



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

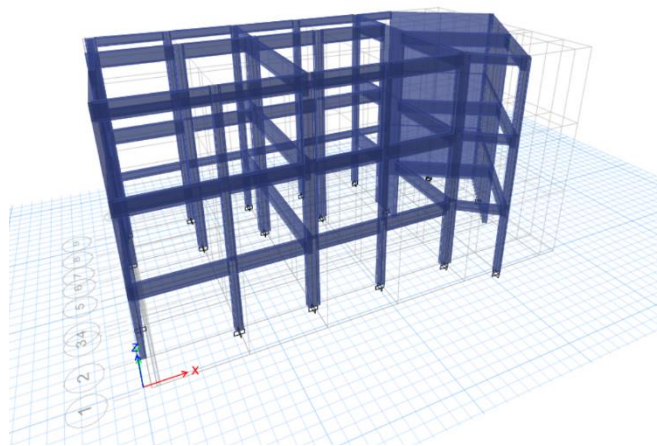
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ
ΚΤΙΡΙΑ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΑ ΣΥΝΟΛΑ
ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ | ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΗ | ΧΩΡΙΚΕΣ ΑΝΑΠΛΑΣΕΙΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ – ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥΠΟΛΗ ΣΕΡΡΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ
ΣΧΟΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΖΗΛΕΛΙΔΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ ΦΩΤΟΠΟΥΛΟΥ

ΣΕΡΡΕΣ | ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023

ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ | ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΧΟΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ
ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΖΗΛΕΛΙΔΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ ΦΩΤΟΠΟΥΛΟΥ

ΣΕΡΡΕΣ | ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιοδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

Πρόλογος

Η διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την ανελαστική ανάλυση σχολικού κτιρίου για την αποτίμηση της σεισμικής του συμπεριφοράς. Η συλλογή των στοιχείων πραγματοποιήθηκε μέσω των κατασκευαστικών σχεδίων (ξυλότυποι). Η ανάλυση έγινε με πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων.

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική μου εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς την επιβλέπουσα καθηγήτρια κα. Φωτοπούλου Σταυρούλα για τη συνεχή επιστημονική καθοδήγηση, τις συμβουλές και τη βοήθεια όλο αυτό το διάστημα της μελέτης και συγγραφής της διπλωματικής εργασίας. Για την υπομονή και κατανόηση που έδειξε αντιλαμβανόμενη τις επαγγελματικές υποχρεώσεις μου. Της είμαι ευγνώμων και δεν θα ξεχάσω ποτέ αυτή τη σπουδαία υποστηρικτική στάση.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον μηχανικό πληροφορικής και ξάδερφο μου Μουρατίδη Παναγιώτη για τη βοήθεια του σε θέματα πληροφορικής και προγραμμάτων Η/Υ.

Κλείνοντας να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που σε κάθε μου βήμα, με επιμονή και υπομονή είναι στο πλευρό μου.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Αποτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς σχολικού κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα», εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Επεμβάσεις σε υφιστάμενα κτίρια και αστικά σύνολα: ενισχύσεις, επανάχρηση και χωρικές αναπλάσεις», του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος. Αντικείμενο της εν λόγω εργασίας αποτελεί η αποτίμηση μίας υφιστάμενης σχολικής μονάδας από οπλισμένο σκυρόδεμα, η ανέγερση της οποίας πραγματοποιήθηκε το 1983, δηλαδή σύμφωνα με τον πρώτο Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (Β.Δ. 1959). Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου είναι μικτός, αποτελούμενος από πλάκες, δοκούς, υποστυλώματα και τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος. Για την αποτίμηση της σεισμικής επάρκειας του υφισταμένου κτιρίου εφαρμόστηκε ανελαστική στατική ανάλυση (Pushover) σύμφωνα με την μεθοδολογία της FEMA. Για την προσομοίωση του κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ETABS.

Summary

The present thesis entitled "Evaluation of the seismic behaviour of a reinforced concrete school building", was carried out in the framework of the postgraduate programme "Interventions in existing buildings and urban groups: reinforcement, reuse and spatial redevelopment", of the Department of Civil Engineering of the International Hellenic University of Greece. The subject of this project is the evaluation of an existing reinforced concrete school building, which was built in 1983, i.e. according to the first Greek Seismic Regulation (B.D. 1959). The load-bearing structure of the building is mixed, consisting of slabs, beams, columns and reinforced concrete walls. To evaluate the seismic adequacy of the existing building, an inelastic static analysis (Pushover) was applied according to the FEMA methodology. ETABS software was used to simulate the reinforced concrete building.

Πίνακας Περιεχομένων

Πρόλογος.....	1
Περίληψη	2
Summary	3
Πίνακας Περιεχομένων	4
Κατάλογος Σχημάτων.....	6
Κατάλογος Πινάκων.....	12
Κεφάλαιο 1	
Περιγραφή του υπό μελέτη κτιρίου	13
1.1 Γενική περιγραφή	13
1.2 Δομικά στοιχεία	17
1.3 Φορτία κτιρίου.....	21
Κεφάλαιο 2	
Προσομοίωση φορέα	24
2.1 Γενικά	24
2.2 Φορτία κατά την προσομοίωση	24
2.3 Γεωμετρία φορέα - Υλικά	24
2.4 Συνθήκες στήριξης - Διαφράγματα	28
2.5 Διατομές δομικών στοιχείων	30
2.6 Μορφές φόρτισης – Φορτιστικές καταστάσεις – Συνδυασμοί φόρτισης.....	33
2.7 Υπολογισμός και ανάθεση φορτίων στα δομικά στοιχεία	36
2.8 Υπολογισμός μάζας ανά όροφο και ανάθεση στο προσομοίωμα	41
Κεφάλαιο 3	
Ανελαστική στατική ανάλυση (pushover)	45
3.1 Ανελαστική συμπεριφορά υλικών	45
3.2 Ορισμός σπλισμού δομικών στοιχείων	49
3.3 Πλαστικές αρθρώσεις	51
3.4 Δημιουργία και ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων	53
3.5 Ανελαστική ανάλυση	64

Κεφάλαιο 4

Αποτελέσματα	69
4.1 Ιδιομορφές απόκρισης	69
4.2 Ανελαστικές στατικές αναλύσεις	78

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα	106
--------------------	-----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	119
---------------------------	-----

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1. Γεωγραφική θέση του υπό μελέτη κτιρίου	13
Σχήμα 1.2. Θέσεις φωτογραφικών λήψεων	14
Σχήμα 1.3. Λήψη 1	14
Σχήμα 1.4. Λήψη 2	15
Σχήμα 1.5. Λήψη 3	15
Σχήμα 1.6. Λήψη 4	16
Σχήμα 1.7. Λήψη 5	16
Σχήμα 1.8. Λήψη 6	17
Σχήμα 1.9. Ξυλότυπος οροφής υπογείου, ισογείου και ορόφου	20
Σχήμα 1.10. Ξυλότυπος θεμελίωσης	21
Σχήμα 1.11. Κάτοψη υπογείου	22
Σχήμα 1.12. Κάτοψη ισογείου	22
Σχήμα 1.13. Κάτοψη ορόφου	23
Σχήμα 1.14. Κάτοψη στέγης	23
Σχήμα 2.1. Επιλογή μονάδων μέτρησης και κανονισμών για χάλυβα και σκυρόδεμα	25
Σχήμα 2.2. Επιλογή χαρακτηριστικών καννάβου και κτιρίου σχετικά με το ύψος και τον αριθμό ορόφων	25
Σχήμα 2.3. Τομή Α-Α	26
Σχήμα 2.4. Ιδιότητες σκυροδέματος	27
Σχήμα 2.5. Ιδιότητες χάλυβα	28
Σχήμα 2.6. Ορισμός συνθήκης στήριξης	29
Σχήμα 2.7. Ορισμός διαφραγματικής λειτουργίας	29
Σχήμα 2.8. Διαφραγματική λειτουργία σε κάθε όροφο	30
Σχήμα 2.9. Ορισμός διατομών δομικών στοιχείων	31
Σχήμα 2.10. Ορισμός διατομής δοκού Δ1 ισογείου	31

Σχήμα 2.11. Ορισμός διατομής υποστυλώματος Σ1 ισογείου	32
Σχήμα 2.12. Μειώσεις γεωμετρικών ιδιοτήτων για την προσομοίωση των ρηγματωμένων διατομών	32
Σχήμα 2.13. Διατομές δομικών στοιχείων	33
Σχήμα 2.14. Ορισμός μόνιμων (G) και κινητών (Q) φορτίων	34
Σχήμα 2.15. Φορτιστική κατάσταση για τα μόνιμα φορτία (G)	34
Σχήμα 2.16. Συνδυασμός φόρτισης 1,35G+1,50Q	35
Σχήμα 2.17. Συνδυασμός φόρτισης G+0,3Q	35
Σχήμα 2.18. Επιφάνειες επιρροής	36
Σχήμα 2.19. Ανάθεση μόνιμου φορτίου (G) για δοκό Δ1 οροφής ισογείου	40
Σχήμα 2.20. Ανάθεση μόνιμου φορτίου (Q) για δοκό Δ1 οροφής ισογείου	40
Σχήμα 2.21. Ανάθεση μάζας διαφράγματος 1ου ορόφου	44
Σχήμα 2.22. Ανάθεση μάζας διαφράγματος 1 ^{ου} ορόφου	44
Σχήμα 3.1. Καταχώρηση ιδιοτήτων για ανελαστική συμπεριφορά σκυροδέματος	45
Σχήμα 3.2. Καταχώρηση ιδιοτήτων για ανελαστική συμπεριφορά σκυροδέματος	46
Σχήμα 3.3. Καμπύλη ανελαστικής συμπεριφοράς σκυροδέματος	46
Σχήμα 3.4. Καταχώρηση ιδιοτήτων για ανελαστική συμπεριφορά χάλυβα οπλισμού	47
Σχήμα 3.5. Καταχώρηση ιδιοτήτων για ανελαστική συμπεριφορά χάλυβα οπλισμού	48
Σχήμα 3.6. Καμπύλη ανελαστικής συμπεριφοράς χάλυβα οπλισμού	48
Σχήμα 3.7. Ανάθεση οπλισμού στο υποστύλωμα Σ1 ισογείου	49
Σχήμα 3.8. Ανάθεση οπλισμού στο υποστύλωμα Σ1 ισογείου	50
Σχήμα 3.9. Ανάθεση οπλισμού στη δοκό Δ1 ισογείου	51
Σχήμα 3.10. Ανάθεση οπλισμού στη δοκό Δ1 ισογείου	51
Σχήμα 3.11. Αυτόματη δημιουργία διαγραμμάτων μ-θ	52
Σχήμα 3.12. Δημιουργία πλαστικής άρθρωσης στις δοκούς	52
Σχήμα 3.13. Δημιουργία πλαστικής άρθρωσης στα υποστυλώματα	53
Σχήμα 3.14. Μορφές φόρτισης για ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή	55

Σχήμα 3.15. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ισογείου για την ομοιόμορφη μορφή φόρτισης PushX-OD.....	55
Σχήμα 3.16. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ισογείου για την ομοιόμορφη μορφή φόρτισης PushX-OD	56
Σχήμα 3.17. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ορόφου για την ομοιόμορφη μορφή φόρτισης PushX-OA	56
Σχήμα 3.18. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ορόφου για την ομοιόμορφη μορφή φόρτισης PushX-OA.....	57
Σχήμα 3.19. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή υπογείου για την ομοιόμορφη μορφή φόρτισης PushY-OP	57
Σχήμα 3.20. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή υπογείου για την ομοιόμορφη μορφή φόρτισης PushY-OP	58
Σχήμα 3.21. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ορόφου για την ομοιόμορφη μορφή φόρτισης PushY-OK	58
Σχήμα 3.22. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ορόφου για την ομοιόμορφη μορφή φόρτισης PushY-OK.....	59
Σχήμα 3.23. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ισογείου για την τριγωνική μορφή φόρτισης PushX-TD	59
Σχήμα 3.24. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ισογείου για την τριγωνική μορφή φόρτισης PushX-TD	60
Σχήμα 3.25. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ορόφου για την τριγωνική μορφή φόρτισης PushX-TA	60
Σχήμα 3.26. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ορόφου για την τριγωνική μορφή φόρτισης PushX-TA	61
Σχήμα 3.27. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή υπογείου για την τριγωνική μορφή φόρτισης PushY-TP	61
Σχήμα 3.28. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή υπογείου για την τριγωνική μορφή φόρτισης PushY-TP	62
Σχήμα 3.29. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ορόφου για την τριγωνική μορφή φόρτισης PushY-TK	62
Σχήμα 3.30. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ορόφου για την τριγωνική μορφή φόρτισης PushY-TK	63
Σχήμα 3.31. Απεικόνιση ομοιόμορφης κατανομής δυνάμεων καθ' ύψος	63
Σχήμα 3.32. Απεικόνιση τριγωνικής κατανομής δυνάμεων καθ' ύψος	64

Σχήμα 3.33. Γράφημα της τέμνουσας βάσης συναρτήσει της οριζόντιας μετακίνησης οροφής	64
Σχήμα 3.34. Διάγραμμα συμπεριφοράς υλικών.....	65
Σχήμα 3.35. Δημιουργία φορτιστικής κατάστασης Pushgrav.....	67
Σχήμα 3.36. Δημιουργία φορτιστικής κατάστασης PUSHX-OD	68
Σχήμα 4.1. Επιλογή για την εμφάνιση της 1 ^{ης} ιδιομορφής	69
Σχήμα 4.2. Παραμορφωμένος φορέας 1 ^{ης} ιδιομορφής διαφράγματος 3 ^{ου} ορόφου	70
Σχήμα 4.3. Τρισδιάστατη απεικόνιση παραμορφωμένου φορέα 1 ^{ης} ιδιομορφής	70
Σχήμα 4.4. Παραμορφωμένος φορέας 2 ^{ης} ιδιομορφής διαφράγματος 3 ^{ου} ορόφου	71
Σχήμα 4.5. Τρισδιάστατη απεικόνιση παραμορφωμένου φορέα 2 ^{ης} ιδιομορφής	71
Σχήμα 4.6. Παραμορφωμένος φορέας 3 ^{ης} ιδιομορφής διαφράγματος 3 ^{ου} ορόφου	72
Σχήμα 4.7. Τρισδιάστατη απεικόνιση παραμορφωμένου φορέα 3 ^{ης} ιδιομορφής	72
Σχήμα 4.8. Τομές 1-1 & 2-2	73
Σχήμα 4.9. Παραμορφωμένος φορέας από τομή 1-1 1ης ιδιομορφής	73
Σχήμα 4.10. Παραμορφωμένος φορέας από τομή 1-1 2ης ιδιομορφής	74
Σχήμα 4.11. Παραμορφωμένος φορέας από τομή 1-1 3ης ιδιομορφής	74
Σχήμα 4.12. Παραμορφωμένος φορέας από τομή 2-2 1ης ιδιομορφής.....	75
Σχήμα 4.13. Παραμορφωμένος φορέας από τομή 2-2 2ης ιδιομορφής	75
Σχήμα 4.14. Παραμορφωμένος φορέας από τομή 2-2 3ης ιδιομορφής	76
Σχήμα 4.15. Εμφάνιση αποτελεσμάτων ιδιομορφών	77
Σχήμα 4.16. Καμπύλη αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OA.....	79
Σχήμα 4.17. Καμπύλη αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OD	80
Σχήμα 4.18. Καμπύλη αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OP	81
Σχήμα 4.19. Καμπύλη αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OK.....	82
Σχήμα 4.20. Καμπύλη αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TA	83
Σχήμα 4.21. Καμπύλη αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TD	84
Σχήμα 4.22. Καμπύλη αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TP.....	85
Σχήμα 4.23. Καμπύλη αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TK	86

Σχήμα 4.24. Καμπύλες αντίστασης για PUSHX-OD και PUSHX-TD	87
Σχήμα 4.25. Καμπύλες αντίστασης για PUSHX-OA και PUSHX-TA	88
Σχήμα 4.26. Καμπύλες αντίστασης για PUSHY-OP και PUSHY-TP	88
Σχήμα 4.27. Καμπύλες αντίστασης για PUSHY-OK και PUSHY-TK	89
Σχήμα 4.28. Παραμορφωμένος φορέας στο βήμα εμφάνισης της πρώτης πλαστικής άρθρωσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OD	90
Σχήμα 4.29. Παραμορφωμένος φορέας στο βήμα εμφάνισης της πρώτης πτώσης αντοχής και αστοχίας για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OD.....	91
Σχήμα 4.30. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OD	92
Σχήμα 4.31. Παραμορφωμένος φορέας στο βήμα εμφάνισης της πρώτης πλαστικής άρθρωσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OA	93
Σχήμα 4.32. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OA.....	94
Σχήμα 4.33. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-OP	95
Σχήμα 4.34. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-OK	96
Σχήμα 4.35. Παραμορφωμένος φορέας στο βήμα εμφάνισης της πρώτης πλαστικής άρθρωσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TD	97
Σχήμα 4.36. Παραμορφωμένος φορέας στο βήμα εμφάνισης της πρώτης πτώσης αντοχής για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TD	98
Σχήμα 4.37. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TD	99
Σχήμα 4.38. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα εμφάνισης της πρώτης πλαστικής άρθρωσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TA	100
Σχήμα 4.39. Παραμορφωμένος φορέας στο βήμα εμφάνισης της πρώτης αστοχίας για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TA	101
Σχήμα 4.40. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TA	102
Σχήμα 4.41. Παραμορφωμένος φορέας στο βήμα εμφάνισης της πρώτης πλαστικής άρθρωσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-TP	103
Σχήμα 4.42. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-TP.....	104

Σχήμα 4.43. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-TK	105
Σχήμα 5.1. Καμπύλες αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OD και PUSHX-TD	107
Σχήμα 5.2. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OD.....	108
Σχήμα 5.3. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TD	108
Σχήμα 5.4. Καμπύλες αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OA και PUSHX-TA	109
Σχήμα 5.5. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OA	110
Σχήμα 5.6. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TA	110
Σχήμα 5.7. Καμπύλες αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-OP και PUSHY-TP	111
Σχήμα 5.8. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-OP	112
Σχήμα 5.9. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-TP	112
Σχήμα 5.10. Καμπύλες αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-OK και PUSHY-TK	113
Σχήμα 5.11. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-OK	114
Σχήμα 5.12. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-TK	114
Σχήμα 5.13. Καμπύλες αντίστασης για ομοιόμορφη φόρτιση σε κάθε πλευρά	115
Σχήμα 5.14. Καμπύλες αντίστασης για τριγωνική φόρτιση σε κάθε πλευρά	116
Σχήμα 5.15. Καμπύλες αντίστασης για ομοιόμορφη και τριγωνική φόρτιση κατά τη διεύθυνση X	117
Σχήμα 5.16. Καμπύλες αντίστασης για ομοιόμορφη και τριγωνική φόρτιση κατά τη διεύθυνση Y	118

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1. Δοκοί.....	17
Πίνακας 1.2. Υποστυλώματα.....	19
Πίνακας 1.3. Τοιχεία	20
Πίνακας 2.1. Κατανομή φορτίων από τις πλάκες στις δοκούς – Οροφή υπογείου & ισογείου	38
Πίνακας 2.2. Κατανομή φορτίων από τις πλάκες στις δοκούς – Οροφή ορόφου	39
Πίνακας 4.1. Αποτελέσματα ιδιοπεριόδου και μετακινήσεων φορέα	77
Πίνακας 4.2. Αποτελέσματα ιδιοπεριόδου και μετακινήσεων φορέα	78
Πίνακας 5.1. Αποτελέσματα ιδιοπεριόδου και μετακινήσεων φορέα	106
Πίνακας 5.2. Αποτελέσματα ιδιοπεριόδου και μετακινήσεων φορέα	106

Κεφάλαιο 1

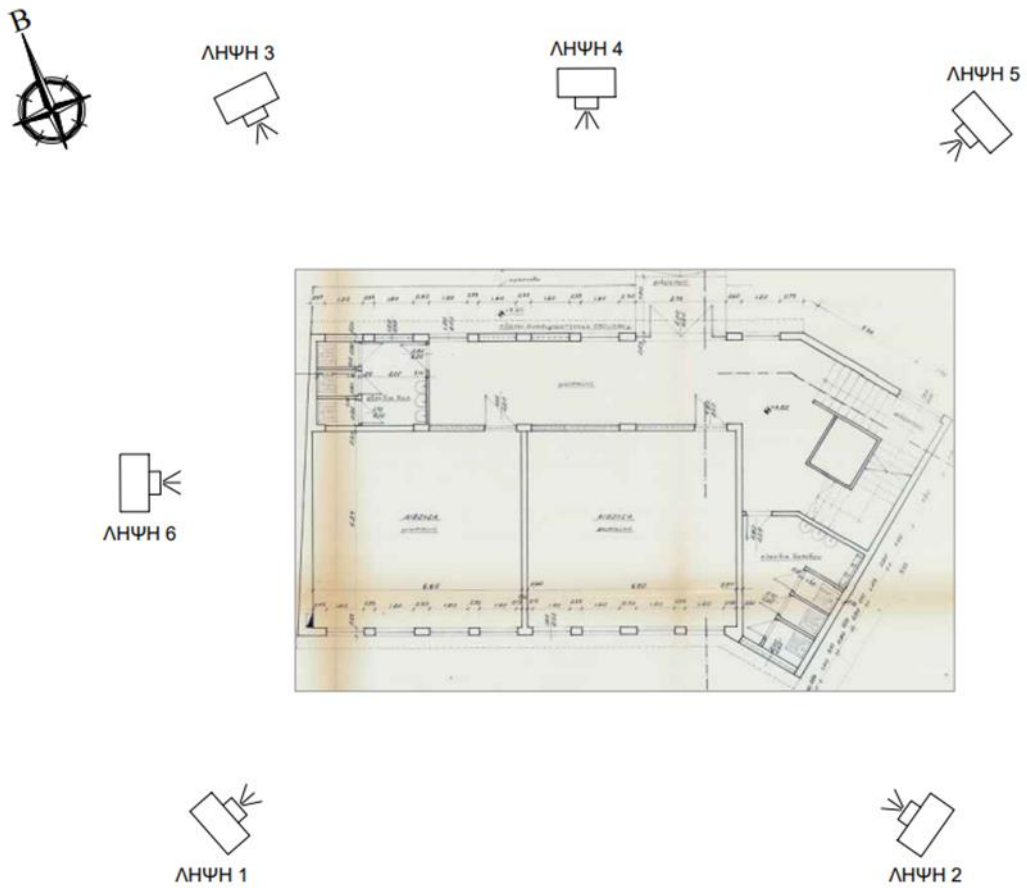
Περιγραφή του υπό μελέτη κτιρίου

1.1 Γενική περιγραφή

Το υπό μελέτη κτίριο βρίσκεται στη Θεσσαλονίκη, στην οδό Βλαχάβα και στεγάζει το 51ο, 61ο και 62ο νηπιαγωγείο Θεσσαλονίκης. Είναι μια τριώροφη σχολική μονάδα που αποτελείται από υπόγειο, ισόγειο και έναν όροφο. Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου είναι από σπλισμένο σκυρόδεμα με ποιότητα σκυροδέματος B 225 και χάλυβα St III. Το πάχος των πλακών είναι 17 cm και το ύψος του κάθε ορόφου είναι 3,18 m. Στην πλάκα οροφής ισογείου και ορόφου υπάρχουν εξώστες με προεξοχή 40 cm οι οποίοι δεν προσομοιώθηκαν.



Σχήμα 1.1. Γεωγραφική θέση του υπό μελέτη κτιρίου



Σχήμα 1.2. Θέσεις φωτογραφικών λήψεων



Σχήμα 1.3. Λήψη 1



Σχήμα 1.4. Λήψη 2



Σχήμα 1.5. Λήψη 3



Σχήμα 1.6. Λήψη 4



Σχήμα 1.7. Λήψη 5



Σχήμα 1.8. Λήψη 6

1.2 Δομικά στοιχεία

Σε κάθε όροφο έχουμε 22 δοκούς διατομής 20/35, 20/45, 20/60, 20/85 και 25/35, με κύριο σπλισμό διατομής από Φ12 έως Φ20 και εγκάρσιο σπλισμό (συνδετήρες) διατομής Φ8.

Συγκεκριμένα:

Πίνακας 1.1. Δοκοί

A/A	Περιγραφή	Διαστάσεις	Οπλισμός
1	Δ1	20/35	4 Φ12 προσθ. 2 Φ16 άνω αριστ.
2	Δ2	20/35	4 Φ12
3	Δ3	20/35	4 Φ12
4	Δ4	20/35	4 Φ12
5	Δ5	20/35	4 Φ12 προσθ. 2 Φ16 άνω δεξ.

6	Δ6	20/60	4 Φ12
7	Δ7	20/60	4 Φ12
8	Δ8	20/60	4 Φ12
9	Δ9	20/60	4 Φ12
10	Δ10	20/60	4 Φ12 προσθ. 2 Φ16 άνω αριστ.
11	Δ11	20/60	4 Φ12
12	Δ12	20/60	4 Φ12
13	Δ13	20/60	4 Φ12
14	Δ14	20/60	4 Φ18 προσθ. 1 Φ14 άνω αριστ., 1 Φ14 άνω δεξ.
15	Δ15	25/35	4 Φ12
16	Δ16	20/60	4 Φ12 προσθ. 2 Φ12 άνω αριστ.
17	Δ17	20/60	4 Φ14
18	Δ18	20/85	2 Φ18 άνω + 2 Φ20 κάτω προσθ. 2 Φ18 + 2 Φ16 άνω δεξ.
19	Δ19	20/85	4 Φ10 προσθ. 2 Φ18 + 2 Φ16 άνω αριστ.
20	Δ20	20/60	4 Φ14 προσθ. 4 Φ16 άνω δεξ.
21	Δ21	20/45	4 Φ10
22	Δ22	20/60	4 Φ12 προσθ. 2 Φ16 άνω αριστ., 3 Φ14 άνω δεξ.

Οι διατομές των υποστυλωμάτων είναι 25/30, 25/40, 25/50, 30/30, 30/40 και 40/50, με κύριο οπλισμό διατομής από Φ14 έως Φ20 και εγκάρσιο οπλισμό (συνδετήρες) διατομής Φ8.

Συγκεκριμένα:

Πίνακας 1.2. Υποστυλώματα

A/A	Περιγραφή	Διαστάσεις	Οπλισμός
1	Σ1	30/40	4 Φ20
2	Σ2	25/30	4 Φ16
3	Σ3	25/30	4 Φ16
4	Σ4	25/30	4 Φ16
5	Σ5	30/40	4 Φ16
6	Σ6	25/40	4 Φ18
7	Σ7	25/40	4 Φ18 + 4 Φ14
8	Σ8	40/50	4 Φ18 + 4 Φ16
9	Σ9	25/40	4 Φ18
10	Σ10	30/30	4 Φ20
11	Σ11	25/30	4 Φ18
12	Σ12	25/50	6 Φ18 + 2 Φ14
13	Σ13	25/30	4 Φ18
14	Σ14	25/50	6 Φ18
15	Σ15	30/30	4 Φ20
16	Σ16	25/25	4 Φ20
17	Σ17	25/25	4 Φ20
18	Σ18	25/25	4 Φ20
19	Σ19	25/25	4 Φ20

Τα τοιχώματα έχουν διατομή 550/20, 490/20, 370/20 και 200/20, με διατομή κύριου και εγκάρσιου οπλισμού Φ8.

Συγκεκριμένα:

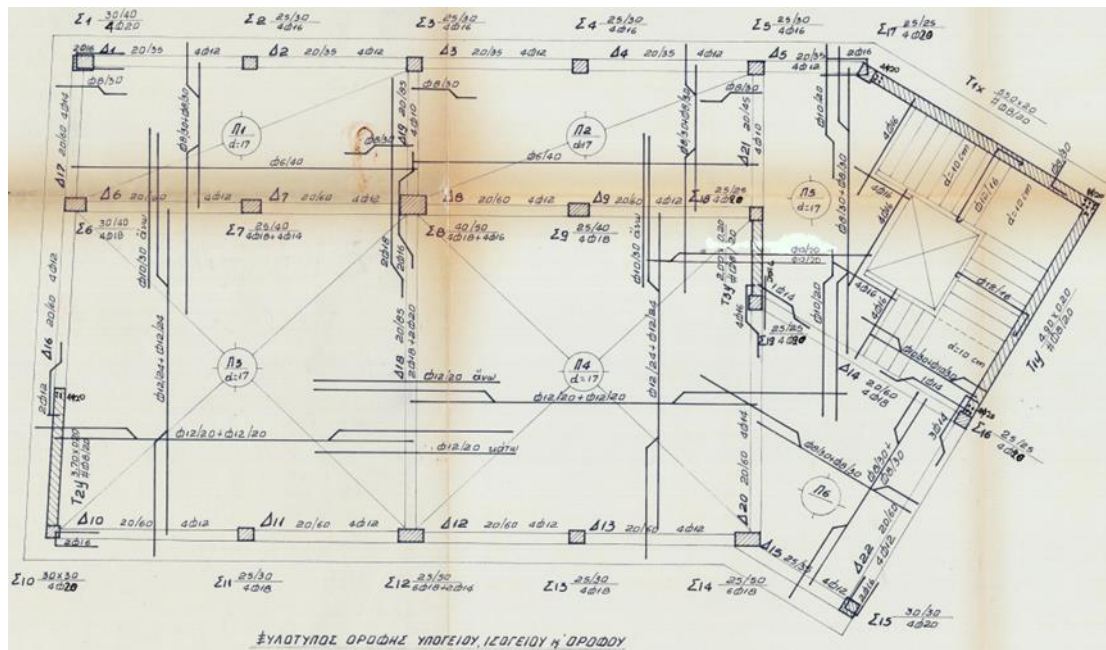
Πίνακας 1.3. Τοιχεία

A/A	Περιγραφή	Διαστάσεις	Οπλισμός
1	T1X	550/20	#Φ8/20
2	T1Y	490/20	#Φ8/20
3	T2Y	370/20	#Φ8/20
4	T3Y	200/20	#Φ8/20

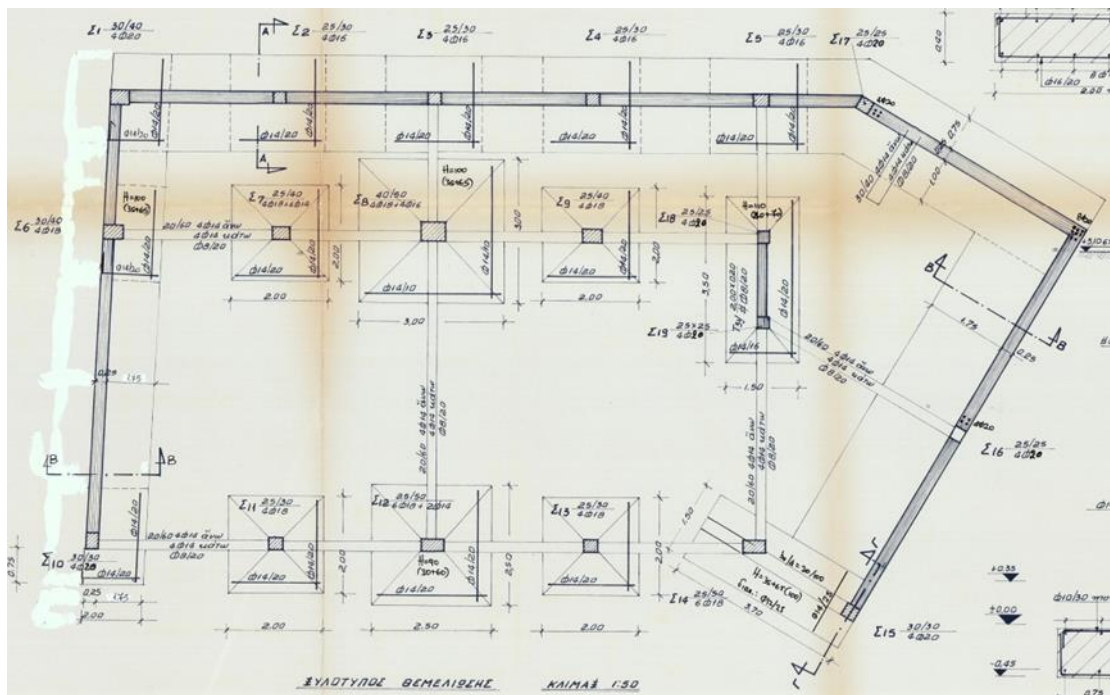
Η θεμελίωση του κτιρίου είναι με πεδילוδοκούς.

Η πλήρωση του κτιρίου έχει γίνει με μπατική οπτοπλινθοδομή περιμετρικά και δρομική οπτοπλινθοδομή στα εσωτερικά χωρίσματα σύμφωνα με τα αρχιτεκτονικά σχέδια.

Οι ιδιότητες των υλικών ελήφθησαν με βάση την υπάρχουσα μελέτη του κτιρίου. Για τα δομικά στοιχεία, που πλαισιώνουν τον φέρων οργανισμό έγινε η παραδοχή ότι η μελέτη τηρήθηκε με ακρίβεια κατά την κατασκευή και θεωρήθηκε ότι οι οπλισμοί δεν έχουν υποστεί καμία διάβρωση από οξείδωση.



Σχήμα 1.9. Ξυλότυπος οροφής υπογείου, ισογείου και ορόφου



Σχήμα 1.10. Ξυλότυπος θεμελίωσης

1.3 Φορτία κτιρίου

Ο υπολογισμός του βάρους της κατασκευής ανά όροφο προέκυψε από το υφιστάμενο αρχιτεκτονικό σχέδιο.

Στις πλάκες του φορέα εντοπίστηκαν και εφαρμόστηκαν τα εξής φορτία :

- Μόνιμα φορτία
 - Ίδιο βάρος πλακών
 $g_{ιβ} = 4,08 \text{ kN/m}^2$
 - Φορτίο επιστρώσεων
 $g_{επ} = 0,62 \text{ kN/m}^2$
 - Φορτίο στέγης
 $g_{στ} = 1,92 \text{ kN/m}^2$
- Κινητά φορτία
 - $q = 5,00 \text{ kN/m}^2$ για την οροφή υπογείου και ισογείου
 - $q = 1,50 \text{ kN/m}^2$ για την οροφή 1ου ορόφου

Οι δοκοί φορτίστηκαν με το ίδιο βάρος τους και με τα φορτία των πλακών με βάση τις επιφάνειες επιρροής, καθώς και με το βάρος της τοιχοποιίας. Για δρομική τοιχοποιία το βάρος υπολογίστηκε από την σχέση $g_{δ} = 2,10 \text{ (kN/m}^2 \text{)} \cdot \text{ητοίχου}$ και για μπατική τοιχοποιία $g_{μ} = 3,60 \text{ (kN/m}^2 \text{)} \cdot \text{ητοίχου}$. Οι διαστάσεις, η μορφή των διατομών των δοκών, καθώς και ο υπάρχων οπλισμός στα άκρα των δοκών προσομοιώθηκαν σύμφωνα με τα κατασκευαστικά σχέδια.

Κεφάλαιο 2

Προσομοίωση φορέα

2.1 Γενικά

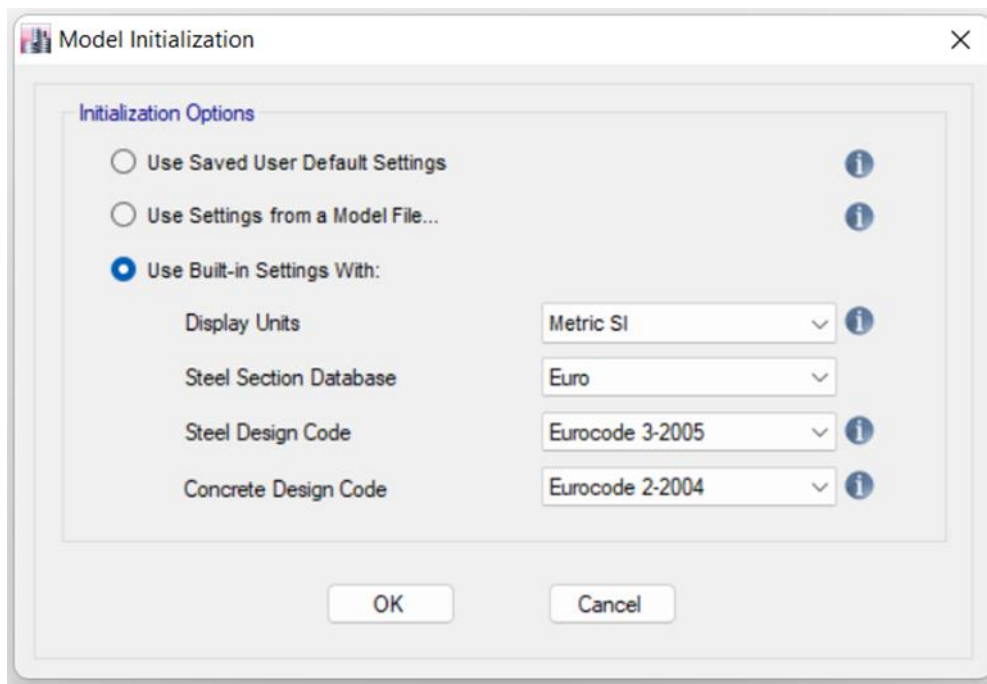
Η ανάλυση του υφιστάμενου κτιρίου έγινε με το πρόγραμμα ETABs. Το υπολογιστικό προσομοίωμα είναι γραμμικό και συμπεριλαμβάνει το σύνολο των γραμμικών δομικών στοιχείων. Η στήριξη στο υπόγειο έχει προσομοιωθεί με πακτώσεις και έτσι δεν λαμβάνονται υπόψη φαινόμενα αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής. Τέλος, οι πλάκες θεωρήθηκαν απολύτως απαραμόρφωτες στο επίπεδό τους, κάνοντας χρήση διαφραγματικής λειτουργίας στις στάθμες των ορόφων.

2.2 Φορτία κατά την προσομοίωση

Για απλοποίηση του προσομοιώματος δεν χρησιμοποιήθηκαν επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία για την προσομοίωση των πλακών. Έγινε μεταβίβαση των μόνιμων και κινητών φορτίων στις δοκούς μέσω επιφανειών επιρροής.

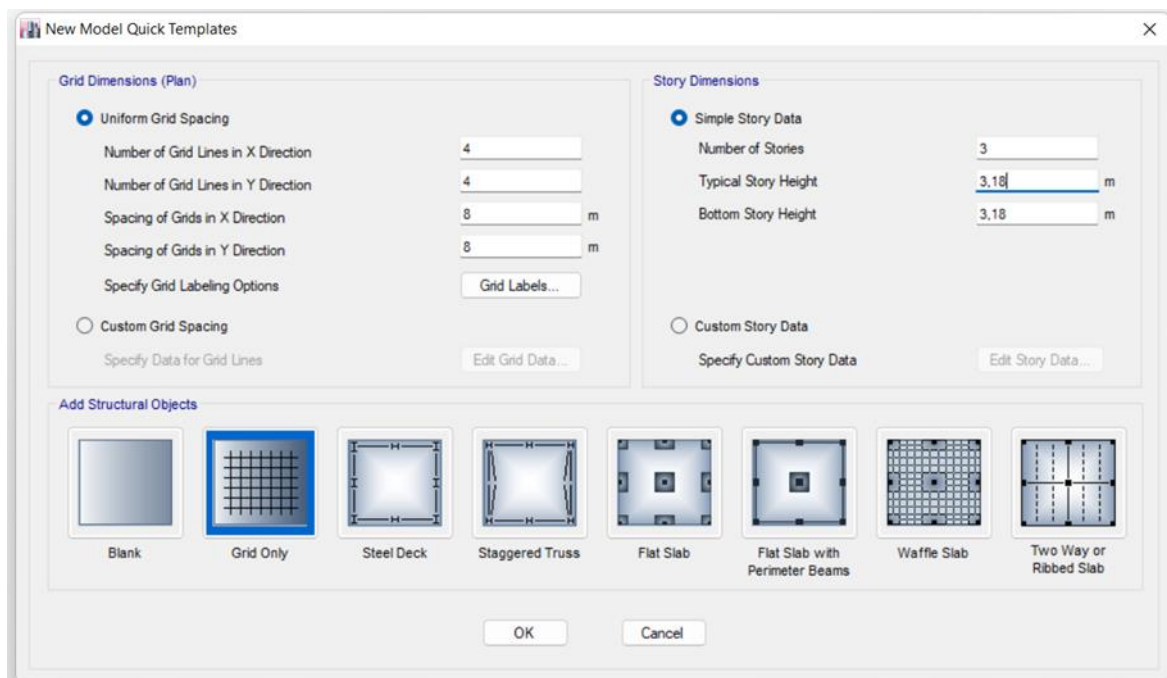
2.3 Γεωμετρία φορέα - Υλικά

Επιλέγοντας από το menu της επιφάνειας εργασίας File → New Model θα εμφανιστεί σε παράθυρο το menu όπου επιλέγω μονάδες μέτρησης και κανονισμούς για χάλυβα και σκυρόδεμα, τους οποίους το πρόγραμμα θα λάβει υπόψιν. Επιλέγω μονάδες μέτρησης με βάση το σύστημα S.I. και κανονισμούς για χάλυβα και σκυρόδεμα σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες.



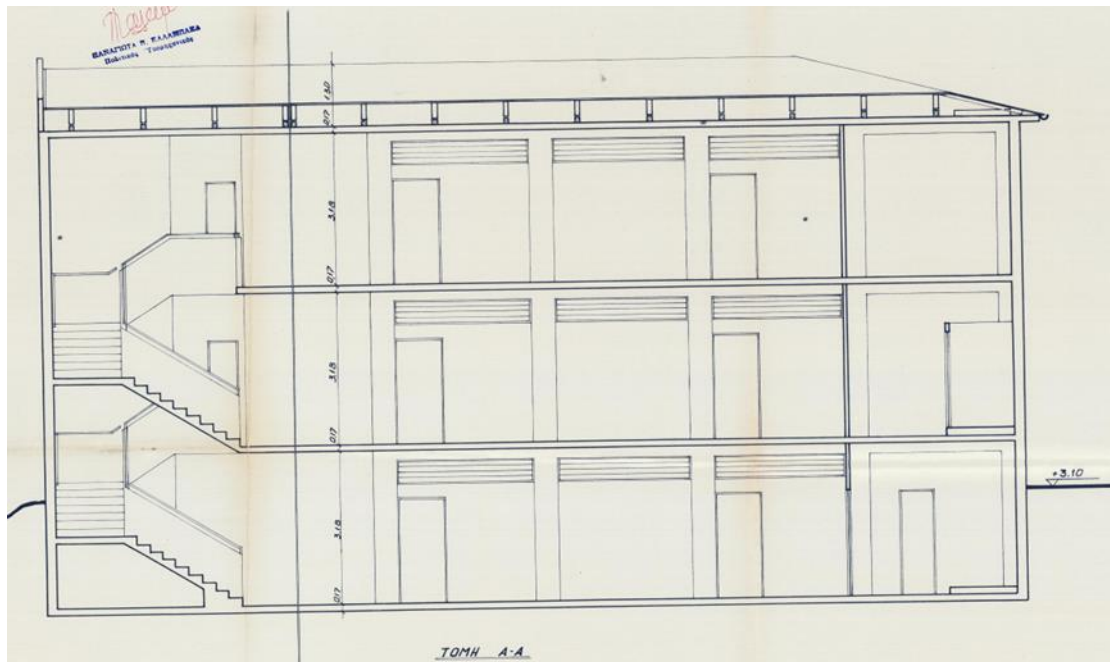
Σχήμα 2.1. Επιλογή μονάδων μέτρησης και κανονισμών για χάλυβα και σκυρόδεμα

Στη συνέχεια εμφανίζεται παράθυρο όπου επιλέγω αριθμό γραμμών καννάβου κατά την X και Y διεύθυνση καθώς και την απόσταση των γραμμών μεταξύ τους. Επίσης, από το ίδιο παράθυρο συμπληρώνω αριθμό ορόφων κτιρίου και ύψος ορόφων.



