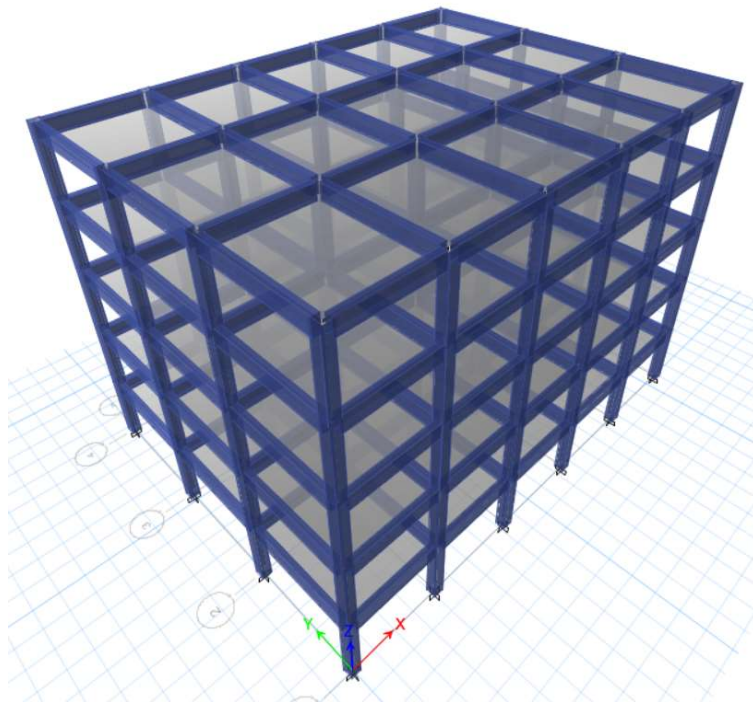




ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Διερεύνηση διαφορετικών μεθόδων προσομοίωσης
κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος



Λιάκου Γ. Νίκη

A.M.40634

Επιβλέποντες Καθηγητές : Ρεπαπής Κωνσταντίνος, Δρίβας Δημήτριος

Αθήνα, Νοέμβριος 2017

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ω/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η ΛΙΑΚΟΥ ΝΙΚΗ, του Γεωργίου Πολιτικόν Μηχανικόν ΎΕ του Τμήματος, Πολιτικόν Μηχανικόν ΎΕ

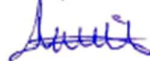
του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

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

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

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

Ο Δηλών



Ημερομηνία

01/01/21

Περίληψη

Η παρούσα εργασία ασχολείται με τη διερεύνηση διαφορετικών μεθόδων προσομοίωσης κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος, με τη χρήση πεπερασμένων στοιχείων.

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται μια εισαγωγή της προσομοίωσης με πεπερασμένα στοιχεία στον ΗΥ και περιγραφή του αντικειμένου της εργασίας.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια εισαγωγή σε βασικές έννοιες της προσομοίωσης των κτιρίων, στην θεωρία των μεθόδων αναλύσεων και στα κριτήρια κανονικότητας ενός φορέα.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται το προσομοίωμα του κτιρίου και ο τρόπος με τον οποίο αυτό ορίζεται στο περιβάλλον του λογισμικού. Καθορίζονται τα υλικά, οι ιδιότητες των διατομών, οι κατακόρυφες και οριζόντιες φορτίσεις.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων, και τα αποτελέσματα των συγκρίσεων ανάμεσα στα κτίρια που εξετάστηκαν.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4.

Abstract

This paper deals with the investigation of different methods of simulation of reinforced concrete structures using finite elements.

Chapter 1 introduces a finite element simulation into the PC and a description of the object of the work.

Chapter 2 gives an introduction to basic concepts of building simulation, the theory of analytical methods and the normality criteria of a vector.

Chapter 3 presents the building's model, the way it is defined in the software environment and the material properties, cross-sectional properties and vertical and horizontal loads.

Chapter 4 presents the results of the analyzes, and the results of the comparisons between the buildings examined.

Chapter 5 presents the conclusions of the results presented in Chapter 4.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους επιβλέποντες καθηγητές της παρούσας εργασίας Κ.Ρεπαπή Κωνσταντίνο και Κ.Δρίβα Δημήτριο, Καθηγητές της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. , για την εμπιστοσύνη που έδειξαν στο πρόσωπό μου με την ανάθεση αυτής της εργασίας, για τις πολύτιμες συμβουλές, την καθοδήγησή τους και πάνω από όλα την υπομονή τους για την ορθή εκπόνησή της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένειά μου και τον σύζυγό μου Βασίλη για τη συμπαράσταση και την κατανόησή τους όλο το χρονικό διάστημα εκπόνησής της.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	3
Abstract	4
Ευχαριστίες	5
1 Εισαγωγή.....	9
1.1 Γενικά	9
1.2 Σκοπός της εργασίας.....	10
2 Προσομοίωση	11
2.1 Πεπερασμένα στοιχεία	11
2.2 Χαρακτηριστικά του φορέα	12
2.2.1 Γεωμετρία	12
2.2.2 Στηρίξεις.....	12
2.3 Υλικά κατασκευής του φορέα.....	13
2.4 Διατομές κατασκευής.....	13
2.5 Φορτία	14
2.6 Διαφραγματική λειτουργία.....	14
2.7 Άκαμπτοι κόμβοι.....	14
2.8 Μέθοδοι ανάλυσης.....	15
2.8.1 Εισαγωγή.....	15
2.8.2 Μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης	15
2.8.3 Ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης.....	16
2.8.4 Μη γραμμικές μέθοδοι.....	17
2.9 Στατική κανονικότητα φορέα	19
2.9.1 Στατική κανονικότητα σε κάτοψη.....	20
2.9.2 Στατική κανονικότητα σε όψη	21
3 Περιγραφή και προσομοίωση κατασκευής.....	23
3.1 Εισαγωγή.....	23
3.2 Μορφολογία φέροντος οργανισμού	24
3.3 Προσομοίωση φορέα.....	28
3.3.1 Γενικά	28
3.3.2 Υλικά.....	28

3.3.3	Ορισμός φερόντων στοιχείων	31
3.3.4	Καθορισμός φορτίων κτιρίου	35
4	Αποτίμηση συμπεριφοράς της κατασκευής.....	37
4.1	Γενικά	37
4.2	Αποτελέσματα αναλύσεων.....	37
4.2.1	Κτίριο 0.....	38
4.2.2	Κτίριο 1.....	44
4.2.3	Κτίριο 2.....	50
4.2.4	Κτίριο 3.....	56
4.2.5	Κτίριο 4.....	62
4.2.6	Κτίριο 5.....	68
4.3	Συγκριτικά αποτελέσματα	74
5	Συμπεράσματα.....	85
6	Βιβλιογραφία	87

1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Κατά την προσομοίωση μιας κατασκευής προσφέρονται συνήθως πολλές δυνατότητες και επιλογές ανάλογα με τον τύπο του φορέα που παρουσιάζεται, το είδος της φόρτισης, τα διαθέσιμα υπολογιστικά εργαλεία, ακόμα και την επιδιωκόμενη ακρίβεια της ανάλυσης. Ως προσομοίωση ενός φορέα ορίζεται η αναπαραγωγή της συμπεριφοράς του υπό κάποια φόρτιση, που μπορεί να μας παρουσιάσει σημαντικές πληροφορίες για τις απαιτήσεις που υπάρχουν για τον σχεδιασμό και την κατασκευή του. Με τη χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων αποδίδεται αποτελεσματικά η αναπαραγωγή της μορφολογίας και της συμπεριφοράς μιας κατασκευής. Η σύλληψη της μεθόδου αποδίδεται στο μεγάλο Έλληνα μηχανικό-ερευνητή Τζον Αργύρη (1918-2004), στην προσπάθειά του να επιλύσει το πρόβλημα του σχεδιασμού των πρώτων αεριωθούμενων μαχητικών αεροσκαφών με κεκλιμένες προς τα πίσω πτέρυγες στο Royal Aeronautical Society της Βρετανίας περί το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου. (Κίρτας, 2008)

Η διαδικασία επίλυσης που ακολουθείται κατά την χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων χρησιμοποιεί μητρώα που περιγράφουν τις ιδιότητες και τη φόρτιση του φορέα και μορφώνεται ένα σύνολο σύνθετων μαθηματικών εξισώσεων. Είναι συνεπώς αυτονόητο πως η χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή μπορεί σε μεγάλο βαθμό να μειώσει το υπολογιστικό κόστος και να επιταχύνει την διαδικασία επίλυσης σε αντίστοιχα προβλήματα. Η συνεχής εξέλιξη των δυνατοτήτων των ηλεκτρονικών υπολογιστών τις τελευταίες δεκαετίες έχει συμβάλλει σημαντικά στην πρόοδο των μεθόδων προσομοίωσης καθώς δίνει την δυνατότητα εκτέλεσης ιδιαίτερα σύνθετων υπολογισμών. Με την σημερινή ταχύτητα ακόμη και των προσωπικών ηλεκτρονικών υπολογιστών καθίσταται δυνατή η προσομοίωση ενός μεγάλου αριθμού φυσικών προβλημάτων. Η χρήση ενός προγράμματος (κώδικα) υπολογιστή για την προσομοίωση μιας κατασκευής ονομάζεται αριθμητική προσομοίωση και μπορεί να γίνει με χρήση κάποιων υποθέσεων σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας της και την υιοθέτηση μιας σειράς νόμων που διέπουν το πρόβλημα που εξετάζεται. Με βάση τα παραπάνω, η προσομοίωση π.χ. ενός κτιριακού έργου σε ένα πρόγραμμα υπολογιστή μπορεί να δώσει τις απαιτούμενες για το συγκεκριμένο έργο διαστάσεις των διατομών των τοιχωμάτων, στύλων και δοκών όπως και την όπλιση που πρέπει να τοποθετηθεί. Παράλληλα λαμβάνονται και άλλες πληροφορίες, όπως ο τρόπος παραμόρφωσης και οι μέγιστες μετακινήσεις μιας κατασκευής υπό σεισμικές δυνάμεις, που μπορούν να βοηθήσουν στον υπολογισμό π.χ. των αντισεισμικών αρμών. (Κίρτας, 2008)

Συνήθως κατά την προσομοίωση μιας κατασκευής που εμπεριέχει κλιμακοστάσιο, δεν συμπεριλαμβάνεται η προσομοίωση αυτού θεωρώντας αμελητέα την επιρροή του επάνω σε αυτήν την κατασκευή.

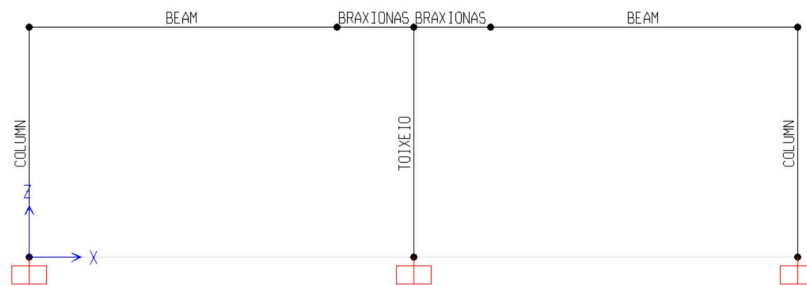
1.2 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της επιρροής του κλιμακοστασίου στην σεισμική συμπεριφορά μιας κατασκευής. Σε αρχική φάση συγκρίνεται το κτίριο στην αρχική του μορφή (συμπεριλαμβανομένου του κλιμακοστασίου) με το ίδιο κτίριο χωρίς να συμπεριλαμβάνεται η σκάλα. Στη συνέχεια εξετάζονται περιπτώσεις όπου έχουν προστεθεί τοιχία σε διαφορετικές θέσεις στο κτίριο και πώς θα επηρεάσουν την κατασκευή σε συνδυασμό με τη σκάλα. Τέλος, σε όλα τα μοντέλα με τα τοιχία αφαιρείται η σκάλα και στην θέση της πλάκα με ισοδύναμα φορτία και συγκρίνεται το κάθε μοντέλο με το αντίστοιχό του.

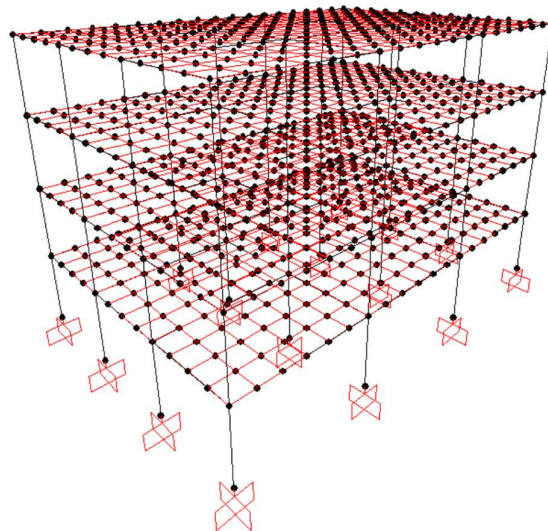
2 Προσομοίωση

2.1 Πεπερασμένα στοιχεία

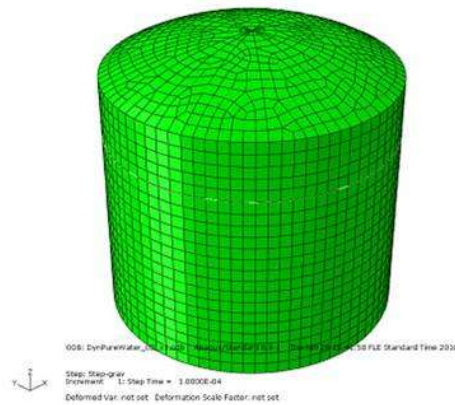
Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι πεπερασμένων στοιχείων με τους οποίους μπορούμε να προσομοιώσουμε μια κατασκευή. Ο πρώτος είναι τα γραμμικά στοιχεία. Ακολουθούν τα επιφανειακά στοιχεία και τέλος είναι τα χωρικά στοιχεία τα οποία είναι και τα πιο σύνθετα. Ανάλογα με το τι θα προσομοιωθεί χρησιμοποιείται και ο ανάλογος τύπος πεπερασμένων στοιχείων. Για την προσομοίωση δομικών φορέων από οπλισμένο σκυρόδεμα ή χάλυβα χρησιμοποιούνται τα γραμμικά στοιχεία (Σχήμα 2.1). Αντίστοιχα σε περιπτώσεις φερόντων στοιχείων με δύο σημαντικές διαστάσεις όπως φορείς φέρουσας τοιχοποιίας, λιθοδομής τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος, πλάκες με ανοίγματα, εκεί χρησιμοποιούνται τα επιφανειακά στοιχεία (Σχήμα 2.2). Τέλος, όταν τα φέροντα στοιχεία μιας κατασκευής αποτελούνται από τρεις σημαντικές διαστάσεις, τότε γίνεται χρήση των χωρικών στοιχείων. Αυτό συμβαίνει γιατί τα γραμμικά και επιφανειακά στοιχεία δεν μπορούν να παρουσιάσουν ικανοποιητικά τη συμπεριφορά του φέροντος οργανισμού μιας κατασκευής (Σχήμα 2.3). Ο συνδυασμός των τύπων είναι εφικτός εφόσον προτείνεται από το μελετητή. (Κίρτας & Παναγόπουλος, 2015)



Σχήμα 2.1 Παράδειγμα προσομοιώματος τοιχώματος με γραμμικά στοιχεία. (Κίρτας & Παναγόπουλος, 2015)



Σχήμα 2.2 Παράδειγμα προσομοιώματος πλάκας οπλισμένου σκυροδέματος με επιφανειακά στοιχεία. (Κίρτας & Παναγόπουλος, 2015)



Σχήμα 2.3 Παράδειγμα προσομοιώματος δεξαμενής νερού με χωρικά στοιχεία. (J. Kähkönen¹, P. Varpasuo¹, M. Vuorinen¹, 2011)

2.2 Χαρακτηριστικά του φορέα

2.2.1 Γεωμετρία

Η γεωμετρία του φορέα περιλαμβάνει τον αριθμό ορόφων του, τη ποσότητα και το μήκος των ανοιγμάτων του, τις σημαντικές διαστάσεις των πεπερασμένων στοιχείων του καθώς και τη θέση του στον φέροντα οργανισμό. Υπάρχουν αρκετές επιλογές μέσα σε ένα πρόγραμμα που βοηθάνε στην εύκολη τοποθέτησή της. Όπως η χρήση έτοιμων πρωτοτύπων που πλησιάζουν στα δεδομένα του εκάστοτε φορέα, καθώς και η δημιουργία βοηθητικών γραμμών στον κάρναβο ώστε να τοποθετηθούν με ακρίβεια τα δομικά στοιχεία. (Κίρτας & Παναγόπουλος, 2015)

2.2.2 Στηρίξεις

Όσον αφορά τις στηρίξεις του φορέα, ο καθορισμός τους μπορεί να γίνει δεσμεύοντας ή απελευθερώνοντας τις κατάλληλες ελευθερίες κίνησης στους εμπλεκόμενους κόμβους. Ο κάθε κόμβος έχει στον χώρο έξι βαθμούς ελευθερίας κίνησης: τρεις μεταφορικούς κατά τη διεύθυνση των τριών αξόνων του καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων και τρεις στροφικούς γύρω από τους εν λόγω άξονες. Παραδείγματος χάρη στην περίπτωση που υπάρχει πάκτωση, θα πρέπει να δεσμευτούν όλοι οι βαθμοί ελευθερίας. Με παρόμοιο τρόπο μπορούν να καθοριστούν, αν

υπάρχουν, οι ελευθερίες κίνησης εντός του φέροντος οργανισμού (για παράδειγμα εσωτερικές αρθρώσεις). (Κίρτας & Παναγόπουλος, 2015)

Αφού καθοριστούν οι στηρίξεις της θεμελίωσης της κατασκευής, υπάρχει η δυνατότητα να οριστούν ελατήρια στη βάση του φορέα τα οποία συνδέουν ελαστικά την άρθρωση με το έδαφος. Οποιοσδήποτε από τους έξι βαθμούς ελευθερίας σε οποιαδήποτε από τις αρθρώσεις της κατασκευής μπορεί να έχει μεταφορικές ή περιστροφικές συνθήκες στήριξης ελατηρίων. Όμως το ελατήριο στήριξης κατά μήκος των περιορισμένων βαθμών ελευθερίας δεν συμβάλλει στην ακαμψία της κατασκευής. (CSI Analysis Reference Manual, 2013)

2.3 Υλικά κατασκευής του φορέα

Ο ορισμός των υλικών με τα οποία είναι κατασκευασμένος ο φορέας είναι ένα από τα πρώτα βήματα που γίνονται στην προσομοίωση της κατασκευής. Χρειάζονται όμως κάποιοι σταθεροί συντελεστές για να καθορισθεί το κάθε υλικό και αυτοί είναι οι εξής:

- το μέτρο ελαστικότητας του υλικού E ,
- η πυκνότητα υλικού (μέσα από την οποία καθορίζεται η μάζα των δομικών στοιχείων του φορέα),
- το ειδικό βάρος του υλικού ($\gamma = \rho * g$) (μέσα από το οποίο καθορίζεται το βάρος των δομικών στοιχείων του φορέα),
- συντελεστής Poisson ν ,
- συντελεστής θερμικής διαστολής α (ενεργοποιείται μόνο σε περίπτωση που δίνονται θερμοκρασιακές μεταβολές ως φορτία). (Κίρτας & Παναγόπουλος, 2015)

2.4 Διατομές κατασκευής

Στην προσομοίωση καθοριστικό ρόλο παίζει ο ορισμός των διατομών των δομικών στοιχείων (γραμμικών, επιφανειακών ή χωρικών) που αποτελούν τον φορέα. Πιο αναλυτικά, μπορεί να καθορισθεί η γεωμετρία, το υλικό και ο σπλισμός της κάθε διατομής. Στη γεωμετρία περιγράφεται η μορφή και η διάσταση της διατομής και ανάλογα, αν αποτελείται από γραμμικά, επιφανειακά ή χωρικά στοιχεία καθορίζεται και διαφορετική διάσταση. Για παράδειγμα, όταν ο τύπος του δομικού στοιχείου που υπάρχει είναι γραμμικός τότε λόγω του ότι η μία διάσταση η οποία είναι και η βασική έχει καθορισθεί κατά τη δημιουργία του φορέα, θα δοθεί η διάσταση κάθετη σε αυτήν ώστε να δημιουργηθεί το σχήμα στο επίπεδο που έχουμε, όπως ορθογωνικό σχήμα και διαστάσεις για απλά υποστυλώματα. Ενώ στα επιφανειακά στοιχεία, υπάρχουν ήδη οι δύο βασικές διαστάσεις και θα χρειαστεί να δοθεί η τρίτη διάσταση η οποία θα καθορίσει και το πάχος του κάθε στοιχείου που υπάρχει. Όσον αφορά το υλικό κατασκευής της διατομής, καθορίζεται αν αποτελείται από σπλισμένο σκυρόδεμα ή από χάλυβα. Ενώ σχετικά με τον σπλισμό της εκάστοτε διατομής που υπάρχει ορίζονται οι διατάξεις όπλισης. Πιο συγκεκριμένα καθορίζονται οι διατομές των διαμήκη ράβδων, των συνδετήρων και των επικαλύψεων.

2.5 Φορτία

Ένα σημαντικό κομμάτι στην προσομοίωση μιας κατασκευής είναι ο καθορισμός των φορτίων της. Τα φορτία αντιπροσωπεύουν τη δράση που ασκείται πάνω στην κατασκευή όπως είναι η δύναμη, η πίεση, η θερμική επίδραση κ.α. Οι κυριότερες κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται είναι τα μόνιμα, τα κινητά, τα σεισμικά, καθώς και τα φορτία του αέρα, του χιονιού και οι μεταβολές της θερμοκρασίας. Τα μόνιμα φορτία είναι φορτία σταθερής διεύθυνσης διότι η δράση τους είναι πάντα επί της κατασκευής οπότε η κατεύθυνση τους είναι προς το κέντρο της γης (στατικό φορτίο). Τα κινητά ή αλλιώς μεταβλητά φορτία, είναι βαρύτητας ή πλευρικά που δρουν στην κατασκευή και μεταβάλλονται ως προς τη θέση και το μέγεθός τους. Τα φορτία του αέρα κατατάσσονται σε μεταβλητές καθορισμένες δράσεις. Ως βάση σχεδιασμού παίρνεται η μέγιστη ταχύτητα του ανέμου. Ενώ το φορτίο χιονιού θεωρείται ως μεταβλητή σταθερή δράση. Ανάλογα με την κλίση που θα έχει η επιφάνεια καθώς και η περιοχή που θα είναι η κατασκευή, θα εξαρτηθεί η ποσότητα χιονιού που θα εναποτεθεί. (Παρασκευάς & Κούκουρας, 2014) Οι πιο πάνω φορτίσεις μπορούν να συνδυαστούν σε ορισμένες περιπτώσεις προκειμένου να αποδώσουν την εντατική κατάσταση του φορέα, όπως για παράδειγμα ο συνδυασμός αστοχίας για κατακόρυφα φορτία, ή ακόμη και ο σεισμικός συνδυασμός φορτίων.

2.6 Διαφραγματική λειτουργία

Η διαφραγματική λειτουργία προκαλεί την ενιαία κίνηση όλων των κόμβων σαν ένα επίπεδο διάφραγμα το οποίο είναι άκαμπτο κατά την παραμόρφωση της μεμβράνης. Πιο συγκεκριμένα, όλοι οι κόμβοι συνδέονται μεταξύ τους με συνδέσμους οι οποίοι είναι άκαμπτοι στο επίπεδο χωρίς όμως να επηρεάζουν την παραμόρφωση της πλάκας. Η λειτουργία του στις κατασκευές από σπλισμένο σκυρόδεμα ελαχιστοποιεί το πρόβλημα αριθμητικής ακρίβειας που δημιουργείται όταν η μεγάλη ακαμψία στο επίπεδο του διαφράγματος διαμορφώνεται με στοιχεία μεμβράνης. Η διαφραγματική λειτουργία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δάπεδα ορόφου ή ακόμα και καταστρώματα σε κατασκευές που όλα αποτελούνται από σπλισμένο σκυρόδεμα τα οποία παρουσιάζουν υψηλή ακαμψία στο επίπεδο. (CSI Analysis Reference Manual, 2013)

2.7 Άκαμπτοι κόμβοι

Ορίζοντας τους άκαμπτους κόμβους της κατασκευής, λαμβάνεται υπόψη η σημαντική δυσκαμψία των δοκών και των υποστυλωμάτων στις περιοχές αυτές. Άκαμπτος κόμβος παρουσιάζεται στο σημείο που ενώνεται μια δοκός ή μια πλάκα με ένα υποστύλωμα. Οι κύριες δυνάμεις που μεταφέρει μεταξύ δύο μελών είναι η διατμητική δύναμη και η καμπτική ροπή. Επίσης μεταφέρει αξονικές δυνάμεις που είναι σημαντικές για τα υποστυλώματα, καθώς και για τις δοκούς- υποστυλώματα.

2.8 Μέθοδοι ανάλυσης

2.8.1 Εισαγωγή

Σε μια κατασκευή τα αποτελέσματα του σεισμού καθώς και τα αποτελέσματα των άλλων δράσεων που περιλαμβάνονται στην σεισμική κατάσταση σχεδιασμού, μπορούν να υπολογιστούν με βάση τη γραμμική-ελαστική ανάλυση του φορέα. Η ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης, η οποία χρησιμοποιεί το γραμμικό-ελαστικό προσομοίωμα του φορέα και το φάσμα σχεδιασμού για ελαστική ανάλυση είναι η μέθοδος αναφοράς για τον υπολογισμό της σεισμικής απόκρισης. Υπάρχουν δύο τύποι γραμμικής ελαστικής ανάλυσης οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του φορέα και αυτοί είναι οι εξής:

α) Η μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης, είναι αντίστοιχη της ισοδύναμης στατικής μεθόδου ανάλυσης του ΕΑΚ 2000 και ασχολείται με τη χρήση οριζόντιων στατικών φορτιών που προσομοιώνουν τις σεισμικές δράσεις. Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί για κτίρια που ικανοποιούν συγκεκριμένες συνθήκες (οι οποίες αναλύονται παρακάτω).

β) Η ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης, είναι αντίστοιχη της δυναμικής φασματικής μεθόδου ανάλυσης του ΕΑΚ 2000 και μπορεί να εφαρμοστεί σε όλους τους τύπους κτιρίων.

Υπάρχει όμως η δυνατότητα της εφαρμογής δύο μη γραμμικών μεθόδων, τη μη-γραμμική στατική ανάλυση (pushover) και τη μη-γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας (δυναμική). Αυτό είναι επιτρεπτό εφόσον ικανοποιούνται συγκεκριμένες συνθήκες για τις οποίες ακολουθεί σχετική ανάλυση. (Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός Σχεδιασμός EN 1998-1)

2.8.2 Μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης

Όσον αφορά την μέθοδο ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης, αυτός ο τύπος ανάλυσης μπορεί να εφαρμοστεί σε κτίρια εφόσον η απόκρισή τους σε κάθε κύρια διεύθυνση δεν επηρεάζεται σημαντικά από τις συμβολές ιδιόμορφων ταλάντωσης υψηλότερων από την θεμελιώδη ιδιόμορφη. Αυτή η απαίτηση θεωρείται ότι ικανοποιείται σε κτίρια που έχουν θεμελιώδεις περιόδους ταλάντωσης T_1 , στις δύο κύριες διευθύνσεις τους, μικρότερες από 2.0s και 4TC (τιμή ανάλογα με την κατηγορία εδάφους, σε κάθε περίπτωση προκύπτει τιμή όχι μικρότερη των 1.6s) και ταυτόχρονα ικανοποιούν τα κριτήρια για κανονικότητα σε ύψος. Τα πιο σημαντικά είναι να υπάρχουν συνεχή κατακόρυφα φέροντα συστήματα, να υπάρχει σταθερή μάζα και δυσκαμψία από τη βάση προς την κορυφή του κτιρίου, ακόμη και η διαμόρφωση εσοχών καθ' ύψος που να πληρούν συγκεκριμένες προϋποθέσεις. (Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός Σχεδιασμός EN 1998-1).

Σε αυτή τη μέθοδο, υπάρχει για κάθε οριζόντια διεύθυνση όπου μελετάται το κτίριο και μια δύναμη η οποία ονομάζεται σεισμική τέμνουσα δύναμη βάσης F_b , και καθορίζεται με την ακόλουθη σχέση:

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda, \text{ όπου}$$

$S_d(T_1)$ είναι η τετμημένη του φάσματος σχεδιασμού στην περίοδο T_1

T_1 είναι η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος ταλάντωσης του κτιρίου για οριζόντια κίνηση στην εξεταζόμενη διεύθυνση

m είναι η συνολική μάζα του κτιρίου πάνω από την θεμελίωση ή πάνω από την άνω επιφάνεια άκαμπτης βάσης

λ είναι συντελεστής διόρθωσης της μάζας του κτιρίου που ενεργοποιείται κατά την 1η ιδιομορφή, η τιμή του οποίου ισούται με: $\lambda = 0,85$ εάν $T_1 \leq 2 T_c$ και το κτίριο έχει πάνω από δύο ορόφους, ή $\lambda = 1,0$ σε κάθε άλλη περίπτωση.

Ο προσδιορισμός της τιμής της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου μπορεί να γίνει με την χρήση της ακόλουθης σχέσης για κτίρια μέχρι 40m:

$T_1 = C_t \cdot H^{3/4}$, όπου ο συντελεστής C_t λαμβάνει τιμή 0,075 για πλαίσια από σκυρόδεμα, το H είναι το ύψος του κτιρίου, σε μέτρα(m), πάνω από τη θεμελίωση ή πάνω από την άνω επιφάνεια άκαμπτου υπογείου. Όταν υπάρχει μικτό σύστημα (υποστυλώματα και τοιχώματα) ο C_t λαμβάνει τιμή 0,05. Σε περίπτωση ύπαρξης διαφορετικού τύπου φέροντα οργανισμού ο Ευρωκώδικας 8 παρουσιάζει εναλλακτικές προσεγγίσεις.

Επίσης όσον αφορά την κατανομή των οριζόντιων σεισμικών φορτίων της κατασκευής, ο υπολογισμός του σχήματος των θεμελιωδών ιδιομορφών στις οριζόντιες διευθύνσεις της ανάλυσης του κτιρίου μπορεί να γίνει με τη χρήση μεθόδων Δυναμικής ή μπορεί να προσδιοριστεί από τις οριζόντιες μετακινήσεις του κτιρίου που αυξάνονται γραμμικά με το ύψος του. Τα σεισμικά εντατικά μεγέθη καθορίζονται από την εφαρμογή οριζόντιων φορτίων στα δύο επίπεδα προσομοιώματα σε όλους τους ορόφους της κατασκευής.

2.8.3 Ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης

Η ανάλυση αυτή εφαρμόζεται σε κτίρια που δεν ικανοποιούν τις συνθήκες που αναφέρθηκαν στο **2.8.2** σχετικά με την εφαρμογή της μεθόδου ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης. Εδώ λαμβάνεται υπόψη η απόκριση όλων των ιδιομορφών ταλάντωσης που συμβάλλουν σημαντικά στη συνολική απόκριση. Θα πρέπει να ισχύει ότι το άθροισμα των δρώσων ιδιομορφικών μαζών για τις ιδιομορφές που λαμβάνονται υπόψη είναι τουλάχιστον το 90% της συνολικής μάζας του φορέα ή ότι λαμβάνονται υπόψη όλες οι ιδιομορφές με δρώσες ιδιομορφικές μάζες μεγαλύτερες από το 5% της συνολικής μάζας. Σε περίπτωση που δεν ικανοποιείται καμία από τις παραπάνω παραδοχές, ο ελάχιστος αριθμός ιδιομορφών k που λαμβάνεται υπόψη σε μια χωρική ανάλυση πρέπει να ικανοποιεί και τις δύο ακόλουθες συνθήκες:

$$k \geq 3 \cdot \sqrt{n}$$

και

$$T_k \leq 0,20 \text{ s}, \text{ όπου}$$

k είναι το πλήθος των ιδιομορφών που λαμβάνονται υπόψη

n είναι το πλήθος των ορόφων πάνω από την θεμελίωση ή πάνω από την άνω επιφάνεια άκαμπτου υπογείου

T_k είναι η περίοδος ταλάντωσης της ιδιομορφής k . (Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός Σχεδιασμός EN 1998-1).

2.8.4 Μη γραμμικές μέθοδοι

Για να γίνει χρήση των μη γραμμικών αναλύσεων θα πρέπει να τεκμηριώνονται κατάλληλα τα σεισμικά στοιχεία, το προσομοίωμα που χρησιμοποιείται, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης και οι απαιτήσεις που πρέπει να καλυφθούν. Επίσης, θα πρέπει να περιλαμβάνεται η αντοχή των φερόντων στοιχείων και η μετελαστική συμπεριφορά τους στο μαθηματικό προσομοίωμα που χρησιμοποιείται για την ελαστική ανάλυση. Αναφέρεται ότι πρέπει να χρησιμοποιείται διγραμμική σχέση δύναμης-παραμόρφωσης σε επίπεδο στοιχείων. Πιο αναλυτικά, σε κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, η ελαστική δυσκαμψία μιας τέτοιας σχέσης θα πρέπει να αντιστοιχεί σε αυτήν ρηγματωμένων διατομών όπου τα ελαστικά καμπτικά και διατμητικά χαρακτηριστικά δυσκαμψίας των στοιχείων από σκυρόδεμα και τοιχοποιία μπορούν να ληφθούν ίσα με το ήμισυ της αντίστοιχης δυσκαμψίας των μη ρηγματωμένων στοιχείων. Αντίστοιχα σε πλάστιμα στοιχεία που αναμένεται να υπάρχουν αλλαγές στην μετελαστική περιοχή κατά την απόκριση, η ελαστική δυσκαμψία της διγραμμικής σχέσης πρέπει να είναι η τέμνουσα δυσκαμψία στο σημείο διαρροής. Μπορούν να εφαρμοστούν τριγραμμικές σχέσεις δύναμης-παραμόρφωσης που λαμβάνουν υπόψη την δυσκαμψία πριν και μετά την ρηγμάτωση.

