0,009527	0,000351	0,000999	0,001076	0,000558
113	RSP_EAK_Z	0,000189	0,000282	0,000093	0,00003	0,000037	0,000014

Πίνακας 6.5.2: Παραμορφωσιακά μεγέθη στον 1^ο Όροφο

TABLE: Joint Displacements							
Joint	OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
148	RSP_EAK_X	0,003224	0,004975	0,000138	0,000567	0,000408	0,000594
148	RSP_EAK_Y	0,003523	0,007585	0,000104	0,000834	0,000402	0,000788
148	RSP_EAK_Z	0,00008	0,000158	0,000145	0,000029	9,98E-06	0,000016
165	RSP_EAK_X	0,006342	0,004776	0,001113	0,000239	0,000092	0,000594
165	RSP_EAK_Y	0,005517	0,007768	0,001811	0,000393	0,000186	0,000788
165	RSP_EAK_Z	0,00011	0,00017	0,000539	0,00026	0,000168	0,000016
196	RSP_EAK_X	0,003224	0,004501	0,001049	0,000201	0,000408	0,000594
196	RSP_EAK_Y	0,003523	0,008396	0,001055	0,000405	0,000402	0,000788
196	RSP_EAK_Z	0,00008	0,000198	0,000138	0,00007	9,98E-06	0,000016
206	RSP_EAK_X	0,008253	0,004717	0,000821	0,000147	0,000166	0,000594
206	RSP_EAK_Y	0,012595	0,007846	0,0011	0,000247	0,000334	0,000788
206	RSP_EAK_Z	0,000266	0,000174	0,000244	0,000173	0,000073	0,000016
232	RSP_EAK_X	0,003494	0,005725	0,001371	0,000269	0,000447	0,000594
232	RSP_EAK_Y	0,00243	0,007379	0,001244	0,000271	0,000327	0,000788
232	RSP_EAK_Z	0,000055	0,000128	0,000074	0,000059	8,16E-06	0,000016

Πίνακας 6.5.3: Παραμορφωσιακά μεγέθη στον 2^ο Όροφο

TABLE: Joint Displacements							
Joint	OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
37	RSP_EAK_X	0,00462	0,006508	0,000137	0,000069	0,000422	0,000758
37	RSP_EAK_Y	0,004133	0,013649	0,000098	0,000126	0,000359	0,000972
37	RSP_EAK_Z	0,000077	0,000329	0,000234	0,00007	0,000014	0,000018
73	RSP_EAK_X	0,008358	0,006266	0,000167	0,000358	0,000628	0,000758
73	RSP_EAK_Y	0,012593	0,010239	0,000214	0,000506	0,000815	0,000972
73	RSP_EAK_Z	0,000245	0,000218	0,000272	0,000024	0,000035	0,000018
149	RSP_EAK_X	0,004576	0,006632	0,000158	0,000551	0,000432	0,000758
149	RSP_EAK_Y	0,00481	0,009984	0,000119	0,000808	0,000406	0,000972
149	RSP_EAK_Z	0,000094	0,000201	0,000168	0,000028	0,000013	0,000018

6^ο Κεφάλαιο: Δυναμική Φασματική Μέθοδος

156	RSP_EAK_X	0,009762	0,007889	0,000537	0,000482	0,000689	0,000758
156	RSP_EAK_Y	0,014615	0,009885	0,000708	0,000646	0,000881	0,000972
156	RSP_EAK_Z	0,000283	0,000159	0,000041	0,000019	0,000031	0,000018
173	RSP_EAK_X	0,008127	0,005846	0,001024	0,000457	0,00034	0,000758
173	RSP_EAK_Y	0,006465	0,011604	0,001777	0,000749	0,000226	0,000972
173	RSP_EAK_Z	0,000089	0,000273	0,000487	0,000243	0,000217	0,000018

Πίνακας 6.5.4: Παραμορφωσιακά μεγέθη στον 3^ο Όροφο

TABLE: Joint Displacements							
Joint	OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
116	RSP_EAK_X	0,010928	0,009535	0,000405	0,000229	0,000528	0,000892
116	RSP_EAK_Y	0,01596	0,018867	0,000398	0,000422	0,000633	0,001103
116	RSP_EAK_Z	0,000315	0,000468	0,000162	0,000036	0,000041	0,00002
122	RSP_EAK_X	0,006366	0,008153	0,000459	0,000429	0,000487	0,000892
122	RSP_EAK_Y	0,004614	0,012172	0,000637	0,000576	0,000368	0,001103
122	RSP_EAK_Z	0,000081	0,000239	0,000091	0,000028	0,000014	0,00002
150	RSP_EAK_X	0,005896	0,008153	0,000167	0,000532	0,000435	0,000892
150	RSP_EAK_Y	0,005995	0,012172	0,000127	0,000779	0,0004	0,001103
150	RSP_EAK_Z	0,00012	0,000239	0,00018	0,000057	0,000014	0,00002
181	RSP_EAK_X	0,010027	0,009535	0,001106	0,000353	0,000193	0,000892
181	RSP_EAK_Y	0,007577	0,018867	0,00221	0,000686	0,000181	0,001103
181	RSP_EAK_Z	0,00011	0,000468	0,001103	0,000523	0,000252	0,00002
220	RSP_EAK_X	0,011574	0,006998	0,000205	0,000356	0,000084	0,000892
220	RSP_EAK_Y	0,016862	0,013649	0,00035	0,000618	0,000092	0,001103
220	RSP_EAK_Z	0,000332	0,000324	0,000233	0,000045	0,000039	0,00002

Πίνακας 6.5.5: Παραμορφωσιακά μεγέθη στον 4^ο Όροφο

TABLE: Joint Displacements							
Joint	OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
123	RSP_EAK_X	0,007792	0,009708	0,00046	0,000432	0,00049	0,001035
123	RSP_EAK_Y	0,005686	0,014418	0,000639	0,000582	0,000369	0,001243
123	RSP_EAK_Z	0,000118	0,000371	0,000093	0,000033	0,000015	0,000026
262	RSP_EAK_X	0,007156	0,00857	0,001109	0,000218	0,000437	0,001035
262	RSP_EAK_Y	0,00714	0,015081	0,001026	0,000409	0,000399	0,001243
262	RSP_EAK_Z	0,000151	0,000425	0,000171	0,000094	0,000014	0,000026

Πίνακας 6.5.6: Παραμορφωσιακά μεγέθη στο δώμα

6^ο Κεφάλαιο: Δυναμική Φασματική Μέθοδος

Για την παρουσίαση των εντατικών μεγεθών επιλέχθηκαν τα εξής μέλη:

- Από το ισόγειο: 97, 121, 32, 62 και 127
- Από τον 1^ο όροφο: 98, 122, 33, 63 και 128.
- Από τον 2^ο όροφο: 99, 123, 34, 64 και 129.
- Από τον 3^ο όροφο: 100, 124, 35, 65 και 130.
- Από τον 4^ο όροφο: 101, 125, 36, 66 και 131.
- Από το δώμα: 102 και 126.

Γενικά μελετάται η συμπεριφορά των τοιχωμάτων του ανελκυστήρα και του κλιμακοστασίου, καθώς επίσης και η συμπεριφορά δύο υποστύλων. Ενός γωνιακού και ενός τετραγωνικού. Το γωνιακό θεωρείται πως είναι σύζευξη τοιχώματος με ορθογωνικό υποστύλωμα.

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
32	0	RSP_EAK_X	110,90	18,07	127,88	21,61	337,75	81,72
32	2,18	RSP_EAK_X	110,90	18,07	127,88	21,61	59,04	43,10
32	4,36	RSP_EAK_X	110,90	18,07	127,88	21,61	219,87	11,85
32	0	RSP_EAK_Y	234,96	15,09	267,34	29,74	703,31	74,25
32	2,18	RSP_EAK_Y	234,96	15,09	267,34	29,74	120,67	41,95
32	4,36	RSP_EAK_Y	234,96	15,09	267,34	29,74	462,39	13,12
32	0	RSP_EAK_Z	325,76	2,13	11,82	1,15	28,72	4,97
32	2,18	RSP_EAK_Z	325,76	2,13	11,82	1,15	3,52	1,79
32	4,36	RSP_EAK_Z	325,76	2,13	11,82	1,15	22,95	4,96
62	0	RSP_EAK_X	83,48	95,85	8,26	2,81	20,11	312,58
62	2,18	RSP_EAK_X	83,48	95,85	8,26	2,81	3,79	105,47
62	4,36	RSP_EAK_X	83,48	95,85	8,26	2,81	16,49	108,93
62	0	RSP_EAK_Y	166,04	147,34	9,07	3,86	22,88	486,73
62	2,18	RSP_EAK_Y	166,04	147,34	9,07	3,86	7,84	167,30
62	4,36	RSP_EAK_Y	166,04	147,34	9,07	3,86	19,51	159,39
62	0	RSP_EAK_Z	26,31	9,59	0,49	0,15	0,93	22,99
62	2,18	RSP_EAK_Z	26,31	9,59	0,49	0,15	0,30	4,17
62	4,36	RSP_EAK_Z	26,31	9,59	0,49	0,15	1,26	19,51

6^ο Κεφάλαιο: Δυναμική Φασματική Μέθοδος

97	0	RSP_EAK_X	2193,56	961,97	21,49	9,85	53,55	8699,59
97	2,18	RSP_EAK_X	2193,56	961,97	21,49	9,85	7,73	6671,40
97	4,36	RSP_EAK_X	2193,56	961,97	21,49	9,85	40,52	4704,03
97	0	RSP_EAK_Y	3057,32	620,62	34,85	13,55	86,39	5825,31
97	2,18	RSP_EAK_Y	3057,32	620,62	34,85	13,55	10,90	4565,98
97	4,36	RSP_EAK_Y	3057,32	620,62	34,85	13,55	65,70	3379,78
97	0	RSP_EAK_Z	267,63	77,44	1,32	0,52	2,96	253,90
97	2,18	RSP_EAK_Z	267,63	77,44	1,32	0,52	0,27	103,05
97	4,36	RSP_EAK_Z	267,63	77,44	1,32	0,52	2,80	117,34
121	0	RSP_EAK_X	564,44	837,14	9,60	9,85	36,47	7771,31
121	2,18	RSP_EAK_X	564,44	837,14	9,60	9,85	15,70	6025,04
121	4,36	RSP_EAK_X	564,44	837,14	9,60	9,85	6,15	4343,96
121	0	RSP_EAK_Y	424,06	1145,15	16,05	13,55	59,16	9041,04
121	2,18	RSP_EAK_Y	424,06	1145,15	16,05	13,55	24,37	6602,76
121	4,36	RSP_EAK_Y	424,06	1145,15	16,05	13,55	11,63	4232,82
121	0	RSP_EAK_Z	584,09	78,76	0,91	0,52	2,30	286,79
121	2,18	RSP_EAK_Z	584,09	78,76	0,91	0,52	0,62	148,10
121	4,36	RSP_EAK_Z	584,09	78,76	0,91	0,52	1,81	143,44
127	0	RSP_EAK_X	322,95	4,00	14,05	1,14	37,70	11,40
127	2,18	RSP_EAK_X	322,95	4,00	14,05	1,14	7,15	2,80
127	4,36	RSP_EAK_X	322,95	4,00	14,05	1,14	23,58	6,13
127	0	RSP_EAK_Y	442,61	6,52	17,55	1,57	47,72	18,28
127	2,18	RSP_EAK_Y	442,61	6,52	17,55	1,57	9,66	4,19
127	4,36	RSP_EAK_Y	442,61	6,52	17,55	1,57	28,90	10,22
127	0	RSP_EAK_Z	15,22	0,40	0,76	0,06	1,68	0,89
127	2,18	RSP_EAK_Z	15,22	0,40	0,76	0,06	0,23	0,10
127	4,36	RSP_EAK_Z	15,22	0,40	0,76	0,06	1,65	0,86

Πίνακας 6.5.7: Εντατικά μεγέθη μελών Ισογείου

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
33	0	RSP_EAK_X	88,98	14,14	201,82	28,02	302,78	37,64
33	1,475	RSP_EAK_X	88,98	14,14	201,82	28,02	7,55	17,86
33	2,95	RSP_EAK_X	88,98	14,14	201,82	28,02	292,69	9,51
33	0	RSP_EAK_Y	183,45	9,73	406,63	37,60	605,57	23,63
33	1,475	RSP_EAK_Y	183,45	9,73	406,63	37,60	14,96	13,20
33	2,95	RSP_EAK_Y	183,45	9,73	406,63	37,60	594,30	14,22
33	0	RSP_EAK_Z	291,52	5,89	11,79	1,20	18,07	8,60
33	1,475	RSP_EAK_Z	291,52	5,89	11,79	1,20	4,85	1,64
33	2,95	RSP_EAK_Z	291,52	5,89	11,79	1,20	18,03	9,09
63	0	RSP_EAK_X	96,62	76,34	13,95	3,64	24,09	123,30
63	1,475	RSP_EAK_X	96,62	76,34	13,95	3,64	3,57	26,36
63	2,95	RSP_EAK_X	96,62	76,34	13,95	3,64	17,08	107,44

6^ο Κεφάλαιο: Δυναμική Φασματική Μέθοδος

63	0	RSP_EAK_Y	195,97	112,36	18,53	4,88	31,89	169,79
63	1,475	RSP_EAK_Y	195,97	112,36	18,53	4,88	4,70	33,93
63	2,95	RSP_EAK_Y	195,97	112,36	18,53	4,88	22,84	168,55
63	0	RSP_EAK_Z	24,29	9,98	1,09	0,16	1,51	18,69
63	1,475	RSP_EAK_Z	24,29	9,98	1,09	0,16	0,49	6,93
63	2,95	RSP_EAK_Z	24,29	9,98	1,09	0,16	1,83	13,41
98	0	RSP_EAK_X	1380,86	682,28	38,97	12,77	60,83	4788,64
98	1,475	RSP_EAK_X	1380,86	682,28	38,97	12,77	3,93	3831,15
98	2,95	RSP_EAK_X	1380,86	682,28	38,97	12,77	54,20	2906,87
98	0	RSP_EAK_Y	1852,43	464,20	59,47	17,14	92,25	3640,64
98	1,475	RSP_EAK_Y	1852,43	464,20	59,47	17,14	5,13	2988,01
98	2,95	RSP_EAK_Y	1852,43	464,20	59,47	17,14	83,25	2353,67
98	0	RSP_EAK_Z	233,72	39,94	2,68	0,55	3,91	121,97
98	1,475	RSP_EAK_Z	233,72	39,94	2,68	0,55	0,25	151,73
98	2,95	RSP_EAK_Z	233,72	39,94	2,68	0,55	3,99	195,22
122	0	RSP_EAK_X	476,95	737,88	2,29	12,77	6,15	4623,35
122	1,475	RSP_EAK_X	476,95	737,88	2,29	12,77	3,13	3605,57
122	2,95	RSP_EAK_X	476,95	737,88	2,29	12,77	2,14	2644,62
122	0	RSP_EAK_Y	362,77	893,20	4,11	17,14	11,63	4476,32
122	1,475	RSP_EAK_Y	362,77	893,20	4,11	17,14	6,16	3237,32
122	2,95	RSP_EAK_Y	362,77	893,20	4,11	17,14	3,76	2096,31
122	0	RSP_EAK_Z	499,60	57,14	0,95	0,55	1,81	134,82
122	1,475	RSP_EAK_Z	499,60	57,14	0,95	0,55	0,95	152,12
122	2,95	RSP_EAK_Z	499,60	57,14	0,95	0,55	1,56	205,70
128	0	RSP_EAK_X	161,71	4,43	22,44	1,48	34,78	7,33
128	1,475	RSP_EAK_X	161,71	4,43	22,44	1,48	1,95	1,08
128	2,95	RSP_EAK_X	161,71	4,43	22,44	1,48	31,46	5,84
128	0	RSP_EAK_Y	221,33	8,38	25,12	1,99	38,68	13,23
128	1,475	RSP_EAK_Y	221,33	8,38	25,12	1,99	2,56	1,31
128	2,95	RSP_EAK_Y	221,33	8,38	25,12	1,99	35,52	11,59
128	0	RSP_EAK_Z	14,44	0,53	1,45	0,06	2,22	0,79
128	1,475	RSP_EAK_Z	14,44	0,53	1,45	0,06	0,35	0,10
128	2,95	RSP_EAK_Z	14,44	0,53	1,45	0,06	2,11	0,78

Πίνακας 6.5.8: Εντατικά μεγέθη μελών 1^{ου} Ορόφου

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
34	0	RSP_EAK_X	64,37	18,52	172,58	26,83	242,80	38,12
34	1,475	RSP_EAK_X	64,37	18,52	172,58	26,83	13,37	11,78
34	2,95	RSP_EAK_X	64,37	18,52	172,58	26,83	266,48	17,83
34	0	RSP_EAK_Y	127,23	11,52	340,11	34,15	476,40	24,33
34	1,475	RSP_EAK_Y	127,23	11,52	340,11	34,15	30,47	8,61
34	2,95	RSP_EAK_Y	127,23	11,52	340,11	34,15	527,48	11,57

6^ο Κεφάλαιο: Δυναμική Φασματική Μέθοδος

34	0	RSP_EAK_Z	239,73	8,07	13,92	1,24	21,87	11,18
34	1,475	RSP_EAK_Z	239,73	8,07	13,92	1,24	4,09	1,98
34	2,95	RSP_EAK_Z	239,73	8,07	13,92	1,24	19,97	12,90
64	0	RSP_EAK_X	118,17	62,92	6,42	3,49	10,05	90,18
64	1,475	RSP_EAK_X	118,17	62,92	6,42	3,49	0,76	22,49
64	2,95	RSP_EAK_X	118,17	62,92	6,42	3,49	8,91	100,52
64	0	RSP_EAK_Y	216,15	93,51	8,10	4,44	12,60	122,53
64	1,475	RSP_EAK_Y	216,15	93,51	8,10	4,44	1,34	41,31
64	2,95	RSP_EAK_Y	216,15	93,51	8,10	4,44	11,41	162,63
64	0	RSP_EAK_Z	19,92	8,17	1,15	0,16	1,67	11,98
64	1,475	RSP_EAK_Z	19,92	8,17	1,15	0,16	0,25	6,73
64	2,95	RSP_EAK_Z	19,92	8,17	1,15	0,16	1,76	15,41
99	0	RSP_EAK_X	766,45	519,44	29,97	12,23	45,69	3011,45
99	1,475	RSP_EAK_X	766,45	519,44	29,97	12,23	1,94	2296,17
99	2,95	RSP_EAK_X	766,45	519,44	29,97	12,23	42,77	1627,88
99	0	RSP_EAK_Y	1046,65	398,99	44,88	15,56	68,11	2608,34
99	1,475	RSP_EAK_Y	1046,65	398,99	44,88	15,56	2,63	2046,21
99	2,95	RSP_EAK_Y	1046,65	398,99	44,88	15,56	64,33	1504,39
99	0	RSP_EAK_Z	207,54	24,48	3,01	0,57	4,43	196,90
99	1,475	RSP_EAK_Z	207,54	24,48	3,01	0,57	0,26	195,16
99	2,95	RSP_EAK_Z	207,54	24,48	3,01	0,57	4,47	200,03
123	0	RSP_EAK_X	370,34	620,95	0,76	12,23	2,14	3016,04
123	1,475	RSP_EAK_X	370,34	620,95	0,76	12,23	2,45	2160,01
123	2,95	RSP_EAK_X	370,34	620,95	0,76	12,23	3,15	1382,96
123	0	RSP_EAK_Y	281,87	655,07	1,06	15,56	3,76	2426,34
123	1,475	RSP_EAK_Y	281,87	655,07	1,06	15,56	4,78	1575,69
123	2,95	RSP_EAK_Y	281,87	655,07	1,06	15,56	6,04	972,47
123	0	RSP_EAK_Z	406,26	35,82	0,75	0,57	1,56	198,39
123	1,475	RSP_EAK_Z	406,26	35,82	0,75	0,57	1,12	201,33
123	2,95	RSP_EAK_Z	406,26	35,82	0,75	0,57	1,59	217,45
129	0	RSP_EAK_X	77,44	2,52	20,65	1,42	30,59	3,59
129	1,475	RSP_EAK_X	77,44	2,52	20,65	1,42	1,13	0,64
129	2,95	RSP_EAK_X	77,44	2,52	20,65	1,42	30,37	3,94
129	0	RSP_EAK_Y	103,84	5,51	23,46	1,81	35,07	7,50
129	1,475	RSP_EAK_Y	103,84	5,51	23,46	1,81	2,42	1,12
129	2,95	RSP_EAK_Y	103,84	5,51	23,46	1,81	34,31	8,84
129	0	RSP_EAK_Z	15,82	0,50	1,33	0,07	1,92	0,71
129	1,475	RSP_EAK_Z	15,82	0,50	1,33	0,07	0,49	0,13
129	2,95	RSP_EAK_Z	15,82	0,50	1,33	0,07	2,12	0,78

Πίνακας 6.5.9: Εντατικά μεγέθη μελών 2^{ου} Ορόφου

6^ο Κεφάλαιο: Δυναμική Φασματική Μέθοδος

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
35	0	RSP_EAK_X	40,47	16,75	141,93	24,37	195,93	29,86
35	1,475	RSP_EAK_X	40,47	16,75	141,93	24,37	15,71	6,40
35	2,95	RSP_EAK_X	40,47	16,75	141,93	24,37	223,05	20,25
35	0	RSP_EAK_Y	75,41	10,50	280,50	28,56	384,64	18,41
35	1,475	RSP_EAK_Y	75,41	10,50	280,50	28,56	32,72	4,32
35	2,95	RSP_EAK_Y	75,41	10,50	280,50	28,56	443,35	13,35
35	0	RSP_EAK_Z	172,03	8,19	16,03	1,23	24,08	13,32
35	1,475	RSP_EAK_Z	172,03	8,19	16,03	1,23	4,67	1,73
35	2,95	RSP_EAK_Z	172,03	8,19	16,03	1,23	24,12	10,98
65	0	RSP_EAK_X	100,60	52,84	5,83	3,17	8,66	69,17
65	1,475	RSP_EAK_X	100,60	52,84	5,83	3,17	0,66	26,91
65	2,95	RSP_EAK_X	100,60	52,84	5,83	3,17	8,57	93,88
65	0	RSP_EAK_Y	174,70	69,97	7,04	3,71	10,71	85,75
65	1,475	RSP_EAK_Y	174,70	69,97	7,04	3,71	1,40	52,72
65	2,95	RSP_EAK_Y	174,70	69,97	7,04	3,71	10,25	139,68
65	0	RSP_EAK_Z	15,07	9,56	1,23	0,16	1,68	17,01
65	1,475	RSP_EAK_Z	15,07	9,56	1,23	0,16	0,22	5,95
65	2,95	RSP_EAK_Z	15,07	9,56	1,23	0,16	1,97	13,37
100	0	RSP_EAK_X	243,57	378,25	31,14	11,11	45,84	1734,29
100	1,475	RSP_EAK_X	243,57	378,25	31,14	11,11	0,84	1200,29
100	2,95	RSP_EAK_X	243,57	378,25	31,14	11,11	46,03	704,41
100	0	RSP_EAK_Y	365,84	351,76	45,84	13,02	67,74	1713,95
100	1,475	RSP_EAK_Y	365,84	351,76	45,84	13,02	1,15	1205,17
100	2,95	RSP_EAK_Y	365,84	351,76	45,84	13,02	67,50	711,09
100	0	RSP_EAK_Z	190,02	32,46	4,50	0,56	6,40	208,66
100	1,475	RSP_EAK_Z	190,02	32,46	4,50	0,56	0,36	166,14
100	2,95	RSP_EAK_Z	190,02	32,46	4,50	0,56	6,89	127,49
124	0	RSP_EAK_X	248,33	501,71	1,84	11,11	3,15	1763,16
124	1,475	RSP_EAK_X	248,33	501,71	1,84	11,11	2,49	1090,25
124	2,95	RSP_EAK_X	248,33	501,71	1,84	11,11	4,16	603,17
124	0	RSP_EAK_Y	190,07	442,27	2,74	13,02	6,04	1196,62
124	1,475	RSP_EAK_Y	190,07	442,27	2,74	13,02	4,40	782,76
124	2,95	RSP_EAK_Y	190,07	442,27	2,74	13,02	5,92	802,89
124	0	RSP_EAK_Z	284,72	54,04	0,96	0,56	1,59	217,16
124	1,475	RSP_EAK_Z	284,72	54,04	0,96	0,56	1,07	162,16
124	2,95	RSP_EAK_Z	284,72	54,04	0,96	0,56	1,96	134,68
130	0	RSP_EAK_X	43,23	1,66	21,25	1,29	32,05	2,19
130	1,475	RSP_EAK_X	43,23	1,66	21,25	1,29	1,26	0,73
130	2,95	RSP_EAK_X	43,23	1,66	21,25	1,29	30,68	2,86
130	0	RSP_EAK_Y	71,88	3,45	25,83	1,51	39,44	4,25
130	1,475	RSP_EAK_Y	71,88	3,45	25,83	1,51	2,41	1,31
130	2,95	RSP_EAK_Y	71,88	3,45	25,83	1,51	36,85	6,08

6^ο Κεφάλαιο: Δυναμική Φασματική Μέθοδος

130	0	RSP_EAK_Z	14,09	0,51	1,81	0,07	2,55	0,82
130	1,475	RSP_EAK_Z	14,09	0,51	1,81	0,07	0,55	0,14
130	2,95	RSP_EAK_Z	14,09	0,51	1,81	0,07	2,89	0,70

Πίνακας 6.5.10: Εντατικά μεγέθη μελών 3^{ου} Ορόφου

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
36	0	RSP_EAK_X	18,82	23,99	126,47	20,80	154,22	28,04
36	1,475	RSP_EAK_X	18,82	23,99	126,47	20,80	29,69	7,55
36	2,95	RSP_EAK_X	18,82	23,99	126,47	20,80	212,68	41,80
36	0	RSP_EAK_Y	30,12	15,33	234,31	22,47	281,59	17,58
36	1,475	RSP_EAK_Y	30,12	15,33	234,31	22,47	58,82	6,62
36	2,95	RSP_EAK_Y	30,12	15,33	234,31	22,47	398,11	27,70
36	0	RSP_EAK_Z	94,22	18,38	18,91	1,30	25,54	19,75
36	1,475	RSP_EAK_Z	94,22	18,38	18,91	1,30	2,95	6,98
36	2,95	RSP_EAK_Z	94,22	18,38	18,91	1,30	29,46	33,59
66	0	RSP_EAK_X	61,42	42,98	3,35	2,70	5,06	48,83
66	1,475	RSP_EAK_X	61,42	42,98	3,35	2,70	1,10	25,26
66	2,95	RSP_EAK_X	61,42	42,98	3,35	2,70	4,89	81,60
66	0	RSP_EAK_Y	91,65	49,29	6,79	2,92	9,27	67,39
66	1,475	RSP_EAK_Y	91,65	49,29	6,79	2,92	1,99	41,23
66	2,95	RSP_EAK_Y	91,65	49,29	6,79	2,92	10,76	95,25
66	0	RSP_EAK_Z	8,74	6,77	1,03	0,17	1,53	11,94
66	1,475	RSP_EAK_Z	8,74	6,77	1,03	0,17	0,20	3,33
66	2,95	RSP_EAK_Z	8,74	6,77	1,03	0,17	1,49	8,52
101	0	RSP_EAK_X	115,33	209,15	30,63	9,48	44,27	811,63
101	1,475	RSP_EAK_X	115,33	209,15	30,63	9,48	0,54	524,80
101	2,95	RSP_EAK_X	115,33	209,15	30,63	9,48	44,58	275,72
101	0	RSP_EAK_Y	192,04	304,44	40,47	10,24	58,94	850,40
101	1,475	RSP_EAK_Y	192,04	304,44	40,47	10,24	0,74	439,85
101	2,95	RSP_EAK_Y	192,04	304,44	40,47	10,24	58,42	231,28
101	0	RSP_EAK_Z	119,71	45,61	4,60	0,59	6,71	144,86
101	1,475	RSP_EAK_Z	119,71	45,61	4,60	0,59	0,46	102,44
101	2,95	RSP_EAK_Z	119,71	45,61	4,60	0,59	6,66	93,54
125	0	RSP_EAK_X	120,32	358,54	3,26	9,48	4,16	843,86
125	1,475	RSP_EAK_X	120,32	358,54	3,26	9,48	1,95	377,08
125	2,95	RSP_EAK_X	120,32	358,54	3,26	9,48	5,91	335,90
125	0	RSP_EAK_Y	95,29	232,28	3,24	10,24	5,92	678,45
125	1,475	RSP_EAK_Y	95,29	232,28	3,24	10,24	2,43	459,88
125	2,95	RSP_EAK_Y	95,29	232,28	3,24	10,24	4,57	435,37
125	0	RSP_EAK_Z	146,08	49,31	1,24	0,59	1,96	123,92
125	1,475	RSP_EAK_Z	146,08	49,31	1,24	0,59	2,46	81,13
125	2,95	RSP_EAK_Z	146,08	49,31	1,24	0,59	3,83	89,61

6^ο Κεφάλαιο: Δυναμική Φασματική Μέθοδος

131	0	RSP_EAK_X	23,80	1,76	26,26	1,10	32,78	2,43
131	1,475	RSP_EAK_X	23,80	1,76	26,26	1,10	5,34	0,52
131	2,95	RSP_EAK_X	23,80	1,76	26,26	1,10	43,39	2,76
131	0	RSP_EAK_Y	37,24	1,91	33,29	1,19	41,83	2,49
131	1,475	RSP_EAK_Y	37,24	1,91	33,29	1,19	6,53	1,15
131	2,95	RSP_EAK_Y	37,24	1,91	33,29	1,19	54,73	3,44
131	0	RSP_EAK_Z	6,88	0,36	2,13	0,07	3,13	0,58
131	1,475	RSP_EAK_Z	6,88	0,36	2,13	0,07	0,44	0,08
131	2,95	RSP_EAK_Z	6,88	0,36	2,13	0,07	3,11	0,48

Πίνακας 6.5.11: Εντατικά μεγέθη μελών 4^{ου} Ορόφου

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
102	0	RSP_EAK_X	28,472	129,58	25,39	10,00	36,69	339,95
102	1,445	RSP_EAK_X	28,472	129,58	25,39	10,00	0,35	169,40
102	2,89	RSP_EAK_X	28,472	129,58	25,39	10,00	36,68	109,34
102	0	RSP_EAK_Y	58,134	100,23	40,54	10,21	58,88	229,70
102	1,445	RSP_EAK_Y	58,13	100,23	40,54	10,21	0,42	114,06
102	2,89	RSP_EAK_Y	58,13	100,23	40,54	10,21	58,29	123,33
102	0	RSP_EAK_Z	32,72	21,75	10,34	0,59	15,19	72,33
102	1,445	RSP_EAK_Z	32,72	21,75	10,34	0,59	0,26	50,46
102	2,89	RSP_EAK_Z	32,72	21,75	10,34	0,59	14,69	42,85
126	0	RSP_EAK_X	18,92	58,68	2,04	10,00	5,91	166,89
126	1,445	RSP_EAK_X	18,92	58,68	2,04	10,00	2,95	86,75
126	2,89	RSP_EAK_X	18,92	58,68	2,04	10,00	0,00	39,74
126	0	RSP_EAK_Y	20,41	50,23	1,58	10,21	4,57	145,89
126	1,445	RSP_EAK_Y	20,41	50,23	1,58	10,21	2,28	82,53
126	2,89	RSP_EAK_Y	20,41	50,23	1,58	10,21	0,00	53,59
126	0	RSP_EAK_Z	25,42	17,16	1,33	0,59	3,83	48,92
126	1,445	RSP_EAK_Z	25,42	17,16	1,33	0,59	1,92	24,45
126	2,89	RSP_EAK_Z	25,42	17,16	1,33	0,59	0,00	5,66

Πίνακας 6.5.12: Εντατικά μεγέθη μελών του δώματος

7⁰ Κεφάλαιο: Ανελαστική Στατική Ανάλυση

7.1 Εισαγωγή:

Ο ποσοτικός προσδιορισμός της σεισμικής ικανότητας μίας υφιστάμενης κατασκευής προκύπτει με την εφαρμογή μίας αναλυτικής διαδικασίας. Μέσω καθορισμένων κριτηρίων μία κατασκευή χαρακτηρίζεται επαρκής ή όχι. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου αυτής λαμβάνονται υπόψη τα χαρακτηριστικά των μελών της κατασκευής. Μία ακριβής προσέγγιση και ποσοτικοποίηση αφενός της ικανότητας του φορέα και των μελών του και αφετέρου των απαιτήσεων που διαμορφώνονται ανάλογα από την σεισμική απειλή και την αναμενόμενη χρήση της κατασκευής είναι ιδιαίτερα κρίσιμη.

Με την χρήση των ελαστικών μεθόδων επιτυγχάνεται η ανάλυση των κατασκευών ενώ με την χρήση των ανελαστικών μεθόδων προσδιορίζεται με μεγαλύτερη ακρίβεια η συμπεριφορά των δομικών μελών και η αντιμετώπιση της σεισμικής απειλής.

Η στατική ανελαστική μέθοδος ή μέθοδος Pushover είναι μέθοδος ελαστοπλαστικής ανάλυσης. Η συγκεκριμένη μέθοδος συγκαταλέγεται στα κείμενα κανονισμών, όπως ο ΚΑΝ.ΕΠΕ και ο FEMA 356. Επίσης παρουσιάσθηκε για πρώτη φορά σε Αμερικάνικους κανονισμούς και συγκεκριμένα στον ATC 40 και στον FEMA 273.

Έχει ευρεία εφαρμογή στην αποτίμηση και στον ανασχεδιασμό υφιστάμενων κατασκευών. Η σεισμική ένταση εκφράζεται μέσω μίας οριζόντιας φόρτισης με κατανομή ανάλογη των αδρανειακών δυνάμεων και η οποία εφαρμόζεται έως ότου επιτευχθεί η κρίσιμη

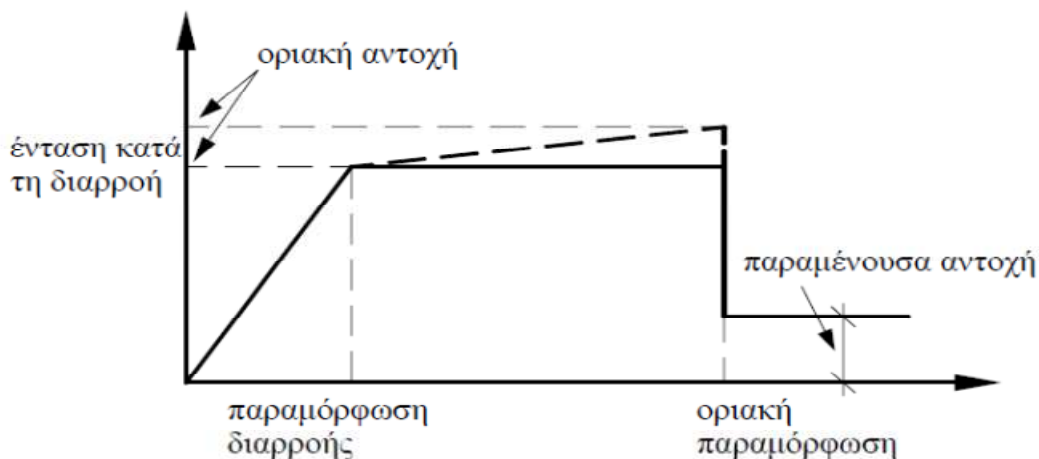
παραμόρφωση στον κόμβο ελέγχου η οποία καθορίζεται από την στοχευόμενη στάθμη επιτελεστικότητας. Η παραμόρφωση στον κόμβο ελέγχου καλείται στοχευόμενη μετατόπιση και προκύπτει από την συμπεριφορά ενός ισοδύναμου μονοβάθμιου ταλαντωτή για δεδομένο φάσμα σεισμικής απόκρισης.

Η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών δεν πρέπει να είναι σημαντική, μιας και η κατανομή του οριζόντιου φορτίου ορίζεται βάσει της θεμελιώδους ιδιομορφής οπότε και το ποσοστό συμμετοχής να είναι όσο το δυνατόν υψηλότερο.

Η μέθοδος βασίζεται σε όρους παραμορφώσεων και όχι δυνάμεων όπως οι ελαστικές μέθοδοι και συνεκτιμά τη μη γραμμικότητα των δομικών υλικών. Με την εφαρμογή της καταγράφονται τα εντατικά και παραμορφωσιακά μεγέθη που αναπτύσσονται σε κάθε βήμα της μεθόδου. Επίσης γίνεται ταυτόχρονα ο έλεγχος έναντι της ψαθυρής αστοχίας των μελών. Με την διαρροή κάποιου μέλους αναλαμβάνει συγκεκριμένη φόρτιση, η οποία προκύπτει από διατιθέμενη δυσκαμψία του μετά το σημείο διαρροής του και οι εσωτερικές δυνάμεις ανακατανέμονται στα υπόλοιπα μέλη του φορέα.

7.2 Έννοιες – Παραδοχές:

Σε κάθε περιοχή όπου αναμένεται να εμφανισθεί η ανελαστική συμπεριφορά λαμβάνεται η σχέση έντασης – παραμόρφωσης οι οποίες θα περιλαμβάνουν την φάση εξασθένισης του μέλους όπως επίσης και την παραμένουσα αντίστασή του. Μία καμπύλη στην οποία εκφράζεται η αναφερθείσα σχέση είναι ακόλουθη:

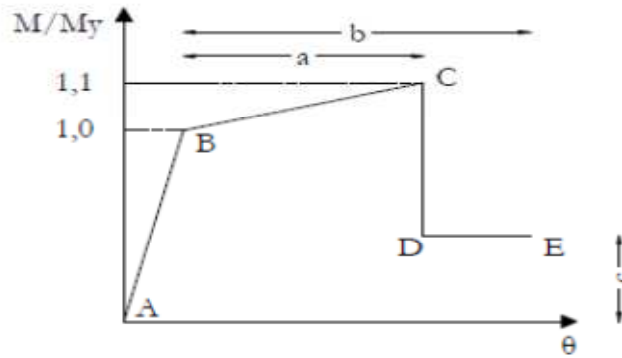


Σχήμα 7.2.1: Θεωρητική καμπύλη έντασης – παραμόρφωσης

Ο μετελαστικός κλάδος στους κανονισμούς FEMA 356 και ATC 40 έχει μη μηδενική τιμή λαμβάνοντας με τον τρόπο αυτό τα φαινόμενα κράτυνσης που παρουσιάζουν τα δομικά στοιχεία. Επομένως λαμβάνεται μία πιθανή αύξηση της αντοχής του μέλους και μετά την διαρροή του. Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. αντιθέτως δεν λαμβάνει υπόψη την μετελαστική αυτή συμπεριφορά του μέλους και έχει μηδενική τιμή.

Στο σχήμα που ακολουθεί δίνεται το διάγραμμα ανηγμένης ροπής – στροφής που προτείνει ο κανονισμός της FEMA – 356. Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζονται οι εξής τέσσερις κλάδοι:

- Κλάδος AB: Εκφράζει την ελαστική απόκριση της διατομής έως την διαρροή της.
- Κλάδος BC: Λόγω του σιδηροπλισμού η διατομή παρουσιάζει φαινόμενα κράτυνσης, εδώ είναι ίση με $M_u/M_Y=1.10$.
- Κλάδος CD: Παρουσιάζει την πλαστική παραμόρφωση και την απότομη πτώση της αντοχής.
- Κλάδος DE: Εκφράζει την παραμένουσα αντοχή την οποία θεωρείται ότι διατηρεί η διατομή έως ενός επιπέδου παραμόρφωσης.



Σχήμα 7.2.2: Καταστατικός νόμος πλαστικών αρθρώσεων FEMA - 356

Πρωτεύοντα στοιχεία:

Καλούνται τα στοιχεία που κατά την σεισμική διέγερση έχουν σημαντική συνεισφορά. Τέτοια στοιχεία είναι τα υποστυλώματα, τα δοκάρια και τα τοιχεία. Χαρακτηρίζονται δε από υψηλή αντοχή, μεγάλη δυσκαμψία και επαρκή πλαστιμότητα.

Δευτερεύοντα στοιχεία:

Είναι τα στοιχεία τα οποία χαρακτηρίζονται από μικρή αντοχή, δυσκαμψία και πλαστιμότητα και προφανώς δεν έχουν καθοριστική συμμετοχή κατά την διάρκεια της σεισμικής διέγερσης. Τα στοιχεία αυτά είναι για παράδειγμα οι τοίχοι πληρώσεως.

7.3 Στάθμες Επιτελεστικότητας:

Ο αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών με στάθμες επιτελεστικότητας (Performance – Based Design) βασίζεται στην αρχή του καθορισμού αποδεκτού επιπέδου ζημιών (στάθμες επιτελεστικότητας) ανάλογα με την πιθανότητα εμφάνισης της σεισμικής δόνησης σχεδιασμού, δηλαδή στον καθορισμό του επιδιωκόμενου στόχου σεισμικής ικανότητας.

Με την εφαρμογή του συντελεστή συμπεριφοράς που εφαρμόζεται στις κλασσικές μεθόδους των αντισεισμικών κανονισμών, οι οποίες εξετάζουν μόνο τη συμπεριφορά της κατασκευής μέχρι να αρχίσουν

οι ζημιές, εξασφαλίζεται ένα ελάχιστο απαιτούμενο επίπεδο ασφάλειας.

Με τον ορισμό της σεισμικής ικανότητας μίας κατασκευής εξασφαλίζεται ο βέλτιστος συνδυασμός ασφάλειας και οικονομίας. Οι στόχοι σεισμικής ικανότητας αποτελούν συνδυασμούς μίας στάθμης επιτελεστικότητας και ενός επιπέδου της σεισμικής δράσης.

Ο συνολικός στόχος για την κατασκευή περιλαμβάνει αφενός τον φέροντα οργανισμό και αφετέρου τον μη φέροντα οργανισμό, δηλαδή στο σύστημα που δεν συμμετέχει στην ανάληψη κατακόρυφων φορτίων.

Οι στάθμες επιτελεστικότητας του φέροντος και του μη φέροντος οργανισμού είναι οι ακόλουθες, ανάλογα με το επίπεδο βλαβών:

- Άμεση χρήση μετά τον σεισμό (Immediate occupancy):

Στον φέροντα οργανισμό το επίπεδο βλαβών είναι τέτοιο έτσι ώστε καμία λειτουργία να μην διακόπτεται κατά την διάρκεια του σεισμού ή και μετά από αυτόν. Παρόλα αυτά επιτρέπονται κάποιες τριχοειδής ρωγμές καμπτικού χαρακτήρα. Στον μη φέροντα οργανισμό επιτρέπονται βλάβες οι οποίες όμως δεν επηρεάζουν τις βασικές λειτουργίες.

- Προστασία ζωής (Life safety):

Στον φέροντα οργανισμό παρουσιάζονται βλάβες οι οποίες είναι επισκευάσιμες και δεν αποτελούν αιτία απώλειας της στατικής ευστάθειας της κατασκευής. Για την επαναχρησιμοποίηση της κατασκευής μετά τον σεισμό απαιτείται η επισκευή των βλαβών. Στον μη φέροντα οργανισμό αναμένονται βλάβες οι οποίες δεν αποτελούν κίνδυνο για άτομα εντός ή εκτός της κατασκευής.

- Οιονεί κατάρρευση (Structural stability):

Εκτεταμένες και μη επισκευάσιμες βλάβες αναμένονται στον φέροντα οργανισμό. Ο οποίος έχει την δυνατότητα να φέρει τα κατακόρυφα φορτία, όμως η οριζόντια δυσκαμψία και η ικανότητα αντίστασης έχουν μειωθεί σημαντικά με αποτέλεσμα η κατασκευή να μην έχει άλλα περιθώρια ασφάλειας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης. Η επαναχρησιμοποίηση της κατασκευής επιτυγχάνεται μετά την επισκευή των βλαβών ενώ είναι πιθανόν να μην είναι τεχνικά και οικονομικά δυνατή η επισκευή της. Στον μη φέροντα οργανισμό αναμένονται σημαντικές βλάβες όμως τα προσαρτήματα πρέπει να είναι καλά στερεωμένα ούτως ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος πτώσης τους σε χώρους συνάθροισης κοινού.

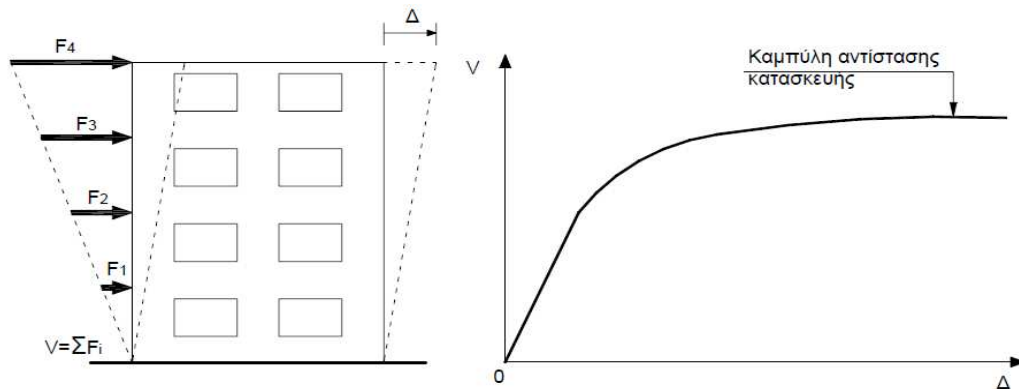
Στον ευρωκώδικα 8 οι στάθμες αναφέρονται αντιστοίχως ως:

- Οριακή κατάσταση περιορισμού των βλαβών(Limit stage of Damage Limitation).
- Οριακή κατάσταση σημαντικών βλαβών(Limit stage of Significant Damage)
- Οριακή κατάσταση οιονεί κατάρρευσης (Limit stage of Near Collapse)

7.4 Καμπύλη Αντίστασης:

Ο καθορισμός των διαφόρων σταθμών επιτελεστικότητας γίνεται πάνω στην καμπύλη αντίστασης της κατασκευής η οποία εκφράζει την μη γραμμική σχέση μεταξύ του επιβαλλόμενου οριζόντιου φορτίου και της μετατόπισης της κορυφής, η οποία θα αναλυθεί παρακάτω. Η μόρφωση της καμπύλης αντίστασης επιτυγχάνεται με

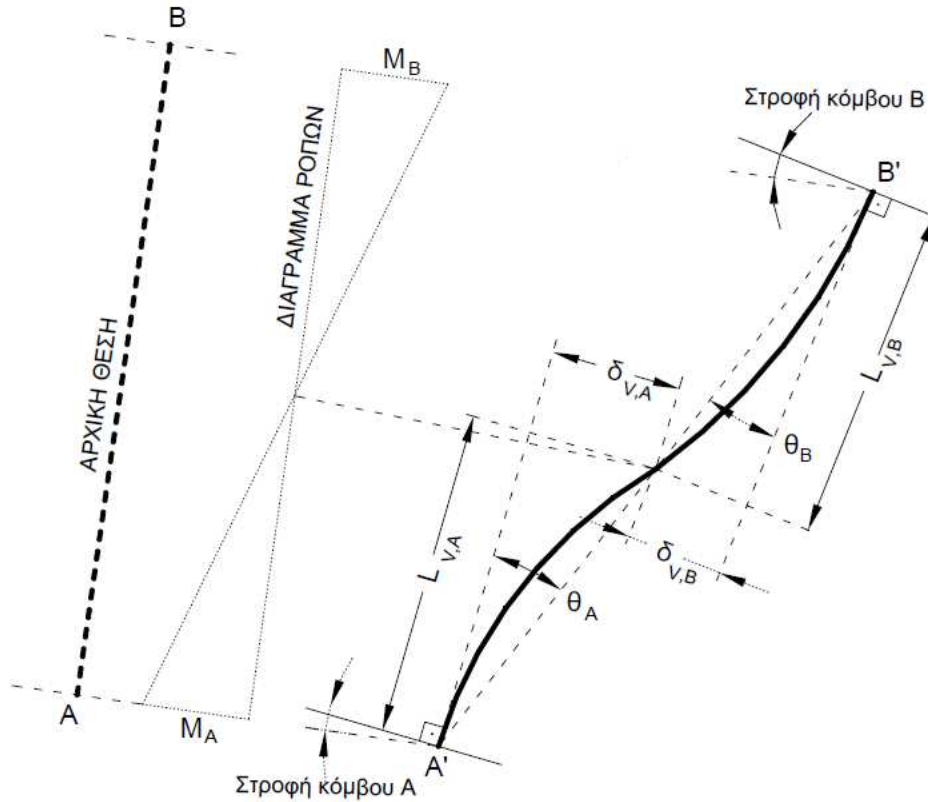
τον υπολογισμό της ανελαστικής μετακίνησης της κορυφής για διάφορες τιμές του οριζόντιου φορτίου, με δεδομένη κατανομή των φορτίων στους ορόφους. Πρόκειται για μία επαναληπτική διαδικασία κατά την οποία σε κάθε βήμα αυξάνεται σταδιακά η τέμνουσα βάση και υπολογίζεται η μετακίνηση στην κορυφή, λαμβάνοντας υπόψη την μειωμένη δυσκαμψία των στοιχείων που έχουν διαρρεύσει.



Σχήμα 7.4.1: Κατασκευή της καμπύλης αντίστασης

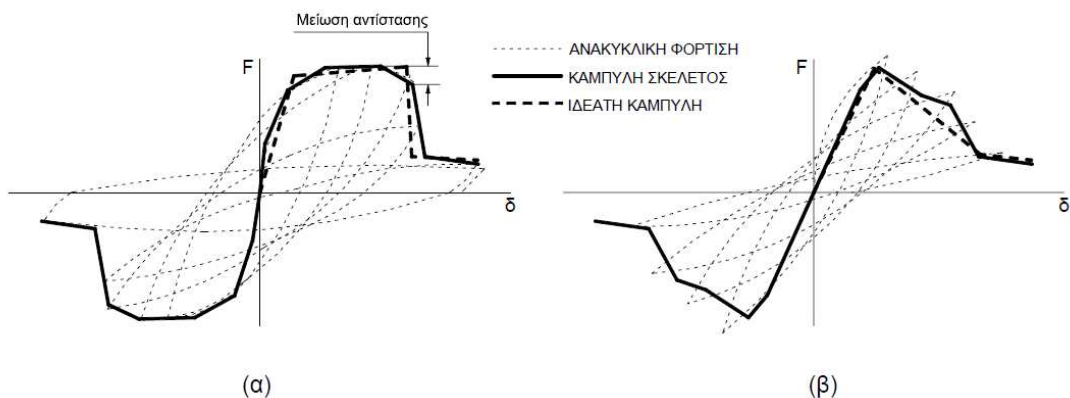
Η καμπύλη $F-\delta$ του δομικού στοιχείου εκφράζει συσχετισμούς εντατικών μεγεθών, F , με παραμορφώσεις ή σχετικές μετακινήσεις, δ . Τα εντατικά μεγέθη μπορεί να είναι ροπές ή δυνάμεις και οι παραμορφώσεις μπορούν να εκφράζουν: παραμορφώσεις, καμπυλότητες ή και στροφές.

Στα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα οι στροφές των ακραίων διατομών επηρεάζονται από την εξόλκευση των οπλισμών στις αγκυρώσεις ενώ οι καμπτικές και διατμητικές παραμορφώσεις συνυπάρχουν. Συνεπώς η επιλογή της ροπής κάμψης, M , και της γωνίας στροφής, θ , για τα μεγέθη $F-\delta$ θεωρείται η καταλληλότερη. Η γωνία θ ορίζεται ως η γωνία στροφής της χορδής που ενώνει την βάση με την κορυφή ενός θεωρητικού προβόλου μήκους ίσο με το διατμητικό μήκος, L_v , δηλαδή $\theta = \delta_v / L_v$, όπου: $L_v = M/V$ και δ_v η μετατόπιση στην κορυφή του θεωρητικού προβόλου.



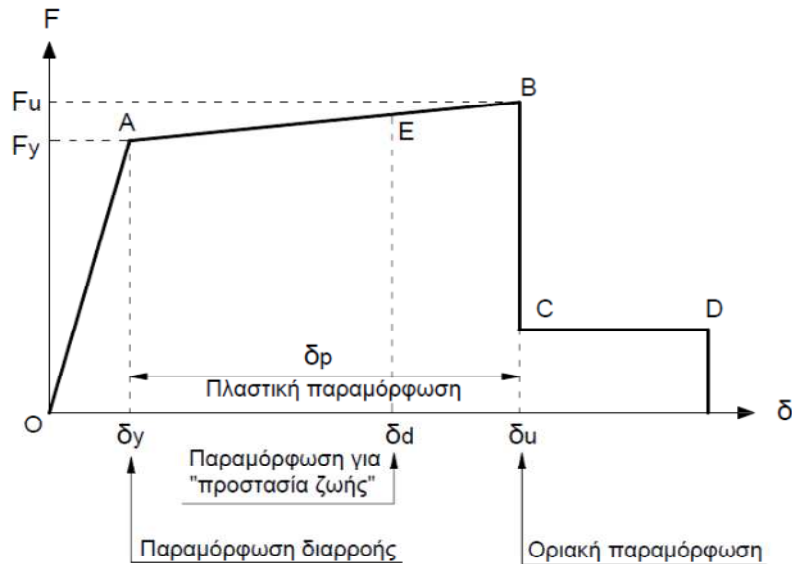
Σχήμα 7.4.2: Ορισμός της γωνίας θ

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η ιδεατή μορφή των διαγραμμάτων F - δ υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση και σε ανελαστική συμπεριφορά του στοιχείου σε καμπτική και διατμητική καταπόνηση αντιστοίχως.



Σχήμα 7.4.3: Καμπύλη F - δ δομικών στοιχείων

Στο σχήμα 7.4.4 παρουσιάζεται η γενική μορφή των διαγραμμάτων $F - \delta$, του οποίου οι κλάδοι του αναλύονται στην παράγραφο που ακολουθεί.



Σχήμα 7.4.4: Γενική μορφή καμπυλών $F - \delta$

- Τμήμα OA:
Εκφράζει την ελαστική συμπεριφορά έως το θεωρητικό σημείο διαρροής και ορίζει την τέμνουσα δυσκαμψία που θα χρησιμοποιηθεί κατά την ελαστική ανάλυση. Στον κλάδο αυτό είναι $\delta_y = \theta_y$
- Τμήμα AB:
Δηλώνει την μετελαστική συμπεριφορά του στοιχείου μέχρι το θεωρητικό σημείο αστοχίας. Το σημείο αστοχίας B καθορίζεται από την οριακή παραμόρφωση αστοχίας δ_u που ορίζεται ως η παραμόρφωση για την οποία έχει συμβεί ουσιαστική μείωση της αντίστασης κατά 20% σε σύγκριση με την μέγιστη τιμή της. Η παραμόρφωση δ_u εκφράζει την ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης, δηλαδή: $\delta_p = \delta_u - \delta_y$.
- Τμήμα CD:
Αντιπροσωπεύει την απομένουσα αντίσταση του στοιχείου. Η ικανότητα ενός μέλους να παραλάβει σεισμικά φορτία μετά την παραμόρφωση αστοχίας μειώνεται δραστικά χωρίς όμως να

μηδενίζεται και το μέλος μπορεί να φέρει κατακόρυφα φορτία. Η τιμή της απομένουσας αντίστασης λαμβάνεται συνήθως ίση με το 20% της οριακής αντοχής.

- Στάθμες επιτελεστικότητας, E:

Στην καμπύλη $F - \delta$ του δομικού στοιχείου ορίζονται οι στάθμες επιτελεστικότητας βάσει των παραμορφώσεων δ_d . Το σημείο E εκφράζει την στάθμη προστασίας ζωής. Ο ορισμός των σταθμών επιτελεστικότητας γίνεται σε όρους παραμορφώσεων στις περιπτώσεις των πλάστιμων στοιχείων, ενώ στα ψαθυρά στοιχεία γίνεται σε όρους δυνάμεων.

Σημείωση: όταν ένα στοιχείο διαρρέει σε κάμψη πριν διαρρέυσει σε διάτμηση καλείται πλάστιμο και όταν διαρρέει σε διάτμηση πριν διαρρέυσει σε κάμψη καλείται ψαθυρό.

Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ ορίζει ως εξής τις παραμορφώσεις δ_d που αντιστοιχούν σε πλάστιμα μέλη στη στάθμη επιτελεστικότητας:

- Για πρωτεύοντα στοιχεία:

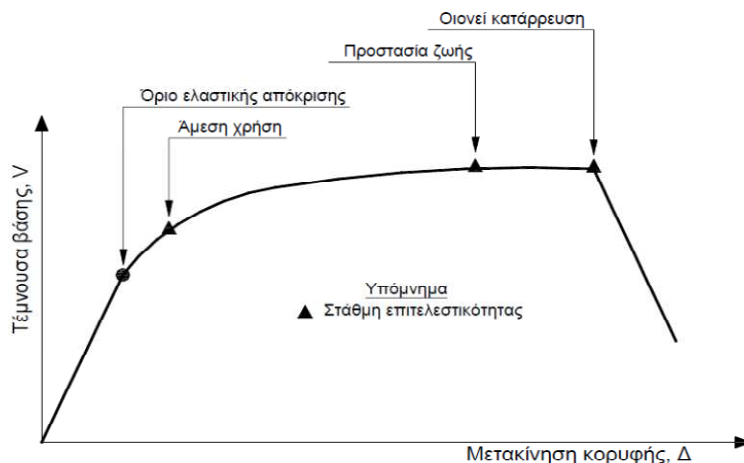
$$\delta_d = 0,5 * (\delta_y + \delta_u) / \gamma_{Rd} \quad (7.4.1)$$

- Για δευτερεύοντα στοιχεία:

$$\delta_d = \delta_u / \gamma_{Rd} \quad (7.4.2)$$

όπου γ_{Rd} είναι ο συντελεστής ασφάλειας.

Όπως προαναφέρθηκε οι στάθμες επιτελεστικότητας ορίζονται στην καμπύλη αντίστασης του φορέα. Λόγω όμως της πολυπλοκότητας ο καθορισμός των σημείων επιτελεστικότητας στην καμπύλη δεν είναι προφανής και αυτό οφείλεται στο ότι η κατασκευή αποτελείται από πολλά στοιχεία και είναι πιθανόν ένα μικρό ποσοστό των στοιχείων να έχουν περάσει κάποια στάθμη επιτελεστικότητας ενώ τα υπόλοιπα να είναι κάτω από την στάθμη αυτή.



Σχήμα 7.4.5: Ορισμός σταθμών επιτελεστικότητας στην καμπύλη αντίστασης

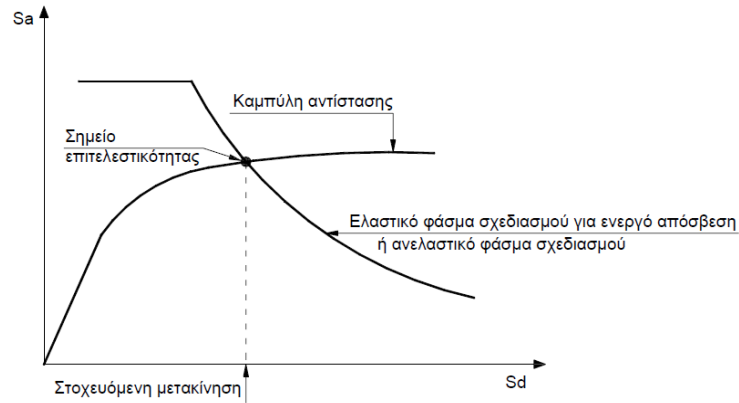
7.5 Έλεγχος στοχευόμενης ικανότητας:

Από την περίοδο επανάληψης του σεισμού σχεδιασμού εκτιμάται η αναμενόμενη μετακίνηση της κατασκευής (στοχευόμενη μετακίνηση – target displacement) που ορίζει το σημείο επιτελεστικότητας (performance point) της κατασκευής για τον σεισμό αυτό.

Η μετακίνηση μπορεί να υπολογισθεί προσεγγιστικά με μία από τις ακόλουθες μεθόδους.

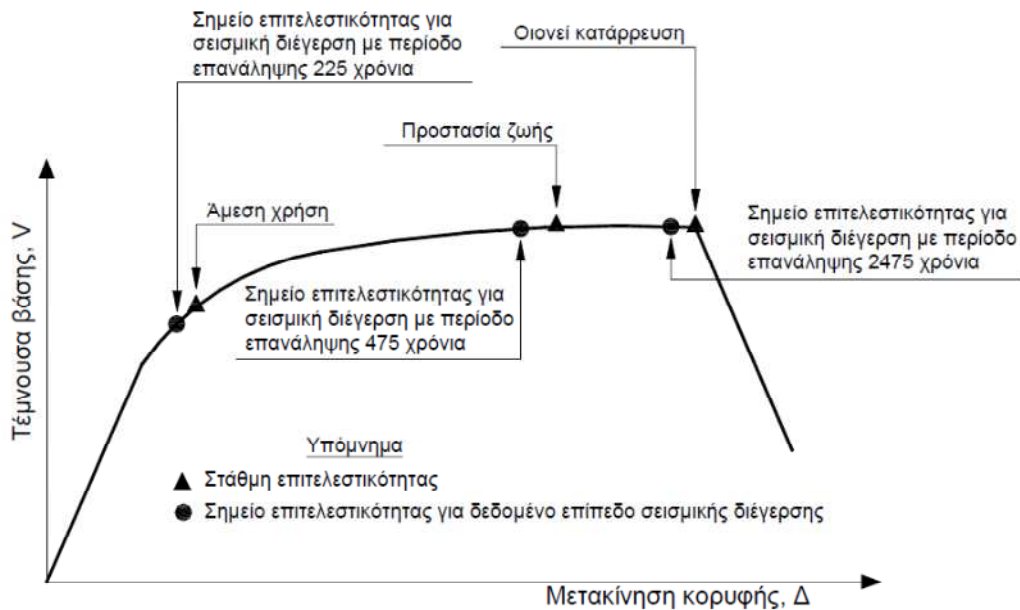
- Μέθοδος των συντελεστών.
- Στατική μη γραμμική ανάλυση (pushover).

Επίσης έχουν προταθεί εναλλακτικές μεθοδολογίες εφαρμογής της στατικής μη γραμμικής ανάλυσης, όπως η ATC – 40, η N2, η ιδιομορφική στατική μη γραμμική ανάλυση (modal pushover), η προσαρμοσμένη στατική μη γραμμική ανάλυση κ.α.



Σχήμα 7.5.1: Προσδιορισμός της στοχευόμενης μετακίνησης ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος

Με την εκτίμηση της αναμενόμενης μετακίνησης της κατασκευής σημειώνεται στην καμπύλη αντίστασης το αντίστοιχο σημείο επιτελεστικότητας, το οποίο και συγκρίνεται με την επιθυμητή στάθμη επιτελεστικότητας για την συγκεκριμένη σεισμική διέγερση.



Σχήμα 7.5.2: Σύγκριση στοχευόμενης μετακίνησης και της αντίστοιχης στάθμης επιτελεστικότητας

7.6 Εκτίμηση στοχευμένης μετακίνησης:

Γενικά η ακρίβεια των μεθόδων που αφορούν την εκτίμηση της στοχευόμενης μετακίνησης είναι αμφισβητήσιμη και αυτό έγκειται στο ότι βασίζονται στην απόκριση ενός ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος και ο υπολογισμός της απόκρισης της κατασκευής σε κάθε όροφο γίνεται με βάση την παραμόρφωση της για δεδομένη κατανομή καθ' ύψος.

ο Ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα:

Η κατανομή των φορτίων μπορεί να θεωρηθεί είτε τριγωνική, είτε ομοιόμορφη ή και κατανομή σύμφωνα με την πρώτη ιδιομορφή.

Γενικά θεωρείται ότι η κατανομή των φορτίων στους ορόφους δίνεται από την εξής σχέση:

$$F_i = V \frac{m_i^* \varphi_i}{\sum_j m_j \varphi_j} \quad (7.6.1)$$

Όπου:

$V = \sum F_i$: είναι η τέμνουσα βάσης.

φ_i : δηλώνουν την κατανομή των μετακινήσεων στους ορόφους.

Με την κατανομή των φορτίων σύμφωνα με την σχέση 7.6.1 και ισχύει ότι $\varphi_{top} = 1$, έπειτα από κανονικοποίηση, η αντιστοιχία μεταξύ του πολυβάθμιου και του ισοδύναμου συστήματος για όλα τα μεγέθη δίνεται από την σχέση:

$$Q = \Gamma Q^* \quad (7.6.2)$$

Όπου:

Q^* : μέγεθος στο ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα.

Q : μέγεθος στο πολυβάθμιο σύστημα.

Γ : συντελεστή συμμετοχής που είναι ίσος με :

$$\Gamma = \frac{\sum m_i \varphi_i}{\sum m_i \varphi_i^2} \quad (7.6.3)$$

Επίσης η μάζα του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος είναι ίση με:

$$m^* = \sum m_i \varphi_i \quad (7.6.4)$$

Εφόσον οι δυνάμεις και οι μετακινήσεις ακολουθούν τον μετασχηματισμό (7.6.2), η δυσκαμψία του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος είναι ίση με του πολυβάθμιου.

Για την μετατροπή της καμπύλης αντίστασης σε φάσμα αντίστασης (Capacity spectrum) του ισοδύναμου μονοβάθμιου σε μορφή ADRS (Acceleration – displacement response spectrum), εφαρμόζονται οι ακόλουθες σχέσεις:

$$S_\alpha = \frac{V}{\alpha * m_{ολ}} \quad (7.6.5)$$

$$S_d = \frac{\Delta}{\Gamma} \quad \text{ή} \quad S_d = \frac{\Delta}{\Gamma * \varphi_{top}} \quad \text{εάν} \quad \varphi_{top} \neq 1 \quad (7.6.6)$$

Όπου:

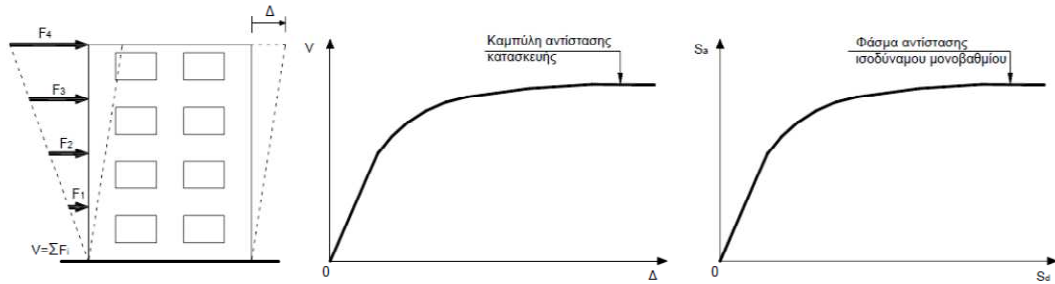
V = τέμνουσα βάσης πολυβάθμιου.

$m_{ολ}$ = συνολική μάζα πολυβάθμιου.

α = ποσοστό συνολικής μάζας που συμμετέχει στη δυναμική απόκριση για την αναμενόμενη μορφή παραμόρφωσης, δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\alpha = \frac{[\sum m_i \varphi_i]^2}{m_{ολ} * \sum m_i \varphi_i^2} = \frac{\Gamma * \sum m_i \varphi_i}{m_{ολ}} = \Gamma \frac{m^*}{m_{ολ}} \quad (7.6.7)$$

Δ = μετακίνηση κορυφής.

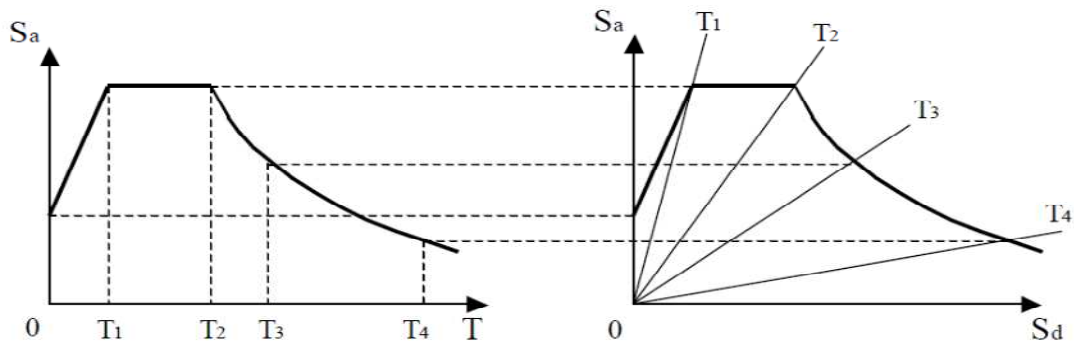


Σχήμα 7.6.1: Κατασκευή της καμπύλης αντίστασης της κατασκευής και του φάσματος αντίστασης του ισοδύναμου μονοβάθμιου σε μορφή ADRS

ο Η μεθοδολογία ATC – 40:

Αν και στον ATC – 40 προτείνονται τρεις μεθοδολογίες περιγράφονται τα βήματα μόνο μίας από τις μεθοδολογίες αυτές.

1⁰ Βήμα: Μεταφορά του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού για $\zeta = 5\%$ σε μορφή ADRS.



Κλασική μορφή φάσματος

$$S_a = \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot S_d$$

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} \cdot S_a$$

ADRS μορφή φάσματος

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}}$$

Ακτινικές γραμμές από το (0,0) έχουν σταθερή περίοδο

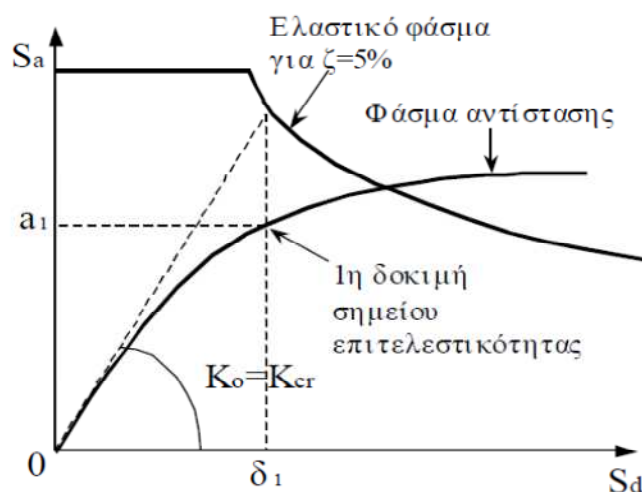
Σχήμα 7.6.2: Μετατροπή του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού σε ADRS

2^ο Βήμα: Κατασκευή της καμπύλης αντίστασης (capacity curve) και του φάσματος αντίστασης (capacity spectrum).

Η μόρφωση της καμπύλης αντίστασης γίνεται με τον υπολογισμό της μετακίνησης της κορυφής για διάφορες τιμές της τέμνουσας βάσης θεωρώντας κατανομή των φορτίων καθ' ύψος συμβατή με την αναμενόμενη μορφή μετακινήσεων. Ακολούθως η καμπύλη αυτή μετατρέπεται σε φάσμα αντίστασης του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος.

3^ο Βήμα: Εύρεση του πρώτου σημείων δοκιμών.

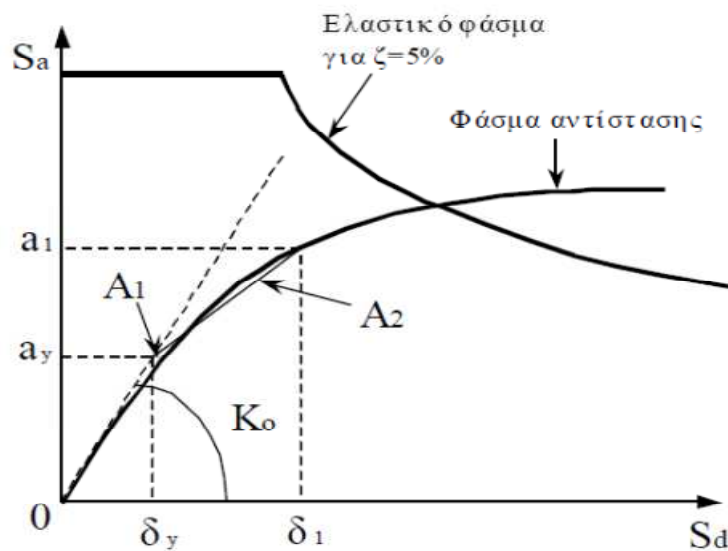
Από το ελαστικό φάσμα για απόσβεση $\zeta=5\%$ υπολογίζεται η μετακίνηση δ_1 για τη δυσκαμψία που αντιστοιχεί σε ρηγματωμένες διατομές. Για την μετακίνηση δ_1 εκτιμάται η πρώτη εκτίμηση του σημείου επιτελεστικότητας πάνω στο φάσμα αντίστασης και η αντίστοιχη επιτάχυνση a_1 . Η μετακίνηση δ_1 είναι ίση με αυτή που θα προέκυπτε από τη θεώρηση ίσης μετακίνησης μεταξύ του ελαστικού και ανελαστικού συστήματος.



Σχήμα 7.6.3: Εύρεση 1^ο σημείου δοκιμών

4^ο Βήμα: Κατασκευή διγραμμικού φάσματος αντίστασης.

Από το πρώτο σημείο δοκιμής φέρνουμε ευθεία, έτσι ώστε τα εμβαδά A_1 και A_2 να είναι περίπου ίσα και ορίζουμε το σημείο τομής με την ευθεία που αντιστοιχεί στην αρχική δυσκαμψία. Όπως παρουσιάζεται και στο σχήμα που ακολουθεί το σημείο που αντιστοιχεί στη διαρροή σύμφωνα με τη διγραμμική καμπύλη συμπεριφοράς και με τη προβολή του στους άξονες S_a και S_d ορίζει την επιτάχυνση διαρροής a_y και τη μετακίνηση διαρροής δ_y αντίστοιχα.



Σχήμα 7.6.4: Κατασκευή διγραμμικού φάσματος αντίστασης

5^ο Βήμα: Υπολογισμός ενεργούς απόσβεσης.

Η ενεργός απόσβεση μπορεί να γραφεί ως:

$$\zeta_{eff} = \zeta_{ελ} + \zeta_{υστ} \quad (7.6.8)$$

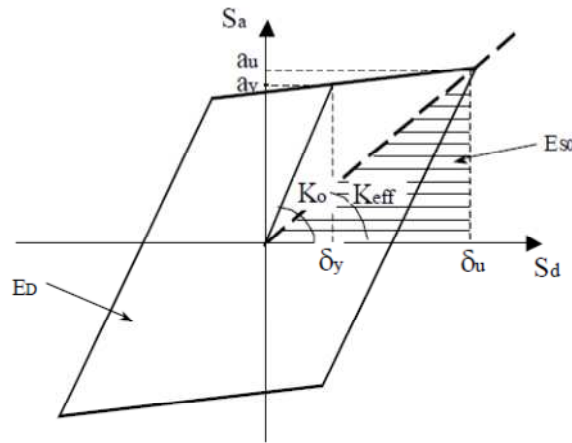
Όπου:

$\zeta_{ελ}$: η απόσβεση της κατασκευής για ελαστική συμπεριφορά, (=5% για Ω.Σ).

$\zeta_{\text{υστ}}$: υστερητική απόσβεση λόγω ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς.

Για τον υπολογισμό της υστερητικής απόσβεσης εφαρμόζεται η ακόλουθη σχέση η οποία βασίζεται στη σχέση ενεργειών του ελαστοπλαστικού και ισοδύναμου ελαστικού συστήματος:

$$\zeta_{\text{υστ}} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S0}} \Rightarrow \zeta_{\text{υστ}} = \frac{0.637(\alpha_y * \delta_u - \delta_y * \alpha_u)}{\alpha_u * \delta_u} \quad (7.6.9)$$



Σχήμα 7.6.5: Υπολογισμός υστερητικής απόσβεσης

Η σχέση που προαναφέρθηκε υπερεκτιμά την υστερητική απόσβεση για σειμούς μεγάλης διάρκειας και κατασκευές χωρίς καλή πλάστιμη συμπεριφορά. Στον ATC – 40 προτείνεται η χρήση ενός διορθωτικού συντελεστή κ, ανάλογα με την ποιότητα της κατασκευής σε συνδυασμό με την αναμενόμενη σεισμική διέγερση. Οι τύποι συμπεριφοράς και οι συντελεστές κ παρουσιάζονται στους δύο πίνακες που ακολουθούν.