Σχήμα 2.2. Επιλογή χαρακτηριστικών καννάβου και κτιρίου σχετικά με το ύψος και τον αριθμό ορόφων

Από τα αρχιτεκτονικά σχέδια και συγκεκριμένα από τη τομή A-A λαμβάνουμε ύψος ορόφων 3,18 m.



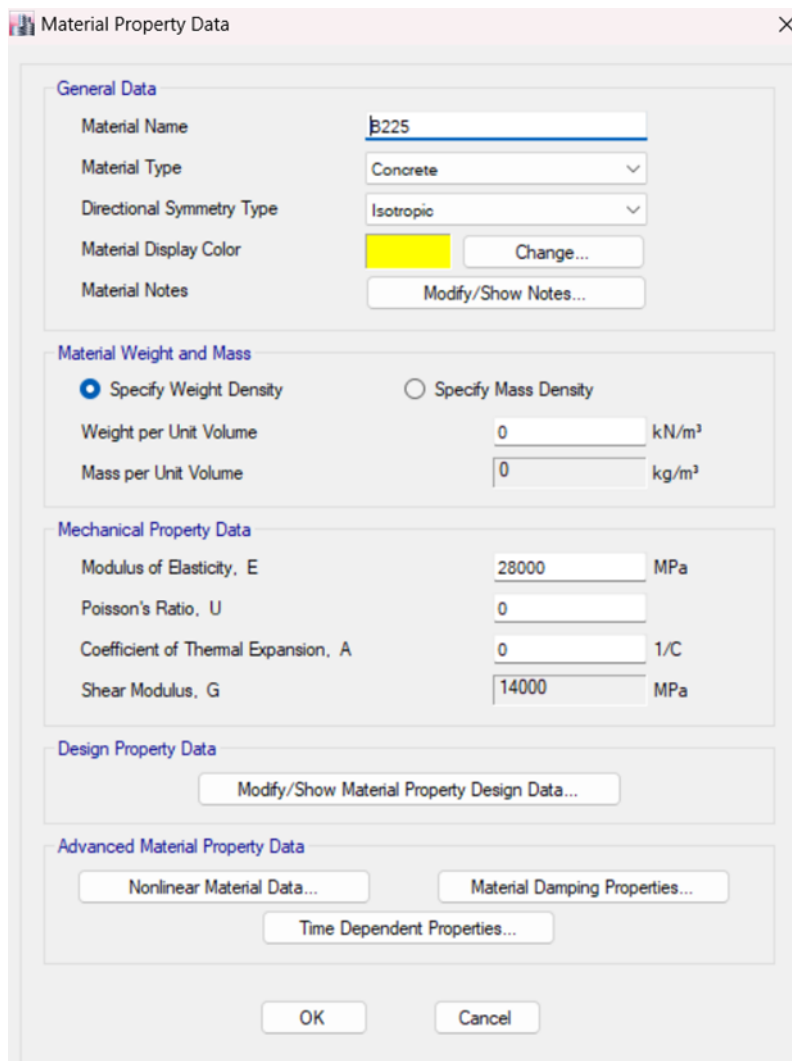
Σχήμα 2.3. Τομή Α-Α

Στο προσομοίωμα έχουν ληφθεί και προσομοιωθεί οι μέσες τιμές αντοχής των υλικών.

Σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα είναι κατηγορίας B 225, με μέση θλιπτική αντοχή τα 18 MPa.

Επιλέγοντας Define → Material Properties → Add New Material δημιουργώ νέο υλικό για το σκυρόδεμα.



The image shows a software dialog box titled "Material Property Data" with a close button (X) in the top right corner. The dialog is organized into several sections:

- General Data:** Material Name (B225), Material Type (Concrete), Directional Symmetry Type (Isotropic), Material Display Color (yellow), and Material Notes (Modify/Show Notes...).
- Material Weight and Mass:** Radio buttons for "Specify Weight Density" (selected) and "Specify Mass Density". Input fields for Weight per Unit Volume (0 kN/m³) and Mass per Unit Volume (0 kg/m³).
- Mechanical Property Data:** Modulus of Elasticity, E (28000 MPa), Poisson's Ratio, U (0), Coefficient of Thermal Expansion, A (0 1/C), and Shear Modulus, G (14000 MPa).
- Design Property Data:** A button labeled "Modify/Show Material Property Design Data...".
- Advanced Material Property Data:** Buttons for "Nonlinear Material Data...", "Material Damping Properties...", and "Time Dependent Properties...".

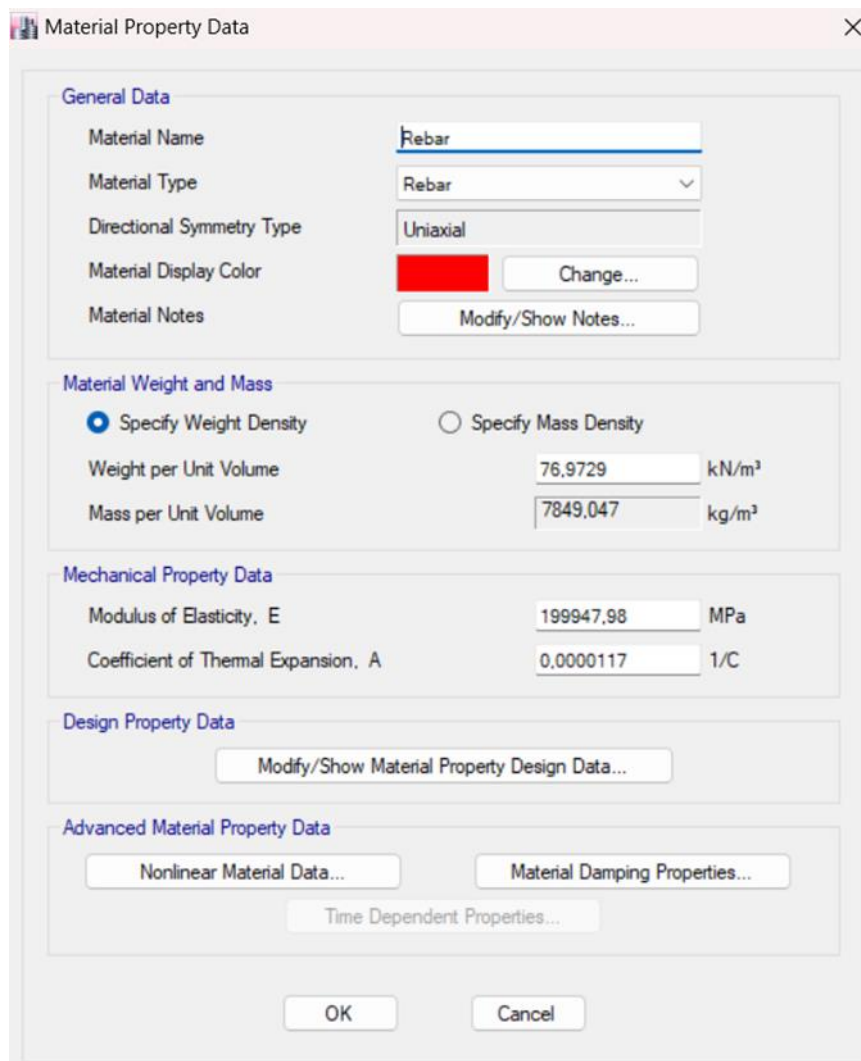
At the bottom of the dialog are "OK" and "Cancel" buttons.

Σχήμα 2.4. Ιδιότητες σκυροδέματος

Χάλυβας

Ο χάλυβας είναι κατηγορίας St III για τους διαμήκεις και τους εγκάρσιους σπλισμούς.

Επιλέγοντας Define → Material Properties → Add New Material δημιουργώ νέο υλικό για τον χάλυβα.



The image shows a software dialog box titled "Material Property Data" with a close button (X) in the top right corner. The dialog is organized into several sections:

- General Data:** Contains fields for "Material Name" (set to "Rebar"), "Material Type" (set to "Rebar"), "Directional Symmetry Type" (set to "Uniaxial"), "Material Display Color" (a red color swatch with a "Change..." button), and "Material Notes" (with a "Modify/Show Notes..." button).
- Material Weight and Mass:** Features two radio buttons: "Specify Weight Density" (selected) and "Specify Mass Density". Below are input fields for "Weight per Unit Volume" (76.9729 kN/m³) and "Mass per Unit Volume" (7849.047 kg/m³).
- Mechanical Property Data:** Includes input fields for "Modulus of Elasticity, E" (199947.98 MPa) and "Coefficient of Thermal Expansion, A" (0.0000117 1/C).
- Design Property Data:** Contains a single button labeled "Modify/Show Material Property Design Data...".
- Advanced Material Property Data:** Contains three buttons: "Nonlinear Material Data...", "Material Damping Properties...", and "Time Dependent Properties...".

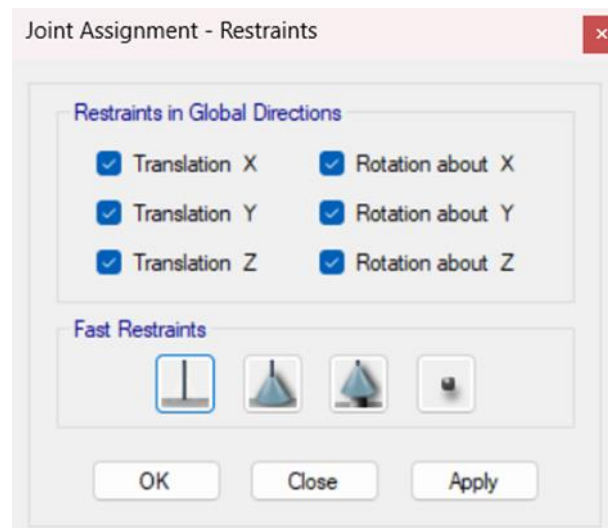
At the bottom of the dialog are "OK" and "Cancel" buttons.

Σχήμα 2.5. Ιδιότητες χάλυβα

2.4 Συνθήκες στήριξης – Διαφράγματα

Θεωρούμε τα υποστυλώματα πακτωμένα στη βάση τους.

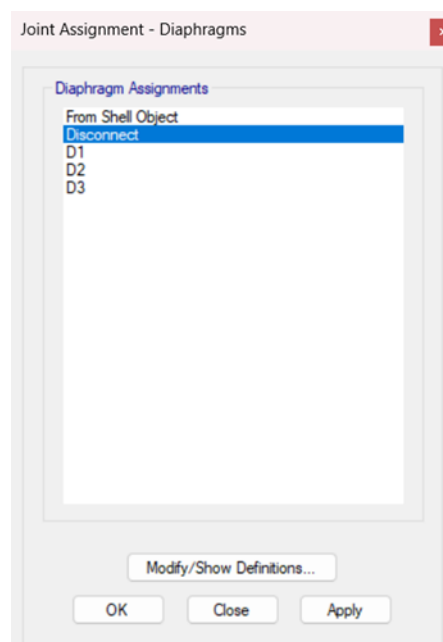
Επιλέγουμε τους κόμβους στη στάθμη θεμελίωσης και από το menu Assign → Joint → Restraints επιλέγουμε την πάκτωση ως συνθήκη στήριξης.



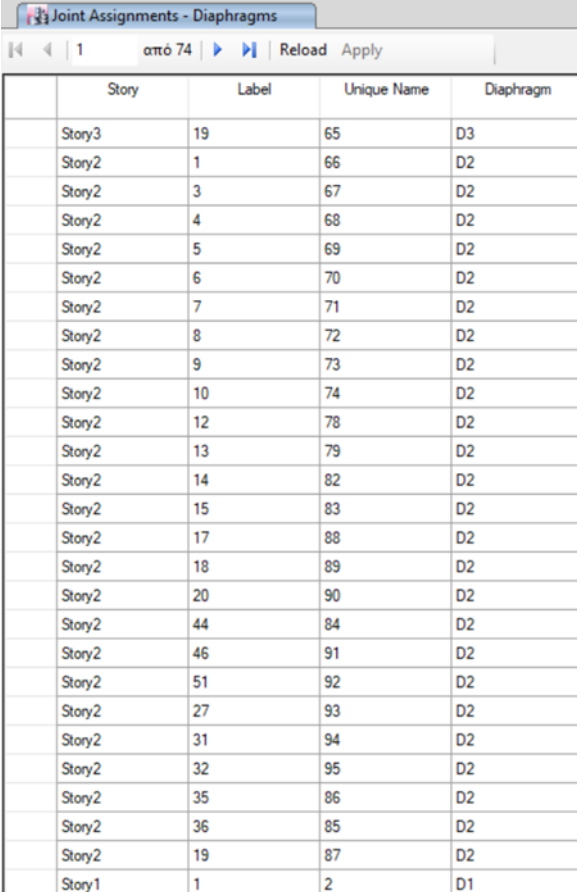
Σχήμα 2.6. Ορισμός συνθήκης στήριξης

Ορίζεται διάφραγμα στη στάθμη του κάθε ορόφου. Με τη διαφραγματική λειτουργία εξασφαλίζεται η ίση μετακίνηση στο επίπεδο του κάθε ορόφου ενώ θεωρούνται τρεις βαθμοί ελευθερίας ανά όροφο, δύο μετακινήσεις κατά τις διευθύνσεις x και y και μία στροφή κατά τη διεύθυνση z.

Επιλέγουμε τους κόμβους του ορόφου και από το menu Assigns → Joints → Diaphragms ορίζουμε διαφραγματική λειτουργία.



Σχήμα 2.7. Ορισμός διαφραγματικής λειτουργίας

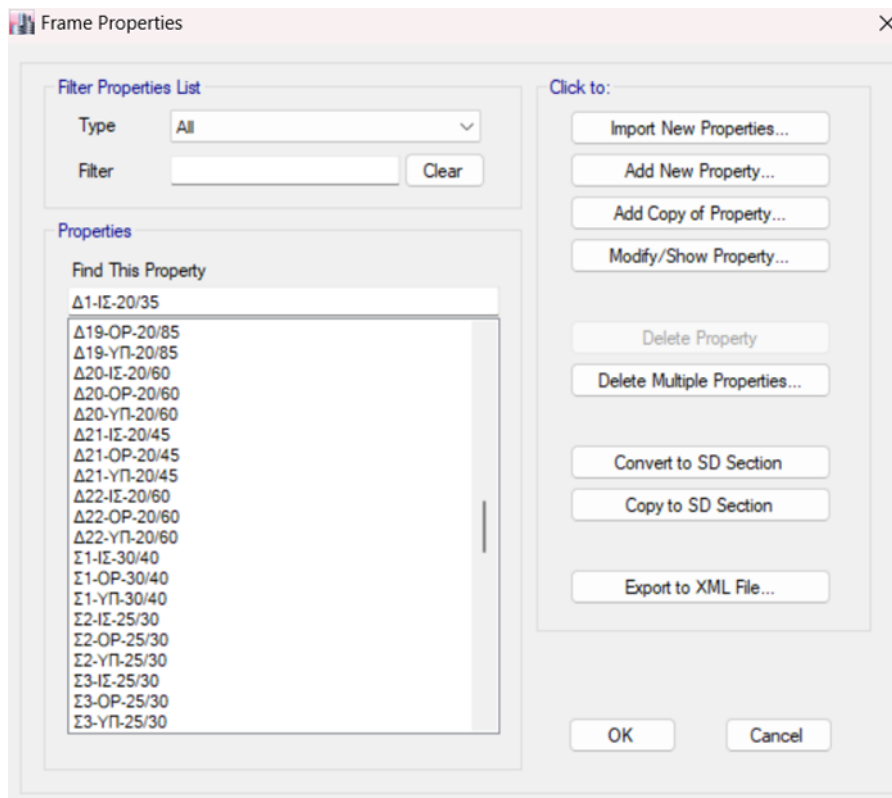


Story	Label	Unique Name	Diaphragm
Story3	19	65	D3
Story2	1	66	D2
Story2	3	67	D2
Story2	4	68	D2
Story2	5	69	D2
Story2	6	70	D2
Story2	7	71	D2
Story2	8	72	D2
Story2	9	73	D2
Story2	10	74	D2
Story2	12	78	D2
Story2	13	79	D2
Story2	14	82	D2
Story2	15	83	D2
Story2	17	88	D2
Story2	18	89	D2
Story2	20	90	D2
Story2	44	84	D2
Story2	46	91	D2
Story2	51	92	D2
Story2	27	93	D2
Story2	31	94	D2
Story2	32	95	D2
Story2	35	86	D2
Story2	36	85	D2
Story2	19	87	D2
Story1	1	2	D1

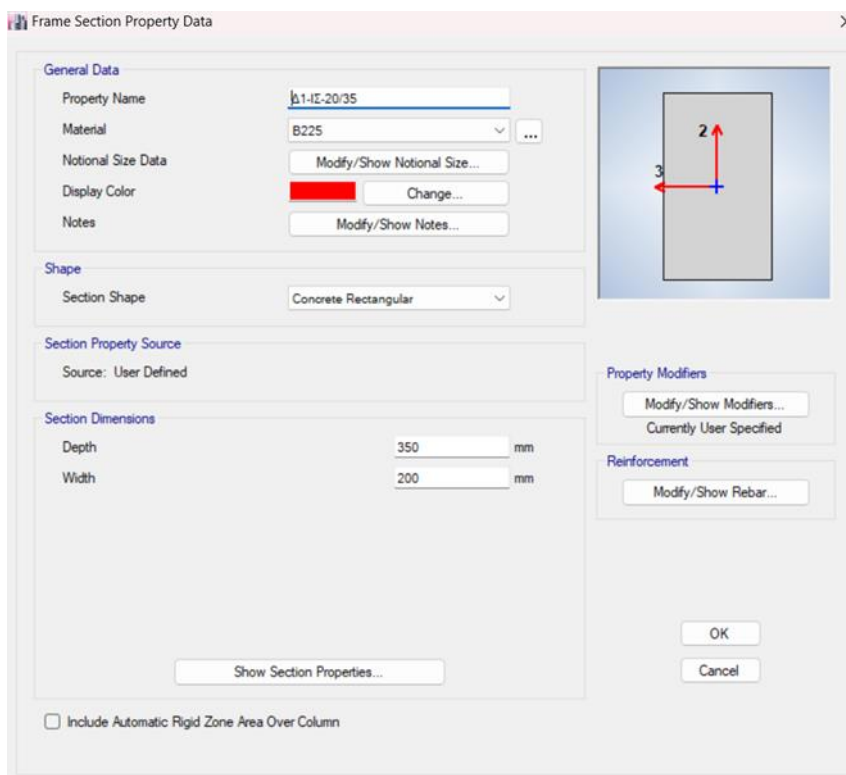
Σχήμα 2.8. Διαφραγματική λειτουργία σε κάθε όροφο

2.5 Διατομές δομικών στοιχείων

Από το menu επιλέγουμε Define → Section Properties → Frame Sections → Add New Property και ορίζουμε τις διατομές για τις δοκούς, τα υποστυλώματα και τα τοιχεία του κτιρίου.



Σχήμα 2.9. Ορισμός διατομών δομικών στοιχείων

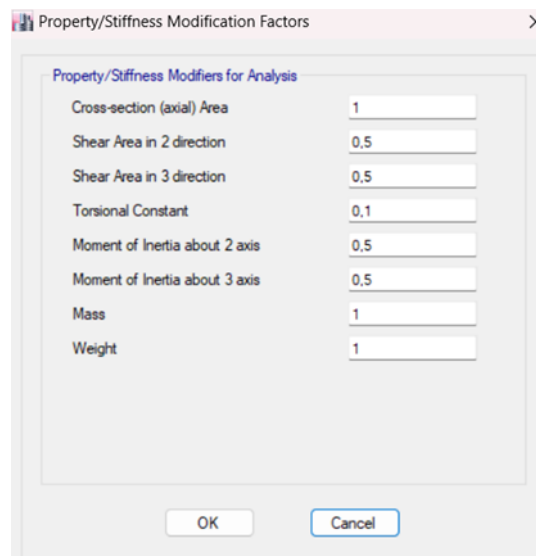


Σχήμα 2.10. Ορισμός διατομής δοκού Δ1 ισογείου



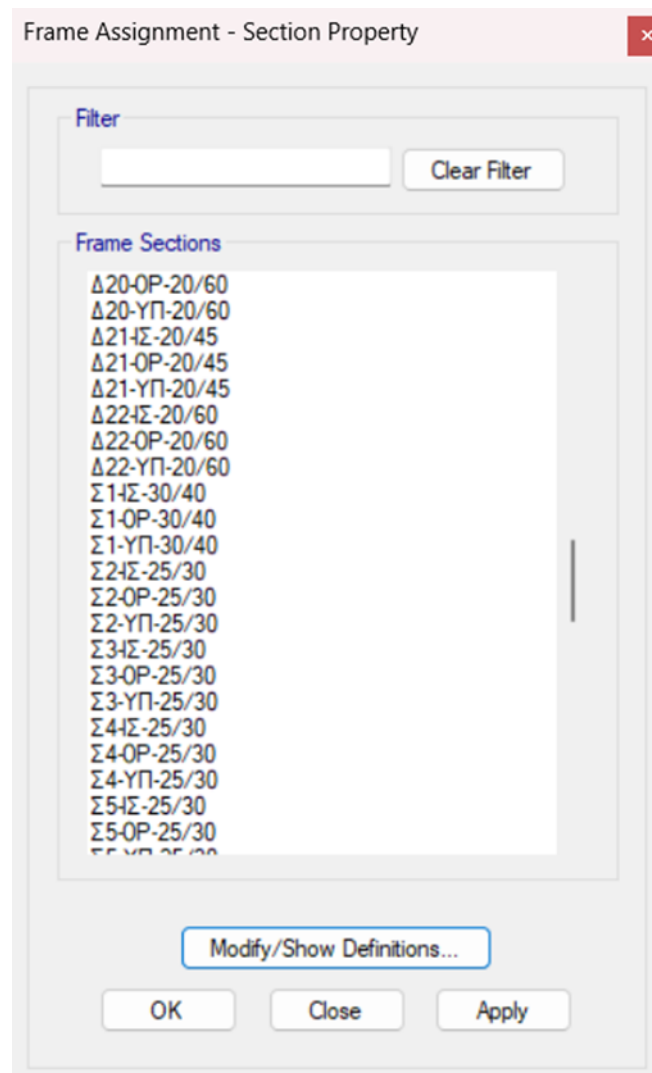
Σχήμα 2.11. Ορισμός διατομής υποστυλώματος Σ1 ισογείου

Από την επιλογή Property Modifiers → Modify / Show Modifiers θέτουμε μειωμένες γεωμετρικές ιδιότητες για την προσομοίωση των ρηγματωμένων διατομών.



Σχήμα 2.12. Μειώσεις γεωμετρικών ιδιοτήτων για την προσομοίωση των ρηγματωμένων διατομών

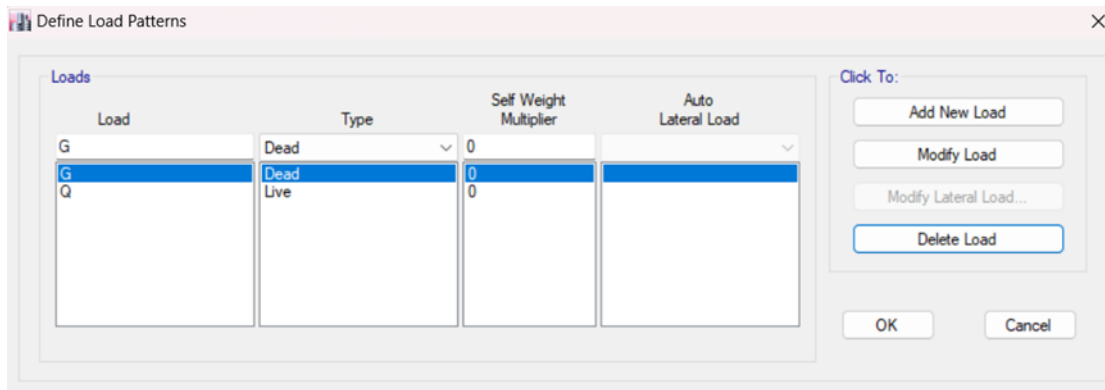
Επιλέγουμε το δομικό στοιχείο στο οποίο θέλουμε να ορίσουμε διατομή και από το menu Assign → Frame → Section Property επιλέγουμε το αντίστοιχο δομικό στοιχείο που έχουμε δημιουργήσει.



Σχήμα 2.13. Διατομές δομικών στοιχείων

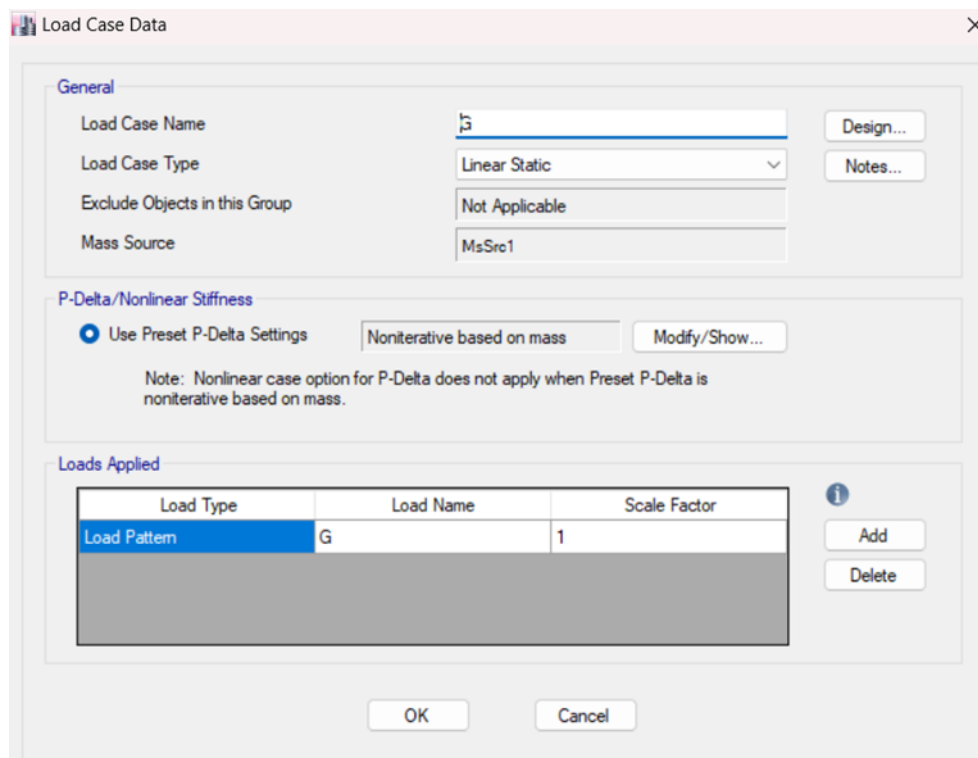
2.6 Μορφές φόρτισης – Φορτιστικές καταστάσεις – Συνδυασμοί φόρτισης

Από το menu του προγράμματος επιλέγουμε Define → Load Patterns και ορίζουμε τις μορφές φόρτισης για τα μόνιμα (G) και κινητά (Q) φορτία.



Σχήμα 2.14. Ορισμός μόνιμων (G) και κινητών (Q) φορτίων

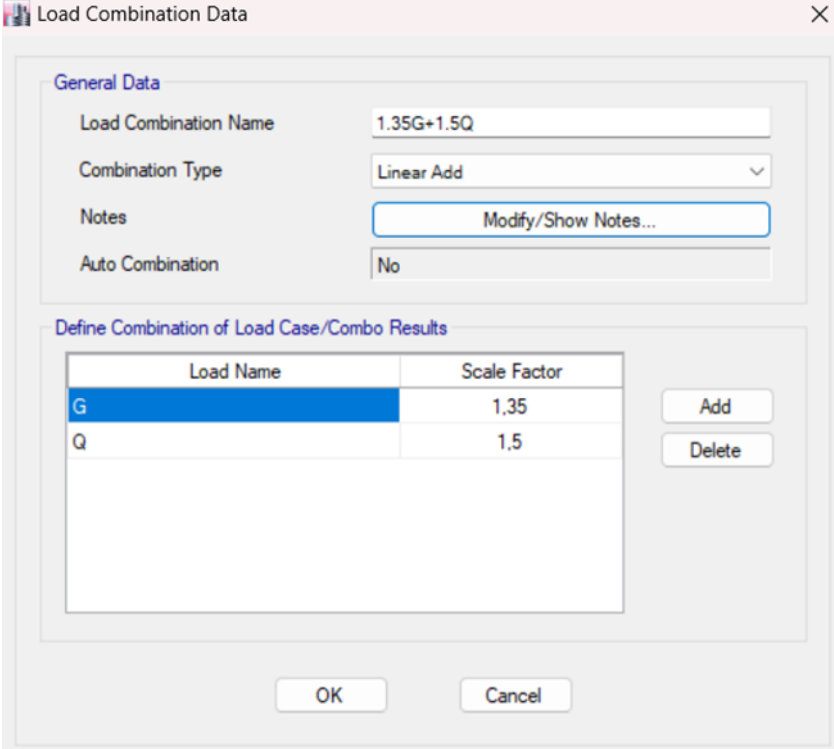
Στη συνέχεια για να δημιουργήσουμε τις φορτιστικές καταστάσεις επιλέγουμε Define → Load Cases → Add New Case.



Σχήμα 2.15. Φορτιστική κατάσταση για τα μόνιμα φορτία (G)

Για την δημιουργία συνδυασμών φόρτισης επιλέγουμε Define → Load Combinations → Add New Combo.

Δημιουργούμε συνδυασμούς φόρτισης που αντιστοιχούν στα κατακόρυφα φορτία.



The screenshot shows the 'Load Combination Data' dialog box. The 'General Data' section contains the following fields:

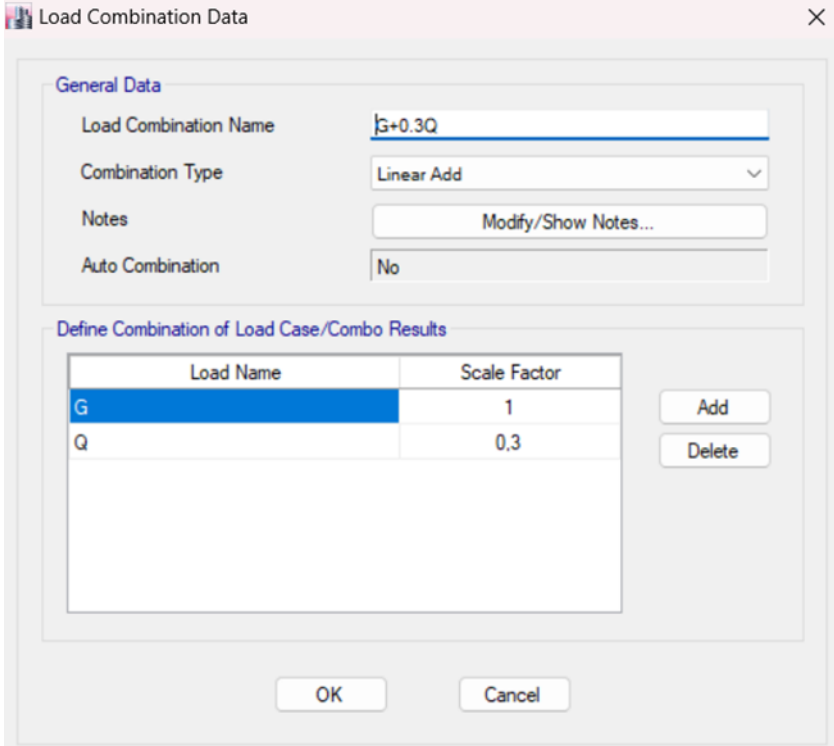
- Load Combination Name: 1.35G+1.5Q
- Combination Type: Linear Add
- Notes: Modify/Show Notes...
- Auto Combination: No

The 'Define Combination of Load Case/Combo Results' section contains a table with the following data:

Load Name	Scale Factor
G	1,35
Q	1,5

Buttons for 'Add' and 'Delete' are visible to the right of the table. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Σχήμα 2.16. Συνδυασμός φόρτισης 1,35G+1,50Q



The screenshot shows the 'Load Combination Data' dialog box. The 'General Data' section contains the following fields:

- Load Combination Name: G+0.3Q
- Combination Type: Linear Add
- Notes: Modify/Show Notes...
- Auto Combination: No

The 'Define Combination of Load Case/Combo Results' section contains a table with the following data:

Load Name	Scale Factor
G	1
Q	0,3

Buttons for 'Add' and 'Delete' are visible to the right of the table. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Σχήμα 2.17. Συνδυασμός φόρτισης G+0,3Q

2.7 Υπολογισμός και ανάθεση φορτίων στα δομικά στοιχεία

Οι δοκοί φορτίστηκαν με το ίδιο βάρος τους και με τα φορτία των πλακών με βάση τις επιφάνειες επιρροής, καθώς και με το βάρος της τοιχοποιίας. Για δομική τοιχοποιία το βάρος υπολογίστηκε από την σχέση $g\delta=2,10 \text{ (kN/m}^2 \text{) * hτοίχου}$ και για μπατική τοιχοποιία $g\mu =3,60 \text{ (kN/m}^2 \text{) * hτοίχου}$.

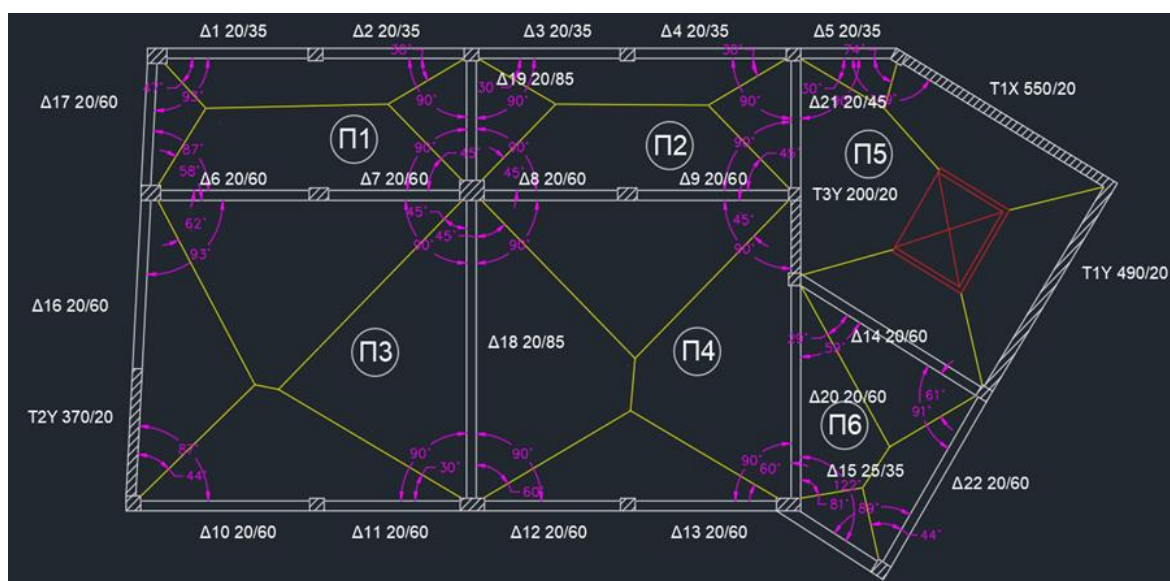
• Μόνιμα φορτία

- Ίδιο βάρος πλακών
 $g\beta= 4,08 \text{ kN/m}^2$
- Φορτίο επιστρώσεων
 $g\epsilon\pi= 0,62 \text{ kN/m}^2$
- Φορτίο στέγης
 $g\sigma\tau= 1,92 \text{ kN/m}^2$
- Φορτίο δομικής τοιχοποιίας
 $g\delta=2,10 \text{ (kN/m}^2 \text{) * hτοίχου}$
- Φορτίο μπατικής τοιχοποιίας
 $g\mu =3,60 \text{ (kN/m}^2 \text{) * hτοίχου}$

• Κινητά φορτία

$q= 5,00 \text{ kN/m}^2$ για την οροφή υπογείου και ισογείου

$q= 1,50 \text{ kN/m}^2$ για την οροφή 1ου ορόφου



Σχήμα 2.18. Επιφάνειες επιρροής

Φορτία πλακών οροφής υπογείου και ισογείουΜόνιμα φορτία (KN/m²)

Ι.Β. Πλάκας:	24 KN/m ³ x 0,17 m =	4,08
Επίστρωση:		0,62
Γπλ.ολ. :		4,70

Κινητά φορτία (KN/m²)

Qπλ.ολ. :	5,00
------------------	-------------

Φορτία πλακών οροφής ορόφουΜόνιμα φορτία (KN/m²)

Ι.Β. Πλάκας:	24 KN/m ³ x 0,17 m =	4,08
Στέγη:		1,92
Γπλ.ολ. :		6,00

Κινητά φορτία (KN/m²)

Qπλ.ολ. :	1,50
------------------	-------------

Πίνακας 2.1. Κατανομή φορτίων από τις πλάκες στις δοκούς – Οροφή υπογείου & ισογείου

Δοκός / Τοιχείο	Μήκος δοκού (m)	Ίδιο βάρος τοιχοποιίας (KN/m)	Συνολικό μήκος δοκών (m)	Εμβαδόν επιρροής (m ²)	Συνολικό μήκος δοκών (2) (m)	Εμβαδόν επιρροής (2) (m ²)	G1 (KN/m)	G2 (KN/m)	Q1 (KN/m)	Q2 (KN/m)	Goλ. (KN/m)	Qoλ. (KN/m)
Δ1	3,25	11,45	6,45	5,26			15,28		4,08		15,28	4,08
Δ2	3,20	11,45					15,28		4,08		15,28	4,08
Δ3	3,25	11,45	6,75	4,92			14,87		3,64		14,87	3,64
Δ4	3,50	11,45					14,87		3,64		14,87	3,64
Δ5	2,15	11,45		1,13			13,92		2,63		13,92	2,63
Δ6	3,35	6,68	6,55	22,90			23,11		17,48		23,11	17,48
Δ7	3,20	6,68					23,11		17,48		23,11	17,48
Δ8	3,25	6,68	6,75	19,74			20,42		14,62		20,42	14,62
Δ9	3,50	6,68					20,42		14,62		20,42	14,62
Δ10	3,65	11,45	6,85	8,78			17,47		6,41		17,47	6,41
Δ11	3,20	11,45					17,47		6,41		17,47	6,41
Δ12	3,25	11,45	6,75	6,15			15,73		4,56		15,73	4,56
Δ13	3,50	11,45					15,73		4,56		15,73	4,56
Δ14	4,75	6,68		8,98			15,56		9,45		15,56	9,45
Δ15	2,40	11,45		1,37			14,13		2,85		14,13	2,85
T2Y	3,70	0,00	6,45	7,50			5,47		5,81		5,47	5,81
Δ16	2,75	11,45					16,91		5,81		16,91	5,81
Δ17	2,85	11,45		1,50			13,92		2,63		13,92	2,63
Δ18	6,45	6,68		24,83			24,77		19,25		24,77	19,25
Δ19	2,85	6,68		4,72			14,46		8,28		14,46	8,28
Δ20	4,55	6,68	6,45	11,97		5,21	15,40	5,38	9,28	5,73	20,78	15,00
T3Y	1,90	0,00			4,75	8,59	8,72	8,50	9,28	9,04	17,22	18,32
Δ21	2,85	6,68		2,48			10,77	8,50	4,35	9,04	19,27	13,39
Δ22	4,10	11,45		2,97			14,85		3,62		14,85	3,62
T1X	5,45	0,00		5,82			5,02		5,34		5,02	5,34
T1Y	5,15	0,00		5,11			4,66		4,96		4,66	4,96

Πίνακας 2.2. Κατανομή φορτίων από τις πλάκες στις δοκούς – Οροφή ορόφου

Δοκός / Τοιχείο	Μήκος δοκού (m)	Συνολικό μήκος δοκών (m)	Εμβαδόν επιρροής (m ²)	Συνολικό μήκος δοκών (2) (m)	Εμβαδόν επιρροής (2) (m ²)	G1 (KN/m)	G2 (KN/m)	Q1 (KN/m)	Q2 (KN/m)	Goλ. (KN/m)	Qoλ. (KN/m)
Δ1	3,25	6,45	5,26			4,89		1,22		4,89	1,22
Δ2	3,20					4,89		1,22		4,89	1,22
Δ3	3,25	6,75	4,92			4,37		1,09		4,37	1,09
Δ4	3,50					4,37		1,09		4,37	1,09
Δ5	2,15		1,13			3,15		0,79		3,15	0,79
Δ6	3,35	6,55	22,90			20,98		5,24		20,98	5,24
Δ7	3,20					20,98		5,24		20,98	5,24
Δ8	3,25	6,75	19,74			17,55		4,39		17,55	4,39
Δ9	3,50					17,55		4,39		17,55	4,39
Δ10	3,65	6,85	8,78			7,69		1,92		7,69	1,92
Δ11	3,20					7,69		1,92		7,69	1,92
Δ12	3,25	6,75	6,15			5,47		1,37		5,47	1,37
Δ13	3,50					5,47		1,37		5,47	1,37
Δ14	4,75		8,98			11,34		2,84		11,34	2,84
Δ15	2,40		1,37			3,43		0,86		3,43	0,86
T2Y	3,70	6,45	7,50			6,98		1,74		6,98	1,74
Δ16	2,75					6,98		1,74		6,98	1,74
Δ17	2,85		1,50			3,16		0,79		3,16	0,79
Δ18	6,45		24,83			23,10		5,77		23,10	5,77
Δ19	2,85		4,72			9,94		2,48		9,94	2,48
Δ20	4,55	6,45	11,97		5,21	11,13	6,87	2,78	1,72	18,01	4,50
T3Y	1,90			4,75	8,59	11,13	10,85	2,78	2,71	21,99	5,50
Δ21	2,85		2,48			5,22	10,85	1,31	2,71	16,07	4,02
Δ22	4,10		2,97			4,35		1,09		4,35	1,09
T1X	5,45		5,82			6,41		1,60		6,41	1,60
T1Y	5,15		5,11			5,95		1,49		5,95	1,49

Για την ανάθεση των φορτίων στις δοκούς επιλέγουμε από το προσομοίωμα δοκό και στη συνέχεια από το menu Assign → Frame Loads → Distributed αναθέτω το αντίστοιχο φορτίο που έχει υπολογισθεί για το δομικό στοιχείο.

The dialog box is titled "Frame Load Assignment - Distributed" and contains the following settings:

- Load Pattern Name:** G
- Load Type and Direction:** Forces (selected), Moments; Direction of Load Application: Gravity
- Options:** Add to Existing Loads, Replace Existing Loads (selected), Delete Existing Loads
- Trapezoidal Loads:** A table with 4 columns (1, 2, 3, 4) and 2 rows (Distance, Load).

	1.	2.	3.	4.
Distance	0	0,25	0,75	1
Load	0	0	0	0

Relative Distance from End-I (selected), Absolute Distance from End-I
- Uniform Load:** Load: 15,28 kN/m
- Buttons:** OK, Close, Apply

Σχήμα 2.19. Ανάθεση μόνιμου φορτίου (G) για δοκό Δ1 οροφής ισογείου

The dialog box is titled "Frame Load Assignment - Distributed" and contains the following settings:

- Load Pattern Name:** Q
- Load Type and Direction:** Forces (selected), Moments; Direction of Load Application: Gravity
- Options:** Add to Existing Loads, Replace Existing Loads (selected), Delete Existing Loads
- Trapezoidal Loads:** A table with 4 columns (1, 2, 3, 4) and 2 rows (Distance, Load).

