



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ
ΔΙΩΡΟΦΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ**

υπό

ΙΩΑΝΝΗ ΚΑΖΑΝΑΚΗ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

2017

© 2017 Ιωάννης Καζανάκης

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)	Δρ. Παπακωνσταντίνου Χρήστος Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας			
Δεύτερος Εξεταστής	Δρ. Σοφιανόπουλος Δημήτριος Αναπληρωτής Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας	Τμήμα	Πολιτικών	Μηχανικών,
Τρίτος Εξεταστής	Δρ. Παναγούλη Ολυμπία Επίκουρος Καθηγήτρια, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας	Τμήμα	Πολιτικών	Μηχανικών,

Ευχαριστίες

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Επίκουρο Καθηγητή κ. Παπακωνσταντίνου Χρήστο, για την πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθεια καθ' όλη τη διάρκεια της δουλειάς μου. Είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής μου εργασίας, επικ. Καθηγήτρια Ολυμπία Παναγούλη και αναπλ. Καθηγητή Δημήτριο Σοφιανόπουλο, για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Ευχαριστώ τον πατέρα μου και συνάδελφο Κωνσταντίνο Καζανάκη για την επιστημονική και ηθική υποστήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης την μητέρα μου Κατερίνα Καζανάκη, τα αδέρφια μου Γιώργο και Ελένη και την γιαγιά μου Μερóπη Μηναδάκη για την αμέριστη ηθική υποστήριξη που μου παρέχουν όλα αυτά τα χρόνια.

Ιωάννης Καζανάκης

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΙΩΡΟΦΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Ιωάννης Καζανάκης

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2017

Επιβλέπων Καθηγητής: Παπακωνσταντίνου Χρήστος, Επίκουρος Καθηγητής Π.Θ

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματοποιήθηκε η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας και η ενίσχυση, βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ, ενός διώροφου κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα, το οποίο βρίσκεται στην πόλη του Βόλου. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη αποτίμησης και ενίσχυσης είναι το Fespa της εταιρείας LH Logismiki. Αρχικά έγινε η εισαγωγή των γεωμετρικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των δομικών μελών του φορέα. Στη συνέχεια έγινε καθορισμός των σταθμών επιτελεστικότητας, όπως προβλέπει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ, και πραγματοποιήθηκε η αποτίμηση της Φέρουσας Ικανότητας του φορέα μέσω της ανελαστικής ανάλυσης Pushover. Από την ανάλυση προέκυψε ότι ο υπάρχων φορέας δεν επαρκεί για τη στάθμη επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευση (NC) για φορτίσεις κατά τη διεύθυνση x & y , γεγονός που οδηγεί στην μελέτη πιθανών μεθόδων ενισχύσεων. Αξιολογώντας τα ζητήματα μεμονωμένα, αποφασίστηκε να γίνει ενίσχυση του κτιρίου με χρήση μανδύων σκυροδέματος, εξωτερικά επικολλούμενων ινοπλισμένων πολυμερών και εμφάνωση πλαισίων. Μετά από νέες ανελαστικές αναλύσεις Pushover στους ενισχυμένους φορείς προέκυψε ότι και οι τρεις μέθοδοι επαρκούν για όλες τις στάθμες επιτελεστικότητας, προς κάθε διεύθυνση, έχοντας προσδώσει νέα χαρακτηριστικά στη συμπεριφορά του κτιρίου. Τέλος γίνεται σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των μεθόδων ενίσχυσης.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή.....	1
1.1	Γενικά για τον Κανονισμό Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.).....	1
1.1.1	Στάθμες επιτελεστικότητας σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.	2
1.2	Οργάνωση Κεφαλαίων.....	4
Κεφάλαιο 2	Μέθοδοι ενίσχυσης.....	5
2.1	Κατασκευή πλευρικών τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστυλωμάτων	6
2.2	Προσθήκη νέων Υποστυλωμάτων	Error! Bookmark not defined.
2.3	Χρησιμοποίηση σύνθετων υλικών.	9
2.3.1	Κατηγορίες σύνθετων υλικών.....	10
Κεφάλαιο 3	Προσομοίωση και Αποτίμηση Φέρουσας Ικανότητας Υφιστάμενου Κτιρίου.....	13
3.1	Γενικά.....	13
3.2	Περιγραφή Διαδικασίας Προσομοίωσης και Αποτίμησης του Κτιρίου.....	14
3.3	Δημιουργία Προσομοιώματος.....	15
3.3.1	Υλικά Κατασκευής	15
3.3.2	Χαρακτηριστικά Εδάφους.....	15
3.3.3	Σπουδαιότητα Κτιρίου	15
3.3.4	Σεισμικά Χαρακτηριστικά περιοχής	16
3.3.5	Περιγραφή δομικών μελών του κτιρίου.....	17
3.3.6	Φορτία.....	18
3.4	Αναλυτική περιγραφή κτιρίου	19
3.4.1	Στάθμη Θεμελίωσης.....	20
3.4.2	Στάθμη οροφής ισογείου (Στάθμη 0)	21
3.4.3	Στάθμη οροφής μεσοπατώματος (Στάθμη 1)	22
3.4.4	Στάθμη οροφής του Ορόφου 1 (Στάθμη 2)	23
3.4.5	Στάθμη οροφής του Ορόφου 2 (Στάθμη 3)	24
3.4.6	Δυστρεψία κτιρίου	25
3.5	Στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων (ΣΑΔ).....	30
3.6	Στάθμες επιτελεστικότητας.....	31
3.7	Μέθοδος ανάλυσης.....	32
3.8	Αποτελέσματα ανάλυσης Pushover	33
3.8.1	Ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης κατά διεύθυνση x	33
	Διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης F-d.....	33
	Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας (ADRS)	37
3.8.2	Ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης κατά διεύθυνση y	39
	Διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης F-d.....	39
	Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας (ADRS)	44
3.9	Λόγοι στατικής επάρκειας.....	46
3.9.1	Μη επαρκή δομικά μέλη	46
3.9.2	Μέγιστα λόγων επάρκειας	47
3.10	Στατική Επάρκεια.....	48
3.11	Συγκεντρωτικά	48

Κεφάλαιο 4 Ενίσχυση Κτιρίου.....	49
4.1 Μέθοδος Ενίσχυσης Α.....	50
4.1.1 Ενίσχυση υποστλωμάτων.....	50
4.1.2 Ενίσχυση Δοκών.....	56
4.1.3 Δυστρεψία ενισχυμένου κτιρίου.....	66
4.1.4 Αποτελέσματα ανάλυσης Pushover.....	70
Διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης F-d κατά x.....	70
Διαγράμματα Απαιτήσης – Ικανότητας (ADRS) κατά x.....	74
Διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης F-d κατά y.....	76
Διαγράμματα Απαιτήσης – Ικανότητας (ADRS) κατά y.....	80
4.1.5 Λόγοι επάρκειας.....	82
4.1.6 Μέγιστα λόγων επάρκειας.....	83
4.2 Μέθοδος Ενίσχυσης Β.....	84
4.2.1 Ενίσχυση υποστλωμάτων.....	84
4.2.2 Ενίσχυση Δοκών.....	91
4.2.3 Δυστρεψία ενισχυμένου κτιρίου.....	102
4.2.4 Αποτελέσματα ανάλυσης Pushover.....	106
Διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης F-d κατά x.....	106
Διαγράμματα Απαιτήσης – Ικανότητας (ADRS) κατά x.....	110
Διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης F-d κατά y.....	112
Διαγράμματα Απαιτήσης – Ικανότητας (ADRS) κατά y.....	116
4.2.5 Λόγοι επάρκειας.....	118
4.2.6 Μέγιστα λόγων επάρκειας.....	119
4.3 Μέθοδος Ενίσχυσης Γ.....	120
4.3.1 Ενίσχυση υποστλωμάτων.....	120
4.3.2 Ενίσχυση Δοκών.....	126
4.3.3 Δυστρεψία ενισχυμένου κτιρίου.....	136
4.3.4 Αποτελέσματα ανάλυσης Pushover.....	140
Διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης F-d κατά x.....	140
Διαγράμματα Απαιτήσης – Ικανότητας (ADRS) κατά x.....	144
Διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης F-d κατά y.....	146
Διαγράμματα Απαιτήσης – Ικανότητας (ADRS) κατά y.....	150
4.3.5 Λόγοι επάρκειας.....	152
4.3.6 Μέγιστα λόγων επάρκειας.....	153
Κεφάλαιο 5 Αξιολόγηση και σύγκριση αποτελεσμάτων.....	155
5.1 Ομοιόμορφη φόρτιση.....	155
5.1.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων κατά την διεύθυνση x (Ομοιόμορφη Φόρτιση).....	155
5.1.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων κατά την διεύθυνση y (Ομοιόμορφη Φόρτιση).....	163
5.2 Ιδιομορφική φόρτιση.....	171
5.2.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων κατά την διεύθυνση x (Ιδιομορφική Φόρτιση).....	171
5.2.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων κατά την διεύθυνση y (Ιδιομορφική Φόρτιση).....	176
5.3 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων για την κάθε μέθοδο ενίσχυσης.....	181
5.3.1 Μέθοδος ενίσχυσης Α.....	181
5.3.2 Μέθοδος ενίσχυσης Β.....	183
5.3.3 Μέθοδος ενίσχυσης Γ.....	185
Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα.....	189
Βιβλιογραφία.....	192
Παράρτημα Α	
Παράρτημα Β	

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1 Συντελεστές εμπιστοσύνης Επίπεδο Γνώσης KL2.....	30
Πίνακας 3.2 Λόγος επάρκειας μη-επαρκών μελών (Υφιστάμενος Φορέας)	46
Πίνακας 3.3 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Δοκών – Έλεγχος Στροφής χορδής	47
Πίνακας 3.4 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Δοκών – Έλεγχος Διάτμησης.....	47
Πίνακας 3.5 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Υπ/των – Έλεγχος Στροφής Χορδής.....	47
Πίνακας 3.6 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Υπ/των – Έλεγχος Διάτμησης.....	47
Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά ενισχυμένων Υποστυλωμάτων	51
Πίνακας 4.2 Χαρακτηριστικά Ενισχυμένου Υποστυλώματος.....	52
Πίνακας 4.3 Μηχανικά και Γεωμετρία χαρακτηριστικά SikaWrap® -300 C.....	54
Πίνακας 4.4 Οπλισμός ενισχυμένων δοκών	57
Πίνακας 4.5 Οπλισμός ενισχυμένων δοκών	59
Πίνακας 4.6 Οπλισμός ενισχυμένων δοκών	60
Πίνακας 4.7 Οπλισμός ενισχυμένων δοκών	62
Πίνακας 4.8 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού	63
Πίνακας 4.9 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού	65
Πίνακας 4.10 Λόγος επάρκειας αρχικά μη-επαρκών μελών (Μέθοδος Ενίσχυσης)	82
Πίνακας 4.11 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Δοκών – Έλεγχος Στροφής χορδής	83
Πίνακας 4.12 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Δοκών – Έλεγχος Διάτμησης.....	83
Πίνακας 4.13 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Υπ/των – Έλεγχος Στροφής χορδής	83
Πίνακας 4.14 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Υπ/των – Έλεγχος Διάτμησης.....	83
Πίνακας 4.15 Χαρακτηριστικά ενισχυμένων Υποστυλωμάτων	85
Πίνακας 4.16 Χαρακτηριστικά ενισχυμένων Υποστυλωμάτων	87
Πίνακας 4.17 Μηχανικά και Γεωμετρία χαρακτηριστικά SikaWrap® -300 C.....	89
Πίνακας 4.18 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού	92
Πίνακας 4.19 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού	94
Πίνακας 4.20 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού	95
Πίνακας 4.21 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού	96

Πίνακας 4.22 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού	98
Πίνακας 4.23 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού	99
Πίνακας 4.24 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού	101
Πίνακας 4.25 Λόγοι επάρκειας αρχικά μη-επαρκών μελών (Μέθοδος Ενίσχυσης Β)	118
Πίνακας 4.26 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Υπ/των – Έλεγχος Στροφής Χορδής	119
Πίνακας 4.27 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Υπ/των – Έλεγχος Διάτμησης.....	119
Πίνακας 4.28 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Δοκών – Έλεγχος Στροφής Χορδής.....	119
Πίνακας 4.29 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Δοκών – Έλεγχος Διάτμησης.....	119
Πίνακας 4.30 Χαρακτηριστικά Ενισχυμένου Υποστυλώματος.....	121
Πίνακας 4.31 Χαρακτηριστικά Ενισχυμένου Υποστυλώματος.....	122
Πίνακας 4.32 Μηχανικά και Γεωμετρία χαρακτηριστικά SikaWrap® -300 C.....	124
Πίνακας 4.33 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού	127
Πίνακας 4.34 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού	129
Πίνακας 4.35 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού	130
Πίνακας 4.36 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού	132
Πίνακας 4.37 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού	133
Πίνακας 4.38 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού	135
Πίνακας 4.39 Λόγοι επάρκειας αρχικά μη-επαρκών μελών (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ).....	152
Πίνακας 4.40 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Υπ/των – Έλεγχος στροφής Χορδής	153
Πίνακας 4.41 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Υπ/των– Έλεγχος Διάτμησης.....	153
Πίνακας 4.42 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Δοκών – Έλεγχος στροφής Χορδής	153
Πίνακας 4.43 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Δοκών – Έλεγχος Διάτμησης.....	153
Πίνακας 0.1 Διατομές και οπλισμοί υποστυλωμάτων Ισογείου και Τυπικού ορόφου	II
Πίνακας 0.2 Διατομές και οπλισμοί δοκών οροφής ισογείου.....	III
Πίνακας 0.3 Διατομές και οπλισμοί δοκών οροφής Τυπικού ορόφου.....	V
Πίνακας 0.4 Λόγοι επάρκειας Υποστυλωμάτων	VI
Πίνακας 0.5 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Υποστυλωμάτων	VII
Πίνακας 0.6 Λόγοι επάρκειας δοκών	VIII

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1 Στάθμες επιτελεστικότητας (ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013)	3
Σχήμα 2.1 Προσθήκη τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστυλωμάτων (Σ. Η. Δρίτσος, 2007)	6
Σχήμα 2.2 Τοποθέτηση νέων υποστυλωμάτων και στις δύο πλευρές του υφιστάμενου υπ/τος. Error! Bookmark not defined.	
Σχήμα 2.3 Σύνδεση νέου υποστυλώματος σε υπάρχουσα θεμελίωση (Κ. Σπυράκος, 2007) Error! Bookmark not defined.	
Σχήμα 2.4 Γενικοί τύποι σύνθετων υλικών ινών (Σπυράκος, 2004)	10
Σχήμα 2.5 Τύποι σύνθετων υλικών ινών. (Σπυράκος, 2004)	11
Σχήμα 3.1 Τρισδιάστατη Απεικόνιση του Κτιρίου.....	19
Σχήμα 3.2 Κάτοψη Θεμελιώσεως	20
Σχήμα 3.3 Ξυλότυπος στάθμης Ισογείου.....	21
Σχήμα 3.4 Ξυλότυπος στάθμης Μεσοπατώματος	22
Σχήμα 3.5 Ξυλότυπος στάθμης 1 ^{ου} Ορόφου.....	23
Σχήμα 3.6 Ξυλότυπος στάθμης 2 ^{ου} Ορόφου.....	24
Σχήμα 3.7 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψίας της στάθμης 0 (Υφιστάμενος Φορέας).....	26
Σχήμα 3.8 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψίας της στάθμης 1 (Υφιστάμενος Φορέας).....	27
Σχήμα 3.9 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψίας της στάθμης 2 (Υφιστάμενος Φορέας).....	28
Σχήμα 3.10 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψίας της στάθμης 3 (Υφιστάμενος Φορέας).....	29
Σχήμα 3.11 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x. Θέση α1:Δημιουργία 1 ^{ης} Πλαστικής Αρθρωσης (Υφιστάμενος Φορέας).....	34
Σχήμα 3.12 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x, Θέση α1 (Υφιστάμενος Φορέας).....	34
Σχήμα 3.13 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x. Θέση α2:Αστοχία μελών στη σ.ε. SD (Υφιστάμενος Φορέας)	35
Σχήμα 3.14 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x, Θέση α2 (Υφιστάμενος Φορέας).....	35
Σχήμα 3.15 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x. Θέση αι: Μετατροπή φορέα σε μηχανισμό Κατάρρευσης (Υφιστάμενος Φορέας).....	36

Σχήμα 3.16 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x, Θέση α1 (Υφιστάμενος Φορέας).....	36
Σχήμα 3.17 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x . Θέση ορίου επιτελεστικότητας. Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.....	37
Σχήμα 3.18 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης , ... -μορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y. Θέση α1:Δημιουργία 1 ^{ης} Πλαστικής Άρθρωσης (Υφιστάμενος Φορέας).....	40
Σχήμα 3.19 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y, Θέση α1 (Υφιστάμενος Φορέας).....	40
Σχήμα 3.20 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y. Θέση α2:Αστοχία μελών στη σ.ε. SD (Υφιστάμενος Φορέας)	41
Σχήμα 3.21 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y, Θέση α2 (Υφιστάμενος Φορέας).....	41
Σχήμα 3.22 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y. Θέση α1: Μετατροπή φορέα σε μηχανισμό Κατάρρευσης (Υφιστάμενος Φορέας).....	42
Σχήμα 3.23 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y, Θέση α1 (Υφιστάμενος Φορέας).....	42
Σχήμα 4.1 Ξυλότυπος στάθμης 0 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).....	50
Σχήμα 4.2 Διατομή ενισχυμένων Υποστυλωμάτων	51
Σχήμα 4.3 Διατομή ενισχυμένου Υποστυλώματος.....	52
Σχήμα 4.4 Ξυλότυπος Στάθμης 1 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α)	53
Σχήμα 4.5 Λεπτομέρεια επιφάνειας του SikaWrap® -300 C	54
Σχήμα 4.6 Ξυλότυπος στάθμης 2 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).....	55
Σχήμα 4.7 Ξυλότυπος Στάθμης 0 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α)	56
Σχήμα 4.8 Διατομές των άκρων και του μέσου των ενισχυμένων δοκών	57
Σχήμα 4.9 Ξυλότυπος στάθμης 1 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).....	58
Σχήμα 4.10 Διατομές των άκρων και του μέσου των ενισχυμένων δοκών	59
Σχήμα 4.11 Διατομές των άκρων και του μέσου των ενισχυμένων δοκών	60
Σχήμα 4.12 Ξυλότυπος στάθμης 2 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).....	61
Σχήμα 4.13 Διατομές των άκρων και του μέσου των ενισχυμένων δοκών	62
Σχήμα 4.14 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού	63
Σχήμα 4.15 Ξυλότυπος στάθμης 3 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).....	64

Σχήμα 4.16 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού	65
Σχήμα 4.17 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστροπίας της στάθμης 0 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).....	66
Σχήμα 4.18 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστροπίας της στάθμης 1 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).....	67
Σχήμα 4.19 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστροπίας της στάθμης 2 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).....	68
Σχήμα 4.20 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστροπίας της στάθμης 3 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).....	69
Σχήμα 4.21 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x. Θέση α1:Δημιουργία 1 ^{ης} Πλαστικής Άρθρωσης (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).....	71
Σχήμα 4.22 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x. Θέση α1 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).....	71
Σχήμα 4.23 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x. Θέση α2:Αστοχία μελών στη σ.ε. SD (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).....	72
Σχήμα 4.24 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x. Θέση α2 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).....	72
Σχήμα 4.25 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x. Θέση αι: Μετατροπή φορέα σε μηχανισμό Κατάρρευσης (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).....	73
Σχήμα 4.26 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x. Θέση αι (Υφιστάμενος Φορέας).....	73
Σχήμα 4.27 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x (Μέθοδος Ενίσχυσης Α). Θέση ορίου επιτελεστικότητας SD.....	74
Σχήμα 4.28 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y. Θέση α1:Δημιουργία 1 ^{ης} Πλαστικής Άρθρωσης (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).....	77
Σχήμα 4.29 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y. Θέση α1 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).....	77
Σχήμα 4.30 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y. Θέση α2:Αστοχία μελών στη σ.ε. SD (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).....	78
Σχήμα 4.31 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y, Θέση α2 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).....	78
Σχήμα 4.32 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y. Θέση αι: Μετατροπή φορέα σε μηχανισμό Κατάρρευσης (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).....	79
Σχήμα 4.33 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y. Θέση αι (Υφιστάμενος Φορέας Α).....	79
Σχήμα 4.34 Ξυλότυπος στάθμης 0 (Μέθοδος Ενίσχυσης Β).....	84

Σχήμα 4.35 Διατομή ενισχυμένων Υποστυλωμάτων	85
Σχήμα 4.36 Διατομή ενισχυμένων Υποστυλωμάτων	87
Σχήμα 4.37 Ξυλότυπος στάθμης 1 (Μέθοδος Ενίσχυσης	88
Σχήμα 4.38 Λεπτομέρεια επιφάνειας του SikaWrap® -300 C	89
Σχήμα 4.39 Ξυλότυπος στάθμης 2 (Μέθοδος Ενίσχυσης B).....	90
Σχήμα 4.40 Ξυλότυπος στάθμης 0 (Μέθοδος Ενίσχυσης B).....	91
Σχήμα 4.41 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού	92
Σχήμα 4.42 Ξυλότυπος στάθμης 1 (Μέθοδος Ενίσχυσης B).....	93
Σχήμα 4.43 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού	94
Σχήμα 4.44 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού	95
Σχήμα 4.45 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού	96
Σχήμα 4.46 Ξυλότυπος στάθμης 2 (Μέθοδος Ενίσχυσης B).....	97
Σχήμα 4.47 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού	98
Σχήμα 4.48 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού	99
Σχήμα 4.49 Ξυλότυπος στάθμης 3 (Μέθοδος Ενίσχυσης B).....	100
Σχήμα 4.50 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού	101
Σχήμα 4.51 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψιάς της στάθμης 0 (Μέθοδος Ενίσχυσης B).....	102
Σχήμα 4.52 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψιάς της στάθμης 1 (Μέθοδος Ενίσχυσης B).....	103
Σχήμα 4.53 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψιάς της στάθμης 2 (Μέθοδος Ενίσχυσης B).....	104
Σχήμα 4.54 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψιάς της στάθμης 3 (Μέθοδος Ενίσχυσης B).....	105
Σχήμα 4.55 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x. Θέση α1:Δημιουργία 1 ^{ης} Πλαστικής Αρθρωσης (Μέθοδος Ενίσχυσης B).....	107
Σχήμα 4.56 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x. Θέση α1 (Μέθοδος Ενίσχυσης B)	107
Σχήμα 4.57 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x. Θέση α2:Αστοχία μελών στη σ.ε. SD (Μέθοδος Ενίσχυσης B).....	108
Σχήμα 4.58 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x. Θέση α2 (Μέθοδος Ενίσχυσης B)	108
Σχήμα 4.59 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x. Θέση αu (Μέθοδος Ενίσχυσης B)	109

Σχήμα 4.60 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x. Θέση αι: Μετατροπή φορέα σε μηχανισμό Κατάρρευσης (Μέθοδος Ενίσχυσης Β)	109
Σχήμα 4.61 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x (Μέθοδος Ενίσχυσης Β). Θέση ορίου επιτελεστικότητας SD.....	110
Σχήμα 4.62 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x (Μέθοδος Ενίσχυσης Β). Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.	110
Σχήμα 4.63 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y. Θέση α1:Δημιουργία 1 ^{ης} Πλαστικής Άρθρωσης (Μέθοδος Ενίσχυσης Β).....	113
Σχήμα 4.64 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y. Θέση α1 (Μέθοδος Ενίσχυσης Β)	113
Σχήμα 4.65 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y. Θέση α2:Αστοχία μελών στη σ.ε. SD (Μέθοδος Ενίσχυσης Β).....	114
Σχήμα 4.66 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y. Θέση α2 (Μέθοδος Ενίσχυσης Β)	114
Σχήμα 4.67 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y. Θέση αι: Μετατροπή φορέα σε μηχανισμό Κατάρρευσης (Μέθοδος Ενίσχυσης Β)	115
Σχήμα 4.68 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y. Θέση αι (Μέθοδος Ενίσχυσης Β)	115
Σχήμα 4.69 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση y (Μέθοδος Ενίσχυσης Β). Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.	116
Σχήμα 4.70 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση y (Μέθοδος Ενίσχυσης Β). Θέση ορίου επιτελεστικότητας SD.....	116
Σχήμα 4.71 Ξυλότυπος στάθμης 0 (Ενίσχυση Γ)	120
Σχήμα 4.72 Διατομή ενισχυμένου Υποστυλώματος.....	121
Σχήμα 4.73 Διατομή ενισχυμένου Υποστυλώματος.....	122
Σχήμα 4.74 Ξυλότυπος Στάθμης 1 (Ενίσχυση Γ)	123
Σχήμα 4.75 Λεπτομέρεια επιφάνειας του SikaWrap® -300 C	124
Σχήμα 4.76 Ξυλότυπος στάθμης 1 (Ενίσχυση Γ)	125
Σχήμα 4.77 Ξυλότυπος στάθμης 0 (Ενίσχυση Γ)	126
Σχήμα 4.78 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού	127
Σχήμα 4.79 Ξυλότυπος στάθμης 1 (Ενίσχυση Γ)	128

Σχήμα 4.80 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού	129
Σχήμα 4.81 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού	130
Σχήμα 4.82 Ξυλότυπος στάθμης 2 (Ενίσχυση Γ)	131
Σχήμα 4.83 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού	132
Σχήμα 4.84 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού	133
Σχήμα 4.85 Ξυλότυπος στάθμης 3 (Ενίσχυση Γ)	134
Σχήμα 4.86 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού	135
Σχήμα 4.87 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψιάς της στάθμης 0 (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)	136
Σχήμα 4.88 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψιάς της στάθμης 1 (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)	137
Σχήμα 4.89 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψιάς της στάθμης 2 (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)	138
Σχήμα 4.90 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψιάς της στάθμης 3 (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)	139
Σχήμα 4.91 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x. Θέση α1:Δημιουργία 1 ^{ns} Πλαστικής Άρθρωσης (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)	141
Σχήμα 4.92 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x. Θέση α1:Δημιουργία 1 ^{ns} Πλαστικής Άρθρωσης (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)	141
Σχήμα 4.93 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x. Θέση α2:Αστοχία μελών στη σ.ε. SD (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)	142
Σχήμα 4.94 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x. Θέση α2 (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ).....	142
Σχήμα 4.95 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x. Θέση αι: Μετατροπή φορέα σε μηχανισμό Κατάρρευσης (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)	143
Σχήμα 4.96 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x. Θέση αι (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ).....	143
Σχήμα 4.97 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ). Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.	144
Σχήμα 4.98 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ). Θέση ορίου επιτελεστικότητας SD.	144
Σχήμα 4.99 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y. Θέση α1:Δημιουργία 1 ^{ns} Πλαστικής Άρθρωσης (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)	147
Σχήμα 4.100 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y. Θέση α1 (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)	147

Σχήμα 4.101 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y. Θέση α2:Αστοχία μελών στη σ.ε. SD (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)	148
Σχήμα 4.102 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y. Θέση α2 (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ).....	148
Σχήμα 4.103 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y. Θέση αι: Μετατροπή φορέα σε μηχανισμό Κατάρρευσης (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)	149
Σχήμα 4.104 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y. Θέση αι (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ).....	149
Σχήμα 4.105 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση y (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ). Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC..	150
Σχήμα 4.106 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση y (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ). Θέση ορίου επιτελεστικότητας SD.....	150
Σχήμα 5.1 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.	155
Σχήμα 5.2 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών υπεραντοχής για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.....	156
Σχήμα 5.3 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών μετακίνησης κορυφής για δημιουργία 1 ^{ης} Πλαστικής άρθρωσης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.....	157
Σχήμα 5.4 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών Τέμνουσας Βάσης για δημιουργία 1 ^{ης} Πλαστικής άρθρωσης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.....	157
Σχήμα 5.5 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών μετακίνησης κορυφής για δημιουργία μηχανισμ. κατάρρευσης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.....	158
Σχήμα 5.6 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών Τέμνουσας Βάσης για δημιουργία μηχανισμ. κατάρρευσης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.....	158
Σχήμα 5.7 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x (Μέθοδος ενίσχυσης Α). Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.	159
Σχήμα 5.8 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x (Υφιστάμενος). Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.	159
Σχήμα 5.9 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x (Μέθοδος ενίσχυσης Γ). Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.	160
Σχήμα 5.10 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x (Μέθοδος ενίσχυσης Β). Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.	160
Σχήμα 5.11 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών μετακίνησης κορυφής για Στοχευμένη μετακίνηση στην σ.ε SD για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.....	161

Σχήμα 5.12 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών Ικανότητας μετακίνησης κορυφής στην σ.ε SD για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.	161
Σχήμα 5.13 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών μετακίνησης κορυφής για Στοχευμένη μετακίνηση στην σ.ε NC για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.....	162
Σχήμα 5.14 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών Ικανότητας μετακίνησης κορυφής στην σ.ε NC για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.	162
Σχήμα 5.15 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y. ...	163
Σχήμα 5.16 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών υπεραντοχής για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.....	164
Σχήμα 5.17 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών μετακίνησης κορυφής για δημιουργία 1 ^{ης} Πλαστικής άρθρωσης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.....	165
Σχήμα 5.18 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών Τέμνουσας Βάσης για δημιουργία 1 ^{ης} Πλαστικής άρθρωσης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.....	165
Σχήμα 5.19 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών μετακίνησης κορυφής για δημιουργία μηχανισμ. κατάρρευσης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.....	166
Σχήμα 5.20 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών Τέμνουσας Βάσης για δημιουργία μηχανισμ. κατάρρευσης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.....	166
Σχήμα 5.21 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση y (Μέθοδος ενίσχυσης Α). Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.	167
Σχήμα 5.22 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση y (Υφιστάμενος). Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.	167
Σχήμα 5.23 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση y (Μέθοδος ενίσχυσης Γ). Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.	168
Σχήμα 5.24 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση y (Μέθοδος ενίσχυσης Β). Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.	168
Σχήμα 5.25 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών μετακίνησης κορυφής για Στοχευμένη μετακίνηση στην σ.ε SD για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.....	169
Σχήμα 5.26 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών Τέμνουσας Βάσης για Στοχευμένη μετακίνηση στην σ.ε SD για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.....	169
Σχήμα 5.27 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών μετακίνησης κορυφής για Στοχευμένη μετακίνηση στην σ.ε NC για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.....	170
Σχήμα 5.28 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών Ικανότητας μετακίνησης κορυφής στην σ.ε NC για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.	170

Σχήμα 5.29 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.....	171
Σχήμα 5.30 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης Υφιστάμενου φορέα για ομοιόμορφη και ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.	172
Σχήμα 5.31 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης φορέα μεθόδου ενίσχυσης Α για ομοιόμορφη και ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.....	173
Σχήμα 5.32 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης φορέα μεθόδου ενίσχυσης Β για ομοιόμορφη και ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.....	174
Σχήμα 5.33 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης φορέα μεθόδου ενίσχυσης Γ για ομοιόμορφη και ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.....	175
Σχήμα 5.34 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.....	176
Σχήμα 5.35 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης Υφιστάμενου φορέα για ομοιόμορφη και ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.	177
Σχήμα 5.36 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης φορέα μεθόδου ενίσχυσης Α για ομοιόμορφη και ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.....	178
Σχήμα 5.37 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης φορέα μεθόδου ενίσχυσης Β για ομοιόμορφη και ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.....	179
Σχήμα 5.38 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης φορέα μεθόδου ενίσχυσης Γ για ομοιόμορφη και ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.....	180
Σχήμα 0.1 Ξυλότυπος οροφής Ισογείου	I
Σχήμα 0.2 Ξυλότυπος οροφής Τυπικού Ορόφου.....	IV

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά για τον Κανονισμό Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)

Η σεισμική αποτίμηση και ενίσχυση υφισταμένων κτιρίων από σκυρόδεμα αποτελούν πρόκληση για τους ιδιοκτήτες και για τους μηχανικούς, αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα για το πού και πότε θα συμβούν μεγάλοι σεισμοί, και επίσης στο ότι η συμπεριφορά των κτιρίων κατά τη διάρκεια σεισμικών δονήσεων είναι πολύπλοκη. Οπότε, απαιτείται η ανάπτυξη μεθοδολογιών υπό μορφή κανονισμών για να γίνει η σεισμική αποτίμηση και ενίσχυση κτιρίων από σκυρόδεμα.

Σκοπός του Κανονισμού Επεμβάσεων είναι η θεσμοθέτηση κριτηρίων για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας υφιστάμενων δομημάτων και κανόνων εφαρμογής για τον αντισεισμικό ανασχεδιασμό τους, καθώς και για τις ενδεχόμενες επεμβάσεις, ενισχύσεις ή επισκευές. Οπότε αναπτύχθηκαν διατάξεις υποχρεωτικής εφαρμογής οι οποίες καθορίζουν :

- Τα κριτήρια αποτίμησης της φέρουσας ικανότητας υφιστάμενου δομήματος.
- Τις ελάχιστες υποχρεωτικές απαιτήσεις φέρουσας ικανότητας ανασχεδιασμένων δομημάτων ή μελών τους.
- Τον καθορισμό των τρόπων με τους οποίους μπορεί να γίνει επέμβαση, χωρίς να περιορίζεται ο μελετητής που επιθυμεί να προχωρήσει σε ακριβέστερους υπολογισμούς.
- Τη συσχέτιση του Κανονισμού Επεμβάσεων με άλλους Κανονισμούς

Ορισμένες βασικές αρχές και κριτήρια του Κανονισμού αποτελούν όροι όπως οι στάθμες επιτελεστικότητας και οι στόχοι αποτίμησης και ανασχεδιασμού, οι στάθμες αξιοπιστίας των δεδομένων(και η επιρροή τους) και οι προβλέψεις για τον καθολικό δείκτη συμπεριφοράς q . Επίσης για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό, μπορούν χρησιμοποιηθούν διάφοροι μέθοδοι. Μία από αυτές είναι η ανελαστική στατική ανάλυση (Pushover) όπου κύριος στόχος είναι η εκτίμηση του μεγέθους των ανελαστικών παραμορφώσεων που θα αναπτυχθούν στα δομικά στοιχεία όταν το κτίριο υπόκειται στη σεισμική δράση για την οποία γίνεται η αποτίμηση ή ο ανασχεδιασμός. (ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013)

1.1.1 Στάθμες επιτελεστικότητας σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Ως στάθμη επιτελεστικότητας ορίζεται η ελάχιστη στάθμη αντοχής (δηλαδή το αποδεκτό επίπεδο βλαβών) που θα πρέπει να έχει η κατασκευή με βάση την επιλογή του ιδιοκτήτη . Ο καθορισμός του στόχου σχεδιασμού εξαρτάται από τον επιθυμητό συνδυασμό ασφαλείας και κόστους των εργασιών , με σημαντικό παράγοντα τη Μέθοδοι επεμβάσεων σπουδαιότητα της κατασκευής . Η κάθε στάθμη ορίζεται με βάση την οριακή γωνία στροφής χορδής ως εξής :

- Περιορισμού βλαβών (DL)

Η οριακή κατάσταση περιορισμού βλαβών ή αλλιώς η Στάθμη επιτελεστικότητας A- Άμεση χρήση, μετά το σεισμό εισάγει το κριτήριο ο φορέας να έχει υποστεί μόνο ελαφριές βλάβες , με τα δομικά στοιχεία να μην έχουν περάσει τη διαρροή και διατηρούν την αντοχή και τη δυσκαμψία τους . Η απαίτηση σε όρους γωνίας στροφής χορδής για κύρια και δευτερεύοντα μέλη είναι :

$$\theta < \theta_{DL} = \theta_y$$

- Σημαντικών βλαβών (SD)

Για την οριακή κατάσταση σημαντικών βλαβών ή αλλιώς για τη Στάθμη επιτελεστικότητας B – Προστασία ζωής τα φέροντα στοιχεία επιτρέπεται να εμφανίσουν σημαντικές ανελαστικές παραμορφώσεις . Τα πρωτεύοντα μέλη εξασφαλίζεται ότι διαθέτουν αρκετό περιθώριο ασφαλείας έναντι εξάντλησης της διαθέσιμης παραμόρφωσης αστοχίας θ_u . Η απαίτηση σε όρους γωνίας στροφής χορδής εκφράζεται ως εξής :

$$\theta < \theta_{SD} = \frac{(\theta_y + \theta_u)}{2\gamma_{R\delta}} \text{ για πρωτεύοντα μέλη}$$

$$\theta < \theta_{SD} = \frac{(\theta_y + \theta_u)}{2\gamma_{R\delta}} \text{ για δευτερεύοντα μέλη}$$

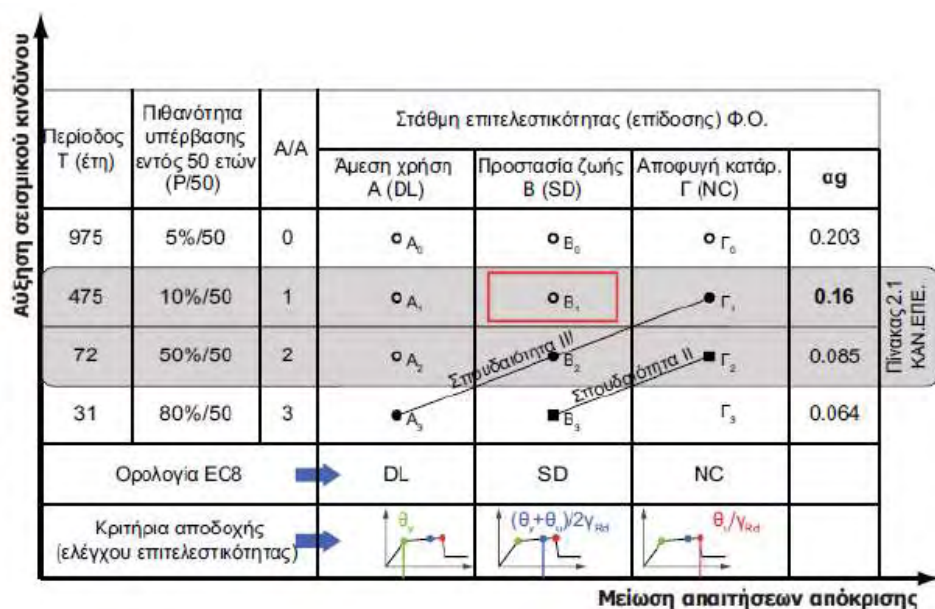
- Οιονεί κατάρρευση (NC)

Στην οριακή κατάσταση Οιονεί κατάρρευσης ή αλλιώς στάθμη επιτελεστικότητας Γ-Αποφυγή οιονεί κατάρρευσης , για τα φέροντα στοιχεία εξασφαλίζεται ότι δεν θα υπάρξει υπέρβαση της διαθέσιμης παραμόρφωσης αστοχίας. Η απαίτηση σε όρους γωνίας στροφής χορδής εκφράζεται ως εξής :

$$\theta < \theta_{NC} = \frac{\theta_u}{\gamma_{R\delta}} \text{ για πρωτεύοντα μέλη}$$

$$\theta < \theta_{NC} = \theta_u \text{ για δευτερεύοντα μέλη}$$

Στον Σχήμα 1.1 γίνεται η συνοπτική παρουσίαση των προαναφερθέντων σταθμών, όπως αναφέρονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Σε κόκκινο πλαίσιο ορίζεται ο βασικός στόχος σχεδιασμού και αποτίμησης στον οποίο βασίζονται οι διατάξεις του EC8, αλλά και του προηγούμενου ΕΑΚ. Ο στόχος αυτός είναι η προστασία ζωής των ενοίκων σε ένα σεισμικό γεγονός που έχει περίοδο επανάληψης 10% στα 50 χρόνια. Επίσης μια υφιστάμενη κατασκευή ανάλογα με τη σπουδαιότητά της, παρουσιάζει διαφορετικούς στόχους αποτίμησης για διάφορες στάθμες επιτελεστικότητας. Σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα η τάξη σπουδαιότητας III ενός αυθαίρετου, θα πρέπει να πληρεί τις καταστάσεις A3, B2, Γ1 για τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας DL, SD, NC αντίστοιχα.



Σχήμα 1.1 Στάθμες επιτελεστικότητας (ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013)

1.2 Οργάνωση Κεφαλαίων

Στο Κεφάλαιο 1 , γίνεται μια εισαγωγή στον Κανονισμό Επεμβάσεων(ΚΑΝ.ΕΠΕ.), και αναλύονται έννοιες ουσιώδης στο αντικείμενο των επεμβάσεων και της αποτίμησης της φέρουσας ικανότητας ενός κτιρίου, όπως η επιτελεστικότητα, αλλά και η ανελαστική ανάλυση Pushover.

Στο Κεφάλαιο 2, γίνεται μία σύντομη στις μεθόδους ενισχύσεις που χρησιμοποιήθηκαν στις λύσεις που προτείνονται στο Κεφάλαιο 5.

Στο Κεφάλαιο 3, πραγματοποιείται η εισαγωγή του υφιστάμενου φορέα στο λογισμικό FESPA, και μετά από ανελαστικές αναλύσεις Pushover, ελέγχεται η επάρκεια για τους στόχους που έχουν τεθεί, μέσω των σταθμών επιτελεστικότητας. Σε περίπτωση ανεπάρκειας, το κτίριο χρήζει επεμβάσεως.

Στο Κεφάλαιο 4, γίνεται αναλυτική περιγραφή των μεθόδων ενίσχυσης που επιλέχθηκαν καθώς το υφιστάμενο κτίριο είναι σεισμικά ανεπαρκές για τη στάθμη επιτελεστικότητας που επιλέχθηκε. Στη συνέχεια πραγματοποιούνται ανελαστικές αναλύσεις των ενισχυμένων φορέων και παρατίθενται τα αποτελέσματα τους.

Στο Κεφάλαιο 5, αξιολογούνται οι μέθοδοι ενίσχυσης και γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν, και μεταξύ τους αλλά και με το υφιστάμενο κτίριο.

Στο Κεφάλαιο 6, παρατίθενται τα τελικά συμπεράσματα που προέκυψαν από τις συγκρίσεις των αποτελεσμάτων των ενισχυμένων φορέων με τον υφιστάμενο.

Κεφάλαιο 2 Μέθοδοι ενίσχυσης

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι μέθοδοι επεμβάσεων που χρησιμοποιήθηκαν στις μεθόδους ενίσχυσης του υφιστάμενου φορέα οι οποίες παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4. Οι κύριες μέθοδοι ενίσχυσης που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι οι εξής:

- Κατασκευή τοιχωμάτων εντός πλαισίων
- Προσθήκη δικτυωτών συστημάτων εντός πλαισίων
- Κατασκευή πλευρικών τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστυλωμάτων
- Προσθήκη νέων κατακόρυφων στοιχείων στην κατασκευή
- Ενσωμάτωση και κατασκευή συστημάτων απορρόφησης ενέργειας
- Κατασκευή μανδύων σε στοιχεία της κατασκευής
- Χρησιμοποίηση συνθετικών υλικών

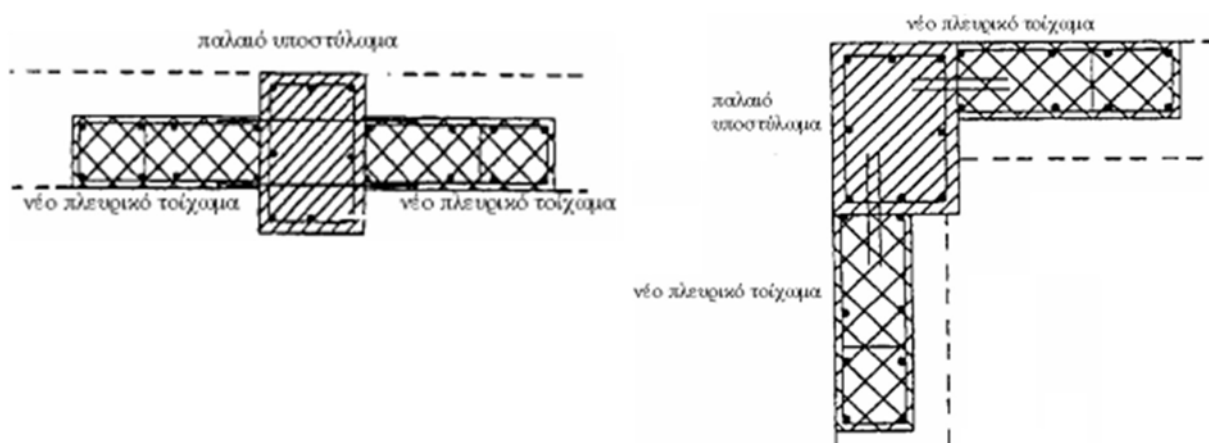
Εδώ πρέπει να αναφερθεί η ιδιαιτερότητα του κτιρίου, η οποία είναι ότι βρίσκεται σε κεντρικό εμπορικό πεζόδρομο της πόλης του Βόλου. Οι δύο του όψεις είναι επί των πεζοδρομίων Ερμού και Τοπάλη και στο ισόγειο των δύο αυτών όψεων στεγάζονται εμπορικά καταστήματα με γυάλινες βιτρίνες. Οπότε χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την ενίσχυση ώστε να επηρεαστούν όσο το δυνατόν λιγότερο οι βιτρίνες των καταστημάτων για να μην μειωθεί η εμπορική τους αξία.

Οπότε το να κατασκευαστούν τοιχώματα εντός πλαισίων ή δικτυωτά συστήματα εντός πλαισίων απορρίφθηκαν καθώς λόγω των παραπάνω αρχιτεκτονικών περιορισμών θα μπορούσαν να εφαρμοστούν μόνο κατά τις δύο ‘τυφλές’ πλευρές του κτιρίου πράγμα που θα δημιουργούσε προβλήματα ασυμμετρίας.

Οι μέθοδοι ενίσχυσης που επιλέχθηκαν είναι η κατασκευή πλευρικών τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστυλωμάτων, η προσθήκη νέων κατακόρυφων στοιχείων και η ενίσχυση μελών με συνθετικά υλικά. Οι μέθοδοι αυτοί θα αναλυθούν στη συνέχεια.

2.1 Κατασκευή πλευρικών τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστύλων

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρέως στην Ελλάδα κυρίως επειδή δεν απαιτείται ιδιαίτερα εξειδικευμένο προσωπικό αλλά και διότι μας δίνει πολύ μικρές αβεβαιότητες κατά την προσομοίωση τους στο εκάστοτε λογισμικό. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα η σύνδεση των παλαιών στοιχείων με τα νέα στοιχεία καθώς και η ανακατανομή της έντασης στην περιοχή επέμβασης.



Σχήμα 2.1 Προσθήκη τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστύλων (Σ. Η. Δρίτσος, 2007)

Η τοποθέτηση των τοιχωμάτων γίνεται στην διεύθυνση όπου πρέπει να γίνει η αύξηση της αντοχής ή και στις δύο διευθύνσεις αν έχουμε γωνιακό υποστύλωμα. Τα τοιχώματα κατασκευάζονται συνήθως από έγχυτο σκυρόδεμα

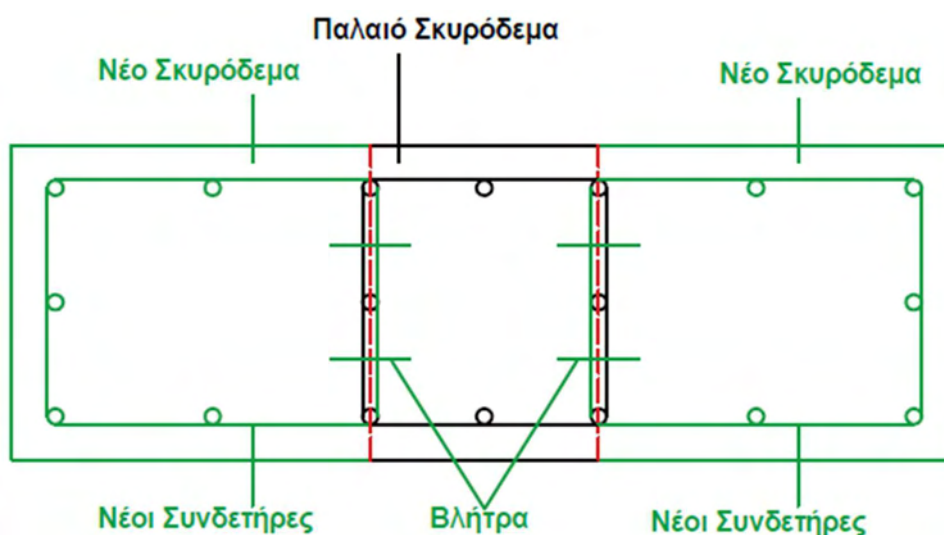
Η σύνδεση των παλαιών και των νέων στοιχείων γίνεται μετά από της εκτράχυνση της επικάλυψης σκυροδέματος στην επιφάνεια επαφής των παλαιών στοιχείων και χρήση διατμητικών συνδέσμων.

Επίσης πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα η περιοχή σύνδεσης των νέων στοιχείων με τις γειτονικές δοκούς καθώς η καμπτική ένταση στις δημιουργούμενες νέες παρειές στήριξης των δοκών είναι πολύ υψηλότερη από την προηγούμενη. Για αυτό πολλές φορές χρειάζεται να ενισχυθούν οι γειτονικές δοκοί για την αντιμετώπιση της έντασης. (Σ. Η. Δρίτσος, 2003).

2.2 Μανδύες Οπλισμένου Σκυροδέματος

Στην ενίσχυση των υποστυλωμάτων με μανδύες σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία δεν υπήρξε αύξηση της διατομής και στις δύο διευθύνσεις. Ουσιαστικά αυτό που πραγματοποιήθηκε μέσω των μανδυνών σκυροδέματος ήταν το να κατασκευαστεί ένα (ή δύο, βλ. σχήμα 2.2) νέο υποστύλωμα δίπλα στο παλιό. Η ενίσχυση υφιστάμενου υποστυλώματος κατ' αυτό τον τρόπο αποτελεί μία πολύ καλή λύση καθώς είναι πολύ αποτελεσματική. Το 'νέο' υποστύλωμα θα παραλάβει μόνο τα μελλοντικά διότι δεν μπορεί να ανακουφίσει το υφιστάμενο στοιχείο από τα φορτία που ήδη φέρει, εκτός εάν γίνει η αποφόρτιση του πριν τη κατασκευή του νέου υποστυλώματος.

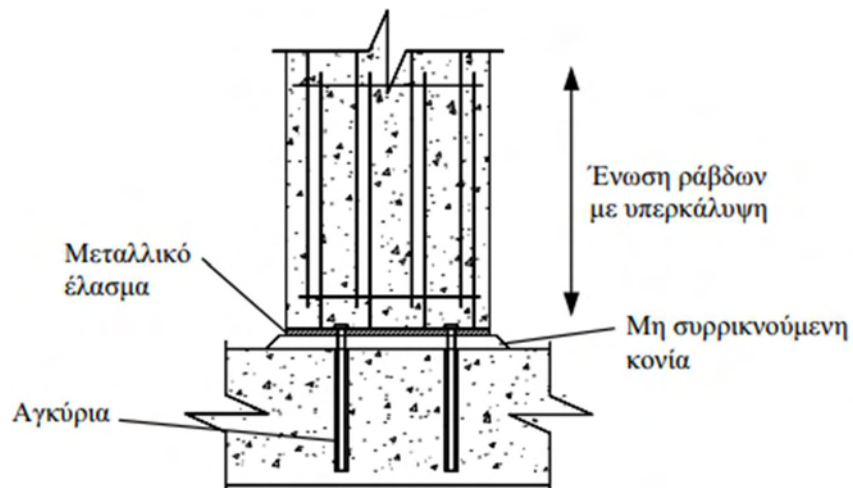
Σε κάποιες περιπτώσεις έγινε η τοποθέτηση του στην μία πλευρά του υφιστάμενου υποστυλώματος και σε κάποιες άλλες και στις δύο.



Σχήμα 2.2 Τοποθέτηση νέων υποστυλωμάτων και στις δύο πλευρές του υφιστάμενου υπ/τος.

Το κυριότερο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου ενίσχυσης υποστυλωμάτων είναι ο τρόπος θεμελίωσης του νέου στοιχείου καθώς συνήθως οι διαστάσεις του υπάρχοντος θεμελίου δεν επαρκούν για να θεμελιωθεί σε αυτό το νέο υποστύλωμα και ενδεχομένως να μην υπάρχει ο χώρος για κατασκευή νέου θεμελίου. Στην περίπτωση σύνδεσης του νέου υποστυλώματος με το υπάρχον θεμέλιο οι διαμήκεις ράβδοι ματίζονται σε βλήτρες τα οποία αγκυρώνονται μέσα

στο θεμέλιο. Σε περίπτωση που ο αριθμός των διαμήκων ράβδων είναι μεγάλος, προτιμότερο είναι να χρησιμοποιηθεί μία πλάκα έδρασης στην οποία συγκολλούνται με βλήτρα. Η πλάκα έδρασης συνδέεται με το θεμέλιο μέσω αγκυρίων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3 (Κ. Σπυράκος, 2007).



Σχήμα 2.3 Σύνδεση νέου υποστυλώματος σε υπάρχουσα θεμελίωση (Κ. Σπυράκος, 2007)

2.3 Χρησιμοποίηση σύνθετων υλικών.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας των δομικών υλικών τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκαν διάφορα νέα προϊόντα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές εφαρμογές της επιστήμης μας. Στις λύσεις που θα παρουσιαστούν στα επόμενα κεφάλαια χρησιμοποιήθηκαν ινοπλισμένα πολυμερή (fiber reinforced polymer composites) τα οποία είναι τύπου υφάσματος. Τα υφάσματα αυτά τοποθετούνται στις επιφάνειες των δομικών μελών, αποτελώντας εξωτερικό οπλισμό και μόνιμη ενίσχυση του η χρήση τους γίνεται κυρίως στις περιπτώσεις που η χρήση των συμβατικών υλικών δεν μας ικανοποιεί. (Σπυράκος, 2004)

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της χρήσης σύνθετων υλικών για την επισκευή και ενίσχυση κατασκευών έναντι της χρήσης συμβατικών υλικών είναι τα εξής:

- Απαιτείται μικρή προετοιμασία στο εργοτάξιο. Η εκκένωση του χώρου δεν είναι αναγκαία και η όχληση στους χρήστες είναι ελάχιστη.
- Η εφαρμογή τους είναι απλή.
- Οι διατάξεις του ενισχυόμενου μέλους παραμένουν ουσιαστικά αμετάβλητες.
- Το βάρος των σύνθετων υλικών είναι πολύ μικρό.
- Τα σύνθετα υλικά μπορούν να επιχριστούν και να χρωματιστούν σύμφωνα με τις αισθητικές απαιτήσεις του έργου
- Τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά των κατασκευών παραμένουν πρακτικά αμετάβλητα.
- Το κόστος εφαρμογής τους είναι ανάλογο των παραδοσιακών μεθόδων επισκευής και ενίσχυσης

Χρήσεις του ινοπλισμένου πολυμερούς (frp):

- Ενίσχυση υποστυλωμάτων και αύξηση της πλαστιμότητας. Η αύξηση της πλαστιμότητας επιτυγχάνεται μέσω της τριαξονικής θλίψης που αναπτύσσεται με την περίσφιξη, οπότε αυξάνεται η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος.
- Αύξηση αντοχής σε τέμνουσα.
- Αύξηση αντοχής σε κάμψη
- Έλεγχος ρηγμάτωσης και συρραφή ρωγμών

Ενώ η χρήση των ινοπλισμένων πολυμερών πρέπει να αποφεύγεται όταν:

- η κατάσταση της υπόστρωσης πάνω στην οποία θα εφαρμοστούν τα σύνθετα υλικά είναι άγνωστη ή έχει υποστεί σημαντική απομείωση της αντοχής τους.
- υπάρχει σε εξέλιξη σημαντική διάβρωση του σιδηροπλισμού
- δεν υπάρχει σιδηροπλισμός που εξασφαλίζει πλάστιμη συμπεριφορά του μέλους που πρόκειται να ενισχυθεί.

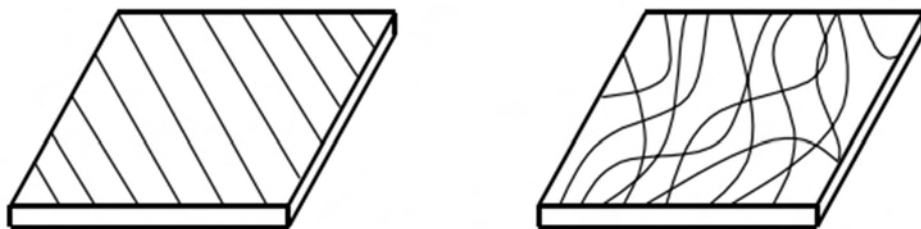
2.3.1 Κατηγορίες σύνθετων υλικών

Ανάλογα με τον συνδυασμό των υλικών, τα σύνθετα υλικά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- Σύνθετα υλικά ινών (fibrous composites): αποτελούνται από ίνες οι οποίες είτε είναι εμποτισμένες σε ρητίνη είτε όχι.
- Σύνθετα υλικά στρωμάτων (laminated composites): αποτελούνται από επίπεδα διαφόρων υλικών.
- Σύνθετα υλικά σωματιδίων (particulate composites): αποτελούνται από σωματίδια διαφόρων υλικών σε ένα σώμα.

Βάση του προσανατολισμού των ινών υπάρχουν δύο γενικές κατηγορίες σύνθετων υλικών ινών, τις εξής:

- Προσανατολισμένα (directional), των οποίων οι ίνες είναι συνεχείς και έχουν όλες τη ίδια διεύθυνση (Σχήμα 2.4α).
- Μη προσανατολισμένα (random), των οποίων οι ίνες είναι τυχαία τοποθετημένες στο συνθετικό υλικό (Σχήμα 2.4β).

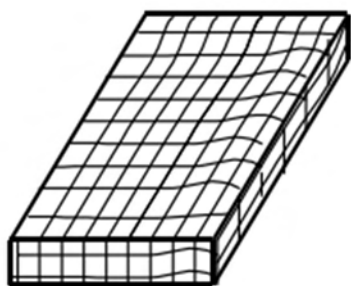


(α) Προσανατολισμένο σύνθετο υλικό. (β) Μη προσανατολισμένο σύνθετο υλικό.

Σχήμα 2.4 Γενικοί τύποι σύνθετων υλικών ινών (Σπυράκος, 2004)

Ανάλογα με τη χρήση του συνθετικού υλικού προσδιορίζεται ο τρόπος τοποθέτησης των ινών μέσα στο συνθετικό υλικό, απ' όπου προκύπτουν οι εξής 4 κατηγορίες:

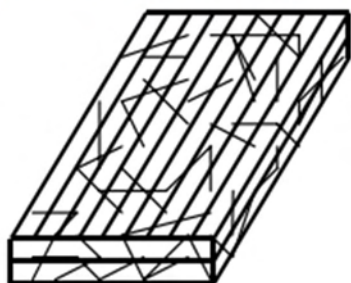
- i. Πλεκτών ινών (woven fiber), τα οποία αποτελούν συνεχές σώμα χωρίς επιμέρους στρώματα οπότε και δεν παρουσιάζουν πιθανότητες αποκόλλησης (Σχήμα 2.5α). Η αντοχή τους είναι μειωμένη λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης τάσεων.
- ii. Ασυνεχών ινών (chopped fiber), τα οποία έχουν κοντές ίνες διάσπαρτες μέσα στο συνθετικό υλικό (Σχήμα 2.5β). Οι μηχανικές τους αντοχές είναι κατά κανόνα κατώτερες των αντίστοιχων με συνεχείς ίνες.
- iii. Υβριδικά (hybrid), τα οποία αποτελούνται είτε από συνεχείς (Σχήμα 2.5γ) είτε από περισσότερους του ενός τύπου ινών (π.χ. ύαλο και γραφίτη). Χρησιμοποιούνται όταν το σύνθετο υλικό ινών δεν έχει τις επιθυμητές ιδιότητες από μόνο του.
- iv. Συνεχών ινών (continuous fiber) όπου στρώματα συνεχών ινών-ρητίνης τοποθετούνται στην επιθυμητή διεύθυνση και συνδέονται αποτελώντας ένα σώμα (Σχήμα 2.5δ). Παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή, αλλά είναι πιθανή η αποκόλληση μεταξύ των στρωμάτων.



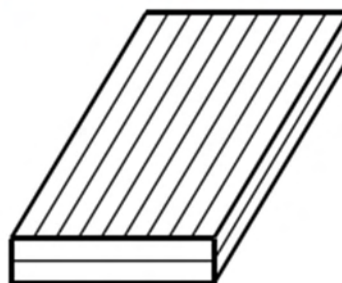
(α) Σύνθετο υλικό πλεκτών ινών.



(β) Σύνθετο υλικό ασυνεχών ινών.



(γ) Υβριδικό σύνθετο υλικό.



(δ) Σύνθετο υλικό συνεχών ινών.

Σχήμα 2.5 Τύποι σύνθετων υλικών ινών. (Σπυράκος, 2004)

Κεφάλαιο 3 Προσομοίωση και Αποτίμηση Φέρουσας Ικανότητάς Υφιστάμενου Κτιρίου

3.1 Γενικά

Η ακόλουθη μελέτη γίνεται για μία διώροφη οικοδομή η οποία βρίσκεται επί της οδού Ερμού στην πόλη του Βόλου. Η περιοχή στην οποία βρίσκεται το κτίριο είναι ο κεντρικό πεζόδρομος της πόλης και στο ισόγειο στεγάζονται καταστήματα ενώ στους πάνω ορόφους οικείες-γραφεία. Οι δύο όψεις της οικοδομής είναι επί της οδού Ερμού και της οδού Τοπάλη αντίστοιχα ενώ οι δύο άλλες είναι ‘τυφλές’. Η οικοδομή αυτή κτίστηκε το 1966, αυτήν τη στιγμή γίνεται κανονικά η χρήση του κτιρίου, δεν έχει υποστεί εμφανείς βλάβες από πρόσφατο σεισμό όμως λόγω της παλαιότητας του κτιρίου η ανάγκη αποτίμησης Φέρουσας Ικανότητας και το ενδεχόμενο ενίσχυσής του κρίνεται επιτακτική. Για την προσομοίωση του κτιρίου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Fespa της εταιρείας LH Λογισμική.

3.2 Περιγραφή Διαδικασίας Προσομοίωσης και Αποτίμησης του Κτιρίου

Η προσομοίωση και η αποτίμηση της Φέρουσας Ικανότητας του κτιρίου αποτελεί το πρώτο στάδιο και το πιο βασικό της μελέτης μας καθώς πρέπει να μεταφέρουμε την ακριβή κατάσταση της οικοδομής στο λογισμικό και έπειτα βάσει των αποτελεσμάτων της αποτίμησης θα κρίνουμε με ποιον τρόπο θα επέμβουμε στην οικοδομή. Τα βήματα που ακολουθήσαμε ήταν τα εξής:

1. Εισαγωγή των γεωμετρικών δεδομένων και δημιουργία του προσομοιώματος στο Fespa.
2. Επίλυση και όπλιση του προσομοιώματος με τον ισχύοντα κανονισμό κατά τον χρόνο κατασκευής, ώστε να προκύψουν οπλισμοί οι οποίοι να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση εργασίας για να διευκολυνθεί η εισαγωγή των υφιστάμενων οπλισμών στο μοντέλο.
3. Διόρθωση των οπλισμών που έχουν προκύψει από το προηγούμενο βήμα έτσι ώστε να αντιπροσωπεύουν τους υπάρχοντες που έχει η κατασκευή μας.
4. Καθορισμός κάθε μέλους ως υφιστάμενου. (στην περίπτωση μας όλα είναι υφιστάμενο αφού κανείς δεν έχει επέμβει στην κατασκευή ως τώρα)
5. Καθορισμός κάθε μέλους ως πρωτεύοντος ή δευτερεύοντος
6. Προσδιορισμός της στάθμης αξιολογίας δεδομένων (ΣΑΔ) και των μέσων τιμών για τις αντοχές σκυροδέματος και του χάλυβα.
7. Καθορισμός της στάθμης επιτελεστικότητας για την οποία θα γίνει ο έλεγχος καθώς και της σεισμικής απαίτησης που αντιστοιχεί σε αυτήν.
8. Επίλυση του προσομοιώματος κατά την οποία προκύπτει η καμπύλη ικανότητας, το φάσμα απαίτησης, ο προσδιορισμός της στοχευμένης μετακίνησης και ο υπολογισμός των συντελεστών επάρκειας κάθε μέλους για κάθε εξεταζόμενη στάθμη επιτελεστικότητας.
9. **A. Αξιολόγηση** των αποτελεσμάτων για το κτίριο συνολικά
B. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για κάθε μέλος
10. Εξετάζουμε αν απαιτείται ενίσχυση κάποιων μελών ή καθορισμός κάποιων άλλων ως δευτερευόντων, ή μείωση των απαιτήσεων.

3.3 Δημιουργία Προσομοιώματος

Αρχικά μέσω των σχεδιαστικών εργαλείων του λογισμικού Fespa αποτυπώθηκε ο φέρον οργανισμός του κτιρίου. Η διαδικασία αυτή έγινε με απόλυτη ακρίβεια έτσι ώστε να προκύψουν τα σωστά αποτελέσματα. Έπειτα υπολογίστηκαν και επιβλήθηκαν τα φορτία των πλακών και των δοκών ενώ στην συνέχεια επιλέχθηκαν τα υλικά του κτιρίου, τα σεισμικά χαρακτηριστικά του και τα χαρακτηριστικά του εδάφους.

3.3.1 Υλικά Κατασκευής

Το κτίριο κτίστηκε το 1965 και χρησιμοποιήθηκε μόνο Οπλισμένο Σκυρόδεμα.

- Σκυρόδεμα ποιότητας : C12/15
- Χάλυβας ποιότητας : S220

3.3.2 Χαρακτηριστικά Εδάφους

- Δείκτης εδάφους : $K_s = 18000.00 \text{ kN/m}^2$
- Επιτρεπόμενη τάση εδάφους : $\sigma_{επ} = 250.00 \text{ kN/m}^2$

3.3.3 Σπουδαιότητα Κτιρίου

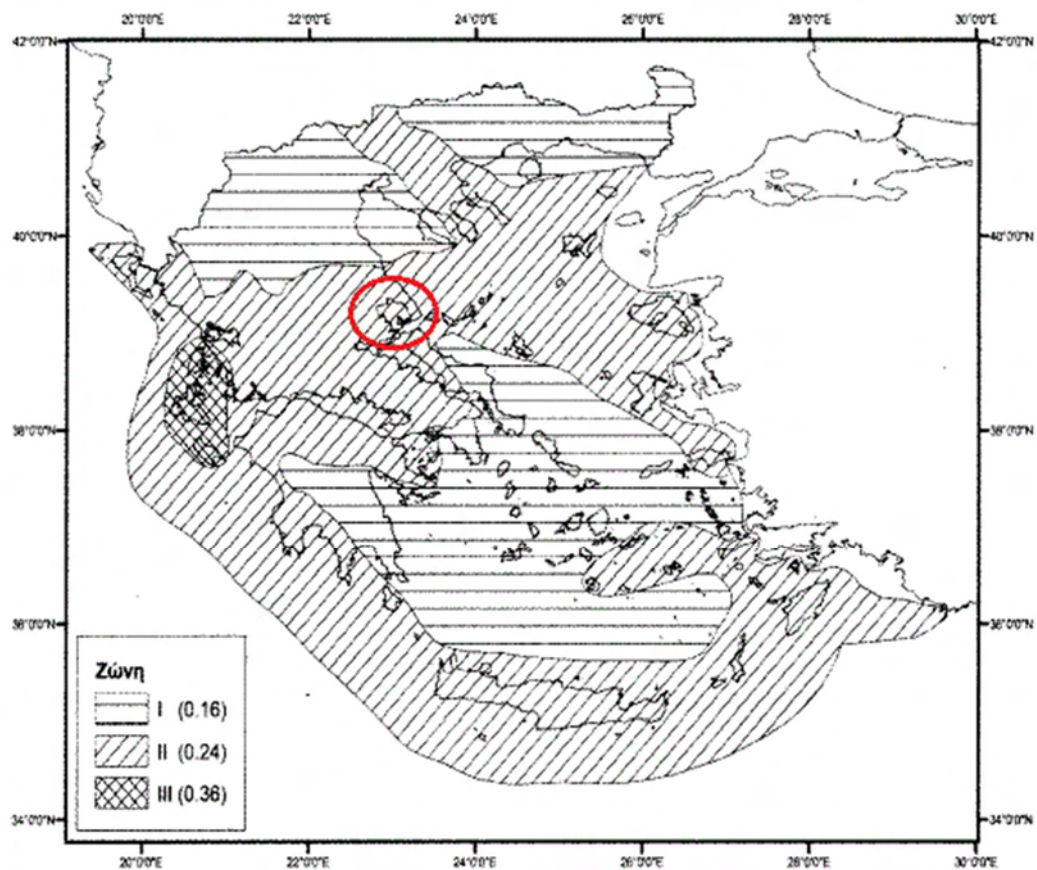
Στο κτίριο στεγάζονται στο ισόγειο εμπορικά καταστήματα ενώ στους πάνω ορόφους βρίσκονται οικείες-γραφεία. Οπότε η κατηγορία σπουδαιότητας που βρίσκεται το κτίριο είναι η **Κατηγορία Σπουδαιότητας II** (συνήθη κτίρια) και σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα του *EN 1998 μέρος 1* και τον πίνακα 4: Τιμές του Συντελεστή Σπουδαιότητας γ_i , η τιμή του συντελεστή μας είναι $\gamma_i = 1.00$.

3.3.4 Σεισμικά Χαρακτηριστικά περιοχής

Το κτίριο βρίσκεται στο κέντρο της πόλης του Βόλου και σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα του *EN 1998 μέρος 1* και το *πίνακα 2 : Κατανομή Νομών και δήμων στις ζώνες σεισμική δραστηριότητας*, βρισκόμαστε στην **Ζώνη Σεισμικής Δραστηριότητας Z2** και η τιμή της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης είναι $a_{gR} = 0.24g$.

15968

ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ (ΤΕΥΧΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ)



Σχήμα 3.0 Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας (Ο.Α.Σ.Π 2003)

3.3.5 Περιγραφή δομικών μελών του κτιρίου

Πλάκες

Οι πλάκες του κτιρίου έχουν όλες το ίδιο πάχος και η πλειοψηφία τους έχουν σχήμα ορθογώνιου παραλληλόγραμμου ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι στις πλάκες του μεσοπατώματος εδράζονται οι τρεις του πλευρές σε δοκούς ενώ η τέταρτη είναι ελεύθερο άκρο. Ενώ οι πλάκες του 1^{ου}, 2^{ου}, 3^{ου} ορόφου και του δώματος ακολουθούν την ίδια κάτοψη (κάτοψη τυπικού ορόφου) και είναι όλες τετραέριστες πλην του πλατύσκαλου. Το πάχος των πλακών είναι **h = 12 cm**.