Εξίσου σημαντικό είναι ότι οι ιδιότητες των στοιχείων θα πρέπει να βασίζονται στις μέσες τιμές των ιδιοτήτων των υλικών, εκτός αν υπάρχει διαφορετική πληροφόρηση. Όσον αφορά τα φορτία βαρύτητας, θα εφαρμόζονται σε κατάλληλα στοιχεία του μαθηματικού προσομοιωματος, όπως και οι αξονικές δυνάμεις λόγω αυτών των φορτίων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον καθορισμό της σχέσεως δύναμης-παραμόρφωσης για φέροντα στοιχεία. Τέλος, από την εφαρμογή της σεισμικής δράσης με θετικό και με αρνητικό πρόσημο σε κάθε διεύθυνση, θα αξιοποιούνται τα μέγιστα αποτελέσματα που προκύπτουν. (Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός Σχεδιασμός EN 1998-1)

2.8.4.1 Μη-γραμμική στατική ανάλυση (pushover)

Μη-γραμμική στατική ανάλυση είναι η ανάλυση η οποία εκτελείται υπό την δράση σταθερών φορτίων βαρύτητας και μονοτονικά αυξανόμενων οριζόντιων φορτίων. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε κτίρια στα οποία η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών δεν είναι σημαντική. Όταν η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών είναι σημαντική, επιτρέπεται να εφαρμόζεται η μη-γραμμική

στατική ανάλυση, υπό τον όρο ότι θα εφαρμόζεται σε συνδυασμό με μια συμπληρωματική δυναμική ελαστική ανάλυση. Στην περίπτωση αυτή, διεξάγονται όλοι οι έλεγχοι και με τις δύο μεθόδους, ενώ επιτρέπεται μια αύξηση κατά 25 % των τιμών των παραμέτρων που υπεισέρχονται στα κριτήρια ελέγχου και των δύο μεθόδων.

Βασικές παραδοχές αυτής της μεθόδου είναι το προσομοίωμα του κτιρίου να συνεκτιμά με άμεσο τρόπο τα μη-γραμμικά χαρακτηριστικά του νόμου δύναμης-παραμόρφωσης των δομικών στοιχείων. Το προσομοίωμα αυτό θα υποβάλλεται σε οριζόντια φορτία καταναμεμένα κατά τρόπο ανάλογο με τις αδρανειακές δυνάμεις του σεισμού, τα οποία θα αυξάνονται μονότονα, εν γένει μέχρις ότου κάποιο δομικό στοιχείο δεν είναι πλέον σε θέση να φέρει τα κατακόρυφα φορτία του. Από την ανάλυση αυτή προκύπτει η καμπύλη αντίστασης του κτιρίου, η οποία εν γένει χαράσσεται σε όρους τέμνουσας βάσης- μετακίνησης χαρακτηριστικού σημείου του κτιρίου (κόμβος ελέγχου), το οποίο συνήθως επιλέγεται να είναι το κέντρο μάζας του δώματος της κατασκευής. Η καμπύλη αυτή αποτελεί τη βάση για όλους τους απαιτούμενους ελέγχους ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεσματικότητας. Αφού επιλεγεί η σεισμική δράση (αποτίμησης ή ανασχεδιασμού), ο έλεγχος ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεσματικότητας γίνεται για τη μετακίνηση του κόμβου ελέγχου που αντιστοιχεί στη σεισμική αυτή δράση. Ελέγχεται ότι για τη μετακίνηση αυτή η παραμόρφωση (γωνία στροφής κατά ή μετά τη διαρροή) των πλάστιμων δομικών στοιχείων δεν συνεπάγεται βαθμό βλάβης μεγαλύτερο από εκείνον που γίνεται ανεκτός για τη σκοπούμενη στάθμη επιτελεσματικότητας του κτιρίου. Όταν δεν γίνεται ακριβέστερος υπολογισμός, η μετακίνηση του κόμβου ελέγχου (στοχευόμενη μετακίνηση δ_t) που προκαλείται από τη σεισμική δράση (αποτίμησης ή ανασχεδιασμού) μπορεί να εκτιμηθεί με βάση το φάσμα μετακινήσεων που αντιστοιχεί σε πλαστιμότητα συμβατή με τη μετακίνηση του κτιρίου. (Λουράντος,2015)

2.8.4.2 Μη-γραμμική ανάλυση (χρονοϊστορίας)

Η μέθοδος της μη γραμμικής ανάλυσης αφορά την καταγραφή της απόκρισης ενός φορέα όταν σε αυτόν επιβληθεί ως δύναμη το επιταχυνσιογράφημα ενός σεισμού, η πραγματική δηλαδή σεισμική κίνηση κατά τη διάρκεια του σεισμικού γεγονότος. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται ένα προσομοίωμα του φορέα το οποίο ενσωματώνει ανελαστικούς νόμους φορτίου- παραμόρφωσης για τα επιμέρους δομικά στοιχεία του κτιρίου. Στον φορέα εφαρμόζεται σεισμική φόρτιση η οποία εκφράζεται από επιταχυνσιογράφημα τα εδαφικών δονήσεων. Η απόκριση του φορέα υπολογίζεται με επαναληπτικό τρόπο με χρήση χρονικών βημάτων. Οι υπολογιζόμενες δυνάμεις και μετακινήσεις συγκρίνονται απ' ευθείας με τα κριτήρια αποδοχής των Κανονισμών. Τα υπολογιζόμενα εντατικά μεγέθη του φορέα αποτελούν ορθολογικές προσεγγίσεις των αναμενόμενων κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, επειδή το μοντέλο προσομοίωσης και η μεθοδολογία προσεγγίζουν με μεγάλη αμεσότητα την ανελαστική απόκριση του φορέα κατά τη διάρκεια του σεισμικού φαινομένου. Για τους παραπάνω λόγους, η μέθοδος μη γραμμικής ανάλυσης μπορεί να εφαρμοστεί χωρίς περιορισμούς σε οποιονδήποτε φορέα ή έδαφος θεμελίωσης. Παρόλα αυτά, η απόκριση της κατασκευής μπορεί να είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στα χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων επιταχυνσιογραφημάτων που χρησιμοποιούνται, συνεπώς, η ανάλυση χρονοϊστορίας πρέπει να επαναλαμβάνεται για περισσότερες από μία εδαφικές διεγέρσεις. Ενώ η ανελαστική δυναμική ανάλυση είναι η

ακριβέστερη μέθοδος ανάλυσης, χρησιμοποιείται σε περιορισμένο βαθμό στο σχεδιασμό των κατασκευών, λόγω του μεγάλου υπολογιστικού κόστους, της ανάγκης προσεκτικής επιλογής επιταχυνσιογραφημάτων και της δυσκολίας στην επεξεργασία του μεγάλου όγκου των εξαγόμενων αποτελεσμάτων. Η μέθοδος μη γραμμικής ανάλυσης χρησιμοποιείται κυρίως για ερευνητικούς σκοπούς ως σημείο αναφοράς και εργαλείο αξιολόγησης της ακρίβειας των αποτελεσμάτων των υπόλοιπων μεθόδων ανάλυσης και κυρίως της ανελαστικής στατικής μεθόδου όπως μελετήθηκε από τους Mwafy and Elnashai, 2001, και Chopra and Goel, 2000. (Κοτανίδης-Δουδούμης, 2006)

2.9 Στατική κανονικότητα φορέα

Όσον αφορά την αντισεισμική μελέτη μιας κατασκευής, οι φορείς ταξινομούνται σε κανονικούς ή μη κανονικούς. Με αυτή τη διάκριση παρατηρούνται κάποιες επιπτώσεις στην αντισεισμική μελέτη όσον αφορά το στατικό προσομοίωμα, το οποίο μπορεί να είναι είτε ένα επίπεδο προσομοίωμα ή ένα χωρικό προσομοίωμα. Ακόμη, η μέθοδος ανάλυσης ανάλογα με το αν υπάρχει κανονικός ή μη κανονικός φορέας είναι απλουστευμένη ανάλυση φάσματος απόκρισης ή ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης. Και τέλος, επηρεάζεται και η τιμή του συντελεστή q , η οποία θα είναι μειωμένη σε περίπτωση που υπάρχει μη κανονικότητα σε όψη.

Παρακάτω στο Σχήμα 2.4 παρουσιάζεται ο πίνακας όπως αναφέρεται στον Ευρωκώδικα 8 σχετικά με τις επιπτώσεις στατικής κανονικότητας στην σεισμική ανάλυση και μελέτη.

Κανονικότητα σε		Επιτρεπόμενη απλοποίηση		Συντελεστής συμπεριφοράς
Κάτοψη	Όψη	Προσομοίωμα	Γραμμική-ελαστική ανάλυση	(για γραμμική ανάλυση)
Ναι	Ναι	Επίπεδο	Οριζόντια φόρτιση	Τιμή αναφοράς
Ναι	Όχι.	Επίπεδο	Ιδιομορφική ανάλυση	Μειωμένη τιμή
Όχι.	Ναι	Χωρικό ^b	Οριζόντια φόρτιση	Τιμή αναφοράς
Όχι.	Όχι.	Χωρικό	Ιδιομορφική ανάλυση	Μειωμένη τιμή

Σχήμα 2.4 Επιπτώσεις στατικής κανονικότητας στην σεισμική ανάλυση και μελέτη.

Τα κριτήρια κανονικότητας που παρουσιάζονται παρακάτω θεωρούνται αναγκαίες συνθήκες και πρέπει να ελέγχεται ότι δεν αναιρείται η κανονικότητα του φορέα σε κριτήρια που δεν συμπεριλαμβάνονται σε αυτά.

2.9.1 Στατική κανονικότητα σε κάτοψη

Για να χαρακτηριστεί ένας φορέας κανονικός σε κάτοψη θα πρέπει να ικανοποιούνται όλοι οι όροι που ακολουθούν. Όσον αφορά την αντοχή σε οριζόντια φόρτιση και κατανομή της μάζας θα πρέπει να παρουσιάζει συμμετρία και ομοιομορφία στη διάταξη των φερόντων στοιχείων σε κάτοψη, σε σχέση με τους δύο ορθογώνιους άξονες. Η διαμόρφωση της κάτοψης θα πρέπει να είναι συμπαγής, δηλαδή κάθε πλάκα ορόφου να οριοθετείται από μια κυρτή πολυγωνική γραμμή. Σε περίπτωση που υπάρχουν ανωμαλίες σε κάθε πλάκα ορόφου, η κανονικότητα θα ισχύει εάν αυτές οι ανωμαλίες δεν επηρεάζουν την δυσκαμψία της πλάκας. Σε κάθε ανωμαλία, η περιοχή μεταξύ του περιγράμματος της και της κυρτής πολυγωνικής γραμμής δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5% της επιφάνειας του ορόφου.

Επίσης, όταν η στατική εκκεντρότητα e_o και η ακτίνα δυστρεψιάς r ικανοποιούν τις δύο παρακάτω συνθήκες οι οποίες δίνονται για την διεύθυνση y της ανάλυσης:

$$e_{ox} \leq 0,30 \cdot r_x$$

$$r_x \geq l_s$$

όπου

e_{ox} είναι η απόσταση μεταξύ του κέντρου δυσκαμψίας και του κέντρου μάζας, που μετριέται κατά την διεύθυνση x , κάθετη στην εξεταζόμενη διεύθυνση της ανάλυσης

r_x είναι η τετραγωνική ρίζα του λόγου της δυστρεψιάς προς την μεταφορική δυσκαμψία στην διεύθυνση y (ακτίνα δυστρεψιάς), και

l_s είναι η ακτίνα αδρανείας της μάζας της πλάκας ορόφου σε κάτοψη (τετραγωνική ρίζα του λόγου (α) της πολικής ροπής αδρανείας της μάζας της πλάκας του ορόφου σε κάτοψη, ως προς το κέντρο μάζας της πλάκας του ορόφου προς (β) την μάζα της πλάκας του ορόφου) όπως αναφέρεται και στον Ευρωκώδικα 8: Αντισεισμικός Σχεδιασμός (EN 1998-1)

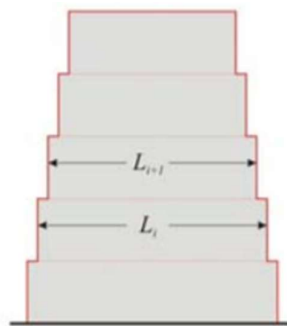
Ένα ακόμη κριτήριο που θα πρέπει να ισχύει είναι η παραμόρφωση της πλάκας να έχει μικρή επίδραση στην κατανομή των δυνάμεων μεταξύ των κατακόρυφων φερόντων στοιχείων. Αυτό επιτυγχάνεται όταν η δυσκαμψία των πλακών των ορόφων μέσα στο επίπεδο τους είναι πολύ μεγαλύτερη από την οριζόντια δυσκαμψία των κατακόρυφων φερόντων στοιχείων. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται σε κτίρια όπου η κάτοψη τους έχει την μορφή L, Π, Η, Ι, και Χ. Σε αυτά τα κτίρια θα πρέπει η δυσκαμψία των κλάδων να είναι συγκρίσιμη με τη δυσκαμψία του κεντρικού σκέλους ώστε να ικανοποιείται η συνθήκη άκαμπτου διαφράγματος. Επίσης, όσον αφορά τη λυγρητότητα λ του κτιρίου σε κάτοψη, όπου $\lambda = L_{max}/L_{min}$, δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη του 4 με το L_{max} να αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη διάσταση του κτιρίου και το L_{min} στην μικρότερη (οι διαστάσεις είναι μετρημένες σε ορθογώνιες διευθύνσεις).

2.9.2 Στατική κανονικότητα σε όψη

Για να ταξινομηθεί ένα κτίριο ως κανονικό σε όψη, θα πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις. Για όλα τα συστήματα ανάληψης οριζόντιων φορτίων, όπως για παράδειγμα πυρήνες, φέροντα τοιχώματα ή πλαίσια, θα πρέπει να υπάρχει συνέχεια από τα θεμέλια έως την άνω επιφάνεια του κτιρίου ή εάν υπάρχουν ζώνες εσοχών με διαφορετικά ύψη, θα πρέπει να υπάρχει συνέχεια έως την άνω επιφάνεια της σχετικής ζώνης του κτιρίου. Επίσης, πρέπει να παραμένει σταθερή ή να μειώνεται βαθμιαία η μεταφορική δυσκαμψία και η μάζα των επιμέρους ορόφων. Δυσκαμψία ενός ορόφου ορίζεται ο λόγος της σεισμικής δύναμης που εξασκείται στον όροφο προς τη σχετική μεταφορική μετατόπιση αυτού του ορόφου. Με προσεγγιστικό τρόπο, ως δυσκαμψία του ορόφου θα μπορούσε να λαμβάνεται το άθροισμα των δυσκαμψιών όλων των υποστυλωμάτων του ορόφου, δηλαδή $\Sigma(E \cdot I / h^3)$. (Κωνσταντινίδης, 2013) (Ευρωκώδικα 8: Αντισεισμικός Σχεδιασμός EN 1998-1)

Ακόμη μία προϋπόθεση που θα πρέπει να ικανοποιείται είναι ότι σε πλαισιωτό σύστημα ο λόγος της πραγματικής αντοχής των υποστυλωμάτων και των δοκών προς τις αναγκαίες αντοχές από τους υπολογισμούς, σε κάθε όροφο δεν πρέπει να διαφέρει αισθητά από τον αντίστοιχο λόγο υπεραντοχής του υπερκείμενου και του υποκείμενου ορόφου. Και τέλος, σε περίπτωση εσοχών ισχύουν οι ακόλουθες πρόσθετες συνθήκες κανονικότητας σε κατεύθυνση.

- Εάν διατηρείται η αξονική συμμετρία του φορέα, η εσοχή σε οποιονδήποτε όροφο δεν θα είναι μεγαλύτερη από το 20% της διάστασης του προηγούμενου ορόφου στη διεύθυνση της εσοχής. (Σχήμα 2.5)

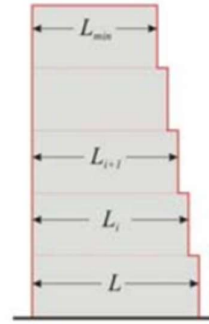


$$\text{Πρέπει } \frac{L_i - L_{i+1}}{L_i} \leq 0.20 .$$

Σχήμα 2.5 Κριτήριο 1^ο

- Εάν δεν διατηρείται η αξονική συμμετρία του φορέα, η εσοχή σε οποιονδήποτε όροφο δεν θα είναι μεγαλύτερη από το 10% της διάστασης του προηγούμενου ορόφου στη διεύθυνση της εσοχής και ακόμη, η μικρότερη διάσταση ορόφου σε εσοχή δεν θα είναι μεγαλύτερη από το 30% της διάστασης του ισογείου πάνω από τη θεμελίωση ή επάνω από την επιφάνειά άκαμπτου υπογείου. (Σχήμα 2.6)

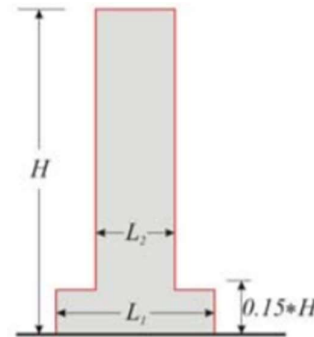
Πρέπει $\frac{L_i - L_{i+1}}{L_i} \leq 0.10$ και $\frac{L - L_{\min}}{L} \leq 0.30$.



Σχήμα 2.6 Κριτήριο 2°

- Στην περίπτωση που έχουμε μία μονάχα εσοχή (ή εξοχή αντίστοιχα) και το ύψος αυτής δεν ξεπερνά το 15% του συνολικού ύψους του κτιρίου, τότε θα πρέπει το μήκος της να μην ξεπερνά το 50% της προηγούμενης διάστασης. Ακόμη θα πρέπει το τμήμα του κατώτερου ορόφου σε εσοχή να αναλαμβάνει τουλάχιστον το 75% της τέμνουσας που θα αναπτυσσόταν στην ίδια ζώνη σε παρόμοιο κτίριο χωρίς τη διεύθυνση του κάτω μέρους. (Σχήμα 2.7) (Κωνσταντινίδης,2013) (Ευρωκώδικας 8 : Αντισεισμικός Σχεδιασμός EN 1998-1)

Πρέπει $\frac{L_1 - L_2}{L_1} \leq 0.50$.



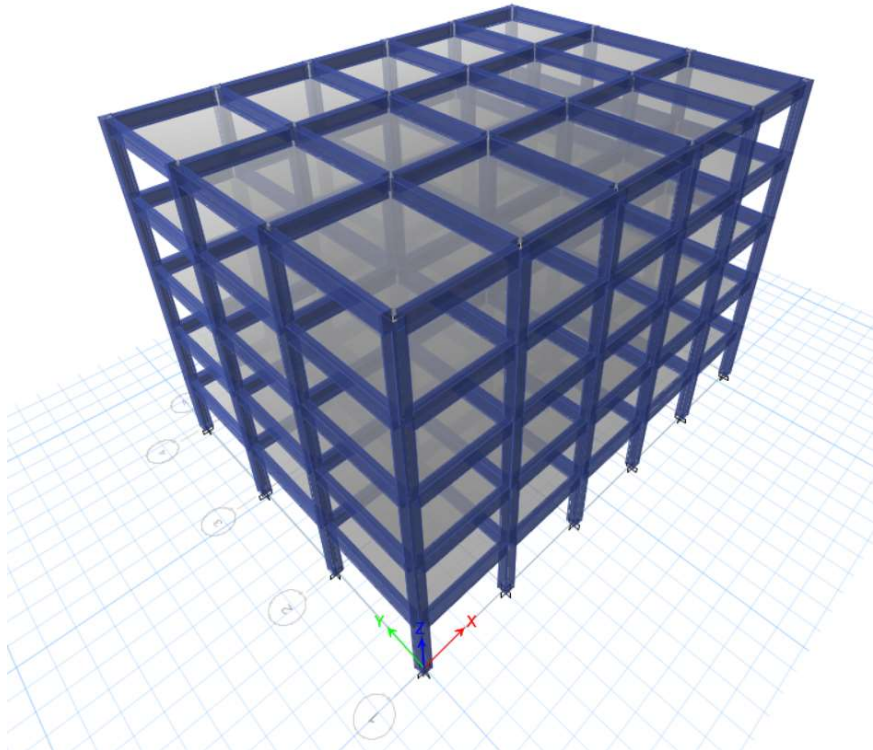
Σχήμα 2.6 Κριτήριο 3°

Στην δική μας περίπτωση, ο φορέας παρουσιάζει μη κανονικότητα σε κάτοψη λόγω της προσθήκης του κλιμακοστασίου και των τοιχωμάτων, κάτι που μας δείχνει ότι δεν υπάρχει συμμετρία της κατασκευής.

3 Περιγραφή και προσομοίωση κατασκευής

3.1 Εισαγωγή

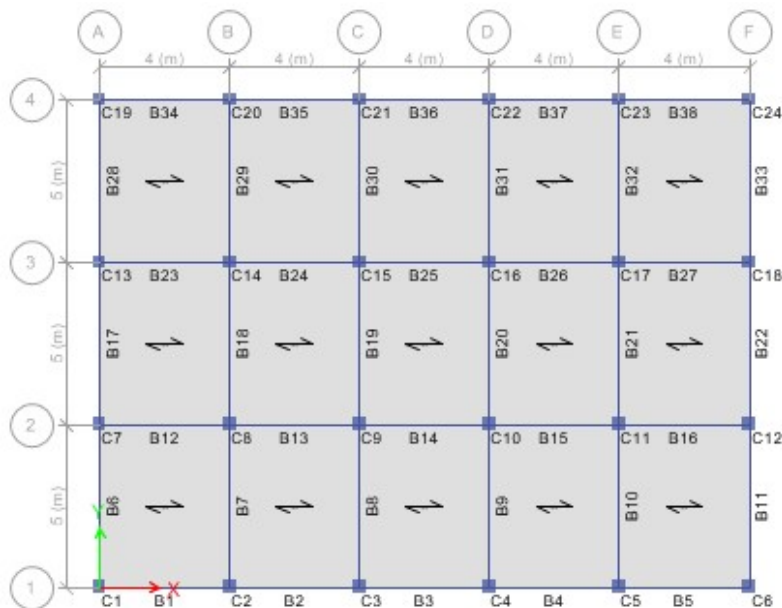
Το υπό μελέτη κτίριο που επιλέχθηκε για να γίνουν τα παραδείγματα έχει σχεδιαστεί με βάση τον Ελληνικό Κανονισμό Ωπλισμένου σκυροδέματος (ΕΚΩΣ 2000) και τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ 2000). Το αναλυτικό προσομοίωμα του κτιρίου φαίνεται στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1 Τρισδιάστατη απεικόνιση φορέα

3.2 Μορφολογία φέροντος οργανισμού

Το κτίριο είναι μια 5-όροφη κατασκευή συνολικής επιφάνειας 1.500m². Στο ισόγειο όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.2, καθώς και στους υπόλοιπους ορόφους όντας πανομοιότυποι, υπάρχουν 5 ανοίγματα μήκους 4,00m κατά τη διεύθυνση x και 3 ανοίγματα μήκους 5,00m κατά τη διεύθυνση y. Τα υποστυλώματα είναι τετραγωνικής διατομής διαστάσεων 40/40 και οι δοκοί διαστάσεων 25/60. Οι πλάκες έχουν πάχος 15cm.



Σχήμα 3.2 Κάτοψη ισογείου

Στο υπάρχον κτίριο εξετάζεται η επιρροή του κλιμακοστασίου στο φέροντα οργανισμό καθώς και η επιρροή της θέσης των τοιχωμάτων στο κλιμακοστάσιο και περιμετρικά αυτού.

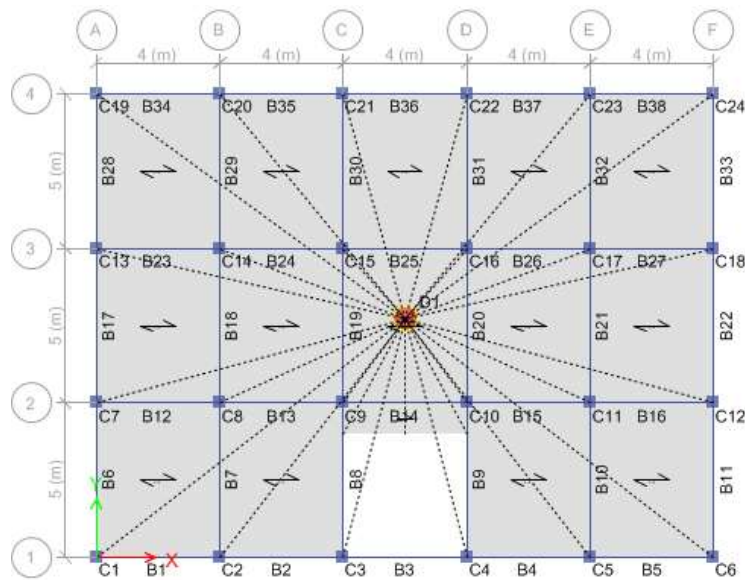
Στην πράξη, το κλιμακοστάσιο δεν λαμβάνεται υπόψιν στην προσομοίωση της κατασκευής, ωστόσο ενδέχεται σε κάποιες περιπτώσεις η επιρροή του να είναι δυσμενής. Στην παρούσα εργασία εξετάζονται οι περιπτώσεις κτιρίων με και χωρίς κλιμακοστάσιο για να διερευνηθεί η επιρροή του κλιμακοστασίου στη σεισμική συμπεριφορά ενός κτιρίου και να εξεταστεί αν μπορεί να αγνοηθεί κατά την προσομοίωση του. Επίσης θα διερευνηθεί κατά πόσο ο τρόπος κατασκευής του κλιμακοστασίου (δηλαδή αν ακουμπάει ή όχι στο κτίριο) επηρεάζει τη σεισμική συμπεριφορά του κτιρίου.

Η προσομοίωση της κατασκευής έγινε με το λογισμικό ETABS. Οι δοκοί και τα υποστυλώματα προσομοιώθηκαν με γραμμικά στοιχεία ενώ τα τοιχώματα, οι πλάκες και το κλιμακοστάσιο προσομοιώθηκαν με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία

Παρακάτω παρουσιάζονται οι 5 περιπτώσεις του κτιρίου που εξετάστηκαν διαμορφώνοντας το κάθε φορά και με διαφορετικά φέροντα στοιχεία.

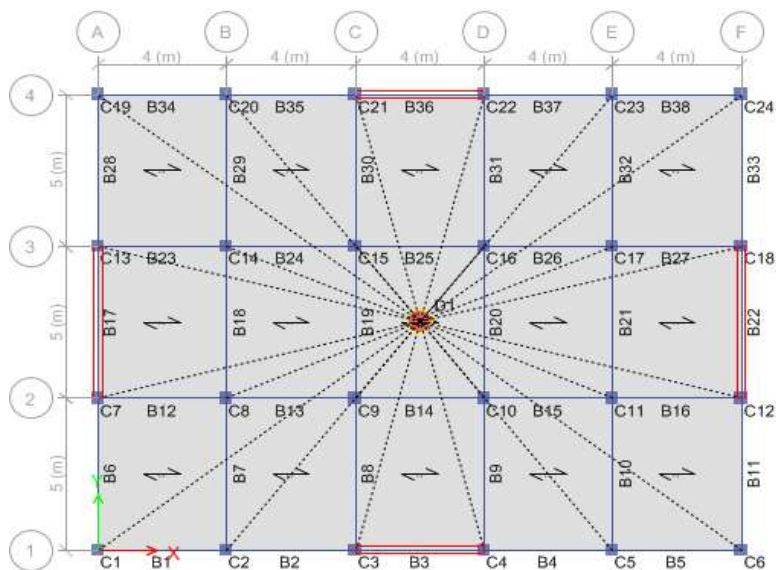
Οι περιπτώσεις είναι οι εξής:

- Στην 1^η περίπτωση όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.3 εξετάστηκε ένα πλαίσιο αμιγώς πλαίσιακό με σκάλα που ακουμπάει στα υποστυλώματα, καθώς προστέθηκε το κλιμακοστάσιο στη θέση C3- C4- C10- C9.



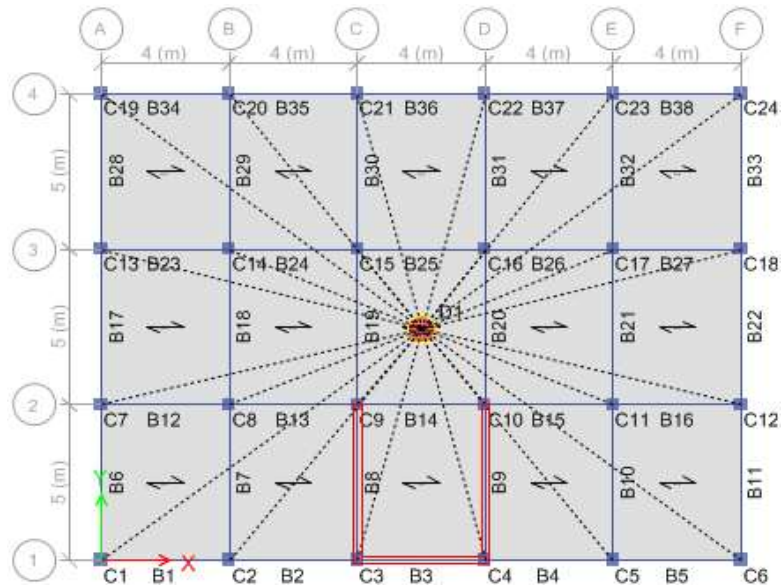
Σχήμα 3.3 Κτίριο 1- 1^η επίλυση κλιμακοστασίου

- Στην 2^η περίπτωση (βλέπε Σχήμα 3.4) εξετάστηκε ένα μεικτό πλαίσιο, καθώς προστέθηκαν 4 τοιχώματα περιμετρικά του κτιρίου στις θέσεις C3- C4, C12- C18, C21- C22, C7- C13.



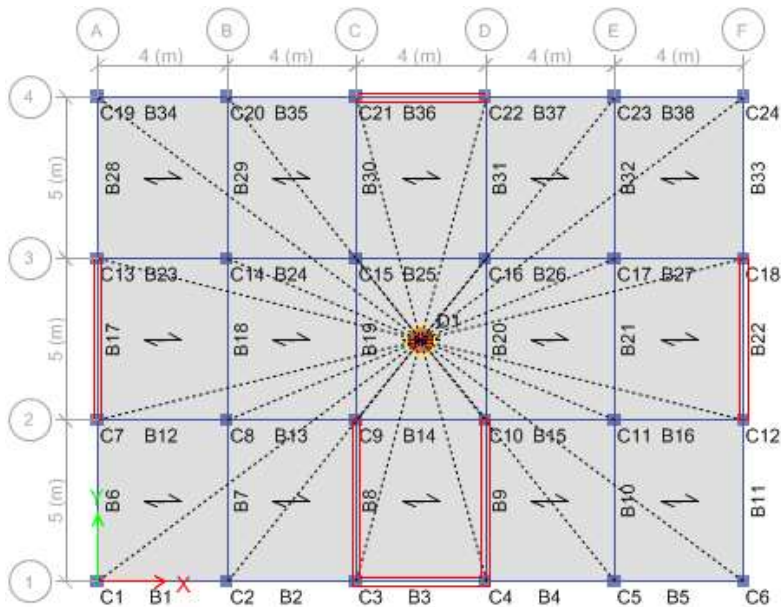
Σχήμα 3.4 Κτίριο 2- 2^η επίλυση κλιμακοστασίου

- Στην 3^η περίπτωση εξετάστηκε ένα πλαίσιο με έκκεντρο πυρήνα, καθώς στην 1^η περίπτωση προστέθηκαν επιπλέον 3 τοιχώματα περιμετρικά του κλιμακοστασίου στις θέσεις C9- C3, C3- C4, C4- C10 και φαίνεται στο Σχήμα 3.5.



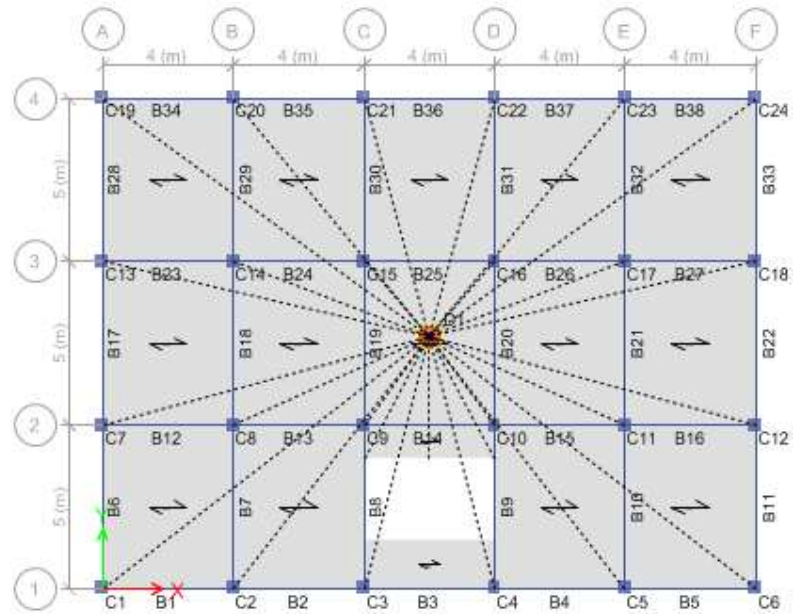
Σχήμα 3.5 Κτίριο 3- 3^η επίλυση κλιμακοστασίου

- Στην 4^η περίπτωση όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.6 εξετάστηκε ένα μεικτό πλαίσιο με πυρήνα, καθώς στην 3^η περίπτωση προστέθηκαν επιπλέον 3 τοιχώματα ακόμα, αυτή τη φορά περιμετρικά του κτιρίου στις θέσεις C12- C18, C21- C22, C7- C13.



Σχήμα 3.6 Κτίριο 4- 4^η επίλυση κλιμακοστασίου

- Στην 5^η περίπτωση (βλέπε Σχήμα 3.7) εξετάστηκε ένα πλαίσιο αμιγώς πλαίσιακό με σκάλα που δεν ακουμπάει στα υποστυλώματα, στην ίδια θέση που βρίσκεται το κλιμακοστάσιο στην 1^η περίπτωση.



Σχήμα 3.7 5^η επίλυση κλιμακοστασίου

Γενικά το κτίριο αποτελείται από γραμμικά στοιχεία ωπλισμένου σκυροδέματος (δοκούς και υποστυλώματα) και στις περιπτώσεις που εξετάστηκαν, προστέθηκαν κεκλιμένες πλάκες, πλατύσκαλα και ισχυρά στοιχεία δυσκαμψίας (τοιχώματα).

3.3 Προσομοίωση φορέα

3.3.1 Γενικά

Η προσομοίωση του κτιρίου έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού ETABS και πραγματοποιήθηκαν ελαστικές αναλύσεις ώστε να διερευνηθεί η επιρροή του κλιμακωστού στην σεισμική συμπεριφορά της κατασκευής.

Το ETABS είναι ένα πρόγραμμα που παρέχει τη μεγαλύτερη ποικιλία σε εργαλεία μόρφωσης, ανάλυσης και σχεδίου ενός φορέα από την πιο απλή δομή μέχρι και τα πιο περίπλοκα κτίρια. Προσφέρει στον χρήστη τη δυνατότητα ανάλυσης και διαστασιολόγησης κτιρίων μέσα από τη διαμόρφωση του συστήματος σε πλάκες, δοκούς, τοιχώματα, υποστυλώματα, διατομές από ωπλισμένο σκυρόδεμα, σύμμεικτες διατομές καθώς και τη δυνατότητα δημιουργίας κατακόρυφων και πλευρικών φορτίων σε αυτά (αιολικά και σεισμικά φορτία).