	1.	2.	3.	4.
Distance	0	0,25	0,75	1
Load	0	0	0	0

Relative Distance from End-I (selected), Absolute Distance from End-I
- Uniform Load:** Load: 4,08 kN/m
- Buttons:** OK, Close, Apply

Σχήμα 2.20. Ανάθεση μόνιμου φορτίου (Q) για δοκό Δ1 οροφής ισογείου

2.8 Υπολογισμός μάζας ανά όροφο και ανάθεση στο προσομοίωμα

Βάρος τοιχοποιίας

- Ύψος ορόφου από πλάκα σε πλάκα (οπλ. σκυρ.) 3,35 m
- Πάχος πλακών 17cm

Για δρομική τοιχοποιία: $(3,35-0,17) \times 2,10 = 6,68 \text{ KN/m}$

Για μπατική τοιχοποιία: $(3,35-0,17) \times 3,60 = 11,45 \text{ KN/m}$

Επιπλέον βάρος λόγω της κρέμασης δοκού

Δοκάρια διαστάσεων 20x35cm

$$0,2 \times (0,35-0,17) \times 24 = 0,86 \text{ KN/m}$$

Δοκάρια διαστάσεων 20x60cm

$$0,2 \times (0,6-0,17) \times 24 = 2,06 \text{ KN/m}$$

Δοκάρια διαστάσεων 25x35cm

$$0,25 \times (0,35-0,17) \times 24 = 1,08 \text{ KN/m}$$

Δοκάρια διαστάσεων 20x85cm

$$0,2 \times (0,85-0,17) \times 24 = 3,26 \text{ KN/m}$$

Δοκάρια διαστάσεων 20x45cm

$$0,2 \times (0,45-0,17) \times 24 = 1,34 \text{ KN/m}$$

Διάφραγμα 1ου & 2ου ορόφου

Ίδιο βάρος

- Πλακών – επιστρώσεων

$$170,74 \text{ m}^2 \times 4,70 \text{ KN/m}^2 = 802,48 \text{ KN}$$

- Δοκών

$$(3,25 \times 2 + 3,20 + 3,50 + 2,15) \times 0,86 + (3,35 + 3,20 + 3,25 + 3,50 + 3,65 + 3,20 + 3,25 + 3,50 + 4,75) \times 2,06 + 2,40 \times 1,08 + (2,75 + 2,85) \times 2,06 + (6,45 + 2,85) \times 3,26 + 4,55 \times 2,06 + 2,85 \times 1,34 + 4,10 \times 2,06 = 144,48 \text{ KN}$$

- Τοιχοποιιών μπατικών – δρομικών

$$(3,25 \times 2 + 3,20 + 3,50 + 2,15) \times 11,45 + (3,35 + 3,20 + 3,25 + 3,50) \times 6,68 + (3,65 + 3,20 + 3,25 + 3,50) \times 11,45 + 4,75 \times 6,68 + 2,40 \times 11,45 + (2,75 + 2,85) \times 11,45 + (6,45 + 2,85 + 4,55) \times 6,68 + 2,85 \times 6,68 + 4,10 \times 11,45 = 702,15 \text{ KN}$$

- Υποστυλωμάτων

$$(0,30 \times 0,40 + 0,25 \times 0,30 \times 4 + 0,30 \times 0,40 + 0,25 \times 0,40 + 0,40 \times 0,50 + 0,25 \times 0,40 + 0,25 \times 0,30 \times 2 + 0,25 \times 0,50 \times 2 + 0,30 \times 0,30) \times 3,35 \times 24 = 114,97 \text{ KN}$$

- Τοιχωμάτων

$$\text{Μήκη τοιχωμάτων: T1X} - 5,45 \text{ m}$$

$$\text{T1Y} - 5,15 \text{ m}$$

$$\text{T2Y} - 3,70 \text{ m}$$

$$\text{T3Y} - 1,90 \text{ m}$$

$$(5,45 + 5,15 + 3,70 + 1,90) \times 0,20 \times 3,35 \times 24 = 260,50 \text{ KN}$$

$$G_{ολ.} = 802,48 + 144,48 + 702,15 + 114,97 + 260,50 = 2.024,58 \text{ KN}$$

Κινητό φορτίο

- Πλακών

$$Q_{ολ.} = 170,74 \times 5,00 = 853,70 \text{ KN}$$

Συνολικό βάρος ορόφου

$$W = G + 0,3Q = 2.024,58 + 0,3 \times 853,70 = 2.280,69 \text{ KN}$$

Συνολική μάζα ορόφου

$$m = W/g = 2.280,69/9,81 = 232,49 \text{ t}$$

Διάφραγμα 3ου ορόφου

Ίδιο βάρος

- Πλακών – επιστρώσεων

$$170,74 \text{ m}^2 \times 6,00 \text{ KN/m}^2 = 1.024,44 \text{ KN}$$

- Δοκών

$$(3,25 \times 2 + 3,20 + 3,50 + 2,15) \times 0,86 + (3,35 + 3,20 + 3,25 + 3,50 + 3,65 + 3,20 + 3,25 + 3,50 + 4,75) \times 2,06 + 2,40 \times 1,08 + (2,75 + 2,85) \times 2,06 + (6,45 + 2,85) \times 3,26 + 4,55 \times 2,06 + 2,85 \times 1,34 + 4,10 \times 2,06 = 144,48 \text{ KN}$$

- Υποστυλωμάτων

$$(0,30 \times 0,40 + 0,25 \times 0,30 \times 4 + 0,30 \times 0,40 + 0,25 \times 0,40 + 0,40 \times 0,50 + 0,25 \times 0,40 + 0,25 \times 0,30 \times 2 + 0,25 \times 0,50 \times 2 + 0,30 \times 0,30) \times 1,68 \times 24 = 57,66 \text{ KN}$$

- Τοιχωμάτων

Μήκη τοιχωμάτων: T1X – 5,45 m

T1Y – 5,15 m

T2Y – 3,70 m

T3Y – 1,90 m

$$(5,45 + 5,15 + 3,70 + 1,90) \times 0,20 \times 1,68 \times 24 = 130,64 \text{ KN}$$

$$G_{ολ.} = 1.024,44 + 144,48 + 57,66 + 130,64 = 1.357,22 \text{ KN}$$

Κινητό φορτίο

- Πλακών

$$Q_{ολ.} = 170,74 \times 1,50 = 256,11 \text{ KN}$$

Συνολικό βάρος ορόφου

$$W = G + 0,3Q = 1.357,22 + 0,3 \times 256,11 = 1.434,05 \text{ KN}$$

Συνολική μάζα ορόφου

$$m = W/g = 1.434,05/9,81 = 146,18 \text{ t}$$

Επιλέγουμε έναν κόμβο από το διάφραγμα του 1ου ορόφου και στη συνέχεια από το menu επιλέγουμε Assign → Joint → Additional Mass. Από το παράθυρο που εμφανίζεται συμπληρώνουμε στο πλαίσιο για διεύθυνση X,Y την τιμή της μάζας που αναλογεί για το συγκεκριμένο διάφραγμα.

Joint Assignment - Additional Mass

Masses in Global Directions

Direction X, Y kg

Direction Z kg

Mass Moment of Inertia in Global Directions

Rotation about X ton-m²

Rotation about Y ton-m²

Rotation about Z ton-m²

Options

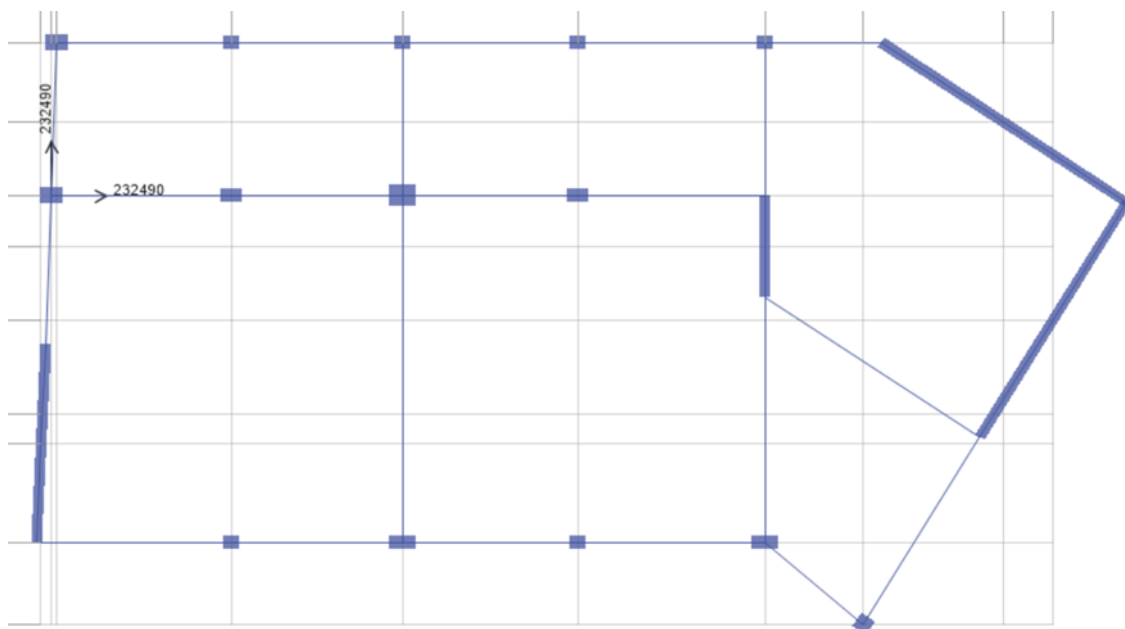
Add to Existing Masses

Replace Existing Masses

Delete Existing Masses

OK Close Apply

Σχήμα 2.21. Ανάθεση μάζας διαφράγματος 1^{ου} ορόφου



Σχήμα 2.22. Ανάθεση μάζας διαφράγματος 1^{ου} ορόφου

Την ίδια διαδικασία ακολουθούμε και για τα υπόλοιπα διαφράγματα.

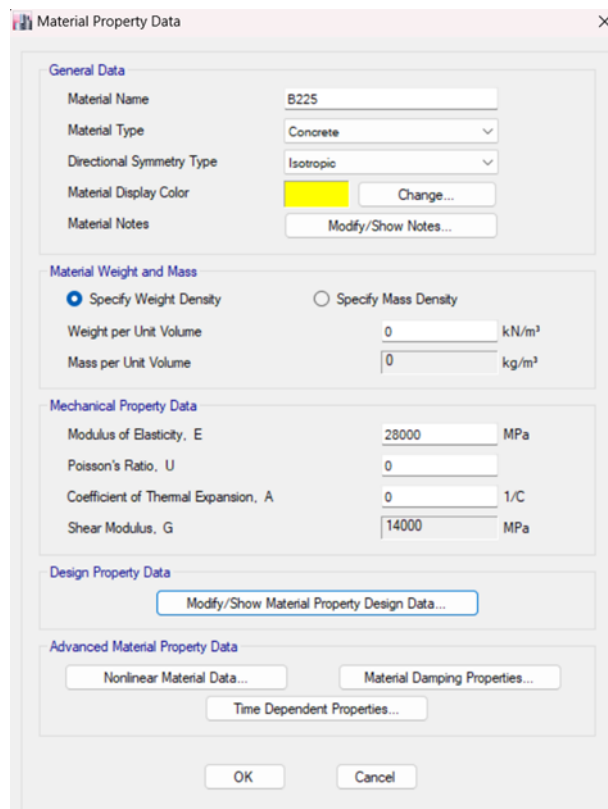
Κεφάλαιο 3

Ανελαστική στατική ανάλυση (pushover)

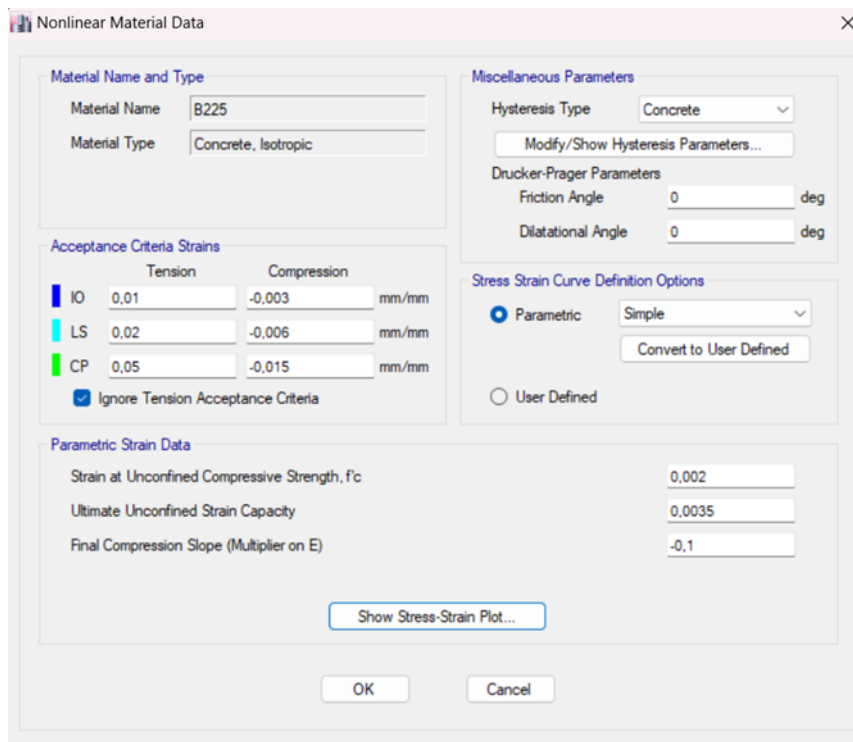
3.1 Ανελαστική συμπεριφορά υλικών

Σκυρόδεμα

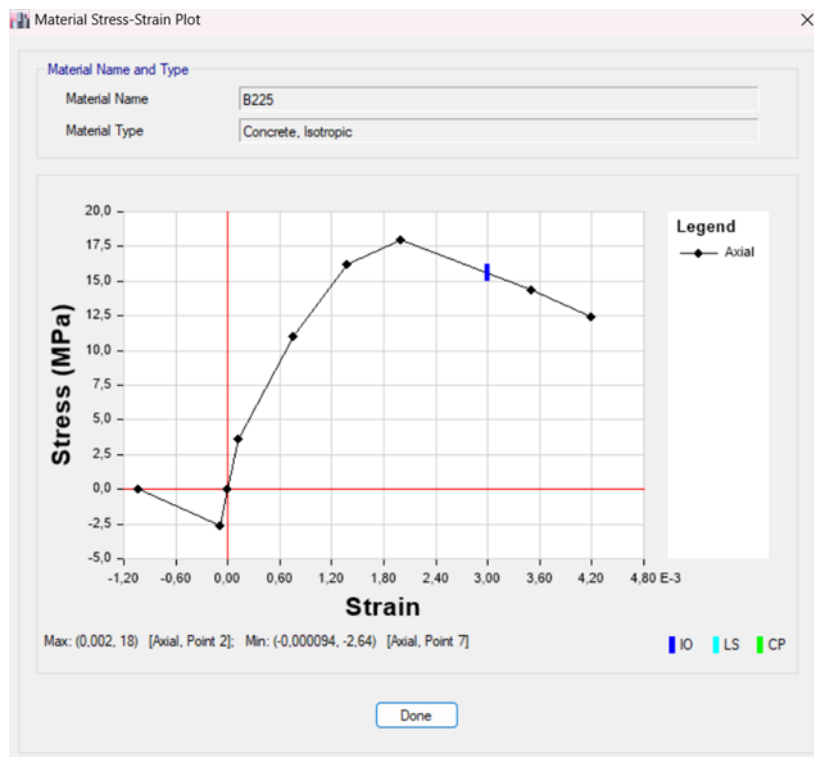
Για τον προσδιορισμό της καμπύλης ανελαστικής συμπεριφοράς σκυροδέματος είναι απαραίτητος ο καθορισμός του τύπου (ποιότητας) του σκυροδέματος που χρησιμοποιείται. Για τύπο σκυροδέματος B225 θα έχουμε χαρακτηριστική αντοχή 18 MPa. Η τιμή της θλιπτικής παραμόρφωσης στη μέγιστη τάση είναι 2‰ ενώ η τιμή της θλιπτικής παραμόρφωσης αστοχίας 3,5‰. Τέλος το μέτρο ελαστικότητας λαμβάνεται 28000 MPa. Από το μενού επιλέγουμε Define → Material Properties, επιλέγουμε ως υλικό το σκυρόδεμα και στη συνέχεια από το Modify / Show Material Properties καταχωρούμε τις παραπάνω τιμές, ώστε να οριστούν οι ιδιότητες για ανελαστική συμπεριφορά σκυροδέματος.



Σχήμα 3.1. Καταχώρηση ιδιοτήτων για ανελαστική συμπεριφορά σκυροδέματος



Σχήμα 3.2. Καταχώρηση ιδιοτήτων για ανελαστική συμπεριφορά σκυροδέματος



Σχήμα 3.3. Καμπύλη ανελαστικής συμπεριφοράς σκυροδέματος

Χάλυβας

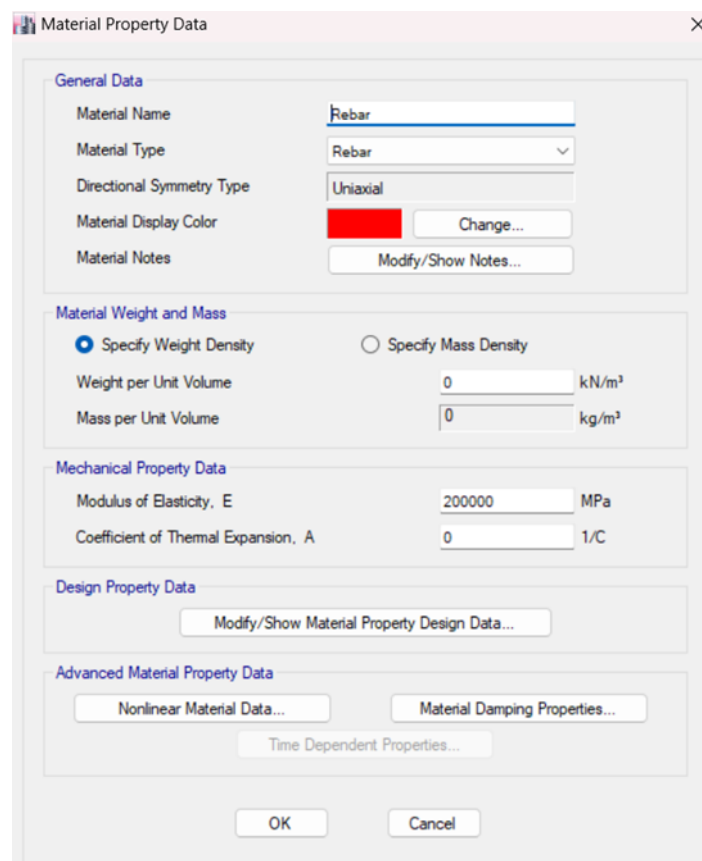
Για τον προσδιορισμό της ανελαστικής συμπεριφοράς του χάλυβα σπλισμού είναι απαραίτητος ο καθορισμός του τύπου (ποιότητας) του χάλυβα που χρησιμοποιείται. Για τύπο χάλυβα St III θα έχουμε ονομαστική τάση διαρροής $F_y = 400 \text{ MPa}$. Το μέτρο ελαστικότητας λαμβάνεται 200 GPa ενώ ο λόγος Poisson $0,3$. Από την ονομαστική τάση διαρροής F_y λαμβάνουμε τις τιμές για την μέση τάση διαρροής F_{ye} , για την ονομαστική εφελκυστική αντοχή F_u και για την μέση εφελκυστική αντοχή F_{ue} οι οποίες αντίστοιχα είναι:

$$F_{ye} = 1,15 \times F_y = 1,15 \times 400 = 460 \text{ MPa}$$

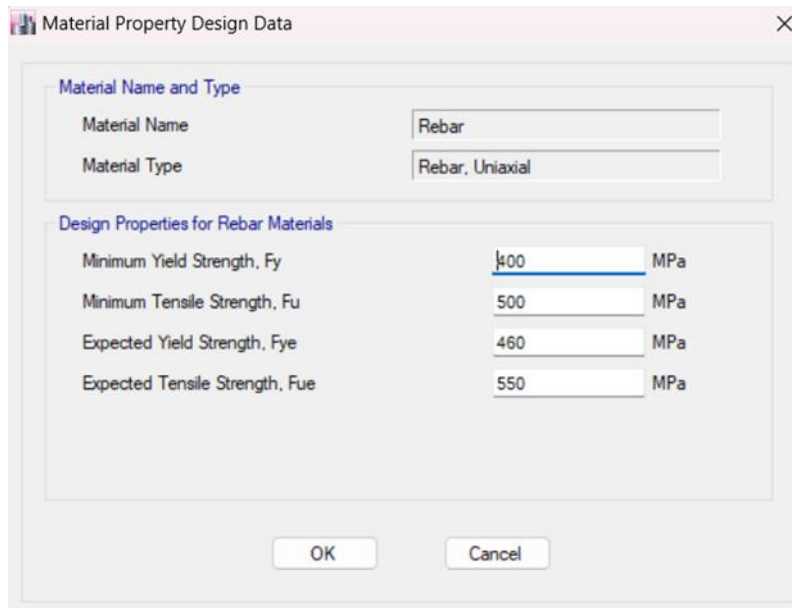
$$F_u = 1,25 \times F_y = 1,25 \times 400 = 500 \text{ MPa}$$

$$F_{ue} = 1,10 \times F_u = 1,10 \times 500 = 550 \text{ MPa}$$

Από το menu επιλέγουμε Define → Material Properties, επιλέγουμε ως υλικό τον χάλυβα και στη συνέχεια από το Modify / Show Material Properties καταχωρούμε τις παραπάνω τιμές, ώστε να οριστούν οι ιδιότητες για ανελαστική συμπεριφορά χάλυβα σπλισμού.



Σχήμα 3.4. Καταχώρηση ιδιοτήτων για ανελαστική συμπεριφορά χάλυβα σπλισμού

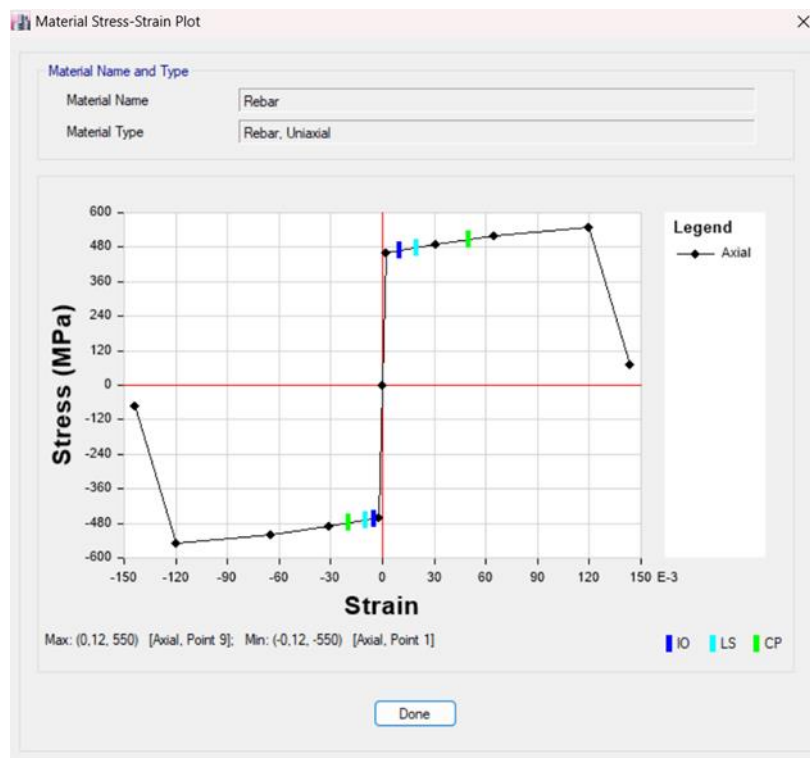


The dialog box 'Material Property Design Data' is used to define material properties for rebar. It contains the following fields:

Field	Value	Unit
Material Name	Rebar	
Material Type	Rebar, Uniaxial	
Minimum Yield Strength, Fy	400	MPa
Minimum Tensile Strength, Fu	500	MPa
Expected Yield Strength, Fye	460	MPa
Expected Tensile Strength, Fue	550	MPa

Buttons: OK, Cancel

Σχήμα 3.5. Καταχώρηση ιδιοτήτων για ανελαστική συμπεριφορά χάλυβα οπλισμού

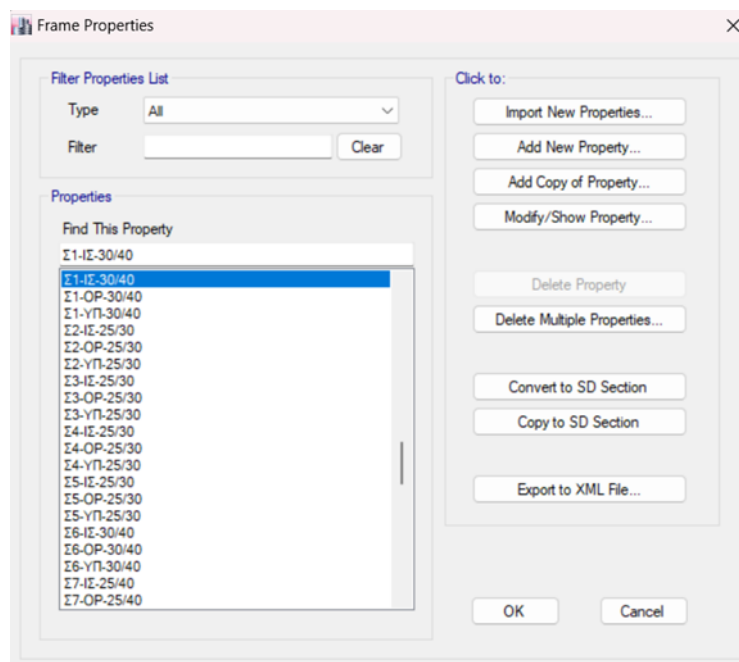


Σχήμα 3.6. Καμπύλη ανελαστικής συμπεριφοράς χάλυβα οπλισμού

3.2 Ορισμός σπλισμού δομικών στοιχείων

Ορισμός σπλισμού υποστυλωμάτων

Από την εντολή Define → Section Properties → Frame Sections επιλέγουμε το υποστύλωμα στο οποίο θέλουμε να ορίσουμε σπλισμό και στη συνέχεια επιλέγουμε Modify / Show Property → Modify / Show Rebar. Στο παράθυρο που εμφανίζεται συμπληρώνουμε στα ανάλογα πλαίσια αν το δομικό στοιχείο που επιλέχθηκε είναι υποστύλωμα ή δοκάρι, το υλικό του δομικού στοιχείου, την επικάλυψη του σπλισμού, τον αριθμό ράβδων του ευθύγραμμου σπλισμού σε κάθε διεύθυνση και τις διατομές αυτών. Επίσης, την διάμετρο των συνδετήρων, την απόσταση μεταξύ τους καθώς και πόσες τμήσεις έχει ο συνδετήρας ανά κατεύθυνση.



Σχήμα 3.7. Ανάθεση σπλισμού στο υποστύλωμα Σ1 ισογείου

Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

P-M2-M3 Design (Column)
 M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: Rebar
Confinement Bars (Ties): Rebar

Reinforcement Configuration

Rectangular
 Circular

Confinement Bars

Ties
 Spirals

Check/Design

Reinforcement to be Checked
 Reinforcement to be Designed

Longitudinal Bars

Clear Cover for Confinement Bars: 30 mm
Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face: 2
Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face: 2
Longitudinal Bar Size and Area: 20 mm, 314 mm²
Corner Bar Size and Area: 20 mm, 314 mm²

Confinement Bars

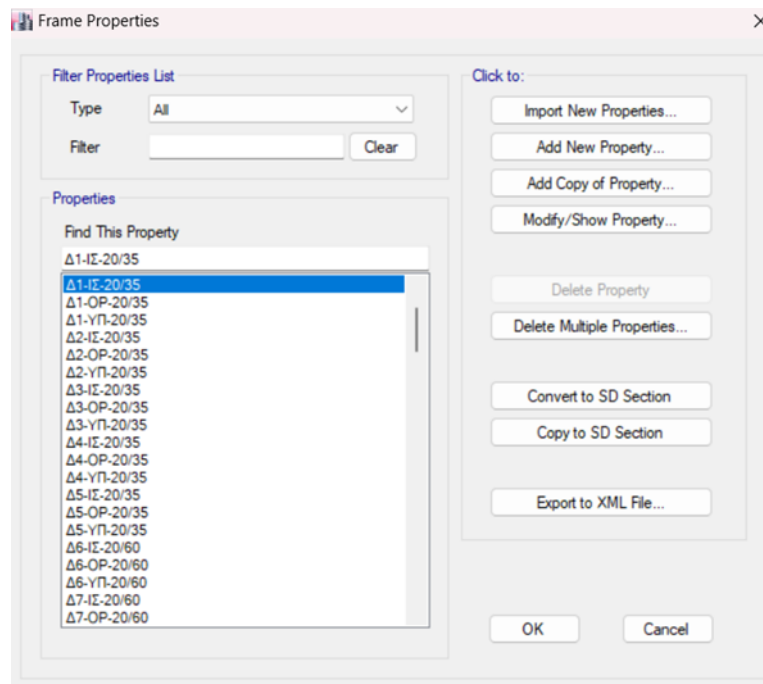
Confinement Bar Size and Area: 8 mm, 50 mm²
Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis): 200 mm
Number of Confinement Bars in 3-dir: 2
Number of Confinement Bars in 2-dir: 2

OK Cancel

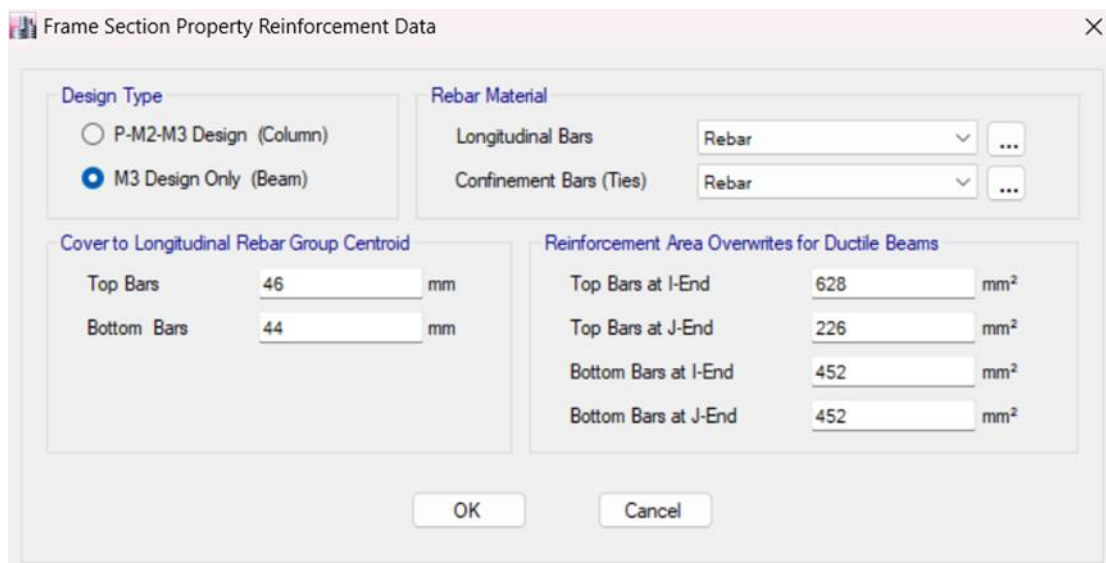
Σχήμα 3.8. Ανάθεση οπλισμού στο υποστούλωμα Σ1 ισογείου

Ορισμός οπλισμού δοκών

Από την εντολή Define → Section Properties → Frame Sections επιλέγουμε την δοκό στην οποία θέλουμε να ορίσουμε οπλισμό και στη συνέχεια επιλέγουμε Modify / Show Property → Modify / Show Rebar. Στο παράθυρο που εμφανίζεται συμπληρώνουμε στα ανάλογα πλαίσια αν το δομικό στοιχείο που επιλέχθηκε είναι υποστούλωμα ή δοκός, το υλικό που δημιουργήσαμε για τον ευθύγραμμο οπλισμό και τον συνδετήρα, την επικάλυψη για τον άνω και κάτω οπλισμό, την ποσότητα του οπλισμού στα άκρα της δοκού (άνω-κάτω).



Σχήμα 3.9. Ανάθεση οπλισμού στη δοκό Δ1 ισογείου



Σχήμα 3.10. Ανάθεση οπλισμού στη δοκό Δ1 ισογείου

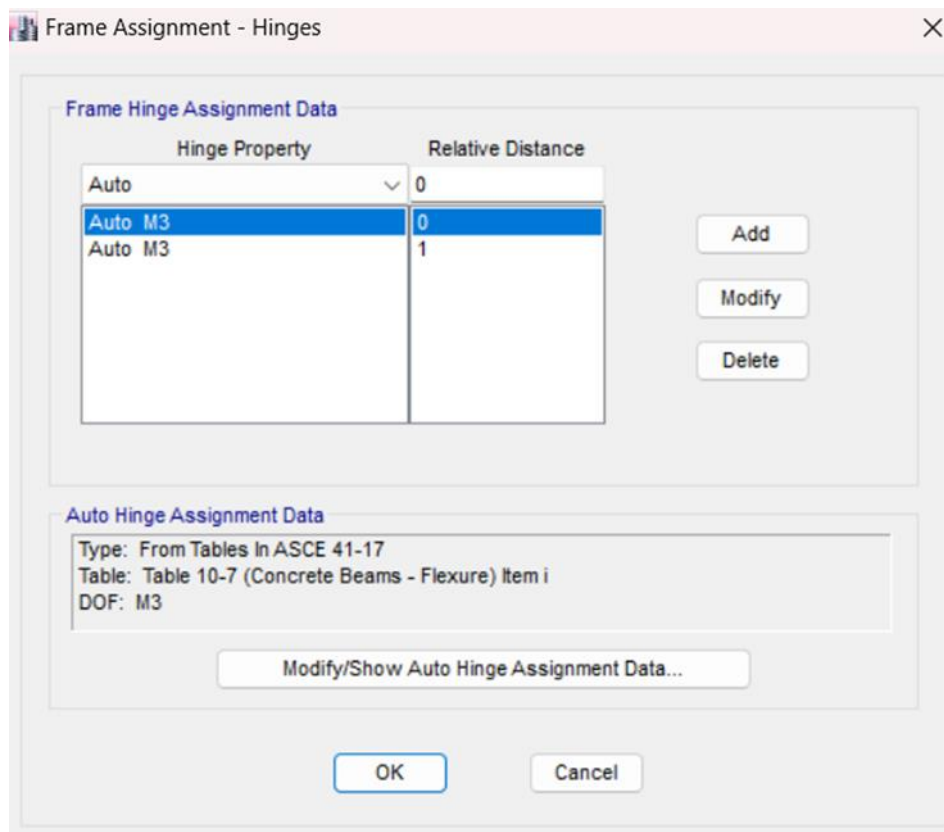
3.3 Πλαστικές αρθρώσεις

Εισαγωγή πλαστικών αρθρώσεων στις δοκούς

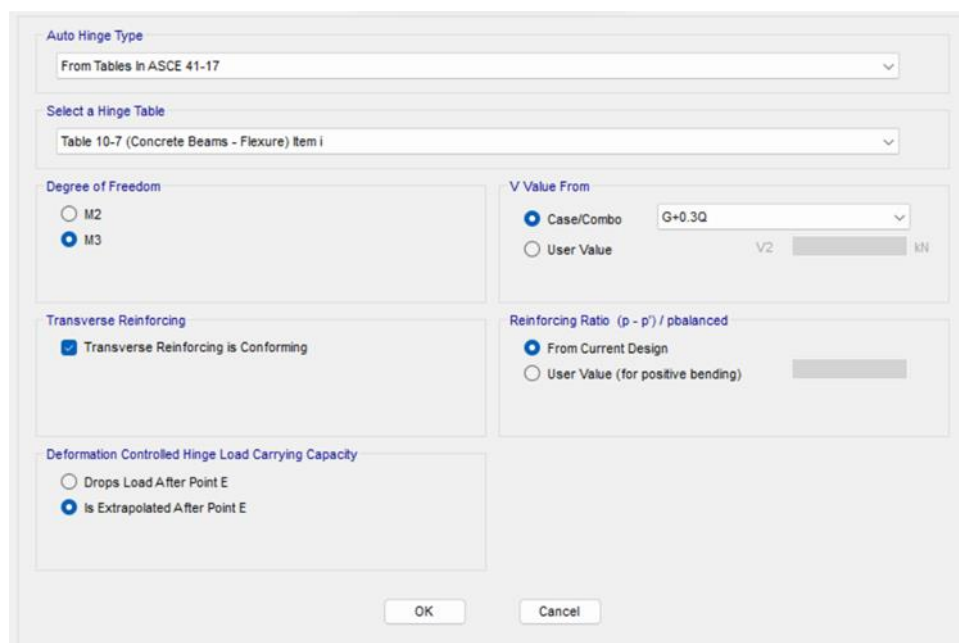
Επιλέγουμε τις δοκούς του φορέα και στη συνέχεια τις εντολές Assign → Frame → Hinges.

Από το παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγουμε την αυτόματη δημιουργία διαγραμμάτων μ-θ για την αρχή και το τέλος του στοιχείου (0,1). Με την εντολή Add δημιουργούμε την προσθήκη αυτόματης πλαστικής άρθρωσης. Από το νέο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγουμε τύπο

αυτόματης πλαστικής άρθρωσης, τύπο δομικού στοιχείου, βαθμό ελευθερίας, συνδυασμό φόρτισης για θεώρηση τέμνουσας και θεώρηση ικανοποιητικού εγκάρσιου σπλισμού ή μη.



Σχήμα 3.11. Αυτόματη δημιουργία διαγραμμάτων μ-θ



Σχήμα 3.12. Δημιουργία πλαστικής άρθρωσης στις δοκούς

Εισαγωγή πλαστικών αρθρώσεων στα υποστυλώματα

Επιλέγουμε τα υποστυλώματα του φορέα και στη συνέχεια τις εντολές Assign → Frame → Hinges.

Από το παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγουμε την αυτόματη δημιουργία διαγραμμάτων μ-θ για την αρχή και το τέλος του στοιχείου (0,1). Με την εντολή Add δημιουργούμε την προσθήκη αυτόματης πλαστικής άρθρωσης. Από το νέο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγουμε τύπο αυτόματης πλαστικής άρθρωσης, τύπο δομικού στοιχείου, βαθμό ελευθερίας, συνδυασμό φόρτισης για θεώρηση αξονικού φορτίου.

Σχήμα 3.13. Δημιουργία πλαστικής άρθρωσης στα υποστυλώματα

3.4 Δημιουργία και ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων

Δημιουργούμε δύο οριζόντιες φορτίσεις, μία ομοιόμορφη και μία τριγωνική φόρτιση. Οι οριζόντιες αυτές φορτίσεις θα είναι βασισμένες στις μάζες των ορόφων.

Για την ομοιόμορφη κατανομή θα έχουμε:

$$\Sigma m_j = 232,49 \times 2 + 146,18 = 611,16 \text{ t}$$

Έστω $F_b = 100 \text{ KN}$

$$F_i = F_b \times m_i / \sum m_j$$

$$F_1 = 100 \times 232,49 / 611,16 = 38,04 \text{ KN}$$

$$F_2 = 100 \times 232,49 / 611,16 = 38,04 \text{ KN}$$

$$F_3 = 100 \times 146,18 / 611,16 = 23,92 \text{ KN.}$$

Για την τριγωνική κατανομή θα έχουμε:

$$m_1 = 232,49 \text{ t} \quad z_1 = 3,35 \text{ m}$$

$$m_2 = 232,49 \text{ t} \quad z_2 = 6,70 \text{ m}$$

$$m_3 = 146,18 \text{ t} \quad z_3 = 10,05 \text{ m}$$

$$m_1 \times z_1 = 232,49 \times 3,35 = 778,84 \text{ tm}$$

$$m_2 \times z_2 = 232,49 \times 6,70 = 1.557,68 \text{ tm}$$

$$m_3 \times z_3 = 146,18 \times 10,05 = 1.469,11 \text{ tm}$$

$$\sum m_j \times z_i = 778,84 + 1.557,68 + 1.469,11 = 3.805,63 \text{ tm}$$

Έστω $F_b = 100 \text{ KN}$

$$F_i = F_b \times m_i \times z_i / \sum m_j \times z_i$$

$$F_1 = 100 \times 778,84 / 3.805,63 = 20,47 \text{ KN}$$

$$F_2 = 100 \times 1.557,68 / 3.805,63 = 40,93 \text{ KN}$$

$$F_3 = 100 \times 1.469,11 / 3.805,63 = 38,60 \text{ KN}$$

Από την εντολή Define → Load Patterns δημιουργούμε τις μορφές φόρτισης για την ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή.

PUSHX-OD: Ομοιόμορφη κατανομή με φόρτιση στην ανατολική πλευρά του κτιρίου (δεξιά)

PUSHX-OA: Ομοιόμορφη κατανομή με φόρτιση στη δυτική πλευρά του κτιρίου (αριστερά)

PUSHY-OP: Ομοιόμορφη κατανομή με φόρτιση στη βόρεια πλευρά του κτιρίου (πάνω)

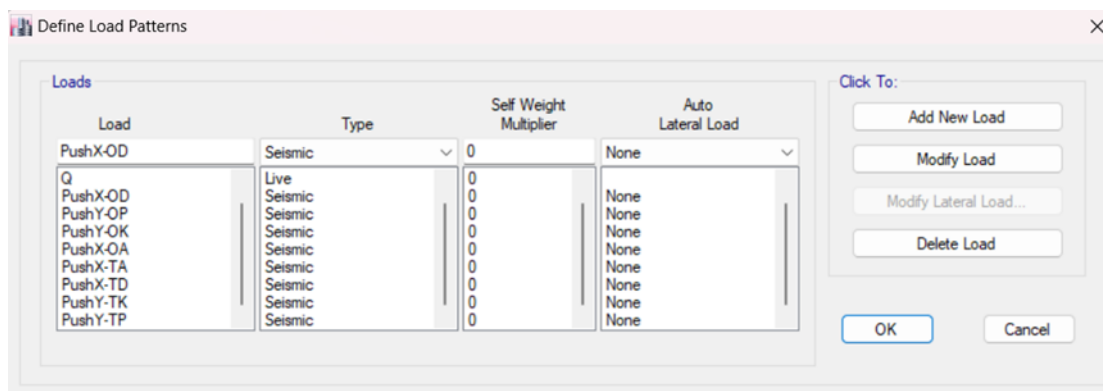
PUSHY-OK: Ομοιόμορφη κατανομή με φόρτιση στη νότια πλευρά του κτιρίου (κάτω)

PUSHX-TD: Τριγωνική κατανομή με φόρτιση στην ανατολική πλευρά του κτιρίου (δεξιά)

PUSHX-TA: Τριγωνική κατανομή με φόρτιση στη δυτική πλευρά του κτιρίου (αριστερά)

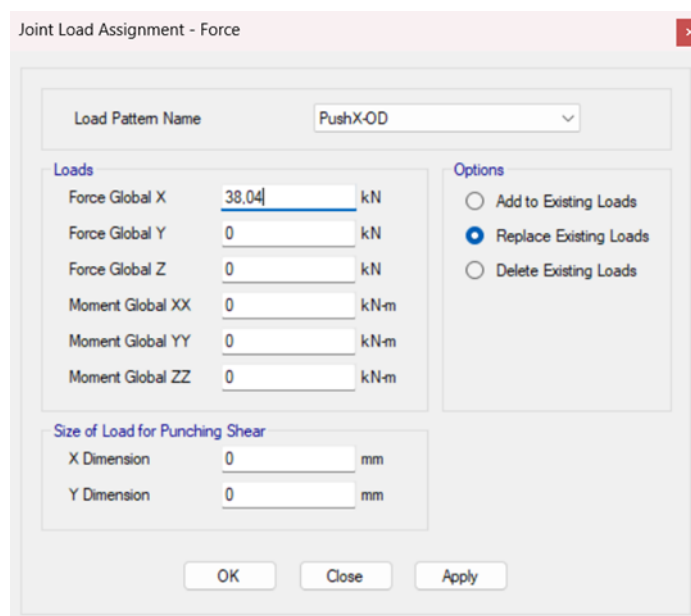
PUSHY-TP: Τριγωνική κατανομή με φόρτιση στη βόρεια πλευρά του κτιρίου (πάνω)

PUSHY-TK: Τριγωνική κατανομή με φόρτιση στη νότια πλευρά του κτιρίου (κάτω).