Δοκοί

Οι δοκοί του κτιρίου έχουν όλες την ίδια γεωμετρία (25/50) αλλά δεν έχουν όλες τον ίδιο οπλισμό. Τα άκρα των δοκών στηρίζονται σε υποστυλώματα πλην δύο δοκών στην κάτοψη του τυπικού ορόφου που το ένα τους άκρο στηρίζεται σε υποστύλωμα ενώ το άλλο σε δοκό (δοκός επί δοκού). Επίσης όλες οι δοκοί είναι πλακοδοκοί και την προσομοίωση τους λαμβάνουμε υπόψιν το συνεργαζόμενο πλάτος της πλακοδοκού.

Υποστυλώματα

Το κτίριο μας αποτελείται από 21 υποστυλώματα τα οποία είναι ίδιας διατομής (40x40) και έχουν ίδιο οπλισμό. Τα υποστυλώματα μας είναι σταθερής διατομής, δηλαδή συνεχίζουν με την ίδια διατομή μέχρι τον τελευταίο όροφο. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι η οικοδομή δεν έχει κανένα τοίχωμα.

Οπλισμοί δομικών μελών

Μετά την εισαγωγή των γεωμετρικών διαστάσεων των δομικών μελών έγινε μια πρώτη επίλυση και όπλιση του προσομοιώματος μας μέσω του Fespa και έπειτα αυτοί οι οπλισμοί τροποποιήθηκαν για να εισάγουμε τους οπλισμούς που έχει το κτίριο.

3.3.6 Φορτία

- **Μόνιμες Φορτίσεις**

- Ίδιο βάρος:

Η κατασκευή είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα και επιλέχθηκε βάρος σκυροδέματος **25 kN/m³**.

- Επικάλυψη δαπέδων:

Σε όλες τις πλάκες επιβλήθηκε μόνιμο φορτία ίσο με **1.0 kN/m²**.

- Επικάλυψη δώματος:

Στις πλάκες του δώματος επιβλήθηκε μόνιμο φορτίο ίσο με **2.0 kN/m²**.

- Επικάλυψη πλάκας κλιμακοστασίου:

Στις πλάκες του κλιμακοστασίου επιβλήθηκε φορτίο ίσο με **1.0 kN/m²**.

- Δρομική οπτοπλινθοδομή:

Όλοι οι εσωτερικοί τοίχοι του κτιρίου είναι κτισμένοι με δρομική οπτοπλινθοδομή της οποίας το βάρος είναι ίσο με **2.1 kN/m²**.

- Μπατική οπτοπλινθοδομή:

Όλοι οι εξωτερικοί τοίχοι του κτιρίου είναι κτισμένοι με μπατική οπτοπλινθοδομή της οποίας το βάρος είναι ίσο με **3.6 kN/m²**.

- **Μεταβλητές φορτίσεις,**

- Δάπεδα κατοικιών:

Το επιβαλλόμενο κινητό φορτία των δαπέδων κατοικιών είναι ίσο με **2.0 kN/m²**.

- Δάπεδα καταστημάτων:

Το επιβαλλόμενο κινητό φορτία των δαπέδων καταστημάτων είναι ίσο με

3.5 kN/m².

- Δάπεδα κλιμακοστασίου:

Το επιβαλλόμενο κινητό φορτία των δαπέδων κλιμάκων είναι ίσο με **3.5 kN/m²**.

- Δάπεδα πλατύσκαλων:

Το επιβαλλόμενο κινητό φορτία των δαπέδων πλατύσκαλων είναι ίσο με

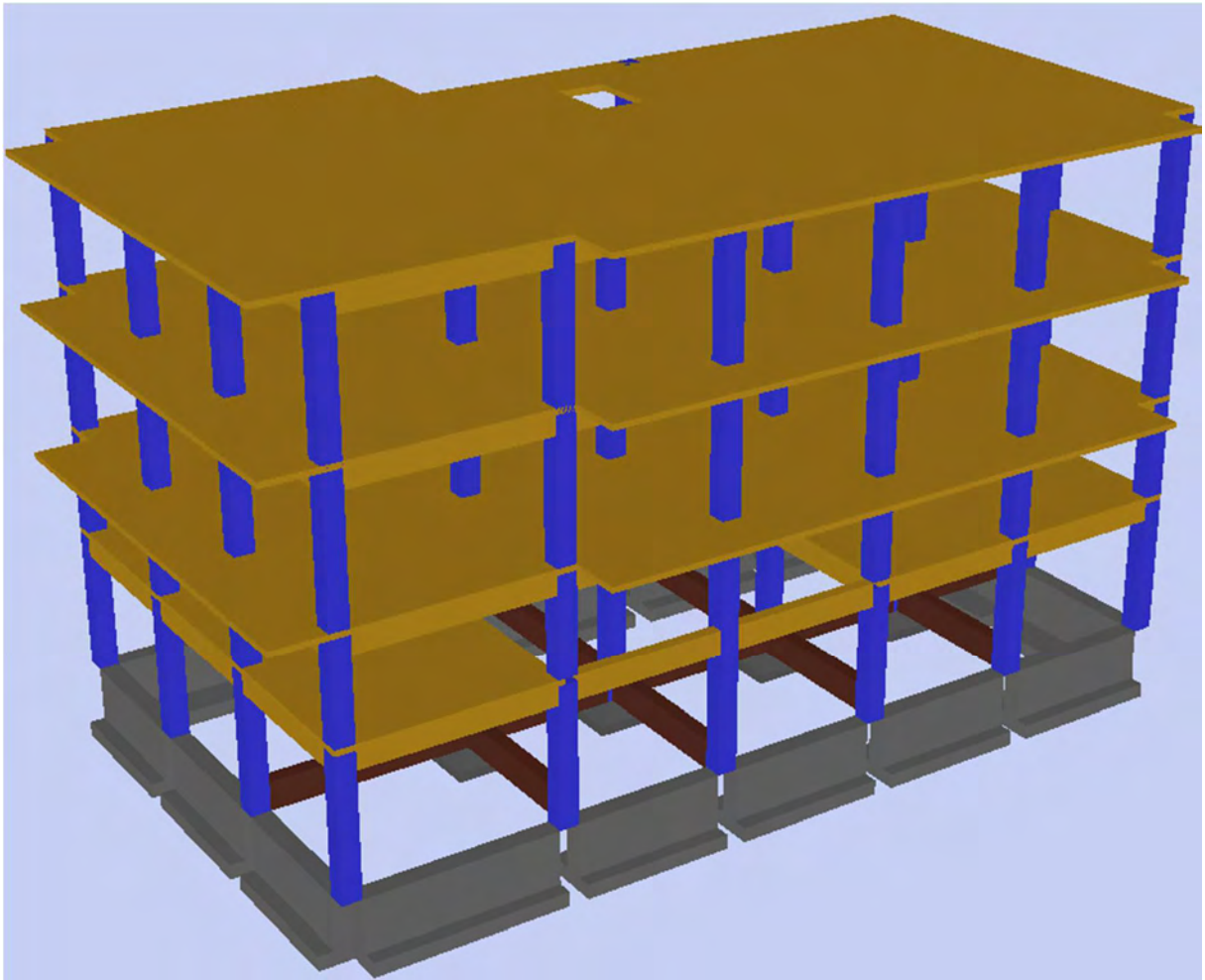
3.5 kN/m².

- Δάπεδα εξωστών:

Το επιβαλλόμενο κινητό φορτία των δαπέδων εξωστών είναι ίσο με **5.0 kN/m²**

3.4 Αναλυτική περιγραφή κτιρίου

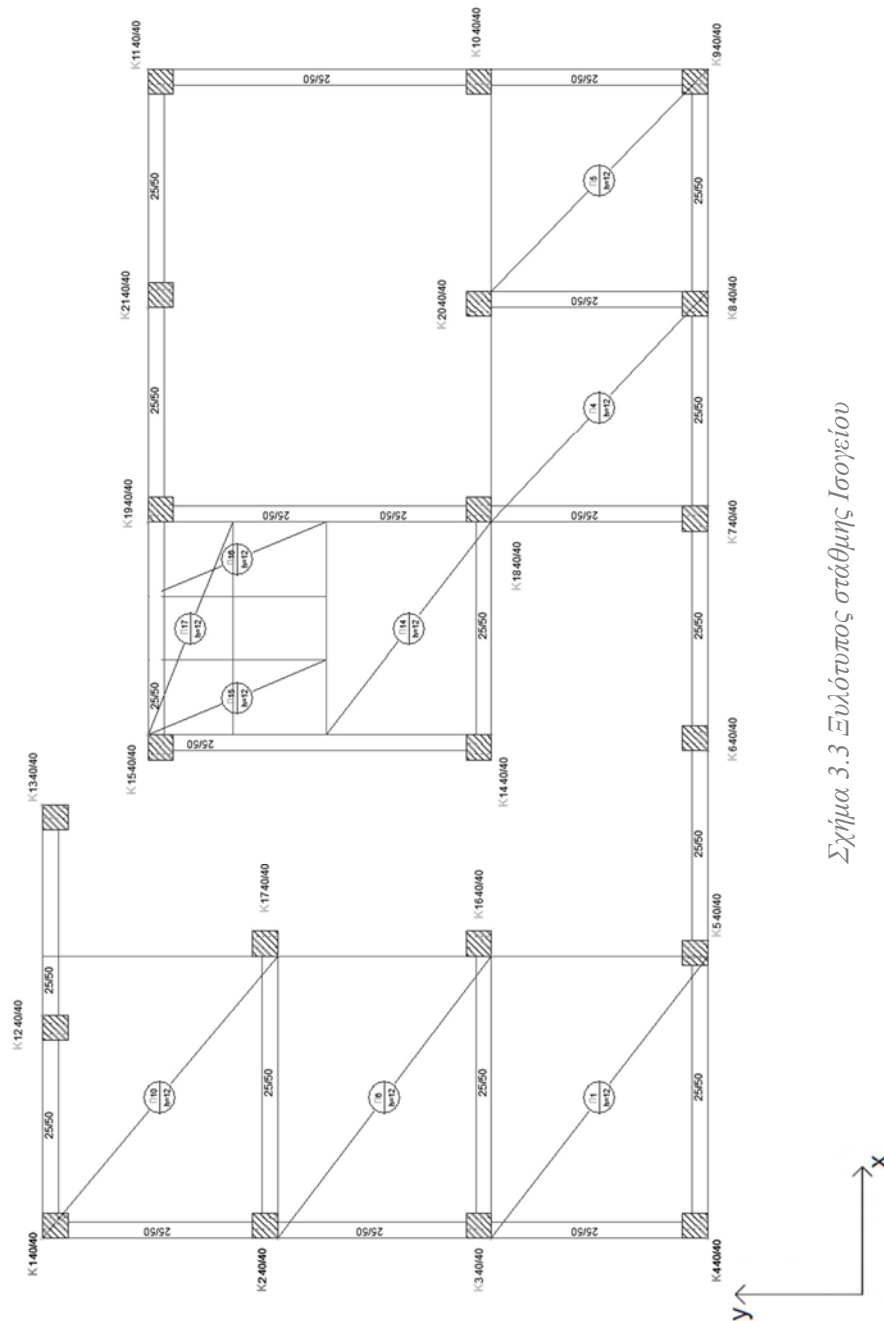
Σε αυτή την ενότητα, αφού έχει ολοκληρωθεί η εισαγωγή των δομικών μελών, θα γίνει η αναλυτική περιγραφή του κάθε ορόφου του κτιρίου καθώς επίσης θα δείξουμε και τα σχέδια των ξυλοτύπων του κάθε ορόφου.



Σχήμα 3.1 Τρισδιάστατη Απεικόνιση του Κτιρίου

3.4.2 Στάθμη οροφής ισογείου (Στάθμη 0)

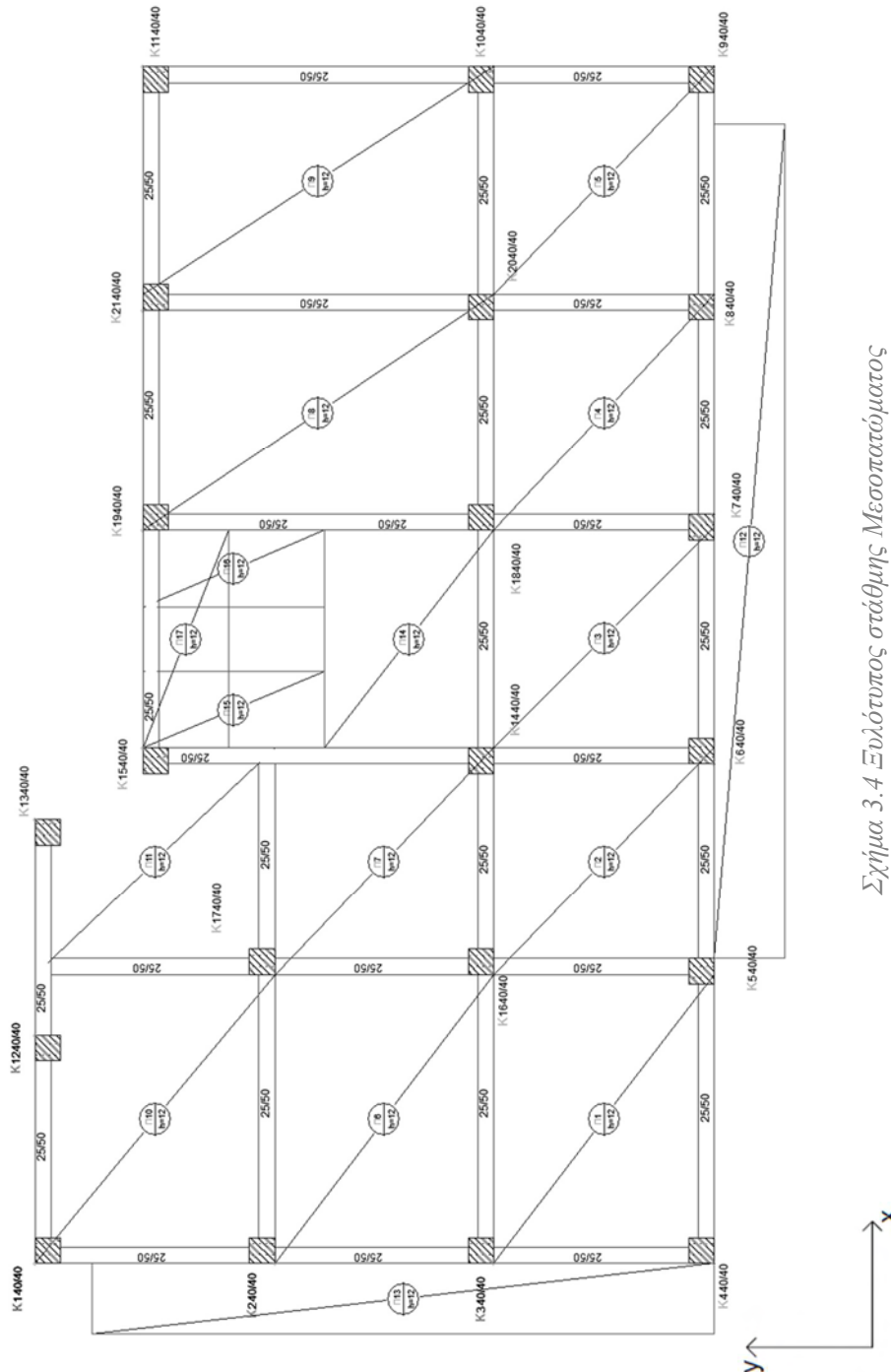
Η στάθμη της οροφής ισογείου βρίσκεται 3.00 m πάνω από τη στάθμη του εδάφους. Στον ξυλότυπο που παρατίθεται παρακάτω παρατηρείται ότι υπάρχουν μόλις 5 πλάκες οι οποίες είναι τα πατάκια των καταστημάτων.



Σχήμα 3.3 Ξυλότυπος στάθμης Ισογείου

3.4.3 Στάθμη οροφής μεσοπατώματος (Στάθμη 1)

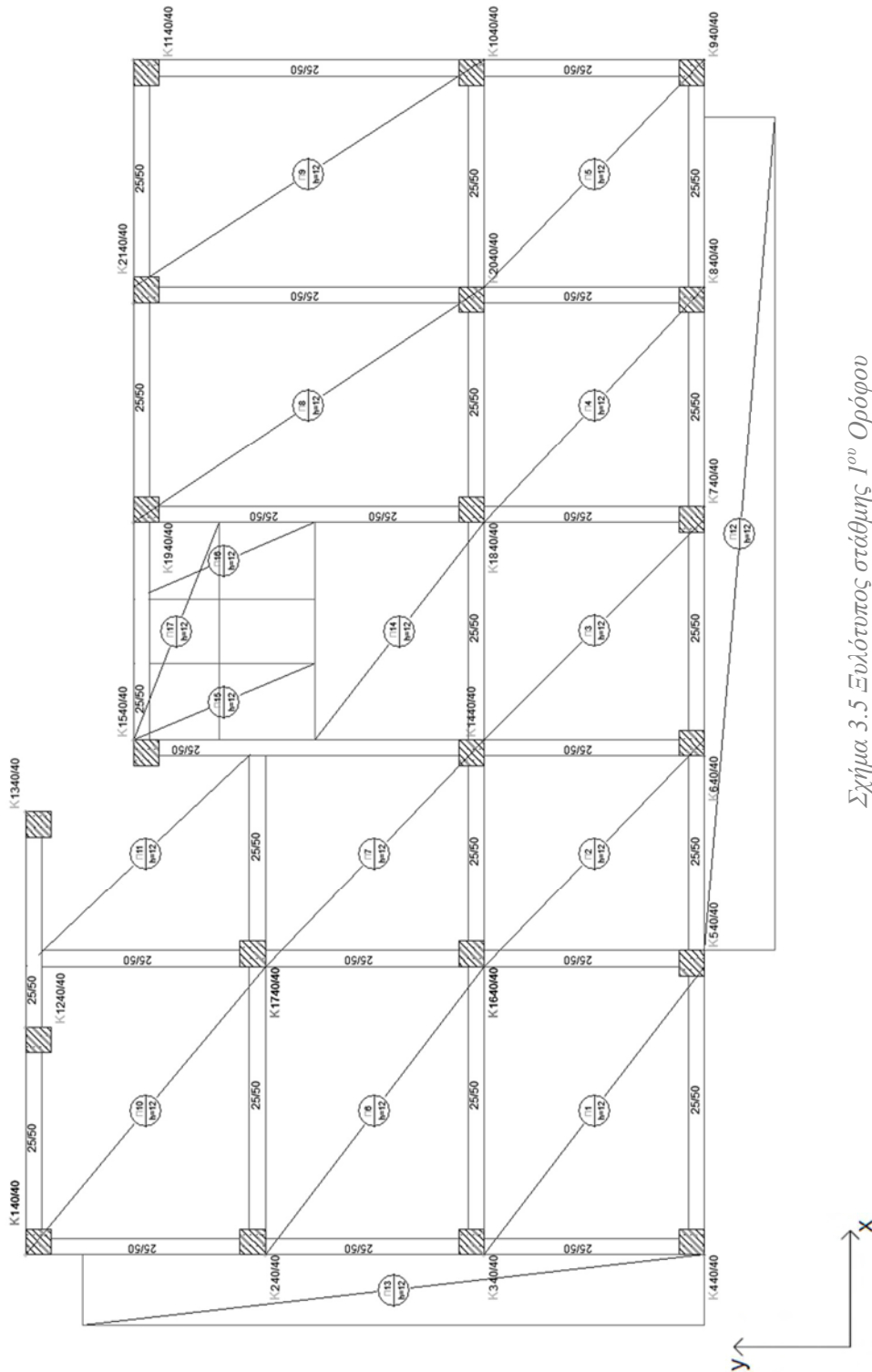
Η στάθμη της οροφής του μεσοπατώματος βρίσκεται 5.15 m πάνω από τη στάθμη του εδάφους.



Σχήμα 3.4 Ενλότυπος στάθμης Μεσοπατώματος

3.4.4 Στάθμη οροφής του Ορόφου 1 (Στάθμη 2)

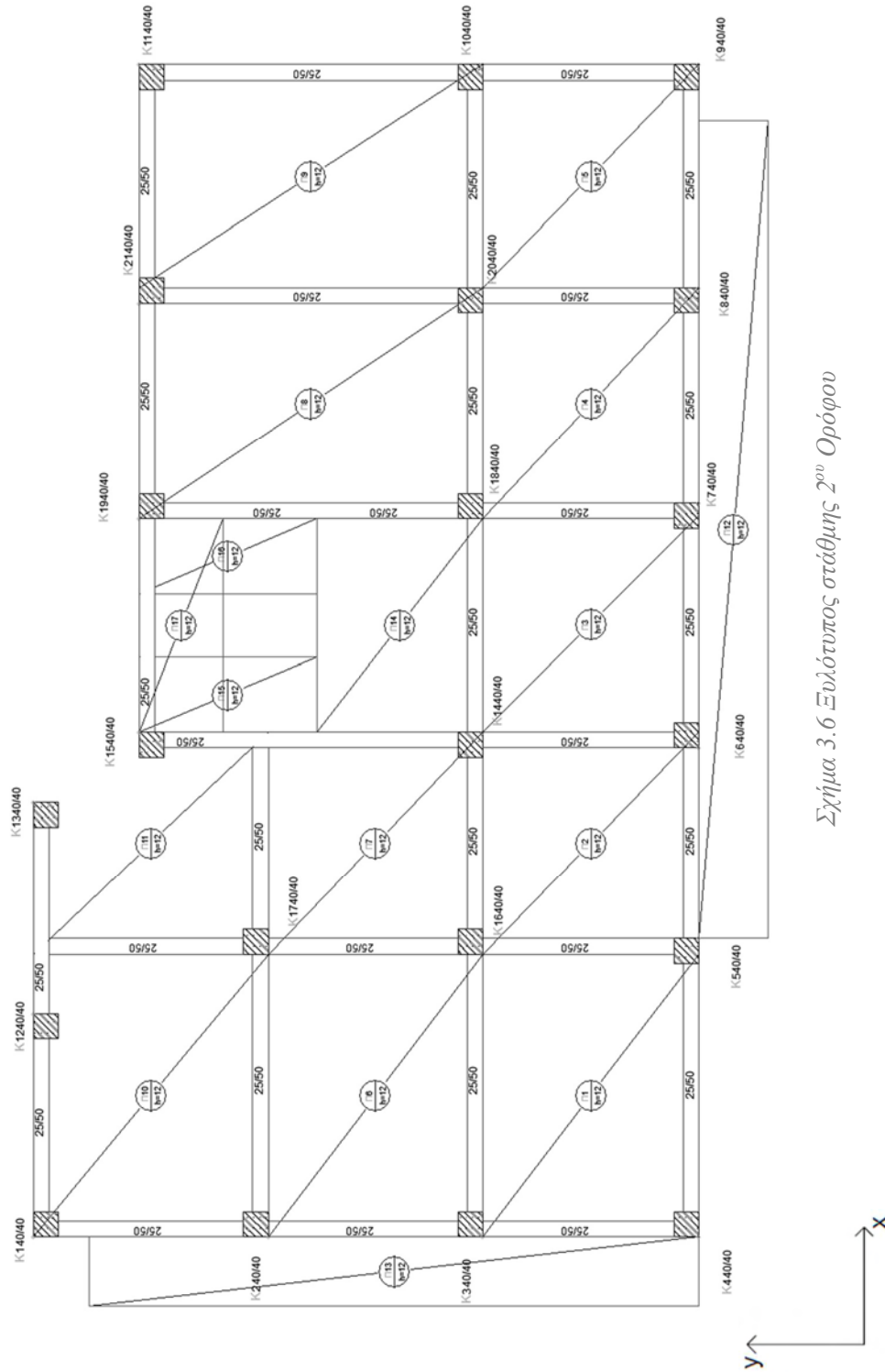
Η στάθμη της οροφής του ορόφου 1 βρίσκεται 8.15 m πάνω από τη στάθμη του εδάφους.



Σχήμα 3.5 Εξιδιόντωση στάθμης 1^{ου} Ορόφου

3.4.5 Στάθμη οροφής του Ορόφου 2 (Στάθμη 3)

Η στάθμη της οροφής του ορόφου 2 βρίσκεται 11.05 m πάνω από τη στάθμη του εδάφους.



Σχήμα 3.6. Ενδιάμεσος στάθμης 2^{ου} Ορόφου

3.4.6 Δυστρεψία κτιρίου

Μετά την εισαγωγή του κτιρίου στο λογισμικό και την τοποθέτηση των υφιστάμενων οπλισμών, γίνεται η επίλυση του φορέα και οι έλεγχοι για την δυστρεψία του κάθε ορόφου του κτιρίου. Βλέποντας τους ξυλοτύπους των σταθμών παρατηρείτε ότι οι μάζες του κτιρίου είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες και δεν υπάρχει κάποια ιδιαιτερότητα.

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 για να είναι ένα κτίριο κανονικό σε κάτοψη πρέπει να πληρεί 2 βασικά κριτήρια τα οποία είναι τα εξής:

- $e_{ox} \leq 0.30 \cdot r_x$
- $r_x \geq l_s$

όπου

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

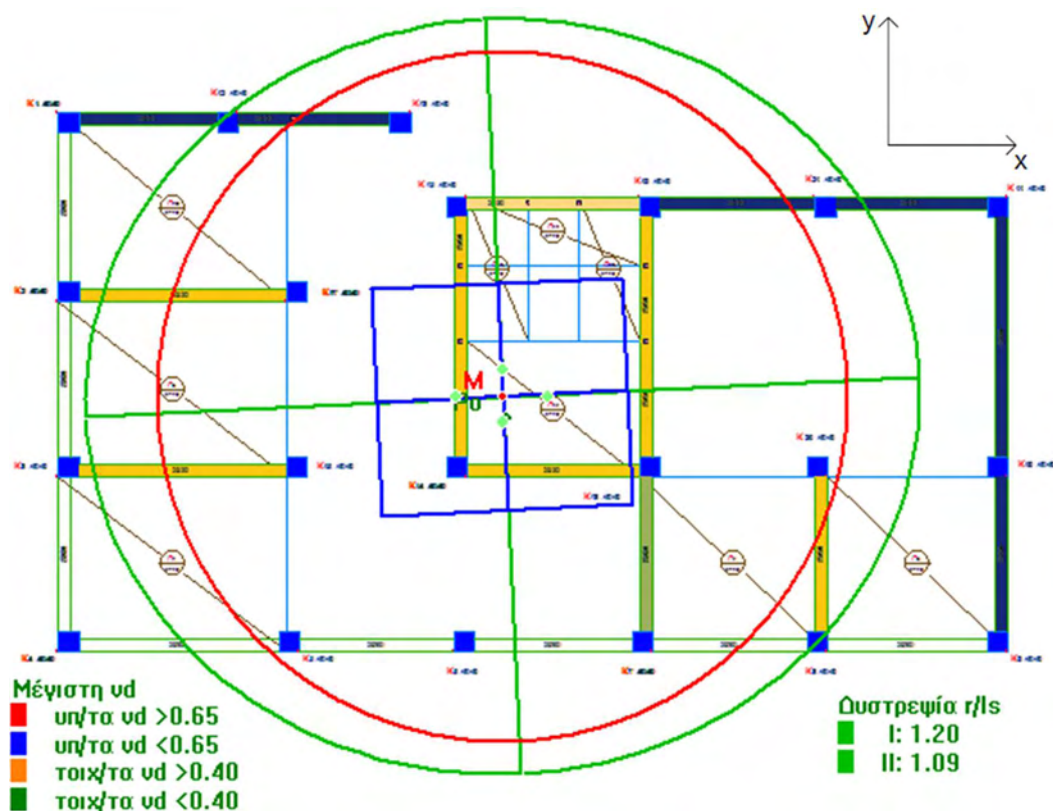
r_x είναι η τετραγωνική ρίζα του λόγου της δυστρεψίας προς την μεταφορική δυσκαμψία στην διεύθυνση y («ακτίνα δυστρεψίας»)

l_s είναι η ακτίνα αδράνειας της μάζας της πλάκας ορόφου σε κάτοψη

Στη συνέχεια παραθέτονται τα ακριβή αποτελέσματα για τις στάθμες 0, 1, 2 και 3.

3.4.6.1 Στάθμη 0 (οροφή ισογείου)

Αναλύοντας το Σχήμα 3.7 συμπεραίνεται ότι πληρείται ο περιορισμός εκκεντρότητας καθώς το σημείο P_0 βρίσκεται εντός του ορθογωνίου, δηλαδή ότι $e_{ox} < 0.3 r_x$. Επίσης ότι το κτίριο είναι στρεπτικά δύσκαμπτο αφού ο λόγος $r_x/l_s > 1$ πράγμα το οποίο απεικονίζεται σχηματικά αφού ο κύκλος αδράνειας βρίσκεται εντός του της έλλειψης δυστρεψιάς. Οπότε ικανοποιούνται οι περιορισμοί του Ευρωκώδικα 8 για κανονικότητα σε κάτοψη.

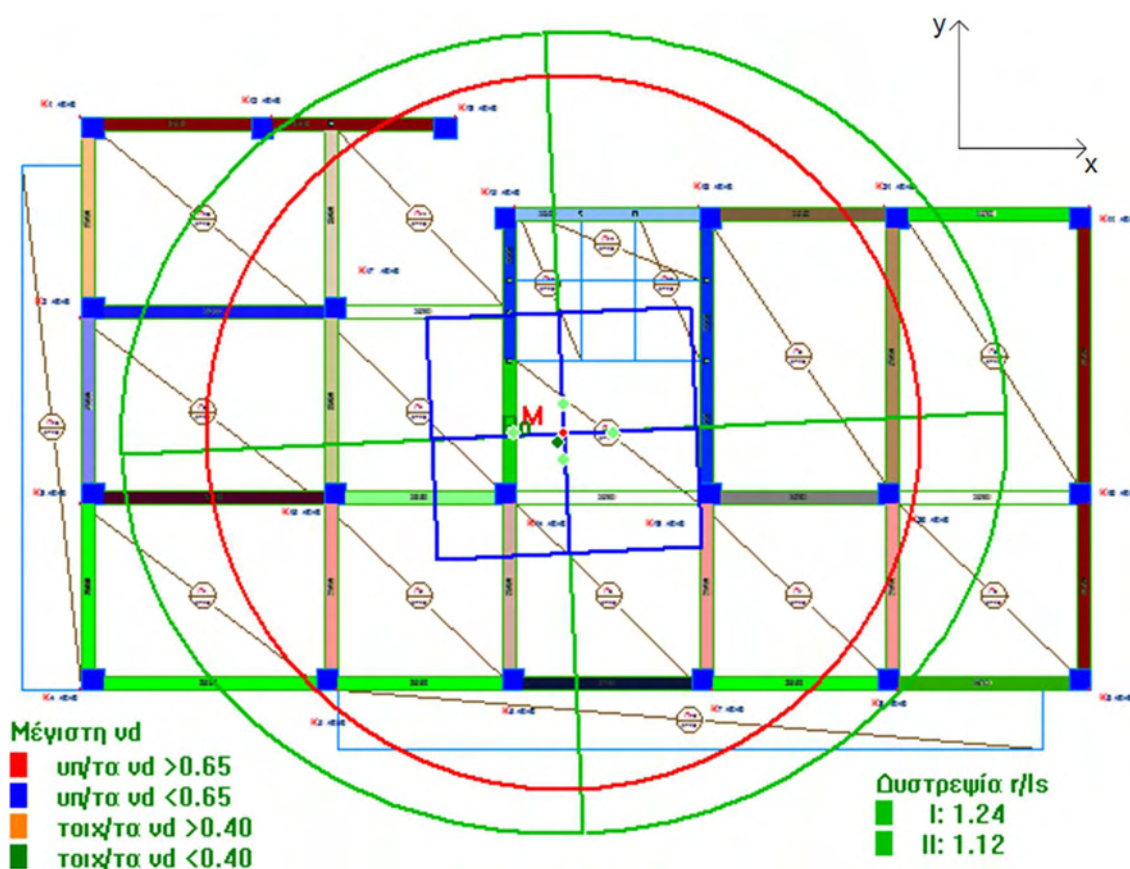


Σχήμα 3.7 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψιάς της στάθμης 0 (Υφιστάμενος Φορέας)

Επίσης στο παραπάνω σχήμα παρατηρείτε ότι όλα τα υποστυλώματα έχουν ανηγμένο αξονικό φορτίο $\nu_d < 0.65$. Έτσι πληρείται ο περιορισμός που βάσει ο Ευρωκώδικας 8 μέρος 1 για το ανηγμένο αξονικό φορτίο αντισεισμικών υποστυλωμάτων.

3.4.6.2 Στάθμη 1 (οροφή μεσοπατώματος)

Αναλύοντας το Σχήμα 3.8 συμπεραίνεται ότι πληρείται ο περιορισμός εκκεντρότητας καθώς το σημείο P_0 βρίσκεται εντός του ορθογωνίου, δηλαδή ότι $e_{ox} < 0.3 r_x$. Επίσης ότι το κτίριο είναι στρεπτικά δύσκαμπτο αφού ο λόγος $r_x/l_s > 1$ πράγμα το οποίο απεικονίζεται σχηματικά αφού ο κύκλος αδράνειας βρίσκεται εντός του της έλλειψης δυστρεψιάς. Οπότε ικανοποιούνται οι περιορισμοί του Ευρωκώδικα 8 για κανονικότητα σε κάτοψη.

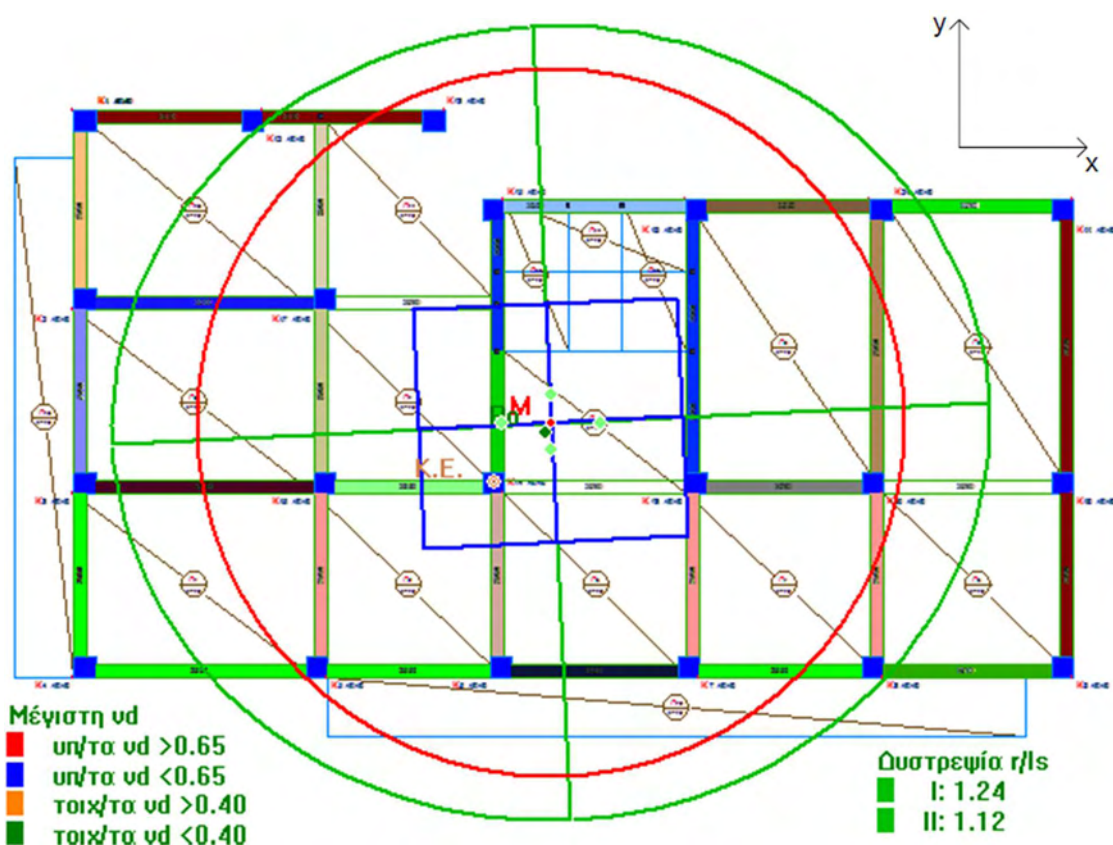


Σχήμα 3.8 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψιάς της στάθμης 1 (Υφιστάμενος Φορέας)

Επίσης στο παραπάνω σχήμα παρατηρείτε ότι όλα τα υποστυλώματα έχουν ανηγμένο αξονικό φορτίο $v_d < 0.65$. Έτσι πληρείται ο περιορισμός που βάσει ο Ευρωκώδικας 8 μέρος 1 για το ανηγμένο αξονικό φορτίο αντισεισμικών υποστυλωμάτων.

3.4.6.3 Στάθμη 2 (οροφή 1^ο ορόφου)

Αναλύοντας το Σχήμα 3.9 συμπεραίνεται ότι πληρείται ο περιορισμός εκκεντρότητας καθώς το σημείο P₀ βρίσκεται εντός του ορθογωνίου, δηλαδή ότι $e_{ox} < 0.3 r_x$. Επίσης ότι το κτίριο είναι στρεπτικά δύσκαμπτο αφού ο λόγος $r_x/l_s > 1$ πράγμα το οποίο απεικονίζεται σχηματικά αφού ο κύκλος αδράνειας βρίσκεται εντός του της έλλειψης δυστρεψιάς. Οπότε ικανοποιούνται οι περιορισμοί του Ευρωκώδικα 8 για κανονικότητα σε κάτοψη.

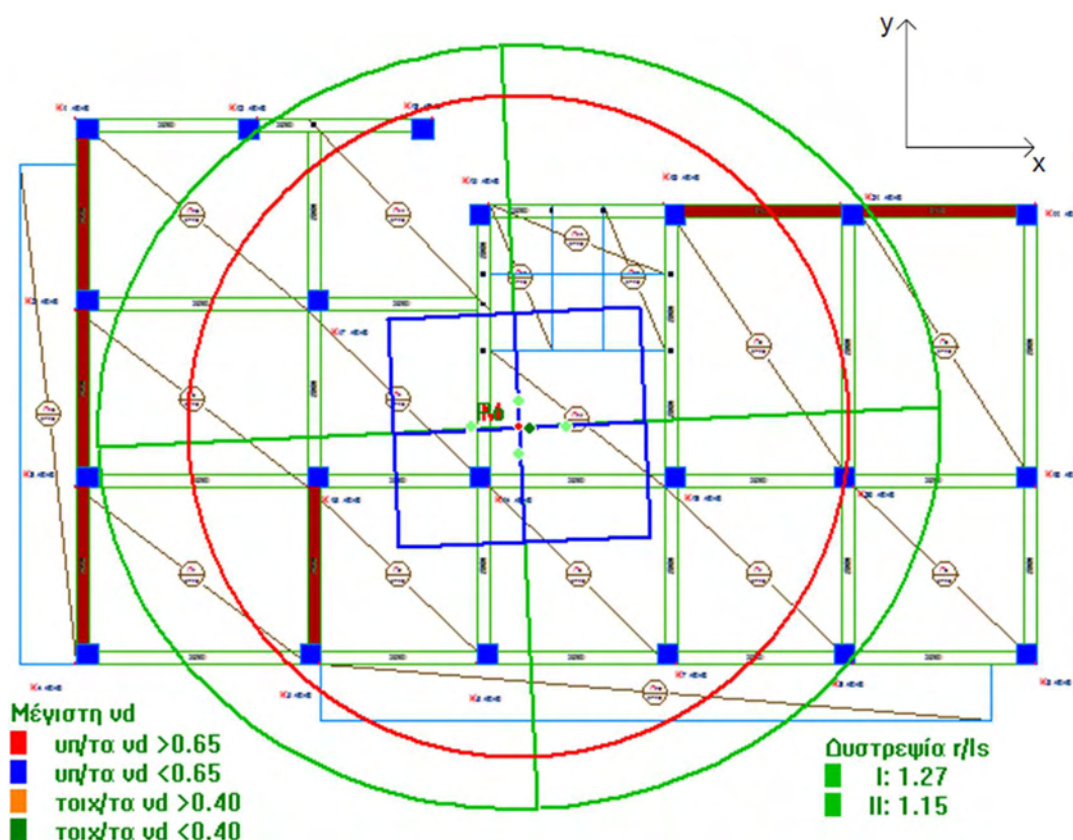


Σχήμα 3.9 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψιάς της στάθμης 2 (Υφιστάμενος Φορέας)

Επίσης στο παραπάνω σχήμα παρατηρείτε ότι όλα τα υποστυλώματα έχουν ανηγμένο αξονικό φορτίο $v_d < 0.65$. Έτσι πληρείται ο περιορισμός που βάσει ο Ευρωκώδικας 8 μέρος 1 για το ανηγμένο αξονικό φορτίο αντισεισμικών υποστυλωμάτων.

3.4.6.4 Στάθμη 3 (οροφή 2ου ορόφου)

Αναλύοντας το Σχήμα 3.10 συμπεραίνεται ότι πληρείται ο περιορισμός εκκεντρότητας καθώς το σημείο P_0 βρίσκεται εντός του ορθογωνίου, δηλαδή ότι $e_{ox} < 0.3 r_x$. Επίσης ότι το κτίριο είναι στρεπτικά δύσκαμπτο αφού ο λόγος $r_x/l_s > 1$ πράγμα το οποίο απεικονίζεται σχηματικά αφού ο κύκλος αδράνειας βρίσκεται εντός του της έλλειψης δυστρεψιάς. Οπότε ικανοποιούνται οι περιορισμοί του Ευρωκώδικα 8 για κανονικότητα σε κάτοψη.



Σχήμα 3.10 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψιάς της στάθμης 3 (Υφιστάμενος Φορέας)

Επίσης στο παραπάνω σχήμα παρατηρείτε ότι όλα τα υποστυλώματα έχουν ανηγμένο αξονικό φορτίο $v_d < 0.65$. Έτσι πληρείται ο περιορισμός που βάζει ο Ευρωκώδικας 8 μέρος 1 για το ανηγμένο αξονικό φορτίο αντισεισμικών υποστυλωμάτων.

3.5 Στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων (ΣΑΔ)

Με την στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων ουσιαστικά εκφράζει το πόσο σίγουροι είμαστε για τα δεδομένα που έχουμε. Οι στάθμες αξιοπιστίας είναι τρεις και είναι οι εξής:

- ΕΓ1 – Περιορισμένοι γνώση (Ανεκτή ΣΑΔ)
- ΕΓ2 – Κανονική γνώση (Ικανοποιητική ΣΑΔ)
- ΕΓ3 – Πλήρης γνώση (Υψηλή ΣΑΔ)

Το επίπεδο γνώσης καθορίζει τις τιμές των συντελεστών εμπιστοσύνης καθώς και τους επιμέρους συντελεστές ασφαλείας των υλικών γ_c και γ_s . Στον καθορισμό των σκελετικών διαγραμμάτων αντοχής M-θ υπεισέρχονται οι μέσες τιμές αντοχής του χάλυβα και του σκυροδέματος διαιρεμένες με τον συντελεστή εμπιστοσύνης, ενώ στον προσδιορισμό των αντοχών των πρωτεύοντων μελών σε τέμνουσα V_R διαιρούνται και με συντελεστές ασφαλείας.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το ποιο είναι το κατάλληλο επίπεδο γνώσης που πρέπει να επιλέξουμε είναι:

- Γεωμετρία:** οι γεωμετρικές ιδιότητες του δομικού συστήματος και εκείνες των μη φερόντων οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν την απόκριση του φορέα.
- Λεπτομέρειες:** αυτές περιλαμβάνουν την ποσότητα και την διαμόρφωση λεπτομερειών του οπλισμού, τη σύνδεση των διαφραγμάτων δαπέδου με τους κατακόρυφους φορείς αντίστασης, τη συνάφεια στις ενώσεις κονιάματος στην τοιχοποιία και τη φύση των οποιωνδήποτε στοιχείων οπλισμού στην τοιχοποιία.
- Υλικά:** οι μηχανικές ιδιότητες των συστατικών υλικών.

Σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουμε στα χέρια μας επιλέξαμε το επίπεδο γνώσης ΕΓ2 – 2 Κανονική γνώση.

Πίνακας 3.1 Συντελεστές εμπιστοσύνης Επίπεδο Γνώσης KL2

	Συντελεστής εμπιστοσύνης CFc & CFs	Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας	
		Σκυροδεμα γ_c	Χάλυβας γ_s
KL2 Κανονική Γνώση	1.20	1.50	1.15

3.6 Στάθμες επιτελεστικότητας

Στάθμη επιτελεστικότητας είναι η ελάχιστη στάθμη αντοχής (δηλαδή το αποδεκτό επίπεδο βλαβών) ανάλογα με την πιθανότητα εμφάνισης της σεισμικής δόνησης σχεδιασμού, δηλαδή στον καθορισμό του επιδιωκόμενου στόχου σεισμικής ικανότητας. Στον καθορισμό του επιδιωκόμενου πρέπει να ληφθεί υπόψιν η σπουδαιότητα του κτιρίου καθώς και ο επιθυμητός συνδυασμός ασφάλειας και κόστους.

Με βάση τη σπουδαιότητα του κτιρίου (ΣΠ) επιλέξαμε να ελεγχθεί το κτίριο για τις στάθμες επιτελεστικότητας **B2** (σημαντικές βλάβες) και **Γ1** (οιονεί κατάρρευση). Οι παράμετροι που θέσαμε για την κάθε στάθμη επιτελεστικότητας είναι οι ακόλουθοι:

- **B2** (1^η υπέρβαση ορίου επιτελεστικότητας σε υποστύλωμα ή κύρια δοκό)

Περίοδος επαναφοράς: 72 χρόνια

Πιθανότητα υπέρβασης: 50 %

- **Γ1** (1^η αστοχία υποστυλώματος ή κύριας δοκού)

Περίοδος επαναφοράς: 475 χρόνια

Πιθανότητα υπέρβασης: 10 %

3.7 Μέθοδος ανάλυσης

Η μέθοδος ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής είναι η μη-γραμμική στατική ανάλυση (Pushover). Η ανάλυση Pushover είναι η πλέον αποδεκτή μέθοδος ανάλυσης από τους περισσότερους σύγχρονους κανονισμούς. Η προτίμηση των κανονισμών στην ανάλυση Pushover οφείλεται στο ότι γίνεται χρήση μη γραμμικών προσομοιωμάτων των υλικών ενώ η σεισμική ένταση εκφράζεται μέσω μίας αυξανόμενης οριζόντιας φόρτισης και έτσι πετυχαίνουμε ακριβέστερη προσέγγιση της συμπεριφοράς των μελών.

Κατά την μέθοδο Pushover η κατασκευή φορτίζεται με τα κατακόρυφα μόνιμα και κινητά φορτία και με πλευρικά φορτία που αυξάνονται βαθμιαία μέχρι της τελικής κατάρρευσης. Έτσι παράγεται η Καμπύλη Ικανότητας η οποία εκφράζει την μη γραμμική σχέση μεταξύ του επιβαλλόμενου οριζόντιου φορτίου και της μετατόπισης κάποιου σημείου αναφοράς (λαμβάνοντας κάθε φορά υπόψη τη μειωμένη δυσκαμψία του φορέα λόγω της διαρροής των μελών).

Εκτός από τα την Καμπύλη Ικανότητας παράγονται και τα διαγράμματα Απαίτησης Ικανότητας (ADRS) με τα οποία θα πραγματοποιηθούν οι έλεγχοι για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας. Επίσης υπολογίζονται οι λόγοι επάρκειας κάθε μέλους της κατασκευής βάσει των οποίων θα ελέγξουμε αν χρειάζεται να επέμβουμε σε κάποιο μέλος.

Στην κατασκευή πρέπει να εφαρμοστούν τουλάχιστον δύο καθ' ύψος κατανομές των οριζόντιων φορτίσεων:

- Ομοιόμορφη κατανομή
- Ιδιομορφική κατανομή

ενώ πρέπει να αναφερθεί ότι επιλέχθηκε συντελεστής συνδυασμού εγκάρσιας φόρτισης 30%, σύμφωνα με ΚΑΝ.ΕΠΕ §5.4.9 & 5.7.3.6(γ), και επιλέχθηκε τυχηματική εκκεντρότητα κατά τις 2 διευθύνσεις της κάτοψης (x & y) οπότε προκύπτουν συνολικά 64 κατευθύνσεις φόρτισης. Επίσης επιλέχθηκε η μέθοδος ελέγχου των μετατοπίσεων, και όχι των δυνάμεων, διότι μη την μέθοδο αυτή υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στο πώς συμπεριφέρεται η κατασκευή.

3.8 Αποτελέσματα ανάλυσης Pushover

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της μη-γραμμική στατική ανάλυση (Pushover) για την ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης στις διευθύνσεις x , y . Παρακάτω θα γίνει παρουσίαση και ανάλυση των διαγραμμάτων δύναμης-μετακίνησης (F-d) και απαίτησης-ικανότητας (ADRS).

3.8.1 Ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης κατά διεύθυνση x

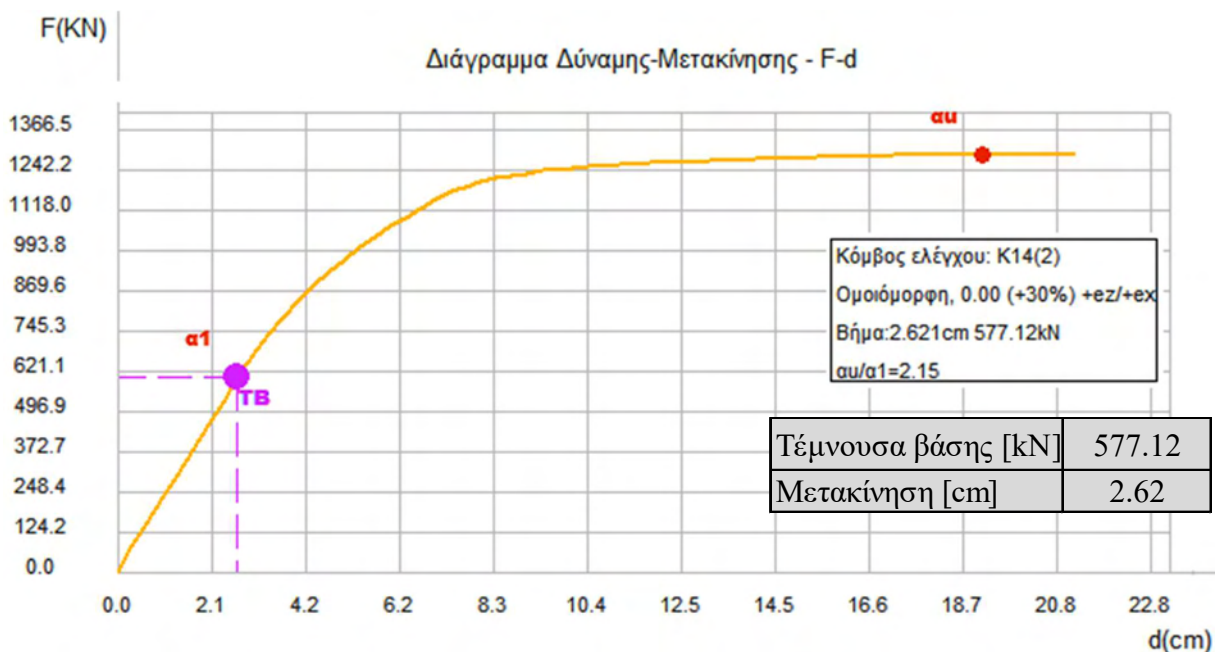
Κατά αυτή τη διεύθυνση του κτιρίου υπάρχουν περισσότερα πλαίσια, σε σχέση με τη διεύθυνση x , που θα αντισταθούν στη φόρτιση και τα υποστυλώματα είναι τετραγωνικά, δηλαδή έχουν ίδια δυσκαμψία ως προς τις δύο διευθύνσεις. Οπότε αυτό που αναμένεται είναι το διάγραμμα δύναμης-μετατόπισης να έχει πιο απότομες κλίσεις (δηλαδή μεγαλύτερη δυσκαμψία κατ' αυτή τη διεύθυνση) και να δημιουργηθεί σε μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης (F) η πλαστική άρθρωση κατάρρευσης a_u . Στη συνέχεια παραθέτονται τα διαγράμματα δύναμης μετατόπισης που προέκυψαν από την ανάλυση.

Διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης F-d

Τα διαγράμματα που θα παρουσιαστούν είναι σε τρεις διαφορετικές φάσεις της φόρτισης. Στο Σχήμα 3.11 είναι η στιγμή δημιουργίας της πρώτης πλαστικής άρθρωσης, στο Σχήμα 3.15 είναι η στιγμή που ο φορέας γίνεται μηχανισμός και στο σχήμα Σχήμα 3.13 τυχαία ενδιάμεση στιγμή.

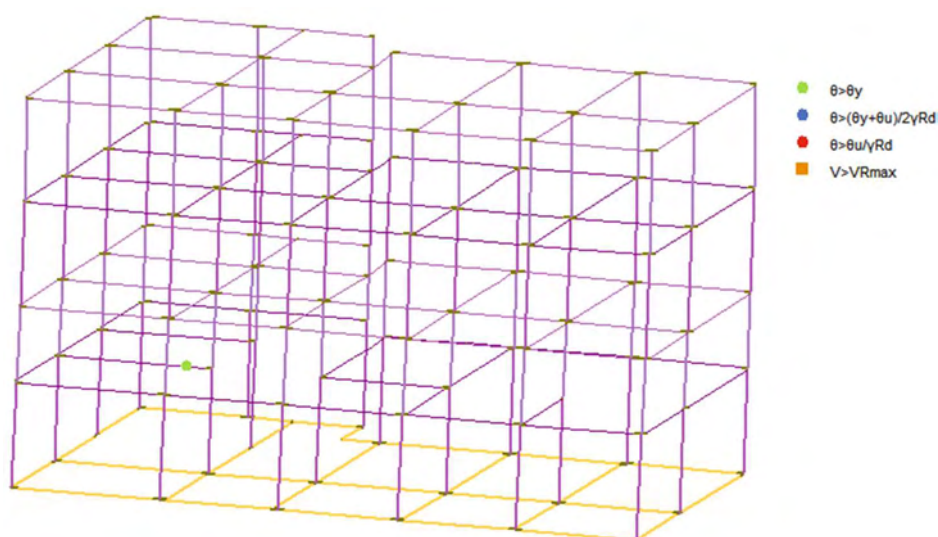
i. Σημείο α₁ – Σημείο 1^{ης} πλαστική άρθρωσης

Στο σημείο α₁ (Σχ. 3.11) δημιουργείται η πρώτη πλαστική άρθρωση στον φορέα, στη δοκό Δ2.1(0) και στο Σχήμα 3.12 βλέπουμε ότι έχει μία πράσινη κουκίδα πράγμα που σημαίνει ότι πληρεί το κριτήριο $\theta > \theta_y$. Μέχρι εκείνο το σημείο ο φορέας συμπεριφέρεται ελαστικά.



Σχήμα 3.11 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

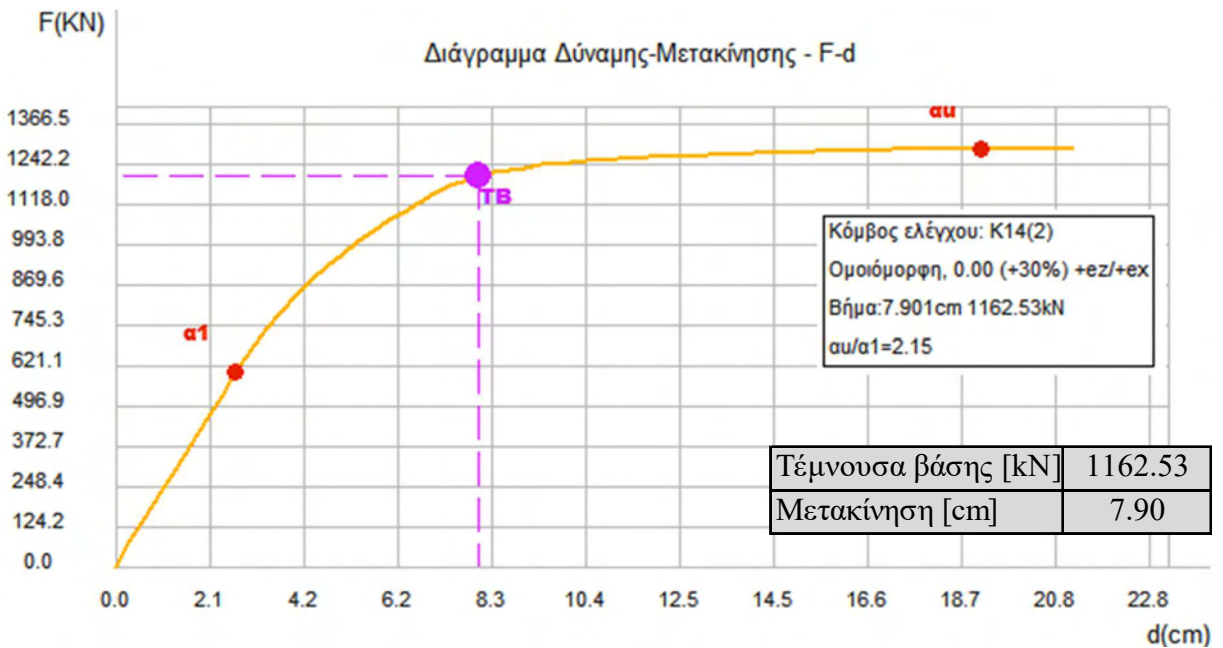
Θέση α₁: Δημιουργία 1^{ης} Πλαστικής Άρθρωσης (Υφιστάμενος Φορέας)



Σχήμα 3.12 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x, Θέση α₁ (Υφιστάμενος Φορέας)

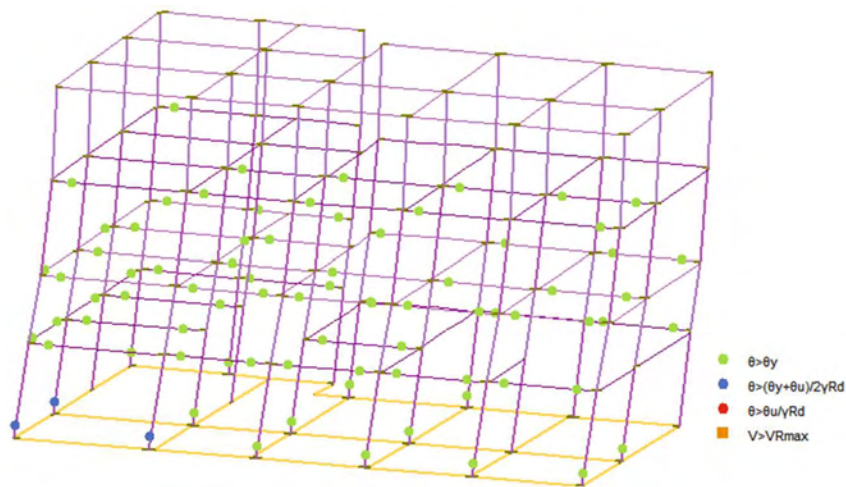
ii. Σημείο α₂ – Τυχαίο ενδιάμεσο σημείο

Στο σημείο α₂ (Σχ. 3.13) έχουν δημιουργηθεί και άλλες πλαστικές αρθρώσεις στον φορέα τόσο σε δοκούς όσο και σε υποστυλώματα. Τα άκρα των μελών που έχουν πράσινες κουκίδες ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > \theta_y$ ενώ τα άκρα των μελών που έχουν μπλε κουκίδες βρίσκονται στην στάθμη επιτελεστικότητας SD, δηλαδή ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > (\theta_u + \theta_y)2\gamma_{rd}$ με $\gamma_{rd} = 1.50$ για πρωτεύοντα μέλη και θ_u τη γωνία στροφής χορδής κατά την αστοχία.



Σχήμα 3.13 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

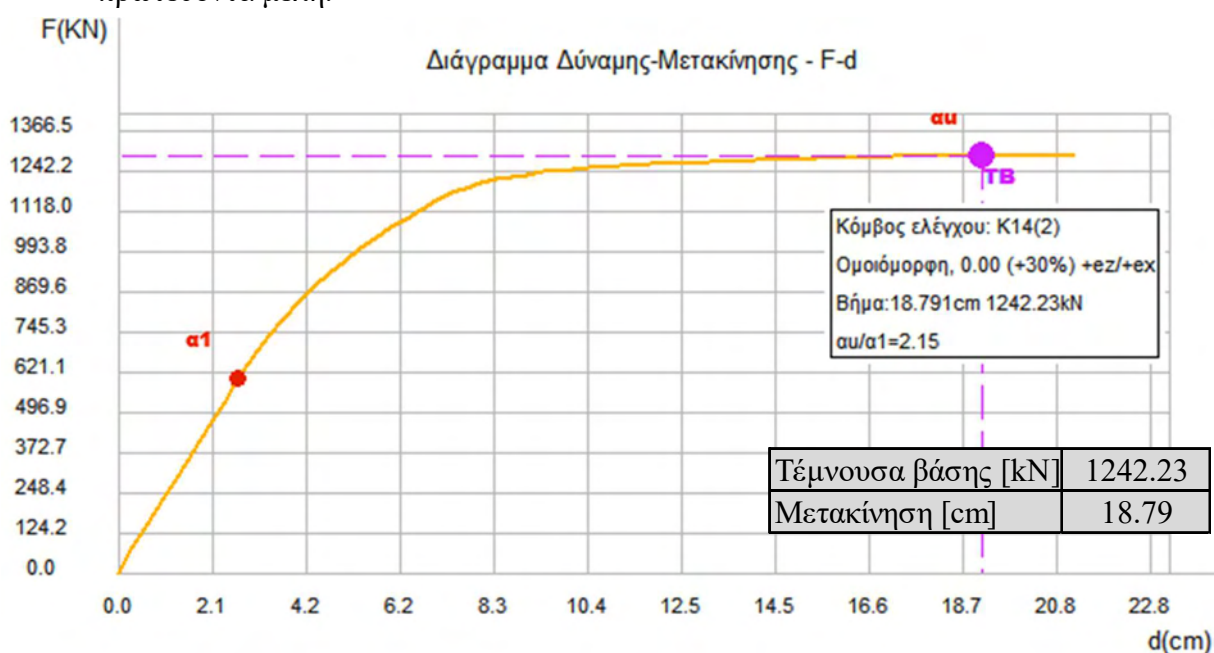
Θέση α₂: Αστοχία μελών στη σ.ε. SD (Υφιστάμενος Φορέας)



Σχήμα 3.14 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x, Θέση α₂ (Υφιστάμενος Φορέας)

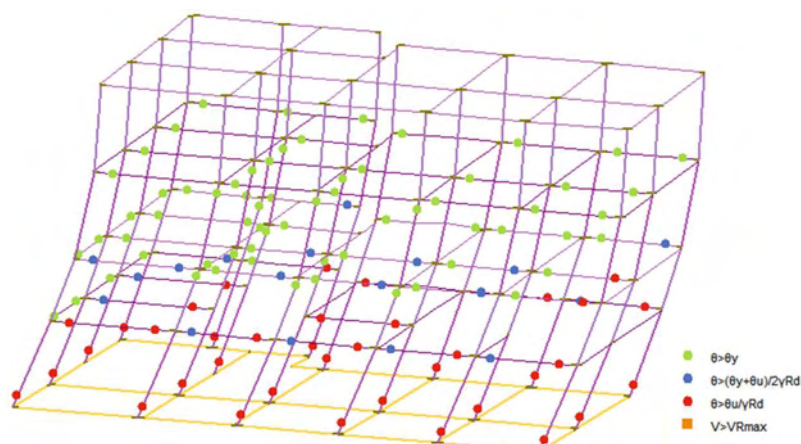
iii. Σημείο α_u – Σημείο κατάρρευσης

Στο σημείο α_u (Σχ. 3.15) δημιουργείται η πλαστική άρθρωση που προκαλεί την θεωρητική κατάρρευση του φορέα. Βλέποντας το Σχήμα 3.16 παρατηρούμε ότι υπάρχουν άκρα μελών που έχουν πράσινες και μπλε κουκίδες τα οποία ικανοποιούν τα κριτήρια που περιγράψαμε παραπάνω. Επίσης παρατηρούμε άκρα μελών τα οποία έχουν κόκκινες κουκίδες που σημαίνει ότι βρίσκονται στη στάθμη επιτελεστικότητας NC καθώς ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > (\theta_u + \theta_y)2\gamma_{rd}$ με $\gamma_{rd} = 1.50$ για πρωτεύοντα μέλη.



Σχήμα 3.15 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

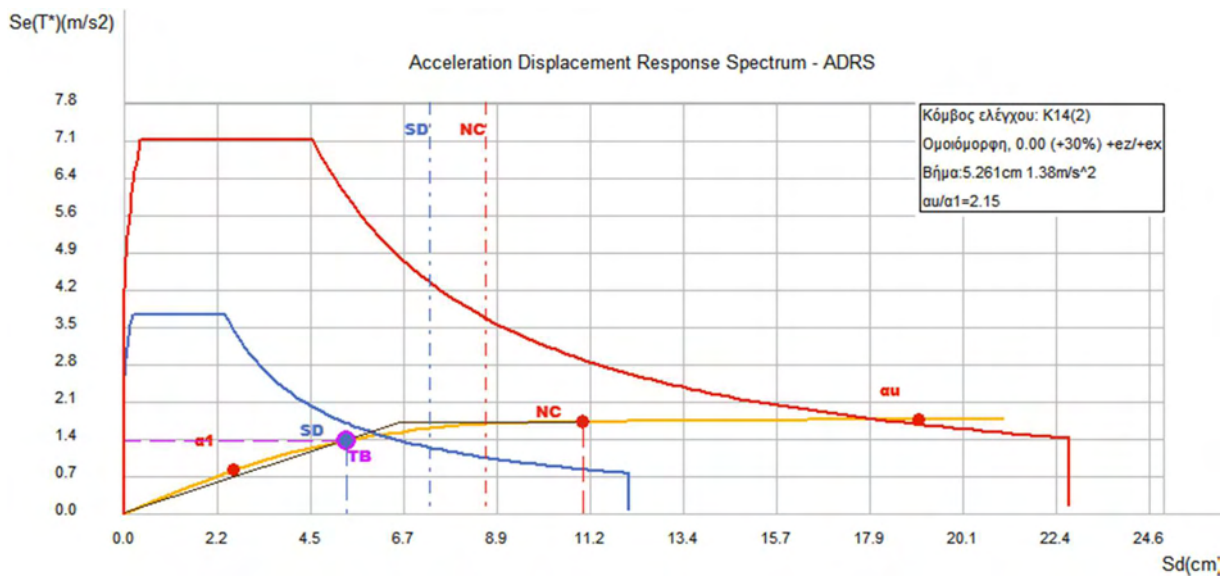
Θέση α_u : Μετατροπή φορέα σε μηχανισμό Κατάρρευσης (Υφιστάμενος Φορέας)



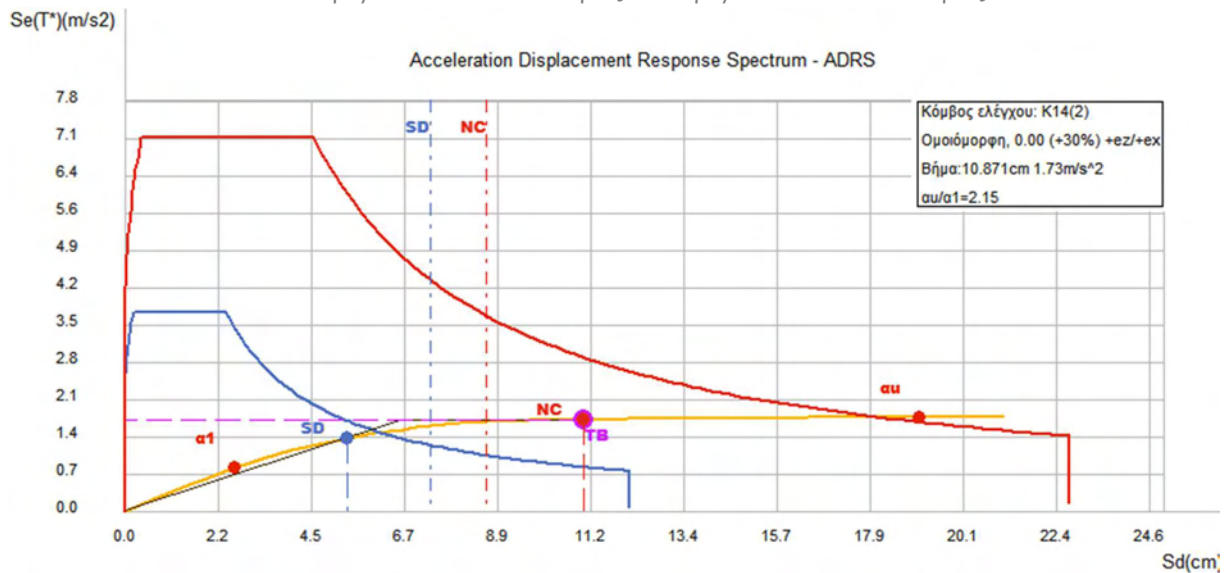
Σχήμα 3.16 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x, Θέση α_u (Υφιστάμενος Φορέας)

Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας (ADRS)

Αυτό που καταστείτε εφικτό μέσω του διαγράμματος Απαίτησης – Ικανότητας είναι η σύγκριση της καμπύλης ικανότητας της κατασκευής με τη σεισμική απαίτηση που ορίζεται. Αυτό επιτυγχάνεται μετατρέποντας την καμπύλη ικανότητας F-d σε φάσμα ικανότητας Sa-Sd. Στη συνέχεια παραθέτονται το διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας (ADRS) που προέκυψε στις θέσεις των σταθμών επιτελεστικότητας που θέσαμε για την συγκεκριμένη φόρτιση (Σχ. 3.17, 3.18).



Σχήμα 3.17 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x . Θέση ορίου επιτελεστικότητας. Θέση ορίου επιτελεστικότητας SD.



Σχήμα 3.17 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x . Θέση ορίου επιτελεστικότητας. Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.

Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι η στοχευμένη μετακίνηση λόγω αυξημένων παραμορφώσεων δεν βρίσκεται στο σημείο τομής της καμπύλης ικανότητας με το ελαστικό φάσμα απαίτησης, αλλά στο σημείο όπου θα τεμόταν με το μειωμένο πλαστικό φάσμα. Ακόμα πρέπει να πούμε ότι οι κατακόρυφες διακεκομμένες γραμμές μας δείχνουν την ικανότητα της κατασκευής για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας. Οπότε ο έλεγχος γίνεται με βάση το που βρίσκεται η διακεκομμένη γραμμή σε σχέση με το σημείο της στοχευμένης μετακίνησης της αντίστοιχης στάθμης επιτελεστικότητας. Αν βρίσκεται η διακεκομμένη γραμμή αριστερά της στοχευμένης μετακίνησης τότε αυτό μας δείχνει ότι ο φορέας δεν επαρκεί για την συγκεκριμένη στάθμη επιτελεστικότητας.