Αρχικά, καθορίστηκε ο τρισδιάστατος κάναβος του κτιρίου σύμφωνα με την στατική μελέτη που θα γίνει. Τα υποστυλώματα και οι δοκοί ορίστηκαν ως γραμμικά στοιχεία ενώ τα τοιχώματα ορίστηκαν ως επιφανειακά-πεπερασμένα στοιχεία. Οι πλάκες προσομοιάζονται με επιφανειακά στοιχεία. Με αυτό το τρόπο λαμβάνεται υπόψη το ίδιο βάρος τους και κατανείμουν τα φορτία, που θα οριστούν στην συνέχεια, στις δοκούς. Θέτοντας αυτά μπορούμε να ορίσουμε και τη διαφραγματική λειτουργία αυτών. Τέλος, οι στηρίξεις της κατασκευής θεωρήθηκαν πακτώσεις.

3.3.2 Υλικά

Οι αντοχές των υλικών προέκυψαν από τη στατική μελέτη που έγινε και προκύπτει ότι το σκυρόδεμα έχει μέση αντοχή 25MPa, το μέτρο ελαστικότητας του είναι $E_{cm}=30GPa$ και το ειδικό βάρος του $25kN/m^3$ (Σχήμα 3.8).

Παρακάτω παρουσιάζεται η γενική μορφή του διαγράμματος τάσεων παραμορφώσεων του σκυροδέματος όπως αναγράφεται στον ΕΚΩΣ 2000 (Σχήμα 3.9).

Material Property Data

General Data

Material Name: C20/25

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

Specify Weight Density Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 24.9926 kN/m³

Mass per Unit Volume: 2548.538 kg/m³

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 30000 MPa

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.00001 1/C

Shear Modulus, G: 12500 MPa

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

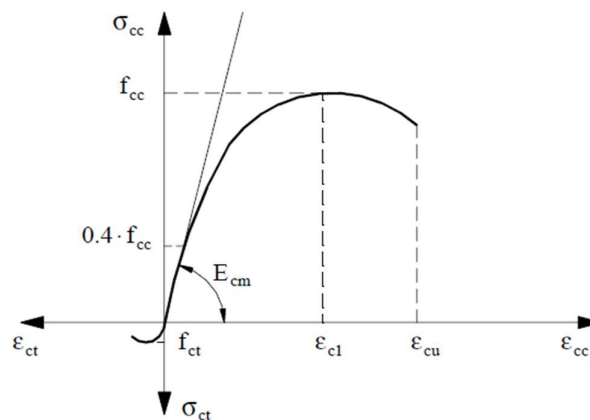
Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties...

Time Dependent Properties...

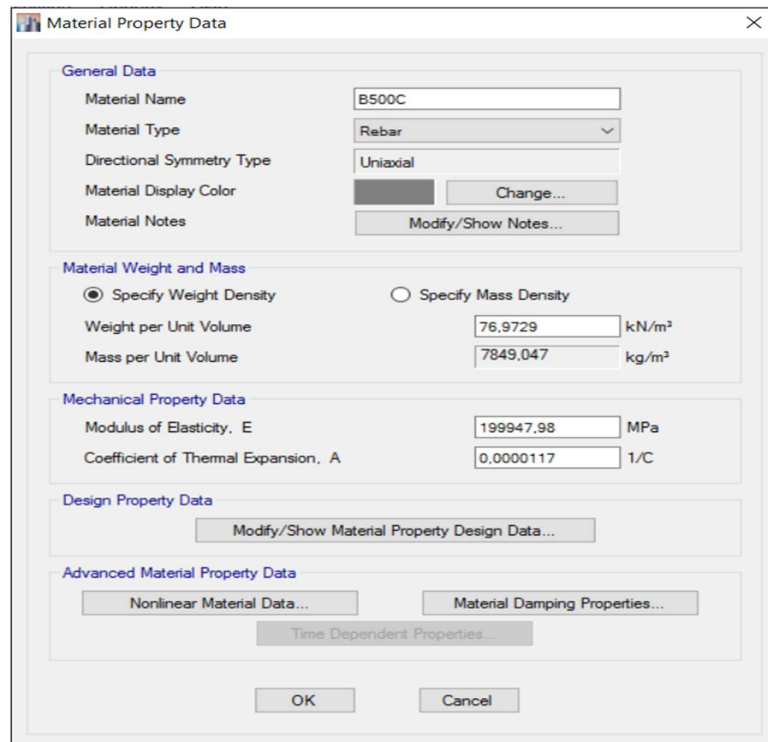
OK Cancel

Σχήμα 3.8 Ορισμός σκυροδέματος

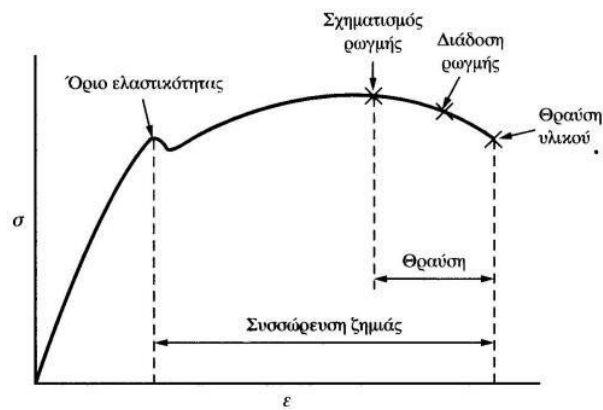


Σχήμα 3.9 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος

Όσον αφορά τον χάλυβα, η κατηγορία που χρησιμοποιήθηκε περιλαμβάνει ως προς τη συγκολλησιμότητα συγκολλησίμους χάλυβες σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 971 και ως προς τη μορφή της επιφάνειας ράβδους και σύρματα υψηλής συνάφειας (νευροχάλυβες). Ο χάλυβας του κύριου οπλισμού και των συνδετήρων έχει αντοχή 500MPa, μέτρο ελαστικότητας ίσο με 200GPa και ειδικό βάρος 77kN/m³ (Σχήμα 3.10). (Λουράντος, 2015)



Σχήμα 3.10 Ορισμός χάλυβα οπλισμών



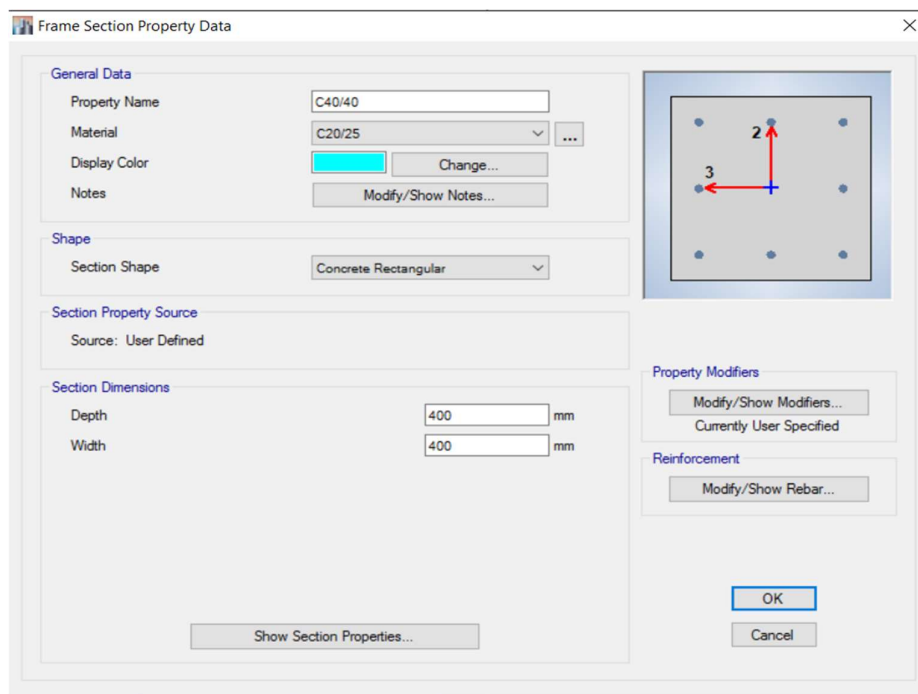
Σχήμα 3.11 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων χάλυβα

3.3.3 Ορισμός φερόντων στοιχείων

3.3.3.1 Δοκοί και υποστυλώματα

Η διατομές των υποστυλωμάτων που ορίστηκαν είναι τετραγωνικές ενώ των δοκών είναι ορθογωνικές.

Στο πρόγραμμα ορίζονται οι διατομές των στοιχείων δίνοντας το σχήμα της διατομής, τις διαστάσεις της καθώς και τα υλικά από τα οποία αποτελείται στα αντίστοιχα πεδία όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.12.



Σχήμα 3.12 Ορισμός διαστάσεων διατομής

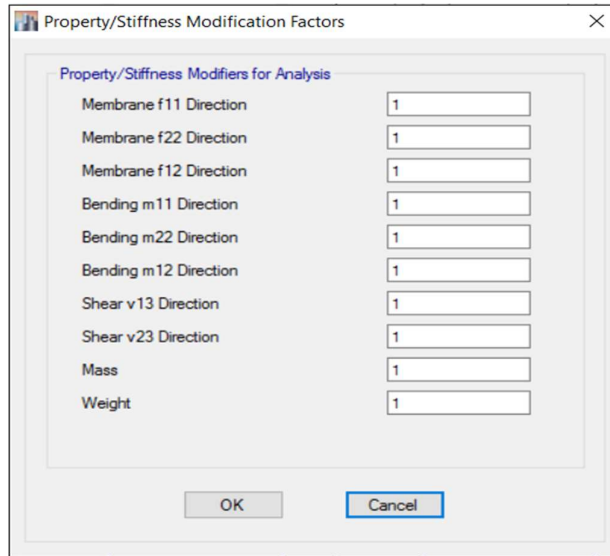
Στη συνέχεια, ορίζεται επίσης και ο τύπος της διατομής (δοκός ή υποστυλώμα), το υλικό των οπλισμών καθώς και η διάταξή τους (Σχήμα 3.13).

Σχήμα 3.13 Ορισμός οπλισμών μέλους

3.3.3.2 Τοιχία

Τα τοιχία ορίζονται ως επιφανειακά-πεπερασμένα στοιχεία. Επίσης ορίζεται το πάχος τους (Σχήμα 3.14) και στη συνέχεια οι ιδιότητες και η δυσκαμψία τους. (Σχήμα 3.15)

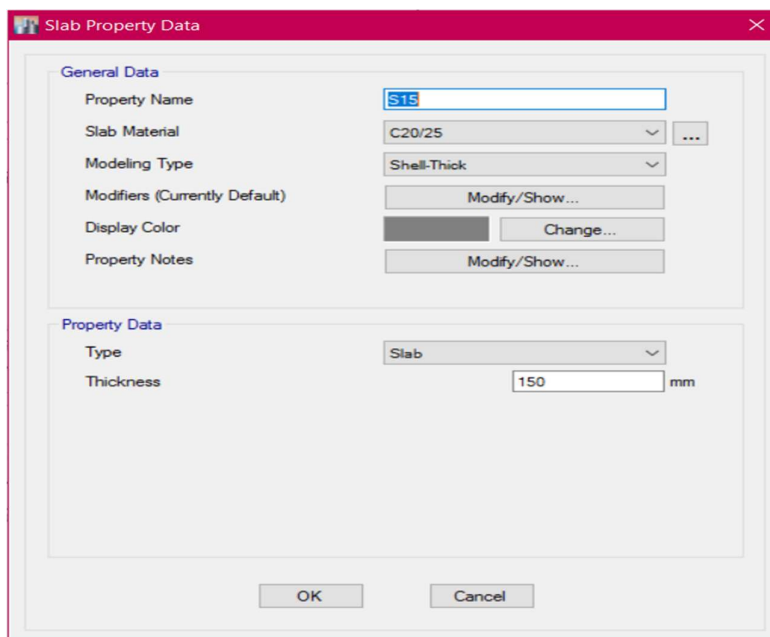
Σχήμα 3.14 Ορισμός τοιχίων



Σχήμα 3.15 Ορισμός δυσκαμψίας τοιχίων

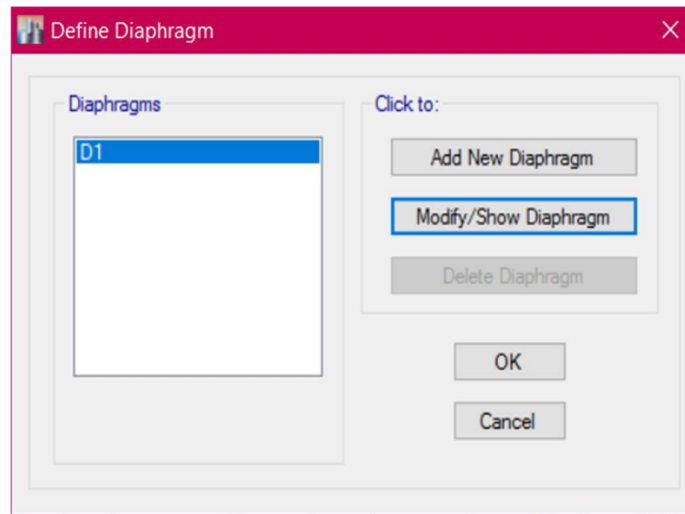
3.3.3.3 Πλάκες-Διαφράγματα

Οι πλάκες του κτιρίου είναι από ωπλισμένο σκυρόδεμα C20/25 και ορίζονται στο πρόγραμμα ως επιφανειακά στοιχεία όπου τους δίνεται το πάχος των 15cm όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.16.



Σχήμα 3.16 Ορισμός πλάκας

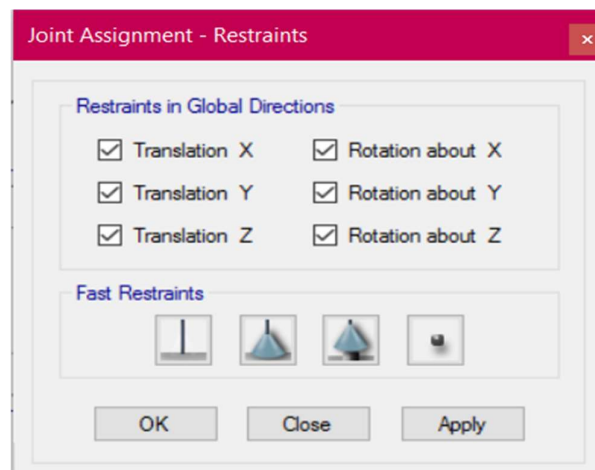
Οι πλάκες ορίζονται ως διαφράγματα εξασφαλίζοντας έτσι την ίση μετακίνηση όλων των σημείων στο επίπεδο του κάθε ορόφου και την διανομή των οριζόντιων φορτίσεων ανάλογα με τη δυσκαμψία που έχουν τα κατακόρυφα στοιχεία. Με τη βοήθεια της διαφραγματικής λειτουργίας θεωρούμε ότι έχουμε πλέον τρεις βαθμούς ελευθερίας ανά όροφο (δύο μετακινήσεις και μια στροφή) (Σχήμα 3.17).



Σχήμα 3.17 Ορισμός διαφραγμάτων

3.3.3.4 Στηρίξεις φορέα

Οι στηρίξεις του φορέα επί του εδάφους ορίζονται πλήρεις πακτώσεις (Σχήμα 3.18).



Σχήμα 3.18 Ορισμός πακτώσεων στις στηρίξεις

3.3.4 Καθορισμός φορτίων κτιρίου

Στην κατασκευή επιβάλλονται κατακόρυφες και οριζόντιες φορτίσεις.

Τα κατακόρυφα φορτία είναι τα εξής:

Μόνιμα:

Οπλισμένο σκυρόδεμα	:	25.00 kN/m ³
Χάλυβας	:	78.50 kN/m ³
Επιστρώσεις δαπέδων γενικά	:	2.00 kN/m ²
Οπτοπλινθοδομές γενικά επί δαπέδων	:	1.50 kN/m ²

Κινητά:

Γενικά	:	2.00 kN/m ²
--------	---	------------------------

Στο πρόγραμμα, ορίζονται τα φορτία αυτά στις πλάκες και αυτά μοιράζονται αυτόματα στις δοκούς.

Η οριζόντια φόρτιση είναι η σεισμική όπως αυτή προβλέπεται από τον EC8. Βάση τον Ε.Α.Κ. 2000 ορίζονται στο πρόγραμμα οι παράμετροι σεισμικής δράσης (Σχήμα 3.19) ώστε να προκύψει το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού (Σχήμα 3.20). (Λουράντος, 2015)

Παράμετροι σεισμικής δράσης (Σύμφωνα με τον Ε.Α.Κ. 2000) :

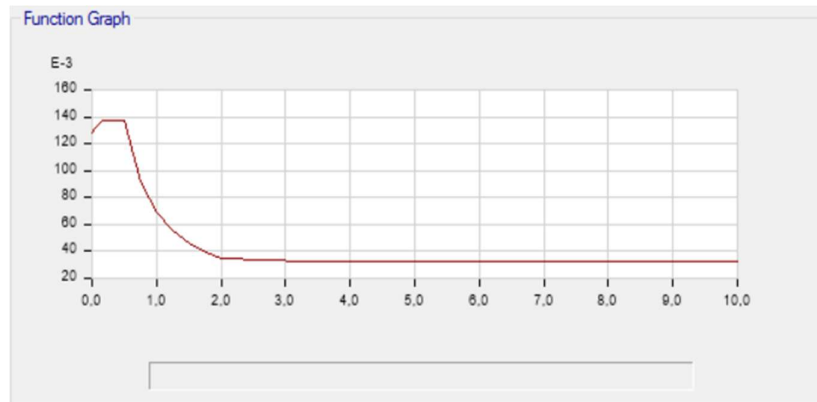
Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας	:	Ζώνη Ι
Ανοιγμένη εδαφική επιτάχυνση	:	$\alpha=0.16$
Συντελεστής σπουδαιότητας δομήματος	:	$\gamma_1=1.00$ (Σ2)
Κατηγορία εδάφους	:	B
Χαρακτηριστικές περιόδους	:	$T_1=0.15\text{sec}$, $T_2=0.60\text{sec}$
Συντελεστής συμπεριφοράς	:	$q=3.50$
Ποσοστό απόσβεσης	:	$\zeta=5\%$

Parameters

Country	CEN Default	▼
Direction	Horizontal	▼
Ground Acceleration, a_g/g	0.16	
Spectrum Type	1	▼
Ground Type	B	▼
Soil Factor, S	1.2	
Acceleration Ratio, Avg/A_g		
Spectrum Period, T_b	0.15	sec
Spectrum Period, T_c	0.5	sec
Spectrum Period, T_d	2	sec
Lower Bound Factor, Beta	0.2	
Behavior Factor, η	3.5	

Convert to User Defined

Σχήμα 3.19 Εισαγωγή παραμέτρων φάσματος



Σχήμα 3.20 Ελαστικό φάσμα σχεδιασμού

Στο φάσμα σχεδιασμού ορίζοντας την κατηγορία εδάφους B και ελέγχεται η τιμή του εκάστοτε σεισμού.

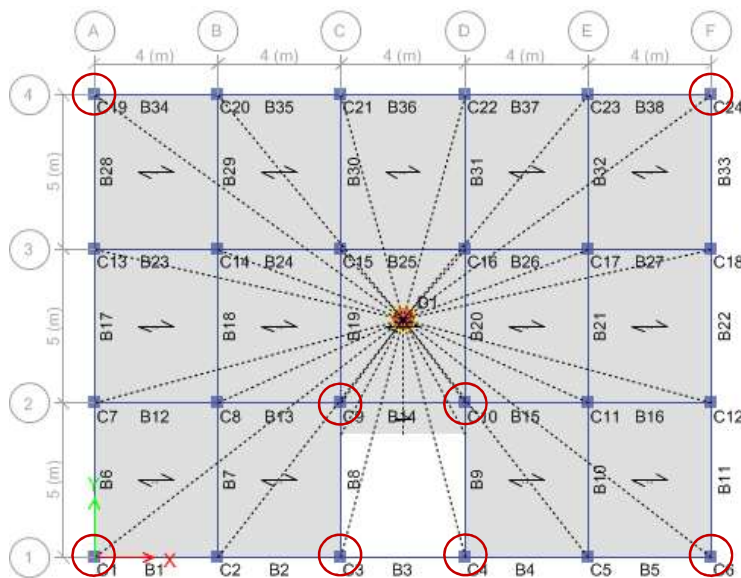
4 Αποτίμηση συμπεριφοράς της κατασκευής

4.1 Γενικά

Τα κτίρια που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 3 αναλύθηκαν για σεισμικές διεγέρσεις. Πραγματοποιήθηκε δυναμική φασματική ανάλυση για το σεισμό σχεδιασμού στην x διεύθυνση και στην y διεύθυνση.

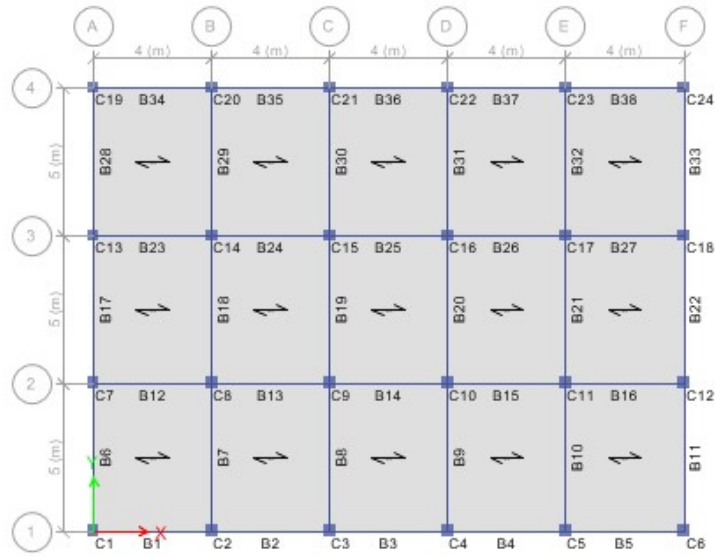
4.2 Αποτελέσματα αναλύσεων

Για κάθε περίπτωση, για το σχεδιασμό του κτιρίου υπολογίζονται οι μετακινήσεις και οι ροπές. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις αναλύσεις του κάθε κτιρίου στον 1^ο και στον 5^ο όροφο (Σχήμα 4.1). Αναλυτικότερα, παρουσιάζονται οι ροπές που εμφανίστηκαν στον 1^ο και στον 5^ο όροφο και οι μετακινήσεις στον 5^ο όροφο του κτιρίου, στα γωνιακά υποστυλώματα του κτιρίου και στα υποστυλώματα στις τέσσερις γωνίες του κλιμακοστασίου.



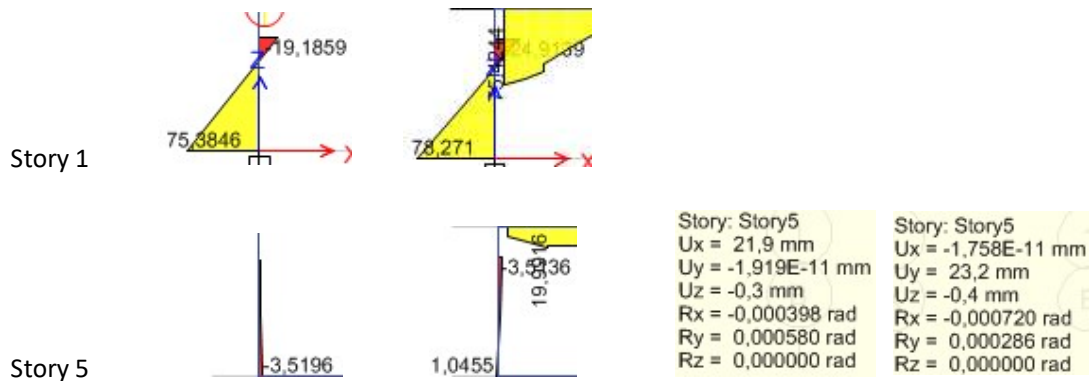
Σχήμα 4.1 Κάτοψη κτιρίου που υποδεικνύει τα υποστυλώματα που αναλύονται.

4.2.1 Κτίριο 0

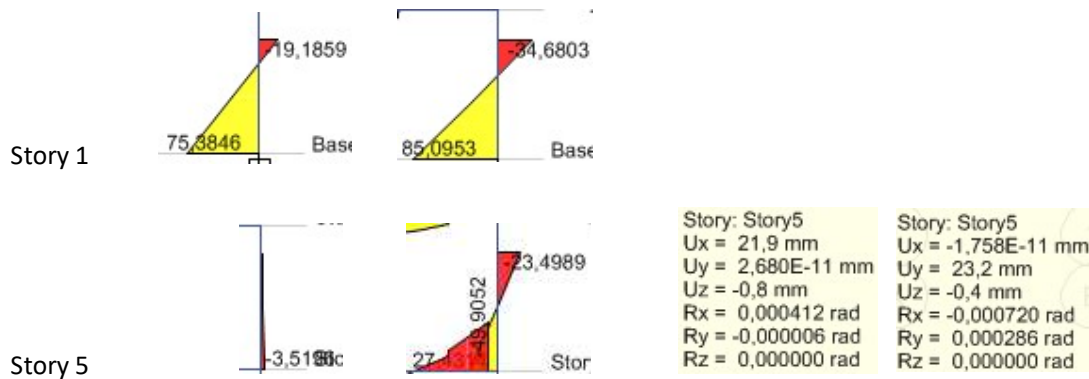


M2-2 (Knm) M3-3(Knm) Displacements
Comb3 Comb2 Comb2 Comb3

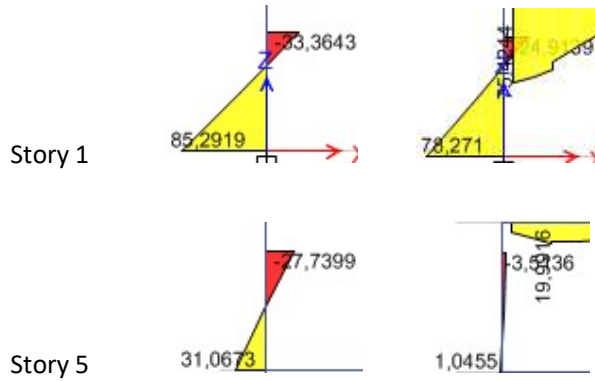
C1



C6

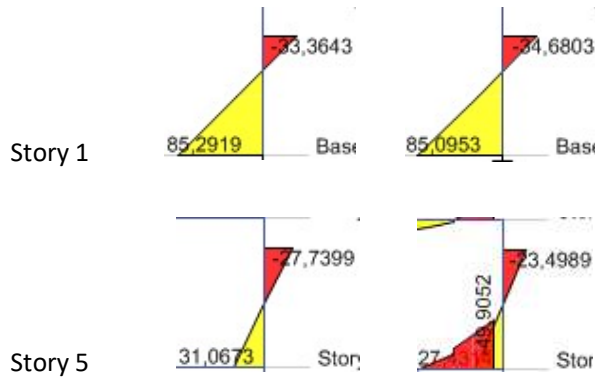


C19



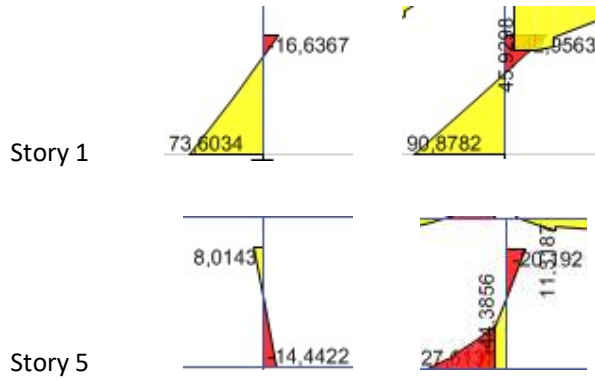
Story: Story5	Story: Story5
Ux = 21,9 mm	Ux = 2,559E-11 mm
Uy = -1,919E-11 mm	Uy = 23,2 mm
Uz = -0,3 mm	Uz = -0,8 mm
Rx = -0,000398 rad	Rx = 0,000090 rad
Ry = 0,000580 rad	Ry = -0,000300 rad
Rz = 0,000000 rad	Rz = 0,000000 rad

C24



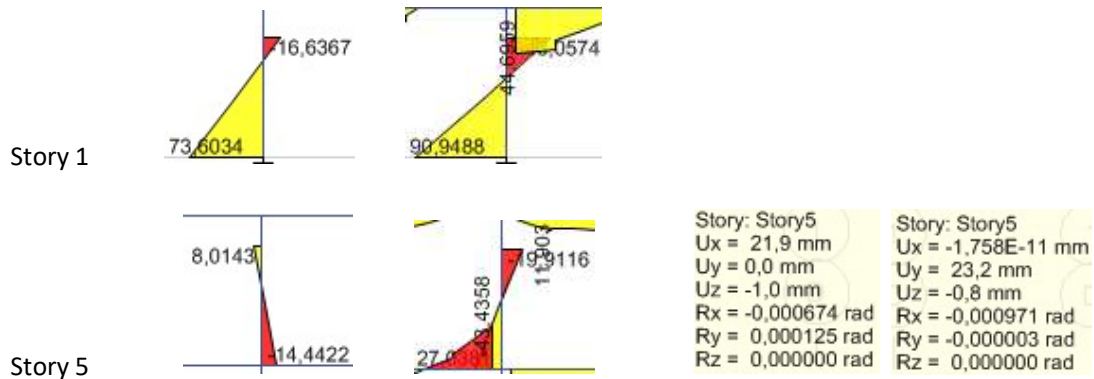
Story: Story5	Story: Story5
Ux = 21,9 mm	Ux = 2,559E-11 mm
Uy = 2,680E-11 mm	Uy = 23,2 mm
Uz = -0,8 mm	Uz = -0,8 mm
Rx = 0,000412 rad	Rx = 0,000090 rad
Ry = -0,000006 rad	Ry = -0,000300 rad
Rz = 0,000000 rad	Rz = 0,000000 rad

C3

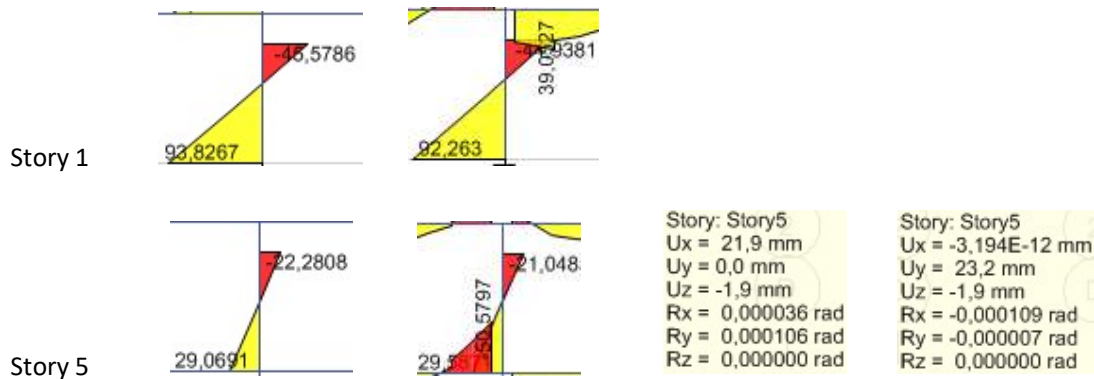


Story: Story5	Story: Story5
Ux = 21,9 mm	Ux = -1,758E-11 mm
Uy = 0,0 mm	Uy = 23,2 mm
Uz = -1,0 mm	Uz = -0,8 mm
Rx = -0,000674 rad	Rx = -0,000971 rad
Ry = 0,000125 rad	Ry = -0,000003 rad
Rz = 0,000000 rad	Rz = 0,000000 rad

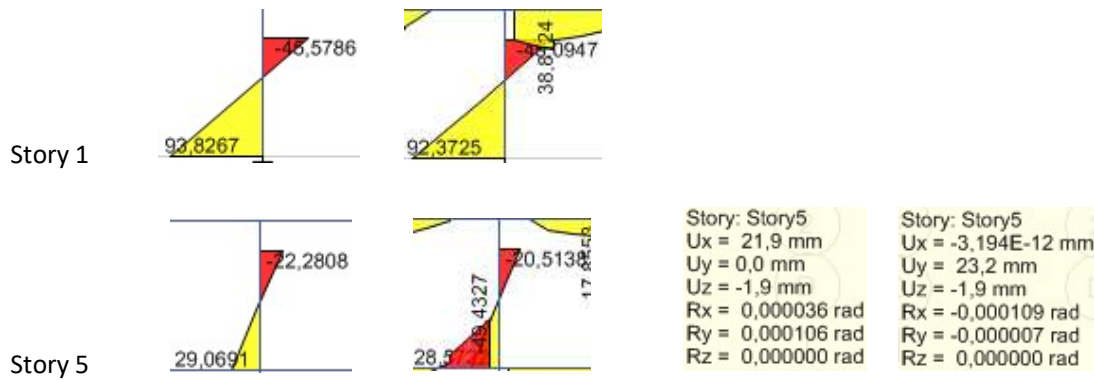
C4



C9



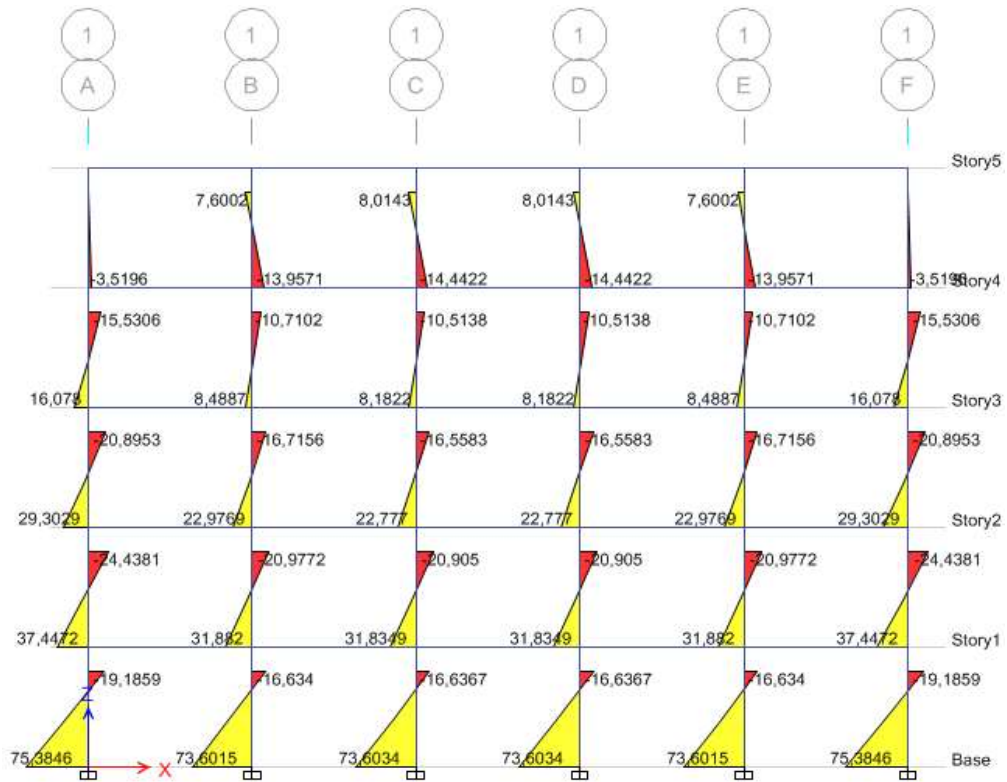
C10



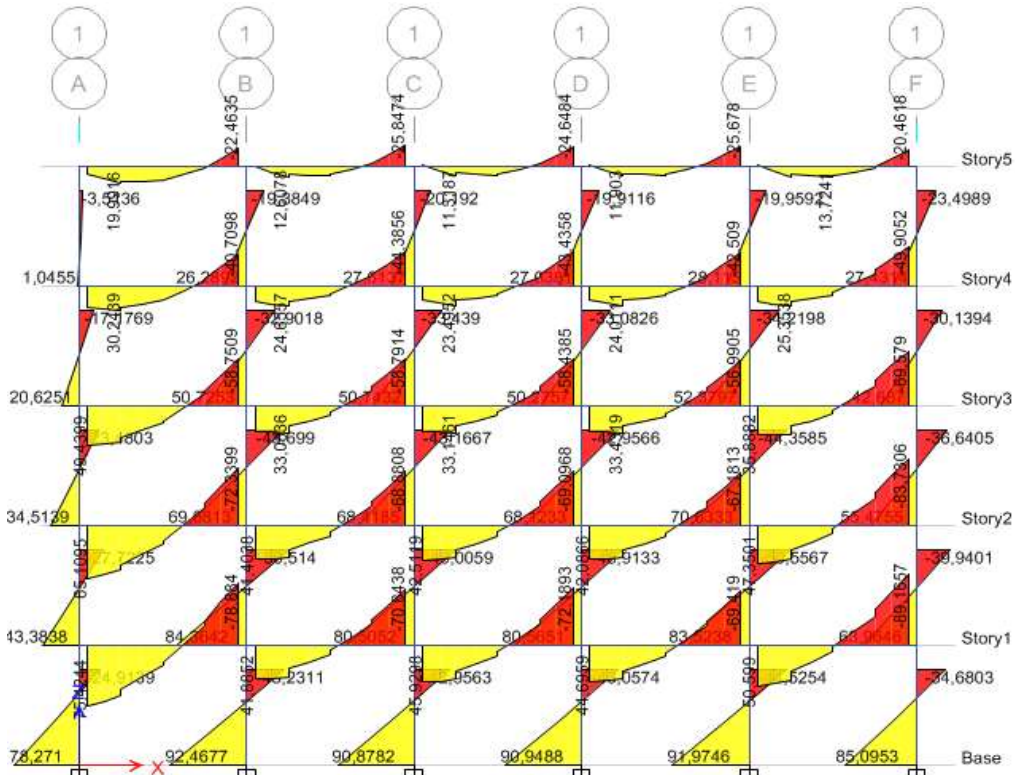
Ενδεικτικά μια ολοκληρωμένη εικόνα της 1^{ης} σειράς.