7⁰ Κεφάλαιο: Ανελαστική Στατική Ανάλυση

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

Πίνακας 7.6.1: Τύποι συμπεριφοράς κτιρίων

Τύπος συμπεριφοράς	$\zeta_{\text{οστ}}$ (%)	κ
A	≤ 16.25	1.00
	> 16.25	$1.13 - \frac{0.51 \cdot (a_y \cdot \delta_u - \delta_y \cdot a_u)}{a_u \cdot \delta_u}$
B	< 25	0.67
	> 25	$0.845 - \frac{0.446 \cdot (a_y \cdot \delta_u - \delta_y \cdot a_u)}{a_u \cdot \delta_u}$
C	Όλες οι τιμές	0.33

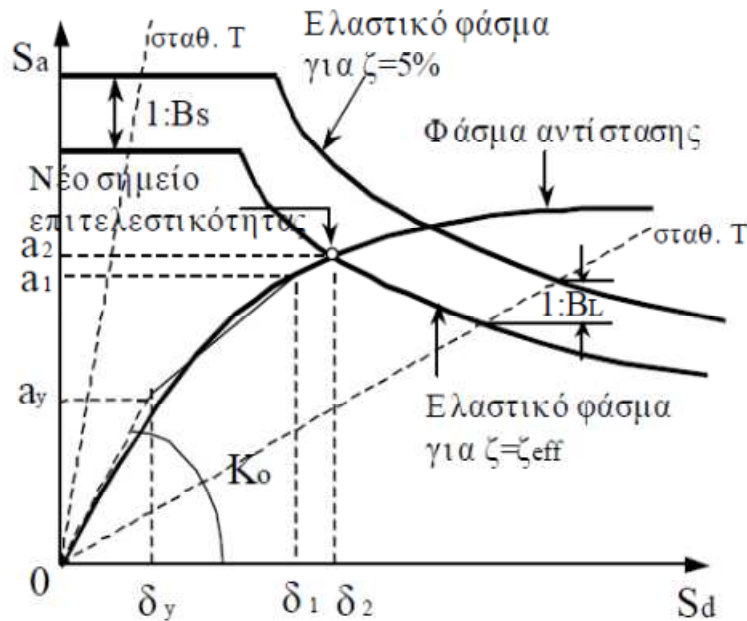
Πίνακας 7.6.2: Τιμές του διορθωτικού συντελεστή κ

Με την αντικατάσταση $a_u = a_1$ και $\delta_u = \delta_1$ στη σχέση (7.6.9) προκύπτει:

$$\zeta_{\text{eff}} \left(\frac{0}{0} \right) = 5 + \frac{63.7 * \kappa * (\alpha_y * \delta_1 - \delta_y \alpha_1)}{\alpha_1 * \delta_1} \quad (7.6.10)$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού για απόσβεση $\zeta = \zeta_{\text{eff}}$ με πολλαπλασιασμό των τιμών του φάσματος για $\zeta = 5\%$ με τους συντελεστές SR_A και SR_V στα τμήματα σταθερής επιτάχυνσης και σταθερής ταχύτητας αντίστοιχα.

Το σημείο τομής μεταξύ του φάσματος σχεδιασμού για $\zeta = \zeta_{\text{eff}}$ και του φάσματος αντίστασης ορίζει το νέο σημείο επιτελεστικότητας. Η προβολή του στους άξονες S_a και S_d , ορίζει την νέα επιτάχυνση, a_2 , καθώς και την νέα μετακίνηση, δ_2 αντίστοιχα.



Σχήμα 7.6.6: Κατασκευή ελαστικού φάσματος απόκρισης για $\zeta = \zeta_{eff}$ και εύρεση νέου σημείου επιτελεστικότητας

6^ο Βήμα: Έλεγχος σύγκλισης.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου πραγματοποιείται μία επαναληπτική διαδικασία έως ότου επιτευχθεί μία αποδεκτή σύγκλιση, η οποία είναι:

$$0.95\delta_1 \leq \delta_2 \leq 1.05\delta_1 \quad (7.6.11)$$

Σε περίπτωση που το κριτήριο δεν ικανοποιείται τότε θέτουμε $a_1 = a_2$ και $\delta_1 = \delta_2$ επαναλαμβάνοντας την διαδικασία από το 5^ο βήμα και έπειτα. Εάν το κριτήριο ικανοποιείται τότε η μετακίνηση δ_2 αντιστοιχεί στη μέγιστη αναμενόμενη μετακίνηση δ^* του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος (στοχευόμενη μετακίνηση).

7^ο Βήμα: Στοχευόμενη μετακίνηση κατασκευής.

Η μετακίνηση της κορυφής Δ, που αντιστοιχεί στη μετακίνηση δ* του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος υπολογίζεται από τη σχέση: (7.6.6).

➤ Μέθοδος N2:

Η συγκεκριμένη μέθοδος προτάθηκε από τον Fajfar και βασίζεται σε εμπειρικές σχέσεις που συνδέουν τον συντελεστή συμπεριφοράς με την πλαστιμότητα. Αντί να χρησιμοποιούνται ελαστικά φάσματα για την ισοδύναμη απόσβεση που αντιστοιχεί στην αναπτυσσόμενη πλαστιμότητα (ATC – 40) υπολογίζεται απ' ευθείας η ανελαστική επιτάχυνση. Η ανελαστική φασματική επιτάχυνση, S_a συνδέεται με την αντίστοιχη ελαστική, S_{ae} με την σχέση:

$$S_a = \frac{S_{ae}}{R_\mu} \quad (7.6.12)$$

Όπου:

R_μ είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς (reduction factor) λόγω της ανελαστικής απόκρισης. Ο όρος R_μ αντιστοιχεί στον συντελεστή συμπεριφοράς χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η υπεραντοχή, q_0 . Κατά τον ΕΑΚ ο συντελεστής συμπεριφοράς ορίζεται ως: $q=q_0q_d$.

Η ανελαστική φασματική μετακίνηση, S_d , συνδέεται με τη μετακίνηση διαρροής, S_{dy} με την σχέση:

$$S_d = \mu * S_{dy} \quad (7.6.13)$$

Για ελαστικό – τελείως πλαστικό σύστημα, χωρίς κράτυνση, ισχύει:

$$S_{\alpha} = S_{\alpha y} \quad (7.6.14)$$

Η $S_{\alpha y}$ είναι η επιτάχυνση διαρροής.

Επίσης με την χρήση των ακόλουθων σχέσεων, (7.6.15), και με τον συνδυασμό τους με τις σχέσεις: (7.6.12), (7.6.13) και (7.6.14) προκύπτει η σχέση: (7.6.16), η οποία και συσχετίζει την ελαστική με την ανελαστική μετακίνηση.

$$S_{ae} = \omega^2 S_{de} \quad \text{και} \quad S_{\alpha y} = \omega^2 S_{dy} \quad (7.6.15)$$

$$S_d = \frac{\mu}{R_{\mu}} S_{de} \quad (7.6.16)$$

ω είναι η ιδιοπερίοδος του ελαστικού συστήματος.

Η πλαστιμότητα συνδέεται με τον συντελεστή συμπεριφοράς μέσω των σχέσεων που ακολουθούν.

$$R_{\mu} = (\mu - 1) \frac{T}{T_0} + 1 \quad \text{για} \quad T \leq T_0 \quad (7.6.17)$$

$$R_{\mu} = \mu \quad \text{για} \quad T \geq T_0 \quad (7.6.18)$$

Όπου:

$$T_0 = 0.65 * \mu^3 * T_c \leq T_c \quad (7.6.19)$$

T : η ιδιοπερίοδος του μονοβάθμιου ταλαντωτή.

T_c : η χαρακτηριστική περίοδος της εδαφικής κίνησης.

Για φάσματα σχεδιασμού κατά τον ΕΑΚ ή του EC8, η περίοδος T_c ορίζεται συνήθως από το σημείο τομής του τμήματος που αντιστοιχεί σε σταθερή επιτάχυνση (οριζόντιο τμήμα) με αυτό που αντιστοιχεί σε

σταθερή ταχύτητα (φθίνων κλάδος), δηλαδή: $T_c=T_2$ κατά ΕΑΚ και $T_c=T_C$ κατά τον EC8.

Από την σχέση (7.6.18) για μεγάλες ιδιοπεριόδους ισχύει η παραδοχή ίσων μετακινήσεων. Συνεπώς η μετακίνηση του ανελαστικού συστήματος είναι ίση με αυτή του αντίστοιχου ελαστικού με την ίδια περίοδο.

Σε κατασκευές με μικρές περιόδους ισχύει η σχέση (7.6.17) και συνεπώς ισχύει η παραδοχή ίσων ενεργειών.

Η περίοδος T_0 , η οποία καθορίζει το όριο μεταξύ των περιοχών ισχύος κάθε εξίσωσης, εξαρτάται από την πλαστιμότητα και δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από την χαρακτηριστική περίοδο T_c του φάσματος σχεδιασμού

Απλοποιητικά θεωρούμε ότι ισχύει:

$$T_0 = T_c \quad (7.6.20)$$

Όπου πρόκειται για μία συντηρητική παραδοχή.

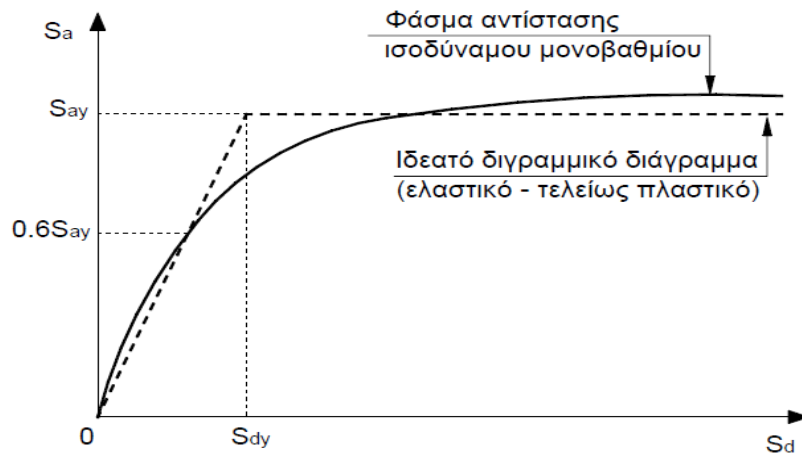
Περιγραφή μεθόδου:

1^ο Βήμα:

Κατασκευή της καμπύλης αντίστασης της κατασκευής και του αντίστοιχου φάσματος αντίστασης του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος σε μορφή ADRS. Όπως και σε ATC – 40.

2^ο Βήμα: Κατασκευή του αντίστοιχου ιδεατού διγραμμικού διαγράμματος.

Το διγραμμικό διάγραμμα αντίστασης κατασκευάζεται χωρίς κράτυνση, δηλαδή με οριζόντιο μετελαστικό κλάδο.



Σχήμα 7.6.7: Κατασκευή ιδεατού διγραμμικού φάσματος αντίστασης

Η κατασκευή του διαγράμματος γίνεται με κλίση ελαστικού κλάδου ίση με την τέμνουσα δυσκαμψία που αντιστοιχεί στο 60% της επιτάχυνσης διαρροής με τρόπο ώστε τα εμβαδά που αποκόπτονται πάνω και κάτω από την καμπύλη να είναι ίσα. Από το διγραμμικό διάγραμμα αντίστασης καθορίζονται η επιτάχυνση διαρροής, S_{ay} και η μετακίνηση διαρροής, S_{dy} . Συνεπώς για το ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα η δύναμη διαρροής είναι: $F_y^* = m^* S_{ay}$ και η μετακίνηση διαρροής είναι: $\delta_y^* = S_{dy}$

Η ιδιοπερίοδος του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος δίνεται από την σχέση:

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{S_{dy}}{S_{ay}}} = 2\pi \sqrt{\frac{m^* \delta_y^*}{F_y^*}} \quad (7.6.21)$$

3⁰ Βήμα: Υπολογισμός της ανελαστικής μετακίνησης του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος.

Για την περίοδο T^* , υπολογίζεται η ελαστική επιτάχυνση, S_{ae} και η ελαστική μετακίνηση, S_{de} , από το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού. Ο απαιτούμενος συντελεστής συμπεριφοράς ισούται με:

$$R_{\mu} = \frac{S_{ae}}{S_{ay}} \quad (7.6.22)$$

A) Εάν $T^* \geq T_0$, η ανελαστική μετακίνηση ισούται με την ελαστική, δηλαδή:

$$\delta^* = S_d = S_{de} \quad (7.6.23)$$

Η χαρακτηριστική περίοδος T_0 , υπολογίζεται από την σχέση: $T_0 = 0.65 \mu^3 T_c \leq T_c$, ή την σχέση $T_0 = T_c$. Οπότε είναι $\mu = R_{\mu}$

B) Εάν $T^* < T_0$, η πλαστιμότητα, μ , υπολογίζεται από τον συντελεστή συμπεριφοράς, R_{μ} σύμφωνα με την σχέση:

$$\mu = (R_{\mu} - 1) \frac{T_0}{T^*} + 1 \quad (7.6.24)$$

Μετά τον υπολογισμό της πλαστιμότητας, η ανελαστική μετακίνηση δίνεται από την σχέση:

$$\delta^* = S_d = \mu S_{dy} \quad (7.6.25)$$

Και στις δύο περιπτώσεις η ανελαστική μετακίνηση αντιστοιχεί στο σημείο τομής του διγραμμικού φάσματος αντίστασης με το ανελαστικό φάσμα σχεδιασμού που αντιστοιχεί σε πλαστιμότητα μ . Αν και με την χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου υπολογίζεται χωρίς την κατασκευή του ανελαστικού φάσματος σχεδιασμού.

4⁰ Βήμα: Στοχευόμενη μετακίνηση κατασκευής.

Όπως και στην μέθοδο ATC - 40, η μετακίνηση της κορυφής, Δ , που αντιστοιχεί στη μετακίνηση δ^* του ισοδύναμου μονοβάθμιου

συστήματος υπολογίζεται με τη χρήση της σχέσης: $S_d = \frac{\Delta}{\Gamma}$ ή

$$S_d = \frac{\Delta}{\Gamma^* \varphi_{top}}, \text{ αν } \varphi_{top} \neq 1, \text{ με αντικατάσταση της } S_d \text{ με τη } \delta^*.$$

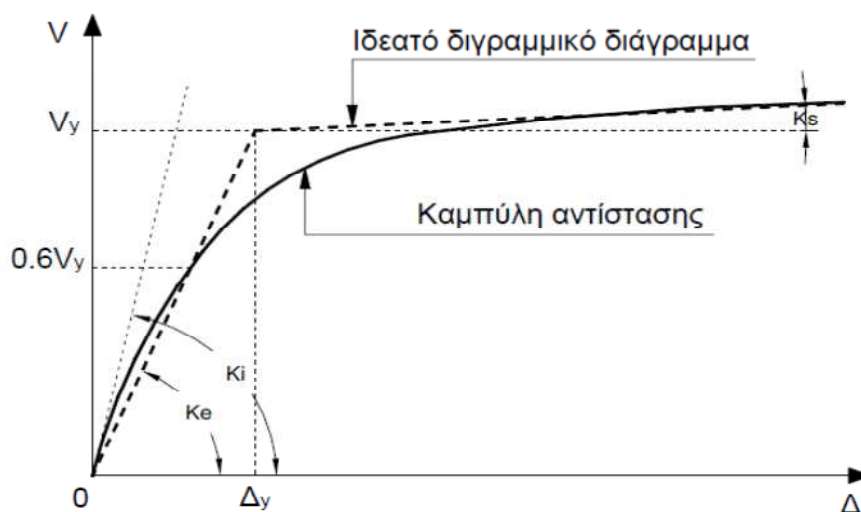
➤ Μέθοδος των συντελεστών:

Η μέθοδος αυτή για τον υπολογισμό της στοχευόμενης μετακίνησης περιγράφεται στην FEMA – 356 και στον ATC – 40, η οποία επίσης στηρίζεται στην παραδοχή του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος.

1^ο Βήμα: Κατασκευή ιδεατού διγραμμικού διαγράμματος για την καμπύλη αντίστασης.

Αρχικά πρέπει να μετατραπεί η καμπύλη αντίστασης σε διγραμμικό διάγραμμα. Στην μέθοδο αυτή ο μετελαστικός κλάδος δεν έχει μηδενική τιμή αλλά έχει τιμή K_s .

Ο ATC – 40 προτείνει την ακόλουθη μεθοδολογία για την κατασκευή του διγραμμικού διαγράμματος.



Σχήμα 7.6.8: Κατασκευή ιδεατής διγραμμικής απεικόνισης της καμπύλης αντίστασης

- Κατασκευή του μετελαστικού κλάδου με ορισμό της δυσκαμψίας, K_s , κατά την κρίση του μηχανικού με τη θεώρηση ότι η αντίστοιχη ευθεία διέρχεται από το σημείο που η καμπύλη αντίστασης έχει γίνει περίπου οριζόντια.
- Ορίζεται η ισοδύναμη ελαστική δυσκαμψία, K_e , από την ευθεία που ενώνει την αρχή των αξόνων με το σημείο πάνω στην καμπύλη αντίστασης το οποίο αντιστοιχεί στο 60% της τέμνουσας διαρροής, V_y .
- Καθορισμός της τέμνουσας διαρροής, V_y , από το σημείο τομής των ευθειών με κλίση K_e και K_s που αντιστοιχούν στον ελαστικό και τον μετελαστικό κλάδο.

2⁰ Βήμα: Υπολογισμός της ενεργούς θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, T_e .

Με την εφαρμογή της δυναμικής ανάλυσης προσδιορίζεται η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος της κατασκευής στη διεύθυνση που εξετάζεται, λαμβανομένης της ελαστικής δυσκαμψίας. Για τον υπολογισμό της ενεργούς θεμελιώδους ιδιοπεριόδου που αντιστοιχεί σε δυσκαμψία K_e , γίνεται χρήση της σχέσης:

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (7.6.26)$$

3⁰ Βήμα: Υπολογισμός της στοχευόμενης μετακίνησης, Δ_i .

Η στοχευόμενη μετακίνηση της κορυφής που αντιστοιχεί σε δεδομένο ελαστικό φάσμα σχεδιασμού προκύπτει από την σχέση:

$$\Delta_i = C_0 C_1 C_2 C_3 S_\alpha \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (7.6.27)$$

Σύμφωνα με τον FEMA 356,

- ✓ C_0 : είναι συντελεστής που συνδέει τη μετακίνηση της κορυφής Δ με τη φασματική μετακίνηση, S_d .

Ισχύει ότι: $\Delta = \Gamma * S_d * \varphi_{top}$

Όπου ο συντελεστής συμμετοχής Γ δίνεται από την σχέση:

$$\Gamma = \frac{\sum m_i \varphi_i}{\sum m_i \varphi_i^2}$$

Συνεπώς είναι: $C_0 = \Gamma * \varphi_{top}$ και εάν $\varphi_{top} = 1$ τότε $C_0 = \Gamma$

Για τον υπολογισμό του συντελεστή συμμετοχής μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τιμές φ_i που αντιστοιχούν στην πρώτη ιδιομορφή ή οι τιμές που αντιστοιχούν στην παραμόρφωση του κτιρίου όταν συμβαίνει η στοχευόμενη μετακίνηση. Σε εναλλακτική περίπτωση οι τιμές του συντελεστή μπορούν να ληφθούν από τον σχετικό πίνακα που ακολουθεί:

Αριθμός ορόφων	Διαμητικά κτήρια		Λοιπά κτήρια
	Τριγωνική κατανομή φορτίων	Ομοιόμορφη κατανομή φορτίων	Οποιαδήποτε κατανομή φορτίων
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

Πίνακας 7.6.3: Τιμές του συντελεστή C_0

- ✓ C_1 : πρόκειται για συντελεστή που συνδέει τη μετακίνηση του ανελαστικού συστήματος με αυτή του αντίστοιχου ελαστικού, βάσει των σχέσεων που ακολουθούν:

7⁰ Κεφάλαιο: Ανελαστική Στατική Ανάλυση

$$C_1 = 1.0 \quad , \text{για } T_e \geq T_s$$

$$C_1 = \frac{1.0 + (R-1)T_s / T_e}{R} \quad , \text{για } T_e < T_s$$

$$C_1 \leq 1.5 \quad , \text{για } T_e \leq 1.0$$

$$C_1 \geq 1.0$$

Είναι:

T_s : η περίοδος που ορίζεται από το σημείο τομής του τμήματος του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού που αντιστοιχεί σε σταθερή επιτάχυνση, δηλαδή στο οριζόντιο τμήμα, με αυτό που αντιστοιχεί σε σταθερή ταχύτητα, δηλαδή ο φθίνων κλάδος.

Συνεπώς $T_s = T_2$ κατά ΕΑΚ και $T_s = T_C$ κατά EC8.

R : ο συντελεστής συμπεριφοράς που εκφράζει το λόγο της ελαστικής απαίτησης προς την δύναμη διαρροής και υπολογίζεται από την σχέση:

$$R = \frac{S_a / g}{V_y / W} C_m \quad (7.6.28)$$

Όπου:

S_a : είναι η φασματική επιτάχυνση σύμφωνα με το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού για την ενεργό θεμελιώδη ιδιοπερίοδο, T_e .

V_y : πρόκειται για την τέμνουσα διαρροής σύμφωνα με τη διγραμμική απεικόνιση της καμπύλης αντίστασης.

W : είναι το συνολικό βάρος της κατασκευής.

C_m : συντελεστής που δηλώνει την ενεργό μάζα σύμφωνα με τον πίνακα που ακολουθεί. Εναλλακτικά μπορεί να ληφθεί ίσος με το λόγο της πρώτης ιδιομορφικής μάζας προς τη συνολική μάζα.

7^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Στατική Ανάλυση

Αριθμός ορόφων	Πλαισιακά κτήρια από Ω.Σ.	Τοιχωματικά κτήρια από Ω.Σ.	Κτήρια από Ω.Σ. τύπου ανεστρ. εκκρεμούς	Πλαίσια παραλαβής ροπών από χάλυβα	Πλαίσια από χάλυβα με συνδέσμους χωρίς εκκεντρότητα	Πλαίσια από χάλυβα με έκκεντρους συνδέσμους	Άλλος τύπος
1 - 2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3+	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0

(*) $C_m = 1.0$ για $T_e > 1.0$ sec.

Πίνακας 7.6.4: Τιμές του συντελεστή C_m (*)

- ✓ C_2 : διορθωτικός συντελεστής που λαμβάνει υπόψη του τη μορφή των βρόχων υστέρησης της ανελαστικής συμπεριφοράς. Οι τιμές του C_2 για διάφορους τύπους συστημάτων και διάφορες στάθμες επιτελεστικότητας δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί. Εναλλακτικά μπορεί να ληφθεί ίσος με την μονάδα.

Στάθμη επιτελεστικότητας	$T_e \leq 0.1$ sec		$T_e \geq T_s$	
	Τύπος κτηρίου 1	Τύπος κτηρίου 2	Τύπος κτηρίου 1	Τύπος κτηρίου 2
Άμεση χρήση	1.0	1.0	1.0	1.0
Προστασία ζωής	1.3	1.0	1.1	1.0
Οιονεί κατάρρευση	1.5	1.0	1.2	1.0

Επεξήγηση

Τύπος 1: Κατασκευές στις οποίες περισσότερο από το 30% της τέμνουσας σε κάθε όροφο αναλαμβάνεται από οποιονδήποτε συνδυασμό των εξής στοιχείων: Τυπικά πλαίσια παραλαβής ροπών, πλαίσια με μεταλλικούς συνδέσμους, πλαίσια με ημιάκαμπτες συνδέσεις, πλαίσια με μεταλλικούς συνδέσμους που παραλαμβάνουν μόνο εφελκυστικές δυνάμεις, άοπλη τοιχοποιία.

Τύπος 2: Οι κατασκευές που δεν ανήκουν στην κατηγορία 1.

Παρατήρηση: Για ενδιάμεσες τιμές ιδιοπεριόδων γίνεται γραμμική παρεμβολή.

Πίνακας 7.6.5: Τιμές του συντελεστή C_2

- ✓ C_3 : διορθωτικός συντελεστής που λαμβάνει υπόψη του την αύξηση των μετακινήσεων λόγω επιρροής P – Δ που ορίζεται ως εξής:

$C_3 = 1.0$ όταν πρόκειται για θετική κλίση του μετελαστικού κλάδου.
($K_S > 0$).

$C_3 = 1.0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T_e}$ όταν ο μετελαστικός κλάδος έχει αρνητική κλίση.
($K_S < 0$)

Όπου: $\alpha = K_S / K_e$

Η τιμή του συντελεστή C_3 δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή:

$$C_3 \leq 1.0 + 5 \frac{(\theta - 1)}{T_e}$$

Όπου θ : είναι συντελεστής σχετικής μεταθετότητας. Είναι ίσος με τη μέγιστη τιμή των αντίστοιχων συντελεστών των ορόφων, θ_i , οι οποίοι δίνονται από την σχέση:

$$\theta_i = \frac{P_i \delta_i}{V_i h_i} \quad (7.6.29)$$

Όπου:

P_i : είναι το κατακόρυφο φορτίο του i ορόφου.

V_i : είναι η συνολική τέμνουσα δύναμη του i ορόφου στην εξεταζόμενη διεύθυνση για το σεισμικό συνδυασμό, σύμφωνα με την κλασσική ανάλυση.

h_i : ύψος του i ορόφου.

δ_i : σχετική μετακίνηση των πλακών του ορόφου στην εξεταζόμενη διεύθυνση, μετρούμενη στο κέντρο δυσκαμψίας.

Η μέθοδος N2 πρακτικά ταυτίζεται με τη μέθοδο των συντελεστών, εάν τεθεί $C_2 = 1.0$ και $C_3 = 1.0$ αφού ισχύει $C_0 = \Gamma$ (για $\phi_{top} = 1.0$) και $C_1 = \mu / R_\mu$

7.7 Βιβλιογραφία:

- ✓ Γ.Ν.ΨΥΧΑΡΗΣ «Αντισεισμικός Σχεδιασμός με Στάθμες Επιτελεστικότητας»
- ✓ Applied Technology Council (ATC) «Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings»
- ✓ ANIL.K.CHOPRA «Δυναμική των Κατασκευών»
- ✓ Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας «Κανονισμός Επεμβάσεων»(ΚΑΝ.ΕΠΕ)
- ✓ Κ.ΣΠΥΡΑΚΟΣ «Ενίσχυση Κατασκευών για Σεισμικά Φορτία»

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

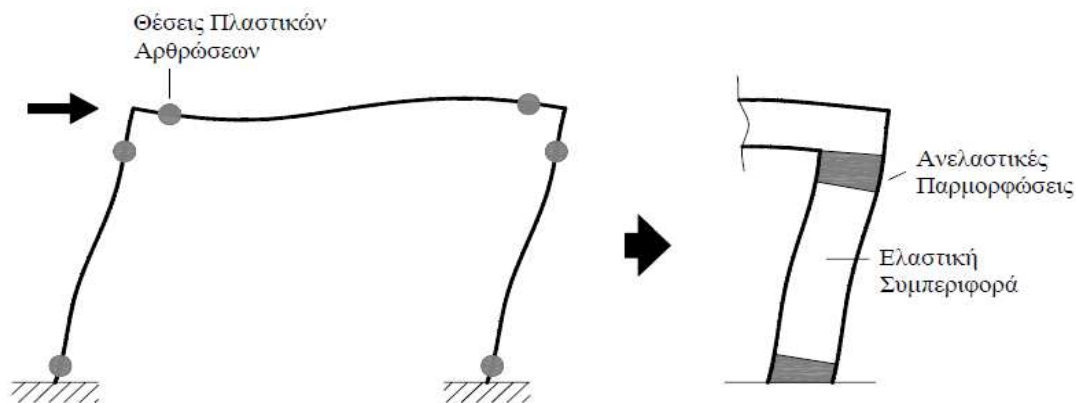
8.1 Η έννοια της Πλαστικής Άρθρωσης:

Οι νέες κατασκευές για τον σεισμό βάσει του οποίου γίνεται ο σχεδιασμός τους δεν αναμένεται να συμπεριφερθούν ελαστικά. Συνεπώς ορίζονται τα σημεία όπου πρόκειται να σχηματισθούν πλαστικές αρθρώσεις. Τα σημεία αυτά καταναλώνουν την σεισμική ενέργεια και μπορούν να παραμορφώνονται πέραν του ορίου διαρροής, δηλαδή να παρουσιάζουν ανελαστικές παραμορφώσεις.

Τα μέλη σταδιακά διαρρέουν με την αύξηση της έντασης στην κατασκευή και η διαρροή είναι άρρηκτα συνδεδεμένη αφενός με την αντοχή των μελών και αφετέρου με την αντίστοιχη ένταση σε διάφορες θέσεις κατά μήκος του στοιχείου. Οι ενδεχόμενες θέσεις των ανελαστικών αυτών παραμορφώσεων ορίζονται στις παρειές των δοκαριών και στην βάση και την κορυφή των υποστυλωμάτων.

Η αποτύπωση τους στον σχεδιασμό νέων κατασκευών επιτυγχάνεται με την ύπαρξη κρίσιμων περιοχών σε δοκούς και υποστυλώματα σε καθορισμένες αποστάσεις από τα άκρα των μελών. Στις περιοχές αυτές λαμβάνονται επιπλέον μέτρα για την αντιμετώπιση των απαιτήσεων σε αυξημένες παραμορφώσεις, π.χ.: πύκνωση συνδετήρων. Συνεπώς ένα μέλος το οποίο υποβάλλεται σε σεισμική φόρτιση δύναται να εμφανίσει ανελαστικές παραμορφώσεις κοντά στα άκρα του. Οι περιοχές που ορίζονται ως μη κρίσιμες παραμένουν στην ελαστική συμπεριφορά.

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή



Σχήμα 8.1.1: Θέσεις πιθανών πλαστικών αρθρώσεων

Για την προσομοίωση της κατασκευής της παρούσας εργασίας έγινε εφαρμογή της πρότασης του ΚΑΝ.ΕΠΕ., οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια. Αξίζει να αναφερθεί πως μπορούν να αναζητηθούν και άλλα προσομοιώματα όπως αυτά του FEMA 356,2000 και Τάσσιος 2005.

8.2 Προσομοίωση Συμπεριφοράς Δομικών Στοιχείων:

Για τον επιτυχή ορισμό των πιθανών θέσεων των πλαστικών αρθρώσεων στον φορέα όπως επίσης και των ιδιοτήτων τους πραγματοποιήθηκε η ακόλουθη διαδικασία:

1^ο Βήμα: Βάσει των αποτελεσμάτων της ανάλυσης $G + 0,3Q$, τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί, προσδιορίστηκαν για συγκεκριμένη θλιπτική δύναμη, P , για τα υποστυλώματα και για μηδενική θλιπτική δύναμη για τα δοκάρια τα εξής μεγέθη:

- Φ_y : Καμπυλότητα διαρροής.
- Φ_u : Οριακή καμπυλότητα.
- M_y : Ροπή διαρροής.
- M_u : Ροπή αστοχίας.

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
1	2,18	1,G+0,30Q	-232,23	-0,50	2,89	0,07	-0,79	0,33
2	1,475	1,G+0,30Q	-157,56	-1,47	7,60	0,15	3,10	-0,29
3	1,475	1,G+0,30Q	-85,45	-2,54	14,40	0,17	-6,36	0,93
4	2,18	1,G+0,30Q	-439,50	-0,15	-7,54	0,11	8,48	0,04
5	1,475	1,G+0,30Q	-298,73	-0,50	-25,81	0,24	-1,53	0,02
6	1,475	1,G+0,30Q	-176,19	-0,69	-40,74	0,27	11,23	0,23
7	2,18	1,G+0,30Q	-772,42	-0,83	-6,43	0,11	8,44	0,54
8	1,475	1,G+0,30Q	-609,54	-3,47	-21,46	0,24	-1,26	0,03
9	1,475	1,G+0,30Q	-453,06	-3,03	-24,55	0,27	4,61	-0,09
10	1,475	1,G+0,30Q	-289,09	-3,47	-15,97	0,28	-9,99	0,57
11	1,45	1,G+0,30Q	-161,85	-10,08	-3,43	0,31	3,46	2,83
12	2,18	1,G+0,30Q	-946,64	-0,17	-6,23	0,11	9,05	0,08
13	1,475	1,G+0,30Q	-762,92	-0,58	-20,93	0,24	-0,92	0,01
14	1,475	1,G+0,30Q	-584,10	-0,31	-18,14	0,27	1,31	0,02
15	1,475	1,G+0,30Q	-405,25	-0,31	-15,95	0,28	-2,93	0,24
16	1,45	1,G+0,30Q	-230,39	-1,72	-30,52	0,31	11,86	0,63
17	2,18	1,G+0,30Q	-560,61	0,65	-4,04	0,11	8,25	-0,53
18	1,475	1,G+0,30Q	-452,16	2,43	-13,07	0,24	-0,18	0,28
19	1,475	1,G+0,30Q	-344,34	2,29	-10,30	0,27	1,04	-0,04
20	1,475	1,G+0,30Q	-236,22	2,06	-9,44	0,28	-1,78	0,41
21	1,45	1,G+0,30Q	-126,39	4,44	-24,16	0,31	11,21	-1,39
22	2,18	1,G+0,30Q	-709,30	1,47	0,08	0,10	0,47	1,03
23	1,475	1,G+0,30Q	-568,77	3,32	0,21	0,23	0,27	3,41
24	1,475	1,G+0,30Q	-433,98	0,35	0,18	0,26	-0,01	2,33
25	1,475	1,G+0,30Q	-303,19	-1,03	-0,02	0,27	0,04	2,37
26	1,45	1,G+0,30Q	-168,12	2,11	0,22	0,30	-0,05	-1,04
27	2,18	1,G+0,30Q	-980,56	-0,66	0,68	0,10	0,14	2,81
28	1,475	1,G+0,30Q	-788,04	-2,01	2,91	0,23	0,24	1,63
29	1,475	1,G+0,30Q	-601,45	-1,41	2,96	0,26	0,03	1,78
30	1,475	1,G+0,30Q	-417,99	-0,78	2,45	0,27	0,17	1,61
31	1,45	1,G+0,30Q	-234,02	-1,13	3,23	0,30	-0,37	1,99
32	2,18	1,G+0,30Q	-1285,15	-4,78	26,16	0,81	-8,72	5,90
33	1,475	1,G+0,30Q	-1030,94	-15,18	92,65	1,74	11,31	-0,49
34	1,475	1,G+0,30Q	-783,62	-12,08	85,42	2,02	-1,57	2,37
35	1,475	1,G+0,30Q	-535,00	-9,55	75,34	2,09	6,72	-0,17
36	1,45	1,G+0,30Q	-285,96	-19,48	131,08	2,29	-34,17	8,90
37	2,18	1,G+0,30Q	-547,62	-0,01	4,12	0,09	-0,25	0,29
38	1,475	1,G+0,30Q	-437,61	-0,05	13,92	0,20	2,92	0,15
39	1,475	1,G+0,30Q	-333,79	-0,05	13,02	0,23	-1,04	0,15
40	1,475	1,G+0,30Q	-230,55	-0,02	9,98	0,24	1,71	0,08
41	1,45	1,G+0,30Q	-129,14	-0,13	23,62	0,26	-9,93	0,23
42	2,18	1,G+0,30Q	-951,59	-0,98	3,48	0,09	1,87	1,01
43	1,475	1,G+0,30Q	-767,95	-3,46	12,72	0,20	2,47	-0,25
44	1,475	1,G+0,30Q	-589,85	-2,98	13,67	0,23	-0,93	0,31
45	1,475	1,G+0,30Q	-412,57	-2,40	11,40	0,24	1,32	-0,36
46	1,45	1,G+0,30Q	-236,66	-5,58	25,24	0,26	-9,06	2,15
47	2,18	1,G+0,30Q	-910,91	0,44	5,74	0,09	1,38	-0,04
48	1,475	1,G+0,30Q	-732,66	1,45	19,63	0,20	3,93	0,36
49	1,475	1,G+0,30Q	-561,06	1,23	19,04	0,23	-0,73	0,04
50	1,475	1,G+0,30Q	-390,67	0,93	15,37	0,24	2,19	0,34
51	1,45	1,G+0,30Q	-222,73	2,50	35,05	0,26	-12,98	-0,86
52	2,18	1,G+0,30Q	-810,94	0,90	4,60	0,09	3,67	-0,38
53	1,475	1,G+0,30Q	-653,22	3,07	14,46	0,20	4,72	0,56
54	1,475	1,G+0,30Q	-500,83	2,68	12,50	0,23	0,02	-0,08
55	1,475	1,G+0,30Q	-348,77	2,06	8,33	0,24	1,92	0,62

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

56	1,45	1,G+0,30Q	-198,00	5,30	20,79	0,26	-7,87	-1,94
57	2,18	1,G+0,30Q	-605,13	-0,03	-4,22	0,06	4,63	0,32
58	1,475	1,G+0,30Q	-484,10	-0,13	-16,47	0,12	0,10	0,11
59	1,475	1,G+0,30Q	-371,11	-0,12	-17,08	0,14	0,87	0,13
60	1,475	1,G+0,30Q	-261,08	-0,07	-18,12	0,14	-0,59	0,01
61	1,45	1,G+0,30Q	-154,80	-0,38	-30,55	0,16	7,23	0,34
62	2,18	1,G+0,30Q	-276,41	2,20	-0,69	0,10	0,79	7,26
63	1,475	1,G+0,30Q	-224,35	6,50	-2,92	0,23	0,10	4,69
64	1,475	1,G+0,30Q	-168,64	6,25	-2,86	0,26	-0,01	2,77
65	1,475	1,G+0,30Q	-111,89	5,84	-3,23	0,27	0,10	2,21
66	1,45	1,G+0,30Q	-45,02	10,62	-4,93	0,30	0,70	0,67
72	2,18	1,G+0,30Q	-531,28	-0,92	0,00	0,13	0,46	16,53
73	1,475	1,G+0,30Q	-430,18	-6,05	0,00	0,28	0,21	8,04
74	1,475	1,G+0,30Q	-328,15	-7,00	0,00	0,32	0,00	5,24
75	1,475	1,G+0,30Q	-222,93	-8,70	-0,11	0,34	-0,05	4,14
76	1,45	1,G+0,30Q	-113,40	-12,91	-0,22	0,37	0,16	8,92
77	2,18	1,G+0,30Q	-801,54	0,21	-5,19	0,10	12,66	0,39
78	1,475	1,G+0,30Q	-643,95	1,01	-17,15	0,23	1,57	0,16
79	1,475	1,G+0,30Q	-492,51	1,49	-16,01	0,26	1,56	0,04
80	1,475	1,G+0,30Q	-341,94	1,62	-14,91	0,27	-3,43	0,19
81	1,45	1,G+0,30Q	-192,35	2,87	-37,09	0,30	19,20	-0,42
82	2,18	1,G+0,30Q	-342,88	1,37	-7,23	0,11	17,91	-0,43
83	1,475	1,G+0,30Q	-268,87	5,42	-23,12	0,24	1,58	0,47
84	1,475	1,G+0,30Q	-209,99	5,12	-20,86	0,28	2,49	0,15
85	1,475	1,G+0,30Q	-147,65	4,68	-18,87	0,29	-4,87	0,38
86	1,45	1,G+0,30Q	-91,25	8,38	-48,26	0,31	26,80	-1,75
87	2,18	1,G+0,30Q	-380,35	1,39	0,75	0,10	0,10	7,33
88	1,475	1,G+0,30Q	-306,98	3,72	3,19	0,23	0,26	4,37
89	1,475	1,G+0,30Q	-226,86	3,76	3,06	0,26	0,12	2,58
90	1,475	1,G+0,30Q	-149,68	2,79	2,86	0,27	-0,07	2,70
91	1,45	1,G+0,30Q	-65,69	6,23	3,96	0,30	-0,27	0,77
92	2,18	1,G+0,30Q	-939,32	-2,97	-14,32	0,81	22,87	10,29
93	1,475	1,G+0,30Q	-747,52	-10,73	-47,02	1,74	-2,27	2,47
94	1,475	1,G+0,30Q	-566,60	-8,88	-38,51	2,02	3,02	3,09
95	1,475	1,G+0,30Q	-384,93	-8,12	-35,70	2,09	-5,23	0,90
96	1,45	1,G+0,30Q	-203,85	-15,96	-73,45	2,29	28,88	8,78
97	2,18	1,G+0,30Q	-707,60	-0,12	0,71	0,37	0,58	227,12
98	1,475	1,G+0,30Q	-569,95	5,56	3,41	0,79	0,33	252,41
99	1,475	1,G+0,30Q	-474,32	10,66	3,84	0,92	-0,05	265,85
100	1,475	1,G+0,30Q	-372,77	18,84	4,22	0,95	-0,42	288,40
101	1,45	1,G+0,30Q	-256,87	22,67	6,20	1,04	-0,35	191,36
102	1,445	1,G+0,30Q	-139,41	1,36	4,15	0,99	-0,30	119,14
103	2,18	1,G+0,30Q	-353,71	0,16	9,22	0,13	42,01	-0,06
104	1,475	1,G+0,30Q	-277,30	0,87	26,17	0,28	24,08	0,02
105	1,475	1,G+0,30Q	-199,77	1,04	28,17	0,33	-2,43	0,11
106	1,475	1,G+0,30Q	-123,73	1,72	9,44	0,34	14,28	-0,20
107	1,45	1,G+0,30Q	-77,73	2,39	17,84	0,37	-18,14	0,11
108	1,445	1,G+0,30Q	-31,83	2,12	-11,29	0,36	-20,42	0,12
109	2,18	1,G+0,30Q	-441,06	7,31	0,18	0,13	0,35	-6,78
110	1,475	1,G+0,30Q	-342,98	29,41	0,80	0,28	0,20	2,41
111	1,475	1,G+0,30Q	-227,78	35,35	0,88	0,33	-0,02	13,73
112	1,475	1,G+0,30Q	-99,52	21,49	1,46	0,34	-0,36	34,10
113	1,45	1,G+0,30Q	-64,42	2,95	2,71	0,37	-0,15	12,42
114	1,445	1,G+0,30Q	-17,05	0,47	1,86	0,36	-0,06	1,81
115	2,18	1,G+0,30Q	-158,64	0,05	1,81	0,05	2,83	-0,02
116	1,475	1,G+0,30Q	-134,21	0,28	6,58	0,11	2,00	0,01
117	1,475	1,G+0,30Q	-107,97	0,32	6,56	0,12	-0,01	0,05
118	1,475	1,G+0,30Q	-90,87	0,09	5,40	0,13	-0,01	0,17

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

119	1,45	1,G+0,30Q	-45,26	-0,17	8,77	0,14	-1,27	0,04
120	1,445	1,G+0,30Q	-11,57	-0,14	5,77	0,13	-2,19	-0,02
121	2,18	1,G+0,30Q	-1348,79	-3,66	0,08	0,37	1,04	486,03
122	1,475	1,G+0,30Q	-1100,23	-18,26	0,21	0,79	0,56	406,35
123	1,475	1,G+0,30Q	-864,03	-30,43	0,22	0,92	-0,08	342,20
124	1,475	1,G+0,30Q	-622,36	-26,91	-0,32	0,95	0,06	273,32
125	1,45	1,G+0,30Q	-378,62	-1,04	0,66	1,04	-0,42	157,23
126	1,445	1,G+0,30Q	-108,47	-3,81	-0,48	0,99	-0,69	-11,48
127	2,18	1,G+0,30Q	-135,47	-0,34	-4,64	0,04	4,03	0,53
128	1,475	1,G+0,30Q	-100,63	-1,19	-16,50	0,09	-1,27	-0,04
129	1,475	1,G+0,30Q	-75,69	-1,01	-14,90	0,11	0,64	0,17
130	1,475	1,G+0,30Q	-51,68	-0,76	-13,63	0,11	-1,52	-0,15
131	1,45	1,G+0,30Q	-37,19	-1,89	-26,75	0,12	8,22	0,87

Πίνακας 8.2.1: Τα εντατικά μεγέθη των υποστυλωμάτων για τον συνδυασμό “G+0,3Q”.

2^ο Βήμα: Με την εφαρμογή των ακόλουθων σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. αλλάζει μεταβλητή από Φ σε Θ . Οι σχέσεις που εφαρμόστηκαν είναι οι παρακάτω:



Σχήμα 8.2.1: Γωνία στροφής χορδής

- Για δοκούς και υποστυλώματα:

$$\Theta_y = \Phi_y \frac{L_v + \alpha_v z}{3} + 0,0013 \left(1 + 1,5 \frac{h}{L_v} \right) + 0,13 \Phi_y \frac{d_{bl} f_y}{\sqrt{f_c}} \quad (8.2.1)$$

- Για τοιχώματα:

$$\Theta_y = \Phi_y \frac{L_v + \alpha_v z}{3} + 0,002 \left(1 - 0,125 \frac{L_v}{h} \right) + 0,13 \Phi_y \frac{d_{bl} f_y}{\sqrt{f_c}} \quad (8.2.2)$$

Όπου:

Θ_y : είναι η στροφή της χορδής στην διαρροή.

α_v : είναι ίσο με μονάδα εάν η διατμητική αστοχία προηγείται της καμπτικής ενώ σε αντίθετη περίπτωση λαμβάνει την μηδενική τιμή, (καμπτική αστοχία προηγείται της διατμητικής). Ληφθηκε ίσο με μηδέν.

8⁰ Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

L_v : είναι το μήκος διάτμησης του στοιχείου, το οποίο ισούται με M/V που όμως προσεγγιστικά λήφθηκε ίσο με $L/2$.

d_{bl} : είναι η μέση διάμετρος του εφελκόμενου οπλισμού.

h : είναι το ύψος του μέλους.

f_y f_c : είναι η αντοχή διαρροής του χάλυβα και η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος ως μέσες τιμές. Δίνονται από τις εξής σχέσεις:

$$\begin{aligned} f_{ym} &= f_{yk} * 1,15 \quad (\text{MPa}) \\ f_{cm} &= f_{ck} + 8 \quad (\text{MPa}) \end{aligned} \quad (8.2.3)$$

3⁰ Βήμα: Εκτίμηση της οριακής ικανότητας στροφής της χορδής, Θ_{um} μέσω της σχέσης (8.2.4). Η οποία είναι κοινή τόσο για δοκούς και υποστυλώματα όσο και για τα τοιχώματα.

$$\Theta_{um} = \frac{1}{\gamma_{el}} \left(\Theta_y + (\Phi_u - \Phi_y) L_{pl} \left(1 - 0,5 \frac{L_{pl}}{L_v} \right) \right) \quad (8.2.4)$$

Όπου:

γ_{el} : είναι ίσο με 1,5 για κύρια σεισμικά στοιχεία ενώ λαμβάνει την μονάδα για δευτερεύοντα σεισμικά στοιχεία.

L_{pl} : είναι το μήκος της πλαστικής άρθρωσης και δίνεται από την σχέση (8.2.5)

$$L_{pl} = 0,1L_v + 0,17h + 0,24 \frac{d_{bl} f_y (\text{MPa})}{\sqrt{f_c (\text{MPa})}} \quad (8.2.5)$$

4⁰ Βήμα: Κανονικοποιούμε το διάγραμμα ροπών – γωνίας στροφής χορδής με τέτοιο τρόπο ώστε το Θ_y να είναι ίσο με μηδέν και ο μετελαστικός κλάδος να έχει μήκος ίσο με την τιμή της ανελαστικής παραμόρφωσης του μέλους που λαμβάνεται από την σχέση (8.2.6).

$$\Theta_{um}^{pl} = \Theta_{um} - \Theta_y \quad (8.2.6)$$

8⁰ Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

5⁰ Βήμα: Ορίζουμε τα σημεία: A, B, C, D και E. Σημειώνεται πως για τα κατακόρυφα στοιχεία ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στον λόγο M_u/M_y , ενώ για τα δοκάρια αντιστοιχεί στην τιμή της ροπής. Ακολούθως παρουσιάζονται οι συντεταγμένες των σημείων αυτών, όπως ορίστηκαν στο πρόγραμμα.

Όπου:

$$A : \Theta=0 \text{ και } M \text{ ή } M_u/M_y = 0.$$

$$B : \Theta=0 \text{ και } M \text{ ή } M_u/M_y = M_y \text{ ή } 1,00.$$

$$C : \Theta=\Theta_{um}^{pl} \text{ και } M \text{ ή } M_u/M_y = M_u \text{ ή } M_u/M_y.$$

$$D : \Theta=\Theta_{um}^{pl} \text{ και } M \text{ ή } M_u/M_y = 0,25*M_u \text{ ή } 0,25*M_u/M_y.$$

$$E : \Theta=3*\Theta_{um}^{pl} \text{ και } M \text{ ή } M_u/M_y = 0,25*M_u \text{ ή } 0,25*M_u/M_y.$$

8.3 Ορισμός Θέσεων και Ιδιοτήτων των Πλαστικών Αρθρώσεων:

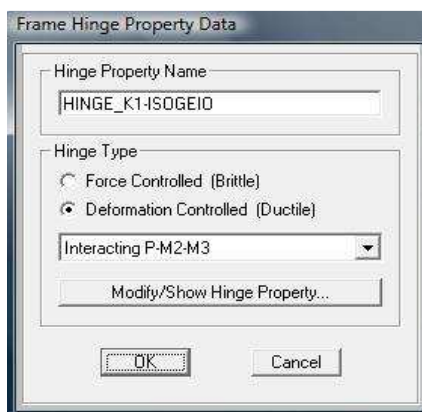
Για την εφαρμογή της ανελαστικής στατικής ανάλυσης, Pushover, θα πρέπει να ορισθούν τα μέλη καθώς και τα σημεία στα οποία ενδεχομένως να εμφανιστούν πλαστικές αρθρώσεις. Τέτοια σημεία εντοπίζονται, όπως προαναφέρθηκε στα σημεία αρχής και τέλους των μελών της κατασκευής, δηλαδή σε υποστυλώματα, δοκάρια και τοιχώματα.

Ο τύπος αστοχίας που θα επιλεγθεί θα είναι ψαθυρός (ductile), που αφορά σε έλεγχο των παραμορφώσεων.

Η ονομασία των “Hinges Properties” που ορίστηκε τόσο για τα υποστυλώματα όσο και για τα τοιχώματα είναι «HINGE_KI-ΣΤΑΘΜΗ».

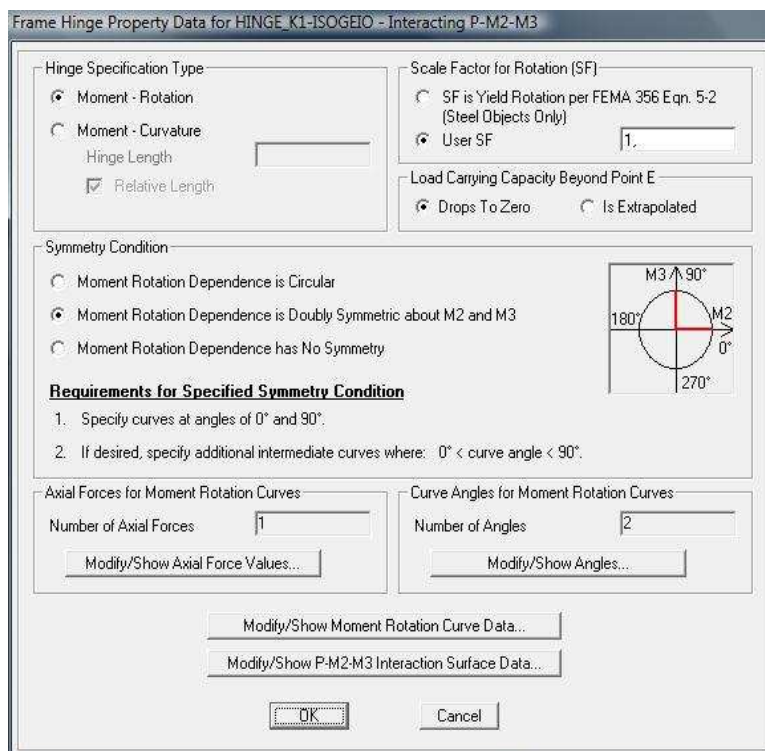
Όπου: I είναι ο κωδικός του κάθε υποστυλώματος όπως δίνεται στα σχέδια των ξυλοτύπων, (παρουσιάζονται στο παράρτημα), και στη ΣΤΑΘΜΗ ορίζεται μια εκ των: ISOGEIO, PROTOS, DEYTEROS, TRITOS, TETARTOS και PEMPTOS.

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή



Σχήμα 8.3.1: Ορισμός πλαστικής άρθρωσης υποστυλώματος K1.

Όπως φαίνεται και από το σχήμα πιο πάνω ως κρίσιμη αστοχία επιλέγεται η αστοχία λόγω αλληλεπίδρασης της θλιπτικής δύναμης με την διαξονική κάμψη ως προς τους άξονες 2-2 και 3-3, (Interacting P-M2-M3). Ακολούθως εμφανίζεται ο εξής πίνακας:

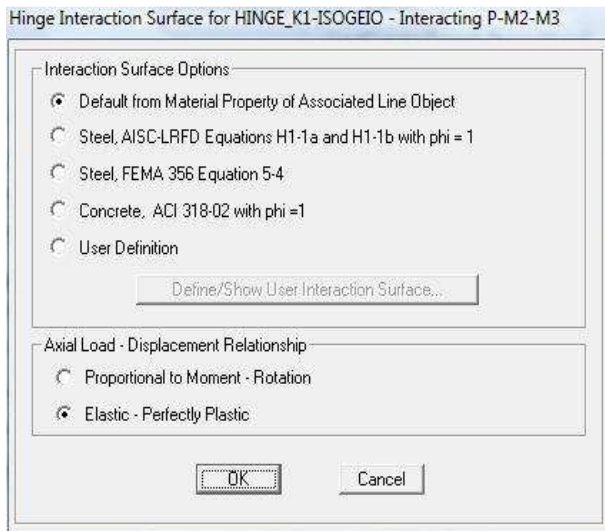


Σχήμα 8.3.2: Ιδιότητες πλαστικής άρθρωσης υποστυλώματος K1

Από εδώ αρχικά επιλέχθηκε διάγραμμα ροπής – στροφής (moment – rotation), επίσης καθορίστηκε η τιμή της αξονικής δύναμης, (με

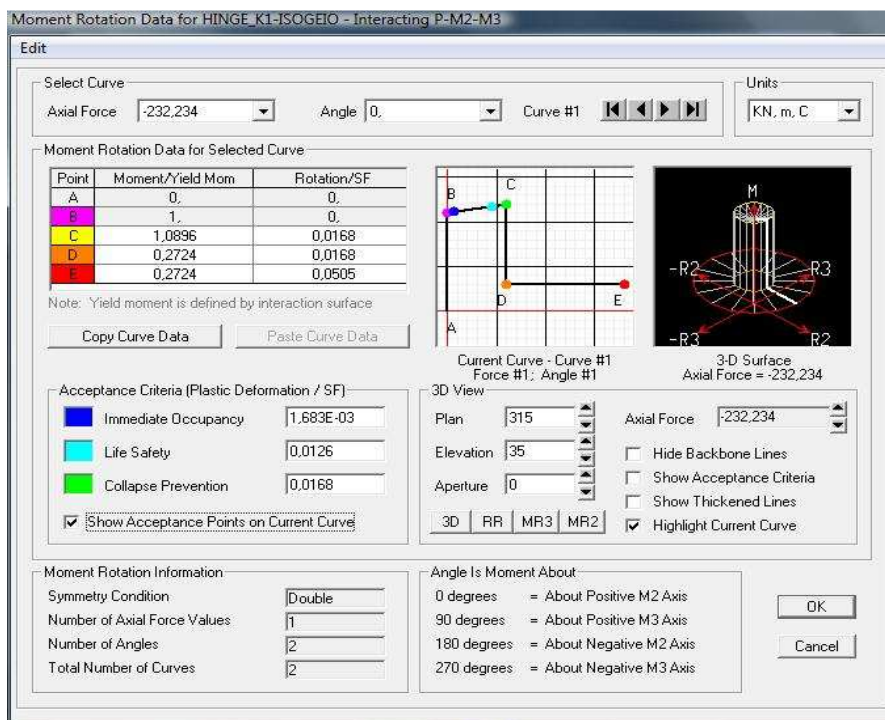
8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

αρνητικό πρόσημο αφού είναι θλιπτική) καθώς και ο αριθμός των γωνιών, 0° και 90°. Το διάγραμμα αλληλεπίδρασης λαμβάνεται από την εντολή «Default from Material Property of Associated Line object» όπως παρουσιάζεται και στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 8.3.3: Καθορισμός διαγράμματος αλληλεπίδρασης.

Στη συνέχεια ορίζονται τα χαρακτηριστικά της απόκρισης της πλαστικής άρθρωσης μέσω της επιλογής «Modify / Show Moment Rotation Curve Data».

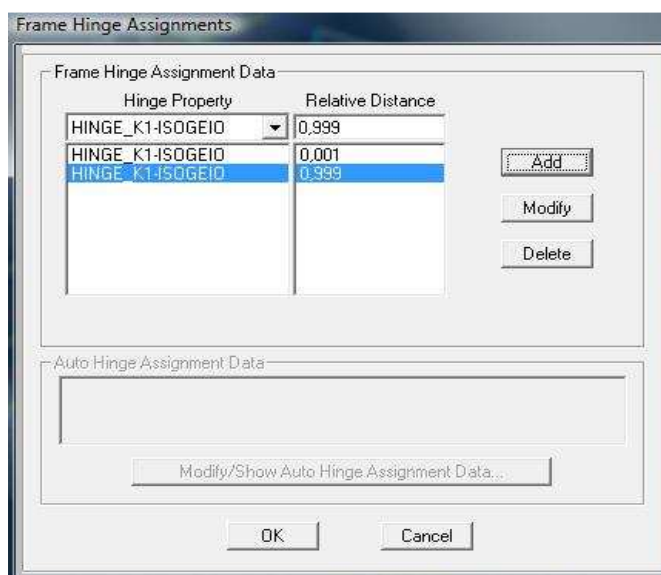


Σχήμα 8.3.4: Χαρακτηριστικά απόκρισης πλαστικής άρθρωσης K1.

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

Με την ολοκλήρωση των ιδιοτήτων των πλαστικών αρθρώσεων καθορίζονται τα πιθανά σημεία εμφάνισης τους στα μέλη της κατασκευής.

Εξασφαλίζεται πως ο κόμβος αρχής και τέλους κάθε μέλους είναι πιθανά σημεία εμφάνισης από τις τιμές 0,001 και 0,999 στην σχετική απόσταση.



Σχήμα 8.3.5: Ορισμός θέσεων εμφάνισης πλαστικών αρθρώσεων.

Η ονομασία των “Hinges Properties” για τα δοκάρια είναι «HINGE_DOKOS_J», όπου J είναι ο κωδικός της κάθε δοκού όπως ορίζεται από τα σχέδια των ξυλοτύπων.

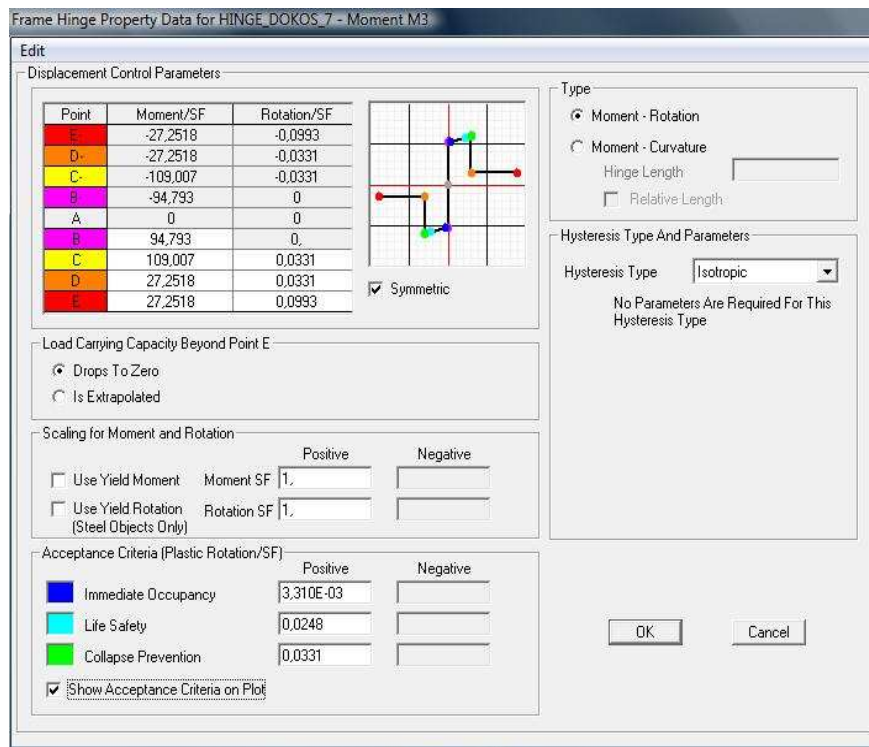


Σχήμα 8.3.6: Ορισμός πλαστικής άρθρωσης δοκου Δ7.

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

Ως κρίσιμη αστοχία επιλέγεται η αστοχία από την ροπή κατά τον τοπικό άξονα 3-3. Τρόπος αστοχίας και πάλι ορίζεται ο ψαθυρός.

Τα χαρακτηριστικά της απόκρισης της πλαστικής άρθρωσης ορίζονται μέσω του πίνακα διαλόγου που εμφανίζεται πατώντας «Modify / Show Hinge Property».



Σχήμα 8.3.7: Χαρακτηριστικά απόκρισης πλαστικής άρθρωσης δοκού Δ7.

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή



Σχήμα 8.3.8: Ορισμός εμφάνισης πλαστικών αρθρώσεων στη στάθμη $X=14,80m$.

8.4 Εφαρμογή Ανάλυσης Pushover:

Η εφαρμογή της ανελαστικής στατικής μεθόδου αποτελείται από δύο φάσεις φορτίσεων, όπως αναπτύσσεται στη συνέχεια.

ο 1^η Φάση Φόρτισης:

Στην φάση αυτή ορίζονται οι αρχικές συνθήκες που δρουν στη κατασκευή. Οι αρχικές αυτές συνθήκες είναι μία μη γραμμική στατική ανάλυση με μηδενική αρχική κατάσταση. Στην ουσία επιβάλλει στο κτίριο μία κατάσταση φόρτισης ανάλογη με αυτή της σεισμικής δράσης, δηλαδή με συνδυασμό φορτίσεων $G+0,3Q$. Η αρχικές συνθήκες λαμβάνουν την ονομασία: «N.L.(G+0,3Q)

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

Όπου:

G είναι τα μόνιμα φορτία και

Q είναι τα κινητά φορτία.

ο 2^η Φάση Φόρτισης:

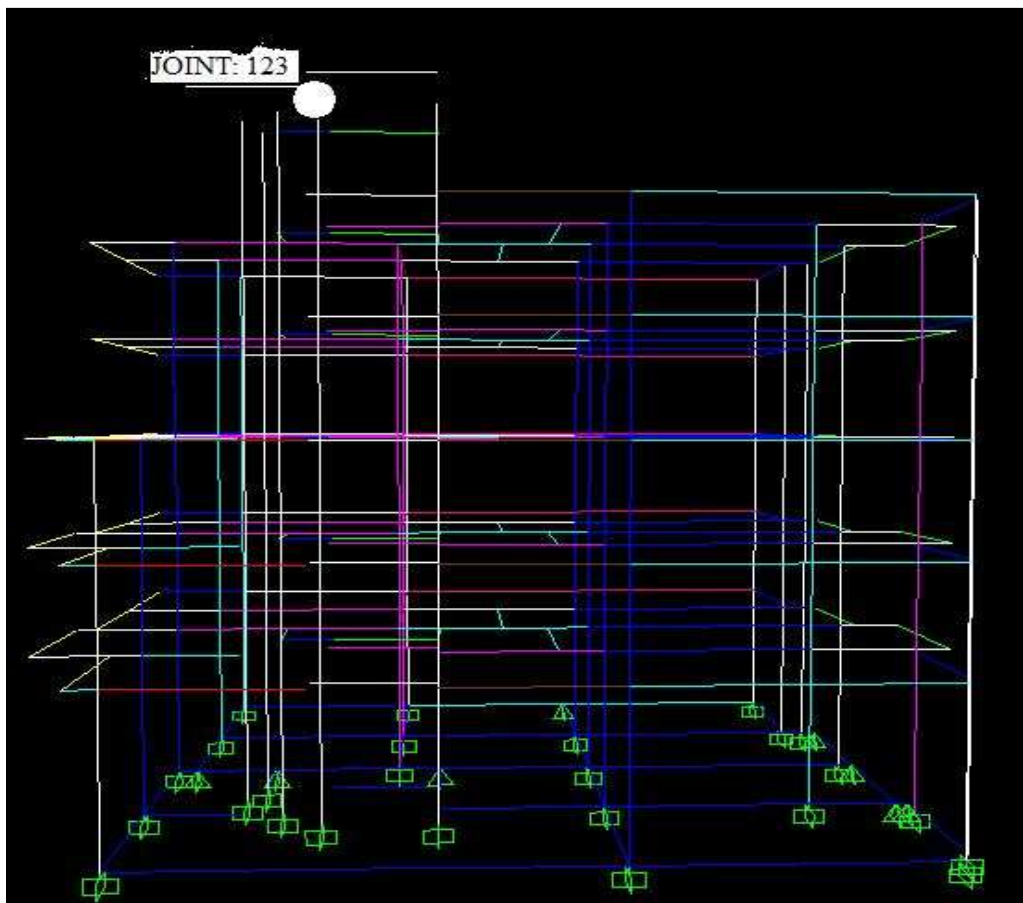
Η φάση αυτή αποτελείται από την σταδιακή επιβολή των οριζόντιων σεισμικών φορτίων σε κάθε όροφο του κτιρίου και στην ουσία υποβάλλει την σταδιακή εξώθηση του κτιρίου. Κανονικά η κατανομή της φόρτισης καθ' ύψος λαμβάνεται σε σχέση με την 1^η Ιδιομορφή κατά την εξομοίωση του πολυβάθμιου συστήματος με ένα ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα. Η μονότονη αύξηση των φορτίων αναπαριστούν τις εμφανιζόμενες αδρανειακές δυνάμεις κατά την διάρκεια ενός σεισμικού γεγονότος. Η αύξηση των φορτίων αυτών συνεχίζεται έως ότου επιτευχθεί η στοχευόμενη μετατόπιση στον κόμβο ελέγχου. Η μετατόπιση αυτή είναι μία ακραία τιμή που δεν πρόκειται να παρουσιαστεί στην κατασκευή, αλλά αποσκοπεί στην ανάδειξη της πορείας της αστοχίας. Η στοχευόμενη αυτή μετατόπιση έχει ορισθεί στα 0,80m.

Ο κόμβος ελέγχου που επιλέχθηκε είναι ο 123 κατά τον βαθμό ελευθερίας U1, ο οποίος και παρουσιάζεται στο σχήμα 8.4.1.

Θα γίνει ανάλυση Pushover με μορφή φόρτισης επιβαλλόμενης μετατόπισης, δηλαδή με έλεγχο μετατοπίσεων.

Στην περίπτωση φόρτισης «PUSH_X» έχουν ορισθεί οι αρχικές συνθήκες και η φόρτιση θεωρείται πως είναι η επιβολή ενός επιταχυνσιογραφήματος κατά την διεύθυνση X.

Η φόρτιση πραγματοποιείται σε 1000 βήματα κατά το μέγιστο. Η ανάλυση ολοκληρώνεται με την επιβολή της φόρτισης που θα οδηγήσει τον κόμβο ελέγχου να έχει μετατόπιση ίση με την στοχευόμενη.

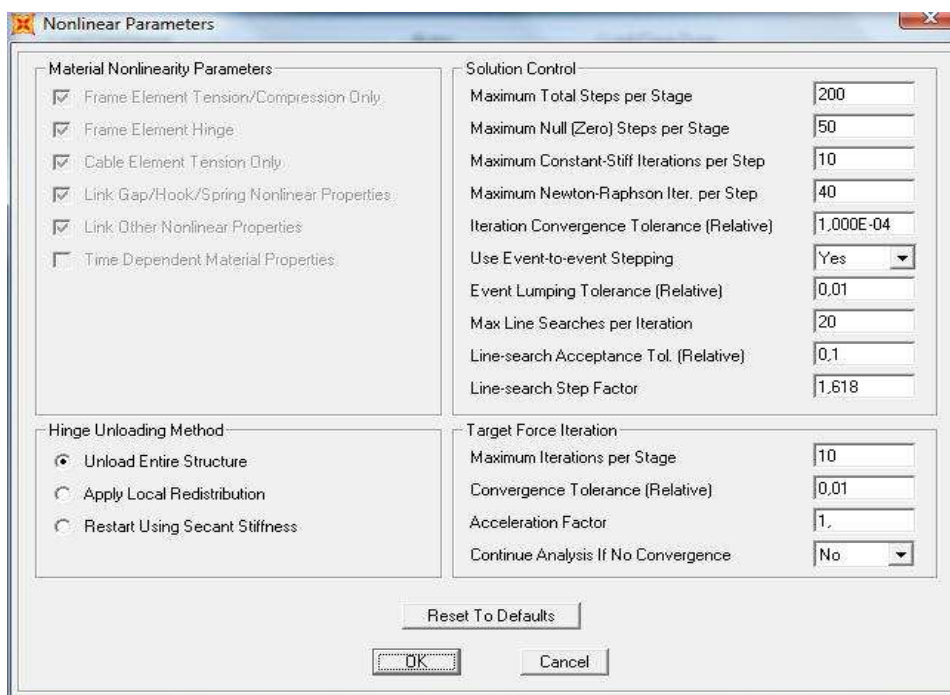


Σχήμα 8.4.1: Απεικόνιση του κόμβου ελέγχου.

Η μέθοδος φόρτισης – αποφόρτισης που εφαρμόζεται είναι αυτή της αποφόρτισης όλης της κατασκευής (upload entire structure). Δηλαδή όταν μία πλαστική άρθρωση φτάσει σε κάποιο σημείο του διαγράμματος το οποίο έχει αρνητική κλίση, η πλευρική φόρτιση της κατασκευής συνεχίζεται μέχρι η πρόσθετη παραμόρφωση λάβει μία αρνητική τιμή. Εφόσον η παραμόρφωση αντιστραφεί, η κατασκευή αποφορτίζεται πράγμα που συνεπάγεται σημαντική μείωση της πλευρικής παραμόρφωσης μέχρι την πλήρη αποφόρτιση της πλαστικής άρθρωσης. Στη συνέχεια η κατασκευή επαναφορτίζεται και κάποιο άλλο τμήμα της κατασκευής αναλαμβάνει το ποσοστό της φόρτισης που αφαιρέθηκε από την συγκεκριμένη πλαστική άρθρωση.

Οι μη γραμμικές παράμετροι της μεθόδου όπως ορίστηκαν παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί.

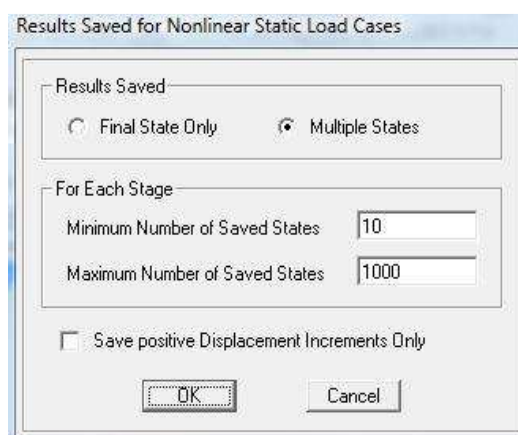
8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή



Σχήμα 8.4.2: Μη γραμμικές παράμετροι της μεθόδου.

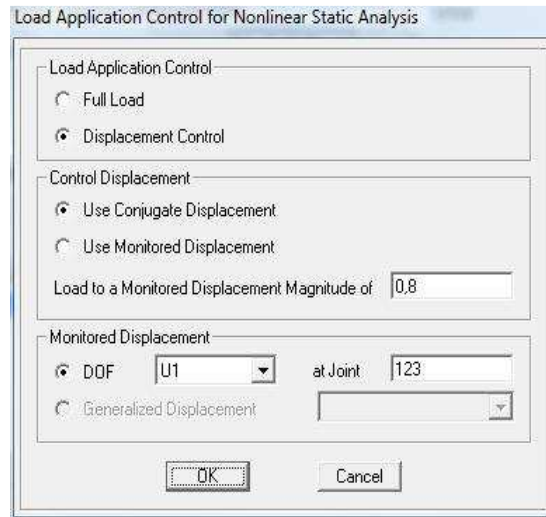
8.5 Αποτελέσματα Pushover Ανάλυσης κατά X:

Όπως έχει αναφερθεί θα γίνει ανελαστική στατική ανάλυση με έλεγχο των παραμορφώσεων. Ο κόμβος ελέγχου έχει ορισθεί ο 123 κατά τον βαθμό ελευθερίας U1. Τα χαρακτηριστικά για την ολοκλήρωση της μεθόδου παρουσιάζονται στο σχήμα 8.5.1.



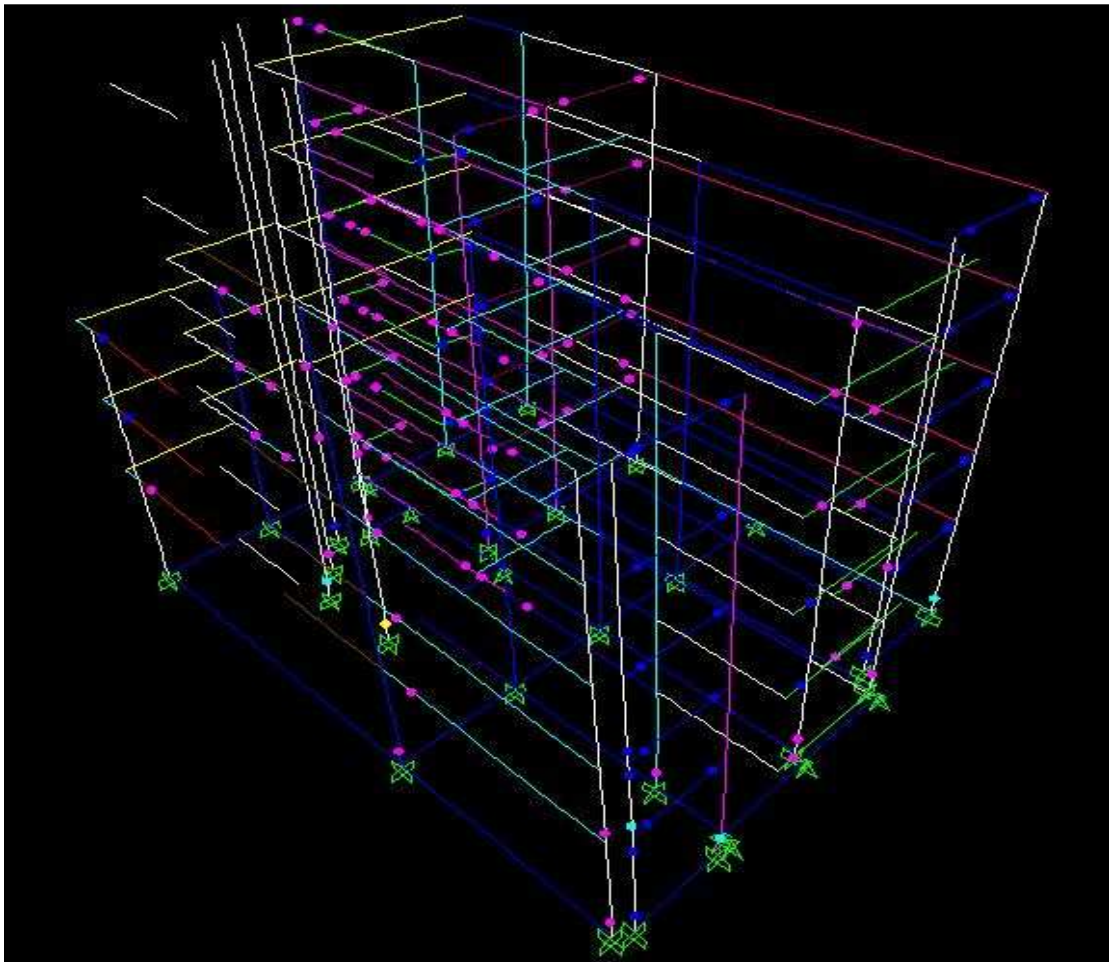
Σχήμα 8.5.1: Παράμετροι βημάτων επίλυσης.