Αναλύοντας το Σχήματα 3.17, 3.18 συμπεραίνεται ότι ο φορέας επαρκεί για την στάθμη επιτελεστικότητας Σημαντικών Βλαβών (SD) καθώς η μπλε διακεκομμένη (ικανότητα φορέα για την SD) βρίσκεται δεξιά της μπλε κουκίδας (απαίτηση για την SD). Αντίθετα το κτίριο δεν επαρκεί για την στάθμη επιτελεστικότητας οιονεί κατάρρευση (NC) καθώς η κόκκινη διακεκομμένη (ικανότητας φορέα για την NC) βρίσκεται αριστερά της κόκκινης κουκίδας (απαίτηση για την NC).

3.8.2 Ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης κατά διεύθυνση y

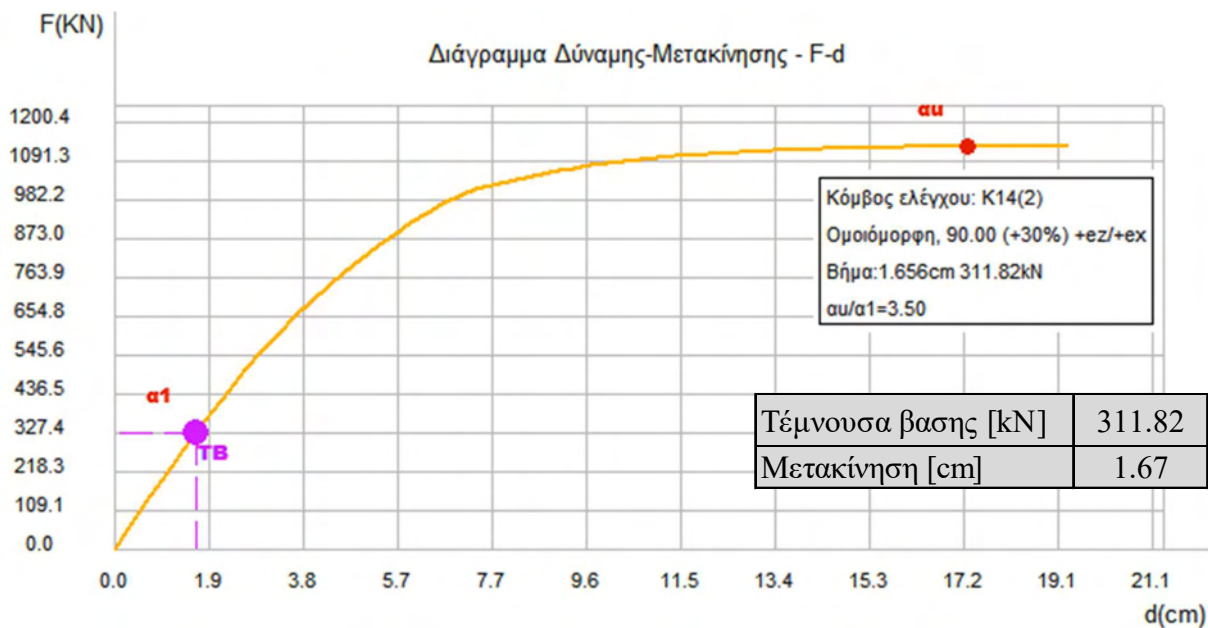
Κατά αυτή τη διεύθυνση του κτιρίου υπάρχουν λιγότερα πλαίσια, σε σχέση με τη διεύθυνση x, που θα αντισταθούν στη φόρτιση. Οπότε αυτό που αναμένεται είναι το διάγραμμα δύναμης–μετατόπισης να έχει πιο ήπιες κλίσης (δηλαδή μικρότερη δυσκαμψία κατ’ αυτή τη διεύθυνση) και να δημιουργηθεί σε μικρότερη τέμνουσα βάσης (F) η πλαστική άρθρωση κατάρρευσης a_u . Στη συνέχεια παραθέτονται τα διαγράμματα δύναμης μετατόπισης που προέκυψαν από την ανάλυση.

Διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης F-d

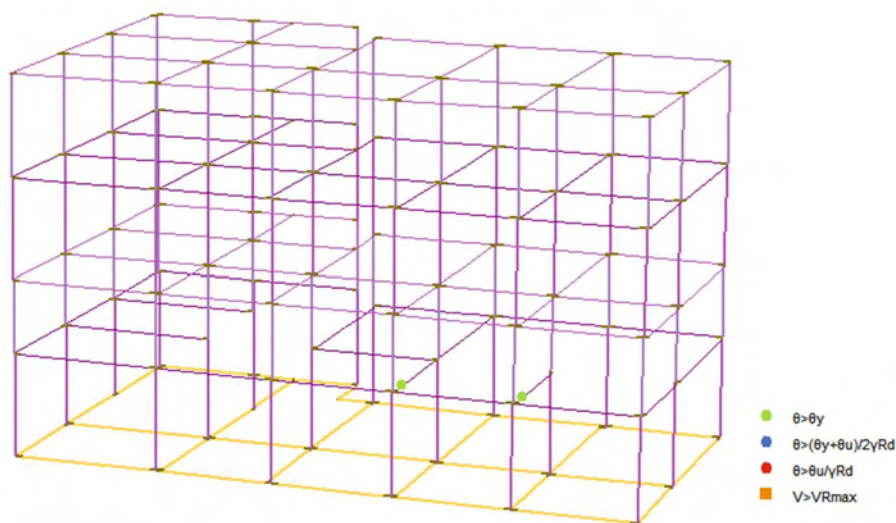
Τα διαγράμματα που θα παρουσιαστούν είναι σε τρεις διαφορετικές φάσεις της φόρτισης. Στο Σχήμα 3.19 είναι η στιγμή δημιουργίας της πρώτης πλαστικής άρθρωσης, στο Σχήμα 3.23 είναι η στιγμή που ο φορέας γίνεται μηχανισμός και στο Σχήμα 3.21 τυχαία ενδιάμεση στιγμή.

i. Σημείο α1 – Δημιουργία πρώτης πλαστικής άρθρωσης

Στο σημείο α1 δημιουργείται η πρώτη πλαστική άρθρωση στον φορέα, στις δοκούς Δ10.1(0) και Δ11.1(0) και στο Σχήμα 3.20 βλέπουμε ότι έχει μία πράσινη κουκίδα πράγμα που σημαίνει ότι πληρεί το κριτήριο $\theta > \theta_y$. Μέχρι εκείνο το σημείο ο φορέας συμπεριφέρεται ελαστικά. Οι τεταγμένες του σημείου α1 δίνονται στον παρακάτω πίνακα.



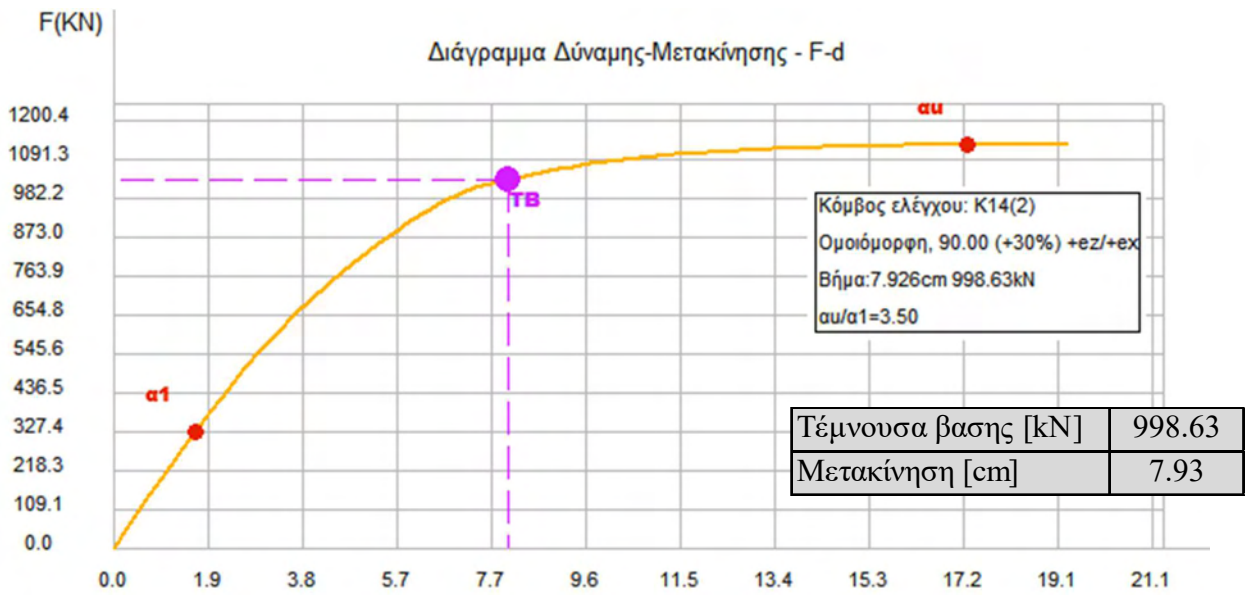
Σχήμα 3.18 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.
 Θέση α1: Δημιουργία 1^{ης} Πλαστικής Άρθρωσης (Υφιστάμενος Φορέας)



Σχήμα 3.19 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y, Θέση α1 (Υφιστάμενος Φορέας)

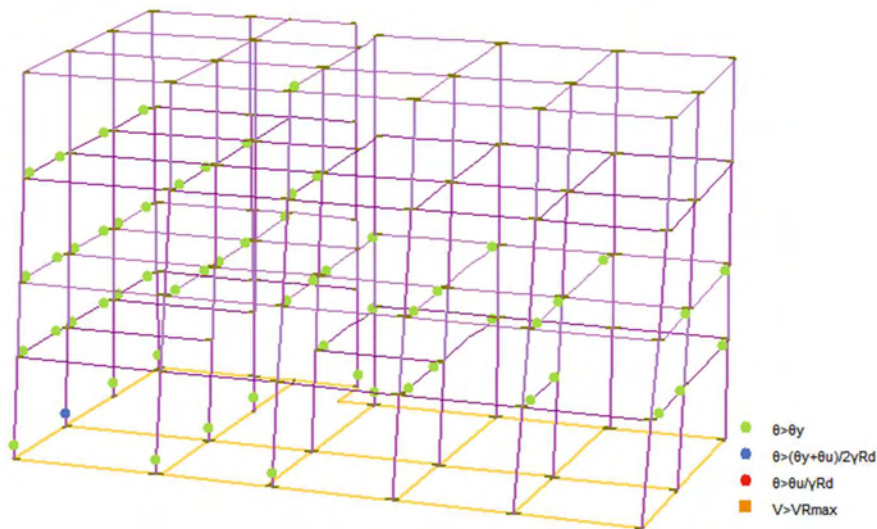
ii. Σημείο α₂ – Τυχαίο ενδιάμεσο σημείο

Στο σημείο α₂ (Σχ. 3.21) έχουν δημιουργηθεί και άλλες πλαστικές αρθρώσεις στον φορέα τόσο σε δοκούς όσο και σε υποστυλώματα. Τα άκρα των μελών που έχουν πράσινες κουκίδες (Σχ.3.22) ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > \theta_y$ ενώ τα άκρα των μελών που έχουν μπλε κουκίδες βρίσκονται στην στάθμη επιτελεστικότητας SD, δηλαδή ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > (\theta_u + \theta_y)2\gamma_{rd}$ με $\gamma_{rd} = 1.50$ για πρωτεύοντα μέλη και θ_u τη γωνία στροφής χορδής κατά την αστοχία.



Σχήμα 3.20 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.

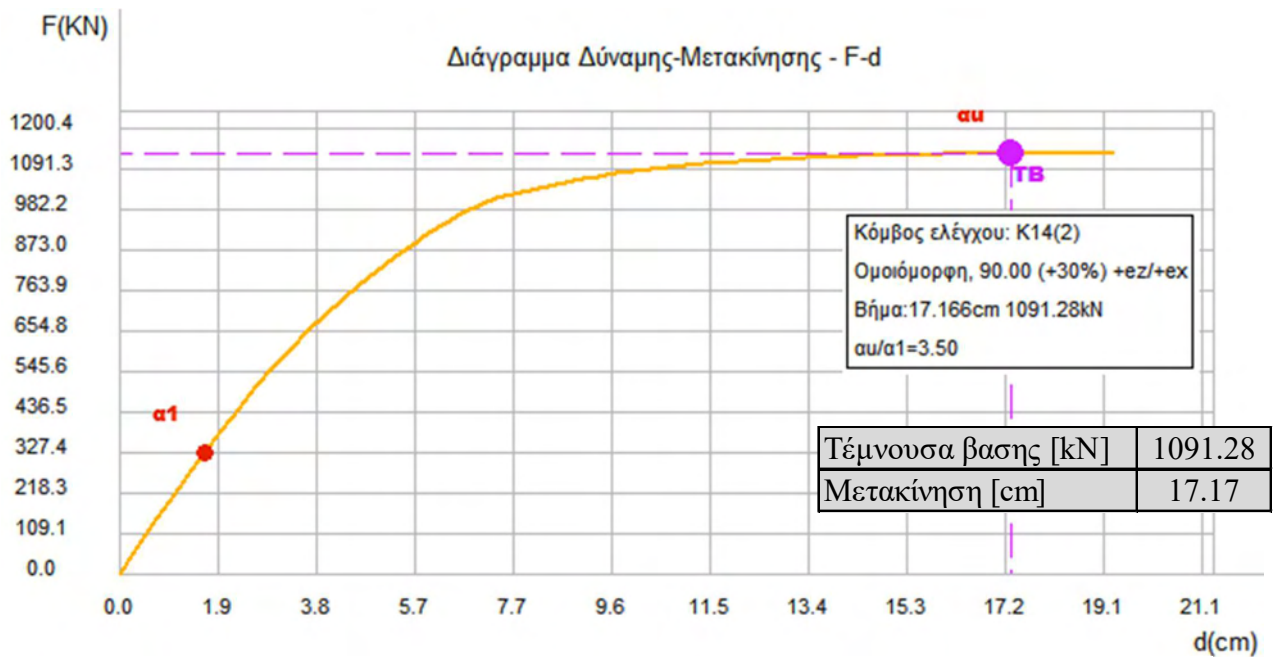
Θέση α₂: Αστοχία μελών στη σ.ε. SD (Υφιστάμενος Φορέας)



Σχήμα 3.21 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y, Θέση α₂ (Υφιστάμενος Φορέας)

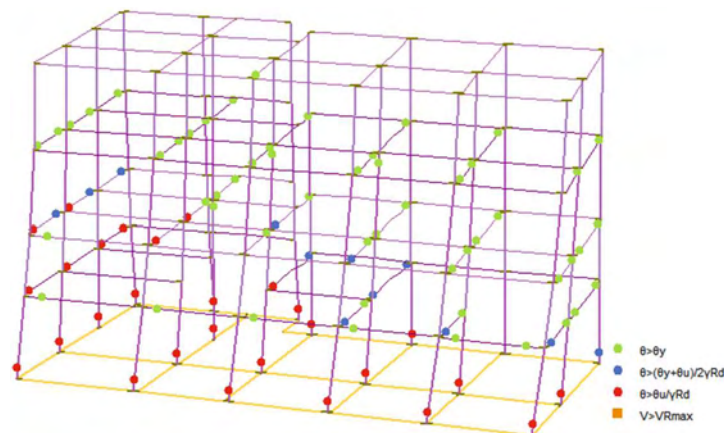
iii. Σημείο a_u – Σημείο κατάρρευσης

Στο σημείο a_u (Σχ.3.23) δημιουργείται η πλαστική άρθρωση που προκαλεί την θεωρητική κατάρρευση του φορέα. Βλέποντας το Σχήμα 3.24 παρατηρούμε ότι υπάρχουν άκρα μελών που έχουν πράσινες και μπλε κουκίδες τα οποία ικανοποιούν τα κριτήρια που περιγράψαμε παραπάνω. Επίσης παρατηρούμε άκρα μελών τα οποία έχουν κόκκινες κουκίδες που σημαίνει ότι βρίσκονται στη στάθμη επιτελεστικότητας NC καθώς ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > (\theta_u + \theta_y)2\gamma_r$ με $\gamma_{rd} = 1.50$ για πρωτεύοντα μέλη.



Σχήμα 3.22 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.

Θέση a_u : Μετατροπή φορέα σε μηχανισμό Κατάρρευσης (Υφιστάμενος Φορέας)



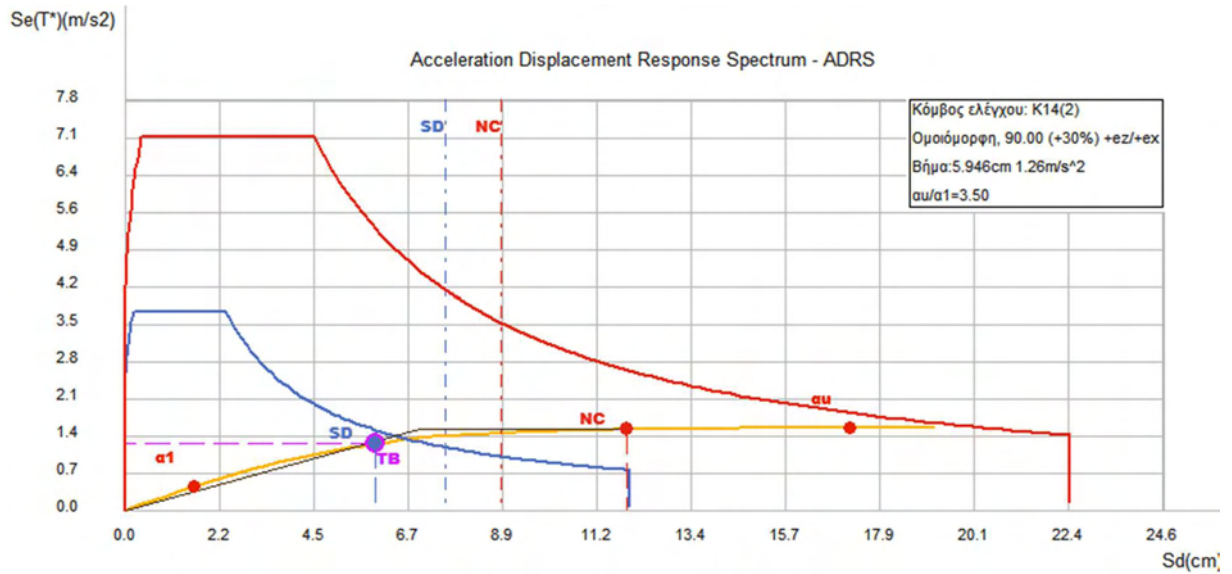
Σχήμα 3.23 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y, Θέση a_u (Υφιστάμενος Φορέας)

Πρέπει να αναφέρουμε ότι όντως για αυτή τη διεύθυνση φόρτισης η αντοχή του κτιρίου ήταν μικρότερη. Για την συγκεκριμένη φόρτιση η πλαστική άρθρωση που έκανε τον φορέα μηχανισμό δημιουργήθηκε για τέμνουσα βάσης $F = 1091.28 \text{ kN}$ και για μετακίνηση $d = 17.17 \text{ cm}$ ενώ στην προηγούμενη φόρτιση έγινε για τέμνουσα βάσης $F = 1241.60 \text{ kN}$ και για μετακίνηση $d = 18.79 \text{ cm}$. Το ίδιο ισχύει και για την δημιουργία της 1^{ης} πλαστική άρθρωσης που δημιουργήθηκε για $F = 311.82 \text{ kN}$ και μετακίνηση $d = 1.67 \text{ cm}$ για την φόρτιση κατά την διεύθυνση y ενώ για την φόρτιση x δημιουργήθηκε για τέμνουσα βάσης $F = 577.12 \text{ kN}$ και μετακίνηση $d = 2.62 \text{ cm}$

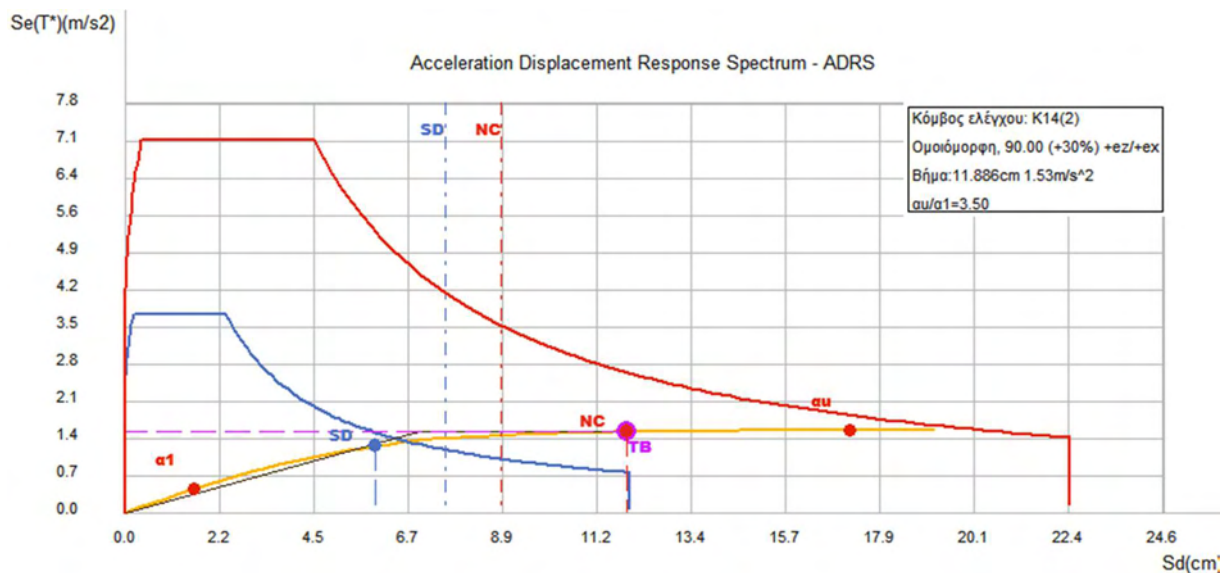
Επίσης παρατηρήθηκε ότι η κλίση του διαγράμματος F-d για την φόρτιση κατά τη διεύθυνση x είναι πιο ήπια από αυτή του διαγράμματος F-d για την φόρτιση κατά τη διεύθυνση y. Από αυτή την παρατήρηση διαπιστώνουμε ότι όντως η δυσκαμψία του κτιρίου κατά τη διεύθυνση y είναι μικρότερη από αυτή της διεύθυνσης x.

Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας (ADRS)

Τα διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας για την διεύθυνση φόρτισης y παρήχθησαν κατά τον ίδιο τρόπο και τις ίδιες Στάθμες Επιτελεστικότητας με τη διεύθυνση φόρτισης x . Στη συνέχεια παραθέτονται το διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας (ADRS) που προέκυψε στις θέσεις των σταθμών επιτελεστικότητας που θέσαμε για την συγκεκριμένη φόρτιση (Σχ. 3.25, 3.26)



Σχήμα 3.25 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση y . Θέση ορίου επιτελεστικότητας SD .



Σχήμα 3.26 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση y . Θέση ορίου επιτελεστικότητας. Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC .

Αναλύοντας τα Σχήματα 3.25, 3.26 συμπεραίνουμε ότι ο φορέας επαρκεί για την στάθμη επιτελεστικότητας Σημαντικών Βλαβών (SD) καθώς η μπλε διακεκομμένη (ικανότητα φορέα για την SD) βρίσκεται δεξιά της μπλε κουκκίδας (απαίτηση για την SD). Αντίθετα το κτίριο δεν επαρκεί για την στάθμη επιτελεστικότητας οιονεί κατάρρευση (NC) καθώς η κόκκινη διακεκομμένη (ικανότητα φορέα για την NC) βρίσκεται αριστερά της κόκκινης κουκκίδας (απαίτηση για την NC).

3.9 Λόγοι στατικής επάρκειας

Οι λόγοι επάρκειας των μελών λ ($\lambda = \text{απαίτηση/ικανότητα}$) μας δείχνουν εάν και κατά πόσο επαρκεί το εκάστοτε μέλος του φέροντος οργανισμού για τις στάθμες επιτελεστικότητας που έχουν τεθεί. Ο έλεγχος του λόγου επάρκειας των μελών γίνεται τόσο για την στροφή χορδής θ ($\lambda = \theta/\theta_{lim}$) όσο και για την τέμνουσα δύναμη V ($\lambda = V/V_R$). Αν για τον λόγο λ ισχύει ότι $\lambda \leq 1$, και για τους δύο ελέγχους, τότε το μέλος επαρκεί και δεν χρειάζεται ενίσχυση. Αντίθετα αν $\lambda > 1$ τότε το μέλος δεν επαρκεί και χρειάζεται να γίνει επέμβαση.

3.9.1 Μη επαρκή δομικά μέλη

Αφού έγινε ο υπολογισμός των λόγων επάρκειας των δομικών μελών του φέροντος οργανισμού για στροφή χορδής και τέμνουσα δύναμη παρήχθησαν τα αποτελέσματα. Μελετώντας και αξιολογώντας τα αποτελέσματα της επίλυσης διαπιστώθηκε ότι όλα τα υποστυλώματα της στάθμης του ισογείου είναι μη-επαρκή ενώ διαπιστώθηκε επίσης ότι και δοκοί των σταθμών 0 (οροφής ισογείου) και 1 (οροφής μεσοπατώματος) είναι μη-επαρκείς. Στον Πίνακα 3.2 αναγράφονται τα μη-επαρκή δομικά μέλη καθώς και οι λόγοι επάρκειάς τους ενώ οι πίνακες με τους λόγους επάρκειας όλων των μελών παρατίθενται στο Παράρτημα.

Πίνακας 3.2 Λόγος επάρκειας μη-επαρκών μελών (Υφιστάμενος Φορέας)

Δομικό μέλος	Έλεγχος	λ (NC)	Δομικό μέλος	Έλεγχος	λ (NC)
K1(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.36	K15(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.14
K2(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.49	K16(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.28
K3(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.54	K17(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.28
K4(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.34	K18(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.52
K5(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.27	K19(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.34
K6(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.24	K20(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.49
K7(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.44	K21(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.48
K8(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.58	$\Delta 7.1(0)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.19
K9(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.55	$\Delta 7.3(0)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.18
K10(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.81	$\Delta 11.1(0)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.10
K11(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.46	$\Delta 12.1(0)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.26
K12(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.21	$\Delta 12.2(0)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.15
K13(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.07	$\Delta 7.2(1)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.12
K14(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.11	$\Delta 7.4(1)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	1.08

3.9.2 Μέγιστα λόγων επάρκειας

Στους παρακάτω πίνακες αναγράφονται τα μέγιστα των λόγων επάρκειας των υποστυλωμάτων και των δοκών.

Πίνακας 3.3 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Δοκών – Έλεγχος Στροφής χορδής

Στάθμη επιτελεστικότητας	Μέλος	Λόγος επάρκειας
SD	K10(0)	0.83
NC	K10(0)	1.81

Πίνακας 3.4 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Δοκών – Έλεγχος Διάτμησης

Στάθμη επιτελεστικότητας	Μέλος	Λόγος επάρκειας
SD	K10(0)	0.85
NC	K10(0)	0.95

Πίνακας 3.5 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Υπ/των – Έλεγχος Στροφής Χορδής

Στάθμη επιτελεστικότητας	Μέλος	Λόγος επάρκειας
SD	Δ7.2(1)	0.75
NC	Δ12.1(0)	1.26

Πίνακας 3.6 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Υπ/των – Έλεγχος Διάτμησης

Στάθμη επιτελεστικότητας	Μέλος	Λόγος επάρκειας
SD	Δ9.1(1)	0.54
NC	Δ9.1(1)	0.94

3.10 Στατική Επάρκεια

Όλα τα δομικά μέλη του κτιρίου κρίθηκαν επαρκή στους συνδυασμούς στατικών φορτίσεων.

3.11 Συγκεντρωτικά

Έπειτα από τους ελέγχους που έγιναν για την επάρκεια των δομικών μελών σε στατικά και σεισμικά φορτία προέκυψαν κάποια ζητήματα ανεπάρκειας τα οποία παρουσιάζονται συγκεντρωτικά παρακάτω.

i. Μη-επάρκεια Υποστυλωμάτων στην σ.ε. NC

Όλα τα υποστυλώματα της στάθμης 0 (K1(0)-K21(0)) κρίθηκαν μη-επαρκή για την στάθμη επιτελεστικότητας οιονεί κατάρρευση NC στον έλεγχο στροφής χορδής με μέγιστο λόγο επάρκειας $\lambda = 1.81$.

ii. Μη-επάρκεια Δοκών στην σ.ε. NC

Οι δοκοί Δ7.1(0), Δ7.3(0), Δ11.1(0), Δ12.1(0), Δ12.2(0), Δ7.2(1), Δ7.4(1) και Δ12.1(1) κρίθηκαν μη-επαρκείς για την στάθμη επιτελεστικότητας οιονεί κατάρρευση NC στον έλεγχο στροφής χορδής με μέγιστο λόγο επάρκειας $\lambda = 1.26$.

Κεφάλαιο 4 Ενίσχυση Κτιρίου

Μετά την διαπίστωση των προβλημάτων του κτιρίου που προέκυψαν από την ανάλυση σειρά έχει η ενίσχυση των δομικών μελών του κτιρίου έτσι ώστε να εξαιρεθούν αυτά τα προβλήματα. Το κτίριο κρίθηκε μη-επαρκές για την στάθμη επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευση NC οπότε θα χρειαστεί να ενισχυθούν τα δομικά μέλη του έτσι ώστε να αυξήσουμε την ικανότητα του κτιρίου για την συγκεκριμένη στάθμη. Οι μέθοδοι ενίσχυσης που χρησιμοποιήθηκαν για το κτίριο είναι οι εξής:

- Ενίσχυση Υποστυλωμάτων με μανδύα σκυροδέματος
- Ενίσχυση Δοκών με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος
- Ενίσχυση υποστυλωμάτων με Ινοπλισμένα Πολυμερή (FRP)

Η διαδικασία της ενίσχυσης είναι αρκετά σύνθετη καθώς επεμβαίνοντας στον στατικό φορέα ενισχύοντας τα μέλη του αλλάζει το στατικό σύστημα και ίσως προκύψουν προβλήματα σε δομικά μέλη τα οποία δεν είχαν κανένα πρόβλημα στον αρχικό στατικό φορέα.

Αρχικά ενισχύθηκαν κάποια από τα υποστυλώματα της στάθμης 0 (ισόγειο) έτσι ώστε να μειωθούν οι μετακινήσεις και να μειωθούν οι λόγοι επάρκειας των υποστυλωμάτων τα οποία δεν ενισχύθηκαν. Οι ενισχύσεις των υποστυλωμάτων έγινε μία προς μία έτσι ώστε να ενισχυθούν τα λιγότερα δυνατά υποστυλώματα. Έπειτα ενισχύθηκαν οι δοκοί της στάθμης 0 οι οποίες είχαν λόγο επάρκειας $\lambda > 1$.

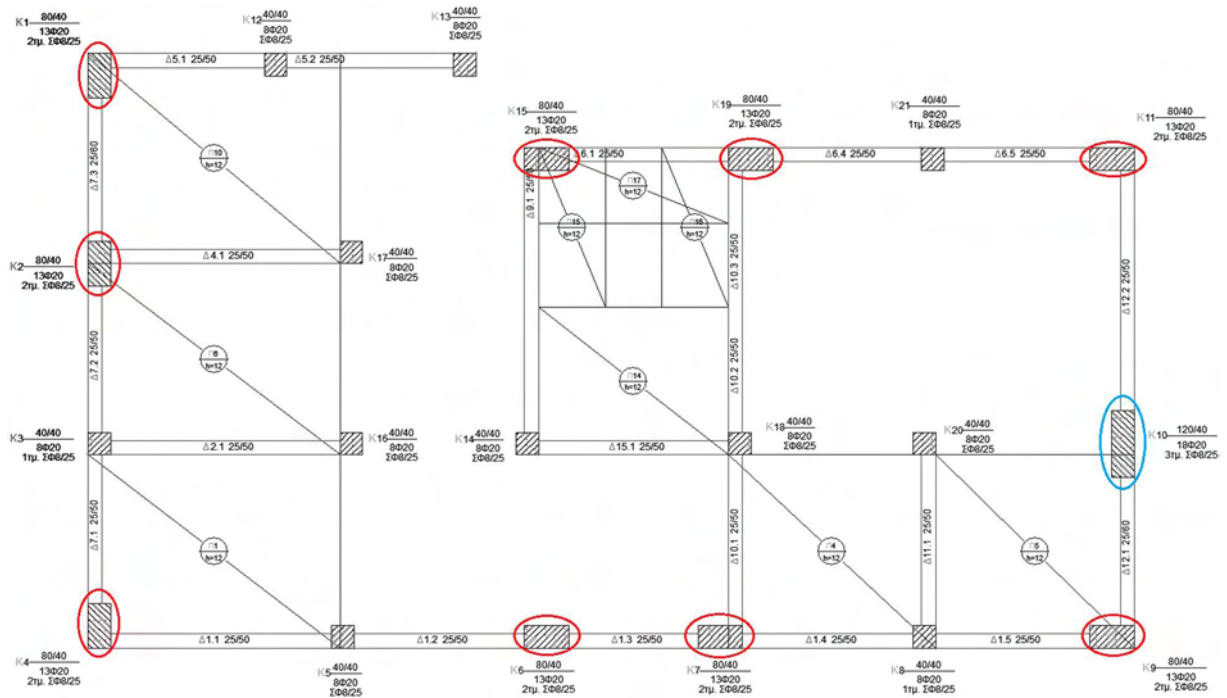
Αφού όλα τα δομικά μέλη της στάθμης 0 έγιναν επαρκή διαπιστώθηκε ότι προέκυψαν προβλήματα σε δομικά μέλη της στάθμης 1 (μεσοπάτωμα) τόσο σε υποστυλώματα όσο και σε δοκούς. Οπότε ενισχύθηκαν τα υποστυλώματα της στάθμης 1 κατά τον ίδιο τρόπο ενίσχυσης που χρησιμοποιήθηκε στην στάθμη 0 και για τις δοκούς της στάθμης 1, που έγιναν μη-επαρκείς μετά την ενίσχυση των μελών της στάθμης 0, έγινε ενίσχυση με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος.

4.1 Μέθοδος Ενίσχυσης Α

4.1.1 Ενίσχυση υποστυλωμάτων

i. Υποστυλώματα στάθμης 0 (ισόγειο)

Στον παρακάτω ξυλότυπο του ισογείου (Σχ. 4.1) δείχνονται τα υποστυλώματα τα οποία ενισχύθηκαν. Στα υποστυλώματα που είναι κυκλωμένα με κόκκινο χρώμα έγινε αλλαγή διατομής από 40/40 cm σε 80/40 cm και σε αυτά που είναι κυκλωμένα με κόκκινο χρώμα έγινε αλλαγή διατομής από 40/40 cm σε 120/40 cm.



Σχήμα 4.1 Ξυλότυπος στάθμης 0 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α)

- για τα υποστυλώματα K1(0), K2(0), K4(0), K6(0), K7(0), K9(0), K11(0), K19(0) και K15(0) (κόκκινο χρώμα).

Τα υφιστάμενα υποστυλώματα είχαν αρχικές διαστάσεις 40/40 cm. Η ενίσχυση που επιλέχθηκε να γίνει για αυτά τα υποστυλώματα είναι να γίνουν διατομής 80x40 cm έτσι ώστε να μεγαλώσει η δυσκαμψία τους.

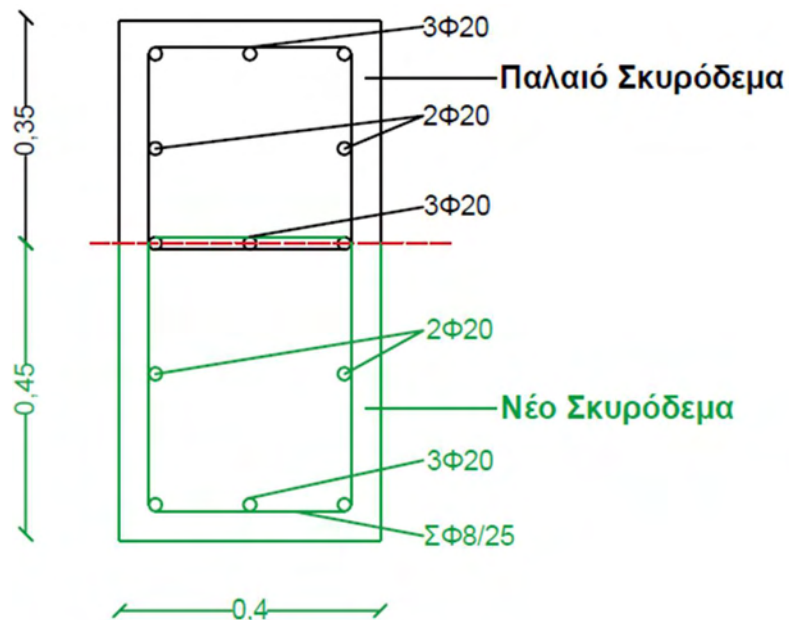
Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την ενίσχυση των υποστυλωμάτων είναι τα εξής:

- **C20/25**
- **B500**

Ο νέος οπλισμός που μπήκε αναγράφεται στον Πίνακα 4.1 και η διάταξη του στο παρακάτω Σχήμα 4.2.

Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά ενισχυμένων Υποστυλωμάτων

	Υφιστάμενο Υπ/μα	Ενισχυμένο Υπ/μα
Διαστάσεις [cm x cm]	40/40	80/40
Οπλισμός [τεμάχια]	8Φ20	8Φ20+5Φ20
Συνδετήρες [τεμάχια/s]	ΣΦ8/25	ΣΦ8/25+ΣΦ8/25



Σχήμα 4.2 Διατομή ενισχυμένων Υποστυλωμάτων

➤ Για το υποστύλωμα K10(0) (μπλε χρώμα).

Το υφιστάμενο υποστύλωμα είχε αρχικές διαστάσεις 40/40 cm. Η ενίσχυση που επιλέχθηκε να γίνει για αυτό το υποστύλωμα είναι να γίνει διατομής 120/40 cm έτσι ώστε να μεγαλώσει η δυσκαμψία του.

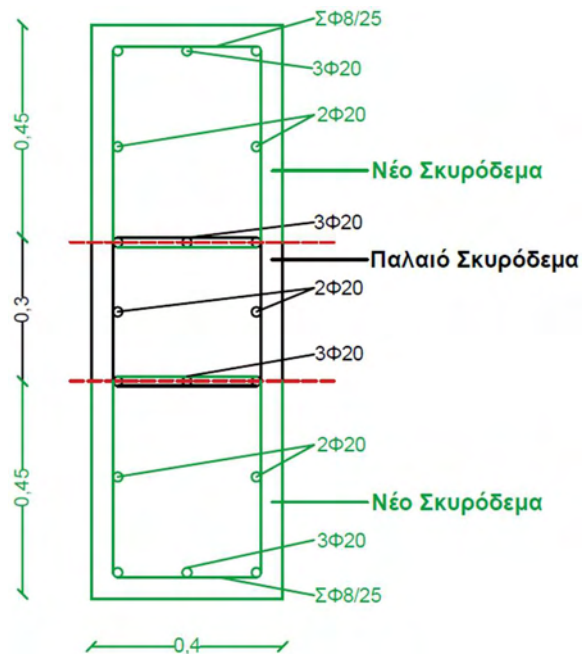
Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την ενίσχυση του υποστυλώματος είναι τα εξής:

- **C20/25**
- **B500**

Ο νέος οπλισμός που μπήκε αναγράφεται στον Πίνακα 4.2 και η διάταξη στο παρακάτω Σχήμα 4.3.

Πίνακας 4.2 Χαρακτηριστικά Ενισχυμένου Υποστυλώματος

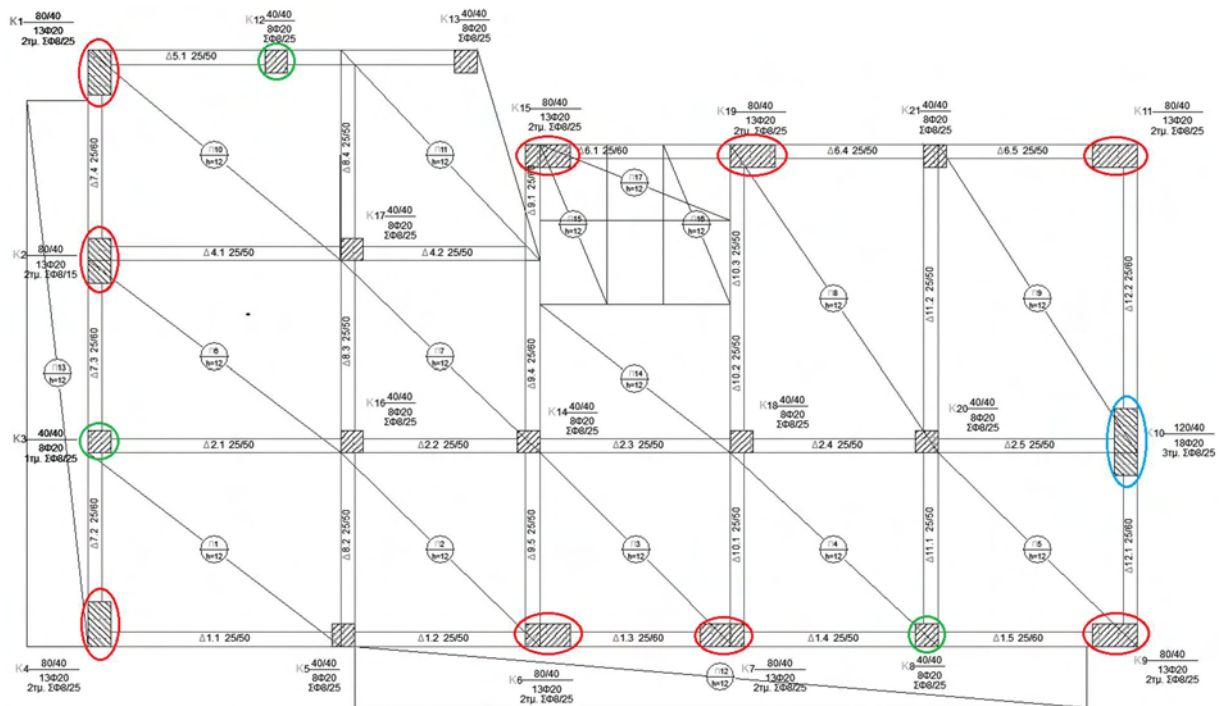
	Υφιστάμενο Υπ/μα	Ενισχυμένο Υπ/μα
Διαστάσεις [cm x cm]	40/40	120/40
Οπλισμός [τεμάχια]	8Φ20	8Φ20+10Φ20
Συνδετήρες [τεμάχια/s]	ΣΦ8/25	ΣΦ8/25+2ΣΦ8/25



Σχήμα 4.3 Διατομή ενισχυμένου Υποστυλώματος

ii. Υποστυλώματα στάθμης 1 (μεσοπάτωμα)

Στην παρακάτω κάτωψη του μεσοπατώματος (Σχ. 4.4) δείχνονται τα υποστυλώματα τα οποία ενισχύθηκαν. Στα υποστυλώματα που είναι κυκλωμένα με κόκκινο χρώμα έγινε αλλαγή διατομής από 40x40 cm σε 80/40 cm, σε αυτά που είναι κυκλωμένα με κόκκινο χρώμα έγινε αλλαγή διατομής από 40/40 cm σε 120/40 cm ενώ αυτά που είναι κυκλωμένα με πράσινο χρώμα έγινε τοποθέτηση ινοπλισμένων πολυμερών.



Σχήμα 4.4 Ξυλότυπος Στάθμης 1 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α)

- για τα υποστυλώματα K1(1), K2(1), K4(1), K6(1), K7(1), K9(1), K10(1) K11(1), K19(1) και K15(1).

Για τα παραπάνω υποστυλώματα της στάθμης του μεσοπατώματος χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες διατομές με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στην στάθμη του ισογείου.

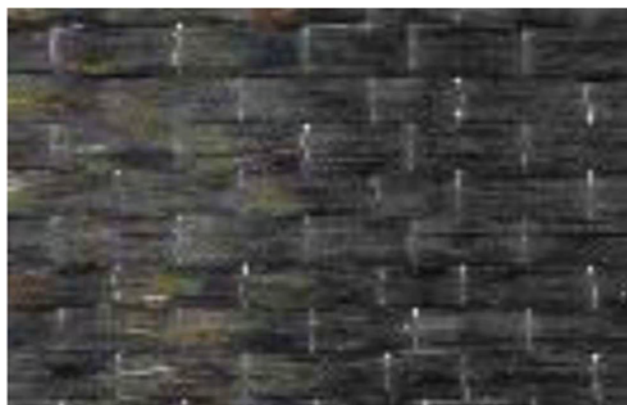
- Για τα υποστυλώματα K3(1), K8(1) και K12(1) (πράσινο χρώμα).

Η ενίσχυση που επιλέχθηκε να γίνει για αυτά τα υποστυλώματα είναι να τοποθετηθούν ινοπλισμένα πολυμερή (FRP) και το υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το SikaWrap® -300 C. Το συγκεκριμένο υλικό είναι ένα πλεκτό ύφασμα με ίνες άνθρακα μονής διεύθυνσεως, μέσω αντοχών, σχεδιασμένο για τοποθέτηση χρησιμοποιώντας την ξηρή ή την υγρή μέθοδο εφαρμογής. Με την εφαρμογή τους, βελτιώνεται η σεισμική συμπεριφορά των μελών και αυξάνεται η αντίσταση έναντι σεισμικών μετακινήσεων.

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του υλικού SikaWrap® -300 C είναι τα εξής:

Πίνακας 4.3 Μηχανικά και Γεωμετρία χαρακτηριστικά SikaWrap® -300 C

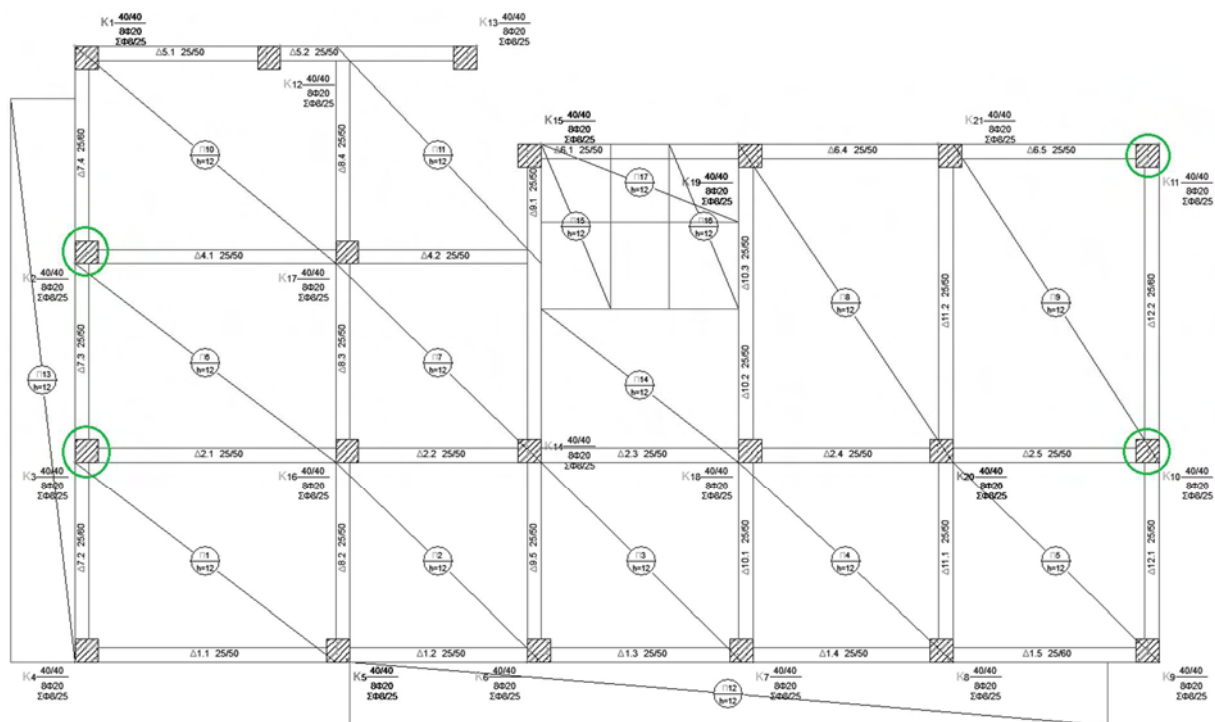
Μέτρο ελαστικότητας E_f	$2.3 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$
Οριακή εφελκυστική αντοχή f_{uf}	4000 MPa
Οριακή ανηγμένη παραμόρφωση ϵ_{uf}	1.7×10^2
Συνολικό πάχος t_f	0.2 mm



Σχήμα 4.5 Λεπτομέρεια επιφάνειας του SikaWrap® -300 C

iii. Υποστυλώματα στάθμης 2 (1^ο Ορόφου)

Στην παρακάτω κάτοψη του μεσοπατώματος (Σχ. 4.6) δείχνονται τα υποστυλώματα τα οποία ενισχύθηκαν. Στα υποστυλώματα που είναι κυκλωμένα με πράσινο χρώμα έγινε τοποθέτηση ινοπλισμένων πολυμερών.



Σχήμα 4.6 Ξυλότυπος στάθμης 2 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α)

- Για τα υποστυλώματα K2(2), K3(2), K10(2) και K11(2).

Χρησιμοποιήθηκε το SikaWrap[®] -300 C όπως και στα υποστυλώματα της στάθμης του μεσοπατώματος.

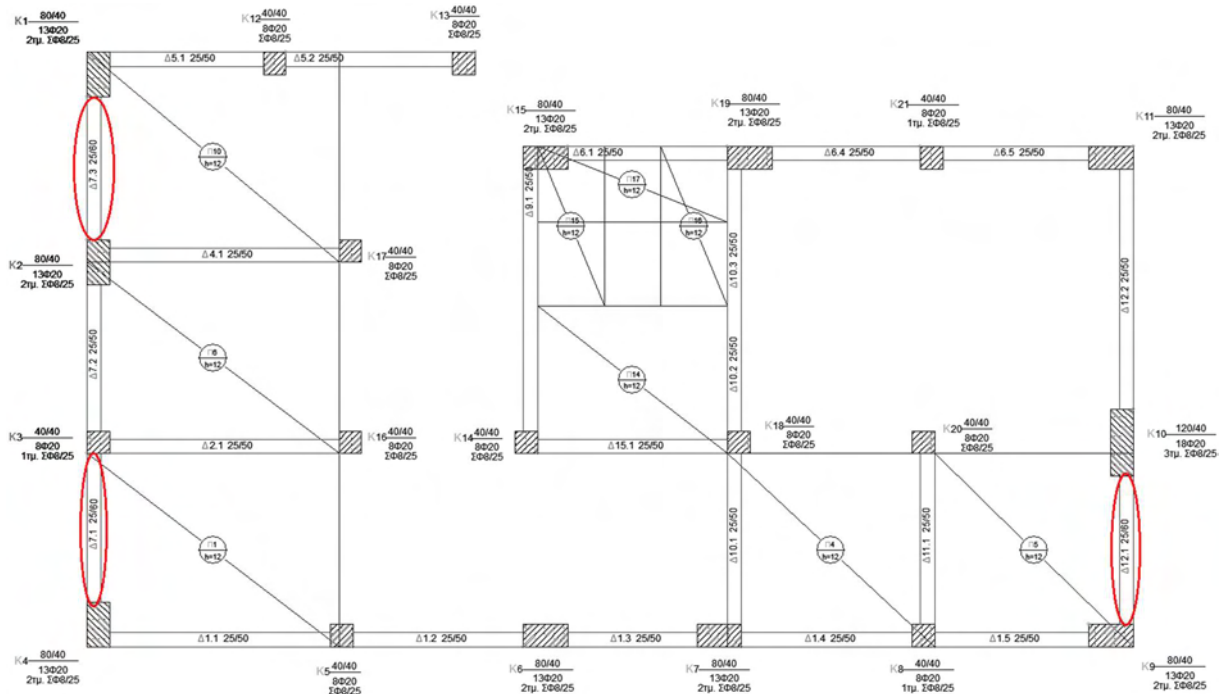
4.1.2 Ενίσχυση Δοκών

i. Δοκοί στάθμης 0 (ισόγειο)

Στην παρακάτω κάτοψη του μεσοπατώματος (Σχ. 4.7) δείχνονται οι δοκοί οι οποίες ενισχύθηκαν κυκλωμένες με κόκκινο χρώμα.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τις δοκούς της στάθμης αυτής είναι:

- C20/25
- B500



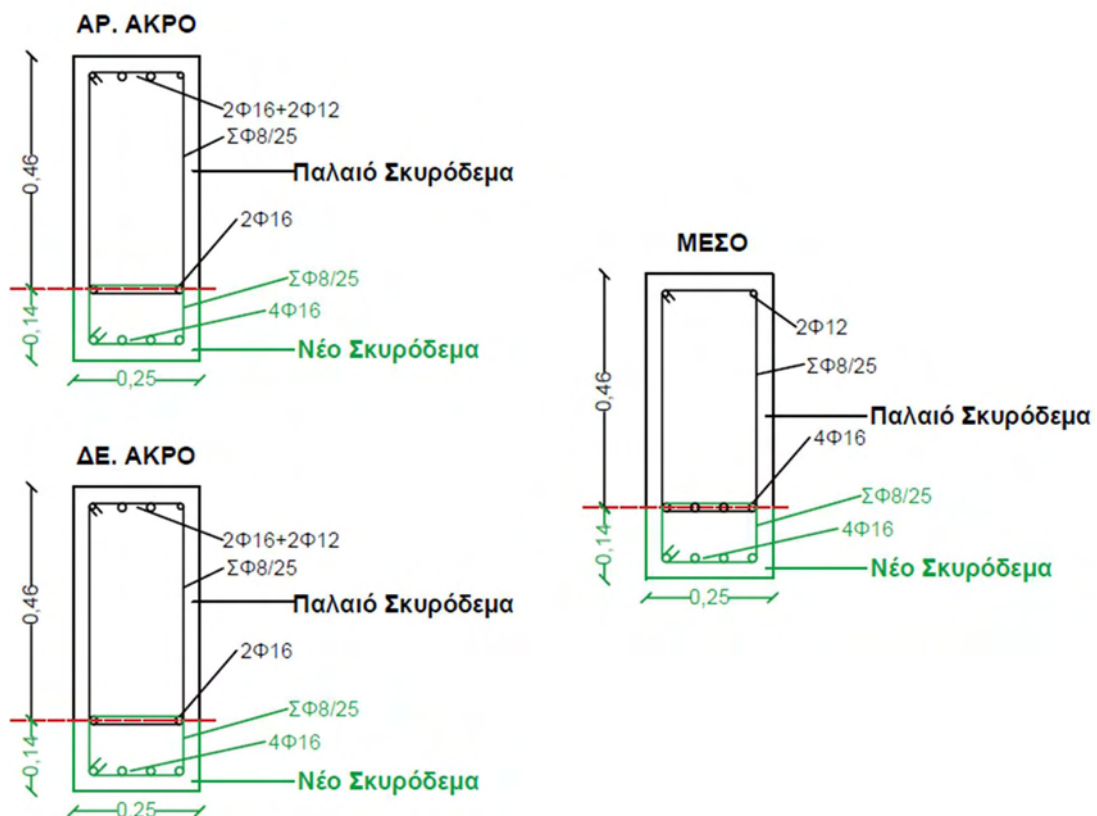
Σχήμα 4.7 Ενλότυπος Στάθμης 0 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α)

➤ Δοκοί Δ7.1(0), Δ7.3(0) και Δ12.1(0)

Οι δοκοί αυτοί κρίθηκαν μη-επαρκείς για τον έλεγχο στροφής χορδής και η ενίσχυση που επιλέχθηκε είναι να ενισχυθούν με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος και πρόσθετο οπλισμό για αύξηση της καμπτικής τους αντοχής. Στον Πίνακα 4.4 αναγράφονται οι οπλισμοί της ενισχυμένης δοκού στα δύο τις άκρα και στο μέσο, όπου ο υφιστάμενος διαμήκης οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος διαμήκης με πράσινο χρώμα. Επίσης στο Σχήμα 4.8 φαίνονται οι λεπτομέρειες όπλισης των ενισχυόμενων δοκών όπου ο παλιός οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος με πράσινο χρώμα.

Πίνακας 4.4 Οπλισμός ενισχυμένων δοκών

Αριστερό άκρο		Μέσο		Δεξιό άκρο	
Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός
2Φ12+2Φ16	2Φ16+4Φ16	2Φ12	4Φ16+4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16+4Φ16



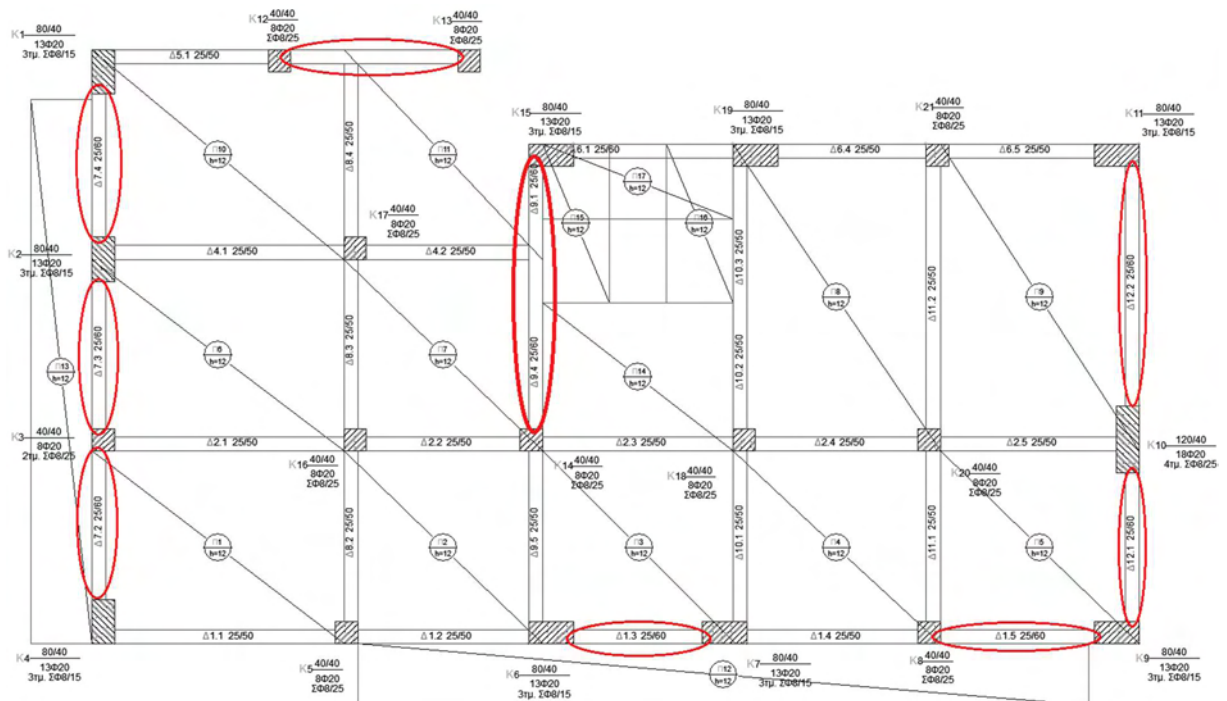
Σχήμα 4.8 Διατομές των άκρων και του μέσου των ενισχυμένων δοκών

ii. Δοκοί στάθμης 1 (μεσοπάτωμα)

Στην παρακάτω κάτοψη του μεσοπατώματος (Σχ. 4.9) δείχνονται οι δοκοί οι οποίες ενισχύθηκαν κυκλωμένες με κόκκινο χρώμα.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τις δοκούς της στάθμης αυτής είναι:

- **C20/25**
- **B500**



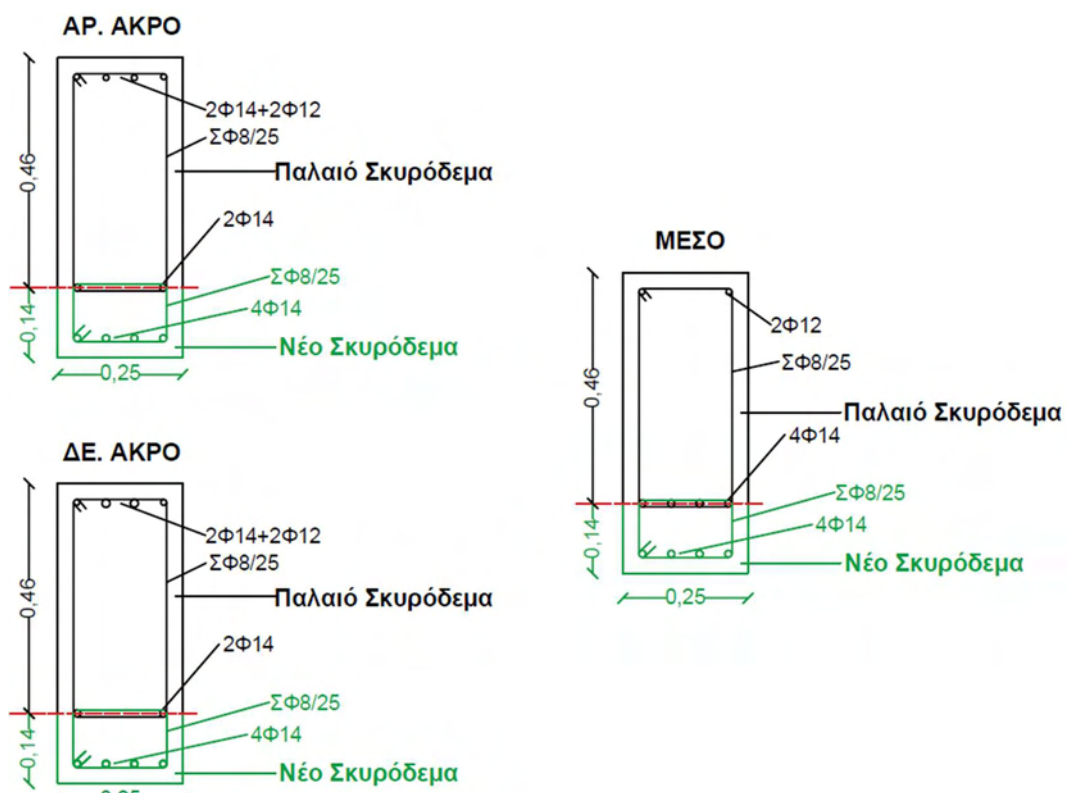
Σχήμα 4.9 Ξυλότυπος στάθμης 1 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α)

- Δοκοί Δ7.2(1), Δ7.2(1), Δ7.3(1), Δ5.2(1), Δ1.3(1) και Δ1.5(1)

Οι δοκοί αυτοί κρίθηκαν μη-επαρκείς για τον έλεγχο στρωφής χορδής και η ενίσχυση που επιλέχθηκε είναι να ενισχυθούν με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος και πρόσθετο οπλισμό για αύξηση της καμπτικής τους αντοχής. Στον Πίνακα 4.5 αναγράφονται οι οπλισμοί της ενισχυμένης δοκού στα δύο τις άκρα και στο μέσο, όπου ο υφιστάμενος διαμήκης οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος διαμήκης με πράσινο χρώμα. Επίσης στο Σχήμα 4.10 φαίνονται οι λεπτομέρειες όπλισης των ενισχυόμενων δοκών όπου ο παλιός οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος με πράσινο χρώμα.

Πίνακας 4.5 Οπλισμός ενισχυμένων δοκών

Αριστερό άκρο		Μέσο		Δεξιά άκρο	
Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός
2Φ12+2Φ14	2Φ14+4Φ14	2Φ12	4Φ14+4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ16+4Φ14



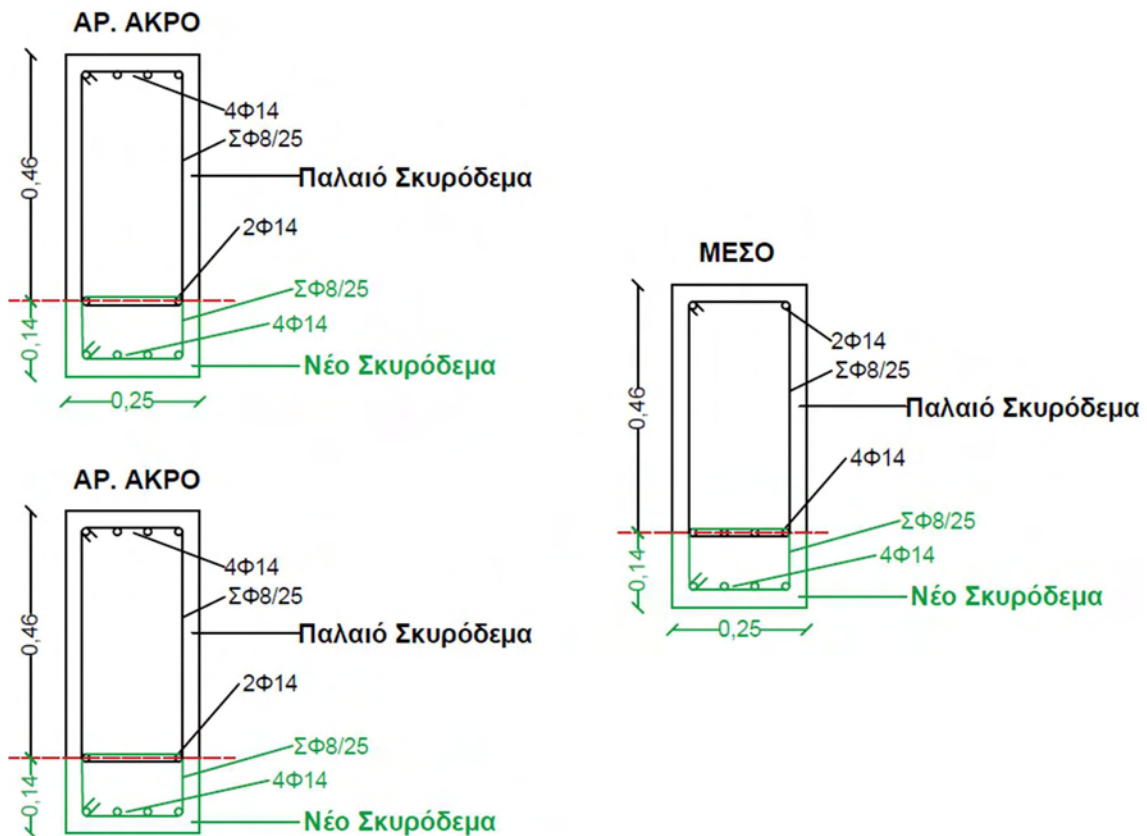
Σχήμα 4.10 Διατομές των άκρων και του μέσου των ενισχυμένων δοκών

➤ Δοκοί Δ9.1(1), Δ12.1(1) και Δ12.2(1)

Οι δοκοί αυτοί κρίθηκαν μη-επαρκείς για τον έλεγχο στροφής χορδής και η ενίσχυση που επιλέχθηκε είναι να ενισχυθούν με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος και πρόσθετο οπλισμό για αύξηση της καμπτικής τους αντοχής. Στον Πίνακα 4.6 αναγράφονται οι οπλισμοί της ενισχυμένης δοκού στα δύο τις άκρα και στο μέσο, όπου ο υφιστάμενος διαμήκης οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος διαμήκης με πράσινο χρώμα. Επίσης στο Σχήμα 4.11 φαίνονται οι λεπτομέρειες όπλισης των ενισχυόμενων δοκών όπου ο παλιός οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος με πράσινο χρώμα.

Πίνακας 4.6 Οπλισμός ενισχυμένων δοκών

Αριστερό άκρο		Μέσο		Δεξιό άκρο	
Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός
4Φ14	2Φ16+4Φ14	2Φ14	4Φ14+4Φ14	4Φ14	2Φ16+4Φ14



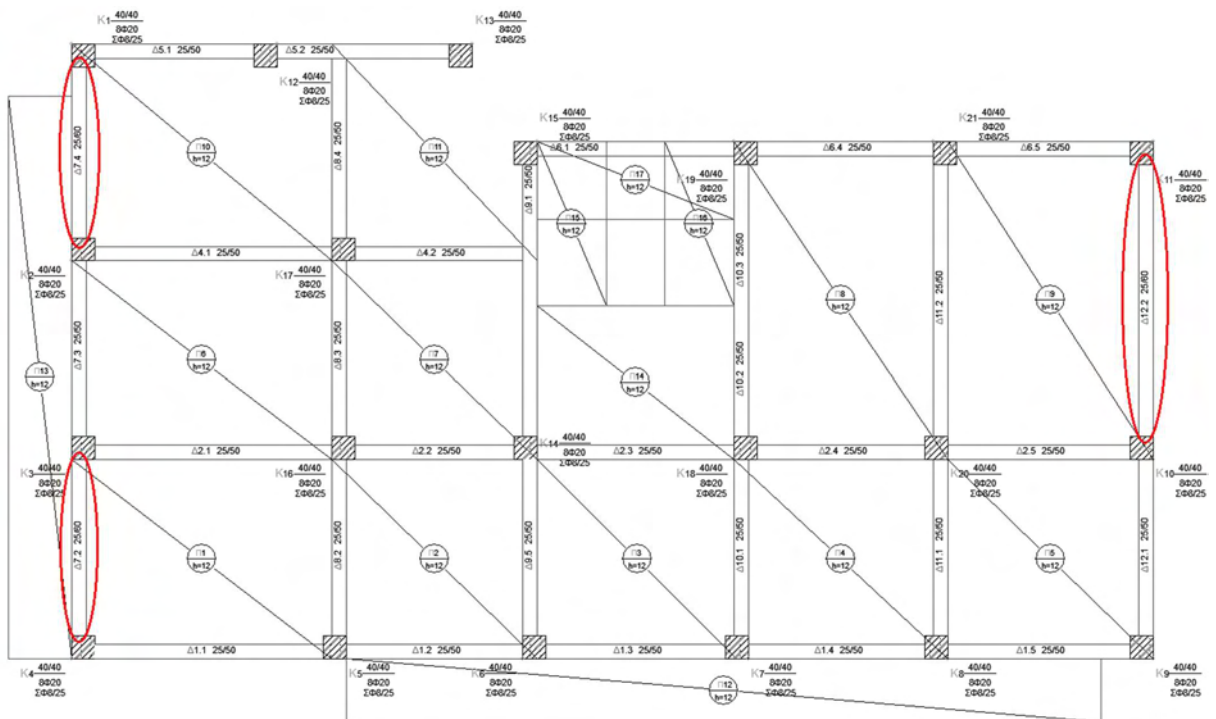
Σχήμα 4.11 Διατομές των άκρων και του μέσου των ενισχυμένων δοκών

iii. Δοκοί στάθμης 2 (1^ο Ορόφου)

Στην παρακάτω κάτοψη του μεσοπατώματος (Σχήμα 4.12) δείχνονται οι δοκοί οι οποίες ενισχύθηκαν κυκλωμένες με κόκκινο χρώμα.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τις δοκούς της στάθμης αυτής είναι:

- **C20/25**
- **B500**



Σχήμα 4.12 Ευλότοπος στάθμης 2 (Μέθοδος Ενίσχυσης A)

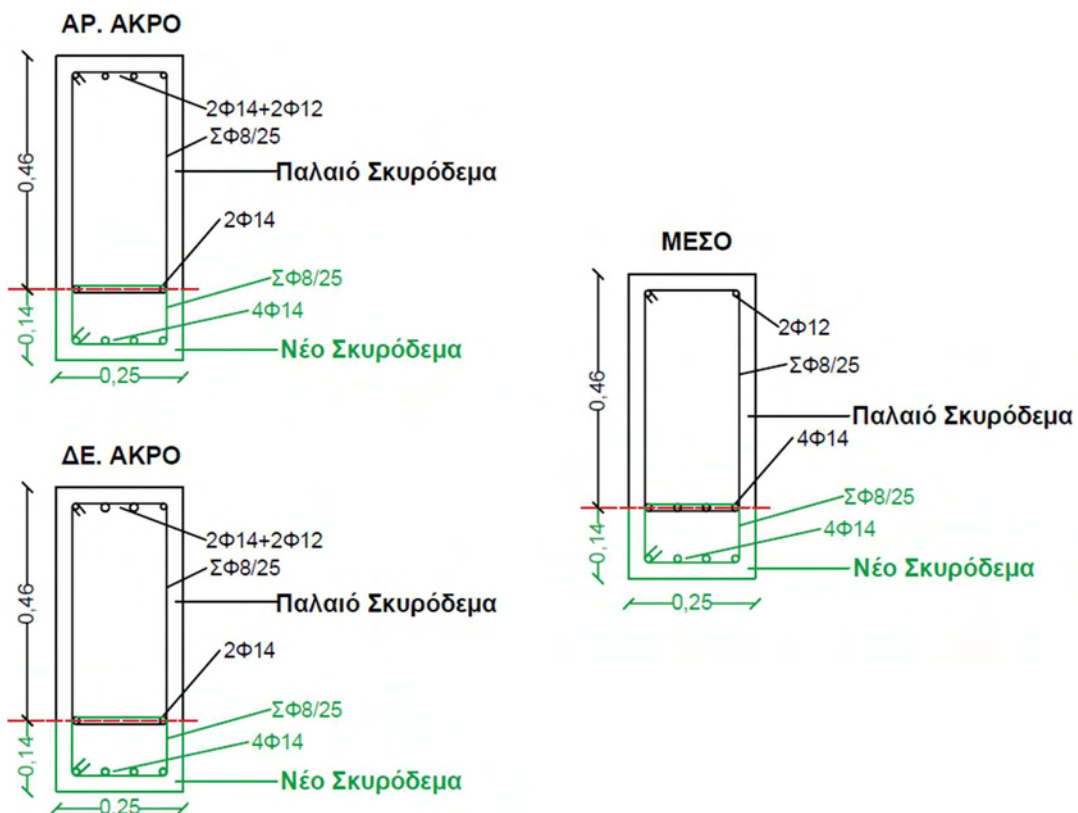
➤ Δοκοί Δ7.2(2) και Δ7.4(2).