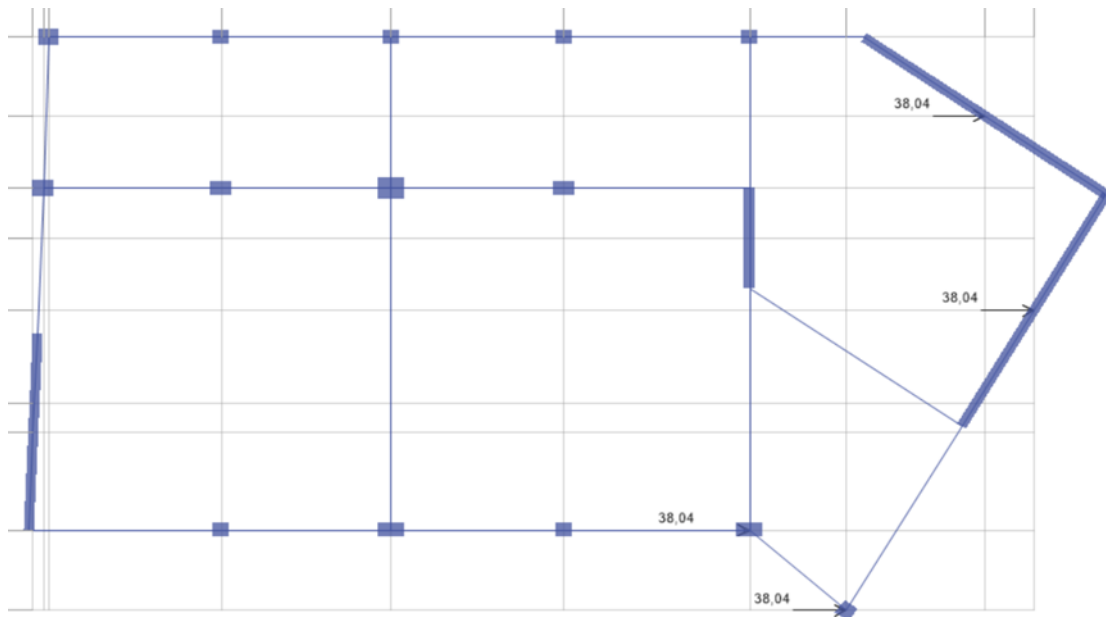


Σχήμα 3.14. Μορφές φόρτισης για ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή

Για την ανάθεση των οριζόντιων δυνάμεων στο προσομοίωμα επιλέγουμε τους αντίστοιχους κόμβους για κάθε φόρτιση και τις εντολές Assign → Joint Loads → Force. Από το παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγουμε μορφή και διεύθυνση φόρτισης.



Σχήμα 3.15. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ισογείου για την ομοιόμορφη μορφή φόρτισης PushX-OD



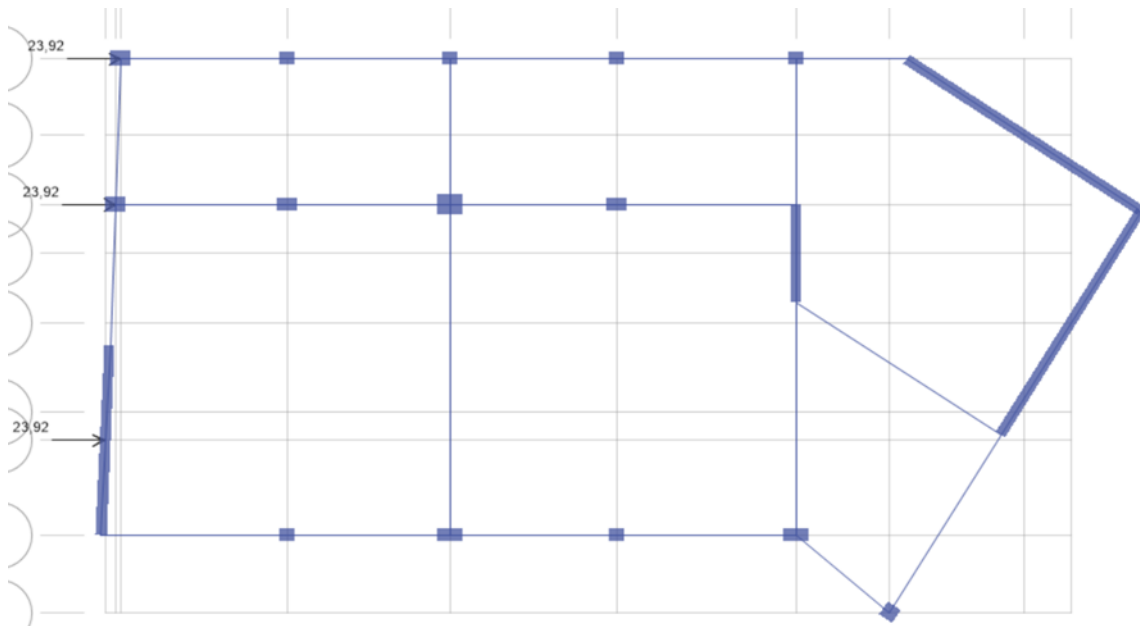
Σχήμα 3.16. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ισογείου για την ομοιόμορφη μορφή φόρτισης PushX-OD

The screenshot shows the 'Joint Load Assignment - Force' dialog box. The 'Load Pattern Name' is set to 'PushX-OA'. The 'Loads' section includes:

Load Type	Value	Unit
Force Global X	23,92	kN
Force Global Y	0	kN
Force Global Z	0	kN
Moment Global XX	0	kN-m
Moment Global YY	0	kN-m
Moment Global ZZ	0	kN-m

The 'Options' section has three radio buttons: 'Add to Existing Loads' (unselected), 'Replace Existing Loads' (selected), and 'Delete Existing Loads' (unselected). The 'Size of Load for Punching Shear' section has two input fields: 'X Dimension' (0 mm) and 'Y Dimension' (0 mm). At the bottom are 'OK', 'Close', and 'Apply' buttons.

Σχήμα 3.17. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ορόφου για την ομοιόμορφη μορφή φόρτισης PushX-OA



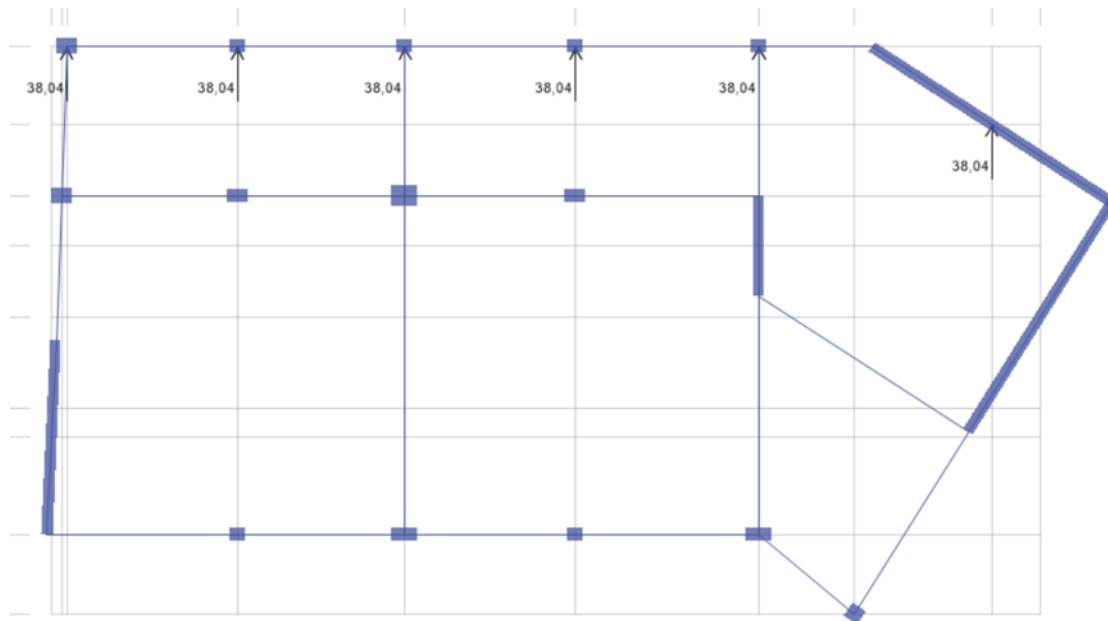
Σχήμα 3.18. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ορόφου για την ομοιόμορφη μορφή φόρτισης PushX-OA

The screenshot shows the 'Joint Load Assignment - Force' dialog box. The 'Load Pattern Name' is set to 'PushY-OP'. The 'Loads' section contains the following values:

Parameter	Value	Unit
Force Global X	0	kN
Force Global Y	38.04	kN
Force Global Z	0	kN
Moment Global XX	0	kN-m
Moment Global YY	0	kN-m
Moment Global ZZ	0	kN-m

The 'Options' section has three radio buttons: 'Add to Existing Loads' (unselected), 'Replace Existing Loads' (selected), and 'Delete Existing Loads' (unselected). The 'Size of Load for Punching Shear' section has two input fields: 'X Dimension' (0 mm) and 'Y Dimension' (0 mm). At the bottom, there are three buttons: 'OK', 'Close', and 'Apply'.

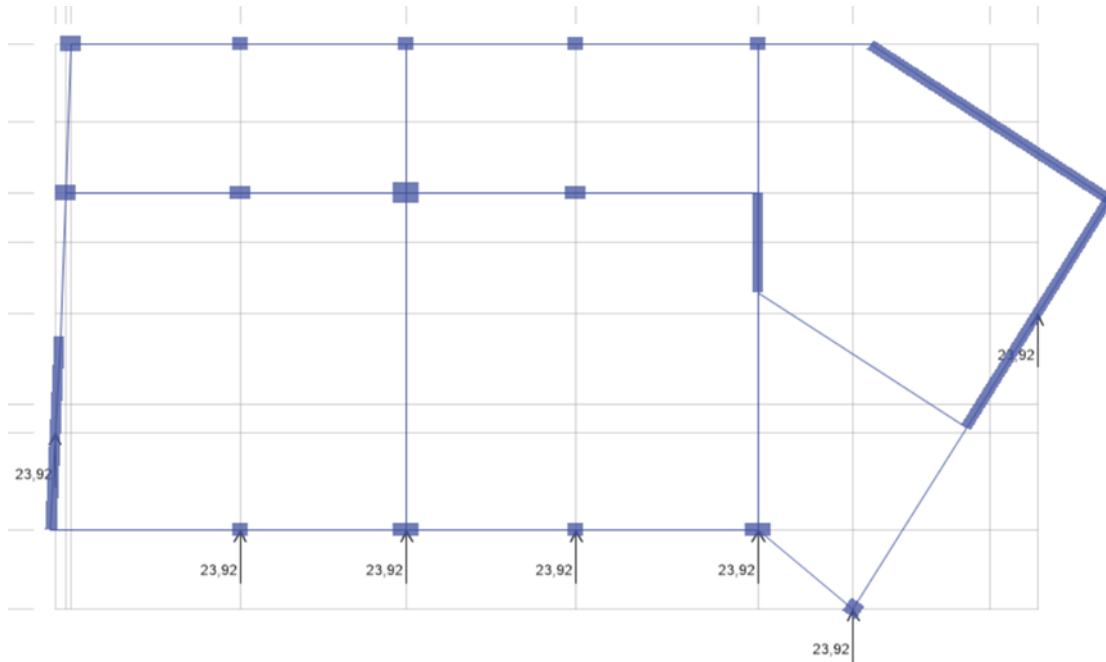
Σχήμα 3.19. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή υπογείου για την ομοιόμορφη μορφή φόρτισης PushY-OP



Σχήμα 3.20. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή υπογείου για την ομοιόμορφη μορφή φόρτισης PushY-OP

The screenshot shows the 'Joint Load Assignment - Force' dialog box. The 'Load Pattern Name' is set to 'PushY-OK'. Under the 'Loads' section, the following values are entered: Force Global X: 0 kN, Force Global Y: 23.92 kN, Force Global Z: 0 kN, Moment Global XX: 0 kN-m, Moment Global YY: 0 kN-m, and Moment Global ZZ: 0 kN-m. Under the 'Options' section, the 'Replace Existing Loads' radio button is selected. Under the 'Size of Load for Punching Shear' section, both X Dimension and Y Dimension are set to 0 mm. The 'OK', 'Close', and 'Apply' buttons are visible at the bottom.

Σχήμα 3.21. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ορόφου για την ομοιόμορφη μορφή φόρτισης PushY-OK



Σχήμα 3.22. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ορόφου για την ομοιόμορφη μορφή φόρτισης PushY-OK

Load Pattern Name	
PushX-TD	

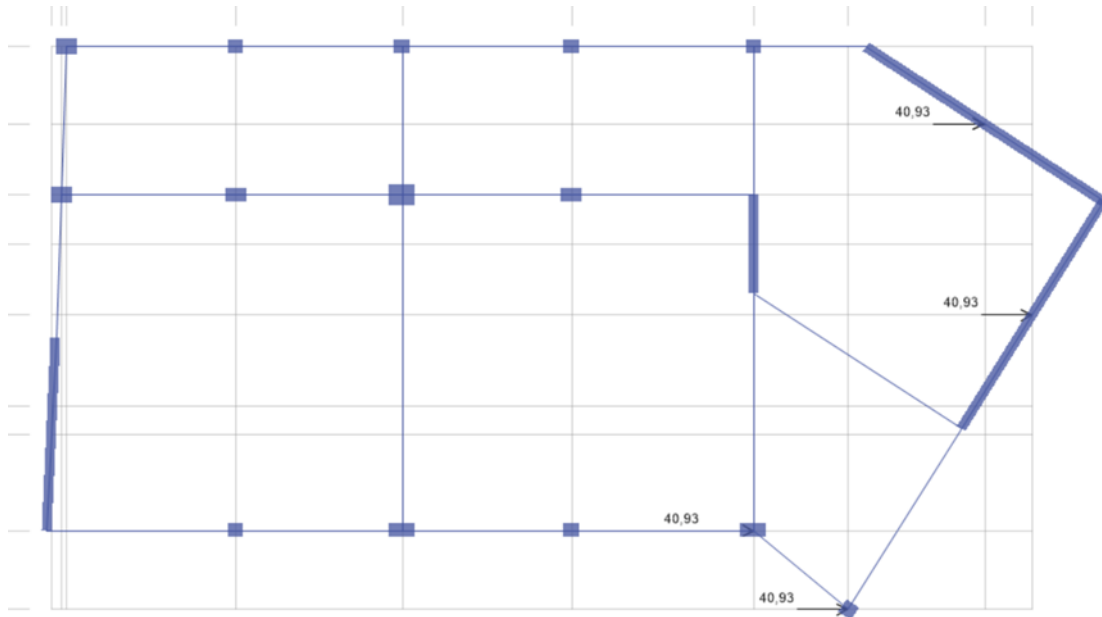
Loads	
Force Global X	40,93 kN
Force Global Y	0 kN
Force Global Z	0 kN
Moment Global XX	0 kN-m
Moment Global YY	0 kN-m
Moment Global ZZ	0 kN-m

Options	
<input type="radio"/>	Add to Existing Loads
<input checked="" type="radio"/>	Replace Existing Loads
<input type="radio"/>	Delete Existing Loads

Size of Load for Punching Shear	
X Dimension	0 mm
Y Dimension	0 mm

OK Close Apply

Σχήμα 3.23. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ισογείου για την τριγωνική μορφή φόρτισης PushX-TD



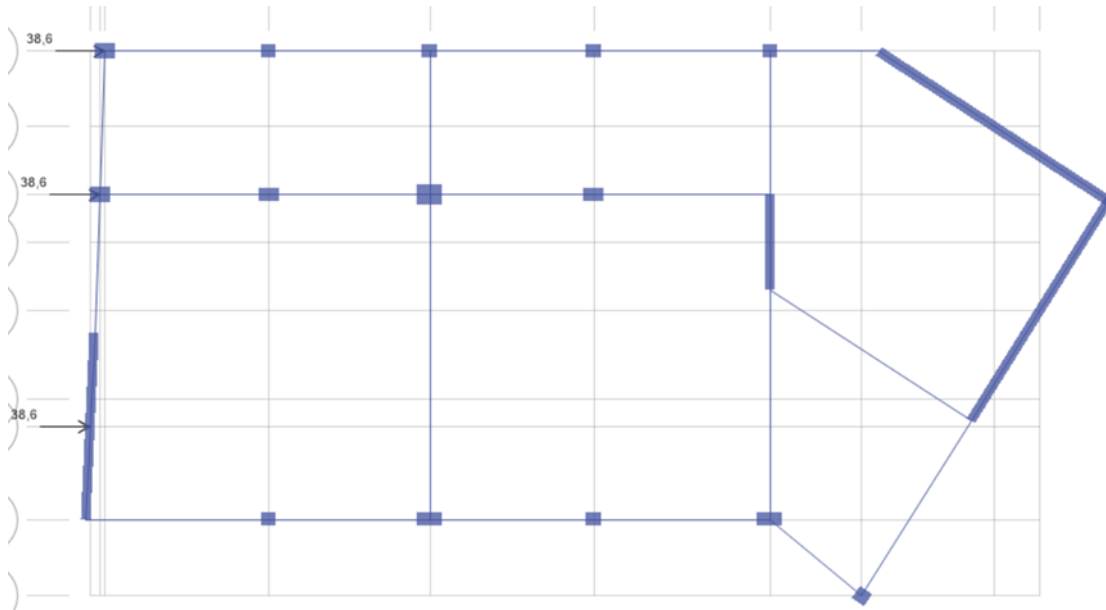
Σχήμα 3.24. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ισογείου για την τριγωνική μορφή φόρτισης PushX-TD

The screenshot shows the 'Joint Load Assignment - Force' dialog box. The 'Load Pattern Name' is set to 'PushX-TA'. The 'Loads' section includes the following values:

Parameter	Value	Unit
Force Global X	38.6	kN
Force Global Y	0	kN
Force Global Z	0	kN
Moment Global XX	0	kN-m
Moment Global YY	0	kN-m
Moment Global ZZ	0	kN-m

The 'Options' section has three radio buttons: 'Add to Existing Loads' (unselected), 'Replace Existing Loads' (selected), and 'Delete Existing Loads' (unselected). The 'Size of Load for Punching Shear' section has two input fields: 'X Dimension' (0 mm) and 'Y Dimension' (0 mm). At the bottom, there are 'OK', 'Close', and 'Apply' buttons.

Σχήμα 3.25. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ορόφου για την τριγωνική μορφή φόρτισης PushX-TA



Σχήμα 3.26. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ορόφου για την τριγωνική μορφή φόρτισης PushX-TA

Joint Load Assignment - Force

Load Pattern Name: PushY-TP

Loads

Force Global X	0	kN
Force Global Y	20,47	kN
Force Global Z	0	kN
Moment Global XX	0	kN-m
Moment Global YY	0	kN-m
Moment Global ZZ	0	kN-m

Options

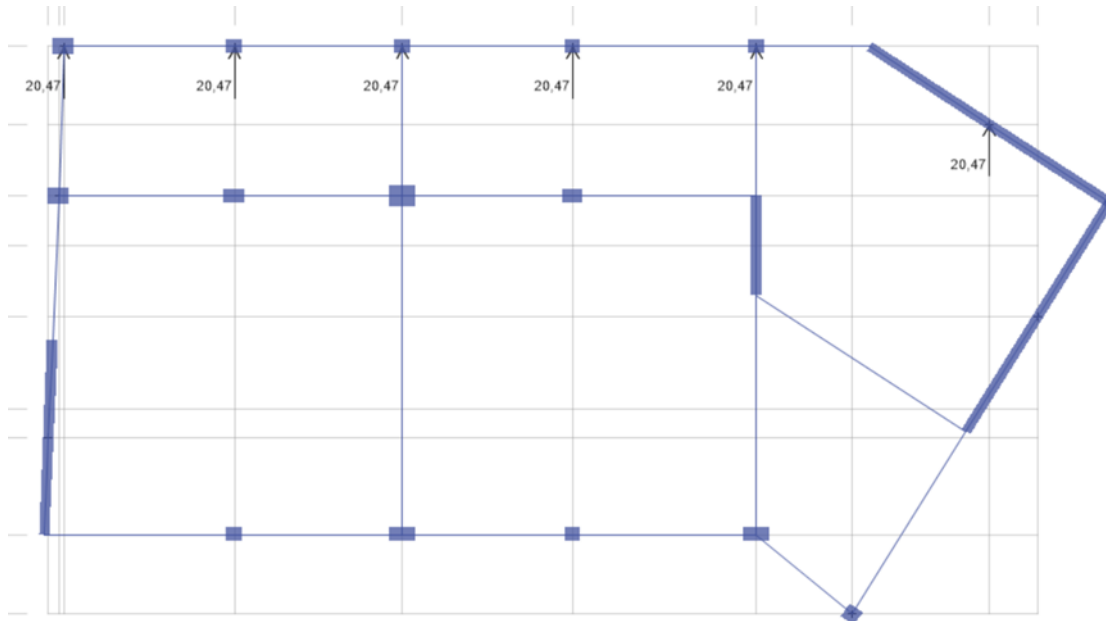
- Add to Existing Loads
- Replace Existing Loads
- Delete Existing Loads

Size of Load for Punching Shear

X Dimension	0	mm
Y Dimension	0	mm

OK Close Apply

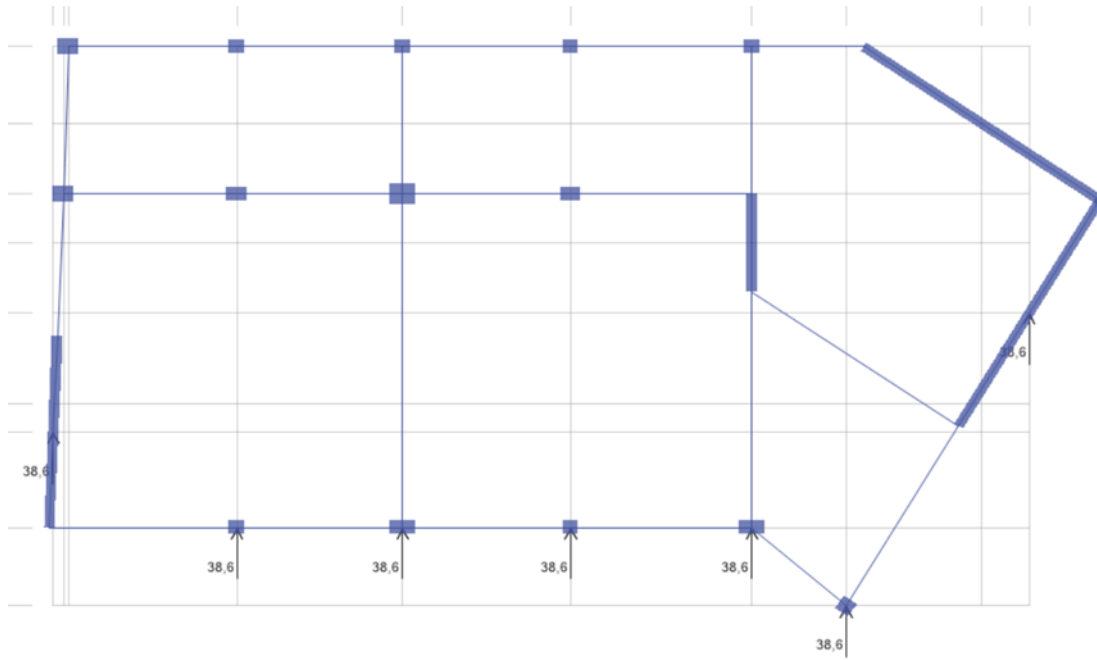
Σχήμα 3.27. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή υπογείου για την τριγωνική μορφή φόρτισης PushY-TP



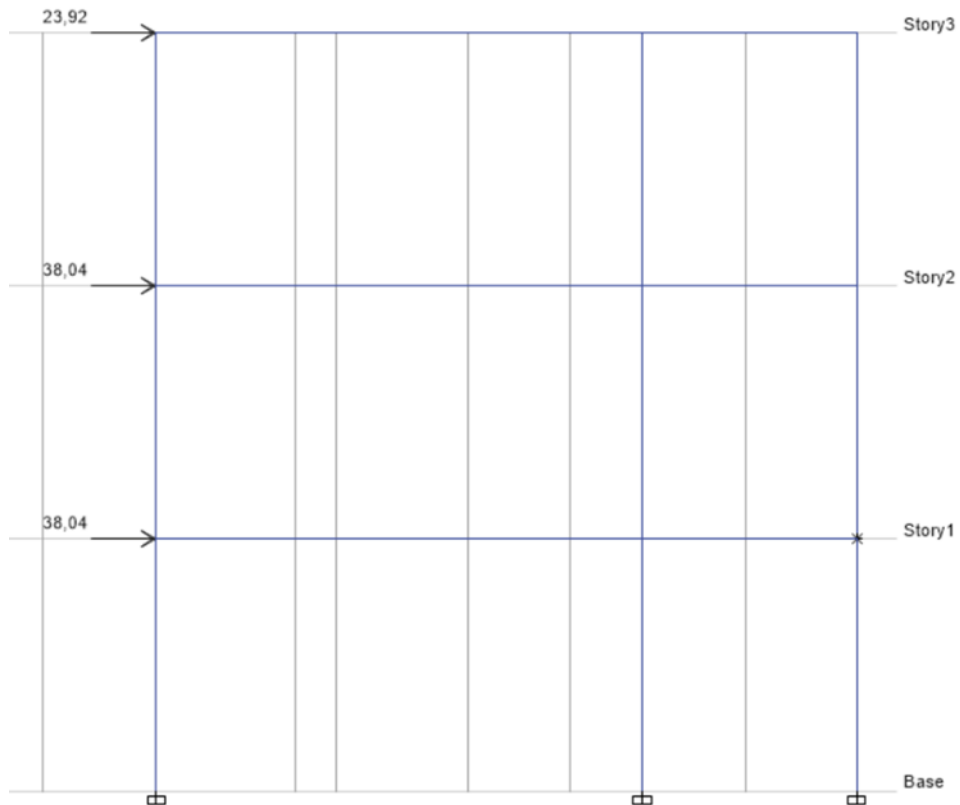
Σχήμα 3.28. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή υπογείου για την τριγωνική μορφή φόρτισης PushY-TP

A screenshot of a software dialog box titled 'Joint Load Assignment - Force'. The 'Load Pattern Name' is set to 'PushY-TK'. Under the 'Loads' section, 'Force Global Y' is set to '38,6' kN, while 'Force Global X', 'Force Global Z', and all 'Moment Global' values are set to '0'. The 'Options' section has 'Replace Existing Loads' selected. The 'Size of Load for Punching Shear' section has both 'X Dimension' and 'Y Dimension' set to '0' mm. At the bottom are 'OK', 'Close', and 'Apply' buttons.

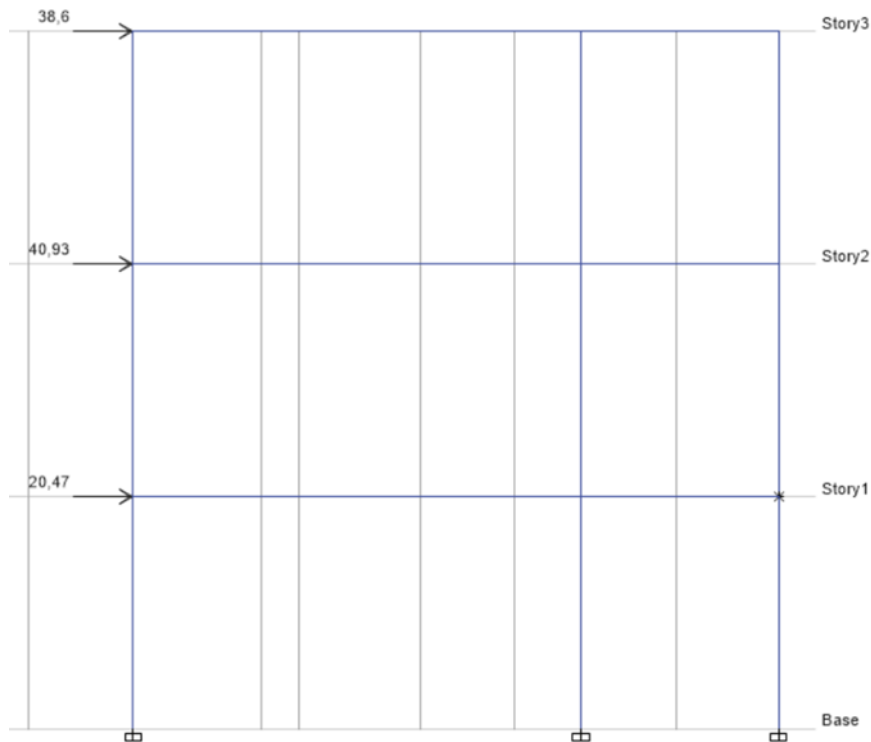
Σχήμα 3.29. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ορόφου για την τριγωνική μορφή φόρτισης PushY-TK



Σχήμα 3.30. Ανάθεση οριζόντιων δυνάμεων στην οροφή ορόφου για την τριγωνική μορφή φόρτισης PushY-TK



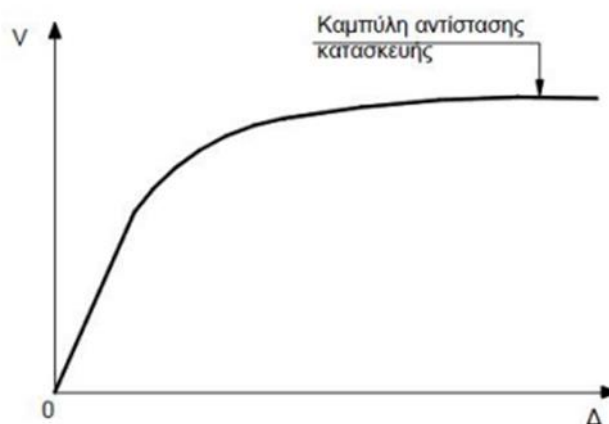
Σχήμα 3.31. Απεικόνιση ομοιόμορφης κατανομής δυνάμεων καθ' ύψος



Σχήμα 3.32. Απεικόνιση τριγωνικής κατανομής δυνάμεων καθ' ύψος

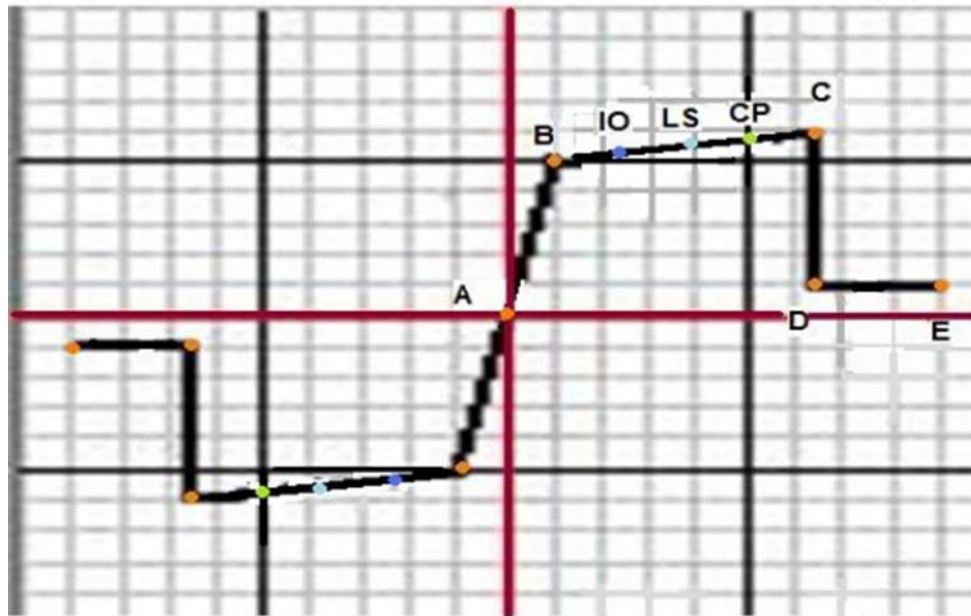
3.5 Ανελαστική ανάλυση

Κατά την ανάλυση αυτή με την πλευρική φόρτιση που εφαρμόζεται με αυξανόμενη ένταση στον επιλεγμένο φορέα οδηγούμαστε στη δημιουργία της καμπύλης αντοχής της κατασκευής η οποία είναι γνωστή ως «καμπύλη αντίστασης». Η καμπύλη αντίστασης είναι ένα γράφημα της τέμνουσας βάσης συναρτήσει της οριζόντιας μετακίνησης της οροφής και αναπαριστά την ικανότητα της κατασκευής να απορροφά ενέργεια, όταν υπόκειται σε σεισμική διέγερση.



Σχήμα 3.33. Γράφημα της τέμνουσας βάσης συναρτήσει της οριζόντιας μετακίνησης οροφής

Στην στατική ανελαστική ανάλυση υπό αυξανόμενης έντασης φορτία (pushover ανάλυση), τα μέλη του φορέα δεν συμπεριφέρονται ελαστικά αλλά μεταβαίνουν σε συγκεκριμένα στάδια πλαστικής παραμόρφωσης. Τα στάδια πλαστικής παραμόρφωσης περιγράφονται μέσα από διαγράμματα συμπεριφοράς υλικών.



Σχήμα 3.34. Διάγραμμα συμπεριφοράς υλικών

Ο κάθετος άξονας είναι η δύναμη (αξονική, διατμητική ή ροπή) και ο οριζόντιος είναι η παραμόρφωση (μετατόπιση ή στρόφι). Η AB είναι η περιοχή ελαστικής συμπεριφοράς. Το B είναι το σημείο διαρροής. Ακολουθεί η πλαστική περιοχή BC, όπου C το σημείο μέγιστης αντοχής. Έπειτα, η αντοχή μειώνεται (σημείο D) μέχρι το σημείο μέγιστης παραμόρφωσης, χωρίς την ικανότητα παραλαβής φορτίων (σημείο E).

Στο ίδιο διάγραμμα φαίνονται και οι στάθμες επιτελεστικότητας.

- **IO (Immediate Occurance): «Άμεση χρήση μετά το σεισμό»**

Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί μόνο ελαφριές βλάβες, με τα δομικά στοιχεία να μην έχουν διαρρεύσει σε σημαντικό βαθμό και να διατηρούν την αντοχή και δυσκαμψία τους. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι αμελητέες.

- **LS (Life Safety): «Προστασία Ζωής»**

Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί σημαντικές και εκτεταμένες αλλά επισκευάσιμες βλάβες, ενώ τα δομικά στοιχεία διαθέτουν εναπομένουσα αντοχή και δυσκαμψία και είναι σε θέση να παραλάβουν τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μετρίου μεγέθους. Ο φέρων οργανισμός μπορεί να αντέξει μετασεισμούς μέτριας έντασης.

- **CP (Collapse Prevention): «Αποφυγή οιονεί κατάρρευση»**

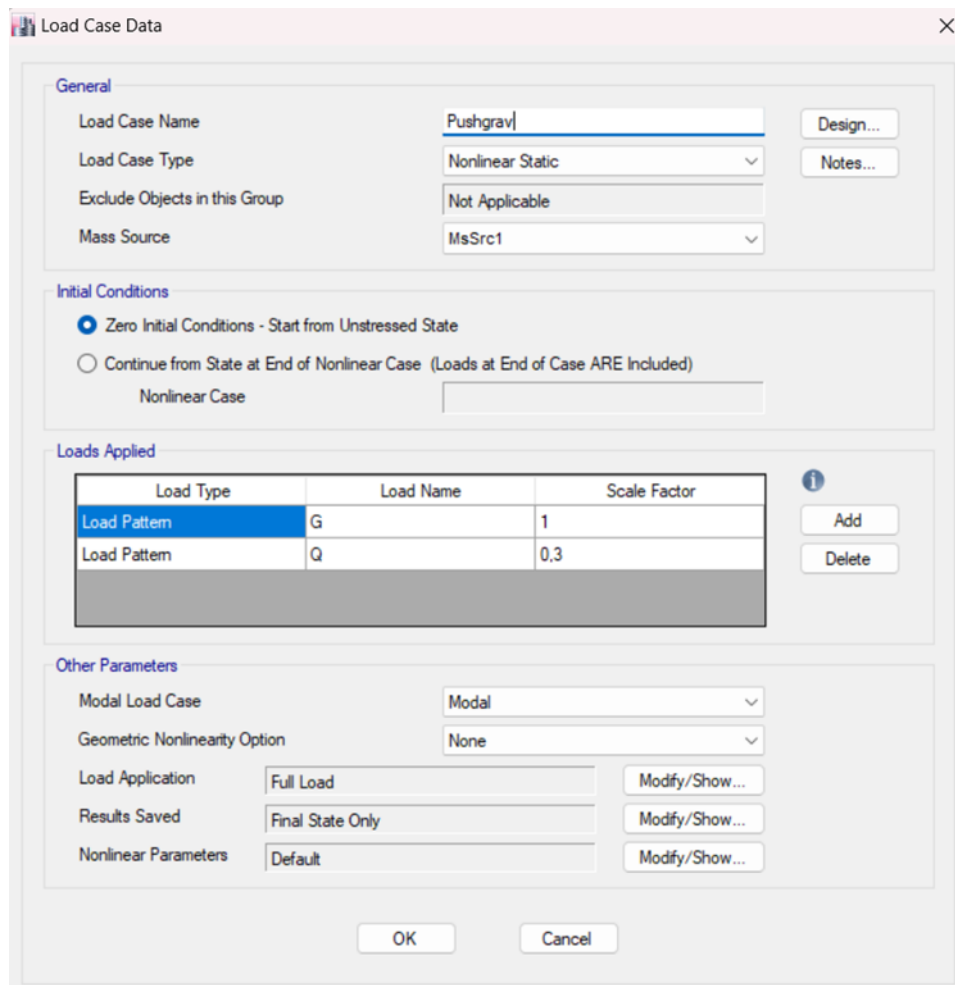
Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί εκτεταμένες και σοβαρές ή βαριές (μη επισκευάσιμες κατά πλειονότητα) βλάβες. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μεγάλες. Ο φέρων οργανισμός έχει ακόμη την ικανότητα να φέρει τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία (κατά, και για ένα διάστημα μετά, τον σεισμό), χωρίς πάντως να διαθέτει άλλο ουσιαστικό περιθώριο ασφαλείας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης, ακόμη και για μετασεισμικούς μέτριας έντασης.

Οι πλαστικές αρθρώσεις σε κάθε βήμα της ανάλυσης παρουσιάζονται με διαφορετικό χρώμα ανάλογα με την τιμή της πλαστικής στροφής.



Πριν ξεκινήσουμε την ανελαστική ανάλυση και επειδή γνωρίζουμε ότι ο φορέας μας πριν την κατανομή της ομοιόμορφης και τριγωνικής φόρτισης ήταν ήδη φορτισμένος με τα στατικά-κατακόρυφα φορτία G και Q , θα δημιουργήσουμε την φορτιστική κατάσταση Pushgrav για τον σεισμικό συνδυασμό κατακόρυφων φορτίων $G+0,3Q$, ώστε να ορίσουμε αυτή την αρχική φόρτιση.

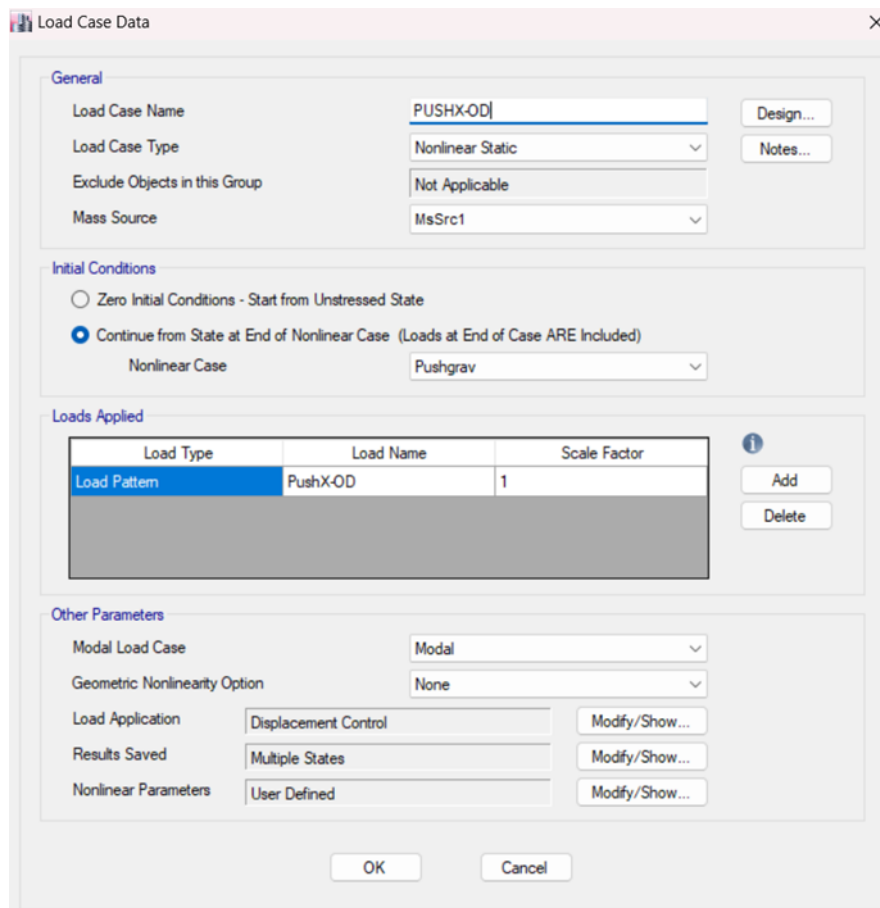
Από την εντολή Define → Load Cases δημιουργούμε την φορτιστική κατάσταση Pushgrav η οποία αναφέρεται στην ανελαστική (pushover) ανάλυση λόγω κατακόρυφων φορτίων. Από το παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγω στατικό τύπο φορτιστικής κατάστασης, ανελαστικό τύπο ανάλυσης, αρχική- μηδενική εντατική κατάσταση φορέα και συνδυασμό κατακόρυφων φορτίων $G+0,3Q$.



Σχήμα 3.35. Δημιουργία φορτιστικής κατάστασης Pushgrav

Στη συνέχεια δημιουργούμε τις φορτιστικές καταστάσεις για την ανελαστική (pushover) ανάλυση με βάση την ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή των δυνάμεων.

Από την εντολή Define → Load Cases δημιουργούμε την φορτιστική κατάσταση PUSHX-OD η οποία αναφέρεται στην ανελαστική (pushover) ανάλυση λόγω ομοιόμορφης κατανομής με φόρτιση στην ανατολική πλευρά του κτιρίου (δεξιά). Από το παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγω στατικό τύπο φορτιστικής κατάστασης, ανελαστικό τύπο ανάλυσης, εντατική κατάσταση φορέα αυτή της φορτιστικής κατάστασης Pushgrav και φορτίο PushX-OD.



Σχήμα 3.36. Δημιουργία φορτιστικής κατάστασης PUSHX-OD

Την ίδια διαδικασία ακολουθούμε και για τις υπόλοιπες φορτιστικές καταστάσεις της ομοιόμορφης και τριγωνικής κατανομής όπου έχουμε:

PUSHX-OA: Ομοιόμορφη κατανομή με φόρτιση στη δυτική πλευρά του κτιρίου (αριστερά)

PUSHY-OP: Ομοιόμορφη κατανομή με φόρτιση στη βόρεια πλευρά του κτιρίου (επάνω)

PUSHY-OK: Ομοιόμορφη κατανομή με φόρτιση στη νότια πλευρά του κτιρίου (κάτω)

PUSHX-TD: Τριγωνική κατανομή με φόρτιση στην ανατολική πλευρά του κτιρίου (δεξιά)

PUSHX-TA: Τριγωνική κατανομή με φόρτιση στη δυτική πλευρά του κτιρίου (αριστερά)

PUSHY-TP: Τριγωνική κατανομή με φόρτιση στη βόρεια πλευρά του κτιρίου (επάνω)

PUSHY-TK: Τριγωνική κατανομή με φόρτιση στη νότια πλευρά του κτιρίου (κάτω).