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

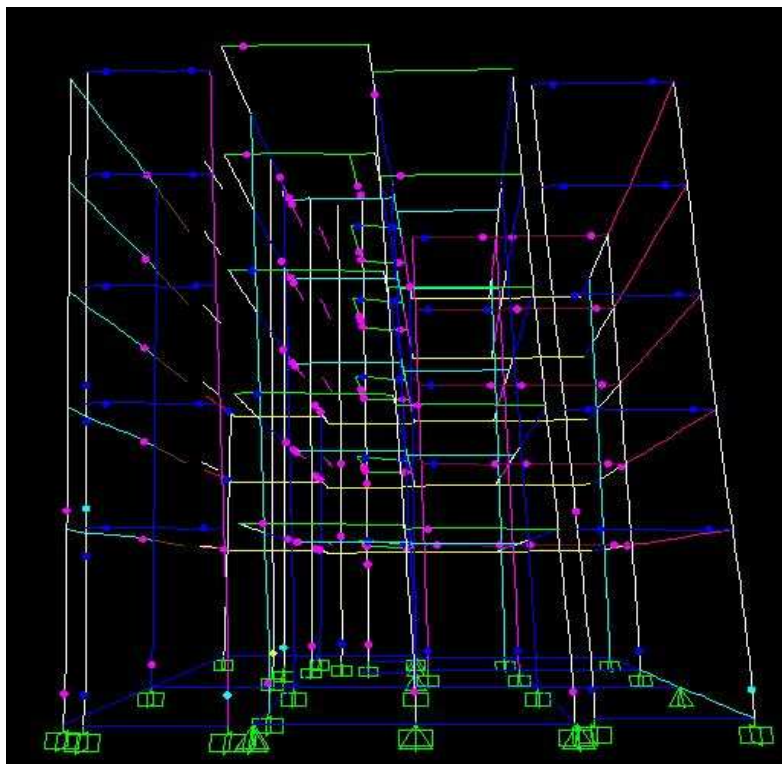


Σχήμα 8.5.2: Ορισμός στοχευόμενης μετατόπισης για “Push_X”

Η ανάλυση για την περίπτωση αυτή ολοκληρώθηκε αφού άγγιξε το μέγιστο αριθμό των βημάτων που έχουν ορισθεί, 1000, όμως αποθήκευσε μόνο 5 από αυτά και δεν είχε κανένα κενό βήμα.



Σχήμα 8.5.3: Τελικό στάδιο πλαστικοποίησης των κόμβων



Σχήμα 8.5.4: Δυτική όψη του κτιρίου, πλαστικοποίηση κόμβων.

Η καμπύλη συμπεριφοράς αποτελείται από τα σημεία A, B, IO, LS, CP, C, D και E. Το σημείο A δεν απεικονίζεται με κάποιο χρώμα και δηλώνει την αρχή του ελαστικού κλάδου της καμπύλης συμπεριφοράς.

Το σημείο B απεικονίζεται με ροζ χρώμα και αντιπροσωπεύει την διαρροή του μέλους.

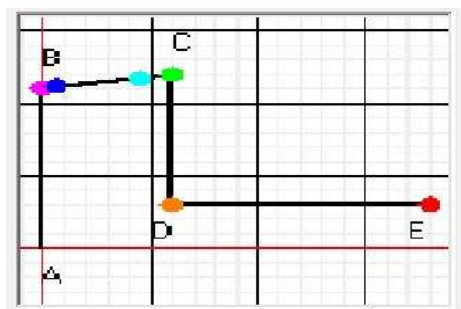
Το σημείο I.O.(Immediate Occurance) δηλώνει την άμεση χρήση και απεικονίζεται με μπλε χρώμα.

Με γαλάζιο χρώμα αναπαριστάτε η προστασία ζωής, L.S (Life Safety).

Η κατάσταση οιονεί κατάρρευσης, C.P. (Collapse Prevention). Παρουσιάζεται με πράσινο χρώμα.

Η κατάρρευση, C, απεικονίζεται με κίτρινο χρώμα . Το σημείο D με πορτοκαλί χρώμα και το σημείο E με κόκκινο χρώμα.

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή



Σχήμα 8.5.5: Καμπύλη Συμπεριφοράς.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μετατόπιση του κόμβου ελέγχου 123 για την περίπτωση της ανελαστικής στατικής ανάλυσης κατά X.

TABLE: Joint Displacements								
Joint Text	OutputCase Text	StepType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Rad.	R2 Rad.	R3 Rad.
123	PUSH_X	Max	5,4E-04	0,0433	1,2E-03	-7,1E-07	5,1E-05	9,6E-05
123	PUSH_X	Min	-0,0533	9,0E-04	-4,6E-04	-2,6E-03	-3,0E-03	-5,0E-03

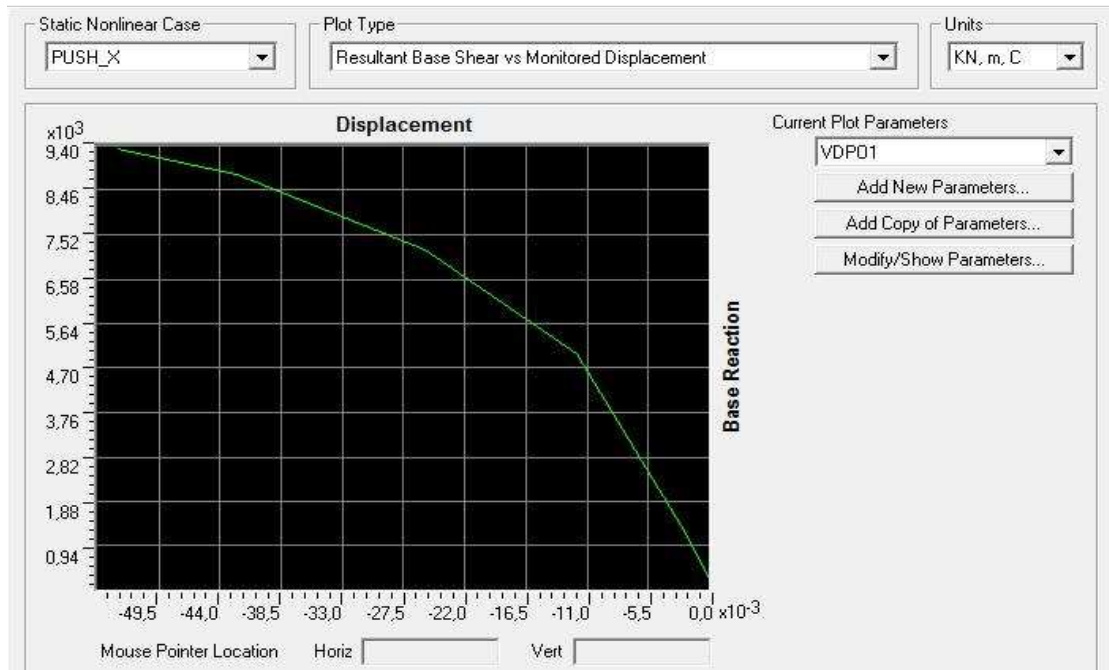
Πίνακας 8.5.1: Παραμορφωσιακή κατάσταση του κόμβου ελέγχου.

Η καμπύλη ικανότητας (capacity curve) της κατασκευής για τη μετατόπιση του κόμβου 123 συναρτήσει της τέμνουσας βάσης παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.

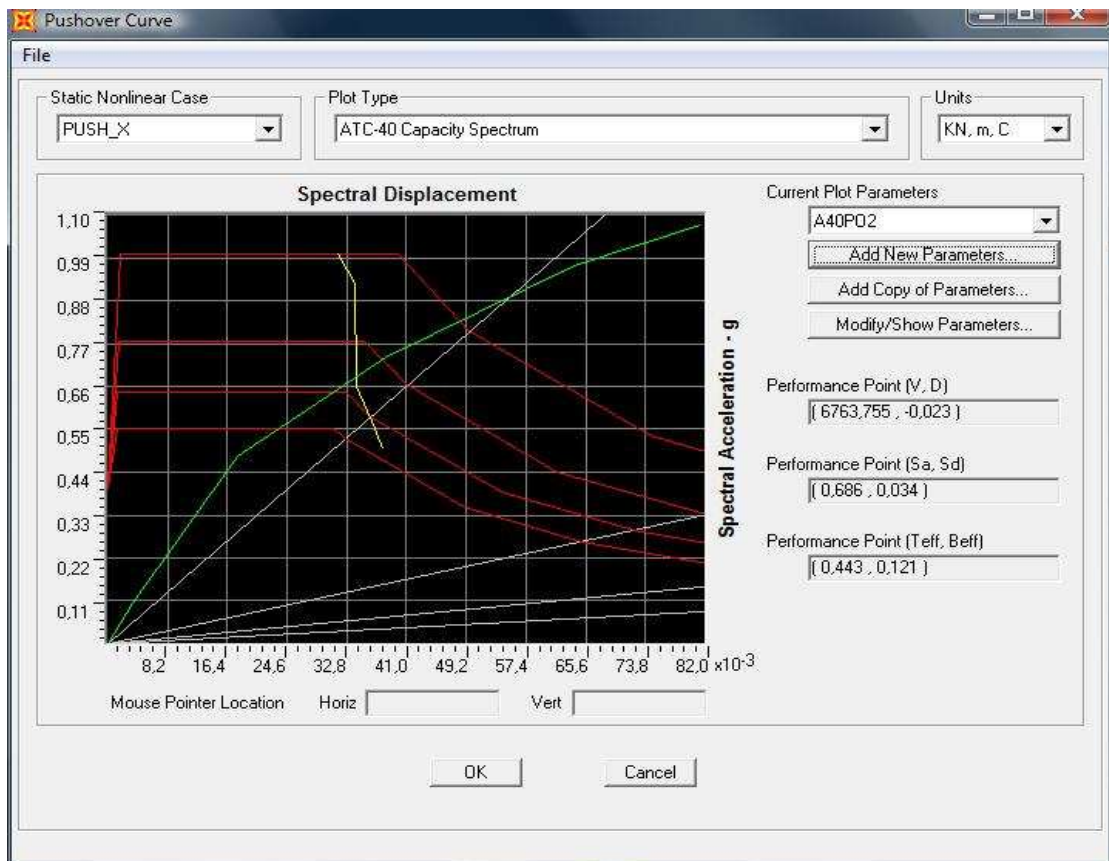
Από τον πίνακα 8.5.1 παρατηρείται ότι για μετατόπιση $-0,0533\text{m}$ έχουμε τέμνουσα βάσης ίση με 9294kN . Επίσης για μετατόπιση ίση με $0,00054\text{m}$ η τέμνουσα βάσης πρακτικά είναι ίση με μηδέν.

Η καμπύλη ικανότητας παρουσιάζεται στο σχήμα 8.5.6 για την περίπτωση ανελαστικής στατικής ανάλυσης κατά την διεύθυνση X.

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή



Σχήμα 8.5.6: Καμπύλη ικανότητας.



Σχήμα 8.5.7: Διάγραμμα βάσει του ATC-40, Μετατόπισης – Επιτάχυνσης.

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

Στο διάγραμμα αυτό απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα οι οικογένειες τεσσάρων φασμάτων απαίτησης για τιμές απόσβεσης 5%, 10%, 15% και 20%. Επίσης με πράσινο χρώμα παρουσιάζεται η καμπύλη ικανότητας του φορέα και με κίτρινο το μοναδικό φάσμα απαίτησης σε μορφή ADRS για διάφορες τιμές της απόσβεσης.

Με την εφαρμογή μίας επαναληπτικής διαδικασίας προκύπτει το σημείο τομής του μοναδικού φάσματος απαίτησης με το φάσμα (καμπύλη) ικανότητας το οποίο και δηλώνει το σημείο επιτελεστικότητας της κατασκευής, τομή κίτρινης και πράσινης καμπύλης.

Το σημείο επιτελεστικότητας αντιστοιχεί στην βέλτιστη απόκριση της κατασκευής. Το οποίο και αντιστοιχεί σε μία περίοδο ίση με 0,443 sec.

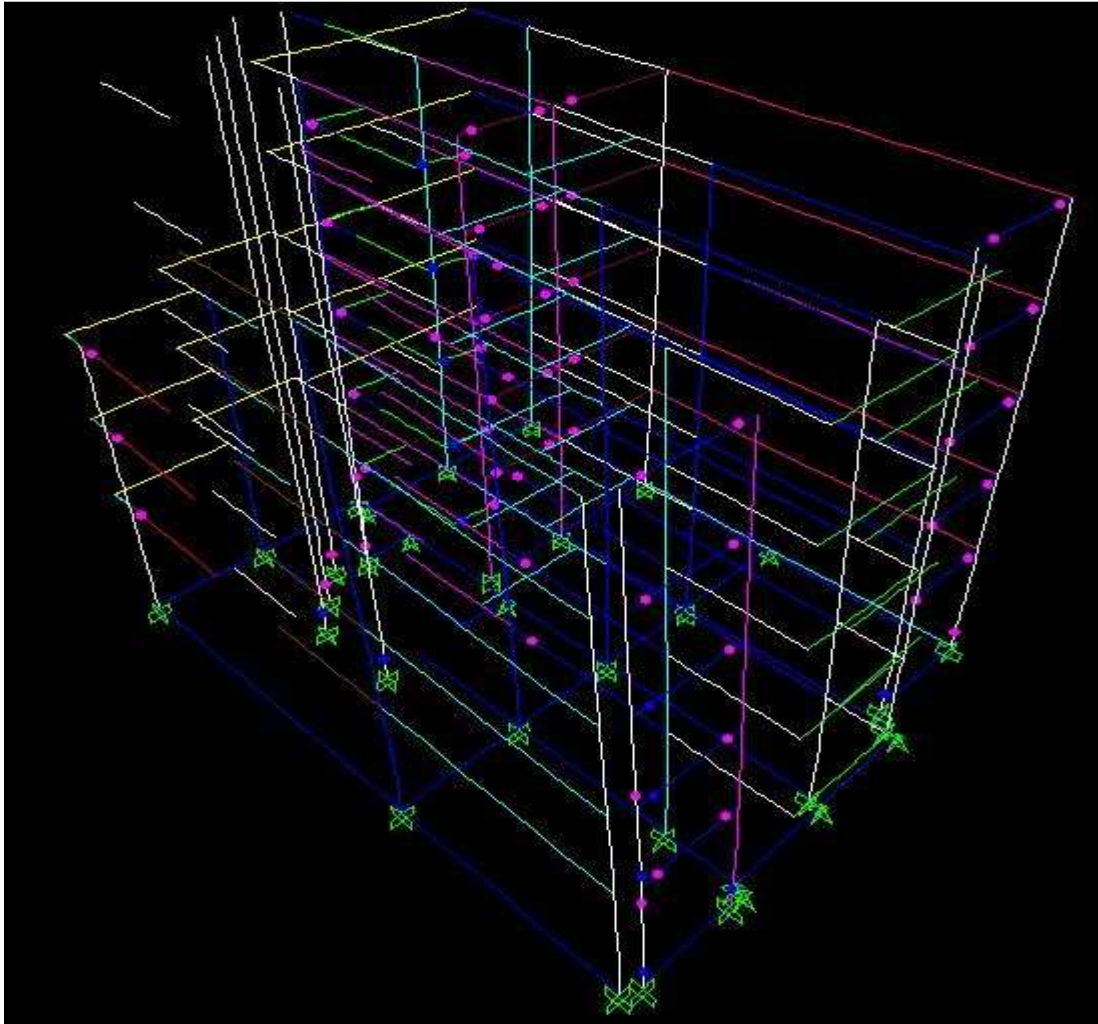
TABLE: Pushover Curve Demand Capacity - ATC40 - PUSH_X						
Step	T _{eff}	B _{eff}	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand
			m		m	
0	0,356630	0,050000	0,000000	0,000000	0,031593	1,0
1	0,356630	0,050000	0,003310	0,104754	0,031593	1,0
2	0,384760	0,063090	0,017693	0,481130	0,033954	0,923326
3	0,457035	0,135248	0,038180	0,735831	0,034187	0,658869
4	0,515797	0,158321	0,064000	0,968421	0,036576	0,553454
5	0,551906	0,175410	0,081353	1.075.187	0,037740	0,498784

Πίνακας 8.5.2: Καμπύλη απαίτησης ικανότητας.

Η ιδιοπερίοδος $T_{eff}=0,443$ sec είναι μεταξύ δεύτερου και τρίτου βήματος. Βάσει των παραμορφωμένων σχημάτων που λήφθηκαν από το πρόγραμμα κατά το δεύτερο βήμα η ακραία κατάσταση ήταν αυτή της άμεσης χρήσης, (Immediate Occupancy), στην οποία βρίσκονταν: η βάση του γωνιακού υποστυλώματος K14 και η μία άκρη των δοκών Δ8 στον τρίτο και τέταρτο όροφο. Το τρίτο βήμα έδωσε το παραμορφωμένο που παρατίθεται πιο κάτω, όπου παρατηρείται και πάλι πως η ακραία κατάσταση είναι και πάλι αυτή της άμεσης χρήσης που φυσικά και παρουσιάζεται σε περισσότερα πιθανά σημεία πλαστικοποίησης.

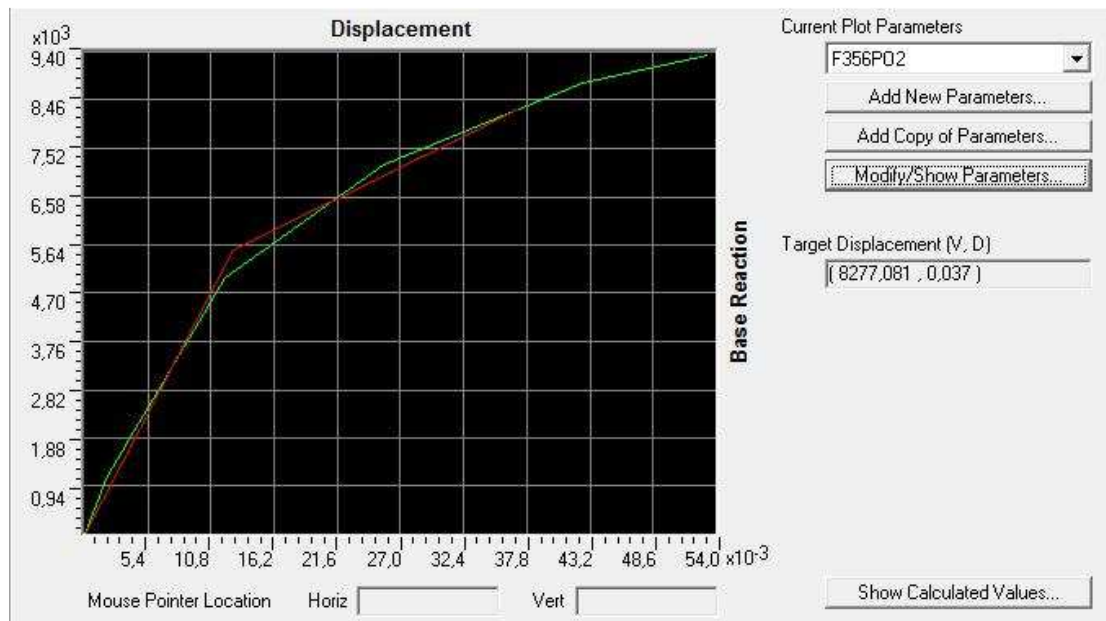
8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

Συμπεραίνεται πως δεν πρόκειται να συμβεί κάποια τοπική αστοχία σε μέλος της κατασκευής πόσο μάλλον να υπάρξει ολική κατάρρευση της κατασκευής.



Σχήμα 8.5.8: Παραμόρφωση φορέα κατά το 3^ο βήμα της Push X.

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή



Σχήμα 8.5.9: Διγραμμικό βάσει της μεθόδου των συντελεστών.

Στο πιο πάνω σχήμα παρουσιάστηκε η στοχευόμενη μετατόπιση σε σχέση με την τέμνουσα βάσης όπως προέκυψε με την μέθοδο των συντελεστών του FEMA 356, (Coefficient Method), μετά από την τομή της καμπύλης ικανότητας με το ιδεατό διγραμμικό διάγραμμα.

Για τα μέλη όπου παρατηρούνται ανελαστικές παραμορφώσεις θα παρουσιαστεί ένας συγκεντρωτικός πίνακας καθώς και η πορεία πλαστικοποίησης μερικών μελών. Η αντιστοιχία των μελών με τα “Hinges” παρουσιάζεται στο παράρτημα Β.

TABLE: Frame Hinge States								
Gen Hinge	P	M2	M3	U1 Plastic	R2 Plastic	R3 Plastic	Hinge State	Hinge Status
Text	KN	KN-m	KN-m	m	Radians	Radians	Text	Text
22H1	-307,64	4,61	5,24	2,7E-04	2,3E-04	0,0E+00	B to C	>CP
22H1	-886,99	-0,20	-774,54	0,0E+00	0,0E+00	-1,0E-03	A to B	A to IO
27H1	-1145,44	1,97	1,79	9,2E-05	0,0E+00	0,0E+00	B to C	A to IO
27H1	-1211,59	-16,38	-950,42	0,0E+00	-3,1E-04	-5,9E-04	A to B	A to IO
32H1	-1255,77	59,23	-5,66	4,7E-05	0,0E+00	0,0E+00	B to C	A to IO
32H1	-1629,29	-601,63	-1060,82	0,0E+00	-2,4E-04	-3,1E-04	A to B	A to IO
37H1	-687,49	617,58	0,34	9,0E-05	5,8E-04	0,0E+00	B to C	>CP
37H1	-871,23	10,56	-77,95	0,0E+00	0,0E+00	-1,1E-03	A to B	A to IO
57H1	-366,15	144,36	0,30	7,1E-07	1,2E-07	0,0E+00	B to C	>CP
57H1	-741,70	-5,39	-94,23	0,0E+00	0,0E+00	-1,1E-05	A to B	A to IO
62H1	859,36	4,46	14,77	1,5E-04	3,5E-03	0,0E+00	B to C	>CP
62H2	894,72	2,79	198,02	4,9E-04	0,0E+00	1,1E-03	B to C	>CP

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

62H1	-370,11	-3,03	-2270,90	0,0E+00	0,0E+00	-5,6E-04	A to B	A to IO
62H2	-334,76	-69,06	3,08	0,0E+00	-1,4E-03	0,0E+00	A to B	A to IO
63H1	301,01	31,60	17,51	1,2E-04	4,9E-03	0,0E+00	B to C	>CP
63H2	324,93	5,35	186,45	4,5E-05	0,0E+00	0,0E+00	B to C	A to IO
63H1	-333,16	-5,10	-148,02	0,0E+00	0,0E+00	-4,3E-04	A to B	A to IO
63H2	-309,24	-49,58	-5,94	0,0E+00	-9,7E-04	-5,0E-05	A to B	A to IO
64H1	-65,82	32,92	14,72	3,9E-05	1,7E-03	0,0E+00	B to C	>CP
64H1	-349,52	-5,12	-133,96	0,0E+00	0,0E+00	-1,5E-04	A to B	A to IO
72H1	-386,83	9,56	17,93	1,2E-03	1,2E-03	0,0E+00	B to C	>CP
72H1	-680,06	0,57	-1431,84	0,0E+00	0,0E+00	-3,7E-03	A to B	A to IO
77H1	-728,53	160,08	1,04	3,8E-05	9,8E-05	0,0E+00	B to C	>CP
77H1	-995,34	-3,59	-179,97	0,0E+00	0,0E+00	-7,2E-04	A to B	A to IO
81H2	-179,86	88,39	152,39	8,4E-05	7,4E-05	1,1E-03	B to C	>CP
82H1	-441,11	2,84	3,08	7,1E-06	0,0E+00	0,0E+00	B to C	A to IO
82H1	-1792,77	-238,89	-207,49	0,0E+00	-4,1E-05	-2,5E-04	A to B	A to IO
87H1	698,99	2,10	12,69	1,3E-03	0,0E+00	0,0E+00	B to C	>CP
87H1	-486,42	-18,28	-746,12	0,0E+00	-7,2E-04	-3,6E-03	A to B	A to IO
88H1	116,13	5,98	12,01	9,2E-06	0,0E+00	0,0E+00	B to C	A to IO
88H1	-390,06	-81,30	-312,38	0,0E+00	-1,2E-04	-6,7E-06	A to B	A to IO
92H1	-992,63	-10,82	4,57	4,0E-04	0,0E+00	0,0E+00	B to C	A to IO
92H1	-1307,81	-443,73	-1361,90	0,0E+00	-7,9E-04	-2,3E-03	A to B	A to IO
97H1	-982,50	32,92	288,06	2,3E-03	1,4E-03	0,0E+00	B to C	>CP
97H1	-4470,28	-20,43	-29223,98	0,0E+00	0,0E+00	-1,5E-03	A to B	A to IO
103H1	1044,74	1821,13	0,35	9,0E-04	9,3E-04	0,0E+00	B to C	>CP
103H1	-591,63	74,89	-34,04	0,0E+00	0,0E+00	-2,0E-03	A to B	A to IO
109H1	-174,15	6,20	11,58	1,0E-03	8,2E-04	0,0E+00	B to C	>CP
109H1	-582,36	0,81	-1557,82	0,0E+00	0,0E+00	-1,3E-03	A to B	A to IO
110H1	234,69	1,67	55,59	1,5E-04	0,0E+00	0,0E+00	B to C	A to IO
110H1	-450,43	-5,01	-1029,74	0,0E+00	-2,3E-04	-1,8E-04	A to B	A to IO
111H1	385,69	1,56	79,85	9,8E-06	0,0E+00	0,0E+00	B to C	A to IO
111H1	-308,20	-19,67	-846,68	0,0E+00	-1,8E-05	-1,1E-05	A to B	A to IO
115H1	1773,47	61,36	0,12	6,2E-04	1,3E-03	0,0E+00	B to C	>CP
115H2	1798,93	45,11	3,18	1,3E-03	1,3E-03	3,1E-04	B to C	>CP
115H1	-212,69	-42,71	-10,53	0,0E+00	0,0E+00	-1,4E-03	A to B	A to IO
116H2	1191,80	103,87	4,35	6,4E-05	1,6E-04	8,9E-05	B to C	>CP
121H1	-1754,79	25,97	594,05	3,2E-03	1,3E-03	0,0E+00	C to D	>CP
121H1	-2462,29	1,46	-26163,54	0,0E+00	0,0E+00	-2,6E-03	A to B	A to IO
127H1	-176,99	134,29	-0,26	0,0E+00	6,7E-04	0,0E+00	B to C	>CP
127H1	-1517,54	-7,36	-85,00	-2,3E-05	0,0E+00	-1,5E-03	A to B	A to IO
128H1	-130,94	159,53	-2,17	2,5E-06	1,1E-06	0,0E+00	B to C	>CP
128H1	-817,13	-31,02	-71,60	0,0E+00	0,0E+00	-5,7E-05	A to B	A to IO
146H2	0,00	0,00	125,76	0,0E+00	0,0E+00	6,5E-04	B to C	A to IO
147H2	0,00	0,00	125,94	0,0E+00	0,0E+00	1,2E-03	B to C	A to IO
148H2	0,00	0,00	125,56	0,0E+00	0,0E+00	1,6E-03	B to C	A to IO
149H2	0,00	0,00	125,12	0,0E+00	0,0E+00	1,9E-03	B to C	A to IO
150H2	0,00	0,00	126,10	0,0E+00	0,0E+00	1,6E-03	B to C	A to IO
151H2	0,00	0,00	96,07	0,0E+00	0,0E+00	2,6E-03	B to C	A to IO
151H1	0,00	0,00	-96,20	0,0E+00	0,0E+00	-2,9E-03	B to C	A to IO
152H2	0,00	0,00	96,10	0,0E+00	0,0E+00	2,7E-03	B to C	A to IO
152H1	0,00	0,00	-95,65	0,0E+00	0,0E+00	-3,1E-03	B to C	IO to LS
153H2	0,00	0,00	96,20	0,0E+00	0,0E+00	2,9E-03	B to C	A to IO
153H1	0,00	0,00	-96,39	0,0E+00	0,0E+00	-3,3E-03	B to C	IO to LS
154H2	0,00	0,00	96,23	0,0E+00	0,0E+00	2,9E-03	B to C	IO to LS
154H1	0,00	0,00	-96,43	0,0E+00	0,0E+00	-3,3E-03	B to C	IO to LS
155H2	0,00	0,00	95,40	0,0E+00	0,0E+00	2,7E-03	B to C	A to IO
155H1	0,00	0,00	-95,89	0,0E+00	0,0E+00	-3,2E-03	B to C	IO to LS
156H2	0,00	0,00	95,42	0,0E+00	0,0E+00	1,5E-03	B to C	A to IO
156H1	0,00	0,00	-95,99	0,0E+00	0,0E+00	-2,8E-03	B to C	A to IO

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

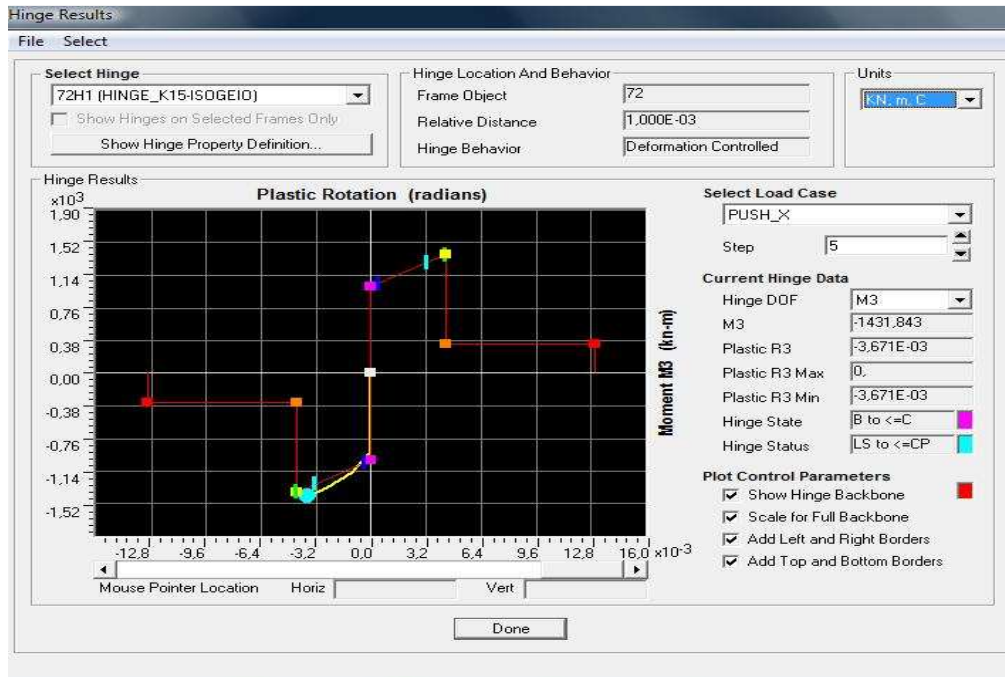
157H2	0,00	0,00	95,34	0,0E+00	0,0E+00	1,3E-03	B to C	A to IO
157H1	0,00	0,00	-95,83	0,0E+00	0,0E+00	-2,7E-03	B to C	A to IO
158H2	0,00	0,00	95,40	0,0E+00	0,0E+00	1,4E-03	B to C	A to IO
158H1	0,00	0,00	-95,74	0,0E+00	0,0E+00	-2,8E-03	B to C	A to IO
159H2	0,00	0,00	95,39	0,0E+00	0,0E+00	1,4E-03	B to C	A to IO
159H1	0,00	0,00	-96,00	0,0E+00	0,0E+00	-2,8E-03	B to C	A to IO
160H2	0,00	0,00	95,17	0,0E+00	0,0E+00	8,8E-04	B to C	A to IO
160H1	0,00	0,00	-96,05	0,0E+00	0,0E+00	-2,9E-03	B to C	A to IO
161H2	0,00	0,00	127,67	0,0E+00	0,0E+00	6,2E-03	B to C	IO to LS
161H1	0,00	0,00	-129,11	0,0E+00	0,0E+00	-1,1E-02	B to C	IO to LS
162H2	0,00	0,00	127,90	0,0E+00	0,0E+00	7,0E-03	B to C	IO to LS
162H1	0,00	0,00	-129,44	0,0E+00	0,0E+00	-1,2E-02	B to C	IO to LS
163H2	0,00	0,00	128,03	0,0E+00	0,0E+00	7,3E-03	B to C	IO to LS
163H1	0,00	0,00	-128,53	0,0E+00	0,0E+00	-1,2E-02	B to C	IO to LS
164H2	0,00	0,00	127,33	0,0E+00	0,0E+00	7,4E-03	B to C	IO to LS
164H1	0,00	0,00	-129,62	0,0E+00	0,0E+00	-1,2E-02	B to C	IO to LS
165H2	0,00	0,00	127,17	0,0E+00	0,0E+00	6,9E-03	B to C	IO to LS
165H1	0,00	0,00	-129,58	0,0E+00	0,0E+00	-1,2E-02	B to C	IO to LS
166H2	0,00	0,00	124,79	0,0E+00	0,0E+00	6,1E-03	B to C	IO to LS
166H1	0,00	0,00	-124,80	0,0E+00	0,0E+00	-6,2E-03	B to C	IO to LS
167H2	0,00	0,00	124,94	0,0E+00	0,0E+00	6,6E-03	B to C	IO to LS
167H1	0,00	0,00	-123,87	0,0E+00	0,0E+00	-6,7E-03	B to C	IO to LS
168H2	0,00	0,00	124,90	0,0E+00	0,0E+00	6,5E-03	B to C	IO to LS
168H1	0,00	0,00	-124,95	0,0E+00	0,0E+00	-6,6E-03	B to C	IO to LS
169H2	0,00	0,00	124,76	0,0E+00	0,0E+00	6,0E-03	B to C	IO to LS
169H1	0,00	0,00	-123,92	0,0E+00	0,0E+00	-6,3E-03	B to C	IO to LS
170H2	0,00	0,00	124,59	0,0E+00	0,0E+00	5,5E-03	B to C	IO to LS
170H1	0,00	0,00	-124,72	0,0E+00	0,0E+00	-5,9E-03	B to C	IO to LS
171H1	0,00	0,00	-126,27	0,0E+00	0,0E+00	-2,9E-03	B to C	A to IO
172H1	0,00	0,00	-125,57	0,0E+00	0,0E+00	-3,4E-03	B to C	IO to LS
173H1	0,00	0,00	-126,29	0,0E+00	0,0E+00	-3,0E-03	B to C	IO to LS
174H1	0,00	0,00	-126,16	0,0E+00	0,0E+00	-2,5E-03	B to C	A to IO
175H1	0,00	0,00	-125,98	0,0E+00	0,0E+00	-1,7E-03	B to C	A to IO
176H1	0,00	0,00	-126,02	0,0E+00	0,0E+00	-1,9E-03	B to C	A to IO
177H1	0,00	0,00	-126,07	0,0E+00	0,0E+00	-2,2E-03	B to C	A to IO
178H1	0,00	0,00	-126,04	0,0E+00	0,0E+00	-2,0E-03	B to C	A to IO
179H1	0,00	0,00	-125,18	0,0E+00	0,0E+00	-1,9E-03	B to C	A to IO
181H2	0,00	0,00	124,46	0,0E+00	0,0E+00	5,6E-03	B to C	IO to LS
181H1	0,00	0,00	-124,52	0,0E+00	0,0E+00	-5,8E-03	B to C	IO to LS
182H2	0,00	0,00	124,49	0,0E+00	0,0E+00	5,6E-03	B to C	IO to LS
182H1	0,00	0,00	-123,62	0,0E+00	0,0E+00	-6,2E-03	B to C	IO to LS
183H2	0,00	0,00	124,46	0,0E+00	0,0E+00	5,5E-03	B to C	IO to LS
183H1	0,00	0,00	-124,61	0,0E+00	0,0E+00	-6,1E-03	B to C	IO to LS
184H2	0,00	0,00	124,35	0,0E+00	0,0E+00	5,2E-03	B to C	IO to LS
184H1	0,00	0,00	-124,50	0,0E+00	0,0E+00	-5,7E-03	B to C	IO to LS
185H2	0,00	0,00	124,17	0,0E+00	0,0E+00	4,6E-03	B to C	IO to LS
185H1	0,00	0,00	-124,41	0,0E+00	0,0E+00	-5,4E-03	B to C	IO to LS
186H2	0,00	0,00	-292,39	0,0E+00	0,0E+00	-1,2E-03	B to C	A to IO
187H2	0,00	0,00	-294,28	0,0E+00	0,0E+00	-1,7E-03	B to C	A to IO
188H2	0,00	0,00	-292,11	0,0E+00	0,0E+00	-1,7E-03	B to C	A to IO
189H2	0,00	0,00	-294,01	0,0E+00	0,0E+00	-1,5E-03	B to C	A to IO
190H2	0,00	0,00	-291,61	0,0E+00	0,0E+00	-1,1E-03	B to C	A to IO
202H2	0,00	0,00	-96,55	0,0E+00	0,0E+00	-3,4E-03	B to C	A to IO
203H2	0,00	0,00	-96,97	0,0E+00	0,0E+00	-3,7E-03	B to C	IO to LS
204H2	0,00	0,00	-97,09	0,0E+00	0,0E+00	-4,0E-03	B to C	IO to LS
218H2	0,00	0,00	-163,33	0,0E+00	0,0E+00	-1,8E-03	B to C	A to IO
219H2	0,00	0,00	-164,50	0,0E+00	0,0E+00	-1,9E-03	B to C	A to IO
220H2	0,00	0,00	-164,39	0,0E+00	0,0E+00	-1,9E-03	B to C	A to IO

8⁰ Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

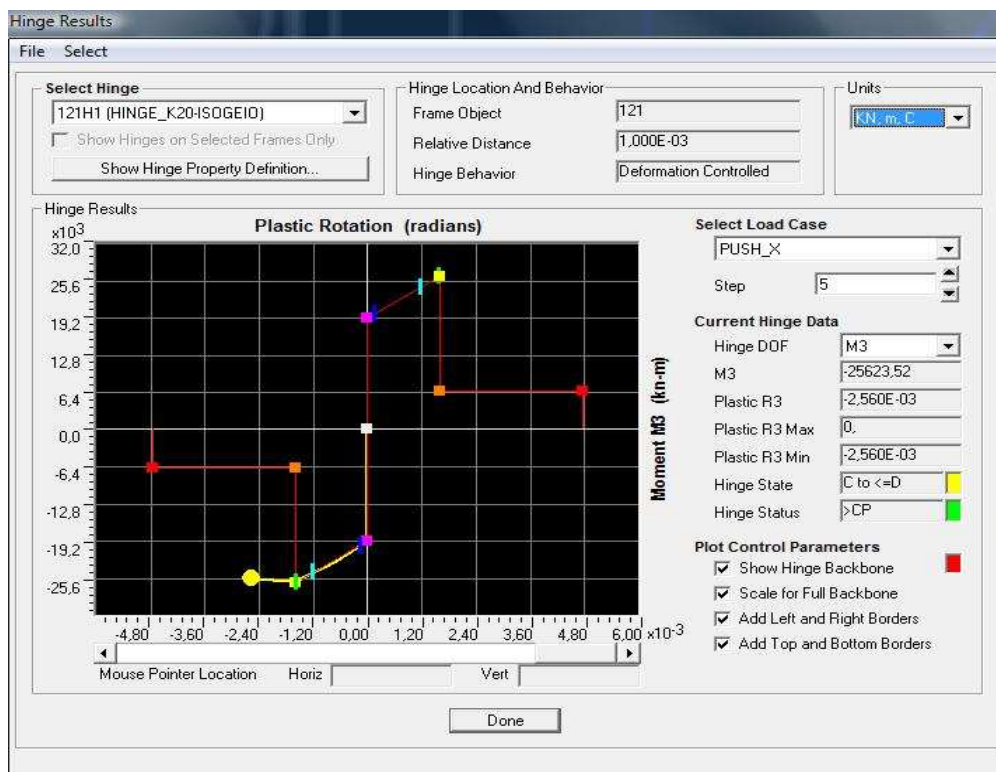
221H2	0,00	0,00	-163,24	0,0E+00	0,0E+00	-1,8E-03	B to C	A to IO
222H2	0,00	0,00	-164,48	0,0E+00	0,0E+00	-1,8E-03	B to C	A to IO
223H2	0,00	0,00	164,75	0,0E+00	0,0E+00	6,3E-04	B to C	A to IO
224H1	0,00	0,00	166,50	0,0E+00	0,0E+00	1,7E-03	B to C	A to IO
225H2	0,00	0,00	164,79	0,0E+00	0,0E+00	7,6E-04	B to C	A to IO
226H1	0,00	0,00	166,57	0,0E+00	0,0E+00	2,0E-03	B to C	A to IO
227H2	0,00	0,00	164,79	0,0E+00	0,0E+00	7,7E-04	B to C	A to IO
228H1	0,00	0,00	166,60	0,0E+00	0,0E+00	2,1E-03	B to C	A to IO
229H2	0,00	0,00	164,83	0,0E+00	0,0E+00	7,5E-04	B to C	A to IO
230H1	0,00	0,00	166,61	0,0E+00	0,0E+00	2,2E-03	B to C	A to IO
231H2	0,00	0,00	164,70	0,0E+00	0,0E+00	6,1E-04	B to C	A to IO
232H1	0,00	0,00	166,58	0,0E+00	0,0E+00	2,0E-03	B to C	A to IO
235H2	0,00	0,00	-124,40	0,0E+00	0,0E+00	-2,9E-04	B to C	A to IO
236H2	0,00	0,00	-124,38	0,0E+00	0,0E+00	-2,8E-04	B to C	A to IO
239H2	0,00	0,00	124,44	0,0E+00	0,0E+00	1,1E-03	B to C	A to IO
239H1	0,00	0,00	-123,22	0,0E+00	0,0E+00	-9,0E-04	B to C	A to IO
240H2	0,00	0,00	124,53	0,0E+00	0,0E+00	1,4E-03	B to C	A to IO
240H1	0,00	0,00	-123,97	0,0E+00	0,0E+00	-9,1E-04	B to C	A to IO
241H2	0,00	0,00	124,51	0,0E+00	0,0E+00	1,4E-03	B to C	A to IO
241H1	0,00	0,00	-124,29	0,0E+00	0,0E+00	-6,2E-04	B to C	A to IO
242H2	0,00	0,00	123,96	0,0E+00	0,0E+00	1,3E-03	B to C	A to IO
242H1	0,00	0,00	-124,28	0,0E+00	0,0E+00	-5,7E-04	B to C	A to IO
243H2	0,00	0,00	124,46	0,0E+00	0,0E+00	1,2E-03	B to C	A to IO
243H1	0,00	0,00	-123,98	0,0E+00	0,0E+00	-8,0E-04	B to C	A to IO
244H2	0,00	0,00	124,24	0,0E+00	0,0E+00	4,6E-04	B to C	A to IO
244H1	0,00	0,00	-123,81	0,0E+00	0,0E+00	-8,4E-04	B to C	A to IO
245H1	0,00	0,00	432,22	0,0E+00	0,0E+00	9,4E-04	B to C	A to IO
245H2	0,00	0,00	-431,02	0,0E+00	0,0E+00	-8,0E-04	B to C	A to IO
246H1	0,00	0,00	432,34	0,0E+00	0,0E+00	1,0E-03	B to C	A to IO
246H2	0,00	0,00	-430,69	0,0E+00	0,0E+00	-1,0E-03	B to C	A to IO
247H1	0,00	0,00	432,37	0,0E+00	0,0E+00	9,6E-04	B to C	A to IO
247H2	0,00	0,00	-426,04	0,0E+00	0,0E+00	-5,6E-04	B to C	A to IO
336H1	0,00	0,00	-294,97	0,0E+00	0,0E+00	-2,0E-06	B to C	A to IO
337H1	0,00	0,00	-293,96	0,0E+00	0,0E+00	-2,6E-04	B to C	A to IO

Πίνακας 8.5.3: Συγκεντρωτικός Πίνακας Μελών πέραν του Ορίου Διαρροής.

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

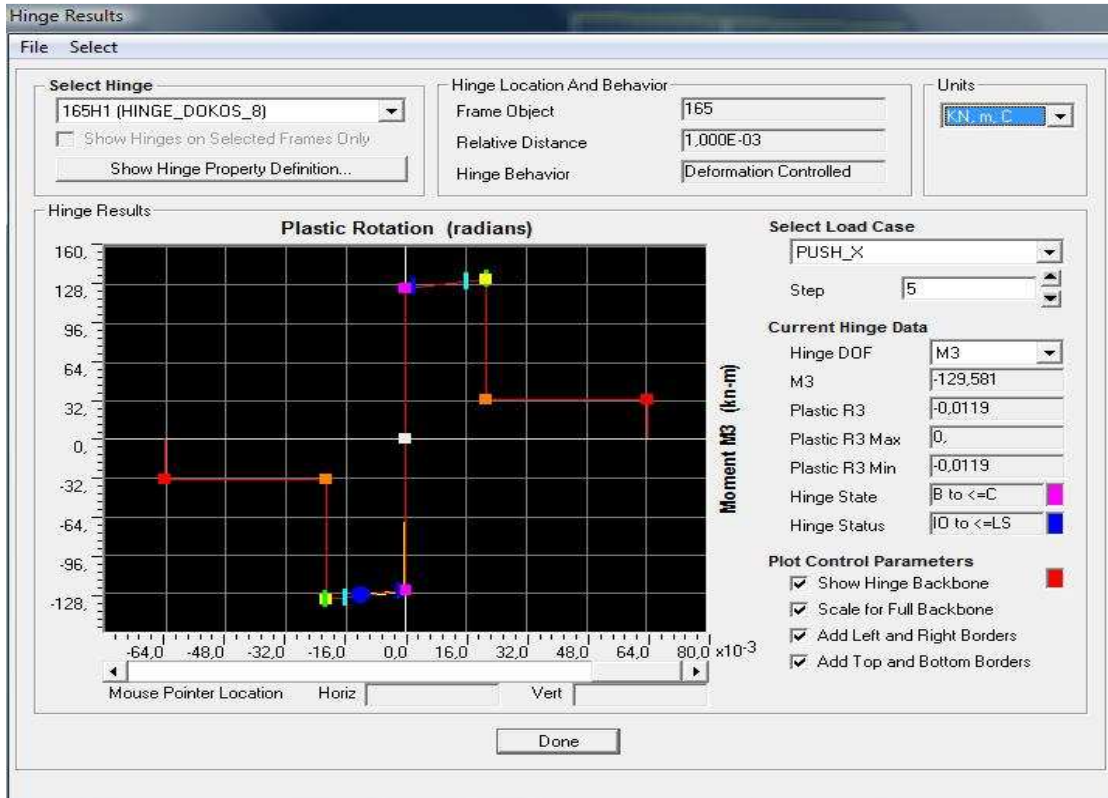


Σχήμα 8.5.10: Πορεία Πλαστικοποίησης κόμβου αρχής μέλους K15.

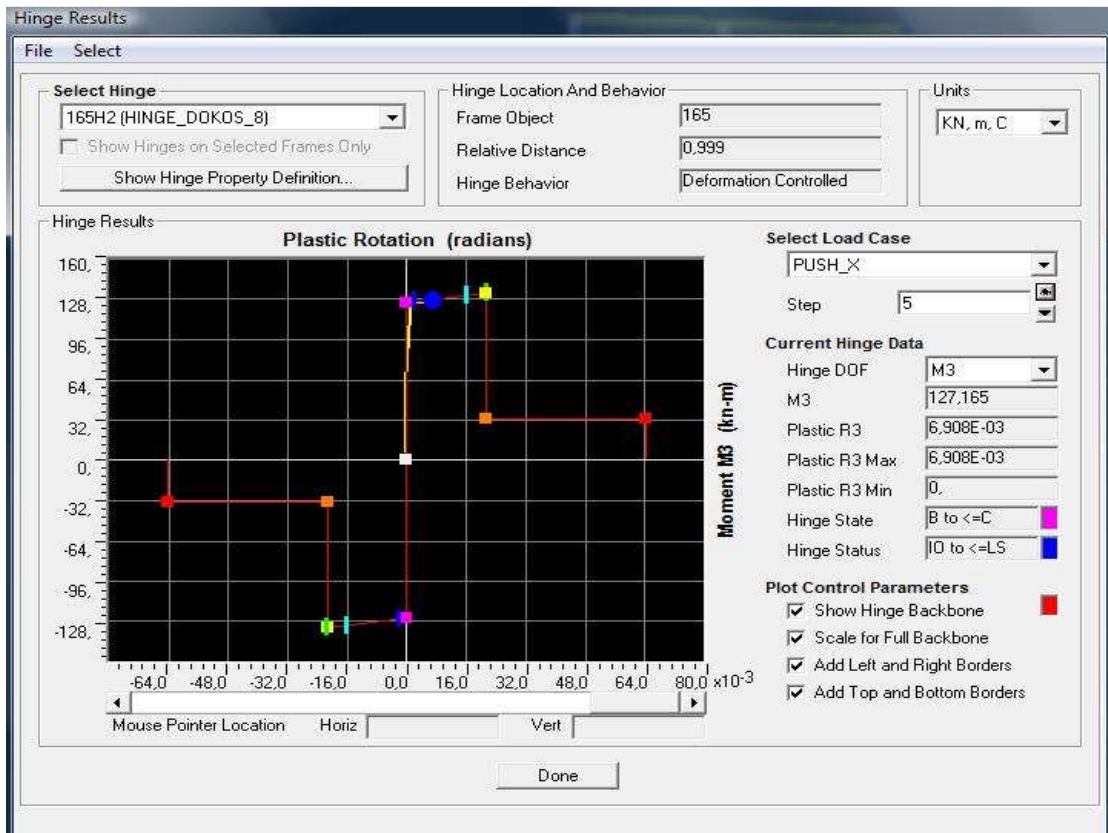


Σχήμα 8.5.11: Πορεία πλαστικοποίησης κόμβου αρχής μέλους K20.

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή



Σχήμα 8.5.12: Πορεία πλαστικοποίησης κόμβου αρχής της δοκού Δ8.



Σχήμα 8.5.13: Πορεία πλαστικοποίησης κόμβου τέλους της δοκού Δ8.

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

Συνοπτικά:

- Στο ισόγειο διαρρέουν 17 από τα 25 κατακόρυφα στοιχεία.
- Στον 1^ο όροφο διαρρέουν μόλις 5 από τα 25 κατακόρυφα στοιχεία.
- Στον 2^ο όροφο διαρρέει μόνο 1 από τα 25 κατακόρυφα στοιχεία.
- Στον 3^ο όροφο δεν διαρρέει κανένα κατακόρυφο στοιχείο.
- Στον 4^ο όροφο δεν διαρρέει κανένα κατακόρυφο στοιχείο.
- Στο δώμα δεν διαρρέει κανένα κατακόρυφο στοιχείο.

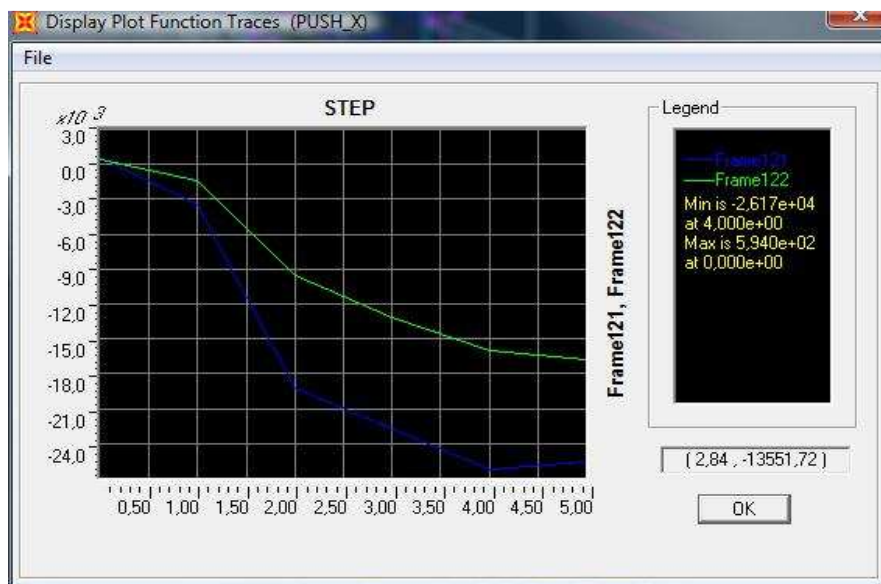
Συνεπώς δεν είναι πιθανό να επέλθει αστοχία λόγω της δημιουργίας μαλακού ορόφου.

Κατά την σταδιακή εξώθηση της κατασκευής παρατηρείται την έντονη πλαστικοποίηση των στοιχείων που βρίσκονται στο πίσω μέρος της κατασκευής. Ειδικά τα υποστυλώματα στο μέρος αυτό είτε έχουν διαρρεύσει, είτε είναι στη στάθμη άμεσης χρήσης ή ακόμα και στο επίπεδο της προστασίας ζωής. Άξίζει να σημειωθεί πως οι πλαστικοποιήσεις εμφανίζονται κατά κύριο λόγο στην θέση πάκτωσης του κατακόρυφου στοιχείου.

Τα κατακόρυφα στοιχεία που αναλαμβάνουν μεγαλύτερη ένταση κατά την πορεία της κατασκευής προς την αστοχία είναι αυτά των οποίων η μεγάλη τους πλευρά είναι κατά τον άξονα χ .

Στην συνέχεια ακολουθεί γράφημα στο οποίο παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη του μεγέθους της ροπής για το τοίχωμα K20, διαστάσεων 5,90m * 0,20m.

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή



Σχήμα 8.5.14: Η εξέλιξη της ροπής M3 στα μέλη 121 και 122.

Τα τοιχώματα K19 και K20, τα οποία έχουν μεγάλες διαστάσεις, επηρεάζουν την λειτουργία του φορέα προσφέροντας του και στρέψη αφού μετατοπίζουν το κέντρο βάρους του κάθε ορόφου προς το μέρος τους.

Τα συγκεκριμένα τοιχώματα είτε είναι στο στάδιο της κατάρρευσης, όπως το K20, είτε είναι στο επίπεδο της προστασίας ζωής.

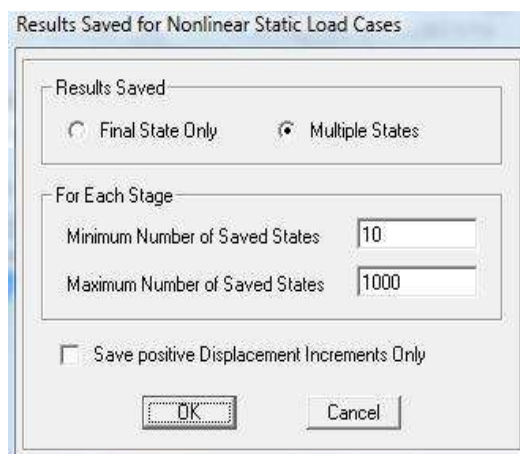
Το μπροστινό μέρος του φορέα παραμένει ανεπηρέαστο και κανένα υποστύλωμα του δεν φτάνει καν στο σημείο διαρροής του. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και για τα δοκάρια στο μέρος αυτό.

Παραμόρφωση έως την στάθμη της άμεσης χρήσης εμφανίζουν τα δοκάρια κοντά στα τοιχώματα καθώς επίσης και τα δοκάρια που βρίσκονται στο πίσω μέρος του φορέα.

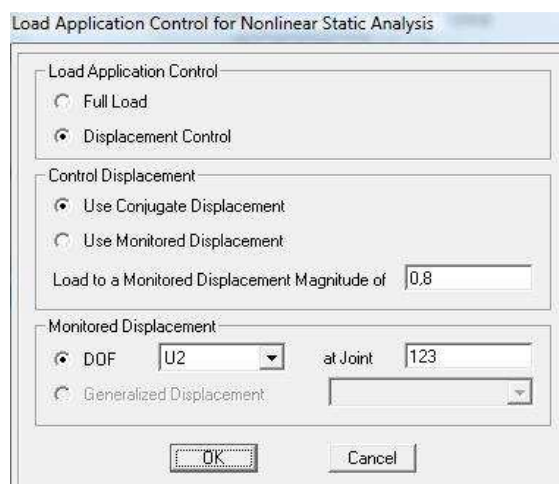
Γενικά τα δοκάρια με προσανατολισμό παράλληλο κατά τον άξονα χ παρουσιάζουν έντονες παραμορφώσεις.

8.6 Αποτελέσματα Pushover Ανάλυσης κατά Ψ:

Η κατασκευή στη περίπτωση αυτή εξωθείται σταδιακά κατά την διεύθυνση Ψ. Ως κόμβος ελέγχου έχει ορισθεί ο 123 κατά τον βαθμό ελευθερίας U2, με στοχευόμενη μετατόπιση ίση με 0,80m.



Σχήμα 8.6.1: Παράμετροι βημάτων επίλυσης.



Σχήμα 8.6.2: Ορισμός στοχευόμενης μετατόπισης για “Push_Y”

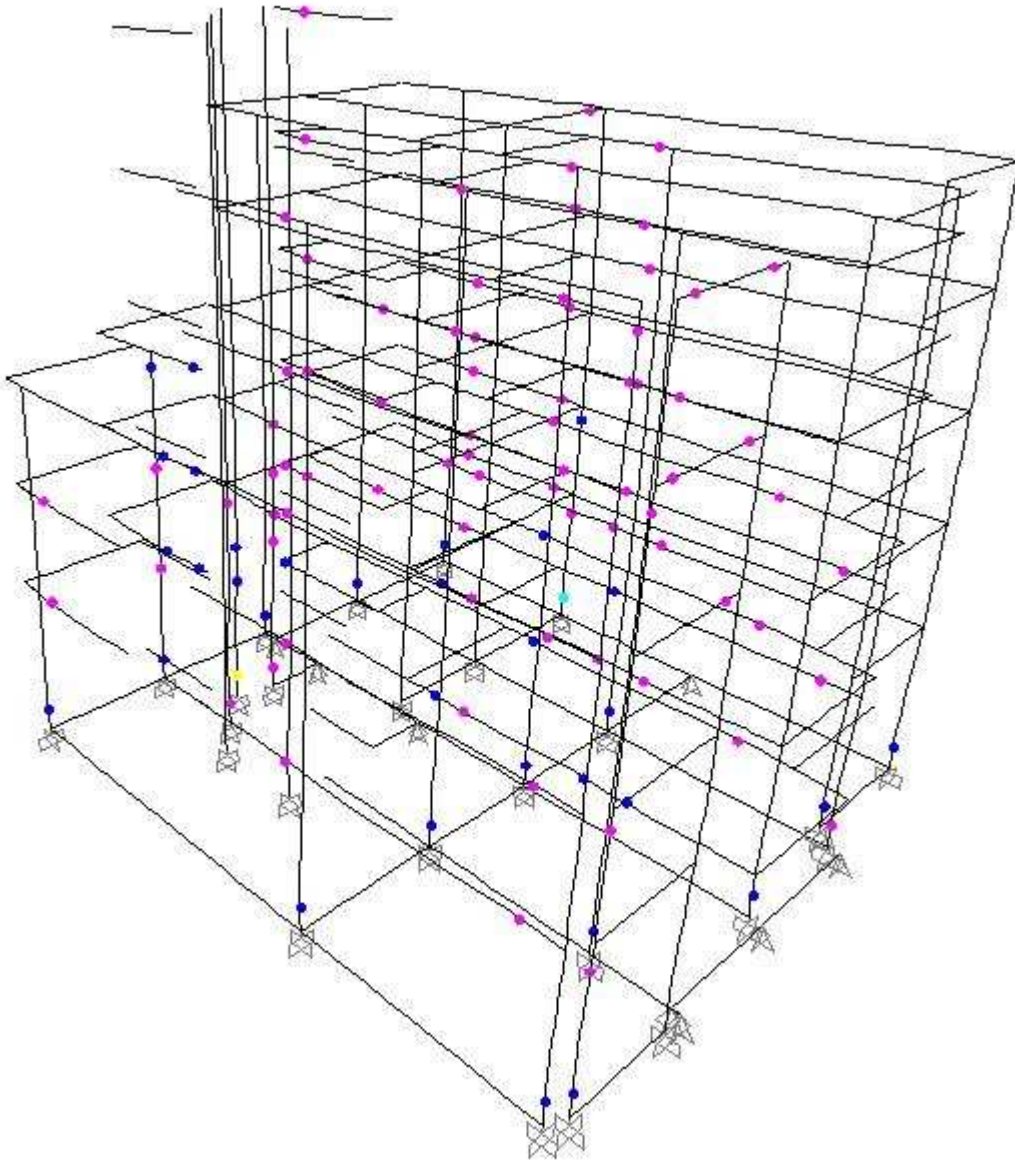
Η ανάλυση για την περίπτωση αυτή ολοκληρώθηκε αφού άγγιξε το μέγιστο αριθμό κενών βημάτων, Null steps, που έχουν ορισθεί, 50, με αριθμό συνολικών βημάτων: 102 και αποθήκευσε μόνο 3 από αυτά.

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

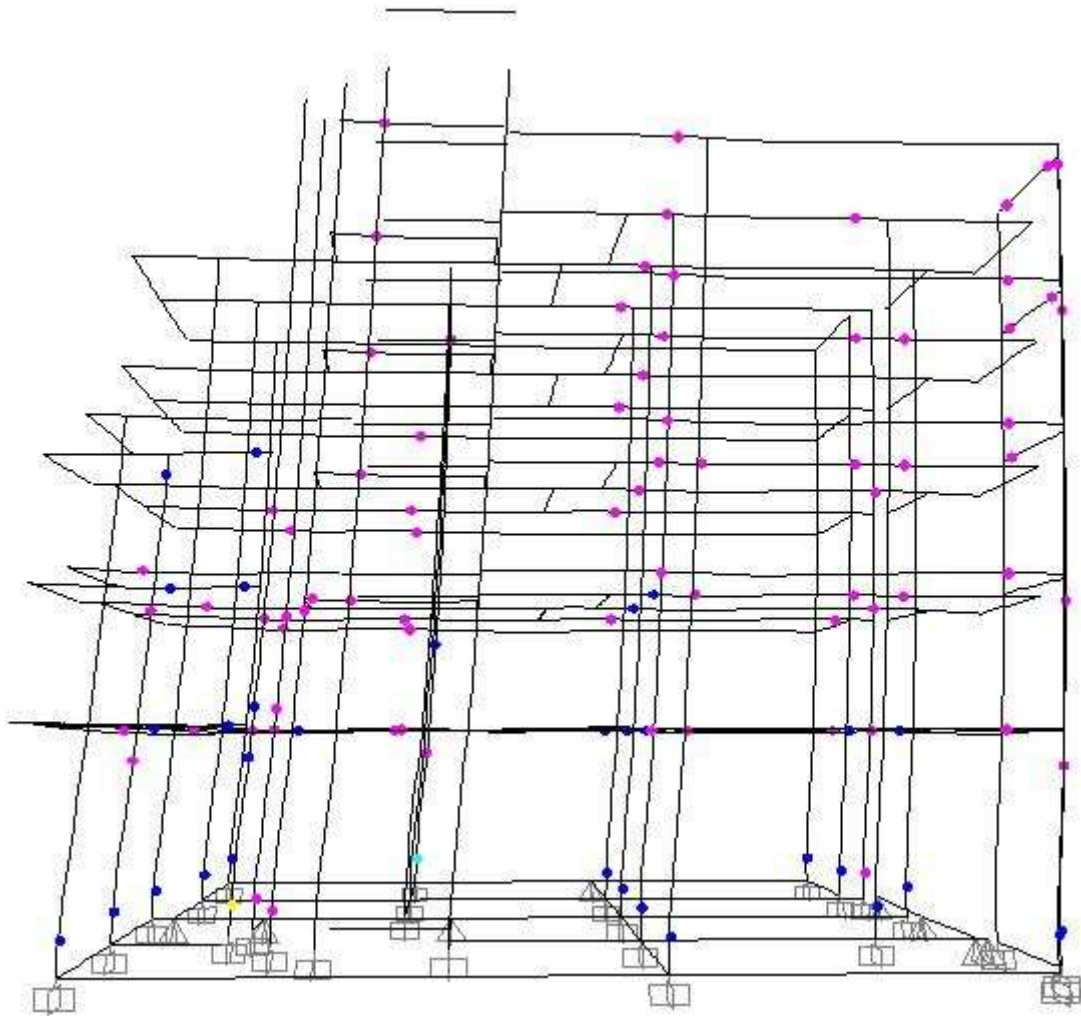
Προσοχή! Null (Zero) Steps προκύπτουν όταν:

- Υπάρχει αποφόρτιση στις πλαστικές αρθρώσεις.
- Ένα συμβάν (διαρροή, αποφόρτιση) προκαλεί ένα άλλο συμβάν
- Η επαναληπτική διαδικασία δεν συγκλίνει και έχουμε επιλογή μικρότερου βήματος.

Η παρουσία μεγάλου αριθμού υποδηλώνει κατάρρευση ή αριθμητική αστάθεια του προσομοιώματος. Έτσι μπορεί να διακόψει η ανάλυση, αν υπάρχει δυσκολία σύγκλισης (αλλιώς ορίζεται ο αριθμός αυτός ίσος με τα συνολικά βήματα).



Σχήμα 8.6.3: Τελικό στάδιο πλαστικοποίησης των κόμβων



Σχήμα 8.6.4: Βόρεια όψη του κτιρίου, πλαστικοποίηση κόμβων.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μετατόπιση του κόμβου ελέγχου 123 για την περίπτωση της ανελαστικής στατικής ανάλυσης κατά Ψ.

Joint Text	OutputCase Text	StepType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Rad.	R2 Rad.	R3 Rad.
123	PUSH_Y	Max	2,4E-03	9,0E-04	-3,0E-04	2,4E-03	1,2E-04	9,1E-04
123	PUSH_Y	Min	5,4E-04	-0,0604	-8,8E-04	-7,1E-07	4,7E-05	4,5E-05

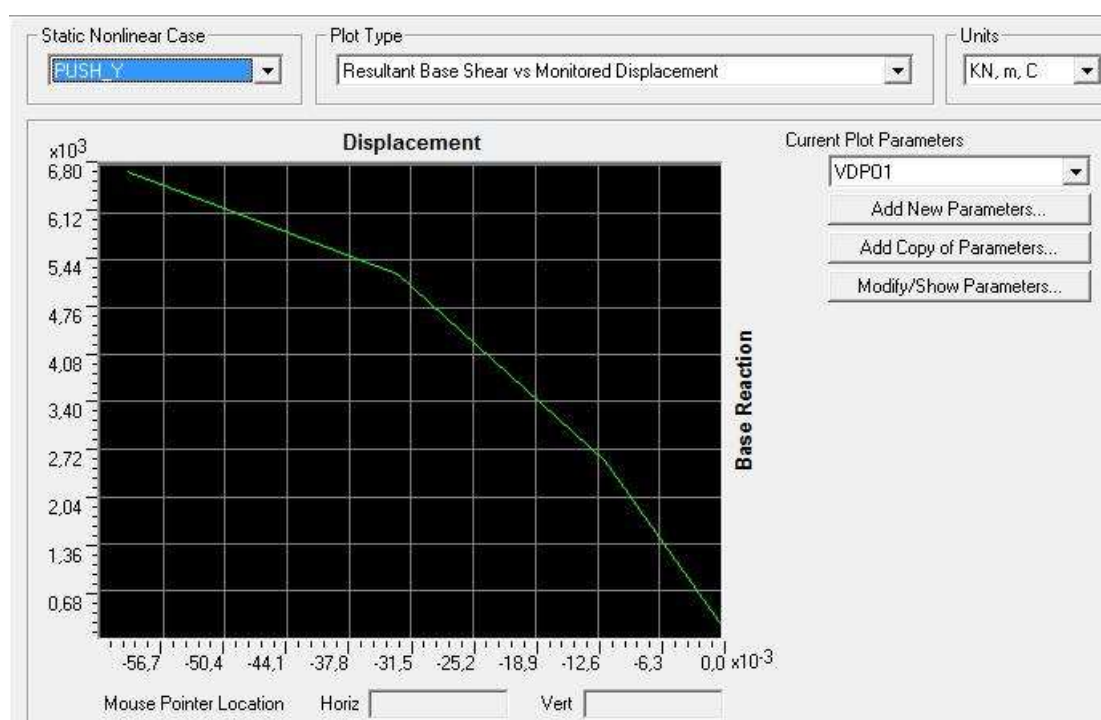
Πίνακας 8.6.1: Παραμορφωσιακή κατάσταση του κόμβου ελέγχου.

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

Η καμπύλη ικανότητας (capacity curve) της κατασκευής για τη μετατόπιση του κόμβου 123 συναρτήσει της τέμνουσας βάσης παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.

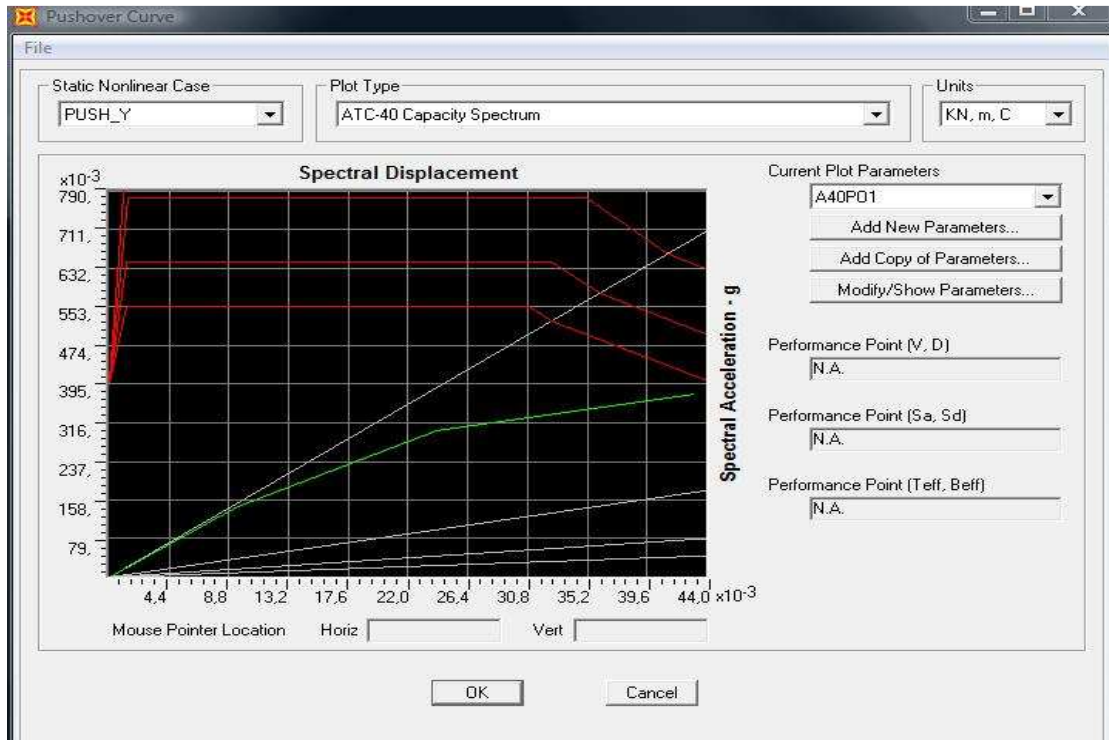
Από τον πίνακα 8.6.1 παρατηρείται ότι για μετατόπιση $-0,0604\text{m}$ η τέμνουσα βάσης είναι ίση με 6670kN . Επίσης για μετατόπιση ίση με $0,00090\text{m}$ η τέμνουσα βάσης πρακτικά είναι ίση με μηδέν.

Η καμπύλη ικανότητας παρουσιάζεται στο σχήμα 8.6.5 για την περίπτωση ανελαστικής στατικής ανάλυσης κατά την διεύθυνση Ψ.



Σχήμα 8.6.5: Καμπύλη ικανότητας.

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή



Σχήμα 8.6.6: Διάγραμμα βάσει του ATC-40, Μετατόπισης – Επιτάχυνσης.

Στο σχήμα 8.6.6 δεν υπάρχει το σημείο τομής του φάσματος απόκρισης για διάφορες τιμές της απόσβεσης με την καμπύλη ικανότητας, συνεπώς δεν ήταν δυνατή η εύρεση του σημείου επιτελεστικότητας. Δηλαδή δεν ορίζεται κάποιο σημείο βέλτιστης απόκρισης βάσει της συμπεριφοράς της κατασκευής.

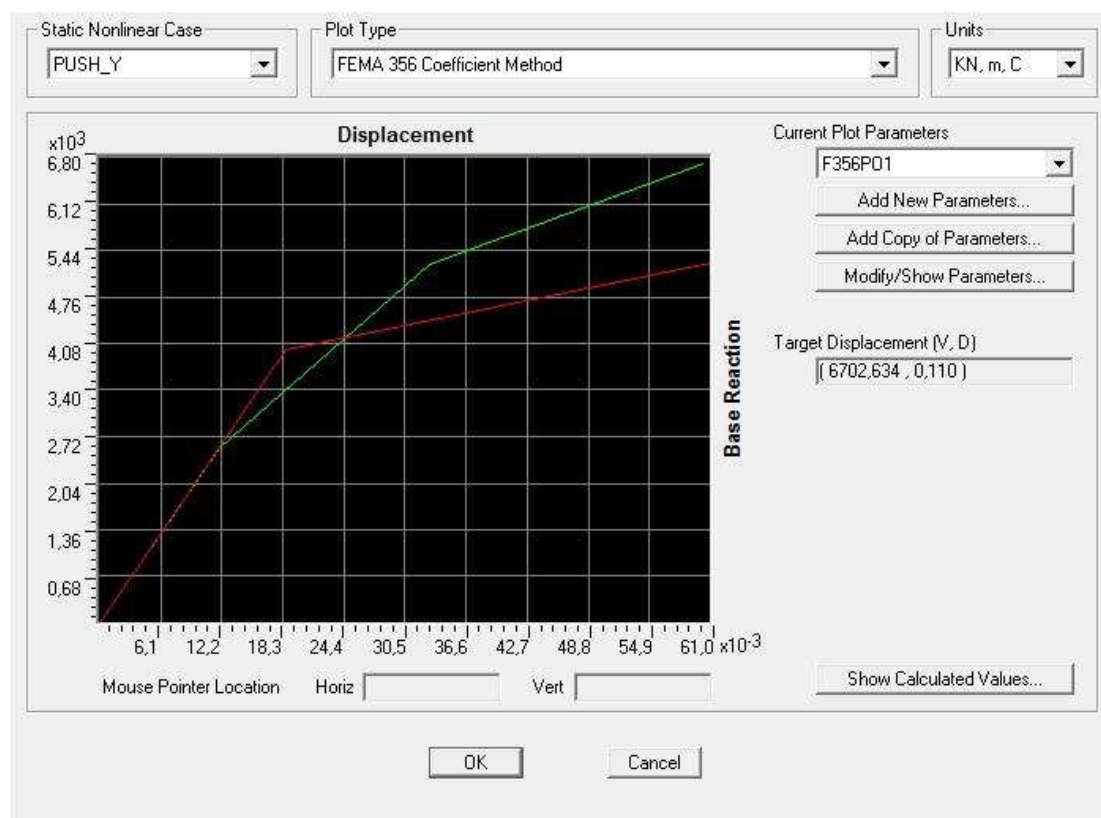
Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται για κάθε βήμα της ανάλυσης κατά ψ τα δεδομένα για την καμπύλη απαίτησης ικανότητας της pushover.

TABLE: Pushover Curve Demand Capacity - ATC40 - PUSH_X						
Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand
			m		m	
0	0,508785	0,050000	0,000000	0,000000	0,050554	0,786187
1	0,508785	0,050000	0,009380	0,145880	0,050554	0,786187
2	0,568968	0,091530	0,024155	0,300375	0,048044	0,597457
3	0,679500	0,170439	0,043139	0,376121	0,046948	0,409329

Πίνακας 8.6.2: Καμπύλη απαίτησης ικανότητας.

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η στοχευμένη μετατόπιση σε σχέση με την τέμνουσα βάσης όπως προέκυψε με την μέθοδο των συντελεστών του FEMA 356, (Coefficient Method), μετά από την τομή της καμπύλης ικανότητας με το ιδεατό διγραμμικό διάγραμμα. Η στοχευμένη αυτή μετατόπιση είναι ίση με 0,11m.



Σχήμα 8.6.7: Διγραμμικό βάσει της μεθόδου των συντελεστών.

Για τα μέλη όπου παρατηρούνται ανελαστικές παραμορφώσεις θα παρουσιαστεί ένα συγκεντρωτικός πίνακας καθώς και η πορεία πλαστικοποίησης μερικών μελών. Η αντιστοιχία των μελών με τα “Hinges” παρουσιάζεται στο παράρτημα Β.