Οι δοκοί αυτοί κρίθηκαν μη-επαρκείς για τον έλεγχο στροφής χορδής και η ενίσχυση που επιλέχθηκε είναι να ενισχυθούν με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος και πρόσθετο οπλισμό για αύξηση της καμπτικής τους αντοχής. Στον Πίνακα 4.7 αναγράφονται οι οπλισμοί της ενισχυμένης δοκού στα δύο τις άκρα και στο μέσο, όπου ο υφιστάμενος διαμήκης οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος διαμήκης με πράσινο χρώμα. Επίσης στο Σχήμα 4.13 φαίνονται οι λεπτομέρειες όπλισης των ενισχυόμενων δοκών όπου ο παλιός οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος με πράσινο χρώμα.

- C20/25
- B500

Πίνακας 4.7 Οπλισμός ενισχυμένων δοκών

Αριστερό άκρο		Μέσο		Δεξιό άκρο	
Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός
2Φ12+2Φ14	2Φ14+4Φ14	2Φ12	4Φ14+4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ16+4Φ14



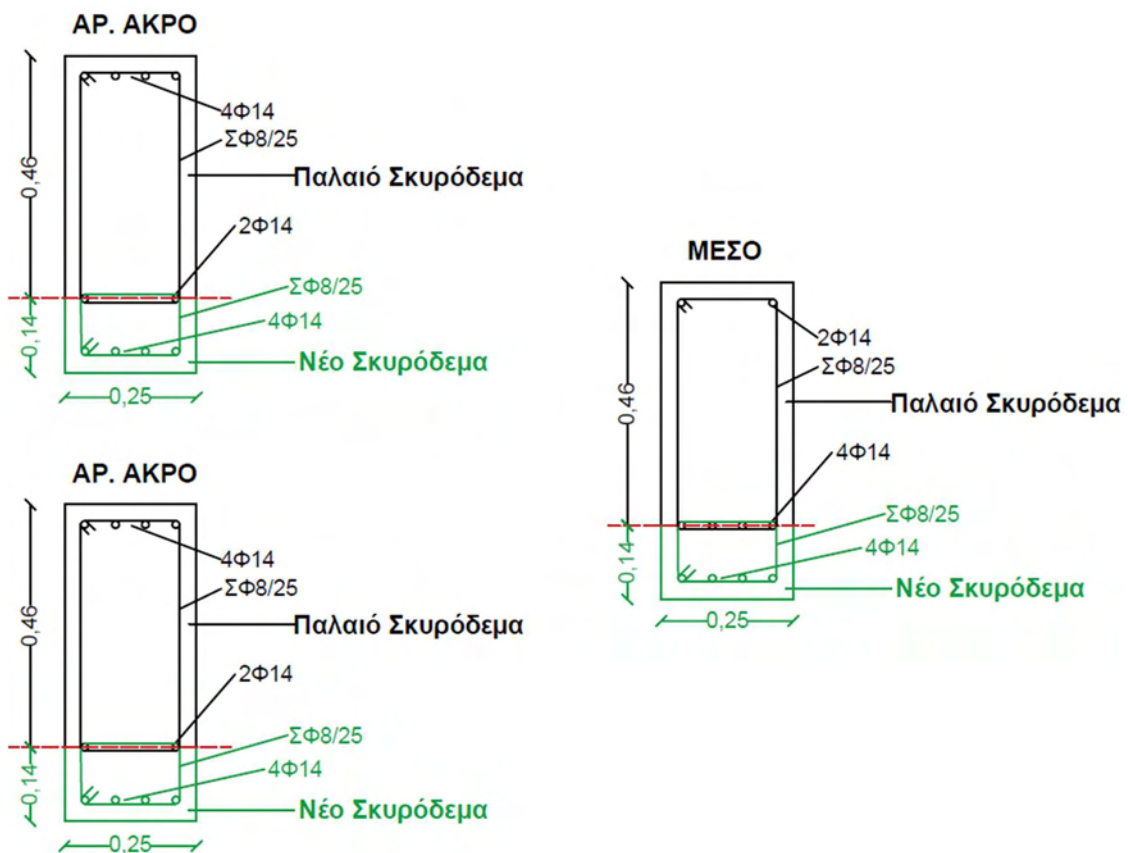
Σχήμα 4.13 Διατομές των άκρων και του μέσου των ενισχυμένων δοκών

➤ Δοκός Δ12.2(2)

Η δοκός αυτή κρίθηκε μη-επαρκής για τον έλεγχο στροφής χορδής και η ενίσχυση που επιλέχθηκε είναι να ενισχυθεί με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος και πρόσθετο οπλισμό για αύξηση της καμπτικής της αντοχής. Στον Πίνακα 4.8 αναγράφονται οι οπλισμοί της ενισχυμένης δοκού στα δύο τις άκρα και στο μέσο, όπου ο υφιστάμενος διαμήκης οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος διαμήκης με πράσινο χρώμα. Επίσης στο Σχήμα 4.14 φαίνονται οι λεπτομέρειες όπλισης της ενισχυόμενης δοκού όπου ο παλιός οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος με πράσινο χρώμα.

Πίνακας 4.8 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού

Αριστερό άκρο		Μέσο		Δεξιό άκρο	
Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός
4Φ14	2Φ16+4Φ14	2Φ14	4Φ14+4Φ14	4Φ14	2Φ16+4Φ14



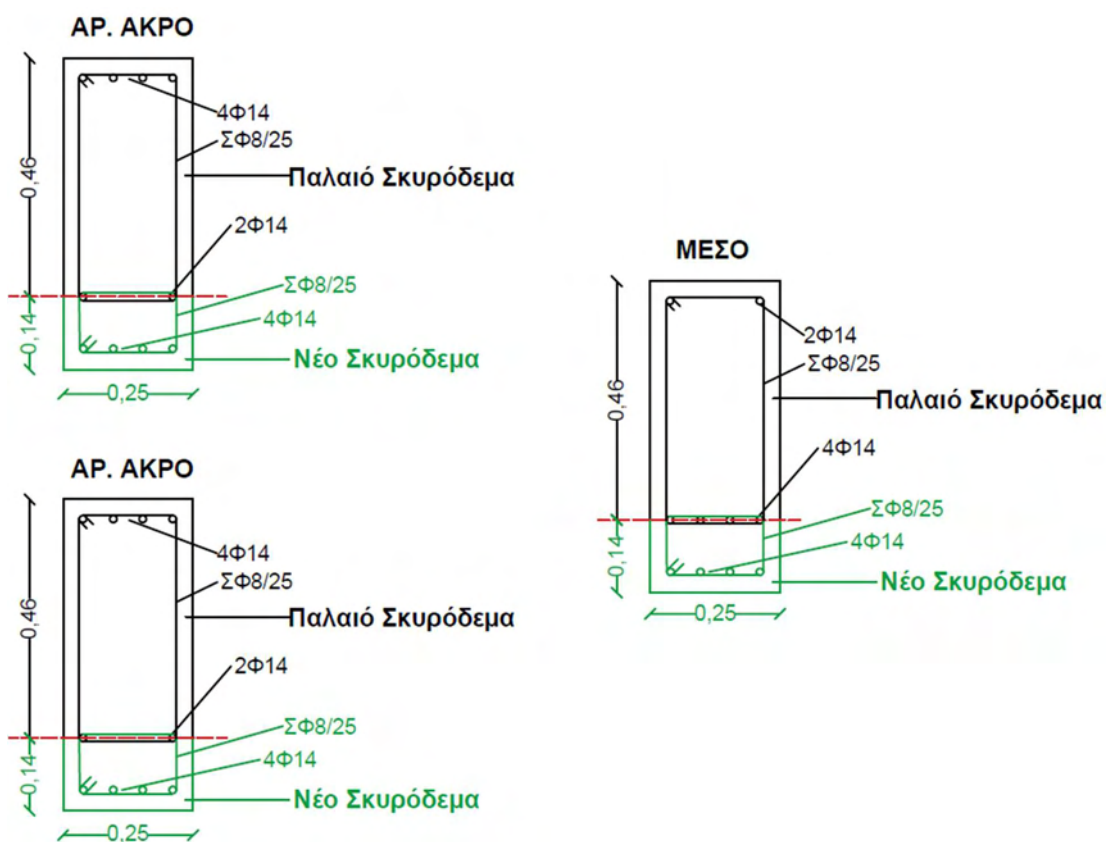
Σχήμα 4.14 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού

➤ Δοκός Δ11.2(3)

Η δοκός αυτή κρίθηκε μη-επαρκής για τον έλεγχο κάμψης σε συνδυασμό στατικών φορτίων και η ενίσχυση που επιλέχθηκε είναι να ενισχυθεί με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος και πρόσθετο οπλισμό για αύξηση της καμπτικής της αντοχής. Στον Πίνακα 4.9 αναγράφονται οι οπλισμοί της ενισχυμένης δοκού στα δύο τις άκρα και στο μέσο, όπου ο υφιστάμενος διαμήκης οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος διαμήκης με πράσινο χρώμα. Επίσης στο Σχήμα 4.16 φαίνονται οι λεπτομέρειες όπλισης της ενισχυόμενης δοκού όπου ο παλιός οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος με πράσινο χρώμα.

Πίνακας 4.9 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού

Αριστερό άκρο		Μέσο		Δεξιό άκρο	
Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός
4Φ14	2Φ16+4Φ14	2Φ14	4Φ14+4Φ14	4Φ14	2Φ16+4Φ14

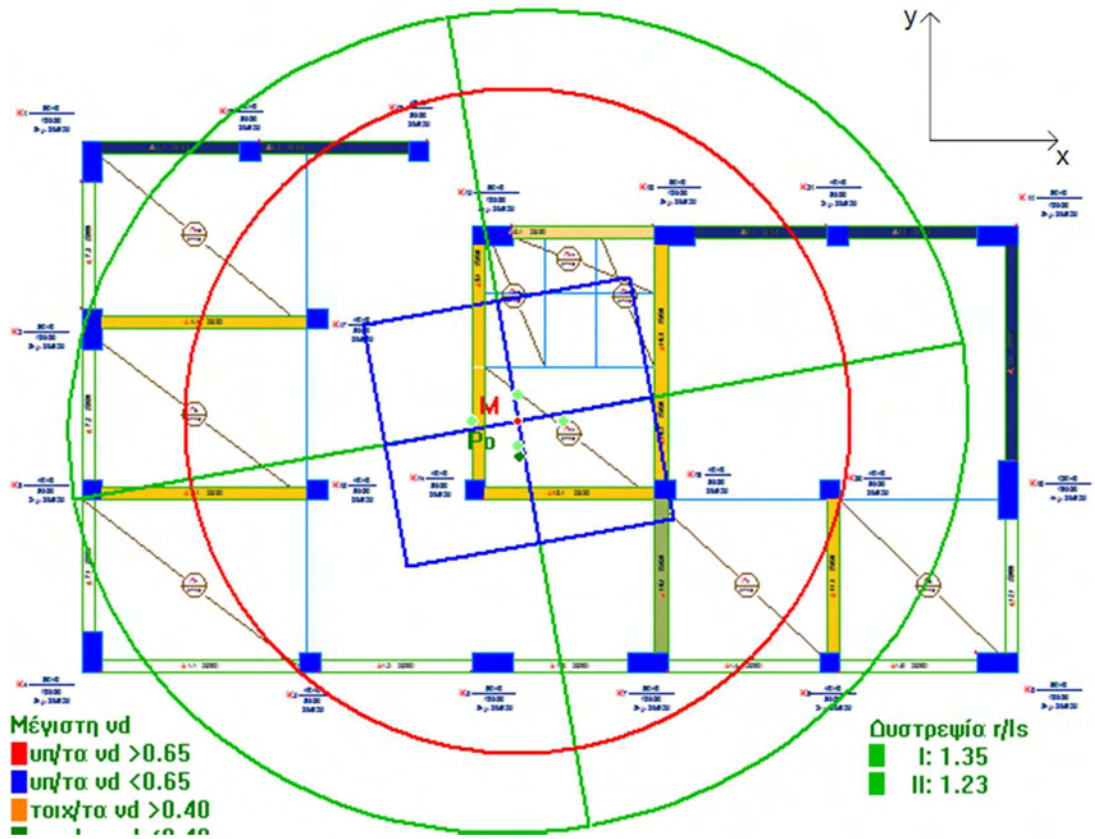


Σχήμα 4.16 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού

4.1.3 Δυστροπία ενισχυμένου κτιρίου

i. Στάθμη 0 (οροφή ισογείου)

Βλέποντας το Σχήμα 4.17 συμπεραίνουμε ότι πληρείται ο περιορισμός εκκεντρότητας καθώς το σημείο P_0 βρίσκεται εντός του ορθογωνίου, δηλαδή ότι $e_{ox} < 0.3 r_x$. Επίσης παρατηρούμε ότι το κτίριο είναι στρεπτικά περισσότερο δύσκαμπτο από τον αρχικό φορέα αφού ο λόγος $r'_x/l'_s > r_x/l_s$ πράγμα το οποίο απεικονίζεται σχηματικά αφού ο κύκλος αδράνειας βρίσκεται εντός του της έλλειψης δυστροπίας. Οπότε ικανοποιούνται οι περιορισμοί του Ευρωκώδικα 8 για κανονικότητα σε κάτοψη.

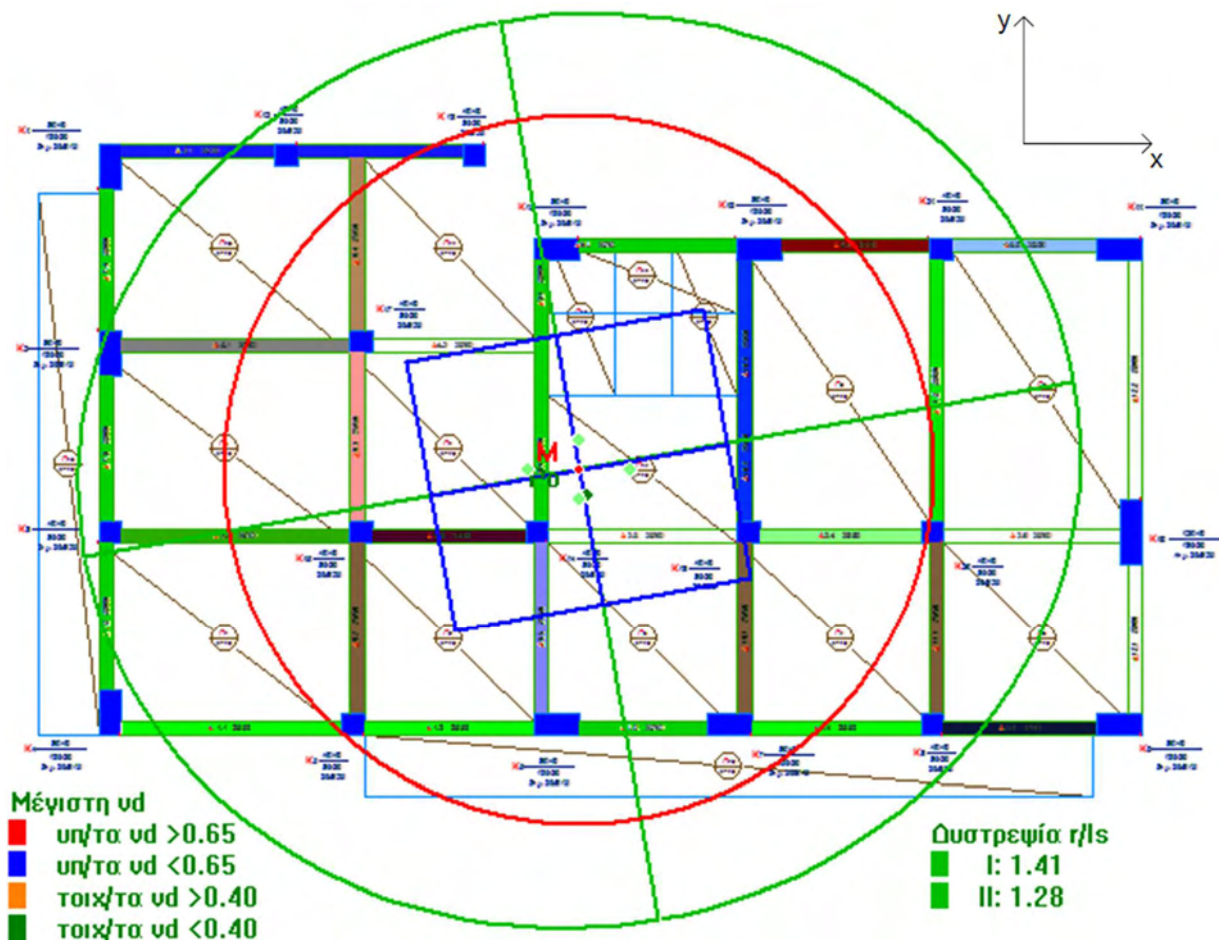


Σχήμα 4.17 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστροπίας της στάθμης 0 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α)

Επίσης στο παραπάνω σχήμα παρατηρείτε ότι όλα τα υποστυλώματα έχουν ανηγμένο αξονικό φορτίο $\nu_d < 0.65$. Έτσι πληρείται ο περιορισμός που βάζει ο Ευρωκώδικας 8 μέρος 1 για το ανηγμένο αξονικό φορτίο αντισεισμικών υποστυλωμάτων.

ii. Στάθμη 1 (οροφή μεσοπατώματος)

Βλέποντας το Σχήμα 4.18 συμπεραίνουμε ότι πληρείται ο περιορισμός εκκεντρότητας καθώς το σημείο P_0 βρίσκεται εντός του ορθογωνίου, δηλαδή ότι $e_{ox} < 0.3 r_x$. Επίσης παρατηρούμε ότι το κτίριο είναι στρεπτικά περισσότερο δύσκαμπτο από τον αρχικό φορές αφού ο λόγος $r'_x/l'_s > r_x/l_s$ πράγμα το οποίο απεικονίζεται σχηματικά αφού ο κύκλος αδράνειας βρίσκεται εντός του της έλλειψης δυστρεψιάς. Οπότε ικανοποιούνται οι περιορισμοί του Ευρωκώδικα 8 για κανονικότητα σε κάτοψη.

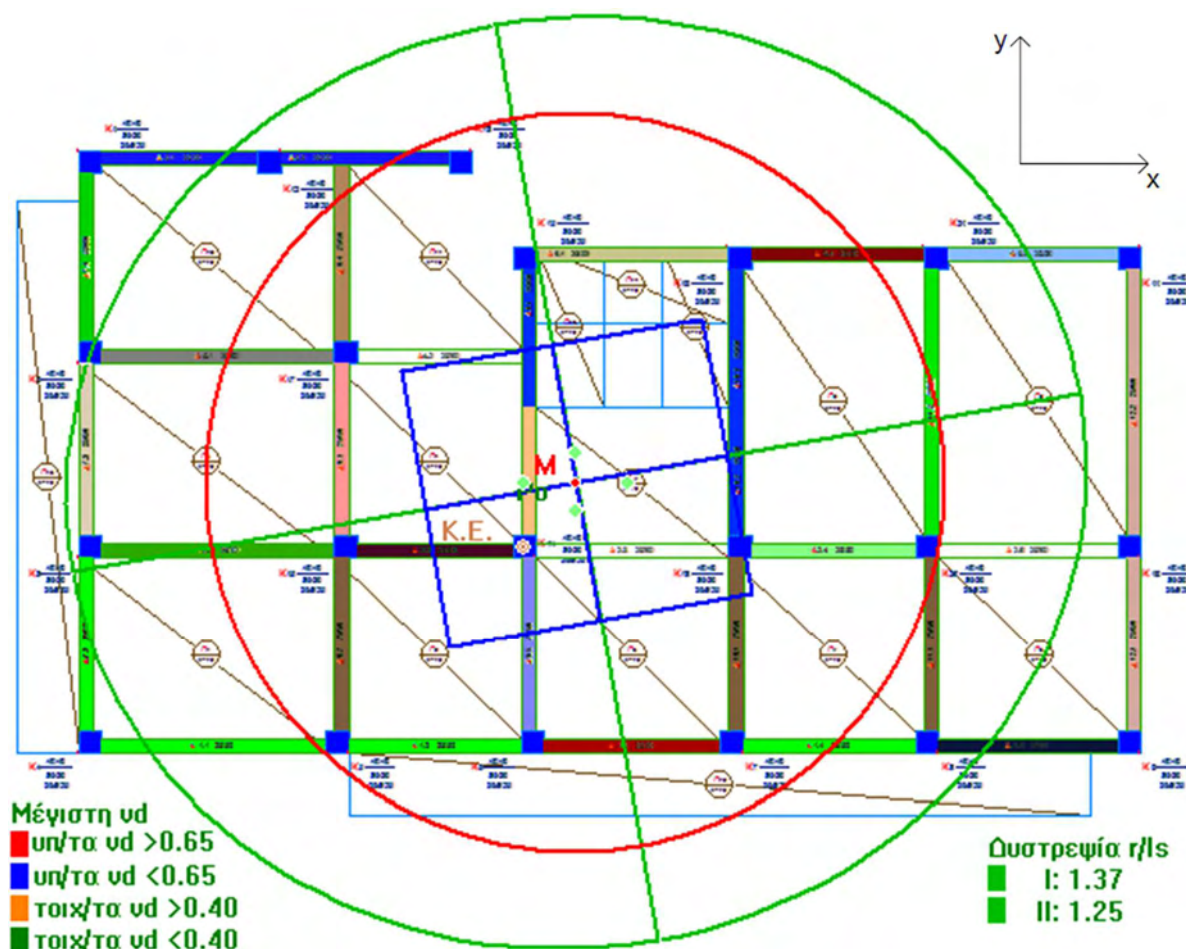


Σχήμα 4.18 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψιάς της στάθμης 1 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α)

Επίσης στο παραπάνω σχήμα παρατηρείτε ότι όλα τα υποστυλώματα έχουν ανηγμένο αξονικό φορτίο $v_d < 0.65$. Έτσι πληρείται ο περιορισμός που βάζει ο Ευρωκώδικας 8 μέρος 1 για το ανηγμένο αξονικό φορτίο αντισεισμικών υποστυλωμάτων.

iii. Στάθμη 2 (οροφή 1^{οο} ορόφου)

Βλέποντας το Σχήμα 4.19 συμπεραίνουμε ότι πληρείται ο περιορισμός εκκεντρότητας καθώς το σημείο P_0 βρίσκεται εντός του ορθογωνίου, δηλαδή ότι $e_{ox} < 0.3 r_x$. Επίσης παρατηρούμε ότι το κτίριο είναι στρεπτικά περισσότερο δύσκαμπτο από τον αρχικό φορές αφού ο λόγος $r'_x/l'_s > r_x/l_s$ πράγμα το οποίο απεικονίζεται σχηματικά αφού ο κύκλος αδράνειας βρίσκεται εντός του της έλλειψης δυστρεψιάς. Οπότε ικανοποιούνται οι περιορισμοί του Ευρωκώδικα 8 για κανονικότητα σε κάτοψη.

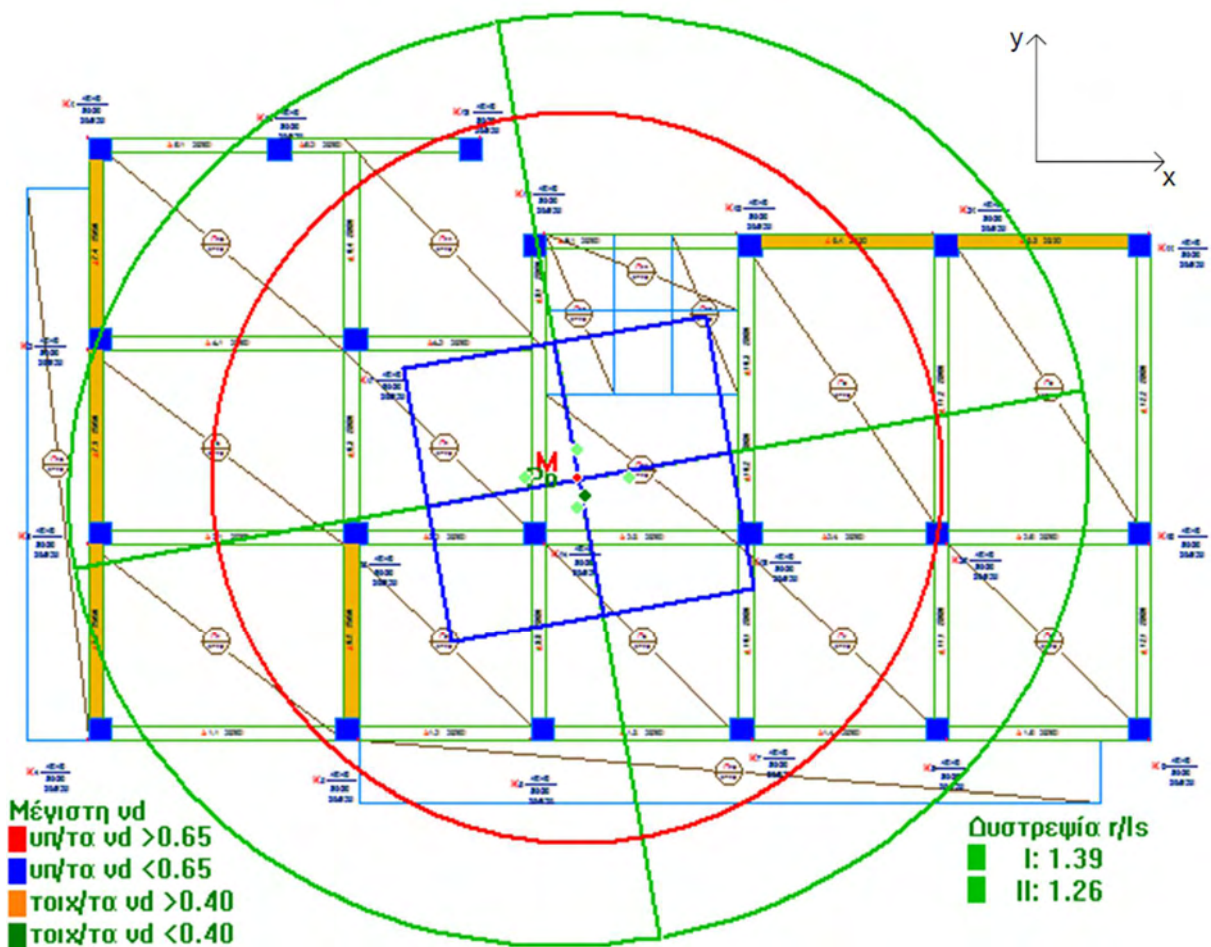


Σχήμα 4.19 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψιάς της στάθμης 2 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α)

Επίσης στο παραπάνω σχήμα παρατηρείτε ότι όλα τα υποστυλώματα έχουν ανηγμένο αξονικό φορτίο $v_d < 0.65$. Έτσι πληρείται ο περιορισμός που βάζει ο Ευρωκώδικας 8 μέρος 1 για το ανηγμένο αξονικό φορτίο αντισεισμικών υποστυλωμάτων.

iv. Στάθμη 3 (οροφή 2^ο ορόφου)

Βλέποντας το Σχήμα 4.20 συμπεραίνουμε ότι πληρείται ο περιορισμός εκκεντρότητας καθώς το σημείο P_0 βρίσκεται εντός του ορθογωνίου, δηλαδή ότι $e_{ox} < 0.3 r_x$. Επίσης παρατηρούμε ότι το κτίριο είναι στρεπτικά περισσότερο δύσκαμπτο από τον αρχικό φορές αφού ο λόγος $r'_x/l'_s > r_x/l_s$ πράγμα το οποίο απεικονίζεται σχηματικά αφού ο κύκλος αδράνειας βρίσκεται εντός του της έλλειψης δυστρεψιάς. Οπότε ικανοποιούνται οι περιορισμοί του Ευρωκώδικα 8 για κανονικότητα σε κάτοψη.



Σχήμα 4.20 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψιάς της στάθμης 3 (Μέθοδος Ενίσχυσης Α)

Επίσης στο παραπάνω σχήμα παρατηρείτε ότι όλα τα υποστυλώματα έχουν ανηγμένο αξονικό φορτίο $\nu_d < 0.65$. Έτσι πληρείται ο περιορισμός που βάζει ο Ευρωκώδικας 8 μέρος 1 για το ανηγμένο αξονικό φορτίο αντισεισμικών υποστυλωμάτων.

4.1.4 Αποτελέσματα ανάλυσης Pushover

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της μη-γραμμική στατική ανάλυση (Pushover) για την ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης στις διευθύνσεις x , y για τον ενισχυμένο φορέα. Παρακάτω θα γίνει παρουσίαση και ανάλυση των διαγραμμάτων δύναμης-μετακίνησης (F-d) και απαίτησης-ικανότητας (ADRS) αλλά και σύγκριση με τα διαγράμματα του αρχικού φορέα.

4.1.4.1 Ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης κατά διεύθυνση x

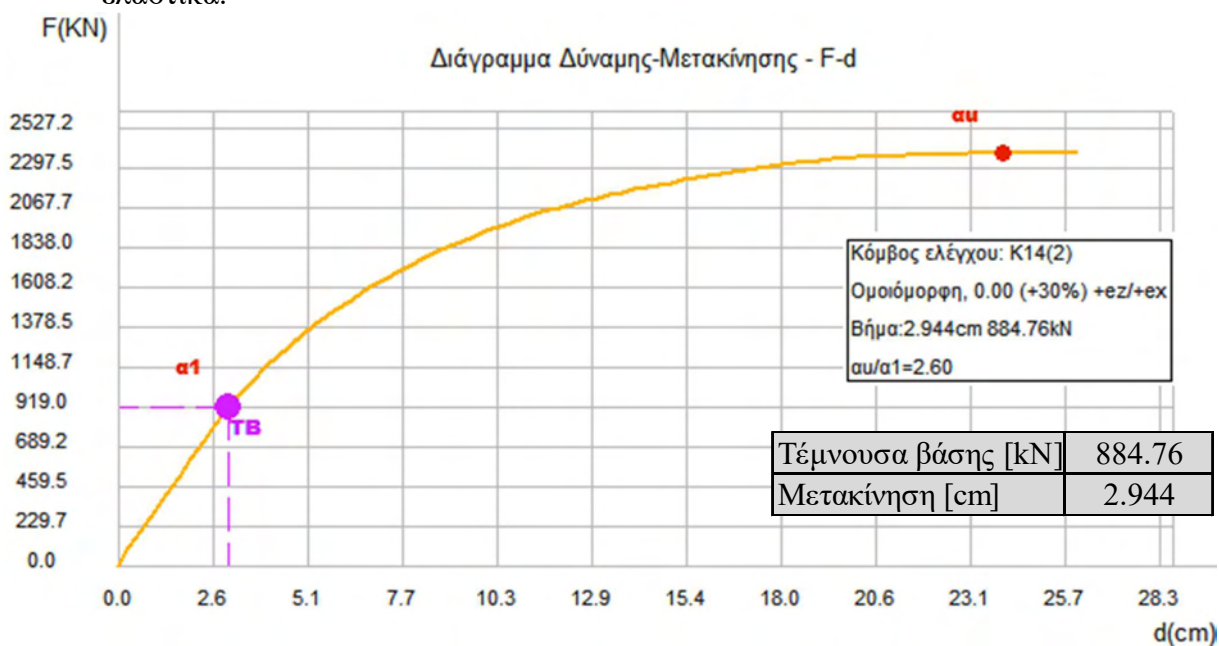
Χρησιμοποιήθηκε η ίδια φόρτιση με αυτή με αυτή που επιβάλλαμε στον αρχικό φορέα και παρουσιάσαμε τα αποτελέσματα στο Κεφάλαιο 3. Στη συνέχεια παραθέτονται τα διαγράμματα δύναμης μετατόπισης που προέκυψαν από την ανάλυση.

Διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης F-d κατά x

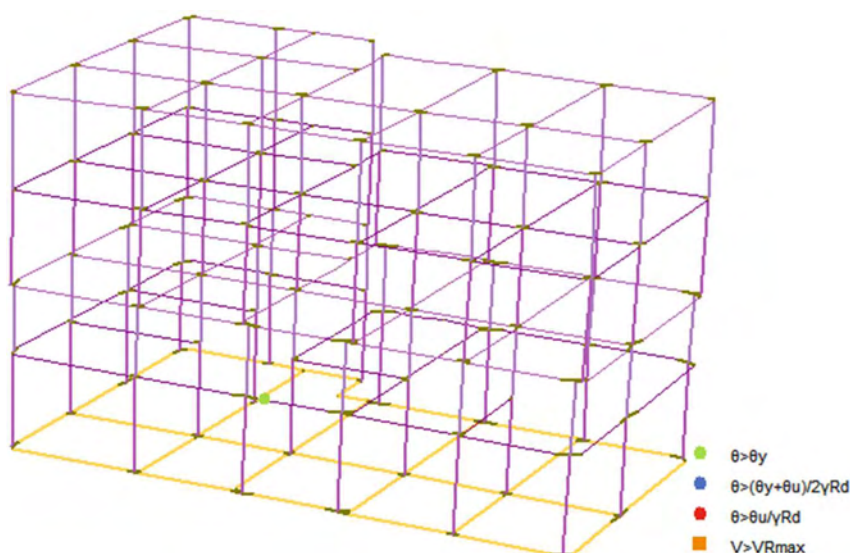
Τα διαγράμματα που θα παρουσιαστεί είναι σε τρεις διαφορετικές φάσεις της φόρτισης. Στο Σχήμα 4.21 είναι η στιγμή δημιουργίας της πρώτης πλαστικής άρθρωσης, στο Σχήμα 4.25 είναι η στιγμή που ο φορέας γίνεται μηχανισμός και στο σχήμα 4.23 είναι μία τυχαία ενδιάμεση στιγμή.

i. Σημείο α₁ – Σημείο 1^{ης} πλαστική άρθρωσης

Στο σημείο α₁ δημιουργείται η πρώτη πλαστική άρθρωση στον φορέα, στη δοκό Δ2.1(0) και στο Σχήμα 4.21 βλέπουμε ότι έχει μία πράσινη κουκίδα πράγμα που σημαίνει ότι πληρεί το κριτήριο $\theta > \theta_y$. Μέχρι εκείνο το σημείο ο φορέας συμπεριφέρεται ελαστικά.



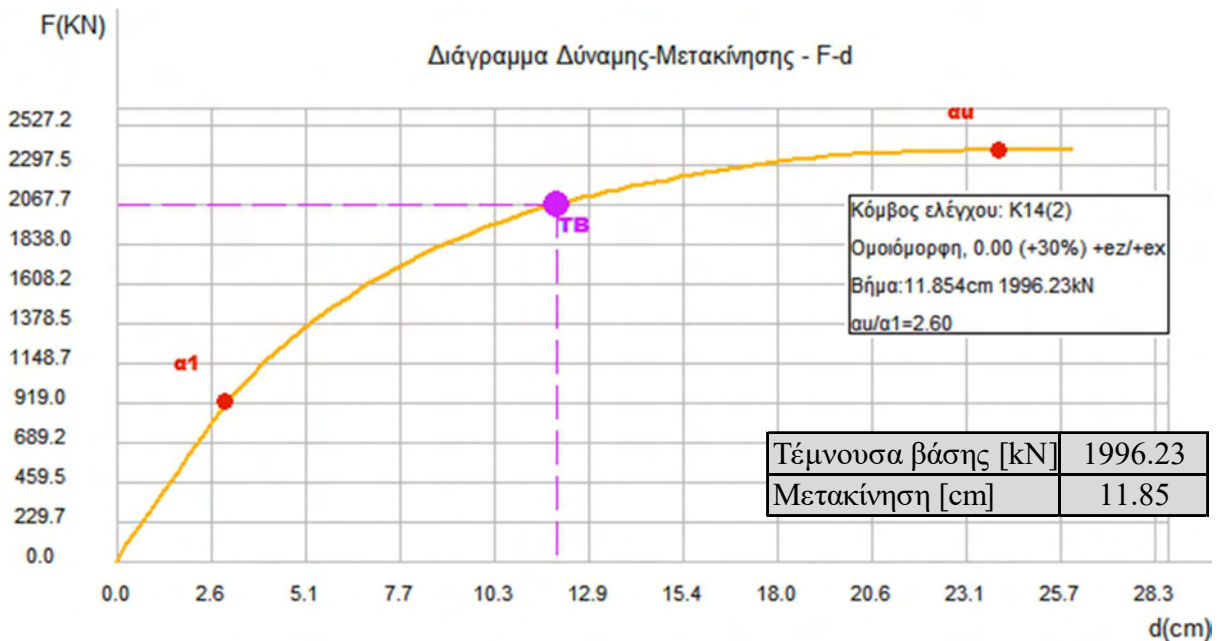
Σχήμα 4.21 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.
Θέση α₁: Δημιουργία 1^{ης} Πλαστικής Άρθρωσης (Μέθοδος Ενίσχυσης Α)



Σχήμα 4.22 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x.
Θέση α₁ (Μέθοδος Ενίσχυσης Α)

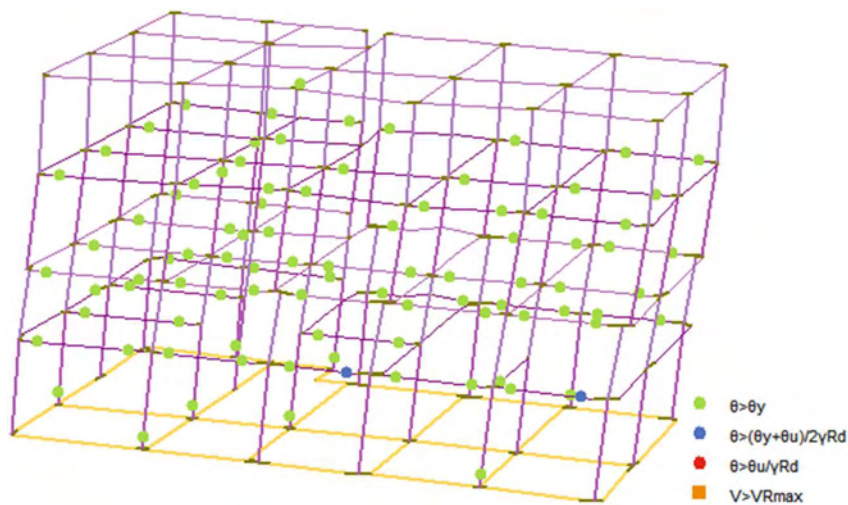
ii. Σημείο α₂ – Τυχαίο ενδιάμεσο σημείο

Στο σημείο α₂ (Σχ.4.23) έχουν δημιουργηθεί και άλλες πλαστικές αρθρώσεις στον φορέα τόσο σε δοκούς όσο και σε υποστυλώματα. Στο Σχήμα 4.24 τα άκρα των μελών που έχουν πράσινες κουκίδες ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > \theta_y$ ενώ τα άκρα των μελών που έχουν μπλε κουκίδες βρίσκονται στην στάθμη επιτελεστικότητας SD, δηλαδή ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > (\theta_u + \theta_y)/2\gamma R_d$ με $\gamma R_d = 1.50$ για πρωτεύοντα μέλη και θ_u τη γωνία στροφής χορδής κατά την αστοχία.



Σχήμα 4.23 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

Θέση α₂: Αστοχία μελών στη σ.ε. SD (Μέθοδος Ενίσχυσης Α)

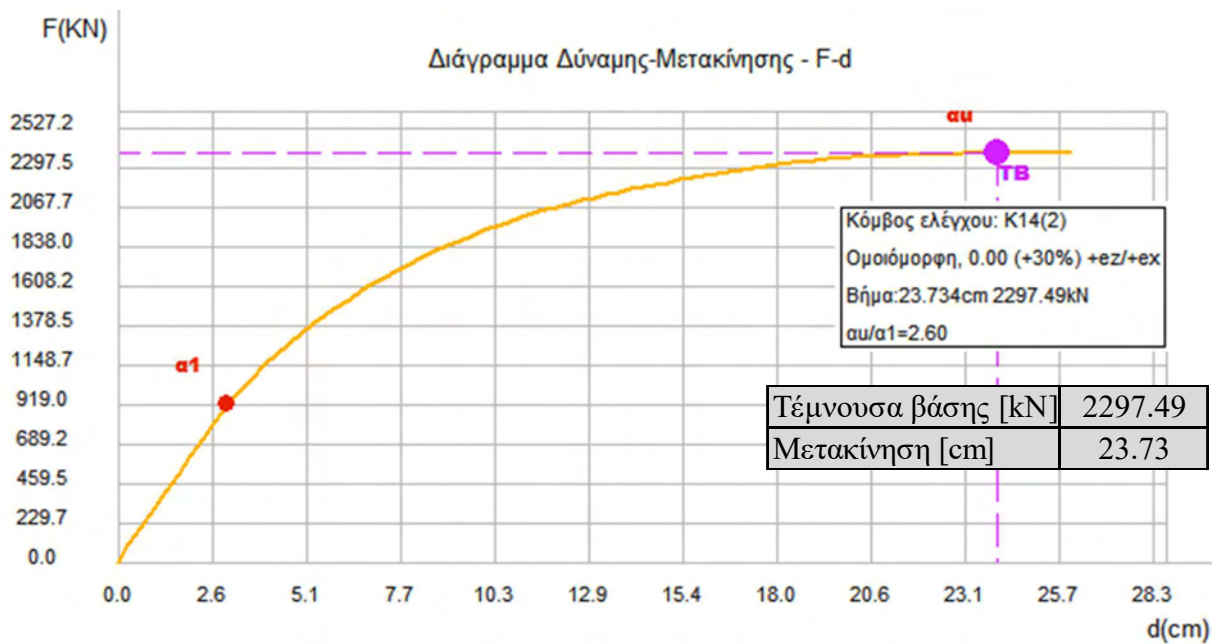


Σχήμα 4.24 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x.

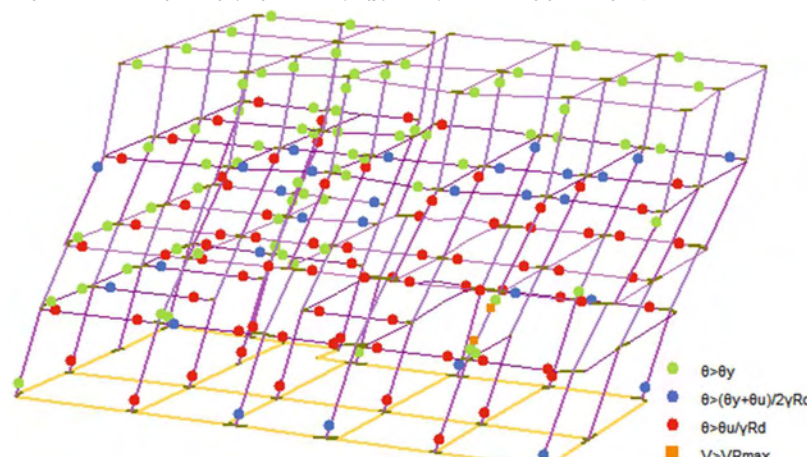
Θέση α₂ (Μέθοδος Ενίσχυσης Α)

iii. Σημείο α₃ – Σημείο κατάρρευσης

Στο σημείο α_u (Σχ.4.25) δημιουργείται η πλαστική άρθρωση που προκαλεί την θεωρητική κατάρρευση του φορέα. Βλέποντας το Σχήμα 4.26 παρατηρούμε ότι υπάρχουν άκρα μελών που έχουν πράσινες και μπλε κουκίδες τα οποία ικανοποιούν τα κριτήρια που περιγράψαμε παραπάνω. Επίσης παρατηρούμε άκρα μελών τα οποία έχουν κόκκινες κουκίδες που σημαίνει ότι βρίσκονται στη στάθμη επιτελεστικότητας NC καθώς ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > (\theta_u + \theta_y)2\gamma rd$ με $\gamma rd = 1.50$ για πρωτεύοντα μέλη.



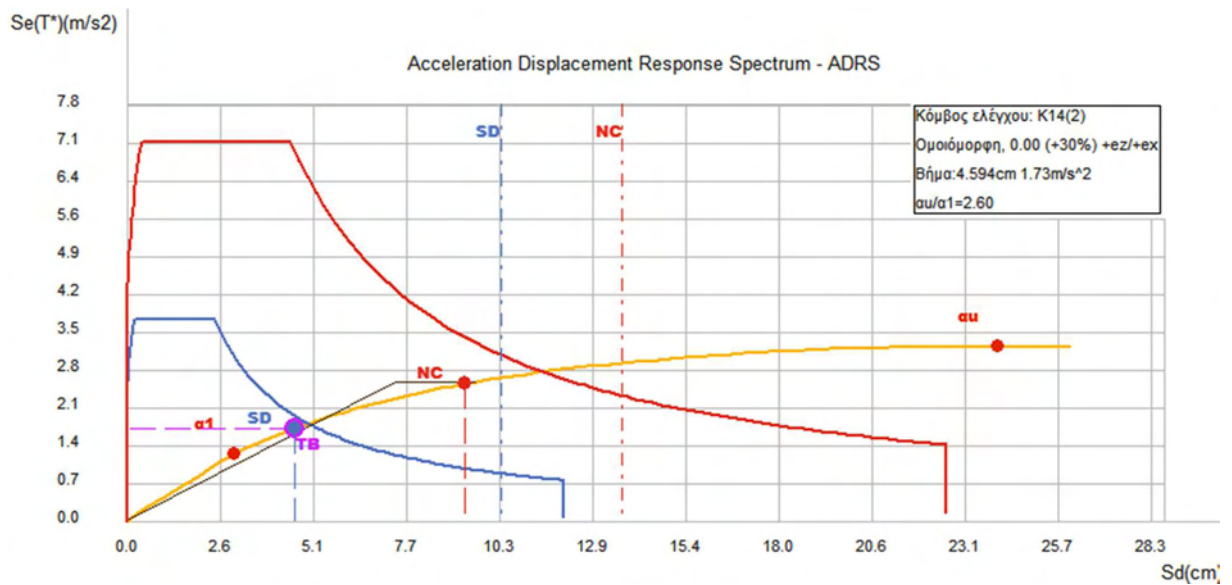
Σχήμα 4.25 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.
Θέση α_u: Μετατροπή φορέα σε μηχανισμό Κατάρρευσης (Μέθοδος Ενίσχυσης A)



Σχήμα 4.26 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x.
Θέση α_u (Υφιστάμενος Φορέας)

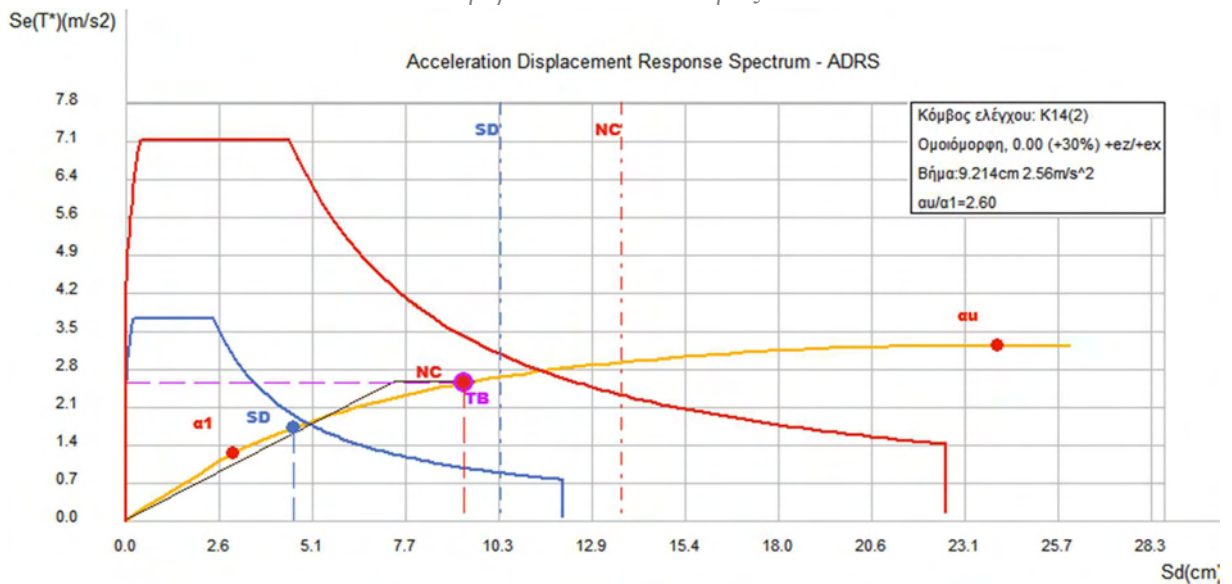
Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας (ADRS) κατά x

Αυτό που καταστείτε εφικτό μέσω του διαγράμματος Απαίτησης – Ικανότητας είναι η σύγκριση της καμπύλης ικανότητας της κατασκευής με τη σεισμική απαίτηση που ορίζεται. Αυτό επιτυγχάνεται μετατρέποντας την καμπύλη ικανότητας F-d σε φάσμα ικανότητας Sa-Sd. Στη συνέχεια παραθέτονται το διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας (ADRS) που προέκυψε στις θέσεις των σταθμών επιτελεστικότητας που θέσαμε για την συγκεκριμένη φόρτιση (Σχ. 4.27, 4.28).



Σχήμα 4.27 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).

Θέση ορίου επιτελεστικότητας SD.



Σχήμα 4.28 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).

Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.

Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι η στοχευμένη μετακίνηση λόγω αυξημένων παραμορφώσεων δεν βρίσκεται στο σημείο τομής της καμπύλης ικανότητας με το ελαστικό φάσμα απαίτησης, αλλά στο σημείο όπου θα τεμνόταν με το μειωμένο πλαστικό φάσμα. Οι κατακόρυφες διακεκομμένες γραμμές δείχνουν την ικανότητα της κατασκευής για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας. Οπότε ο έλεγχος γίνεται με βάση το που βρίσκεται η διακεκομμένη γραμμή σε σχέση με το σημείο της στοχευμένης μετακίνησης της αντίστοιχης στάθμης επιτελεστικότητας. Αν βρίσκεται η διακεκομμένη γραμμή αριστερά της στοχευμένης μετακίνησης τότε αυτό μας δείχνει ότι ο φορέας δεν επαρκεί για την συγκεκριμένη στάθμη επιτελεστικότητας.

Αναλύοντας τα Σχήματα 4.27, 4.28 συμπεραίνεται ότι ο φορέας επαρκεί για την στάθμη επιτελεστικότητας Σημαντικών Βλαβών (SD) καθώς η μπλε διακεκομμένη (ικανότητα φορέα για την SD) βρίσκεται δεξιά της μπλε κουκίδας (απαίτηση για την SD). Επίσης το κτίριο επαρκεί για την στάθμη επιτελεστικότητας οιονεί κατάρρευση (NC) καθώς η κόκκινη διακεκομμένη (ικανότητας φορέα για την NC) βρίσκεται δεξιά της κόκκινης κουκίδας (απαίτηση για την NC).

Σε σύγκριση με τον αρχικό φορέα και τα διαγράμματα που προέκυψαν για την συγκεκριμένη φόρτιση διαπιστώνεται ότι ο ενισχυμένος φορέας έχει αρκετά μεγαλύτερη αντοχή. Στον ενισχυμένο φορέα η πλαστική άρθρωση που κάνει τον φορέα μηχανισμό δημιουργείται για τέμνουσα βάσης $F = 2297.49 \text{ kN}$ και μετακίνηση $d = 23.73 \text{ cm}$ ενώ στον αρχικό φορέα δημιουργούταν για τέμνουσα βάσης $F = 1242.23 \text{ kN}$ και μετακίνηση $d = 18.79 \text{ cm}$. Επίσης ο λόγος υπεραντοχής του ενισχυμένου φορέα είναι $a_u / a_1 = 2.60$ ενώ στον αρχικό φορέας ήταν $a_u / a_1 = 2.15$.

4.1.4.2 Ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης κατά διεύθυνση y

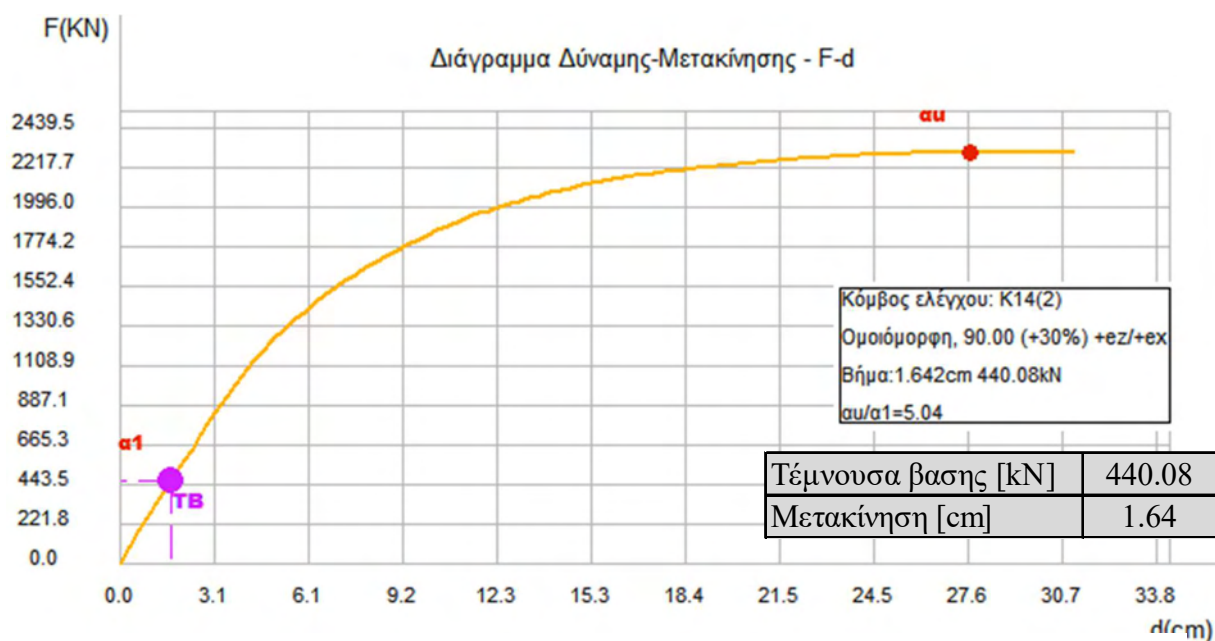
Χρησιμοποιήθηκε η ίδια φόρτιση με αυτή με αυτή που επιβάλλαμε στον αρχικό φορέα και παρουσιάσαμε τα αποτελέσματα στο Κεφάλαιο 3. Στη συνέχεια παραθέτονται τα διαγράμματα δύναμης μετατόπισης που προέκυψαν από την ανάλυση.

Διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης F-d κατά y

Τα διαγράμματα που παρουσιάζονται είναι σε τρεις διαφορετικές φάσεις της φόρτισης. Στο σχήμα 4.29 είναι η στιγμή δημιουργίας της πρώτης πλαστικής άρθρωσης, στο σχήμα 4.31 είναι η στιγμή που ο φορέας γίνεται μηχανισμός και στο σχήμα 4.30 είναι μία τυχαία ενδιάμεση στιγμή.

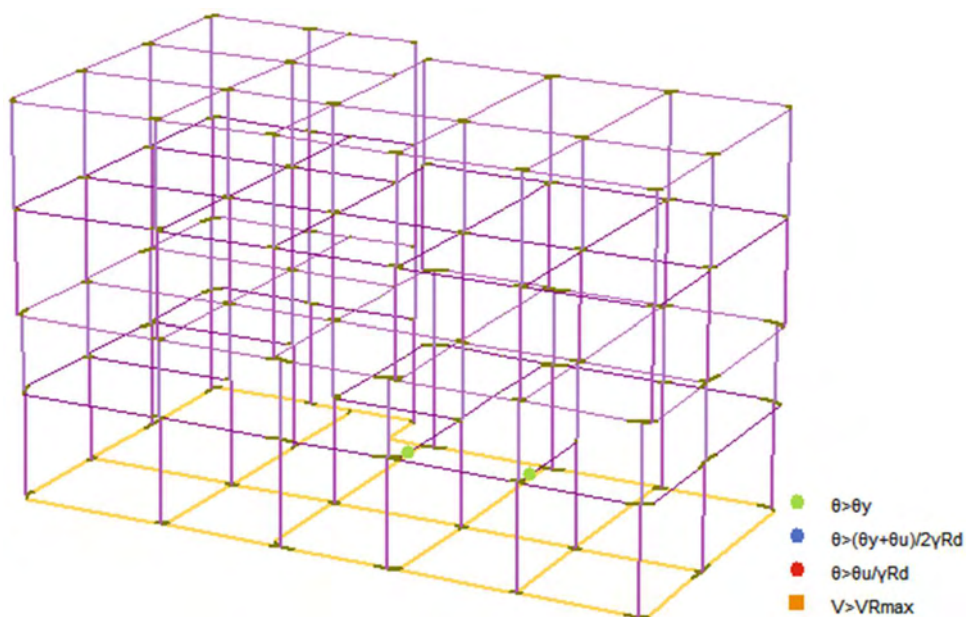
i. Σημείο α₁ – Σημείο 1^{ης} πλαστική άρθρωσης

Στο σημείο α₁ (Σχ.4.29) δημιουργείται η πρώτη πλαστική άρθρωση στον φορέα, στη δοκό Δ2.1(0) και στο Σχήμα 4.29 βλέπουμε ότι έχει μία πράσινη κουκίδα πράγμα που σημαίνει ότι πληρεί το κριτήριο $\theta > \theta_y$. Μέχρι εκείνο το σημείο ο φορέας συμπεριφέρεται ελαστικά.



Σχήμα 4.28 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.

Θέση α₁: Δημιουργία 1^{ης} Πλαστικής Άρθρωσης (Μέθοδος Ενίσχυσης Α)

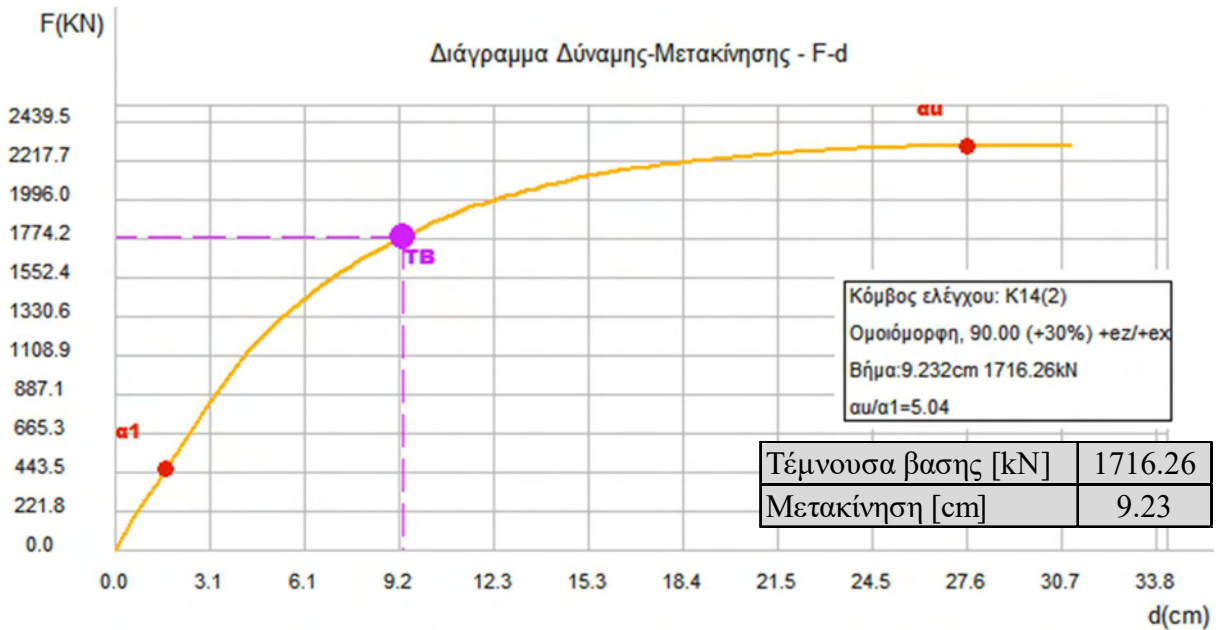


Σχήμα 4.29 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y.

Θέση α₁ (Μέθοδος Ενίσχυσης Α)

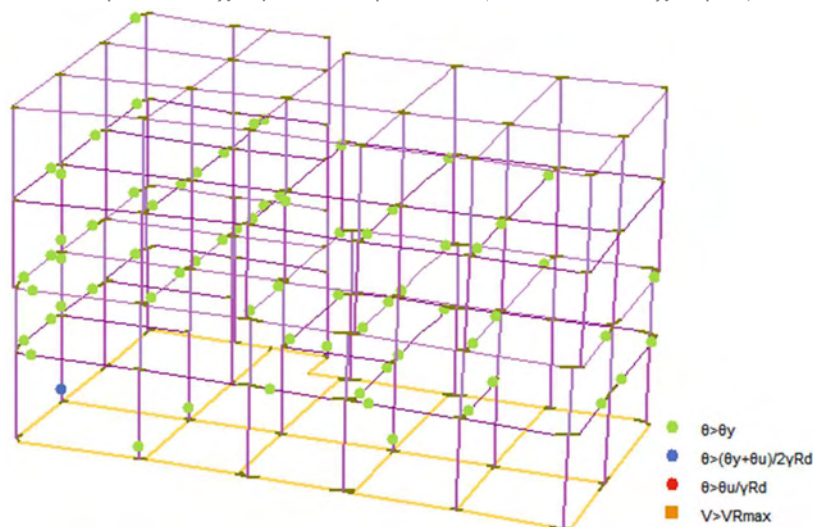
ii. Σημείο α₂ – Τυχαίο ενδιάμεσο σημείο

Στο σημείο α₂ (Σχ 4.31) έχουν δημιουργηθεί και άλλες πλαστικές αρθρώσεις στον φορέα τόσο σε δοκούς όσο και σε υποστυλώματα. Στο Σχήμα 4.32 τα άκρα των μελών που έχουν πράσινες κουκίδες ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > \theta_y$ ενώ τα άκρα των μελών που έχουν μπλε κουκίδες βρίσκονται στην στάθμη επιτελεστικότητας SD, δηλαδή ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > (\theta_u + \theta_y)/2\gamma_{rd}$ με $\gamma_{rd} = 1.50$ για πρωτεύοντα μέλη και θ_u τη γωνία στροφής χορδής κατά την αστοχία.



Σχήμα 4.30 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.

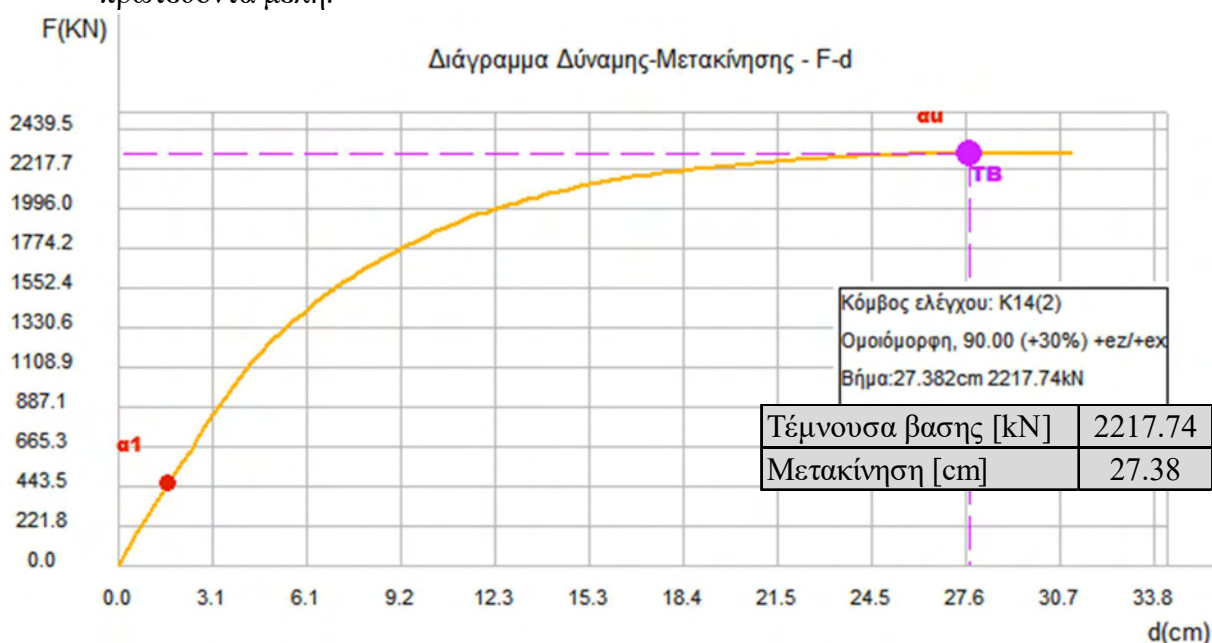
Θέση α₂: Αστοχία μελών στη σ.ε. SD (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).



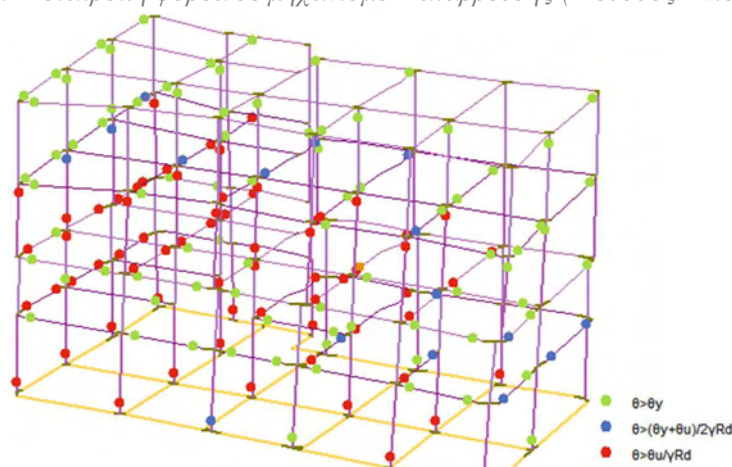
Σχήμα 4.31 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y, Θέση α₂ (Μέθοδος Ενίσχυσης Α)

iii. Σημείο α₃ – Σημείο κατάρρευσης

Στο σημείο α_u (Σχ.4.33) δημιουργείται η πλαστική άρθρωση που προκαλεί την θεωρητική κατάρρευση του φορέα. Βλέποντας το Σχήμα 4.34 παρατηρούμε ότι υπάρχουν άκρα μελών που έχουν πράσινες και μπλε κουκίδες τα οποία ικανοποιούν τα κριτήρια που περιγράψαμε παραπάνω. Επίσης παρατηρούμε άκρα μελών τα οποία έχουν κόκκινες κουκίδες που σημαίνει ότι βρίσκονται στη στάθμη επιτελεστικότητας NC καθώς ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > (\theta_u + \theta_y)2\gamma_r$ με $\gamma_{rd} = 1.50$ για πρωτεύοντα μέλη.



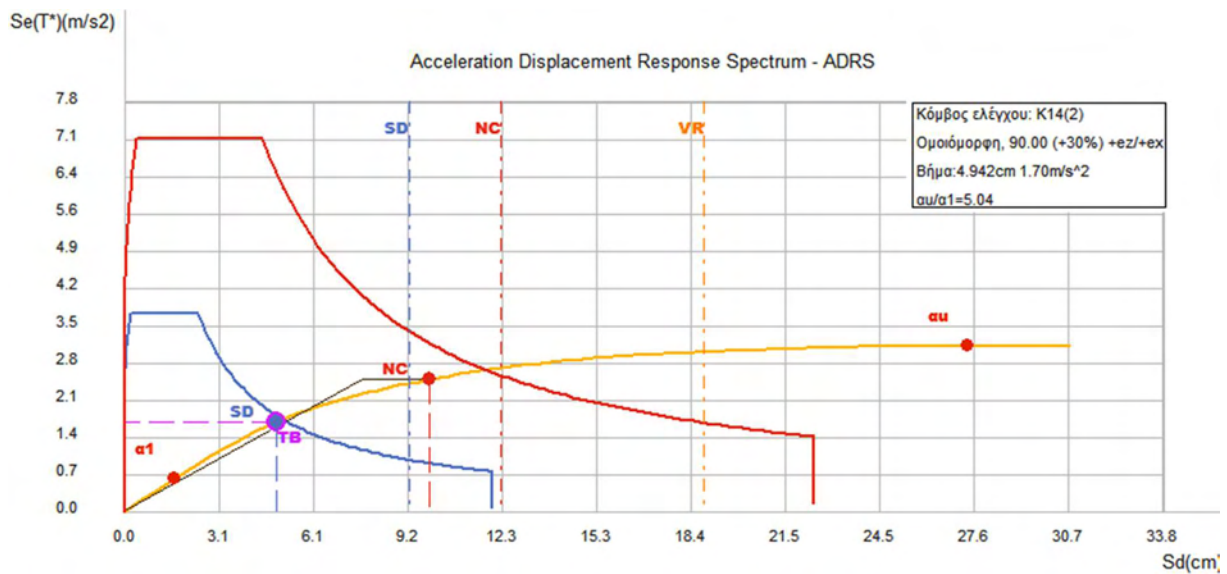
Σχήμα 4.32 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.
Θέση α_u: Μετατροπή φορέα σε μηχανισμό Κατάρρευσης (Μέθοδος Ενίσχυσης A).