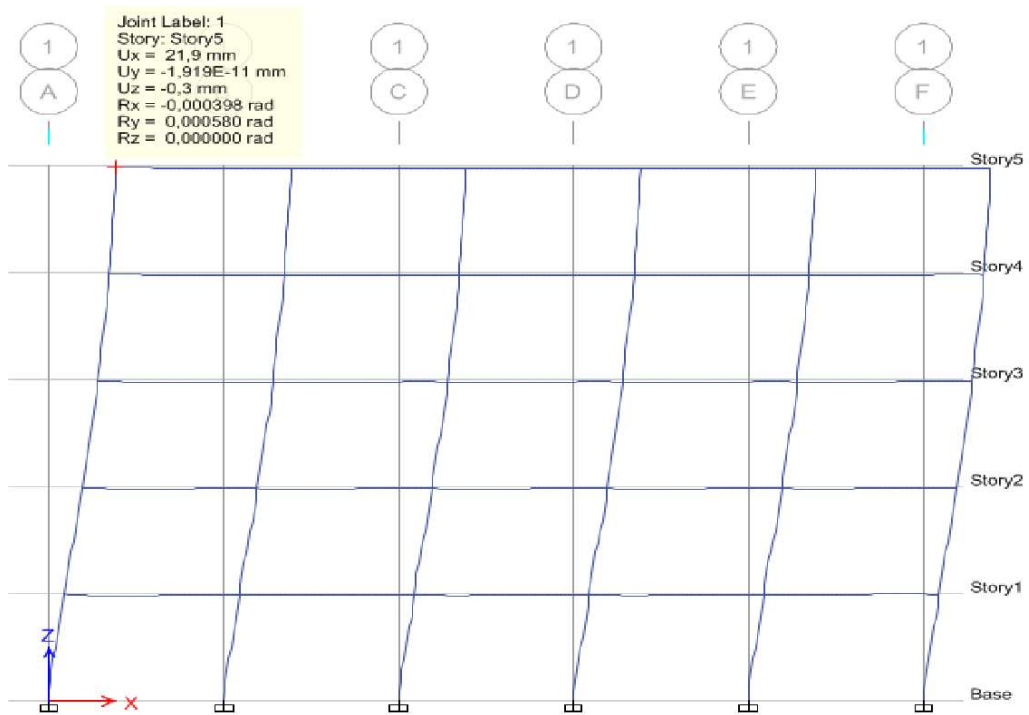
M2-2 (Comb 3)



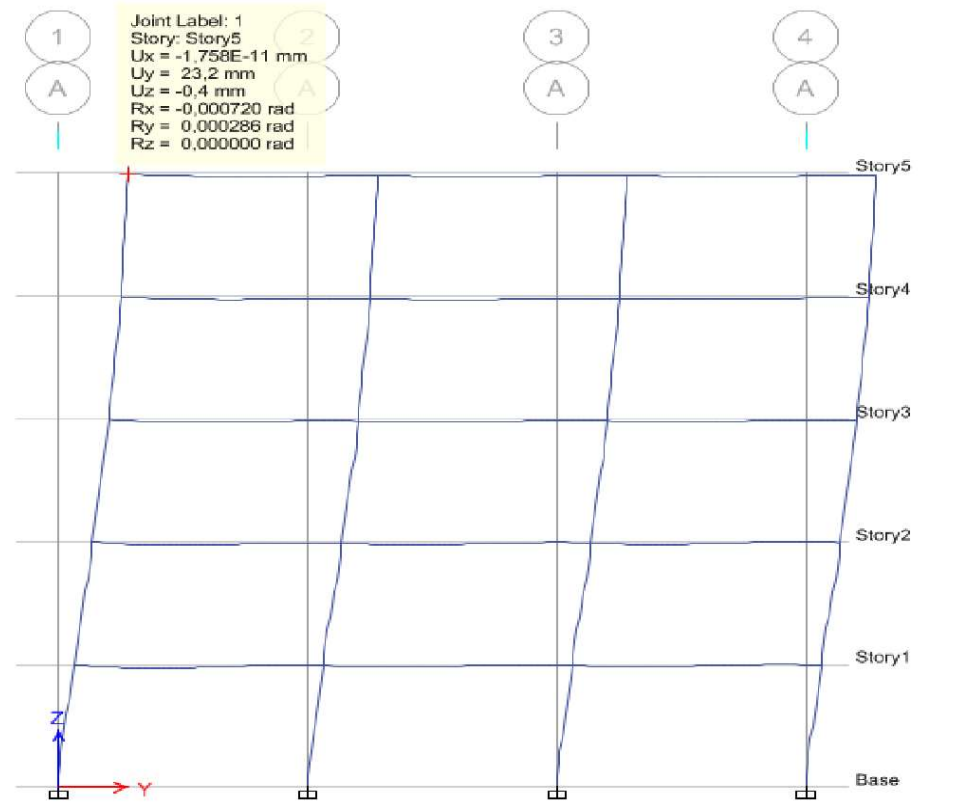
M3-3 (Comb2)



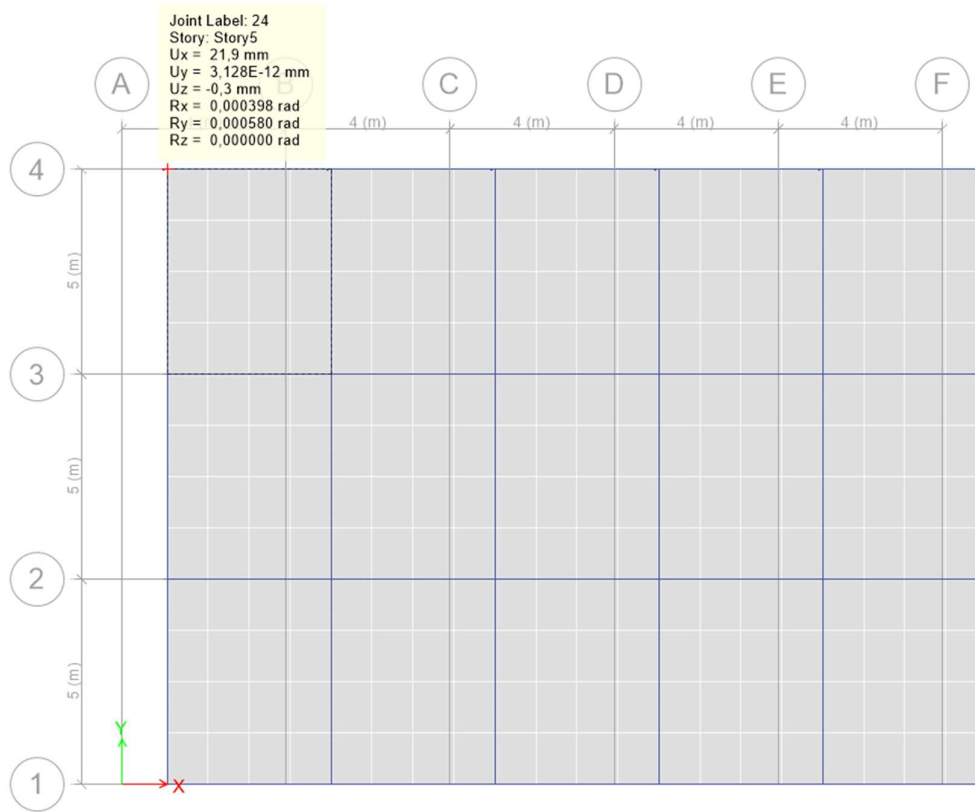
Displacements (Comb 2)



Displacements (Comb 3)

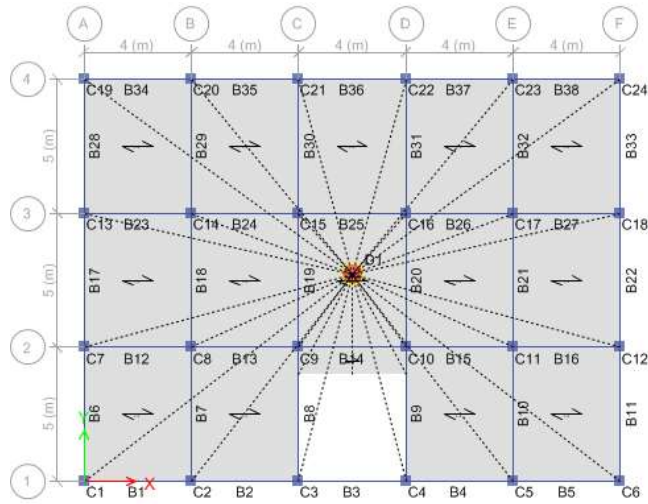


Μετακίνηση Εξ κτιρίου



4.2.2 Κτίριο 1

Παρακάτω παρουσιάζεται το κτίριο 1, το οποίο είναι αμιγώς πλαισιακό με την σκάλα να ακουμπάει στα υποστυλώματα.



M2-2 (Knm)

M3-3(Knm)

Displacements

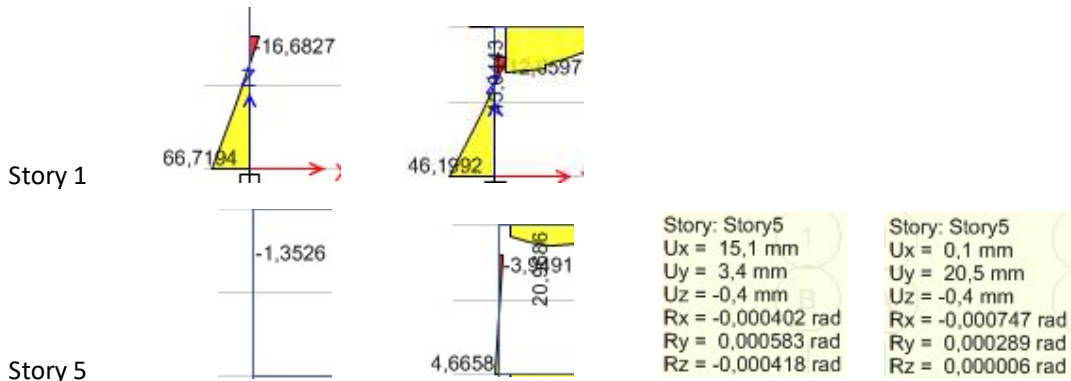
Comb3

Comb2

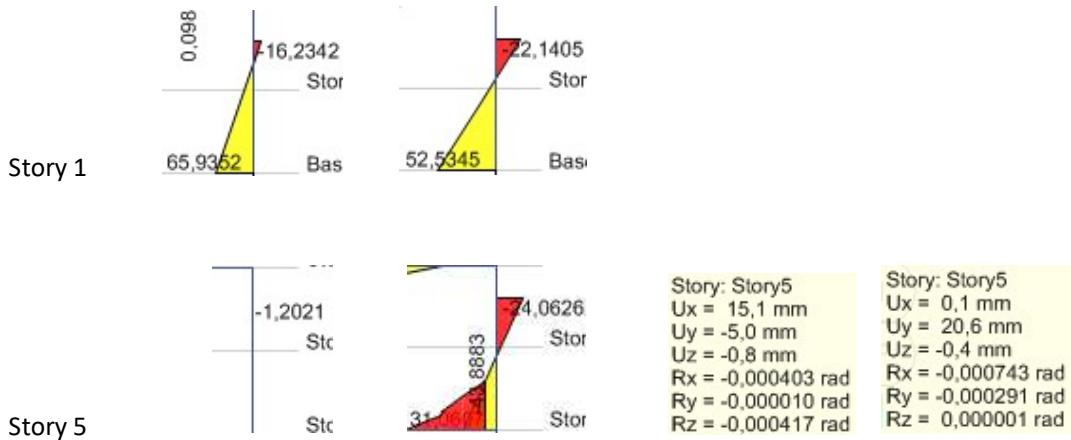
Comb2

Comb3

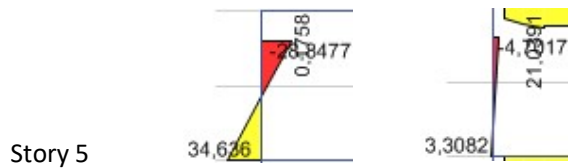
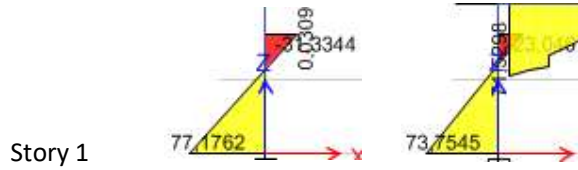
C1



C6

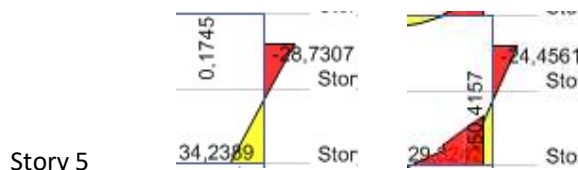
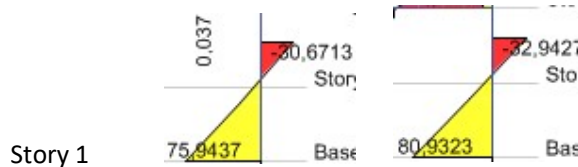


C19



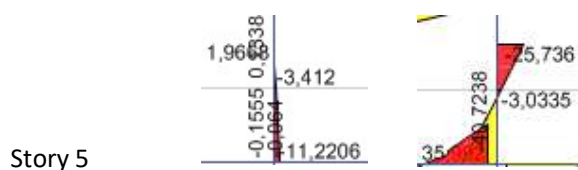
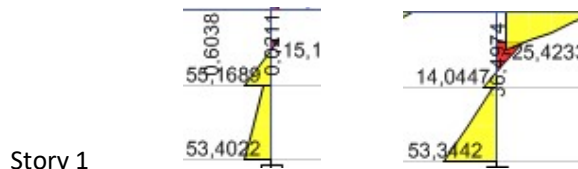
Story: Story5	Story: Story5
Ux = 21,4 mm	Ux = 4,607E-02 mm
Uy = 3,3 mm	Uy = 20,5 mm
Uz = -0,3 mm	Uz = -0,7 mm
Rx = 0,000409 rad	Rx = 0,000077 rad
Ry = 0,000596 rad	Ry = 0,000300 rad
Rz = -0,000411 rad	Rz = 0,000008 rad

C24

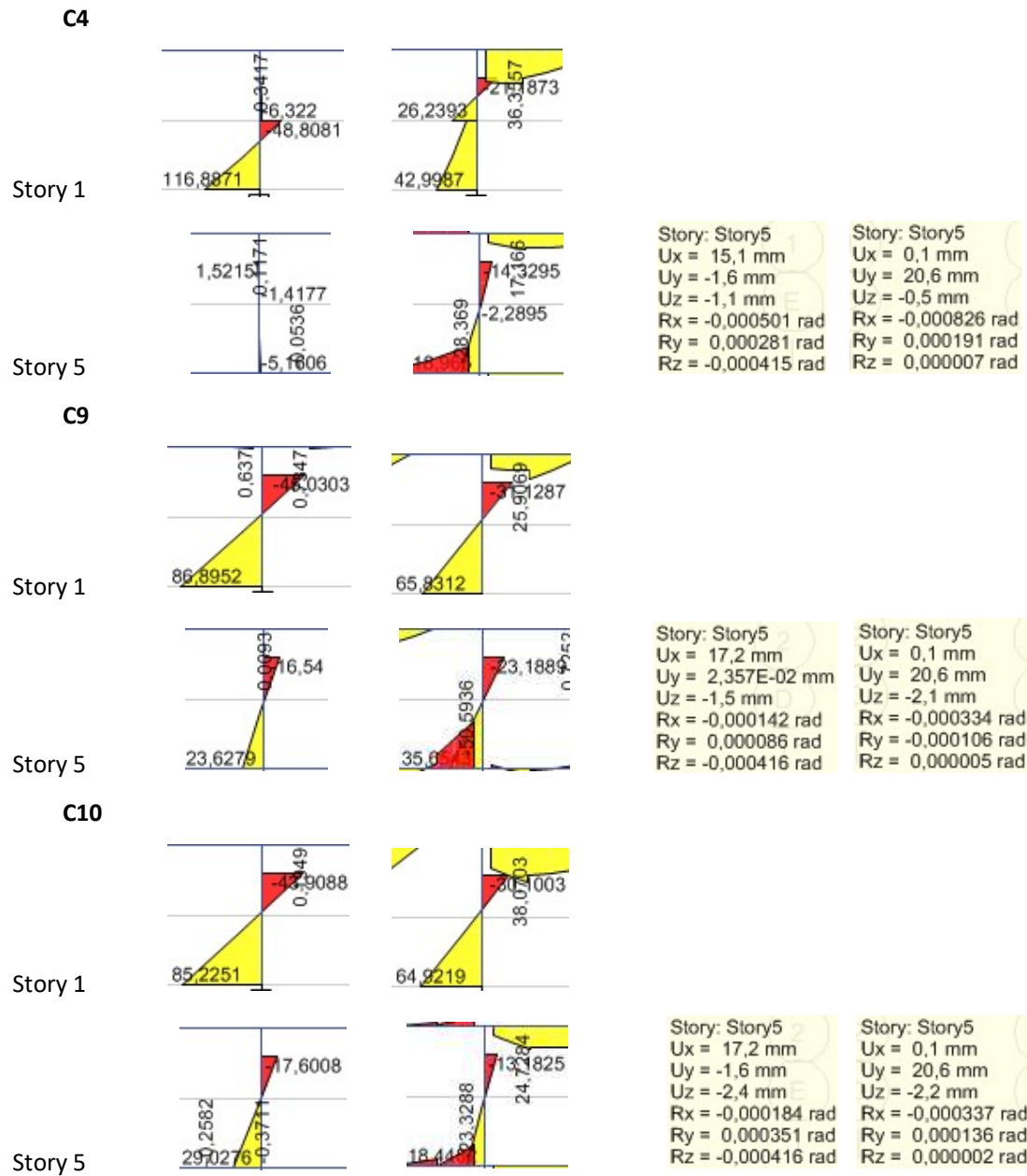


Story: Story5	Story: Story5
Ux = 21,4 mm	Ux = 4,509E-02 mm
Uy = -5,0 mm	Uy = 20,6 mm
Uz = -0,8 mm	Uz = -0,7 mm
Rx = 0,000434 rad	Rx = 0,000080 rad
Ry = 0,000010 rad	Ry = -0,000298 rad
Rz = -0,000412 rad	Rz = -4,802E-07 rad

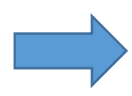
C3



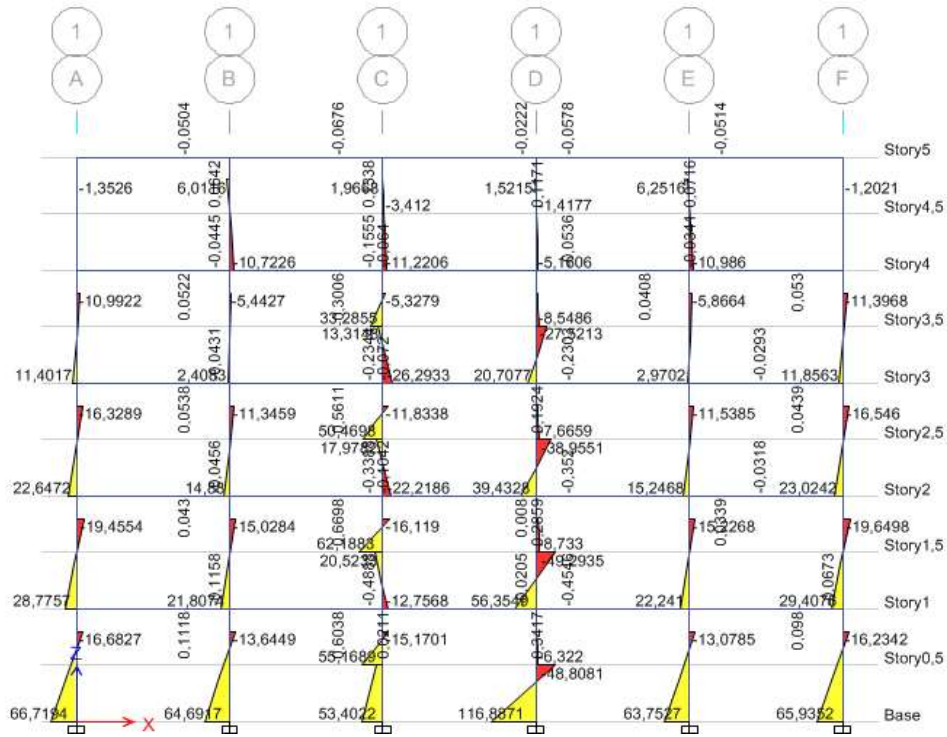
Story: Story5	Story: Story5
Ux = 15,1 mm	Ux = 0,1 mm
Uy = 2,585E-02 mm	Uy = 20,6 mm
Uz = -0,7 mm	Uz = -0,5 mm
Rx = -0,000379 rad	Rx = -0,000799 rad
Ry = -0,000042 rad	Ry = -0,000196 rad
Rz = -0,000420 rad	Rz = -3,901E-07 rad



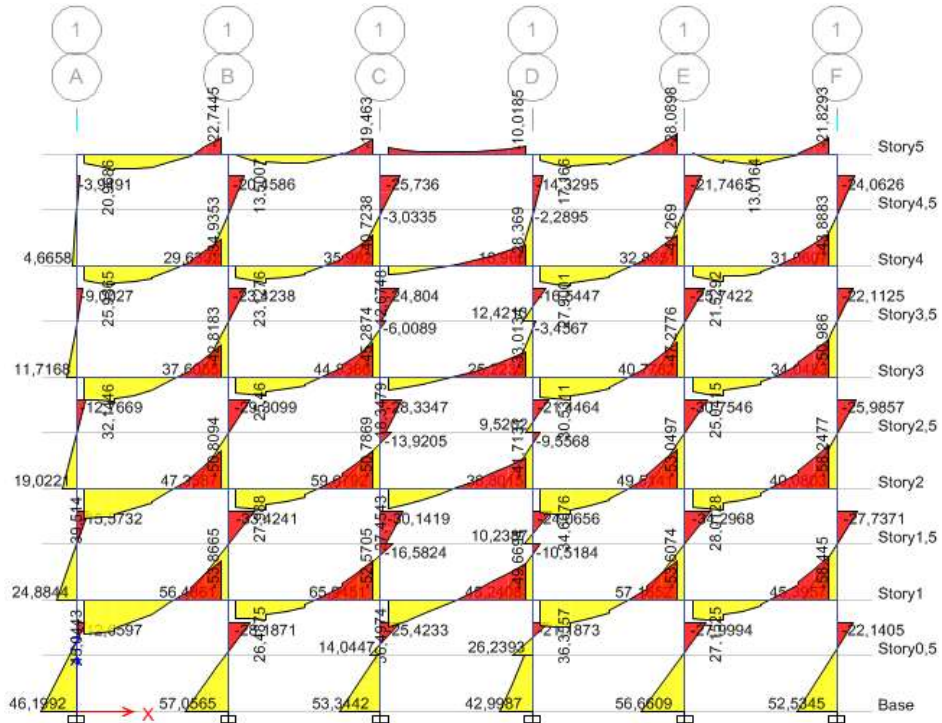
Ενδεικτικά μια ολοκληρωμένη εικόνα της 1^{ης} σειράς.



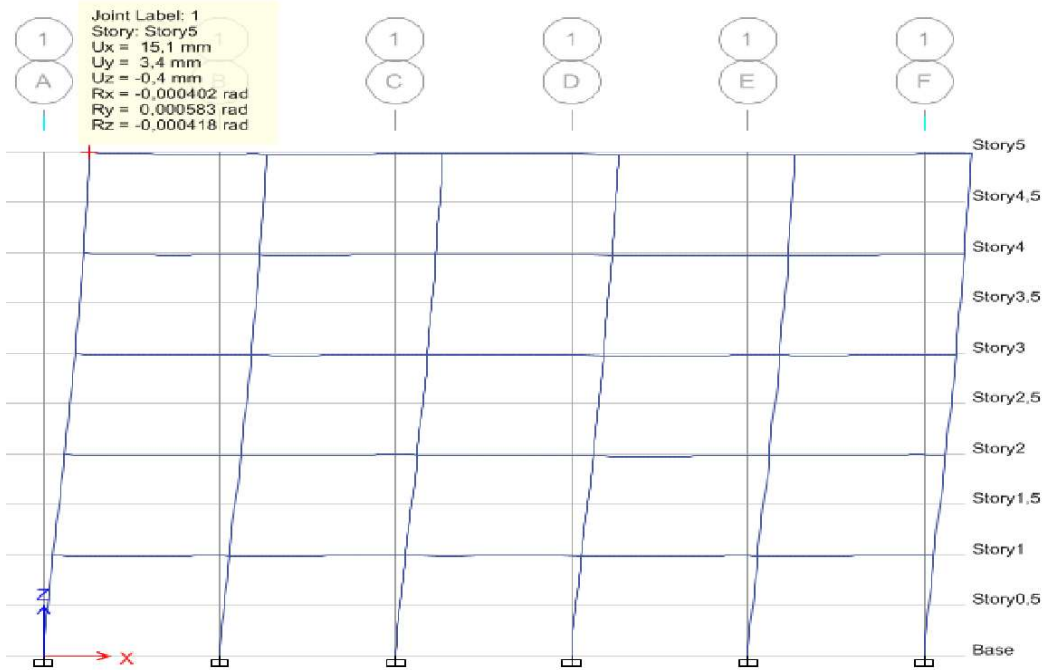
M2-2 (Comb 3)



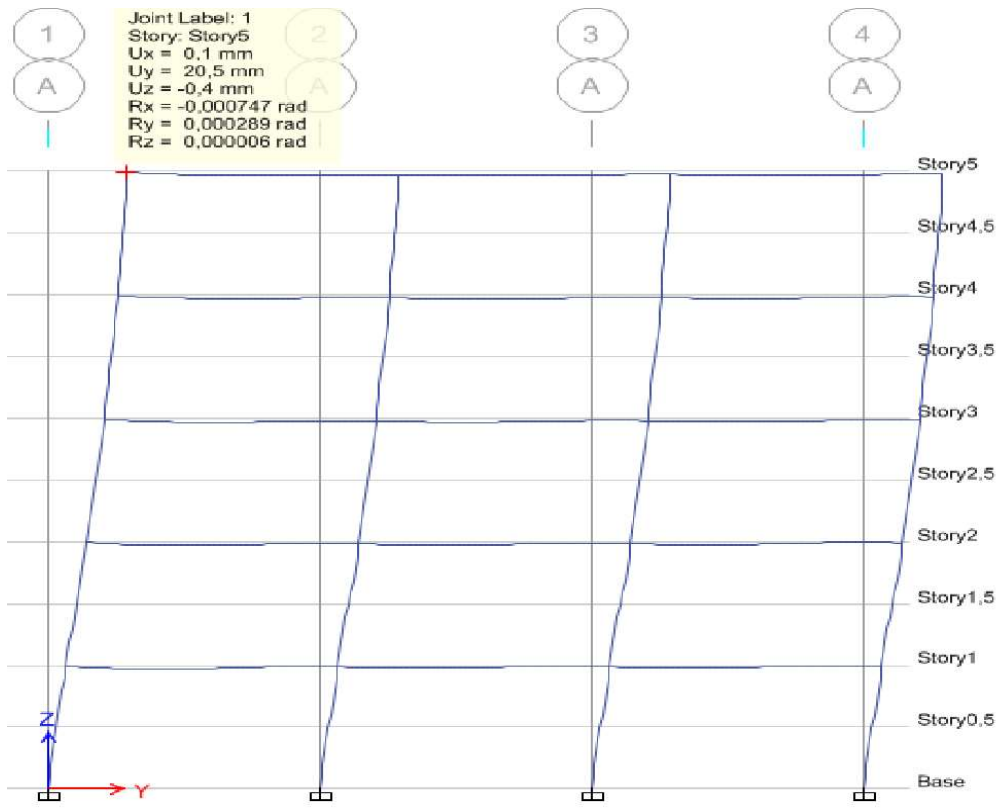
M3-3 (Comb 2)



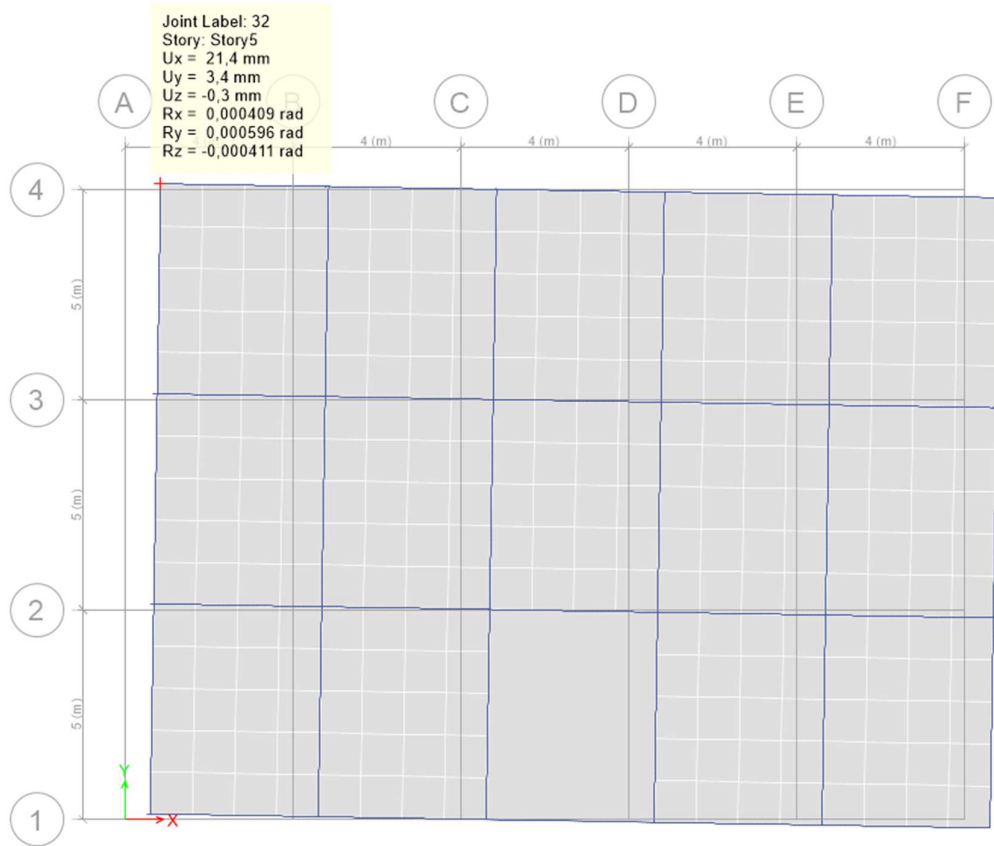
Displacements (Comb 2)



Displacements (Comb 3)

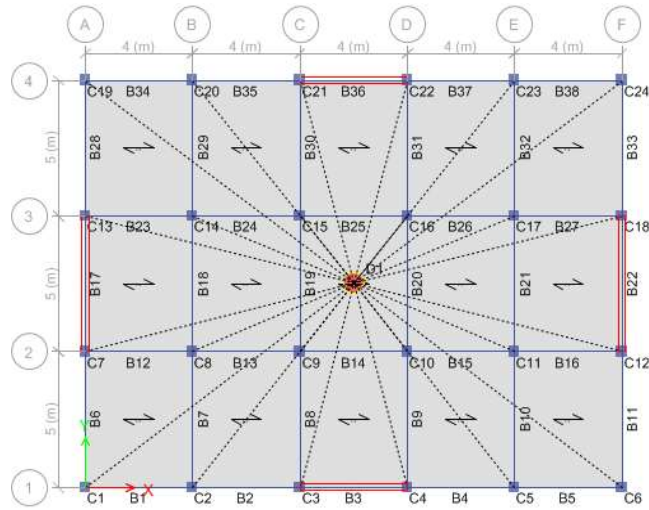


Μετακίνηση Εξ κτιρίου



4.2.3 Κτίριο 2

Στην 2^η περίπτωση παρουσιάζεται το κτίριο έχοντας την σκάλα να ακουμπάει στα υποστυλώματα και περιμετρικά του κτιρίου έχουν προστεθεί 4 τοιχώματα συμμετρικά αυτού.