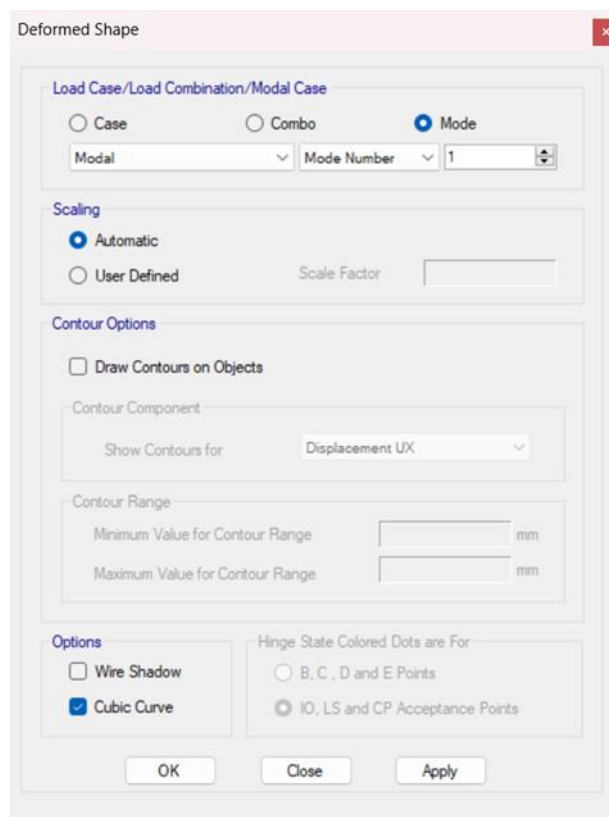
Κεφάλαιο 4

Αποτελέσματα

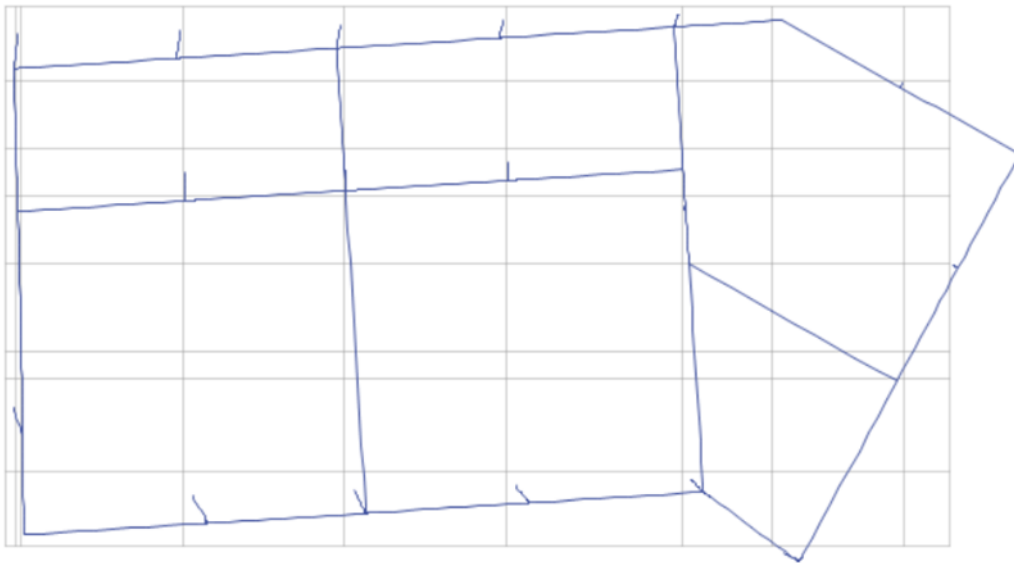
4.1 Ιδιομορφές απόκρισης

Έχοντας ορίσει και αναθέσει στο προσομοίωμα του κτιρίου υλικά κατασκευής, διατομές δομικών στοιχείων, φορτία, μάζες ορόφων και φορτιστικές καταστάσεις πραγματοποιούμε την ανάλυση του προσομοιώματος. Επιλέγουμε Analyze → Set Load Cases to Run → Run Now.

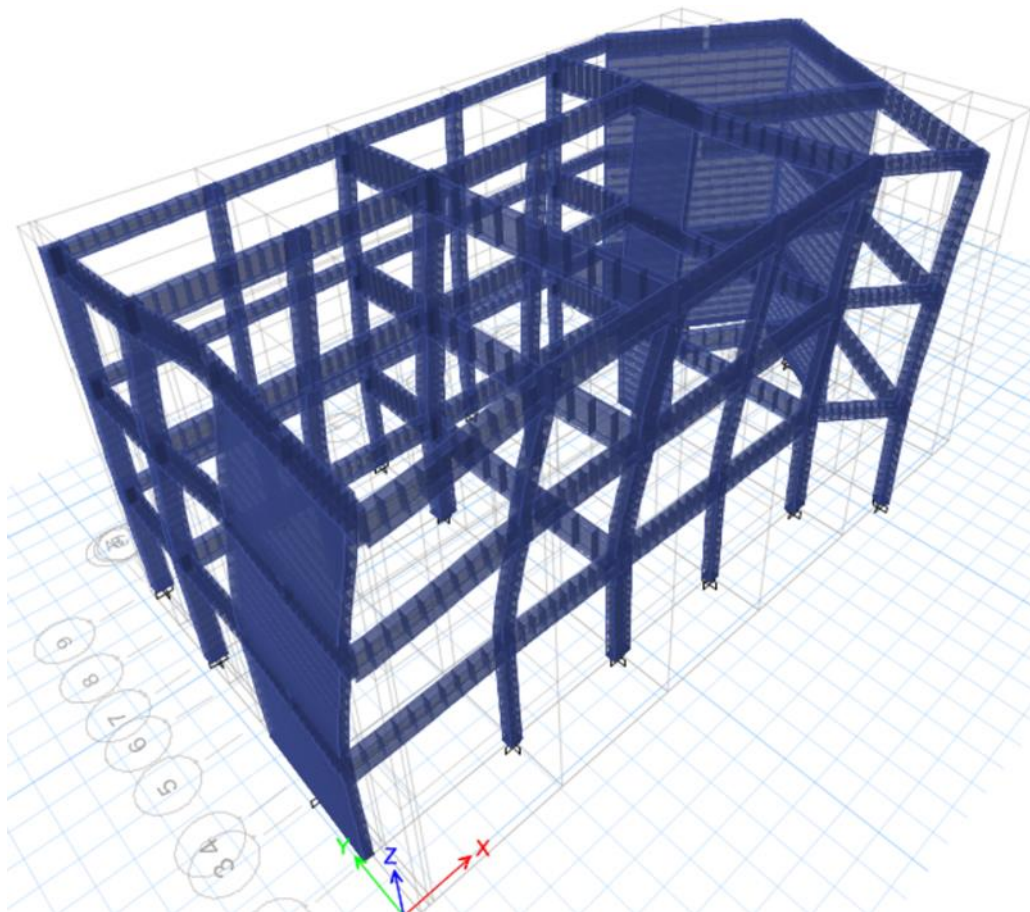
Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε υπολογίσθηκαν οι ιδιομορφές του φορέα. Μαζί με τις ιδιομορφές εμφανίζονται και οι τιμές της ιδιοπεριόδου για κάθε μία από αυτές. Για την εμφάνιση των ιδιομορφών επιλέγουμε Display → Deformed Shape → Mode και για την εμφάνιση της 1ης ιδιομορφής επιλέγουμε Mode Number → «1»



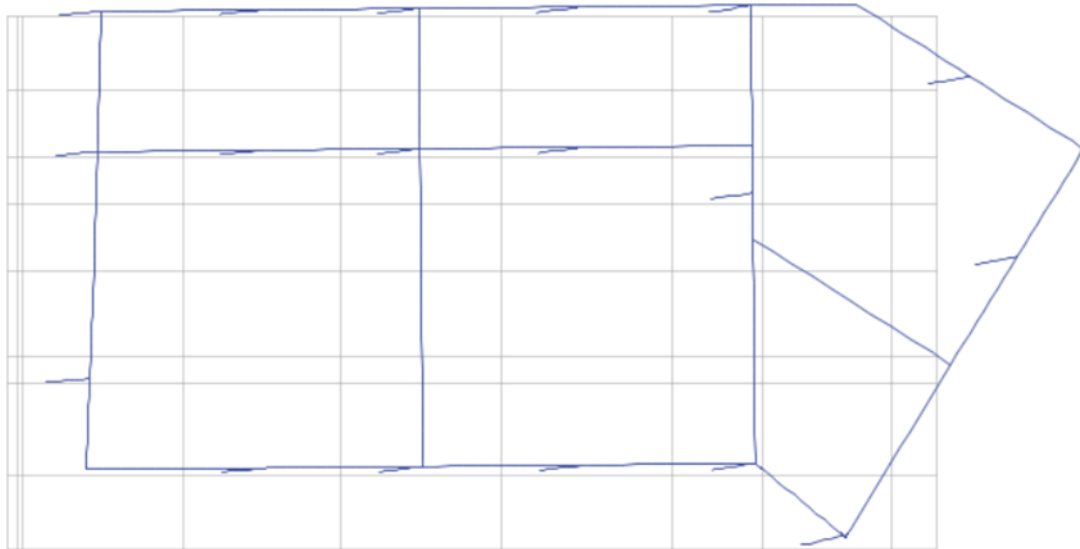
Σχήμα 4.1. Επιλογή για την εμφάνιση της 1^{ης} ιδιομορφής



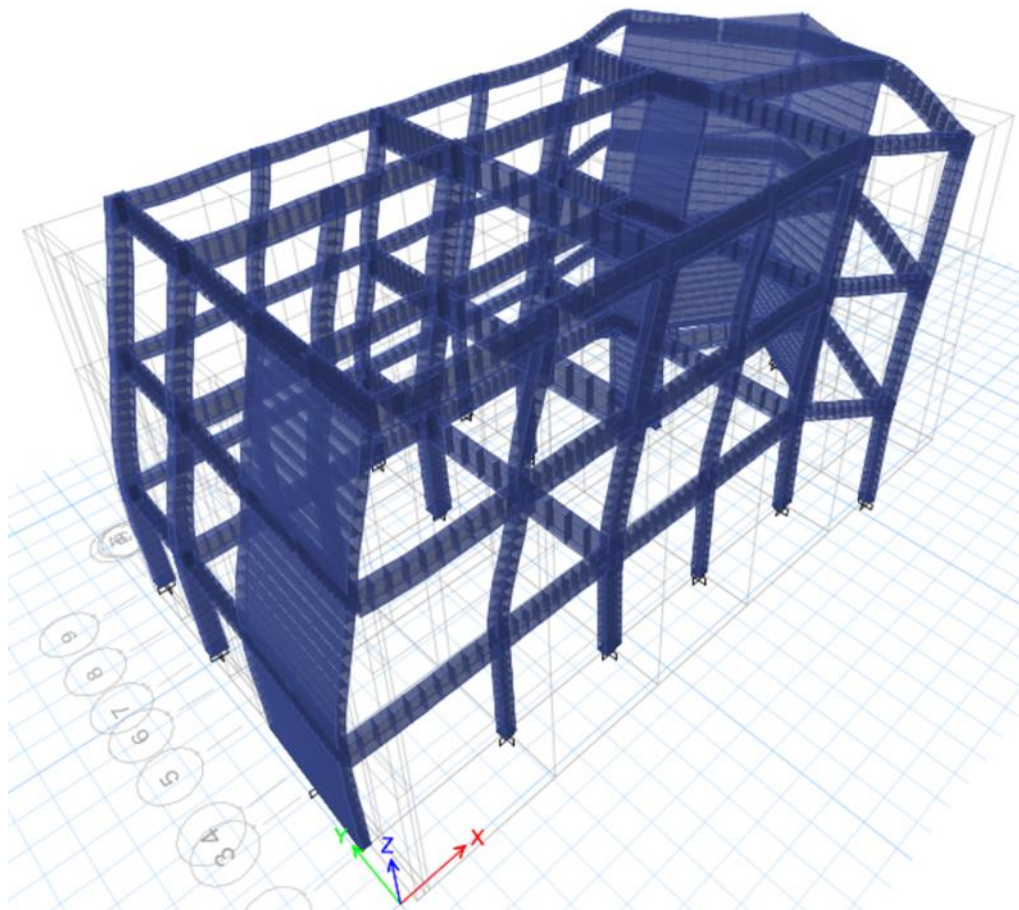
Σχήμα 4.2. Παραμορφωμένος φορέας 1^{ης} ιδιομορφής διαφράγματος 3^{ου} ορόφου



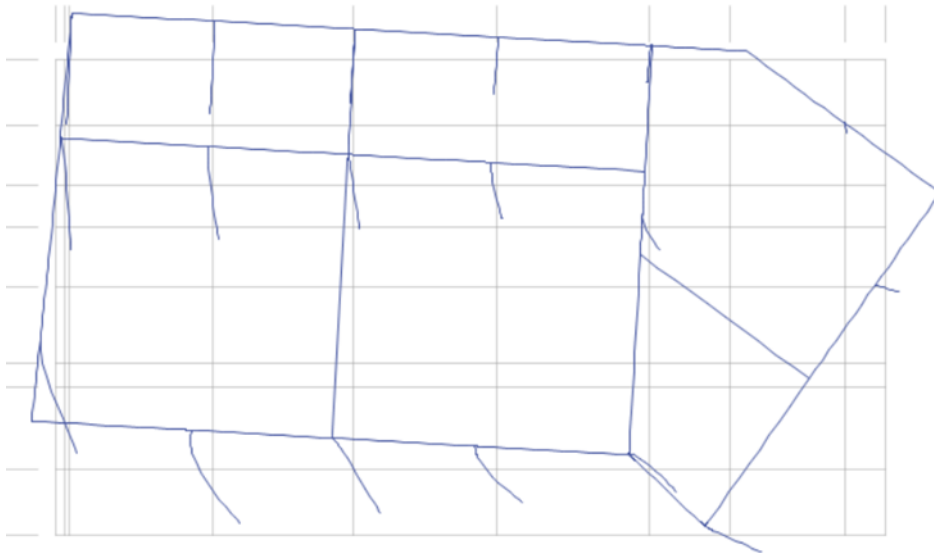
Σχήμα 4.3. Τρισδιάστατη απεικόνιση παραμορφωμένου φορέα 1^{ης} ιδιομορφής



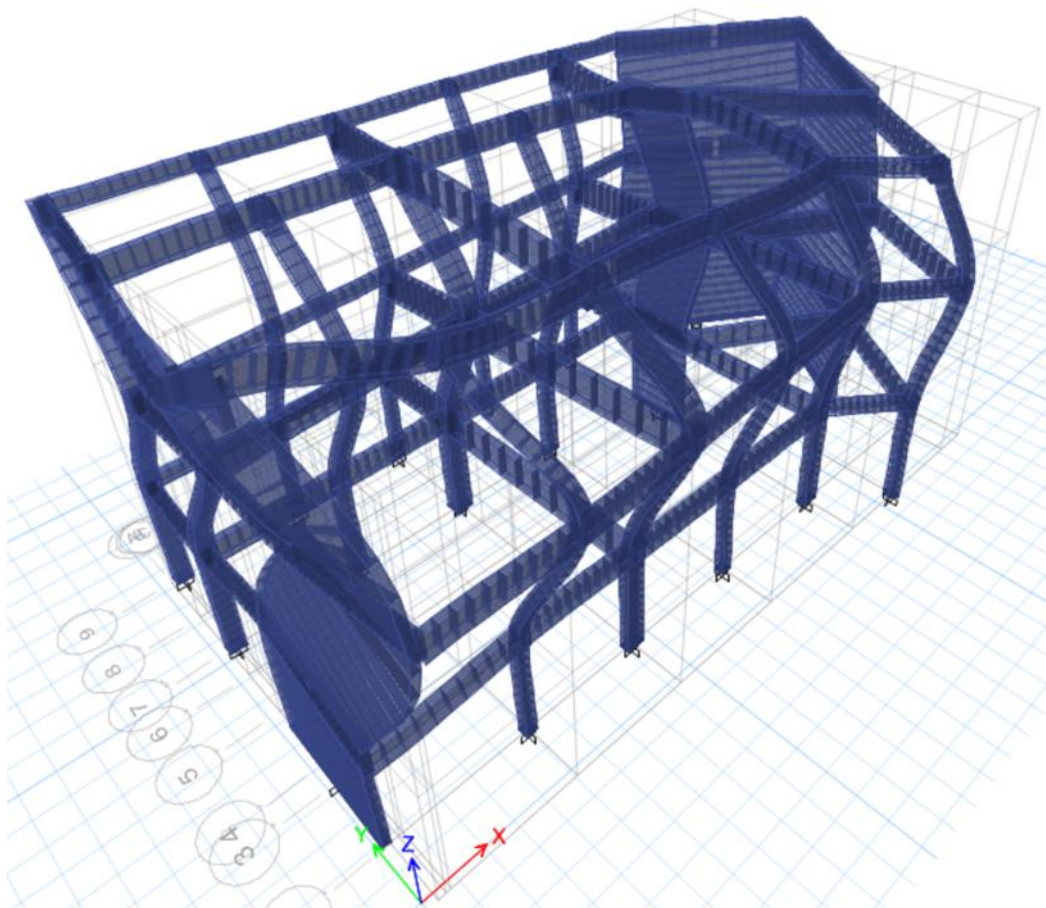
Σχήμα 4.4. Παραμορφωμένος φορέας 2^{ης} ιδιομορφής διαφράγματος 3^{ου} ορόφου



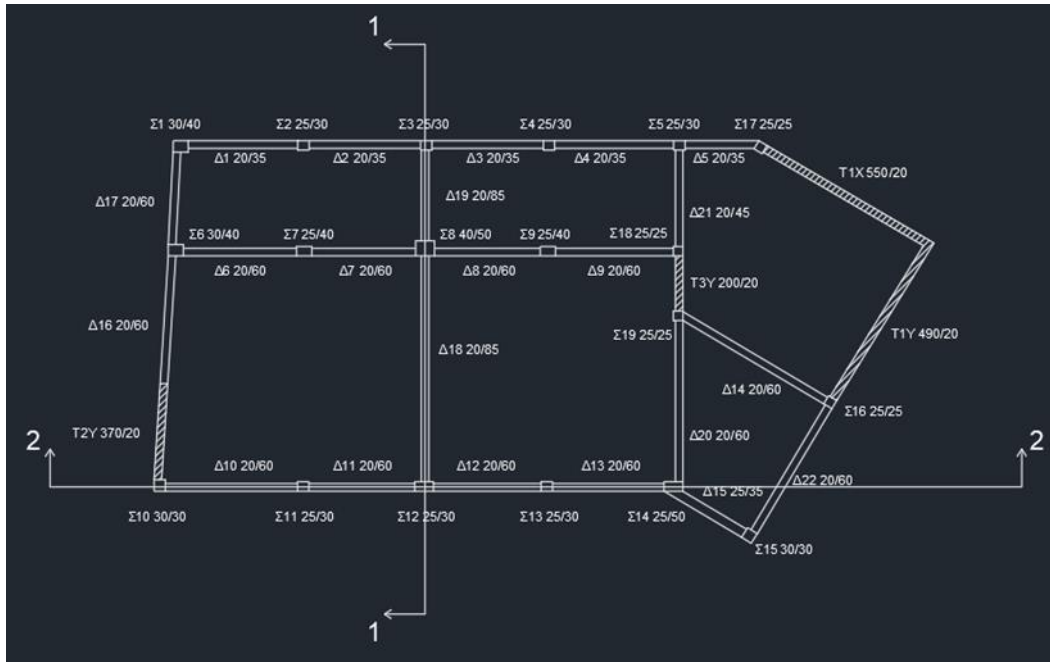
Σχήμα 4.5. Τρισδιάστατη απεικόνιση παραμορφωμένου φορέα 2^{ης} ιδιομορφής



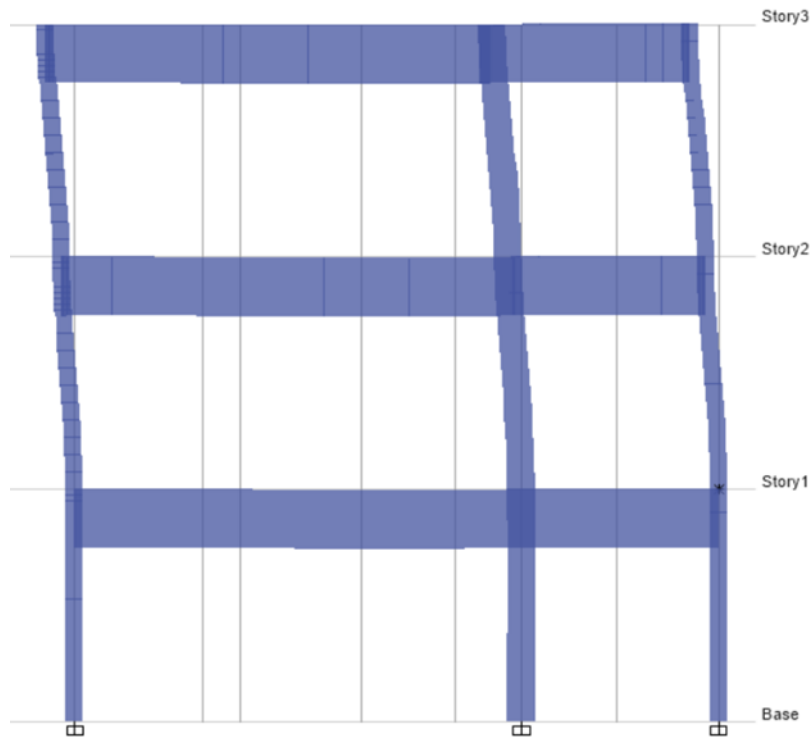
Σχήμα 4.6. Παραμορφωμένος φορέας 3^{ης} ιδιομορφής διαφράγματος 3^{ου} ορόφου



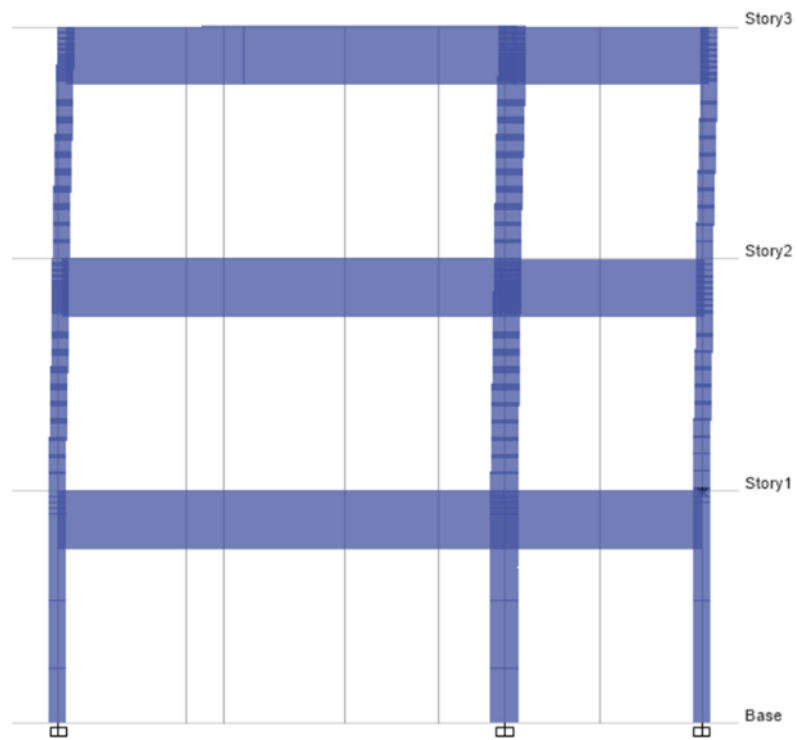
Σχήμα 4.7. Τρισδιάστατη απεικόνιση παραμορφωμένου φορέα 3^{ης} ιδιομορφής



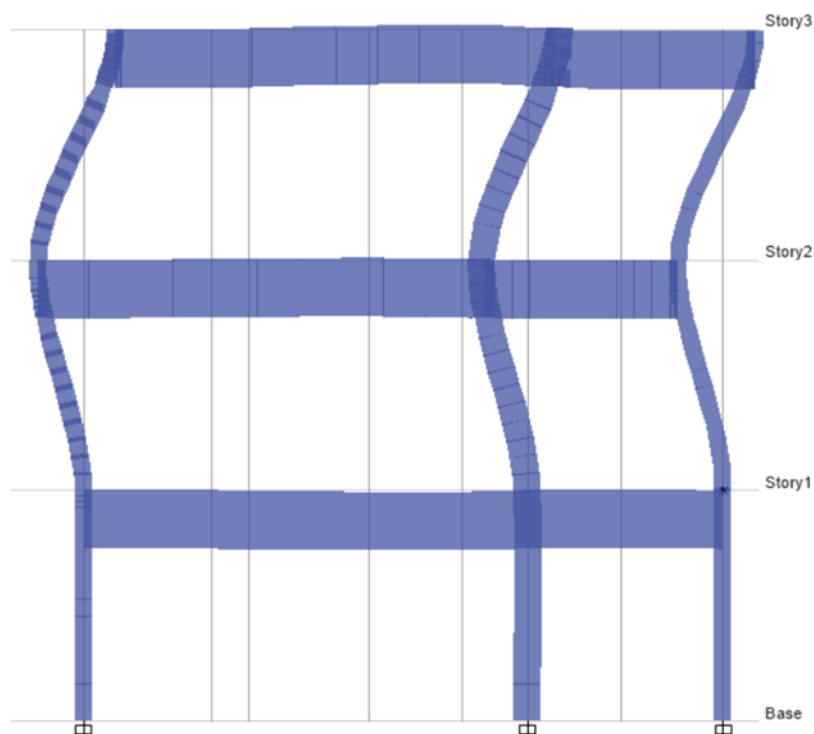
Σχήμα 4.8. Τομές 1-1 & 2-2



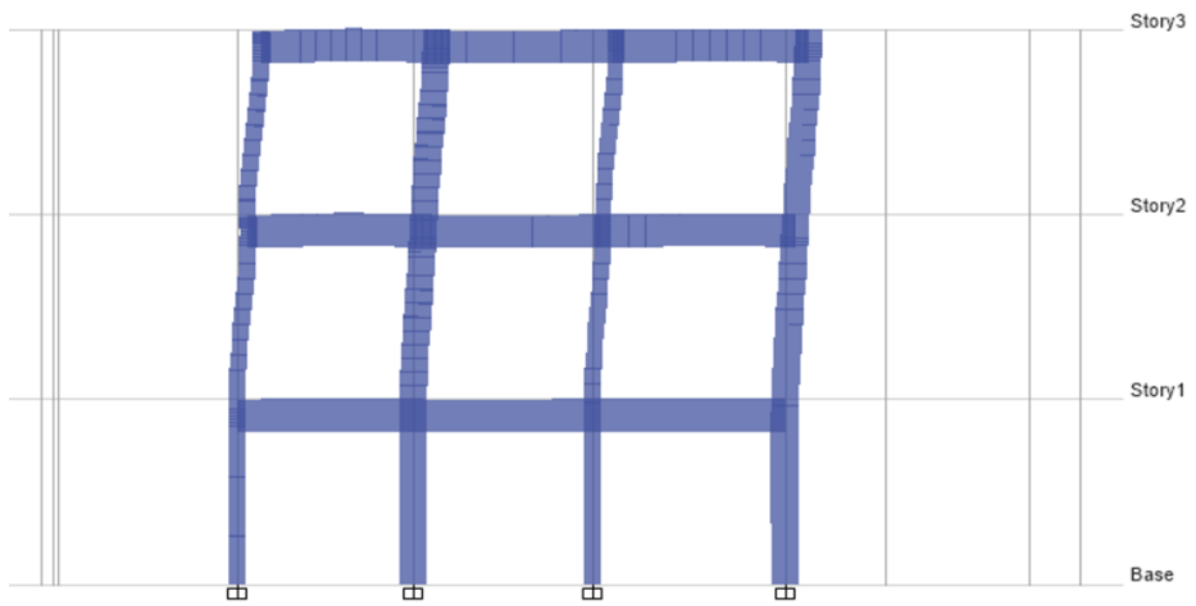
Σχήμα 4.9. Παραμορφωμένος φορέας από τομή 1-1 1ης ιδιομορφής



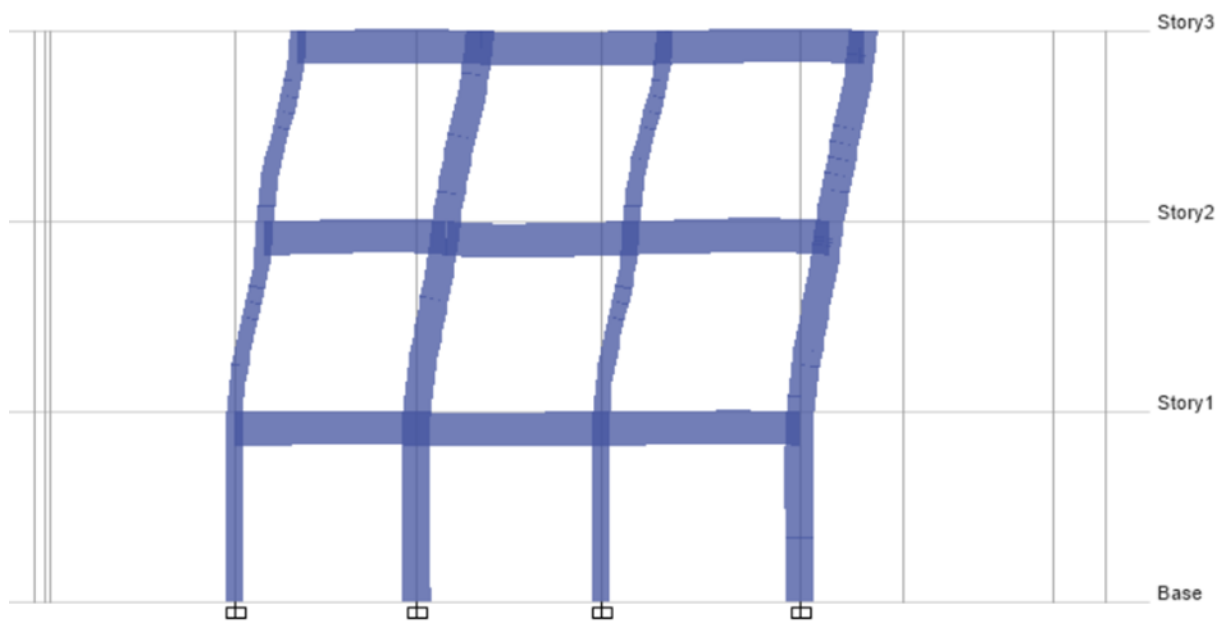
Σχήμα 4.10. Παραμορφωμένος φορέας από τομή 1-1 2ης ιδιομορφής



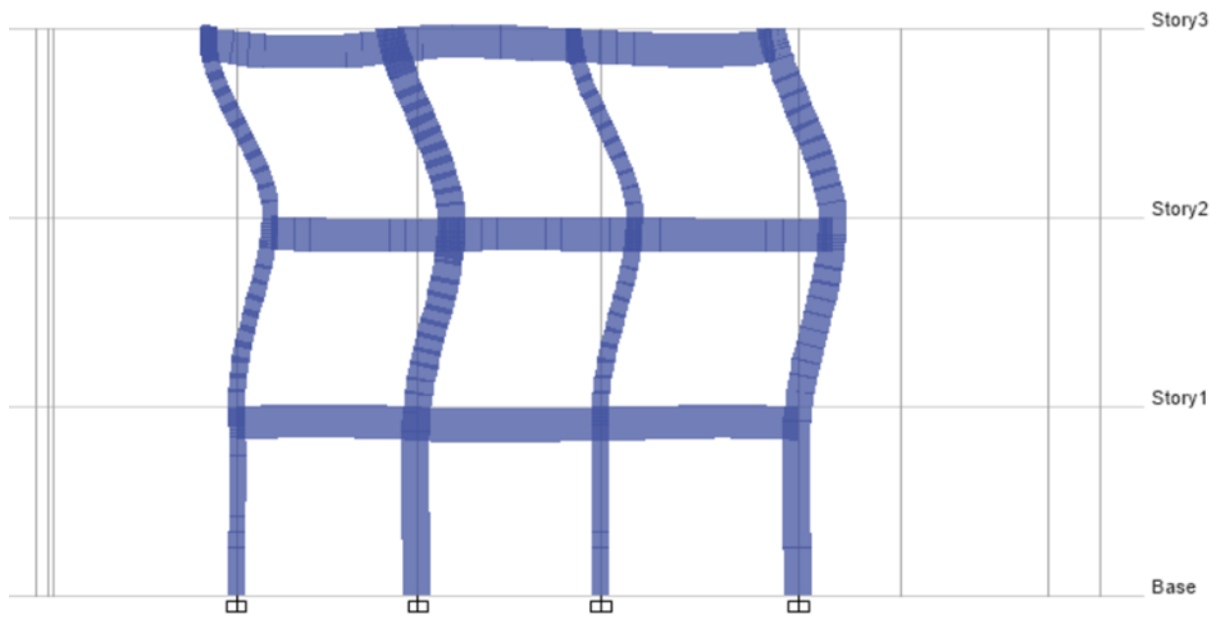
Σχήμα 4.11. Παραμορφωμένος φορέας από τομή 1-1 3ης ιδιομορφής



Σχήμα 4.12. Παραμορφωμένος φορέας από τομή 2-2 1ης ιδιομορφής

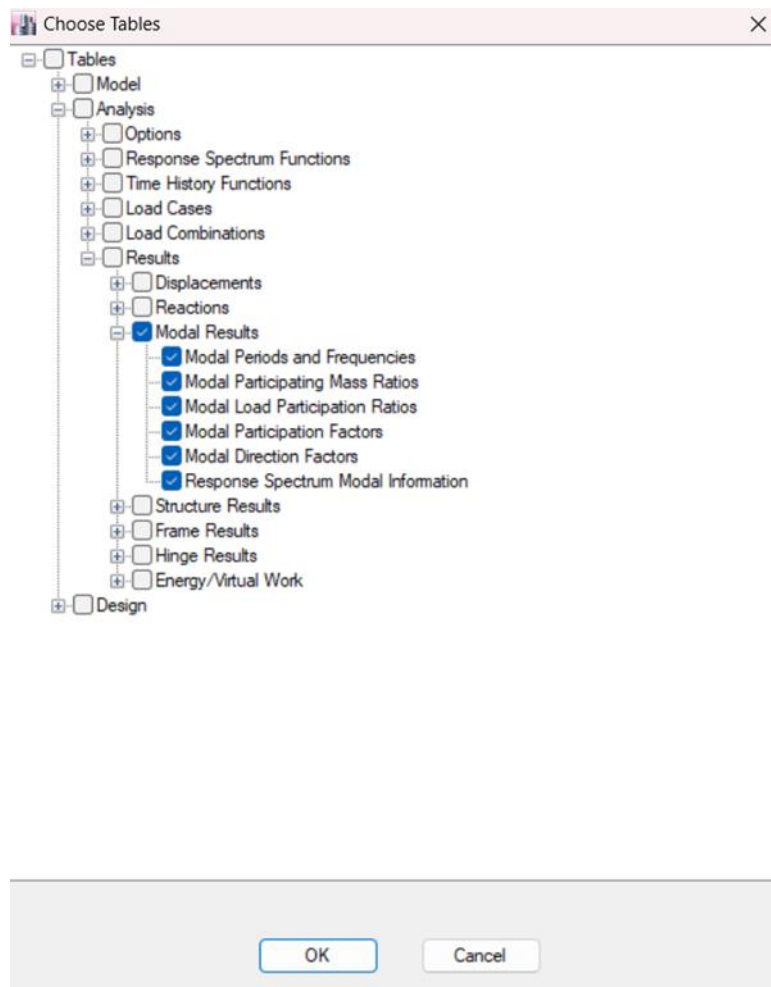


Σχήμα 4.13. Παραμορφωμένος φορέας από τομή 2-2 2ης ιδιομορφής



Σχήμα 4.14. Παραμορφωμένος φορέας από τομή 2-2 3ης ιδιομορφής

Για την εμφάνιση των αποτελεσμάτων σχετικά με την ιδιοπερίοδο και τις μετακινήσεις του φορέα επιλέγουμε την εντολή Define → Show Tables → Analysis → Results → Modal Results.



Σχήμα 4.15. Εμφάνιση αποτελεσμάτων ιδιομορφών

Πίνακας 4.1. Αποτελέσματα ιδιοπεριόδου και μετακινήσεων φορέα

TABLE: Modal Participating Mass Ratios								
Case	Mode	Period	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
		sec						
Modal	1	0,343	0,0045	0,7504	0,1	0,0045	0,7504	0,1
Modal	2	0,264	0,8615	0,0065	0,0009	0,866	0,7569	0,1009
Modal	3	0,082	0,0027	0,1219	0,015	0,8687	0,8788	0,1159
Modal	4	0,068	0,1279	0,0001	0,0191	0,9966	0,879	0,1351
Modal	5	0,061	3,32E-05	0,1082	0,7837	0,9966	0,9871	0,9188
Modal	6	0,021	0,0001	0,0095	0,0727	0,9967	0,9967	0,9914

Πίνακας 4.2. Αποτελέσματα ιδιοπεριόδου και μετακινήσεων φορέα

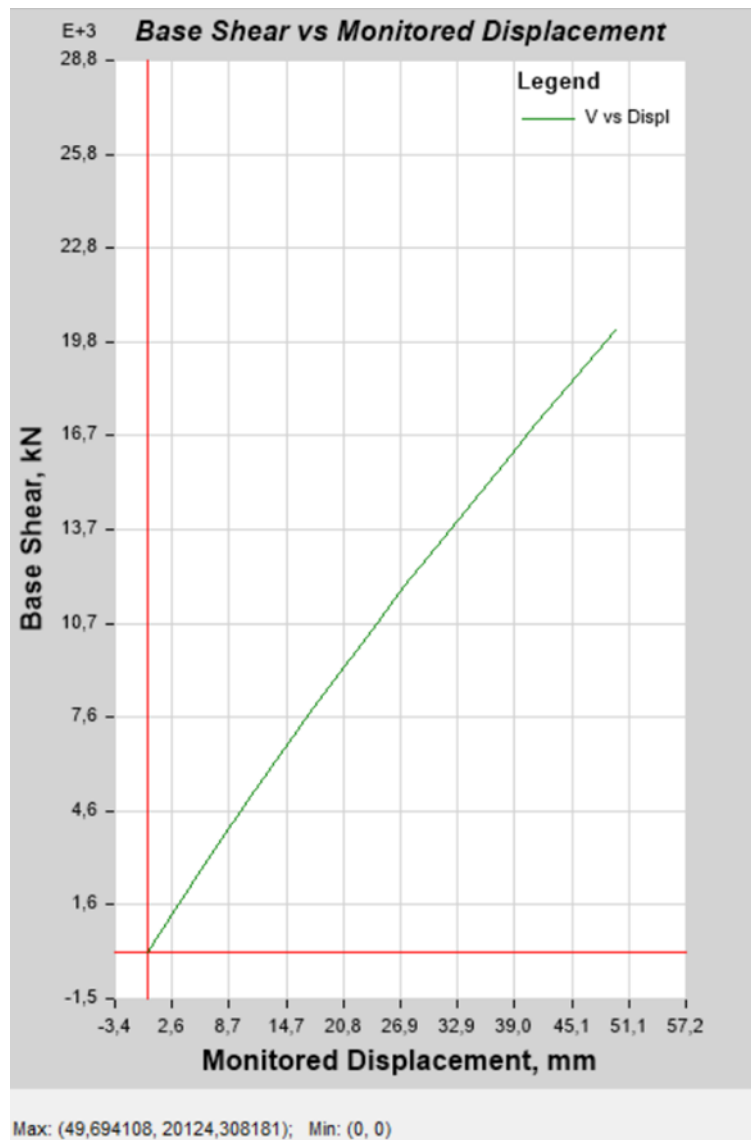
TABLE: Modal Direction Factors					
Case	Mode	Period	UX	UY	RZ
		sec			
Modal	1	0,343	0,005	0,875	0,12
Modal	2	0,264	0,991	0,008	0,001
Modal	3	0,082	0,023	0,86	0,117
Modal	4	0,068	0,954	0,026	0,02
Modal	5	0,061	0,025	0,116	0,859
Modal	6	0,021	0,002	0,116	0,882

4.2 Ανελαστικές στατικές αναλύσεις

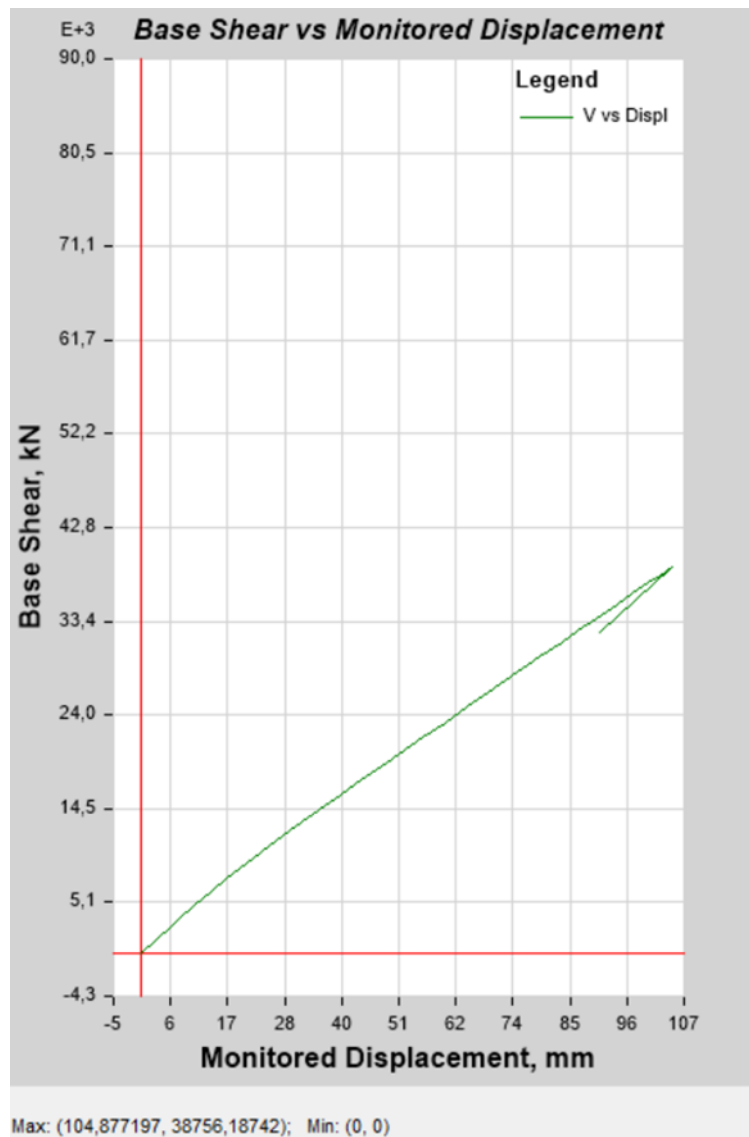
Καμπύλες αντίστασης

Από τα αποτελέσματα των ανελαστικών στατικών αναλύσεων (pushover) προκύπτουν οι καμπύλες αντίστασης (διάγραμμα τέμνουσας βάσης- μετακίνησης στην κορυφή του κτιρίου).