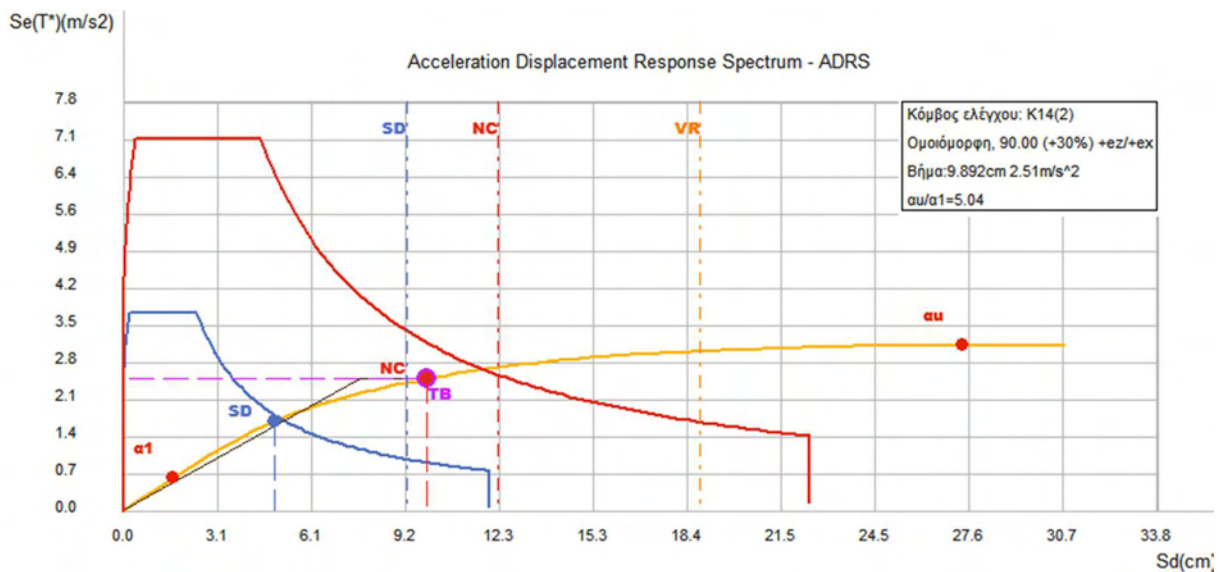
Σχήμα 4.33 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y.
Θέση α_u (Υφιστάμενος Φορέας A)

Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας (ADRS) κατά γ

Αυτό που καταστείτε εφικτό μέσω του διαγράμματος Απαίτησης – Ικανότητας είναι η σύγκριση της καμπύλης ικανότητας της κατασκευής με τη σεισμική απαίτηση που ορίζεται. Αυτό επιτυγχάνεται μετατρέποντας την καμπύλη ικανότητας F-d σε φάσμα ικανότητας Sa-Sd. Στη συνέχεια παραθέτονται το διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας (ADRS) που προέκυψε στις θέσεις των σταθμών επιτελεστικότητας που θέσαμε για την συγκεκριμένη φόρτιση (Σχ. 4.35, 4.36).



Σχήμα 4.35 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση γ (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).
Θέση ορίου επιτελεστικότητας SD.



Σχήμα 4.36 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση γ (Μέθοδος Ενίσχυσης Α).
Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.

Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι η στοχευμένη μετακίνηση λόγω αυξημένων παραμορφώσεων δεν βρίσκεται στο σημείο τομής της καμπύλης ικανότητας με το ελαστικό φάσμα απαίτησης, αλλά στο σημείο όπου θα τεμνόταν με το μειωμένο πλαστικό φάσμα. Ακόμα πρέπει να πούμε ότι οι κατακόρυφες διακεκομμένες γραμμές μας δείχνουν την ικανότητα της κατασκευής για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας. Οπότε ο έλεγχος γίνεται με βάση το που βρίσκεται η διακεκομμένη γραμμή σε σχέση με το σημείο της στοχευμένης μετακίνησης της αντίστοιχης στάθμης επιτελεστικότητας. Αν βρίσκεται η διακεκομμένη γραμμή αριστερά της στοχευμένης μετακίνησης τότε αυτό μας δείχνει ότι ο φορέας δεν επαρκεί για την συγκεκριμένη στάθμη επιτελεστικότητας.

Αναλύοντας τα σχήματα 4.35, 4.36 συμπεραίνεται ότι ο φορέας επαρκεί για την στάθμη επιτελεστικότητας Σημαντικών Βλαβών (SD) καθώς η μπλε διακεκομμένη (ικανότητα φορέα για την SD) βρίσκεται δεξιά της μπλε κουκίδας (απαίτηση για την SD). Επίσης το κτίριο επαρκεί για την στάθμη επιτελεστικότητας οιονεί κατάρρευση (NC) καθώς η κόκκινη διακεκομμένη (ικανότητα φορέα για την NC) βρίσκεται δεξιά της κόκκινης κουκίδας (απαίτηση για την NC).

Σε σύγκριση με τον αρχικό φορέα και τα διαγράμματα που προέκυψαν για την συγκεκριμένη φόρτιση μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί ότι ο ενισχυμένος φορέας έχει αρκετά μεγαλύτερη αντοχή. Η 1^η πλαστική άρθρωση στον ενισχυμένο φορέα δημιουργείται για φορτίο $F = 440.08 \text{ kN}$ ενώ στο αρχικό δημιουργούταν για $F = 311.82 \text{ kN}$. Στον ενισχυμένο φορέα η πλαστική άρθρωση που κάνει τον φορέα μηχανισμό δημιουργείται για τέμνουσα βάσης $F = 2217.74 \text{ kN}$ και μετακίνηση $d = 27.38 \text{ cm}$ ενώ στον αρχικό φορέα δημιουργούταν για τέμνουσα βάσης $F = 1091.28 \text{ kN}$ και μετακίνηση $d = 17.17 \text{ cm}$. Επίσης ο λόγος υπεραντοχής του ενισχυμένου φορέα είναι $a_u/a_1 = 5.04$ ενώ στον αρχικό φορέα ήταν $a_u/a_1 = 3.50$.

4.1.5 Λόγοι επάρκειας

Οι λόγοι επάρκειας των μελών λ ($\lambda = \text{απαίτηση/ικανότητα}$) δείχνουν εάν και κατά πόσο επαρκεί το εκάστοτε μέλος του φέροντος οργανισμού για τις στάθμες επιτελεστικότητας που έχουμε θέσει. Ο έλεγχος του λόγου επάρκειας των μελών γίνεται τόσο για την στροφή χορδής θ ($\lambda = \theta/\theta_{lim}$) όσο και για την τέμνουσα δύναμη V ($\lambda = V/V_R$). Αν για τον λόγο λ ισχύει ότι $\lambda \leq 1$, και για τους δύο ελέγχους, τότε το μέλος επαρκεί και δεν χρειάζεται ενίσχυση. Αντίθετα αν $\lambda > 1$ τότε το μέλος δεν επαρκεί και χρειάζεται να γίνει επέμβαση.

4.1.5.1 Λόγοι επάρκειας αρχικά μη-επαρκών μελών

Στον Πίνακα 4.10 αναγράφονται οι νέοι λόγοι επάρκειας που υπολογίστηκαν για τον έλεγχο τον οποίο το εκάστοτε δομικό μέλος κρίθηκε μη-επαρκές στους ελέγχους που έγιναν στον αρχικό φορέα. Τα δομικά μέλη στον αρχικό φορέα κρίθηκαν μη επαρκή για τον έλεγχο στροφής χορδής στην στάθμη επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευση (NC).

Πίνακας 4.10 Λόγος επάρκειας αρχικά μη-επαρκών μελών (Μέθοδος Ενίσχυσης)

Δομικό μέλος	Έλεγχος	λ (NC)	Δομικό μέλος	Έλεγχος	λ (NC)
K1(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.48	K15(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.43
K2(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.49	K16(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.75
K3(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.85	K17(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.68
K4(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.50	K18(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.78
K5(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.76	K19(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.45
K6(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.45	K20(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.69
K7(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.45	K21(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.74
K8(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.74	$\Delta 7.1(0)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.67
K9(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.43	$\Delta 7.3(0)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.74
K10(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.57	$\Delta 11.1(0)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.65
K11(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.44	$\Delta 12.1(0)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.64
K12(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.76	$\Delta 12.2(0)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.79
K13(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.75	$\Delta 7.2(1)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.82
K14(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.69	$\Delta 7.4(1)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.86

4.1.6 Μέγιστα λόγων επάρκειας

Στους παρακάτω πίνακες αναγράφονται τα μέγιστα των λόγων επάρκειας των υποστυλωμάτων και των δοκών του ενισχυμένου φορέα.

Πίνακας 4.11 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Δοκών – Έλεγχος Στροφής χορδής

Στάθμη επιτελεστικότητας	Μέλος	Λόγος επάρκειας
SD	K3(0)	0.60
NC	K3(0)	0.85

Πίνακας 4.12 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Δοκών – Έλεγχος Διάτμησης

Στάθμη επιτελεστικότητας	Μέλος	Λόγος επάρκειας
SD	K12(2)	0.64
NC	K14(1)	0.84

Πίνακας 4.13 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Υπ/των – Έλεγχος Στροφής χορδής

Στάθμη επιτελεστικότητας	Μέλος	Λόγος επάρκειας
SD	Δ5.3(2)	0.58
NC	Δ12.1(2)	0.95

Πίνακας 4.14 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Υπ/των – Έλεγχος Διάτμησης

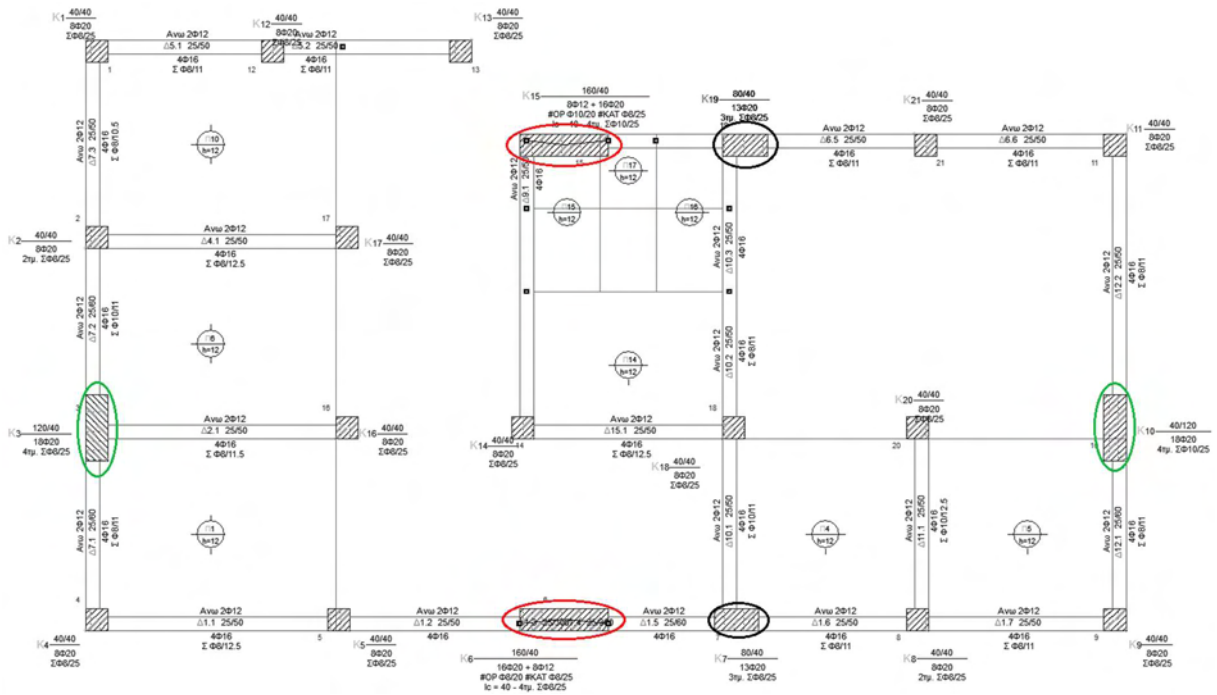
Στάθμη επιτελεστικότητας	Μέλος	Λόγος επάρκειας
SD	Δ9.1(2)	0.51
NC	Δ9.1(2)	0.86

4.2 Μέθοδος Ενίσχυσης Β

4.2.1 Ενίσχυση υποστυλωμάτων

i. Υποστυλώματα στάθμης 0 (ισόγειο)

Στον παρακάτω ξυλότυπο του ισόγειου (Σχ.4.37) δείχνονται τα υποστυλώματα τα οποία ενισχύθηκαν. Στα υποστυλώματα που είναι κυκλωμένα με κόκκινο χρώμα έγινε ενισχύθηκαν με μανδύες σκυροδέματος και έγιναν τοιχώματα διατομής 160/40 cm. Αυτά που είναι κυκλωμένα με πράσινο χρώμα ενισχύθηκαν με μανδύες σκυροδέματος και έγιναν τοιχώματα διατομής 120/40 cm.



Σχήμα 4.34 Ξυλότυπος στάθμης 0 (Μέθοδος Ενίσχυσης Β)

- Για τα υποστυλώματα K3(0) και K10(0) (πράσινο χρώμα).

Τα υφιστάμενα υποστυλώματα είχαν αρχικές διαστάσεις 40/40 cm. Η ενίσχυση που επιλέχθηκε να γίνει για αυτά τα υποστυλώματα είναι να γίνουν διατομής 120/40 cm έτσι ώστε να μεγαλώσει η δυσκαμψία τους.

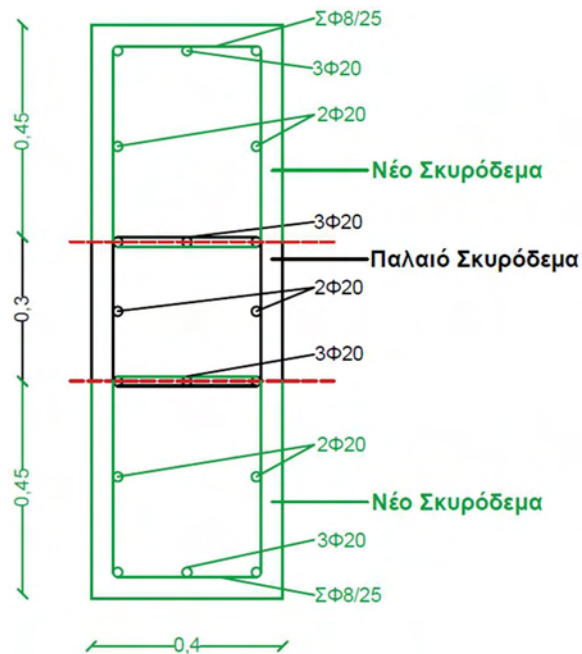
Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την ενίσχυση των υποστυλωμάτων είναι τα εξής:

- **C20/25**
- **B500**

Ο νέος οπλισμός που μπήκε αναγράφεται στον Πίνακα 4.15 και η διάταξη στο Σχήμα 4.38.

Πίνακας 4.15 Χαρακτηριστικά ενισχυμένων Υποστυλωμάτων

	Υφιστάμενο Υπ/μα	Ενισχυμένο Υπ/μα
Διαστάσεις [cm x cm]	40/40	120/40
Οπλισμός [τεμάχια]	8Φ20	8Φ20+10Φ20
Συνδετήρες [τεμάχια/s]	ΣΦ8/25	ΣΦ8/25+2ΣΦ8/25



Σχήμα 4.35 Διατομή ενισχυμένων Υποστυλωμάτων

- για τα υποστυλώματα K7(0) K19(0)(μαύρο χρώμα).

Τα υφιστάμενα υποστυλώματα είχαν αρχικές διαστάσεις 40/40 cm. Η ενίσχυση που επιλέχθηκε να γίνει για αυτά τα υποστυλώματα είναι να γίνουν διατομής 80x40 cm έτσι ώστε να μεγαλώσει η δυσκαμψία τους.

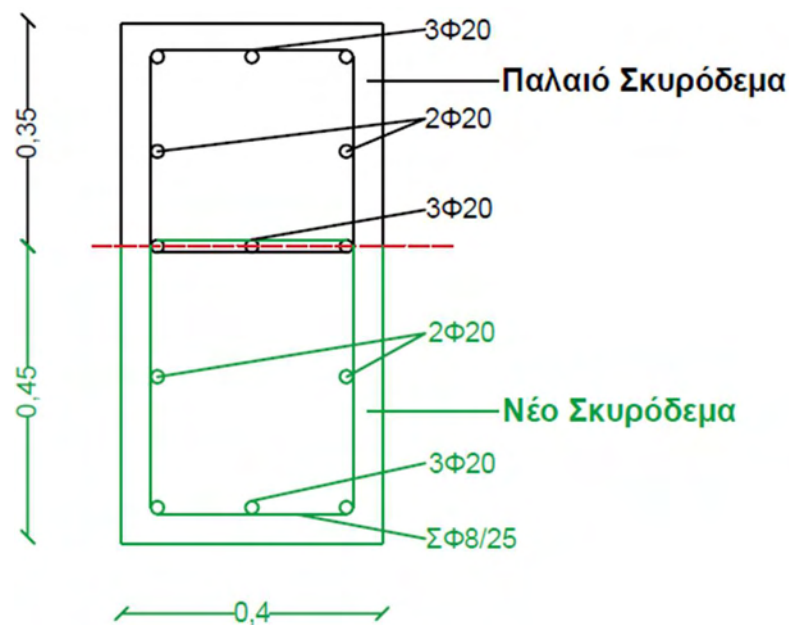
Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την ενίσχυση των υποστυλωμάτων είναι τα εξής:

- **C20/25**
- **B500**

Ο νέος οπλισμός που μπήκε αναγράφεται στον Πίνακα 4.41 και η διάταξη του στο παρακάτω Σχήμα 4.106.

Πίνακας 4.41 Χαρακτηριστικά ενισχυμένων Υποστυλωμάτων

	Υφιστάμενο Υπ/μα	Ενισχυμένο Υπ/μα
Διαστάσεις [cm x cm]	40/40	80/40
Οπλισμός [τεμάχια]	8Φ20	8Φ20+5Φ20
Συνδετήρες [τεμάχια/s]	ΣΦ8/25	ΣΦ8/25+ΣΦ8/25



Σχήμα 4.106 Διατομή ενισχυμένων Υποστυλωμάτων

- Για τα υποστυλώματα K6(0) και K15(0) (μπλε χρώμα).

Το υφιστάμενο υποστύλωμα είχε αρχικές διαστάσεις 40/40 cm. Η ενίσχυση που επιλέχθηκε να γίνει για αυτό το υποστύλωμα είναι να γίνει διατομής 120/40 cm έτσι ώστε να μεγαλώσει η δυσκαμψία του.

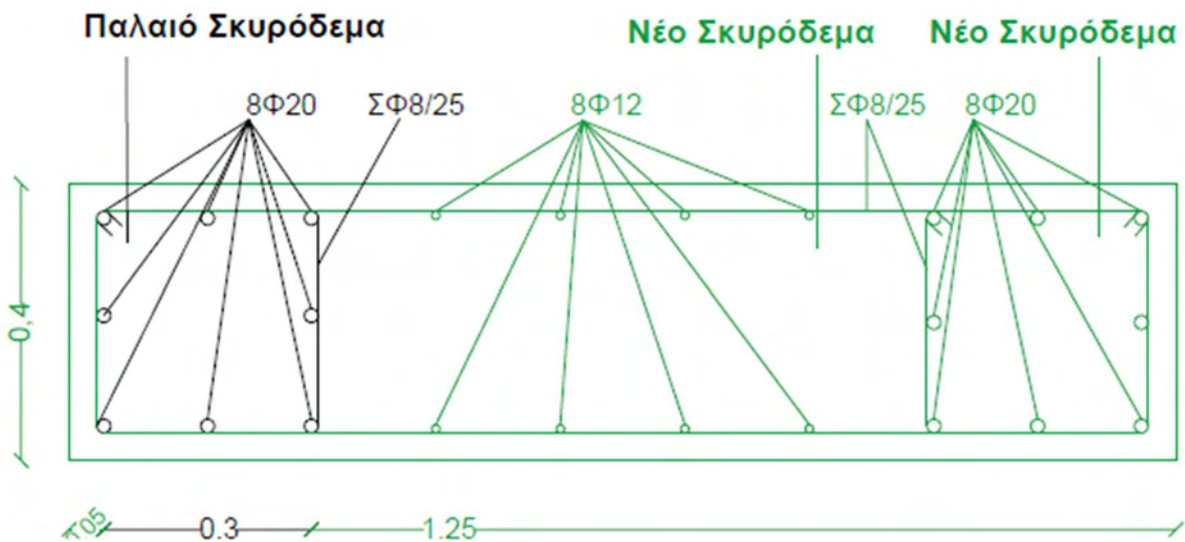
Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την ενίσχυση του υποστυλώματος είναι τα εξής:

- **C20/25**
- **B500**

Ο νέος οπλισμός που μήκη αναγράφεται στον Πίνακα 4.16 και η διάταξη στο παρακάτω Σχήμα 4.36.

Πίνακας 4.16 Χαρακτηριστικά ενισχυμένων Υποστυλωμάτων

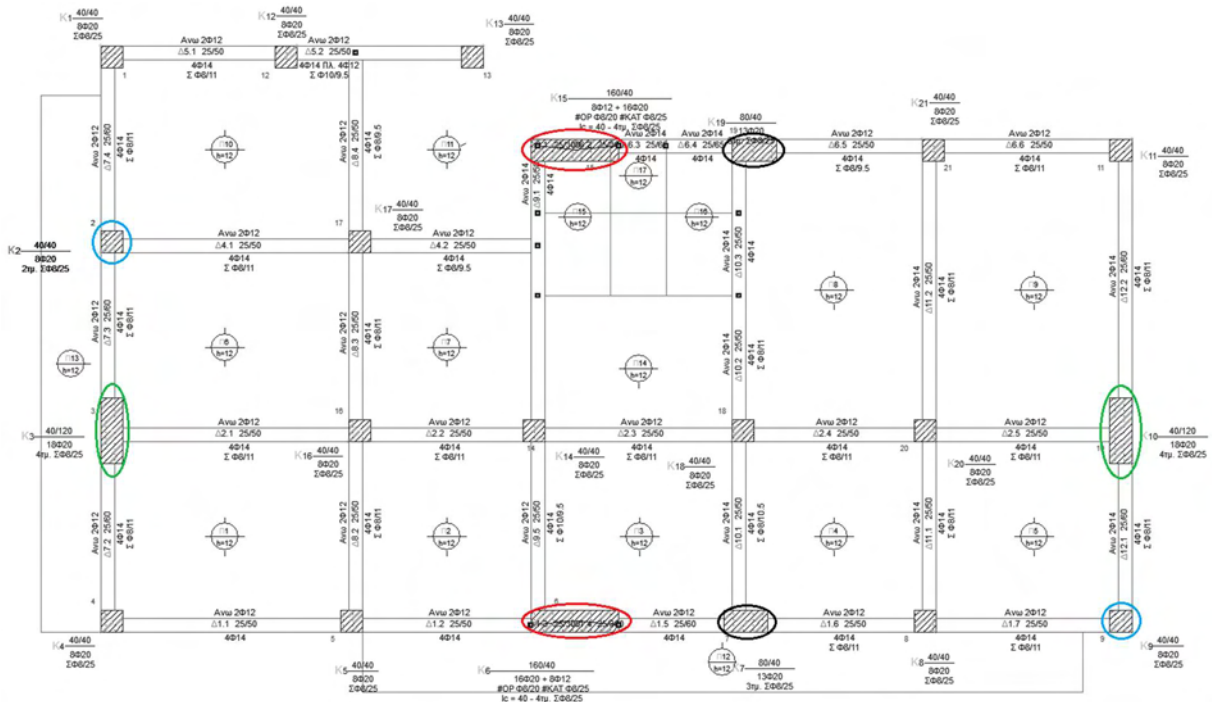
	Υφιστάμενο Υπ/μα	Ενισχυμένο Υπ/μα
Διαστάσεις [cm x cm]	40/40	120/40
Οπλισμός [τεμάχια]	8Φ20	8Φ20+8Φ20+8Φ12
Συνδετήρες [τεμάχια/s]	ΣΦ8/25	ΣΦ8/25+2ΣΦ8/25



Σχήμα 4.36 Διατομή ενισχυμένων Υποστυλωμάτων

ii. Υποστυλώματα στάθμης 1 (μεσοπάτωμα)

Στον παρακάτω ξυλότυπο του μεσοπατώματος Σχ.(4.37) δείχνονται τα υποστυλώματα τα οποία ενισχύθηκαν. Στα υποστυλώματα που είναι κυκλωμένα με κόκκινο χρώμα έγινε ενισχύθηκαν με μανδύες σκυροδέματος και έγιναν τοιχώματα διατομής 160/40 cm. Αυτά που είναι κυκλωμένα με πράσινο χρώμα ενισχύθηκαν με μανδύες σκυροδέματος και έγιναν τοιχώματα διατομής 120x40 cm και σε αυτά που είναι κυκλωμένα με μπλέ χρώμα χρησιμοποιήθηκαν ινοπλισμένα πολυμερή (FRP).



Σχήμα 4.37 Ξυλότυπος στάθμης 1 (Μέθοδος Ενίσχυσης Β)

- Για τα υποστυλώματα K3(1) και K10(1) (πράσινο χρώμα).

Τα παραπάνω υποστυλώματα της στάθμης του μεσοπατώματος ενισχύθηκαν όπως αυτά τα υποστυλώματα K3(0) και K10(0) αντίστοιχα.

- Για τα υποστυλώματα K7(1) και K19(1) (μαύρο χρώμα).

Τα παραπάνω υποστυλώματα της στάθμης του μεσοπατώματος ενισχύθηκαν όπως αυτά τα υποστυλώματα K7(0) και K19(0) αντίστοιχα.

- Για τα υποστυλώματα K6(1) και K15(1) (πράσινο χρώμα).

Τα παραπάνω υποστυλώματα της στάθμης του μεσοπατώματος ενισχύθηκαν όπως αυτά τα υποστυλώματα K6(0) και K15(0) αντίστοιχα.

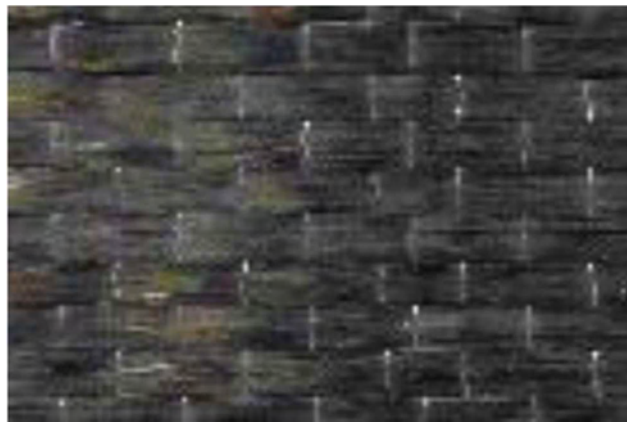
- Για τα υποστυλώματα K2(1) και K9(1) (μπλε χρώμα).

Η ενίσχυση που επιλέχθηκε να γίνει για αυτά τα υποστυλώματα είναι να τοποθετηθούν ινοπλισμένα πολυμερή (FRP) και το υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το SikaWrap® -300 C. Το συγκεκριμένο υλικό είναι ένα πλεκτό ύφασμα με ίνες άνθρακα μονής διεύθυνσεως, μέσω αντοχών, σχεδιασμένο για τοποθέτηση χρησιμοποιώντας την ξηρή ή την υγρή μέθοδο εφαρμογής. Με την εφαρμογή τους, βελτιώνεται η σεισμική συμπεριφορά των μελών και αυξάνεται η αντίσταση έναντι σεισμικών μετακινήσεων.

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του υλικού SikaWrap® -300 C είναι τα εξής:

Πίνακας 4.17 Μηχανικά και Γεωμετρία χαρακτηριστικά SikaWrap® -300 C

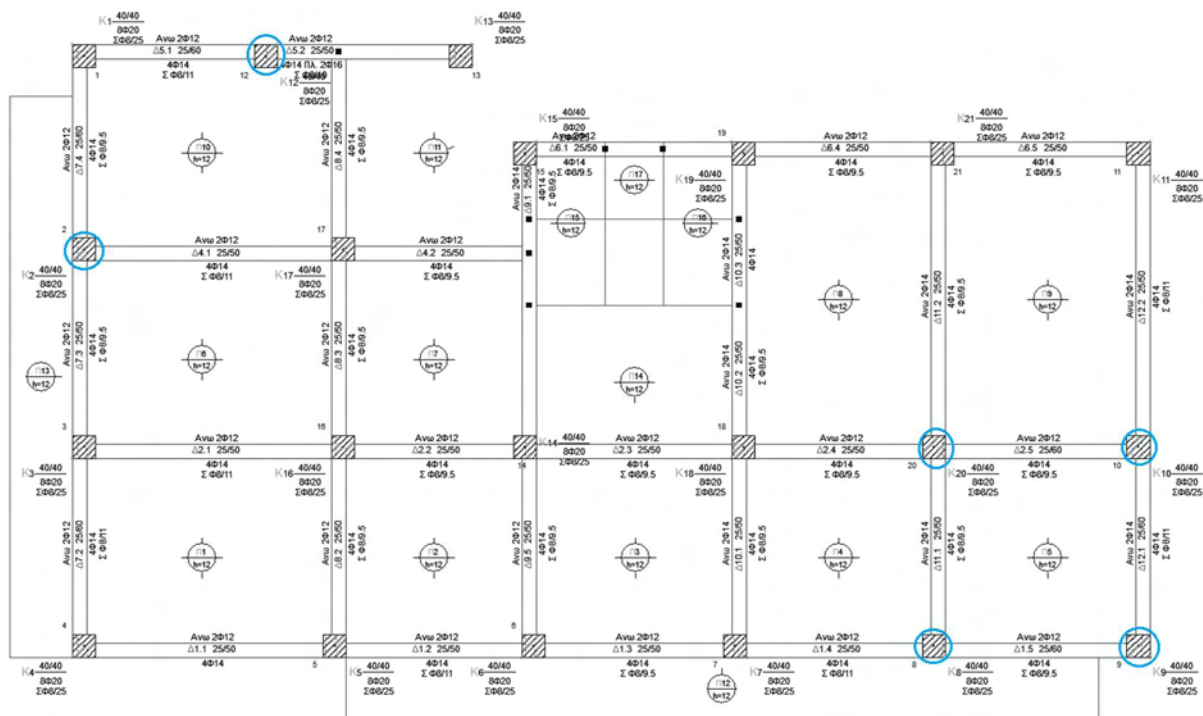
Μέτρο ελαστικότητας E_f	$2.3 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$
Οριακή εφελκυστική αντοχή f_{uf}	4000 MPa
Οριακή ανηγμένη παραμόρφωση ϵ_{uf}	1.7×10^2
Συνολικό πάχος t_f	0.2 mm



Σχήμα 4.38 Λεπτομέρεια επιφάνειας του SikaWrap® -300 C

iii. Υποστυλώματα στάθμης 2 (1^{ου} Ορόφου)

Στον παρακάτω ξυλότυπο του 1^{ου} Ορόφου (Σχ. 4.39) δείχνονται τα υποστυλώματα τα οποία ενισχύθηκαν. Στα υποστυλώματα που είναι κυκλωμένα με μπλε χρώμα έγινε τοποθέτηση ινοπλισμένων πολυμερών.



Σχήμα 4.39 Ξυλότυπος στάθμης 2 (Μέθοδος Ενίσχυσης Β)

➤ Για τα υποστυλώματα K2(2), K8(2), K9(2), K10(2), K12(2) και K20(2).

Για αυτά τα υποστυλώματα χρησιμοποιήθηκε το SikaWrap[®] -300 C, το ίδιο υλικό που χρησιμοποιήθηκε στα υποστυλώματα της στάθμης του μεσοπατώματος.

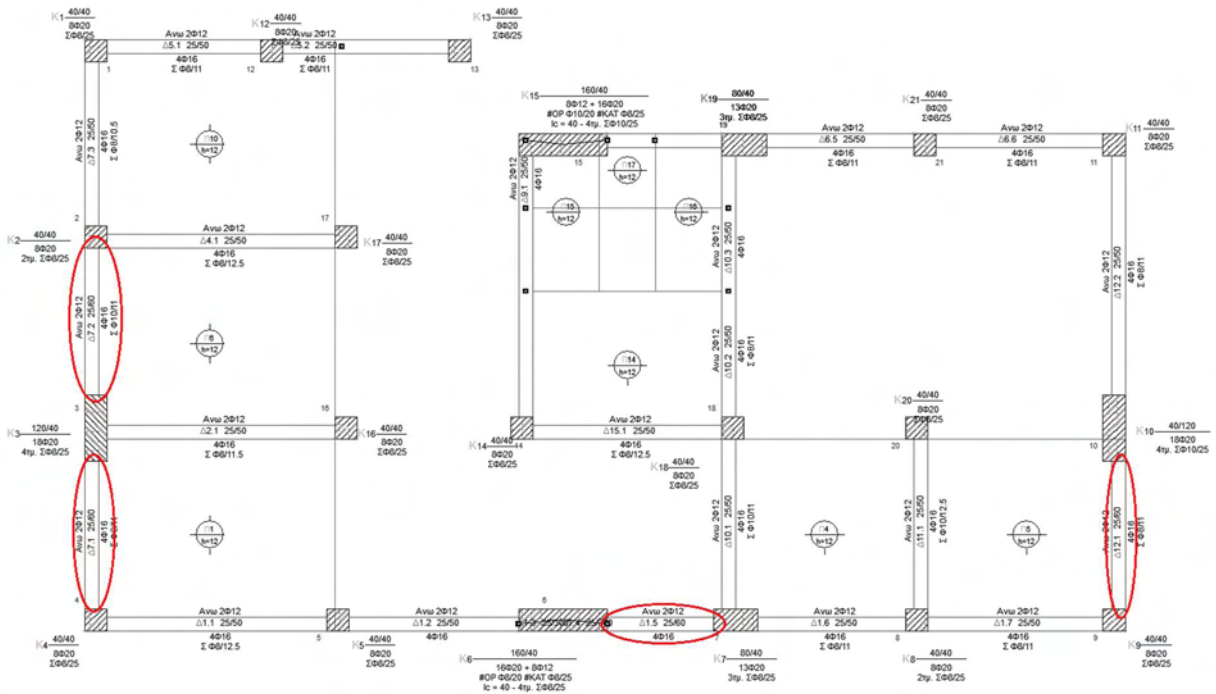
4.2.2 Ενίσχυση Δοκών

i. Δοκοί στάθμης 0 (ισόγειο)

Στον παρακάτω ξυλότυπο του ισογείου (Σχ. 4.40) δείχνονται οι δοκοί οι οποίες ενισχύθηκαν κυκλωμένες με κόκκινο χρώμα.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τις δοκούς της στάθμης αυτής είναι:

- C20/25
- B500



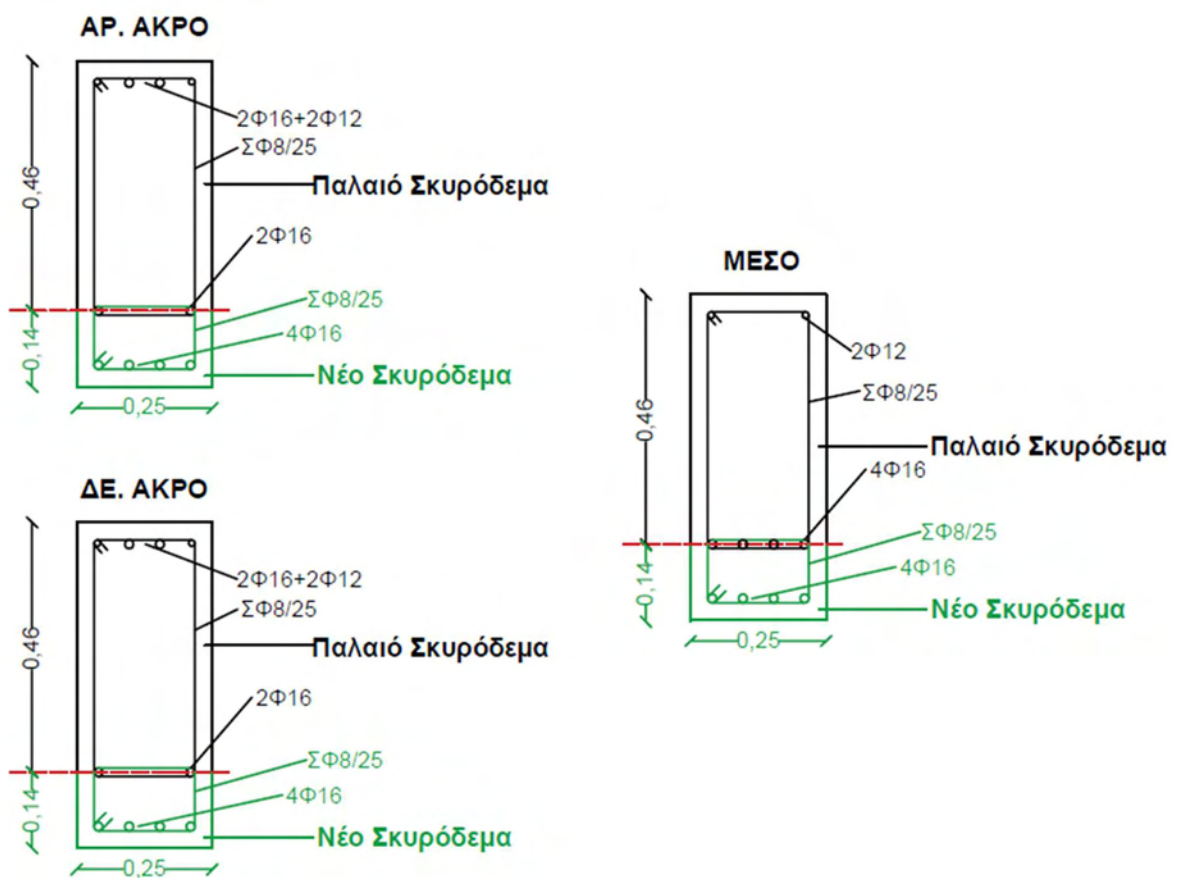
Σχήμα 4.40 Ξυλότυπος στάθμης 0 (Μέθοδος Ενίσχυσης B)

➤ Δοκοί Δ1.5(0), Δ7.1(0), Δ7.2(0) και Δ12.1(0)

Οι δοκοί αυτοί κρίθηκαν μη-επαρκείς για τον έλεγχο στροφής χορδής και η ενίσχυση που επιλέχθηκε είναι να ενισχυθούν με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος και πρόσθετο οπλισμό για αύξηση της καμπτικής τους αντοχής. Στον Πίνακα 4.18 αναγράφονται οι οπλισμοί της ενισχυμένης δοκού στα δύο τις άκρα και στο μέσο, όπου ο υφιστάμενος διαμήκης οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος διαμήκης με πράσινο χρώμα. Επίσης στο Σχήμα 4.41 φαίνονται οι λεπτομέρειες όπλισης των ενισχυόμενων δοκών όπου ο παλιός οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος με πράσινο χρώμα.

Πίνακας 4.18 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού

Αριστερό άκρο		Μέσο		Δεξιό άκρο	
Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός
2Φ12+2Φ16	2Φ16+4Φ16	2Φ12	4Φ16+4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16+4Φ16



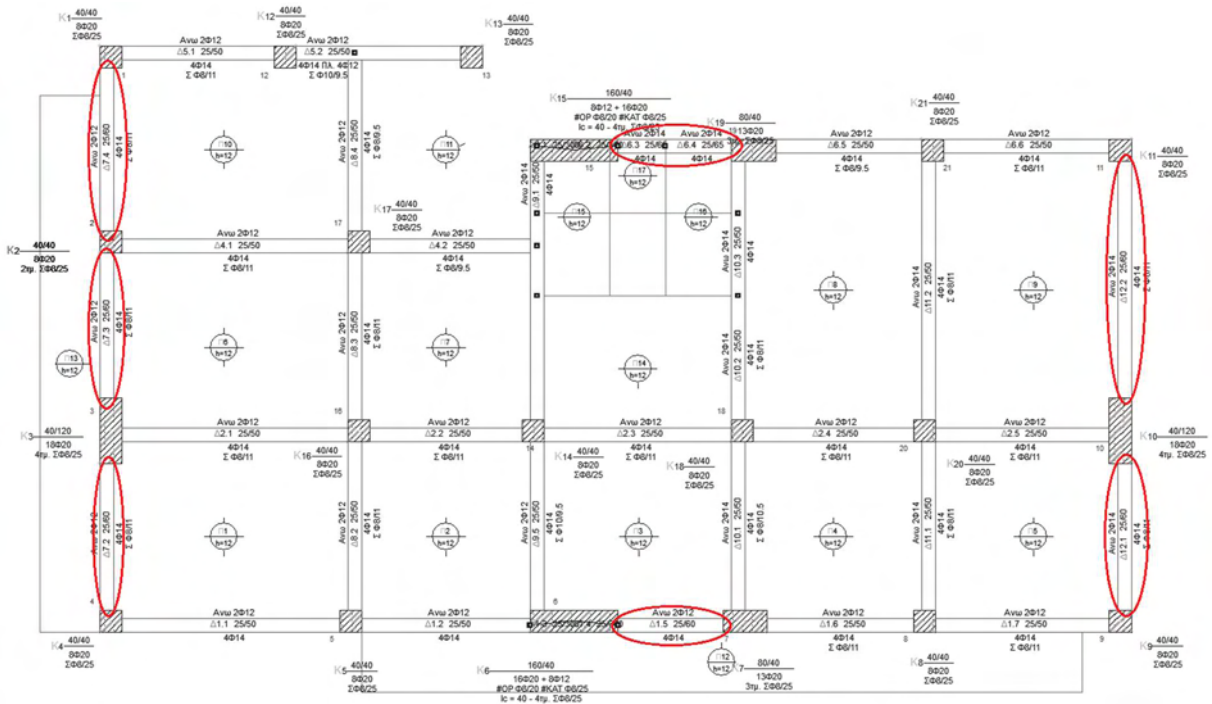
Σχήμα 4.41 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού

ii. Δοκοί στάθμης 1 (μεσοπάτωμα)

Στον παρακάτω ξυλότυπο του μεσοπατώματος (Σχ. 4.42) δείχνονται οι δοκοί οι οποίες ενισχύθηκαν κυκλωμένες με κόκκινο χρώμα.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τις δοκούς της στάθμης αυτής είναι:

- **C20/25**
- **B500**



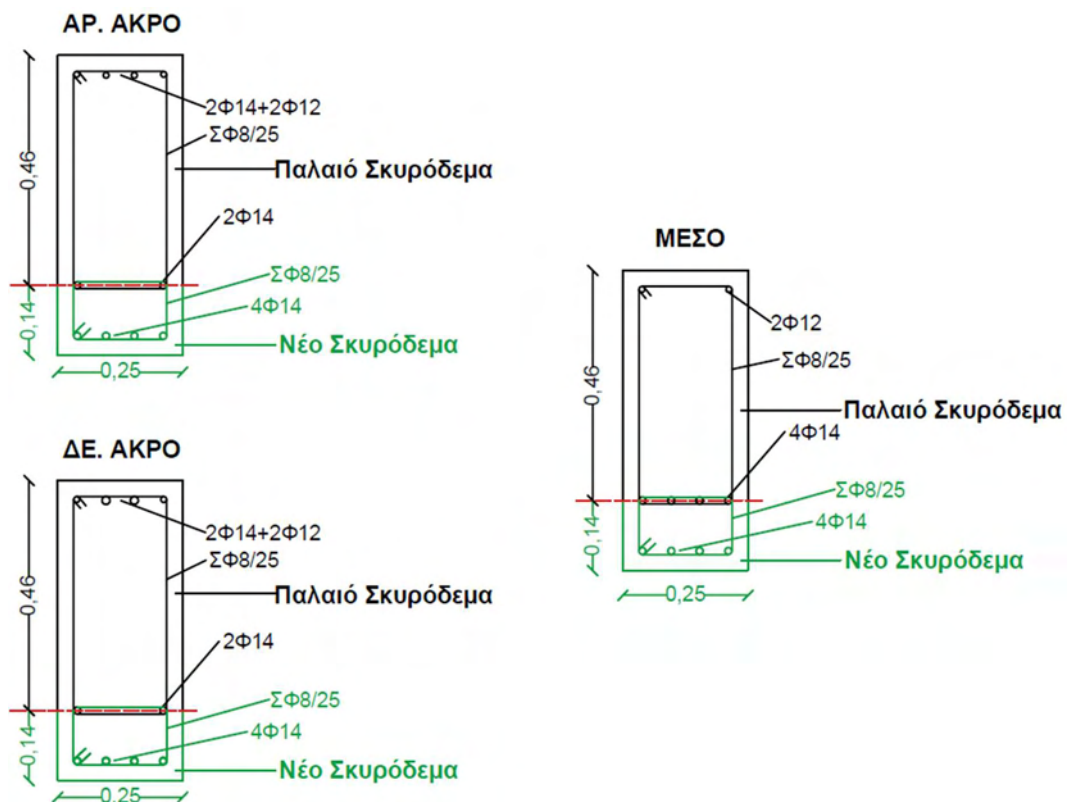
Σχήμα 4.42 Ξυλότυπος στάθμης 1 (Μέθοδος Ενίσχυσης Β)

➤ Δοκοί Δ1.5, Δ7.2(1), Δ7.3(1) και Δ7.4(1).

Οι δοκοί αυτοί κρίθηκαν μη-επαρκείς για τον έλεγχο στροφής χορδής και η ενίσχυση που επιλέχθηκε είναι να ενισχυθούν με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος και πρόσθετο οπλισμό για αύξηση της καμπτικής τους αντοχής. Στον Πίνακα 4.19 αναγράφονται οι οπλισμοί της ενισχυμένης δοκού στα δύο τις άκρα και στο μέσο, όπου ο υφιστάμενος διαμήκης οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος διαμήκης με πράσινο χρώμα. Επίσης στο Σχήμα 4.43 φαίνονται οι λεπτομέρειες όπλισης των ενισχυόμενων δοκών όπου ο παλιός οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος με πράσινο χρώμα.

Πίνακας 4.19 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού

Αριστερό άκρο		Μέσο		Δεξιό άκρο	
Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός
2Φ12+2Φ14	2Φ14+4Φ14	2Φ12	4Φ14+4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ16+4Φ14



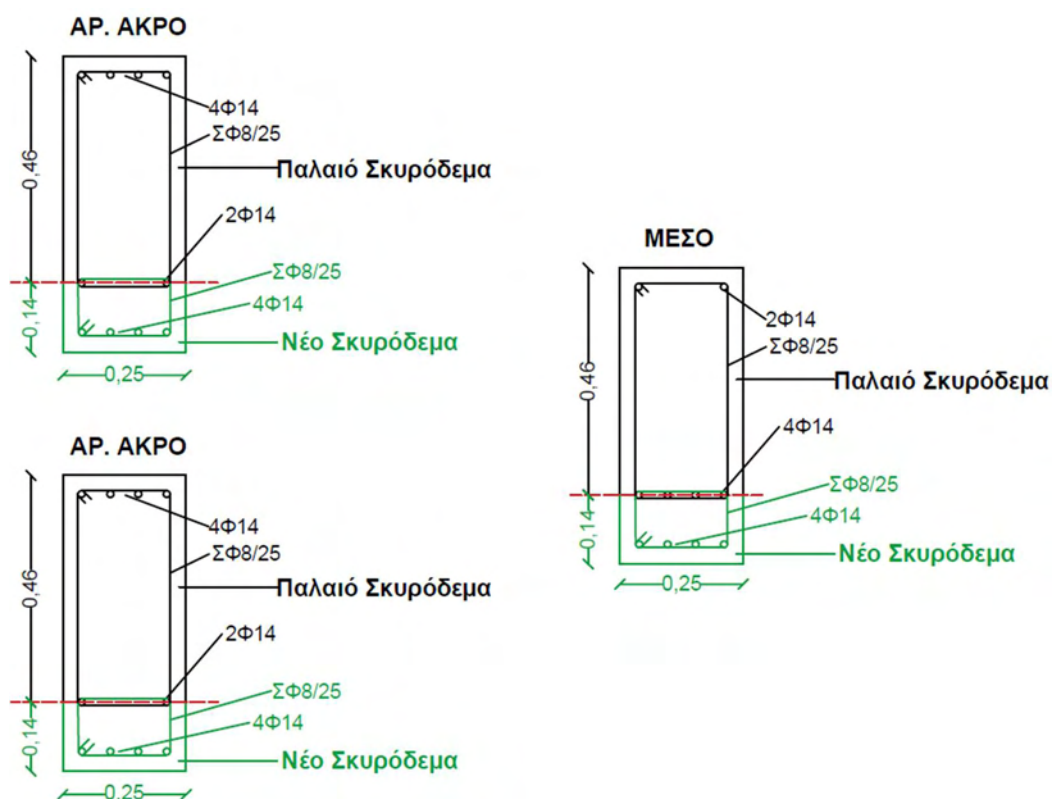
Σχήμα 4.43 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού

➤ Δοκοί Δ12.1(1) και Δ12.2(1)

Οι δοκοί αυτοί κρίθηκαν μη-επαρκείς για τον έλεγχο στρωφής χορδής και η ενίσχυση που επιλέχθηκε είναι να ενισχυθούν με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος και πρόσθετο οπλισμό για αύξηση της καμπτικής τους αντοχής. Στον Πίνακα (4.20) αναγράφονται οι οπλισμοί της ενισχυμένης δοκού στα δύο τις άκρα και στο μέσο, όπου ο υφιστάμενος διαμήκης οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος διαμήκης με πράσινο χρώμα. Επίσης στο Σχήμα (4.44) φαίνονται οι λεπτομέρειες όπλισης των ενισχυόμενων δοκών όπου ο παλιός οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος με πράσινο χρώμα.

Πίνακας 4.20 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού

Αριστερό άκρο		Μέσο		Δεξιό άκρο	
Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός
4Φ14	2Φ14+4Φ14	2Φ14	4Φ14+4Φ14	4Φ14	2Φ14+4Φ14



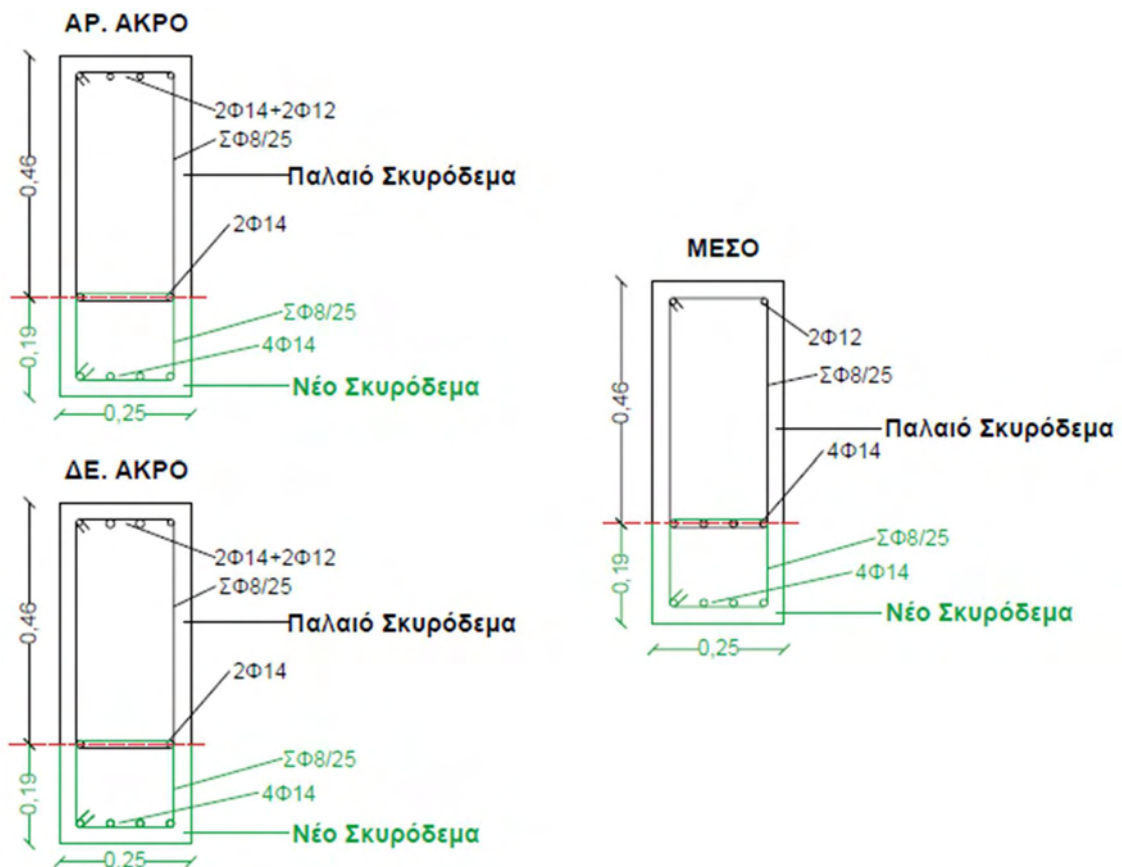
Σχήμα 4.44 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού

➤ Δοκοί Δ6.3(1) και Δ6.4(1)

Οι δοκοί αυτοί κρίθηκαν μη-επαρκείς για τον έλεγχο στροφής χορδής και η ενίσχυση που επιλέχθηκε είναι να ενισχυθούν με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος και πρόσθετο οπλισμό για αύξηση της καμπτικής τους αντοχής. Στον Πίνακα 4.21 αναγράφονται οι οπλισμοί της ενισχυμένης δοκού στα δύο τις άκρα και στο μέσο, όπου ο υφιστάμενος διαμήκης οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος διαμήκης με πράσινο χρώμα. Επίσης στο Σχήμα 4.45 φαίνονται οι λεπτομέρειες όπλισης των ενισχυόμενων δοκών όπου ο παλιός οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος με πράσινο χρώμα.

Πίνακας 4.21 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού

Αριστερό άκρο		Μέσο		Δεξιό άκρο	
Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός
4Φ14	2Φ14+4Φ14	2Φ14	4Φ14+4Φ14	4Φ14	2Φ14+4Φ14



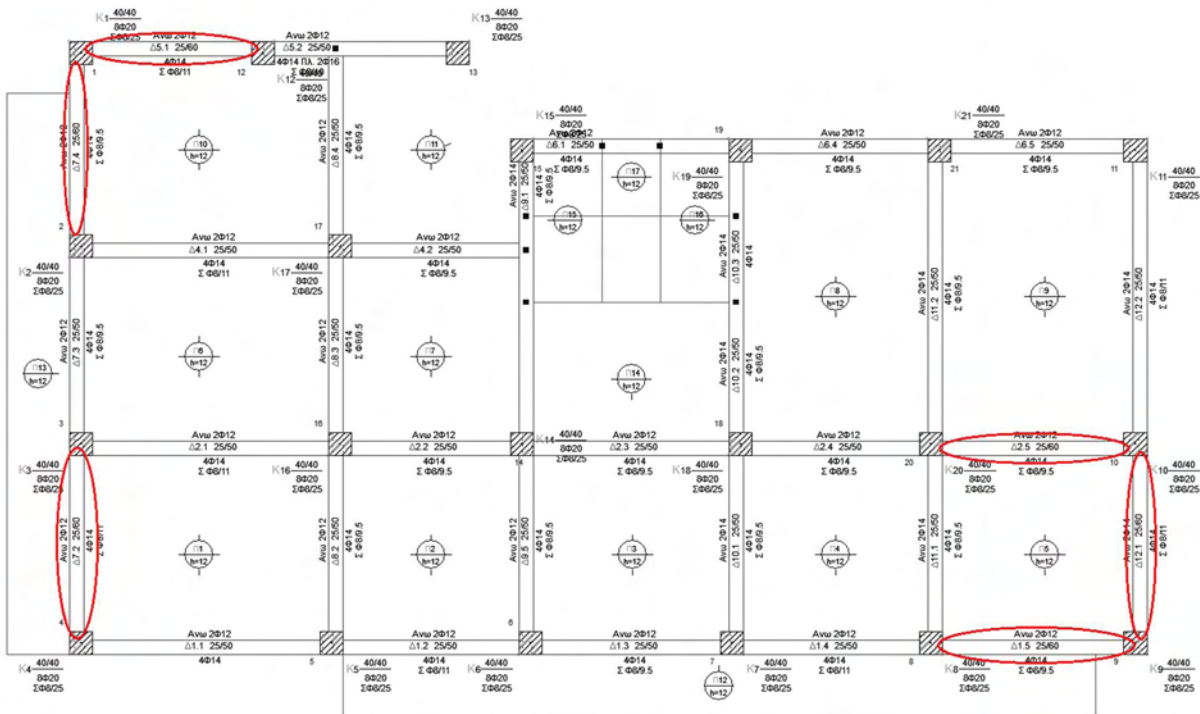
Σχήμα 4.45 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού

iii. Δοκοί στάθμης 2 (1^ο Ορόφου)

Στον παρακάτω ξυλότυπο του 1^ο Ορόφου (Σχ. 4.46) δείχνονται οι δοκοί οι οποίες ενισχύθηκαν κυκλωμένες με κόκκινο χρώμα.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τις δοκούς της στάθμης αυτής είναι:

- **C20/25**
- **B500**



Σχ. 4.46 Ξυλότυπος στάθμης 2 (Μέθοδος Ενίσχυσης Β)

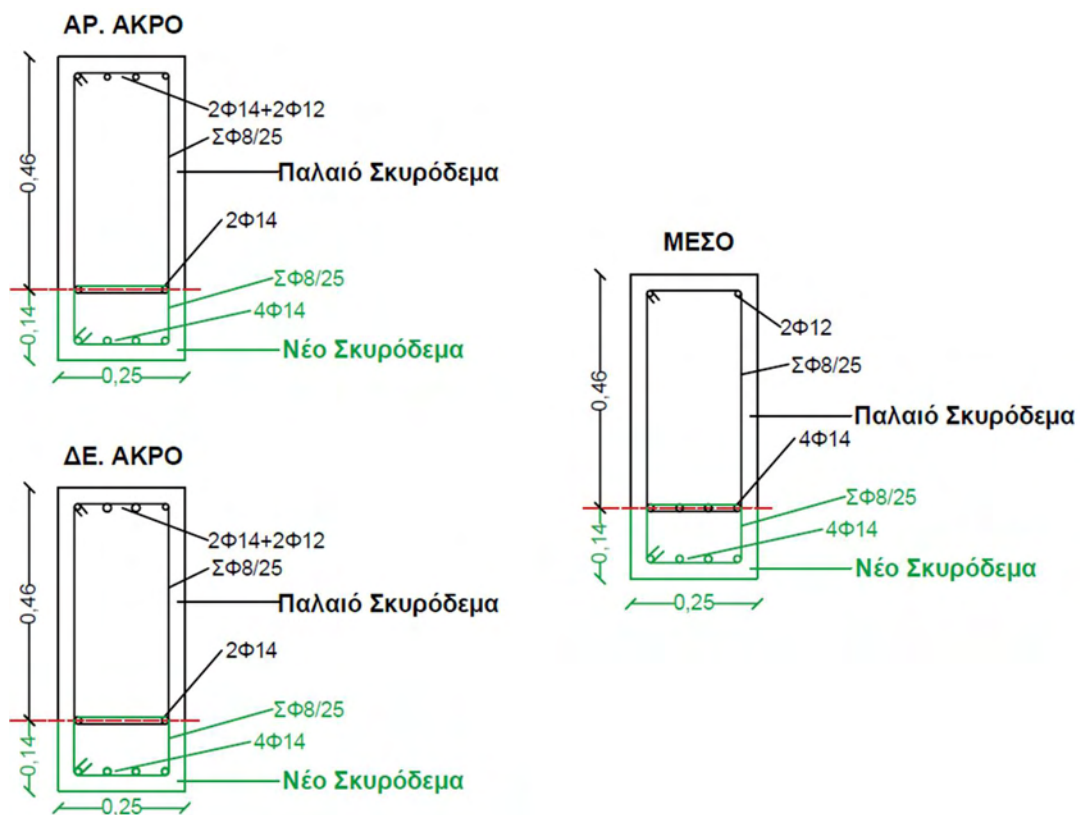
- Δοκοί Δ1.5(2), Δ2.5(2), Δ5.1(2), Δ7.2(2) και Δ7.4(2).

Οι δοκοί αυτοί κρίθηκαν μη-επαρκείς για τον έλεγχο στρωφής χορδής και η ενίσχυση που επιλέχθηκε είναι να ενισχυθούν με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος και πρόσθετο οπλισμό για αύξηση της καμπτικής τους αντοχής. Στον Πίνακα 4.22 αναγράφονται οι οπλισμοί της ενισχυμένης δοκού στα δύο τις άκρα και στο μέσο, όπου ο υφιστάμενος διαμήκης οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος διαμήκης με πράσινο χρώμα. Επίσης στο Σχήμα 4.47 φαίνονται οι λεπτομέρειες όπλισης των ενισχυόμενων δοκών όπου ο παλιός οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος με πράσινο χρώμα.

- **C20/25**
- **B500**

Πίνακας 4.22 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού

Αριστερό άκρο		Μέσο		Δεξιό άκρο	
Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός
2Φ12+2Φ14	2Φ14+4Φ14	2Φ12	4Φ14+4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ16+4Φ14



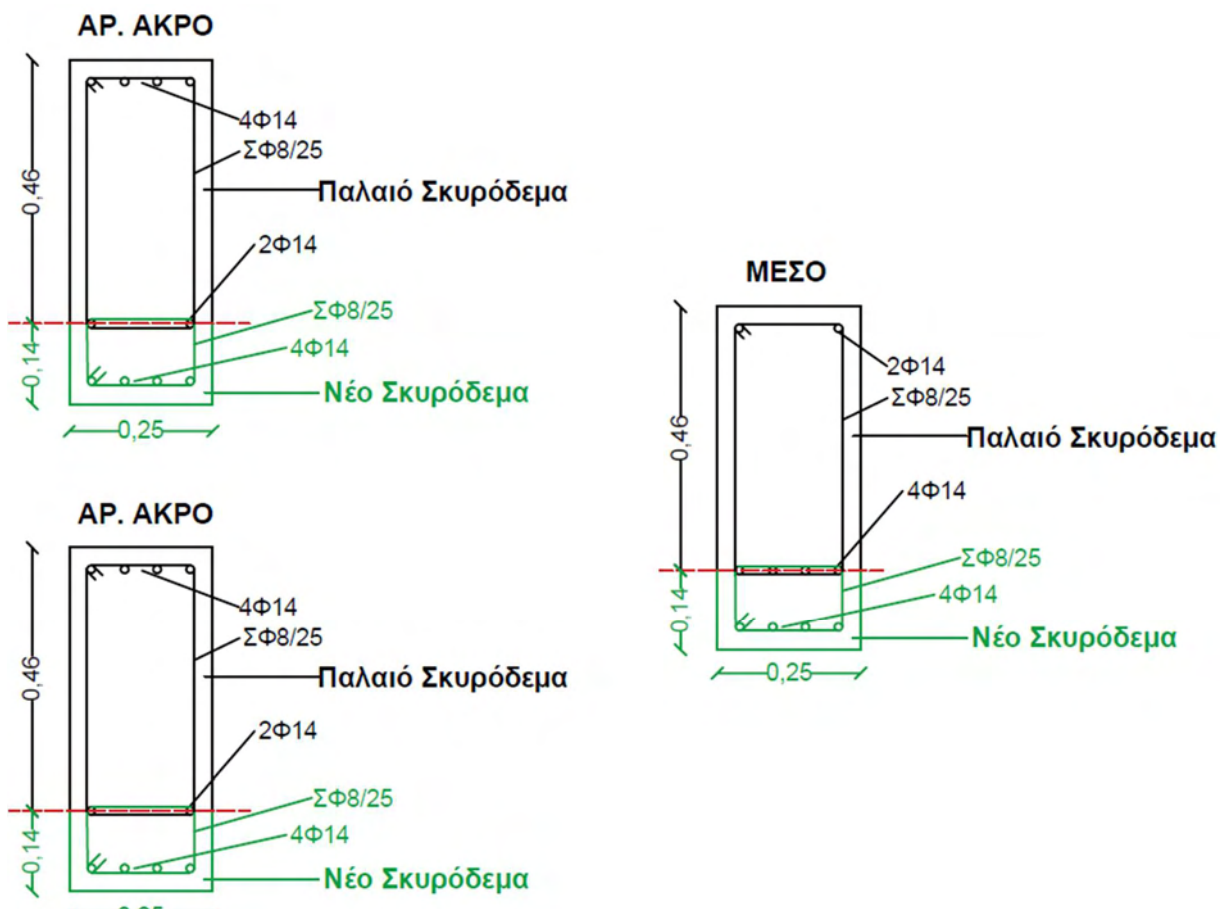
Σχήμα 4.47 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού

➤ Δοκός Δ12.1(2)

Η δοκός αυτή κρίθηκε μη-επαρκής για τον έλεγχο στροφής χορδής και η ενίσχυση που επιλέχθηκε είναι να ενισχυθεί με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος και πρόσθετο οπλισμό για αύξηση της καμπτικής της αντοχής. Στον Πίνακα 4.23 αναγράφονται οι οπλισμοί της ενισχυμένης δοκού στα δύο τις άκρα και στο μέσο, όπου ο υφιστάμενος διαμήκης οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος διαμήκης με πράσινο χρώμα. Επίσης στο Σχήμα 4.48 φαίνονται οι λεπτομέρειες όπλισης της ενισχυόμενης δοκού όπου ο παλιός οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος με πράσινο χρώμα.

Πίνακας 4.23 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού

Αριστερό άκρο		Μέσο		Δεξιό άκρο	
Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός
4Φ14	2Φ16+4Φ14	2Φ14	4Φ14+4Φ14	4Φ14	2Φ16+4Φ14



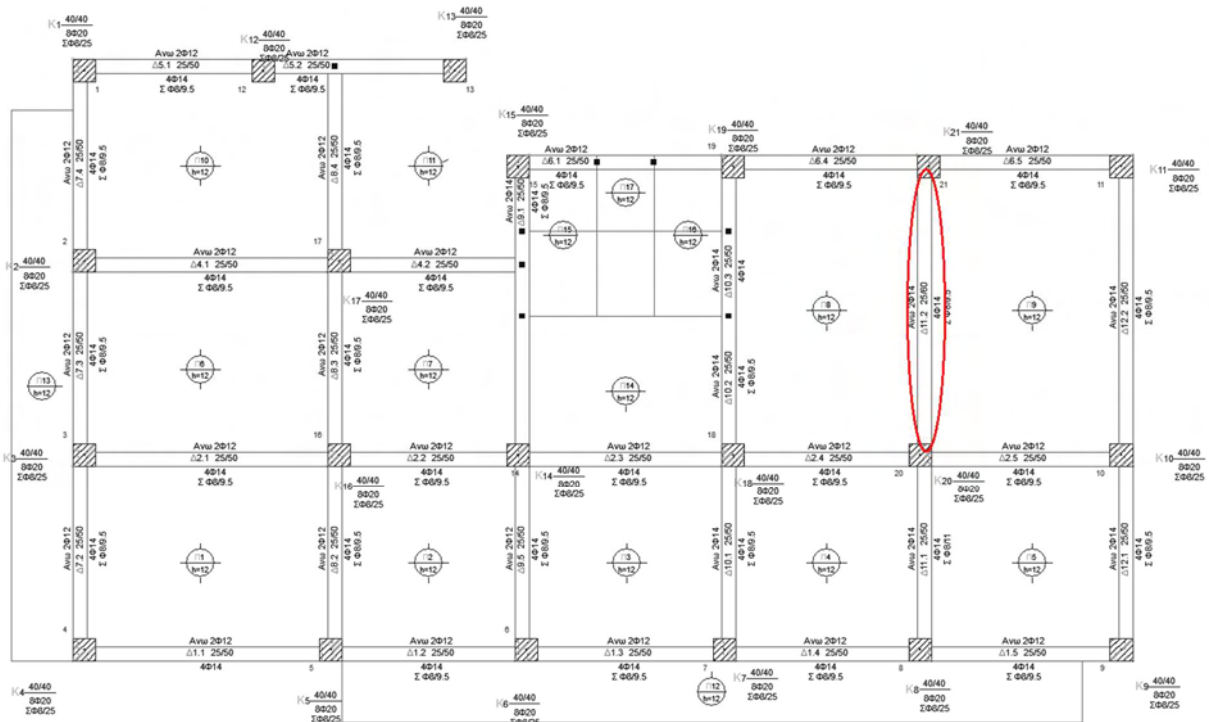
Σχήμα 4.48 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού

iv. Δοκοί στάθμης 3 (2^{ου} Ορόφου)

Στον παρακάτω ξυλότυπο του 2^{ου} Ορόφου (Σχ. 4.49) δείχνονται οι δοκοί οι οποίες ενισχύθηκαν κυκλωμένες με κόκκινο χρώμα.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τις δοκούς της στάθμης αυτής είναι:

- C20/25
- B500



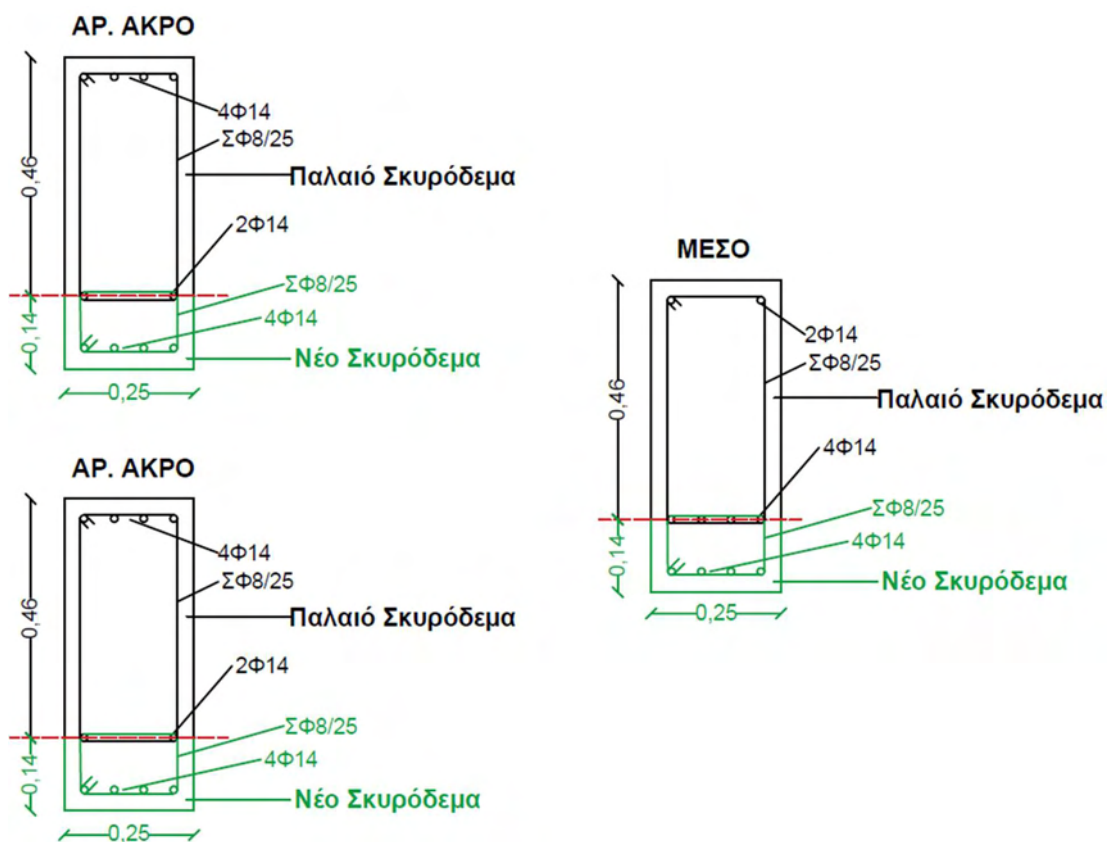
Σχήμα 4.49 Ξυλότυπος στάθμης 3 (Μέθοδος Ενίσχυσης Β)

➤ Δοκός Δ11.2(3)

Η δοκός αυτή κρίθηκε μη-επαρκής για τον έλεγχο κάμψης σε συνδυασμό στατικών φορτίων και η ενίσχυση που επιλέχθηκε είναι να ενισχυθεί με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος και πρόσθετο οπλισμό για αύξηση της καμπτικής της αντοχής. Στον Πίνακα 4.24 αναγράφονται οι οπλισμοί της ενισχυμένης δοκού στα δύο τις άκρα και στο μέσο, όπου ο υφιστάμενος διαμήκης οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος διαμήκης με πράσινο χρώμα. Επίσης στο Σχήμα 4.50 φαίνονται οι λεπτομέρειες όπλισης της ενισχυόμενης δοκού όπου ο παλιός οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος με πράσινο χρώμα.