TABLE: Frame Hinge States								
Gen Hinge	P	M2	M3	U1 Plastic	R2 Plastic	R3 Plastic	Hinge State	Hinge Status
Text	KN	KN-m	KN-m	m	Radians	Radians	Text	Text
1H1	-193,39	6,55	1,68	3,6E-04	0,0E+00	0,0E+00	B to C	>CP
1H1	-298,00	-400,25	-0,93	0,0E+00	-2,0E-03	-7,9E-06	A to B	A to IO
4H1	604,92	-9,69	3,73	8,3E-04	0,0E+00	9,5E-06	B to C	>CP
4H2	634,62	261,15	5,80	8,1E-05	3,0E-04	8,8E-05	B to C	>CP

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

4H1	-553,96	-294,45	-0,88	0,0E+00	-3,2E-03	-5,4E-05	A to B	A to IO
5H2	384,45	325,75	0,91	8,6E-05	3,4E-04	1,1E-04	B to C	>CP
6H2	145,52	398,65	1,46	5,1E-04	2,5E-03	4,4E-06	B to C	>CP
6H2	-208,03	87,53	-2,42	0,0E+00	0,0E+00	-8,9E-05	A to B	A to IO
7H1	-515,04	-6,77	2,32	2,4E-04	0,0E+00	0,0E+00	B to C	>CP
7H1	-960,39	-516,24	-1,53	0,0E+00	-2,0E-03	-6,0E-05	A to B	A to IO
12H1	-725,55	-5,51	3,46	2,5E-04	0,0E+00	1,3E-18	B to C	>CP
12H1	-1167,57	-506,18	-0,36	0,0E+00	-2,0E-03	0,0E+00	A to B	A to IO
17H1	-165,72	-0,69	4,68	4,9E-04	0,0E+00	1,5E-19	B to C	>CP
17H1	-706,78	-409,91	1,07	0,0E+00	-2,5E-03	0,0E+00	A to B	A to IO
32H1	-1014,10	59,23	12,40	3,7E-04	0,0E+00	3,9E-05	B to C	>CP
32H2	-944,81	1182,66	24,01	3,3E-05	1,7E-04	2,9E-05	B to C	>CP
32H1	-1629,29	-1443,11	-5,66	0,0E+00	-1,9E-03	0,0E+00	A to B	A to IO
33H2	-909,31	1184,49	27,43	1,5E-05	7,5E-05	0,0E+00	B to C	>CP
33H2	-1255,63	-154,38	-25,73	0,0E+00	0,0E+00	-2,0E-05	A to B	A to IO
37H1	-513,59	10,56	0,34	5,0E-04	0,0E+00	6,3E-05	B to C	>CP
37H1	-687,49	-711,18	-0,87	0,0E+00	-2,4E-03	0,0E+00	A to B	A to IO
42H1	-968,12	11,27	0,20	3,4E-04	0,0E+00	0,0E+00	B to C	A to IO
42H1	-1168,08	-753,11	-2,53	0,0E+00	-2,2E-03	-7,0E-18	A to B	A to IO
47H1	-984,00	16,58	2,99	3,4E-04	0,0E+00	0,0E+00	B to C	A to IO
47H1	-1123,44	-762,51	0,07	0,0E+00	-2,2E-03	-7,1E-18	A to B	A to IO
52H1	-921,01	16,46	1,92	3,4E-04	0,0E+00	0,0E+00	B to C	A to IO
52H1	-1002,29	-749,18	0,39	0,0E+00	-2,2E-03	-7,2E-18	A to B	A to IO
57H1	-741,70	-5,39	0,34	9,6E-05	0,0E+00	7,1E-05	B to C	>CP
57H1	-799,07	-364,16	-1,65	0,0E+00	-1,3E-03	0,0E+00	A to B	A to IO
62H1	-361,49	-0,88	183,28	5,3E-05	0,0E+00	0,0E+00	B to C	A to IO
62H2	-326,13	50,27	24,87	3,1E-06	1,3E-04	0,0E+00	B to C	>CP
62H1	-675,91	-76,48	-44,64	0,0E+00	-2,3E-03	-2,0E-04	A to B	A to IO
62H2	-640,56	2,79	-35,48	0,0E+00	0,0E+00	-1,2E-05	A to B	A to IO
63H2	-266,67	39,73	9,42	1,3E-06	5,8E-05	0,0E+00	B to C	>CP
63H2	-344,68	5,35	-59,54	0,0E+00	0,0E+00	-5,1E-06	A to B	A to IO
65H2	-75,58	33,76	-7,79	7,6E-07	3,2E-05	0,0E+00	B to C	>CP
65H2	-141,71	5,92	-58,01	0,0E+00	0,0E+00	-2,9E-06	A to B	A to IO
77H1	-995,34	1,94	1,04	3,9E-04	0,0E+00	1,1E-04	B to C	>CP
77H1	-1314,28	-934,19	-4,20	0,0E+00	-2,3E-03	-2,2E-18	A to B	A to IO
82H1	-441,11	2,84	3,08	4,4E-04	0,0E+00	0,0E+00	B to C	A to IO
82H1	-1609,10	-954,16	-9,47	0,0E+00	-2,6E-03	-7,6E-04	A to B	A to IO
87H1	351,27	2,10	12,69	2,2E-04	0,0E+00	1,5E-04	B to C	>CP
87H1	-486,42	-84,99	-61,24	0,0E+00	-2,7E-03	0,0E+00	A to B	A to IO
92H1	-1209,05	-10,82	11,45	2,1E-04	0,0E+00	0,0E+00	B to C	A to IO
92H1	-2523,78	-1587,20	-58,09	0,0E+00	-1,6E-03	-1,4E-18	A to B	A to IO
103H1	-199,71	74,89	0,35	2,2E-03	0,0E+00	0,0E+00	B to C	>CP
103H1	-1336,51	-3443,89	-1,75	0,0E+00	-3,3E-03	-6,2E-04	A to B	A to IO
104H2	-291,27	2560,06	34,39	1,4E-04	1,8E-04	3,9E-04	B to C	>CP
109H1	2226,37	0,90	116,54	1,5E-03	0,0E+00	5,1E-05	C to D	>CP
109H2	2288,59	20,89	453,09	1,6E-03	3,1E-04	1,3E-03	B to C	>CP
109H1	-582,36	-31,54	-16,39	0,0E+00	-4,1E-03	0,0E+00	A to B	A to IO
110H1	-42,65	1,67	55,59	6,0E-04	0,0E+00	0,0E+00	B to C	A to IO
110H1	-741,13	-19,95	-1904,02	0,0E+00	-6,7E-04	-8,1E-04	A to B	A to IO
115H1	582,18	8,20	0,68	7,9E-04	0,0E+00	0,0E+00	B to C	A to IO
115H1	-234,87	-497,78	-0,32	0,0E+00	-2,6E-03	-5,2E-04	A to B	A to IO
116H1	1465,67	14,19	0,52	2,9E-04	6,3E-04	0,0E+00	B to C	>CP
116H2	1482,89	112,43	9,29	4,0E-04	1,0E-03	5,6E-04	B to C	>CP
116H1	-177,37	-47,37	-11,10	0,0E+00	0,0E+00	-8,5E-04	A to B	A to IO
127H1	104,71	-7,36	0,21	5,9E-04	0,0E+00	0,0E+00	B to C	A to IO
127H1	-176,99	-145,48	-3,10	0,0E+00	-2,9E-03	-3,5E-05	A to B	A to IO
131H2	-39,19	178,78	12,86	1,8E-04	1,1E-03	5,9E-04	B to C	>CP
160H2	0,00	0,00	-94,16	0,0E+00	0,0E+00	-1,1E-04	B to C	A to IO

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

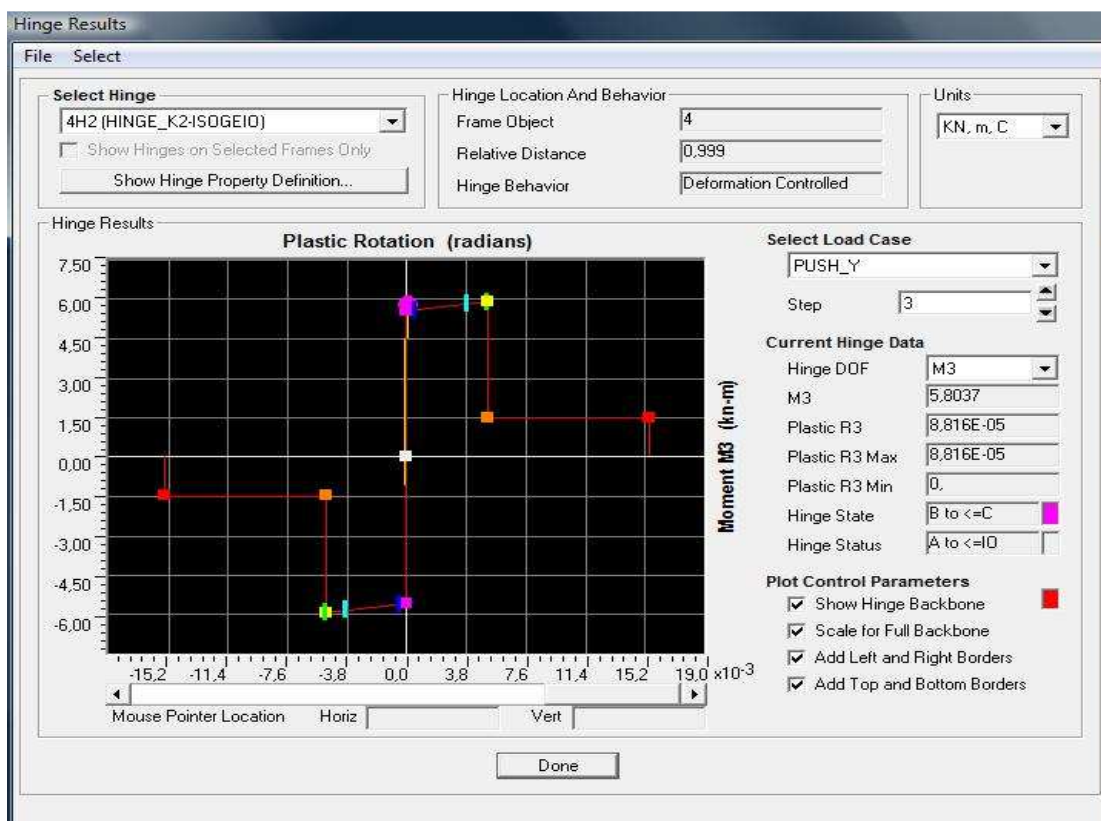
168H2	0,00	0,00	-122,87	0,0E+00	0,0E+00	-6,6E-05	B to C	A to IO
169H1	0,00	0,00	121,80	0,0E+00	0,0E+00	5,3E-05	B to C	A to IO
169H2	0,00	0,00	-122,74	0,0E+00	0,0E+00	-3,4E-04	B to C	A to IO
170H1	0,00	0,00	122,86	0,0E+00	0,0E+00	3,0E-05	B to C	A to IO
170H2	0,00	0,00	-122,98	0,0E+00	0,0E+00	-4,1E-04	B to C	A to IO
186H1	0,00	0,00	-294,55	0,0E+00	0,0E+00	-2,0E-03	B to C	A to IO
187H1	0,00	0,00	-291,76	0,0E+00	0,0E+00	-1,5E-03	B to C	A to IO
188H1	0,00	0,00	-292,54	0,0E+00	0,0E+00	-5,9E-04	B to C	A to IO
189H1	0,00	0,00	-292,11	0,0E+00	0,0E+00	-2,6E-04	B to C	A to IO
191H1	0,00	0,00	-165,55	0,0E+00	0,0E+00	-2,8E-03	B to C	A to IO
192H1	0,00	0,00	-165,58	0,0E+00	0,0E+00	-1,9E-03	B to C	A to IO
193H1	0,00	0,00	-165,49	0,0E+00	0,0E+00	-1,4E-03	B to C	A to IO
194H1	0,00	0,00	-166,87	0,0E+00	0,0E+00	-1,1E-03	B to C	A to IO
195H1	0,00	0,00	-165,41	0,0E+00	0,0E+00	-8,5E-04	B to C	A to IO
202H2	0,00	0,00	96,21	0,0E+00	0,0E+00	1,7E-03	B to C	A to IO
203H2	0,00	0,00	95,83	0,0E+00	0,0E+00	7,4E-04	B to C	A to IO
213H2	0,00	0,00	115,91	0,0E+00	0,0E+00	3,0E-03	B to C	IO to LS
214H2	0,00	0,00	116,27	0,0E+00	0,0E+00	2,0E-03	B to C	A to IO
215H2	0,00	0,00	115,74	0,0E+00	0,0E+00	1,4E-03	B to C	A to IO
216H2	0,00	0,00	114,66	0,0E+00	0,0E+00	1,1E-03	B to C	A to IO
218H2	0,00	0,00	164,41	0,0E+00	0,0E+00	1,5E-03	B to C	A to IO
218H1	0,00	0,00	-164,39	0,0E+00	0,0E+00	-4,2E-03	B to C	IO to LS
219H2	0,00	0,00	163,65	0,0E+00	0,0E+00	5,7E-04	B to C	A to IO
219H1	0,00	0,00	-164,78	0,0E+00	0,0E+00	-3,1E-03	B to C	A to IO
220H1	0,00	0,00	-164,65	0,0E+00	0,0E+00	-2,6E-03	B to C	A to IO
221H1	0,00	0,00	-163,51	0,0E+00	0,0E+00	-2,2E-03	B to C	A to IO
222H1	0,00	0,00	-164,31	0,0E+00	0,0E+00	-1,1E-03	B to C	A to IO
223H1	0,00	0,00	-167,36	0,0E+00	0,0E+00	-3,2E-03	B to C	IO to LS
225H1	0,00	0,00	-166,98	0,0E+00	0,0E+00	-2,2E-03	B to C	IO to LS
227H1	0,00	0,00	-166,75	0,0E+00	0,0E+00	-1,6E-03	B to C	A to IO
229H1	0,00	0,00	-165,17	0,0E+00	0,0E+00	-1,2E-03	B to C	A to IO
231H1	0,00	0,00	-165,44	0,0E+00	0,0E+00	-1,1E-03	B to C	A to IO
239H2	0,00	0,00	125,06	0,0E+00	0,0E+00	3,2E-03	B to C	IO to LS
240H1	0,00	0,00	124,27	0,0E+00	0,0E+00	5,6E-04	B to C	A to IO
240H2	0,00	0,00	124,14	0,0E+00	0,0E+00	1,7E-04	B to C	A to IO
241H1	0,00	0,00	124,09	0,0E+00	0,0E+00	7,8E-04	B to C	A to IO
242H1	0,00	0,00	123,52	0,0E+00	0,0E+00	1,0E-03	B to C	A to IO
243H1	0,00	0,00	123,89	0,0E+00	0,0E+00	9,8E-04	B to C	A to IO
244H1	0,00	0,00	124,06	0,0E+00	0,0E+00	5,7E-04	B to C	A to IO
245H2	0,00	0,00	457,46	0,0E+00	0,0E+00	3,9E-03	B to C	IO to LS
245H1	0,00	0,00	-461,82	0,0E+00	0,0E+00	-4,4E-03	B to C	IO to LS
246H2	0,00	0,00	451,80	0,0E+00	0,0E+00	3,3E-03	B to C	IO to LS
246H1	0,00	0,00	-455,28	0,0E+00	0,0E+00	-3,7E-03	B to C	IO to LS
247H1	0,00	0,00	-447,09	0,0E+00	0,0E+00	-2,7E-03	B to C	IO to LS
260H1	0,00	0,00	-386,82	0,0E+00	0,0E+00	-2,5E-03	B to C	A to IO
261H1	0,00	0,00	-385,99	0,0E+00	0,0E+00	-1,1E-03	B to C	A to IO
262H1	0,00	0,00	-384,54	0,0E+00	0,0E+00	-2,2E-04	B to C	A to IO
265H1	0,00	0,00	-231,71	0,0E+00	0,0E+00	-2,3E-03	B to C	IO to LS
269H1	0,00	0,00	-231,52	0,0E+00	0,0E+00	-1,5E-03	B to C	IO to LS
273H1	0,00	0,00	-227,95	0,0E+00	0,0E+00	-9,4E-04	B to C	A to IO
277H1	0,00	0,00	-227,83	0,0E+00	0,0E+00	-5,0E-04	B to C	A to IO
281H1	0,00	0,00	-227,66	0,0E+00	0,0E+00	-3,9E-04	B to C	A to IO
286H2	0,00	0,00	275,13	0,0E+00	0,0E+00	1,4E-03	B to C	A to IO
288H2	0,00	0,00	274,17	0,0E+00	0,0E+00	6,5E-04	B to C	A to IO
306H1	0,00	0,00	-384,22	0,0E+00	0,0E+00	-7,8E-04	B to C	A to IO
307H1	0,00	0,00	-386,63	0,0E+00	0,0E+00	-2,1E-03	B to C	A to IO
308H1	0,00	0,00	-226,86	0,0E+00	0,0E+00	-2,0E-04	B to C	A to IO
310H1	0,00	0,00	-226,54	0,0E+00	0,0E+00	-5,5E-04	B to C	A to IO

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

312H1	0,00	0,00	-227,92	0,0E+00	0,0E+00	-1,1E-03	B to C	A to IO
314H1	0,00	0,00	-229,66	0,0E+00	0,0E+00	-2,0E-03	B to C	A to IO
316H1	0,00	0,00	-229,56	0,0E+00	0,0E+00	-3,0E-03	B to C	IO to LS
320H2	0,00	0,00	272,33	0,0E+00	0,0E+00	4,3E-05	B to C	A to IO
320H1	0,00	0,00	-270,89	0,0E+00	0,0E+00	-1,2E-04	B to C	A to IO
321H2	0,00	0,00	272,53	0,0E+00	0,0E+00	7,9E-04	B to C	A to IO
321H1	0,00	0,00	-273,21	0,0E+00	0,0E+00	-6,4E-04	B to C	A to IO
322H2	0,00	0,00	275,06	0,0E+00	0,0E+00	1,7E-03	B to C	A to IO
322H1	0,00	0,00	-273,13	0,0E+00	0,0E+00	-9,6E-04	B to C	A to IO
334H1	0,00	0,00	-292,98	0,0E+00	0,0E+00	-2,7E-04	B to C	A to IO
335H2	0,00	0,00	295,62	0,0E+00	0,0E+00	2,1E-04	B to C	A to IO
335H1	0,00	0,00	-295,29	0,0E+00	0,0E+00	-8,9E-04	B to C	A to IO
336H2	0,00	0,00	293,60	0,0E+00	0,0E+00	1,1E-03	B to C	A to IO
336H1	0,00	0,00	-294,86	0,0E+00	0,0E+00	-1,5E-03	B to C	A to IO
337H2	0,00	0,00	296,63	0,0E+00	0,0E+00	2,0E-03	B to C	A to IO
337H1	0,00	0,00	-296,60	0,0E+00	0,0E+00	-1,9E-03	B to C	A to IO

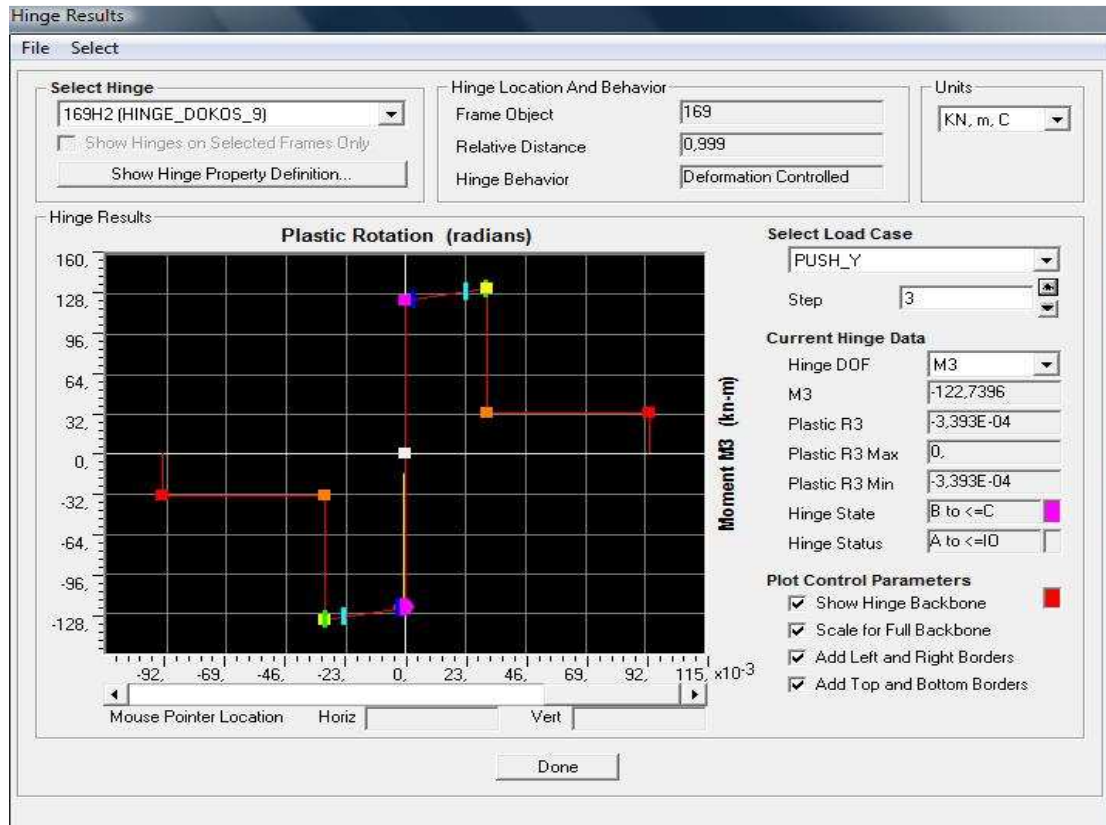
Πίνακας 8.6.3: Συγκεντρωτικός Πίνακας Μελών πέραν του Ορίου Διαρροής.

Στη συνέχεια επισυναπτόνται μερικά σχήματα στα οποία παρουσιάζεται η πορεία πλαστικοποίησης κάποιων μελών.

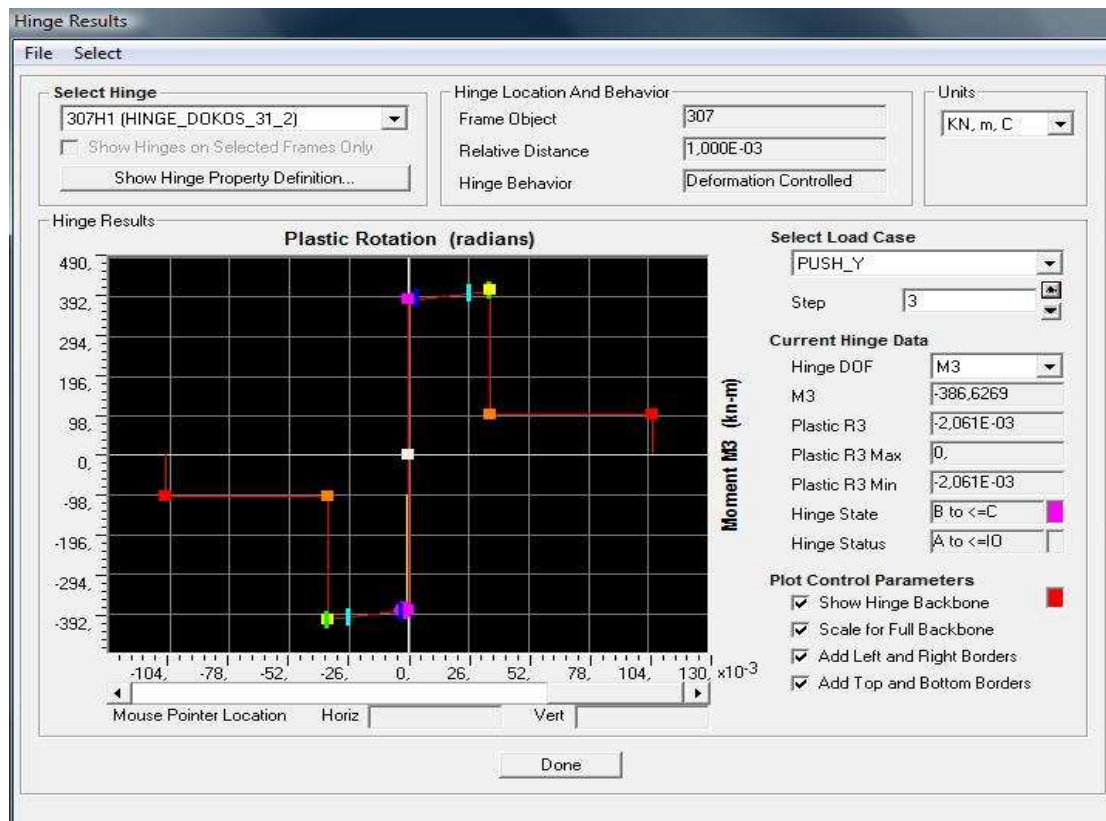


Σχήμα 8.6.8: Πορεία Πλαστικοποίησης κόμβου τέλους μέλους Κ4.

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή



Σχήμα 8.6.9: Πορεία πλαστικοποίησης κόμβου τέλους μέλους Δ9.



Σχήμα 8.6.10: Πορεία πλαστικοποίησης κόμβου αρχής της δοκού Δ31.

8^ο Κεφάλαιο: Εφαρμογή Ανελαστικής Στατικής Μεθόδου σε Κατασκευή

Συνοπτικά:

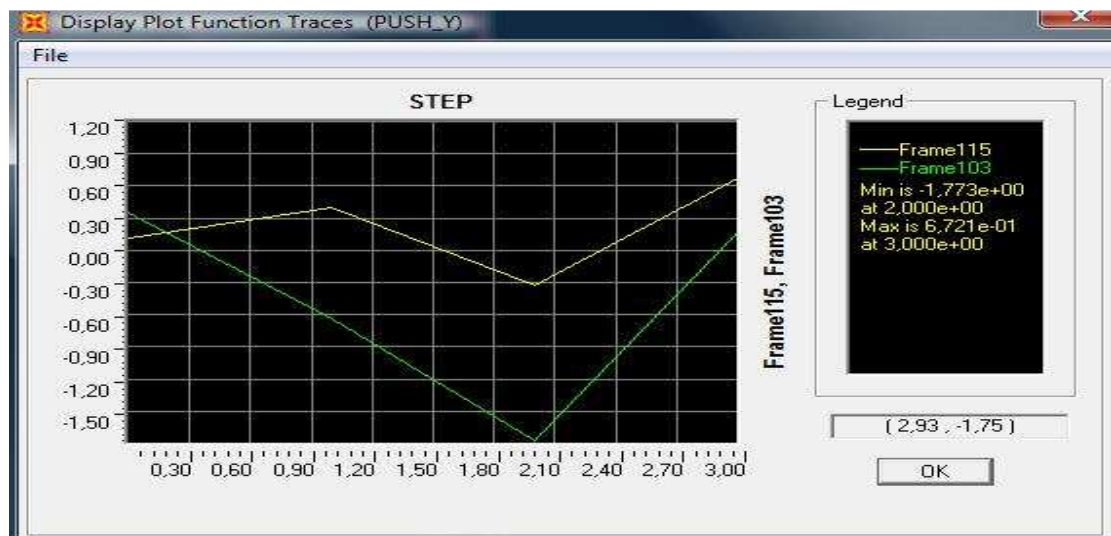
- Στο ισόγειο διαρρέουν 21 από τα 25 κατακόρυφα στοιχεία.
- Στον 1^ο όροφο διαρρέουν 5 από τα 25 κατακόρυφα στοιχεία.
- Στον 2^ο όροφο διαρρέει μόλις 1 από τα 25 κατακόρυφα στοιχεία.
- Στον 3^ο όροφο διαρρέει μόλις το 1 από τα 25 κατακόρυφα στοιχεία.
- Στον 4^ο όροφο διαρρέει μόλις το 1 από τα 25 κατακόρυφα στοιχεία.
- Στο δώμα δεν διαρρέει κανένα από τα κατακόρυφα στοιχεία.

Συνεπώς δεν θα έχουμε αστοχία από δημιουργία «μαλακού ορόφου».

Τα κατακόρυφα στοιχεία στο ισόγειο μεταφέρουν μεγαλύτερη ένταση αφού αναπτύσσουν μεγάλες τιμές ροπής.

Ειδικά τα στοιχεία που η μεγάλη τους πλευρά είναι κατά την Ψ διεύθυνση αναλαμβάνουν μεγαλύτερο ποσοστό της εκλυόμενης έντασης.

Στην συνέχεια ακολουθεί το γράφημα στο οποίο παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη του μεγέθους της ροπής για το τοίχωμα K19_B, διαστάσεων 2,20m *0,20m καθώς επίσης και του τοιχώματος K19_D διαστάσεων 0,90m*0,20m.



Σχήμα 8.6.11: Η εξέλιξη της ροπής M3 στα μέλη 103 και 115.

9⁰ Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

9.1 Εισαγωγή:

Η ανάλυση αυτή εφαρμόζεται για να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την πραγματική συμπεριφορά της κατασκευής. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται επιταχυνσιογραφήματα από καταγραφές πραγματικών σεισμών που συνέβησαν τα οποία και ορίζονται στο πρόγραμμα.

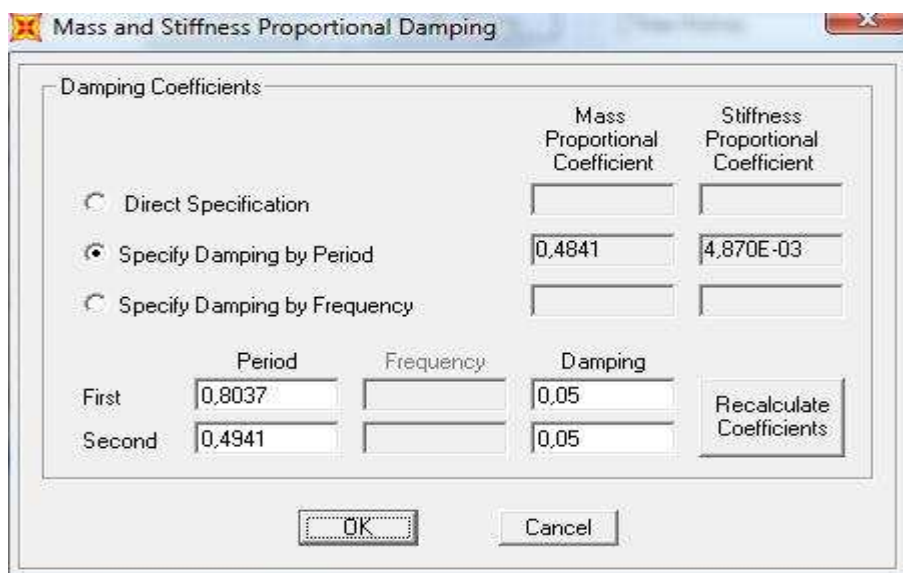
Κατά την εφαρμογή της μεθόδου αυτής γίνεται μία απευθείας αριθμητική ολοκλήρωση των γραφημάτων επιτάχυνσης και από τον ορισμό των πιθανών σημείων πλαστικών αρθρώσεων, τα οποία ορίστηκαν αρχικά για την πραγματοποίηση της ανελαστικής στατικής μεθόδου, μας υποδεικνύει τα πιθανά σημεία αστοχίας καθώς και την στάθμη επιτελεστικότητας της κατασκευής.

Για να επιτευχθεί ρεαλιστικότερη απεικόνιση της απόκρισης της κατασκευής για κάθε σεισμό ορίστηκαν επιταχυνσιογραφήματα κατά τις δύο διευθύνσεις, X και Ψ.

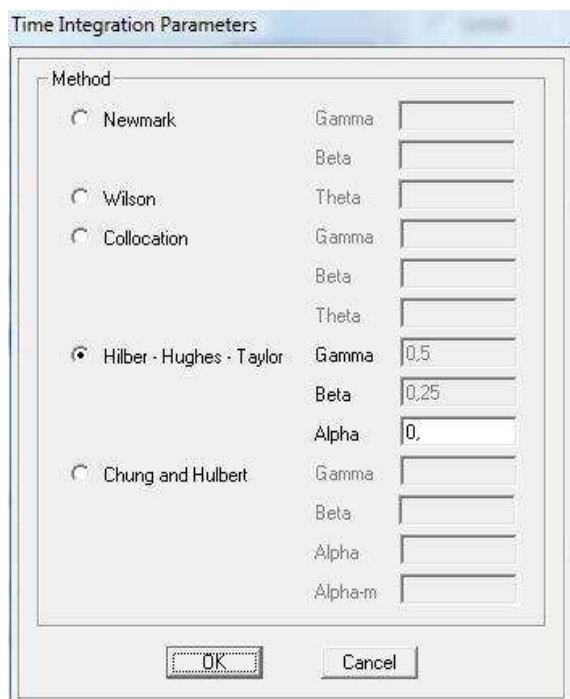
Αξίζει να αναφερθούν και οι παραμέτροι που χρησιμοποιήθηκαν, αν και παρουσιάζονται και στα σχήματα που ακολουθούν. Συγκεκριμένα η απόσβεση υπολογίστηκε βάσει της ιδιοπεριόδου με λόγο απόσβεσης ίσο με 5%, έτσι προσδιορίστηκαν οι συντελεστές α_0 και α_1 και η μέθοδος αριθμητικής ολοκλήρωσης που επιλέχθηκε είναι κατά Hilber-Hughes-Taylor. Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής ορίζεται η τιμή της παραμέτρου Alpha η οποία μπορεί να λάβει τιμές από 0 έως και -1/3. Με τον ορισμό της μηδενικής τιμής επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια με το ενδεχόμενο να προκύψουν

9^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

κάποιες αριθμητικές αστάθειες σε ιδιοσυχνότητες με τιμή περιόδου περίπου ίση με την τιμή του time step. Πιθανόν να απαιτηθεί μία αρνητική τιμή για να υπάρξει σύγκλιση της μεθόδου μη γραμμικής ανάλυσης.



Σχήμα 9.1.1: Ορισμός απόσβεσης βάσει της ιδιοπεριόδου.

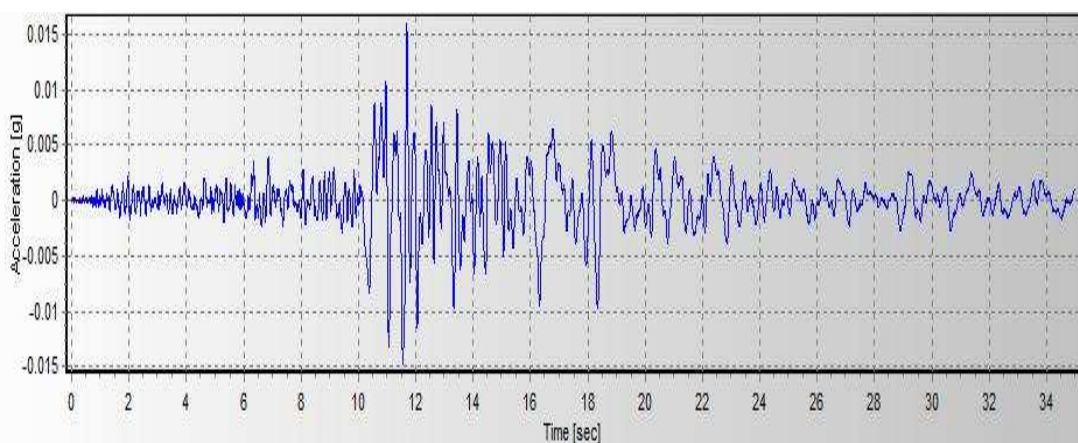


Σχήμα 9.1.2: Επιλογή μεθόδου αριθμητικής ολοκλήρωσης.

9.2 Εφαρμογή του Σεισμού της Δεκέλειας:

Ο σεισμός της Δεκέλειας έγινε στις 15/10/2006 και είχε μεγάλη διάρκεια, περίπου 60.30 sec. Εξαιτίας της μεγάλης του διάρκειας η εφαρμογή της ανάλυσης κατέσκει αδύνατη και για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε μία μείωση της διάρκειας του γραφήματος. Η νέα διάρκεια του είναι στα 35 sec, όπου στο χρόνο αυτό περιλαμβάνεται όλη η σημαντική φόρτιση. Ακολουθούν οι περιπτώσεις που διερευνήθηκαν και για την κάθε περίπτωση δίνεται και το αντίστοιχο επιταχυνσιογράφημα.

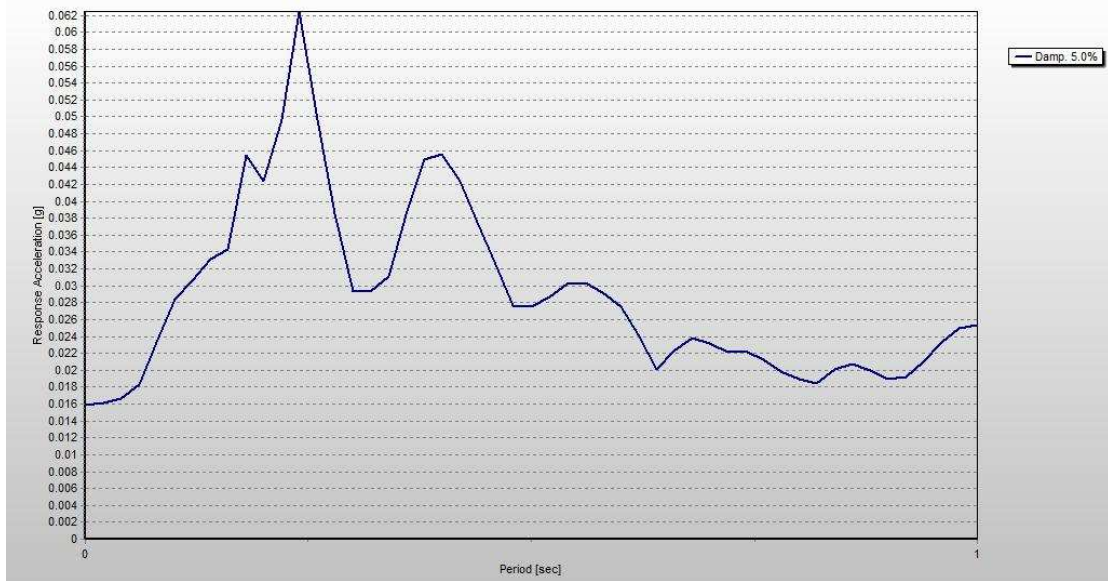
➤ Εφαρμογή κατά X:



Σχήμα 9.2.1: Γράφημα σεισμού κατά X.

Από το γράφημα παρατηρείται πως πρόκειται για μία σεισμική δόνηση με αξιοσημείωτη διάρκεια. Εδώ αξίζει να αναφερθεί πως η μέγιστη τιμή της επιτάχυνσης είναι: 0.016g σε χρόνο $t=11.69$ sec. Το φάσμα απόκρισης που παρουσιάζεται ακολούθως δηλώνει πως κατασκευές με ιδιοπερίοδο γύρω στα 0.80 sec αναμένεται να παρουσιάσουν επιτάχυνση μεγαλύτερη της 0,016g.

9^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση



Σχήμα 9.2.2: Φάσμα απόκρισης διεύθυνσης X.

Η διαδικασία ολοκληρώνεται στα 7000 βήματα με διάρκεια το κάθε ένα 0,005 sec. Ο ορισμός της ανάλυσης παρουσιάζεται πιο κάτω.

The screenshot shows the 'Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History' dialog box. The 'Load Case Name' is 'N.L.T.H.X.DEK'. The 'Load Case Type' is 'Time History'. The 'Analysis Type' is 'Nonlinear' and the 'Time History Type' is 'Direct Integration'. The 'Geometric Nonlinearity Parameters' are set to 'None'. The 'Loads Applied' table is as follows:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	DEK.X_SEIS	9.81
Accel	U1	DEK.X_SEISM0	9.81

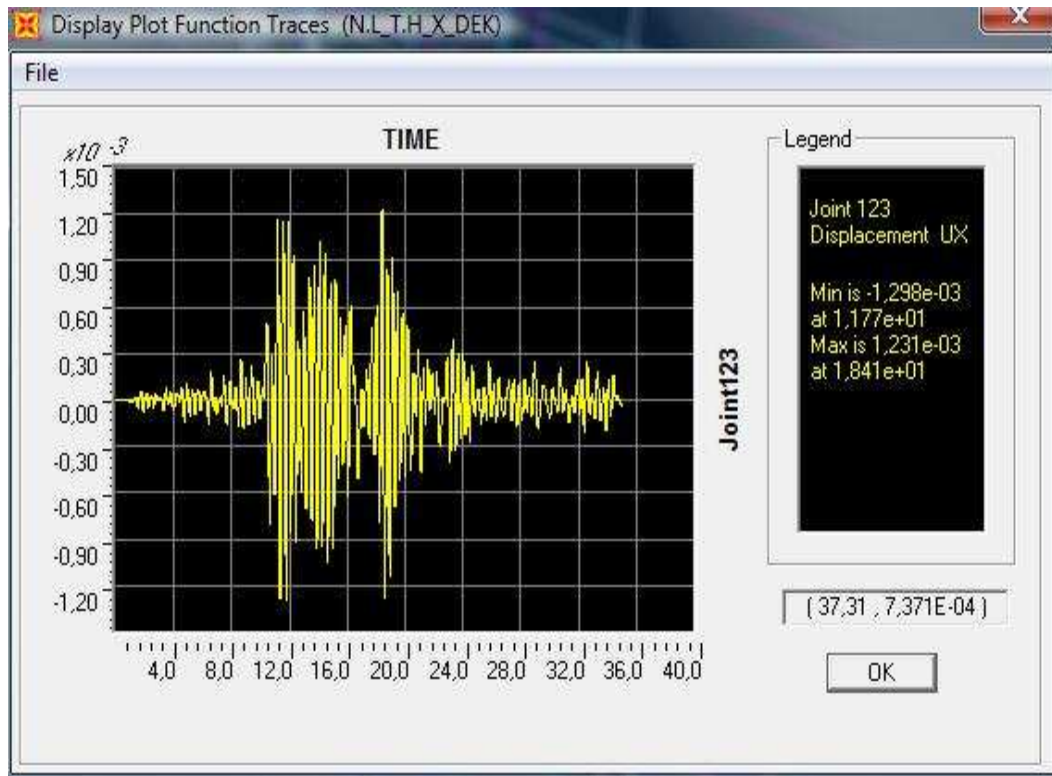
The 'Time Step Data' section shows 'Number of Output Time Steps' as 7000 and 'Output Time Step Size' as 5.000E-03. The 'Time History Motion Type' is 'Transient'. The 'Other Parameters' section shows 'Damping' as 'Proportional Damping', 'Time Integration' as 'Hilber-Hughes-Taylor', and 'Nonlinear Parameters' as 'Default'. The 'OK' and 'Cancel' buttons are visible at the bottom right.

Σχήμα 9.2.3: Ορισμός Ανάλυσης για διεύθυνση X.

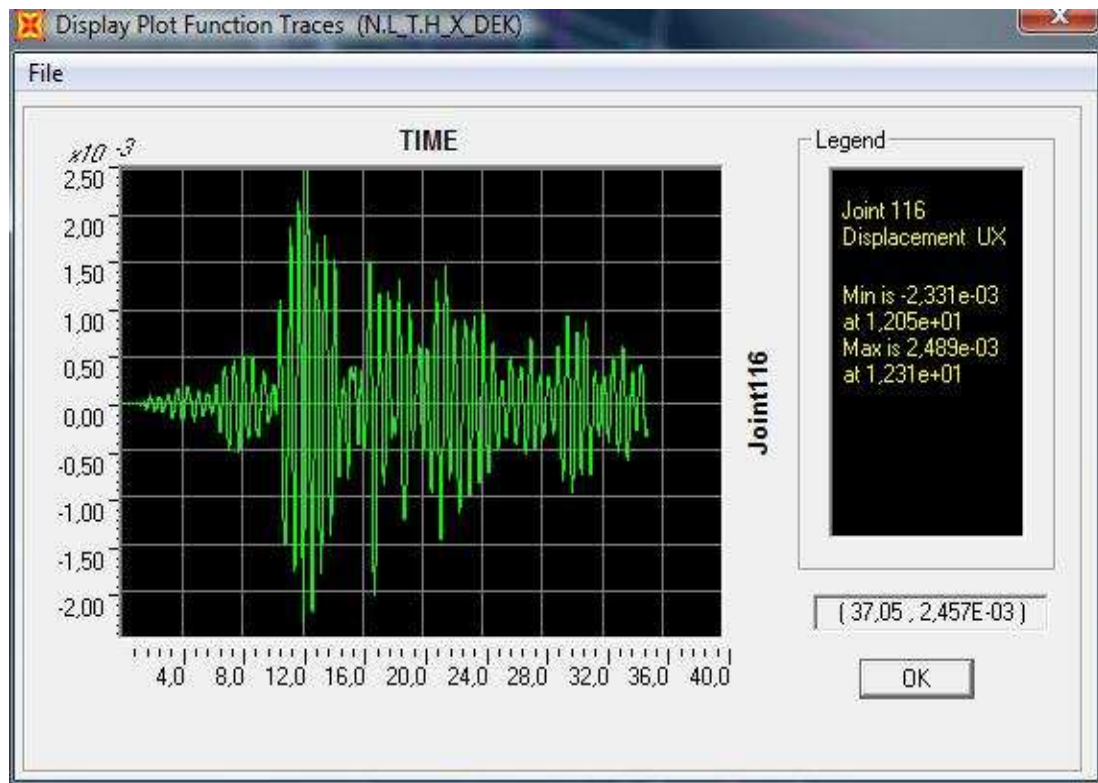
Για την απόκριση της κατασκευής επιλέχθηκαν οι πιο κάτω κόμβοι για τους οποίους και θα παρουσιαστεί η χρονική εξέλιξη της μετατόπισης κατά U1 σε σχέση με τον χρόνο. Οι κόμβοι αυτοί είναι: ο 123 σε δώμα, οι 150 και 116 σε τέταρτο όροφο, οι 73 και 149 σε τρίτο όροφο, 148 και 196 σε δεύτερο όροφο, οι 83 και 113 σε πρώτο όροφο και οι 34 και 118 στο ισόγειο. Αρχικά όμως παρουσιάζεται την παραμορφωσιακή τους κατάσταση συγκεντρωτικά στον πίνακα 9.2.1.

TABLE: Joint Displacements							
Joint	Step Type	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
34	Max	2,0E-04	1,2E-04	1,1E-05	1,5E-06	5,9E-05	5,2E-05
34	Min	-2,0E-04	-1,2E-04	-1,1E-05	-1,5E-06	-6,0E-05	-4,7E-05
73	Max	1,9E-03	9,0E-04	3,7E-05	7,8E-05	1,5E-04	2,0E-04
73	Min	-1,8E-03	-1,0E-03	-3,8E-05	-6,1E-05	-1,5E-04	-1,7E-04
83	Max	8,1E-04	8,0E-04	9,9E-05	1,3E-04	2,4E-05	9,9E-05
83	Min	-9,5E-04	-8,7E-04	-8,9E-05	-1,2E-04	-3,1E-05	-8,9E-05
113	Max	1,0E-03	6,1E-04	6,2E-05	5,6E-05	1,6E-04	9,9E-05
113	Min	-1,0E-03	-5,4E-04	-6,9E-05	-6,7E-05	-1,5E-04	-8,9E-05
116	Max	2,5E-03	1,3E-03	7,4E-05	1,8E-05	1,2E-04	2,4E-04
116	Min	-2,3E-03	-1,1E-03	-7,6E-05	-2,2E-05	-1,2E-04	-2,0E-04
118	Max	2,2E-04	2,9E-04	5,6E-05	3,9E-05	5,5E-05	5,2E-05
118	Min	-2,2E-04	-3,1E-04	-7,1E-05	-3,7E-05	-5,9E-05	-4,7E-05
123	Max	1,5E-03	1,6E-03	1,0E-04	7,4E-05	9,5E-05	2,9E-04
123	Min	-1,6E-03	-2,0E-03	-1,3E-04	-6,5E-05	-9,9E-05	-2,3E-04
148	Max	2,0E-04	2,9E-04	1,1E-05	9,8E-05	5,7E-05	5,2E-05
148	Min	-1,9E-04	-3,1E-04	-1,0E-05	-9,3E-05	-5,3E-05	-4,7E-05
149	Max	1,0E-03	1,1E-03	2,6E-05	1,3E-04	9,4E-05	2,0E-04
149	Min	-9,5E-04	-1,3E-03	-2,4E-05	-9,4E-05	-8,7E-05	-1,7E-04
150	Max	1,3E-03	1,3E-03	2,8E-05	1,3E-04	9,4E-05	2,4E-04
150	Min	-1,2E-03	-1,6E-03	-2,5E-05	-9,3E-05	-8,7E-05	-2,0E-04
196	Max	7,3E-04	4,5E-04	2,2E-04	1,5E-05	9,0E-05	1,5E-04
196	Min	-6,8E-04	-4,7E-04	-2,3E-04	-1,5E-05	-8,3E-05	-1,3E-04

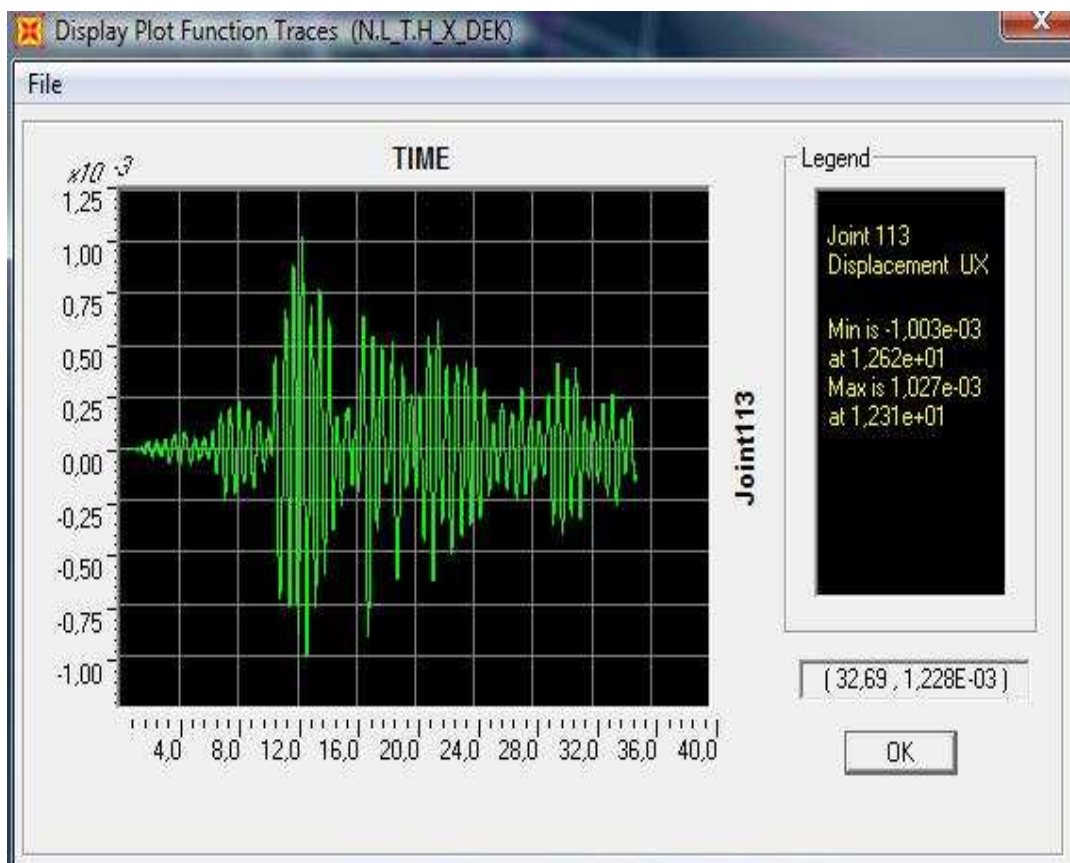
Πίνακας 9.2.1: Παραμορφωσιακά μεγέθη κόμβων.



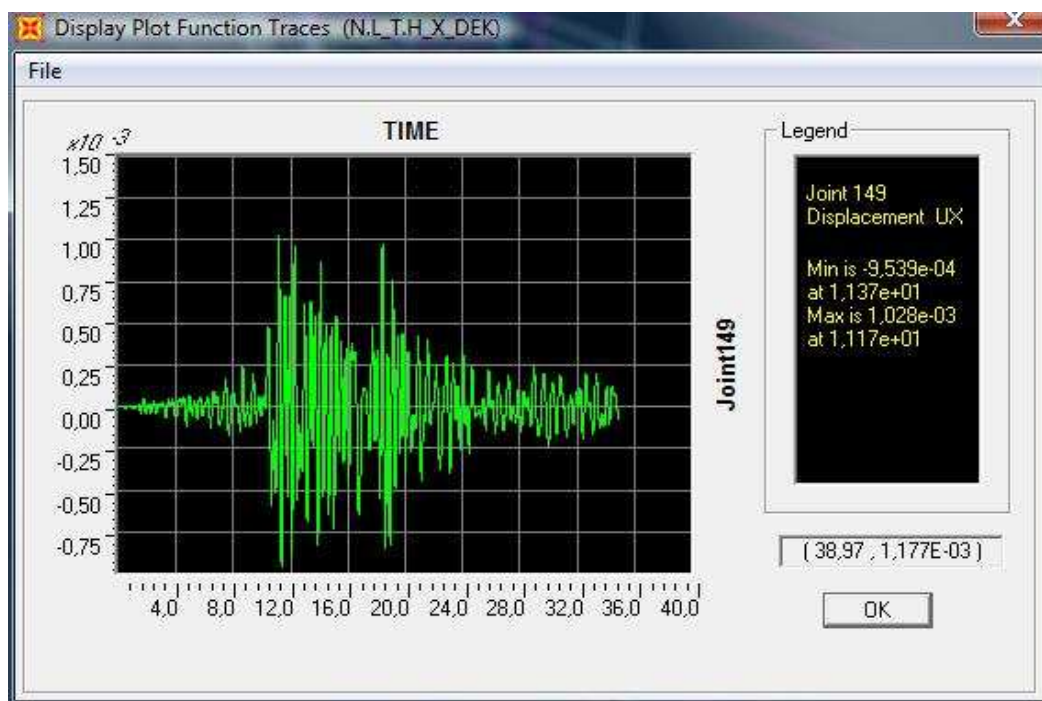
Σχήμα 9.2.4: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στο κόμβο 123.



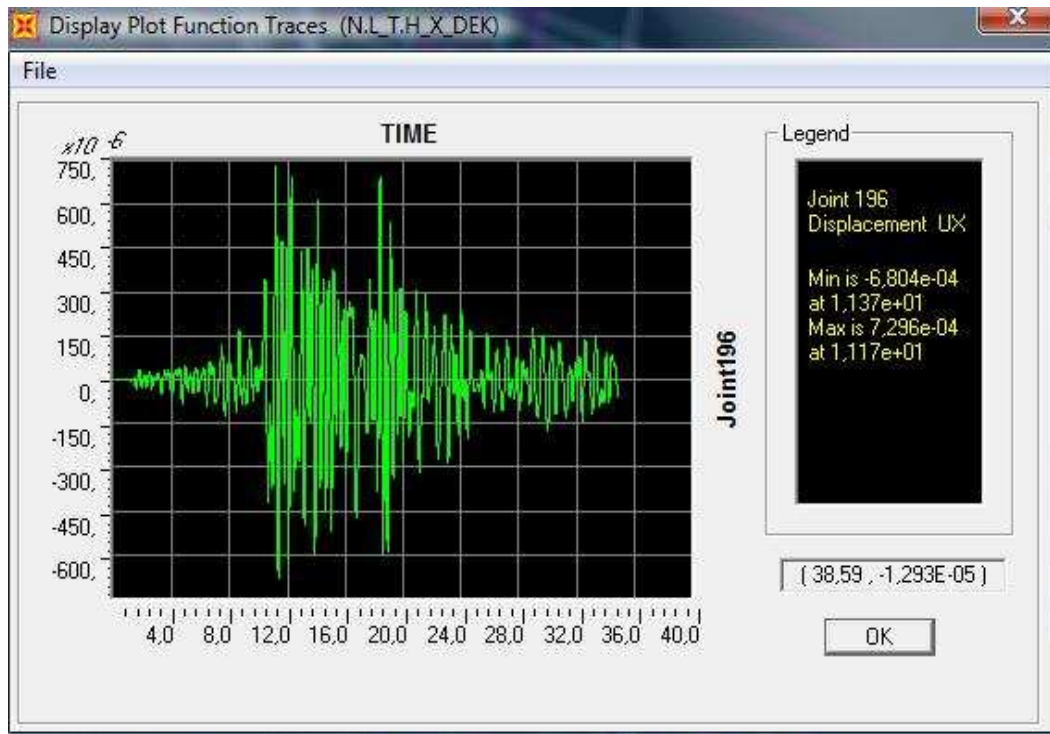
Σχήμα 9.2.5: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στον κόμβο 116.



Σχήμα 9.2.6: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στον κόμβο 113.



Σχήμα 9.2.7: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στο κόμβο 149.



Σχήμα 9.2.8: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στο κόμβο 196.

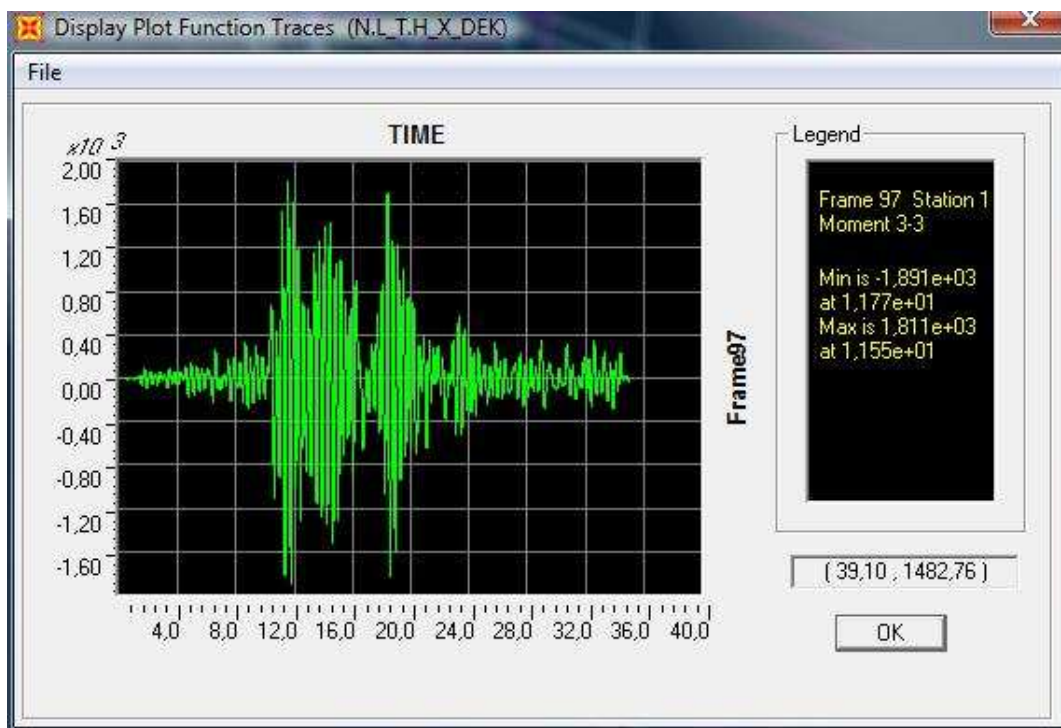
Στη συνέχεια παρουσιάζεται η συμπεριφορά κάποιων κρίσιμων μελών μέσω των εντατικών τους μεγεθών. Συγκεκριμένα θα είναι μέλη μόνο στη στάθμη του ισογείου. Αυτά τα μέλη είναι τα 97 και 121 για τα τοιχώματα διαστάσεων 5.90*0.20m (K19_A και K20) και το 92 για το ορθογωνικό υποστύλωμα διαστάσεων 0.70*0.70m (K18).

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
92	0	Max	45,03	14,81	13,78	5,08	38,29	51,17
92	2,18	Max	45,03	14,81	13,78	5,08	8,37	21,44
92	4,36	Max	45,03	14,81	13,78	5,08	20,82	14,90
92	0	Min	-49,43	-16,09	-12,91	-4,68	-35,49	-55,50
92	2,18	Min	-49,43	-16,09	-12,91	-4,68	-7,39	-20,55
92	4,36	Min	-49,43	-16,09	-12,91	-4,68	-21,83	-17,00
97	0	Max	462,24	230,68	3,84	2,32	8,97	1811,26
97	2,18	Max	462,24	230,68	3,84	2,32	1,02	1314,09
97	4,36	Max	462,24	230,68	3,84	2,32	8,21	925,04
97	0	Min	-587,80	-218,79	-4,13	-2,13	-9,83	-1891,20
97	2,18	Min	-587,80	-218,79	-4,13	-2,13	-1,08	-1414,86
97	4,36	Min	-587,80	-218,79	-4,13	-2,13	-7,78	-955,24
121	0	Max	93,67	191,45	1,56	2,32	5,88	1769,85
121	2,18	Max	93,67	191,45	1,56	2,32	2,55	1363,91
121	4,36	Max	93,67	191,45	1,56	2,32	0,96	957,98
121	0	Min	-84,76	-183,80	-1,60	-2,13	-6,16	-1671,87
121	2,18	Min	-84,76	-183,80	-1,60	-2,13	-2,71	-1271,21

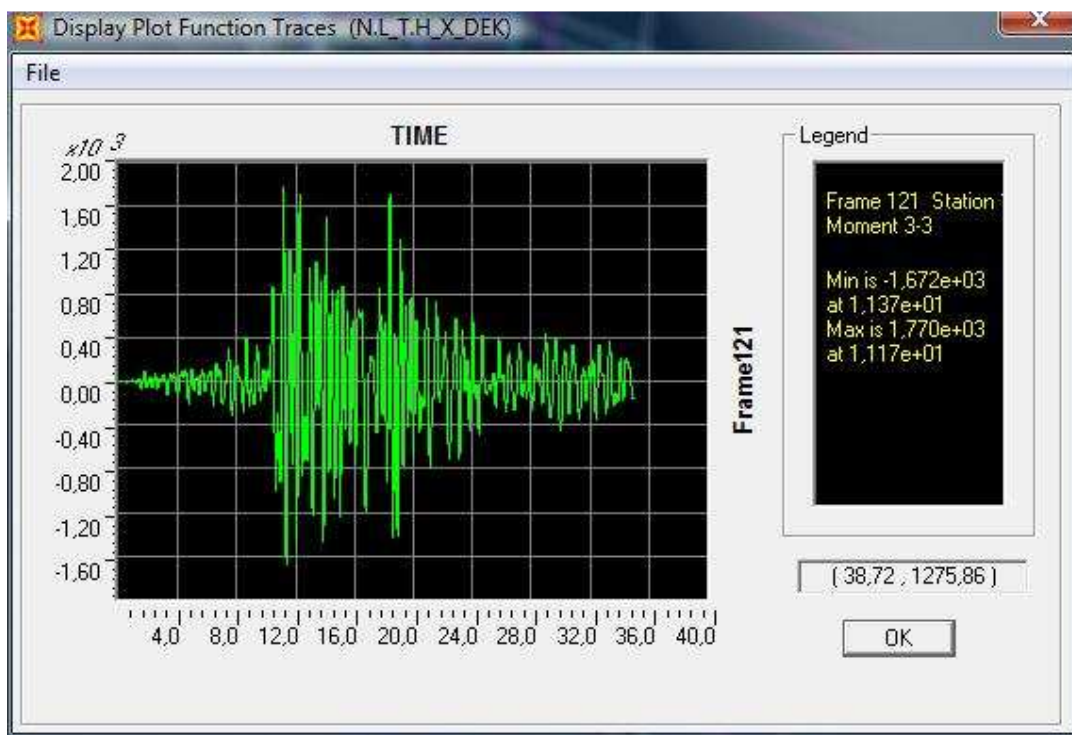
9^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

121	4,36	Min	-84,76	-183,80	-1,60	-2,13	-1,19	-870,56
-----	------	-----	--------	---------	-------	-------	-------	---------

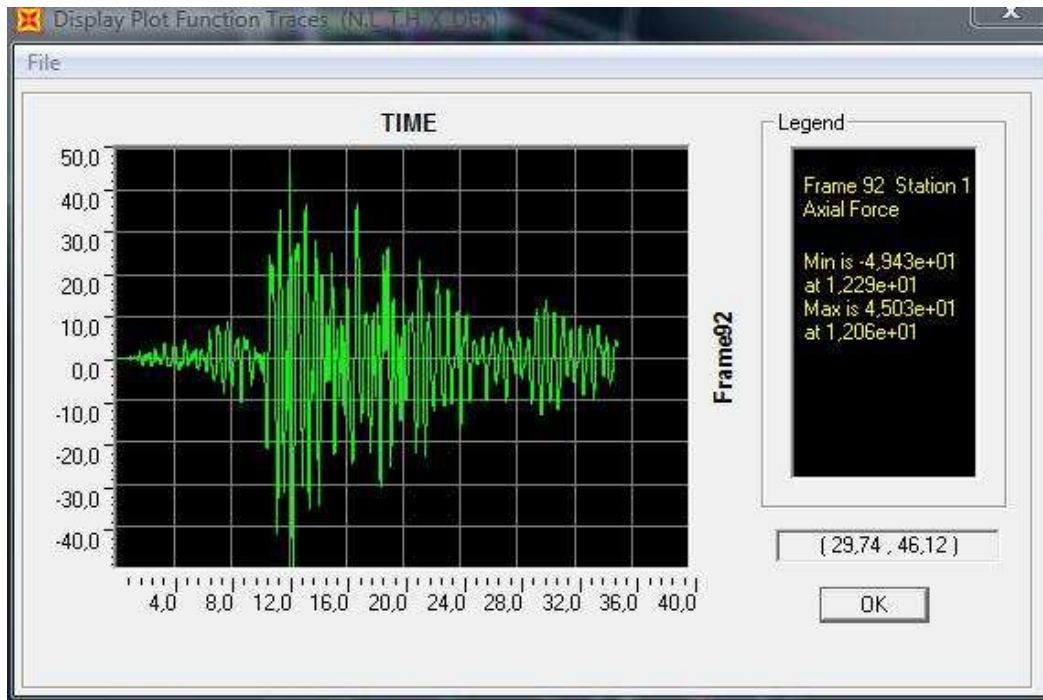
Πίνακας 9.2.2: Εντατικά μεγέθη μελών



Σχήμα 9.2.9: Χρονική εξέλιξη της Ροπής M3 του μέλους 97.

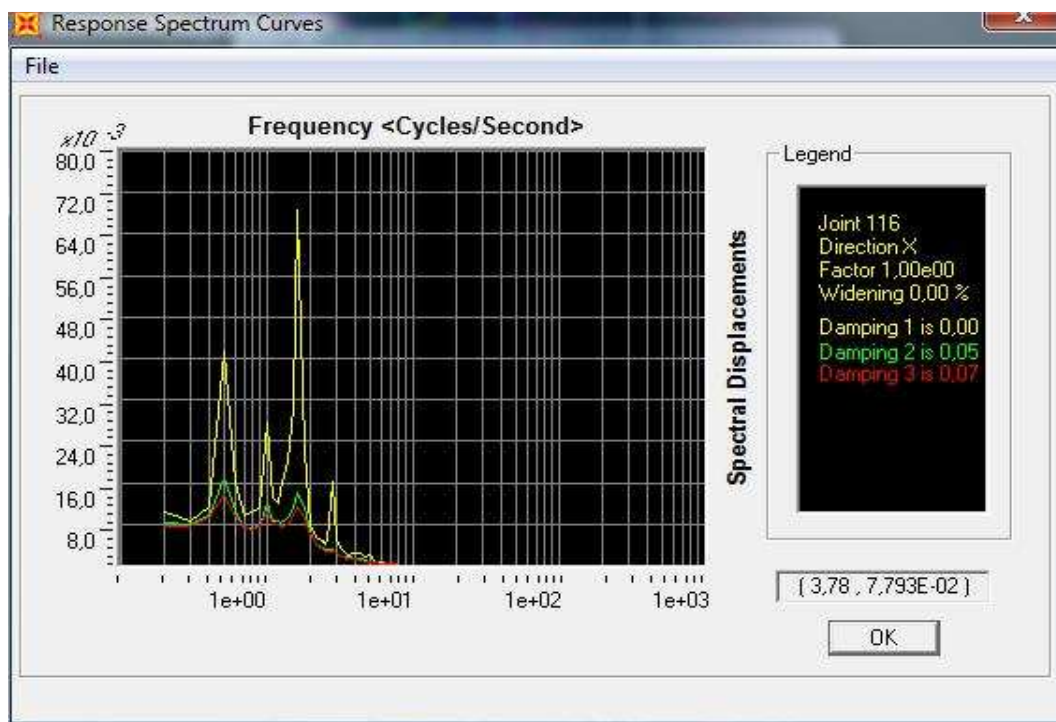


Σχήμα 9.2.10: Η χρονική εξέλιξη της ροπής M3 του μέλους 121.



Σχήμα 9.2.11: Χρονική εξέλιξη της Ροπής M3 του μέλους 92.

Ακόμα παρουσιάζεται το φάσμα απόκρισης της μετατόπισης για τον κόμβο 116 σε λογαριθμική κλίμακα στον οριζόντιο άξονα.



Σχήμα 9.2.12: Φάσμα απόκρισης μετατόπισης κόμβου 116.

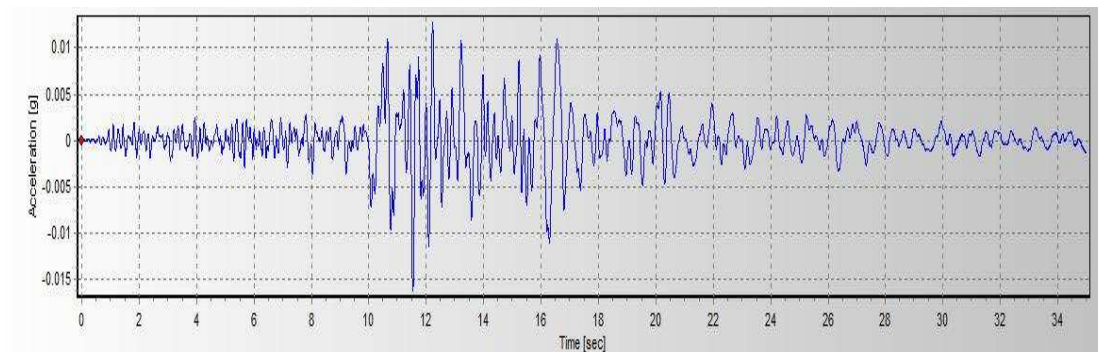
Το αποτέλεσμα από την εφαρμογή της μεθόδου είναι πως κανένα σημείο της κατασκευής δεν φτάνει καν στο όριο διαρροής. Το αποτέλεσμα κρίνεται φυσιολογικό από το γράφημα του φάσματος απόκρισης του σεισμικού γεγονότος που αναπτύσσει σχετικά μικρές επιταχύνσεις. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι επιταχύνσεις στους κόμβους που επιλέχθηκαν για την απεικόνιση της παραμορφωσιακής τους κατάστασης.

TABLE: Joint Accelerations - Relative							
Joint	Step Type	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m/sec ²	m/sec ²	m/sec ²	rad/sec ²	rad/sec ²	rad/sec ²
34	Max	0,06204	0,02182	3,7E-03	7,2E-04	1,9E-02	1,1E-02
34	Min	-0,06185	-0,02142	-4,3E-03	-4,8E-04	-1,9E-02	-1,0E-02
73	Max	0,34065	0,17115	8,7E-03	1,1E-02	3,6E-02	2,7E-02
73	Min	-0,31473	-0,14628	-7,4E-03	-1,9E-02	-3,5E-02	-3,4E-02
83	Max	0,24755	0,15009	1,3E-02	1,7E-02	8,1E-03	1,7E-02
83	Min	-0,24884	-0,17116	-1,6E-02	-2,2E-02	-7,1E-03	-1,7E-02
113	Max	0,14844	0,10352	1,3E-02	1,2E-02	3,1E-02	1,7E-02
113	Min	-0,17346	-0,10413	-1,7E-02	-9,0E-03	-3,0E-02	-1,7E-02
116	Max	0,44817	0,17445	1,7E-02	8,5E-03	3,0E-02	3,3E-02
116	Min	-0,42541	-0,2478	-2,2E-02	-4,5E-03	-3,0E-02	-4,7E-02
118	Max	0,07774	0,06126	1,8E-02	5,1E-03	2,1E-02	1,1E-02
118	Min	-0,07878	-0,07537	-1,6E-02	-6,0E-03	-2,0E-02	-1,0E-02
123	Max	0,60301	0,41465	3,9E-02	1,2E-02	4,0E-02	4,0E-02
123	Min	-0,53656	-0,27221	-2,6E-02	-1,7E-02	-3,2E-02	-6,0E-02
148	Max	0,20395	0,139	7,5E-03	1,5E-02	3,0E-02	2,2E-02
148	Min	-0,19831	-0,15286	-6,7E-03	-2,4E-02	-2,7E-02	-2,3E-02
149	Max	0,30357	0,20975	8,6E-03	1,9E-02	3,2E-02	2,7E-02
149	Min	-0,29134	-0,17323	-7,8E-03	-3,3E-02	-3,0E-02	-3,4E-02
150	Max	0,40514	0,31095	9,2E-03	2,1E-02	3,3E-02	3,3E-02
150	Min	-0,38347	-0,21678	-8,3E-03	-3,6E-02	-3,0E-02	-4,7E-02
196	Max	0,20395	0,07294	7,1E-02	3,5E-03	3,0E-02	2,2E-02
196	Min	-0,19831	-0,09231	-7,7E-02	-3,9E-03	-2,7E-02	-2,3E-02

Πίνακας 9.2.3: Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις κόμβων.

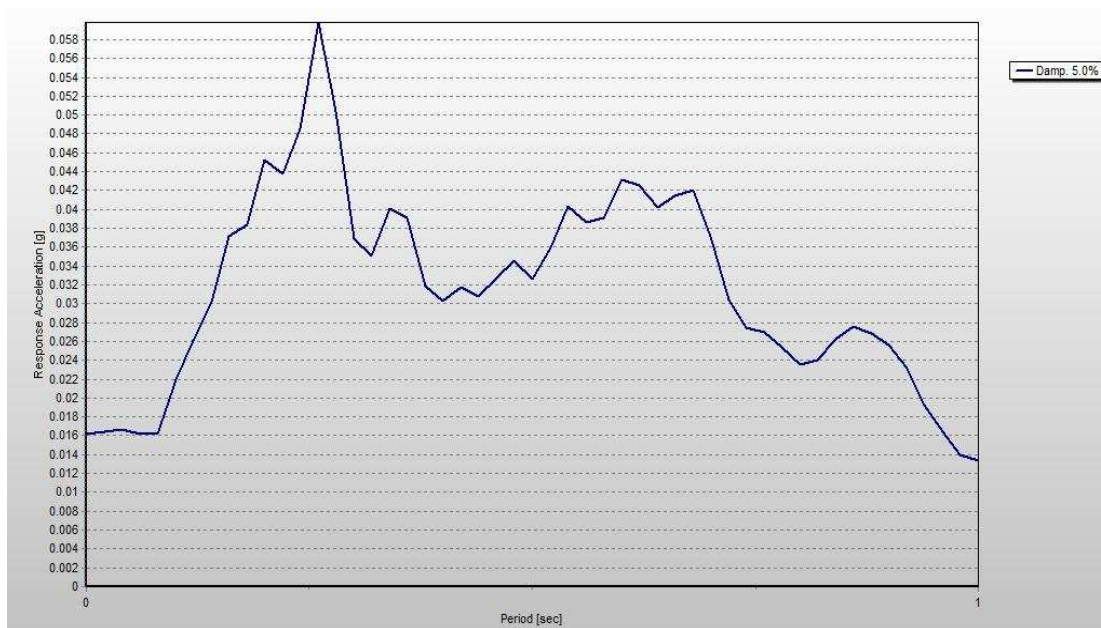
➤ Εφαρμογή κατά Ψ:

Καταρχάς να σημειωθεί πως στην εν λόγω ανάλυση υιοθετήθηκε απόσβεση ίση με μηδέν. Αυτό έγινε για σκοπούς συγκρίσεως με τις επόμενες αναλύσεις κατά την Ψ διεύθυνση έτσι ώστε να αναδειχθεί η σημασία της απόσβεσης στις κτιριακές κατασκευές.