M2-2 (Knm)

M3-3(Knm)

Displacements

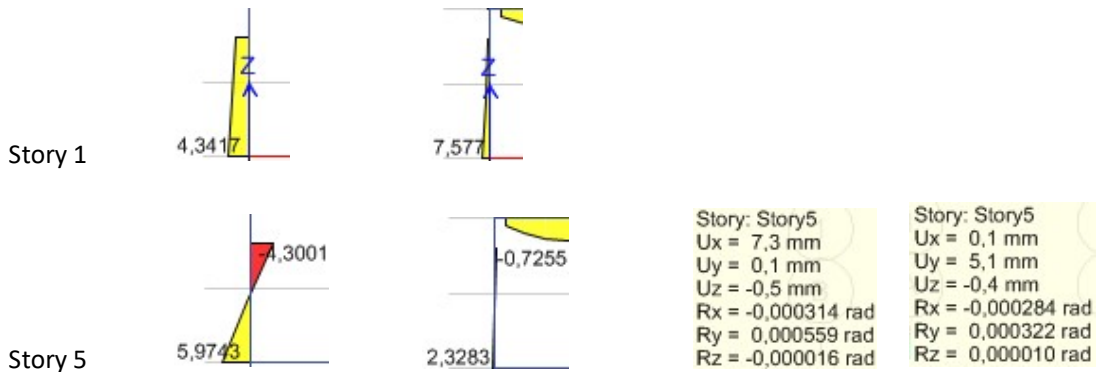
Comb3

Comb2

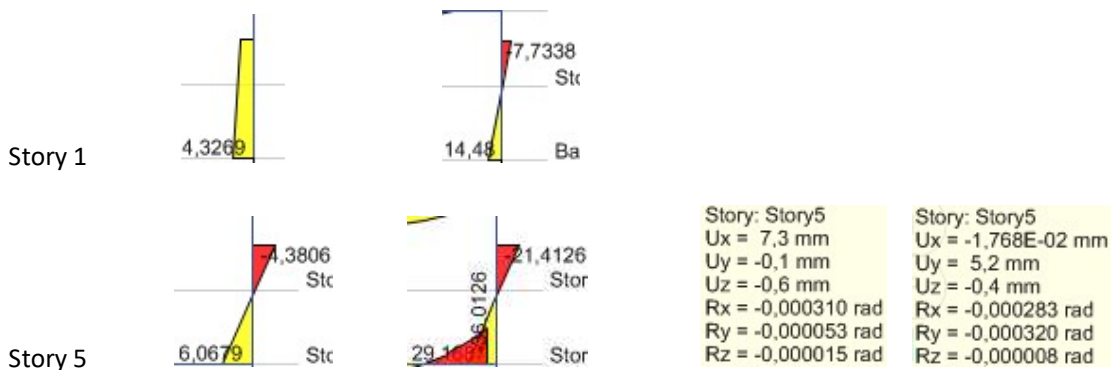
Comb2

Comb3

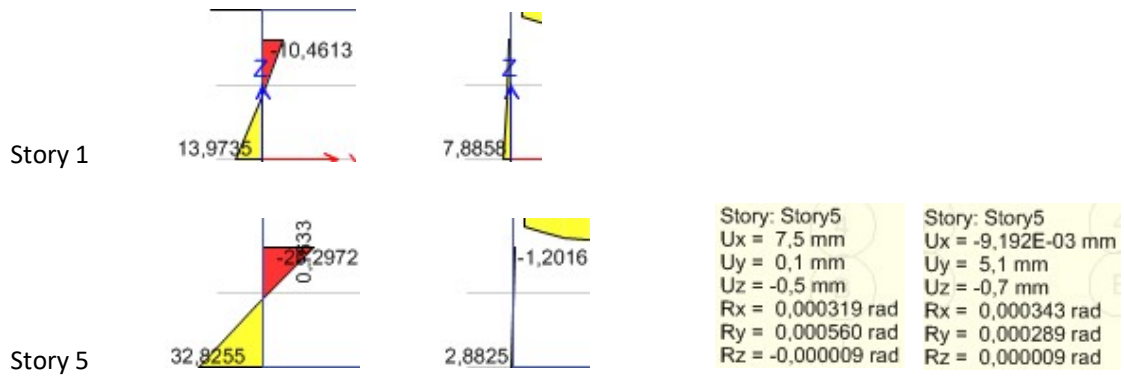
c1



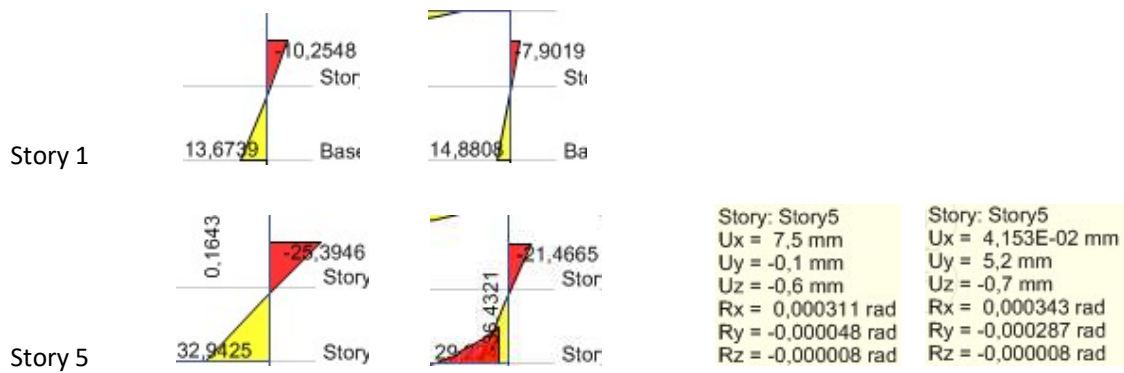
c6



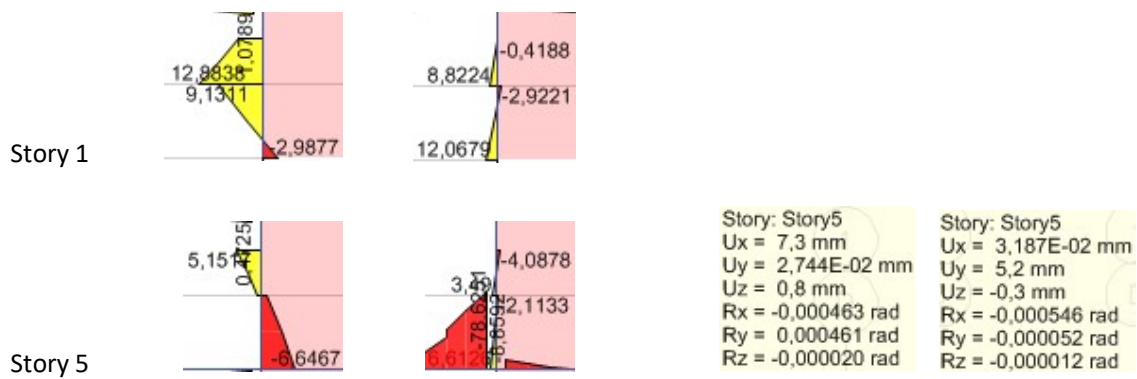
C19



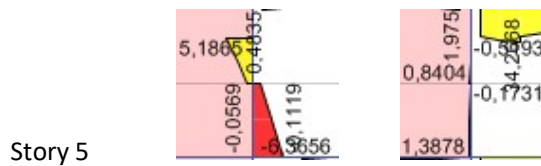
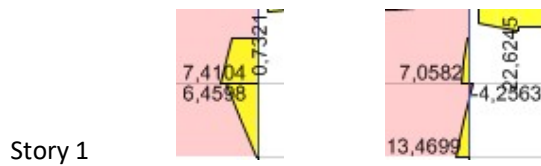
C24



C3



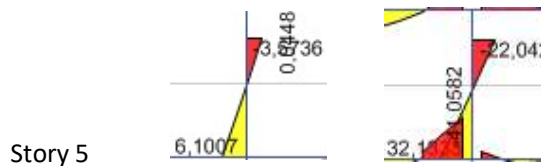
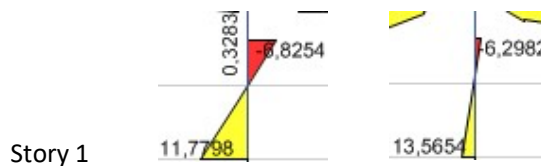
C4



Story: Story5
 Ux = 7,3 mm
 Uy = -3,018E-02 mm
 Uz = -1,5 mm
 Rx = -0,000103 rad
 Ry = 0,000572 rad
 Rz = -0,000021 rad

Story: Story5
 Ux = 2,474E-02 mm
 Uy = 5,2 mm
 Uz = -0,3 mm
 Rx = -0,000549 rad
 Ry = 0,000051 rad
 Rz = 0,000014 rad

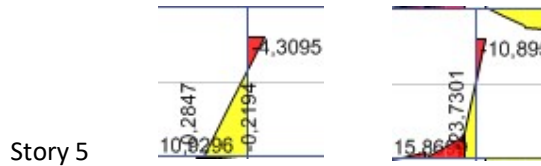
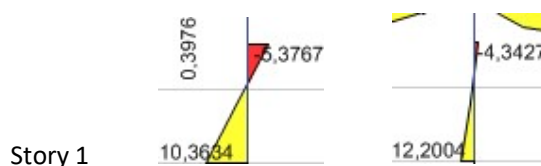
C9



Story: Story5
 Ux = 7,4 mm
 Uy = 1,989E-02 mm
 Uz = -1,5 mm
 Rx = -0,000405 rad
 Ry = -0,000051 rad
 Rz = -0,000013 rad

Story: Story5
 Ux = 2,942E-02 mm
 Uy = 5,2 mm
 Uz = -2,0 mm
 Rx = -0,000312 rad
 Ry = -0,000146 rad
 Rz = 0,000008 rad

C10



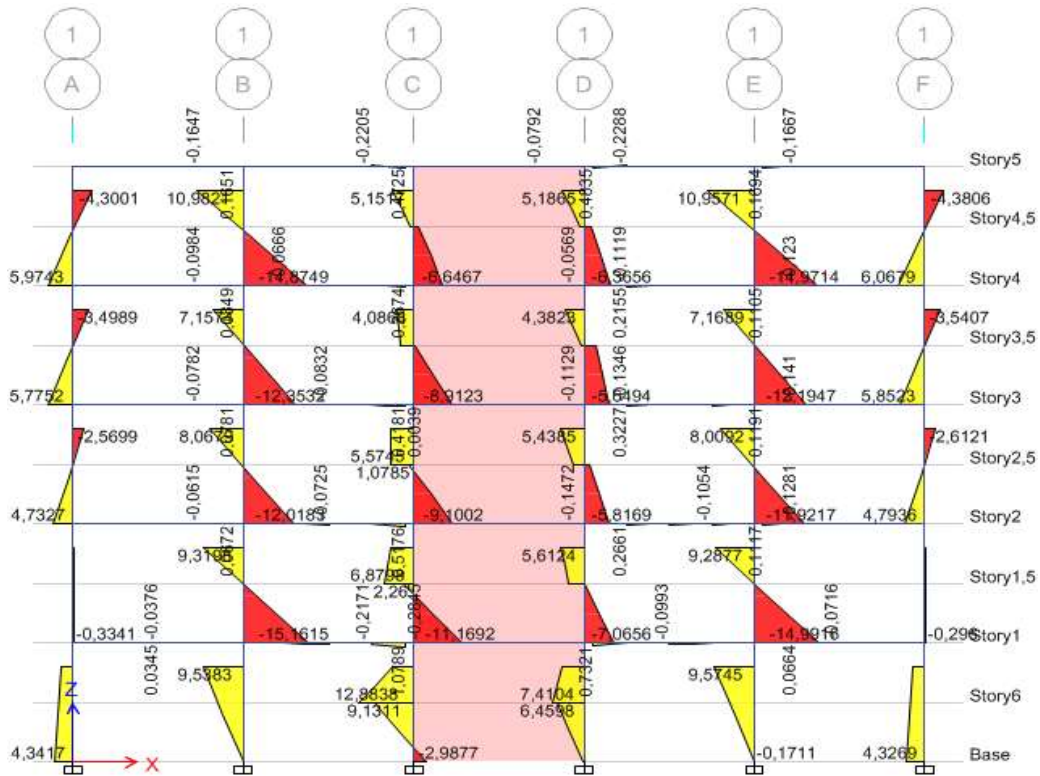
Story: Story5
 Ux = 7,4 mm
 Uy = -3,294E-02 mm
 Uz = -2,1 mm
 Rx = -0,000113 rad
 Ry = 0,000264 rad
 Rz = -0,000013 rad

Story: Story5
 Ux = 1,856E-02 mm
 Uy = 5,2 mm
 Uz = -2,0 mm
 Rx = -0,000325 rad
 Ry = 0,000162 rad
 Rz = -0,000007 rad

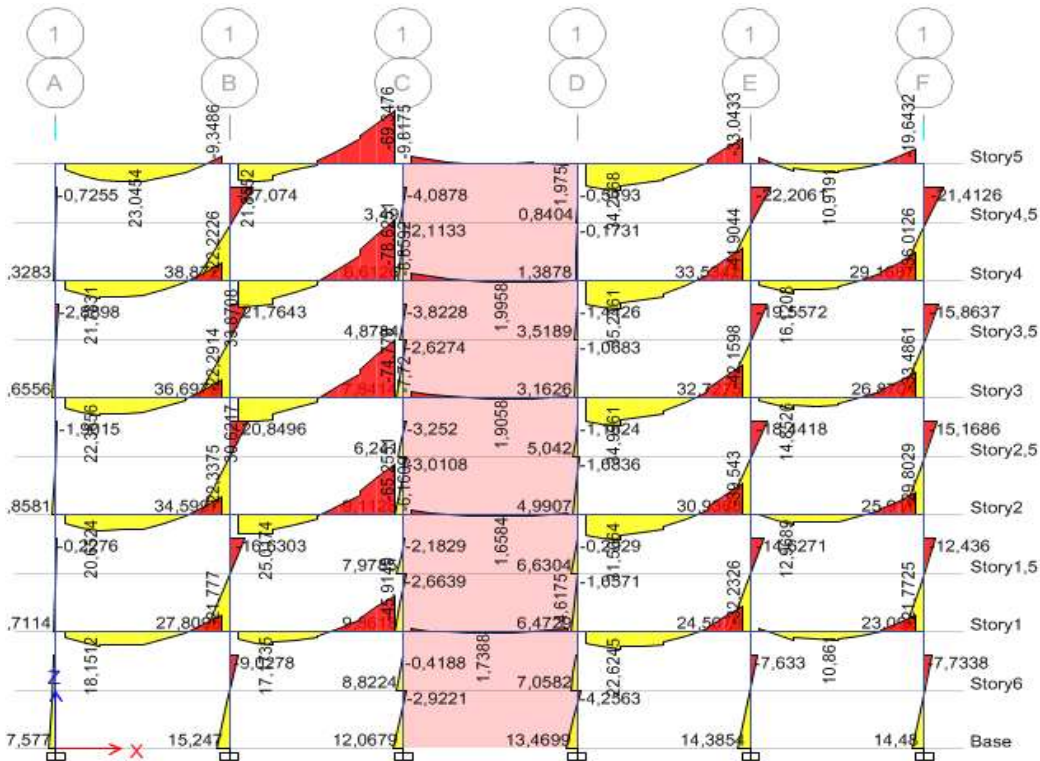
Ενδεικτικά μια ολοκληρωμένη εικόνα της 1^{ης} σειράς.



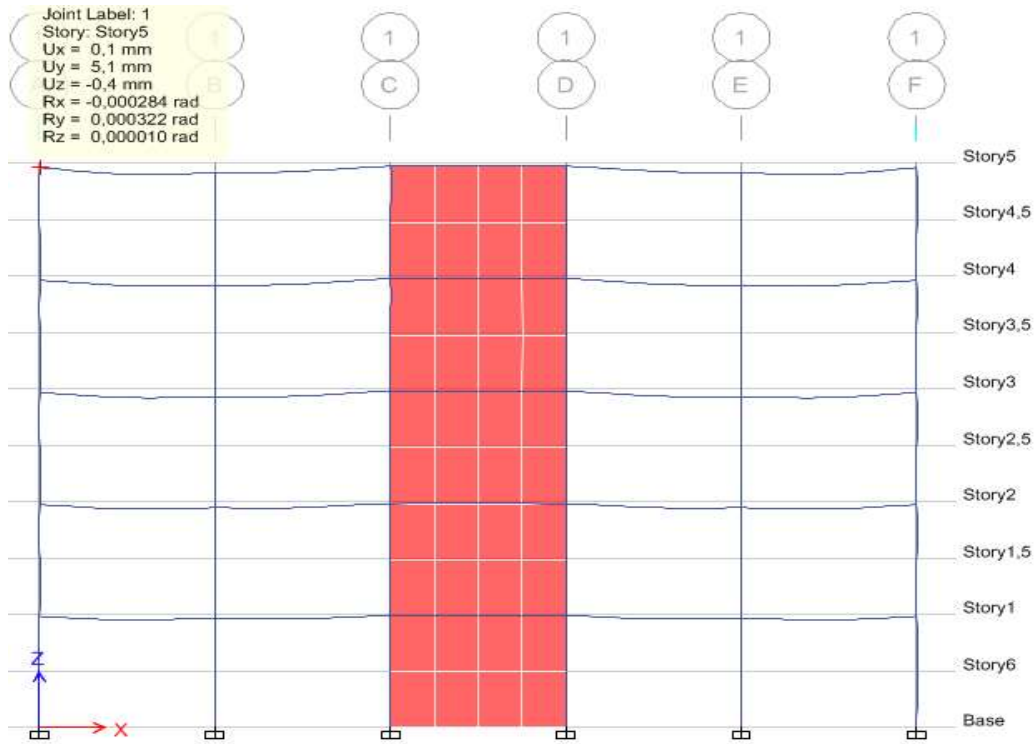
M2-2 (Comb 3)



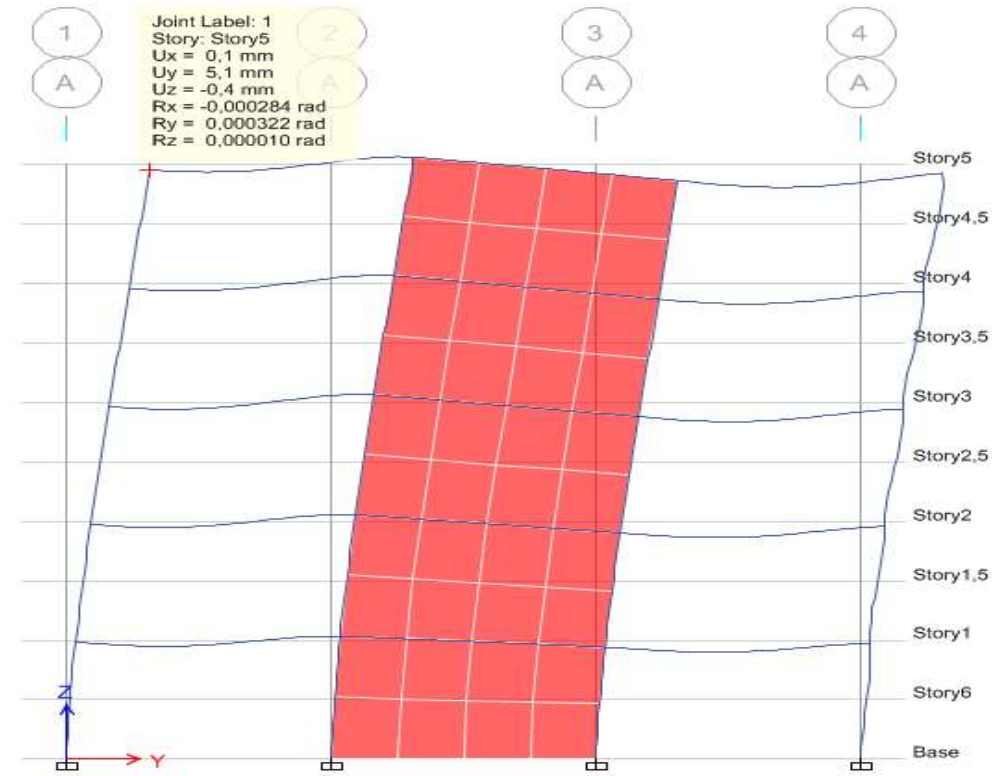
M3-3 (Comb 2)



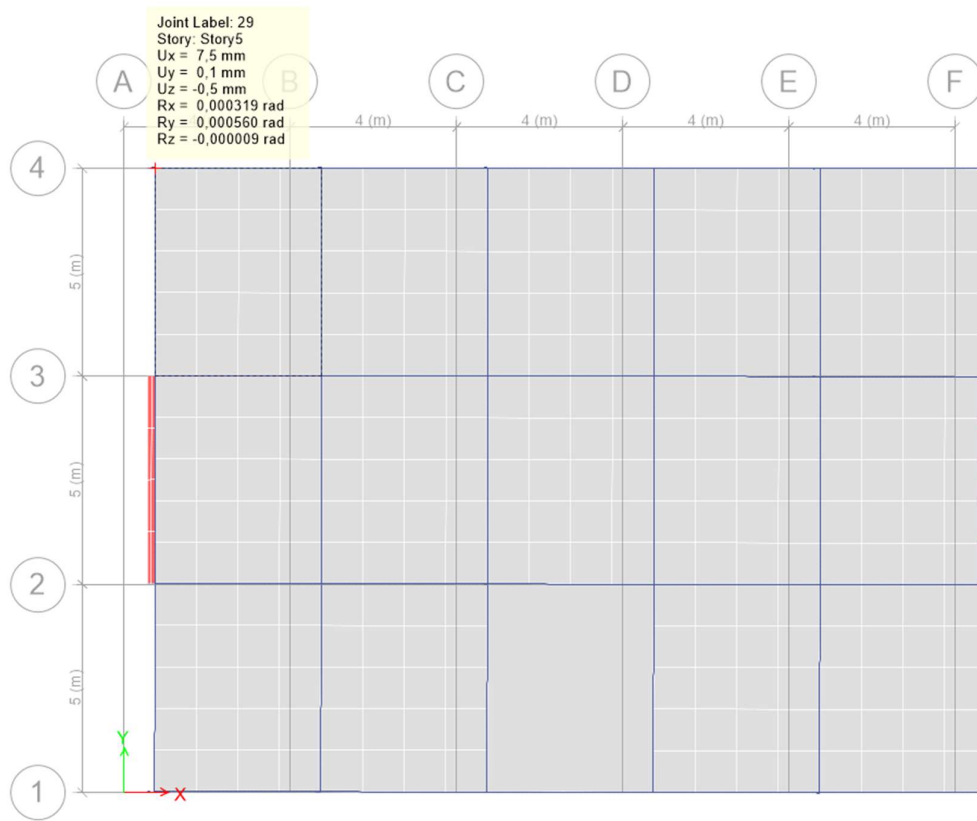
Displacements (Comb 2)



Displacements (Comb 3)

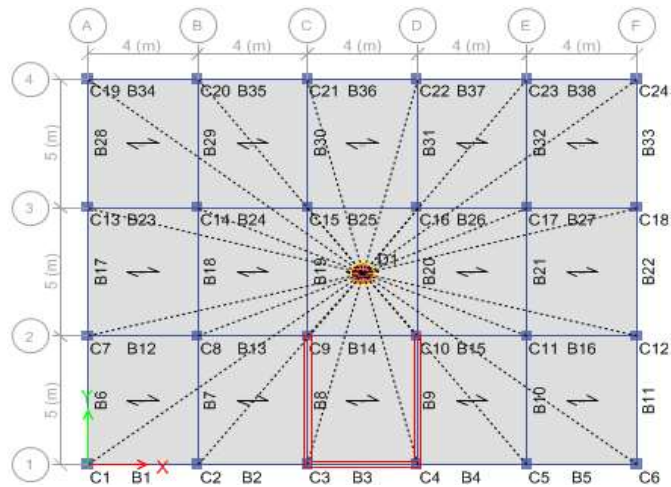


Μετακίνηση Εξ κτιρίου



4.2.4 Κτίριο 3

Σε αυτή την περίπτωση εξετάστηκε το κτίριο 0 έχοντας προσθέσει περιμετρικά του κλιμακοστασίου 3 τοιχώματα.



M2-2 (Knm)

M3-3(Knm)

Displacements

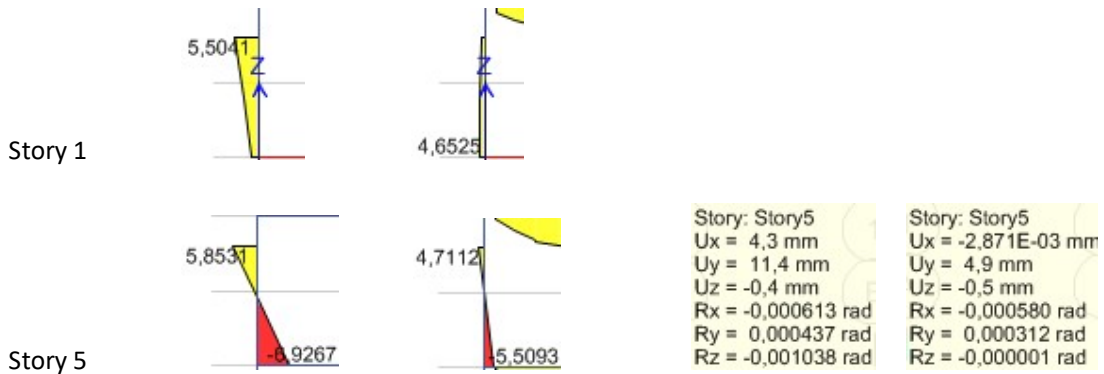
Comb3

Comb2

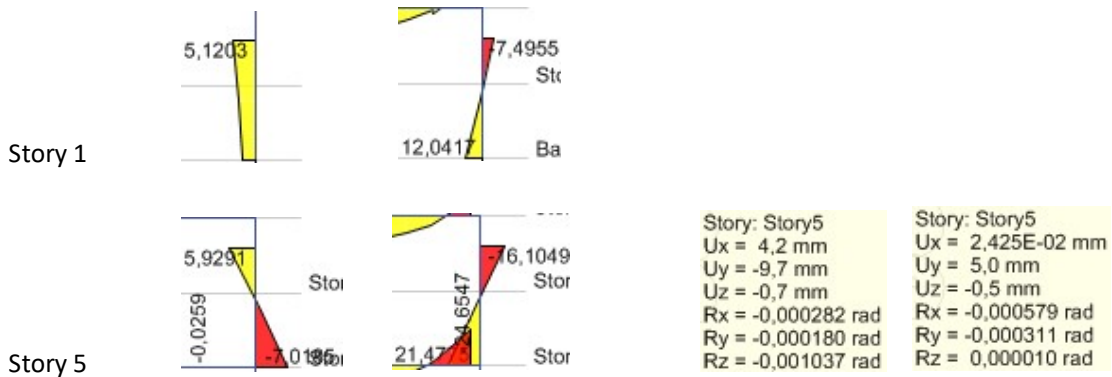
Comb2

Comb3

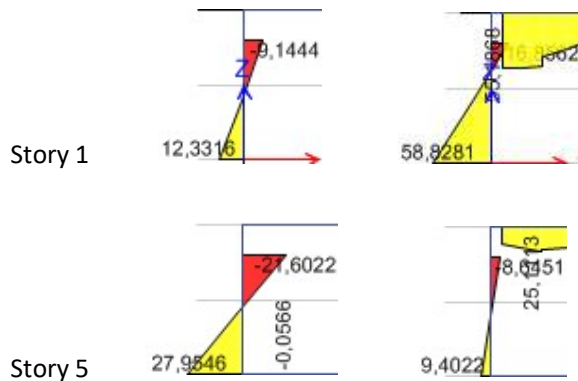
C1



C6

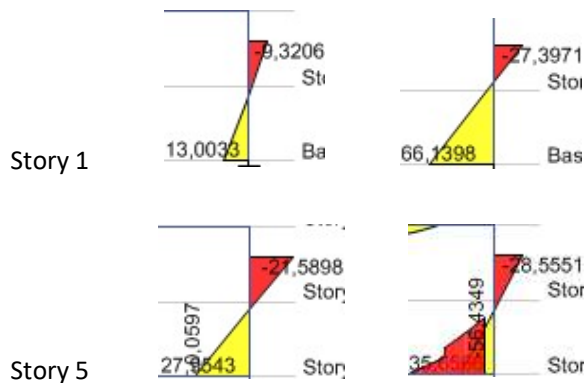


C19



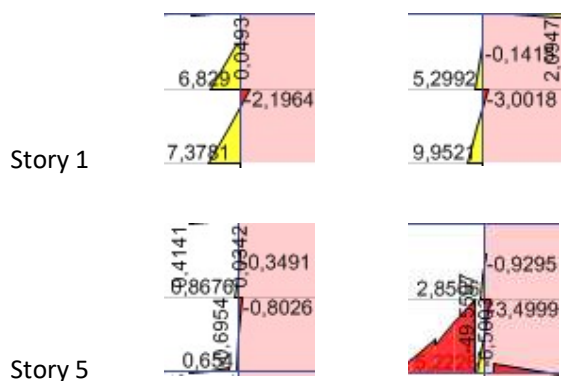
Story: Story5	Story: Story5
Ux = 20,1 mm	Ux = -3,521E-02 mm
Uy = 11,4 mm	Uy = 4,9 mm
Uz = -0,4 mm	Uz = -0,6 mm
Rx = 0,000199 rad	Rx = 0,000243 rad
Ry = 0,000660 rad	Ry = 0,000297 rad
Rz = -0,001031 rad	Rz = 0,000004 rad

C24



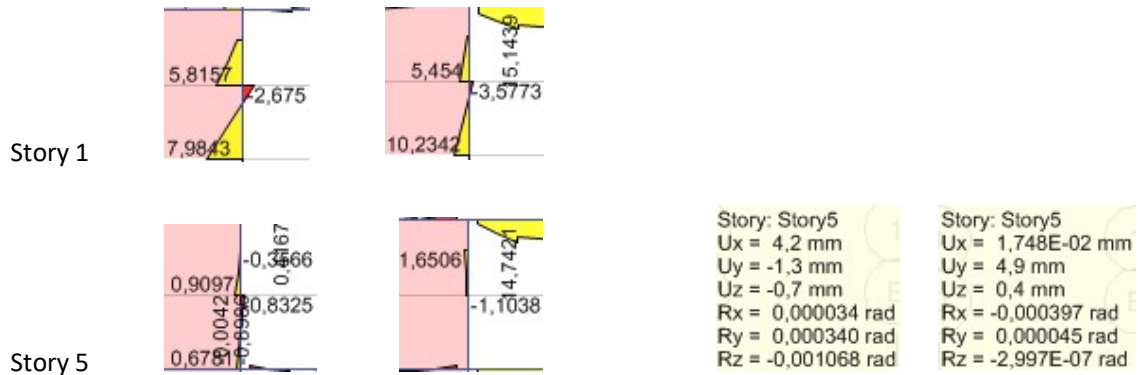
Story: Story5	Story: Story5
Ux = 20,0 mm	Ux = -0,1 mm
Uy = -9,7 mm	Uy = 5,0 mm
Uz = -0,7 mm	Uz = -0,6 mm
Rx = 0,000557 rad	Rx = 0,000243 rad
Ry = 0,000072 rad	Ry = -0,000294 rad
Rz = -0,001033 rad	Rz = 0,000004 rad

C3

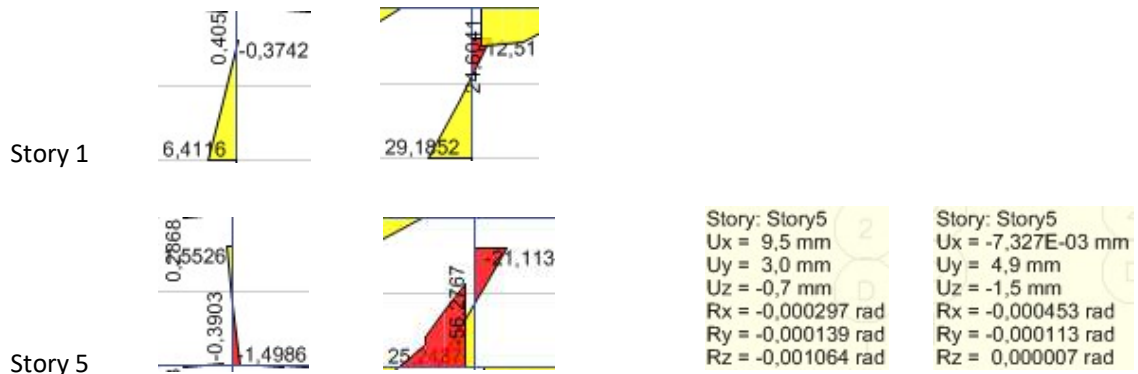


Story: Story5	Story: Story5
Ux = 4,2 mm	Ux = 4,120E-03 mm
Uy = 3,0 mm	Uy = 4,9 mm
Uz = 0,4 mm	Uz = 0,4 mm
Rx = -0,000212 rad	Rx = -0,000391 rad
Ry = 0,000260 rad	Ry = -0,000047 rad
Rz = -0,001071 rad	Rz = 0,000009 rad

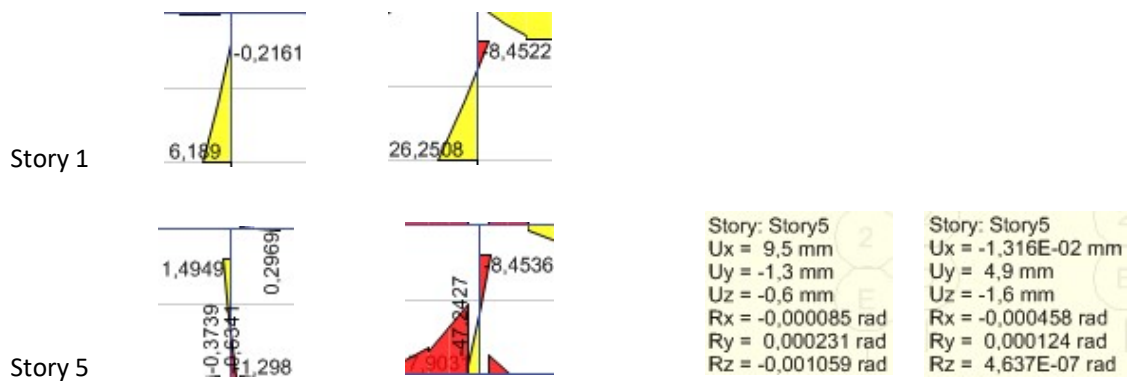
C4



C9



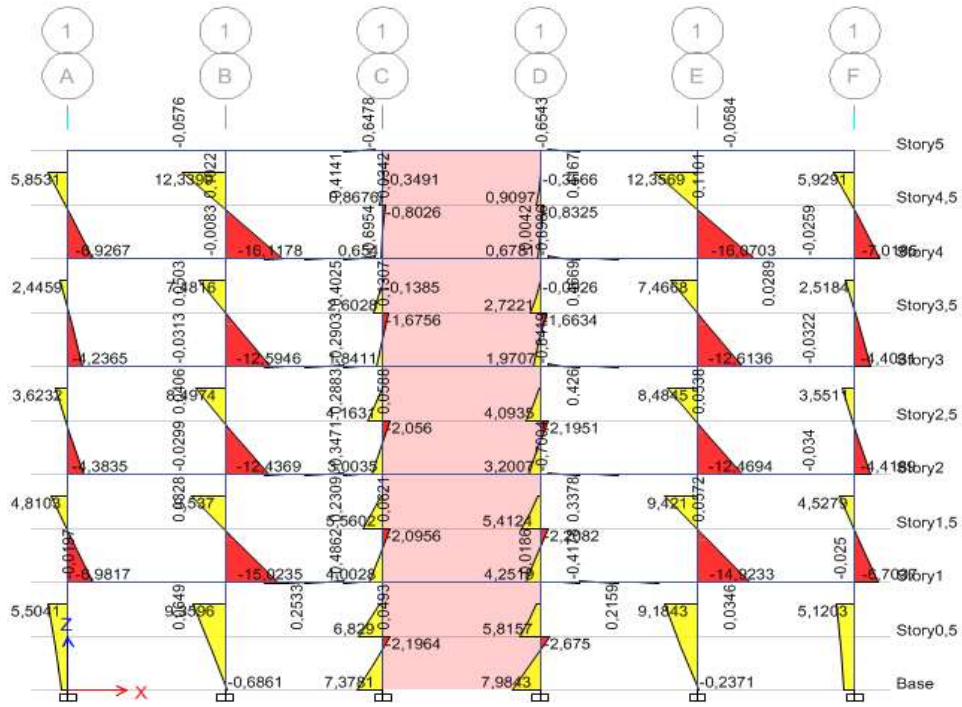
C10



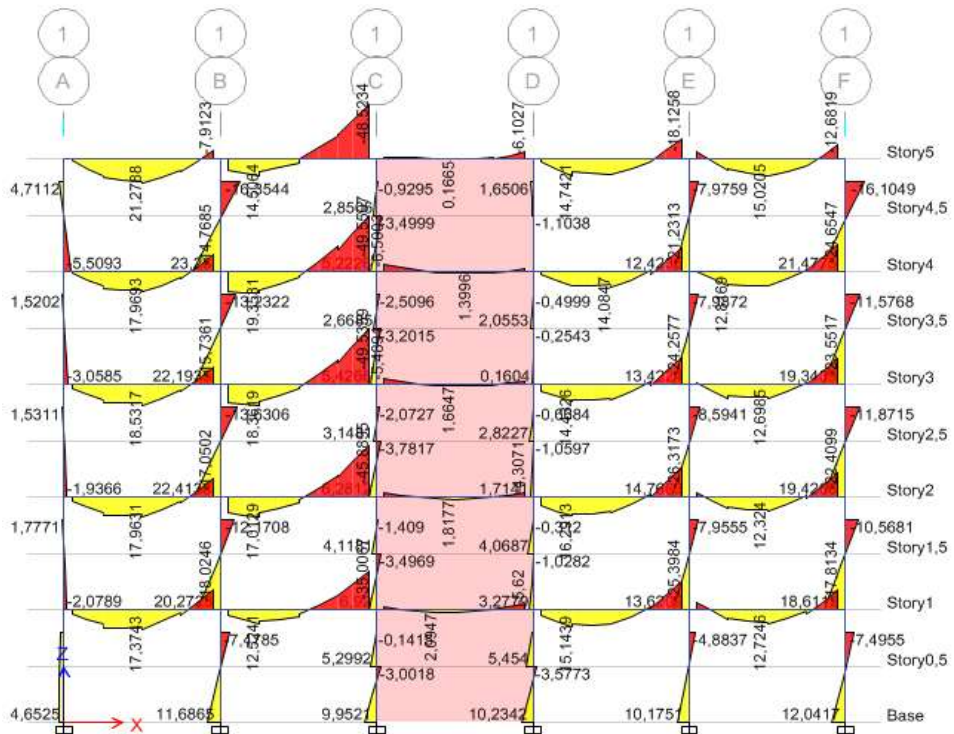
Ενδεικτικά μια ολοκληρωμένη εικόνα της 1^{ης} σειράς.