Πίνακας 4.24 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού

Αριστερό άκρο		Μέσο		Δεξιό άκρο	
Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός
4Φ14	2Φ16+4Φ14	2Φ14	4Φ14+4Φ14	4Φ14	2Φ16+4Φ14

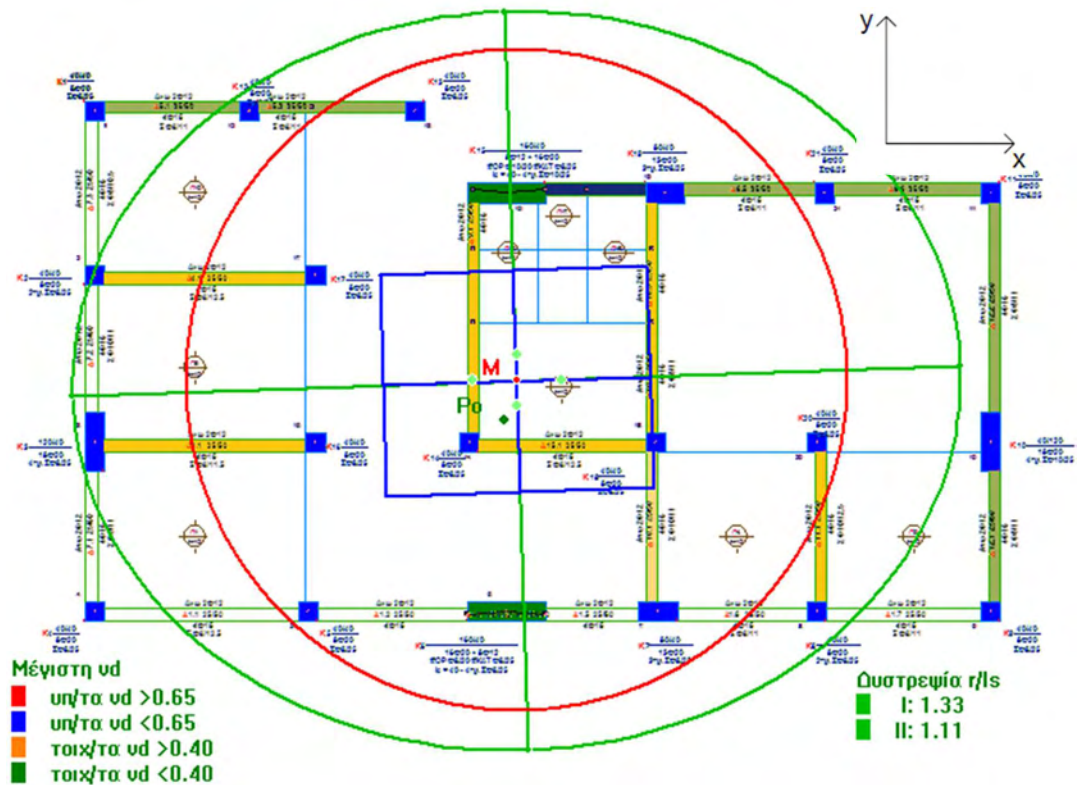


Σχήμα 4.50 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού

4.2.3 Δυστροπία ενισχυμένου κτιρίου

i. Στάθμη 0 (οροφή ισογείου)

Βλέποντας το Σχήμα 4.51 συμπεραίνεται ότι πληρείται ο περιορισμός εκκεντρότητας καθώς το σημείο P_0 βρίσκεται εντός του ορθογωνίου, δηλαδή ότι $e_{ox} < 0.3 r_x$. Επίσης παρατηρείτε ότι το κτίριο είναι στρεπτικά περισσότερο δύσκαμπτο από τον αρχικό φορέα αφού ο λόγος $r'_x/l'_s > r_x/l_s$ πράγμα το οποίο απεικονίζεται σχηματικά αφού ο κύκλος αδράνειας βρίσκεται εντός του της έλλειψης δυστροπίας. Οπότε ικανοποιούνται οι περιορισμοί του Ευρωκώδικα 8 για κανονικότητα σε κάτοψη.

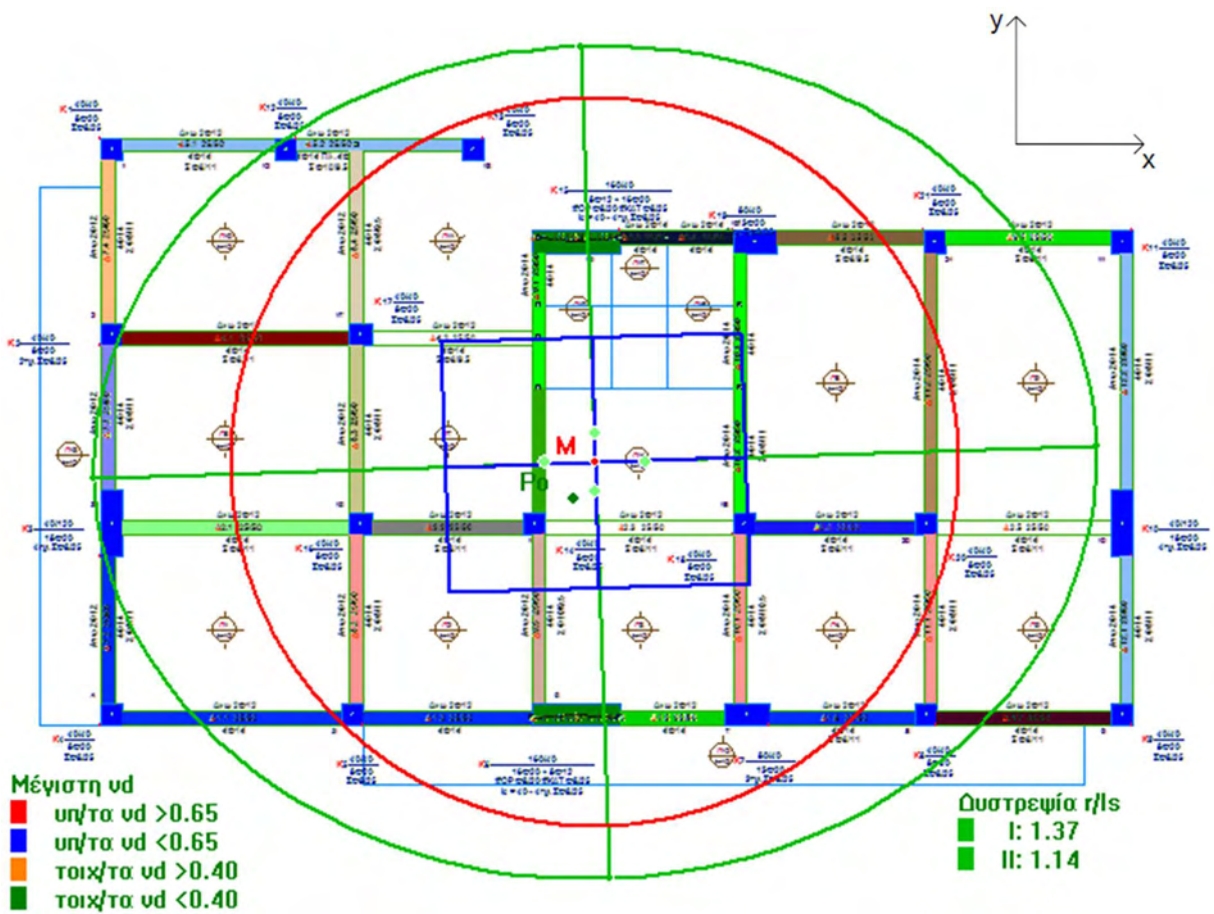


Σχήμα 4.51 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστροπίας της στάθμης 0 (Μέθοδος Ενίσχυσης Β)

Επίσης στο παραπάνω σχήμα παρατηρείτε ότι όλα τα υποστυλώματα έχουν ανηγμένο αξονικό φορτίο $v_d < 0.65$ και όλα τα τοιχώματα $v_d < 0.40$. Έτσι πληρείται ο περιορισμός που βάζει ο Ευρωκώδικας 8 μέρος 1 για το ανηγμένο αξονικό φορτίο αντισεισμικών υποστυλωμάτων και τοιχωμάτων.

ii. Στάθμη 1 (οροφή μεσοπατώματος)

Βλέποντας το Σχήμα 4.52 συμπεραίνεται ότι πληρείται ο περιορισμός εκκεντρότητας καθώς το σημείο P_0 βρίσκεται εντός του ορθογωνίου, δηλαδή ότι $e_{ox} < 0.3 r_x$. Επίσης παρατηρείτε ότι το κτίριο είναι στρεπτικά περισσότερο δύσκαμπτο από τον αρχικό φορέα αφού ο λόγος $r'_x/l'_s > r_x/l_s$ πράγμα το οποίο απεικονίζεται σχηματικά αφού ο κύκλος αδράνειας βρίσκεται εντός του της έλλειψης δυστρεψιάς. Οπότε ικανοποιούνται οι περιορισμοί του Ευρωκώδικα 8 για κανονικότητα σε κάτοψη.

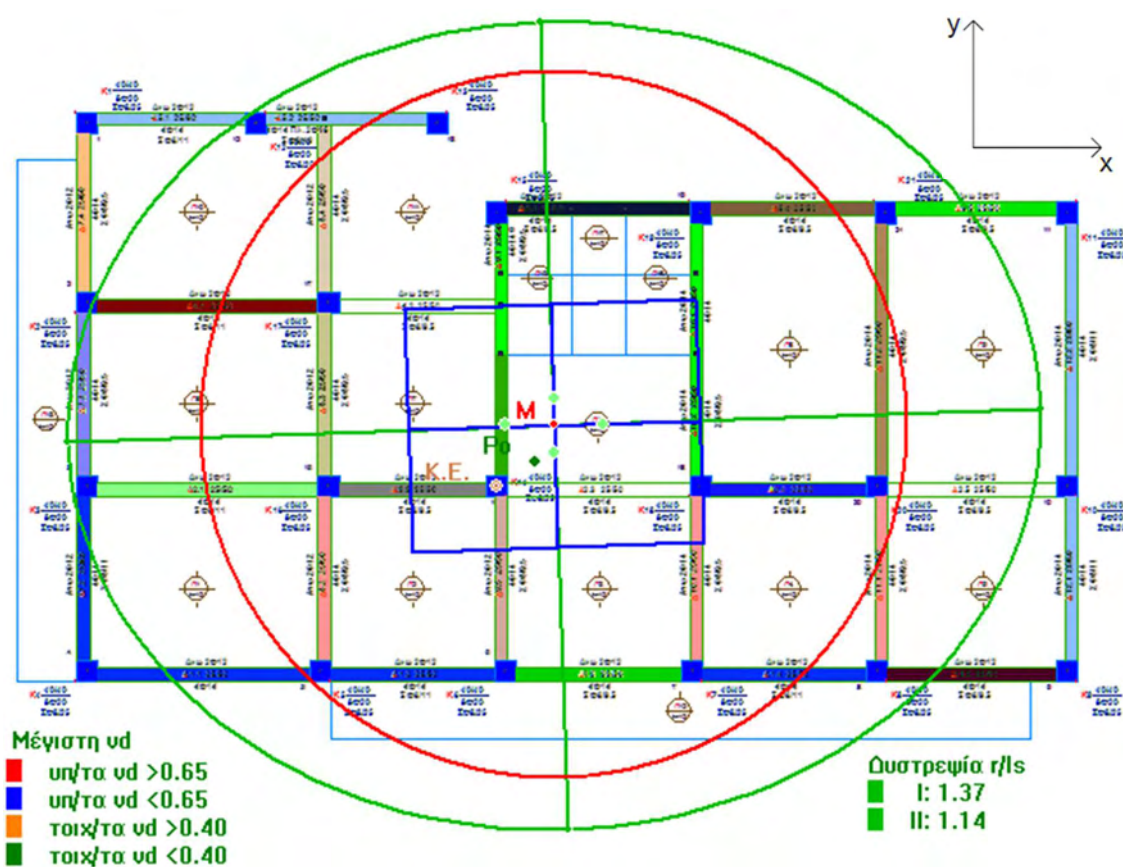


Σχήμα 4.52 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψιάς της στάθμης 1 (Μέθοδος Ενίσχυσης Β)

Επίσης στο παραπάνω σχήμα παρατηρείτε ότι όλα τα υποστυλώματα έχουν ανηγμένο αξονικό φορτίο $\nu_d < 0.65$ και όλα τα τοιχώματα $\nu_d < 0.40$. Έτσι πληρείται ο περιορισμός που βάζει ο Ευρωκώδικας 8 μέρος 1 για το ανηγμένο αξονικό φορτίο αντισεισμικών υποστυλωμάτων και τοιχωμάτων.

iii. Στάθμη 2 (οροφή 1^{οο} ορόφου)

Βλέποντας το Σχήμα 4.53 συμπεραίνεται ότι πληρείται ο περιορισμός εκκεντρότητας καθώς το σημείο P_0 βρίσκεται εντός του ορθογωνίου, δηλαδή ότι $e_{ox} < 0.3 r_x$. Επίσης παρατηρείτε ότι το κτίριο είναι στρεπτικά περισσότερο δύσκαμπτο από τον αρχικό φορέα αφού ο λόγος $r'_x/l'_s > r_x/l_s$ πράγμα το οποίο απεικονίζεται σχηματικά αφού ο κύκλος αδράνειας βρίσκεται εντός του της έλλειψης δυστρεψιάς. Οπότε ικανοποιούνται οι περιορισμοί του Ευρωκώδικα 8 για κανονικότητα σε κάτοψη.

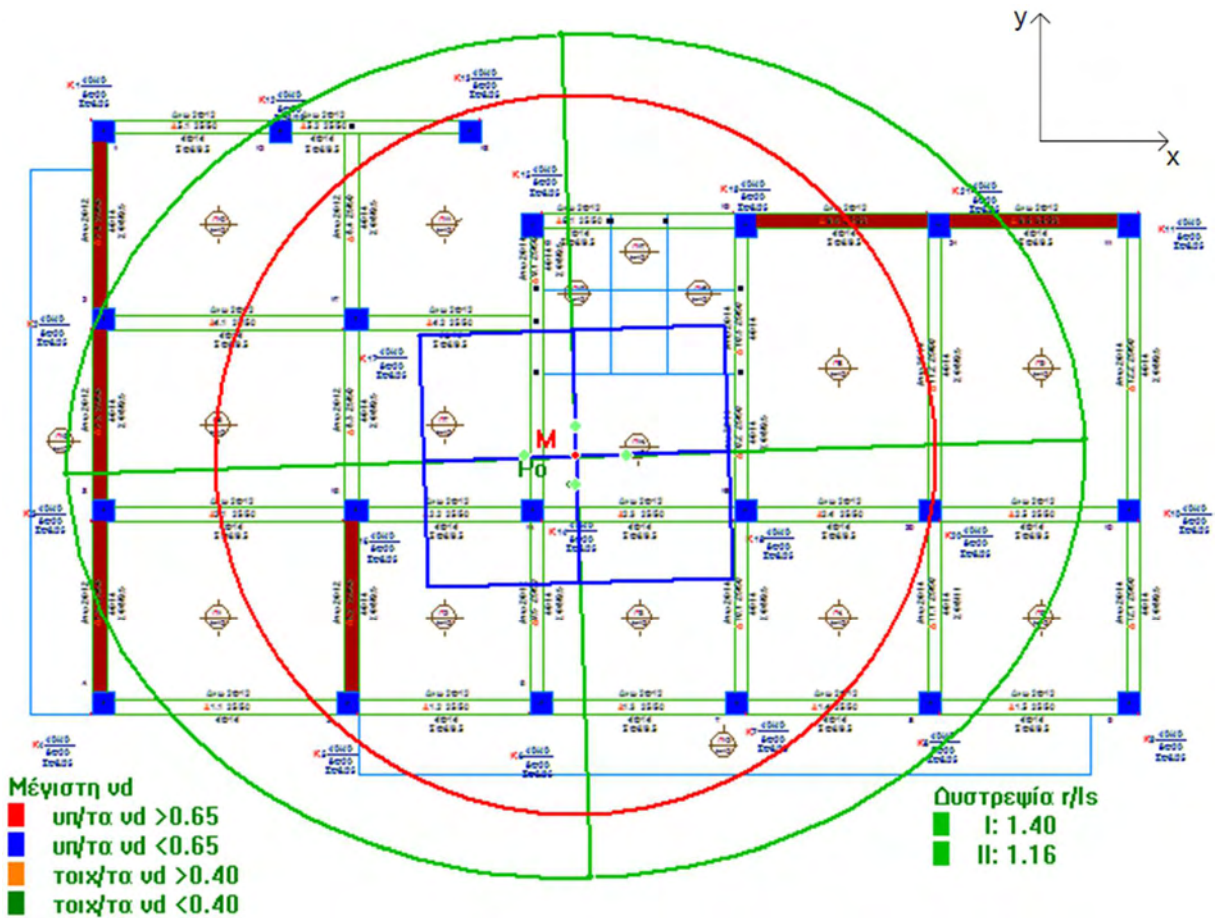


Σχήμα 4.53 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψιάς της στάθμης 2 (Μέθοδος Ενίσχυσης Β)

Επίσης στο παραπάνω σχήμα παρατηρείτε ότι όλα τα υποστυλώματα έχουν ανηγμένο αξονικό φορτίο $\nu_d < 0.65$. Έτσι πληρείται ο περιορισμός που βάζει ο Ευρωκώδικας 8 μέρος 1 για το ανηγμένο αξονικό φορτίο αντισεισμικών υποστυλωμάτων.

iv. Στάθμη 3 (οροφή 2^ο ορόφου)

Βλέποντας το Σχήμα 4.54 συμπεραίνεται ότι πληρείται ο περιορισμός εκκεντρότητας καθώς το σημείο P_0 βρίσκεται εντός του ορθογωνίου, δηλαδή ότι $e_{ox} < 0.3 r_x$. Επίσης παρατηρείτε ότι το κτίριο είναι στρεπτικά περισσότερο δύσκαμπτο από τον αρχικό φορέα αφού ο λόγος $r'_x/l'_s > r_x/l_s$ πράγμα το οποίο απεικονίζεται σχηματικά αφού ο κύκλος αδράνειας βρίσκεται εντός του της έλλειψης δυστρεψιάς. Οπότε ικανοποιούνται οι περιορισμοί του Ευρωκώδικα 8 για κανονικότητα σε κάτοψη.



Σχήμα 4.54 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψιάς της στάθμης 3 (Μέθοδος Ενίσχυσης Β)

Επίσης στο παραπάνω σχήμα παρατηρείτε ότι όλα τα υποστυλώματα έχουν ανηγμένο αξονικό φορτίο $\nu_d < 0.65$. Έτσι πληρείται ο περιορισμός που βάζει ο Ευρωκώδικας 8 μέρος 1 για το ανηγμένο αξονικό φορτίο αντισεισμικών υποστυλωμάτων.

4.2.4 Αποτελέσματα ανάλυσης Pushover

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της μη-γραμμική στατική ανάλυση (Pushover) για την ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης στις διευθύνσεις x , y για τον ενισχυμένο φορέα. Παρακάτω θα γίνει παρουσίαση και ανάλυση των διαγραμμάτων δύναμης-μετακίνησης (F-d) και απαίτησης-ικανότητας (ADRS) αλλά και σύγκριση με τα διαγράμματα του αρχικού φορέα.

4.2.4.1 Ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης κατά διεύθυνση x

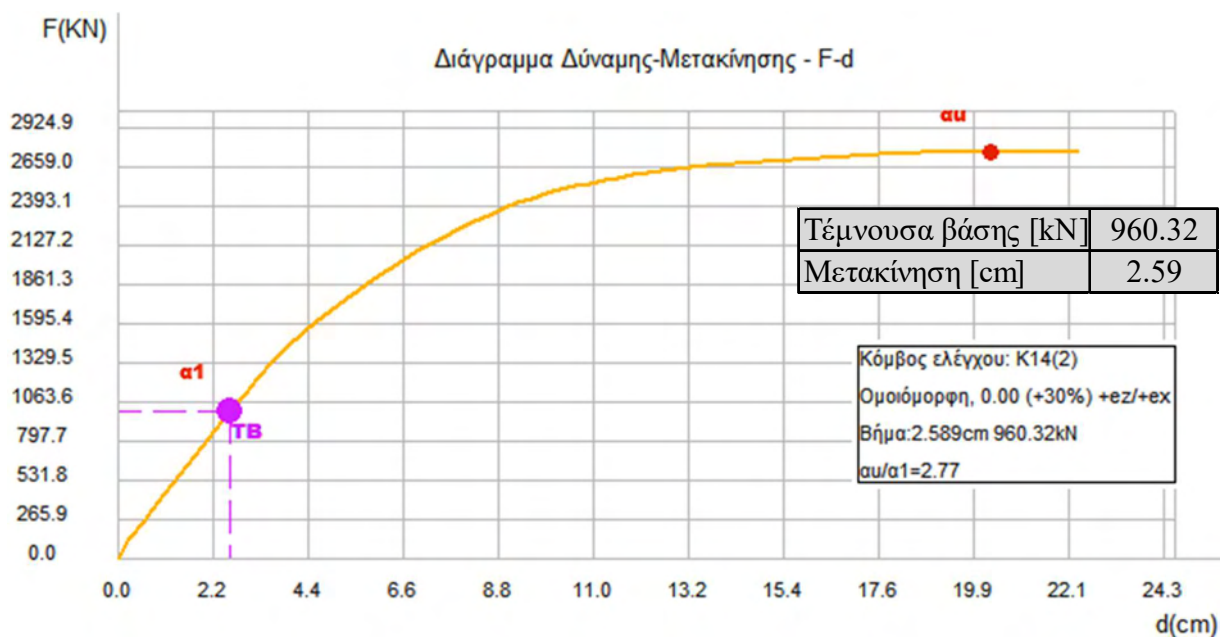
Χρησιμοποιήθηκε η ίδια φόρτιση με αυτή με αυτή που επιβάλλαμε στον αρχικό φορέα και παρουσιάσαμε τα αποτελέσματα στο Κεφάλαιο 3. Στη συνέχεια παραθέτονται τα διαγράμματα δύναμης μετατόπισης που προέκυψαν από την ανάλυση.

Διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης F-d κατά x

Τα διαγράμματα που θα παρουσιαστούν είναι σε τρεις διαφορετικές φάσεις της φόρτισης. Στο Σχήμα 4.55 είναι η στιγμή δημιουργίας της πρώτης πλαστικής άρθρωσης, στο Σχήμα 4.59 είναι η στιγμή που ο φορέας γίνεται μηχανισμός και στο Σχήμα 4.57 είναι μία τυχαία ενδιάμεση στιγμή.

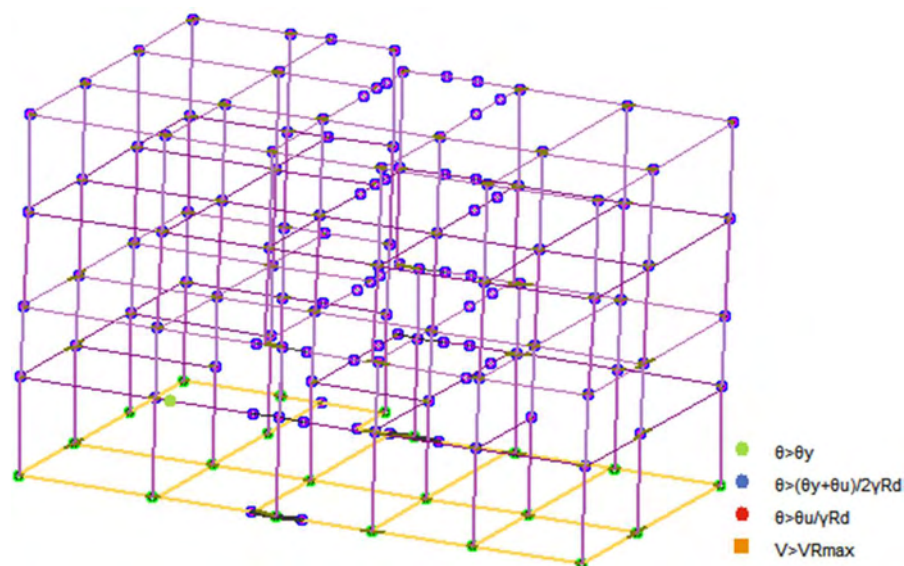
i. Σημείο α₁ – Σημείο 1^{ης} πλαστική άρθρωσης

Στο σημείο α₁ (Σχ. 4.54) δημιουργείται η πρώτη πλαστική άρθρωση στον φορέα, στη δοκό Δ2.1(0) και στο Σχήμα 4.55 βλέπουμε ότι έχει μία πράσινη κουκίδα πράγμα που σημαίνει ότι πληρεί το κριτήριο $\theta > \theta_y$. Μέχρι εκείνο το σημείο ο φορέας συμπεριφέρεται ελαστικά.



Σχήμα 4.55 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

Θέση α₁: Δημιουργία 1^{ης} Πλαστικής Άρθρωσης (Μέθοδος Ενίσχυσης Β)

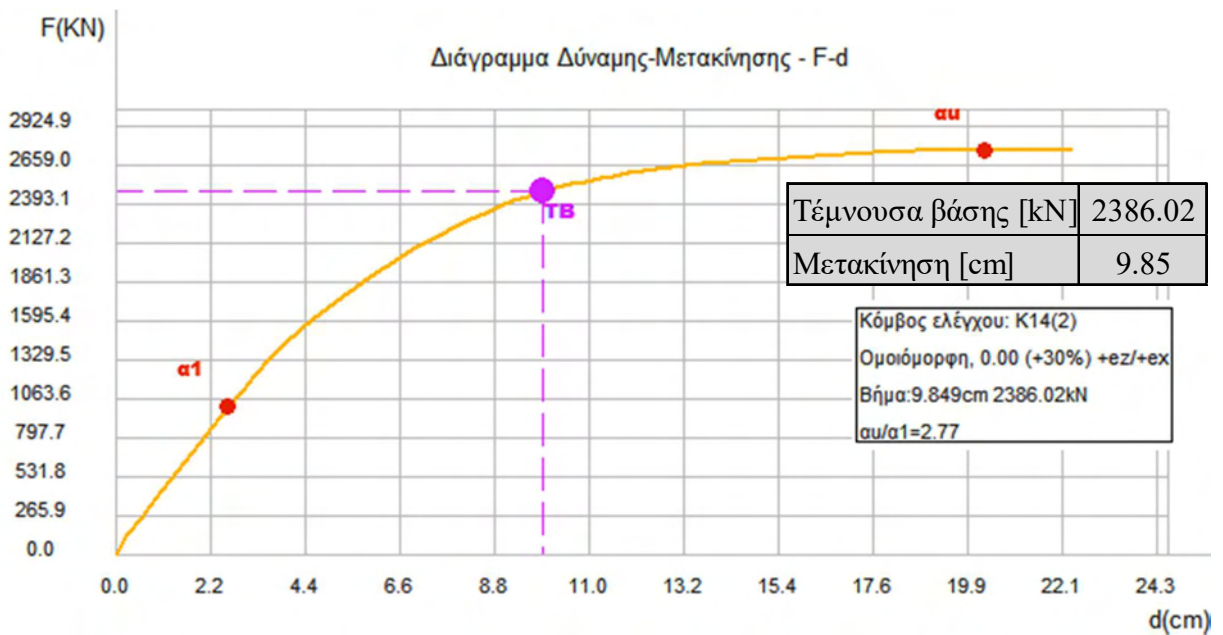


Σχήμα 4.56 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x.

Θέση α₁ (Μέθοδος Ενίσχυσης Β)

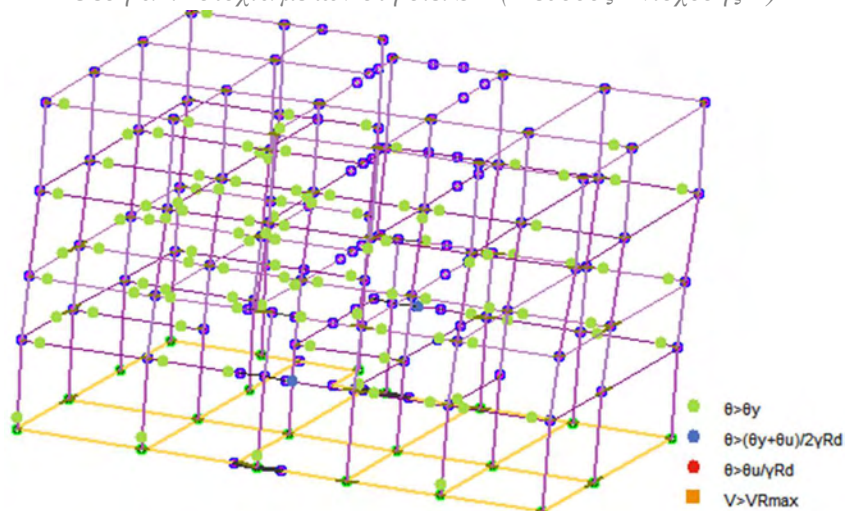
ii. Σημείο α₂ – Τυχαίο ενδιάμεσο σημείο

Στο σημείο α₂ (Σχ. 4.57) έχουν δημιουργηθεί και άλλες πλαστικές αρθρώσεις στον φορέα τόσο σε δοκούς όσο και σε υποστυλώματα. Τα άκρα των μελών που έχουν πράσινες κουκίδες (Σχ.4.58) ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > \theta_y$ ενώ τα άκρα των μελών που έχουν μπλε κουκίδες βρίσκονται στην στάθμη επιτελεστικότητας SD, δηλαδή ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > (\theta_u + \theta_y)/2\gamma_{rd}$ με $\gamma_{rd} = 1.50$ για πρωτεύοντα μέλη και θ_u τη γωνία στροφής χορδής κατά την αστοχία.



Σχήμα 4.57 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

Θέση α₂: Αστοχία μελών στη σ.ε. SD (Μέθοδος Ενίσχυσης B)

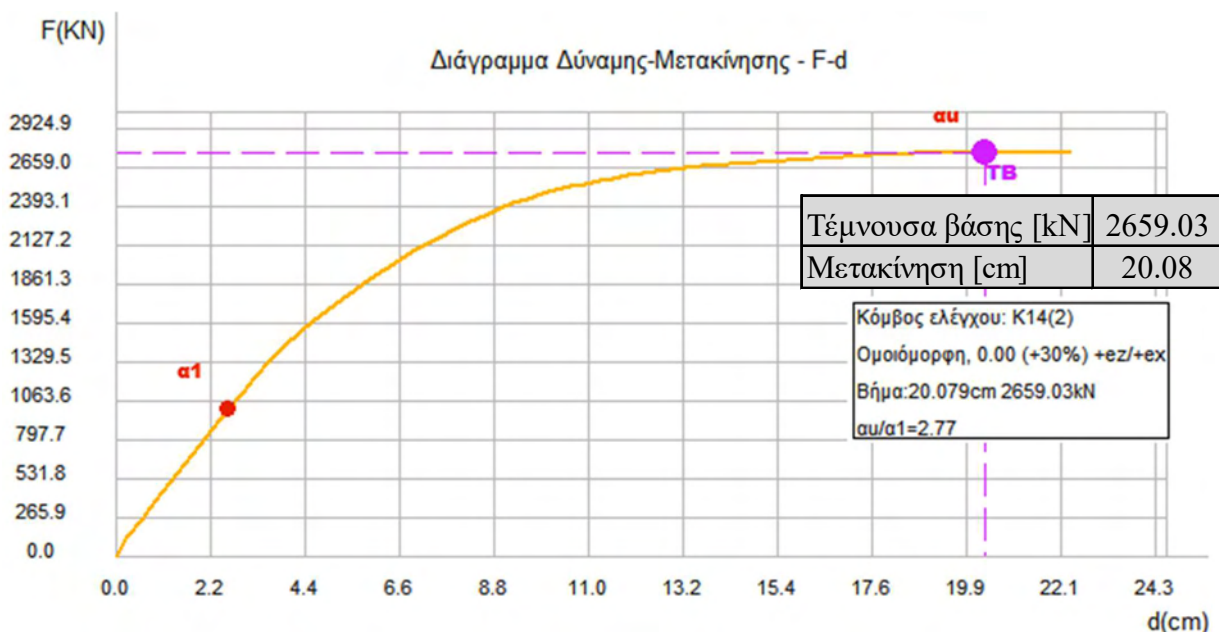


Σχήμα 4.58 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x.

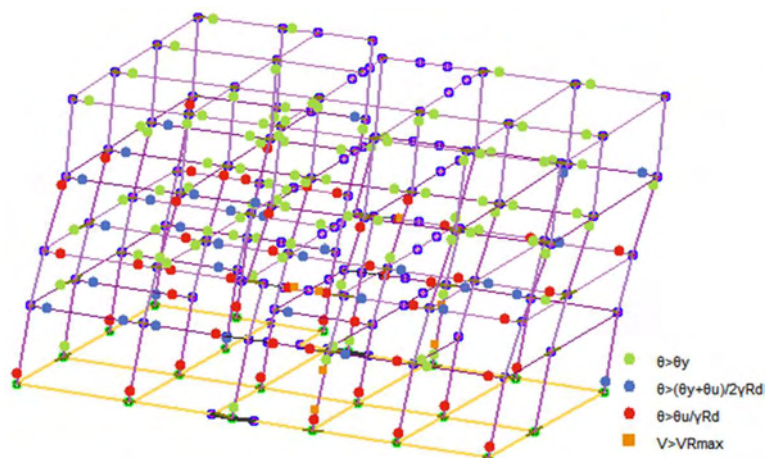
Θέση α₂ (Μέθοδος Ενίσχυσης B)

iii. Σημείο α_u – Σημείο κατάρρευσης

Στο σημείο α_u (Σχ.4.60) δημιουργείται η πλαστική άρθρωση που προκαλεί την θεωρητική κατάρρευση του φορέα. Βλέποντας το Σχήμα 4.61 παρατηρούμε ότι υπάρχουν άκρα μελών που έχουν πράσινες και μπλε κουκίδες τα οποία ικανοποιούν τα κριτήρια που περιγράψαμε παραπάνω. Επίσης παρατηρούμε άκρα μελών τα οποία έχουν κόκκινες κουκίδες που σημαίνει ότι βρίσκονται στη στάθμη επιτελεστικότητας NC καθώς ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > (\theta_u + \theta_y)2\gamma rd$ με $\gamma rd = 1.50$ για πρωτεύοντα μέλη.



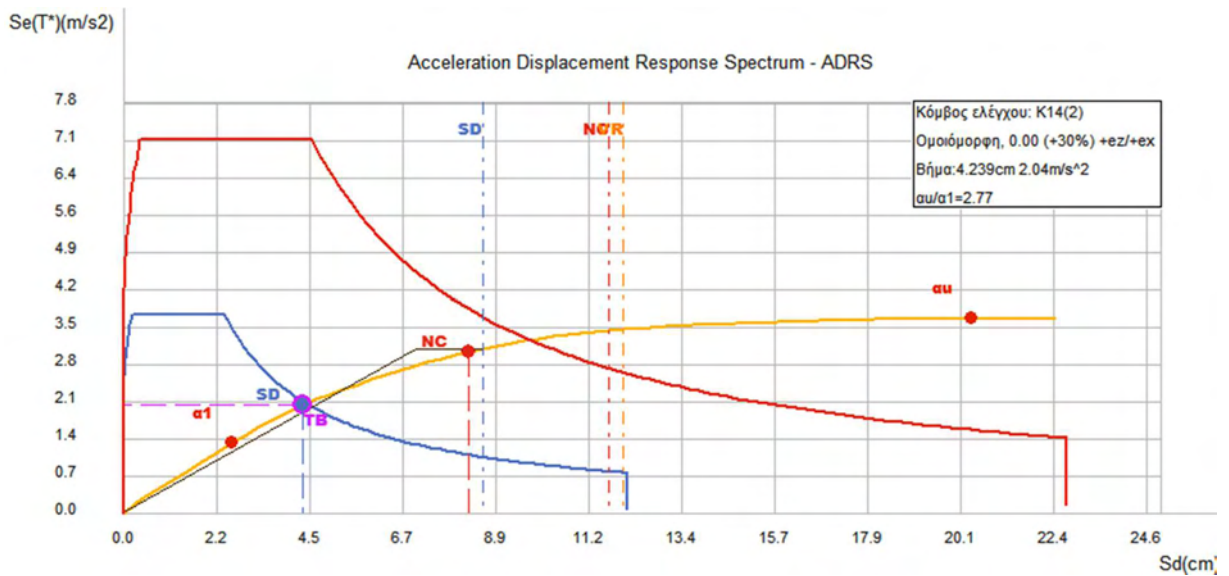
Σχήμα 4.60 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.
 Θέση α_u : Μετατροπή φορέα σε μηχανισμό Κατάρρευσης (Μέθοδος Ενίσχυσης B)



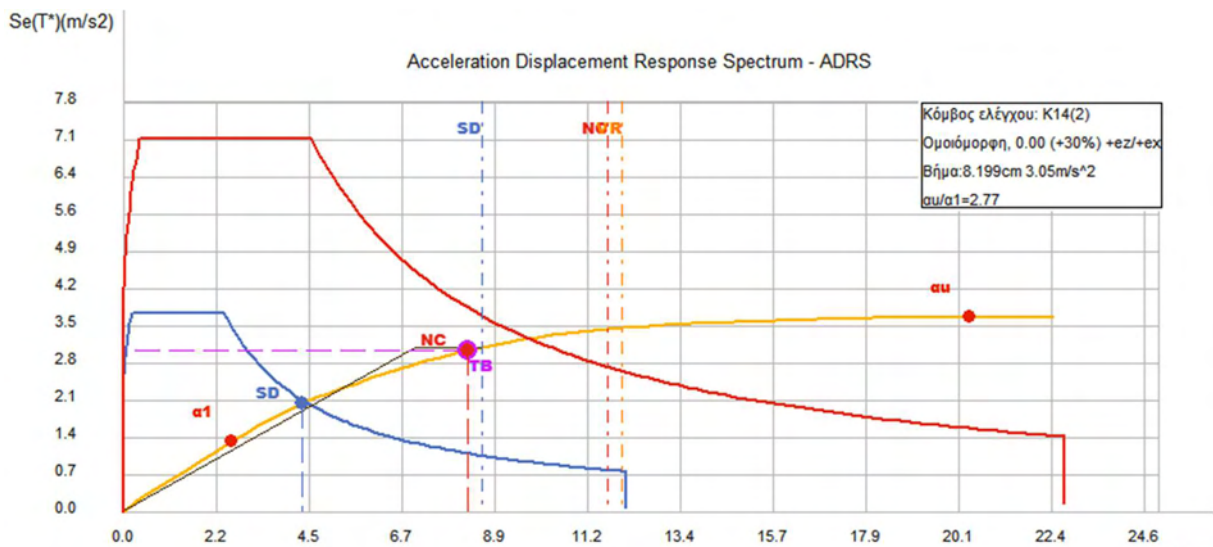
Σχήμα 4.59 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x.
 Θέση α_u (Μέθοδος Ενίσχυσης B)

Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας (ADRS) κατά x

Αυτό που καταστείτε εφικτό μέσω του διαγράμματος Απαίτησης – Ικανότητας είναι η σύγκριση της καμπύλης ικανότητας της κατασκευής με τη σεισμική απαίτηση που ορίζεται. Αυτό επιτυγχάνεται μετατρέποντας την καμπύλη ικανότητας F-d σε φάσμα ικανότητας Sa-Sd. Στη συνέχεια παραθέτονται το διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας (ADRS) που προέκυψε στις θέσεις των σταθμών επιτελεστικότητας που θέσαμε για την συγκεκριμένη φόρτιση (Σχ. 4.61, 4.62).



Σχήμα 4.61 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x (Μέθοδος Ενίσχυσης B).
Θέση ορίου επιτελεστικότητας SD.



Σχήμα 4.62 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x (Μέθοδος Ενίσχυσης B).
Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.

Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι η στοχευμένη μετακίνηση λόγω αυξημένων παραμορφώσεων δεν βρίσκεται στο σημείο τομής της καμπύλης ικανότητας με το ελαστικό φάσμα απαίτησης, αλλά στο σημείο όπου θα τεμονόταν με το μειωμένο πλαστικό φάσμα. Ακόμα πρέπει αναφερθεί ότι οι κατακόρυφες διακεκομμένες γραμμές μας δείχνουν την ικανότητα της κατασκευής για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας. Οπότε ο έλεγχος γίνεται με βάση το που βρίσκεται η διακεκομμένη γραμμή σε σχέση με το σημείο της στοχευμένης μετακίνησης της αντίστοιχης στάθμης επιτελεστικότητας. Αν βρίσκεται η διακεκομμένη γραμμή αριστερά της στοχευμένης μετακίνησης τότε αυτό μας δείχνει ότι ο φορέας δεν επαρκεί για την συγκεκριμένη στάθμη επιτελεστικότητας.

Αναλύοντας τα Σχήματα 4.61, 4.62 συμπεραίνεται ότι ο φορέας επαρκεί για την στάθμη επιτελεστικότητας Σημαντικών Βλαβών (SD) καθώς η μπλε διακεκομμένη (ικανότητα φορέα για την SD) βρίσκεται δεξιά της μπλε κουκίδας (απαίτηση για την SD). Επίσης το κτίριο επαρκεί για την στάθμη επιτελεστικότητας οιονεί κατάρρευση (NC) καθώς η κόκκινη διακεκομμένη (ικανότητα φορέα για την NC) βρίσκεται δεξιά της κόκκινης κουκίδας (απαίτηση για την NC).

Σε σύγκριση με τον αρχικό φορέα και τα διαγράμματα που προέκυψαν για την συγκεκριμένη φόρτιση μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί ότι ο ενισχυμένος φορέας έχει αρκετά μεγαλύτερη αντοχή. Στον ενισχυμένο φορέα η πλαστική άρθρωση που κάνει τον φορέα μηχανισμό δημιουργείται για τέμνουσα βάσης $F = 2659.03 \text{ kN}$ και μετακίνηση $d = 20.08 \text{ cm}$ ενώ στον αρχικό φορέα δημιουργούταν για τέμνουσα βάσης $F = 1242.23 \text{ kN}$ και μετακίνηση $d = 18.79 \text{ cm}$. Επίσης ο λόγος υπεραντοχής του ενισχυμένου φορέα είναι $a_u / a_1 = 2.77$ ενώ στον αρχικό φορέα ήταν $a_u / a_1 = 2.15$.

4.2.4.2 Ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης κατά διεύθυνση y

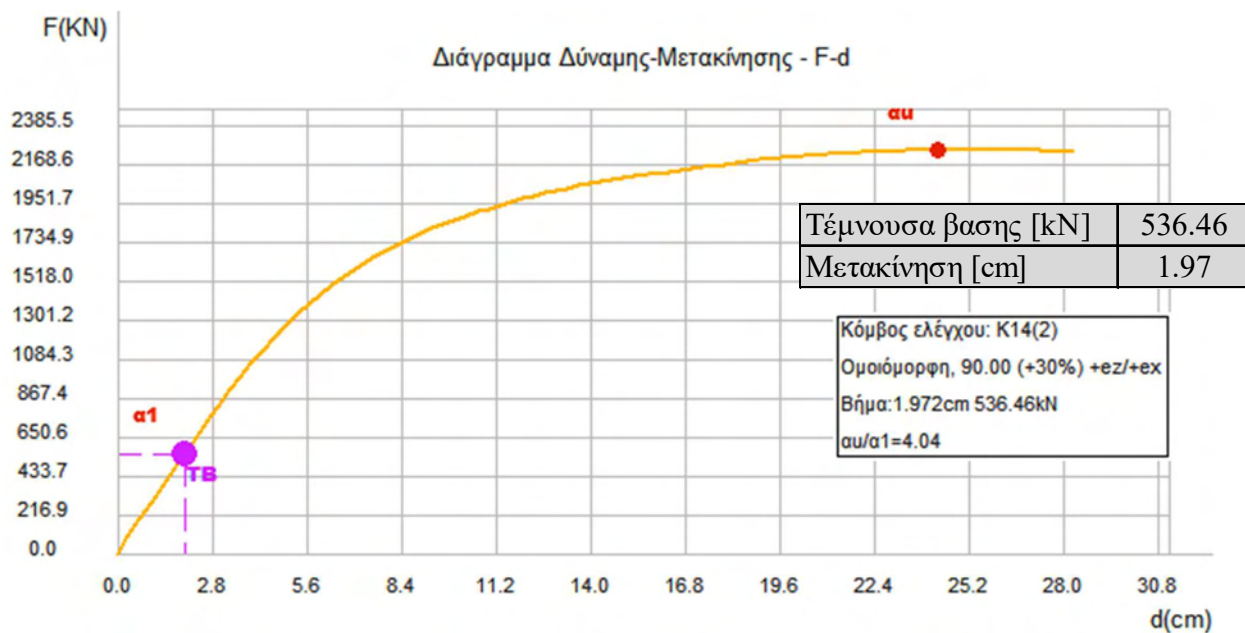
Χρησιμοποιήθηκε η ίδια φόρτιση με αυτή με αυτή που επιβλήθηκε στον αρχικό φορέα και τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3. Στη συνέχεια παραθέτονται τα διαγράμματα δύναμης μετατόπισης που προέκυψαν από την ανάλυση.

Διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης F-d κατά y

Τα διαγράμματα που θα παρουσιαστούν είναι σε τρεις διαφορετικές φάσεις της φόρτισης. Στο Σχήμα 4.63 είναι η στιγμή δημιουργίας της πρώτης πλαστικής άρθρωσης, στο Σχήμα 4.67 είναι η στιγμή που ο φορέας γίνεται μηχανισμός και στο Σχήμα 4.65 είναι μία τυχαία ενδιάμεση στιγμή.

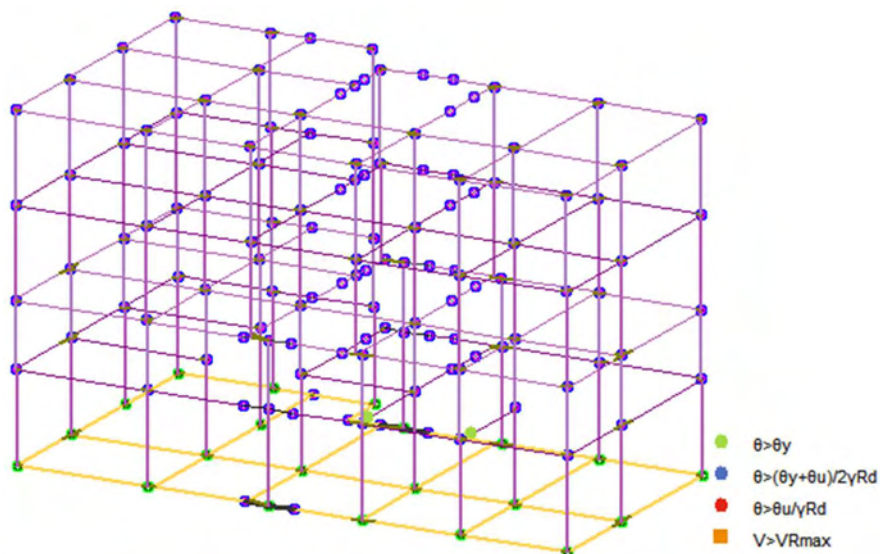
i. Σημείο α₁ – Σημείο 1^{ης} πλαστική άρθρωσης

Στο σημείο α₁ (Σχ. 4.63) δημιουργείται η πρώτη πλαστική άρθρωση στον φορέα, στη δοκό Δ2.1(0) και στο Σχήμα 4.64 βλέπουμε ότι έχει μία πράσινη κουκίδα πράγμα που σημαίνει ότι πληρεί το κριτήριο $\theta > \theta_y$. Μέχρι εκείνο το σημείο ο φορέας συμπεριφέρεται ελαστικά. Οι συντεταγμένες του σημείου α₁ δίνονται στον παρακάτω πίνακα.



Σχήμα 4.63 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.

Θέση α₁: Δημιουργία 1^{ης} Πλαστικής Άρθρωσης (Μέθοδος Ενίσχυσης Β)

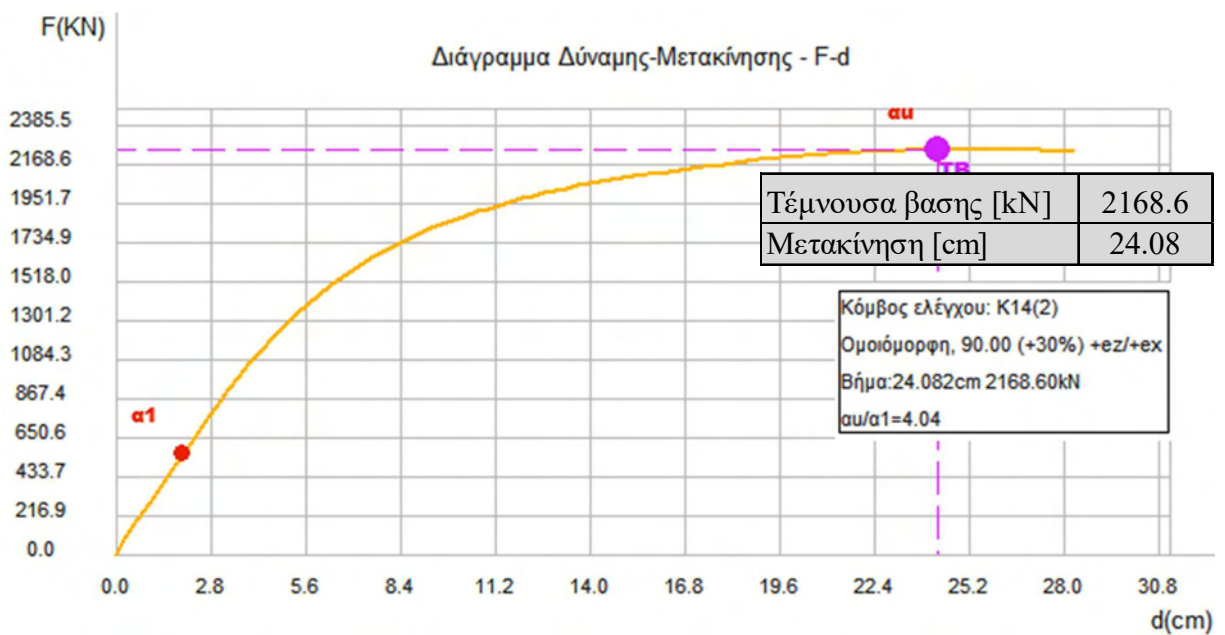


Σχήμα 4.64 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y.

Θέση α₁ (Μέθοδος Ενίσχυσης Β)

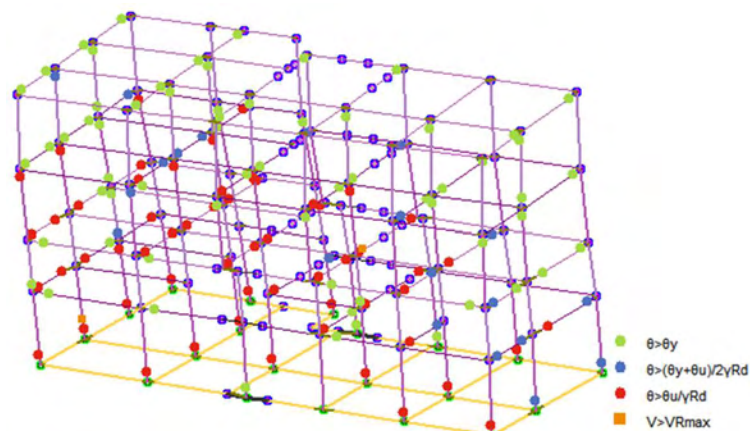
iii. Σημείο α_u – Σημείο κατάρρευσης

Στο σημείο α_u (Σχ. 4.68) δημιουργείται η πλαστική άρθρωση που προκαλεί την θεωρητική κατάρρευση του φορέα. Βλέποντας το Σχήμα 4.68 παρατηρούμε ότι υπάρχουν άκρα μελών που έχουν πράσινες και μπλε κουκίδες τα οποία ικανοποιούν τα κριτήρια που περιγράψαμε παραπάνω. Επίσης παρατηρούμε άκρα μελών τα οποία έχουν κόκκινες κουκίδες που σημαίνει ότι βρίσκονται στη στάθμη επιτελεστικότητας NC καθώς ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > (\theta_u + \theta) 2\gamma_{rd}$ με $\gamma_{rd} = 1.50$ για πρωτεύοντα μέλη.



Σχήμα 4.67 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.

Θέση α_u : Μετατροπή φορέα σε μηχανισμό Κατάρρευσης (Μέθοδος Ενίσχυσης B)

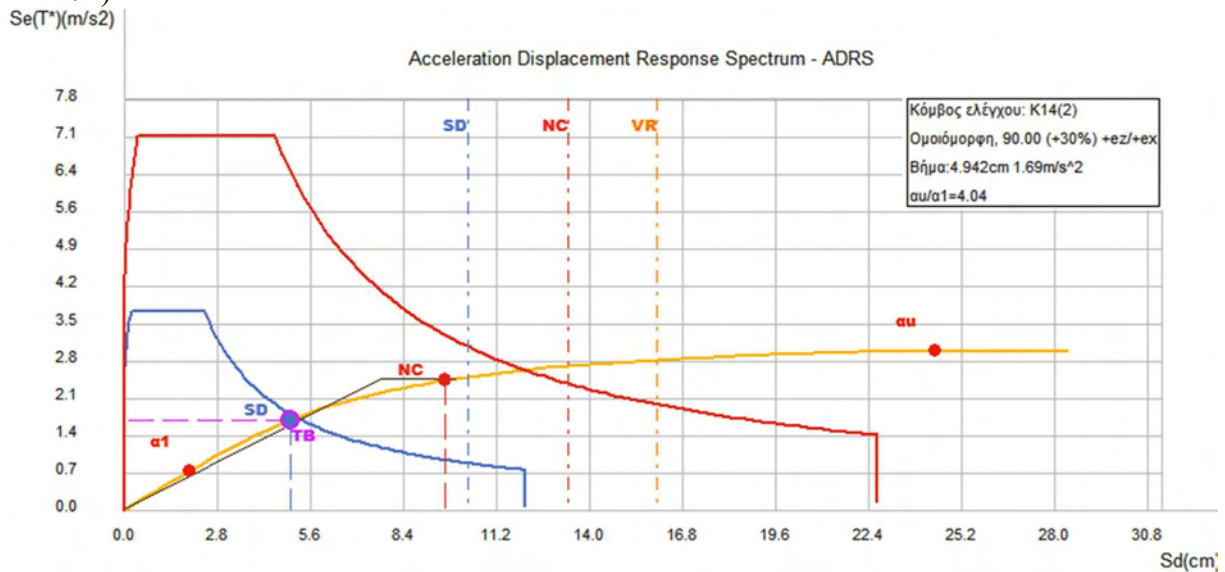


Σχήμα 4.68 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y.

Θέση α_u (Μέθοδος Ενίσχυσης B)

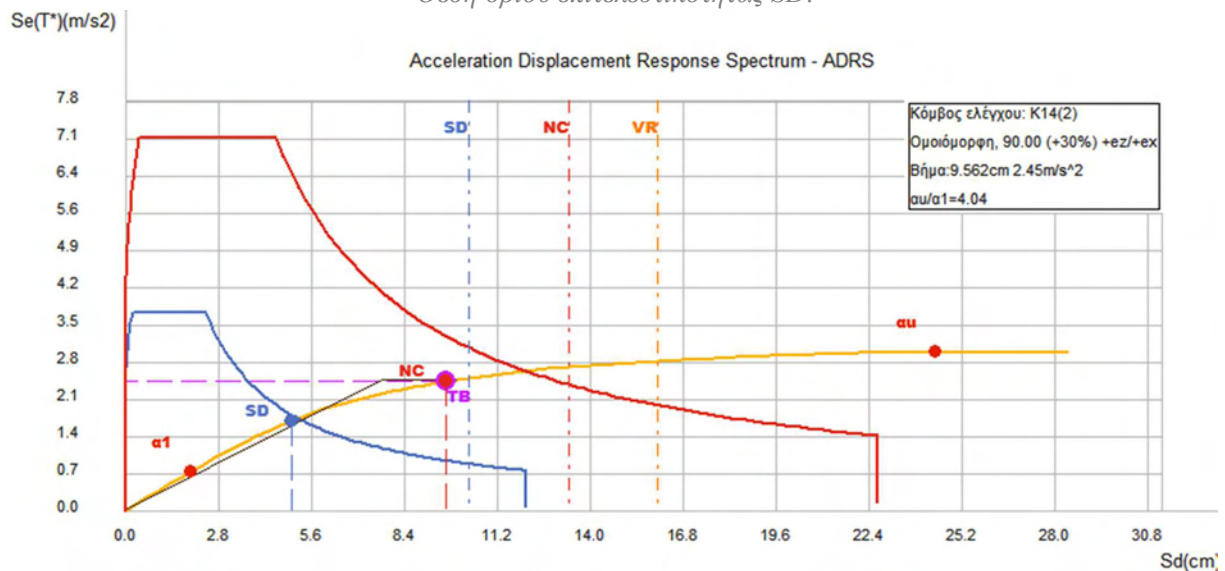
Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας (ADRS) κατά γ

Αυτό που καταστείτε εφικτό μέσω του διαγράμματος Απαίτησης – Ικανότητας είναι η σύγκριση της καμπύλης ικανότητας της κατασκευής με τη σεισμική απαίτηση που ορίζεται. Αυτό επιτυγχάνεται μετατρέποντας την καμπύλη ικανότητας F-d σε φάσμα ικανότητας Sa-Sd. Στη συνέχεια παραθέτονται το διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας (ADRS) που προέκυψε στις θέσεις των σταθμών επιτελεστικότητας που θέσαμε για την συγκεκριμένη φόρτιση (Σχ. 4.70, 4.71).



Σχήμα 4.70 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση γ (Μέθοδος Ενίσχυσης Β).

Θέση ορίου επιτελεστικότητας SD.



Σχήμα 4.69 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση γ (Μέθοδος Ενίσχυσης Β).

Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.

Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι η στοχευμένη μετακίνηση λόγω αυξημένων παραμορφώσεων δεν βρίσκεται στο σημείο τομής της καμπύλης ικανότητας με το ελαστικό φάσμα απαίτησης, αλλά στο σημείο όπου θα τεμονόταν με το μειωμένο πλαστικό φάσμα. Ακόμα πρέπει να πούμε ότι οι κατακόρυφες διακεκομμένες γραμμές δείχνουν την ικανότητα της κατασκευής για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας. Οπότε ο έλεγχος γίνεται με βάση το που βρίσκεται η διακεκομμένη γραμμή σε σχέση με το σημείο της στοχευμένης μετακίνησης της αντίστοιχης στάθμης επιτελεστικότητας. Αν βρίσκεται η διακεκομμένη γραμμή αριστερά της στοχευμένης μετακίνησης τότε αυτό μας δείχνει ότι ο φορέας δεν επαρκεί για την συγκεκριμένη στάθμη επιτελεστικότητας.

Αναλύοντας το Σχήματα 4.69, 4.70 συμπεραίνεται ότι ο φορέας επαρκεί για την στάθμη επιτελεστικότητας Σημαντικών Βλαβών (SD) καθώς η μπλε διακεκομμένη (ικανότητα φορέα για την SD) βρίσκεται δεξιά της μπλε κουκίδας (απαίτηση για την SD). Επίσης το κτίριο επαρκεί για την στάθμη επιτελεστικότητας οιονεί κατάρρευση (NC) καθώς η κόκκινη διακεκομμένη (ικανότητα φορέα για την NC) βρίσκεται δεξιά της κόκκινης κουκίδας (απαίτηση για την NC).

Σε σύγκριση με τον αρχικό φορέα και τα διαγράμματα που προέκυψαν για την συγκεκριμένη φόρτιση μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί ότι ο ενισχυμένος φορέας έχει αρκετά μεγαλύτερη αντοχή. Η 1^η πλαστική άρθρωση στον ενισχυμένο φορέα δημιουργείται για φορτίο $F = 536.46 \text{ kN}$ ενώ στο αρχικό δημιουργούταν για $F = 311.82 \text{ kN}$. Στον ενισχυμένο φορέα η πλαστική άρθρωση που κάνει τον φορέα μας μηχανισμό δημιουργείται για τέμνουσα βάσης $F = 2168.60 \text{ kN}$ και μετακίνηση $d = 24.08 \text{ cm}$ ενώ στον αρχικό φορέα δημιουργούταν για τέμνουσα βάσης $F = 1091.28 \text{ kN}$ και μετακίνηση $d = 17.17 \text{ cm}$. Επίσης ο λόγος υπεραντοχής του ενισχυμένου φορέα είναι $a_u/a_1 = 4.04$ ενώ στον αρχικό φορές ήταν $a_u/a_1 = 3.50$.

4.2.5 Λόγοι επάρκειας

Οι λόγοι επάρκειας των μελών λ ($\lambda = \text{απαίτηση/ικανότητα}$) μας δείχνουν εάν και κατά πόσο επαρκεί το εκάστοτε μέλος του φέροντος οργανισμού για τις στάθμες επιτελεστικότητας που έχουμε θέσει. Ο έλεγχος του λόγου επάρκειας των μελών γίνεται τόσο για την στροφή χορδής θ ($\lambda = \theta/\theta_{lim}$) όσο και για την τέμνουσα δύναμη V ($\lambda = V/V_R$). Αν για τον λόγο λ ισχύει ότι $\lambda \leq 1$, και για τους δύο ελέγχους, τότε το μέλος επαρκεί και δεν χρειάζεται ενίσχυση. Αντίθετα αν $\lambda > 1$ τότε το μέλος δεν επαρκεί και χρειάζεται να γίνει επέμβαση.

4.2.5.1 Λόγοι επάρκειας αρχικά μη-επαρκών μελών

Στον Πίνακα 4.25 αναγράφονται οι νέοι λόγοι επάρκειας που υπολογίστηκαν για τον έλεγχο τον οποίο το εκάστοτε δομικό μέλος κρίθηκε μη-επαρκές στους ελέγχους που έγιναν στον αρχικό φορέα. Τα δομικά μέλη στον αρχικό φορέα κρίθηκαν μη επαρκή για τον έλεγχο στροφής χορδής στην στάθμη επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευση (NC).

Πίνακας 4.25 Λόγοι επάρκειας αρχικά μη-επαρκών μελών (Μέθοδος Ενίσχυσης B)

Δομικό μέλος	Έλεγχος	λ (NC)	Δομικό μέλος	Έλεγχος	λ (NC)
K1(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.72	K15(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.28
K2(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.86	K16(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.64
K3(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.56	K17(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.62
K4(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.72	K18(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.75
K5(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.65	K19(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.41
K6(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.29	K20(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.67
K7(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.4	K21(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.78
K8(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.67	$\Delta 7.1(0)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.5
K9(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.79	$\Delta 7.3(0)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.69
K10(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.61	$\Delta 11.1(0)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.67
K11(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.7	$\Delta 12.1(0)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.58
K12(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.69	$\Delta 12.2(0)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.82
K13(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.76	$\Delta 7.2(1)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.77
K14(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.62	$\Delta 7.4(1)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.63

4.2.6 Μέγιστα λόγων επάρκειας

Στους παρακάτω πίνακες αναγράφονται τα μέγιστα των λόγων επάρκειας των υποστυλωμάτων και των δοκών του ενισχυμένου φορέα.

Πίνακας 4.26 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Υπ/των – Έλεγχος Στροφής Χορδής

Στάθμη επιτελεστικότητας	Μέλος	Λόγος επάρκειας
SD	K7(2)	0.59
NC	K7(2)	0.91

Πίνακας 4.27 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Υπ/των – Έλεγχος Διάτμησης

Στάθμη επιτελεστικότητας	Μέλος	Λόγος επάρκειας
SD	K7(2)	0.76
NC	K19(1)	0.93

Πίνακας 4.28 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Δοκών – Έλεγχος Στροφής Χορδής

Στάθμη επιτελεστικότητας	Μέλος	Λόγος επάρκειας
SD	Δ6.3(0)	0.63
NC	Δ11.1(2)	0.92

Πίνακας 4.29 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Δοκών – Έλεγχος Διάτμησης

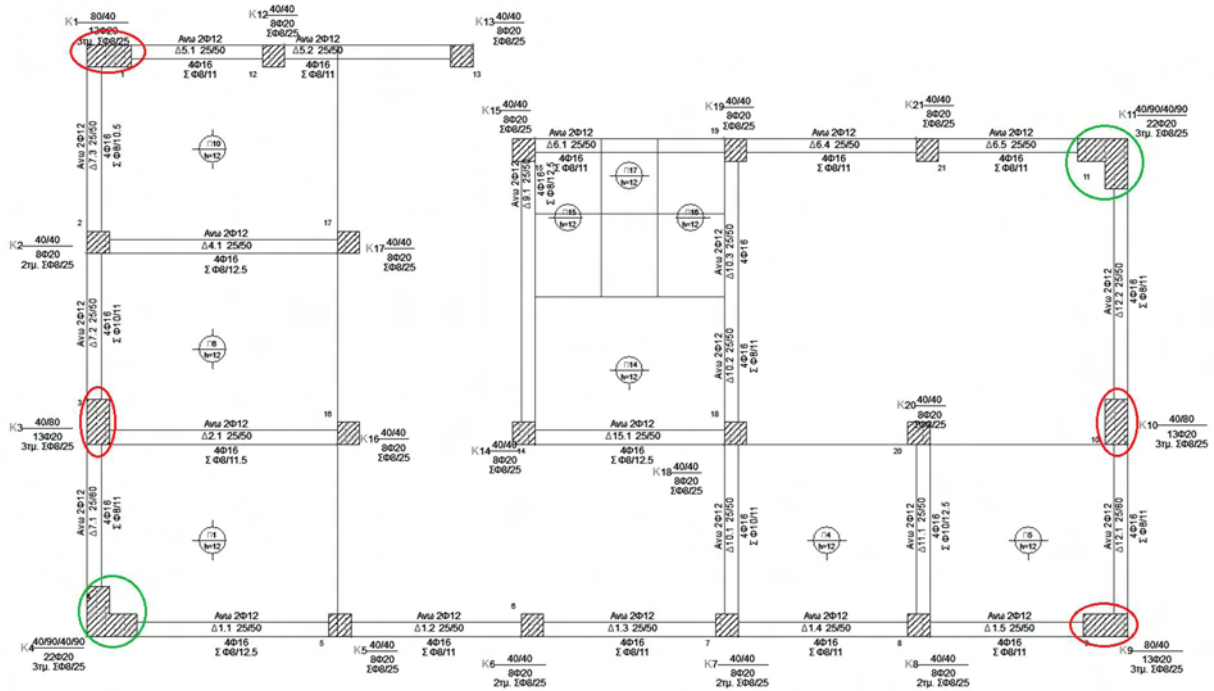
Στάθμη επιτελεστικότητας	Μέλος	Λόγος επάρκειας
SD	Δ1.5(1)	0.68
NC	Δ1.5(1)	0.89

4.3 Μέθοδος Ενίσχυσης Γ

4.3.1 Ενίσχυση υποστυλωμάτων

i. Υποστυλώματα στάθμης 0 (ισόγειο)

Στον παρακάτω ξυλότυπο του ισόγειου (Σχ. 4.71) δείχνονται τα υποστυλώματα τα οποία ενισχύθηκαν. Στα υποστυλώματα που είναι κυκλωμένα με κόκκινο χρώμα έγινε ενισχύθηκαν με μανδύες σκυροδέματος και έγιναν τοιχώματα διατομής 80/40 cm. Αυτά που είναι κυκλωμένα με πράσινο χρώμα ενισχύθηκαν με μανδύες σκυροδέματος και έγιναν γωνιακά τοιχώματα διατομής 40/90/40/90.



Σχήμα 4.71 Ξυλότυπος στάθμης 0 (Ενίσχυση Γ)

- Για τα υποστυλώματα K1(0), K3(0), K9(0) και K10(0) (κόκκινο χρώμα).

Τα υφιστάμενα υποστυλώματα είχαν αρχικές διαστάσεις 40/40 cm. Η ενίσχυση που επιλέχθηκε να γίνει για αυτά τα υποστυλώματα είναι να γίνουν διατομής 80x40 cm έτσι ώστε να μεγαλώσει η δυσκαμψία τους.

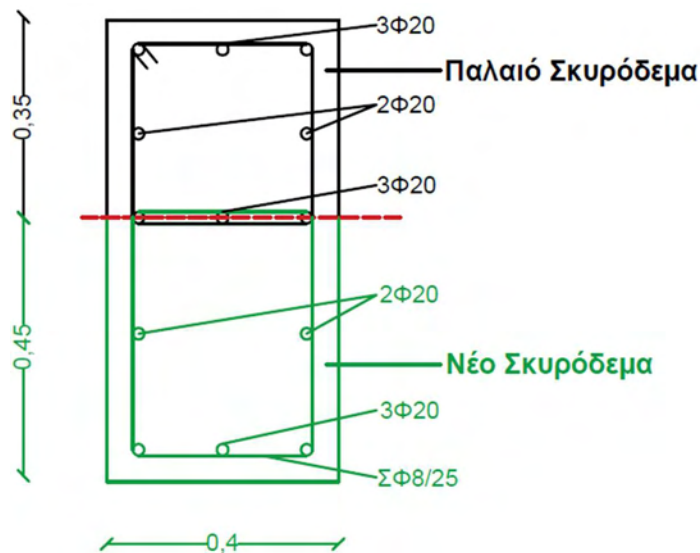
Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την ενίσχυση των υποστυλωμάτων είναι τα εξής:

- **C20/25**
- **B500**

Ο νέος οπλισμός που μπήκε αναγράφεται στον Πίνακα 4.72 και η διάταξη στο παρακάτω Σχήμα 4.72.