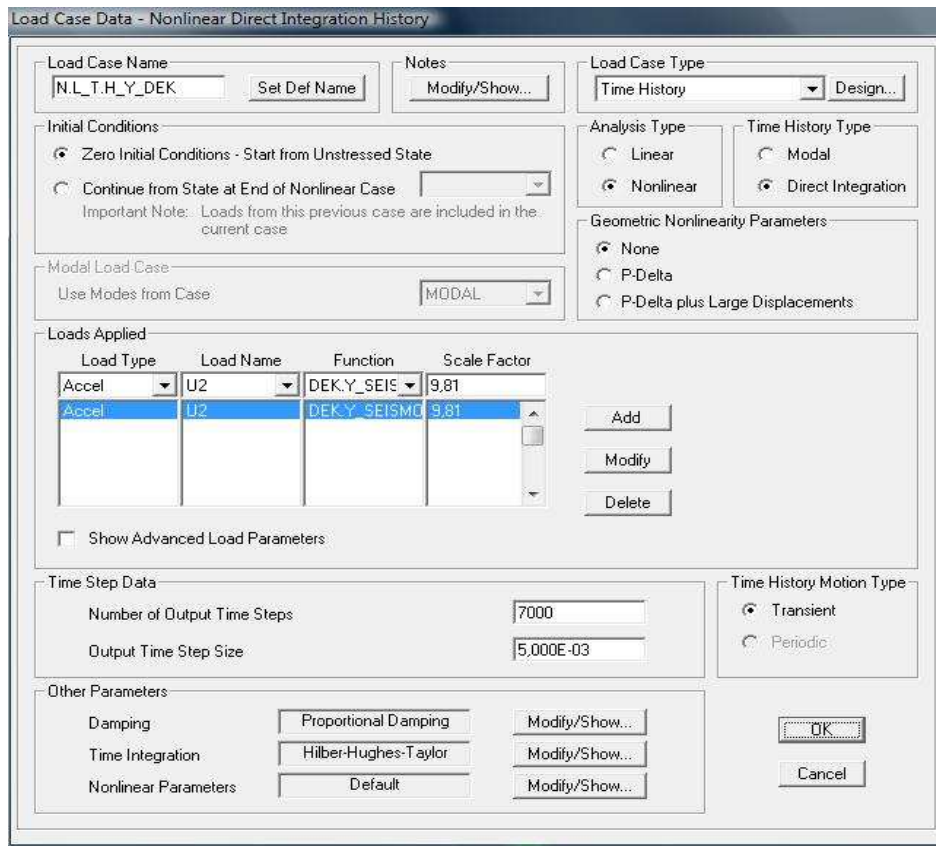
Σχήμα 9.2.13: Γράφημα σεισμού κατά Ψ.

Παρατηρείται πως πρόκειται για μία σεισμική δόνηση της οποίας η μέγιστη επιτάχυνση είναι: 0.0162g σε χρόνο $t=11.53$ sec. Το φάσμα απόκρισης που παρουσιάζεται ακολούθως δηλώνει πως κατασκευές με ιδιοπερίοδο γύρω στα 0.80 sec πρόκειται να αναπτύξουν επιταχύνσεις περί τα 0.026 με 0.028g.



Σχήμα 9.2.14: Φάσμα απόκρισης διεύθυνσης Ψ.

Η διαδικασία ολοκληρώνεται στα 7000 βήματα με διάρκεια το κάθε ένα 0,005 sec. Ο ορισμός της ανάλυσης παρουσιάζεται πιο κάτω.



Σχήμα 9.2.15: Ορισμός Ανάλυσης για διεύθυνση Ψ.

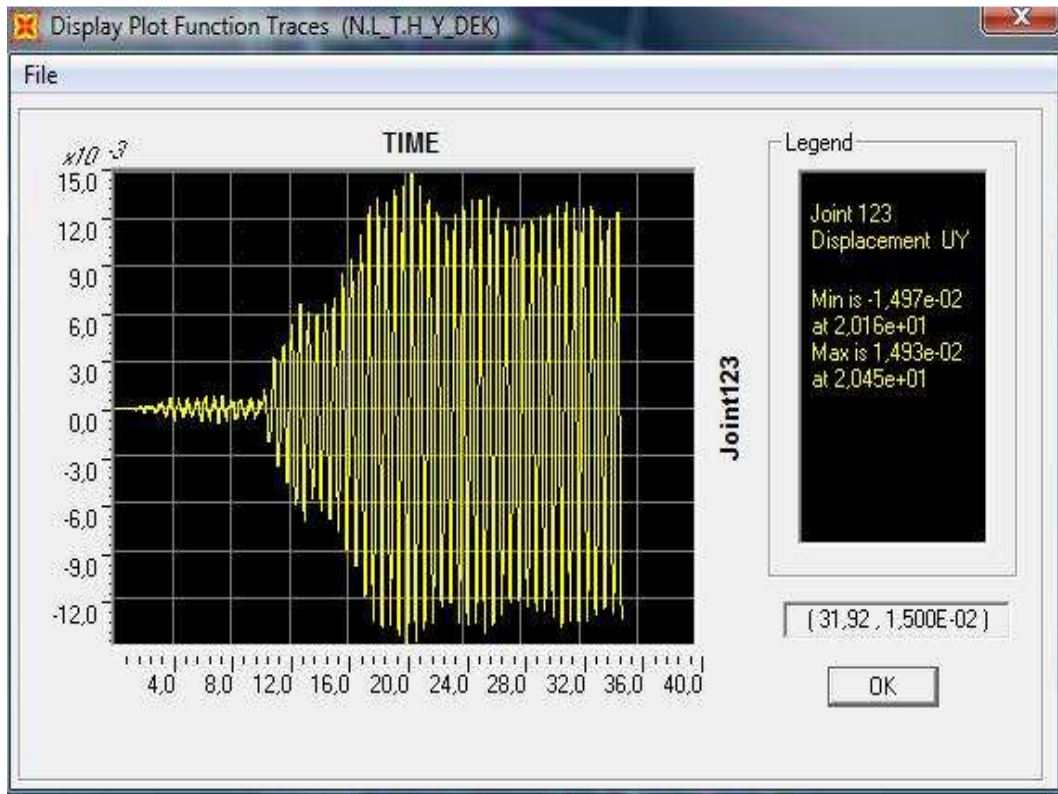
Για την απόκριση της κατασκευής επιλέχθηκαν οι εξής κόμβοι, για τους οποίους και θα παρουσιαστεί η χρονική εξέλιξη της μετατόπισης κατά U2 σε σχέση με τον χρόνο. Οι κόμβοι αυτοί είναι: ο 123 σε δώμα, οι 150 και 181 σε τέταρτο όροφο, οι 173 και 156 σε τρίτο όροφο, οι 206 και 232 σε δεύτερο όροφο, οι 65 και 41 σε πρώτο όροφο και οι 46 και 34 στο ισόγειο. Αρχικά όμως παρουσιάζεται η παραμορφωσιακή τους κατάσταση συγκεντρωτικά στον πίνακα 9.2.4.

TABLE: Joint Displacements							
Joint	Step Type	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
34	Max	0,000338	0,002922	4,2E-05	3,5E-05	1,2E-04	9,2E-05
34	Min	-0,00038	-0,003079	-4,2E-05	-3,4E-05	-1,2E-04	-7,2E-05
41	Max	0,00081	0,005523	5,5E-05	5,1E-04	1,7E-04	1,8E-04
41	Min	-0,000857	-0,005647	-5,5E-05	-5,0E-04	-1,7E-04	-1,5E-04
46	Max	0,000795	0,002841	2,2E-05	8,2E-04	2,8E-04	9,2E-05
46	Min	-0,000737	-0,003206	-2,2E-05	-7,5E-04	-2,6E-04	-7,2E-05
65	Max	0,001679	0,00524	4,4E-06	6,7E-04	3,1E-04	1,8E-04

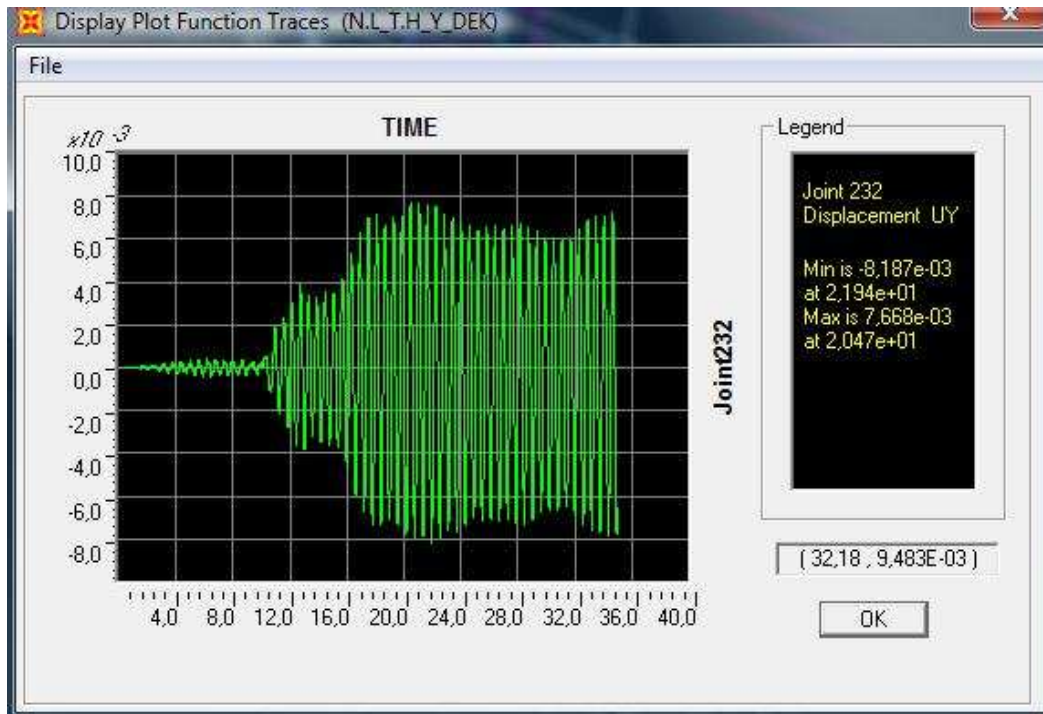
9^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

65	Min	-0,001592	-0,005507	-4,1E-06	-6,5E-04	-3,1E-04	-1,5E-04
123	Max	0,002153	0,014934	4,8E-04	6,8E-04	1,3E-04	5,4E-04
123	Min	-0,002271	-0,014971	-4,5E-04	-6,8E-04	-1,3E-04	-5,2E-04
150	Max	0,002927	0,012325	9,8E-05	8,7E-04	2,2E-04	4,6E-04
150	Min	-0,002924	-0,012394	-1,0E-04	-8,9E-04	-2,1E-04	-4,3E-04
156	Max	0,006116	0,010661	4,6E-04	7,3E-04	6,2E-04	3,6E-04
156	Min	-0,005913	-0,010791	-4,5E-04	-7,4E-04	-6,1E-04	-3,3E-04
173	Max	0,001795	0,008783	1,7E-03	7,4E-04	7,1E-05	3,6E-04
173	Min	-0,001882	-0,009281	-1,7E-03	-7,3E-04	-7,9E-05	-3,3E-04
181	Max	0,001948	0,010888	1,5E-03	4,6E-04	8,2E-05	4,6E-04
181	Min	-0,002007	-0,011027	-1,5E-03	-4,7E-04	-9,1E-05	-4,3E-04
206	Max	0,004809	0,007029	6,6E-04	7,3E-05	2,8E-04	2,7E-04
206	Min	-0,004492	-0,007388	-6,8E-04	-7,2E-05	-2,7E-04	-2,4E-04
232	Max	0,000989	0,007668	1,8E-04	2,6E-04	1,3E-04	2,7E-04
232	Min	-0,001109	-0,008187	-1,6E-04	-2,5E-04	-1,3E-04	-2,4E-04

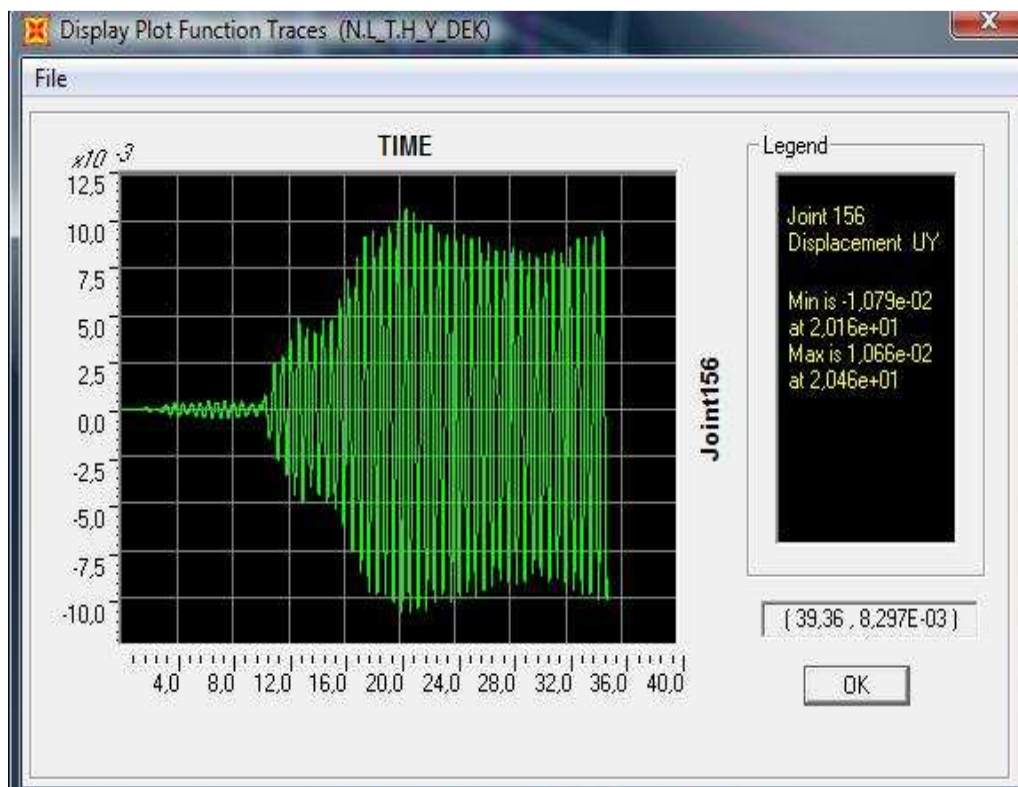
Πίνακας 9.2.4: Παραμορφωσιακά μεγέθη κόμβων.



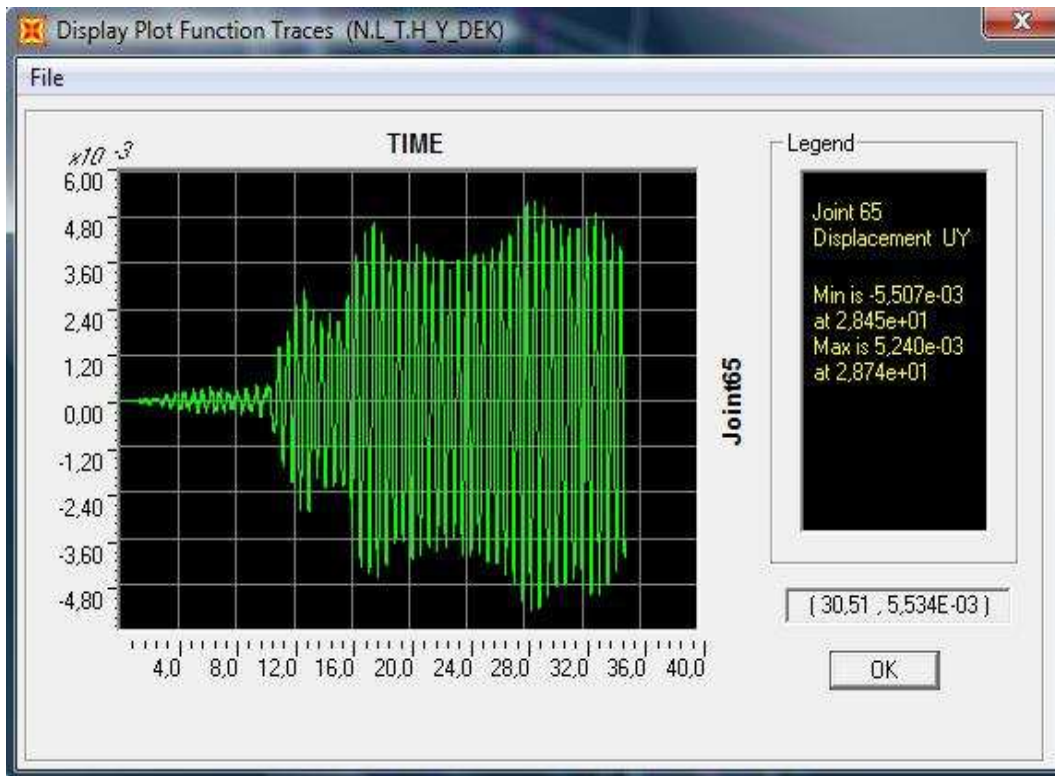
Σχήμα 9.2.16: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στο κόμβο 123.



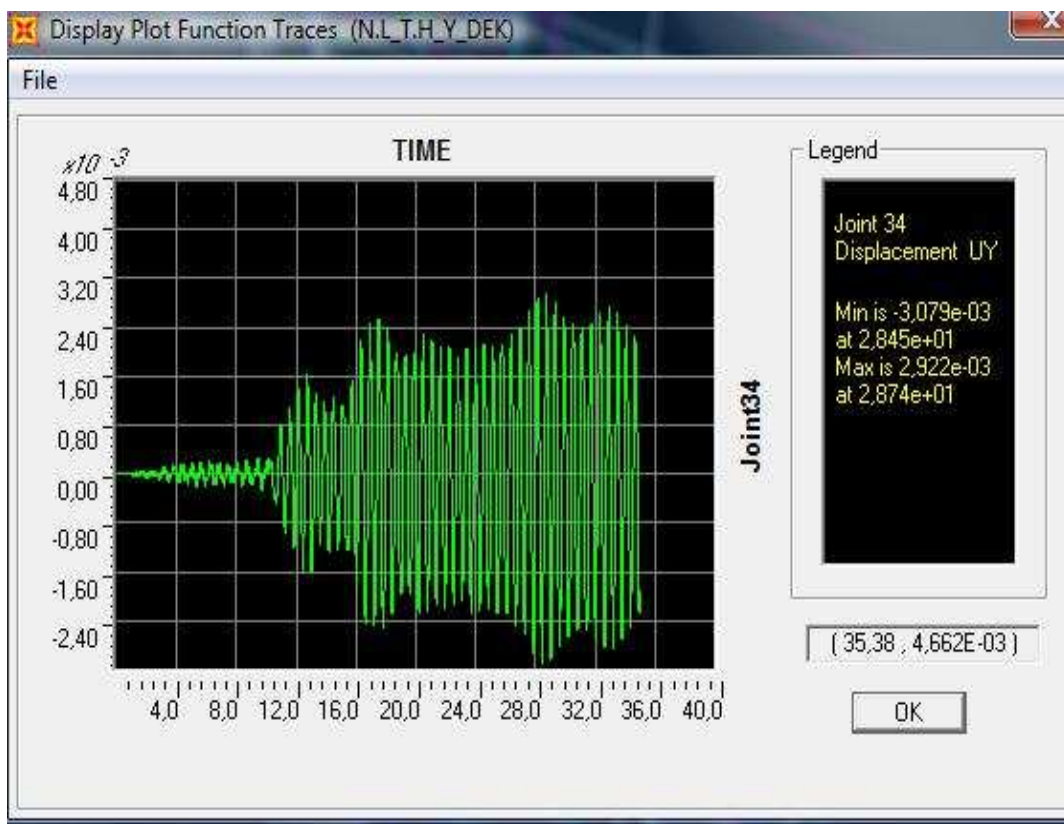
Σχήμα 9.2.17 Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στον κόμβο 232.



Σχήμα 9.2.18: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στον κόμβο 156.



Σχήμα 9.2.19: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στο κόμβο 65.



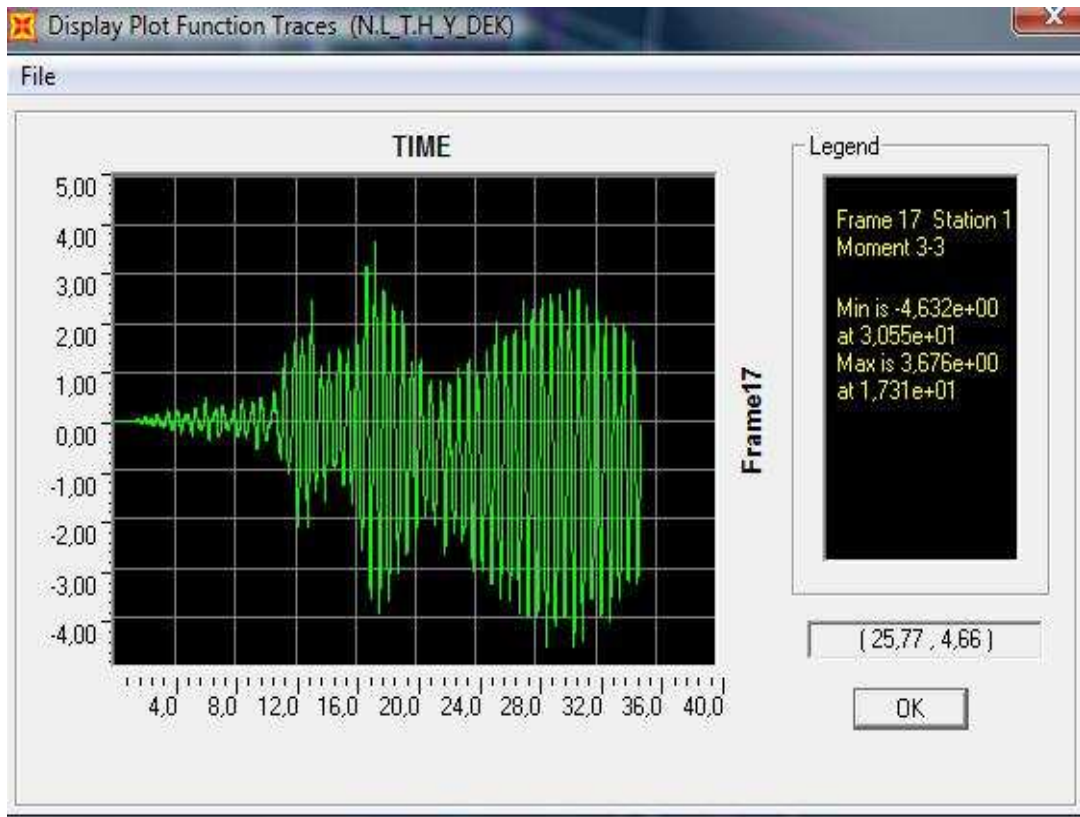
Σχήμα 9.2.20: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στο κόμβο 34.

9^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

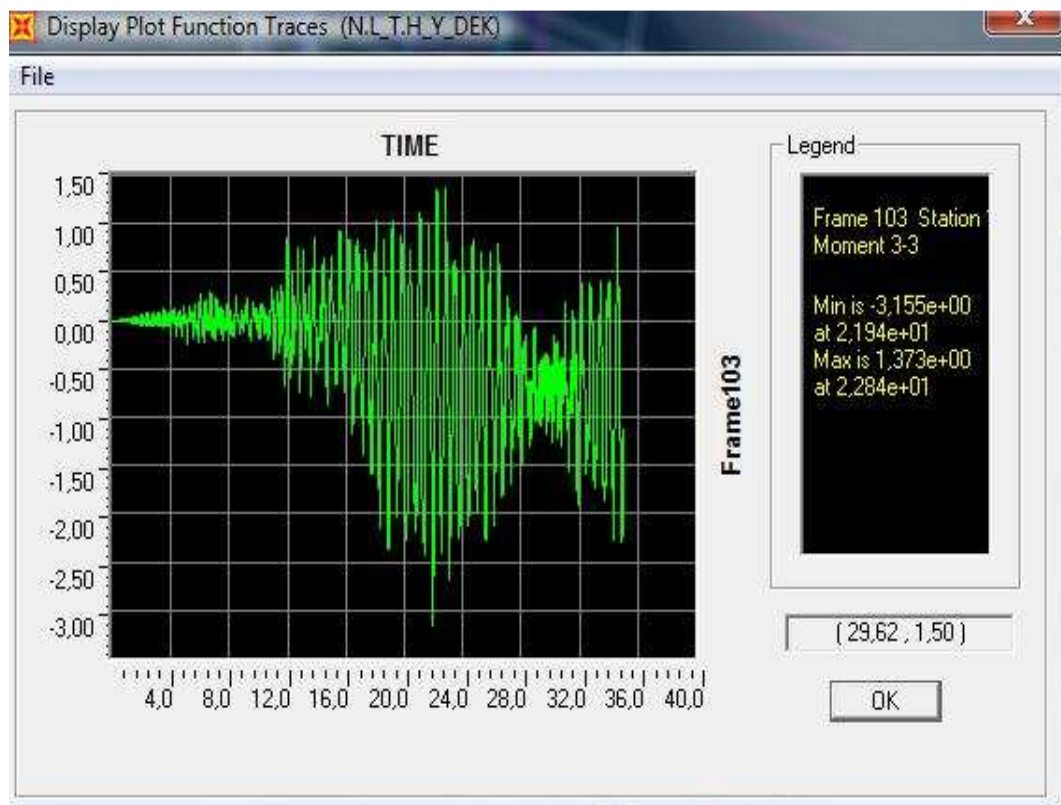
Στη συνέχεια θα μελετηθεί η συμπεριφορά κάποιων κρίσιμων μελών μέσω των εντατικών τους μεγεθων. Συγκεκριμένα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα μελών μόνο από τη στάθμη του ισογείου. Αυτά τα μέλη είναι το 109 για το τοίχωμα K19_C που έχει διαστάσεις 2.20*0.20m, του 103 για το τοίχωμα διαστάσεων 2.20*0.20m (K19_B) και το 17 για το υποστύλωμα K5 διαστάσεων 0.30*0.70m.

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	Step Type	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
17	0	Max	240,26	1,11	57,76	1,24	166,32	3,68
17	2,18	Max	240,26	1,11	57,76	1,24	40,41	1,30
17	4,36	Max	240,26	1,11	57,76	1,24	86,46	2,43
17	0	Min	-236,42	-1,43	-58,63	-0,97	-169,14	-4,63
17	2,18	Min	-236,42	-1,43	-58,63	-0,97	-41,34	-1,60
17	4,36	Min	-236,42	-1,43	-58,63	-0,97	-85,51	-1,35
103	0	Max	291,43	1,36	788,29	1,49	2389,10	1,37
103	2,18	Max	291,43	1,36	788,29	1,49	674,38	2,72
103	4,36	Max	291,43	1,36	788,29	1,49	927,01	7,32
103	0	Min	-307,54	-2,40	-698,78	-1,16	-2135,62	-3,16
103	2,18	Min	-307,54	-2,40	-698,78	-1,16	-641,52	-2,15
103	4,36	Min	-307,54	-2,40	-698,78	-1,16	-1061,46	-4,63
109	0	Max	1084,91	244,46	14,48	1,49	33,52	222,92
109	2,18	Max	1084,91	244,46	14,48	1,49	4,32	227,93
109	4,36	Max	1084,91	244,46	14,48	1,49	13,95	383,88
109	0	Min	-1413,34	-93,96	-8,62	-1,16	-23,93	-168,56
109	2,18	Min	-1413,34	-93,96	-8,62	-1,16	-8,82	-428,84
109	4,36	Min	-1413,34	-93,96	-8,62	-1,16	-29,62	-897,30

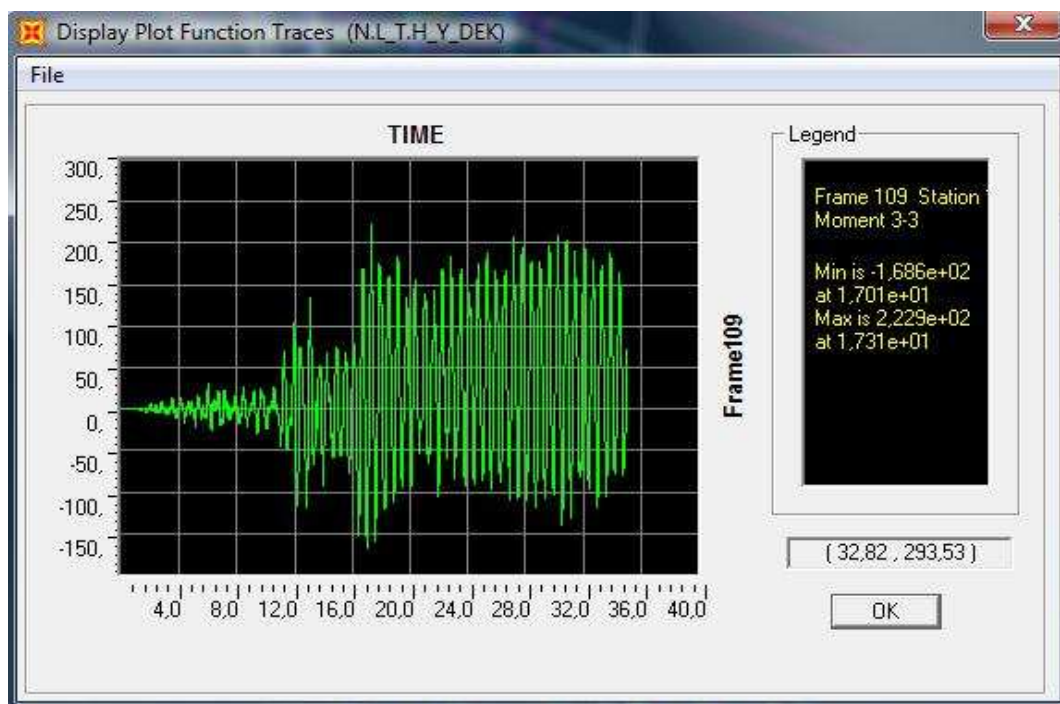
Πίνακας 9.2.5: Εντατικά μεγέθη μελών



Σχήμα 9.2.21: Χρονική εξέλιξη της Ροπής M3 του μέλους 17.

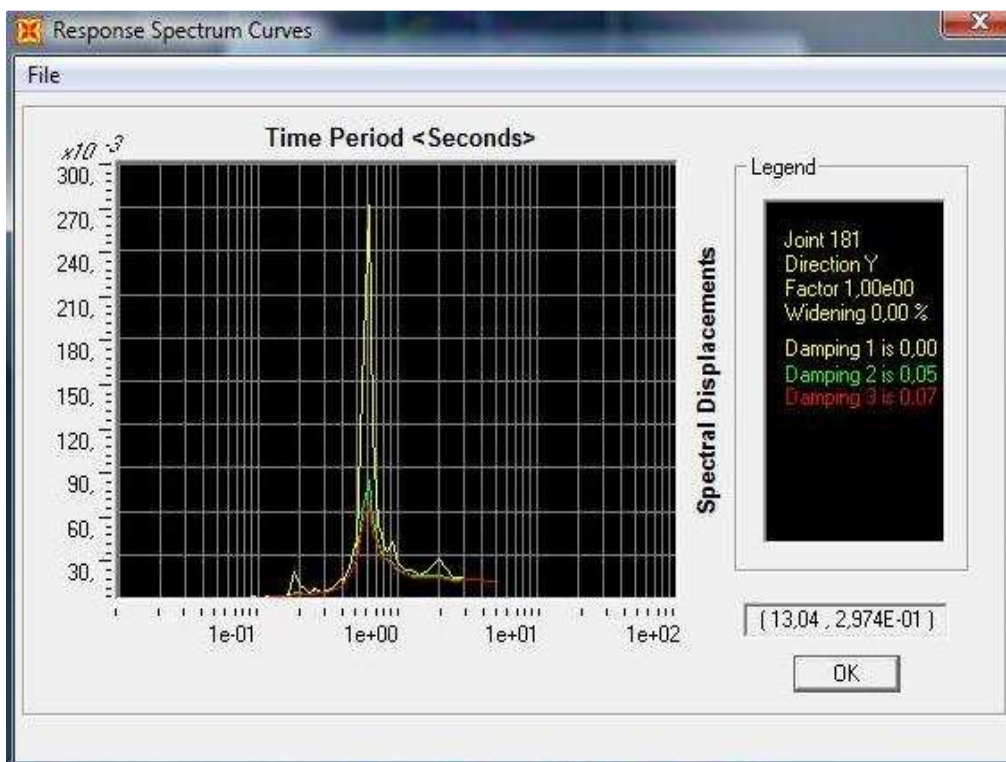


Σχήμα 9.2.22: Η χρονική εξέλιξη της ροπής M3 του μέλους 103.



Σχήμα 9.2.23: Χρονική εξέλιξη της Ροπής M3 του μέλους 109.

Ακόμα παρουσιάζεται το φάσμα απόκρισης της μετατόπισης για τον κόμβο 181 σε λογαριθμική κλίμακα στον οριζόντιο άξονα.



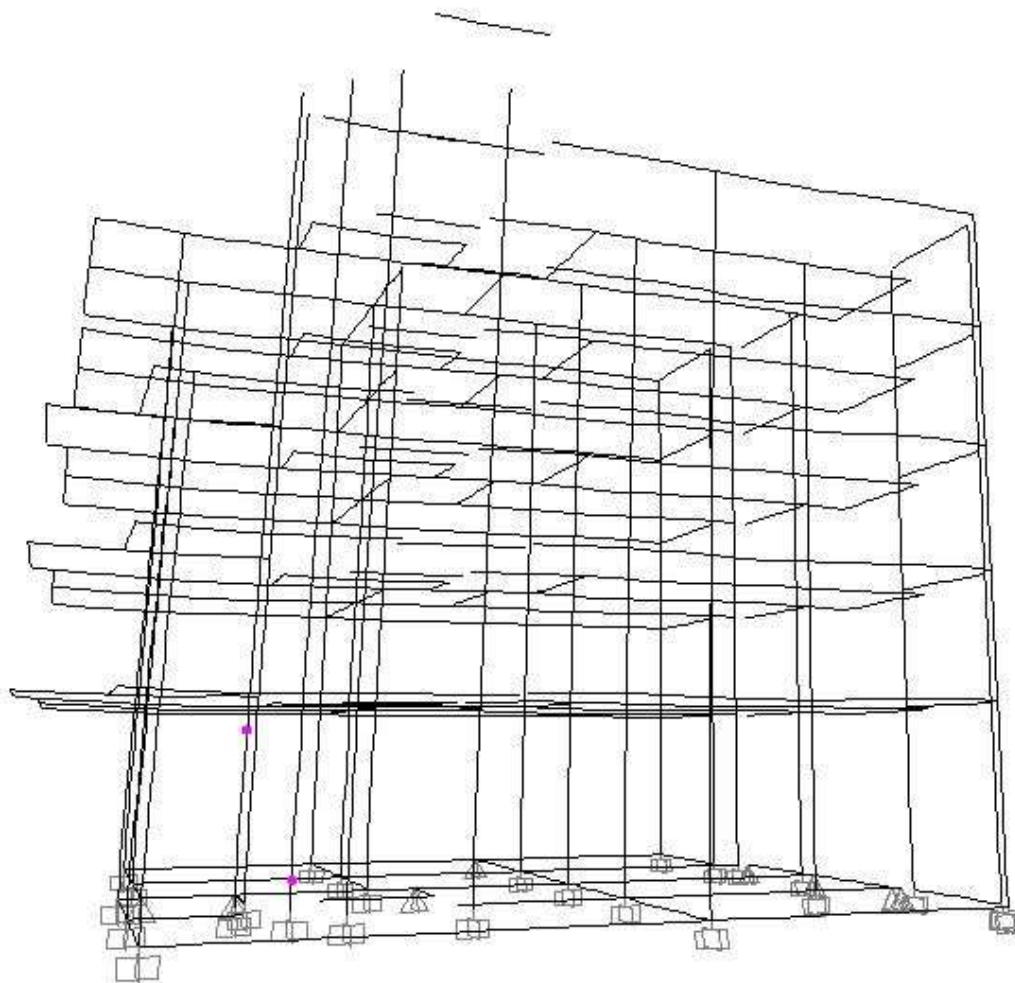
Σχήμα 9.2.24: Φάσμα απόκρισης μετατόπισης κόμβου 181.

Το αποτέλεσμα από την εφαρμογή της μεθόδου είναι πως μόλις δύο σημεία της κατασκευής φτάνουν στο όριο διαρροής. Στο αποτέλεσμα αυτό καθοριστικό ρόλο είχε το ότι θεωρήθηκε μηδενική απόσβεση.

Ακολουθεί το παραμορφωμένο σχήμα της κατασκευής καθώς και πίνακας που παρουσιάζει τις αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις στους κόμβους που επιλέχθηκαν για την απεικόνιση της παραμορφωσιακής τους κατάστασης.

TABLE: Joint Accelerations - Relative							
Joint	Step Type	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m/sec ²	m/sec ²	m/sec ²	rad/sec ²	rad/sec ²	rad/sec ²
34	Max	0,10542	0,6162	0,01939	0,02	0,023	0,018
34	Min	-0,10342	-0,63839	-0,01958	-0,022	-0,022	-0,019
41	Max	0,15554	0,97845	0,04642	0,065	0,043	0,028
41	Min	-0,14523	-0,98483	-0,04079	-0,062	-0,046	-0,028
46	Max	0,17491	0,68995	0,00442	0,151	0,046	0,018
46	Min	-0,16498	-0,67635	-0,00439	-0,15	-0,048	-0,019
65	Max	0,26084	0,96245	0,0229	0,081	0,051	0,028
65	Min	-0,2703	-0,9588	-0,02142	-0,083	-0,049	-0,028
123	Max	0,37782	2,38805	0,43662	0,237	0,074	0,101
123	Min	-0,3531	-2,48497	-0,44223	-0,249	-0,075	-0,09
150	Max	0,38309	1,68068	0,0766	0,245	0,062	0,057
150	Min	-0,38452	-1,79908	-0,07326	-0,238	-0,066	-0,056
156	Max	0,7408	1,19223	0,10271	0,177	0,101	0,043
156	Min	-0,70993	-1,25208	-0,10061	-0,175	-0,101	-0,044
173	Max	0,27544	1,03851	0,6968	0,425	0,196	0,043
173	Min	-0,2731	-1,04341	-0,67341	-0,406	-0,194	-0,044
181	Max	0,28826	1,48127	0,76006	0,297	0,104	0,057
181	Min	-0,28691	-1,51994	-0,73162	-0,295	-0,095	-0,056
206	Max	0,69275	1,10387	0,17697	0,099	0,06	0,039
206	Min	-0,6622	-1,10038	-0,18628	-0,107	-0,059	-0,038
232	Max	0,16321	1,20246	0,36468	0,183	0,074	0,039
232	Min	-0,18485	-1,1941	-0,35691	-0,164	-0,067	-0,038

Πίνακας 9.2.6: Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις κόμβων.

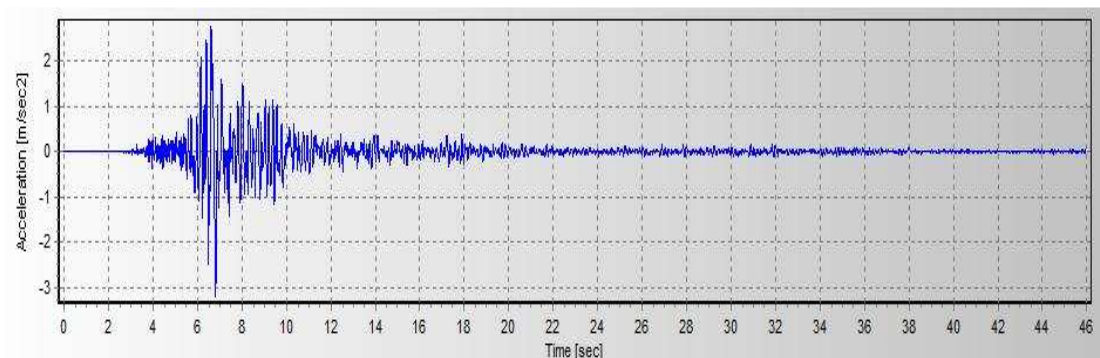


Σχήμα 9.3.25: Παραμορφωμένη εικόνα φορέα κατά το 35 sec της φόρτισης.

9.3 Εφαρμογή του σεισμού της Αθήνας:

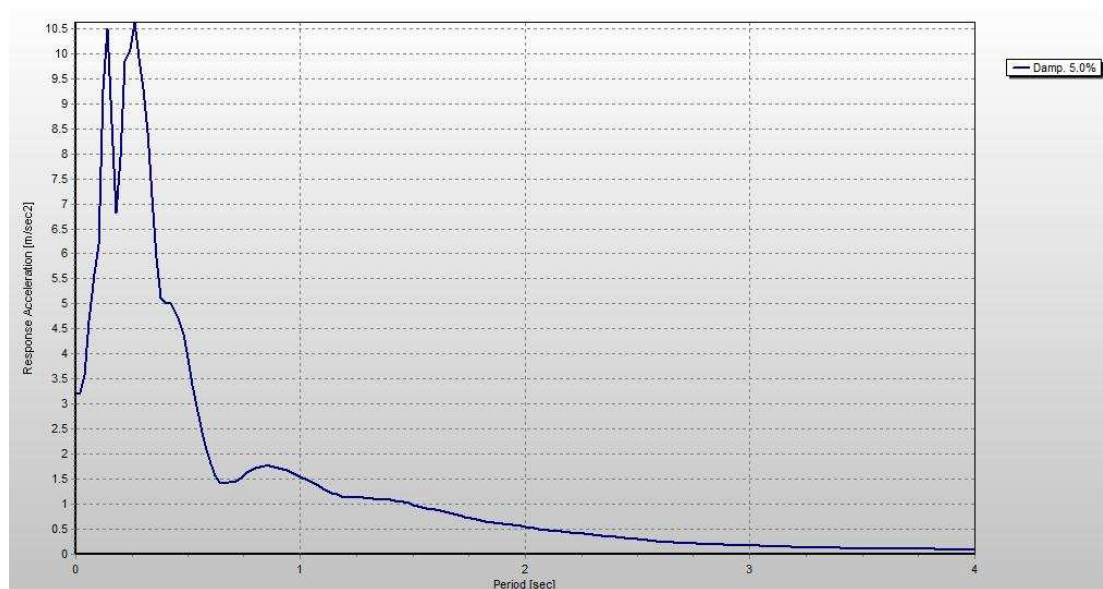
Ο σεισμός της Αθήνας έγινε στις 07/09/1999 και είχε μέγεθος $M_w = 6.0$. Συνέβηκε στην λεκάνη του ασπρόπυργου, πολύ κοντά στον κόλπο του Σαρωνικού και της πόλης της Αθήνας. Ο συγκεκριμένος σεισμός είχε εκτός από σημαντική διάρκεια και σημαντική ένταση, αν και πραγματοποιήθηκε σε μία περιοχή χαμηλής σεισμικότητας.

➤ Εφαρμογή κατά X:



Σχήμα 9.3.1: Γράφημα σεισμού κατά X.

Από το γράφημα συμπεραίνεται πως η σεισμική διέγερση είναι αρκετά ισχυρή με μέγιστη επιτάχυνση περί τα $3,20 \text{ m/sec}^2$ 6,7 δευτερόλεπτα μετά από την έναρξη του γεγονότος. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το φάσμα απόκρισης, από το οποίο και προκύπτει πως η αναπτυσσόμενη επιτάχυνση κατασκευών με δεσπόζουσα ιδιοπερίοδο κοντά στα 0,80 sec θα είναι κοντά στα $1,75 \text{ m/sec}^2$.



Σχήμα 9.3.2: Φάσμα απόκρισης διεύθυνσης X.

9^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

Η διαδικασία ολοκληρώνεται μετά από παρέλευση και των 9200 βημάτων που ορίστηκαν. Το κάθε βήμα είχε διάρκεια 0,005 sec. Η συνολική διάρκεια του σεισμού είναι 46 sec.

Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History

Load Case Name: N.L.T.H.X.ATH (Set Def Name) Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Time History (Design...)

Initial Conditions: Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State Continue from State at End of Nonlinear Case () Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type: Linear Nonlinear Time History Type: Modal Direct Integration

Modal Load Case: Use Modes from Case: MODAL

Geometric Nonlinearity Parameters: None P-Delta P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	N.L.T.H.X.ATH	1.
Accel	U1	N.L.T.H.X.ATH	1.

Show Advanced Load Parameters

Time Step Data: Number of Output Time Steps: 9200 Output Time Step Size: 5,000E-03

Time History Motion Type: Transient Periodic

Other Parameters: Damping: Proportional Damping (Modify/Show...) Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor (Modify/Show...) Nonlinear Parameters: Default (Modify/Show...)

Buttons: OK, Cancel

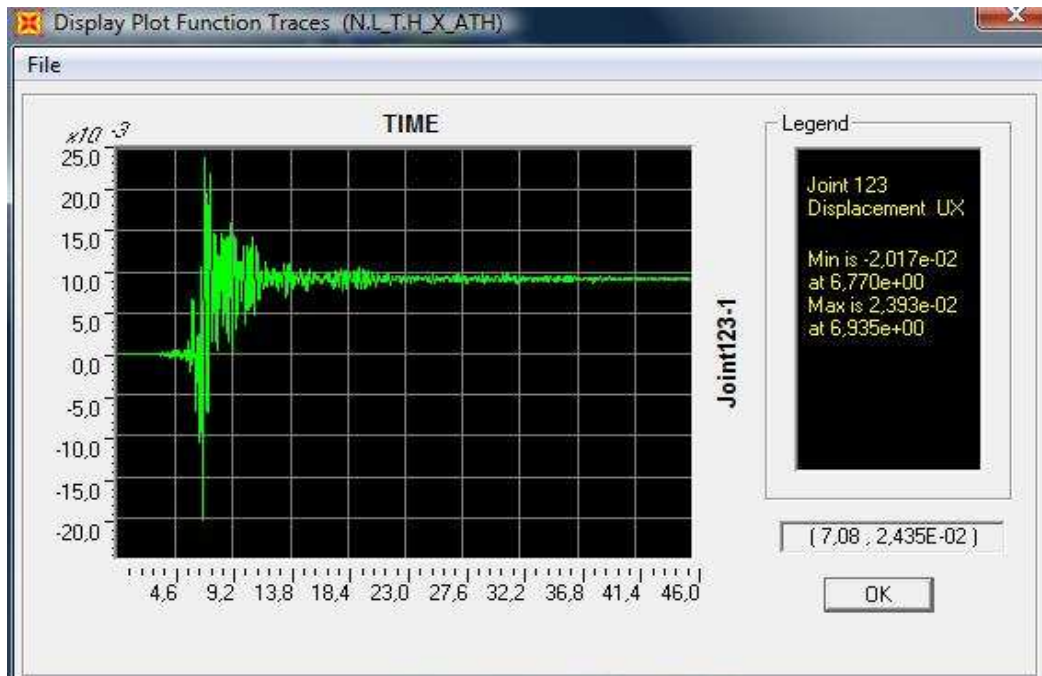
Σχήμα 9.3.3: Ορισμός Ανάλυσης για διεύθυνση X.

Οι κόμβοι που επιλέχθηκαν για την απεικόνιση της απόκρισης στην περίπτωση αυτή είναι κοινοί με την αντίστοιχη περίπτωση του σεισμού της Δεκέλειας κατά X. Είναι λοιπόν: 123 σε δώμα, 150 και 116 σε τέταρτο όροφο, 73 και 149 σε τρίτο όροφο, 148 και 196 σε δεύτερο όροφο, 83 και 113 σε πρώτο όροφο και οι 34 και 118 στο ισόγειο. Θα παρουσιαστεί η χρονική εξέλιξη της μετατόπισης κατά U1 σε συναρτήσεις του χρόνου.

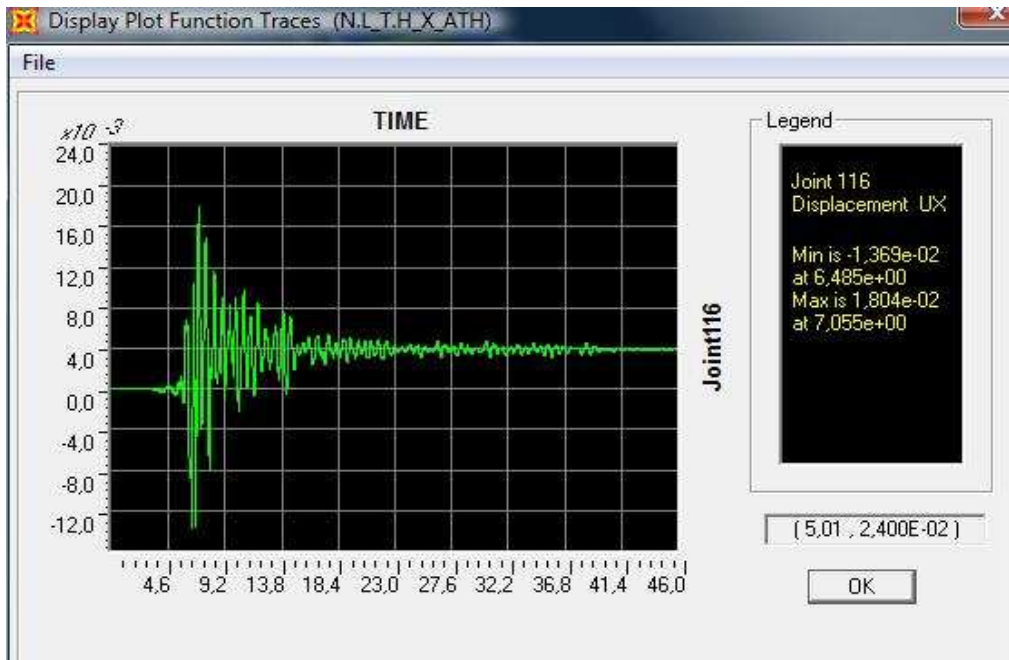
9^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

TABLE: Joint Displacements							
Joint	Step Type	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
34	Max	0,003739	0,000557	0,000106	0,000015	0,001047	0,000203
34	Min	-0,002383	-0,00054	-0,000123	-0,000013	-0,000738	-0,000423
73	Max	0,014448	0,007679	0,0002	0,000396	0,001159	0,000926
73	Min	-0,010799	-0,004398	-0,00023	-0,000428	-0,001159	-0,001328
83	Max	0,010999	0,007091	0,000492	0,000597	0,000242	0,000428
83	Min	-0,006639	-0,003588	-0,000604	-0,000897	-0,000228	-0,000745
113	Max	0,008153	0,002754	0,000525	0,000368	0,001222	0,000428
113	Min	-0,005654	-0,003931	-0,000561	-0,00037	-0,000962	-0,000745
116	Max	0,018043	0,006558	0,000666	0,000161	0,000989	0,001159
116	Min	-0,013692	-0,007638	-0,000681	-0,00014	-0,000978	-0,001588
118	Max	0,00405	0,002868	0,002436	0,000108	0,001002	0,000203
118	Min	-0,00259	-0,001166	-0,000356	-0,000377	-0,00073	-0,000423
123	Max	0,023935	0,013584	0,002889	0,000337	0,001443	0,001396
123	Min	-0,020173	-0,009145	-0,000689	-0,000433	-0,001259	-0,001859
148	Max	0,010516	0,007022	0,00127	0,000537	0,001226	0,000673
148	Min	-0,008331	-0,003741	-0,000127	-0,000719	-0,0011	-0,001044
149	Max	0,014339	0,009207	0,001285	0,000644	0,001291	0,000926
149	Min	-0,011975	-0,005464	-0,000146	-0,000756	-0,001173	-0,001328
150	Max	0,018113	0,011391	0,001292	0,000653	0,001306	0,001159
150	Min	-0,015555	-0,00732	-0,000156	-0,000758	-0,00119	-0,001588
196	Max	0,010516	0,004046	0,00321	0,000497	0,001226	0,000673
196	Min	-0,008331	-0,001828	-0,002495	-0,00013	-0,0011	-0,001044

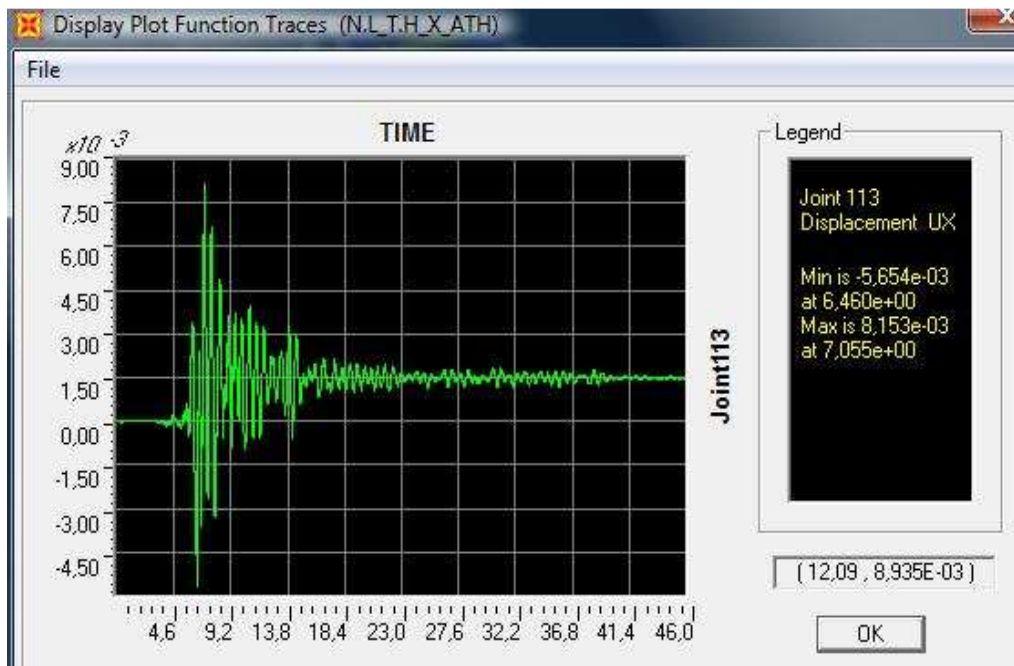
Πίνακας 9.3.1: Παραμορφωσιακά μεγέθη κόμβων.



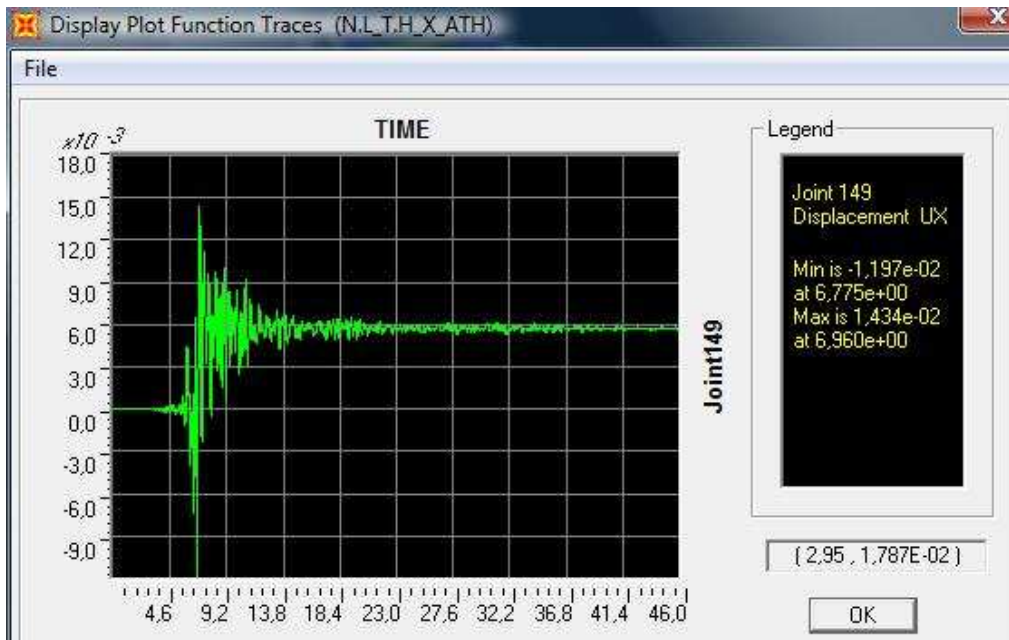
Σχήμα 9.3.4: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στο κόμβο 123.



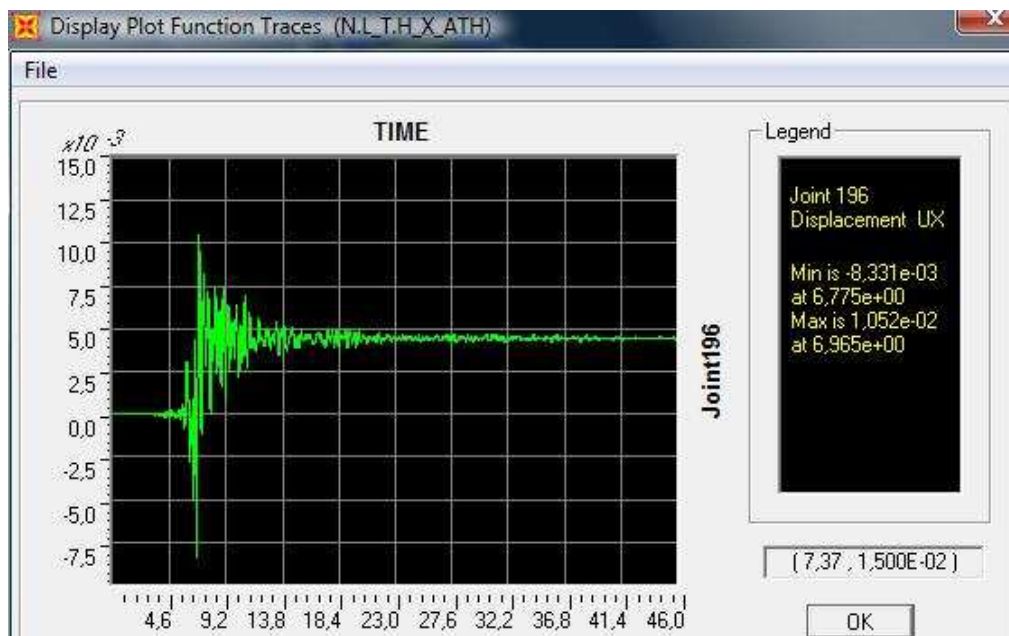
Σχήμα 9.3.5: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στον κόμβο 116.



Σχήμα 9.3.6: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στον κόμβο 113.



Σχήμα 9.3.7: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στο κόμβο 149.

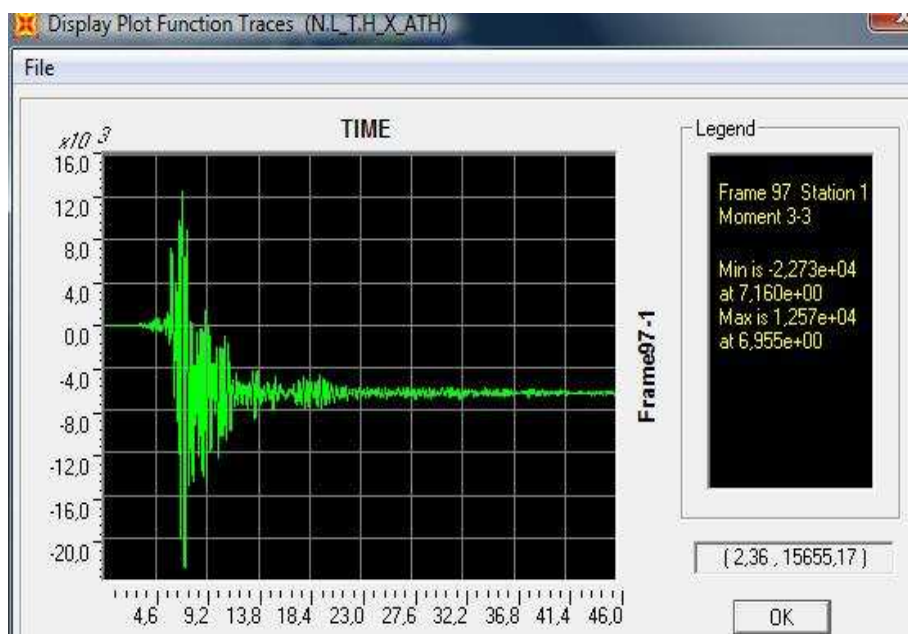


Σχήμα 9.3.8: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στο κόμβο 196.

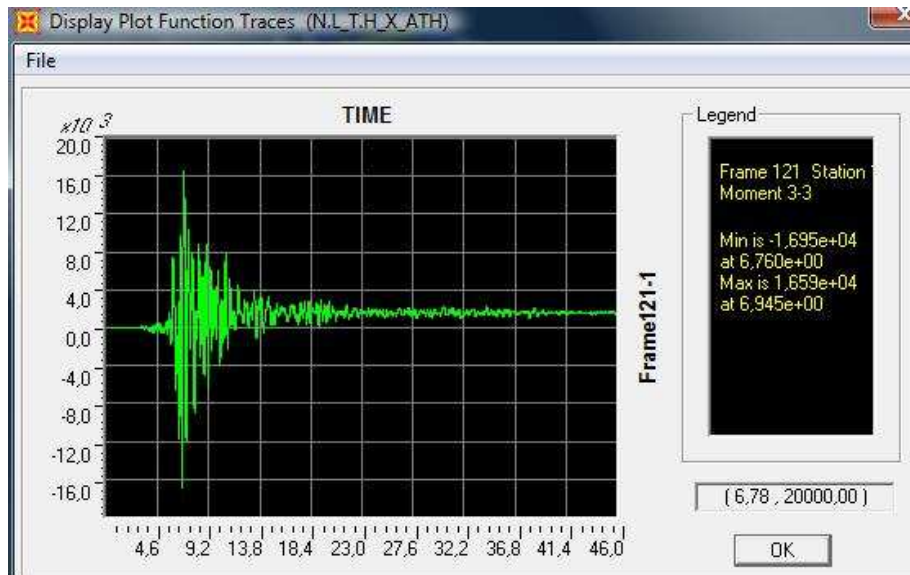
Στη συνέχεια παρουσιάζεται πίνακας με τα εντατικά μεγέθη των μελών ,με σκοπό να δειχθεί η συμπεριφορά τους. Συγκεκριμένα θα παρουσιαστούν μέλη μόνο από τη στάθμη του ισογείου. Αυτά τα μέλη είναι τα 97 και 121 για τα τοιχώματα διαστάσεων 5.90*0.20m (K19_A και K20) και το 92 για το ορθογωνικό υποστύλωμα διαστάσεων 0.70*0.70m (K18).

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
92	0	Max	-459,5	-87,1	-100,4	-41,7	-53,0	-120,3
92	2,18	Max	-459,5	-87,1	-100,4	-41,7	-87,7	-74,1
92	4,36	Max	3395,3	1382,1	20,5	9,1	57,9	12574,9
92	0	Min	3395,3	1382,1	20,5	9,1	15,2	10151,5
92	2,18	Min	3395,3	1382,1	20,5	9,1	79,9	9030,8
92	4,36	Min	-4645,4	-2759,9	-46,4	-19,0	-122,5	-22732,1
97	0	Max	-4645,4	-2759,9	-46,4	-19,0	-21,6	-16864,2
97	2,18	Max	-4645,4	-2759,9	-46,4	-19,0	-34,5	-11219,0
97	4,36	Max	534,0	1833,2	9,0	9,1	32,5	16587,2
97	0	Min	534,0	1833,2	9,0	9,1	12,9	13408,0
97	2,18	Min	534,0	1833,2	9,0	9,1	15,5	10279,6
97	4,36	Min	-841,5	-1776,2	-17,5	-19,0	-63,4	-16950,0
121	0	Max	-841,5	-1776,2	-17,5	-19,0	-25,2	-13773,6
121	2,18	Max	-841,5	-1776,2	-17,5	-19,0	-6,9	-10886,9
121	4,36	Max	-459,5	-87,1	-100,4	-41,7	-53,0	-120,3
121	0	Min	-459,5	-87,1	-100,4	-41,7	-87,7	-74,1
121	2,18	Min	3395,3	1382,1	20,5	9,1	57,9	12574,9
121	4,36	Min	3395,3	1382,1	20,5	9,1	15,2	10151,5

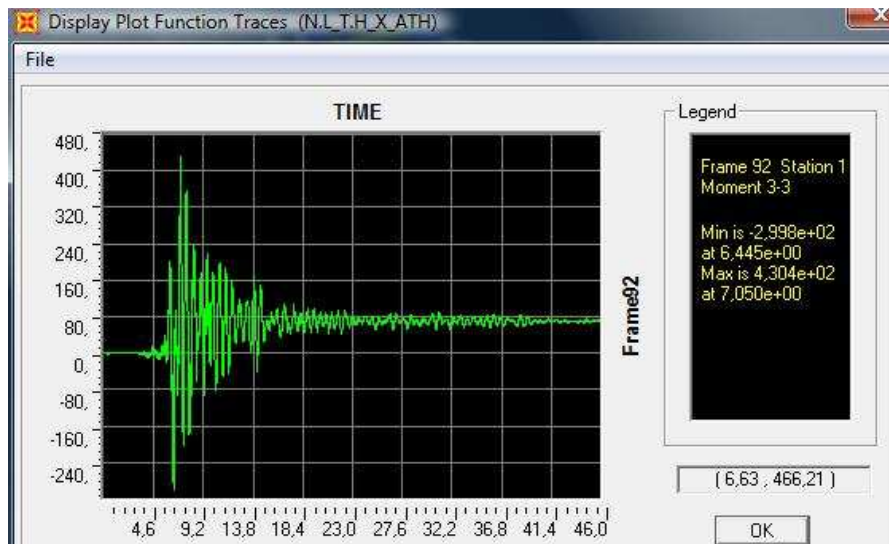
Πίνακας 9.3.2: Εντατικά μεγέθη μελών



Σχήμα 9.3.9: Χρονική εξέλιξη της Ροπής M3 του μέλους 97.

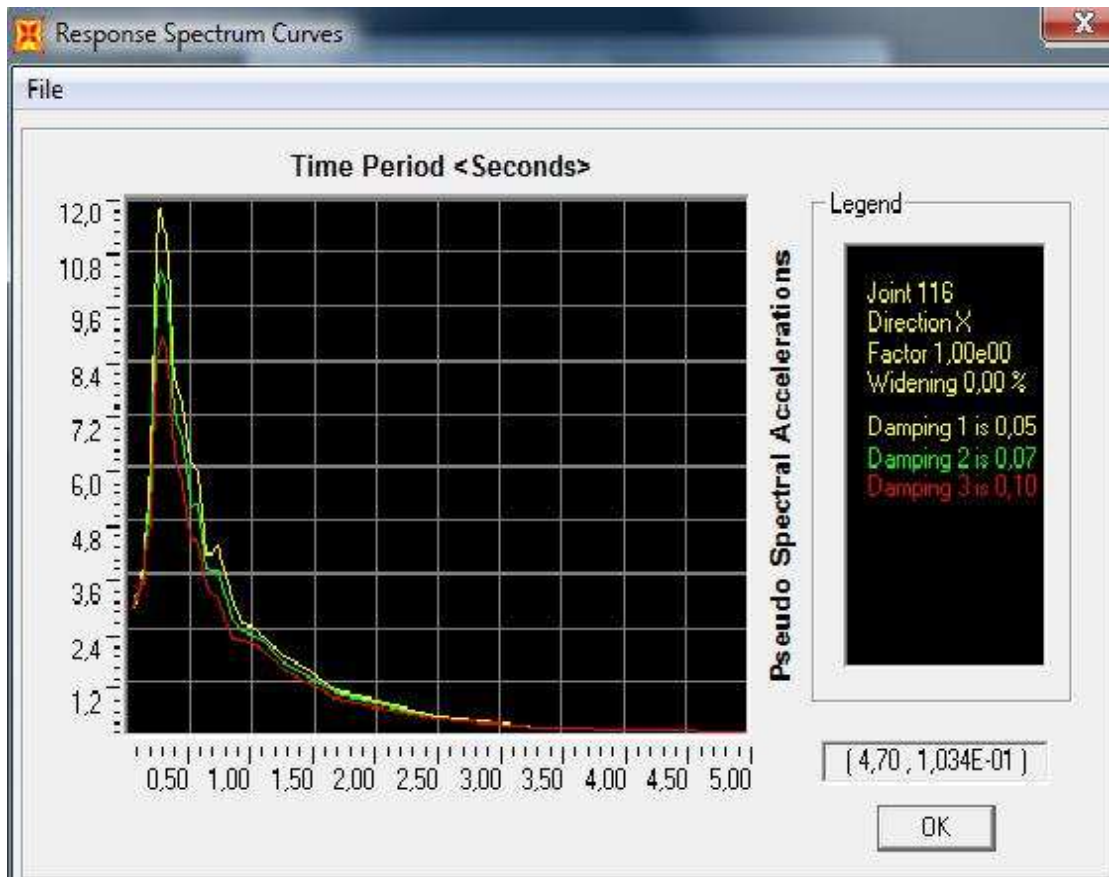


Σχήμα 9.3.10: Η χρονική εξέλιξη της ροπής M3 του μέλους 121.



Σχήμα 9.3.11: Χρονική εξέλιξη της Ροπής M3 του μέλους 92.

Ακόμα παρουσιάζεται το φάσμα απόκρισης για τον κόμβο 116.



Σχήμα 9.3.12: Φάσμα απόκρισης κόμβου 116.

Το αποτέλεσμα από την εφαρμογή της μεθόδου είναι πως αρκετά πρωτεύοντα στοιχεία της φτάνουν είτε στο όριο διαρροής τους, είτε σε κατάσταση άμεσης χρήσης (Immediate Occupancy). Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι επιταχύνσεις στους κόμβους που επιλέχθηκαν για την απεικόνιση της παραμορφωσιακής τους κατάστασης.

TABLE: Joint Accelerations - Relative							
Joint	Step Type	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m/sec ²	m/sec ²	m/sec ²	rad/sec ²	rad/sec ²	rad/sec ²
34	Max	1,16736	0,28698	0,26422	0,012	0,343	0,121
34	Min	-1,34475	-0,27607	-0,11072	-0,024	-0,349	-0,073
73	Max	4,68345	1,08722	0,12241	0,159	0,419	0,216
73	Min	-4,19719	-1,24209	-0,08313	-0,15	-0,612	-0,218
83	Max	2,6803	1,14672	0,09991	0,15	0,082	0,173
83	Min	-2,52607	-1,51175	-0,11399	-0,145	-0,102	-0,128
113	Max	2,20562	1,05021	0,28733	0,084	0,407	0,173
113	Min	-2,31811	-0,77021	-0,20853	-0,111	-0,435	-0,128
116	Max	5,61576	1,68069	0,43899	0,092	0,356	0,314
116	Min	-5,3815	-1,84525	-0,32833	-0,093	-0,504	-0,331

9^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

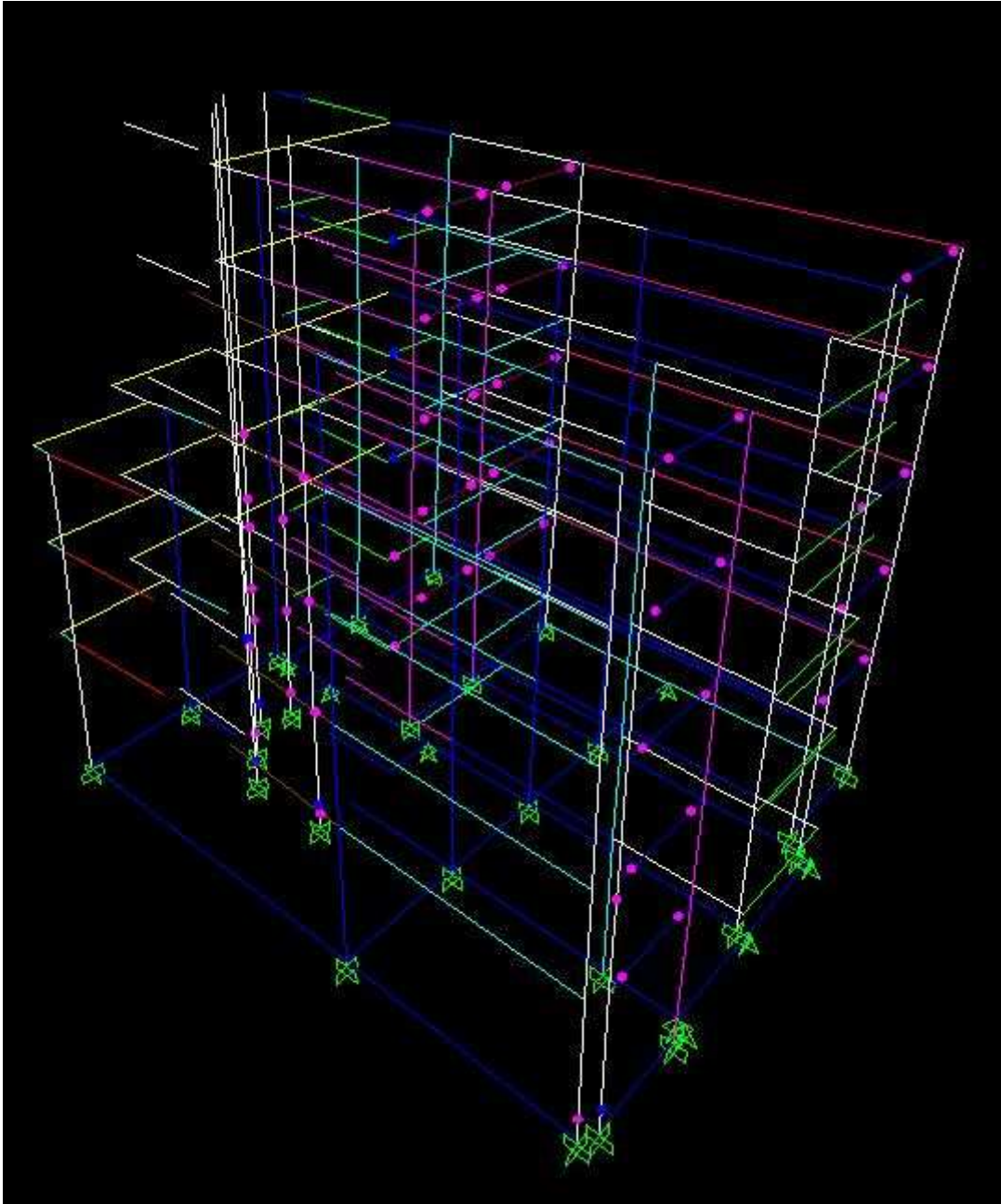
118	Max	1,19345	0,45231	1,0176	0,124	0,313	0,121
118	Min	-1,33887	-0,74758	-0,4753	-0,296	-0,291	-0,073
123	Max	8,25043	2,9538	0,60766	0,149	0,56	0,448
123	Min	-8,07626	-2,92535	-0,72208	-0,213	-0,633	-0,441
148	Max	3,76612	1,0085	0,81282	0,174	0,448	0,186
148	Min	-3,57288	-1,18858	-0,38359	-0,165	-0,488	-0,162
149	Max	5,21015	1,33446	0,8171	0,305	0,482	0,216
149	Min	-4,67638	-1,49013	-0,38615	-0,256	-0,572	-0,218
150	Max	6,57424	2,11071	0,81863	0,331	0,497	0,314
150	Min	-6,0916	-2,07773	-0,38837	-0,293	-0,6	-0,331
196	Max	3,76612	0,56443	1,90008	0,451	0,448	0,186
196	Min	-3,57288	-0,66116	-1,54911	-0,354	-0,488	-0,162

Πίνακας 9.3.3: Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις κόμβων.

Τα στοιχεία που καταπονούνται ιδιαίτερα είναι τα εξής:

- Δοκάρια: τα δοκάρια Δ6, Δ7, Δ9 και Δ12 διαρρέουν και στα δύο τους άκρα εκτός στην οροφή του δώματος. Το Δ14 διαρρέει μόνο στο ένα άκρο του πλην της οροφής του τετάρτου ορόφου όπου δεν διαρρέει καν. Το Δ8 διαρρέει στο ένα άκρο του στην οροφή του ισογείου, πρώτου και του δευτέρου ορόφου. Βρίσκεται σε κατάσταση άμεσης χρήσης στην οροφή του τρίτου και τετάρτου ορόφου.
- Υποστυλώματα: το γωνιακό K14 που απαρτίζεται από δύο μέρη καταπονείται ως ακολούθως: το ορθογωνικό του μέρος στη βάση θεμελίωσης είναι σε κατάσταση άμεσης χρήσης και σε κατάσταση διαρροής στην οροφή του πρώτου ορόφου. Το τετραγωνικό του μέρος είναι σε κατάσταση διαρροής στη θεμελίωση. Το τοίχωμα K20 είναι σε άμεση χρήση στη θεμελίωση, όπως άλλωστε και το K19_A. Επίσης το K19_A στη βάση του πρώτου ορόφου είναι σε άμεση χρήση. Για τα τοιχώματα του ανελκυστήρα έχουμε τα εξής: το K19_B σε κατάσταση διαρροής σε βάση και οροφή ισογείου, το K19_C σε άμεση χρήση η βάση του ισογείου ενώ η οροφή του ισογείου όπως επίσης και τα δύο άκρα στον πρώτο και δεύτερο όροφο σε κατάσταση διαρροής. Τέλος το K19_D είναι σε διαρροή τα δύο άκρα του ισογείου καθώς και η οροφή του πρώτου ορόφου.