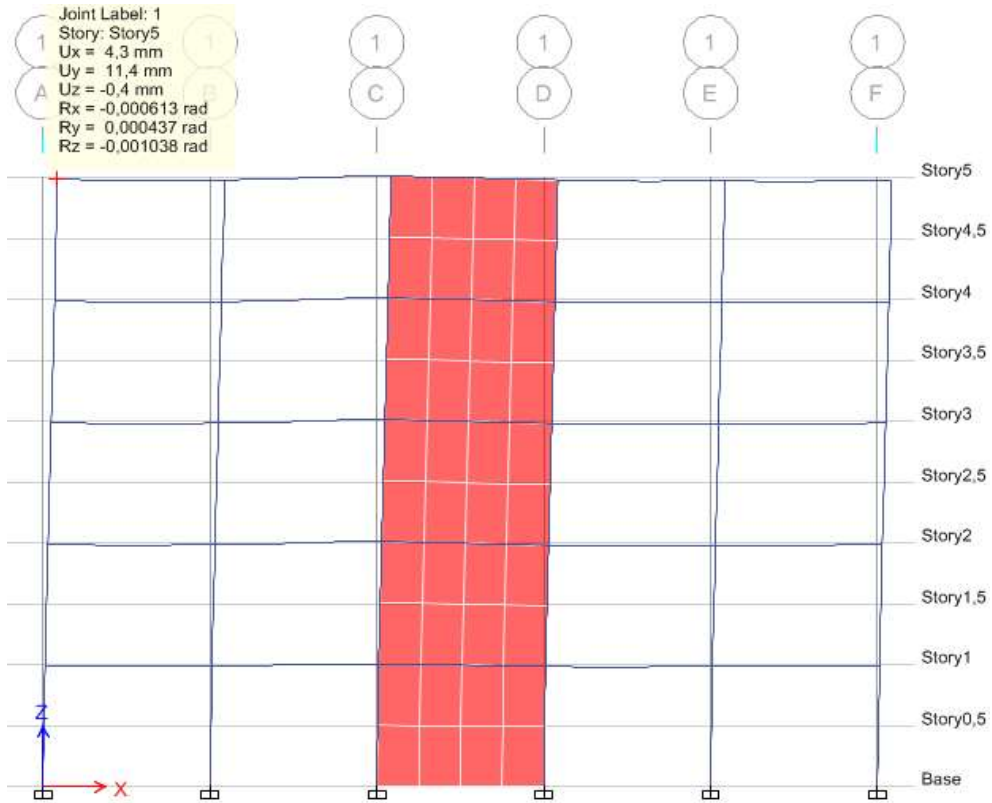
M2-2 (Comb 3)



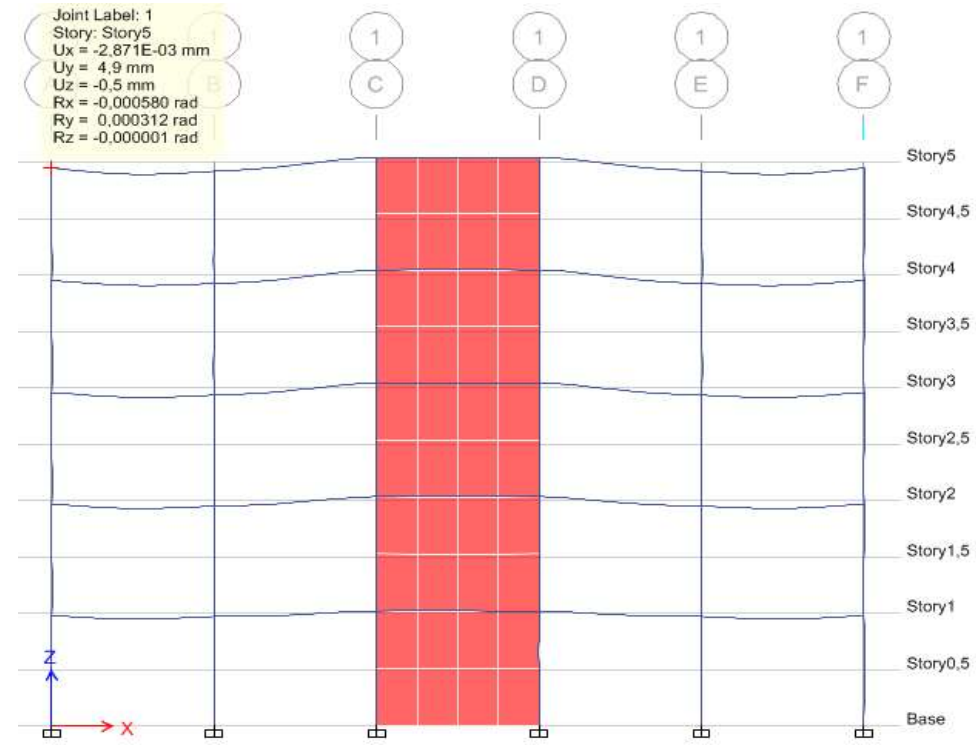
M3-3 (Comb 2)



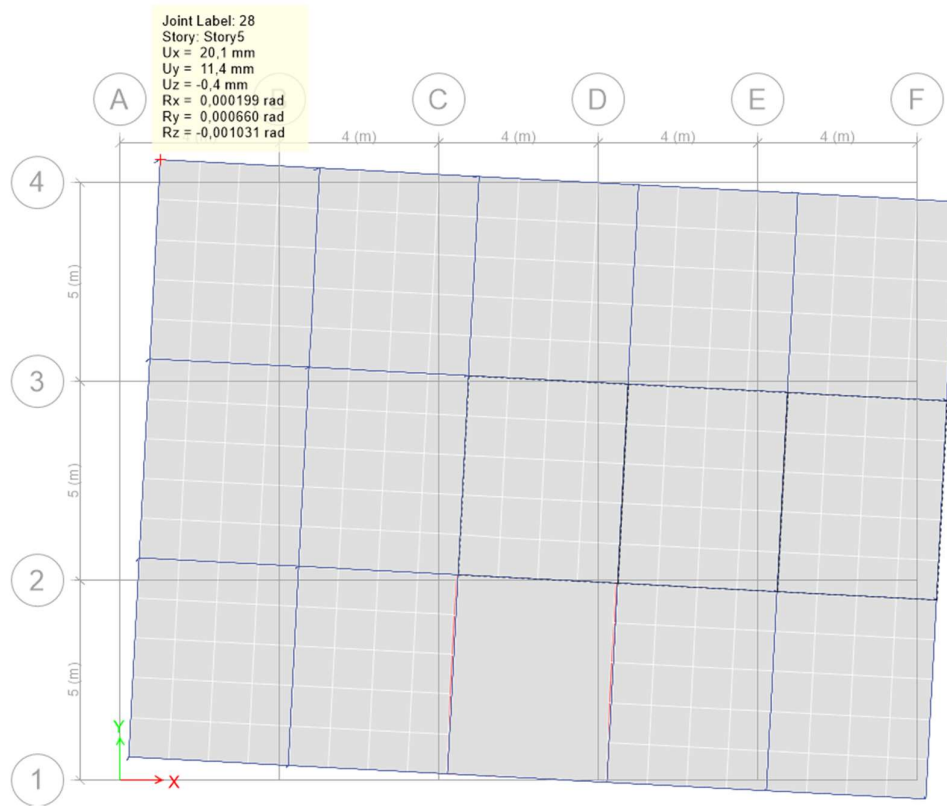
Displacements (Comb 2)



Displacements (Comb 3)

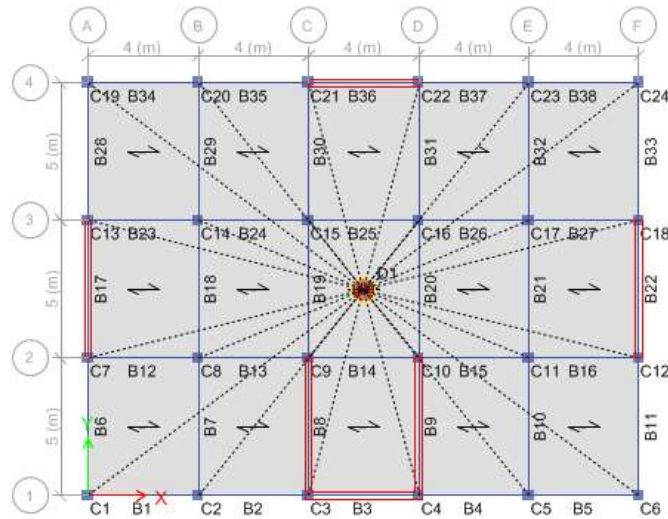


Μετακίνηση Εξ κτιρίου



4.2.5 Κτίριο 4

Εδώ παρουσιάζεται το κτίριο 3 στο οποίο έχει προστεθεί περιμετρικά 3 τοιχώματα συμμετρικά του κτιρίου.



M2-2 (Knm)

M3-3(Knm)

Displacements

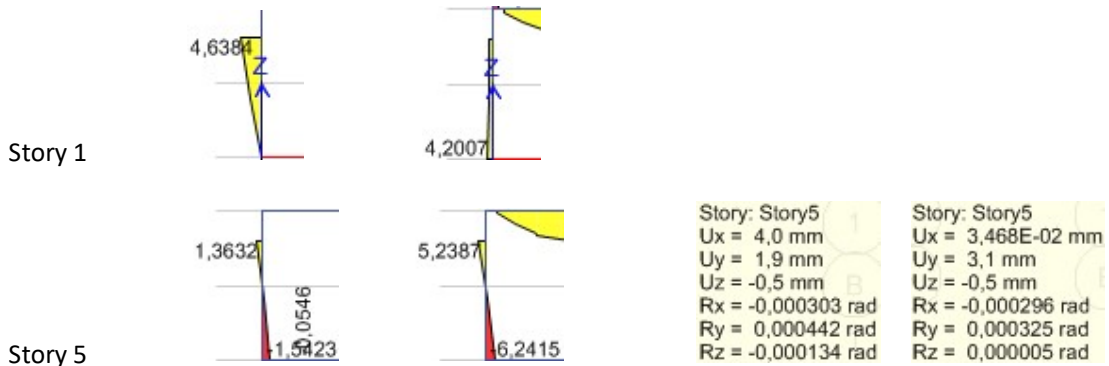
Comb3

Comb2

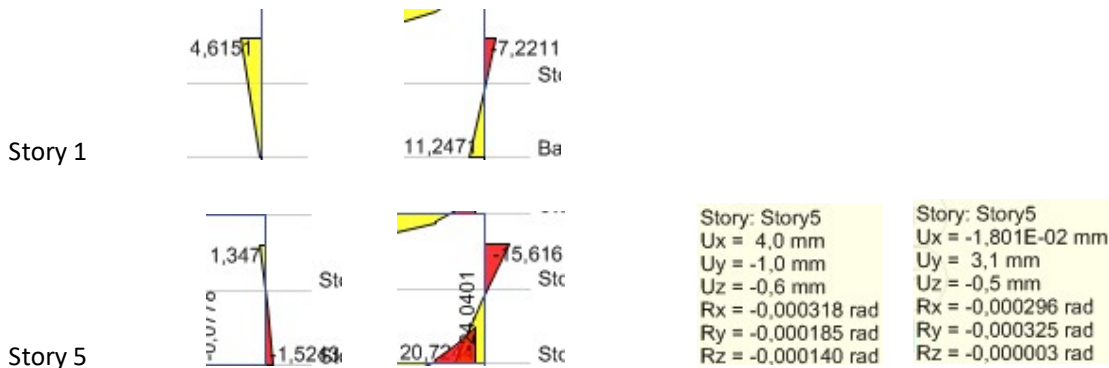
Comb2

Comb3

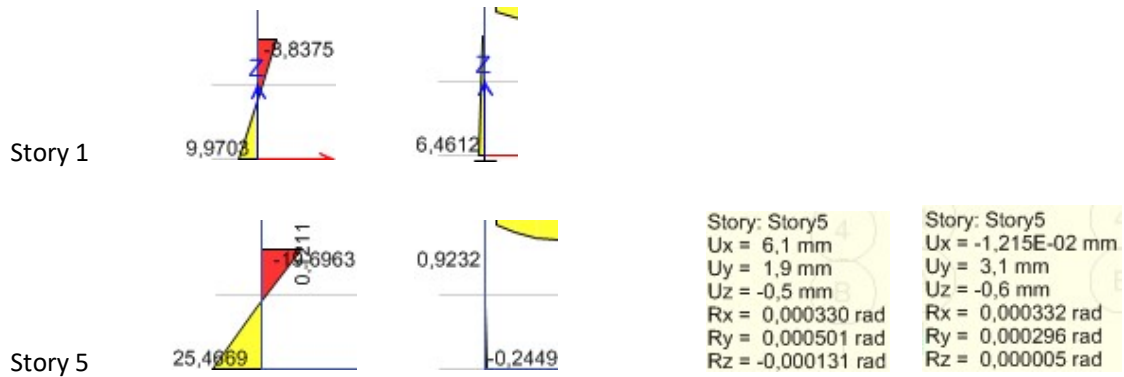
C1



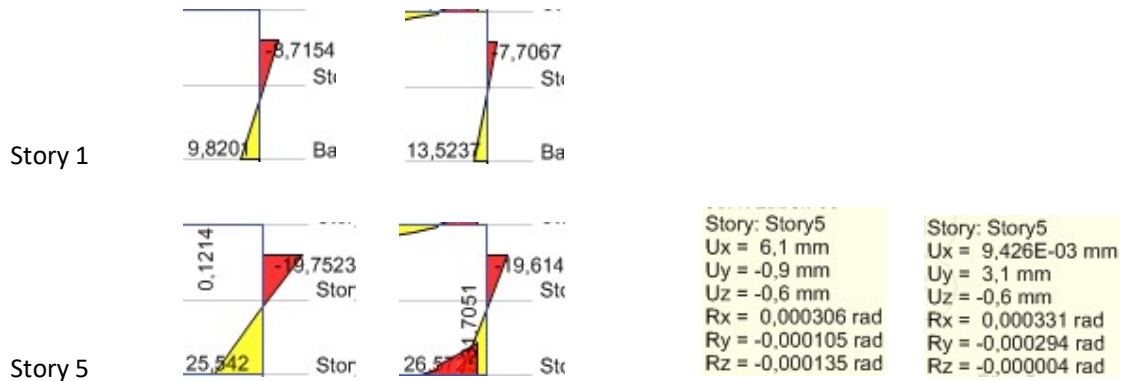
C6



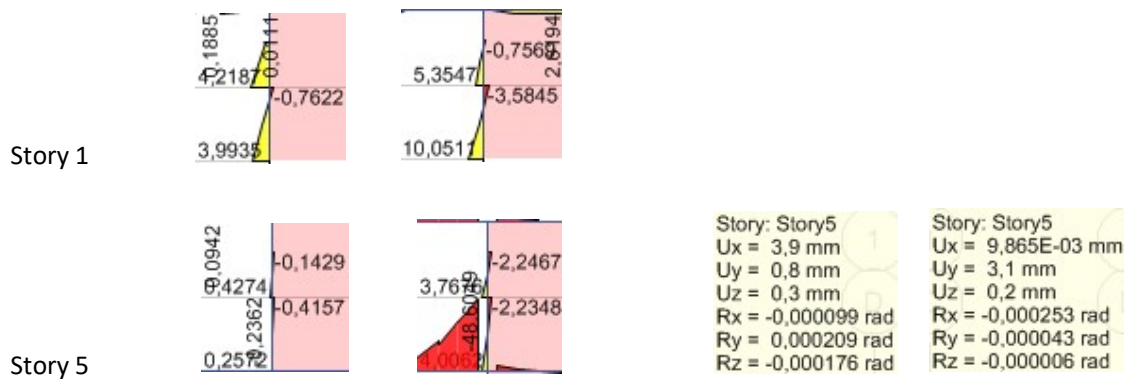
C19



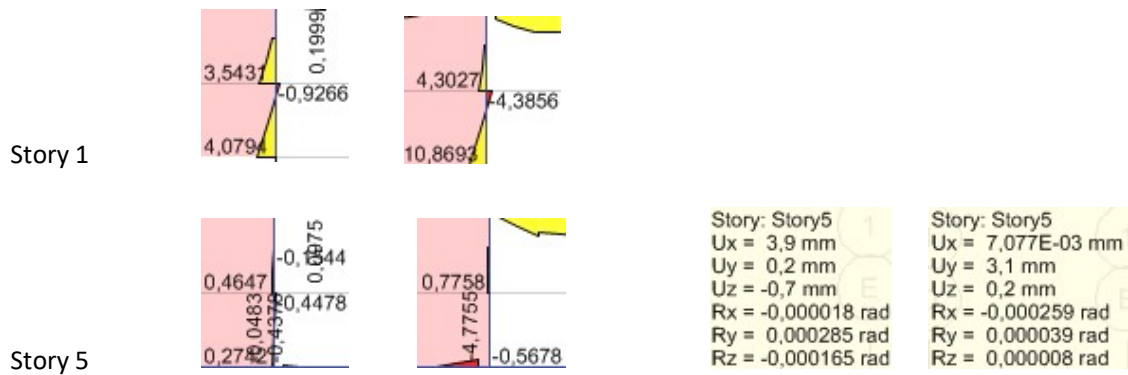
C24



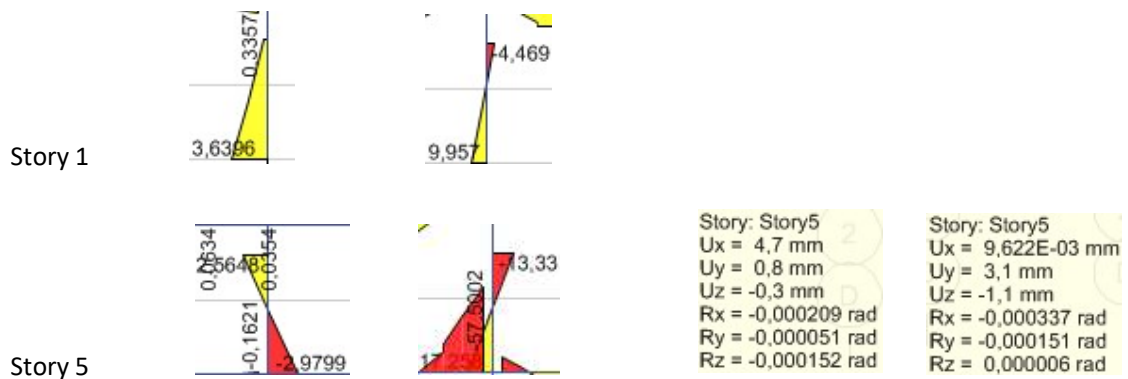
C3



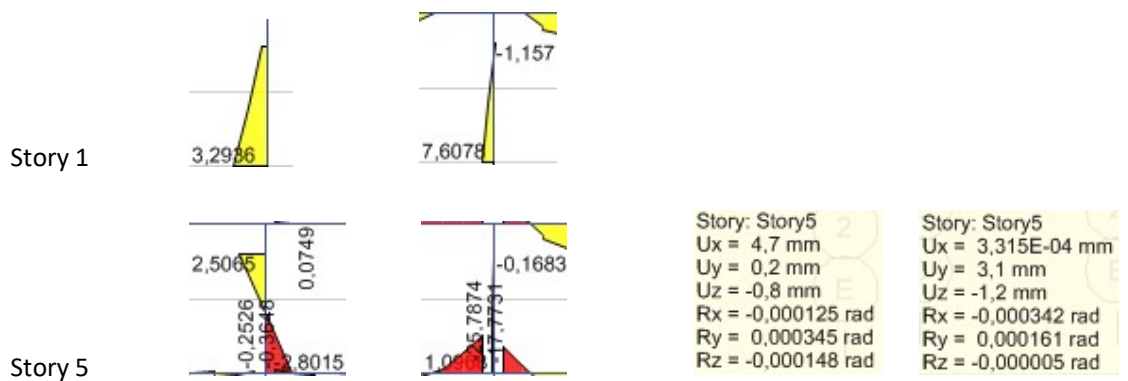
C4



C9



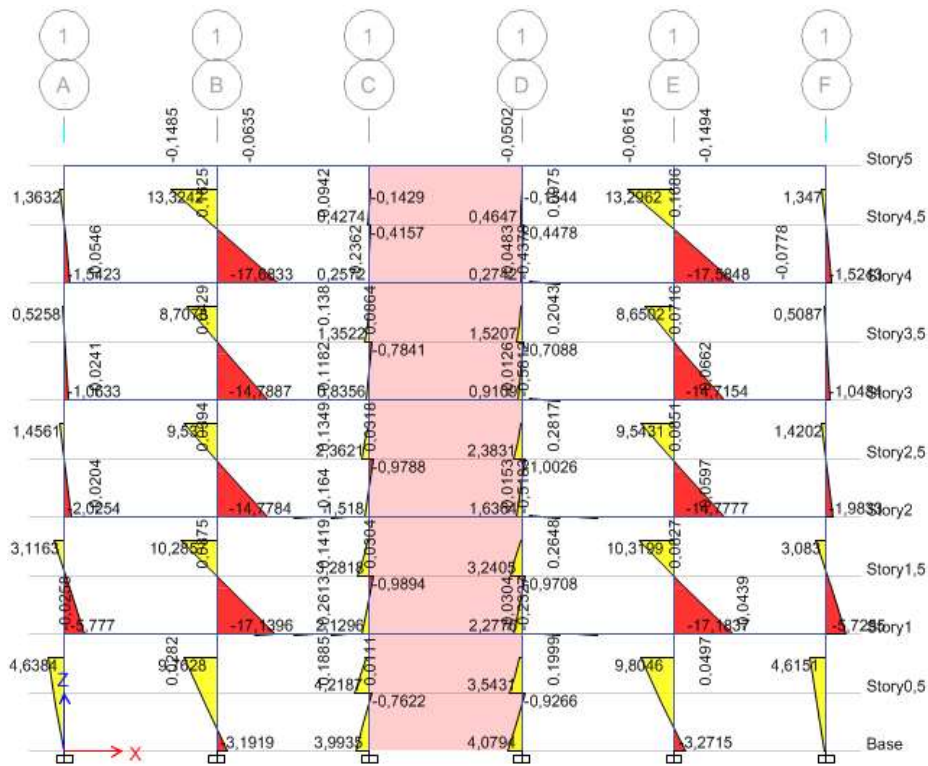
C10



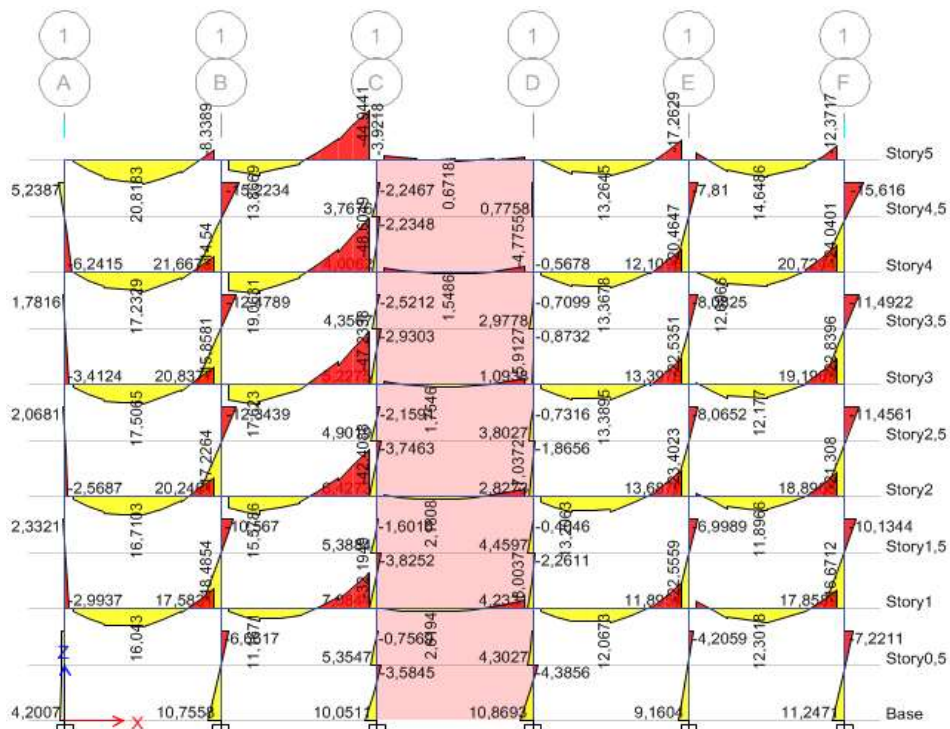
Ενδεικτικά μια ολοκληρωμένη εικόνα της 1^{ης} σειράς.



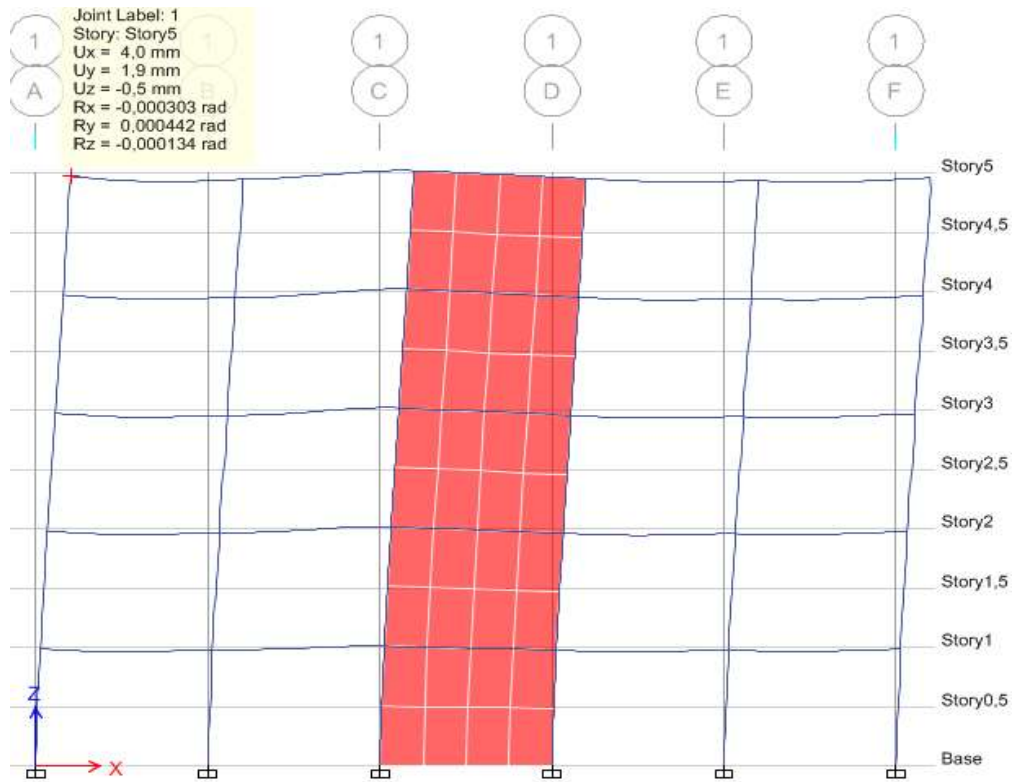
M2-2 (Comb 3)



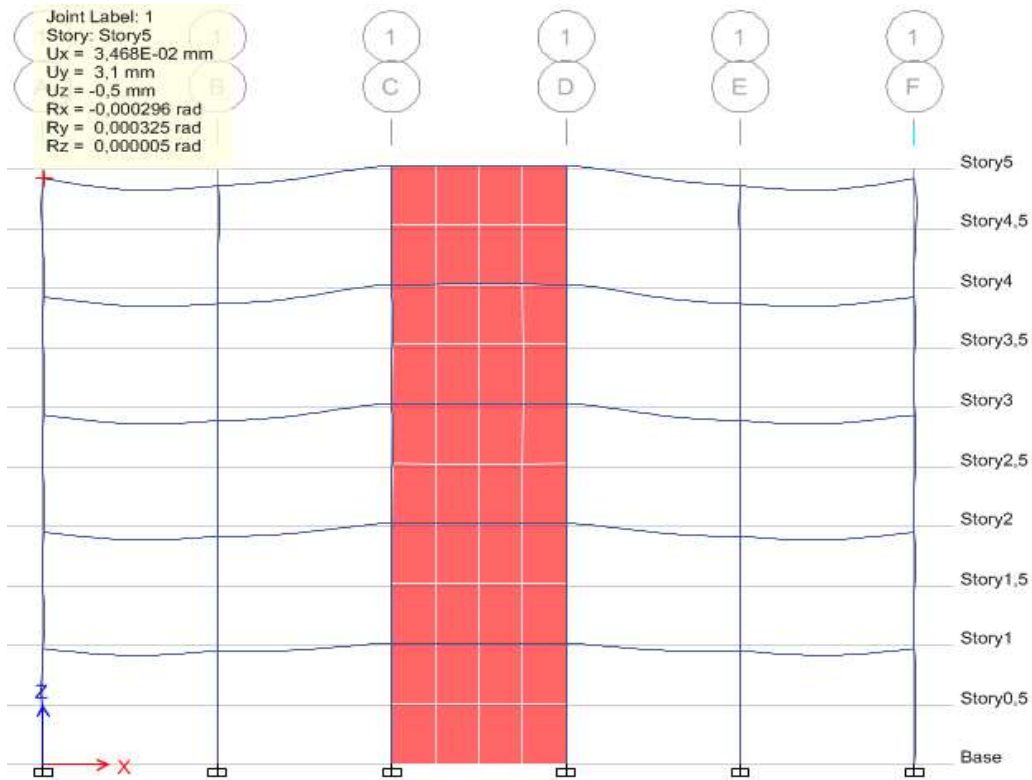
M3-3 (Comb 2)



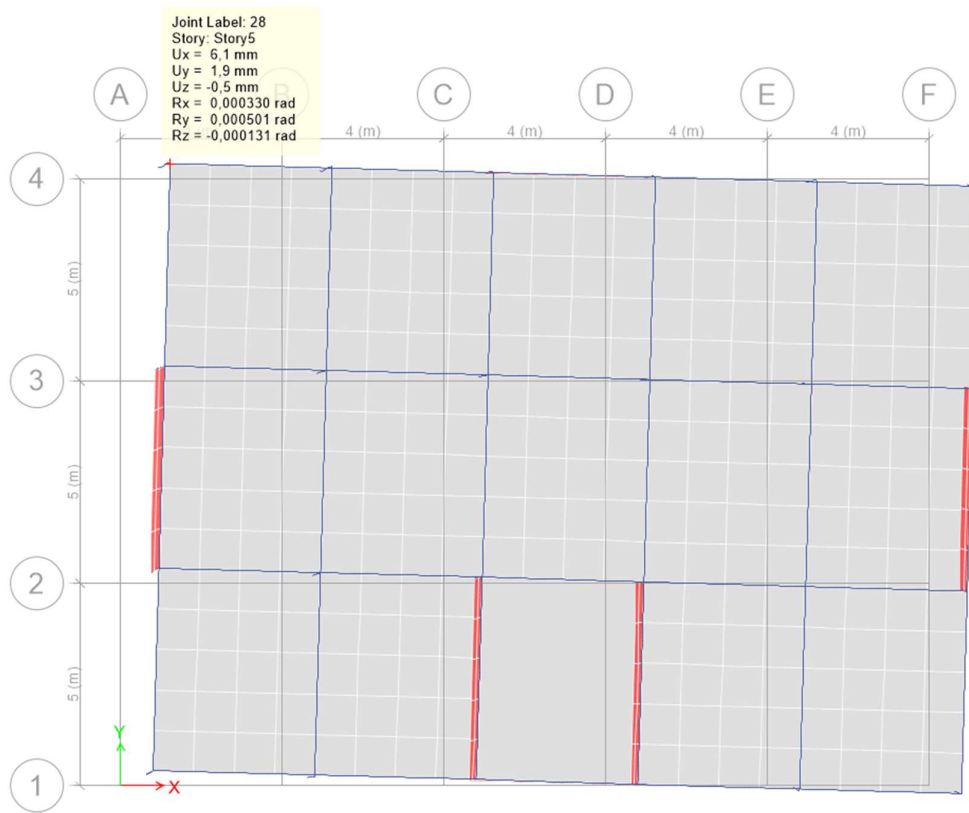
Displacements (Comb 2)



Displacements (Comb 3)

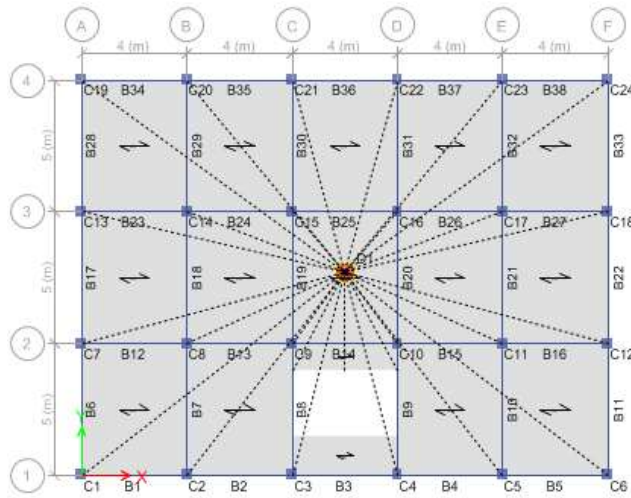


Μετακίνηση Εξ κτιρίου



4.2.6 Κτίριο 5

Τέλος, το τελευταίο κτίριο που παρουσιάζεται και εξετάστηκε είναι το κτίριο 1 στο οποίο η σκάλα δεν ακουμπάει στα υποστυλώματα.