Πίνακας 4.30 Χαρακτηριστικά Ενισχυμένου Υποστυλώματος

	Υφιστάμενο Υπ/μα	Ενισχυμένο Υπ/μα
Διαστάσεις [cm x cm]	40/40	80/40
Οπλισμός [τεμάχια]	8Φ20	8Φ20+5Φ20
Συνδετήρες [τεμάχια/s]	ΣΦ8/25	ΣΦ8/25+ΣΦ8/25



Σχήμα 4.72 Διατομή ενισχυμένου Υποστυλώματος

➤ Για τα υποστυλώματα K4(0) και K11(0) (πράσινο χρώμα).

Το υφιστάμενο υποστυλώμα είχε αρχικές διαστάσεις 40/40 cm. Η ενίσχυση που επιλέχθηκε να γίνει για αυτό το υποστυλώμα είναι να γίνουν γωνιακής διατομής 40/90/40/90 cm έτσι ώστε να μεγαλώσει η δυσκαμψία του.

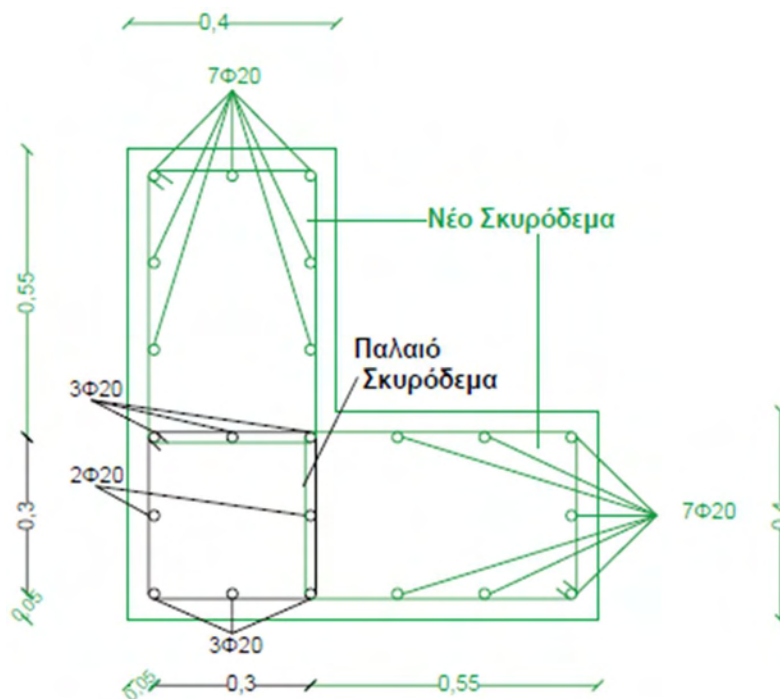
Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την ενίσχυση του υποστυλώματος είναι τα εξής:

- **C20/25**
- **B500**

Ο νέος οπλισμός που μήκε αναγράφεται στον Πίνακα 4.31 και η διάταξη στο Σχήμα 4.73.

Πίνακας 4.31 Χαρακτηριστικά Ενισχυμένου Υποστυλώματος

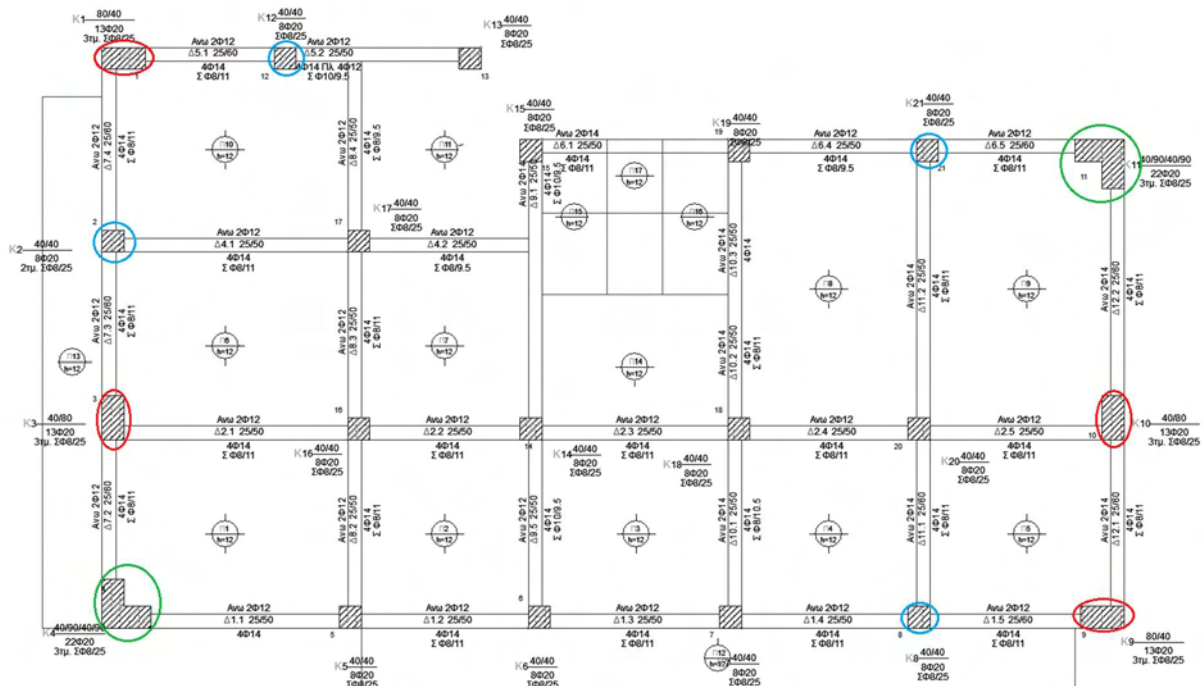
	Υφιστάμενο Υπ/μα	Ενισχυμένο Υπ/μα
Διαστάσεις [cm x cm]	40/40	40/90/40/90
Οπλισμός [τεμάχια]	8Φ20	8Φ20+7Φ20+7Φ20
Συνδετήρες [τεμάχια/s]	ΣΦ8/25	ΣΦ8/25+2ΣΦ8/25



Σχήμα 4.73 Διατομή ενισχυμένου Υποστυλώματος

ii. Υποστυλώματα στάθμης 1 (μεσοπάτωμα)

Στον παρακάτω ξυλότυπο του μεσοπατώματος (Σχ.4.74) δείχνονται τα υποστυλώματα τα οποία ενισχύθηκαν. Στα υποστυλώματα που είναι κυκλωμένα με κόκκινο χρώμα έγινε ενισχύθηκαν με μανδύες σκυροδέματος και έγιναν τοιχώματα διατομής 160/40 cm. Αυτά που είναι κυκλωμένα με πράσινο χρώμα ενισχύθηκαν με μανδύες σκυροδέματος και έγιναν τοιχώματα διατομής 120/40 cm και σε αυτά που είναι κυκλωμένα με μπλέ χρώμα χρησιμοποιήθηκαν ινοπλισμένα πολυμερή (FRP).



Σχίμα 4.74 Ξυλότυπος Στάθμης 1 (Ενίσχυση Γ)

- Για τα υποστυλώματα K1(1), K3(1), K9(1) και K10(1) (κόκκινο χρώμα).

Τα παραπάνω υποστυλώματα της στάθμης του μεσοπατώματος ενισχύθηκαν όπως τα υποστυλώματα K1(0), K3(0), K9(0) και K10(0) αντίστοιχα.

- Για τα υποστυλώματα K4(1) και K11(1) (πράσινο χρώμα).

Τα παραπάνω υποστυλώματα της στάθμης του μεσοπατώματος ενισχύθηκαν όπως αυτά τα υποστυλώματα K4(0) και K11(0) αντίστοιχα.

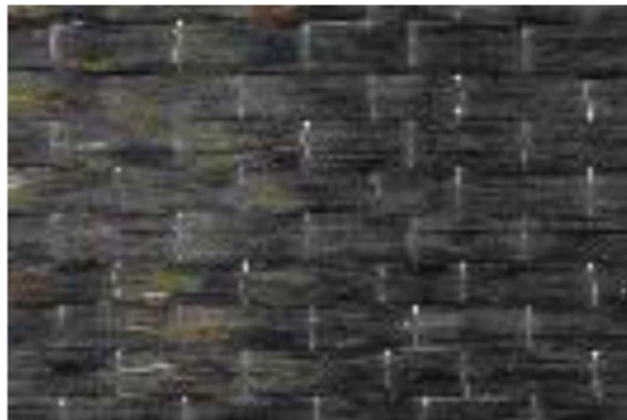
- Για τα υποστυλώματα K2(1), K8(1), K12(1) και K21(1) (μπλε χρώμα).

Η ενίσχυση που επιλέχθηκε να γίνει για αυτά τα υποστυλώματα είναι να τοποθετηθούν ινοπλισμένα πολυμερή (FRP) και το υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το SikaWrap® -300 C. Το συγκεκριμένο υλικό είναι ένα πλεκτό ύφασμα με ίνες άνθρακα μονής διευθύνσεως, μέσω αντοχών, σχεδιασμένο για τοποθέτηση χρησιμοποιώντας την ξηρή ή την υγρή μέθοδο εφαρμογής. Με την εφαρμογή τους, βελτιώνεται η σεισμική συμπεριφορά των μελών και αυξάνεται η αντίσταση έναντι σεισμικών μετακινήσεων.

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του υλικού SikaWrap® -300 C είναι τα εξής:

Πίνακας 4.32 Μηχανικά και Γεωμετρία χαρακτηριστικά SikaWrap® -300 C

Μέτρο ελαστικότητας E_f	$2.3 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$
Οριακή εφελκυστική αντοχή f_{uf}	4000 MPa
Οριακή ανηγμένη παραμόρφωση ϵ_{uf}	1.7×10^2
Συνολικό πάχος t_f	0.2 mm



Σχήμα 4.75 Λεπτομέρεια επιφάνειας του SikaWrap® -

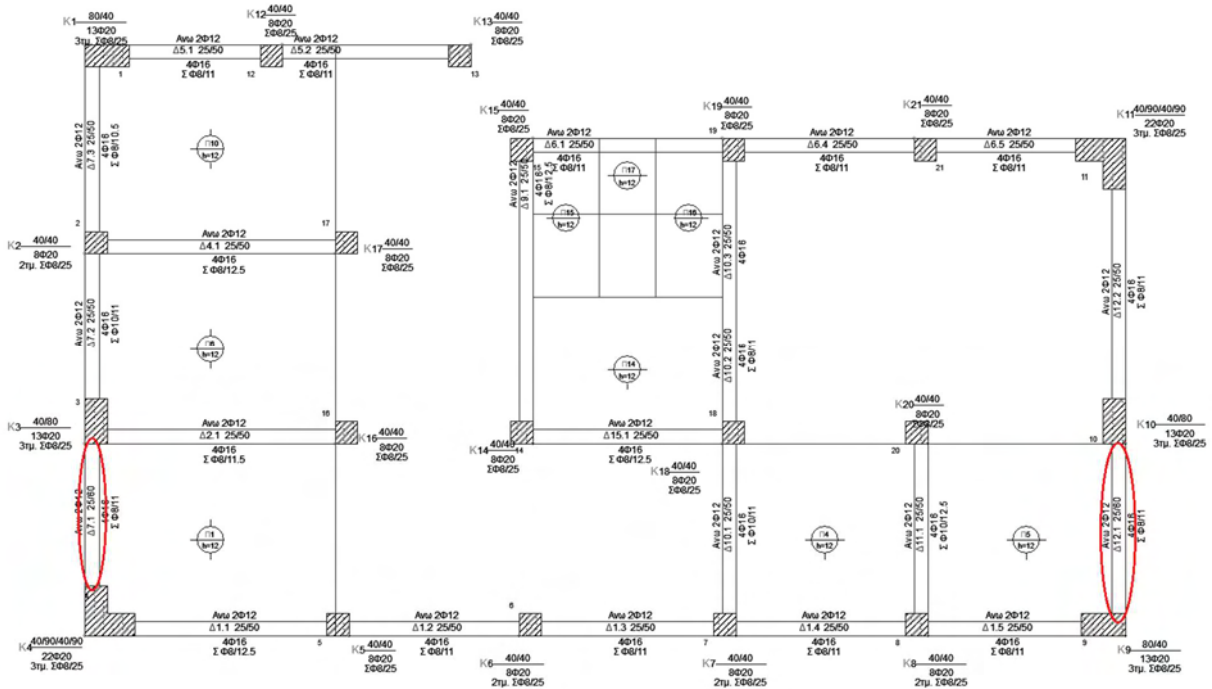
4.3.2 Ενίσχυση Δοκών

i. Δοκοί στάθμης 0 (ισόγειο)

Στον παρακάτω ξυλότυπο του ισογείου (Σχ. 4.77) δείχνονται οι δοκοί οι οποίες ενισχύθηκαν κυκλωμένες με κόκκινο χρώμα.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τις δοκούς της στάθμης αυτής είναι:

- C20/25
- B500



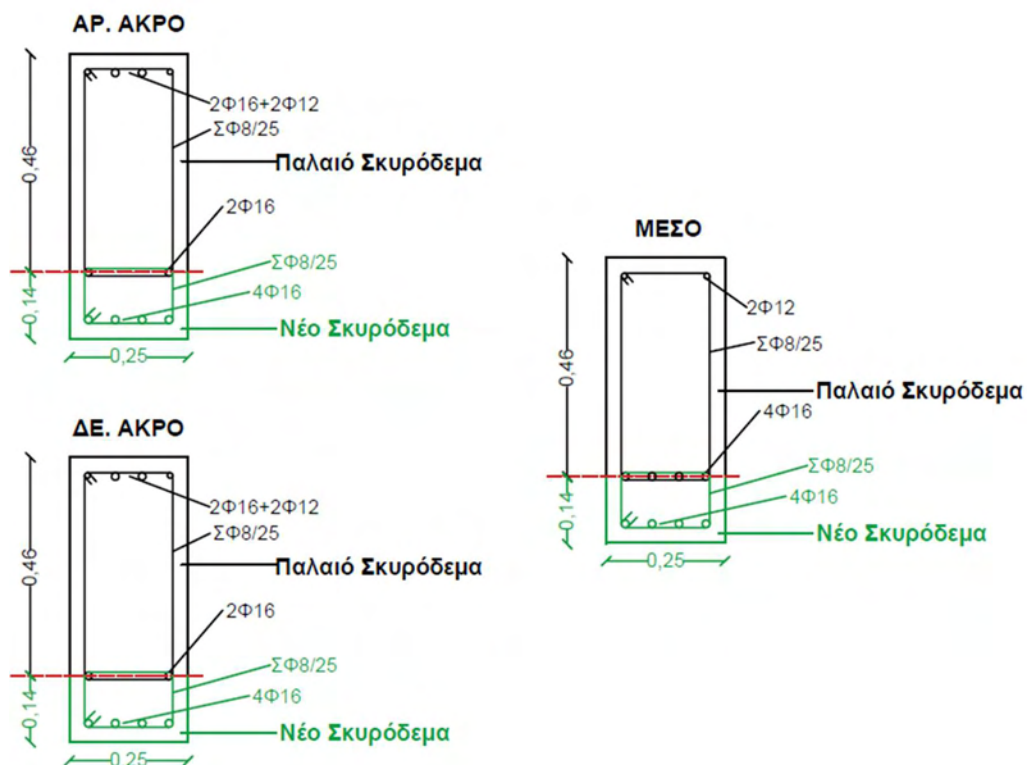
Σχήμα 4.77 Ξυλότυπος στάθμης 0 (Ενίσχυση Γ)

➤ Δοκοί Δ7.1(0) και Δ12.1(0)

Οι δοκοί αυτοί κρίθηκαν μη-επαρκείς για τον έλεγχο στροφής χορδής και η ενίσχυση που επιλέχθηκε είναι να ενισχυθούν με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος και πρόσθετο οπλισμό για αύξηση της καμπτικής τους αντοχής. Στον Πίνακα 4.33 αναγράφονται οι οπλισμοί της ενισχυμένης δοκού στα δύο τις άκρα και στο μέσο, όπου ο υφιστάμενος διαμήκης οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος διαμήκης με πράσινο χρώμα. Επίσης στο Σχήμα 4.78 φαίνονται οι λεπτομέρειες όπλισης των ενισχυόμενων δοκών όπου ο παλιός οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος με πράσινο χρώμα.

Πίνακας 4.33 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού

Αριστερό άκρο		Μέσο		Δεξιό άκρο	
Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός
2Φ12+2Φ16	2Φ16+4Φ16	2Φ12	4Φ16+4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16+4Φ16



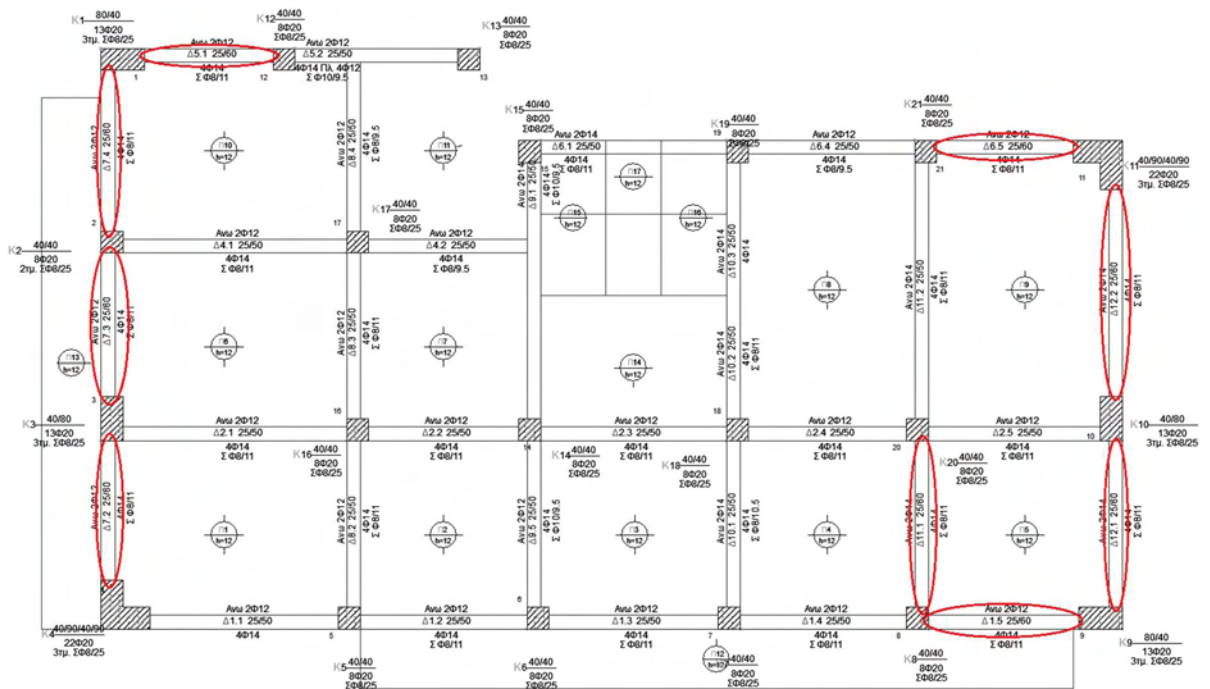
Σχήμα 4.78 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού

ii. Δοκοί στάθμης 1 (μεσοπάτωμα)

Στον παρακάτω ξυλότυπο του μεσοπατώματος (Σχ. 4.79) δείχνονται οι δοκοί οι οποίες ενισχύθηκαν κυκλωμένες με κόκκινο χρώμα.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τις δοκούς της στάθμης αυτής είναι:

- C20/25
- B500



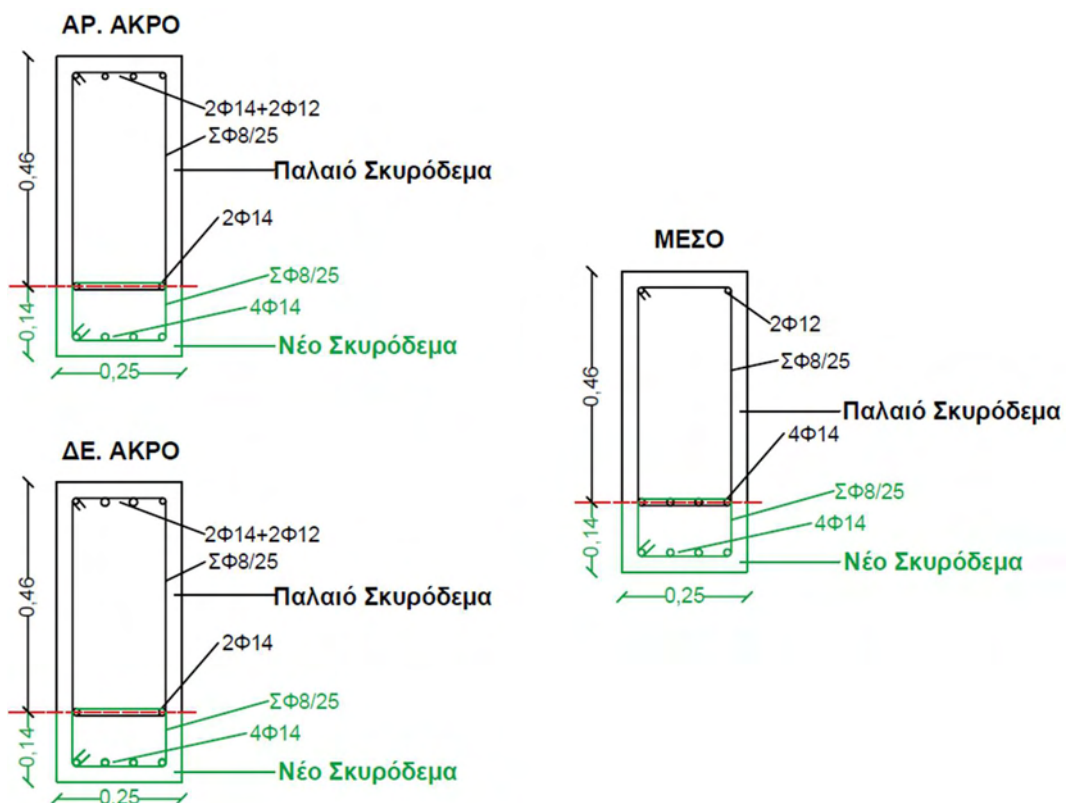
Σχήμα 4.79 Ξυλότυπος στάθμης 1 (Ενίσχυση Γ)

- Δοκοί Δ1.5(1), Δ5.1(1), Δ6.5(1), Δ7.2(1), Δ7.3(1) και Δ7.4(1).

Οι δοκοί αυτοί κρίθηκαν μη-επαρκείς για τον έλεγχο στρωφής χορδής και η ενίσχυση που επιλέχθηκε είναι να ενισχυθούν με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος και πρόσθετο οπλισμό για αύξηση της καμπτικής τους αντοχής. Στον Πίνακα 4.34 αναγράφονται οι οπλισμοί της ενισχυμένης δοκού στα δύο τις άκρα και στο μέσο, όπου ο υφιστάμενος διαμήκης οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος διαμήκης με πράσινο χρώμα. Επίσης στο Σχήμα 4.80 φαίνονται οι λεπτομέρειες όπλισης των ενισχυόμενων δοκών όπου ο παλιός οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος με πράσινο χρώμα.

Πίνακας 4.34 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού

Αριστερό άκρο		Μέσο		Δεξιό άκρο	
Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός
2Φ12+2Φ14	2Φ14+4Φ14	2Φ12	4Φ14+4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ16+4Φ14



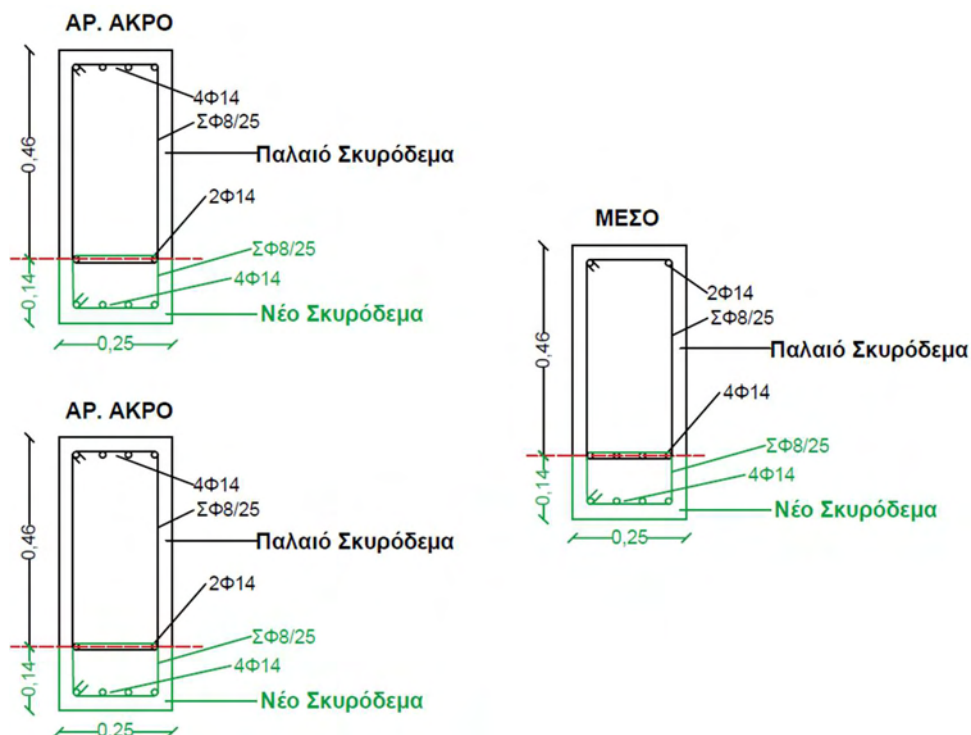
Σχήμα 4.80 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού

➤ Δοκοί Δ12.1(1) και Δ12.2(1)

Οι δοκοί αυτοί κρίθηκαν μη-επαρκείς για τον έλεγχο στροφής χορδής και η ενίσχυση που επιλέχθηκε είναι να ενισχυθούν με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος και πρόσθετο οπλισμό για αύξηση της καμπτικής τους αντοχής. Στον Πίνακα 4.35 αναγράφονται οι οπλισμοί της ενισχυμένης δοκού στα δύο τις άκρα και στο μέσο, όπου ο υφιστάμενος διαμήκης οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος διαμήκης με πράσινο χρώμα. Επίσης στο Σχήμα 4.81 φαίνονται οι λεπτομέρειες όπλισης των ενισχυόμενων δοκών όπου ο παλιός οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος με πράσινο χρώμα.

Πίνακας 4.35 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού

Αριστερό άκρο		Μέσο		Δεξιό άκρο	
Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός
4Φ14	2Φ14+4Φ14	2Φ14	4Φ14+4Φ14	4Φ14	2Φ14+4Φ14



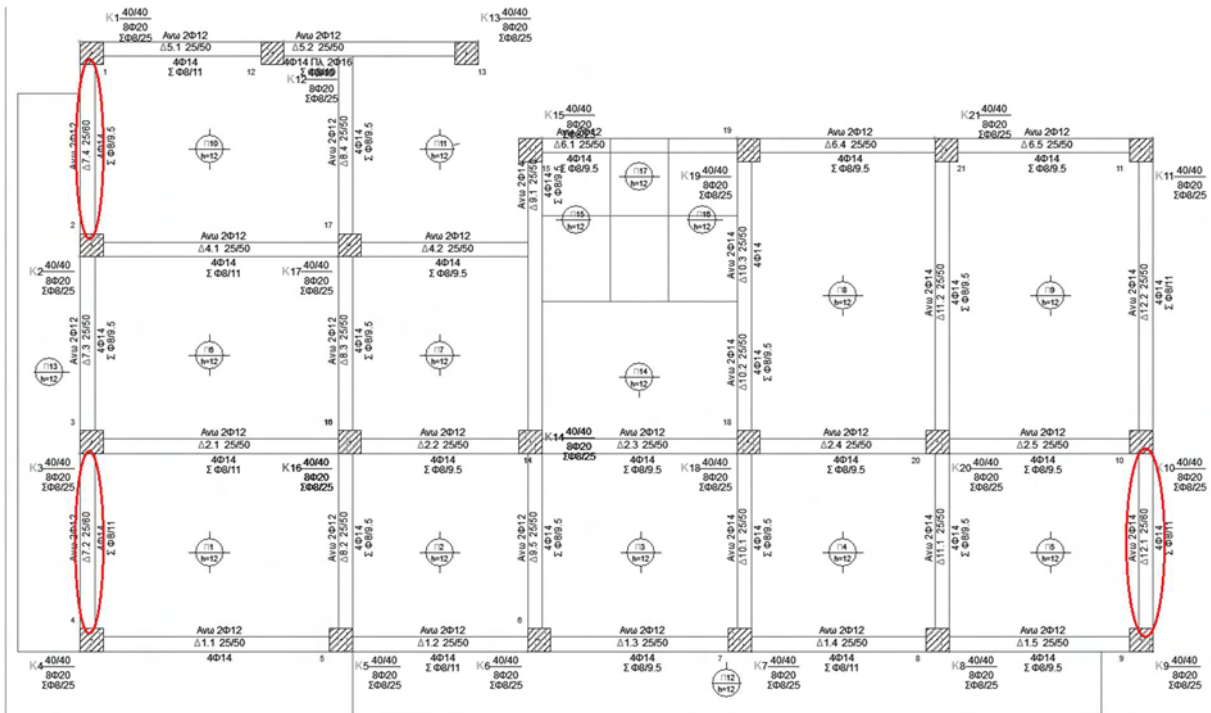
Σχήμα 4.81 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού

iii. Δοκοί στάθμης 2 (1^{ου} Ορόφου)

Στον παρακάτω ξυλότυπο του 1^{ου} Ορόφου (Σχ. 4.82) δείχνονται οι δοκοί οι οποίες ενισχύθηκαν κυκλωμένες με κόκκινο χρώμα.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τις δοκούς της στάθμης αυτής είναι:

- **C20/25**
- **B500**



Σχήμα 4.82 Ξυλότυπος στάθμης 2 (Ενίσχυση Γ)

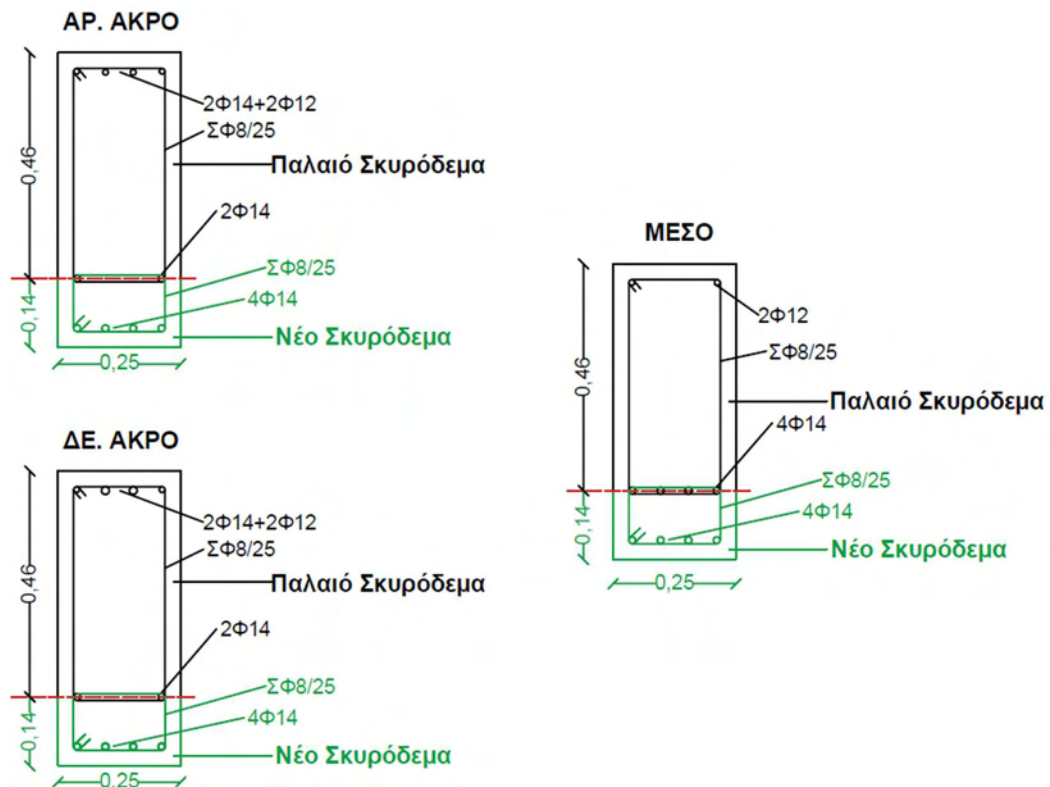
➤ Δοκοί Δ7.2(2) και Δ7.4(2).

Οι δοκοί αυτοί κρίθηκαν μη-επαρκείς για τον έλεγχο στροφής χορδής και η ενίσχυση που επιλέχθηκε είναι να ενισχυθούν με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος και πρόσθετο οπλισμό για αύξηση της καμπτικής τους αντοχής. Στον Πίνακα 4.36 αναγράφονται οι οπλισμοί της ενισχυμένης δοκού στα δύο τις άκρα και στο μέσο, όπου ο υφιστάμενος διαμήκης οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος διαμήκης με πράσινο χρώμα. Επίσης στο Σχήμα 4.83 φαίνονται οι λεπτομέρειες όπλισης των ενισχυόμενων δοκών όπου ο παλιός οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος με πράσινο χρώμα.

- **C20/25**
- **B500**

Πίνακας 4.36 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού

Αριστερό άκρο		Μέσο		Δεξιά άκρο	
Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός
2Φ12+2Φ14	2Φ14+4Φ14	2Φ12	4Φ14+4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ16+4Φ14



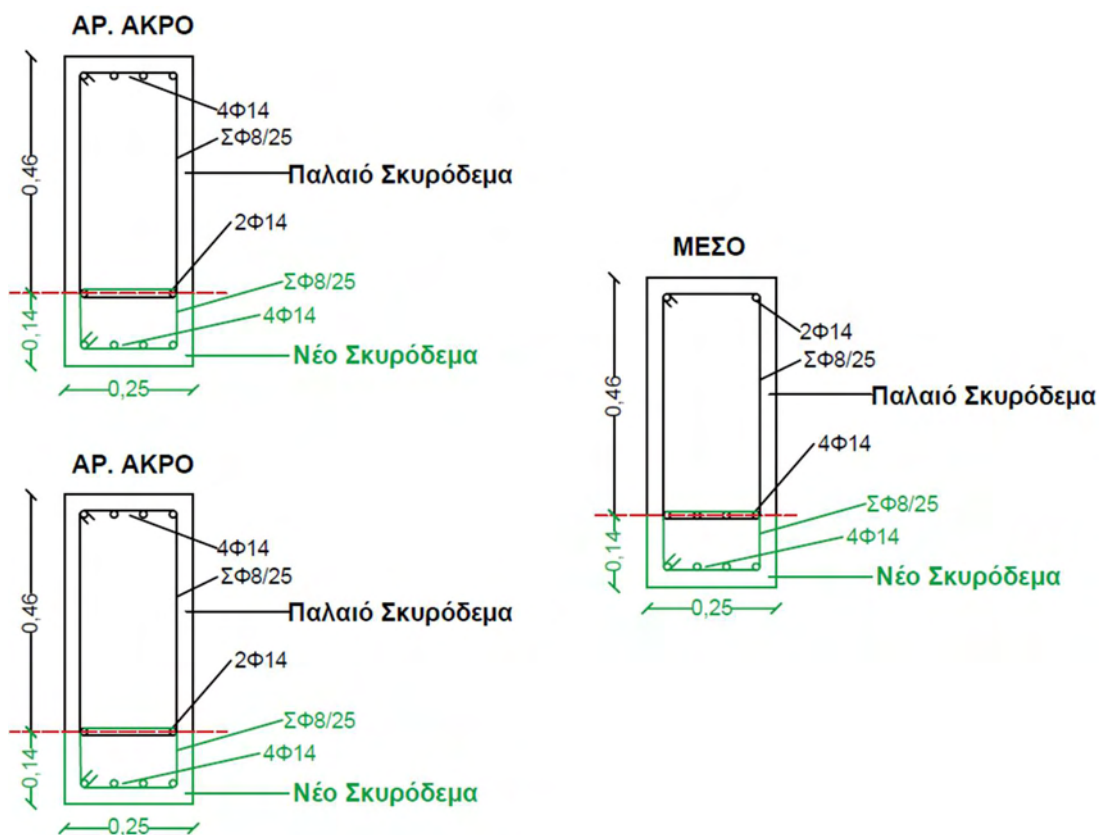
Σχήμα 4.83 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού

➤ Δοκός Δ12.1(2)

Η δοκός αυτή κρίθηκε μη-επαρκής για τον έλεγχο στροφής χορδής και η ενίσχυση που επιλέχθηκε είναι να ενισχυθεί με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος και πρόσθετο οπλισμό για αύξηση της καμπτικής της αντοχής. Στον Πίνακα 4.37 αναγράφονται οι οπλισμοί της ενισχυμένης δοκού στα δύο τις άκρα και στο μέσο, όπου ο υφιστάμενος διαμήκης οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος διαμήκης με πράσινο χρώμα. Επίσης στο Σχήμα 4.84 φαίνονται οι λεπτομέρειες όπλισης της ενισχυόμενης δοκού όπου ο παλιός οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος με πράσινο χρώμα.

Πίνακας 4.37 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού

Αριστερό άκρο		Μέσο		Δεξιό άκρο	
Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός
4Φ14	2Φ16+4Φ14	2Φ14	4Φ14+4Φ14	4Φ14	2Φ16+4Φ14



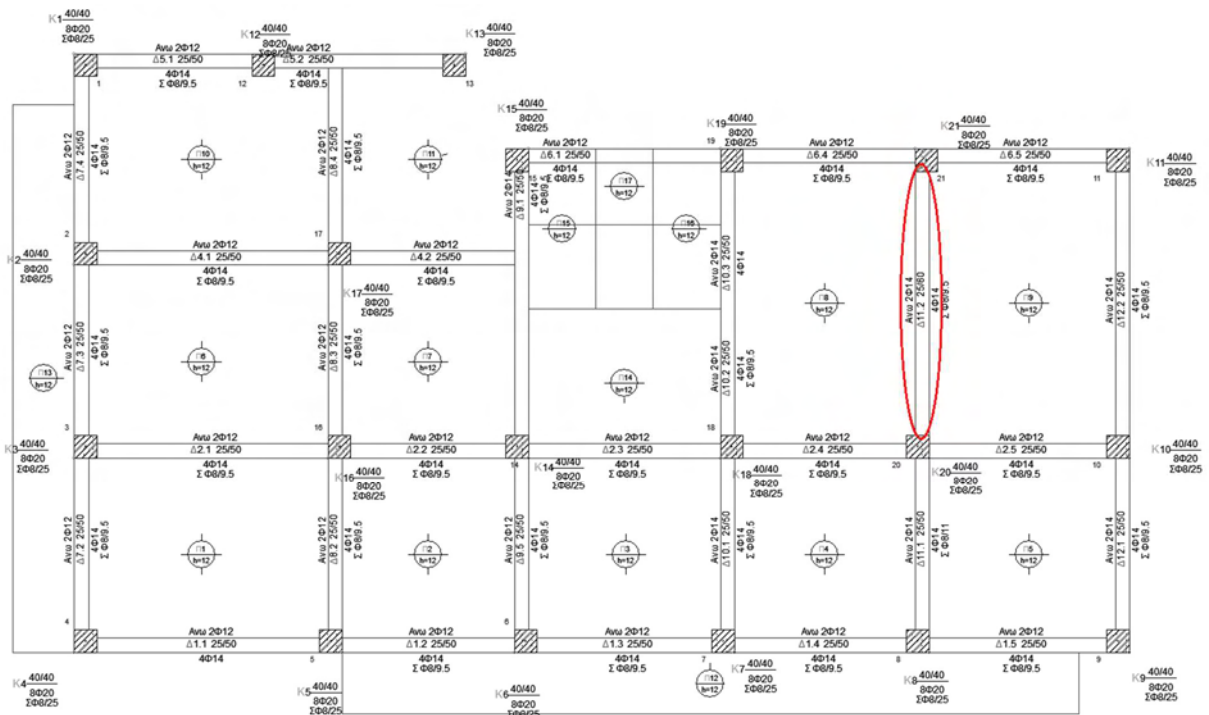
Σχήμα 4.84 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού

iv. Δοκοί στάθμης 3 (2^{ου} Ορόφου)

Στον παρακάτω ξυλότυπο του 2^{ου} Ορόφου (Σχ. 4.85) δείχνονται οι δοκοί οι οποίες ενισχύθηκαν κυκλωμένες με κόκκινο χρώμα.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τις δοκούς της στάθμης αυτής είναι:

- **C20/25**
- **B500**



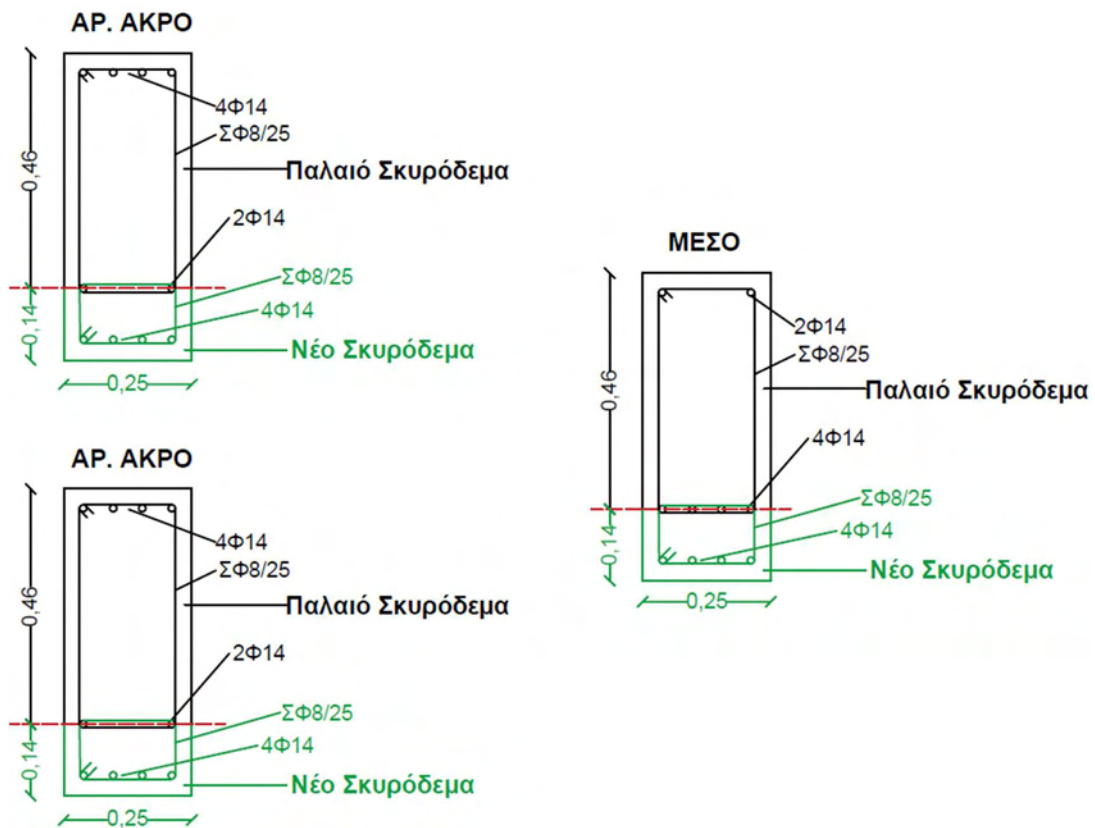
Σχήμα 4.85 Ξυλότυπος στάθμης 3 (Ενίσχυση Γ)

➤ Δοκός Δ11.2(3)

Η δοκός αυτή κρίθηκε μη-επαρκής για τον έλεγχο κάμψης σε συνδυασμό στατικών φορτίων και η ενίσχυση που επιλέχθηκε είναι να ενισχυθεί με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος και πρόσθετο οπλισμό για αύξηση της καμπτικής της αντοχής. Στον Πίνακα 4.38 αναγράφονται οι οπλισμοί της ενισχυμένης δοκού στα δύο τις άκρα και στο μέσο, όπου ο υφιστάμενος διαμήκης οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος διαμήκης με πράσινο χρώμα. Επίσης στο Σχήμα 4.86 φαίνονται οι λεπτομέρειες όπλισης της ενισχυόμενης δοκού όπου ο παλιός οπλισμός είναι με μαύρο χρώμα ενώ ο νέος με πράσινο χρώμα.

Πίνακας 4.38 Οπλισμός ενισχυμένης δοκού

Αριστερό άκρο		Μέσο		Δεξιό άκρο	
Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός	Άνω οπλισμός	Κάτω οπλισμός
4Φ14	2Φ16+4Φ14	2Φ14	4Φ14+4Φ14	4Φ14	2Φ16+4Φ14

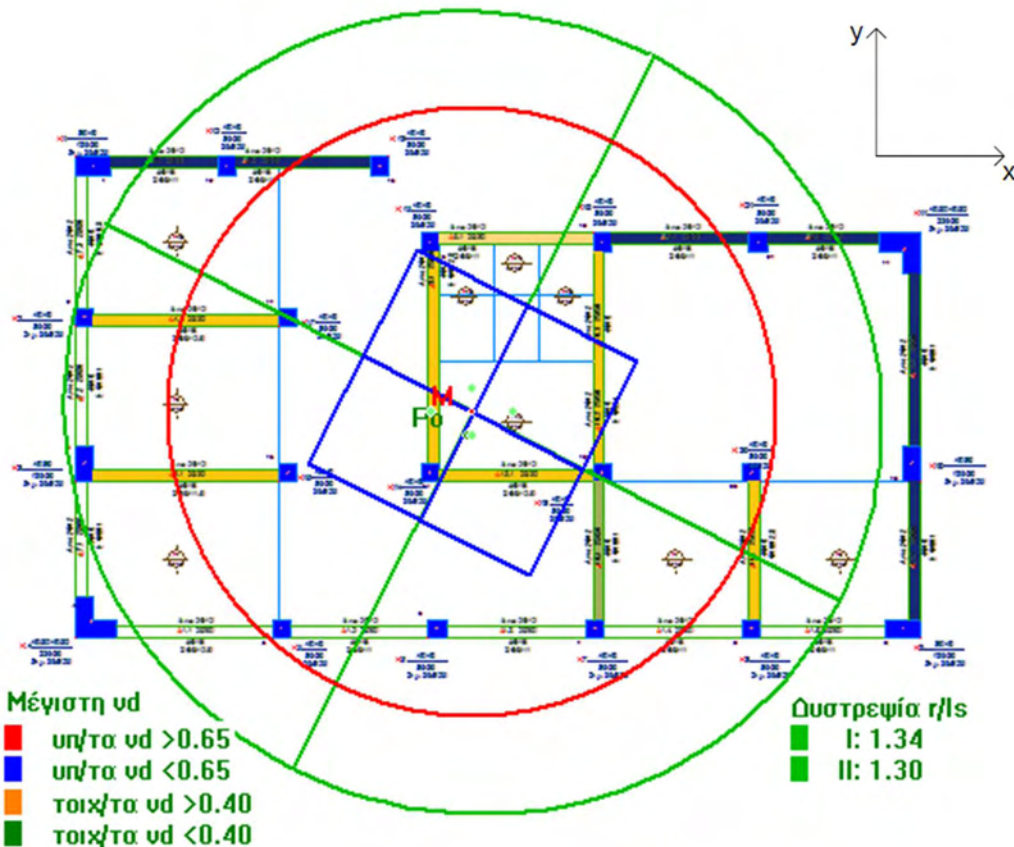


Σχήμα 4.86 Διατομές των άκρων και του μέσου της ενισχυμένης δοκού

4.3.3 Δυστροπία ενισχυμένου κτιρίου

i. Στάθμη 0 (οροφή ισογείου)

Βλέποντας το Σχήμα 4.87 συμπεραίνεται ότι πληρείται ο περιορισμός εκκεντρότητας καθώς το σημείο P_0 βρίσκεται εντός του ορθογωνίου, δηλαδή ότι $e_{ox} < 0.3 r_x$. Επίσης παρατηρείτε ότι το κτίριο είναι στρεπτικά περισσότερο δύσκαμπτο από τον αρχικό φορέα αφού ο λόγος $r'_x/l'_s > r_x/l_s$ πράγμα το οποίο απεικονίζεται σχηματικά αφού ο κύκλος αδράνειας βρίσκεται εντός του της έλλειψης δυστροπίας. Οπότε ικανοποιούνται οι περιορισμοί του Ευρωκώδικα 8 για κανονικότητα σε κάτοψη.

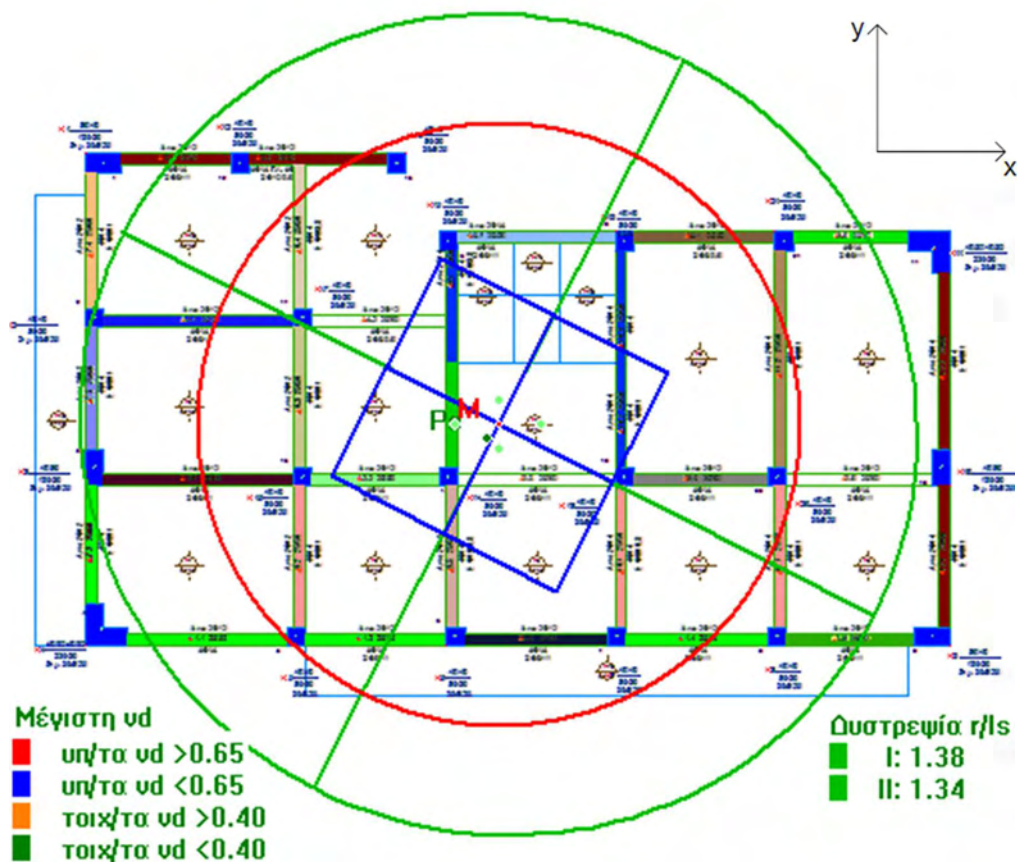


Σχήμα 4.87 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστροπίας της στάθμης 0 (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)

Επίσης στο παραπάνω σχήμα παρατηρείτε ότι όλα τα υποστυλώματα έχουν ανηγμένο αξονικό φορτίο $\nu_d < 0.65$. Έτσι πληρείται ο περιορισμός που βάζει ο Ευρωκώδικας 8 μέρος 1 για το ανηγμένο αξονικό φορτίο αντισεισμικών υποστυλωμάτων.

ii. Στάθμη 1 (οροφή μεσοπατώματος)

Βλέποντας το Σχήμα 4.88 συμπεραίνεται ότι πληρείται ο περιορισμός εκκεντρότητας καθώς το σημείο P_0 βρίσκεται εντός του ορθογωνίου, δηλαδή ότι $e_{ox} < 0.3 r_x$. Επίσης παρατηρείτε ότι το κτίριο είναι στρεπτικά περισσότερο δύσκαμπτο από τον αρχικό φορέα αφού ο λόγος $r'_x/l'_s > r_x/l_s$ πράγμα το οποίο απεικονίζεται σχηματικά αφού ο κύκλος αδράνειας βρίσκεται εντός του της έλλειψης δυστρεψιάς. Οπότε ικανοποιούνται οι περιορισμοί του Ευρωκώδικα 8 για κανονικότητα σε κάτοψη.

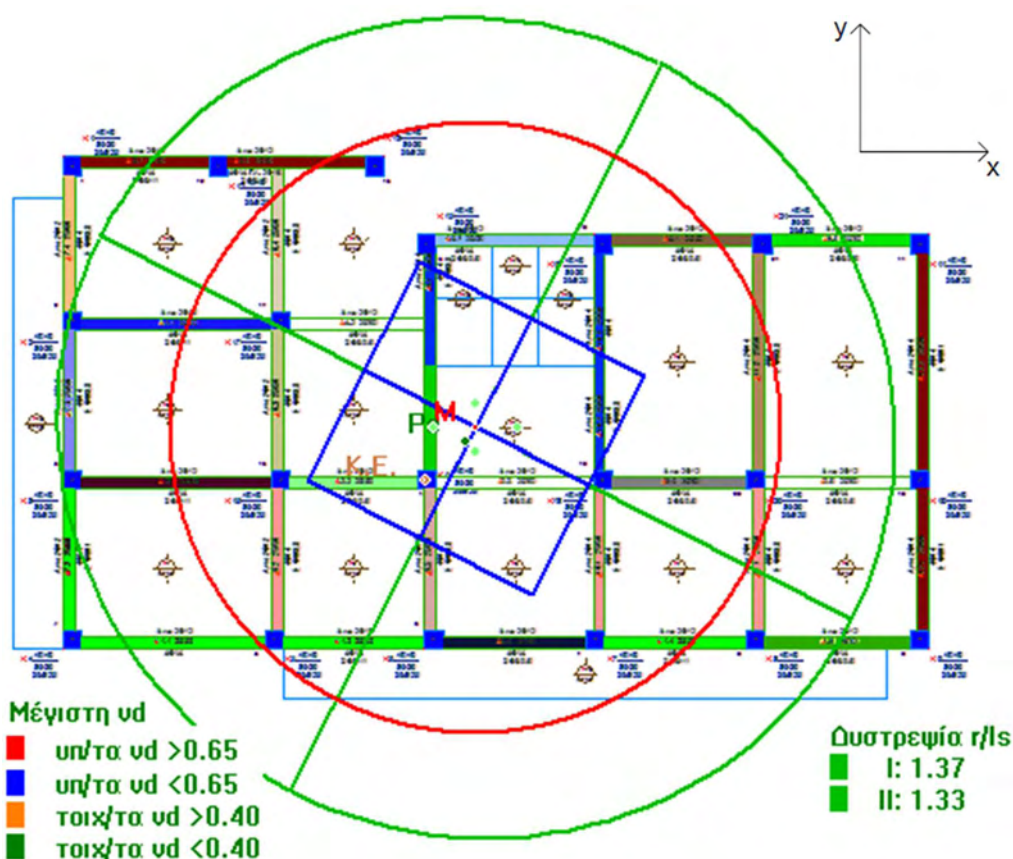


Σχήμα 4.88 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψιάς της στάθμης 1 (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)

Επίσης στο παραπάνω σχήμα παρατηρείτε ότι όλα τα υποστυλώματα έχουν ανηγμένο αξονικό φορτίο $\nu_d < 0.65$. Έτσι πληρείται ο περιορισμός που βάζει ο Ευρωκώδικας 8 μέρος 1 για το ανηγμένο αξονικό φορτίο αντισεισμικών υποστυλωμάτων.

iii. Στάθμη 2 (οροφή 1^{οο} ορόφου)

Βλέποντας το Σχήμα 4.89 συμπεραίνεται ότι πληρείται ο περιορισμός εκκεντρότητας καθώς το σημείο P_0 βρίσκεται εντός του ορθογωνίου, δηλαδή ότι $e_{ox} < 0.3 r_x$. Επίσης παρατηρείτε ότι το κτίριο είναι στρεπτικά περισσότερο δύσκαμπτο από τον αρχικό φορέα αφού ο λόγος $r'_x/l'_s > r_x/l_s$ πράγμα το οποίο απεικονίζεται σχηματικά αφού ο κύκλος αδράνειας βρίσκεται εντός του της έλλειψης δυστρεψιάς. Οπότε ικανοποιούνται οι περιορισμοί του Ευρωκώδικα 8 για κανονικότητα σε κάτοψη.

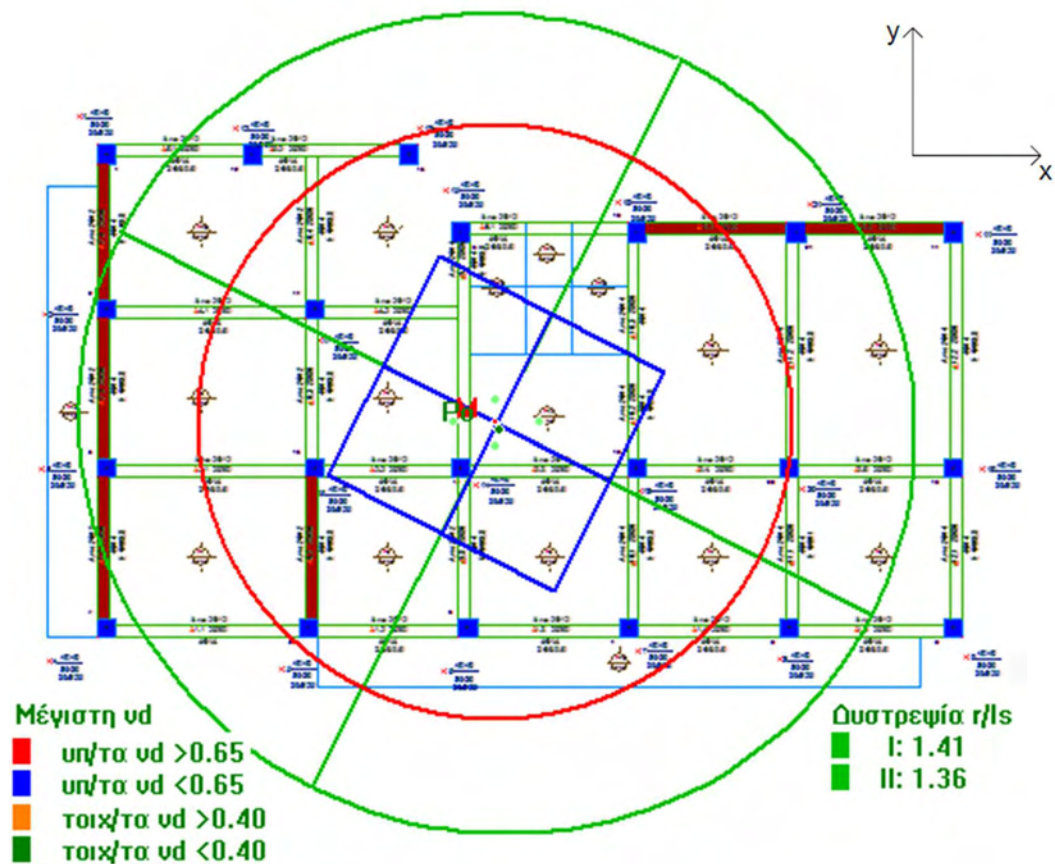


Σχήμα 4.89 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψιάς της στάθμης 2 (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)

Επίσης στο παραπάνω σχήμα παρατηρείτε ότι όλα τα υποστυλώματα έχουν ανηγμένο αξονικό φορτίο $v_d < 0.65$. Έτσι πληρείται ο περιορισμός που βάζει ο Ευρωκώδικας 8 μέρος 1 για το ανηγμένο αξονικό φορτίο αντισεισμικών υποστυλωμάτων.

iv. Στάθμη 3 (οροφή 2^ο ορόφου)

Βλέποντας το Σχήμα 4.90 συμπεραίνεται ότι πληρείται ο περιορισμός εκκεντρότητας καθώς το σημείο P_0 βρίσκεται εντός του ορθογωνίου, δηλαδή ότι $e_{ox} < 0.3 r_x$. Επίσης παρατηρείτε ότι το κτίριο είναι στρεπτικά περισσότερο δύσκαμπτο από τον αρχικό φορέα αφού ο λόγος $r'_x/l'_s > r_x/l_s$ πράγμα το οποίο απεικονίζεται σχηματικά αφού ο κύκλος αδράνειας βρίσκεται εντός του της έλλειψης δυστρεψιάς. Οπότε ικανοποιούνται οι περιορισμοί του Ευρωκώδικα 8 για κανονικότητα σε κάτοψη.



Σχήμα 4.90 Σχηματική απεικόνιση ελέγχου δυστρεψιάς της στάθμης 3 (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)

Επίσης στο παραπάνω σχήμα παρατηρείτε ότι όλα τα υποστυλώματα έχουν ανηγμένο αξονικό φορτίο $v_d < 0.65$. Έτσι πληρείται ο περιορισμός που βάζει ο Ευρωκώδικας 8 μέρος 1 για το ανηγμένο αξονικό φορτίο αντισεισμικών υποστυλωμάτων.

4.3.4 Αποτελέσματα ανάλυσης Pushover

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της μη-γραμμική στατική ανάλυση (Pushover) για την ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης στις διευθύνσεις x , y για τον ενισχυμένο φορέα. Παρακάτω θα γίνει παρουσίαση και ανάλυση των διαγραμμάτων δύναμης-μετακίνησης (F-d) και απαίτησης-ικανότητας (ADRS) αλλά και σύγκριση με τα διαγράμματα του αρχικού φορέα.

4.3.4.1 Ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης κατά διεύθυνση x

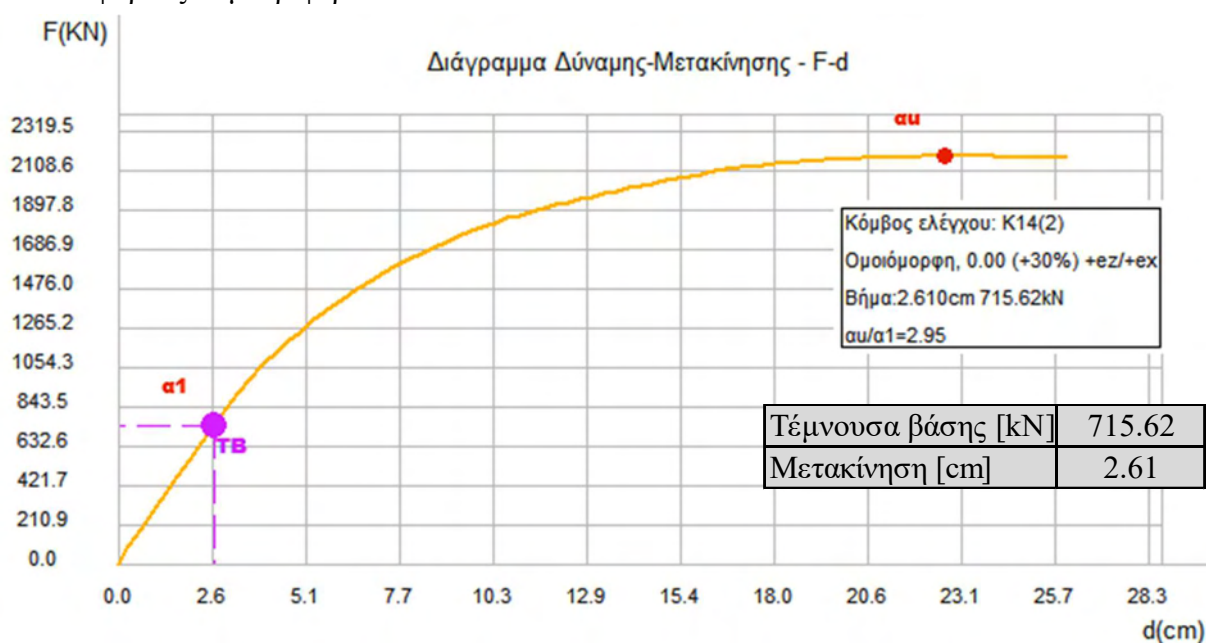
Χρησιμοποιήθηκε η ίδια φόρτιση με αυτή με αυτή που επιβλήθηκε στον αρχικό φορέα και παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα στο Κεφάλαιο 3. Στη συνέχεια παραθέτονται τα διαγράμματα δύναμης μετατόπισης που προέκυψαν από την ανάλυση.

Διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης F-d κατά x

Τα διαγράμματα που θα παρουσιαστούν είναι σε τρεις διαφορετικές φάσεις της φόρτισης. Στο Σχήμα 4.91 είναι η στιγμή δημιουργίας της πρώτης πλαστικής άρθρωσης, στο Σχήμα 4.95 είναι η στιγμή που ο φορέας γίνεται μηχανισμός και στο Σχήμα 4.93 είναι μία τυχαία ενδιάμεση στιγμή.

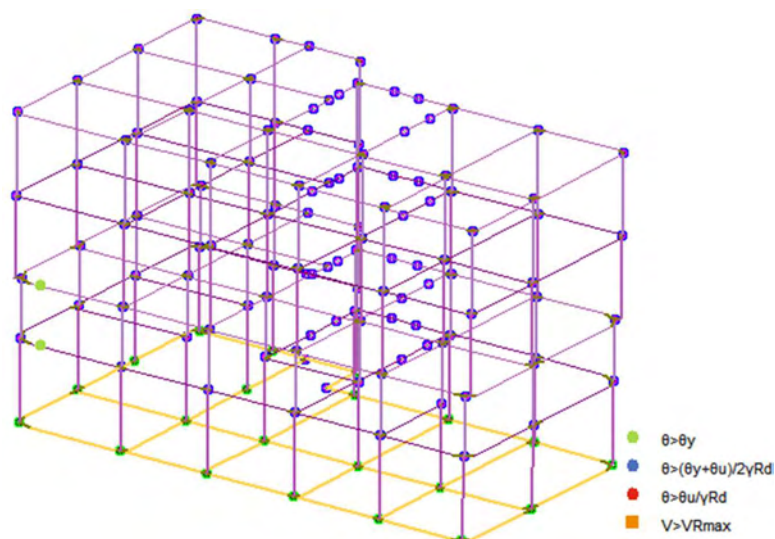
i. Σημείο α₁ – Σημείο 1^{ης} πλαστική άρθρωσης

Στο σημείο α₁ (Σχ. 4.91) δημιουργείται η πρώτη πλαστική άρθρωση στον φορέα, στις δοκούς Δ1.1(0) και Δ1.1(1). Στο Σχήμα 4.92 βλέπουμε ότι έχει δύο πράσινες κουκίδες πράγμα που σημαίνει ότι πληρούν το κριτήριο $\theta > \theta_y$. Μέχρι εκείνο το σημείο ο φορέας συμπεριφέρεται ελαστικά.



Σχήμα 4.91 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

Θέση α1: Δημιουργία 1^{ης} Πλαστικής Άρθρωσης (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)

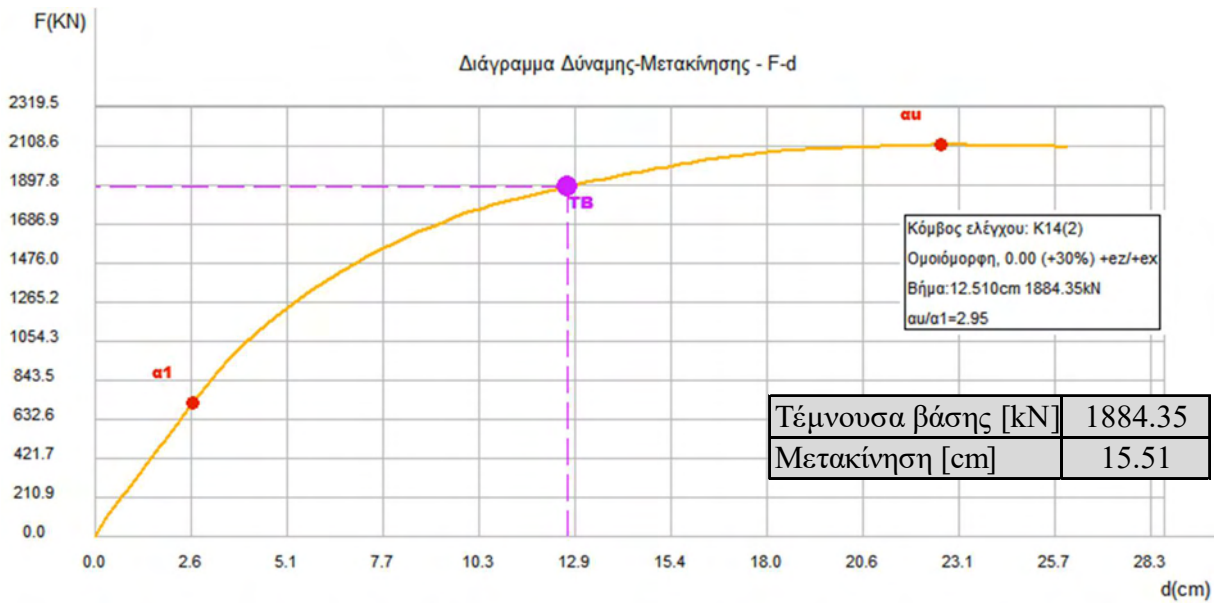


Σχήμα 4.92 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

Θέση α1: Δημιουργία 1^{ης} Πλαστικής Άρθρωσης (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)

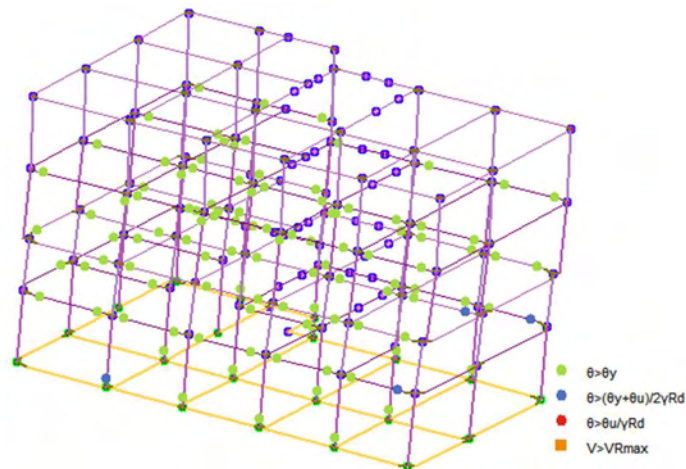
ii. Σημείο α₂ – Τυχαίο ενδιάμεσο σημείο

Στο σημείο α₂ (Σχ.4.93) έχουν δημιουργηθεί και άλλες πλαστικές αρθρώσεις στον φορέα τόσο σε δοκούς όσο και σε υποστυλώματα. Τα άκρα των μελών που έχουν πράσινες κουκίδες (Σχ.4.94) ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > \theta_y$ ενώ τα άκρα των μελών που έχουν μπλε κουκίδες βρίσκονται στην στάθμη επιτελεστικότητας SD, δηλαδή ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > (\theta_u + \theta_y)2\gamma_{rd}$ με $\gamma_{rd} = 1.50$ για πρωτεύοντα μέλη και θ_u τη γωνία στροφής χορδής κατά την αστοχία.