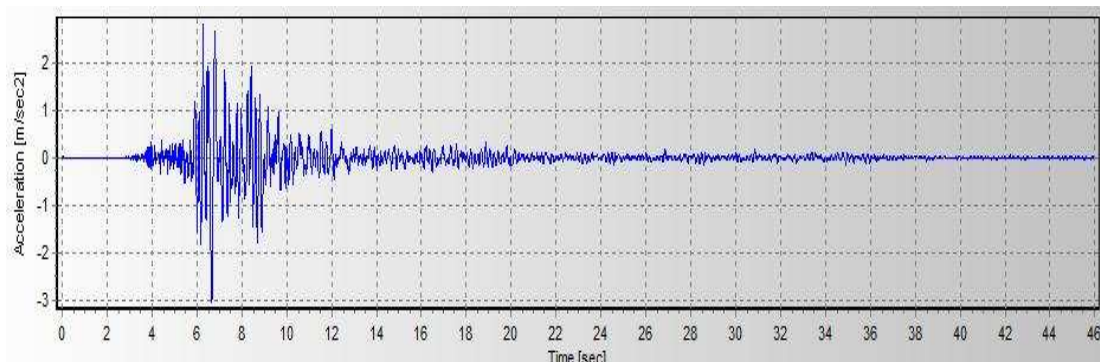
Ακολούθως επισυνάπτεται το παραμορφωμένο σχήμα της κατασκευής κατά το 46 δευτερόλεπτο της ανάλυσης.



Σχήμα 9.3.13: Παραμορφωμένο σχήμα κατασκευής στο 46 sec.

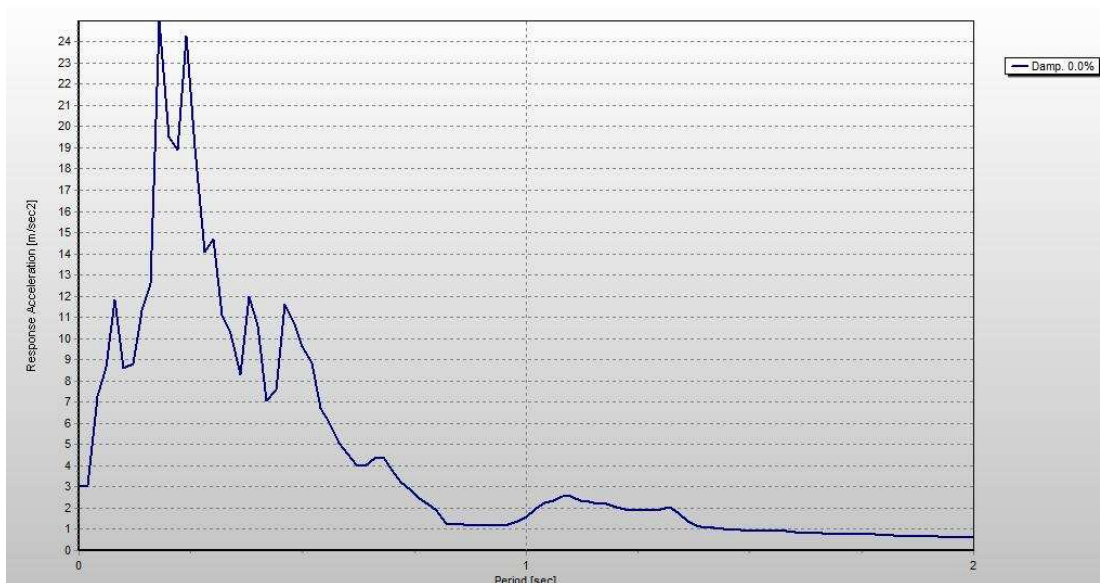
➤ Εφαρμογή κατά Ψ:

Καταρχάς να σημειωθεί πως στην εν λόγω ανάλυση υιοθετήθηκε απόσβεση ίση με μηδέν. Αυτό έγινε για σκοπούς συγκρίσεως με τις προηγούμενες αναλύσεις και για να αποδειχθεί η σημασία της απόσβεσης στις κτιριακές κατασκευές.



Σχήμα 9.3.14: Γράφημα σεισμού κατά Ψ.

Παρατηρείται πως πρόκειται για μία ισχυρή σεισμική δόνηση και αξίζει να αναφερθεί πως η μέγιστη τιμή της επιτάχυνσης είναι: $3,04 \text{ m/sec}^2$ σε χρόνο $t=6,67 \text{ sec}$. Το φάσμα απόκρισης που παρουσιάζεται ακολούθως δηλώνει πως κατασκευές με ιδιοπερίοδο γύρω στα $0,80 \text{ sec}$ πρόκειται να αναπτύξουν επιταχύνσεις περί τα $1,88 \text{ m/sec}^2$.



Σχήμα 9.3.15: Φάσμα απόκρισης διεύθυνσης Ψ.

9^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

Η διαδικασία ολοκληρώνεται στα 1290 βήματα από τα 9200 με διάρκεια το κάθε ένα 0,005 sec. Η συνολική διάρκεια που προέκυψε είναι 6,45 sec. Προφανώς το πρόγραμμα δεν μπορούσε να βρει κάποια άλλη λύση λόγω αστοχίας κάποιου μέλους του φορέα. Ο ορισμός της ανάλυσης παρουσιάζεται πιο κάτω.

Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History

Load Case Name: N.L.T.H.Y.ATH [Set Def Name] [Modify/Show...]

Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Time History [Design...]

Initial Conditions:

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case []

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case.

Analysis Type:

- Linear
- Nonlinear

Time History Type:

- Modal
- Direct Integration

Geometric Nonlinearity Parameters:

- None
- P-Delta
- P-Delta plus Large Displacements

Modal Load Case:

Use Modes from Case: MODAL []

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U2	N.L.T.H.Y.	1.
Accel	U2	N.L.T.H.Y.ATH	1.

[Add] [Modify] [Delete]

Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

Number of Output Time Steps: 9200

Output Time Step Size: 5,000E-03

Time History Motion Type:

- Transient
- Periodic

Other Parameters:

Damping: Proportional Damping [Modify/Show...]

Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

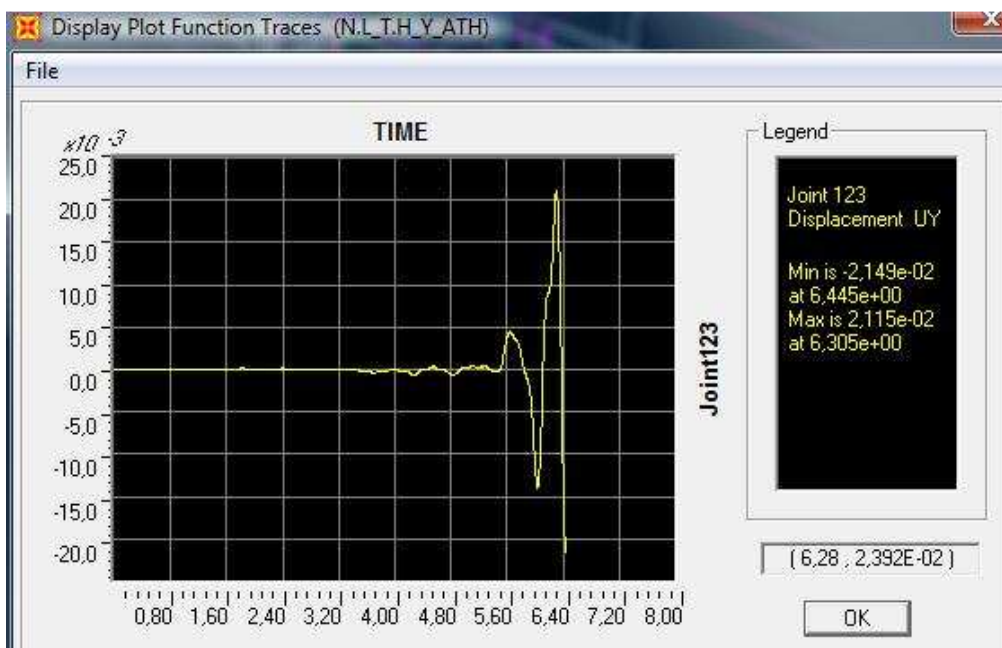
Σχήμα 9.3.16: Ορισμός Ανάλυσης για διεύθυνση Ψ.

Για την απόκριση της κατασκευής επιλέχθηκαν οι ίδιοι κόμβοι με την αντίστοιχη της Δεκέλειας διέγερση. Για τους οποίους και θα δείξουμε την χρονική εξέλιξη της μετατόπισης κατά U2 σε σχέση με τον χρόνο. Οι κόμβοι αυτοί είναι: ο 123 σε δώμα, οι 150 και 181 σε τέταρτο όροφο, οι 173 και 156 σε τρίτο όροφο, οι 206 και 232 σε δεύτερο όροφο, οι 65 και 41 σε πρώτο όροφο και οι 46 και 34 στο

ισόγειο. Αρχικά όμως παρουσιάζεται η παραμορφωσιακή τους κατάσταση συγκεντρωτικά στον πίνακα 9.3.4.

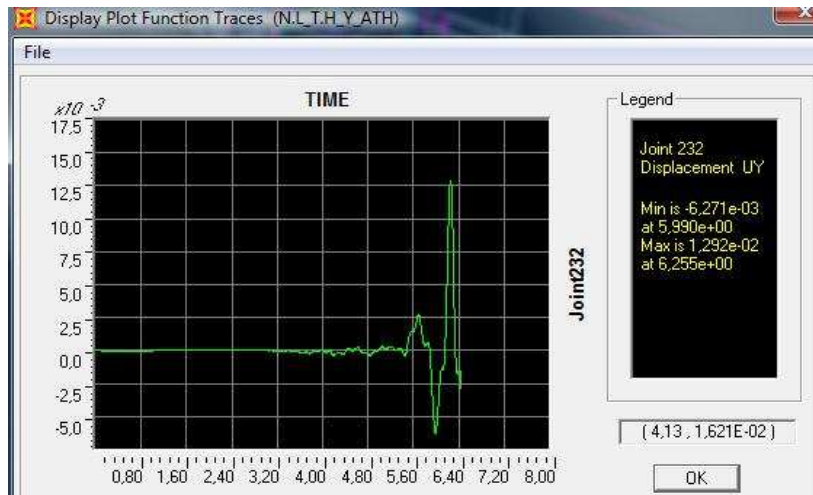
TABLE: Joint Displacements							
Joint	Step Type	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
34	Max	0,00015	0,006984	0,00007	0,000054	0,000046	0,000099
34	Min	-0,000381	-0,002963	-0,000037	-0,000115	-0,00012	-0,000056
41	Max	0,000315	0,01166	0,000099	0,00056	0,000066	0,000169
41	Min	-0,000849	-0,005328	-0,000037	-0,00088	-0,000171	-0,0001
46	Max	0,000214	0,006453	0,000057	0,000641	0,000042	0,000099
46	Min	-0,000256	-0,00264	-0,000012	-0,001429	-0,00006	-0,000056
65	Max	0,000257	0,011289	0,000098	0,000702	0,000047	0,000169
65	Min	-0,000377	-0,00512	-0,000014	-0,001118	-0,000097	-0,0001
123	Max	0,001668	0,021145	0,000808	0,001367	0,000129	0,000208
123	Min	-0,004233	-0,021487	-0,000699	-0,001229	-0,000312	-0,000083
150	Max	0,001487	0,017016	0,000141	0,002255	0,000176	0,000192
150	Min	-0,002819	-0,015396	-0,000152	-0,001958	-0,000293	-0,000075
156	Max	0,00091	0,014326	0,000468	0,001692	0,000616	0,000248
156	Min	-0,000559	-0,009121	-0,000316	-0,001419	-0,000404	-0,000103
173	Max	0,00153	0,015292	0,004887	0,002185	0,000361	0,000248
173	Min	-0,004139	-0,009385	-0,004484	-0,001995	-0,00059	-0,000103
181	Max	0,001612	0,018933	0,005402	0,001941	0,000462	0,000192
181	Min	-0,004569	-0,014431	-0,005406	-0,001922	-0,000301	-0,000075
206	Max	0,001911	0,013285	0,000308	0,000053	0,000584	0,000237
206	Min	-0,001019	-0,006496	-0,000493	-0,000128	-0,000598	-0,000105
232	Max	0,000662	0,01292	0,000327	0,00027	0,000103	0,000237
232	Min	-0,001762	-0,006271	-0,000504	-0,000243	-0,000255	-0,000105

Πίνακας 9.3.4: Παραμορφωσιακά μεγέθη κόμβων.

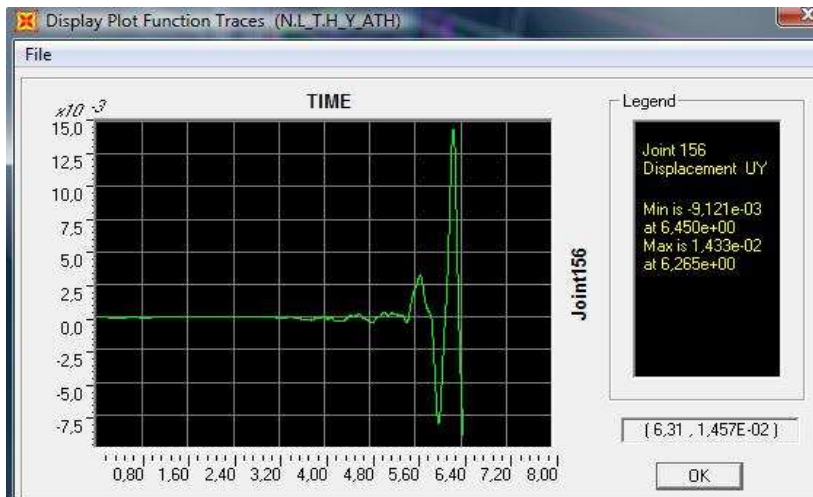


Σχήμα 9.3.17: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στο κόμβο 123.

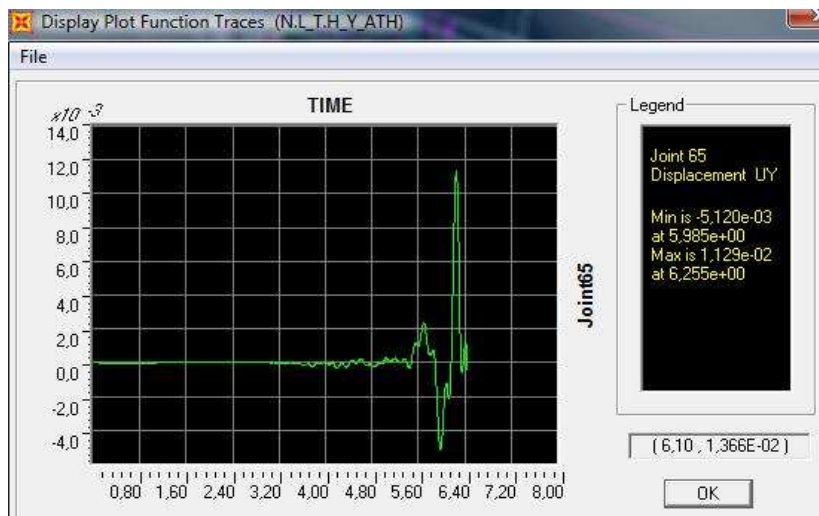
9^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση



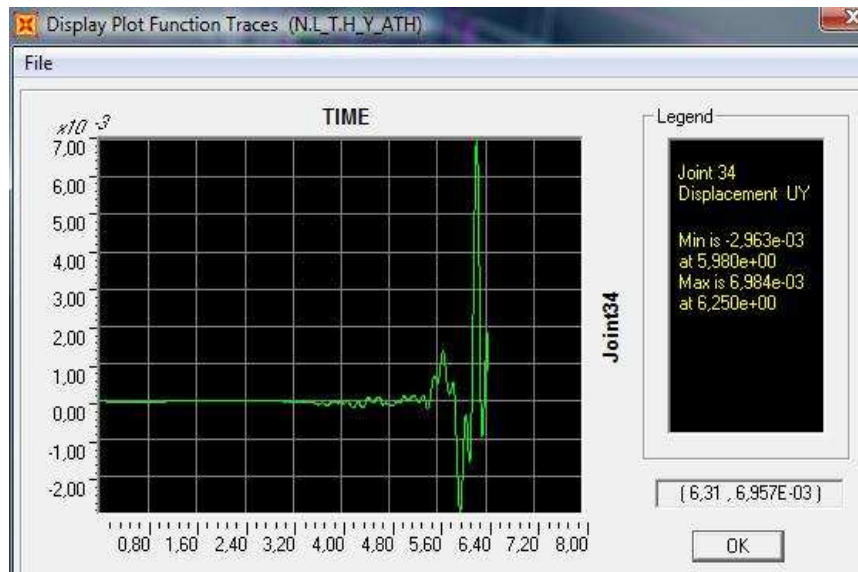
Σχήμα 9.3.18: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στον κόμβο 232.



Σχήμα 9.3.19: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στον κόμβο 156.



Σχήμα 9.3.20: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στο κόμβο 65.



Σχήμα 9.3.21: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στο κόμβο 34.

Στη συνέχεια θα μελετηθεί η συμπεριφορά κάποιων κρίσιμων μελών μέσω των εντατικών τους μεγεθων. Συγκεκριμένα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα μελών μόνο από τη στάθμη του ισογείου. Αυτά τα μέλη είναι το 109 για το τοίχωμα K19_C που έχει διαστάσεις 2.20*0.20m, του 103 για το τοίχωμα διαστάσεων 2.20*0.20m (K19_B) και το 17 για το υποστύλωμα K5 διαστάσεων 0.30*0.70m.

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	Step Type	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
17	0	Max	439,9	0,8	135,0	1,3	386,3	2,5
17	2,18	Max	439,9	0,8	135,0	1,3	92,9	1,4
17	4,36	Max	439,9	0,8	135,0	1,3	90,5	4,3
17	0	Min	-495,0	-2,8	-58,7	-0,8	-166,8	-7,9
17	2,18	Min	-495,0	-2,8	-58,7	-0,8	-39,9	-2,5
17	4,36	Min	-495,0	-2,8	-58,7	-0,8	-203,9	-0,9
103	0	Max	210,0	31,7	1.400,1	1,6	3.367,4	89,8
103	2,18	Max	210,0	31,7	1.400,1	1,6	1.017,0	22,7
103	4,36	Max	210,0	31,7	1.400,1	1,6	1.920,5	5,4
103	0	Min	-1.519,1	-1,4	-769,1	-0,9	-2.172,5	-3,4
103	2,18	Min	-1.519,1	-1,4	-769,1	-0,9	-557,0	-6,0
103	4,36	Min	-1.519,1	-1,4	-769,1	-0,9	-2.736,9	-49,4
109	0	Max	1.019,9	283,9	31,4	1,6	76,9	336,1
109	2,18	Max	1.019,9	283,9	31,4	1,6	8,6	240,8
109	4,36	Max	1.019,9	283,9	31,4	1,6	21,3	444,7
109	0	Min	-1.703,7	-214,6	-11,2	-0,9	-28,8	-552,9
109	2,18	Min	-1.703,7	-214,6	-11,2	-0,9	-6,2	-653,4

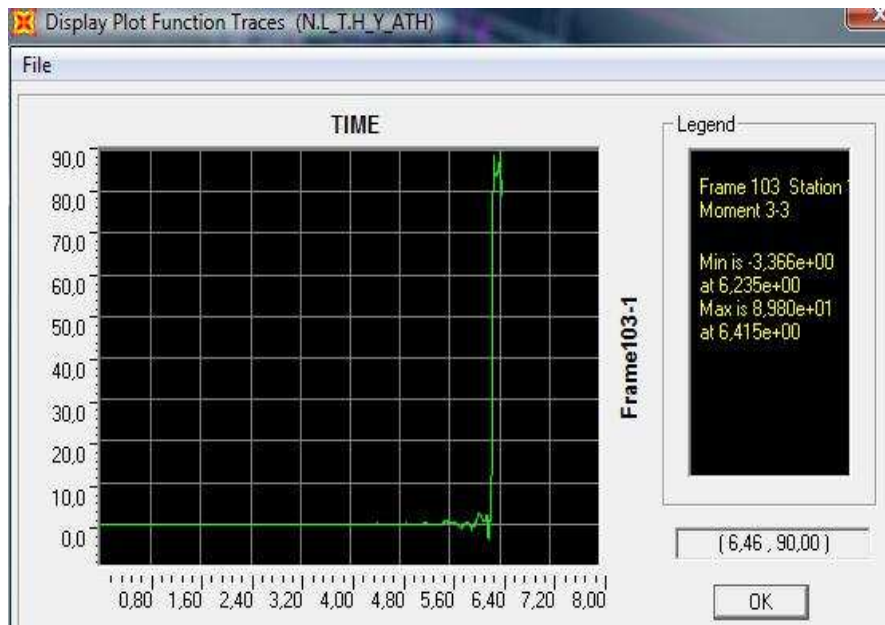
9^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

109	4,36	Min	-1.703,7	-214,6	-11,2	-0,9	-59,9	-1.265,4
-----	------	-----	----------	--------	-------	------	-------	----------

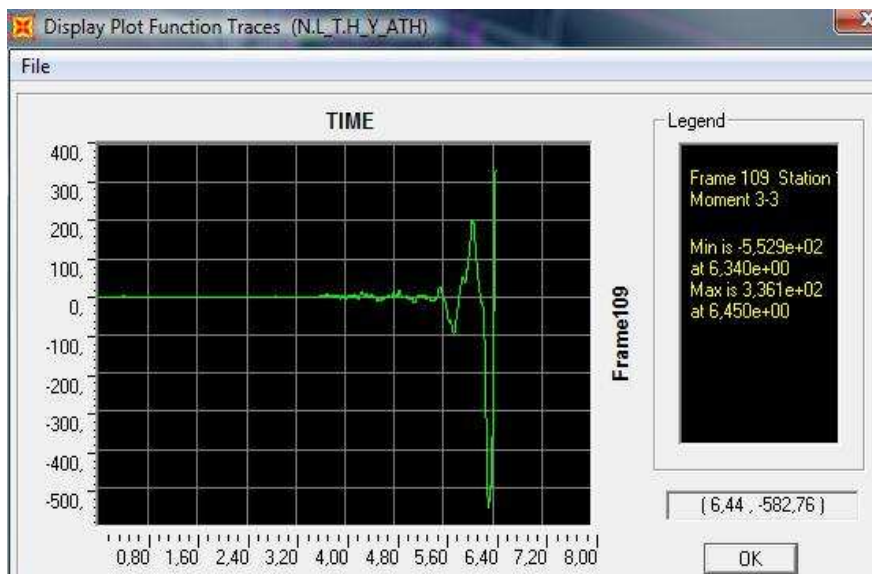
Πίνακας 9.3.5: Εντατικά μεγέθη μελών



Σχήμα 9.3.22: Χρονική εξέλιξη της Ροπής M3 του μέλους 17.

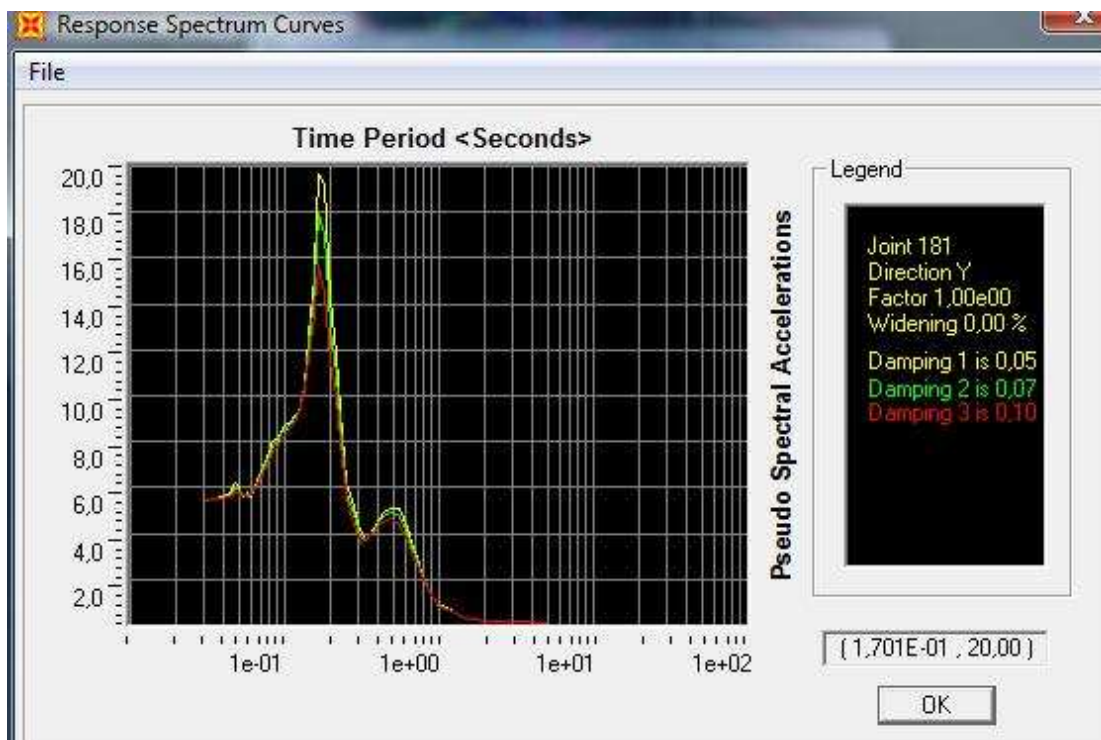


Σχήμα 9.3.23: Η χρονική εξέλιξη της ροπής M3 του μέλους 103.



Σχήμα 9.3.24: Χρονική εξέλιξη της Ροπής M3 του μέλους 109.

Ακόμα παρουσιάζεται το φάσμα απόκρισης για τον κόμβο 181 σε λογαριθμική κλίμακα στον οριζόντιο άξονα.



Σχήμα 9.3.25: Φάσμα απόκρισης κόμβου 181.

Το αποτέλεσμα από την εφαρμογή της μεθόδου είναι πως κάποια σημεία της κατασκευής φτάνουν είτε στο όριο διαρροής, είτε στη

κατάσταση άμεσης χρήσης είτε στο τέλος αστοχούν. Στο αποτέλεσμα αυτό καθοριστικό ρόλο είχε το ότι θεωρήθηκε μηδενική απόσβεση.

Ακολουθεί πίνακας που παρουσιάζει τις αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις στους κόμβους που επιλέχθηκαν για την απεικόνιση της παραμορφωσιακής τους κατάστασης.

TABLE: Joint Accelerations - Relative							
Joint	Step Type	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m/sec ²	m/sec ²	m/sec ²	rad/sec ²	rad/sec ²	rad/sec ²
34	Max	0,52243	4,05344	0,28558	39391,219	84,329	0,048
34	Min	-0,32371	-4,61364	-0,68387	-4356,668	-762,51	-0,067
41	Max	0,61621	4,6691	0,37448	45,307	3602,786	0,117
41	Min	-0,27888	-5,57092	-0,43282	-330,615	-398,243	-0,071
46	Max	0,3858	4,43901	0,4184	10106,917	30,762	0,048
46	Min	-0,3582	-4,93545	-0,4218	-1117,487	-294,58	-0,067
65	Max	0,5182	4,89197	0,47491	363,529	1214,445	0,117
65	Min	-0,4658	-5,87234	-0,53138	-40,373	-10974,46	-0,071
123	Max	1,86965	13,16583	2,643	2,485	0,44	0,272
123	Min	-1,01173	-9,52063	-2,51452	-2,086	-0,489	-0,239
150	Max	1,06584	6,12466	0,33243	1,912	0,236	0,043
150	Min	-0,27954	-5,12074	-0,38784	-2,213	-0,288	-0,049
156	Max	1,14941	2,56963	0,60537	44083,824	2319,483	0,086
156	Min	-0,7979	-4,30933	-0,86803	-4642,119	-22042,256	-0,111
173	Max	1,45558	2,61828	3,49086	632,878	11,613	0,086
173	Min	-0,58472	-4,40009	-4,53558	-69,92	-1,095	-0,111
181	Max	1,38633	6,15213	5,10259	276,712	0,765	0,043
181	Min	-0,61323	-5,69361	-4,507	-2444,28	-2,043	-0,049
206	Max	1,24211	4,26591	2,19895	904,213	2,88	0,078
206	Min	-1,55756	-5,75866	-1,70768	-8485,204	-35,552	-0,114
232	Max	0,67847	4,65311	3,52985	1,561	1,096	0,078
232	Min	-0,25207	-5,82232	-1,42686	-0,618	-1,026	-0,114

Πίνακας 9.3.6: Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις κόμβων.

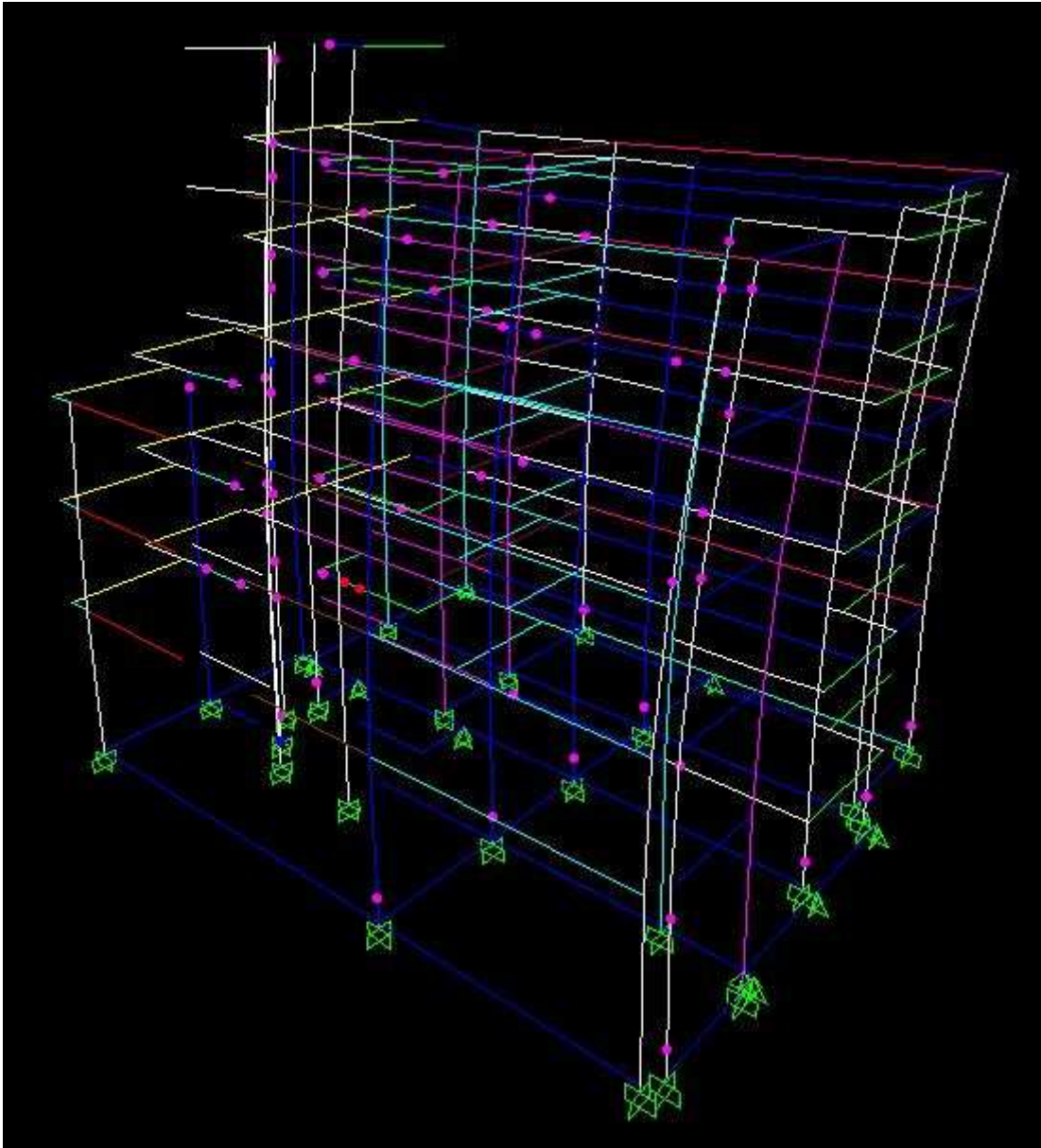
Τα στοιχεία που καταπονούνται είναι τα ακόλουθα:

- Δοκάρια: στην οροφή του ισογείου παρατηρούνται καταστάσεις αφενός διαρροής, αφετέρου αστοχίας. Συγκεκριμένα διαρροή παρατηρείται στο ένα άκρο των Δ24, Δ33, Δ36, Δ23, Δ20 και Δ19. Ενώ αστοχία παρατηρείται στο ένα άκρο των Δ23 και Δ22. Ακολούθως όλα τα υπόλοιπα δοκάρια που θα αναφερθούν για κάθε όροφο είναι σε κατάσταση διαρροής. Συγκεκριμένα: οροφή πρώτου ορόφου τα Δ24 και Δ23. Οροφή δευτερου ορόφου τα Δ23, Δ24, Δ36, Δ19 και Δ20. Οροφή τρίτου ορόφου τα Δ33, Δ36, Δ23, Δ8, Δ14, Δ21, Δ20 και Δ19. Στην οροφή του

τετάρτου ορόφου είναι: Δ23, Δ8, Δ14 και Δ20. Τέλος στο δώμα είναι μόνο το Δ23.

- Υποστυλώματα: τα μέλη του γωνιακού υποστύλωματος K14 είναι κυρίως σε κατάσταση διαρροής. Τα K16, K17, K18, K9, K10, K11, K12, K8, K19_B και K19_D βρίσκονται σε διαρροή στη θεμελίωση, ακόμα τα K13 και K7 στην οροφή του τετάρτου ορόφου είναι στη στάθμη της διαρροής. Σε κατάσταση άμεσης χρήσης είναι το υποστύλωμα K19_A στη βάση του, καθώς επίσης και το υποστύλωμα K19_C στη βάση του δευτέρου ορόφου. Γενικά τα υποστυλώματα K19_B και K19_C καταπονούνται σχεδόν σε όλο το μήκος τους από διαρροή των κόμβων των μελών τους πλην αυτών που αναφέρθηκαν προηγουμένως σε κατάσταση άμεσης χρήσης. Τέλος να αναφερθεί πως οροφή του υποστυλώματος K2 βρίσκεται σε κατάσταση διαρροής.

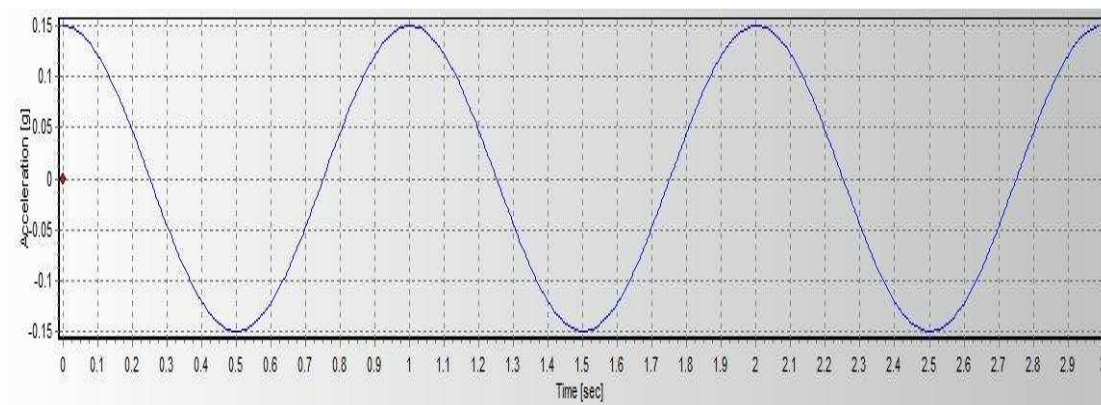
Ακολουθεί το τρισδιάστατο παραμορφωμένο σχήμα της κατασκευής κατά το τελικό στάδιο της σεισμικής διέγερσης.



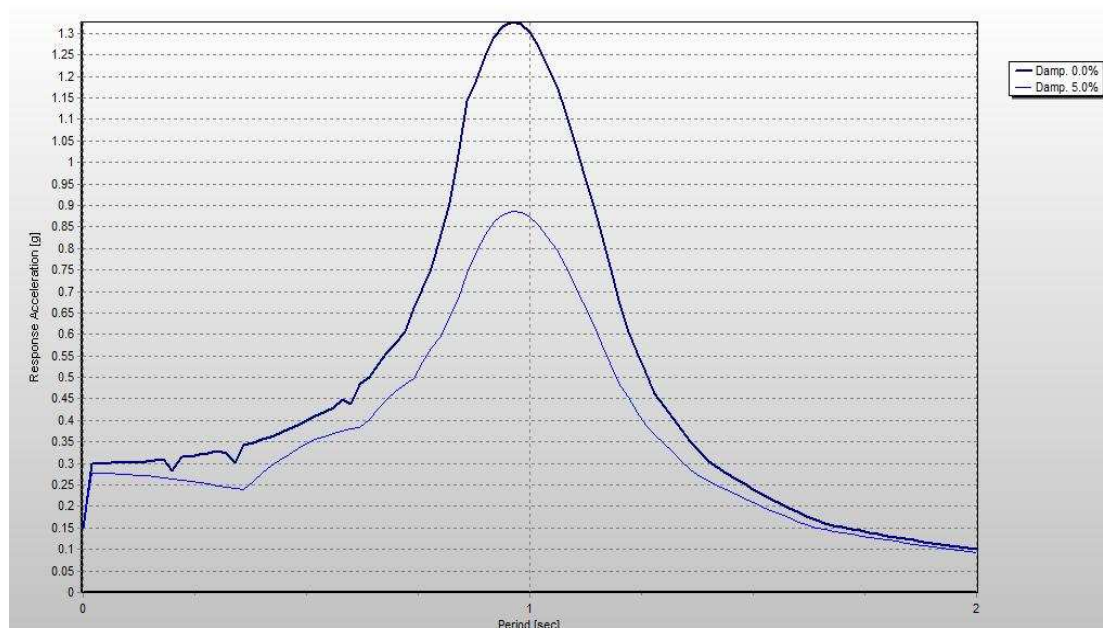
Σχήμα 9.3.26: Παραμορφωμένη εικόνα φορέα κατά το τελικό στάδιο της φόρτισης.

9.4 Αρμονική Φόρτιση:

Για σκοπούς πληρότητας αλλά και για να διαπιστωθεί η λειτουργία του φορέα διενεργήθηκε μία αρμονική, συνημιτονοειδής φόρτιση. Η περίοδος της φόρτισης είναι 1 sec και η φόρτιση περιέχει τρεις κύκλους. Η μέγιστη επιτάχυνση που αναπτύσσεται είναι 0,15g, δηλαδή η επιτάχυνση που ορίζεται βάσει του Κυπριακού αντισεισμικού κώδικα για την περιοχή που είναι το κτίριο. Το γράφημα της φόρτισης παρουσιάζεται στο σχήμα 9.4.1 καθώς επίσης και το φάσμα απόκρισης στο σχήμα 9.4.2 για τιμές απόσβεσης 0 και 5%.



Σχήμα 9.4.1: Γράφημα σεισμού κατά X.



Σχήμα 9.4.2: Φάσμα απόκρισης

➤ Εφαρμογή κατά X:

Από το φάσμα απόκρισης για συντελεστή απόσβεσης ίσο με 5% η αναμενόμενη αναπτυσσόμενη επιτάχυνση για τέτοιες κατασκευές είναι περίπου ίση με 0,61g.

Η διαδικασία ολοκληρώνεται μετά από παρέλευση και των 600 βημάτων που ορίστηκαν. Το κάθε βήμα είχε διάρκεια 0,005 sec. Η συνολική διάρκεια του σεισμού είναι 3 sec.

Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History

Load Case Name: N.L.T.H.COS.X [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Time History [Design...]

Initial Conditions:

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case []

 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:

- Linear
- Nonlinear

 Time History Type:

- Modal
- Direct Integration

Geometric Nonlinearity Parameters:

- None
- P-Delta
- P-Delta plus Large Displacements

Modal Load Case: Use Modes from Case: MODAL []

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	COSINE_FD	9,81
Accel	U1	COSINE_FORCE	9,81

[Add] [Modify] [Delete]

Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

- Number of Output Time Steps: 600
- Output Time Step Size: 5,000E-03

Time History Motion Type:

- Transient
- Periodic

Other Parameters:

- Damping: Proportional Damping [Modify/Show...]
- Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor [Modify/Show...]
- Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Σχήμα 9.4.3: Ορισμός Ανάλυσης για διεύθυνση X.

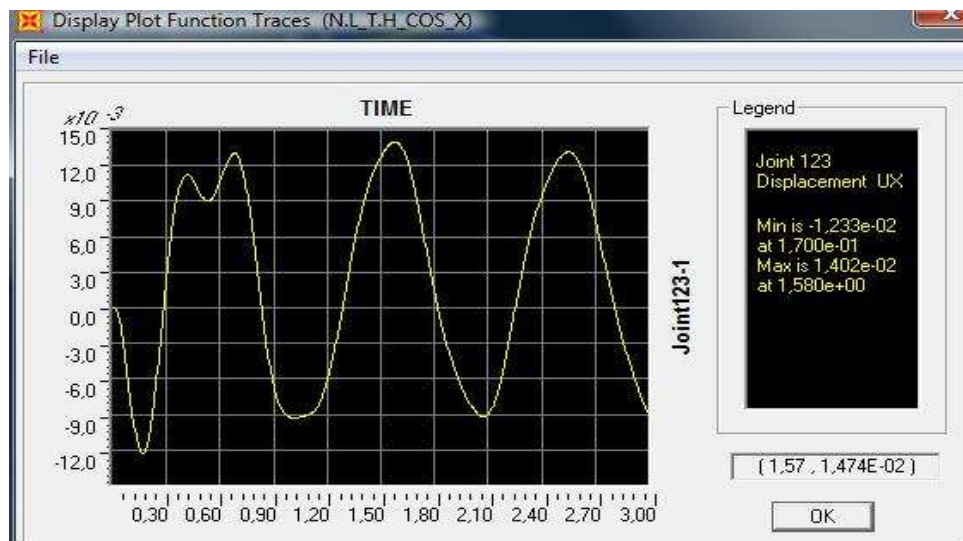
Οι κόμβοι που επιλέχθηκαν για την απεικόνιση της απόκρισης στην περίπτωση αυτή είναι κοινοί με την αντίστοιχη περίπτωση του

9^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

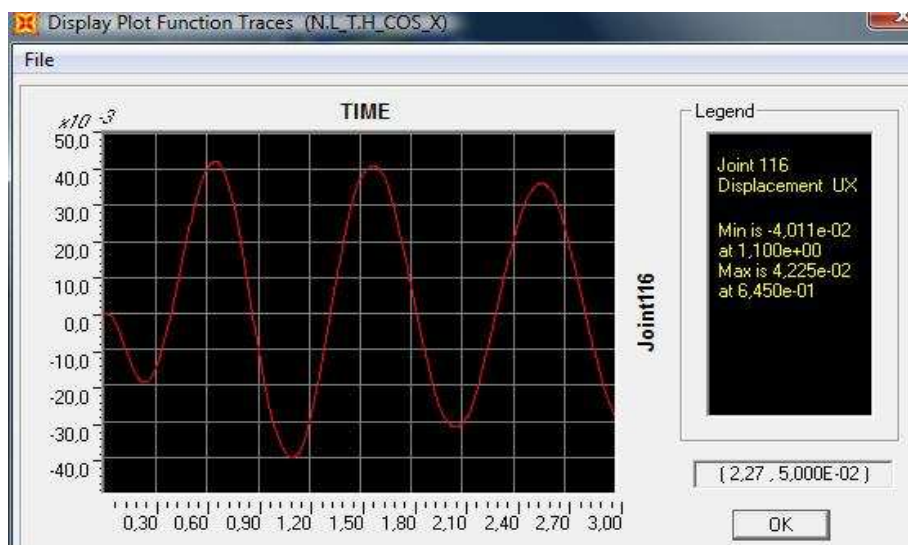
σεισμού της Δεκέλειας κατά Χ. Είναι λοιπόν: 123 σε δώμα, 150 και 116 σε τέταρτο όροφο, 73 και 149 σε τρίτο όροφο, 148 και 196 σε δεύτερο όροφο, 83 και 113 σε πρώτο όροφο και οι 34 και 118 στο ισόγειο. Θα παρουσιαστεί η χρονική εξέλιξη της μετατόπισης κατά U1 σε συναρτήσεις του χρόνου.

TABLE: Joint Displacements							
Joint	Step Type	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
34	Max	2,7E-03	2,2E-03	9,8E-05	1,1E-05	8,0E-04	6,4E-04
34	Min	-1,8E-03	-2,2E-03	-7,6E-05	-9,7E-06	-5,5E-04	-5,8E-04
73	Max	3,2E-02	8,8E-03	6,8E-04	6,9E-04	2,4E-03	2,1E-03
73	Min	-3,1E-02	-9,9E-03	-3,9E-04	-7,4E-04	-2,3E-03	-2,1E-03
83	Max	4,9E-03	8,4E-03	1,1E-03	1,4E-03	1,5E-04	1,2E-03
83	Min	-2,5E-03	-9,3E-03	-1,1E-03	-1,4E-03	-8,9E-05	-1,1E-03
113	Max	1,9E-02	8,0E-03	8,1E-04	8,5E-04	2,8E-03	1,2E-03
113	Min	-1,7E-02	-8,4E-03	-6,5E-04	-7,4E-04	-2,7E-03	-1,1E-03
116	Max	4,2E-02	1,5E-02	8,2E-04	2,5E-04	2,2E-03	2,5E-03
116	Min	-4,0E-02	-1,6E-02	-6,7E-04	-2,3E-04	-2,1E-03	-2,5E-03
118	Max	1,7E-03	2,5E-03	5,5E-04	5,9E-04	5,1E-04	6,4E-04
118	Min	-1,5E-03	-3,2E-03	-1,7E-04	-6,1E-04	-4,4E-04	-5,8E-04
123	Max	1,4E-02	1,7E-02	7,9E-04	9,1E-04	8,6E-04	2,8E-03
123	Min	-1,2E-02	-1,9E-02	-3,6E-04	-9,5E-04	-7,7E-04	-2,9E-03
148	Max	1,0E-02	8,1E-03	2,7E-03	1,1E-03	1,2E-03	1,7E-03
148	Min	-8,3E-03	-9,1E-03	-1,2E-04	-1,0E-03	-9,6E-04	-1,7E-03
149	Max	1,4E-02	1,1E-02	2,7E-03	1,1E-03	1,2E-03	2,1E-03
149	Min	-1,1E-02	-1,2E-02	-1,4E-04	-1,0E-03	-9,7E-04	-2,1E-03
150	Max	1,8E-02	1,4E-02	2,7E-03	1,1E-03	1,2E-03	2,5E-03
150	Min	-1,4E-02	-1,5E-02	-1,4E-04	-1,1E-03	-9,6E-04	-2,5E-03
196	Max	1,0E-02	3,5E-03	4,8E-03	1,4E-04	1,2E-03	1,7E-03
196	Min	-8,3E-03	-4,5E-03	-2,4E-03	-9,7E-04	-9,6E-04	-1,7E-03

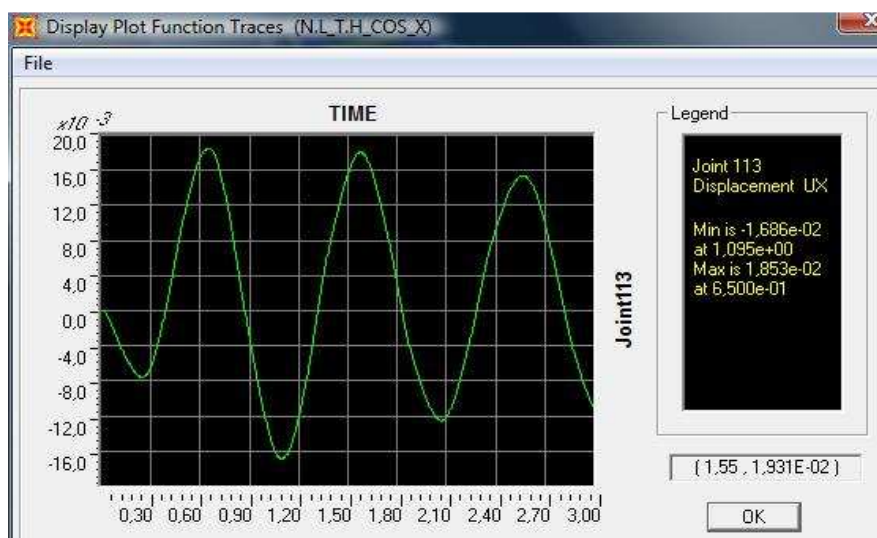
Πίνακας 9.4.1: Παραμορφωσιακά μεγέθη κόμβων.



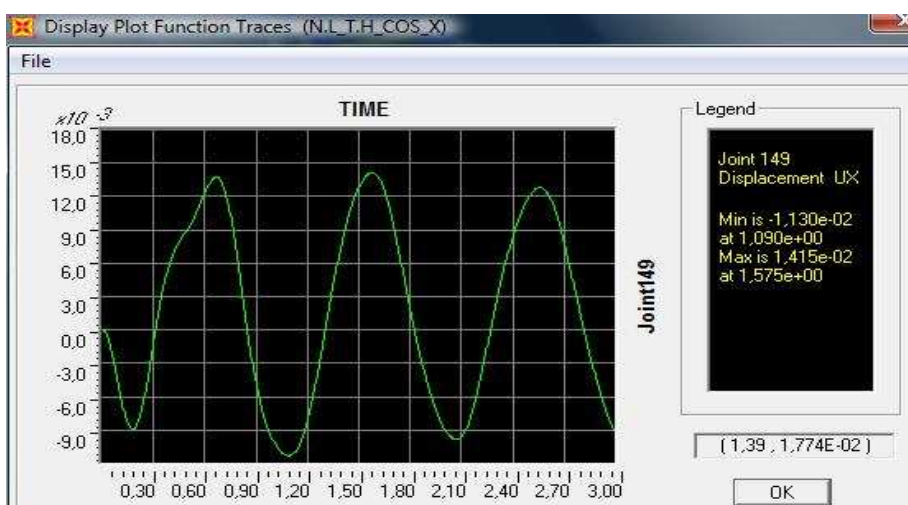
Σχήμα 9.4.4: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στο κόμβο 123.



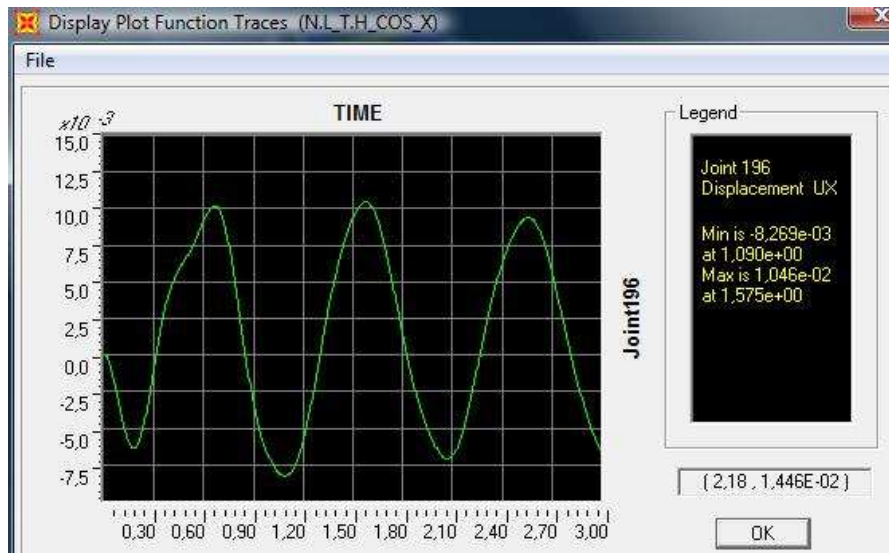
Σχήμα 9.4.5: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στον κόμβο 116.



Σχήμα 9.4.6: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στον κόμβο 113.



Σχήμα 9.4.7: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στο κόμβο 149.

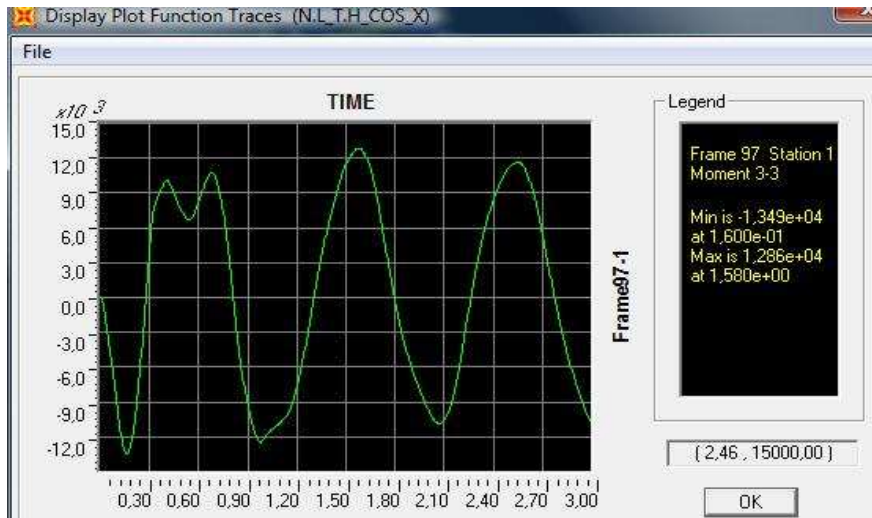


Σχήμα 9.4.8: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στο κόμβο 196.

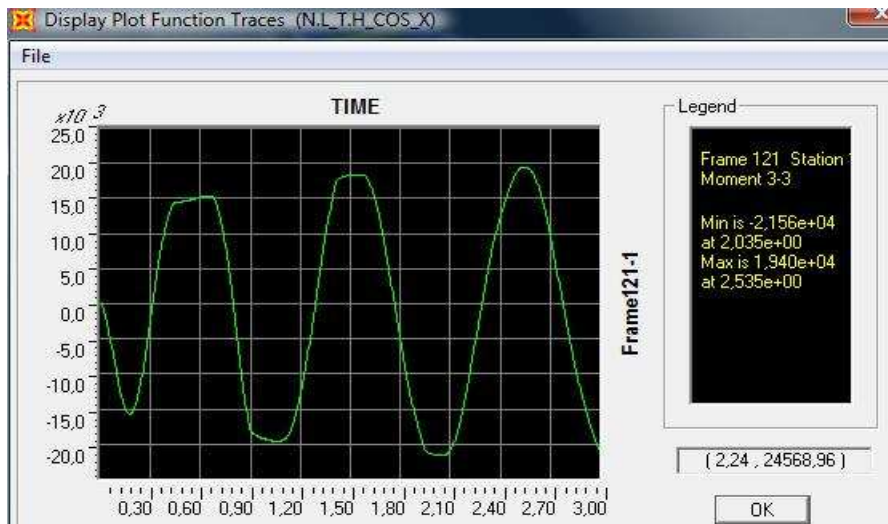
Στη συνέχεια παρουσιάζεται πίνακας με τα εντατικά μεγέθη των μελών ,με σκοπό να δειχθεί η συμπεριφορά τους. Συγκεκριμένα θα παρουσιαστούν μέλη μόνο από τη στάθμη του ισογείου. Αυτά τα μέλη είναι τα 97 και 121 για τα τοιχώματα διαστάσεων 5.90*0.20m (K19_A και K20) και το 92 για το ορθογωνικό υποστύλωμα διαστάσεων 0.70*0.70m (K18).

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
92	0	Max	575,0	224,8	195,6	63,1	522,3	847,8
92	2,18	Max	575,0	224,8	195,6	63,1	102,0	362,4
92	4,36	Max	575,0	224,8	195,6	63,1	323,5	78,3
92	0	Min	-540,3	-211,8	-205,6	-57,3	-573,1	-845,8
92	2,18	Min	-540,3	-211,8	-205,6	-57,3	-124,9	-387,8
92	4,36	Min	-540,3	-211,8	-205,6	-57,3	-331,4	-137,9
97	0	Max	2656,4	1123,7	21,2	28,7	51,6	12855,1
97	2,18	Max	2656,4	1123,7	21,2	28,7	7,6	10405,4
97	4,36	Max	2656,4	1123,7	21,2	28,7	75,0	7955,7
97	0	Min	-2156,3	-1414,3	-46,2	-26,1	-126,4	-13490,3
97	2,18	Min	-2156,3	-1414,3	-46,2	-26,1	-25,8	-10467,2
97	4,36	Min	-2156,3	-1414,3	-46,2	-26,1	-41,0	-7509,9
121	0	Max	532,9	2134,9	13,9	28,7	57,2	19401,3
121	2,18	Max	532,9	2134,9	13,9	28,7	27,3	14772,8
121	4,36	Max	532,9	2134,9	13,9	28,7	6,3	10160,4
121	0	Min	-1079,5	-2600,5	-5,8	-26,1	-28,6	-21563,0
121	2,18	Min	-1079,5	-2600,5	-5,8	-26,1	-16,1	-16066,8
121	4,36	Min	-1079,5	-2600,5	-5,8	-26,1	-10,7	-10601,0

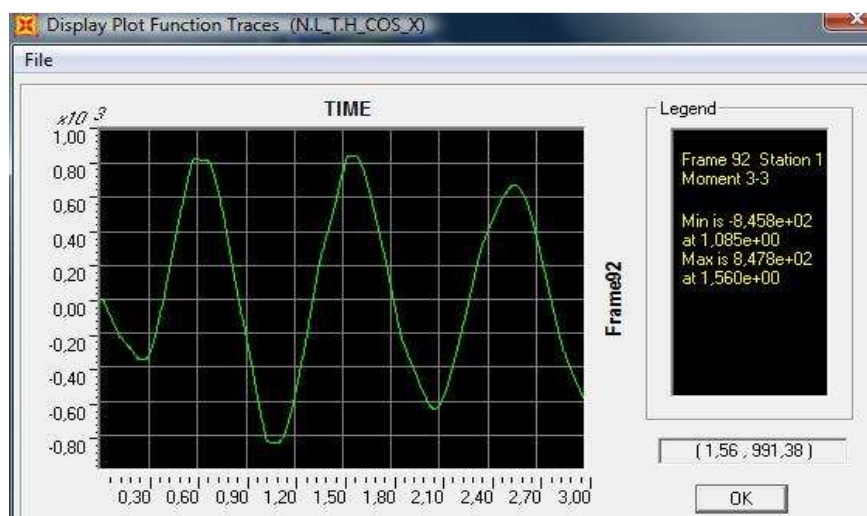
Πίνακας 9.4.2: Εντατικά μεγέθη μελών



Σχήμα 9.4.9: Χρονική εξέλιξη της Ροπής M3 του μέλους 97.

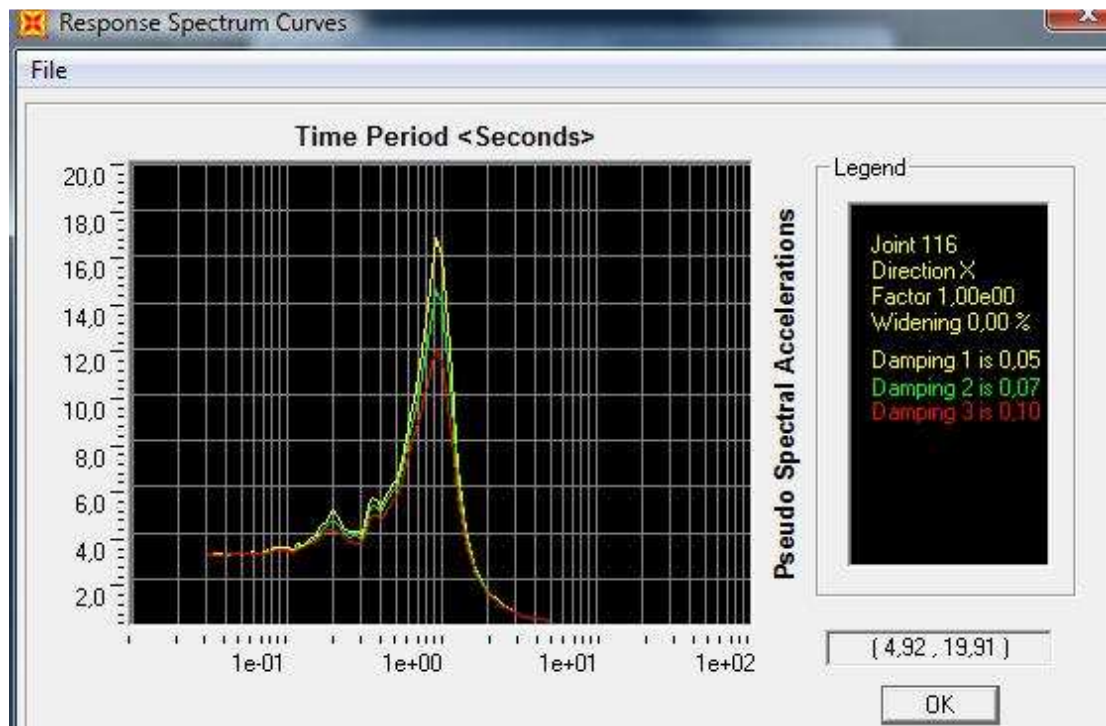


Σχήμα 9.4.10: Η χρονική εξέλιξη της ροπής M3 του μέλους 121.



Σχήμα 9.4.11: Χρονική εξέλιξη της Ροπής M3 του μέλους 92.

Ακόμα παρουσιάζεται το φάσμα απόκρισης για τον κόμβο 116.



Σχήμα 9.4.12: Φάσμα απόκρισης μετατόπισης κόμβου 116.

Το αποτέλεσμα από την εφαρμογή της μεθόδου είναι πως αρκετά πρωτεύοντα στοιχεία της φτάνουν είτε στο όριο διαρροής τους, είτε σε κατάσταση άμεσης χρήσης (Immediate Occupancy). Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι επιταχύνσεις στους κόμβους που επιλέχθηκαν για την απεικόνιση της παραμορφωσιακής τους κατάστασης.

TABLE: Joint Accelerations - Relative							
Joint	Step Type	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m/sec2	m/sec2	m/sec2	rad/sec2	rad/sec2	rad/sec2
34	Max	0,345	0,189	0,033	0,006	0,109	0,050
34	Min	-1,221	-0,156	-0,038	-0,003	-0,190	-0,045
73	Max	1,528	0,683	0,057	0,062	0,162	0,154
73	Min	-1,706	-0,818	-0,043	-0,061	-0,186	-0,118
83	Max	0,861	0,540	0,075	0,100	0,027	0,088
83	Min	-1,433	-0,802	-0,071	-0,093	-0,037	-0,063
113	Max	1,035	0,559	0,123	0,140	0,389	0,088
113	Min	-1,471	-0,461	-0,115	-0,138	-0,458	-0,063
116	Max	1,979	0,982	0,222	0,194	0,503	0,187
116	Min	-2,045	-0,794	-0,217	-0,173	-0,733	-0,153
118	Max	0,371	0,226	0,340	0,063	0,081	0,050

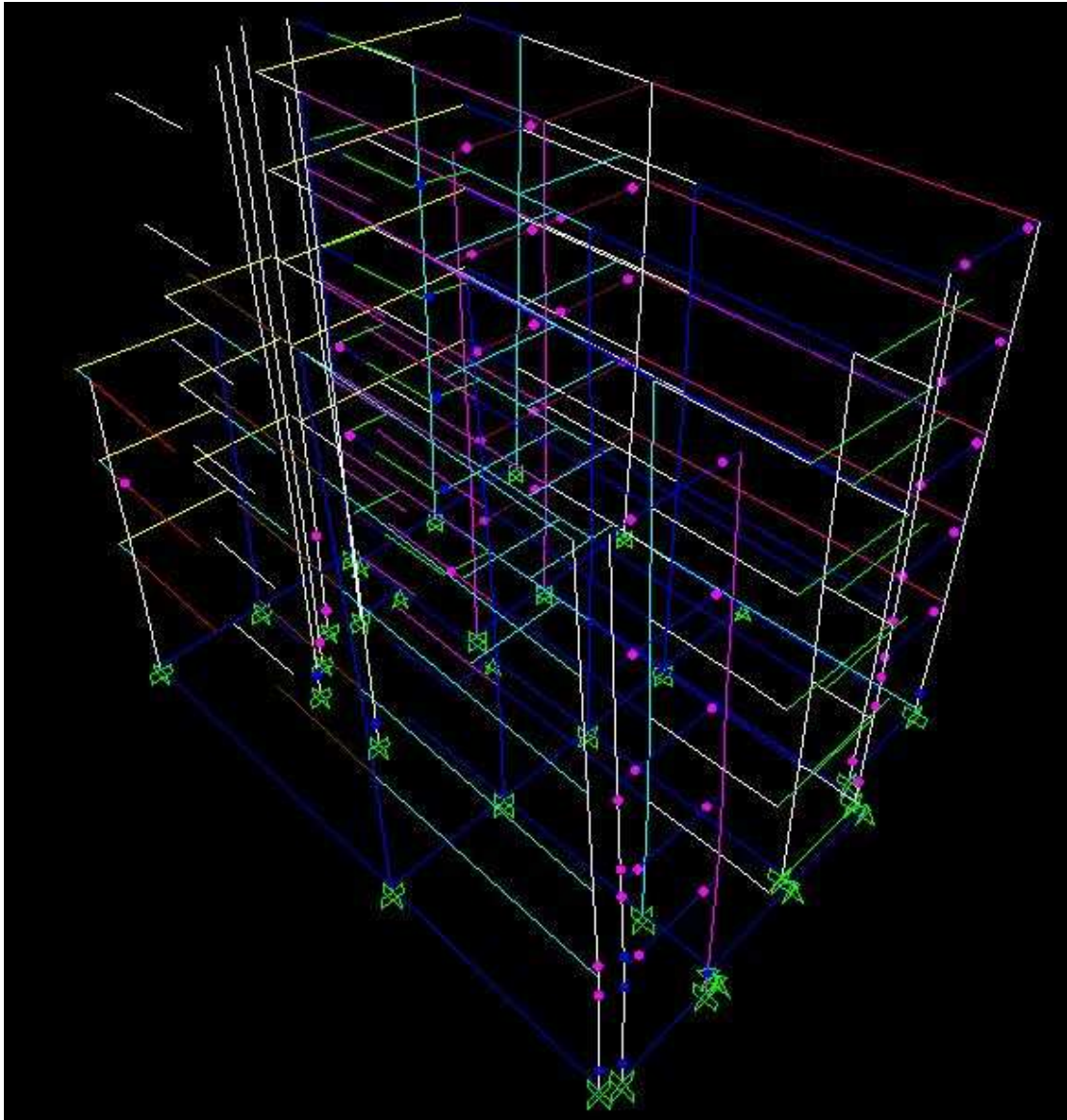
118	Min	-1,211	-0,311	-0,161	-0,099	-0,131	-0,045
123	Max	2,438	1,321	0,219	0,057	0,171	0,229
123	Min	-2,575	-1,522	-0,258	-0,097	-0,260	-0,187
148	Max	0,902	0,576	0,455	0,088	0,142	0,122
148	Min	-1,481	-0,770	-0,103	-0,117	-0,153	-0,084
149	Max	1,366	0,818	0,458	0,107	0,156	0,154
149	Min	-1,522	-0,995	-0,122	-0,101	-0,201	-0,118
150	Max	1,841	1,058	0,497	0,109	0,160	0,187
150	Min	-1,800	-1,259	-0,132	-0,138	-0,219	-0,153
196	Max	0,902	0,344	0,455	0,149	0,142	0,122
196	Min	-1,481	-0,424	-0,402	-0,191	-0,153	-0,084

Πίνακας 9.4.3: Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις κόμβων.

Τα στοιχεία που καταπονούνται ιδιαίτερα είναι τα εξής:

- Δοκάρια: σε κατάσταση διαρροής βρίσκονται τα Δ6, Δ7, Δ9, Δ12, Δ16 και Δ23, ενώ σε κατάσταση άμεσης χρήσης το Δ8. Συγκεκριμένα το Δ8 στη στάθμη του ισογείου είναι στη φάση της διαρροής ενώ στις υπόλοιπες άλλες (πλην του δώματος) είναι στη φάση άμεσης χρήσης. Τα Δ6, Δ9 και Δ12 σε όλες τις στάθμες πλην του δώματος είναι στην κατάσταση διαρροής. Το Δ7 στις στάθμες πρώτου, δεύτερου και τρίτου ορόφου είναι σε διαρροή. Το Δ16 στη στάθμη του πρώτου ορόφου είναι στη διαρροή όπως και το Δ23 για την στάθμη του δεύτερου ορόφου.
- Υποστυλώματα: το γωνιακό υποστύλωμα K14 βρίσκεται σε κατάσταση τόσο διαρροής όσο και σε άμεση χρήση. Τα υποστυλώματα K18, K19_A και K20 είναι σε φάση άμεσης χρήσης, ενώ τα K17, K19_B και K19_C είναι σε κατάσταση διαρροής. Οι πλαστικές αρθρώσεις στα υποστυλώματα εκτείνονται το πολύ μέχρι και τον δεύτερο όροφο, με το πλέον καταπονούμενο στοιχείο να είναι το K14_A.

Ακολούθως επισυνάπτεται το παραμορφωμένο σχήμα της κατασκευής κατά το 3 δευτερόλεπτο της ανάλυσης.



Σχήμα 9.4.13: Παραμορφωμένο σχήμα κατασκευής στο 3 sec.

➤ Εφαρμογή κατά Ψ:

Καταρχάς να σημειωθεί πως στην εν λόγω ανάλυση υιοθετήθηκε απόσβεση ίση με μηδέν. Αυτό έγινε για σκοπούς συγκρίσεως με τις προηγούμενες αναλύσεις και για να αποδειχθεί η σημασία της απόσβεσης στις κτιριακές κατασκευές.

9^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

Από το φάσμα απόκρισης που παρουσιάστηκε προηγουμένως παρατηρείται πως κατασκευές με ιδιοπερίοδο γύρω στα 0.80 sec πρόκειται να αναπτύξουν επιταχύνσεις περί τα 0,85 g.

Η διαδικασία ολοκληρώνεται στα 99 βήματα από τα 600 με διάρκεια το κάθε ένα 0,005 sec. Η συνολική διάρκεια που προέκυψε είναι 0,495 sec. Προφανώς το πρόγραμμα δεν μπορούσε να βρεί κάποια άλλη λύση λόγω αστοχίας κάποιου μέλους του φορέα. Ο ορισμός της ανάλυσης παρουσιάζεται πιο κάτω.

Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History

Load Case Name: N.L_T.H_COS_Y [Set Def Name] [Modify/Show...]

Load Case Type: Time History [Design...]

Initial Conditions:
 Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
 Continue from State at End of Nonlinear Case []
Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:
 Linear
 Nonlinear

Time History Type:
 Modal
 Direct Integration

Geometric Nonlinearity Parameters:
 None
 P-Delta
 P-Delta plus Large Displacements

Modal Load Case:
Use Modes from Case: MODAL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U2	COSINE_F0	9.81
Accel	U2	COSINE_F0	9.81

[Add] [Modify] [Delete]

Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:
Number of Output Time Steps: 600
Output Time Step Size: 5.000E-03

Time History Motion Type:
 Transient
 Periodic

Other Parameters:
Damping: Proportional Damping [Modify/Show...]
Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor [Modify/Show...]
Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

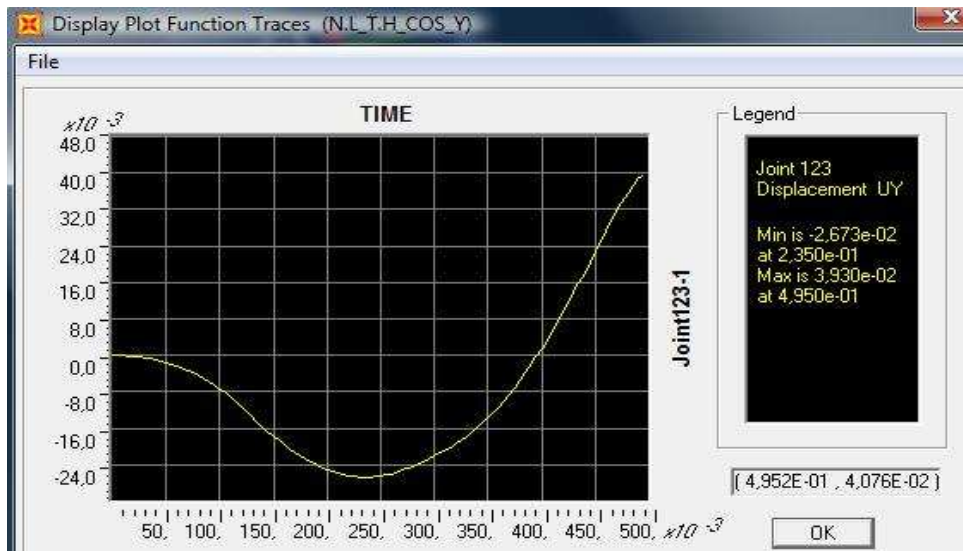
Σχήμα 9.4.14: Ορισμός Ανάλυσης για διεύθυνση Ψ.

9^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

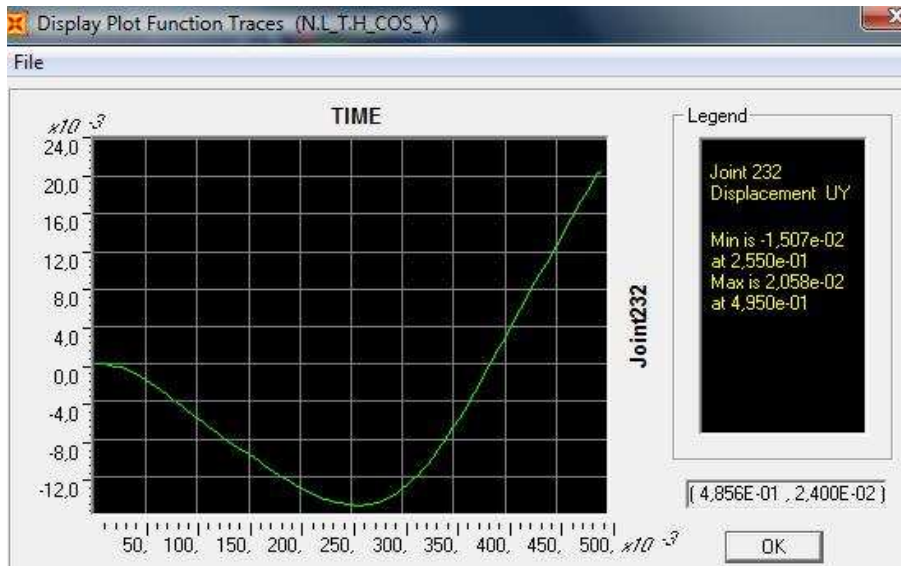
Για την απόκριση της κατασκευής επιλέχθηκαν οι ίδιοι κόμβοι με την αντίστοιχη της Δεκέλειας διέγερση. Για τους οποίους και θα δείξουμε την χρονική εξέλιξη της μετατόπισης κατά U2 σε σχέση με τον χρόνο. Οι κόμβοι αυτοί είναι: ο 123 σε δώμα, οι 150 και 181 σε τέταρτο όροφο, οι 173 και 156 σε τρίτο όροφο, οι 206 και 232 σε δεύτερο όροφο, οι 65 και 41 σε πρώτο όροφο και οι 46 και 34 στο ισόγειο. Αρχικά όμως παρουσιάζεται η παραμορφωσιακή τους κατάσταση συγκεντρωτικά στον πίνακα 9.3.4.