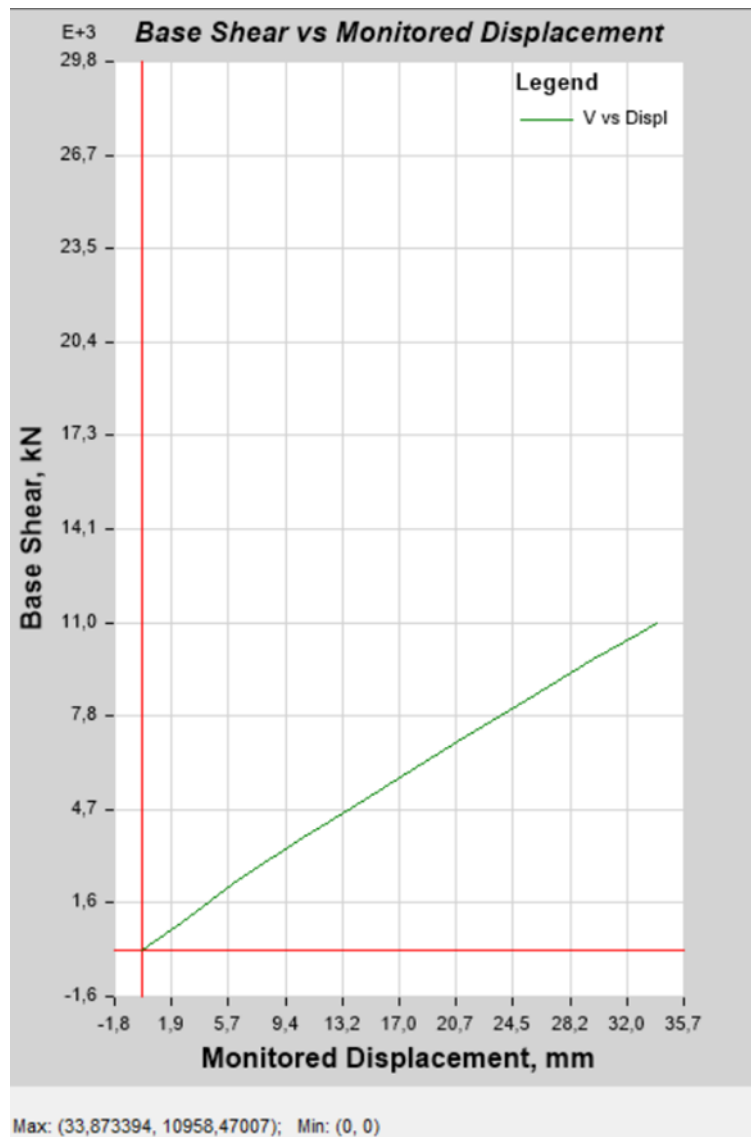
Για την εμφάνιση των αποτελεσμάτων σχετικά με τις καμπύλες αντίστασης του φορέα επιλέγουμε την εντολή Display → Static Pushover Curve.



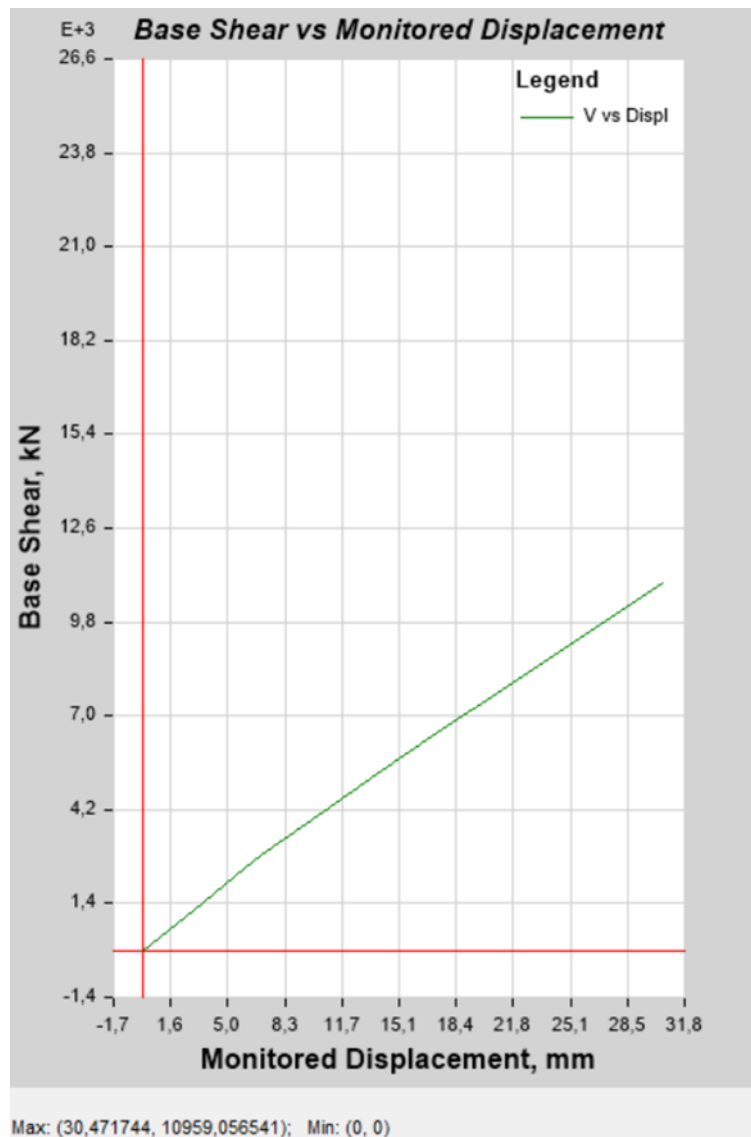
Σχήμα 4.16. Καμπύλη αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OA



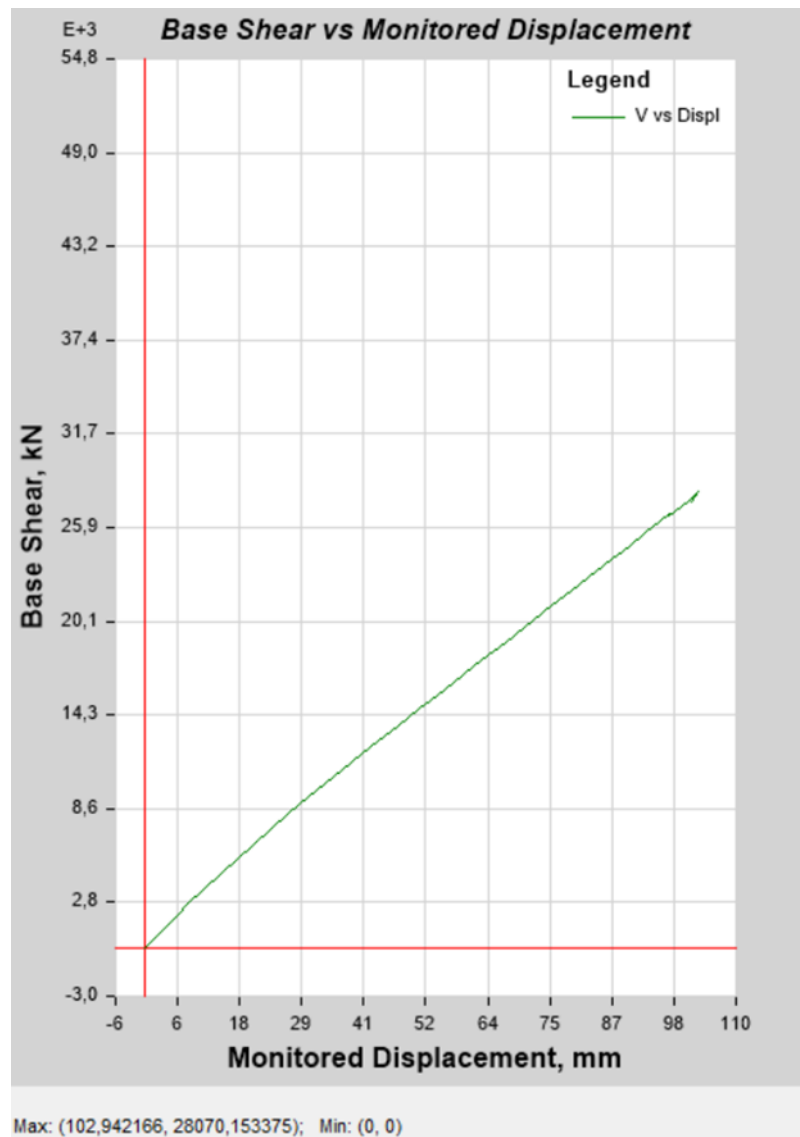
Σχήμα 4.17. Καμπύλη αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OD



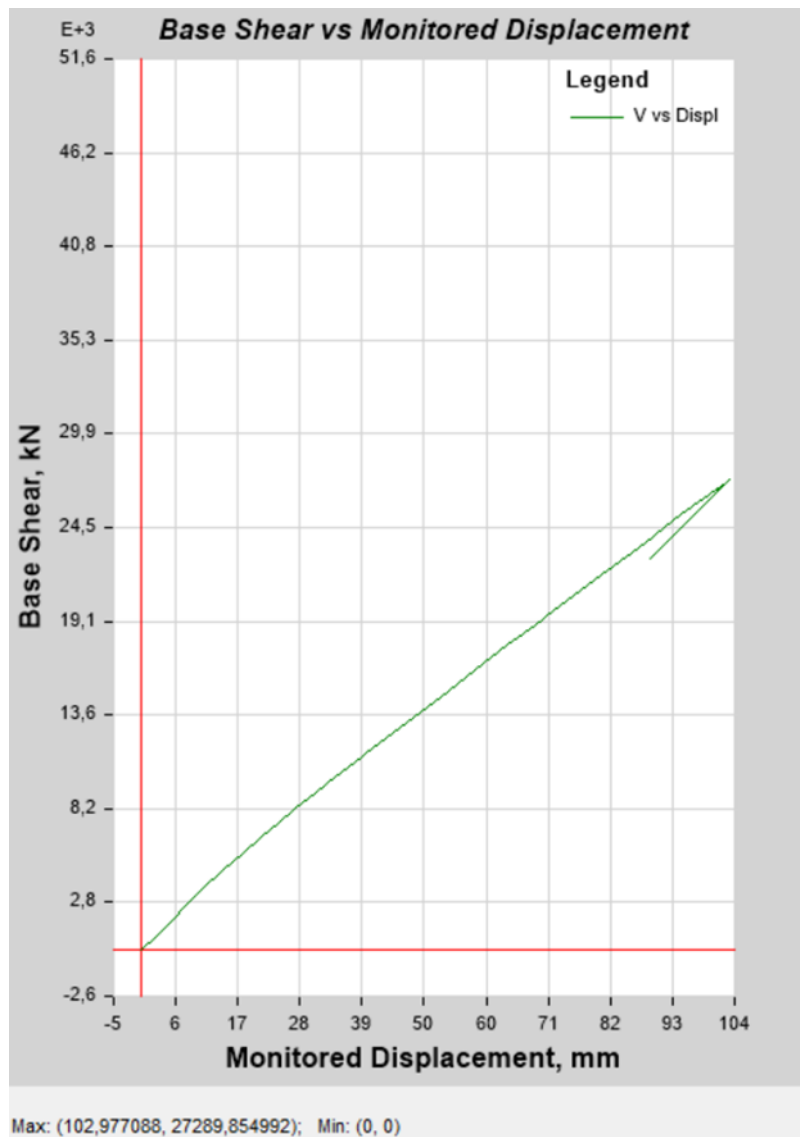
Σχήμα 4.18. Καμπύλη αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OP



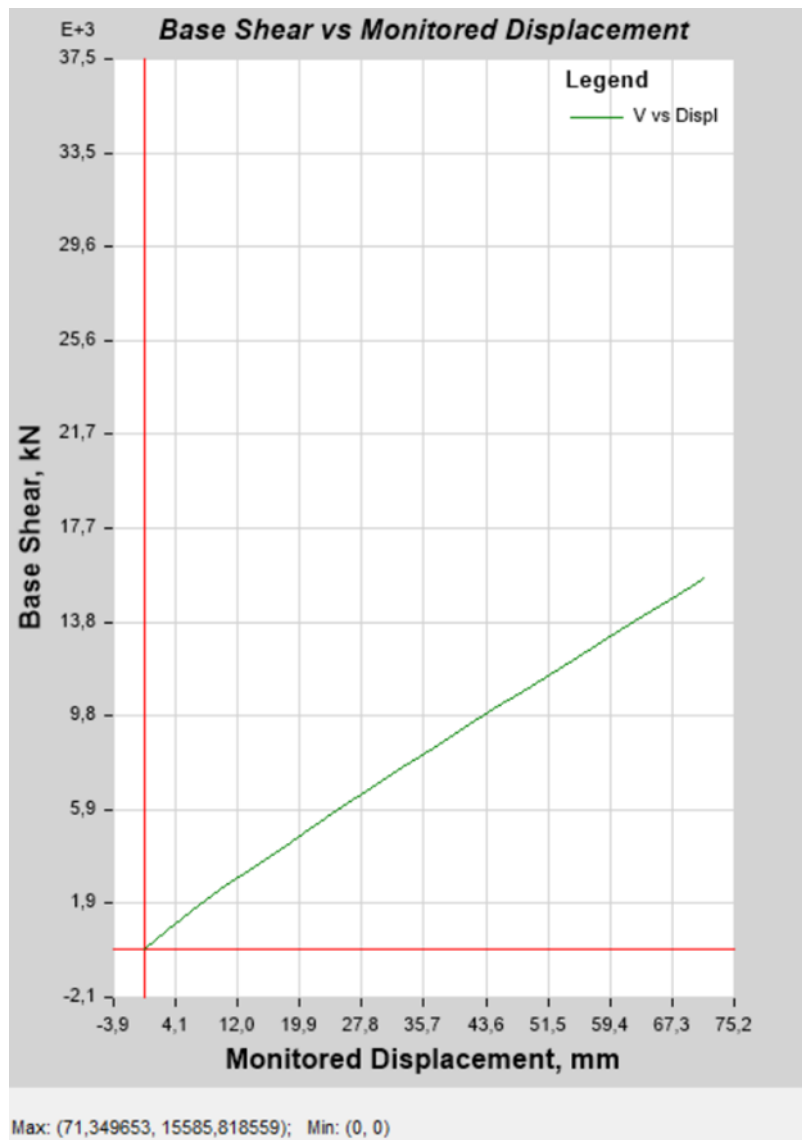
Σχήμα 4.19. Καμπύλη αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OK



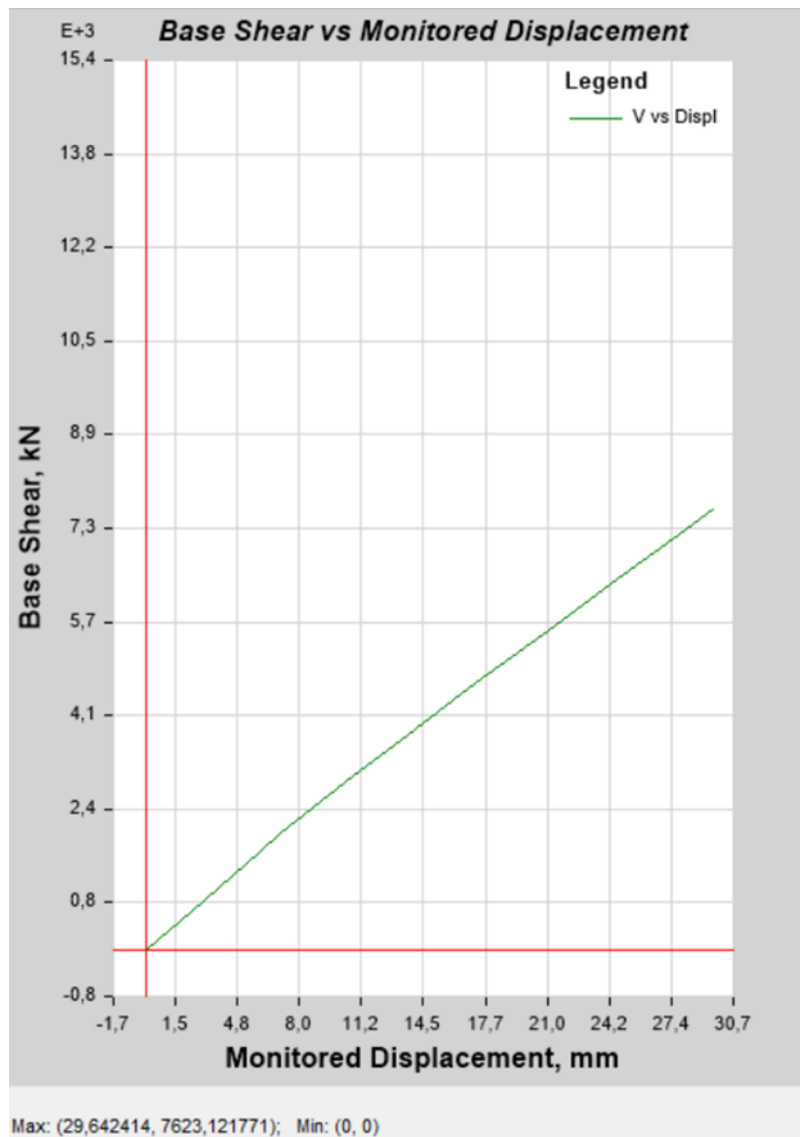
Σχήμα 4.20. Καμπύλη αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TA



Σχήμα 4.21. Καμπύλη αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TD

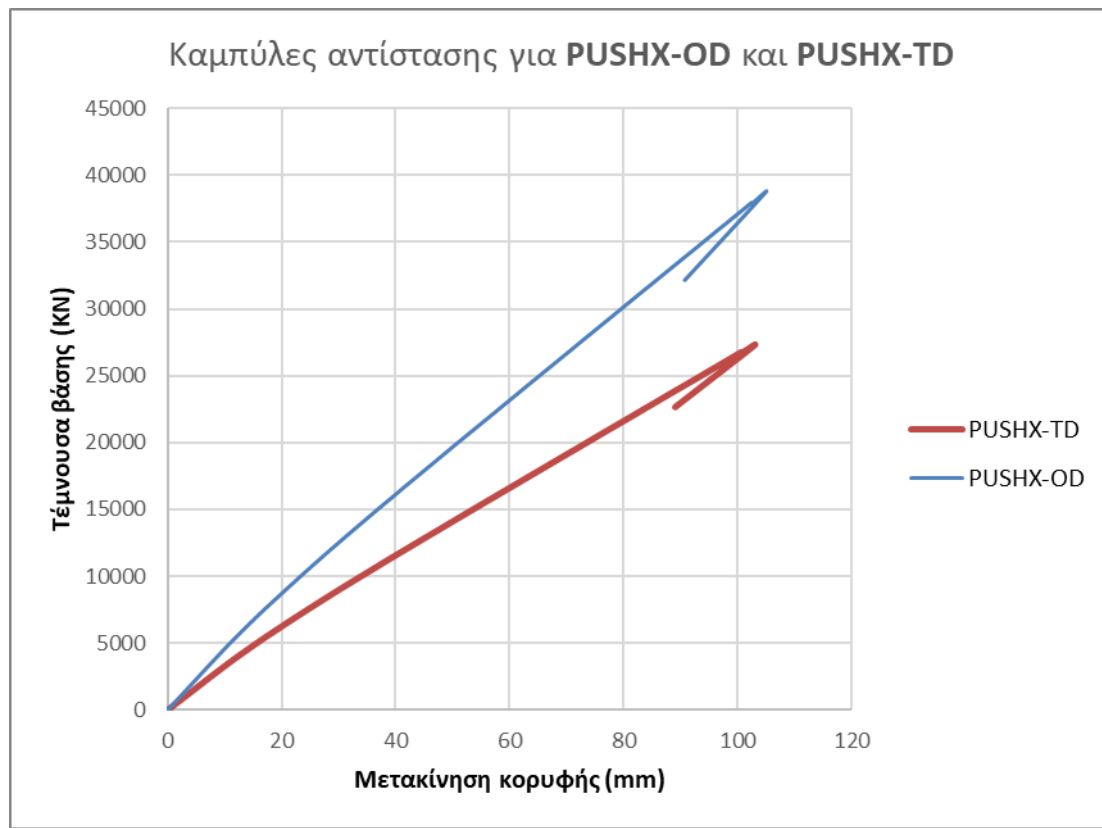


Σχήμα 4.22. Καμπύλη αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TP

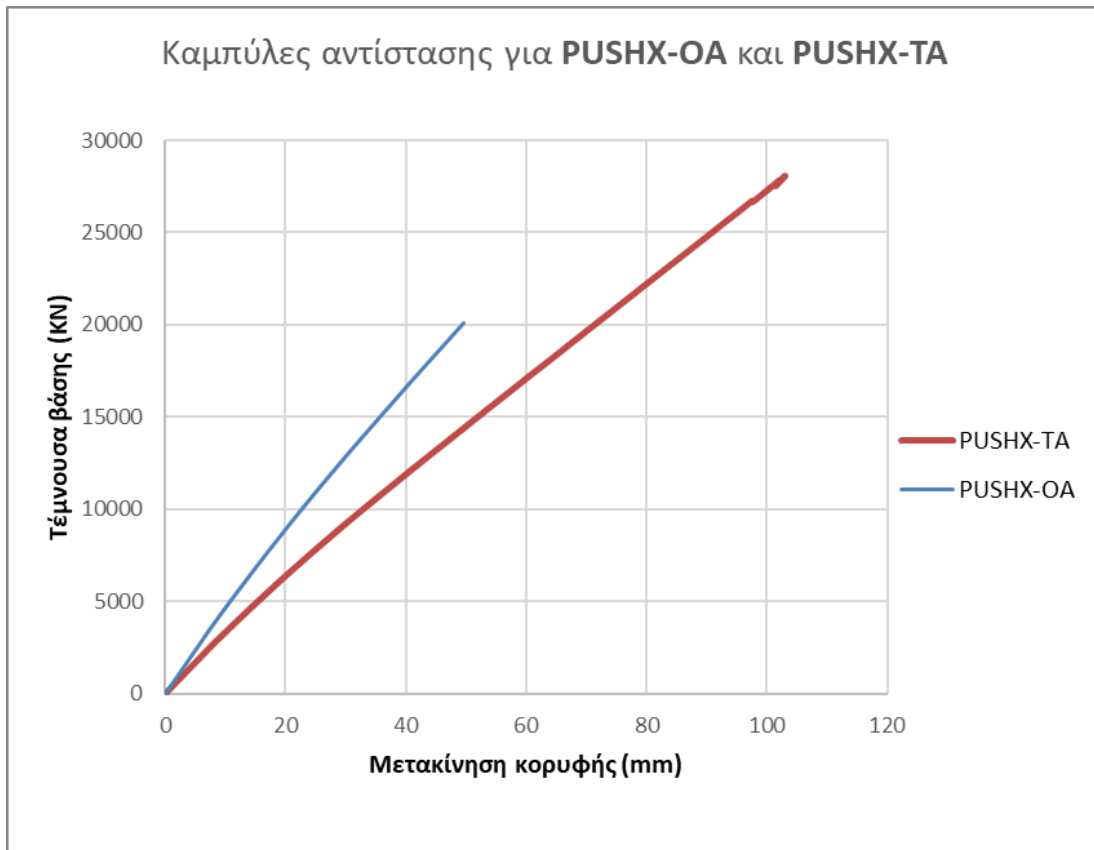


Σχήμα 4.23. Καμπύλη αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TK

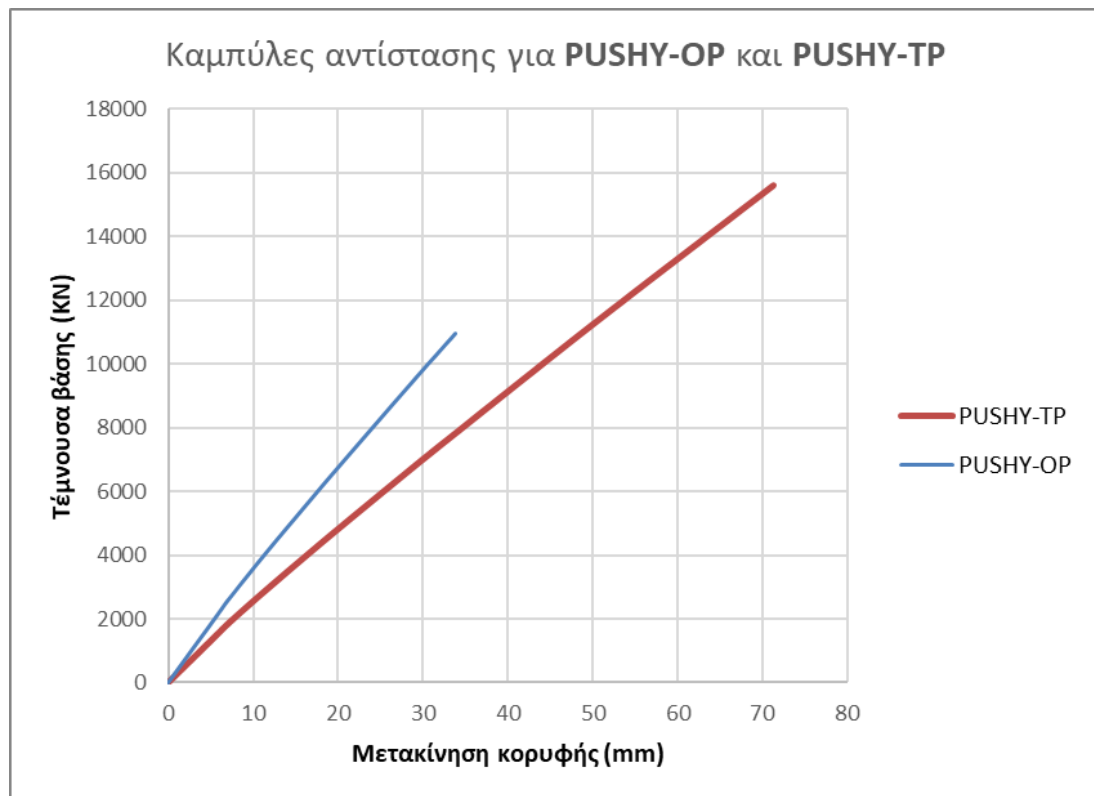
Καμπύλες αντίστασης για την ομοιόμορφη και τριγωνική στατική φόρτιση



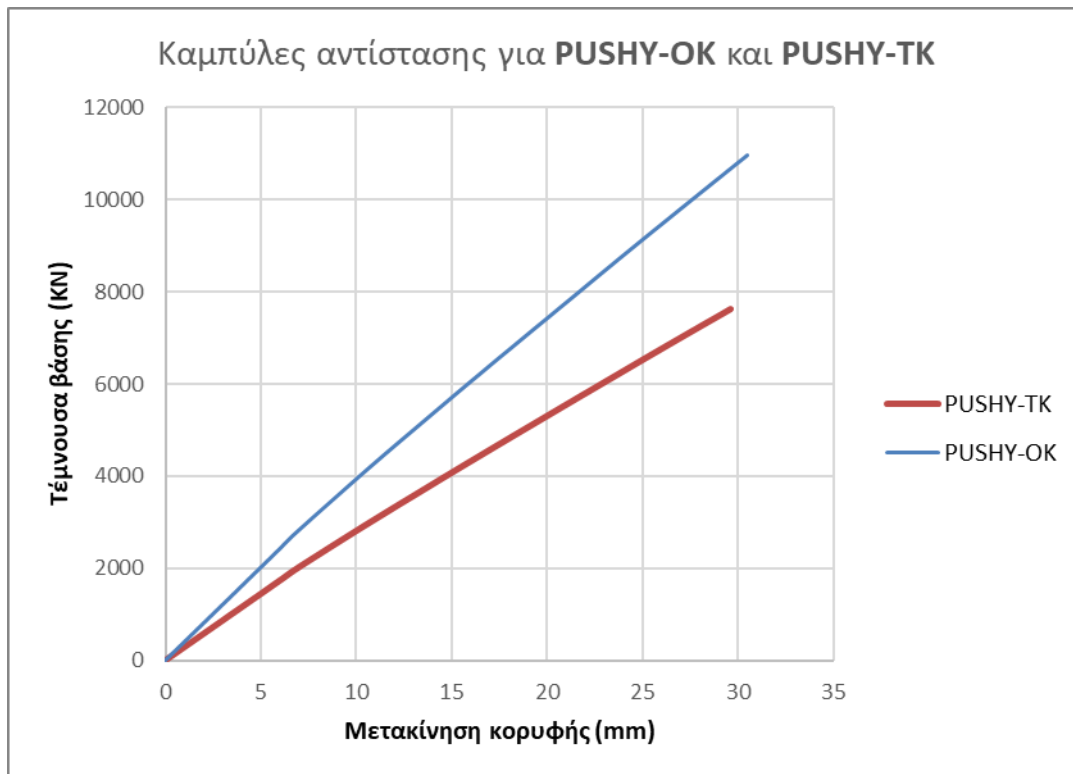
Σχήμα 4.24. Καμπύλες αντίστασης για PUSHX-OD και PUSHX-TD



Σχήμα 4.25. Καμπύλες αντίστασης για PUSHX-OA και PUSHX-TA



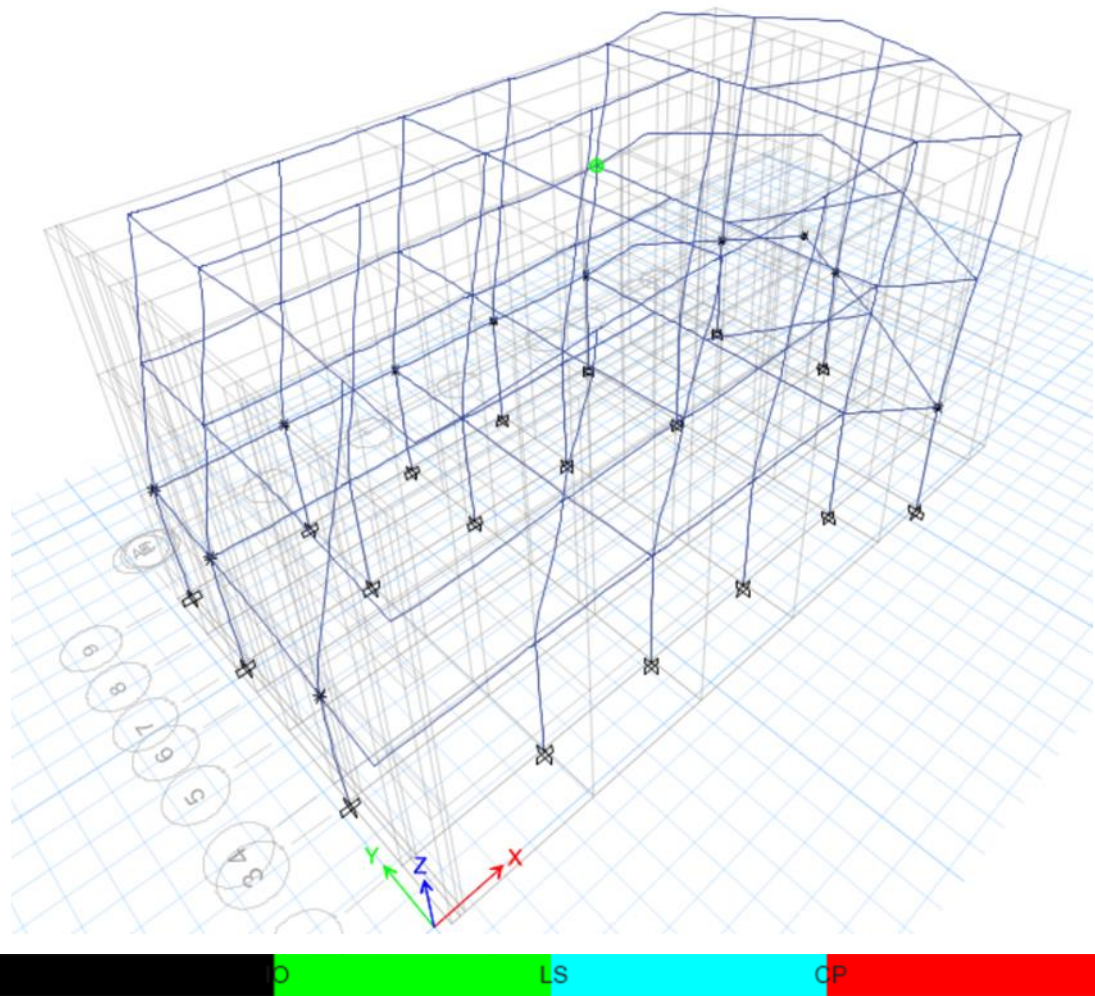
Σχήμα 4.26. Καμπύλες αντίστασης για PUSHY-OP και PUSHY-TP



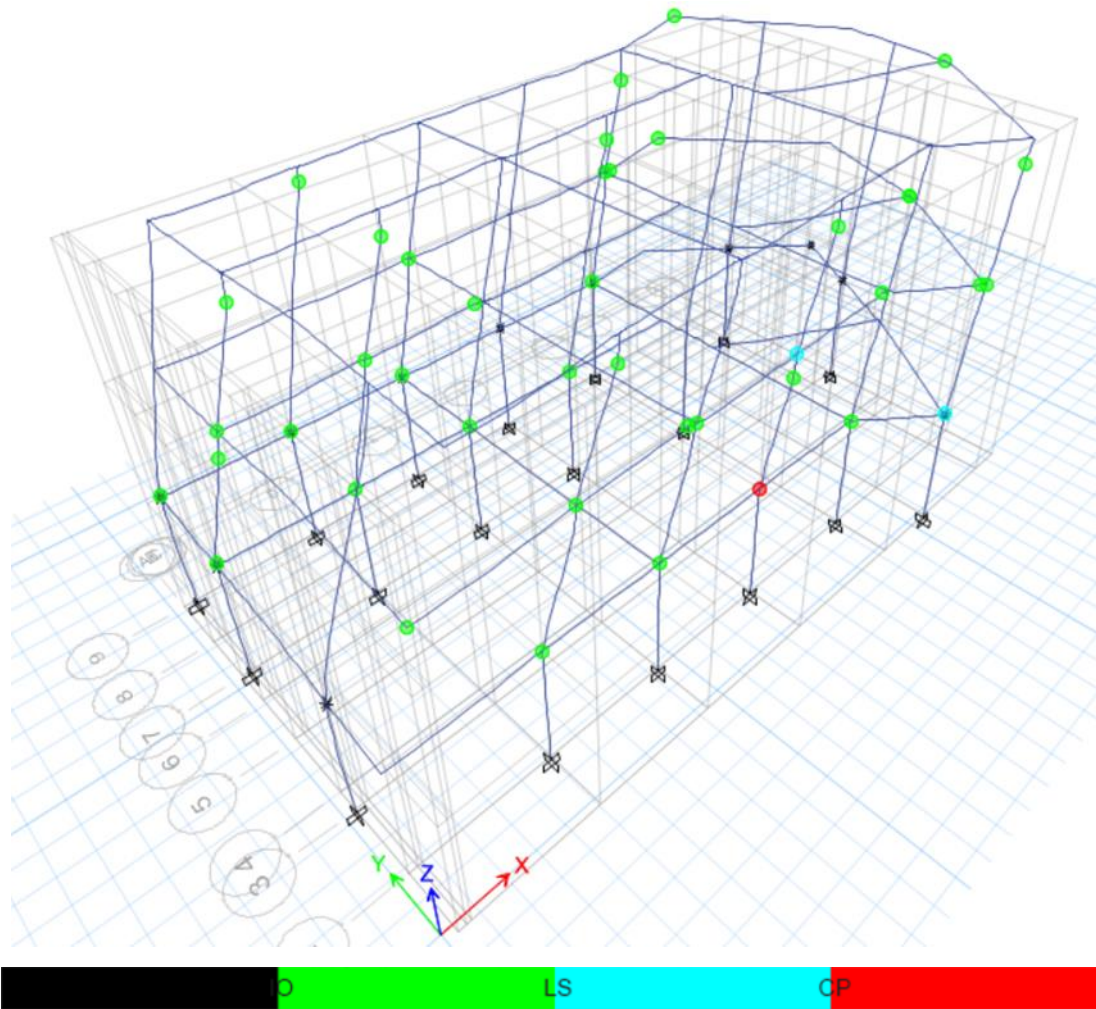
Σχήμα 4.27. Καμπύλες αντίστασης για PUSHY-OK και PUSHY-TK

Πλαστικός μηχανισμός

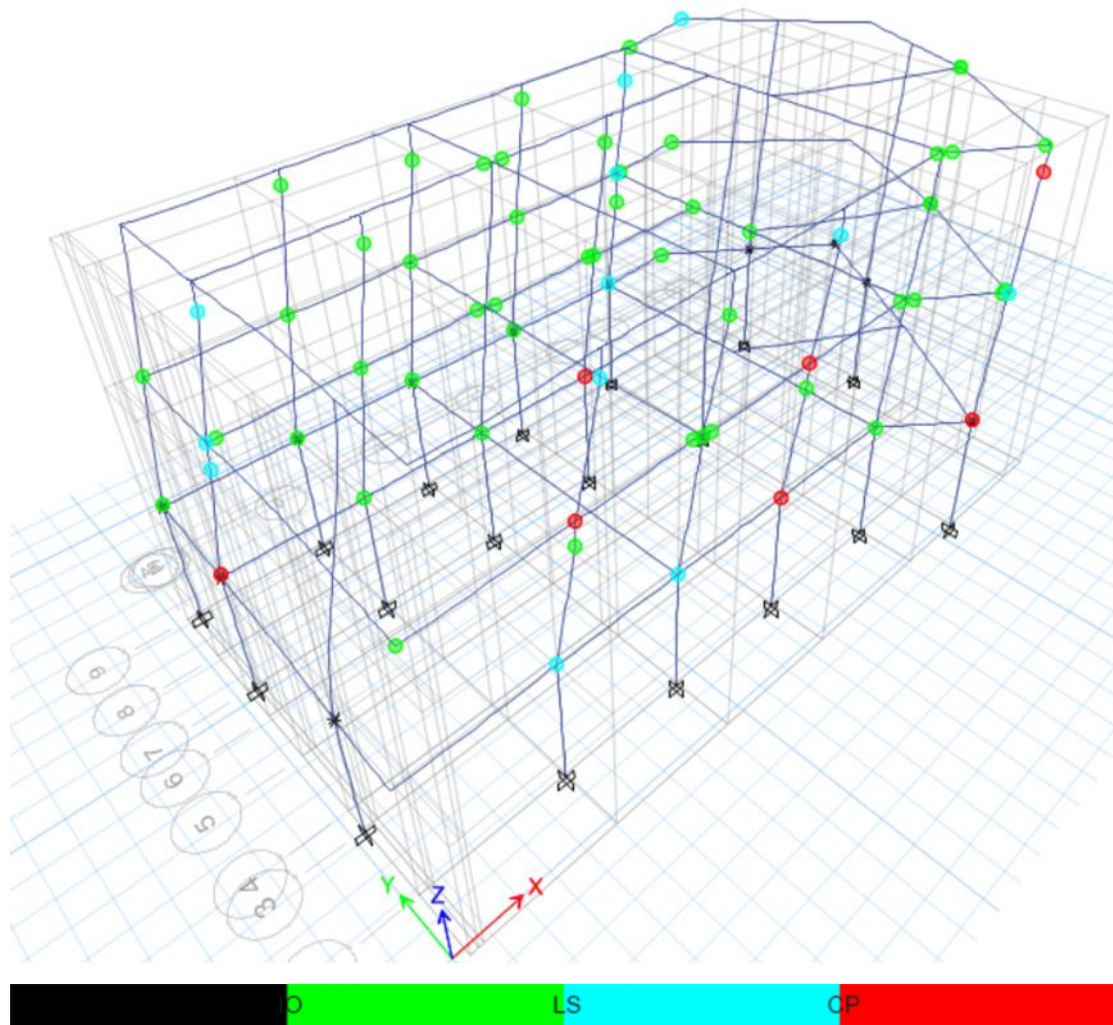
Από τις ανελαστικές στατικές αναλύσεις μπορεί να εκτιμηθεί η σειρά εμφάνισης των πλαστικών αρθρώσεων μέχρι την τελική αστοχία, εντοπίζοντας έτσι τα πιο αδύναμα σημεία της κατασκευής.