M2-2 (Knm)

M3-3(Knm)

Displacements

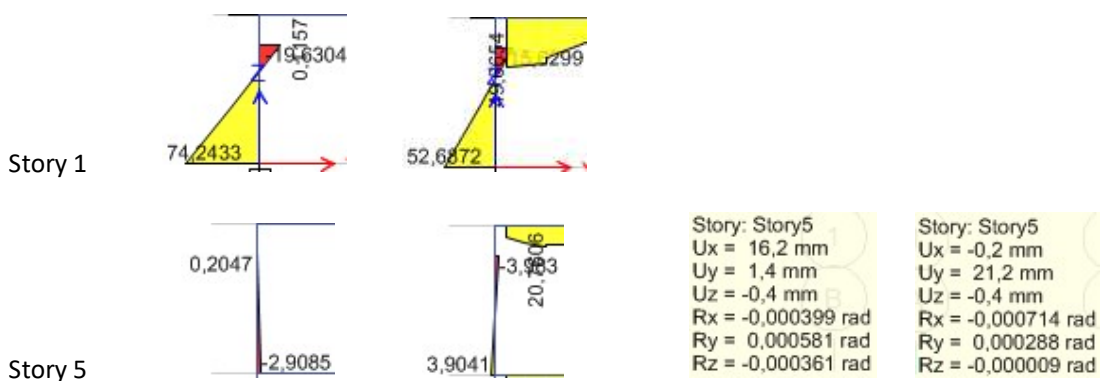
Comb3

Comb2

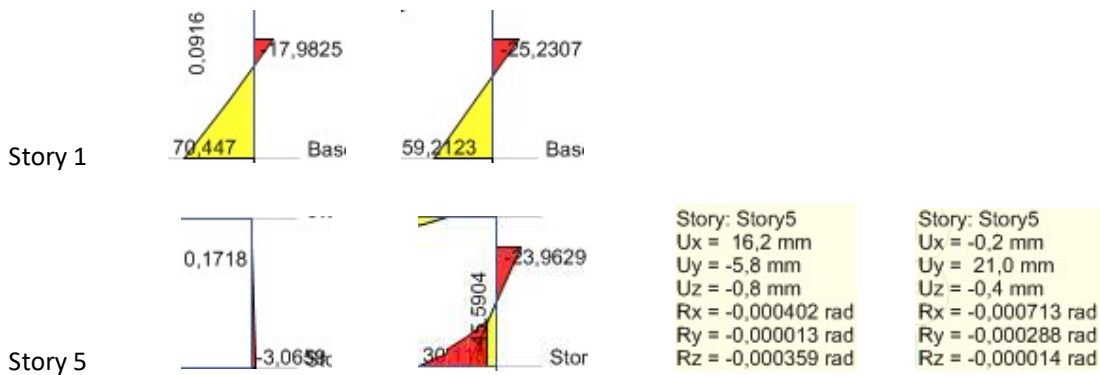
Comb2

Comb3

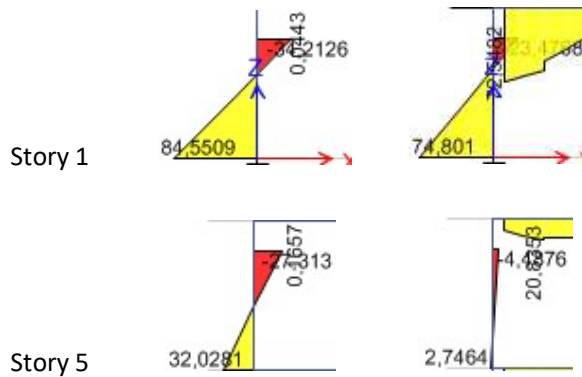
c1



c6

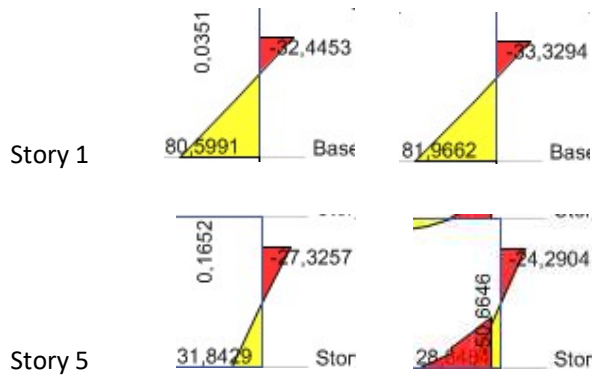


C19



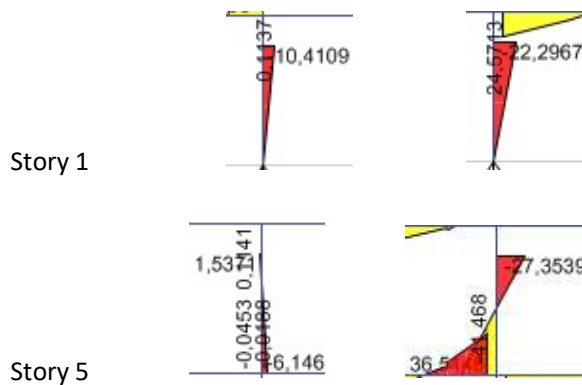
Story: Story5	Story: Story5
Ux = 21,6 mm	Ux = -0,1 mm
Uy = 1,4 mm	Uy = 21,2 mm
Uz = -0,3 mm	Uz = -0,7 mm
Rx = 0,000412 rad	Rx = 0,000110 rad
Ry = 0,000593 rad	Ry = 0,000299 rad
Rz = -0,000353 rad	Rz = -0,000008 rad

C24



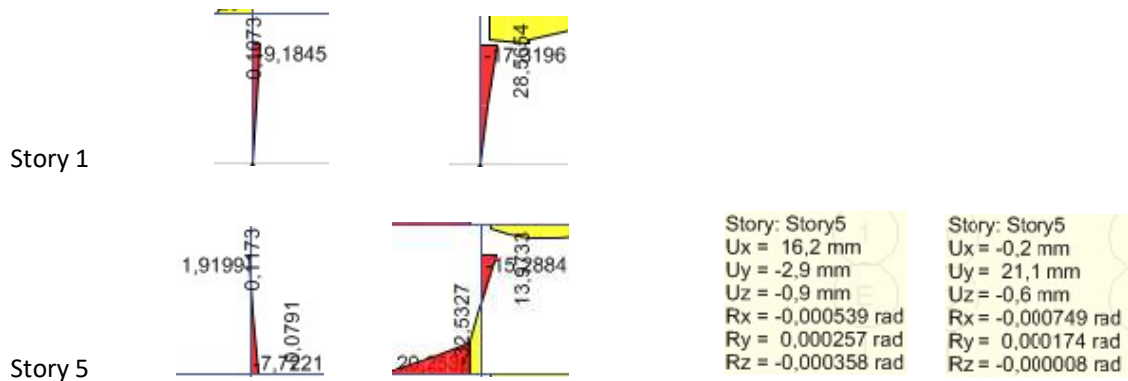
Story: Story5	Story: Story5
Ux = 21,6 mm	Ux = -0,1 mm
Uy = -5,8 mm	Uy = 20,9 mm
Uz = -0,8 mm	Uz = -0,7 mm
Rx = 0,000434 rad	Rx = 0,000110 rad
Ry = 0,000008 rad	Ry = -0,000299 rad
Rz = -0,000355 rad	Rz = -0,000015 rad

C3

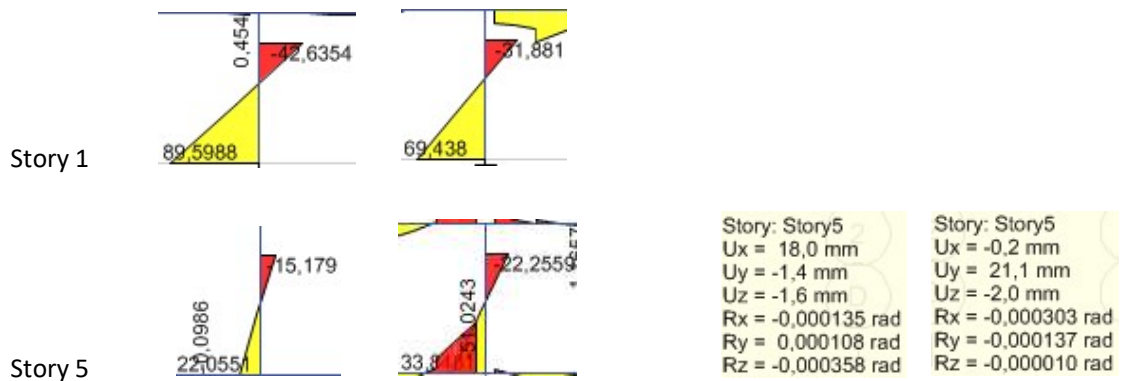


Story: Story5	Story: Story5
Ux = 16,2 mm	Ux = -0,2 mm
Uy = -1,4 mm	Uy = 21,1 mm
Uz = -0,7 mm	Uz = -0,6 mm
Rx = -0,000367 rad	Rx = -0,000747 rad
Ry = -0,000093 rad	Ry = -0,000175 rad
Rz = -0,000362 rad	Rz = -0,000015 rad

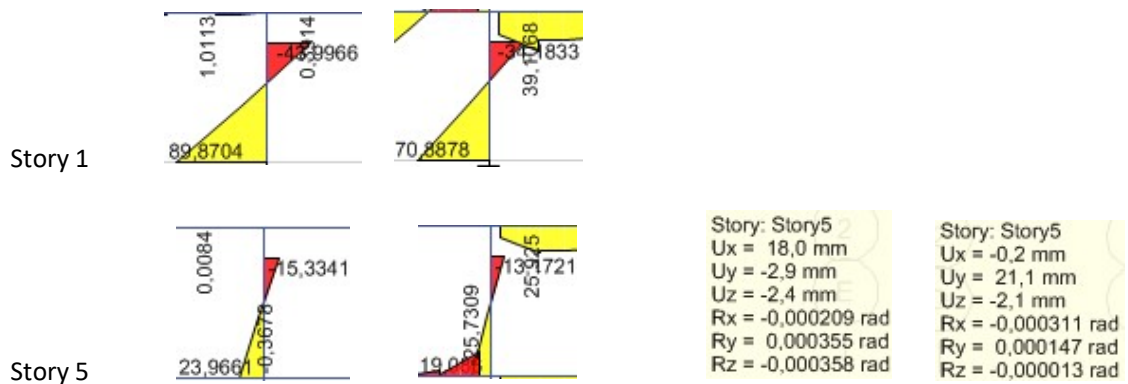
C4



C9



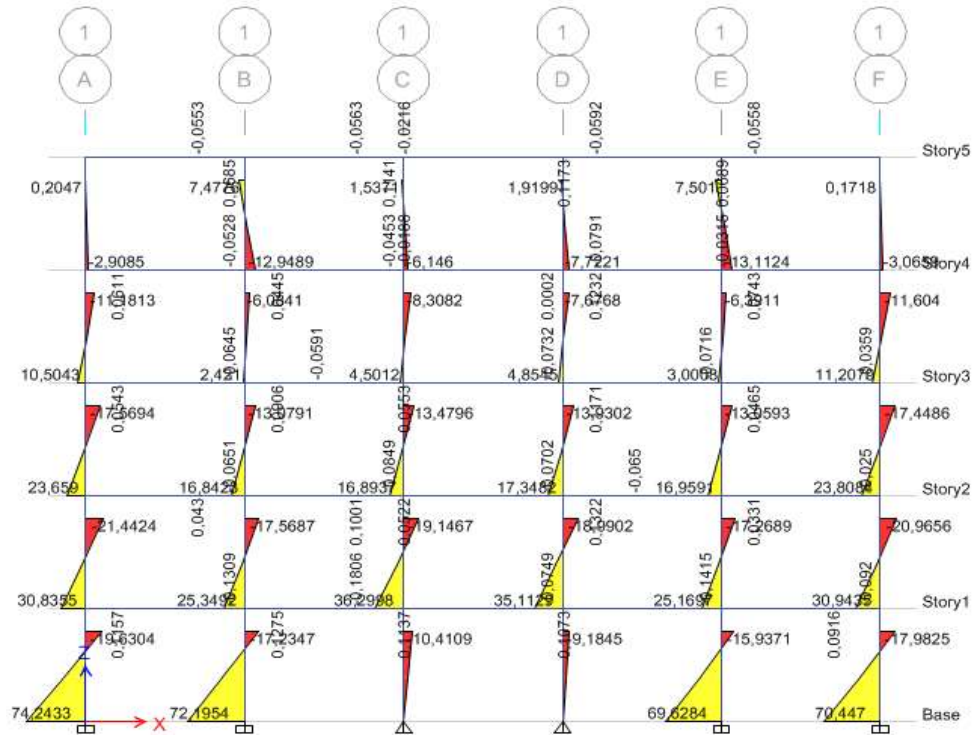
C10



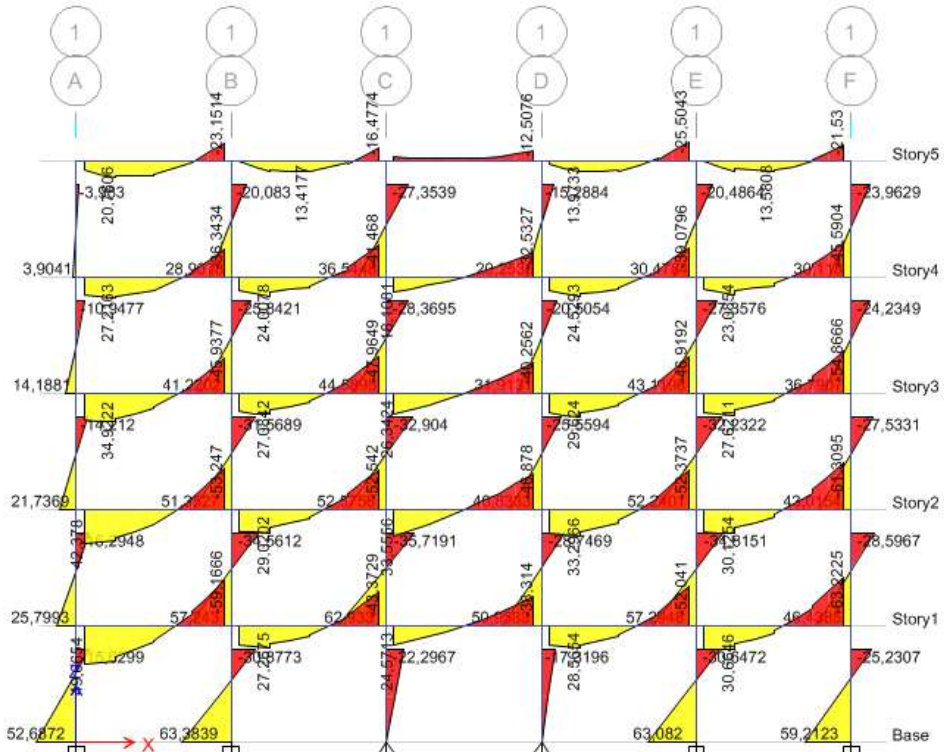
Ενδεικτικά μια ολοκληρωμένη εικόνα της 1^{ης} σειράς.



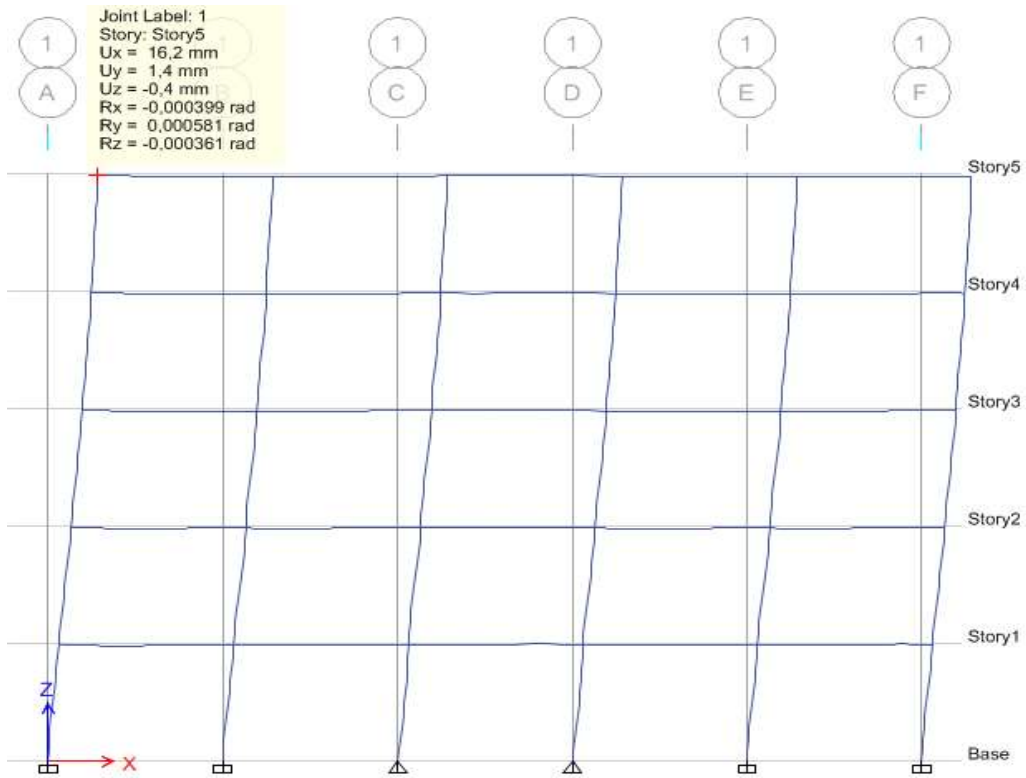
M2-2 (Comb 3)



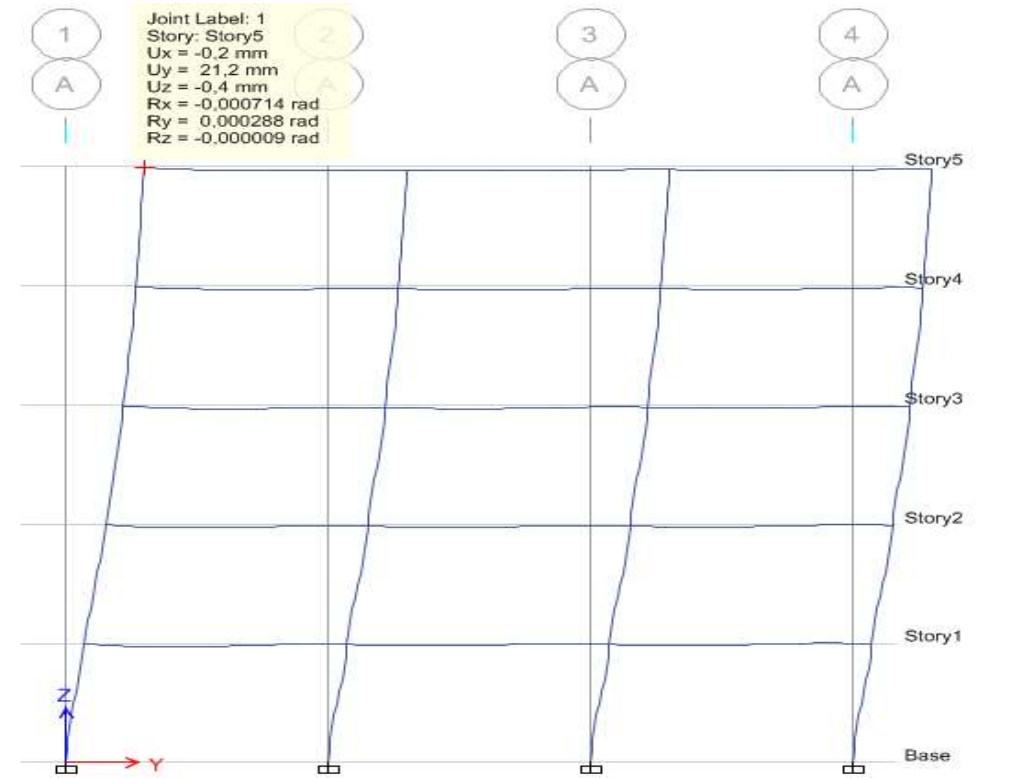
M3-3 (Comb 2)



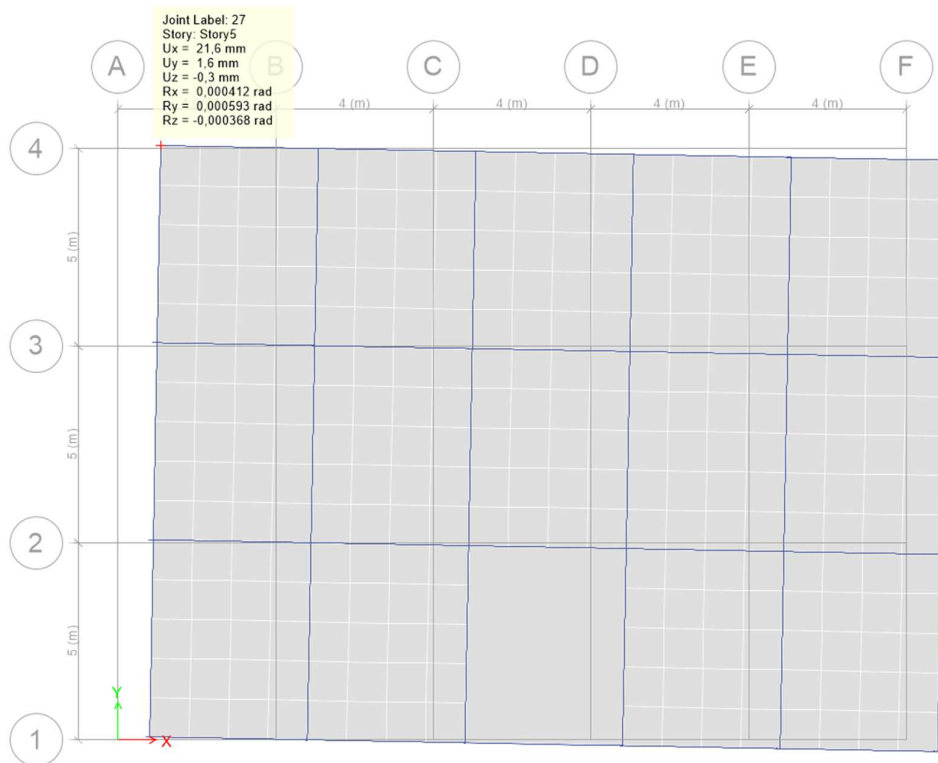
Displacements (Comb 2)



Displacements (Comb 3)



Μετακίνηση Εξ κτιρίου



4.3 Συγκριτικά αποτελέσματα

Στους παρακάτω πίνακες που παρουσιάζονται, συγκρίνονται τα αποτελέσματα των ροπών των μετακινήσεων και των τεμνουσών των κτιρίων που παρουσιάστηκαν στο κεφ.4.2. Στην πρώτη περίπτωση συγκρίνονται τα κτίρια 0, 1 και 5 και στην δεύτερη περίπτωση τα κτίρια 2, 3 και 4. Επίσης παρουσιάζονται και οι τιμές των αποτελεσμάτων σε συγκεντρωτικούς πίνακες.

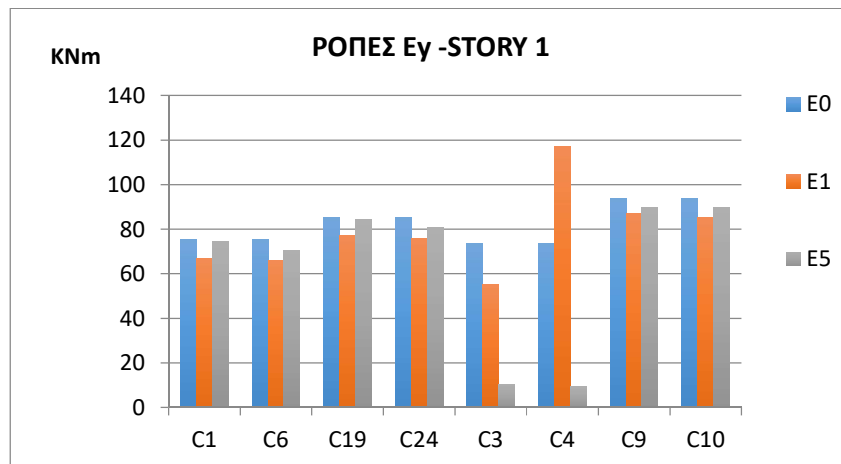
Στην πρώτη περίπτωση συγκρίνονται τα κτίρια 0, 1 και 5 έχοντας ως κοινό σημείο το κλιμακοστάσιο και το πως επηρεάζει την κατασκευή, αν δεν προσομοιώνεται καθόλου (κτίριο 0), αν προσομοιώνεται και ακουμπάει στα υποστυλώματα (κτίριο 1), και αν προσομοιώνεται και δεν ακουμπάει στα υποστυλώματα (κτίριο 5). Στο κτίριο 0 που είναι το κτίριο αναφοράς, το κλιμακοστάσιο δεν προσομοιώνεται καθόλου. Στο κτίριο 1 το κλιμακοστάσιο προσομοιώνεται και ακουμπάει στα υποστυλώματα. Τέλος, στο κτίριο 5 το κλιμακοστάσιο προσομοιώνεται χωρίς να ακουμπάει στα υποστυλώματα.

Σεισμός Ey: Story 1

Από την ανάλυση του κτιρίου 0 παρουσιάζονται περίπου οι ίδιες τιμές ροπών στα υποστυλώματα επειδή δεν υπάρχει κλιμακοστάσιο στην κατασκευή μας.

Στο κτίριο 1 οι ροπές των υποστυλωμάτων είναι παρόμοιες με τις ροπές που προκύπτουν στο κτίριο αναφοράς, με μόνη διαφορά τα υποστυλώματα 3 και 4 στα οποία ακουμπάει το κλιμακοστάσιο που έχει προστεθεί. Εκεί λόγω στροφής του κτιρίου παρατηρείται μείωση της ροπής στο υποστυλώμα 3 και αύξηση στο υποστυλώμα 4.

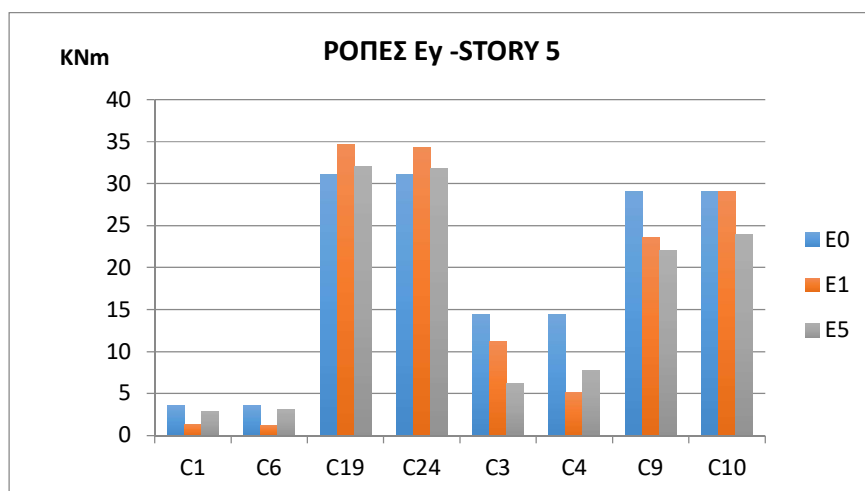
Στο κτίριο 5 όλες οι ροπές βρίσκονται στη μέση των τιμών που παρουσιάζονται στις επιλύσεις των κτιρίων 0 και 1. Εξάιρεση αποτελούν τα υποστυλώματα 3 και 4 στα οποία φαίνεται μια μείωση καθώς έχει προστεθεί το κλιμακοστάσιο αλλά δεν ακουμπάει πάνω σε αυτά. (Σχήμα 4.2)



Σχήμα 4.2 Ροπές Ey- Story 1

Σεισμός Ey: Story 5

Στο Σχήμα 4.5 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τα υποστυλώματα του 5ου ορόφου.



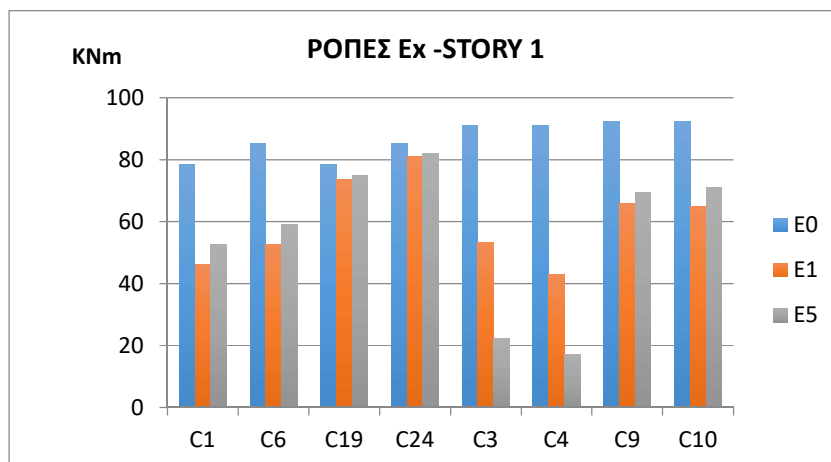
Σχήμα 4.3 Ροπές Ey- Story 5

Σεισμός Ex: Story 1

Στο κτίριο 0 φαίνεται η αρχική του μορφή (δηλαδή χωρίς κλιμακοστάσιο). Παρατηρείται ομοιόμορφη κατανομή των ροπών που δημιουργούνται λόγω συμμετρίας του φορέα.

Στο κτίριο 1 όπου έχει προστεθεί το κλιμακοστάσιο και ακουμπάει στα υποστυλώματα παρατηρείται μια μείωση των ροπών στα υποστυλώματα που βρίσκονται μακριά από το κέντρο στροφής του κτιρίου και αυτά είναι τα υποστυλώματα 19 και 24, ακολουθώντας μετά τα 9 και 10 βέβια με μικρότερες ροπές μιας και είναι πιο κοντά αυτού.