TABLE: Joint Displacements							
Joint	Step Type	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
34	Max	3,5E-04	9,6E-03	6,6E-05	8,9E-05	1,2E-04	1,4E-04
34	Min	-3,6E-04	-6,9E-03	-6,0E-05	-1,8E-04	-1,4E-04	-6,6E-05
41	Max	8,7E-04	1,8E-02	9,2E-05	1,1E-03	1,8E-04	2,5E-04
41	Min	-9,7E-04	-1,3E-02	0,0E+00	-1,7E-03	-1,9E-04	-1,2E-04
46	Max	3,5E-04	8,1E-03	4,0E-05	1,5E-03	6,7E-05	1,4E-04
46	Min	-1,7E-04	-6,2E-03	-2,2E-05	-1,9E-03	-3,1E-05	-6,6E-05
65	Max	4,0E-04	1,7E-02	2,6E-04	1,4E-03	1,4E-04	2,5E-04
65	Min	-2,0E-04	-1,2E-02	-3,6E-06	-2,1E-03	-6,9E-05	-1,2E-04
123	Max	3,0E-03	3,9E-02	1,5E-03	1,1E-03	1,5E-04	1,9E-04
123	Min	-3,8E-03	-2,7E-02	-6,0E-04	-1,8E-03	-2,1E-04	-5,6E-05
150	Max	2,4E-03	3,3E-02	1,1E-04	1,3E-03	1,8E-04	2,1E-04
150	Min	-2,7E-03	-2,3E-02	-2,5E-04	-2,0E-03	-2,2E-04	-8,4E-05
156	Max	1,7E-03	2,7E-02	2,4E-04	1,1E-03	3,8E-04	2,9E-04
156	Min	-3,7E-04	-1,9E-02	-3,2E-04	-1,6E-03	-5,2E-04	-1,4E-04
173	Max	2,9E-03	2,9E-02	2,9E-03	1,2E-03	1,5E-04	2,9E-04
173	Min	-4,6E-03	-2,0E-02	-4,3E-03	-1,8E-03	-1,9E-04	-1,4E-04
181	Max	3,1E-03	3,6E-02	3,0E-03	9,2E-04	1,3E-04	2,1E-04
181	Min	-4,6E-03	-2,4E-02	-4,0E-03	-1,4E-03	-1,6E-04	-8,4E-05
206	Max	2,6E-03	2,2E-02	4,1E-04	1,2E-04	5,3E-04	3,1E-04
206	Min	-1,1E-03	-1,6E-02	-3,5E-04	-6,2E-05	-9,0E-04	-1,5E-04
232	Max	1,6E-03	2,1E-02	9,1E-04	5,8E-04	1,8E-04	3,1E-04
232	Min	-2,1E-03	-1,5E-02	-3,6E-04	-2,4E-04	-2,3E-04	-1,5E-04

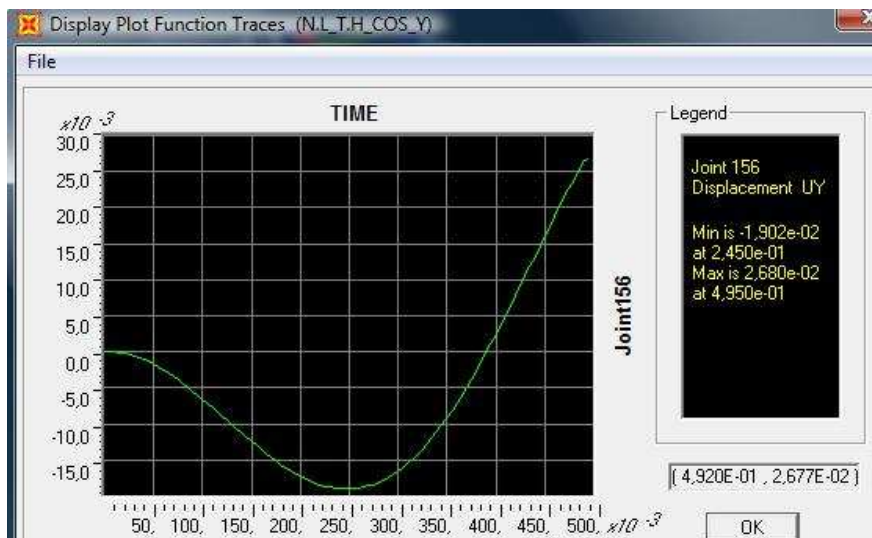
Πίνακας 9.4.4: Παραμορφωσιακά μεγέθη κόμβων.



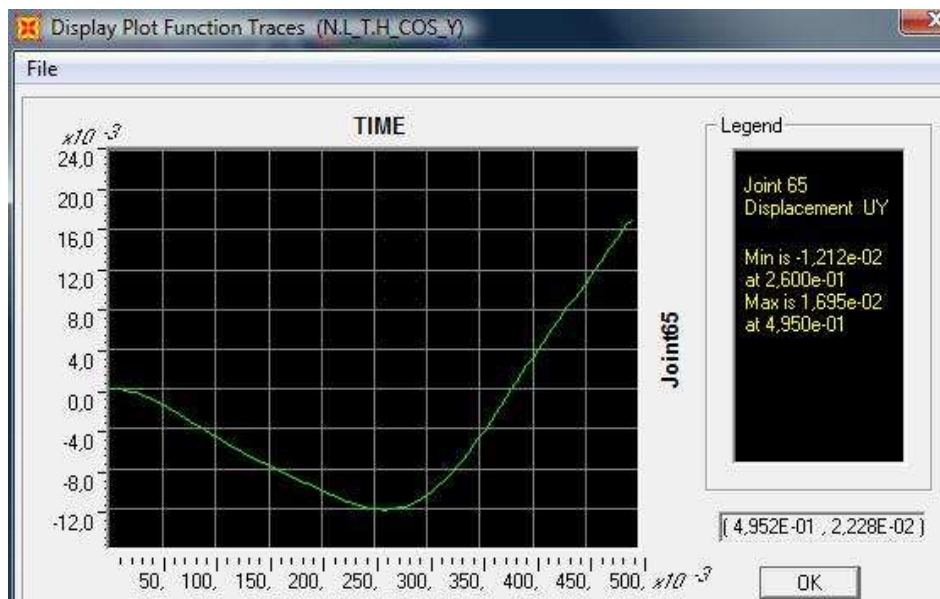
Σχήμα 9.3.15: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στο κόμβο 123.



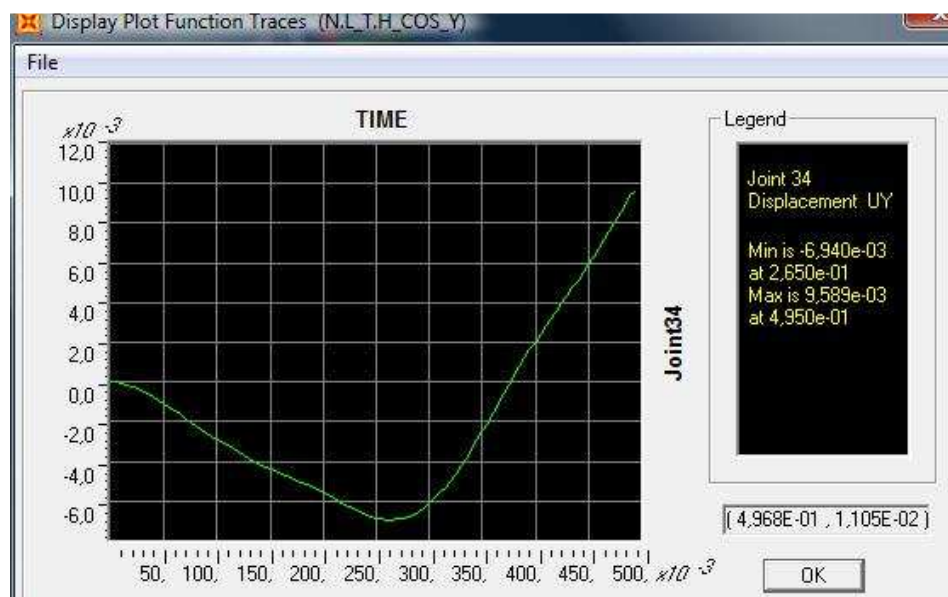
Σχήμα 9.4.16: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στον κόμβο 232.



Σχήμα 9.3.17: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στον κόμβο 156.



Σχήμα 9.4.18: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στο κόμβο 65.

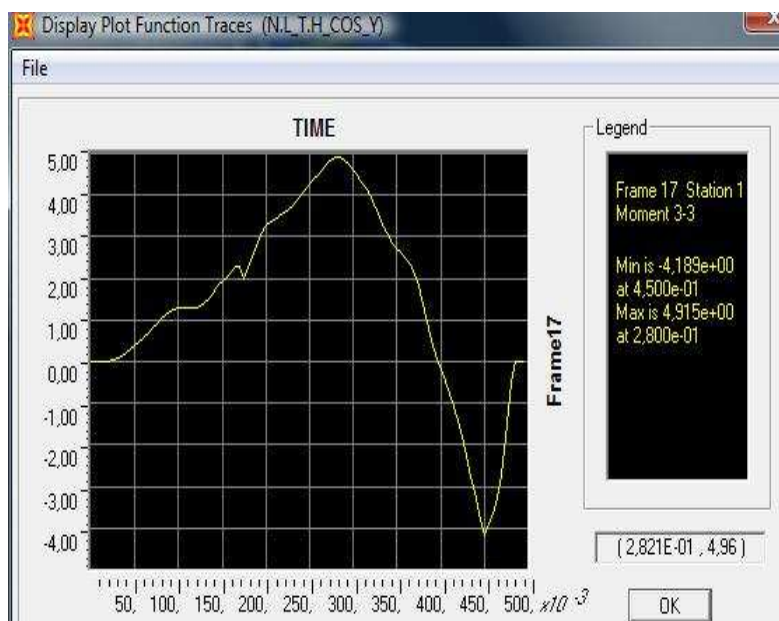


Σχήμα 9.4.19: Χρονική εξέλιξη της μετατόπισης στο κόμβο 34.

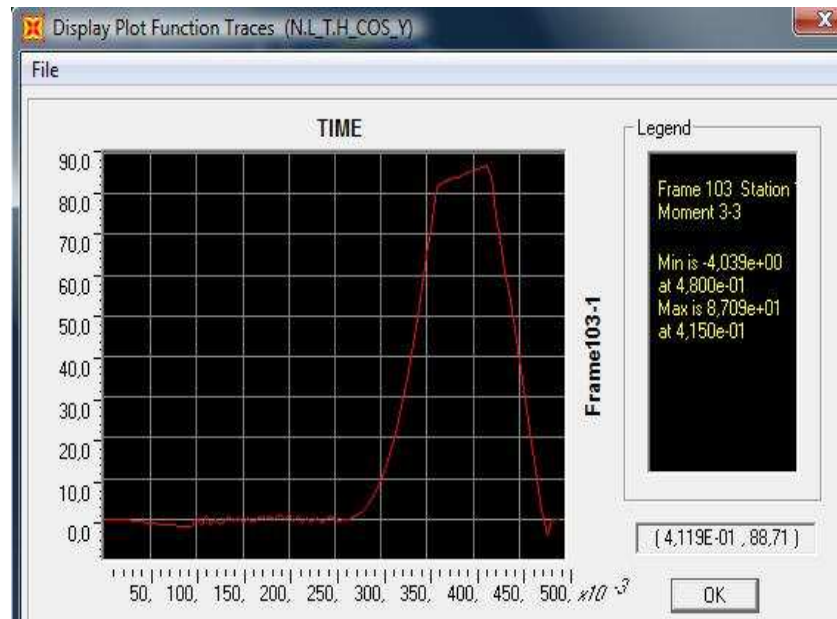
Στη συνέχεια θα μελετηθεί η συμπεριφορά κάποιων κρίσιμων μελών μέσω των εντατικών τους μεγεθων. Συγκεκριμένα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα μελών μόνο από τη στάθμη του ισογείου. Αυτά τα μέλη είναι το 109 για το τοίχωμα K19_C που έχει διαστάσεις 2.20*0.20m, του 103 για το τοίχωμα διαστάσεων 2.20*0.20m (K19_B) και το 17 για το υποστύλωμα K5 διαστάσεων 0.30*0.70m.

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	Step Type	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
17	0	Max	477,72	1,27	150,74	1,85	474,46	4,92
17	2,18	Max	477,72	1,27	150,74	1,85	148,64	2,21
17	4,36	Max	477,72	1,27	150,74	1,85	141,63	0,24
17	0	Min	-561,69	-0,90	-92,37	-0,88	-265,61	-4,19
17	2,18	Min	-561,69	-0,90	-92,37	-0,88	-64,26	-2,22
17	4,36	Min	-561,69	-0,90	-92,37	-0,88	-193,30	-1,38
103	0	Max	784,92	31,69	1100,13	2,23	3380,23	87,09
103	2,18	Max	784,92	31,69	1100,13	2,23	997,96	22,79
103	4,36	Max	784,92	31,69	1100,13	2,23	1217,39	14,56
103	0	Min	-1421,10	-3,48	-853,36	-1,06	-2507,64	-4,04
103	2,18	Min	-1421,10	-3,48	-853,36	-1,06	-771,35	-8,54
103	4,36	Min	-1421,10	-3,48	-853,36	-1,06	-1417,88	-51,06
109	0	Max	1449,78	15,70	9,58	2,23	67,93	726,60
109	2,18	Max	1449,78	15,70	9,58	2,23	47,05	784,50
109	4,36	Max	1449,78	15,70	9,58	2,23	56,31	1157,07
109	0	Min	-2182,91	-170,90	-10,62	-1,06	-28,71	-37,41
109	2,18	Min	-2182,91	-170,90	-10,62	-1,06	-7,18	0,00
109	4,36	Min	-2182,91	-170,90	-10,62	-1,06	-3,06	0,00

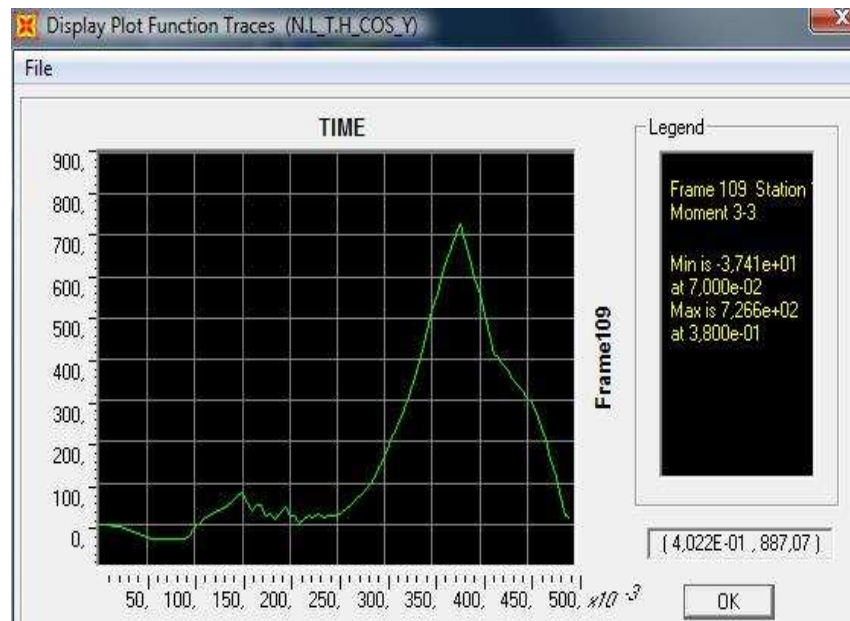
Πίνακας 9.4.5: Εντατικά μεγέθη μελών



Σχήμα 9.4.22: Χρονική εξέλιξη της Ροπής M3 του μέλους 17.

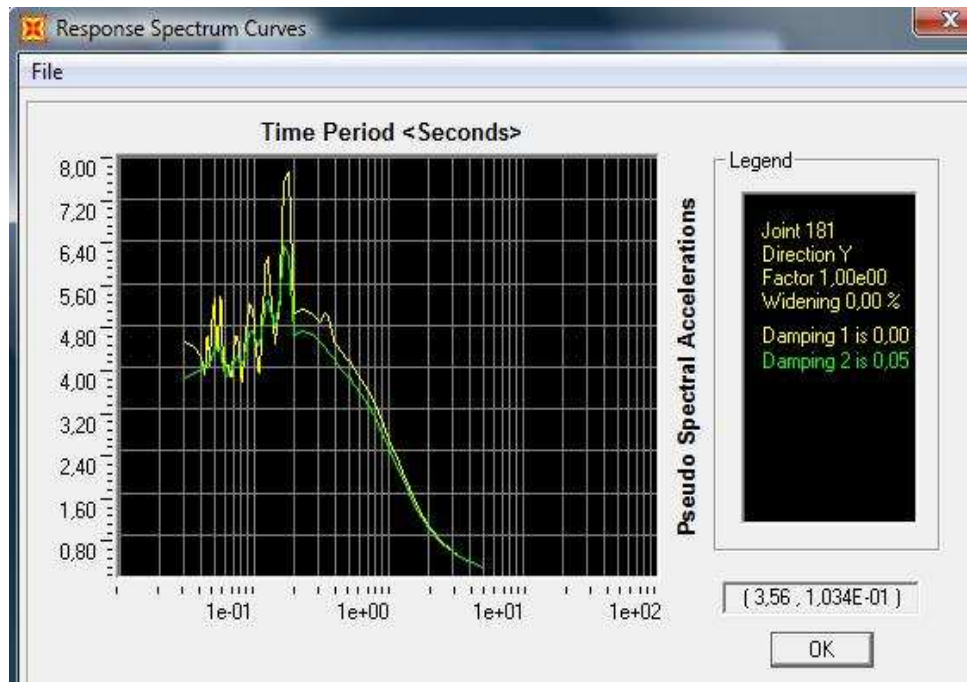


Σχήμα 9.4.23: Η χρονική εξέλιξη της ροπής M3 του μέλους 103.



Σχήμα 9.4.24: Χρονική εξέλιξη της Ροπής M3 του μέλους 109.

Ακόμα παρουσιάζεται το φάσμα απόκρισης για τον κόμβο 181 σε λογαριθμική κλίμακα στον οριζόντιο άξονα.



Σχήμα 9.4.25: Φάσμα απόκρισης μετατόπισης κόμβου 181.

Το αποτέλεσμα από την εφαρμογή της μεθόδου είναι πως αρκετά σημεία της κατασκευής φτάνουν είτε στο όριο διαρροής, είτε στη κατάσταση άμεσης χρήσης είτε στη κατάσταση προστασίας ζωής και είτε στο τέλος αστοχούν. Στο αποτέλεσμα αυτό καθοριστικό ρόλο είχε το ότι θεωρήθηκε μηδενική απόσβεση.

Ακολουθεί πίνακας που παρουσιάζει τις αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις στους κόμβους που επιλέχθηκαν για την απεικόνιση της παραμορφωσιακής τους κατάστασης.

TABLE: Joint Accelerations - Relative							
Joint	Step Type	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m/sec ²	m/sec ²	m/sec ²	rad/sec ²	rad/sec ²	rad/sec ²
34	Max	0,147	1,332	0,539	4,0E+06	2,2E+05	0,031
34	Min	-0,274	-1,444	-0,295	-3,9E+05	-1,8E+06	-0,017
41	Max	0,145	2,201	0,385	1,1E+06	6,7E+03	0,027
41	Min	-0,207	-1,532	-0,329	-2,6E+05	-4,1E+06	-0,014
46	Max	0,235	1,221	0,873	4,5E+06	9,5E+05	0,031
46	Min	-0,156	-1,441	-0,040	-5,6E+05	-1,0E+07	-0,017
65	Max	0,201	2,097	0,625	5,0E-01	3,0E+07	0,027
65	Min	-0,121	-1,524	-0,381	-4,4E+05	-1,5E+06	-0,014
123	Max	0,793	3,234	4,322	3,3E+00	6,6E-01	0,118
123	Min	-0,608	-3,713	-3,735	-3,8E+00	-6,7E-01	-0,442
150	Max	0,228	2,386	0,807	6,0E-01	2,8E-01	0,028
150	Min	-0,375	-2,042	-0,572	-3,3E-01	-3,6E-01	-0,032

9^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

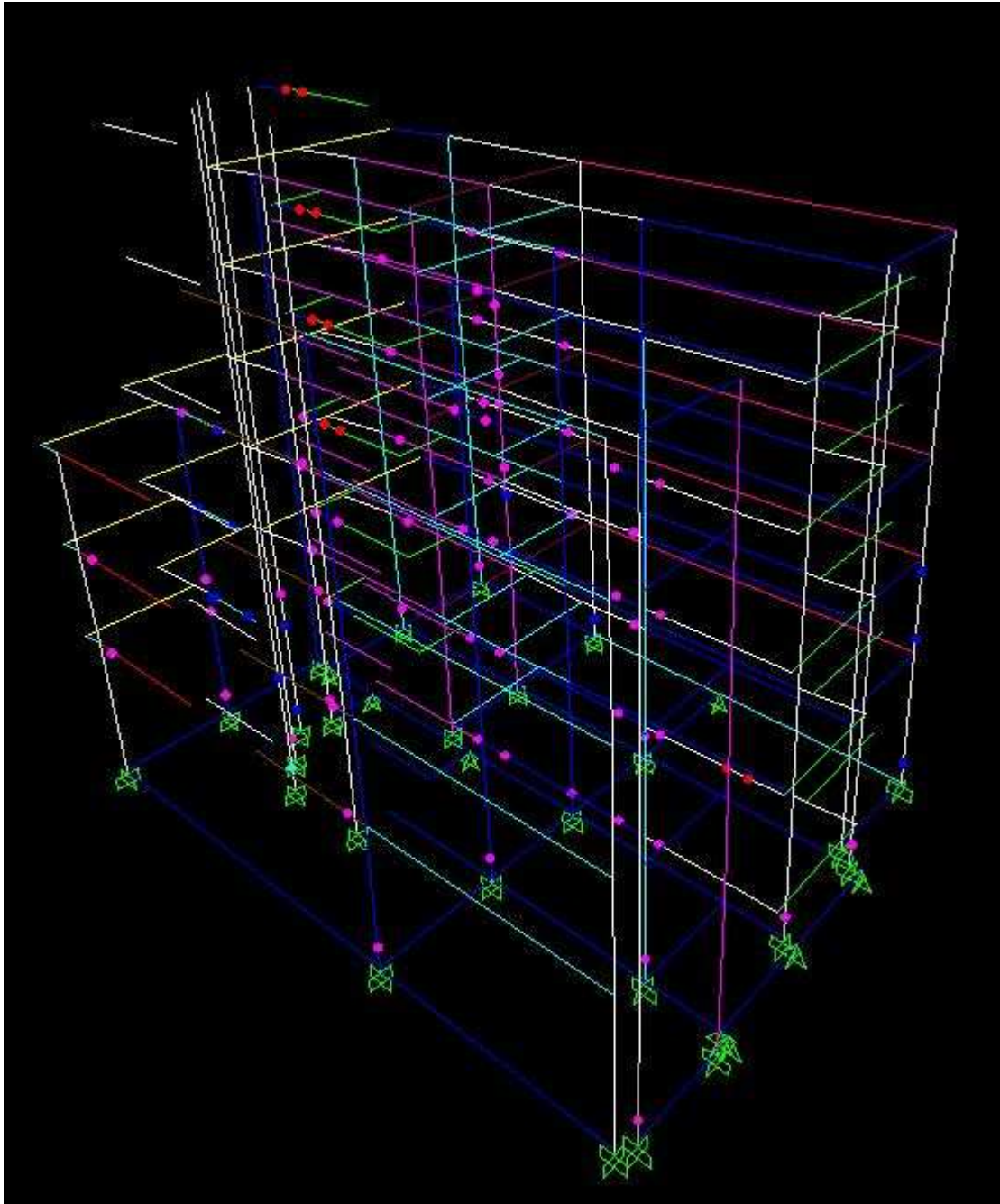
156	Max	0,323	2,089	0,178	2,8E+05	1,5E+04	0,043
156	Min	-0,587	-1,601	-0,114	-2,9E+04	-1,4E+05	-0,039
173	Max	0,404	2,114	1,605	3,0E+04	5,2E+04	0,043
173	Min	-0,570	-1,608	-1,774	-4,8E+03	-2,8E+03	-0,039
181	Max	0,462	2,433	2,565	7,8E+04	1,2E+04	0,028
181	Min	-0,560	-2,271	-1,355	-7,7E+05	-2,2E+05	-0,032
206	Max	0,331	2,133	2,764	3,4E+04	3,4E+05	0,027
206	Min	-0,566	-1,554	-2,074	-6,2E+07	-1,8E+03	-0,03
232	Max	0,166	2,104	3,324	2,1E+00	2,4E+00	0,027
232	Min	-0,354	-1,546	-2,735	-1,2E+00	-3,6E-01	-0,03

Πίνακας 9.4.6: Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις κόμβων.

Τα στοιχεία που καταπονούνται είναι τα ακόλουθα:

- Δοκάρια: στην οροφή του ισογείου παρουσιάστηκε η εξής κατάσταση: τα Δ16, Δ29, Δ33, Δ36, Δ23, Δ14, Δ21, Δ20, Δ19 και Δ32 σε διαρροή ενώ σε άμεση χρήση το Δ24. Παρόμοια κατάσταση παρατηρήθηκε και στον πρώτο όροφο με μοναδική εξαίρεση το Δ19 που ήταν σε κατάσταση αστοχίας. Στην οροφή του δευτέρου ορόφου η παραμορφωμένη κατάσταση είχε ως εξής: κατάσταση διαρροής τα Δ24, Δ33, Δ36, Δ23, Δ14, Δ21, Δ20 και Δ19, σε άμεση χρήση το Δ24 ενώ τα Δ23 και Δ22 σε κατάσταση αστοχίας. Τα Δ33, Δ36, Δ14, Δ21, Δ20 και Δ19 σε κατάσταση διαρροής, ενώ και πάλι τα Δ23 και Δ22 σε αστοχία στη οροφή του τρίτου ορόφου. Η οροφή του τετάρτου ορόφου παρουσιάζει διαρροή στο Δ20 ενώ αστοχία και πάλι στα Δ23 και Δ22. Στην οροφή του δώματος αστοχούν τα Δ23 και Δ22.
- Υποστυλώματα: τα υποστυλώματα που διαρρέουν είναι το K14, K16, K17, K13, K9, K10, K11, K12, K7, K19_B, K19_D, K19_C, K2, K4 και K5. Σε κατάσταση άμεσης χρήσης είναι τα K18, K7, K8, K19_A και K19_C. Το K19_A είναι και στην κατάσταση προστασίας ζωής.

Ακολουθεί το τρισδιάστατο παραμορφωμένο σχήμα της κατασκευής κατά το τελικό στάδιο της σεισμικής διέγερσης.

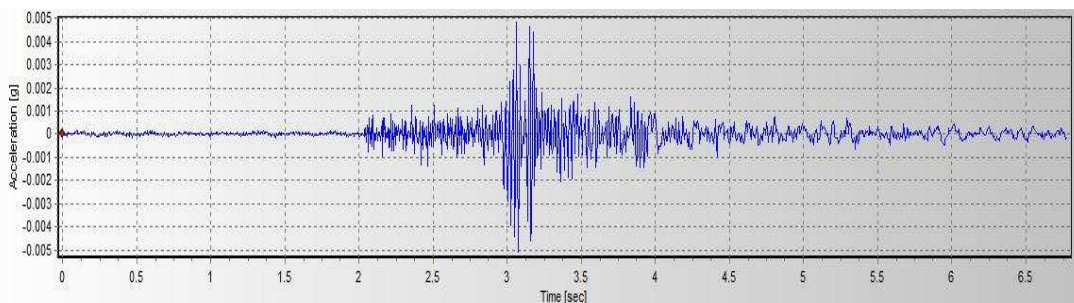


Σχήμα 9.4.26: Παραμορφωμένη εικόνα φορέα κατά το τελικό στάδιο της φόρτισης.

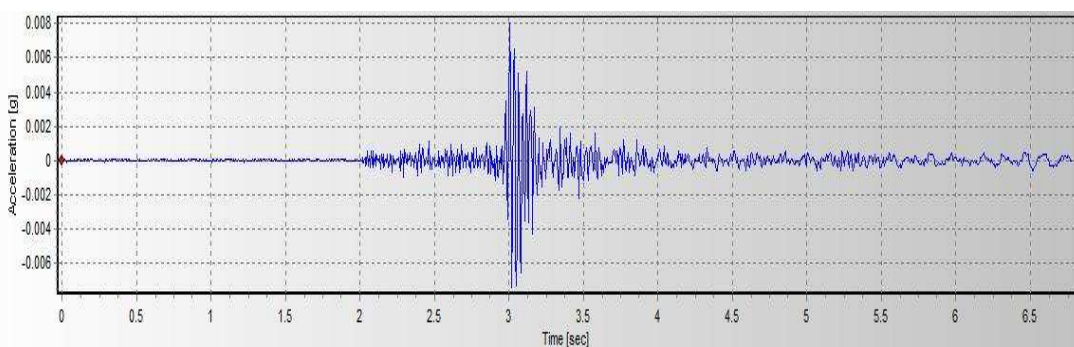
9.5 Εφαρμογή σεισμού της Λεμεσού:

Ο σεισμός της Λεμεσού έγινε στις 12/01/2005 και είχε μικρή σχετικά διάρκεια, 6,785 sec.

Ακολουθώς παρουσιάζονται τα επιταχυνσιογραφήματα του σεισμού για τις διευθύνσεις X και Ψ.



Σχήμα 9.5.1: Γράφημα σεισμού κατά X.



Σχήμα 9.5.2: Γράφημα σεισμού κατά Ψ.

Δεν πρόκειται για μία ισχυρή σεισμική δόνηση και αξίζει να αναφερθεί πως η μέγιστη τιμή της επιτάχυνσης είναι: 0.0051g σε χρόνο $t=3.075$ sec στην κατά X διέγερση ενώ είναι 0,008g στα 3.0 sec η μέγιστη επιτάχυνση κατά την Ψ διέγερση. Εξαιτίας της μικρής επιτάχυνσης αλλά και της μικρής διάρκειας του γεγονότος θα παρουσιαστούν μόνο οι πίνακες μετατοπίσεων των κόμβων, εντατικών μεγεθών των μελών και των επιταχύνσεων των κόμβων. Κατά την διερεύνηση της περίπτωσης αυτής είτε με απόσβεση, είτε όχι δεν παρουσιάστηκαν οποιεσδήποτε διαρροές μελών στον φορέα.

9^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

TABLE: Joint Displacements							
Joint	Step Type	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
34	Max	1,75E-06	5,58E-07	1,19E-07	2,16E-08	4,92E-07	2,85E-07
34	Min	-1,99E-06	-6,23E-07	-1,24E-07	-2,11E-08	-5,92E-07	-3,69E-07
73	Max	5,74E-06	5,32E-06	2,32E-07	3,74E-07	7,97E-07	6,87E-07
73	Min	-1,20E-05	-3,69E-06	-1,42E-07	-4,49E-07	-1,23E-06	-9,70E-07
83	Max	6,75E-06	5,63E-06	3,39E-07	4,67E-07	2,32E-07	4,73E-07
83	Min	-5,41E-06	-4,30E-06	-4,51E-07	-6,38E-07	-1,65E-07	-6,15E-07
113	Max	4,29E-06	2,72E-06	5,25E-07	3,08E-07	5,31E-07	4,73E-07
113	Min	-7,14E-06	-3,48E-06	-3,05E-07	-2,53E-07	-1,10E-06	-6,15E-07
116	Max	6,26E-06	4,77E-06	6,60E-07	2,20E-07	7,27E-07	8,78E-07
116	Min	-1,40E-05	-5,80E-06	-4,11E-07	-2,30E-07	-1,06E-06	-1,18E-06
118	Max	2,15E-06	2,31E-06	5,20E-07	1,18E-07	5,37E-07	2,85E-07
118	Min	-2,20E-06	-1,77E-06	-3,64E-07	-2,41E-07	-5,71E-07	-3,69E-07
123	Max	1,60E-05	1,00E-05	9,92E-07	2,88E-07	1,13E-06	1,10E-06
123	Min	-1,60E-05	-7,36E-06	-7,81E-07	-4,30E-07	-9,86E-07	-1,40E-06
148	Max	4,71E-06	4,99E-06	1,85E-07	4,65E-07	7,84E-07	5,89E-07
148	Min	-6,72E-06	-3,80E-06	-2,23E-07	-6,06E-07	-8,93E-07	-7,79E-07
149	Max	7,33E-06	6,43E-06	2,17E-07	6,53E-07	9,03E-07	6,87E-07
149	Min	-9,68E-06	-4,47E-06	-2,57E-07	-7,11E-07	-9,43E-07	-9,70E-07
150	Max	1,00E-05	8,24E-06	2,33E-07	6,88E-07	9,40E-07	8,78E-07
150	Min	-1,30E-05	-5,73E-06	-2,73E-07	-8,02E-07	-9,49E-07	-1,18E-06
196	Max	4,71E-06	2,77E-06	2,32E-06	1,16E-07	7,84E-07	5,89E-07
196	Min	-6,72E-06	-2,13E-06	-2,05E-06	-7,58E-08	-8,93E-07	-7,79E-07

Πίνακας 9.5.1: Παραμορφωσιακά μεγέθη κόμβων κατά X.

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
92	0	Max	0,388	0,108	0,08	0,0281	0,2108	0,3221
92	2,18	Max	0,388	0,108	0,08	0,0281	0,0369	0,0899
92	4,36	Max	0,388	0,108	0,08	0,0281	0,1761	0,2381
92	0	Min	-0,295	-0,154	-0,102	-0,0363	-0,2686	-0,4337
92	2,18	Min	-0,295	-0,154	-0,102	-0,0363	-0,0469	-0,1534
92	4,36	Min	-0,295	-0,154	-0,102	-0,0363	-0,1413	-0,1504
97	0	Max	4,291	2,53	0,035	0,0128	0,0795	17,8039
97	2,18	Max	4,291	2,53	0,035	0,0128	0,0066	12,8519
97	4,36	Max	4,291	2,53	0,035	0,0128	0,0576	12,2263
97	0	Min	-3,003	-2,466	-0,027	-0,0166	-0,0622	-18,4752
97	2,18	Min	-3,003	-2,466	-0,027	-0,0166	-0,0032	-13,6635
97	4,36	Min	-3,003	-2,466	-0,027	-0,0166	-0,0722	-10,1553
121	0	Max	0,706	2,103	0,015	0,0128	0,0507	12,5156
121	2,18	Max	0,706	2,103	0,015	0,0128	0,0183	8,8248
121	4,36	Max	0,706	2,103	0,015	0,0128	0,0135	10,6997
121	0	Min	-0,888	-2,585	-0,012	-0,0166	-0,0393	-17,6669
121	2,18	Min	-0,888	-2,585	-0,012	-0,0166	-0,0139	-12,5941
121	4,36	Min	-0,888	-2,585	-0,012	-0,0166	-0,0142	-10,3027

Πίνακας 9.5.2: Εντατικά μεγέθη μελών κατά X.

9^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

TABLE: Joint Accelerations - Relative							
Joint	Step Type	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m/sec2	m/sec2	m/sec2	rad/sec2	rad/sec2	rad/sec2
34	Max	0,05282	1,5E-03	2,8E-04	5,1E-05	8,1E-03	4,5E-04
34	Min	-0,04796	-2,1E-03	-2,1E-04	-7,5E-05	-6,8E-03	-5,8E-04
73	Max	0,04771	1,6E-03	1,8E-04	5,3E-04	1,1E-03	2,9E-04
73	Min	-0,04777	-1,7E-03	-1,8E-04	-5,3E-04	-1,2E-03	-2,8E-04
83	Max	0,06326	4,4E-03	6,1E-04	9,7E-04	8,0E-04	4,7E-04
83	Min	-0,05343	-3,9E-03	-7,1E-04	-1,2E-03	-7,1E-04	-5,5E-04
113	Max	0,05598	3,3E-03	2,1E-03	7,5E-04	3,4E-03	4,7E-04
113	Min	-0,04814	-3,8E-03	-2,0E-03	-6,7E-04	-3,4E-03	-5,5E-04
116	Max	0,04756	3,7E-03	9,6E-04	6,1E-04	1,3E-03	6,0E-04
116	Min	-0,0482	-3,8E-03	-9,1E-04	-6,0E-04	-1,2E-03	-5,7E-04
118	Max	0,05273	2,6E-03	1,1E-03	3,4E-03	4,3E-03	4,5E-04
118	Min	-0,04783	-2,0E-03	-1,3E-03	-2,8E-03	-3,9E-03	-5,8E-04
123	Max	0,04513	6,8E-03	1,3E-03	1,5E-03	2,4E-03	1,1E-03
123	Min	-0,06197	-6,6E-03	-1,5E-03	-1,8E-03	-2,2E-03	-1,3E-03
148	Max	0,05173	2,2E-03	3,0E-04	8,3E-04	1,1E-03	4,5E-04
148	Min	-0,04656	-2,6E-03	-4,1E-04	-9,8E-04	-1,6E-03	-3,6E-04
149	Max	0,04573	1,9E-03	3,4E-04	1,1E-03	1,6E-03	2,9E-04
149	Min	-0,04772	-2,0E-03	-4,5E-04	-1,1E-03	-1,4E-03	-2,8E-04
150	Max	0,04375	3,0E-03	3,7E-04	1,3E-03	1,8E-03	6,0E-04
150	Min	-0,0539	-3,6E-03	-4,8E-04	-1,4E-03	-1,7E-03	-5,7E-04
196	Max	0,05173	1,3E-03	4,1E-03	3,0E-04	1,1E-03	4,5E-04
196	Min	-0,04656	-1,4E-03	-2,9E-03	-3,0E-04	-1,6E-03	-3,6E-04

Πίνακας 9.5.3: Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις κόμβων κατά X.

TABLE: Joint Displacements							
Joint	Step Type	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
34	Max	2,48E-07	7,37E-06	3,55E-08	8,57E-08	7,16E-08	4,43E-08
34	Min	-2,69E-07	-4,39E-06	-2,69E-08	-9,66E-08	-8,14E-08	-5,79E-08
41	Max	4,86E-07	1,20E-05	4,41E-08	4,30E-07	7,40E-08	8,21E-08
41	Min	-5,27E-07	-5,98E-06	-6,53E-08	-6,97E-07	-6,82E-08	-1,01E-07
46	Max	3,77E-07	6,97E-06	1,16E-08	9,45E-07	1,14E-07	4,43E-08
46	Min	-2,99E-07	-4,61E-06	-1,32E-08	-1,56E-06	-7,64E-08	-5,79E-08
65	Max	7,14E-07	1,20E-05	1,79E-08	5,34E-07	1,14E-07	8,21E-08
65	Min	-4,75E-07	-6,04E-06	-2,15E-08	-9,58E-07	-9,03E-08	-1,01E-07
123	Max	1,64E-06	1,40E-05	5,89E-07	9,27E-07	1,77E-07	1,34E-07
123	Min	-2,25E-06	-1,20E-05	-5,45E-07	-1,04E-06	-2,18E-07	-1,40E-07
150	Max	1,01E-06	1,10E-05	9,92E-08	1,79E-06	1,34E-07	1,00E-07
150	Min	-1,42E-06	-8,93E-06	-1,04E-07	-2,18E-06	-1,83E-07	-1,13E-07
156	Max	1,75E-06	1,00E-05	2,61E-07	1,21E-06	2,92E-07	1,30E-07
156	Min	-1,23E-06	-5,82E-06	-2,30E-07	-1,36E-06	-2,92E-07	-1,27E-07
173	Max	1,54E-06	1,00E-05	3,96E-06	1,81E-06	8,13E-07	1,30E-07
173	Min	-1,84E-06	-6,71E-06	-4,90E-06	-2,32E-06	-6,65E-07	-1,27E-07
181	Max	1,84E-06	1,10E-05	7,44E-06	3,01E-06	7,50E-07	1,00E-07
181	Min	-2,20E-06	-9,94E-06	-8,03E-06	-3,28E-06	-8,19E-07	-1,13E-07
206	Max	1,86E-06	1,20E-05	2,04E-07	6,07E-08	3,32E-07	1,21E-07
206	Min	-1,62E-06	-6,55E-06	-2,16E-07	-4,78E-08	-3,54E-07	-1,31E-07
232	Max	7,05E-07	1,20E-05	3,50E-07	1,88E-07	1,01E-07	1,21E-07
232	Min	-6,83E-07	-6,53E-06	-3,77E-07	-1,48E-07	-1,43E-07	-1,31E-07

Πίνακας 9.5.4: Παραμορφωσιακά μεγέθη κόμβων κατά Ψ.

9^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
17	0	Max	0,342	1,0E-03	0,149	6,0E-04	0,415	0,0031
17	2,18	Max	0,342	1,0E-03	0,149	6,0E-04	0,0923	0,0013
17	4,36	Max	0,342	1,0E-03	0,149	6,0E-04	0,2033	0,0027
17	0	Min	-0,314	-1,4E-03	-0,097	-7,8E-04	-0,2545	-0,004
17	2,18	Min	-0,314	-1,4E-03	-0,097	-7,8E-04	-0,0506	-0,002
17	4,36	Min	-0,314	-1,4E-03	-0,097	-7,8E-04	-0,2505	-0,0022
103	0	Max	0,258	4,9E-03	2,314	7,2E-04	6,1754	0,0054
103	2,18	Max	0,258	4,9E-03	2,314	7,2E-04	1,1566	0,0034
103	4,36	Max	0,258	4,9E-03	2,314	7,2E-04	3,1673	0,0108
103	0	Min	-0,496	-3,7E-03	-1,632	-9,4E-04	-4,084	-0,0058
103	2,18	Min	-0,496	-3,7E-03	-1,632	-9,4E-04	-0,616	-0,0053
103	4,36	Min	-0,496	-3,7E-03	-1,632	-9,4E-04	-3,9148	-0,016
109	0	Max	0,923	3,3E-01	0,033	7,2E-04	0,0817	0,1922
109	2,18	Max	0,923	3,3E-01	0,033	7,2E-04	0,0096	0,4057
109	4,36	Max	0,923	3,3E-01	0,033	7,2E-04	0,046	0,9505
109	0	Min	-1,802	-2,7E-01	-0,023	-9,4E-04	-0,0547	-0,3108
109	2,18	Min	-1,802	-2,7E-01	-0,023	-9,4E-04	-0,0051	-0,6392
109	4,36	Min	-1,802	-2,7E-01	-0,023	-9,4E-04	-0,063	-1,3558

Πίνακας 9.5.5: Εντατικά μεγέθη μελών κατά Ψ.

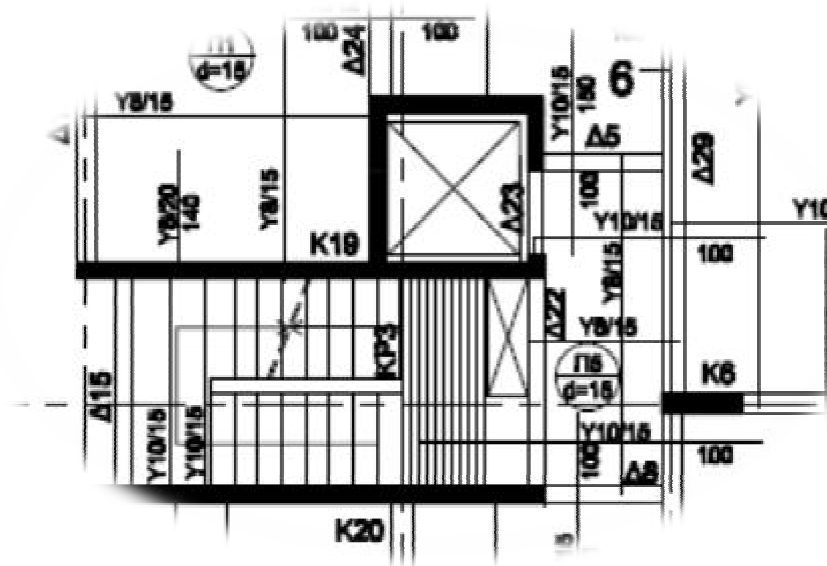
TABLE: Joint Accelerations - Relative							
Joint	Step Type	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	m/sec2	m/sec2	m/sec2	rad/sec2	rad/sec2	rad/sec2
34	Max	0,00043	0,0795	0,00015	0,001594	1,3E-04	1,2E-04
34	Min	-0,00036	-0,0765	-0,00018	-0,001606	-1,2E-04	-1,1E-04
41	Max	0,00079	0,07753	9,7E-05	0,001944	7,0E-05	9,5E-05
41	Min	-0,00069	-0,07767	-1,0E-04	-0,002221	-6,5E-05	-9,6E-05
46	Max	0,00032	0,07959	1,3E-05	0,009474	1,4E-04	1,2E-04
46	Min	-0,00041	-0,07637	-1,6E-05	-0,009623	-1,9E-04	-1,1E-04
65	Max	0,00068	0,07791	0,00015	0,002821	2,8E-04	9,5E-05
65	Min	-0,00073	-0,07771	-0,00014	-0,00333	-3,7E-04	-9,6E-05
123	Max	0,00193	0,06567	0,00087	0,001369	3,2E-04	1,7E-04
123	Min	-0,0022	-0,0806	-0,00082	-0,001581	-3,9E-04	-1,6E-04
150	Max	0,0009	0,06893	0,00016	0,003277	2,2E-04	8,3E-05
150	Min	-0,00094	-0,08109	-0,00016	-0,003334	-2,5E-04	-8,5E-05
156	Max	0,00131	0,07412	0,00027	0,001812	3,3E-04	1,1E-04
156	Min	-0,00149	-0,08075	-0,00034	-0,001857	-3,5E-04	-1,1E-04
173	Max	0,00113	0,07338	0,00739	0,003681	1,5E-03	1,1E-04
173	Min	-0,00109	-0,08091	-0,00722	-0,003489	-1,7E-03	-1,1E-04
181	Max	0,00167	0,06897	0,01343	0,005775	1,7E-03	8,3E-05
181	Min	-0,00169	-0,08068	-0,01165	-0,004961	-1,5E-03	-8,5E-05
206	Max	0,00158	0,07513	0,00026	0,0002397	9,7E-04	8,2E-05
206	Min	-0,00163	-0,07783	-0,00029	-0,0002224	-9,3E-04	-1,1E-04
232	Max	0,00048	0,07528	0,00106	0,0003612	1,9E-04	8,2E-05
232	Min	-0,00047	-0,07766	-0,00101	-0,0003707	-1,9E-04	-1,1E-04

Πίνακας 9.2.6: Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις κόμβων κατά Ψ.

9.6 Συμπεράσματα:

Μετά από την εφαρμογή των τεσσάρων διεγέρσεων παρατηρείται πως η κατασκευή δεν διατρέχει κάποιο κίνδυνο από τέτοιους “Κυπριακούς σεισμούς” τέτοιας έντασης αφού σπάνια και υπό παραδοχές κάποιο μέλος της φτάνει στο όριο διαρροής του. Σε αντίθεση με τον σεισμό της Αθήνας και της αρμονικής διέγερσης που προξένησαν αρκετές ζημιές στον φορέα, εκ των οποίων μερικές ήταν μη επισκευάσιμες.

Η απουσία καλής πλαισιακής λειτουργίας είναι κάτι παραπάνω από εμφανής και η προσθήκη των τεράστιων τοιχωμάτων κάθε άλλο παρά ευνοούν την λειτουργία του φορέα. Συγκεκριμένα το κομμάτι του φορέα που περιέχει τα τοιχώματα της κλίμακας, τα τοιχώματα του ανεγκυστήρα καθώς και τα δοκάρια που απολήγουν ή και συνδέουν τα τοιχώματα αυτά, είναι ιδιαίτερα προβληματικό. Στο κομμάτι αυτό εμφανίζονται αρκετές πλαστικές αρθρώσεις, καταστρεπτικές ή μη.



Σχήμα 9.6.1: Προβληματικό κομμάτι φορέα, όχι υπό κλίμακα.

Αξίζει να παρατηρηθούν τόσο οι μετατοπίσεις των κόμβων όσο και οι αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις για να διαπιστωθεί πως τα τοιχώματα αυτά προσφέρουν μία επιπλέον στρέψη στο φορέα, κυρίως

9^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

κατά την διεύθυνση X, που είναι και η ισχυρή πλευρά του κτιρίου, πράγμα που καταπονεί πρόσθετα το πίσω μέρος του κτιρίου.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι τιμές των ροπών στρέψης κάθε μέλους για τις σεισμικές φορτίσεις αφενός της Λεμεσού κατά X και Ψ και της Δεκελείας και πάλι κατά X και Ψ, αφετέρου δε της Αθήνας και της αρμονικής φόρτισης.

Αυτό γίνεται για σκοπούς συγκρίσεως των εντατικών μεγεθών και για να διαφανεί η επιπλέον καταπόνηση των υποστυλωμάτων στο πίσω μέρος του κτιρίου.

Ο κωδικός 1 αντιστοιχεί στο υποσύλωμα K1, ο κωδικός 4 στο K2, ο κωδικός 12 στο K4, ο κωδικός 62 στο K14_A, ο κωδικός 77 στο K16 και ο κωδικός 92 στο υποσύλωμα K18.

Οι τιμές αυτές δηλώνουν την στρέψη που αναπτύσσεται στη βάση του καθενός υποστυλώματος.

TABLE: Element Forces - Frames					
Frame	Station	Λεμεσός		Δεκελείας	
Text	m	Κατά X	Κατά Ψ	Κατά X	Κατά Ψ*
1	0	0,0023	0,0003657	0,4253	0,7608
1	2,18	0,0023	0,0003657	0,4253	0,7608
1	4,36	0,0023	0,0003657	0,4253	0,7608
1	0	-0,003	-0,0004779	-0,3918	-0,5948
1	2,18	-0,003	-0,0004779	-0,3918	-0,5948
1	4,36	-0,003	-0,0004779	-0,3918	-0,5948
4	0	0,0038	0,0005954	0,6926	1,2387
4	2,18	0,0038	0,0005954	0,6926	1,2387
4	4,36	0,0038	0,0005954	0,6926	1,2387
4	0	-0,0049	-0,0007781	-0,6379	-0,9684
4	2,18	-0,0049	-0,0007781	-0,6379	-0,9684
4	4,36	-0,0049	-0,0007781	-0,6379	-0,9684
12	0	0,0038	0,0005954	0,6926	1,2387
12	2,18	0,0038	0,0005954	0,6926	1,2387
12	4,36	0,0038	0,0005954	0,6926	1,2387
12	0	-0,0049	-0,0007781	-0,6379	-0,9684
12	2,18	-0,0049	-0,0007781	-0,6379	-0,9684
12	4,36	-0,0049	-0,0007781	-0,6379	-0,9684
62	0	0,0036	0,0005678	0,6605	1,1813

9^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

62	2,18	0,0036	0,0005678	0,6605	1,1813
62	4,36	0,0036	0,0005678	0,6605	1,1813
62	0	-0,0047	-0,000742	-0,6084	-0,9235
62	2,18	-0,0047	-0,000742	-0,6084	-0,9235
62	4,36	-0,0047	-0,000742	-0,6084	-0,9235
77	0	0,0036	0,0005678	0,6605	1,1813
77	2,18	0,0036	0,0005678	0,6605	1,1813
77	4,36	0,0036	0,0005678	0,6605	1,1813
77	0	-0,0047	-0,000742	-0,6084	-0,9235
77	2,18	-0,0047	-0,000742	-0,6084	-0,9235
77	4,36	-0,0047	-0,000742	-0,6084	-0,9235
92	0	0,0281	0,0044	5,0836	9,0927
92	2,18	0,0281	0,0044	5,0836	9,0927
92	4,36	0,0281	0,0044	5,0836	9,0927
92	0	-0,0363	-0,0057	-4,6826	-7,1085
92	2,18	-0,0363	-0,0057	-4,6826	-7,1085
92	4,36	-0,0363	-0,0057	-4,6826	-7,1085

Πίνακας 9.6.1: Τιμές Ροπών Στρεψής.

TABLE: Element Forces - Frames					
Frame	Station	Αθήνα		Αρμονική	
Text	m	Κατά Χ	Κατά Ψ	Κατά Χ	Κατά Ψ*
1	0	1,6726	0,8207	5,2776	1,139
1	2,18	1,6726	0,8207	5,2776	1,139
1	4,36	1,6726	0,8207	5,2776	1,139
1	0	-3,492	-0,4628	-4,7928	-0,5418
1	2,18	-3,492	-0,4628	-4,7928	-0,5418
1	4,36	-3,492	-0,4628	-4,7928	-0,5418
4	0	2,7234	1,3363	8,5932	1,8545
4	2,18	2,7234	1,3363	8,5932	1,8545
4	4,36	2,7234	1,3363	8,5932	1,8545
4	0	-5,6858	-0,7536	-7,8039	-0,8822
4	2,18	-5,6858	-0,7536	-7,8039	-0,8822
4	4,36	-5,6858	-0,7536	-7,8039	-0,8822
12	0	2,7234	1,3363	8,5932	1,8545
12	2,18	2,7234	1,3363	8,5932	1,8545
12	4,36	2,7234	1,3363	8,5932	1,8545
12	0	-5,6858	-0,7536	-7,8039	-0,8822
12	2,18	-5,6858	-0,7536	-7,8039	-0,8822
12	4,36	-5,6858	-0,7536	-7,8039	-0,8822
62	0	2,5972	1,2744	8,1948	1,7685
62	2,18	2,5972	1,2744	8,1948	1,7685
62	4,36	2,5972	1,2744	8,1948	1,7685
62	0	-5,4222	-0,7187	-7,4421	-0,8413
62	2,18	-5,4222	-0,7187	-7,4421	-0,8413
62	4,36	-5,4222	-0,7187	-7,4421	-0,8413
77	0	2,5972	1,2744	8,1948	1,7685
77	2,18	2,5972	1,2744	8,1948	1,7685
77	4,36	2,5972	1,2744	8,1948	1,7685
77	0	-5,4222	-0,7187	-7,4421	-0,8413
77	2,18	-5,4222	-0,7187	-7,4421	-0,8413

9^ο Κεφάλαιο: Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση

77	4,36	-5,4222	-0,7187	-7,4421	-0,8413
92	0	19,9907	9,8091	63,0768	13,6126
92	2,18	19,9907	9,8091	63,0768	13,6126
92	4,36	19,9907	9,8091	63,0768	13,6126
92	0	-41,7356	-5,5316	-57,2832	-6,4756
92	2,18	-41,7356	-5,5316	-57,2832	-6,4756
92	4,36	-41,7356	-5,5316	-57,2832	-6,4756

Πίνακας 9.6.2: Τιμές Ροπών Στρέψης.

*Υπενθύμιση: στη κατά Ψ ανάλυση των σεισμών δεν λήφθηκε υπόψη η απόσβεση.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το πόσο αυξάνεται η ροπή στρέψης στα υποστυλώματα που έχουν τοποθετηθεί στο πίσω μέρος του κτιρίου.

10⁰ Κεφάλαιο: Ο Κυπριακός Αντισεισμικός Κανονισμός

10.1 Εισαγωγή:

Ο συγκεκριμένος κανονισμός χαλάρωσε τις απαιτήσεις για δυναμική ανάλυση σε μικρές κυρίως οικοδομές για να αποφευχθεί σπατάλη χρόνου σε περιπτώσεις που είναι αμφίβολη η βελτίωση της ανάλυσης με δυναμικές μεθόδους.

Επίσης υπήρξε μία προσθήκη βασικών προνοιών για θεμελιώσεις που είχε σαν σκοπό να δώσουν μία καθοδήγηση σε αυτό το σημαντικό σημείο στο μηχανικό που αφορούσε την σεισμική συμπεριφορά της κατασκευής.

Η σεισμική επιτάχυνση μειώθηκε μετά από συστάσεις και οι προτεινόμενες τιμές στοχεύουν σε μία πιθανότητα υπέρβασης 90% σε περίοδο 50 ετών.

10.2 Επιδιώξεις και Πεδίο Εφαρμογής:

Ορίζονται οι ελάχιστες υπολογιστικές απαιτήσεις για την αντιμετώπιση σεισμικών φαινομένων, δηλαδή σεισμικών συνθηκών όπου η σεισμική δράση θεωρείται κρίσιμη σε συνδυασμό με άλλες μόνιμες ή μεταβλητές δράσεις,

Σκοπός των αντισεισμικών υπολογισμών είναι:

- Να σωθούν ανθρώπινες ζωές.
- Να εξασφαλισθεί η συνέχιση ζωτικών υπηρεσιών.
- Να ελαττωθούν οι ζημιές σε περιουσίες.

Ο συγκεκριμένος κώδικας αναφέρεται σε κτιριακές κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα και ανήκουν σε ένα από τα πιο κάτω στατικά συστήματα:

- Πλαισιακό σύστημα. Σύστημα όπου τα κατακόρυφα φορτία και οι οριζόντιες δυνάμεις αντιμετωπίζονται από χωρικά πλαίσια.
- Σύστημα τοιχωμάτων. Ένα σύστημα όπου τόσο τα κατακόρυφα όσο και οι οριζόντιες δυνάμεις αντιμετωπίζονται από κατακόρυφα τοιχώματα, απλά ή συζευγμένα.
- Μικτό σύστημα. Τα κατακόρυφα φορτία στηρίζονται κύρια σε πλαίσια στο χώρο. Η αντίσταση σε οριζόντιες δυνάμεις προσφέρεται τόσο από το πλαισιακό σύστημα όσο και από τα τοιχώματα.

Ορίζεται ως στατική ασφάλεια το ότι όλη η κατασκευή και όλα της τα στοιχεία θα πρέπει να διατηρήσουν την ακεραιότητα τους και κάποιο υπόλοιπο αντοχής μετά το τέλος της σεισμικής δράσης. Το κύριο στατικό σύστημα προτίθεται να αντιμετωπίσει ολόκληρη την σεισμική δράση.

10.3 Κριτήρια υπολογισμού:

- Ευστάθεια. Ο έλεγχος της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής (ολίσθηση και ανατροπή), καθώς και ο έλεγχος ευστάθειας των θεμελίων.
- Μηχανισμός Αστοχίας. Οι κατασκευές θα αντιμετωπίσουν τις σεισμικές δράσεις μ'ένα μη γραμμικό μηχανισμό απορρόφησης ενέργειας.
- Αντοχή και Πλαστιμότητα. Πρέπει να επιτυγχάνεται κατάλληλη αναλογία αντοχής και πλαστιμότητας σε κρίσιμες περιοχές, σε περιοχές δηλαδή όπου αναμένεται μεγάλη απορρόφηση

10⁰ Κεφάλαιο: Ο Κυπριακός Αντισεισμικός Κανονισμός

ενέργειας, ώστε να διατηρείται η ασφάλεια και η λειτουργικότητα της κατασκευής.

Οι κατασκευές χωρίζονται σε πέντε διαφορετικά επίπεδα ασφάλειας. Ανάλογα με την προστασία που απαιτείται κατατάσσονται όπως πιο κάτω:

- Τάξη I. Κτίρια που η καταστροφή τους μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες - όπως πυρηνικοί σταθμοί, αποθήκες εύφλεκτων υλικών ή τοξικών ουσιών, φράγματα, κτίρια άνω των 15 ορόφων ή πολύ σημαντικά κτίρια.
- Τάξη II. Κτίρια ή χώροι όπου συγκεντρώνεται πολύς κόσμος – σινεμά, θέατρα ή κτίρια μεγάλης σημασίας για την κοινότητα.
- Τάξη III. Κατοικίες, πολυκατοικίες, ξενοδοχεία και άλλα μόνιμα κτίρια που δεν κατατάσσονται στις προηγούμενες δύο κατηγορίες.
- Τάξη IV. Βοηθητικά κτίρια και αγροτικές εγκαταστάσεις.
- Τάξη V. Προσωρινές κατασκευές των οποίων η καταστροφή τους δεν θέτει σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές.

Η δράση σχεδιασμού ενισχύεται με τον συντελεστή I, ο οποίος είναι ο συντελεστής σπουδαιότητας και οι τιμές που λαμβάνει είναι από 1.5 για Τάξη II, 1.0 για τάξη III και 0.50 για τάξη IV. Για τις τάξεις I και V δεν καλύπτεται από τον κώδικα.

Τα στατικά συστήματα μπορούν να υπολογιστούν για διαφορετικά επίπεδα πλαστιμότητας, σύμφωνα με την εξής κατάταξη:

- Επίπεδο Πλαστιμότητας I. Στο επίπεδο αυτό περιλαμβάνονται όλες οι κατασκευές που διαστασιολογούνται σύμφωνα με τον συνηθισμένο κώδικα σκυροδέματος.
- Επίπεδο Πλαστιμότητας II. Στο επίπεδο αυτό λαμβάνονται ειδικές αντισεισμικές πρόνοιες, οι οποίες καθιστούν ικανή την

10⁰ Κεφάλαιο: Ο Κυπριακός Αντισεισμικός Κανονισμός

κατασκευή να φτάσει σε μη ελαστικά όρια απόκρισης υπό την δράση επαναλαμβανόμενης αντιστρεφόμενης φόρτισης, αποφεύγοντας πρόωρες αστοχίες ψαθυρού τύπου.

- Επίπεδο Πλαστιμότητας III. Στο επίπεδο αυτό πρέπει να υιοθετηθούν ειδικές διαδικασίες για την εκτίμηση δράσεων σχεδιασμού και τη διαστασιολόγηση για να εξασφαλιστεί η ανάπτυξη επιλεγμένων σταθερών μηχανισμών με μεγάλη ικανότητα απορρόφησης.

10.4 Μέθοδοι Υπολογισμού:

- Συντελεστής συμπεριφοράς κατασκευής.

Οι τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς K , που καθορίζει το μέγεθος της σεισμικής δράσης σχεδιασμού σαν συνάρτηση του στατικού τύπου και του επιλεγμένου επιπέδου πλαστιμότητας δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Στατικό Σύστημα	Επίπεδο Πλαστιμότητας		
	ΕΠ I	ΕΠ II	ΕΠ III
Πλαίσιο	2	3.5	5
Τοίχωμα ή Μικτό	2	3	4

Πίνακας 10.4.1: Συντελεστής συμπεριφοράς Σχεδιασμού.

Σημείωση: οι τιμές του συντελεστή K για κατασκευές από τοιχώματα ή μικτές ισχύουν αν τουλάχιστον το 50% της οριζόντιας δύναμης και στις δύο διευθύνσεις λαμβάνεται από συζευγμένα τοιχώματα. Αν ο όρος αυτός δεν ικανοποιείται τότε οι τιμές του συντελεστή K θα μειώνονται με συντελεστή 0.7.

Οι μέθοδοι ανάλυσης που προτείνονται είναι διαφορετικές σε κτίρια που είναι κανονικά ή μη κανονικά.

Κανονικά κτίρια μπορούν να υπολογιστούν με βάση την απλοποιημένη μέθοδο ανάλυσης, την ισοδύναμη στατική, με τον περιορισμό ότι το ύψος τους δεν ξεπερνά τα 50m και η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος είναι μικρότερη από 2sec.

Στην περίπτωση που η πιο πάνω όροι δεν ικανοποιούνται τότε το κτίριο θεωρείται μη κανονικό και πρέπει να εφαρμόζεται η δυναμική μέθοδος.

Επιτρέπεται η εφαρμογή της στατικής μεθόδου σε μη κανονικά κτίρια εάν ικανοποιούν μία εκ των παρακάτω προϋποθέσεων

- ο Σε κτίρια σπουδαιότητας τάξης III και IV μέχρι και τρεις ορόφους
- ο Σε κτίρια σπουδαιότητας τάξης III άνω των τριών ορόφων με ταυτόχρονη μείωση του συντελεστή σπουδαιότητας κατά 25%

Η κανονικότητα είναι από μόνη της μία επιθυμητή ιδιότητα, γιατί οδηγεί φυσιολογικά σε αποτελεσματική, οικονομική και πιο προβλέψιμη αντισεισμική συμπεριφορά.

Η συμπεριφορά ενός μη κανονικού κτιρίου δύσκολο να προβλεφθεί ακόμα και με χρήση πολύπλοκων μαθηματικών μοντέλων. Ενδέχεται να οδηγούν σε αυξημένα φαινόμενα στροφής με αποτέλεσμα τη συγκέντρωση πλαστικών παραμορφώσεων σε μερικά στοιχεία που μετατραπούν σε κρίσιμα σημεία για την συνολική σταθερότητα του κτιρίου.

Δυναμική Μέθοδος Ανάλυσης

Αν το κτίριο μπορεί να ταλαντώνεται σε δύο ορθογώνιες κατευθύνσεις χωρίς σοβαρή αλληλεπίδραση τότε μπορεί να αναλυθεί

με δύο ξεχωριστά μοντέλα, ένα για την κάθε ορθογωνική κατεύθυνση,

Για σκοπούς υπολογισμού των συνολικών δυνάμεων αδράνειας σε κάθε όροφο το κτίριο μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα σύστημα από μάζες συγκεντρωμένες στα επίπεδα των ορόφων, με κάθε μάζα να έχει τρεις βαθμούς ελευθέριας, δύο μετακινήσεις και μία στροφή, στην περίπτωση τρισδιάστατου μοντέλου.

Ο αριθμός των συγκεντρωμένων μαζών πρέπει να συνάδει με τον αριθμό των ταλαντώσεων που θα εξεταστούν. Γενικός κανόνας είναι ο αριθμός των βαθμών ελευθέριας να είναι τουλάχιστον διπλάσιος από τον αριθμό των ταλαντώσεων που μπορούν να υπολογιστούν με ακρίβεια.

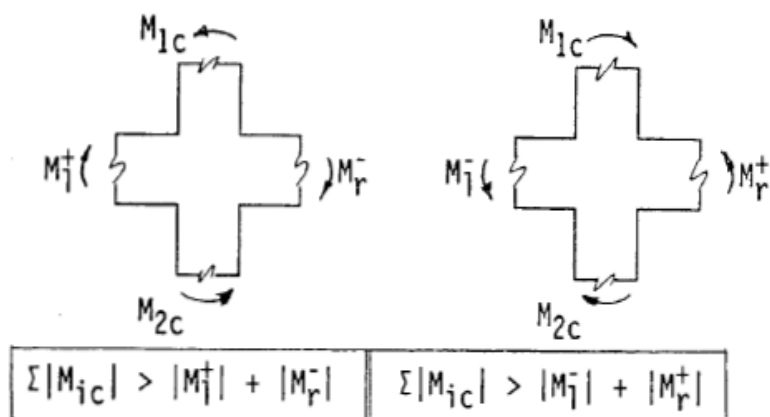
Στην περίπτωση επίπεδων μοντέλων, η ανάλυση θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει, για τον καθένα από τους δύο ορθογωνικούς άξονες τουλάχιστον τις τρεις πρώτες μορφές ταλάντωσης ή όλες τις μορφές ταλάντωσης με περίοδο μεγαλύτερη από 0.4 sec αν είναι περισσότερες από τρεις.

Για τα μη επίπεδα μοντέλα η ανάλυση θα συμπεριλαμβάνει για κάθε κατεύθυνση εφαρμογής της σεισμικής δράσης τουλάχιστον τέσσερις μορφές, δύο απ'αυτές με κυρίαρχο στοιχείο τη μετακίνηση και δύο τη στροφή ή όλες τις μορφές ταλάντωσης με περίοδο μεγαλύτερη από 0.40 sec.

Λόγος Αντοχών Δοκών - Υποστυλωμάτων

Με εξαίρεση όπου επιτρέπεται η δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων στα υποστυλώματα, σε οποιοδήποτε κόμβο το άθροισμα των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων (με το πιο δυσμενές αξονικό

φορτίο) δεν πρέπει να είναι μικρότερο από το άθροισμα των απόλυτων τιμών των ροπών αντοχής των δοκών.



Σχήμα 10.4.1: Λόγος αντοχής δοκών – υποστυλωμάτων.

Η δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων στα υποστυλώματα πρέπει να αποφεύγεται γιατί η εστία απορρόφησης της ενέργειας πρέπει να βρίσκεται στις δοκούς. Η περίπτωση του μαλακού ορόφου αν και υιοθετείται συχνά μπορεί να αποδειχτεί επικίνδυνη. Τέτοια κτίρια είναι δύσκολο να ελεγχθούν γιατί είναι ευαίσθητα τόσο στα στατικά χαρακτηριστικά όσο και στα χαρακτηριστικά κίνησης του εδάφους.

Για τους πιο πάνω λόγους, αυτή η λύση, που δεν συμπεριλαμβάνεται στους στατικούς τύπους που καλύπτονται από τον συγκεκριμένο κώδικα μπορεί να γίνει δεκτή αν αυξηθούν οι δυνάμεις σχεδιασμού κατά 50% και ληφθούν ειδικές πρόνοιες για τις λεπτομέρειες των υποστυλωμάτων του εύκαμπτου ορόφου που ικανοποιούν τις απαιτήσεις για ΕΠ III.

Κατασκευές με ΕΠ III

Για υποστυλώματα σε κατασκευές με ΕΠ III, οι ροπές σχεδιασμού σε κάμψη θα είναι αρκετές και για πιθανή αύξηση των αντοχών των δοκών που ενώνονται στο κόμβο. Εκτός όπου δικαιολογείται κάτι διαφορετικό η γενική αύξηση της αντοχής μπορεί να θεωρηθεί σαν

10⁰ Κεφάλαιο: Ο Κυπριακός Αντισεισμικός Κανονισμός

$\gamma_n=1.15$ και ισχύει για όλους τους ορόφους, συμπεριλαμβανομένων και των βάσεων των υποστυλωμάτων στο ισόγειο.

Η δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων στις κολώνες και μηχανισμών πλαστικών αρθρώσεων σε αυτές επιτρέπεται στις ακόλουθες περιπτώσεις.

- Για πλαίσια με τέσσερις ή περισσότερες κολώνες, η δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων επιτρέπεται σε μία κολώνα για κάθε τρεις που παραμένουν στο όριο ελαστικότητας.
- Μηχανισμοί πλαστικών αρθρώσεων επιτρέπονται σε μονώροφα και διώροφα κτίρια και στο τελευταίο όροφο πολυώροφων κτιρίων.

10.5 Βιβλιογραφία:

- ✓ Σεισμικός κώδικας για κατασκευές από Οπλισμένο Σκυρόδεμα στην Κύπρο.

11⁰ Κεφάλαιο: Περαιτέρω Μελέτη

11.1 Εισαγωγή:

Με την ολοκλήρωση των εφαρμογών, οι οποίες παρουσιάστηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια, καθώς και με την σύντομη αναφορά των κυριότερων σημείων του Κυπριακού Αντισεισμικού Κανονισμού κρίθηκε σκόπιμο να γίνουν κάποιες εισηγήσεις για μελλοντική μελέτη του συγκεκριμένου φορέα.

11.2 Εισηγήσεις:

- 1^η Εισήγηση: Θα μπορούσε να γίνει χρήση σεισμών οι οποίοι έδωσαν ένα πιο αρμονικό επιταχυνσιογράφημα, το οποίο θα είχε μία δεσπόζουσα περίοδο κοντά στην τάξη της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου της κατασκευής. Επίσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένα ημιτονοειδές επιταχυνσιογράφημα ή ακόμα και σύνθεση ημιτόνου και συνιμητόνου με μέγιστη επιτάχυνση περίπου ίση με την μέγιστη εδαφική που ορίζει ο αντισεισμικός κώδικας. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την πληρέστερη μελέτη της λειτουργίας του φορέα.

- 2^η Εισήγηση: Η επόμενη φάση θα μπορούσε να είναι η επαναμόρφωση του φορέα με κάποιες επεμβάσεις, έτσι ώστε:
 - i. να υπάρξει καλύτερη λειτουργία του πλαισιακού συστήματος,
 - ii. να ισχυροποιηθεί η αδύναμη πλευρά του κτιρίου και
 - iii. να υπάρξει ορθογωνικότητα των κανονικών μορφών ταλάντωσης.

Συγκεκριμένα: προτείνονται τα εξής

- I. Τα δοκάρια: Δ9, Δ10 και Δ11 να είναι στην ίδια ευθεία με τη δοκό Δ12 με μία ταυτόχρονη μετατόπιση των υποστυλωμάτων K14, K15, K16 και K17 προς τα μέσα. Αυτό θα εξυπηρετούσε και την απαίτηση για χρήση των μπαλκονιών όπως συμβαίνει άλλωστε με την συγκεκριμένη διαρρύθμιση. Επίσης το υποστύλωμα K17 θα μπορούσε να γίνει ορθογωνικό. Σε μία τέτοια περίπτωση εξετάζεται και το ενδεχόμενο αφαίρεσης του υποστυλώματος K13.
- II. Τα υποστυλώματα K9, K10, K11 και K12 δύναται να ενωθούν με δοκάρια. Έτσι θα υπήρχε και η δημιουργία νέων τετραέρειστων πλακών καμπτόμενων προς δύο διευθύνσεις, οι οποίες θα κατένειμαν το φορτίο με ομοιόμορφο τρόπο στα δοκάρια. Ακόμα στα εν λόγω υποστυλώματα θα μπορούσε να γίνει μία τροποποίηση των διαστάσεων τους.
- III. Για τους πιο πάνω λόγους θά μπορούσε να τοποθετηθεί ένα υποστύλωμα στην ίδια ευθεία με τα K9 έως K11 με ταυτόχρονη αλλαγή της διατομής του υποστυλώματος K18.
- IV. Όσο για τα δοκάρια Δ1, Δ2, Δ3 και Δ4, όπου και εκεί παρατηρείται η ανάγκη για τη δημιουργία μπαλκονιών βάσει των αρχιτεκτονικών σχεδίων, η συνευθειακή τοποθέτηση τους ανάλογα με το δοκάρια Δ1 θα ήταν μια σημαντική τροποποίηση. Έτσι το μεγαλύτερο μπαλκόνι θα ήταν πρόβολος που θα εξέιχε από την παρεία 1.9 m, κάτι όχι και τόσο απαγορευτικό.
- V. Φυσικά και για την ολοκλήρωση της παραπάνω εισήγησης θα ήταν τα υπόστυλώματα K1, K2, K3, K4 και K5 να μεταφερθούν - μετατοπιστούν στή συγκεκριμένη στάθμη. Ακόμα προτείνεται η αλλαγή του προσανατολισμού ή και των διαστάσεων κάποιων από αυτά με στόχο να έχουμε και την ισχυροποίηση της διεύθυνσης Ψ.

- VI. Τα υποστυλώματα Κ6 και Κ7 θα μπορούσαν να τροποποιηθούν τόσο σε προσανατολισμό όσο και σε διαστάσεις. Μία λύση είναι αυτή του τετραγωνικού υποστυλώματος.
- VII. Μία επέμβαση η οποία πρέπει να γίνει είναι αυτή των δύο τεράστιων σε διαστάσεις τοιχωμάτων, όπου παρέχουν προστασία στη κλίμακα αλλά ταυτόχρονα μετατοπίζουν τα κέντρο βάρους προς εκείνο το σημείο. Αξίζει να τονισθεί πως οι αναλύσεις έδειξαν ότι παρουσιάζεται μία στρέψη στο κτίριο που καταπονεί ιδιαίτερα το πίσω μέρος του. Προτείνεται αφενός η τοποθέτηση δύο υποστυλωμάτων στα οποία θα στηρίζονται τα δοκάρια Δ14, Δ15 και Δ16 με κατάλληλο προσανατολισμό, αφετέρου δε η τοποθέτηση υποστυλώματος – τοιχώματος για την στήριξη της ΚΡ3, Δ21 και της Δ6. Με τον τρόπο αυτό θα αποφεύγονταν τα τεραστίων διαστάσεων αυτά τοιχώματα και ο πυρήνας του ανελκυστήρα θα έμενε ανέπαφος.

Παραρτήματα Α και Β:

Α. Παράρτημα Α: Αναλυτική περιγραφή Κτιρίου.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του φορέα που συνεισφέρουν στην ολική δυσκαμψία του φορέα. Δηλαδή παρουσιάζονται υπό μορφή πινάκων οι διαστάσεις των στοιχείων και ο οπλισμός τους.