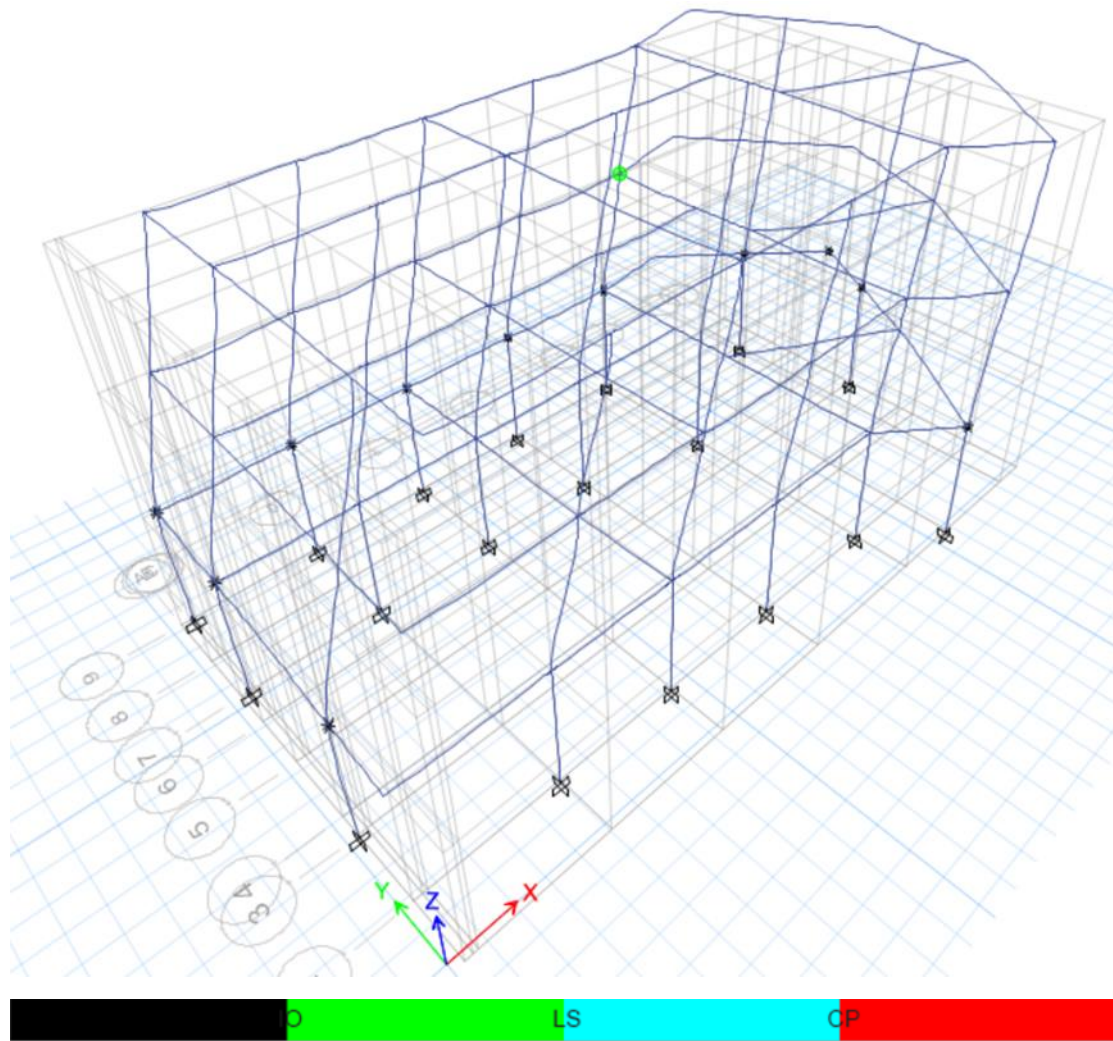
Σχήμα 4.28. Παραμορφωμένος φορέας στο βήμα εμφάνισης της πρώτης πλαστικής άρθρωσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OD



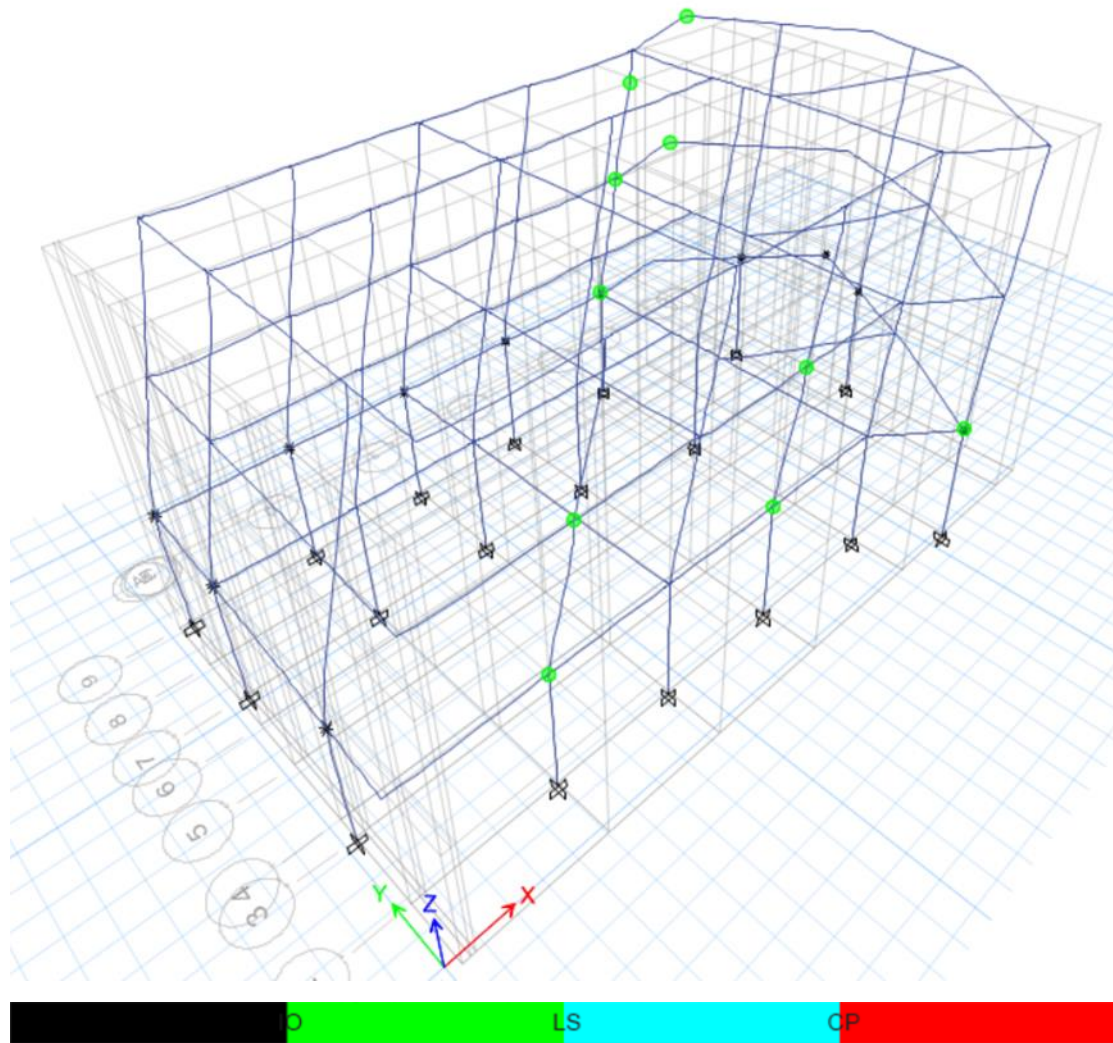
Σχήμα 4.29. Παραμορφωμένος φορέας στο βήμα εμφάνισης της πρώτης πτώσης αντοχής και αστοχίας για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OD



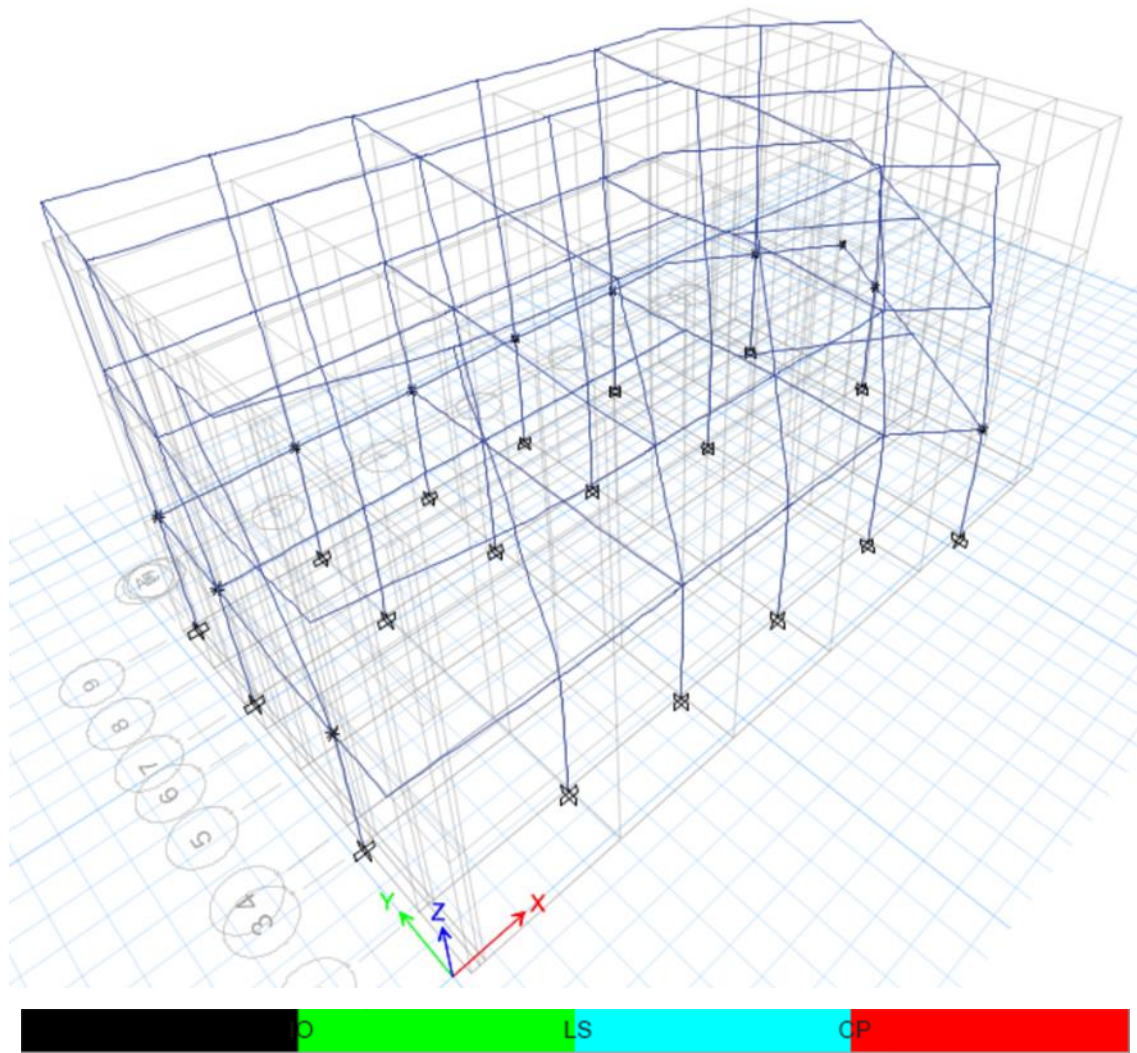
Σχήμα 4.30. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OD



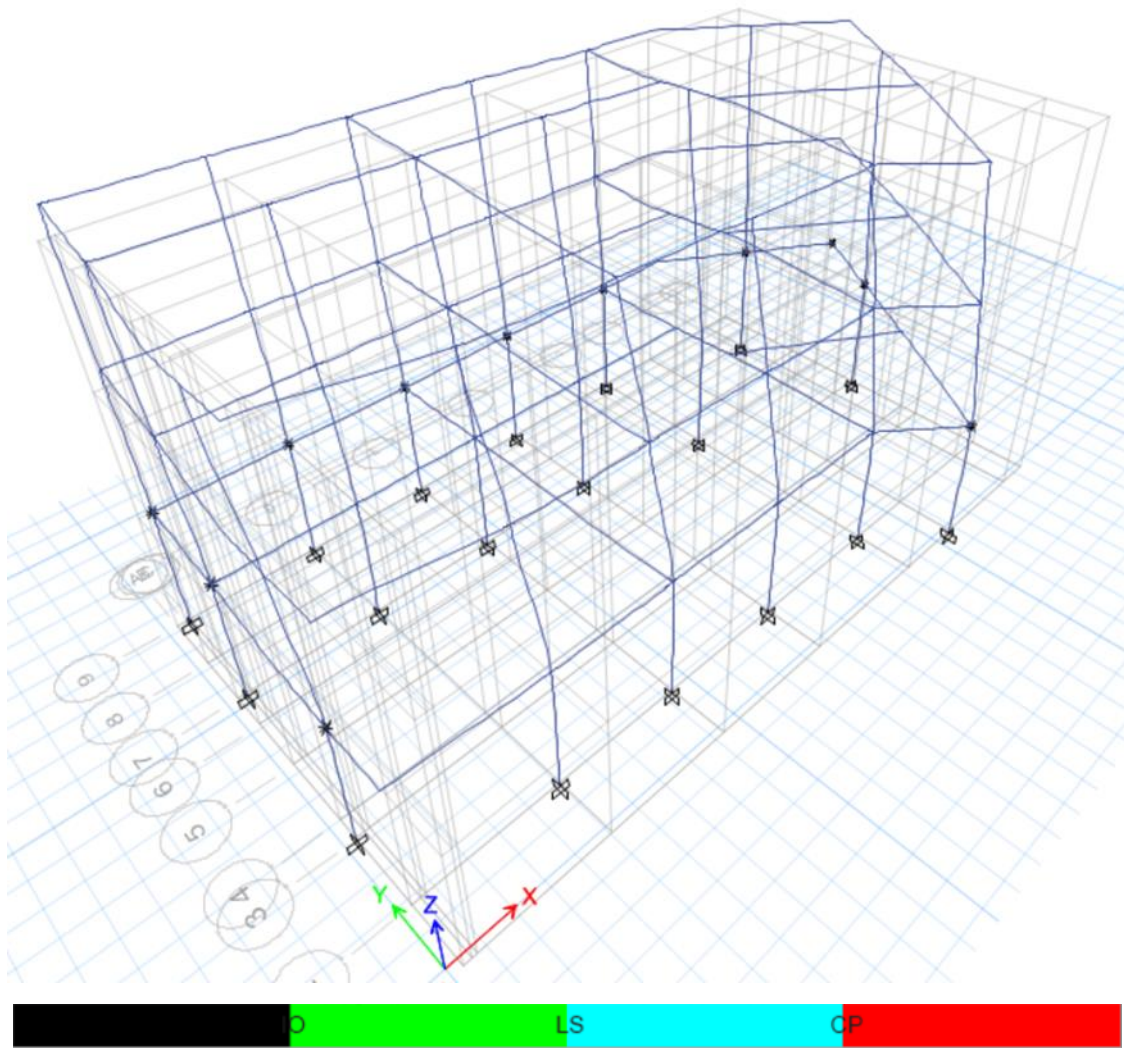
Σχήμα 4.31. Παραμορφωμένος φορέας στο βήμα εμφάνισης της πρώτης πλαστικής άρθρωσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OA



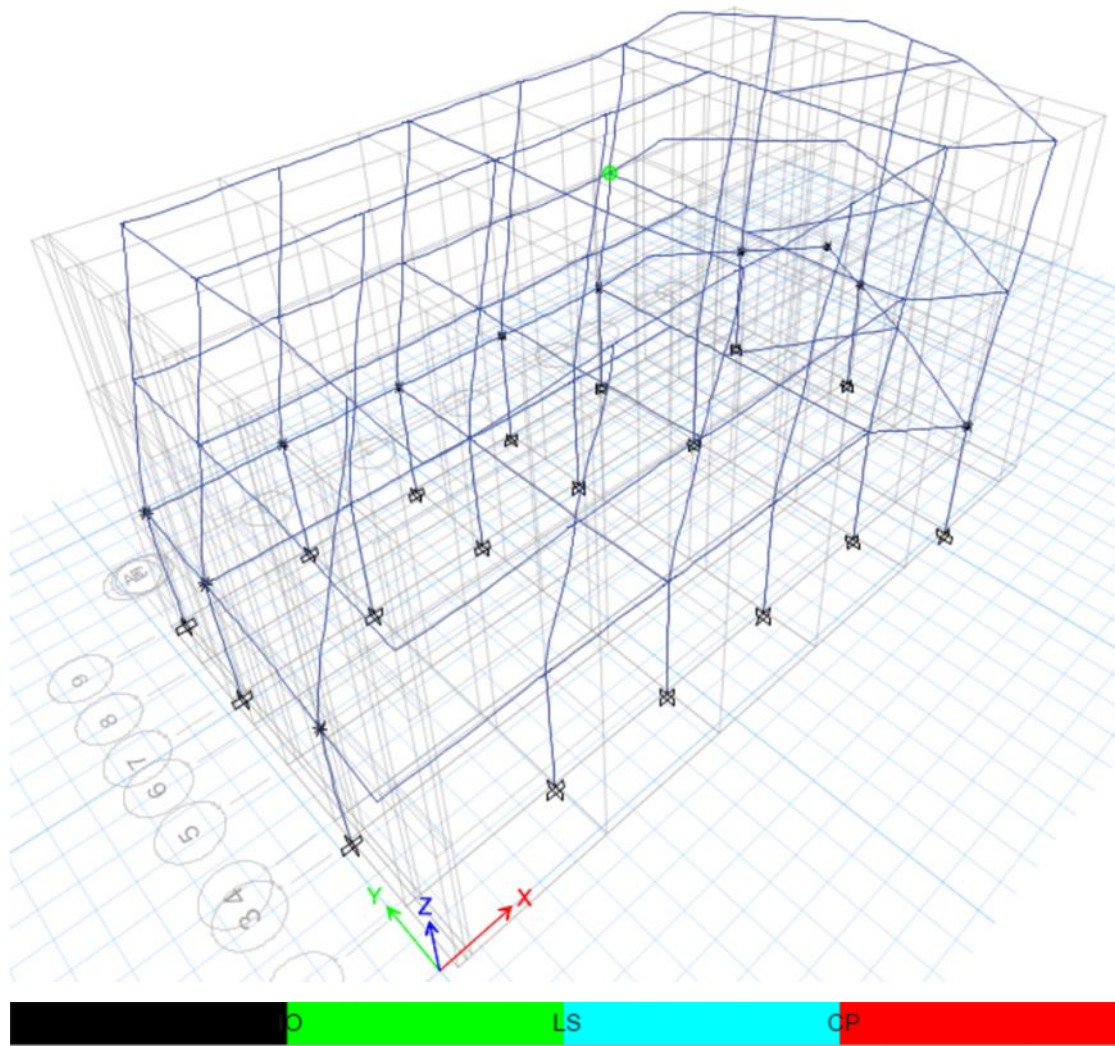
Σχήμα 4.32. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OA



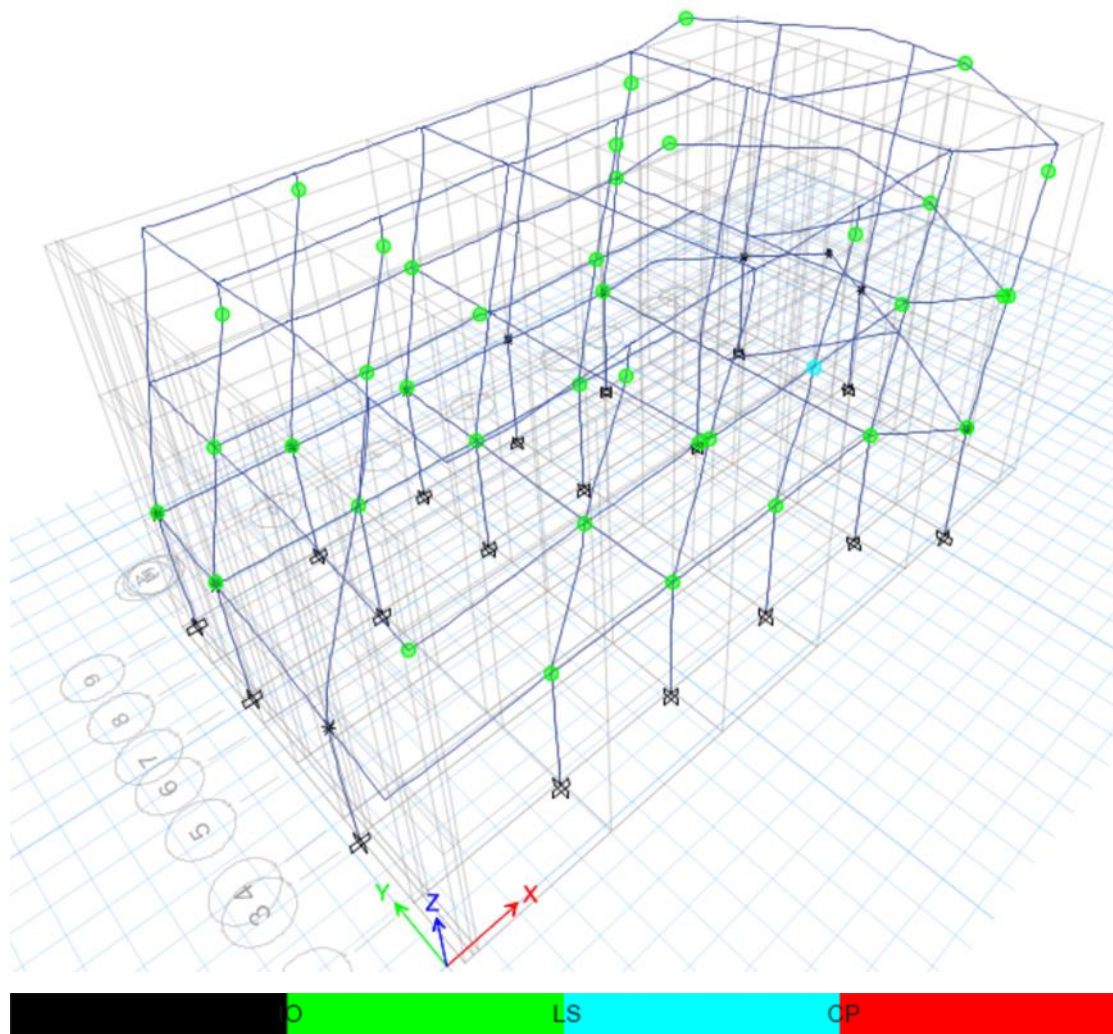
Σχήμα 4.33. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-OP



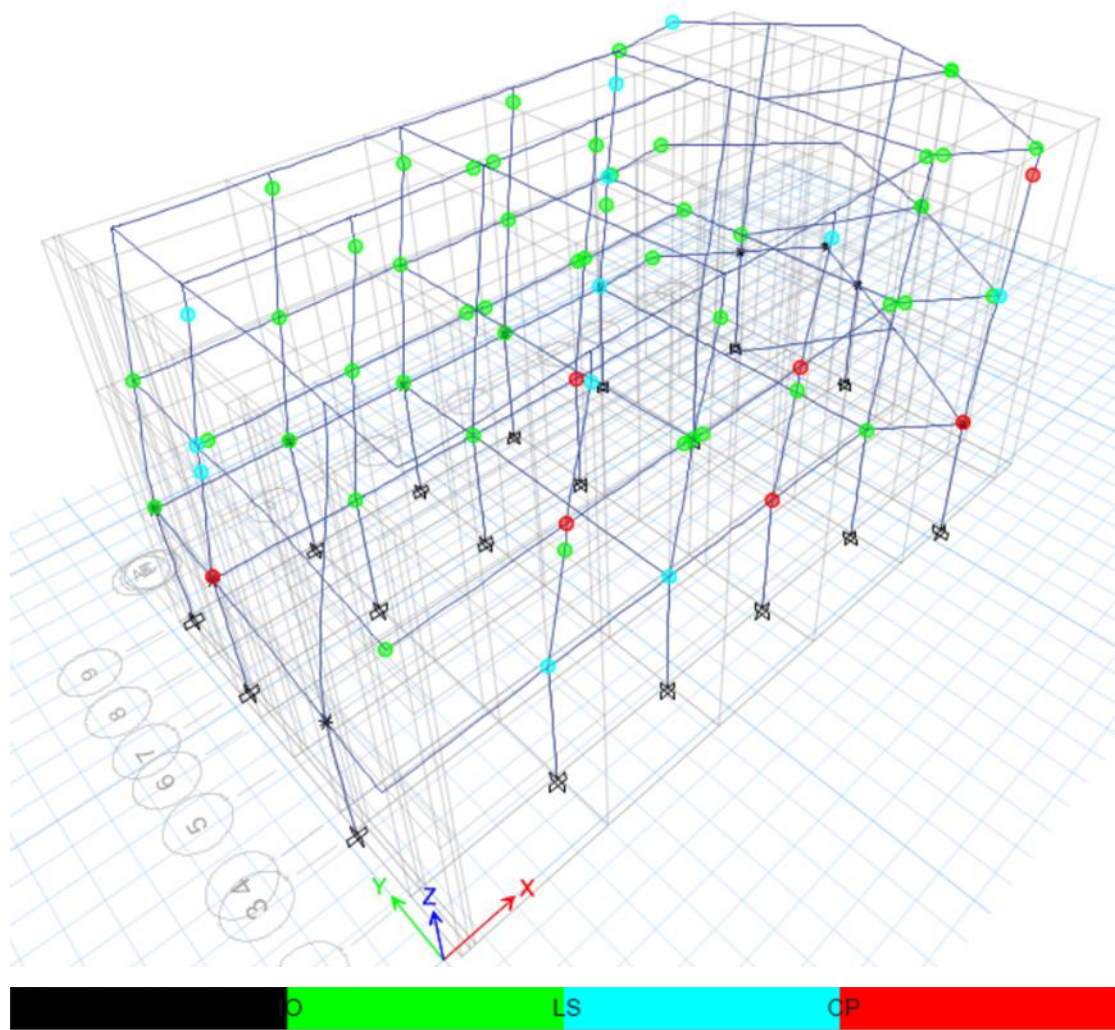
Σχήμα 4.34. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-OK



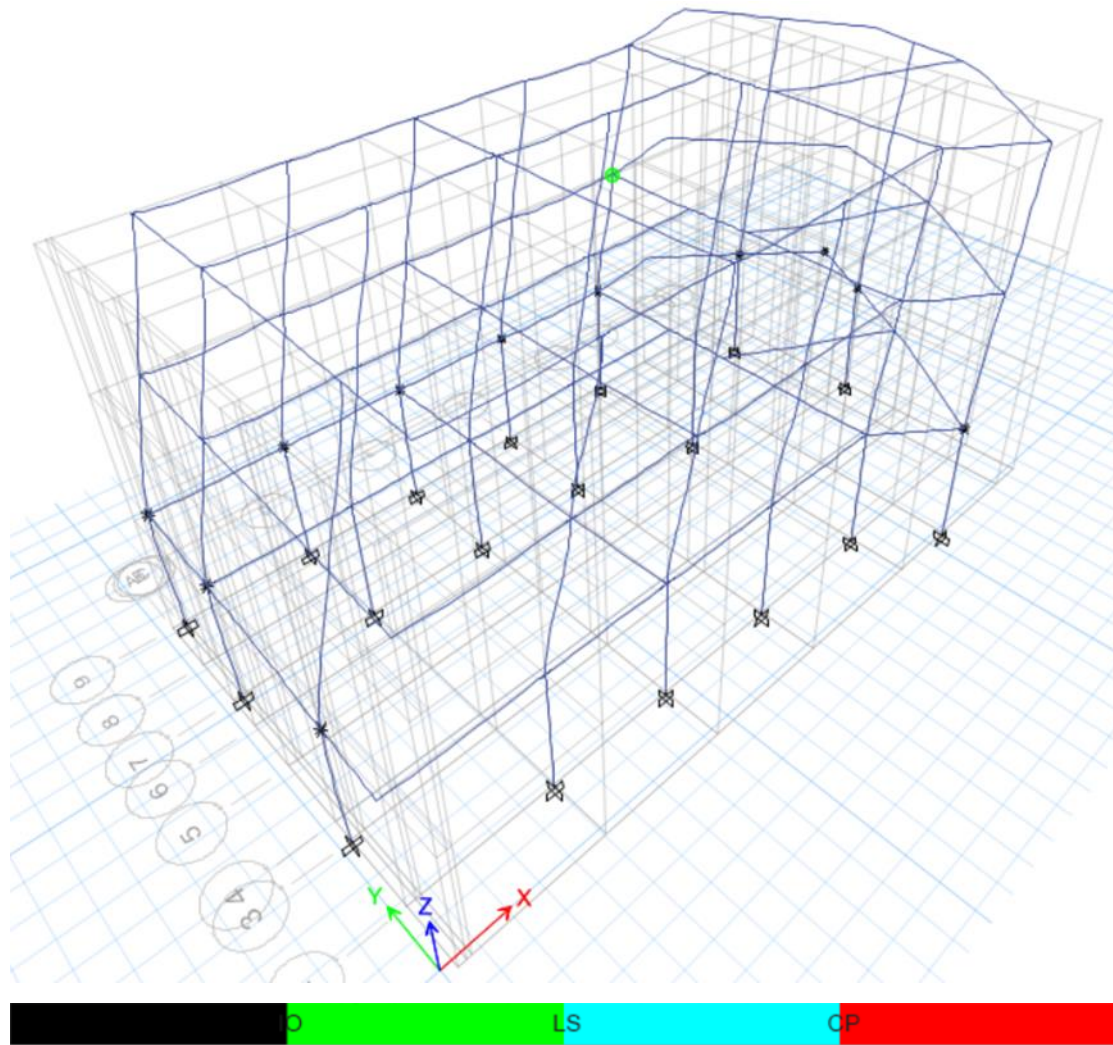
Σχήμα 4.35. Παραμορφωμένος φορέας στο βήμα εμφάνισης της πρώτης πλαστικής άρθρωσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TD



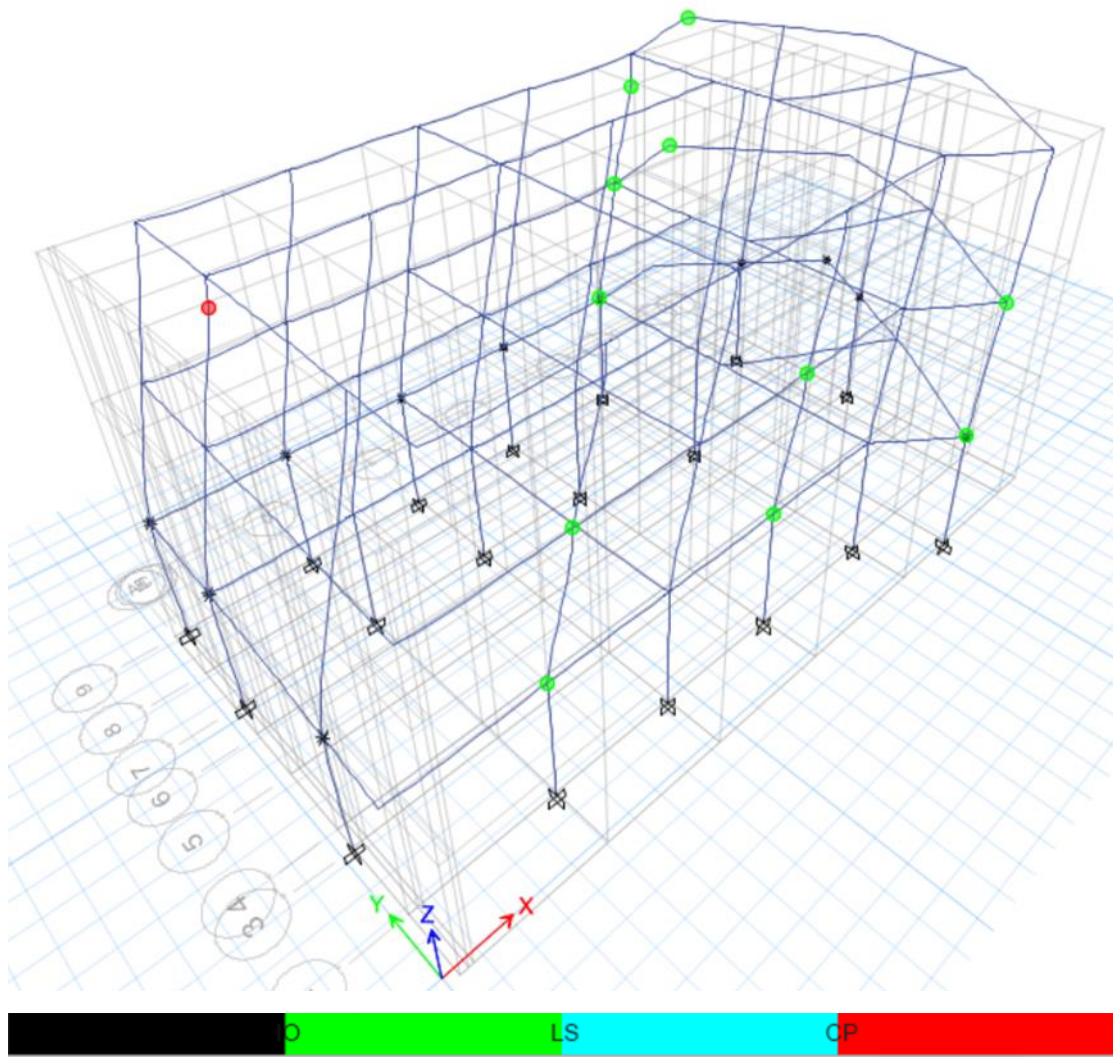
Σχήμα 4.36. Παραμορφωμένος φορέας στο βήμα εμφάνισης της πρώτης πτώσης αντοχής για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TD



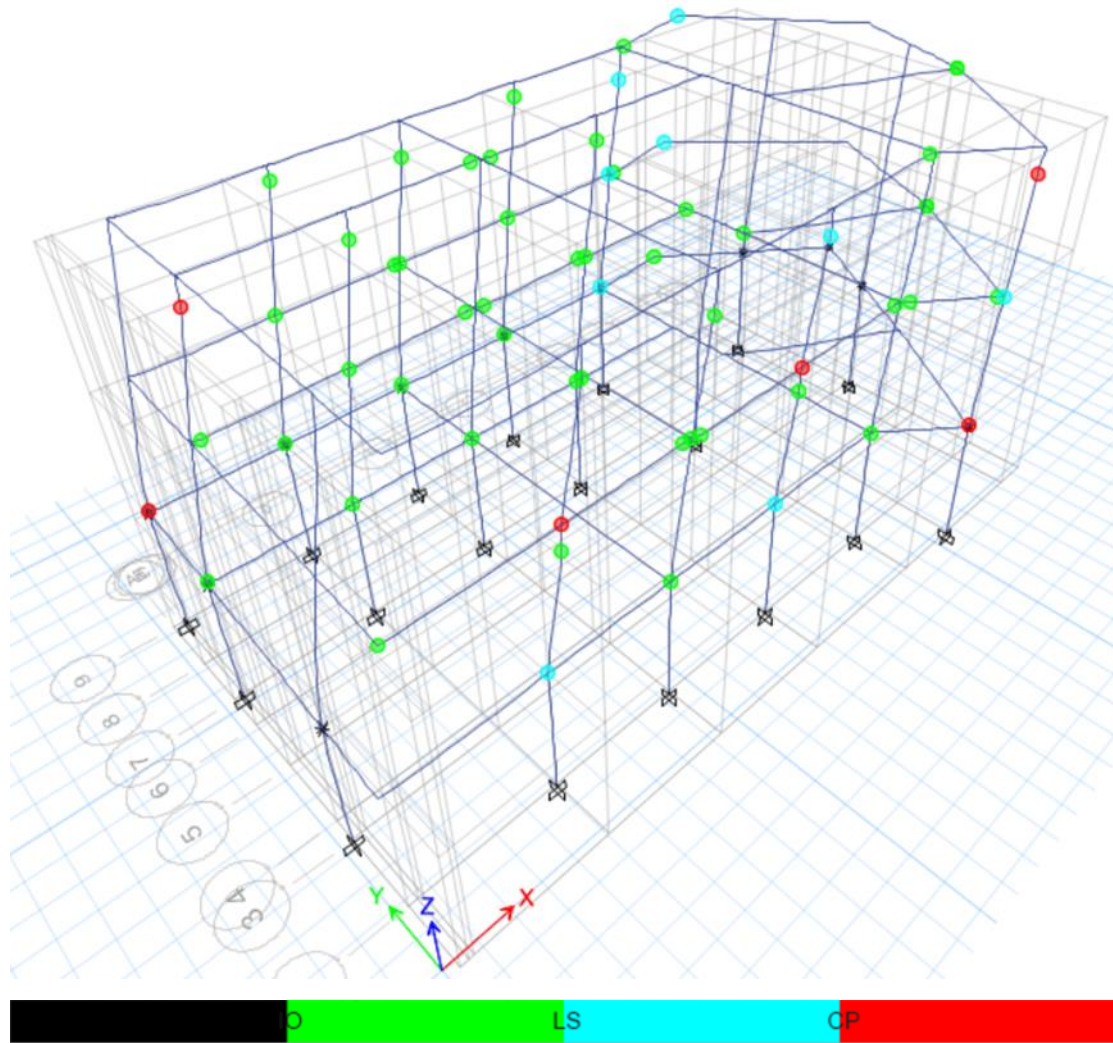
Σχήμα 4.37. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TD



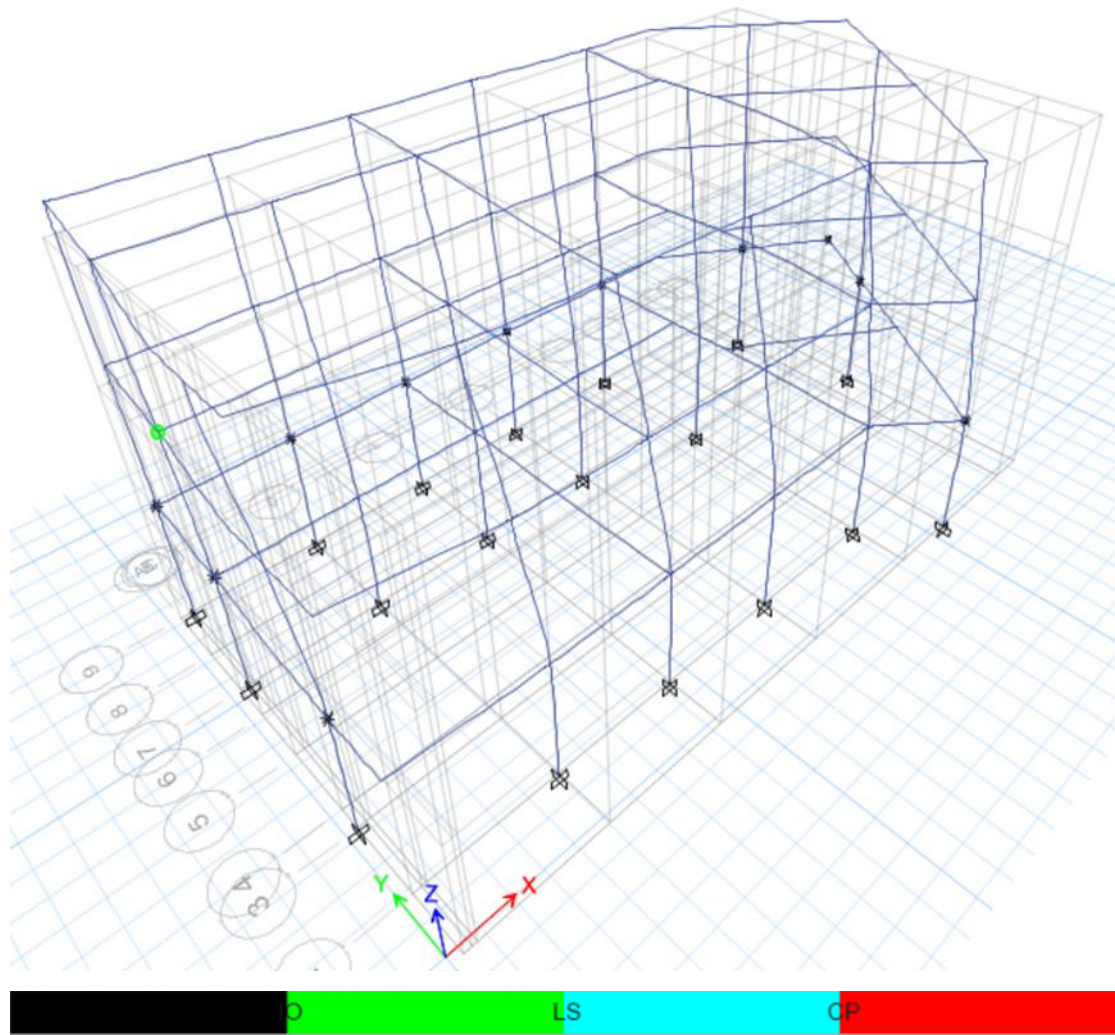
Σχήμα 4.38. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα εμφάνισης της πρώτης πλαστικής άρθρωσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TA



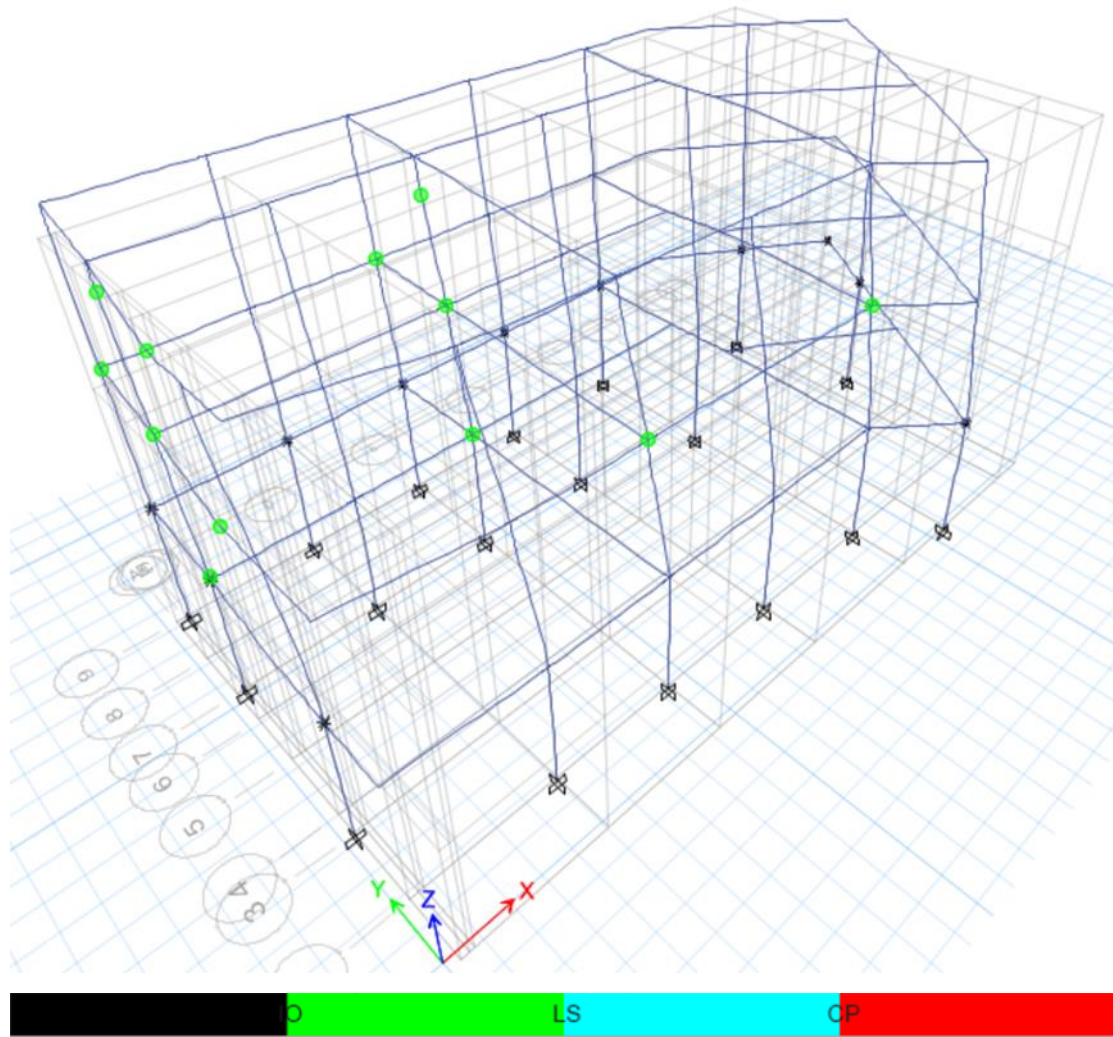
Σχήμα 4.39. Παραμορφωμένος φορέας στο βήμα εμφάνισης της πρώτης αστοχίας για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TA



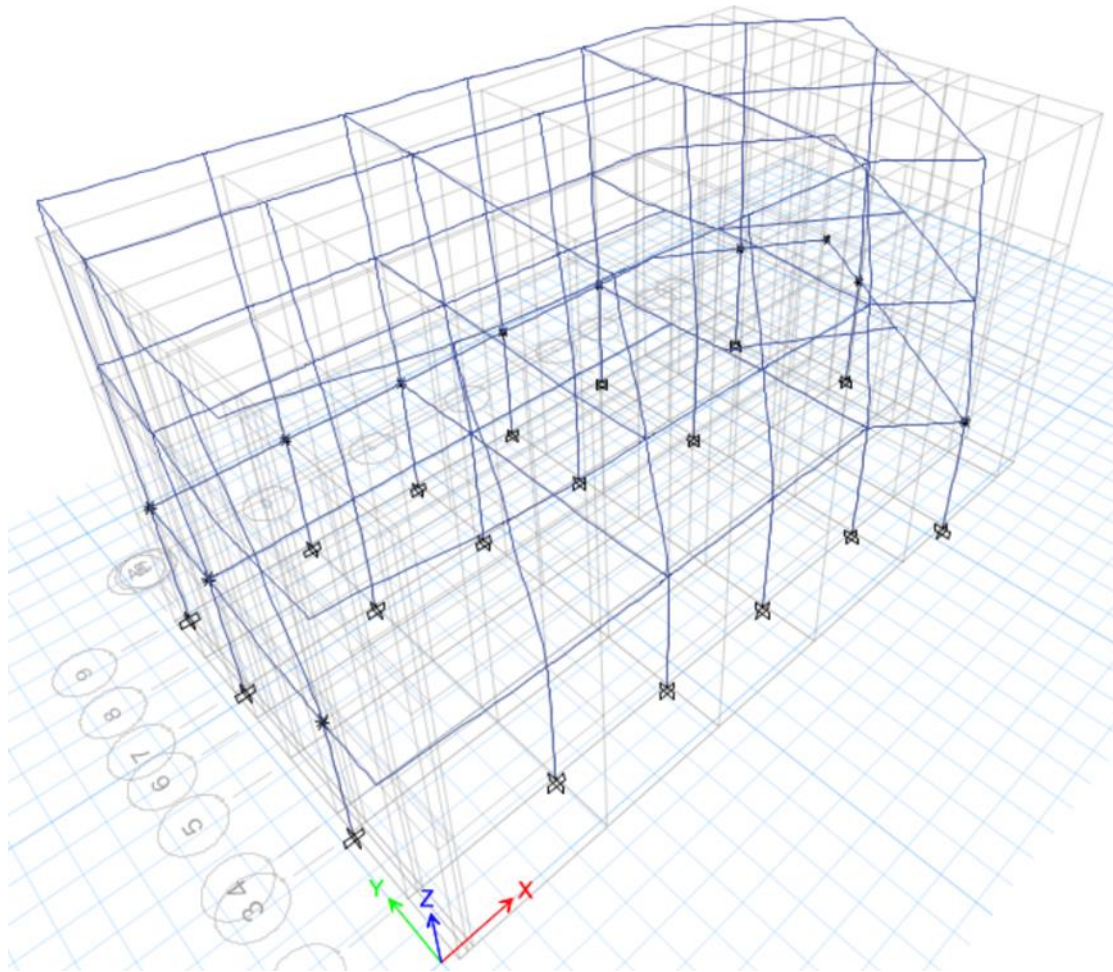
Σχήμα 4.40. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TA



Σχήμα 4.41. Παραμορφωμένος φορέας στο βήμα εμφάνισης της πρώτης πλαστικής άρθρωσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-TP



Σχήμα 4.42. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-TP



Σχήμα 4.43. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-TK

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

Ιδιομορφική ανάλυση

- Από τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης διαπιστώνουμε πως οι 5 πρώτες ιδιομορφές είναι σημαντικές καθώς στην 5η ιδιομορφή έχει ενεργοποιηθεί πάνω από το 92% της μάζας του φορέα.