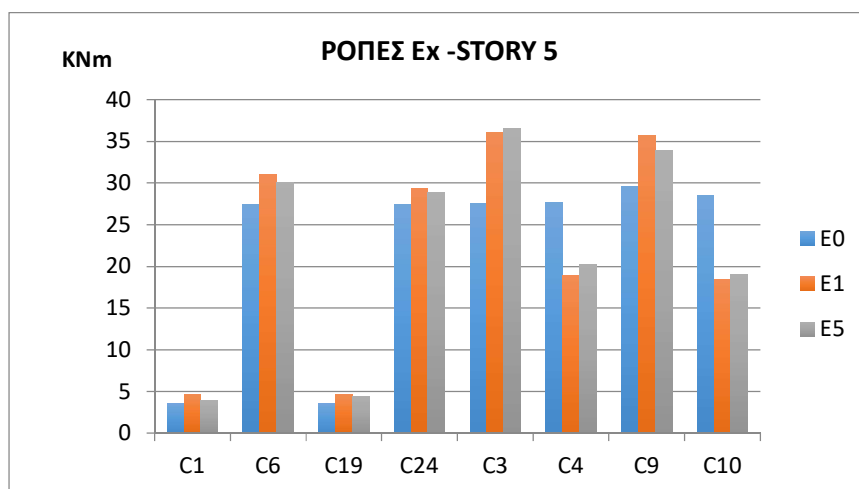
Στο κτίριο 5 όπου το κλιμακοστάσιο δεν ακουμπάει στα υποστυλώματα παρατηρείται μείωση των ροπών στα υποστυλώματα 3 και 4 και μια μικρή αύξηση σε όλα τα υπόλοιπα. (Σχήμα 4.4)



Σχήμα 4.4 Ροπές Ex- Story 1

Σεισμός Ex: Story 5

Στο Σχήμα 4.5 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τα υποστυλώματα του 5ου ορόφου



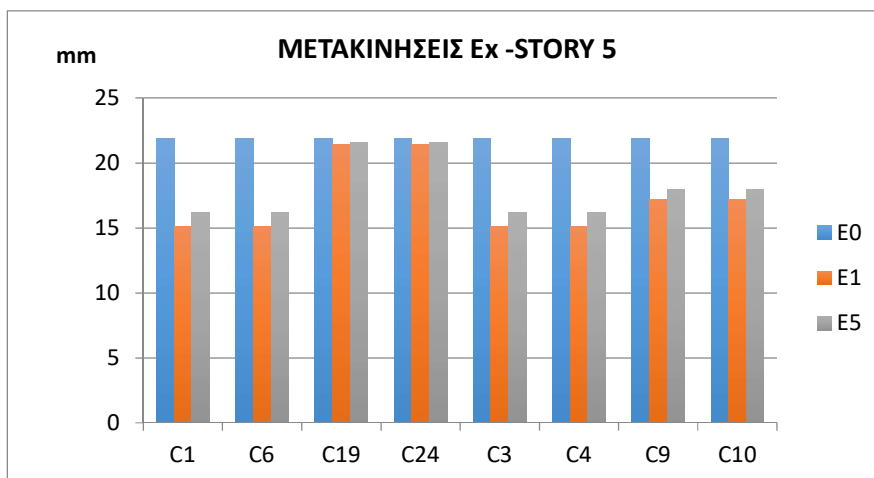
Σχήμα 4.5 Ροπές Ex- Story 5

Σεισμός Ex: Story 5

Στο κτίριο 0 παρατηρείται ότι οι μετακινήσεις του είναι ίσες σε όλα τα υποστυλώματα εξαιτίας της συμμετρίας του φορέα.

Στο κτίριο 1 οι μετακινήσεις δεν είναι ίδιες για όλα τα υποστυλώματα διότι υπάρχει στροφή στο κτίριο, και οι μεγαλύτερες μετακινήσεις σημειώνονται στα υποστυλώματα 19 και 24 που βρίσκονται μακριά από τον πόλο στροφής του (κλιμακοστάσιο).

Στο κτίριο 5 παρατηρείται ο ίδιος τρόπος αντίδρασης του κτιρίου με την 3^η επίλυση, απλά με λίγο μεγαλύτερες τιμές σε όλα τα υποστυλώματα. Δηλαδή οι μεγαλύτερες μετακινήσεις σημειώνονται στα υποστυλώματα 19 και 24. (Σχήμα 4.6)



Σχήμα 4.6 Μετακινήσεις Ex- Story 5

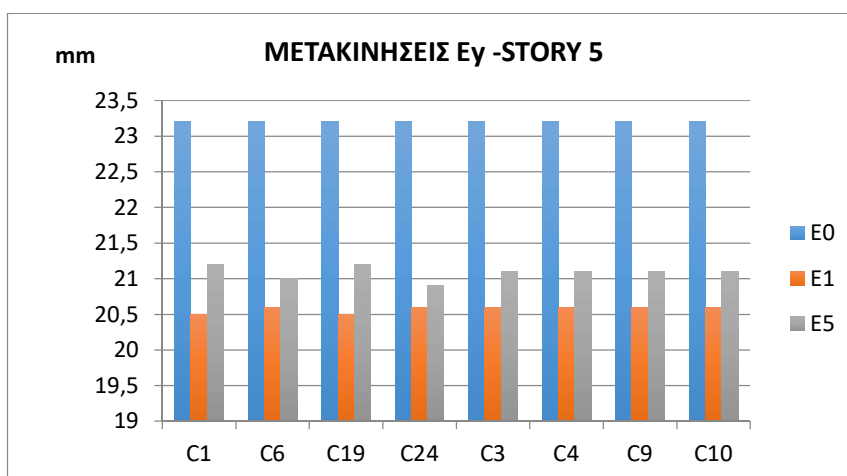
Σεισμός Ey: Story 5

Στον σεισμό Ey λόγω συμμετρίας του φορέα περί τον άξονα γ οι μετακινήσεις και στα τρία κτίρια (2,3,4) είναι ίδιες σε όλα τα υποστυλώματα.

Στο κτίριο 0 υπάρχει η μεγαλύτερη μετακίνηση σε σύγκριση με τα άλλες δύο κτίρια.

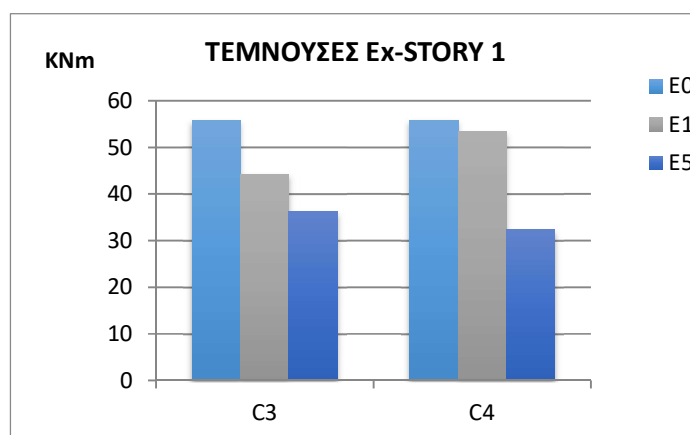
Στο κτίριο 1 έχει μειωθεί η μετακίνηση του κτιρίου λόγω του κλιμακοστασίου που έχει προστεθεί ανάμεσα στα υποστυλώματα 3,4,9 και 10 και ακουμπάει στα υποστυλώματα 3 και 4.

Στο κτίριο 5 είναι εξίσου μειωμένη η μετακίνηση του όμως με λίγο μεγαλύτερες τιμές από το κτίριο 1 δεδομένου ότι εδώ το κλιμακοστάσιο που έχει προστεθεί δεν ακουμπάει στα υποστυλώματα 3 και 4. (Σχήμα 4.7)



Σχήμα 4.7 Μετακινήσεις Ey- Story 5

Στο Σχήμα 4.8 παρουσιάζονται οι τέμνουσες των υποστυλωμάτων C3 και C4 για τα κτίρια 0, 1, και 5 που συγκρίθηκαν μεταξύ τους.



Σχήμα 4.8 Τέμνουσες Ex- Story 1

ΤΕΜΝΟΥΣΕΣ Ex-STORY 1

(KN)

	C3	C4
E0	55,7644	55,8359
E1	44,2895	53,3164
E5	36,1897	32,3127

Στην δεύτερη περίπτωση συγκρίνονται τα κτίρια 2, 3 και 4 έχοντας ως κοινό σημείο τα τοιχώματα και το πως επηρεάζει η θέση των τοιχωμάτων στο κλιμακοστάσιο και περιμετρικά αυτού τα φέροντα στοιχεία. Δηλαδή αν τοποθετηθούν τέσσερα τοιχώματα περιμετρικά του κτιρίου (κτίριο 2), αν τοποθετηθούν τρία τοιχώματα περιμετρικά του κλιμακοστασίου (κτίριο 3) και τέλος αν τοποθετηθούν αυτά τα τοιχώματα περιμετρικά του κτιρίου και περιμετρικά του κλιμακοστασίου (κτίριο 4).

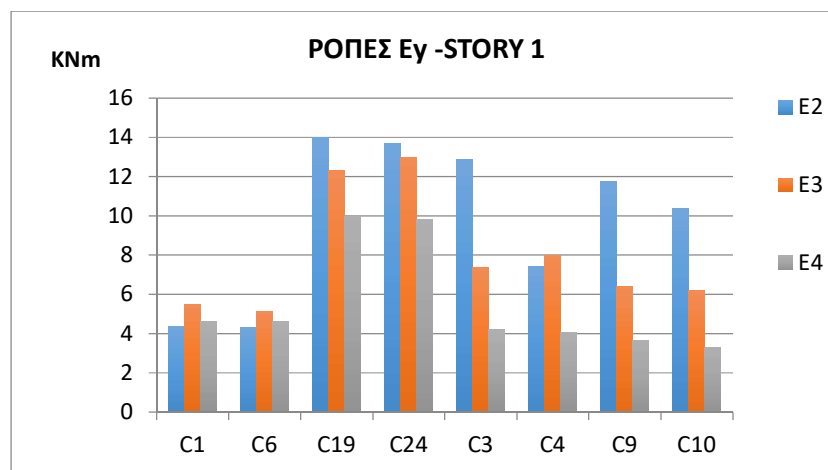
Όταν έχω περιμετρικά τοιχώματα, μειώνεται η στροφή του κτιρίου και αυξάνεται η στρεπτική δυσκαμψία του.

Σεισμός Ey: Story 1`

Στο κτίριο 2 οι μικρότερες ροπές παρατηρούνται στα υποστυλώματα 1 και 6. Ενώ οι μεγαλύτερες στα υποστυλώματα 19 και 24.

Στο κτίριο 3 συνεχίζουν να παρουσιάζονται οι μικρότερες ροπές στα υποστυλώματα 1 και 6 ενώ οι μέγιστες παρατηρούνται στα υποστυλώματα 19 και 24. Αυτά είναι που έχουν και τη μεγαλύτερη απόσταση από τον πόλο στροφής του κτιρίου (κλιμακοστάσιο).

Στο κτίριο 4 όλες οι ροπές είναι αρκετά χαμηλές και κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα. Εξαιρούνται πάλι τα υποστυλώματα 19 και 24 που λόγω της θέσης τους λαμβάνουν όλα τα φορτία της κατασκευής. (Σχήμα 4.9)



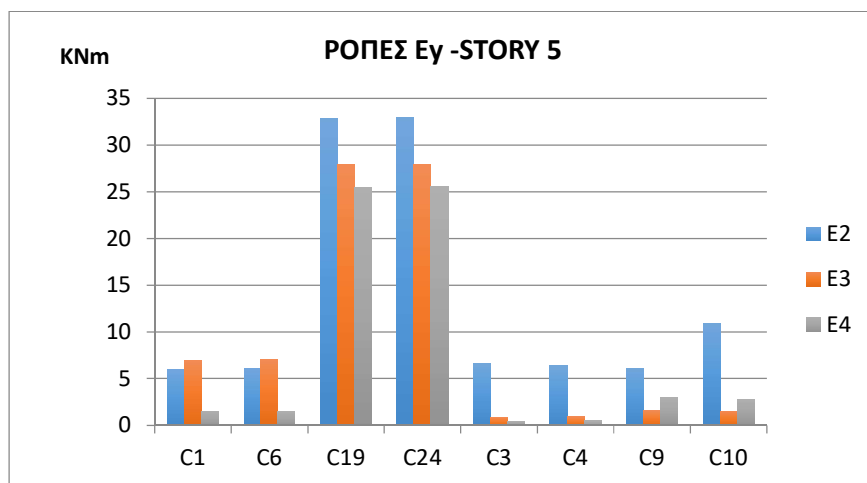
Σχήμα 4.9 Ροπές Ey- Story 1

Σεισμός Ey: Story 5

Στο κτίριο 2 παρατηρούμε τον τρόπο που παρουσιάζονται οι ροπές να ακολουθούν το Story 1 με μόνη διαφορά την ραγδαία αύξηση των ροπών στα υποστυλώματα 19 και 24 λόγω της θέσης που έχουν στην κατασκευή και καταλαμβάνουν τις μεγαλύτερες δυσκαμψίες.

Στο κτίριο 3 υπάρχει μικρή μείωση των ροπών, με τα υποστυλώματα 19 και 24 να καταλαμβάνουν ακόμα τις μεγαλύτερες τιμές σε αυτή στην περίπτωση.

Στο κτίριο 4 οι ροπές μειώνονται κατά πολύ σε όλα τα υποστυλώματα με τα 19 και 24 να παραμένουν στην κορυφή της λίστας με τις μεγαλύτερες ροπές. Αυτές οι τιμές εμφανίζονται λόγω της θέσης που έχουν στην κατασκευή. Βρίσκονται μακριά από τον πόλο στροφής του κτιρίου και παραλαμβάνουν περισσότερα φορτία. (Σχήμα 4.10)



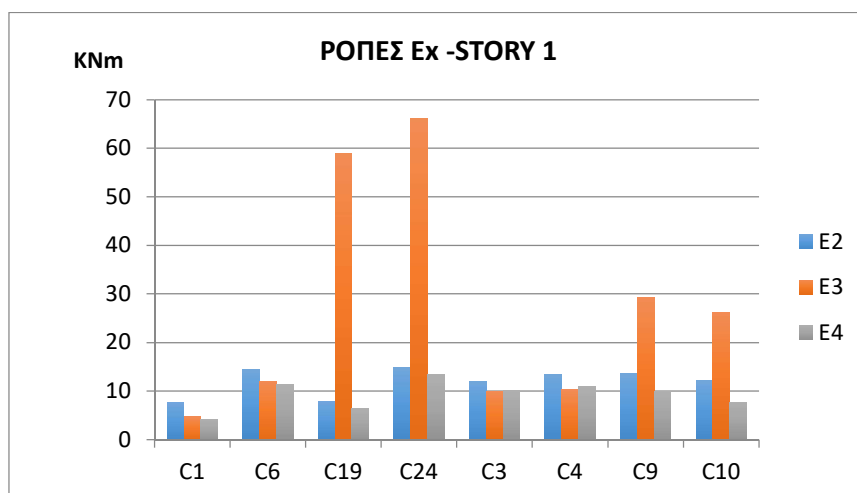
Σχήμα 4.10 Ροπές Ey- Story 5

Σεισμός Ex: Story 1

Στο κτίριο 2 λόγω του ότι υπάρχουν τοιχώματα περιμετρικά αυτού, παρατηρείται ότι οι ροπές των υποστυλωμάτων που εξετάζονται είναι μικρές και κυμαίνονται περίπου στις ίδιες τιμές λόγω της δυσκαμψίας των τοιχωμάτων.

Στο κτίριο 3 που υπάρχουν τοιχώματα μόνο στο κλιμακοστάσιο δημιουργείται στροφή στο κτίριο. Επειδή ο πόλος στροφής του είναι κοντά στο κλιμακοστάσιο, οι μεγαλύτερες ροπές παρατηρούνται στα υποστυλώματα 19 και 24.

Στο κτίριο 4 οι ροπές που δημιουργούνται ακολουθούν τον ίδιο τρόπο αντίδρασης με το κτίριο 2 απλά με μικρότερες τιμές. Αυτό προκαλείται από την επιπλέον δυσκαμψία που δημιουργείται από τα τοιχώματα περιμετρικά του κλιμακοστασίου που προστέθηκαν. (Σχήμα 4.11)



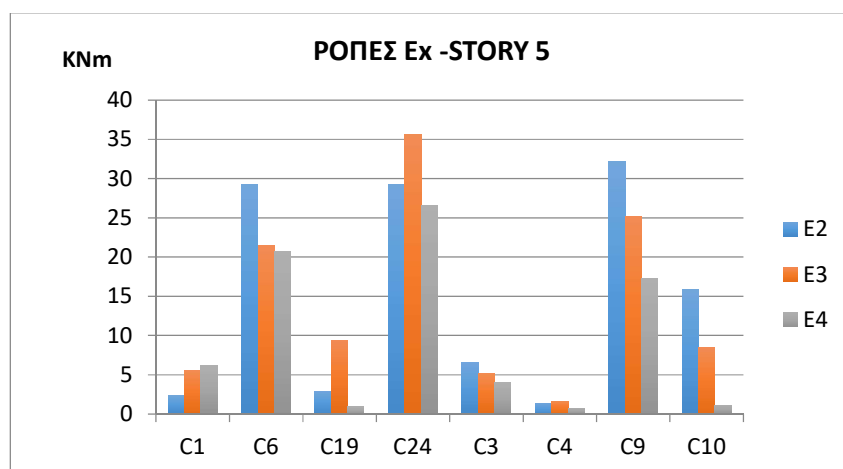
Σχήμα 4.11 Ροπές Ex- Story 1

Σεισμός Ex: Story 5

Στο κτίριο 2 φαίνεται ότι τα υποστυλώματα 6, 9, 10 και 24 έχουν τις μεγαλύτερες ροπές και είναι περίπου ίσες εκτός του υποστυλώματος 10. Ενώ οι ροπές των υποστυλωμάτων 1, 3, 4 και 19 είναι αρκετά χαμηλές και σχεδόν ίσες.

Στο κτίριο 3 λόγω μεγαλύτερης στροφής, αλλάζει η μεγαλύτερη ροπή και πάει στο 9 και 24. Ενώ μεγάλες μετακινήσεις παρατηρούνται πάλι στα υποστυλώματα 19 και 24.

Στο κτίριο 4 παρατηρείται γενικά μια μείωση στις περισσότερες ροπές σε σχέση με τα προηγούμενα κτίρια. Οι μεγαλύτερες ροπές παρουσιάζονται στα υποστυλώματα 6, 9 και 24. (Σχήμα 4.12)



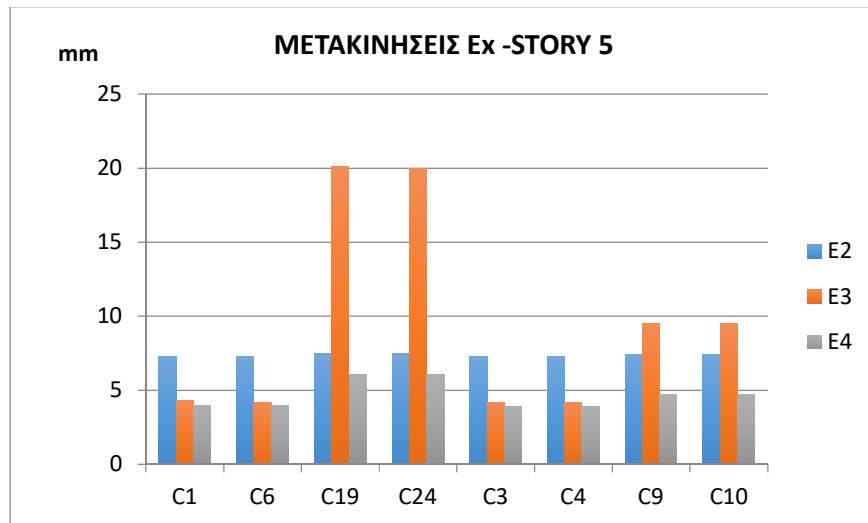
Σχήμα 4.12 Ροπές Ex- Story 5

Σεισμός Ex: Story 5

Στο κτίριο 2 παρατηρείται μία ίση τιμή μετακίνησης σε όλα τα υποστυλώματα λόγω συμμετρίας του φορέα καθώς οι δυσκαμψίες των υποστυλωμάτων 9 και 10 είναι μηδαμινές.

Στο κτίριο 3 οι μετακινήσεις δεν είναι ίδιες για όλα τα υποστυλώματα διότι υπάρχει στροφή στο κτίριο, και οι μεγαλύτερες μετακινήσεις σημειώνονται στα υποστυλώματα 19 και 24 που βρίσκονται μακριά από τον πόλο στροφής του(κλιμακοστάσιο).

Στο κτίριο 4 παρατηρείται ο ίδιος τρόπος αντίδρασης του κτιρίου με το κτίριο 3, αλλά με μικρότερες τιμές σε όλα τα υποστυλώματα. Δηλαδή οι μεγαλύτερες μετακινήσεις σημειώνονται στα υποστυλώματα 19 και 24. (Σχήμα 4.13)



Σχήμα 4.13 Μετακινήσεις Ex- Story 5

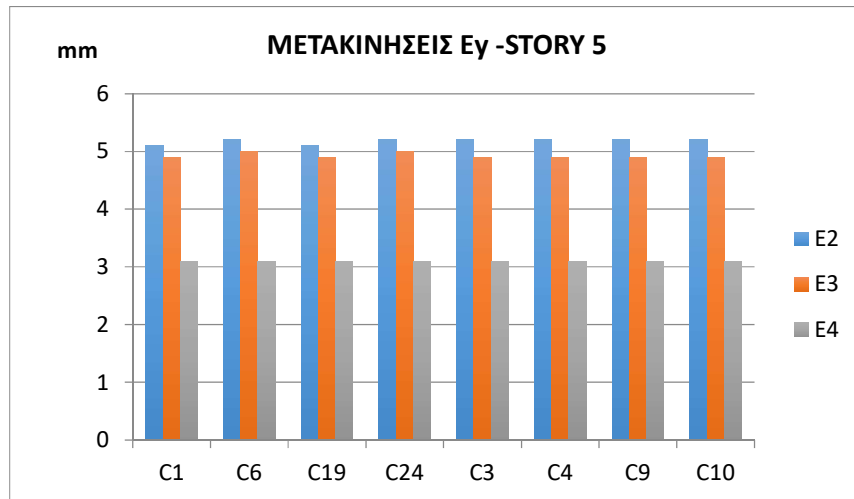
Σεισμός Ey: Story 5

Στον σεισμό Ey λόγω συμμετρίας του φορέα περί τον άξονα γ οι μετακινήσεις και στις τρεις επιλύσεις (2, 3, 4) είναι ίδιες σε όλα τα υποστυλώματα.

Στο κτίριο 2 υπάρχει η μεγαλύτερη μετακίνηση σε σύγκριση με τις άλλες δύο επιλύσεις. Αυτό συμβαίνει διότι τα τοιχώματα περιμετρικά του κτιρίου έχουν μικρή δυσκαμψία.

Στο κτίριο 3 αρχίζει να μειώνεται η μετακίνηση του κτιρίου μετά την προσθήκη των τοιχωμάτων περιμετρικά του κλιμακοστασίου.

Στο κτίριο 4 μειώνεται κατά πολύ η μετακίνηση του κτιρίου λόγω της μεγάλης δυσκαμψίας των τοιχωμάτων που έχουν προστεθεί περιμετρικά του κτιρίου και περιμετρικά του κλιμακοστασίου. (Σχήμα 4.14)



Σχήμα 4.14 Μετακινήσεις Ey- Story 5

Παρακάτω παραθέτονται τα συγκριτικά πινακάκια με τα αποτελέσματα των κτιρίων 0, 1, 5.

**ΡΟΠΕΣ E_y -STORY 1
(KNm)**

	C1	C6	C19	C24	C3	C4	C9	C10
E0	75,3846	75,3846	85,2919	85,2919	73,6034	73,6034	93,8267	93,8267
E1	66,7194	65,9352	77,1762	75,9437	55,1689	116,8871	86,8952	85,2251
E5	74,2433	70,447	84,5509	80,5991	10,4109	9,1845	89,5988	89,8704

**ΡΟΠΕΣ E_y -STORY 5
(KNm)**

	C1	C6	C19	C24	C3	C4	C9	C10
E0	3,5196	3,5196	31,0673	31,0673	14,4422	14,4422	29,0691	29,0691
E1	1,3526	1,2021	34,636	34,2389	11,2206	5,1606	23,6279	29,0276
E5	2,9085	3,0651	32,0281	31,8429	6,146	7,7221	22,0551	23,9661

**ΡΟΠΕΣ E_x -STORY 1
(KNm)**

	C1	C6	C19	C24	C3	C4	C9	C10
E0	78,271	85,0953	78,271	85,0953	90,8782	90,9488	92,263	92,3725
E1	46,1992	52,5345	73,7545	80,9323	53,3442	42,9987	65,8312	64,9219
E5	52,6872	59,2123	74,801	81,9662	22,2967	17,3196	69,438	70,8878

**ΡΟΠΕΣ E_x -STORY 5
(KNm)**

	C1	C6	C19	C24	C3	C4	C9	C10
E0	3,5436	27,4314	3,5436	27,4314	27,6137	27,6381	29,5871	28,5722
E1	4,6658	31,0607	4,7017	29,3242	35,992	18,961	35,6543	18,4481
E5	3,9041	30,118	4,4376	28,8484	36,5448	20,2536	33,8481	19,088

**ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ E_x -STORY 5
(mm)**

	C1	C6	C19	C24	C3	C4	C9	C10
E0	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9
E1	15,1	15,1	21,4	21,4	15,1	15,1	17,2	17,2
E5	16,2	16,2	21,6	21,6	16,2	16,2	18	18

**ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ E_y -STORY 5
(mm)**

	C1	C6	C19	C24	C3	C4	C9	C10
E0	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2
E1	20,5	20,6	20,5	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6
E5	21,2	21	21,2	20,9	21,1	21,1	21,1	21,1

Ενώ εδώ παρουσιάζονται τα συγκριτικά πινακάκια με τα αποτελέσματα των κτιρίων 2, 3, 4.

ΡΟΠΕΣ E_y -STORY 1 (KNm)								
	C1	C6	C19	C24	C3	C4	C9	C10
E2	4,3417	4,3269	13,9735	13,6739	12,8838	7,4104	11,7798	10,3634
E3	5,5041	5,1203	12,3316	13,0033	7,3781	7,9843	6,4116	6,189
E4	4,6384	4,6151	9,9703	9,8201	4,2187	4,0794	3,6396	3,2936
ΡΟΠΕΣ E_y -STORY 5 (KNm)								
	C1	C6	C19	C24	C3	C4	C9	C10
E2	5,9743	6,0679	32,8255	32,9425	6,6467	6,3656	6,1007	10,9296
E3	6,9267	7,0185	27,9546	27,9543	0,8676	0,9097	1,5526	1,4949
E4	1,5423	1,5213	25,4669	25,542	0,4274	0,4647	2,9799	2,8015
ΡΟΠΕΣ E_x -STORY 1 (KNm)								
	C1	C6	C19	C24	C3	C4	C9	C10
E2	7,577	14,48	7,8858	14,8808	12,0679	13,4699	13,5654	12,2004
E3	4,6525	12,0417	58,8281	66,1398	9,9521	10,2342	29,1852	26,2508
E4	4,2007	11,2471	6,4612	13,5237	10,0511	10,8693	9,957	7,6078
ΡΟΠΕΣ E_x -STORY 5 (KNm)								
	C1	C6	C19	C24	C3	C4	C9	C10
E2	2,3283	29,1687	2,8825	29,224	6,6126	1,3878	32,1333	15,8691
E3	5,5093	21,4775	9,4022	35,6566	5,2226	1,6506	25,2437	8,4536
E4	6,2415	20,7244	0,9232	26,5725	4,0062	0,7758	17,258	1,0968
ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ E_x -STORY 5 (mm)								
	C1	C6	C19	C24	C3	C4	C9	C10
E2	7,3	7,3	7,5	7,5	7,3	7,3	7,4	7,4
E3	4,3	4,2	20,1	20	4,2	4,2	9,5	9,5
E4	4	4	6,1	6,1	3,9	3,9	4,7	4,7
ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ E_y -STORY 5 (mm)								
	C1	C6	C19	C24	C3	C4	C9	C10
E2	5,1	5,2	5,1	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
E3	4,9	5	4,9	5	4,9	4,9	4,9	4,9
E4	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1

5 Συμπεράσματα

Οι ακανονικότητες επηρεάζουν σημαντικά την σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών. Οι κατασκευές μπορεί να παρουσιάζουν ακανονικότητες σε κάτοψη ή καθ' ύψος. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η επιρροή διαφόρων μορφών ακανονικότητας σε κάτοψη και η επιρροή του τρόπου προσομοίωσης τους. Ειδικότερα εξετάζεται η επιρροή της θέσης των τοιχωμάτων και η επιρροή του κλιμακοστασίου. Το κλιμακοστάσιο συνήθως δεν συμπεριλαμβάνεται στα προσομοιώματα και αρχικά διερευνάται αν αυτό επηρεάζει τα αποτελέσματα. Για την διερεύνηση επιλέγεται ένα πενταώροφο κτίριο με τετραγωνικά υποστυλώματα. Στο αρχικό κτίριο τοποθετείται ένα έκκεντρο κλιμακοστάσιο. Το κλιμακοστάσιο προσομοιώνεται με κεκλιμένες πλάκες και εξετάζεται αρχικά ενωμένο με τα υποστυλώματα και στην συνέχεια σε απόσταση από αυτά. Στην συνέχεια εξετάζεται το αρχικό κτίριο με τοιχώματα στην περίμετρό του. Επίσης, στο αρχικό κτίριο τοποθετείται έκκεντρος πυρήνας κλιμακοστασίου ο οποίος αποτελείται από 3 μεγάλα τοιχώματα. Τέλος στο κτίριο με τον έκκεντρο πυρήνα κλιμακοστασίου τοποθετούνται επιπλέον τοιχώματα περιμετρικά.

Από τις αναλύσεις προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Το κλιμακοστάσιο επηρεάζει την σεισμική συμπεριφορά των κτιρίων. Η θέση που βρίσκεται τοποθετημένο επηρεάζει σημαντικά την απόκριση της κατασκευής
- Από την σύγκριση των αναλύσεων ενός κτιρίου με και χωρίς κλιμακοστάσιο φαίνεται ότι το κλιμακοστάσιο επηρεάζει την απόκριση και παρατηρείται μείωση των ροπών στα περισσότερα υποστυλώματα του κτιρίου με κλιμακοστάσιο. Η μείωση αυτή είναι μεγαλύτερη για τα υποστυλώματα που βρίσκονται στην πλευρά του κλιμακοστασίου και μικρότερη για τα υποστυλώματα που βρίσκονται στην άλλη πλευρά του κτιρίου.
- Στην περίπτωση που το κλιμακοστάσιο δεν είναι ενωμένο με τα υποστυλώματα παρατηρούνται παρόμοιες μειώσεις στις ροπές των υποστυλωμάτων.
- Τα υποστυλώματα στα οποία ενώνεται το πλατύσκαλο του κλιμακοστασίου παρουσιάζουν αυξημένη τέμνουσα και ροπή στην μέση του υποστυλώματος.
- Στην περίπτωση που τοποθετηθούν περιμετρικά τοιχώματα στο αρχικό κτίριο, χωρίς κλιμακοστάσιο, παρατηρείται σημαντική μείωση στις ροπές, τέμνουσες και μετακινήσεις σε όλα τα υποστυλώματα.
- Στην περίπτωση που στο αρχικό κτίριο τοποθετηθεί έκκεντρο κλιμακοστάσιο με μεγάλα τοιχώματα, τότε το κτίριο παρουσιάζει μεγάλη ακανονικότητα σε κάτοψη, παρατηρούνται μεγάλες στροφές και τα υποστυλώματα στην άλλη πλευρά του κτιρίου παρουσιάζουν σημαντικά αυξημένες ροπές και μετακινήσεις.
- Τέλος, στην περίπτωση που στο κτίριο με το έκκεντρο κλιμακοστάσιο τοποθετηθούν επιπλέον μεγάλα τοιχώματα περιμετρικά του κτιρίου, τότε η ακανονικότητα περιορίζεται

και αυξάνεται η συνολική δυσκαμψία της κατασκευής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της στρόφης και συνεπώς και την μείωση των μετακινήσεων και των ροπών των υποστυλωμάτων.

Από τις αναλύσεις στα κτίρια που εξετάστηκαν φαίνεται ότι ο τρόπος προσομοίωσης του κλιμακοστασίου επηρεάζει τα αποτελέσματα της ανάλυσης, ωστόσο η επιρροή αυτή είναι μικρή και επηρεάζει κυρίως τα υποστυλώματα γύρω από το κλιμακοστάσιο. Η έκκεντρη τοποθέτηση μεγάλων τοιχωμάτων, όπως είναι ο πυρήνας του κλιμακοστασίου, επηρεάζει σημαντικά την σεισμική απόκριση της κατασκευής καθώς προκαλεί ακανονικότητα στην κατασκευή και μεγάλες στρόφες, με αποτέλεσμα να παρατηρείται αύξηση των εντατικών μεγεθών στα υποστυλώματα μακριά από τον πυρήνα. Το φαινόμενο αυτό περιορίζεται σημαντικά αν τοποθετηθούν μεγάλα τοιχώματα περιμετρικά του κτιρίου, τα οποία αυξάνουν την δυσκαμψία της κατασκευής και μειώνουν τις στρόφες του κτιρίου.

6 Βιβλιογραφία

- 1) Κυριάκος Α. Λουράντος «Αποτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα, μελετημένο το 1961. » Διπλωματική εργασία, Ιούλιος 2015
- 2) «Ελληνικός κανονισμός ωπλισμένου σκυροδέματος» ΕΚΩΣ 2000, Ο.Α.Σ.Π. (2000),Αθήνα
- 3) «Ελληνικός αντισεισμικός κανονισμός» ΕΑΚ 2000, Ο.Α.Σ.Π. (2000), Αθήνα
- 4) ETABS® 2013 Integrated Building Design Software
- 5) Παρασκευάς Θωμάς και Κούκουρας Ευάγγελος «Εναλλακτικές μέθοδοι κατασκευής προθήκης ορόφων σε υπάρχον κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα και σύγκριση αυτών» Διπλωματική εργασία.
- 6) Κίρτας Εμμανουήλ και Παναγόπουλος Γεώργιος «Προσομοίωση Κατασκευών σε Προγράμματα Ηλεκτρονικού Υπολογιστή-Εφαρμογές με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων SAP 2000» Σέρρες, 2015
- 7) J. Kähkönen, P. Varpasuo, M. Vuorinen«Karisma Benchmark: Fortum participation In Equipment Response Analyses» Transactions, SMiRT 21, 6-11 November, 2011, New Delhi, India Div-V: Paper ID# 286 from http://www.kolumbus.fi/pentti.varpasuo/SMiRT21_Paper_286_v01.htm
- 8) Κοτανίδης Χ., Δουδούμης Ν., Δουδούμης Ι., «Συγκριτική μελέτη εφαρμογής των μεθόδων ανάλυσης “Static Pushover” και “Time-History” σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος», «15ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ»,Οκτώβριος, 2006
- 9) Mwafy, M.W. and Elnashai, A.S., «Static push-over versus dynamic collapse analysis of RC buildings», Journal of Engineering Structures, Vol. 23, pp. 407-424., [2001]
- 10) Anil K. Chopra and Rakesh K. Goel, «Building Period Formulas for Estimating Seismic Displacements. Earthquake Spectra», Vol. 16, No. 2, pp. 533-536, May 2000.
- 11) Κωνσταντίνιδης Απόστολος, «Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμά ΤΟΜΟΣ Β΄ Στατική και Σεισμική Ανάλυση» , Αλέκτορος 7, ΤΚ 116 32, Αθήνα, 2013
- 12) Κίρτας Εμμανουήλ Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών «Ανάλυση κατασκευών σε ΗΥ», 2008 from http://eclass.opencourses.teicm.gr/eclass/modules/document/file.php/TMB103/%CE%A3%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CE%B9%CF%8E%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82_%CE%91%CE%BD%CE%AC%CE%BB%CF%85%CF%83%CE%B7%20%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CF%8E%CE%BD%20%CF%83%CE%B5%20%CE%97%CE%A5.pdf