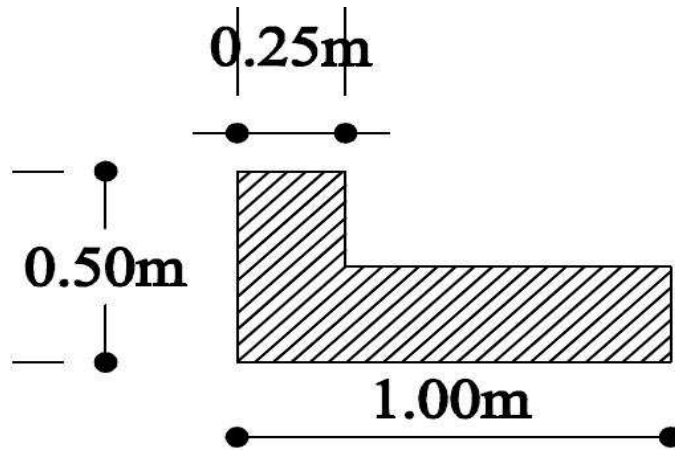
Διατομές δομικών στοιχείων φορέα

➤ Υποστυλώματα:

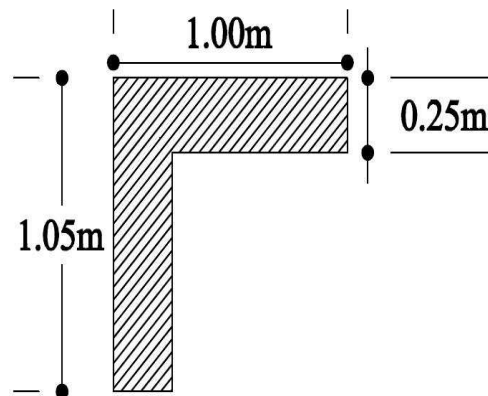
ΚΩΔΙΚΟΣ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ(cm)	ΟΠΛΙΣΜΟΣ
K1	25/70	10 Φ20
K2	30/70	10 Φ22
K3	30/70	10 Φ22
K4	30/70	10 Φ20
K5	30/70	10 Φ20
K8	70/70	16 Φ25
K9	25/90	12 Φ20
K10	25/90	12 Φ20
K11	25/90	12 Φ20
K12	25/90	12 Φ20
K13	25/60	8 Φ20
K14	Σχήμα: Α.1	14 Φ20
K17	Σχήμα: Α.2	20 Φ20
K18	70/70	16 Φ25
K19	Σχήμα: Α.3	56 Φ25 + Φ12/15

Πίνακας Α.1: Στοιχεία υποστυλωμάτων

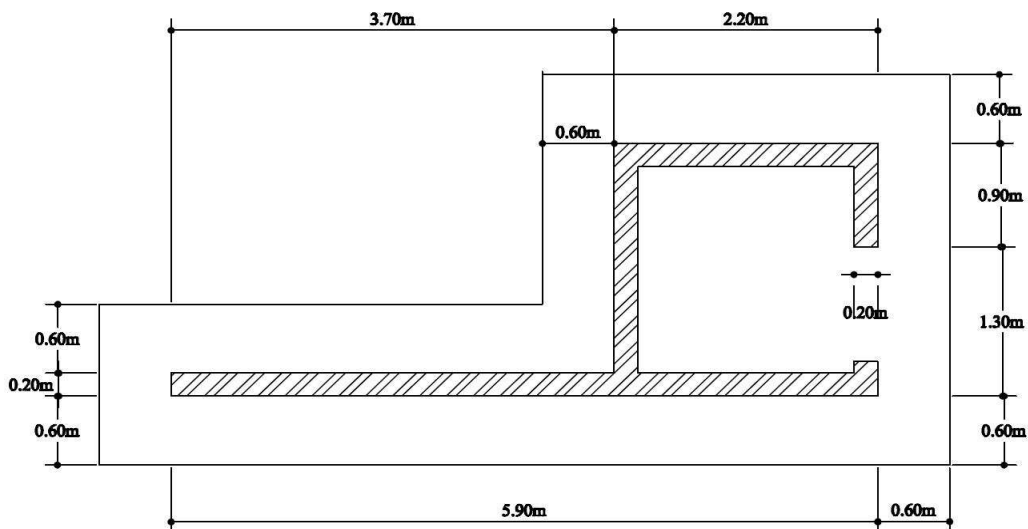
Παραρτήματα Α και Β



Σχήμα Α.1: Διατομή υποστυλώματος Κ14



Σχήμα Α.2: Διατομή υποστυλώματος Κ17



Σχήμα Α.3: Διατομή υποστυλώματος Κ19

Παράρτηματα Α και Β

➤ Τοιχώματα:

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ(cm)	ΟΠΛΙΣΜΟΣ
K6	25/100	12 Φ20
K7	25/100	12 Φ20
K15	25/120	14 Φ20
K16	25/100	12 Φ20
K20	20/590	28 Φ20 + Φ12/15

Πίνακας Α.2: Στοιχεία τοιχωμάτων

➤ Δοκάρια:

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ (cm)	ΥΨΟΣ (cm)	ΟΠΛΙΣΜΟΣ	
			κάτω	άνω
Δ1	20	50	4 Φ14	2 Φ12
Δ2	20	50	4 Φ14	2 Φ12
Δ3	20	50	4 Φ14	2 Φ12
Δ4	20	50	4 Φ14	2 Φ12
Δ5	20	60	4 Φ14	3 Φ12
Δ6	25	50	4 Φ14	3 Φ14
Δ7	25	50	4 Φ14	3 Φ14
Δ8	20	60	4 Φ14	3 Φ14
Δ9	20	60	4 Φ14	3 Φ20
Δ10	20	60	4 Φ14	2 Φ12
Δ11	20	60	4 Φ14	2 Φ12
Δ12	20	60	4 Φ14	3 Φ25
Δ13	25	60	4 Φ22	2 Φ12
Δ14	25	60	4 Φ16	3 Φ25
Δ15	20	70	3 Φ16	3 Φ16
Δ16	25	50	4 Φ14	2 Φ12
Δ17	25	50	4 Φ14	3 Φ22
Δ18	25	60	4 Φ14	3 Φ22
Δ19	25	60	4 Φ14	3 Φ22
Δ20	25	60	4 Φ16	2 Φ12
Δ21	25	60	4 Φ16	2 Φ12
Δ22	20	60	4 Φ14	3 Φ14
Δ23	20	60	3 Φ16	3 Φ14
Δ24	30	70	4 Φ25	3 Φ32 + 3 Φ28
Δ25	30	60	4 Φ25	3 Φ32 + 3 Φ28
Δ26	25	60	4 Φ14	3 Φ28
Δ27	25	60	4 Φ25	2 Φ14
Δ28	25	60	4 Φ20	2 Φ14
Δ29	30	70	4 Φ20	2 Φ28
Δ30	30	60	4 Φ25	3 Φ32 + 3 Φ28
Δ31	25	60	4 Φ25	2 Φ14
Δ32	25	60	4 Φ20	2 Φ14
Δ33	30	70	4 Φ20	2 Φ28
Δ34	30	60	4 Φ25	3 Φ32 + 3 Φ28
Δ35	40	120	10 Φ32	4 Φ18
Δ36	30	70	4 Φ20	2 Φ28
Δ37	30	60	4 Φ20	3 Φ32 + 3 Φ28
KP1	100	15	10 Φ16	10 Φ12
KP2	100	15	10 Φ16	10 Φ12

Παραρτήματα Α και Β

ΚΡ3	110	18	12 Φ16	11 Φ12
-----	-----	----	--------	--------

Πίνακας Α.3: Στοιχεία Δοκαριών.

➤ Συνδεδητές Υποστυλωμάτων:

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ	
	Στο μέσο	Στα άκρα
K1	2 Φ8/15 cm	2 Φ8 /10 έως 70 cm
K2	2 Φ8/15 cm	2 Φ8 /10 έως 70 cm
K3	2 Φ8/15 cm	2 Φ8 /10 έως 70 cm
K4	2 Φ8/15 cm	2 Φ8 /10 έως 70 cm
K5	2 Φ8/15 cm	2 Φ8 /10 έως 70 cm
K8	3 Φ8/15 cm	3 Φ8 /10 έως 70 cm
K9	3 Φ8/15 cm	3 Φ8 /10 έως 70 cm
K10	3 Φ8/15 cm	3 Φ8 /10 έως 70 cm
K11	3 Φ8/15 cm	3 Φ8 /10 έως 70 cm
K12	3 Φ8/15 cm	3 Φ8 /10 έως 70 cm
K13	2 Φ8/15 cm	3 Φ8 /10 έως 60 cm
K14	3 Φ8/15 cm	3 Φ8 /10 έως 100 cm
K17	4 Φ8/15 cm	4 Φ8 /10 έως 100 cm
K18	3 Φ8/15 cm	3 Φ8 /10 έως 100 cm
K19	13 Φ8/15 cm	13 Φ8 /10 έως 60 cm

Πίνακας Α.4: Συνδεδητές υποστυλωμάτων.

➤ Συνδεδητές Τοιχωμάτων:

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ	
	Στο μέσο	Στα άκρα
K6	3 Φ8/15 cm	3 Φ8 /10 έως 100 cm
K7	3 Φ8/15 cm	3 Φ8 /10 έως 100 cm
K15	3 Φ8/15 cm	3 Φ8 /10 έως 100 cm
K16	3 Φ8/15 cm	3 Φ8 /10 έως 100 cm
K20	6 Φ8/15 cm	6 Φ8 /10 έως 60 cm

Πίνακας Α.5: Συνδεδητές τοιχωμάτων.

➤ Συνδεδητές Δοκαριών:

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ	
	Στο μέσο	Στα άκρα
Δ1	Φ8/15 cm	Φ8 /10 έως 100 cm
Δ2	Φ8/15 cm	Φ8 /10 έως 100 cm
Δ3	Φ8/15 cm	Φ8 /10 έως 100 cm
Δ4	Φ8/15 cm	Φ8 /10 έως 100 cm
Δ5	Φ8/10 cm	Φ8 /10 cm
Δ6	Φ8/10 cm	Φ8 /10 cm
Δ7	Φ8/10 cm	Φ8 /10 cm
Δ8	Φ8/10 cm	Φ8 /10 cm

Παραρτήματα Α και Β

Δ9	Φ8/10 cm	Φ8 /10 cm
Δ10	Φ8/15 cm	Φ8 /10 έως 120 cm
Δ11	Φ8/15 cm	Φ8 /10 έως 120 cm
Δ12	Φ8/10 cm	Φ8 /10 cm
Δ13	2 Φ8/15 cm	2 Φ8 /10 έως 160 cm
Δ14	Φ8/10 cm	Φ8 /10 cm
Δ15	Φ8/10 cm	Φ8 /10 cm
Δ16	Φ8/15 cm	Φ8 /10 έως 100 cm
Δ17	2 Φ8/10 cm	2 Φ8/10 cm
Δ18	2 Φ8/10 cm	2 Φ8/10 cm
Δ19	Φ8/10 cm	Φ8 /10 cm
Δ20	Φ8/10 cm	Φ8 /10 cm
Δ21	Φ8/10 cm	Φ8 /10 cm
Δ22	Φ8/10 cm	Φ8 /10 cm
Δ23	Φ8/10 cm	Φ8 /10 cm
Δ24	Φ10/10 cm	Φ10 /10 cm
Δ25	2 Φ10/10 cm	2 Φ10 /10 cm
Δ26	Φ8/10 cm	Φ8 /10 cm
Δ27	2 Φ8/15 cm	2 Φ8 /10 έως 120 cm
Δ28	Φ8/15 cm	Φ8 /10 έως 120 cm
Δ29	Φ10/10 cm	Φ10 /10 cm
Δ30	2 Φ10/10 cm	2 Φ10 /10 cm
Δ31	2 Φ8/15 cm	2 Φ8 /10 έως 120 cm
Δ32	Φ8/15 cm	Φ8 /10 έως 120 cm
Δ33	Φ10/10 cm	Φ10 /10 cm
Δ34	2 Φ10/10 cm	2 Φ10 /10 cm
Δ35	2 Φ10/10 cm	2 Φ10 /10 cm
Δ36	Φ10/10 cm	Φ10 /10 cm
Δ37	2 Φ10/10 cm	2 Φ10 /10 cm
ΚΡ1	3 Φ8/10 cm	3 Φ8 /10 cm
ΚΡ2	3 Φ8/10 cm	3 Φ8 /10 cm
ΚΡ3	3 Φ8/10 cm	3 Φ8 /10 cm

Πίνακας Α.6: Συνδετήρες δοκαριών.

➤ Μεμονωμένα Πέδιλα:

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (cm)	ΟΠΛΙΣΜΟΣ
K1	150/150/60	Φ16/15 cm
K2	240/240/60	Φ22/15 cm
K3 + K4	300/570/80	κάτω: Φ28/15 cm, άνω: Φ20/15 cm
K5	230/230/60	Φ20/15 cm
K6 + K7	230/520/80	κάτω: Φ28/15 cm, άνω: Φ16/15 cm
K8	300/300/80	Φ25/15 cm
K9	180/270/60	Φ22/15 cm
K10	200/270/70	Φ25/15 cm
K11	250/290/70	Φ28/15 cm
K12	240/290/70	Φ28/15 cm
K13	220/220/60	Φ22/15 cm
K14 + K15	170/550/60	κάτω: Φ20/15 cm, άνω: Φ16/15 cm
K16	200/300/70	Φ25/15 cm
K17	230/230/60	Φ25/15 cm
K18	270/270/70	Φ25/15 cm

Παραρτήματα Α και Β

Κ19	Σχήμα 3 /70	κάτω: Φ28/15 cm, άνω: Φ25/15 cm
Κ20	140/710/60	Φ22/15 cm

Πίνακας Α.7: Μεμονωμένα πέδιλα.

➤ Συνδετήριες Δοκοί:

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ (cm)	ΥΨΟΣ (cm)	ΟΠΛΙΣΜΟΣ πάνω και κάτω	ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ
Θ1	25	60	3 Φ16	Φ8/20 cm
Θ2	40	60	4 Φ18	Φ8/20 cm

Πίνακας Α.8: Συνδετήριες Δοκοί.

➤ Διαστάσεις Πλακών:

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΜΕΓΑΛΗ ΠΛΕΥΡΑ (m)	ΜΙΚΡΗ ΠΛΕΥΡΑ (m)
Π1	5.00	3.75
Π2	4.90	3.65
Π3	8.10	3.40
Π4	8.10	4.00
Π5	4.00	1.70
Π6	11.40	4.00
Π7	12.40	3.40
Π8	12.30	3.40
Π9	11.40	4.00

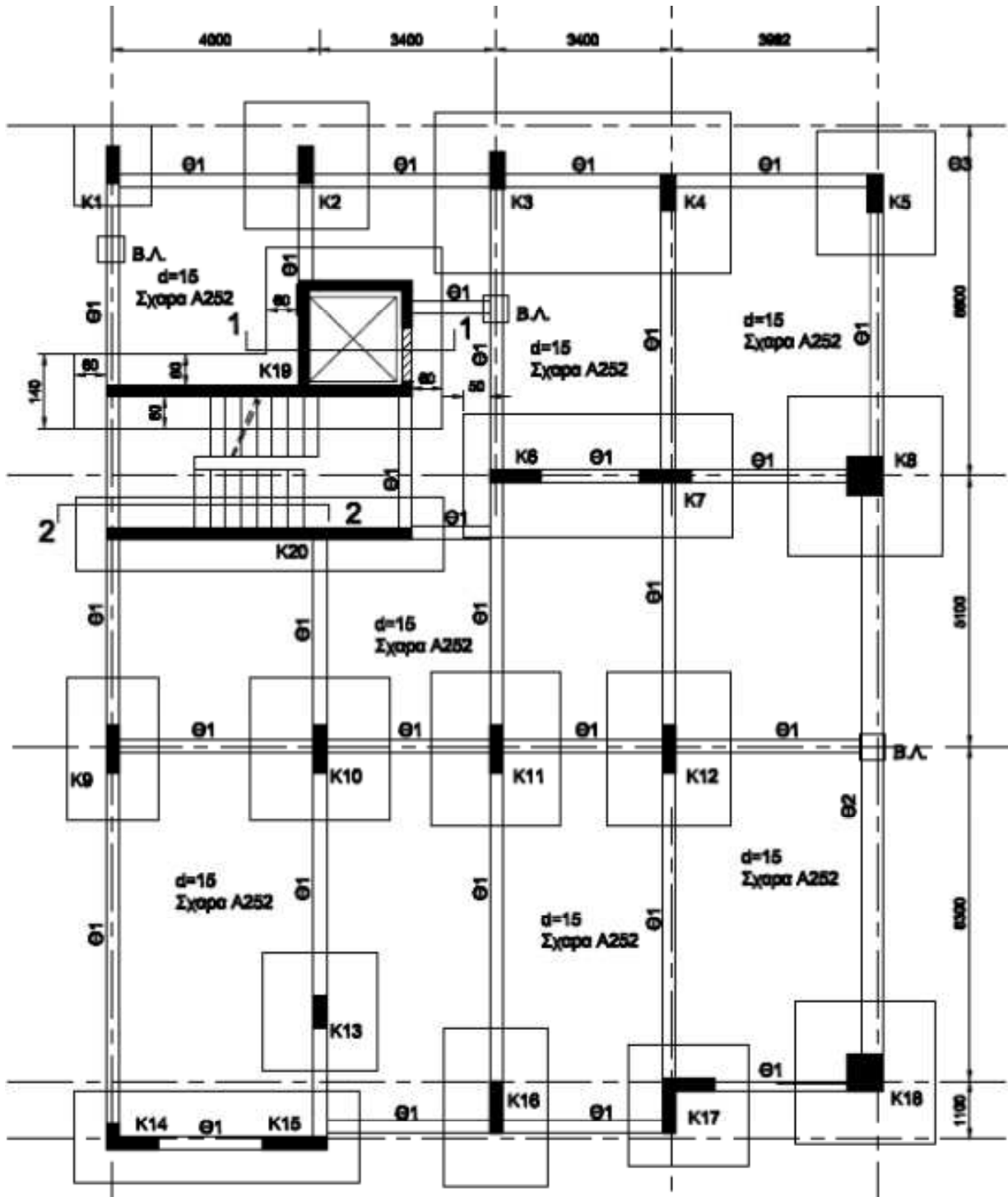
Πίνακας Α.9: Διαστάσεις πλακών.

➤ Οπλισμός Πλακών:

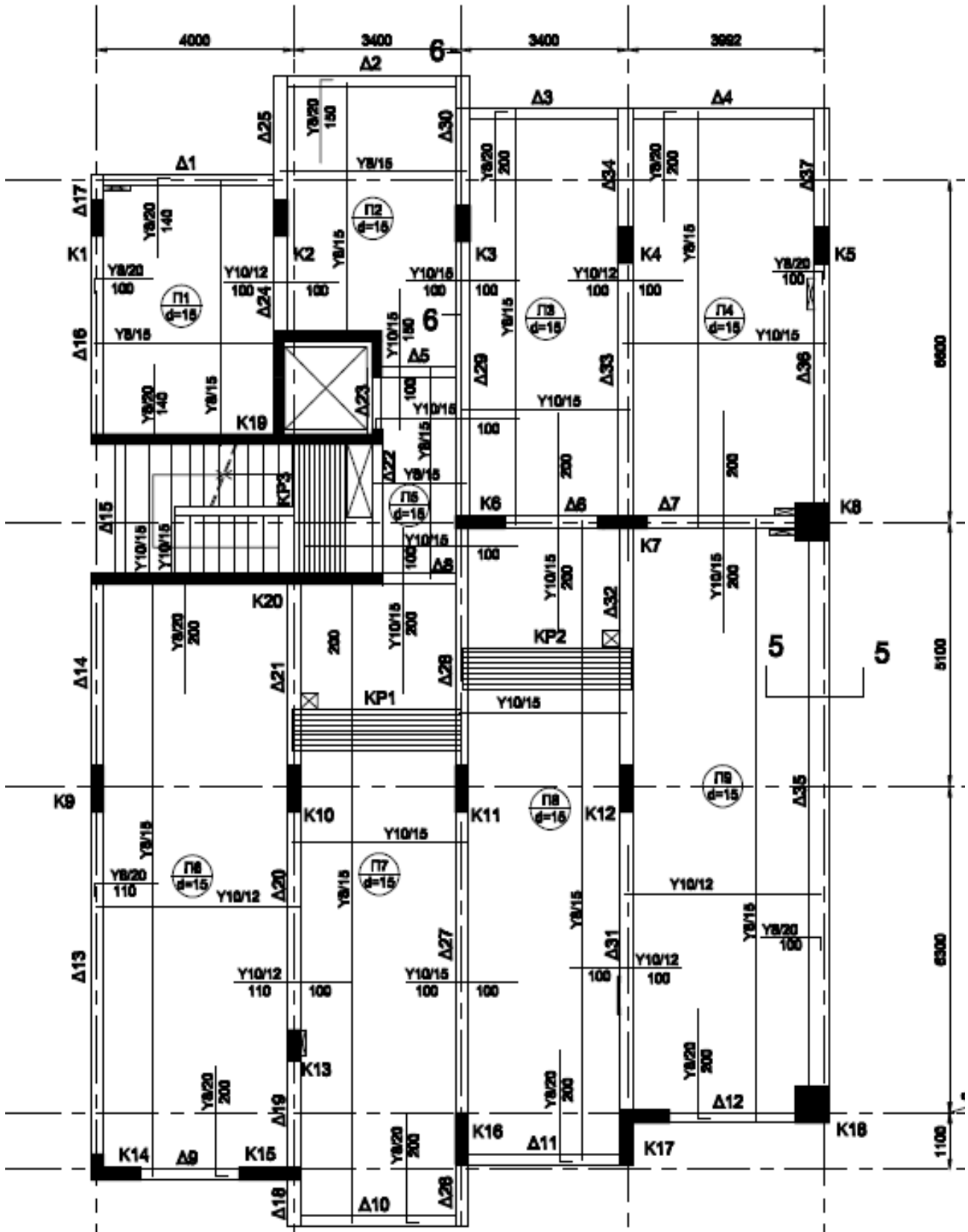
ΚΩΔΙΚΟΣ	ΚΥΡΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ		ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ	
	κύριος	απόσχισης	κύριος	απόσχισης
Π1	Φ8/15 cm	Φ8/20 cm	Φ8/15 cm	Φ8/20 cm
Π2	Φ8/15 cm	Φ10/15 cm	Φ8/15 cm	Φ8/20 cm
Π3	Φ10/15 cm	Φ10/15 cm	Φ8/15 cm	Φ8/20 cm
Π4	Φ10/15 cm	Φ10/12 cm	Φ8/15 cm	Φ8/20 cm
Π5	Φ8/15 cm	Φ10/15 cm	Φ8/15 cm	Φ10/15 cm
Π6	Φ10/12 cm	Φ8/20 cm	Φ8/15 cm	Φ8/20 cm
Π7	Φ10/15 cm	Φ10/12 cm	Φ8/15 cm	Φ10/15 cm
Π8	Φ10/15 cm	Φ10/15 cm	Φ8/15 cm	Φ10/15 cm
Π9	Φ10/12 cm	Φ10/12 cm	Φ8/15 cm	Φ10/15 cm

Πίνακας Α.10: Οπλισμός πλακών.

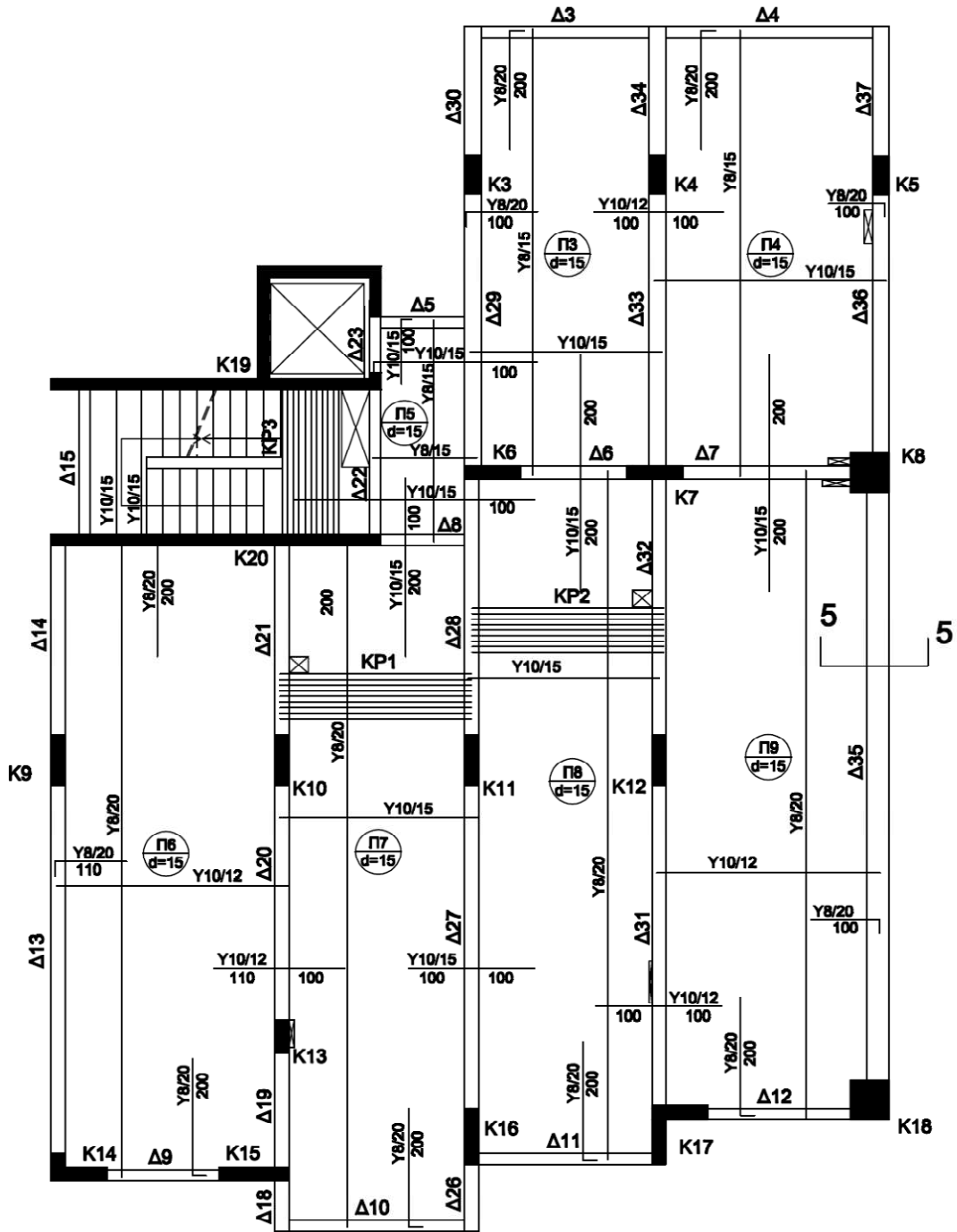
Ακολούθως παρατίθενται τα σχέδια των ξυλοτύπων της κατασκευής, τα οποία και χρησιμοποιήθηκαν κατά την προσομοίωση της κατασκευής.



Σχήμα Α.4: Κάτοψη θεμελίωσης
όχι σε κλίμακα.



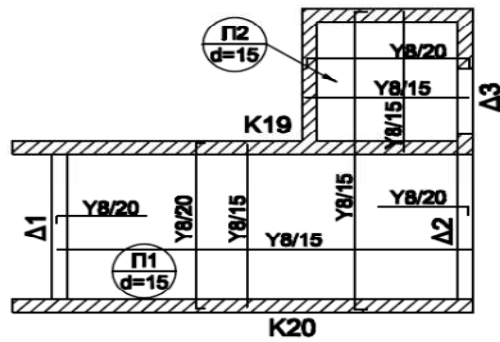
Σχήμα Α.5: Ευλότυπος Οροφής Ισογείου, 1^{ου} και 2^{ου} Ορόφου.
Όχι σε καθορισμένη κλίμακα.



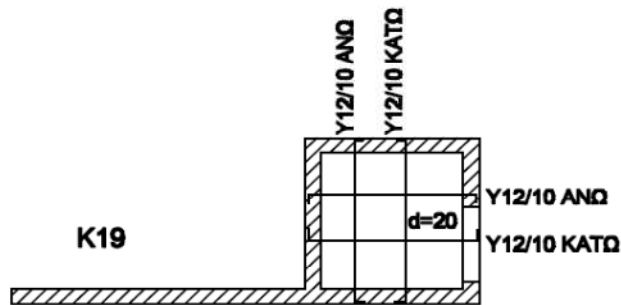
Σχήμα Α.6: Ευλότυπος Οροφής 3^{ου} και 4^{ου} ορόφου.

Όχι σε καθορισμένη κλίμακα.

Παραρτήματα Α και Β



Σχήμα Α.7: Οροφή Μηχανοστάσιου και Κλιμακοστάσιου.
Όχι σε καθορισμένη κλίμακα.



Σχήμα Α.8: Δάπεδο Μηχανοστάσιου.
Όχι σε καθορισμένη κλίμακα.

Β. Παράρτημα Β: Διαδικασία Προσομοίωσης:

Στο μέρος αυτό αναπτύσσεται η διαδικασία με μορφή βημάτων που ακολουθήθηκε για να προσομοιωθεί ο φορέας. Επίσης επισημαίνονται τα σημεία που κρύβουν παγίδες.

❖ 1^ο Βήμα:

Βάσει των σχεδίων των ξυλοτύπων ορίζονται οι διαστάσεις του τρισδιάστατου κάρναβου περνώντας από τη μέση ίνα του κάθε στοιχείου κατά το δυνατόν.

Προσοχή: καλό είναι η απόσταση μεταξύ δύο σημείων στον κάρναβο να μην είναι μικρότερη των 5cm αφού παρουσιάζει πρόβλημα στην απεικόνιση των μελών, φυσικά αυτό είναι καθαρά οπτικό και μόνο.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τιμές που ορίστηκαν.

Κατά Χ:

Κωδικός:	Τιμή	Κωδικός	Τιμή
1	0,00	8	4,70
2	0,50	9	5,70
3	2,85	10	7,40
4	3,50	11	7,80
5	3,70	12	10,80
6	4,00	13	11,30
7	4,60	14	14,80

Κατά Ψ:

Κωδικός	Τιμή	Κωδικός	Τιμή
A	0,00	L	15,10
B	1,00	M	16,10
C	1,25	N	16,40
D	1,60	O	16,75
E	2,10	P	17,10
F	3,40	Q	18,85
G	8,40	R	19,35
H	9,50	S	20,10
I	10,70	T	21,50
J	12,40	U	22,00
K	13,50		

Παραρτήματα Α και Β

Κατά Ζ:

Κωδικός	Τιμή	Κωδικός	Τιμή
Z1	0,00	Z5	13,21
Z2	4,36	Z6	16,11
Z3	7,31	Z7	19,00
Z4	10,26		

Εντολή: **Define > Coordinate systems/Grid**

Φυσικά στην αρχή κάθε εργασίας ορίζονται οι μονάδες μέτρησης και υπολογισμού. Επιλέχθηκαν μονάδες kN και m.

❖ 2⁰ Βήμα:

Μέσω του **Define > Materials** ορίζονται τα υλικά της κατασκευής. Τα δύο υλικά που ορίστηκαν είναι το σκυρόδεμα, (concrete), ποιότητας C25/30 και χάλυβας για τον οπλισμό των στοιχείων ποιότητας S400, (Reinforcement).

❖ 3⁰ Βήμα:

Ακολουθώς σχεδιάζονται οι διατομές των κατακόρυφων και οριζόντιων στοιχείων του φορέα. Η εντολή είναι **Define > Sections Properties > Frame Sections > Section Designer**. Μέσω του section designer υπάρχει η δυνατότητα μόρφωσης της διατομής με τον οπλισμό της με ακρίβεια αφενός και αφετέρου παρέχει την δυνατότητα σχεδίασης ακόμα και μη ορθογωνικών διατομών. Επίσης όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 8 διευκολύνει στη συλλογή δεδομένων τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για τον ορισμό των ιδιοτήτων των πλαστικών αρθρώσεων.

Για τον ακριβή σχεδιασμό των στοιχείων θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ο προσανατολισμός των τοπικών αξόνων σε σχέση με τους καθολικούς άξονες. Συγκεκριμένα τόσο για τα κατακόρυφα στοιχεία όσο και για τα οριζόντια στοιχεία ο διαμήκης άξονας είναι ο τοπικός άξονας 1, ο τοπικός άξονας 2 για τα κατακόρυφα στοιχεία είναι

Παραρτήματα Α και Β

παράλληλος με τον καθολικό άξονα X ενώ για τα οριζόντια στοιχεία είναι παράλληλος με τον καθολικό άξονα Z.

Υπάρχει περίπτωση στην όπλιση μίας διατομής να χρησιμοποιείται ράβδος οπλισμού που να μην υπάρχει στα δεδομένα του προγράμματος. Εδώ θα πρέπει να επισημάνθει πώς τα γωνιακά υποστυλώματα K14 και K17 χωρίστηκαν σε δύο μέρη, κάτι σαν σύζευξη τοιχωμάτων, γιατί κατά την εφαρμογή της ανελαστικής στατικής μεθόδου το διάγραμμα αλληλεπίδρασης δεν ήταν κυρτό. Το υποστυλώμα K19 απαρτίζεται από τέσσερα τοιχώματα.

❖ 4^ο Βήμα:

Το επόμενο στάδιο είναι ο σχεδιασμός των στοιχείων στον τρισδιάστατο κάρναβο. Η εντολή είναι: **Draw > Draw Frame**.

Ακολουθούν πίνακες στους οποίους και παρουσιάζονται οι θέσεις ορισμού του κάθε στοιχείου.

Κατακόρυφα Στοιχεία:

Κωδικός	Θέση (X,Ψ)	Κωδικός	Θέση (X,Ψ)
K1	0.00,19.35	K14_A	0.50,1.00
K2	3.70,19.35	K14_B	0.00,1.25
K3	7.40,19.35	K15	3.50,1.00
K4	10.80,18.85	K16	7.40,1.60
K5	14.80,18.85	K17_A	10.80,1.60
K6	7.80,13.50	K17_B	11.30,2.10
K7	10.80,13.50	K18	14.80,2.10
K8	14.80,13.50	K19_A	2.85,15.10
K9	0.00,8.40	K19_B	3.70,16.10
K10	4.00,8.40	K19_C	4.70,17.10
K11	7.40,8.40	K19_D	5.70,16.75
K12	10.80,8.40	K20	2.85,12.40
K13	4.00,3.40		

Οριζόντια στοιχεία:

Κωδικός	Θέση	Κωδικός	Θέση
Δ1	X=0.00-3.70 Ψ=20.10	Δ21	Ψ=8.40-9.50-12.40 X=4.00
Δ2	X=3.70-7.40 Ψ=22.00	Δ22	Ψ=12.40-15.10 X=5.70
Δ3	X=7.40-10.80 Ψ=21.50	Δ23	Ψ=15.10-16.40 X=5.70
Δ4	X=10.80-14.80 Ψ=21.50	Δ24	Ψ=17.10-19.35 X=3.70
Δ5	X=5.70-7.40 Ψ=16.40	Δ25	Ψ=19.35-20.10-22.00 X=3.70
Δ6	X=7.80-10.80 Ψ=13.50	Δ26	Ψ=0.00-1.25-1.60 X=7.40

Παραρτήματα Α και Β

Δ7	X=10.80-14.80 Ψ=13.50	Δ27	Ψ=1.60-8.40 X=7.40
Δ8	X=5.70-7.40 Ψ=12.40	Δ28	Ψ=8.4-9.5-10.7-12.4-13.5 X=7.4
Δ9	X=0.50-3.50 Ψ=1.00	Δ29	Ψ=13.5-16.4-19.35 X=7.4
Δ10	X=4.00-7.40 Ψ=0.00	Δ30	Ψ=19.35-21.50-22.0 X=7.40
Δ11	X=7.40-10.80 Ψ=1.25	Δ31	Ψ=1.60-8.40 X=10.80
Δ12	X=11.30-14.80 Ψ=2.10	Δ32	Ψ=8.40-10.70-13.50 X=10.80
Δ13	Ψ=1.25-8.40 X=0.00	Δ33	Ψ=13.50-18.85 X=10.80
Δ14	Ψ=8.40-12.40 X=0.00	Δ34	Ψ=18.85-21.50 X=10.80
Δ15	Ψ=12.40-15.10 X=0.50	Δ35	Ψ=2.10-13.50 X=14.80
Δ16	Ψ=15.10-19.35 X=0.00	Δ36	Ψ=13.50-18.85 X=14.80
Δ17	Ψ=19.35-20.10 X=0.00	Δ37	Ψ=18.85-21.50 X=14.80
Δ18	Ψ=0.00-1.00 X=4.00	KP1	X=4.00-7.40 Ψ=9.50
Δ19	Ψ=1.00-3.40 X=4.00	KP2	X=7.40-10.80 Ψ=10.70
Δ20	Ψ=3.40-8.40 X=4.00	KP3	Ψ=12.40=15.10 X=4.60

Ορισμός Θεμελιωδοκών:

Για θεμελιωδοκό Θ1:

X=0.00-3.70 Ψ=19.35	Ψ=8.40-12.40 X=0.00
X=3.70-7.40 Ψ=19.35	Ψ=12.40-15.10 X=0.00
X=7.40-10.80 Ψ=18.85	Ψ=15.10-19.35 X=0.00
X=10.80-14.80 Ψ=18.85	Ψ=1.00-1.25-3.40 X=4.00
X=5.70-7.40 Ψ=16.75	Ψ=3.40-8.40 X=4.00
X=7.80-10.80 Ψ=13.50	Ψ=8.40-12.40 X=4.00
X=10.80-14.80 Ψ=13.50	Ψ=12.40-15.10 X=5.70
X=0.00-4.00 Ψ=8.40	Ψ=1.60-8.40 X=7.40
X=4.00-7.40 Ψ=8.40	Ψ=8.40-12.40-13.50 X=7.40
X=7.40-10.80 Ψ=8.40	Ψ=13.50-16.75-18.85-19.35 X=7.40
X=10.80-14.80 Ψ=8.40	X=5.70-7.40 Ψ=12.40
X=0.50-3.50 Ψ=1.00	Ψ=1.60-8.40 X=10.80
X=4.00-7.40 Ψ=1.25	Ψ=8.40-13.50 X=10.80
X=7.40-10.80 Ψ=1.25	Ψ=13.50-18.85 X=10.80
X=11.30-14.80 Ψ=2.10	Ψ=13.50-18.85 X=14.80
Ψ=1.25-8.40 X=0.00	Ψ=17.10-19.35 X=3.70

Για θεμελιωδοκό Θ2:

Ψ=2.10-8.40-13.50 X=14.80

❖ 5⁰ Βήμα:

Με την ολοκλήρωση του σχεδιασμού του κάθε στοιχείου καθορίζονται οι θέσεις πακτώσεων και αρθρώσεων.

Εντολή: **Assign > Joint > Restraints.**

Οι πακτώσεις ορίζονται στις θέσεις απόληξης των κατακόρυφων στοιχείων. Αρθρώσεις ορίζονται τα σημεία εκείνα όπου μπορεί να γίνει η θεώρηση της δοκού επί ελαστικού εδάφους.

Παραρτήματα Α και Β

Οι θέσεις αυτές είναι, για τις αρθρώσεις:

7.40,18.85	4.00,1.25
7.40,16.75	7.40,1.25
7.40,12.40	10.80,1.25
14.80,8.40	4.00,1.00

❖ 6^ο Βήμα:

Το επόμενο βήμα είναι ο ορισμός της φόρτισης. Τα φορτία χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τα μόνιμα, στα οποία και συγκαταλέγεται και το ίδιο βάρος των στοιχείων, και στα κινητά. Στην οροφή στα μόνιμα φορτία περιλαμβάνεται και το βάρος από την μόνωση.

Εντολή: **Assign > Frame Loads > Distributed.**

Τα φορτία που έχουν ορισθεί παρουσιάζονται στον πίνακα που παρατίθεται.

Κωδικός	Μόνιμο	Κινητό	Οροφής
Δ1	3,70	1,27	5,60
Δ2	6,30	2,20	9,60
Δ3	4,02	1,40	6,13
Δ4	4,90	1,70	7,45
Δ5	7,21	2,51	11,00
Δ6	9,10	3,20	13,90
Δ7	14,14	4,92	21,53
Δ8	6,30	2,20	9,60
Δ9	4,80	1,70	7,30
Δ10	5,61	2,00	8,60
Δ11	4,00	1,40	6,10
Δ12	6,50	2,30	10,00
Δ13	8,30	2,90	12,63
Δ14	11,90	4,20	18,15
Δ15	7,20	5,00	24,06
Δ16	11,80	4,15	18,00
Δ17	2,70	1,00	4,10
Δ18	3,10	1,10	4,72
Δ19	21,20	7,40	32,30
Δ20	26,20	9,15	40,00
Δ21	16,15	5,65	24,60
Δ22	4,70	1,65	24,06
Δ23	1,71	0,60	25,70
Δ24	30,30	10,55	46,10
Δ25	9,05	3,20	13,80
Δ26	8,35	2,90	12,70
Δ27	19,75	6,90	30,05
Δ28	6,50	2,30	9,90
Δ29	14,15	4,91	21,53

Παραρτήματα Α και Β

Δ30	10,35	3,60	15,75
Δ31	16,95	5,90	25,80
Δ32	11,70	4,10	17,80
Δ33	19,05	6,65	29,00
Δ34	18,45	6,42	28,10
Δ35	9,70	3,50	14,80
Δ36	7,51	2,65	11,45
Δ37	6,50	2,30	10,00
KP1	12,70	4,45	19,32
KP2	14,20	4,95	21,60
KP3	7,40	5,20	

❖ 7⁰ Βήμα:

Αν και ο φορέας φαίνεται πως έχει μορφωθεί δεν είναι σταθερός. Υπάρχουν δοκάρια που κρέμονται και δεν έχουν καμία στήριξη έστω και αν στην απεικόνιση με τις διατομές (View> Set Display Options> Extrude View) φαίνεται πως πατάνε ή στηρίζονται κάπου. Για την σύνδεση των μελών μεταξύ τους ενώνονται δύο σημεία με ένα άκαμπτο δοκάρι έτσι ώστε σε οποιαδήποτε διεύθυνση και να είναι η κίνηση να υπάρχει μία ταυτόχρονη κίνηση των σημείων αυτών.

Εντολή: **Assign > Joint > Constraints > Beam.**

Συγκεκριμένα έχουν ορισθεί τα εξής:

Για το Δώμα: (Z=19.00m)

- K19_A με Δ15, K19_B και Δ22
- K19_B με K19_C
- K19_C με K19_D
- K19_D με Δ23
- K20 με Δ15 και Δ22

Για τον 3⁰ και 4⁰ Όροφο: (Z=13.21m και 16.11m)

- K19_A με K19_B, Δ15, Δ22 και KP3
- K19_B με K19_C
- K19_C με K19_D
- K19_D με Δ23(Δ5).

Παραρτήματα Α και Β

- Κ20 με Δ14, Δ15, Δ21, ΚΡ3 και Δ22
- Κ6 με Δ29 (Δ28)
- Κ14_Α με Κ14_Β
- Κ15 με Δ18 (Δ19)
- Κ16 με Δ11
- Κ17_Α με Κ17_Β και Δ11

Για το Ισόγειο, τον 1⁰ και τον 2⁰: (Z=4.36m, 7.31m και 10.26m)

- Κ19_Α με Κ19_Β, Δ15, Δ16, Δ22 και ΚΡ3
- Κ19_Β με Κ19_C και Δ24
- Κ19_С με Κ19_D και Δ24
- Κ19_D με Δ23(Δ5).
- Κ20 με Δ14, Δ15, Δ21, ΚΡ3 και Δ22
- Κ6 με Δ29 (Δ28)
- Κ14_Α με Κ14_Β
- Κ15 με Δ18 (Δ19)
- Κ16 με Δ11
- Κ17_Α με Κ17_Β και Δ11

Για την θεμελίωση: (Z=0.00m)

- Κ19_Α με Κ19_Β, (0.00,15.10), και (5.70,15.10)
- Κ19_Β με Κ19_С και (3.70,17.10)
- Κ19_С με Κ19_D και (3.70,17.10)
- Κ20 με (0.00,12.40), (4.00,12.40) και (5.70,12.40)
- Κ6 με (7.40,13.50)
- Κ14_Α με Κ14_Β
- Κ15 με (4.00,1.00)
- Κ16 με (7.40,1.25)
- Κ17_Α με Κ17_Β και (10.80,1.25)

Παραρτήματα Α και Β

❖ 8⁰ Βήμα:

Η διαφραγματική λειτουργία της πλάκας που είναι απαραίτητο να ορισθεί έτσι ώστε να μην υπάρχουν παραμορφώσεις μέσα στο επίπεδο της πλάκας ορίζεται με την εντολή που δίνεται ακολούθως. Ορίζεται ένα διάφραγμα για κάθε όροφο, συμπεριλαμβανομένης και της θεμελίωσης, αφού επιλέχθούν όλα τα στοιχεία και οι κόμβοι της εν λόγω στάθμης.

Εντολή: **Assign > Joint > Constraints > Diaphragm.**

❖ 9⁰ Βήμα:

Για να πραγματοποιηθεί η ιδιομορφική ανάλυση καθορίζονται οι πηγές υπολογισμού της μάζας της κατασκευής.

Εντολή: **Define > Mass Source.**

❖ 10⁰ Βήμα:

Στο **Define > Fuctions** ορίζεται είτε κάποιο φάσμα απόκρισης είτε κάποια χρονοιστορία. Τέλος στο **Load Cases** καθορίζονται οι βασικές φορτίσεις και στο **Load Combinations** ορίζονται συνήθως οι συνδυασμοί φορτίσεων που θα πραγματοποιηθούν.

Τέλος παρουσιάζονται στον ακόλουθό πίνακα η αντιστοιχία των μελών με τα “Hinges” όπως αυτά ορίστηκαν στο πρόγραμμα.

TABLE: Frame Hinge Assigns 02 - User Defined Properties					
AssignProp	Gen Hinge	AssignProp	Gen Hinge	AssignProp	Gen Hinge
Text	Text	Text	Text	Text	Text
HINGE_K1-ISOGEIO	1H1	HINGE_K20-PROTOS	122H2	HINGE_DOKOS_23	243H1
HINGE_K1-ISOGEIO	1H2	HINGE_K20-DEYTEROS	123H1	HINGE_DOKOS_23	243H2
HINGE_K1-PROTOS	2H1	HINGE_K20-DEYTEROS	123H2	HINGE_DOKOS_23	244H1
HINGE_K1-PROTOS	2H2	HINGE_K20-TRITOS	124H1	HINGE_DOKOS_23	244H2
HINGE_K1-DEYTEROS	3H1	HINGE_K20-TRITOS	124H2	HINGE_DOKOS_24	245H1
HINGE_K1-DEYTEROS	3H2	HINGE_K20-TETARTOS	125H1	HINGE_DOKOS_24	245H2
HINGE_K2-ISOGEIO	4H1	HINGE_K20-TETARTOS	125H2	HINGE_DOKOS_24	246H1

Παραρτήματα Α και Β

HINGE_K2-ISOGEIO	4H2	HINGE_K20-PEMPTOS	126H1	HINGE_DOKOS_24	246H2
HINGE_K2-PROTOS	5H1	HINGE_K20-PEMPTOS	126H2	HINGE_DOKOS_24	247H1
HINGE_K2-PROTOS	5H2	HINGE_K14_B-ISOGEIO	127H1	HINGE_DOKOS_24	247H2
HINGE_K2-DEYTEROS	6H1	HINGE_K14_B-ISOGEIO	127H2	HINGE_DOKOS_25_1	248H1
HINGE_K2-DEYTEROS	6H2	HINGE_K14_B-PROTOS	128H1	HINGE_DOKOS_25_1	248H2
HINGE_K3-ISOGEIO	7H1	HINGE_K14_B-PROTOS	128H2	HINGE_DOKOS_25_2	249H1
HINGE_K3-ISOGEIO	7H2	HINGE_K14_B-DEYTEROS	129H1	HINGE_DOKOS_25_2	249H2
HINGE_K3-PROTOS	8H1	HINGE_K14_B-DEYTEROS	129H2	HINGE_DOKOS_25_1	250H1
HINGE_K3-PROTOS	8H2	HINGE_K14_B-TRITOS	130H1	HINGE_DOKOS_25_1	250H2
HINGE_K3-DEYTEROS	9H1	HINGE_K14_B-TRITOS	130H2	HINGE_DOKOS_25_2	251H1
HINGE_K3-DEYTEROS	9H2	HINGE_K14_B-TETARTOS	131H1	HINGE_DOKOS_25_2	251H2
HINGE_K3-TRITOS	10H1	HINGE_K14_B-TETARTOS	131H2	HINGE_DOKOS_25_1	252H1
HINGE_K3-TRITOS	10H2	HINGE_DOKOS_2	133H1	HINGE_DOKOS_25_1	252H2
HINGE_K3-TETARTOS	11H1	HINGE_DOKOS_2	133H2	HINGE_DOKOS_25_2	253H1
HINGE_K3-TETARTOS	11H2	HINGE_DOKOS_2	134H1	HINGE_DOKOS_25_2	253H2
HINGE_K4-ISOGEIO	12H1	HINGE_DOKOS_2	134H2	HINGE_DOKOS_26_1	254H1
HINGE_K4-ISOGEIO	12H2	HINGE_DOKOS_2	135H1	HINGE_DOKOS_26_1	254H2
HINGE_K4-PROTOS	13H1	HINGE_DOKOS_2	135H2	HINGE_DOKOS_26_2	255H1
HINGE_K4-PROTOS	13H2	HINGE_DOKOS_3	136H1	HINGE_DOKOS_26_2	255H2
HINGE_K4-DEYTEROS	14H1	HINGE_DOKOS_3	136H2	HINGE_DOKOS_26_1	256H1
HINGE_K4-DEYTEROS	14H2	HINGE_DOKOS_3	137H1	HINGE_DOKOS_26_1	256H2
HINGE_K4-TRITOS	15H1	HINGE_DOKOS_3	137H2	HINGE_DOKOS_26_2	258H1
HINGE_K4-TRITOS	15H2	HINGE_DOKOS_3	138H1	HINGE_DOKOS_26_2	258H2
HINGE_K4-TETARTOS	16H1	HINGE_DOKOS_3	138H2	HINGE_DOKOS_26_1	259H1
HINGE_K4-TETARTOS	16H2	HINGE_DOKOS_3	139H1	HINGE_DOKOS_26_1	259H2
HINGE_K5-ISOGEIO	17H1	HINGE_DOKOS_3	139H2	HINGE_DOKOS_27	260H1
HINGE_K5-ISOGEIO	17H2	HINGE_DOKOS_3	140H1	HINGE_DOKOS_27	260H2
HINGE_K5-PROTOS	18H1	HINGE_DOKOS_3	140H2	HINGE_DOKOS_27	261H1
HINGE_K5-PROTOS	18H2	HINGE_DOKOS_4	141H1	HINGE_DOKOS_27	261H2
HINGE_K5-	19H1	HINGE_DOKOS_	141H2	HINGE_DOKOS_	262H1

Παράρτηματα Α και Β

DEYTEROS		4		27	
HINGE_K5-DEYTEROS	19H2	HINGE_DOKOS_4	142H1	HINGE_DOKOS_27	262H2
HINGE_K5-TRITOS	20H1	HINGE_DOKOS_4	142H2	HINGE_DOKOS_27	263H1
HINGE_K5-TRITOS	20H2	HINGE_DOKOS_4	143H1	HINGE_DOKOS_27	263H2
HINGE_K5-TETARTOS	21H1	HINGE_DOKOS_4	143H2	HINGE_DOKOS_27	264H1
HINGE_K5-TETARTOS	21H2	HINGE_DOKOS_4	144H1	HINGE_DOKOS_27	264H2
HINGE_K6-ISOGEIO	22H1	HINGE_DOKOS_4	144H2	HINGE_DOKOS_28_1	265H1
HINGE_K6-ISOGEIO	22H2	HINGE_DOKOS_4	145H1	HINGE_DOKOS_28_1	265H2
HINGE_K6-PROTOS	23H1	HINGE_DOKOS_4	145H2	HINGE_DOKOS_28_2	266H1
HINGE_K6-PROTOS	23H2	HINGE_DOKOS_5	146H1	HINGE_DOKOS_28_2	266H2
HINGE_K6-DEYTEROS	24H1	HINGE_DOKOS_5	146H2	HINGE_DOKOS_28_3	267H1
HINGE_K6-DEYTEROS	24H2	HINGE_DOKOS_5	147H1	HINGE_DOKOS_28_3	267H2
HINGE_K6-TRITOS	25H1	HINGE_DOKOS_5	147H2	HINGE_DOKOS_28_4	268H1
HINGE_K6-TRITOS	25H2	HINGE_DOKOS_5	148H1	HINGE_DOKOS_28_4	268H2
HINGE_K6-TETARTOS	26H1	HINGE_DOKOS_5	148H2	HINGE_DOKOS_28_1	269H1
HINGE_K6-TETARTOS	26H2	HINGE_DOKOS_5	149H1	HINGE_DOKOS_28_1	269H2
HINGE_K7-ISOGEIO	27H1	HINGE_DOKOS_5	149H2	HINGE_DOKOS_28_2	270H1
HINGE_K7-ISOGEIO	27H2	HINGE_DOKOS_5	150H1	HINGE_DOKOS_28_2	270H2
HINGE_K7-PROTOS	28H1	HINGE_DOKOS_5	150H2	HINGE_DOKOS_28_3	271H1
HINGE_K7-PROTOS	28H2	HINGE_DOKOS_6	151H1	HINGE_DOKOS_28_3	271H2
HINGE_K7-DEYTEROS	29H1	HINGE_DOKOS_6	151H2	HINGE_DOKOS_28_4	272H1
HINGE_K7-DEYTEROS	29H2	HINGE_DOKOS_6	152H1	HINGE_DOKOS_28_4	272H2
HINGE_K7-TRITOS	30H1	HINGE_DOKOS_6	152H2	HINGE_DOKOS_28_1	273H1
HINGE_K7-TRITOS	30H2	HINGE_DOKOS_6	153H1	HINGE_DOKOS_28_1	273H2
HINGE_K7-TETARTOS	31H1	HINGE_DOKOS_6	153H2	HINGE_DOKOS_28_2	274H1
HINGE_K7-TETARTOS	31H2	HINGE_DOKOS_6	154H1	HINGE_DOKOS_28_2	274H2
HINGE_K8-ISOGEIO	32H1	HINGE_DOKOS_6	154H2	HINGE_DOKOS_28_3	275H1
HINGE_K8-ISOGEIO	32H2	HINGE_DOKOS_6	155H1	HINGE_DOKOS_28_3	275H2
HINGE_K8-PROTOS	33H1	HINGE_DOKOS_6	155H2	HINGE_DOKOS_28_4	276H1
HINGE_K8-PROTOS	33H2	HINGE_DOKOS_7	156H1	HINGE_DOKOS_28_4	276H2

Παραρτήματα Α και Β

HINGE_K8-DEYTEROS	34H1	HINGE_DOKOS_7	156H2	HINGE_DOKOS_28_1	277H1
HINGE_K8-DEYTEROS	34H2	HINGE_DOKOS_7	157H1	HINGE_DOKOS_28_1	277H2
HINGE_K8-TRITOS	35H1	HINGE_DOKOS_7	157H2	HINGE_DOKOS_28_2	278H1
HINGE_K8-TRITOS	35H2	HINGE_DOKOS_7	158H1	HINGE_DOKOS_28_2	278H2
HINGE_K8-TETARTOS	36H1	HINGE_DOKOS_7	158H2	HINGE_DOKOS_28_3	279H1
HINGE_K8-TETARTOS	36H2	HINGE_DOKOS_7	159H1	HINGE_DOKOS_28_3	279H2
HINGE_K9-ISOGEIO	37H1	HINGE_DOKOS_7	159H2	HINGE_DOKOS_28_4	280H1
HINGE_K9-ISOGEIO	37H2	HINGE_DOKOS_7	160H1	HINGE_DOKOS_28_4	280H2
HINGE_K9-PROTOS	38H1	HINGE_DOKOS_7	160H2	HINGE_DOKOS_28_1	281H1
HINGE_K9-PROTOS	38H2	HINGE_DOKOS_8	161H1	HINGE_DOKOS_28_1	281H2
HINGE_K9-DEYTEROS	39H1	HINGE_DOKOS_8	161H2	HINGE_DOKOS_28_2	282H1
HINGE_K9-DEYTEROS	39H2	HINGE_DOKOS_8	162H1	HINGE_DOKOS_28_2	282H2
HINGE_K9-TRITOS	40H1	HINGE_DOKOS_8	162H2	HINGE_DOKOS_28_3	283H1
HINGE_K9-TRITOS	40H2	HINGE_DOKOS_8	163H1	HINGE_DOKOS_28_3	283H2
HINGE_K9-TETARTOS	41H1	HINGE_DOKOS_8	163H2	HINGE_DOKOS_28_4	284H1
HINGE_K9-TETARTOS	41H2	HINGE_DOKOS_8	164H1	HINGE_DOKOS_28_4	284H2
HINGE_K10-ISOGEIO	42H1	HINGE_DOKOS_8	164H2	HINGE_DOKOS_29_1	285H1
HINGE_K10-ISOGEIO	42H2	HINGE_DOKOS_8	165H1	HINGE_DOKOS_29_1	285H2
HINGE_K10-PROTOS	43H1	HINGE_DOKOS_8	165H2	HINGE_DOKOS_29_2	286H1
HINGE_K10-PROTOS	43H2	HINGE_DOKOS_9	166H1	HINGE_DOKOS_29_2	286H2
HINGE_K10-DEYTEROS	44H1	HINGE_DOKOS_9	166H2	HINGE_DOKOS_29_1	287H1
HINGE_K10-DEYTEROS	44H2	HINGE_DOKOS_9	167H1	HINGE_DOKOS_29_1	287H2
HINGE_K10-TRITOS	45H1	HINGE_DOKOS_9	167H2	HINGE_DOKOS_29_2	288H1
HINGE_K10-TRITOS	45H2	HINGE_DOKOS_9	168H1	HINGE_DOKOS_29_2	288H2
HINGE_K10-TETARTOS	46H1	HINGE_DOKOS_9	168H2	HINGE_DOKOS_29_1	289H1
HINGE_K10-TETARTOS	46H2	HINGE_DOKOS_9	169H1	HINGE_DOKOS_29_1	289H2
HINGE_K11-ISOGEIO	47H1	HINGE_DOKOS_9	169H2	HINGE_DOKOS_29_2	290H1
HINGE_K11-ISOGEIO	47H2	HINGE_DOKOS_9	170H1	HINGE_DOKOS_29_2	290H2
HINGE_K11-PROTOS	48H1	HINGE_DOKOS_9	170H2	HINGE_DOKOS_29_1	291H1
HINGE_K11-	48H2	HINGE_DOKOS_9	171H1	HINGE_DOKOS_29_1	291H2

Παράρτηματα Α και Β

PROTOS		10		29_1	
HINGE_K11-DEYTEROS	49H1	HINGE_DOKOS_10	171H2	HINGE_DOKOS_29_2	292H1
HINGE_K11-DEYTEROS	49H2	HINGE_DOKOS_10	172H1	HINGE_DOKOS_29_2	292H2
HINGE_K11-TRITOS	50H1	HINGE_DOKOS_10	172H2	HINGE_DOKOS_29_1	293H1
HINGE_K11-TRITOS	50H2	HINGE_DOKOS_10	173H1	HINGE_DOKOS_29_1	293H2
HINGE_K11-TETARTOS	51H1	HINGE_DOKOS_10	173H2	HINGE_DOKOS_29_2	294H1
HINGE_K11-TETARTOS	51H2	HINGE_DOKOS_10	174H1	HINGE_DOKOS_29_2	294H2
HINGE_K12-ISOGEIO	52H1	HINGE_DOKOS_10	174H2	HINGE_DOKOS_30_1	295H1
HINGE_K12-ISOGEIO	52H2	HINGE_DOKOS_10	175H1	HINGE_DOKOS_30_1	295H2
HINGE_K12-PROTOS	53H1	HINGE_DOKOS_10	175H2	HINGE_DOKOS_30_2	296H1
HINGE_K12-PROTOS	53H2	HINGE_DOKOS_11	176H1	HINGE_DOKOS_30_2	296H2
HINGE_K12-DEYTEROS	54H1	HINGE_DOKOS_11	176H2	HINGE_DOKOS_30_1	297H1
HINGE_K12-DEYTEROS	54H2	HINGE_DOKOS_11	177H1	HINGE_DOKOS_30_1	297H2
HINGE_K12-TRITOS	55H1	HINGE_DOKOS_11	177H2	HINGE_DOKOS_30_2	298H1
HINGE_K12-TRITOS	55H2	HINGE_DOKOS_11	178H1	HINGE_DOKOS_30_2	298H2
HINGE_K12-TETARTOS	56H1	HINGE_DOKOS_11	178H2	HINGE_DOKOS_30_1	299H1
HINGE_K12-TETARTOS	56H2	HINGE_DOKOS_11	179H1	HINGE_DOKOS_30_1	299H2
HINGE_K13-ISOGEIO	57H1	HINGE_DOKOS_11	179H2	HINGE_DOKOS_30_2	300H1
HINGE_K13-ISOGEIO	57H2	HINGE_DOKOS_11	180H1	HINGE_DOKOS_30_2	300H2
HINGE_K13-PROTOS	58H1	HINGE_DOKOS_11	180H2	HINGE_DOKOS_30_1	301H1
HINGE_K13-PROTOS	58H2	HINGE_DOKOS_12	181H1	HINGE_DOKOS_30_1	301H2
HINGE_K13-DEYTEROS	59H1	HINGE_DOKOS_12	181H2	HINGE_DOKOS_30_1	302H1
HINGE_K13-DEYTEROS	59H2	HINGE_DOKOS_12	182H1	HINGE_DOKOS_30_1	302H2
HINGE_K13-TRITOS	60H1	HINGE_DOKOS_12	182H2	HINGE_DOKOS_31_2	303H1
HINGE_K13-TRITOS	60H2	HINGE_DOKOS_12	183H1	HINGE_DOKOS_31_2	303H2
HINGE_K13-TETARTOS	61H1	HINGE_DOKOS_12	183H2	HINGE_DOKOS_31_2	304H1
HINGE_K13-TETARTOS	61H2	HINGE_DOKOS_12	184H1	HINGE_DOKOS_31_2	304H2
HINGE_K14_A-ISOGEIO	62H1	HINGE_DOKOS_12	184H2	HINGE_DOKOS_31_2	305H1
HINGE_K14_A-ISOGEIO	62H2	HINGE_DOKOS_12	185H1	HINGE_DOKOS_31_2	305H2
HINGE_K14_A-PROTOS	63H1	HINGE_DOKOS_12	185H2	HINGE_DOKOS_31_2	306H1

Παραρτήματα Α και Β

HINGE_K14_A- PROTOS	63H2	HINGE_DOKOS_ 13	186H1	HINGE_DOKOS_ 31_2	306H2
HINGE_K14_A- DEYTEROS	64H1	HINGE_DOKOS_ 13	186H2	HINGE_DOKOS_ 31_2	307H1
HINGE_K14_A- DEYTEROS	64H2	HINGE_DOKOS_ 13	187H1	HINGE_DOKOS_ 31_2	307H2
HINGE_K14_A- TRITOS	65H1	HINGE_DOKOS_ 13	187H2	HINGE_DOKOS_ 32_1	308H1
HINGE_K14_A- TRITOS	65H2	HINGE_DOKOS_ 13	188H1	HINGE_DOKOS_ 32_1	308H2
HINGE_K14_A- TETARTOS	66H1	HINGE_DOKOS_ 13	188H2	HINGE_DOKOS_ 32_2	309H1
HINGE_K14_A- TETARTOS	66H2	HINGE_DOKOS_ 13	189H1	HINGE_DOKOS_ 32_2	309H2
HINGE_DOKOS_ 1	67H1	HINGE_DOKOS_ 13	189H2	HINGE_DOKOS_ 32_1	310H1
HINGE_DOKOS_ 1	67H2	HINGE_DOKOS_ 13	190H1	HINGE_DOKOS_ 32_1	310H2
HINGE_DOKOS_ 1	68H1	HINGE_DOKOS_ 13	190H2	HINGE_DOKOS_ 32_2	311H1
HINGE_DOKOS_ 1	68H2	HINGE_DOKOS_ 14	191H1	HINGE_DOKOS_ 32_2	311H2
HINGE_DOKOS_ 1	69H1	HINGE_DOKOS_ 14	191H2	HINGE_DOKOS_ 32_1	312H1
HINGE_DOKOS_ 1	69H2	HINGE_DOKOS_ 14	192H1	HINGE_DOKOS_ 32_1	312H2
HINGE_K15- ISOGEIO	72H1	HINGE_DOKOS_ 14	192H2	HINGE_DOKOS_ 32_2	313H1
HINGE_K15- ISOGEIO	72H2	HINGE_DOKOS_ 14	193H1	HINGE_DOKOS_ 32_2	313H2
HINGE_K15- PROTOS	73H1	HINGE_DOKOS_ 14	193H2	HINGE_DOKOS_ 32_1	314H1
HINGE_K15- PROTOS	73H2	HINGE_DOKOS_ 14	194H1	HINGE_DOKOS_ 32_1	314H2
HINGE_K15- DEYTEROS	74H1	HINGE_DOKOS_ 14	194H2	HINGE_DOKOS_ 32_2	315H1
HINGE_K15- DEYTEROS	74H2	HINGE_DOKOS_ 14	195H1	HINGE_DOKOS_ 32_2	315H2
HINGE_K15- TRITOS	75H1	HINGE_DOKOS_ 14	195H2	HINGE_DOKOS_ 32_1	316H1
HINGE_K15- TRITOS	75H2	HINGE_DOKOS_ 15	196H1	HINGE_DOKOS_ 32_1	316H2
HINGE_K15- TETARTOS	76H1	HINGE_DOKOS_ 15	196H2	HINGE_DOKOS_ 32_2	317H1
HINGE_K15- TETARTOS	76H2	HINGE_DOKOS_ 15	197H1	HINGE_DOKOS_ 32_2	317H2
HINGE_K16- ISOGEIO	77H1	HINGE_DOKOS_ 15	197H2	HINGE_DOKOS_ 33	318H1
HINGE_K16- ISOGEIO	77H2	HINGE_DOKOS_ 15	198H1	HINGE_DOKOS_ 33	318H2
HINGE_K16- PROTOS	78H1	HINGE_DOKOS_ 15	198H2	HINGE_DOKOS_ 33	319H1
HINGE_K16- PROTOS	78H2	HINGE_DOKOS_ 15	199H1	HINGE_DOKOS_ 33	319H2
HINGE_K16- DEYTEROS	79H1	HINGE_DOKOS_ 15	199H2	HINGE_DOKOS_ 33	320H1
HINGE_K16- DEYTEROS	79H2	HINGE_DOKOS_ 15	200H1	HINGE_DOKOS_ 33	320H2
HINGE_K16-	80H1	HINGE_DOKOS_	200H2	HINGE_DOKOS_	321H1

Παράρτημα Α και Β

TRITOS		15		33	
HINGE_K16-TRITOS	80H2	HINGE_DOKOS_15	201H1	HINGE_DOKOS_33	321H2
HINGE_K16-TETARTOS	81H1	HINGE_DOKOS_15	201H2	HINGE_DOKOS_33	322H1
HINGE_K16-TETARTOS	81H2	HINGE_DOKOS_16	202H1	HINGE_DOKOS_33	322H2
HINGE_K17_A-ISOGEIO	82H1	HINGE_DOKOS_16	202H2	HINGE_DOKOS_34	323H1
HINGE_K17_A-ISOGEIO	82H2	HINGE_DOKOS_16	203H1	HINGE_DOKOS_34	323H2
HINGE_K17_A-PROTOS	83H1	HINGE_DOKOS_16	203H2	HINGE_DOKOS_34	324H1
HINGE_K17_A-PROTOS	83H2	HINGE_DOKOS_16	204H1	HINGE_DOKOS_34	324H2
HINGE_K17_A-DEYTEROS	84H1	HINGE_DOKOS_16	204H2	HINGE_DOKOS_34	325H1
HINGE_K17_A-DEYTEROS	84H2	HINGE_DOKOS_17	205H1	HINGE_DOKOS_34	325H2
HINGE_K17_A-TRITOS	85H1	HINGE_DOKOS_17	205H2	HINGE_DOKOS_34	326H1
HINGE_K17_A-TRITOS	85H2	HINGE_DOKOS_17	206H1	HINGE_DOKOS_34	326H2
HINGE_K17_A-TETARTOS	86H1	HINGE_DOKOS_17	206H2	HINGE_DOKOS_34	327H1
HINGE_K17_A-TETARTOS	86H2	HINGE_DOKOS_17	207H1	HINGE_DOKOS_34	327H2
HINGE_K17_B-ISOGEIO	87H1	HINGE_DOKOS_17	207H2	HINGE_DOKOS_35	328H1
HINGE_K17_B-ISOGEIO	87H2	HINGE_DOKOS_18	208H1	HINGE_DOKOS_35	328H2
HINGE_K17_B-PROTOS	88H1	HINGE_DOKOS_18	208H2	HINGE_DOKOS_35	329H1
HINGE_K17_B-PROTOS	88H2	HINGE_DOKOS_18	209H1	HINGE_DOKOS_35	329H2
HINGE_K17_B-DEYTEROS	89H1	HINGE_DOKOS_18	209H2	HINGE_DOKOS_35	330H1
HINGE_K17_B-DEYTEROS	89H2	HINGE_DOKOS_18	210H1	HINGE_DOKOS_35	330H2
HINGE_K17_B-TRITOS	90H1	HINGE_DOKOS_18	210H2	HINGE_DOKOS_35	331H1
HINGE_K17_B-TRITOS	90H2	HINGE_DOKOS_18	211H1	HINGE_DOKOS_35	331H2
HINGE_K17_B-TETARTOS	91H1	HINGE_DOKOS_18	211H2	HINGE_DOKOS_35	332H1
HINGE_K17_B-TETARTOS	91H2	HINGE_DOKOS_18	212H1	HINGE_DOKOS_35	332H2
HINGE_K18-ISOGEIO	92H1	HINGE_DOKOS_18	212H2	HINGE_DOKOS_36	333H1
HINGE_K18-ISOGEIO	92H2	HINGE_DOKOS_19	213H1	HINGE_DOKOS_36	333H2
HINGE_K18-PROTOS	93H1	HINGE_DOKOS_19	213H2	HINGE_DOKOS_36	334H1
HINGE_K18-PROTOS	93H2	HINGE_DOKOS_19	214H1	HINGE_DOKOS_36	334H2
HINGE_K18-DEYTEROS	94H1	HINGE_DOKOS_19	214H2	HINGE_DOKOS_36	335H1
HINGE_K18-DEYTEROS	94H2	HINGE_DOKOS_19	215H1	HINGE_DOKOS_36	335H2

Παράρτημα Α και Β

HINGE_K18-TRITOS	95H1	HINGE_DOKOS_19	215H2	HINGE_DOKOS_36	336H1
HINGE_K18-TRITOS	95H2	HINGE_DOKOS_19	216H1	HINGE_DOKOS_36	336H2
HINGE_K18-TETARTOS	96H1	HINGE_DOKOS_19	216H2	HINGE_DOKOS_36	337H1
HINGE_K18-TETARTOS	96H2	HINGE_DOKOS_19	217H1	HINGE_DOKOS_36	337H2
HINGE_K19_A-ISOGEIO	97H1	HINGE_DOKOS_19	217H2	HINGE_DOKOS_37	338H1
HINGE_K19_A-ISOGEIO	97H2	HINGE_DOKOS_20	218H1	HINGE_DOKOS_37	338H2
HINGE_K19_A-PROTOS	98H1	HINGE_DOKOS_20	218H2	HINGE_DOKOS_37	339H1
HINGE_K19_A-PROTOS	98H2	HINGE_DOKOS_20	219H1	HINGE_DOKOS_37	339H2
HINGE_K19_A-DEYTEROS	99H1	HINGE_DOKOS_20	219H2	HINGE_DOKOS_37	340H1
HINGE_K19_A-DEYTEROS	99H2	HINGE_DOKOS_20	220H1	HINGE_DOKOS_37	340H2
HINGE_K19_A-TRITOS	100H1	HINGE_DOKOS_20	220H2	HINGE_DOKOS_37	341H1
HINGE_K19_A-TRITOS	100H2	HINGE_DOKOS_20	221H1	HINGE_DOKOS_37	341H2
HINGE_K19_A-TETARTOS	101H1	HINGE_DOKOS_20	221H2	HINGE_DOKOS_37	342H1
HINGE_K19_A-TETARTOS	101H2	HINGE_DOKOS_20	222H1	HINGE_DOKOS_37	342H2
HINGE_K19_A-PEMPTOS	102H1	HINGE_DOKOS_20	222H2	HINGE_DOKOS_KR3	343H1
HINGE_K19_A-PEMPTOS	102H2	HINGE_DOKOS_21_1	223H1	HINGE_DOKOS_KR3	343H2
HINGE_K19_B-ISOGEIO	103H1	HINGE_DOKOS_21_1	223H2	HINGE_DOKOS_KR3	344H1
HINGE_K19_B-ISOGEIO	103H2	HINGE_DOKOS_21_2	224H1	HINGE_DOKOS_KR3	344H2
HINGE_K19_B-PROTOS	104H1	HINGE_DOKOS_21_2	224H2	HINGE_DOKOS_KR3	345H1
HINGE_K19_B-PROTOS	104H2	HINGE_DOKOS_21_1	225H1	HINGE_DOKOS_KR3	345H2
HINGE_K19_B-DEYTEROS	105H1	HINGE_DOKOS_21_1	225H2	HINGE_DOKOS_KR3	346H1
HINGE_K19_B-DEYTEROS	105H2	HINGE_DOKOS_21_2	226H1	HINGE_DOKOS_KR3	346H2
HINGE_K19_B-TRITOS	106H1	HINGE_DOKOS_21_2	226H2	HINGE_DOKOS_KR3	348H1
HINGE_K19_B-TRITOS	106H2	HINGE_DOKOS_21_1	227H1	HINGE_DOKOS_KR3	348H2
HINGE_K19_B-TETARTOS	107H1	HINGE_DOKOS_21_1	227H2	HINGE_DOKOS_KR1	349H1
HINGE_K19_B-TETARTOS	107H2	HINGE_DOKOS_21_2	228H1	HINGE_DOKOS_KR1	349H2
HINGE_K19_B-PEMPTOS	108H1	HINGE_DOKOS_21_2	228H2	HINGE_DOKOS_KR1	350H1
HINGE_K19_B-PEMPTOS	108H2	HINGE_DOKOS_21_1	229H1	HINGE_DOKOS_KR1	350H2
HINGE_K19_C-ISOGEIO	109H1	HINGE_DOKOS_21_1	229H2	HINGE_DOKOS_KR1	351H1
HINGE_K19_C-	109H2	HINGE_DOKOS_	230H1	HINGE_DOKOS_	351H2

Παραρτήματα Α και Β

ISOGEIO		21_2		KR1	
HINGE_K19_C- PROTOS	110H1	HINGE_DOKOS_ 21_2	230H2	HINGE_DOKOS_ KR1	352H1
HINGE_K19_C- PROTOS	110H2	HINGE_DOKOS_ 21_1	231H1	HINGE_DOKOS_ KR1	352H2
HINGE_K19_C- DEYTEROS	111H1	HINGE_DOKOS_ 21_1	231H2	HINGE_DOKOS_ KR1	353H1
HINGE_K19_C- DEYTEROS	111H2	HINGE_DOKOS_ 21_2	232H1	HINGE_DOKOS_ KR1	353H2
HINGE_K19_C- TRITOS	112H1	HINGE_DOKOS_ 21_2	232H2	HINGE_DOKOS_ KR2	354H1
HINGE_K19_C- TRITOS	112H2	HINGE_DOKOS_ 22	233H1	HINGE_DOKOS_ KR2	354H2
HINGE_K19_C- TETARTOS	113H1	HINGE_DOKOS_ 22	233H2	HINGE_DOKOS_ KR2	355H1
HINGE_K19_C- TETARTOS	113H2	HINGE_DOKOS_ 22	234H1	HINGE_DOKOS_ KR2	355H2
HINGE_K19_C- PEMPTOS	114H1	HINGE_DOKOS_ 22	234H2	HINGE_DOKOS_ KR2	356H1
HINGE_K19_C- PEMPTOS	114H2	HINGE_DOKOS_ 22	235H1	HINGE_DOKOS_ KR2	356H2
HINGE_K19_D- ISOGEIO	115H1	HINGE_DOKOS_ 22	235H2	HINGE_DOKOS_ KR2	357H1
HINGE_K19_D- ISOGEIO	115H2	HINGE_DOKOS_ 22	236H1	HINGE_DOKOS_ KR2	357H2
HINGE_K19_D- PROTOS	116H1	HINGE_DOKOS_ 22	236H2	HINGE_DOKOS_ KR2	358H1
HINGE_K19_D- PROTOS	116H2	HINGE_DOKOS_ 22	237H1	HINGE_DOKOS_ KR2	358H2
HINGE_K19_D- DEYTEROS	117H1	HINGE_DOKOS_ 22	237H2	HINGE_DOKOS_ 26_2	392H1
HINGE_K19_D- DEYTEROS	117H2	HINGE_DOKOS_ 22	238H1	HINGE_DOKOS_ 26_2	392H2
HINGE_K19_D- TRITOS	118H1	HINGE_DOKOS_ 22	238H2	HINGE_DOKOS_ 26_1	393H1
HINGE_K19_D- TRITOS	118H2	HINGE_DOKOS_ 23	239H1	HINGE_DOKOS_ 26_1	393H2
HINGE_K19_D- TETARTOS	119H1	HINGE_DOKOS_ 23	239H2	HINGE_DOKOS_ 26_2	394H1
HINGE_K19_D- TETARTOS	119H2	HINGE_DOKOS_ 23	240H1	HINGE_DOKOS_ 26_2	394H2
HINGE_K19_D- PEMPTOS	120H1	HINGE_DOKOS_ 23	240H2	HINGE_DOKOS_ 26_1	395H1
HINGE_K19_D- PEMPTOS	120H2	HINGE_DOKOS_ 23	241H1	HINGE_DOKOS_ 26_1	395H2
HINGE_K20- ISOGEIO	121H1	HINGE_DOKOS_ 23	241H2	HINGE_DOKOS_ 26_2	396H1
HINGE_K20- ISOGEIO	121H2	HINGE_DOKOS_ 23	242H1	HINGE_DOKOS_ 26_2	396H2
HINGE_K20- PROTOS	122H1	HINGE_DOKOS_ 23	242H2		