Πίνακας 5.1. Αποτελέσματα ιδιοπεριόδου και μετακινήσεων φορέα

TABLE: Modal Participating Mass Ratios								
Case	Mode	Period	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
		sec						
Modal	1	0,343	0,0045	0,7504	0,1	0,0045	0,7504	0,1
Modal	2	0,264	0,8615	0,0065	0,0009	0,866	0,7569	0,1009
Modal	3	0,082	0,0027	0,1219	0,015	0,8687	0,8788	0,1159
Modal	4	0,068	0,1279	0,0001	0,0191	0,9966	0,879	0,1351
Modal	5	0,061	3,32E-05	0,1082	0,7837	0,9966	0,9871	0,9188
Modal	6	0,021	0,0001	0,0095	0,0727	0,9967	0,9967	0,9914

- Διαπιστώνουμε πως η 1η και 3η ιδιομορφή είναι μεταφορικές κατά την Y διεύθυνση με ποσοστό 87,5% και 86% αντίστοιχα, η 2η και 4η ιδιομορφή είναι μεταφορικές κατά την X διεύθυνση με ποσοστό 99,1% και 95,4% αντίστοιχα, ενώ η 5η και 6η ιδιομορφή είναι στρεπτικές με ποσοστό 85,9% και 88,2% αντίστοιχα.

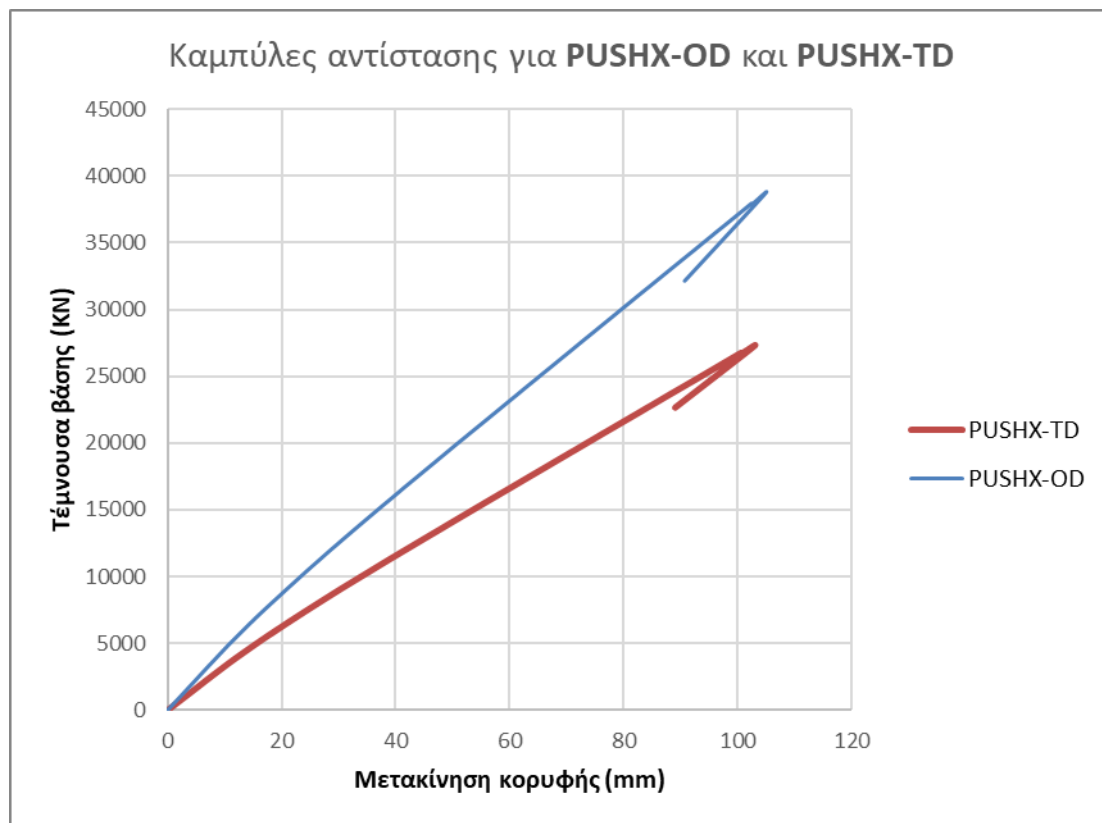
Πίνακας 5.2. Αποτελέσματα ιδιοπεριόδου και μετακινήσεων φορέα

TABLE: Modal Direction Factors					
Case	Mode	Period	UX	UY	RZ
		sec			
Modal	1	0,343	0,005	0,875	0,12
Modal	2	0,264	0,991	0,008	0,001
Modal	3	0,082	0,023	0,86	0,117
Modal	4	0,068	0,954	0,026	0,02
Modal	5	0,061	0,025	0,116	0,859
Modal	6	0,021	0,002	0,116	0,882

Καμπύλες αντίστασης και πλαστικές αρθρώσεις

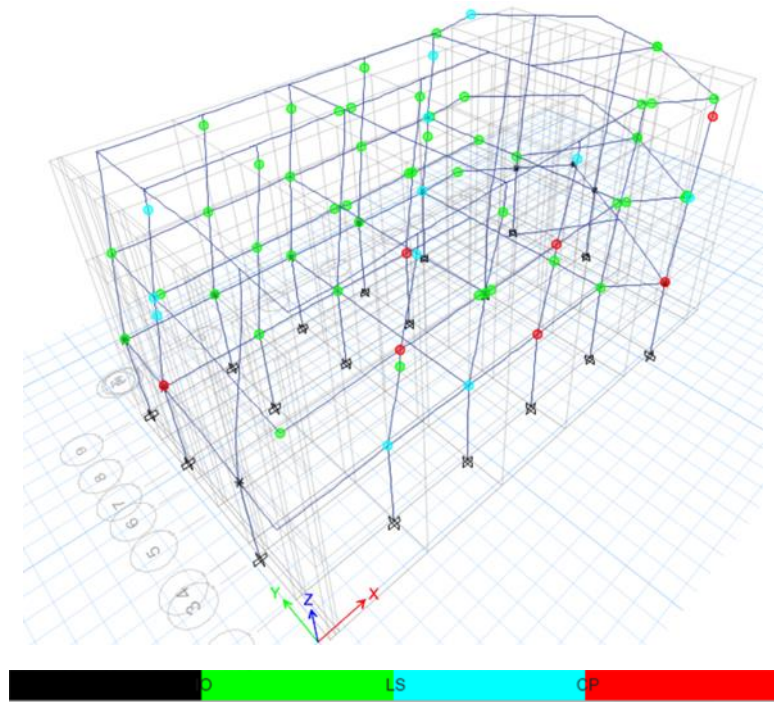
Η σύγκριση των καμπυλών αντίστασης για την ομοιόμορφη και τριγωνική ανελαστική στατική φόρτιση του φορέα μας δίνει σημαντικές πληροφορίες για κάθε διεύθυνση και φόρτιση.

- Για τη δεξιά πλευρά φόρτισης και για τις φορτίσεις PUSHX-OD και PUSHX-TD παρατηρούμε πως για την τριγωνική κατανομή ο φορέας παρουσιάζει σχεδόν την ίδια μετακίνηση με μικρότερη τέμνουσα βάσης σε σχέση με την ομοιόμορφη κατανομή. Συγκεκριμένα η τριγωνική κατανομή παρουσιάζει μετακίνηση κορυφής 102,98 mm με τέμνουσα βάσης 27.290 KN ενώ η ομοιόμορφη κατανομή παρουσιάζει μετακίνηση κορυφής 104,88 mm με τέμνουσα βάσης 38.756 KN.

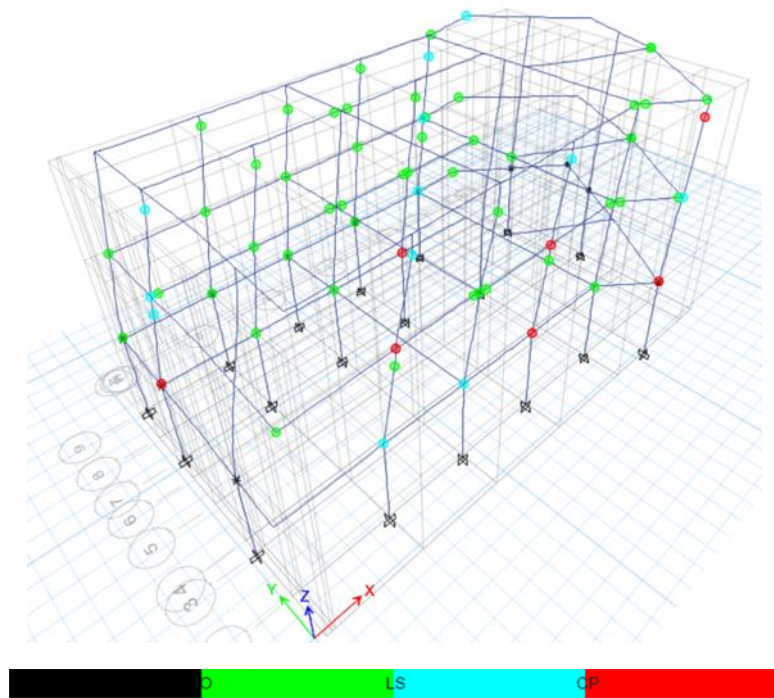


Σχήμα 5.1. Καμπύλες αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OD και PUSHX-TD

Ο φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης παρουσιάζει και για τις δύο κατανομές φόρτισης τους ίδιους μηχανισμούς πλαστικών αρθρώσεων.

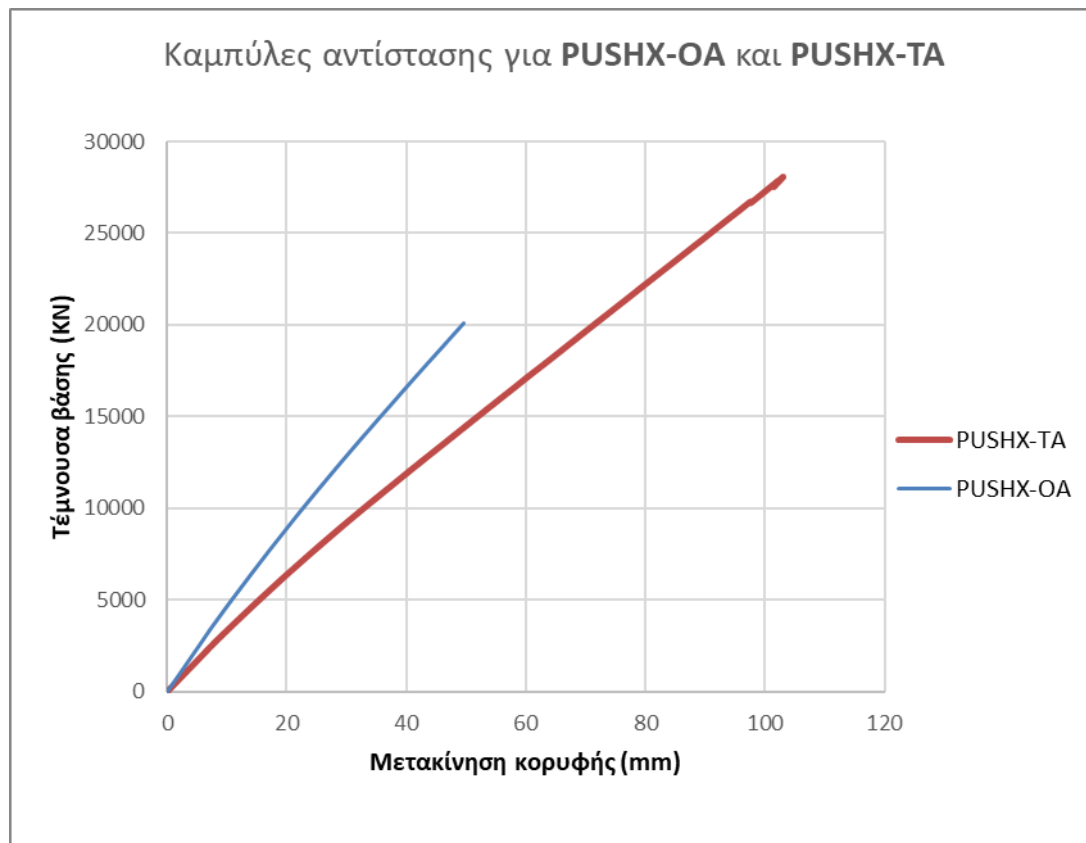


Σχήμα 5.2. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OD

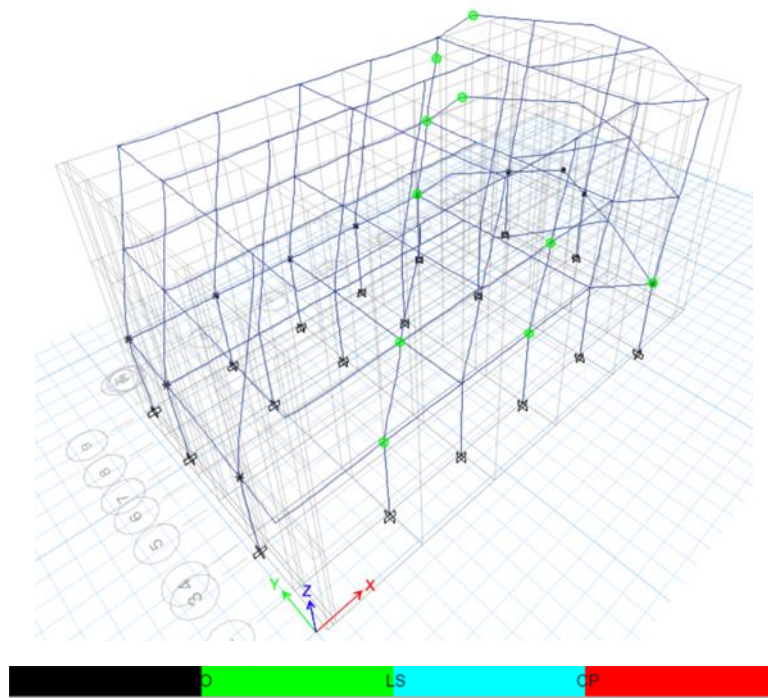


Σχήμα 5.3. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TD

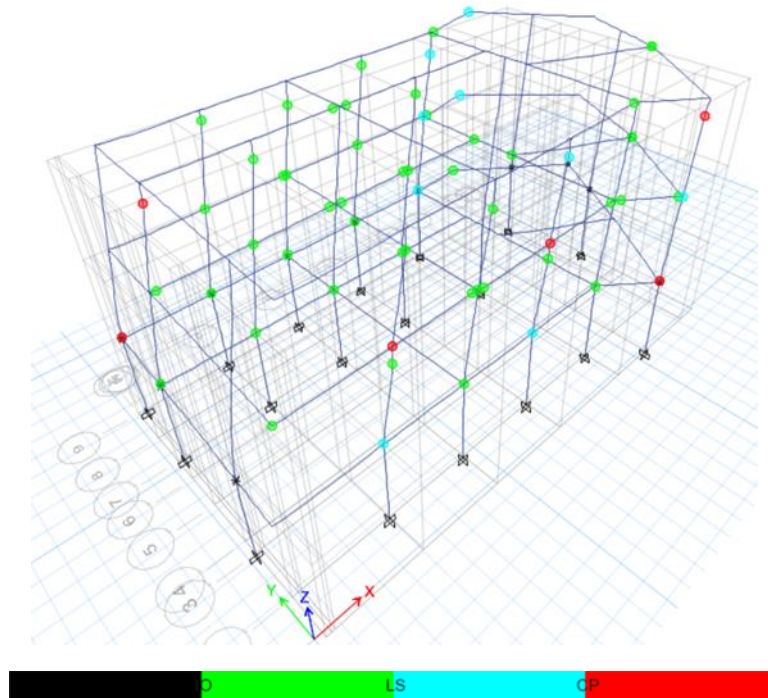
- Για την αριστερή πλευρά φόρτισης παρατηρούμε ότι η τριγωνική κατανομή δημιουργεί μεγαλύτερη τέμνουσα βάση και μετακίνηση κορυφής σε σχέση με την ομοιόμορφη φόρτιση όπου είναι αρκετά πιθανή η αριθμητική αστοχία.



Σχήμα 5.4. Καμπύλες αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OA και PUSHX-TA

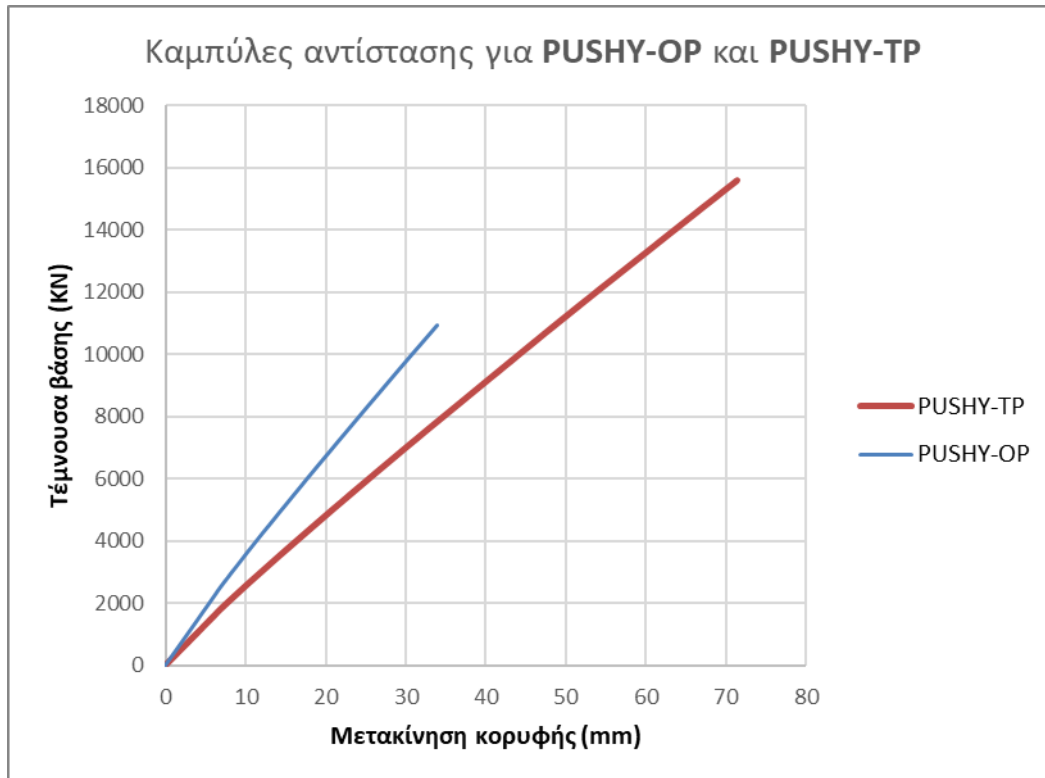


Σχήμα 5.5. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-OA

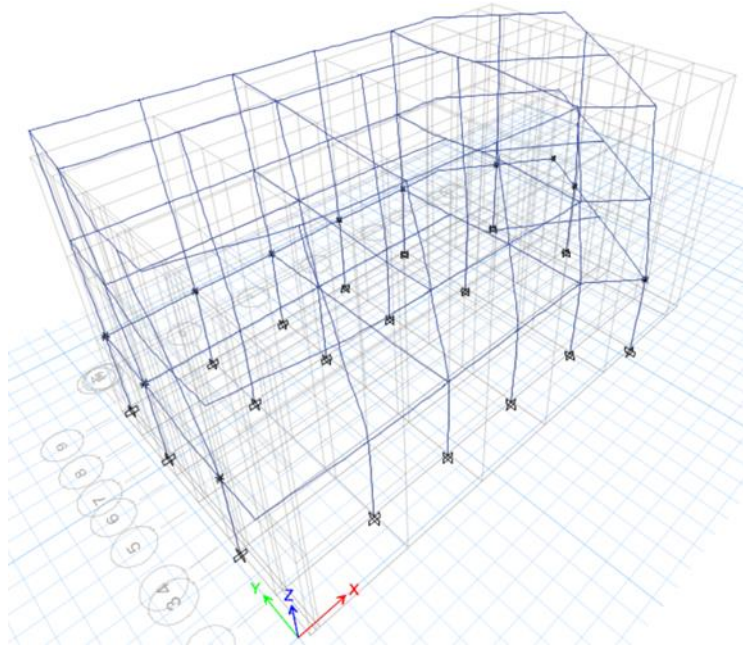


Σχήμα 5.6. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHX-TA

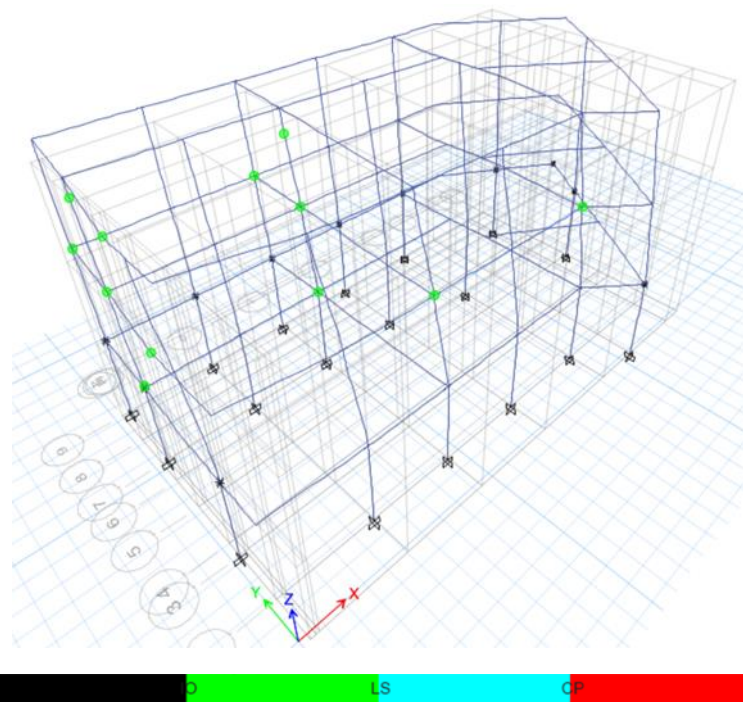
- Για την πάνω πλευρά φόρτισης παρατηρούμε ότι η τριγωνική κατανομή δημιουργεί μεγαλύτερη τέμνουσα βάση και μετακίνηση κορυφής και οδηγεί στην εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων σε σχέση με την ομοιόμορφη κατανομή όπου δεν υπάρχει εμφάνιση πλαστικού μηχανισμού και είναι πιθανή η αριθμητική αστοχία κατά την ανάλυση.



Σχήμα 5.7. Καμπύλες αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-OP και PUSHY-TP

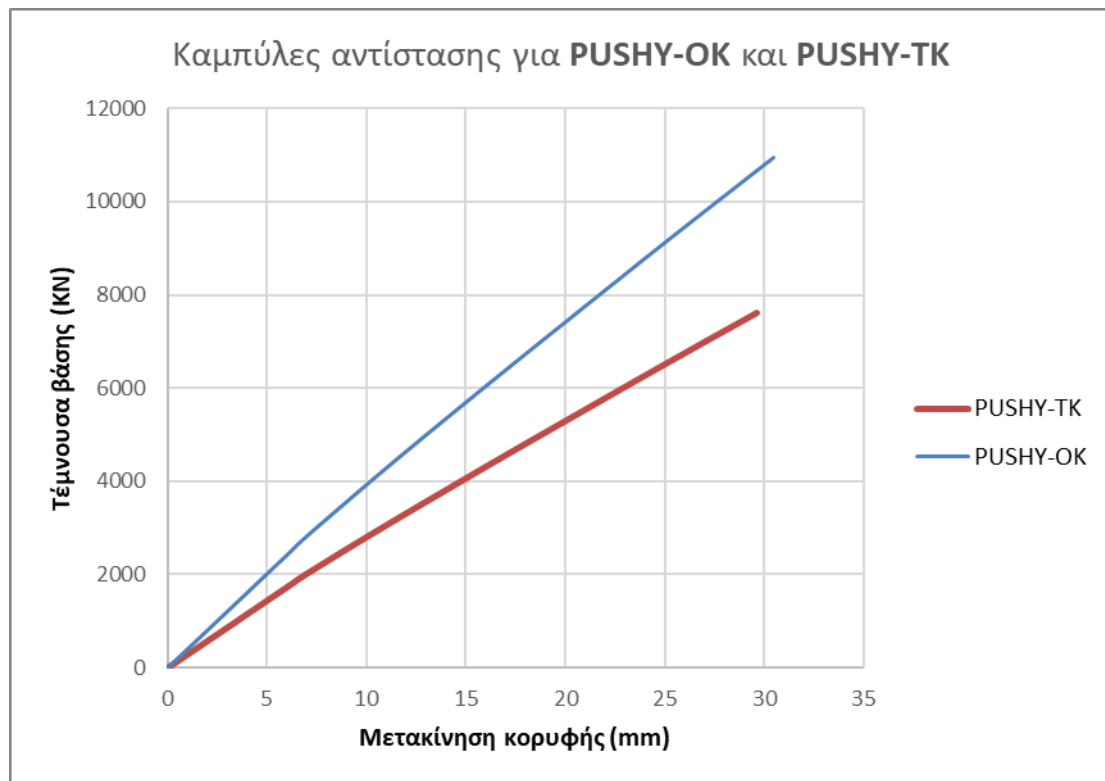


Σχήμα 5.8. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-OP

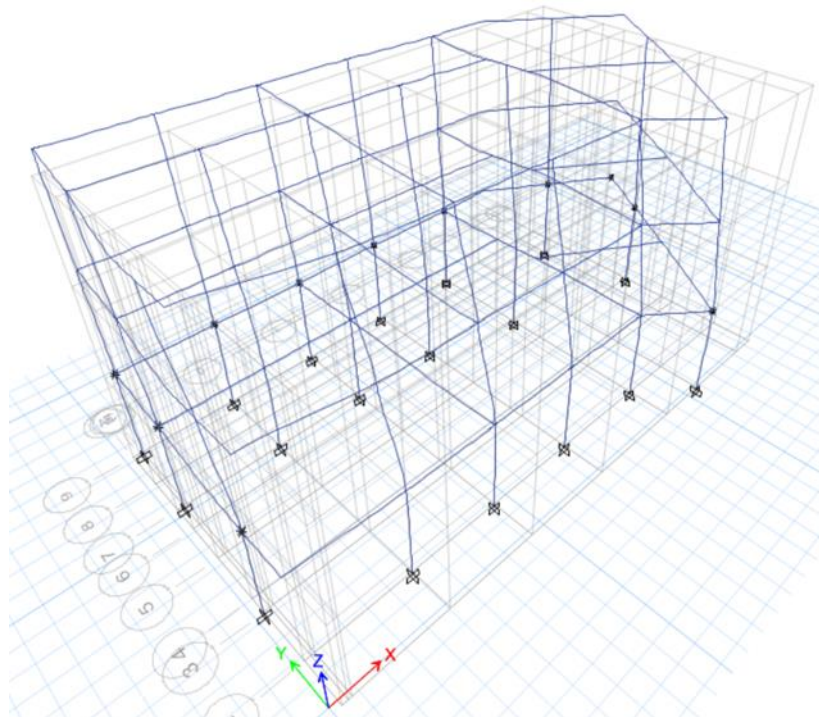


Σχήμα 5.9. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-TP

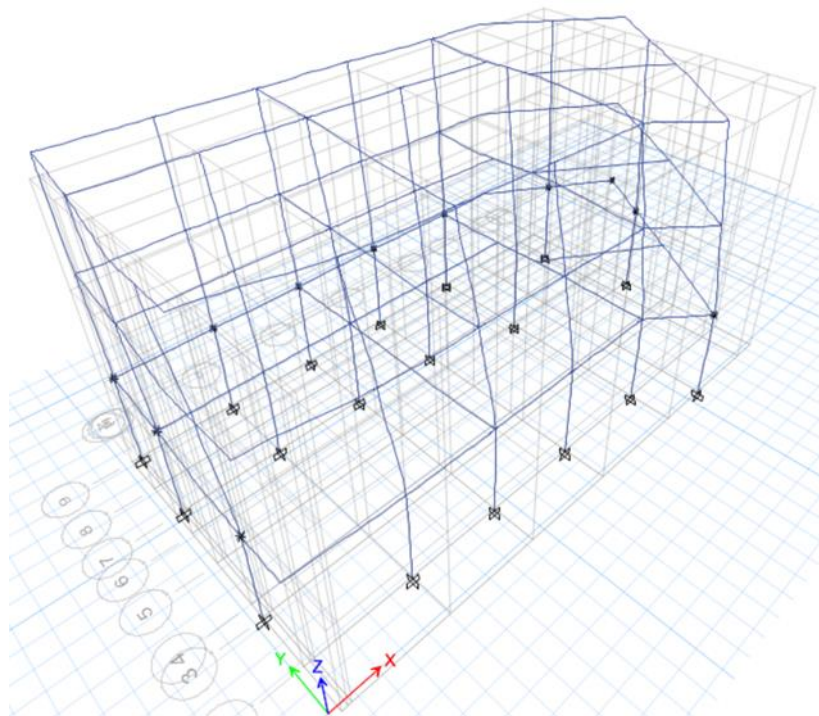
- Για την κάτω πλευρά φόρτισης παρατηρούμε ότι η ομοιόμορφη κατανομή δημιουργεί μεγαλύτερη τέμνουσα βάση και μετακίνηση κορυφής. Παρ' όλα αυτά καμιά κατανομή δεν οδηγεί στην εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων.



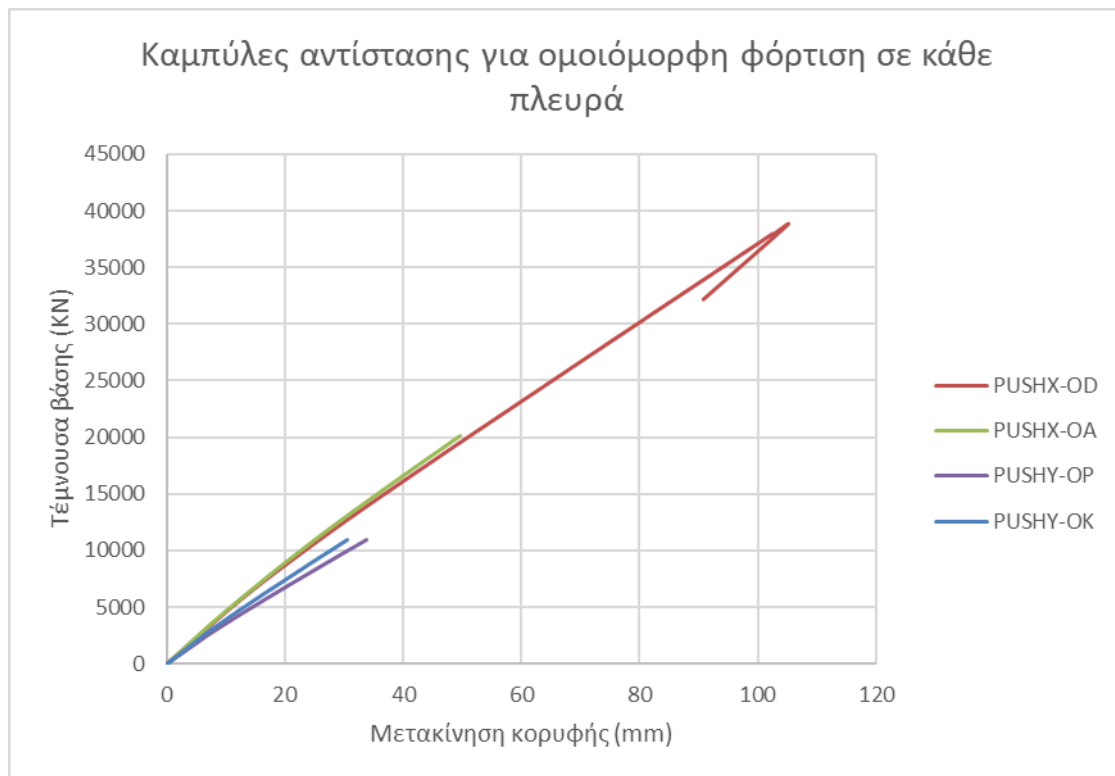
Σχήμα 5.10. Καμπύλες αντίστασης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-OK και PUSHY-TK



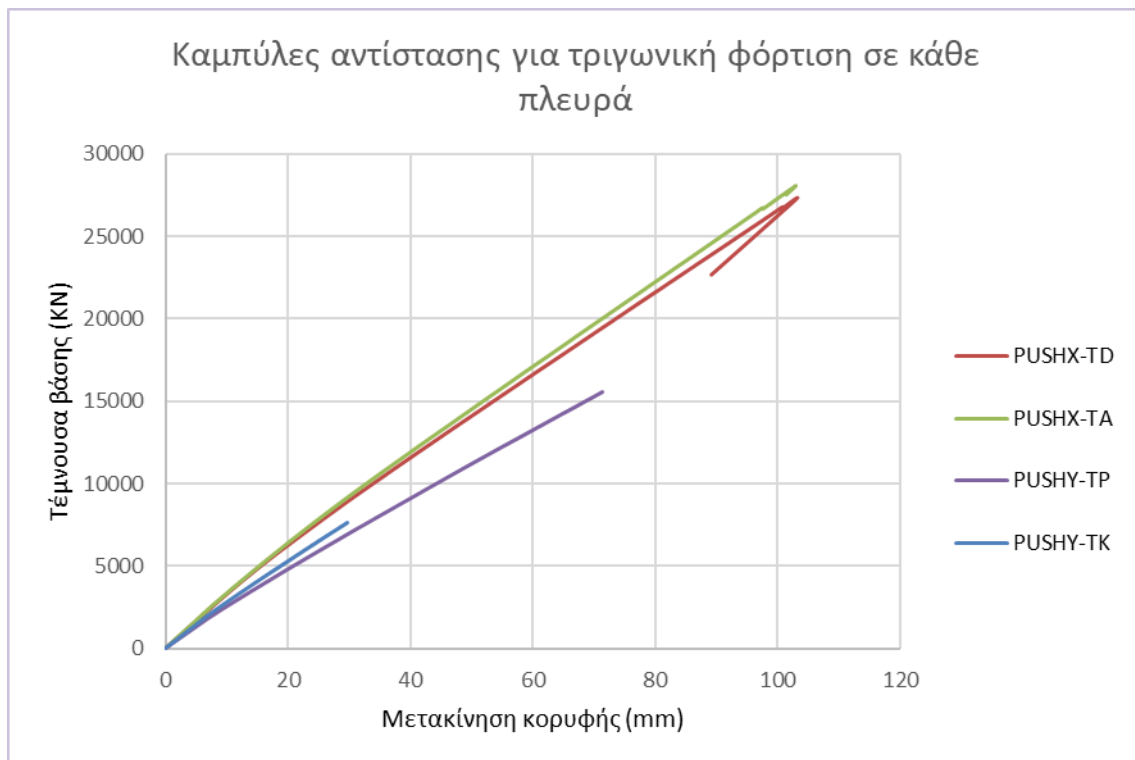
Σχήμα 5.11. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-OK



Σχήμα 5.12. Παραμορφωμένος φορέας στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης για την ανελαστική στατική φόρτιση PUSHY-TK

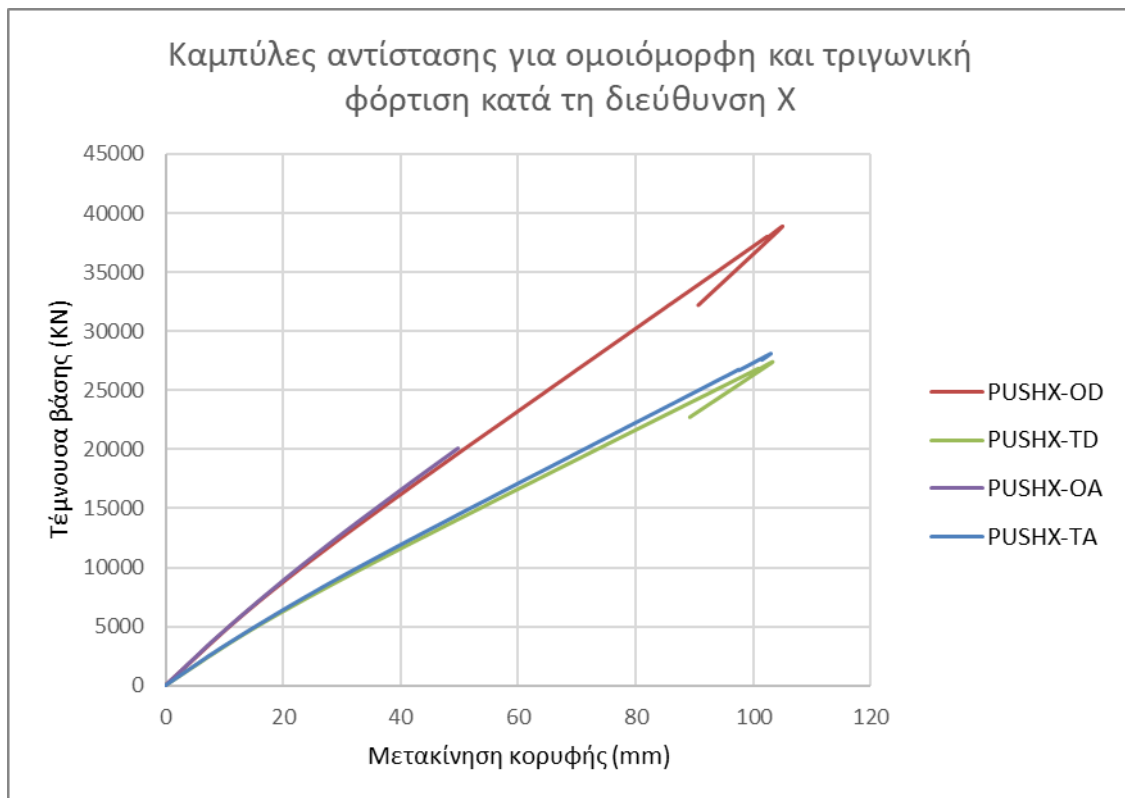
Σύγκριση καμπυλών αντίστασης για ομοιόμορφη και τριγωνική στατική φόρτιση**Σχήμα 5.13.** Καμπύλες αντίστασης για ομοιόμορφη φόρτιση σε κάθε πλευρά

- Μετά τη σύγκριση των καμπυλών αντίστασης για την ομοιόμορφη στατική φόρτιση καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η φόρτιση η οποία παρουσιάζει την μεγαλύτερη τέμνουσα βάση και μετακίνηση κορυφής είναι η PUSHX-OD.



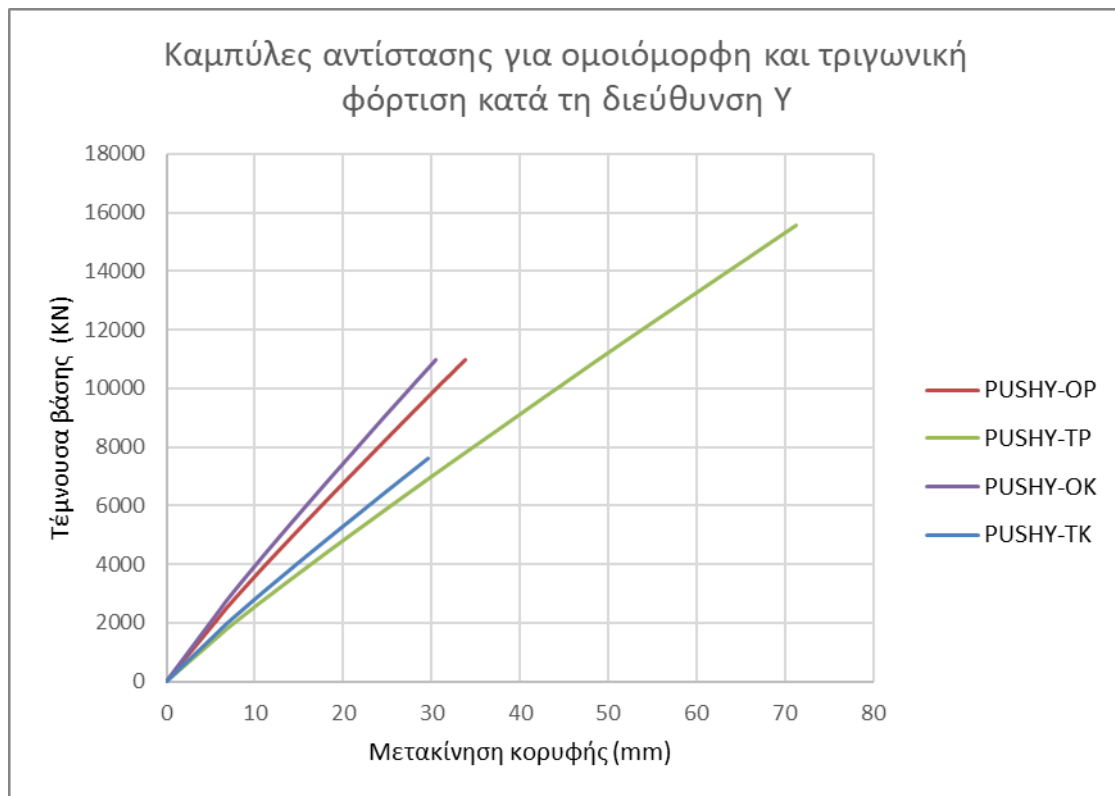
Σχήμα 5.14. Καμπύλες αντίστασης για τριγωνική φόρτιση σε κάθε πλευρά

- Μετά τη σύγκριση των καμπυλών αντίστασης για την τριγωνική στατική φόρτιση καταλήγουμε πως για την δεξιά και αριστερή πλευρά φόρτισης έχουμε μεγαλύτερες τιμές τέμνουσας βάσης και μετακίνησης κορυφής. Για τις δύο αυτές φορτίσεις και για το ίδιο επίπεδο μετακίνησης η PUSHX-TA παρουσιάζει μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης.



Σχήμα 5.15. Καμπύλες αντίστασης για ομοιόμορφη και τριγωνική φόρτιση κατά τη διεύθυνση Χ

- Μετά τη σύγκριση των καμπυλών αντίστασης για ομοιόμορφη και τριγωνική φόρτιση κατά τη διεύθυνση Χ καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως στις φορτίσεις οι οποίες βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο μετακίνησης (PUSHX-OD, PUSHX-TD, PUSHX-TA) η ομοιόμορφη φόρτιση παρουσιάζει μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης. Επίσης παρατηρούμε πως για την PUSHX-OA είναι πιθανή η αριθμητική αστοχία κατά την ανάλυση.



Σχήμα 5.16. Καμπύλες αντίστασης για ομοιόμορφη και τριγωνική φόρτιση κατά τη διεύθυνση Y

- Μετά τη σύγκριση των καμπυλών αντίστασης για ομοιόμορφη και τριγωνική φόρτιση κατά τη διεύθυνση Y καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η φόρτιση PUSHY-TP παρουσιάζει μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης και μετακίνηση κορυφής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΚΑΝ.ΕΠΕ. Κανονισμός Επεμβάσεων σε κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα (3η αναθεώρηση 2022)
- Καραγιάννης Χ. «Σχεδιασμός συμπεριφορά κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα έναντι σεισμού», εκδόσεις «σοφία» (2016)
- Παναγόπουλος Γ., Κίρτας Ε. «Προσομοίωση φορέων σε λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων», σημειώσεις για τα μαθήματα Στατική- Δυναμική Ανάλυση Υφιστάμενων Κατασκευών και Προσομοίωση και Ανάλυση Ενίσχυσης Κατασκευών του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών ΔΠΕ (2020)
- Κίρτας Ε., Παναγόπουλος Γ. «Προσομοίωση Κατασκευών σε Προγράμματα Ηλεκτρονικού Υπολογιστή- Εφαρμογές με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων SAP2000» (2015)
- Παναγόπουλος Γ., Κίρτας Ε. «Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος 1», εκπαιδευτικές σημειώσεις τμήματος Πολιτικών Μηχανικών ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας (2019)