Σχήμα 4.93 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

Θέση α₂: Αστοχία μελών στη σ.ε. SD (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)

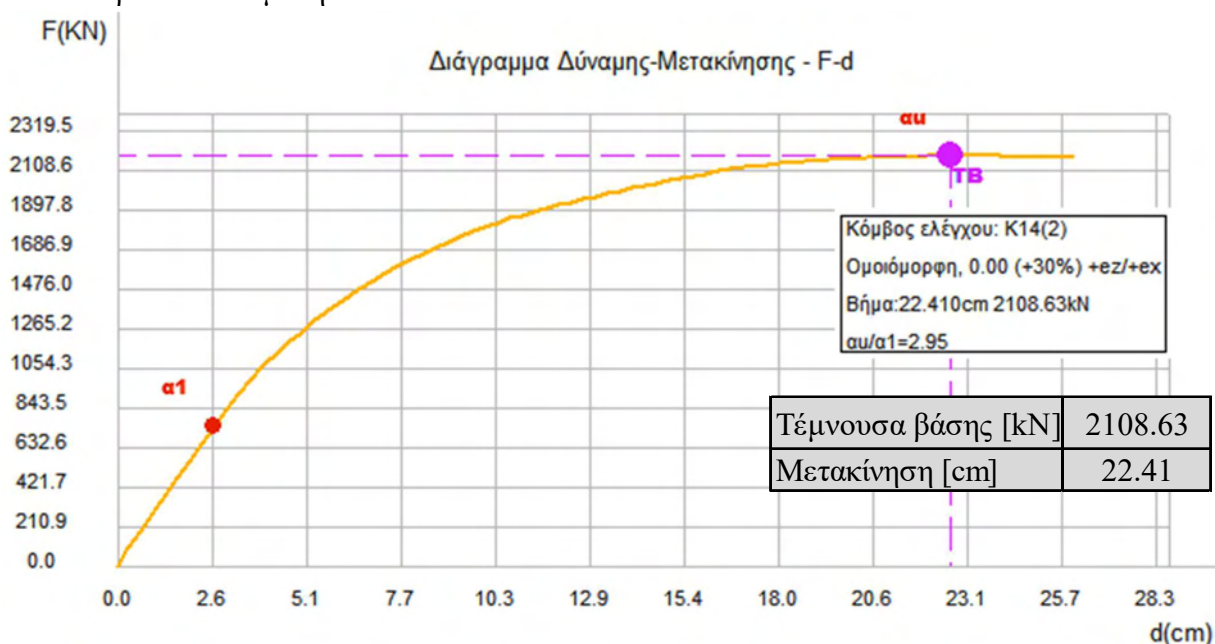


Σχήμα 4.94 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x.

Θέση α₂ (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)

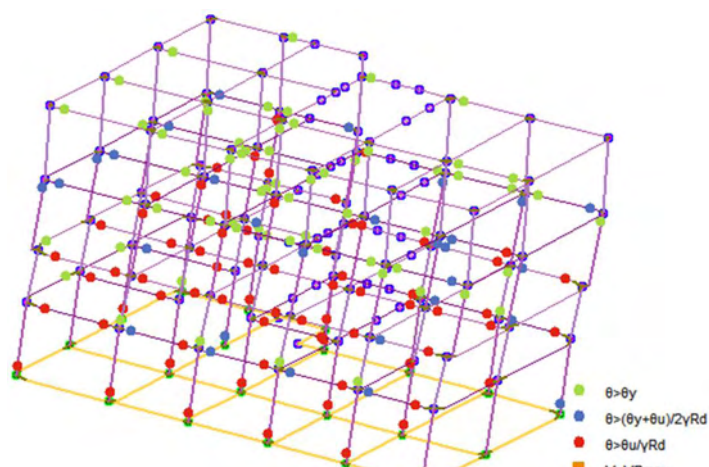
iii. Σημείο α_u – Σημείο κατάρρευσης

Στο σημείο α_u (Σχ. 4.95) δημιουργείται η πλαστική άρθρωση που προκαλεί την θεωρητική κατάρρευση του φορέα. Βλέποντας το Σχήμα 4.96 παρατηρούμε ότι υπάρχουν άκρα μελών που έχουν πράσινες και μπλε κουκίδες τα οποία ικανοποιούν τα κριτήρια που περιγράψαμε παραπάνω. Επίσης παρατηρούμε άκρα μελών τα οποία έχουν κόκκινες κουκίδες που σημαίνει ότι βρίσκονται στη στάθμη επιτελεστικότητας NC καθώς ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > (\theta_u + \theta_y)2\gamma_{rd}$ με $\gamma_{rd} = 1.50$ για πρωτεύοντα μέλη.



Σχήμα 4.95 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

Θέση α_u : Μετατροπή φορέα σε μηχανισμό Κατάρρευσης (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)

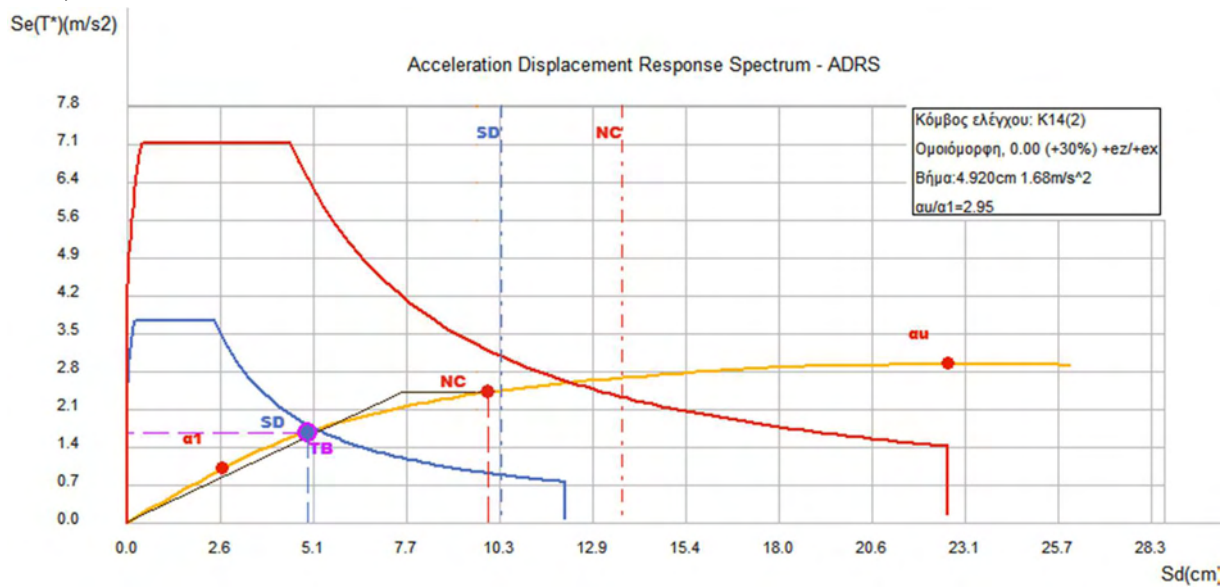


Σχήμα 4.96 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση x.

Θέση α_u (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)

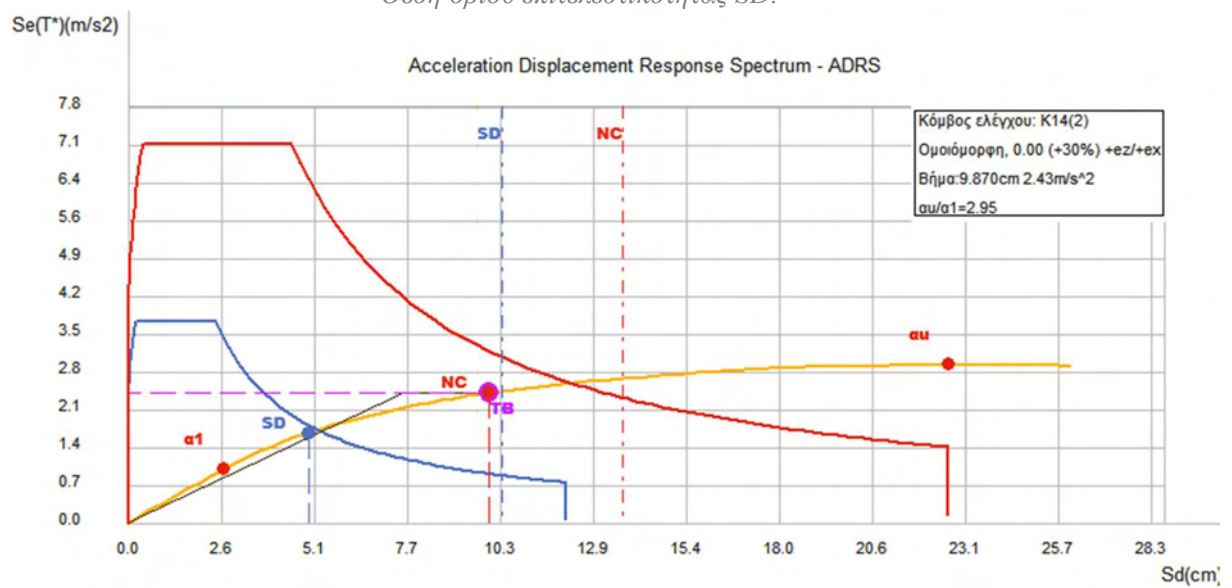
Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας (ADRS) κατά x

Αυτό που καταστείτε εφικτό μέσω του διαγράμματος Απαίτησης – Ικανότητας είναι η σύγκριση της καμπύλης ικανότητας της κατασκευής με τη σεισμική απαίτηση που ορίζεται. Αυτό επιτυγχάνεται μετατρέποντας την καμπύλη ικανότητας F-d σε φάσμα ικανότητας Sa-Sd. Στη συνέχεια παραθέτονται το διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας (ADRS) που προέκυψε στις θέσεις των σταθμών επιτελεστικότητας που θέσαμε για την συγκεκριμένη φόρτιση (Σχ. 4.97, 4.98).



Σχήμα 4.98 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ).

Θέση ορίου επιτελεστικότητας SD.



Σχήμα 4.97 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ).

Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.

Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι η στοχευμένη μετακίνηση λόγω αυξημένων παραμορφώσεων δεν βρίσκεται στο σημείο τομής της καμπύλης ικανότητας με το ελαστικό φάσμα απαίτησης, αλλά στο σημείο όπου θα τεμνόταν με το μειωμένο πλαστικό φάσμα. Ακόμα πρέπει να πούμε ότι οι κατακόρυφες διακεκομμένες γραμμές μας δείχνουν την ικανότητα της κατασκευής για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας. Οπότε ο έλεγχος γίνεται με βάση το που βρίσκεται η διακεκομμένη γραμμή σε σχέση με το σημείο της στοχευμένης μετακίνησης της αντίστοιχης στάθμης επιτελεστικότητας. Αν βρίσκεται η διακεκομμένη γραμμή αριστερά της στοχευμένης μετακίνησης τότε αυτό μας δείχνει ότι ο φορέας δεν επαρκεί για την συγκεκριμένη στάθμη επιτελεστικότητας.

Αναλύοντας τα Σχήματα 4.97 και 4.98 συμπεραίνεται ότι ο φορέας επαρκεί για την στάθμη επιτελεστικότητας Σημαντικών Βλαβών (SD) καθώς η μπλε διακεκομμένη (ικανότητα φορέα για την SD) βρίσκεται δεξιά της μπλε κουκίδας (απαίτηση για την SD). Επίσης το κτίριο επαρκεί για την στάθμη επιτελεστικότητας οιονεί κατάρρευση (NC) καθώς η κόκκινη διακεκομμένη (ικανότητας φορέα για την NC) βρίσκεται δεξιά της κόκκινης κουκίδας (απαίτηση για την NC).

Σε σύγκριση με τον αρχικό φορέα και τα διαγράμματα που προέκυψαν για την συγκεκριμένη φόρτιση μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί ότι ο ενισχυμένος φορέας έχει αρκετά μεγαλύτερη αντοχή. Στον ενισχυμένο φορέα η πλαστική άρθρωση που κάνει τον φορέα μας μηχανισμό δημιουργείται για τέμνουσα βάσης $F = 2108.63 \text{ kN}$ και μετακίνηση $d = 22.41 \text{ cm}$ ενώ στον αρχικό φορέα δημιουργούταν για τέμνουσα βάσης $F = 1242.23 \text{ kN}$ και μετακίνηση $d = 18.79 \text{ cm}$. Επίσης ο λόγος υπεραντοχής του ενισχυμένου φορέα είναι $a_u / a_1 = 2.95$ ενώ στον αρχικό φορέα ήταν $a_u / a_1 = 2.15$.

4.3.4.2 Ομοιόμορφη κατανομή φόρτισης κατά διεύθυνση y

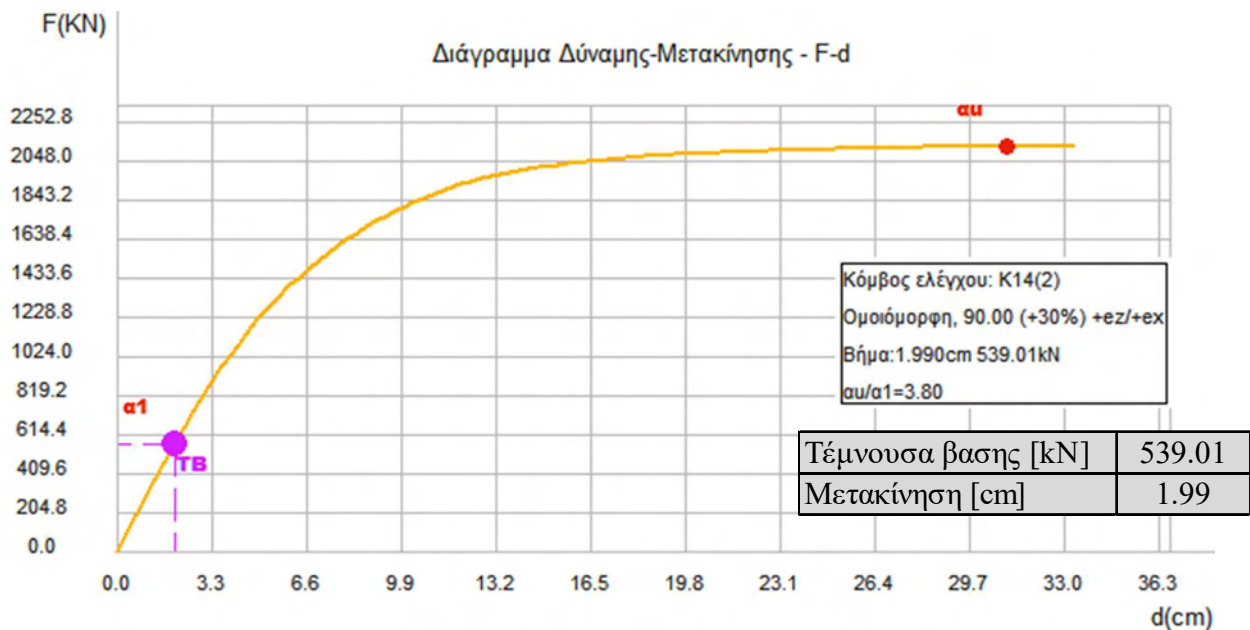
Χρησιμοποιήθηκε η ίδια φόρτιση με αυτή με αυτή που επιβλήθηκε στον αρχικό φορέα και παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα στο Κεφάλαιο 3. Στη συνέχεια παραθέτονται τα διαγράμματα δύναμης μετατόπισης που προέκυψαν από την ανάλυση.

Διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης F-d κατά y

Τα διαγράμματα που θα παρουσιαστούν είναι σε τρεις διαφορετικές φάσεις της φόρτισης. Στο Σχήμα 4.99 είναι η στιγμή δημιουργίας της πρώτης πλαστικής άρθρωσης, στο Σχήμα 4.103 είναι η στιγμή που ο φορέας γίνεται μηχανισμός και στο Σχήμα 4.101 είναι μία τυχαία ενδιάμεση στιγμή.

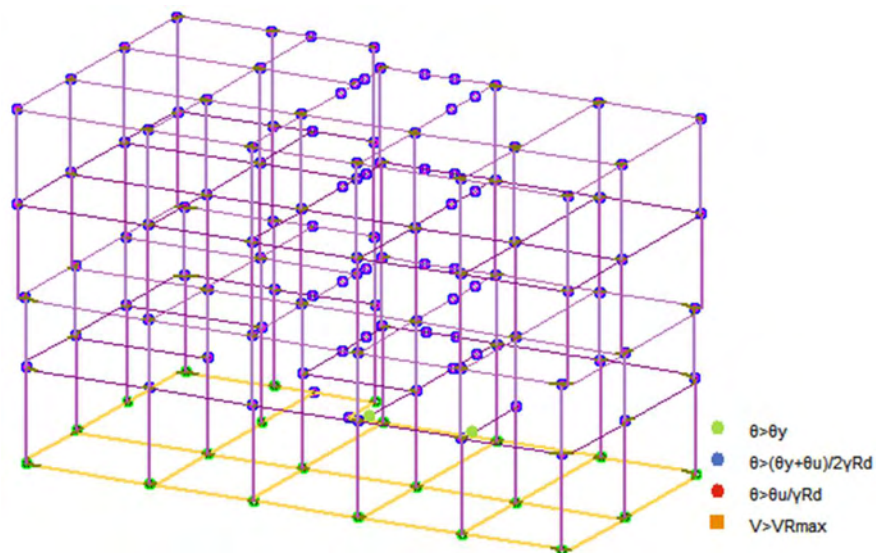
i. Σημείο α₁ – Σημείο 1^{ης} πλαστική άρθρωση

Στο σημείο α₁ (Σχ. 4.99) δημιουργείται η πρώτη πλαστική άρθρωση στον φορέα, στη δοκό Δ10.1(0) και Δ11.1(0). Στο Σχήμα 4.100 βλέπουμε ότι έχουν δύο πράσινες κουκίδες πράγμα που σημαίνει ότι πληρούν το κριτήριο $\theta > \theta_y$. Μέχρι εκείνο το σημείο ο φορέας συμπεριφέρεται ελαστικά.



Σχήμα 4.99 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.

Θέση α₁: Δημιουργία 1^{ης} Πλαστικής Άρθρωσης (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)

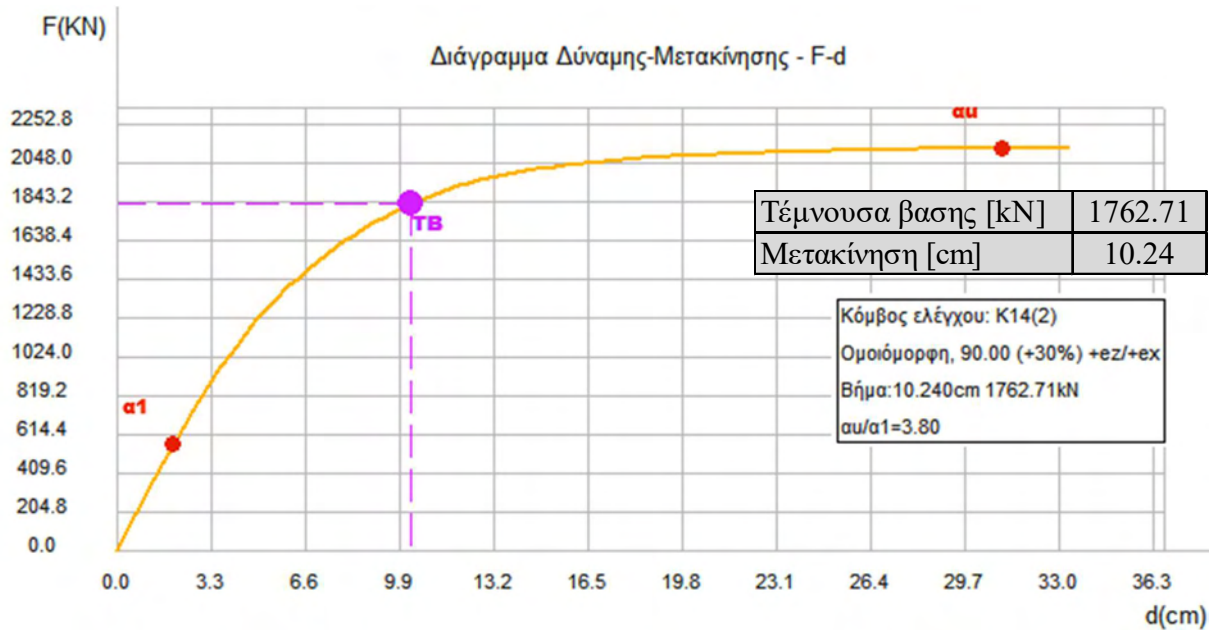


Σχήμα 4.100 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y.

Θέση α₁ (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)

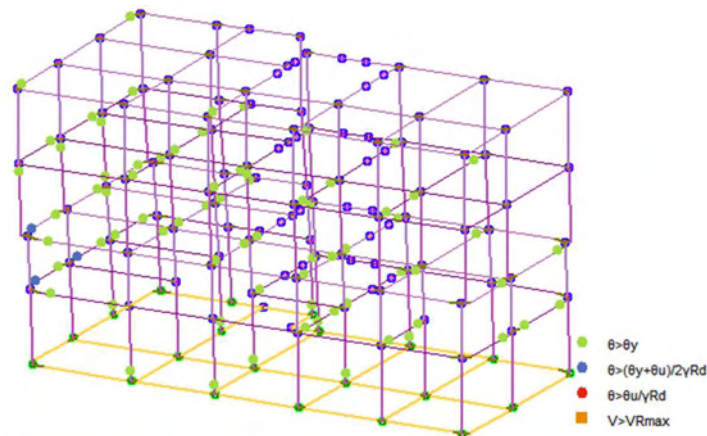
ii. Σημείο α₂ – Τυχαίο ενδιάμεσο σημείο

Στο σημείο α₂ (Σχ. 4.101) έχουν δημιουργηθεί και άλλες πλαστικές αρθρώσεις στον φορέα τόσο σε δοκούς όσο και σε υποστυλώματα. Τα άκρα των μελών που έχουν πράσινες κουκίδες (Σχ. 102) ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > \theta_y$ ενώ τα άκρα των μελών που έχουν μπλε κουκίδες βρίσκονται στην στάθμη επιτελεστικότητας SD, δηλαδή ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > (\theta_u + \theta_y)2\gamma_{rd}$ με $\gamma_{rd} = 1.50$ για πρωτεύοντα μέλη και θ_u τη γωνία στροφής χορδής κατά την αστοχία.



Σχήμα 4.101 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.

Θέση α₂: Αστοχία μελών στη σ.ε. SD (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)

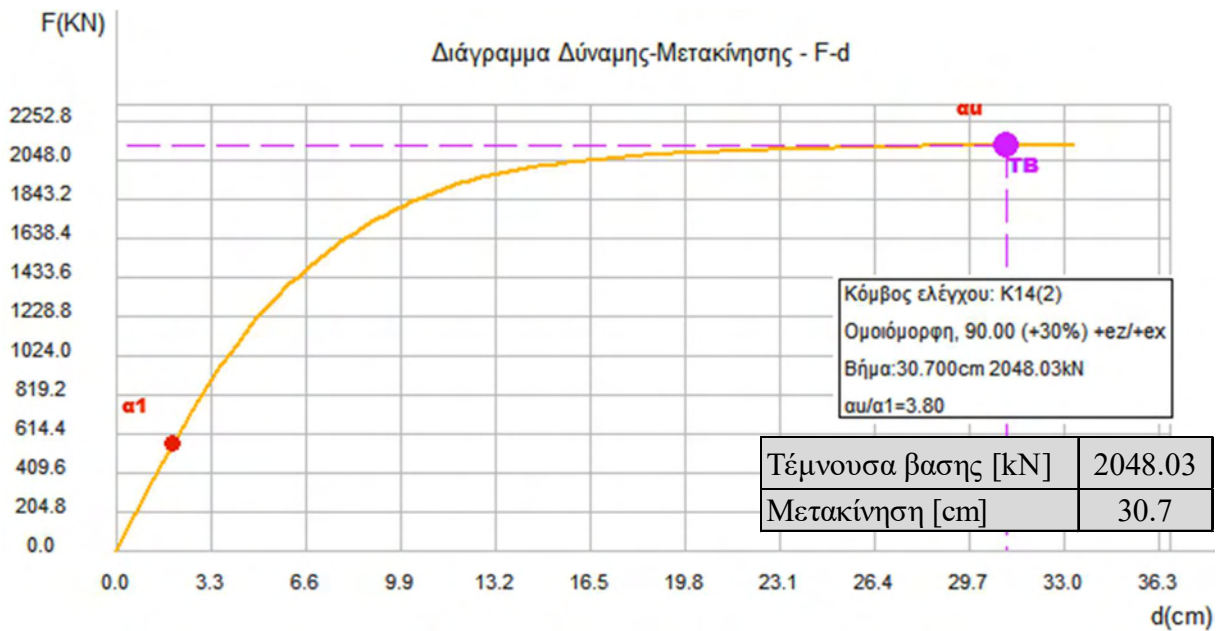


Σχήμα 4.102 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση

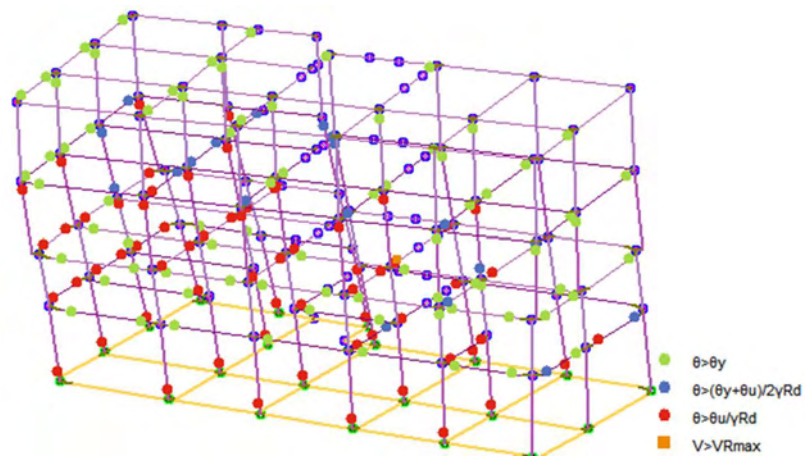
y. Θέση α₂ (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)

iii. Σημείο α_u – Σημείο κατάρρευσης

Στο σημείο α_u (Σχ.103) δημιουργείται η πλαστική άρθρωση που προκαλεί την θεωρητική κατάρρευση του φορέα. Βλέποντας το Σχήμα 4.104 παρατηρούμε ότι υπάρχουν άκρα μελών που έχουν πράσινες και μπλε κουκίδες τα οποία ικανοποιούν τα κριτήρια που περιγράψαμε παραπάνω. Επίσης παρατηρούμε άκρα μελών τα οποία έχουν κόκκινες κουκίδες που σημαίνει ότι βρίσκονται στη στάθμη επιτελεστικότητας NC καθώς ικανοποιούν το κριτήριο $\theta > (\theta_u + \theta_y)2\gamma_{rd}$ με $\gamma_{rd} = 1.50$ για πρωτεύοντα μέλη.



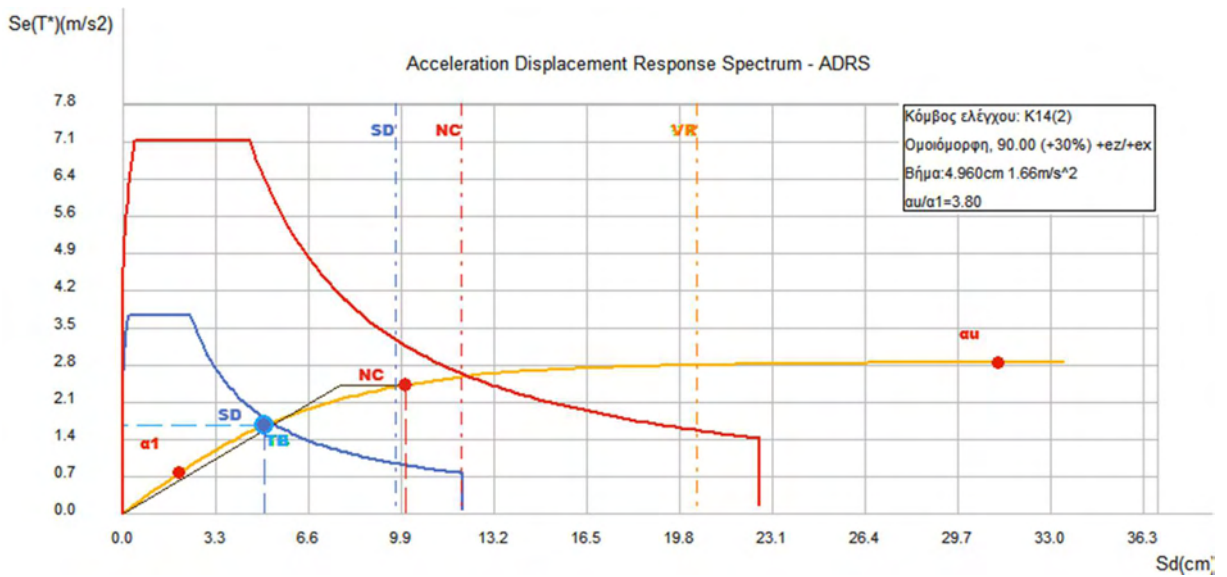
Σχήμα 4.103 Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y .
Θέση α_u : Μετατροπή φορέα σε μηχανισμό Κατάρρευσης (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)



Σχήμα 4.104 Παραμόρφωση Φορέα για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη Διεύθυνση y .
Θέση α_u (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)

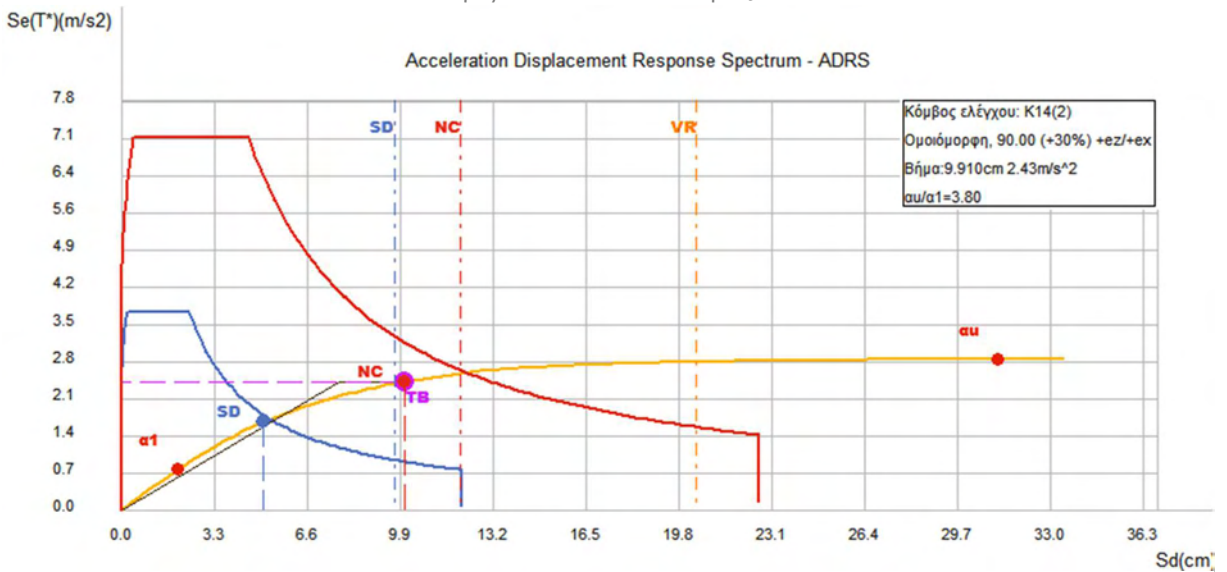
Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας (ADRS) κατά γ

Αυτό που καταστείτε εφικτό μέσω του διαγράμματος Απαίτησης – Ικανότητας είναι η σύγκριση της καμπύλης ικανότητας της κατασκευής με τη σεισμική απαίτηση που ορίζεται. Αυτό επιτυγχάνεται μετατρέποντας την καμπύλη ικανότητας F-d σε φάσμα ικανότητας Sa-Sd. Στη συνέχεια παραθέτονται το διάγραμμα Απαίτησης – Ικανότητας (ADRS) που προέκυψε στις θέσεις των σταθμών επιτελεστικότητας που θέσαμε για την συγκεκριμένη φόρτιση (Σχ. 4.106, 4.107).



Σχήμα 4.106 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση γ (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ).

Θέση ορίου επιτελεστικότητας SD..



Σχήμα 4.105 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση γ (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ).

Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC..

Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι η στοχευμένη μετακίνηση λόγω αυξημένων παραμορφώσεων δεν βρίσκεται στο σημείο τομής της καμπύλης ικανότητας με το ελαστικό φάσμα απαίτησης, αλλά στο σημείο όπου θα τεμονόταν με το μειωμένο πλαστικό φάσμα. Ακόμα πρέπει να πούμε ότι οι κατακόρυφες διακεκομμένες γραμμές μας δείχνουν την ικανότητα της κατασκευής για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας. Οπότε ο έλεγχος γίνεται με βάση το που βρίσκεται η διακεκομμένη γραμμή σε σχέση με το σημείο της στοχευμένης μετακίνησης της αντίστοιχης στάθμης επιτελεστικότητας. Αν βρίσκεται η διακεκομμένη γραμμή αριστερά της στοχευμένης μετακίνησης τότε αυτό μας δείχνει ότι ο φορέας δεν επαρκεί για την συγκεκριμένη στάθμη επιτελεστικότητας.

Αναλύοντας τα Σχήματα 4.105 και 4.106 συμπεραίνουμε ότι ο φορέας επαρκεί για την στάθμη επιτελεστικότητας Σημαντικών Βλαβών (SD) καθώς η μπλε διακεκομμένη (ικανότητα φορέα για την SD) βρίσκεται δεξιά της μπλε κουκίδας (απαίτηση για την SD). Επίσης το κτίριο επαρκεί για την στάθμη επιτελεστικότητας οιονεί κατάρρευση (NC) καθώς η κόκκινη διακεκομμένη (ικανότητας φορέα για την NC) βρίσκεται δεξιά της κόκκινης κουκίδας (απαίτηση για την NC).

Σε σύγκριση με τον αρχικό φορέα και τα διαγράμματα που προέκυψαν για την συγκεκριμένη φόρτιση μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί ότι ο ενισχυμένος φορέας έχει αρκετά μεγαλύτερη αντοχή. Η 1^η πλαστική άρθρωση στον ενισχυμένο φορέα δημιουργείται για φορτίο $F = 539.01 \text{ kN}$ ενώ στο αρχικό δημιουργούταν για $F = 311.82 \text{ kN}$. Στον ενισχυμένο φορέα η πλαστική άρθρωση που κάνει τον φορέα μας μηχανισμό δημιουργείται για τέμνουσα βάσης $F = 2048.03 \text{ kN}$ και μετακίνηση $d = 30.7 \text{ cm}$ ενώ στον αρχικό φορέα δημιουργούταν για τέμνουσα βάσης $F = 1091.28 \text{ kN}$ και μετακίνηση $d = 17.17 \text{ cm}$. Επίσης ο λόγος υπεραντοχής του ενισχυμένου φορέα είναι $a_u/a_1 = 3.80$ ενώ στον αρχικό φορέα ήταν $a_u/a_1 = 3.50$.

4.3.5 Λόγοι επάρκειας

Οι λόγοι επάρκειας των μελών λ ($\lambda = \text{απαίτηση/ικανότητα}$) μας δείχνουν εάν και κατά πόσο επαρκεί το εκάστοτε μέλος του φέροντος οργανισμού για τις στάθμες επιτελεστικότητας που έχουμε θέσει. Ο έλεγχος του λόγου επάρκειας των μελών γίνεται τόσο για την στροφή χορδής θ ($\lambda = \theta/\theta_{lim}$) όσο και για την τέμνουσα δύναμη V ($\lambda = V/V_R$). Αν για τον λόγο λ ισχύει ότι $\lambda \leq 1$, και για τους δύο ελέγχους, τότε το μέλος επαρκεί και δεν χρειάζεται ενίσχυση. Αντίθετα αν $\lambda > 1$ τότε το μέλος δεν επαρκεί και χρειάζεται να γίνει επέμβαση.

4.3.5.1 Λόγοι επάρκειας αρχικά μη-επαρκών μελών

Στον Πίνακα 4.39 αναγράφονται οι νέοι λόγοι επάρκειας που υπολογίστηκαν για τον έλεγχο τον οποίο το εκάστοτε δομικό μέλος κρίθηκε μη-επαρκές στους ελέγχους που έγιναν στον αρχικό φορέα. Να υπενθυμίσουμε ότι τα δομικά μέλη στον αρχικό φορέα κρίθηκαν μη επαρκή για τον έλεγχο στροφής χορδής στην στάθμη επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευση (NC).

Πίνακας 4.39 Λόγοι επάρκειας αρχικά μη-επαρκών μελών (Μέθοδος Ενίσχυσης Γ)

Δομικό μέλος	Έλεγχος	λ (NC)	Δομικό μέλος	Έλεγχος	λ (NC)
K1(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.52	K15(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.72
K2(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.83	K16(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.70
K3(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.38	K17(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.78
K4(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.55	K18(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.91
K5(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.73	K19(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.77
K6(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.76	K20(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.81
K7(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.84	K21(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.76
K8(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.87	$\Delta 7.1(0)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.78
K9(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.49	$\Delta 7.3(0)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.85
K10(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.43	$\Delta 11.1(0)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.76
K11(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.61	$\Delta 12.1(0)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.64
K12(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.77	$\Delta 12.2(0)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.86
K13(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.67	$\Delta 7.2(1)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.85
K14(0)	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.74	$\Delta 7.4(1)$	Στροφής ($\theta > \theta_{lim}$)	0.68

4.3.6 Μέγιστα λόγων επάρκειας

Στους παρακάτω πίνακες αναγράφονται τα μέγιστα των λόγων επάρκειας των υποστυλωμάτων και των δοκών του ενισχυμένου φορέα.

Πίνακας 4.40 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Υπ/των – Έλεγχος στροφής Χορδής

Στάθμη επιτελεσματικότητας	Μέλος	Λόγος επάρκειας
SD	K18(0)	0.59
NC	K18(0)	0.91

Πίνακας 4.41 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Υπ/των– Έλεγχος Διάτμησης

Στάθμη επιτελεσματικότητας	Μέλος	Λόγος επάρκειας
SD	K20(2)	0.70
NC	K5(1)	0.89

Πίνακας 4.42 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Δοκών – Έλεγχος στροφής Χορδής

Στάθμη επιτελεσματικότητας	Μέλος	Λόγος επάρκειας
SD	Δ12.2(0)	0.60
NC	Δ5.3(1)	0.92

Πίνακας 4.43 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Δοκών – Έλεγχος Διάτμησης

Στάθμη επιτελεσματικότητας	Μέλος	Λόγος επάρκειας
SD	Δ9.1(2)	0.49
NC	Δ9.1(2)	0.91

Κεφάλαιο 5 Αξιολόγηση και σύγκριση αποτελεσμάτων

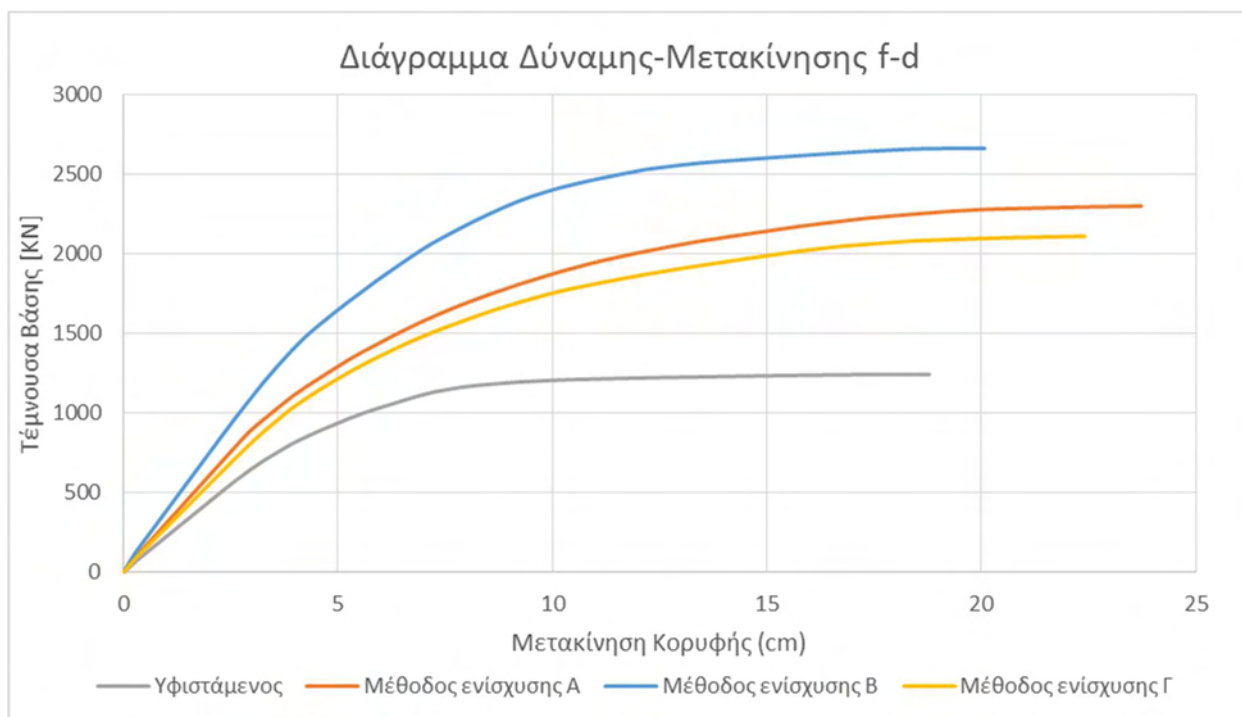
Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν συγκριτικά τα αποτελέσματα των μεθόδων ενίσχυσης με την υφιστάμενη κατασκευή. Η σύγκριση θα γίνει για Ομοιόμορφη και Ιδιομορφική φόρτιση στις διευθύνσεις x, y.

5.1 Ομοιόμορφη φόρτιση

5.1.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων κατά την διεύθυνση x (Ομοιόμορφη Φόρτιση)

5.1.1.1 Σύγκριση διαγραμμάτων Δύναμης-Μετακίνησης (f-d)

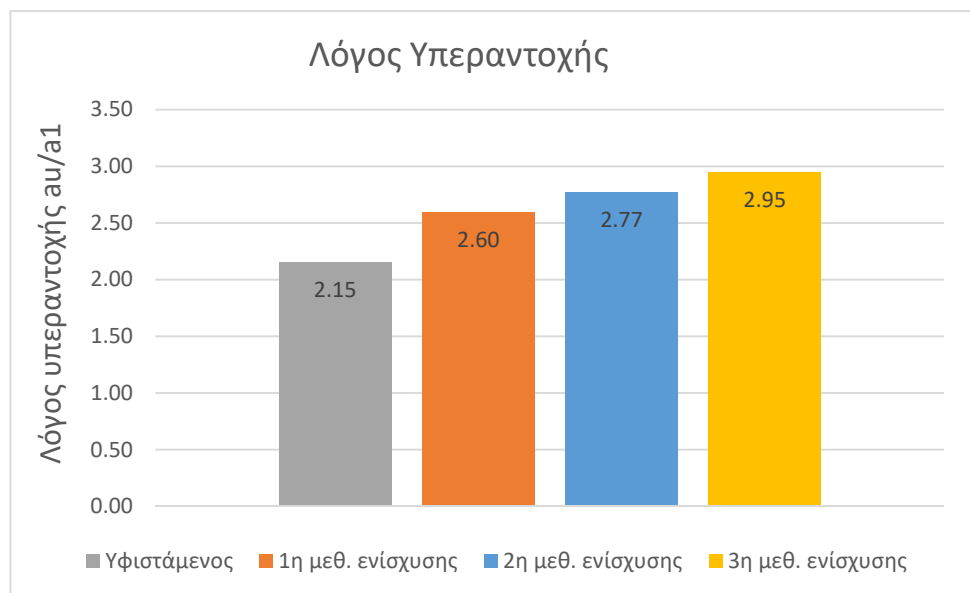
Στο παρακάτω Σχήμα 5.1 οι τέσσερις καμπύλες απεικονίζουν την απόκριση του υφιστάμενου φορέα και των τριών περιπτώσεων ενίσχυσης του υπό ομοιόμορφη οριζόντια φόρτισης κατά την διεύθυνση y.



Σχήμα 5.1 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

Εξετάζοντας το Σχήμα 5.1 προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

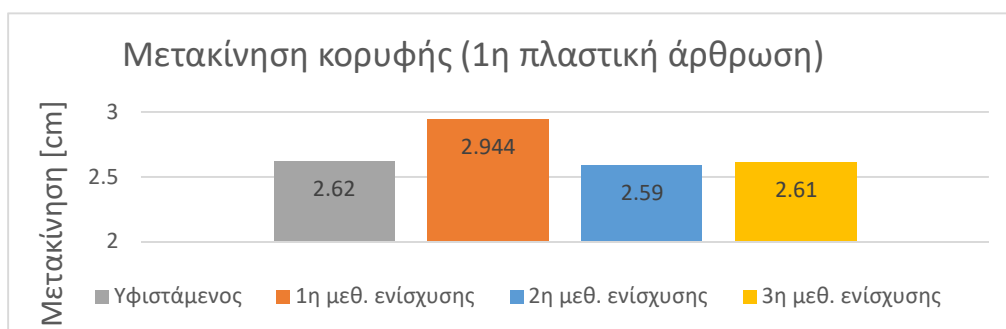
- Παρατηρείται σημαντική αύξηση της δυσκαμψίας του υφιστάμενου φορέα με τις τρεις μεθόδους ενίσχυσης και ιδιαίτερα με την 2^η μέθοδο ενίσχυσης (καμπύλη με μπλε χρώμα). Ενώ για τις μεθόδους ενίσχυσης 2 και 3 παρατηρείτε ότι έχουν παρόμοια απόκριση με την 1^η μέθοδο ενίσχυσης να έχει λίγο μεγαλύτερη δυσκαμψία από την 3^η μέθοδο ενίσχυσης.
- Στο Σχήμα 5.2 αναγράφονται οι δείκτες υπεραντοχής για τον εκάστοτε φορέα. Υπενθυμίζεται ότι ο λόγος υπεραντοχής είναι ο λόγος του φορτίου για το οποίο δημιουργείται ο μηχανισμός κατάρρευσης (a_u) προς το φορτίο για το οποίο δημιουργείται η 1^η πλαστική άρθρωση.



Σχήμα 5.2 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών υπεραντοχής για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

Προκύπτει ότι με τις μεθόδους ενίσχυσης Α, Β και Γ είχαμε αύξηση 21%, 29% και 37% αντίστοιχα.

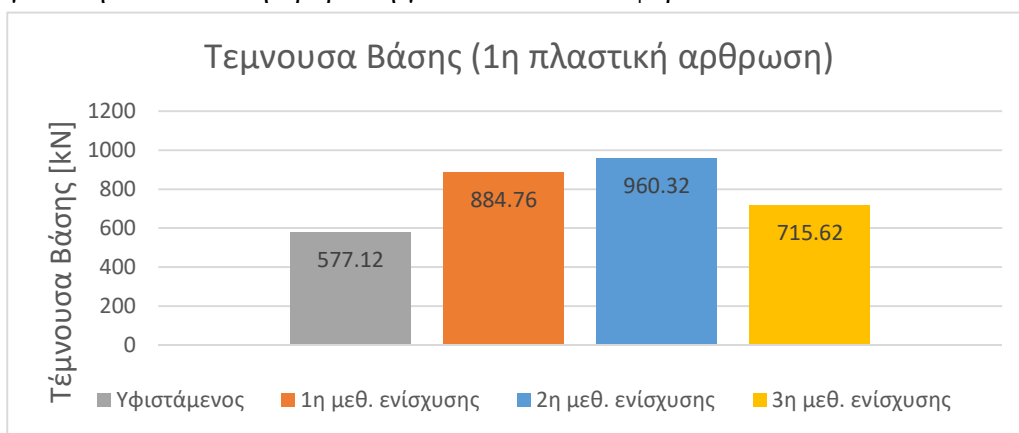
- Στο Σχήμα 5.3 αναγράφονται οι τιμές της μετακίνησης κορυφής την στιγμή που δημιουργείται η 1η πλαστική άρθρωση για τον εκάστοτε φορέα.



Σχήμα 5.3 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών μετακίνησης κορυφής για δημιουργία 1^{ης} Πλαστικής άρθρωσης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

Παρατηρείται αύξηση της μετακίνησης κορυφής για δημιουργία 1^{ης} πλαστική άρθρωση κατά την 1^η μέθοδο ενίσχυσης (+12%) σε σχέση με τον υφιστάμενο φορέα ενώ με τις άλλες μεθόδους προκύπτουν παρόμοια αποτελέσματα

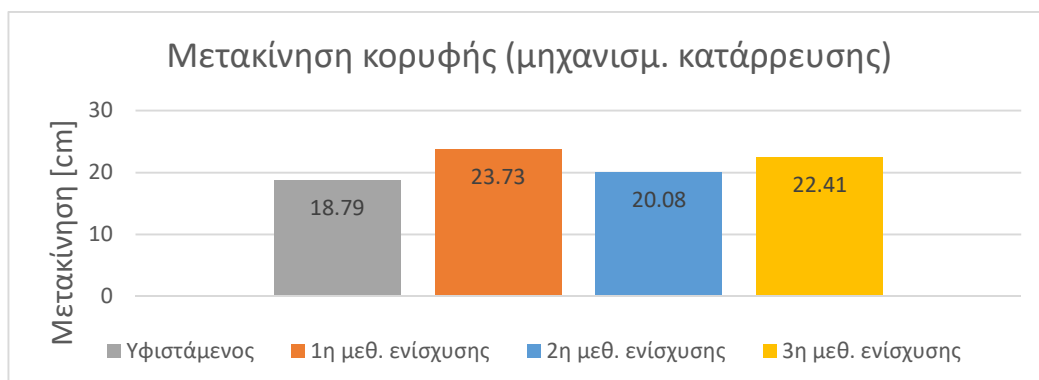
- Στο Σχήμα 5.4 αναγράφονται οι τιμές της τέμνουσας βάσης την στιγμή που δημιουργείται η 1^η πλαστική άρθρωση για τον εκάστοτε φορέα.



Σχήμα 5.4 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών Τέμνουσας Βάσης για δημιουργία 1^{ης} Πλαστικής άρθρωσης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

Παρόλο που για την 2η και την 3η μέθοδο ενίσχυσης προκύπτουν περίπου ίδια μετακίνηση κορυφής για δημιουργία 1ης πλαστικής άρθρωσης με αυτή του υφιστάμενου η αντίστοιχη τέμνουσα βάσης είναι μεγαλύτερη κατά 66% για την 2η μέθοδο ενίσχυσης και 24% για την 3η μέθοδο ενίσχυσης. Ενώ για την 1η μέθοδο ενίσχυσης είναι 53% μεγαλύτερη.

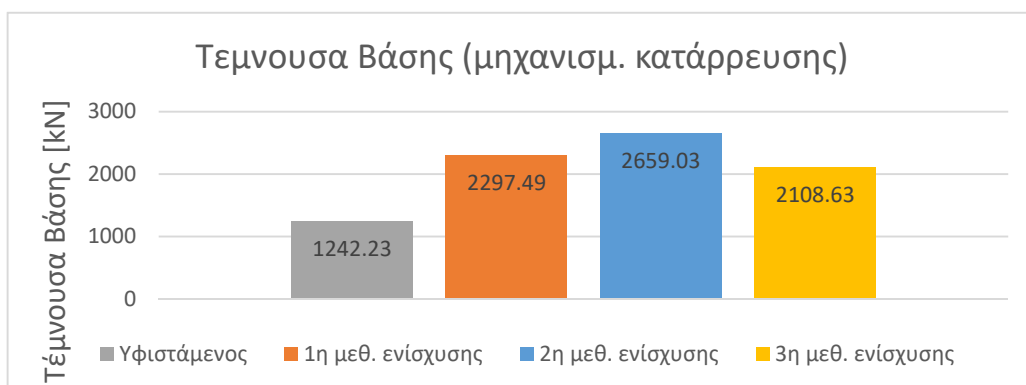
- Στο Σχήμα 5.5 αναγράφονται οι τιμές της μετακίνησης κορυφής την στιγμή που δημιουργείται ο μηχανισμός κατάρρευσης για τον εκάστοτε φορέα.



Σχήμα 5.5 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών μετακίνησης κορυφής για δημιουργία μηχανισμ. κατάρρευσης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

Και στις τρεις μεθόδους ενίσχυσης παρατηρείται αύξησης της τιμής της μετακίνησης κορυφής για δημιουργία μηχανισμού κατάρρευσης σε σχέση με τον υφιστάμενο φορέα. Συγκεκριμένα +26% για την 1^η μέθοδο, +6% για την 2^η μέθοδο και +19% για την 3^η μέθοδο.

- Στο Σχήμα 5.6 αναγράφονται οι τιμές της τέμνουσας βάσης την στιγμή που δημιουργείται ο μηχανισμός κατάρρευσης για τον εκάστοτε φορέα.

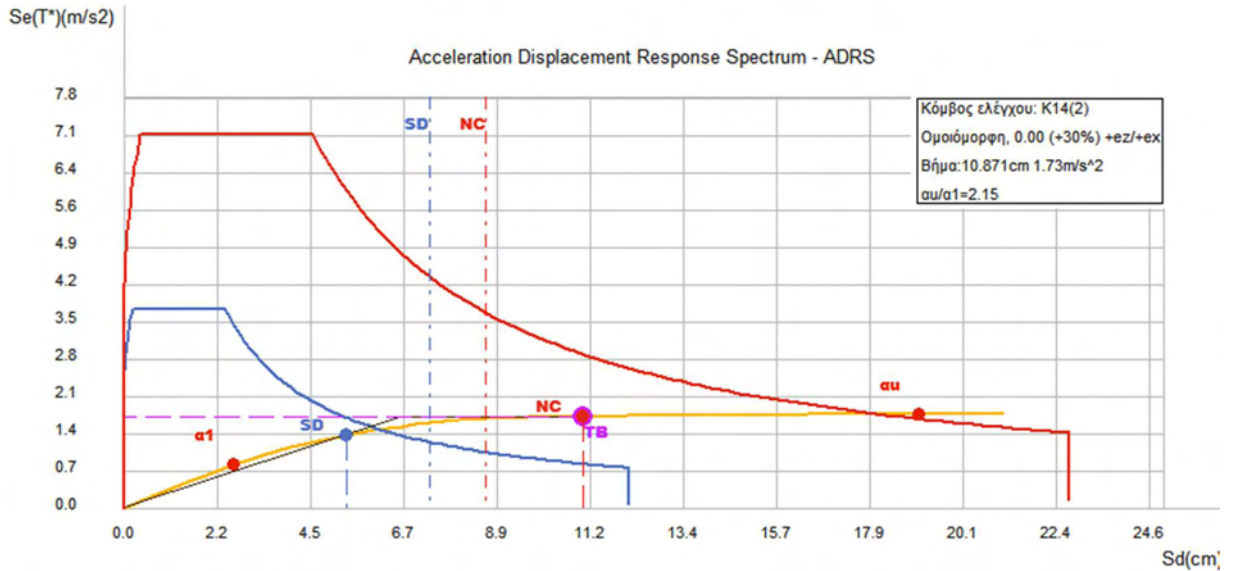


Σχήμα 5.6 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών Τέμνουσας Βάσης για δημιουργία μηχανισμ. κατάρρευσης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

Επίσης υπήρξε ιδιαίτερα μεγάλη αύξηση της τιμής της τέμνουσας βάσης για δημιουργία μηχανισμού κατάρρευσης σε σχέση με τον υφιστάμενο φορέα και με τις τρεις μεθόδους ενίσχυσης 1^η, 2^η, 3^η με +85%, +114%, 70% αντίστοιχα

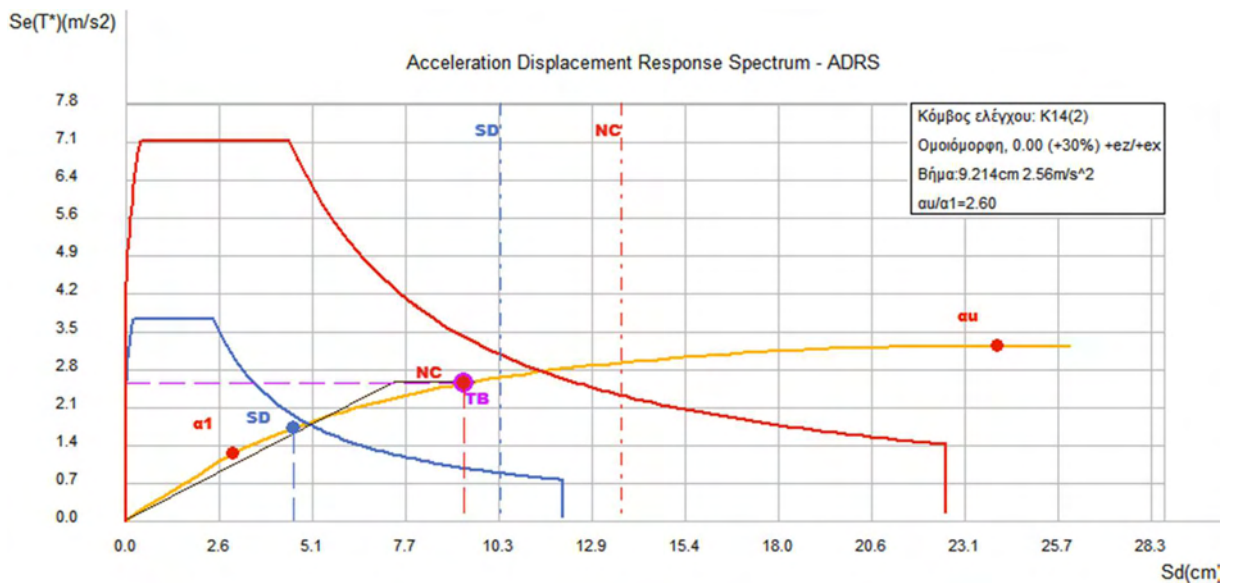
5.1.1.2 Σύγκριση Διαγραμμάτων Απαιτήσης-Ικανότητας (ADRS)

Παρακάτω παραθέτονται τα διαγράμματα Απαιτήσης-Ικανότητας (ADRS) για τη φόρτιση διεύθυνσης x.



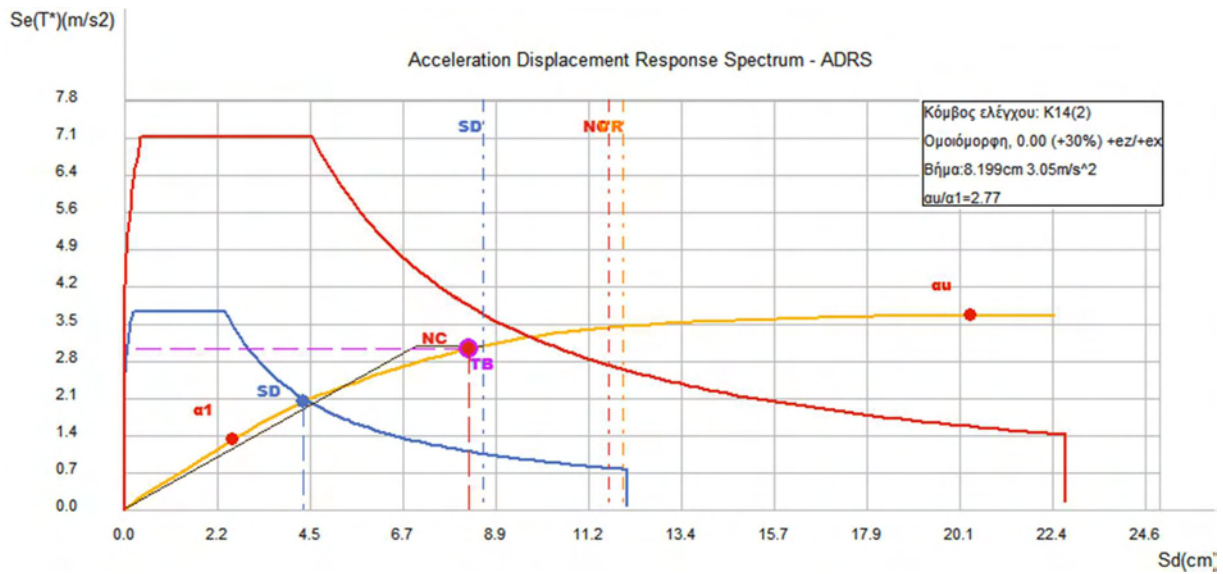
Σχήμα 5.8 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x (Υφιστάμενος).

Θέση ορίου επιτελεσιμότητας NC.

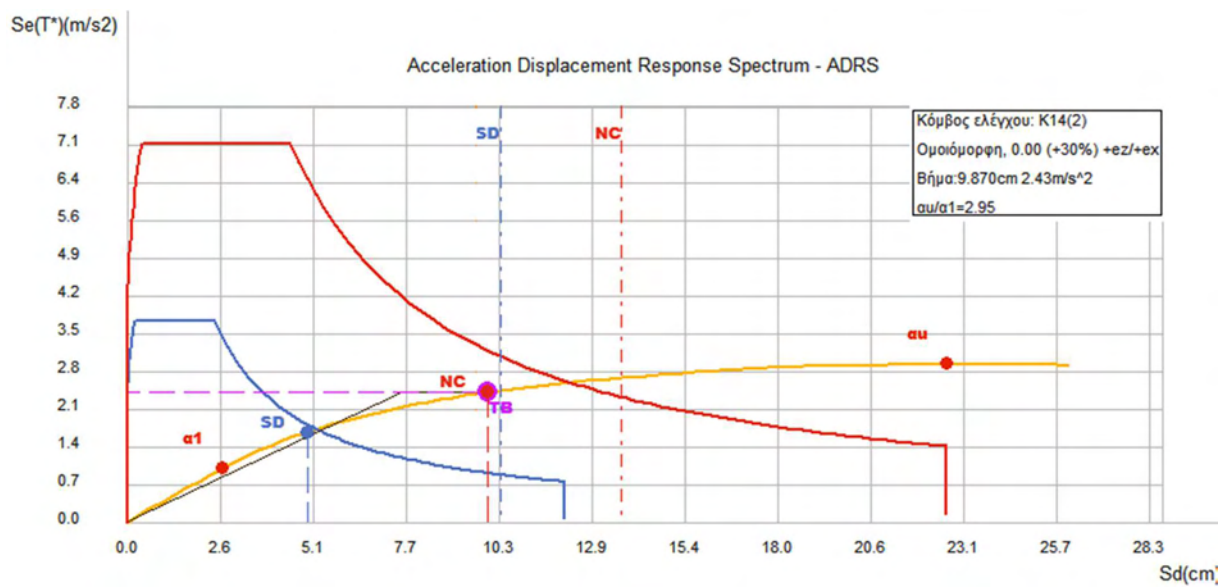


Σχήμα 5.7 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x (Μέθοδος ενίσχυσης A).

Θέση ορίου επιτελεσιμότητας NC.



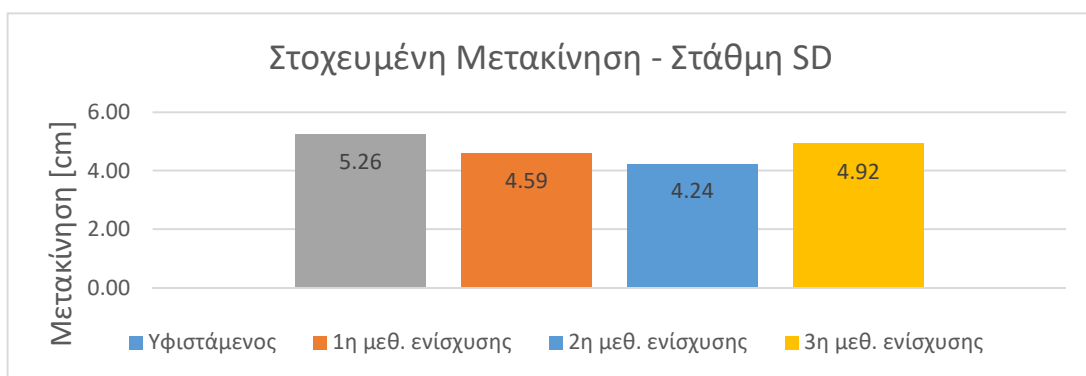
Σχήμα 5.10 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x (Μέθοδος ενίσχυσης Β).
Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.



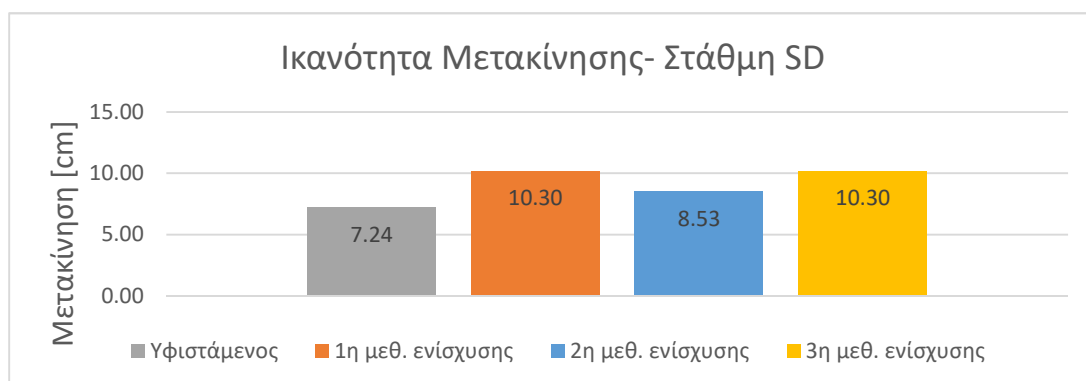
Σχήμα 5.9 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση x (Μέθοδος ενίσχυσης Γ).
Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.

Εξετάζοντας τα διαγράμματα Απαίτησης-Ικανότητας (ADRS) προέκυψαν τα παρακάτω.

- i. Στα παρακάτω Σχήματα αναγράφονται οι τιμές για τη στοχευμένη μετακίνηση στην στάθμη SD (Σχ. 5.11) και η τέμνουσα βάσης (Σχ. 5.12) για την οποία γίνεται αυτή η μετακίνηση για τον εκάστοτε φορέα.



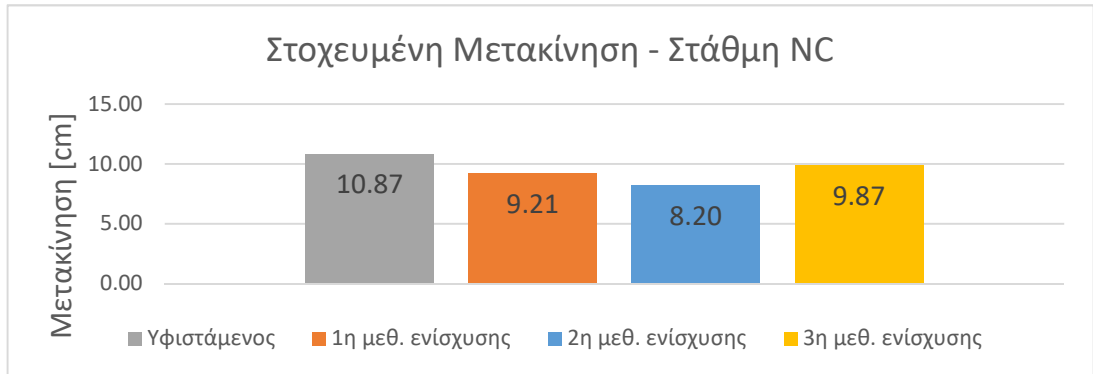
Σχήμα 5.11 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών μετακίνησης κορυφής για Στοχευμένη μετακίνηση στην σ.ε SD για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.



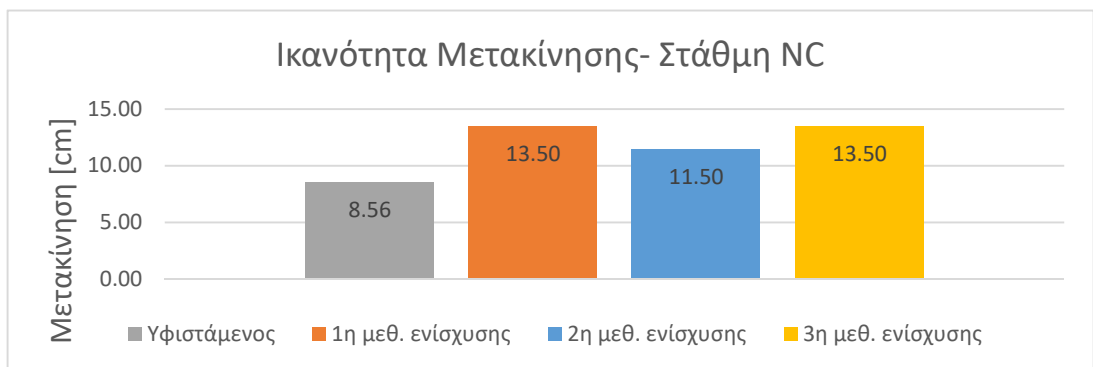
Σχήμα 5.12 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών Ικανότητας μετακίνησης κορυφής στην σ.ε SD για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

Παρατηρείται ότι και με τις τρεις μεθόδους η στοχευμένη μετακίνηση μειώθηκε έναντι σε αυτή του υφιστάμενου φορέα. Παράλληλα υπήρξε αύξηση της ικανότητας μετακίνηση με τις τρεις μεθόδους ενίσχυσης σε σχέση με τον υφιστάμενο φορέα. Συγκεκριμένα αύξηση 42% με τις μεθόδους ενίσχυσης 1^η και 3^η ενώ με την 2^η υπήρξε αύξηση 18%.

- ii. Στα παρακάτω Σχήματα αναγράφονται οι τιμές για τη στοχευμένη μετακίνηση στην στάθμη NC (Σχ. 5.13) και η τέμνουσα βάσης (Σχ. 5.14) για την οποία γίνεται αυτή η μετακίνηση για τον εκάστοτε φορέα.



Σχήμα 5.13 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών μετακίνησης κορυφής για Στοχευμένη μετακίνηση στην σ.ε NC για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.



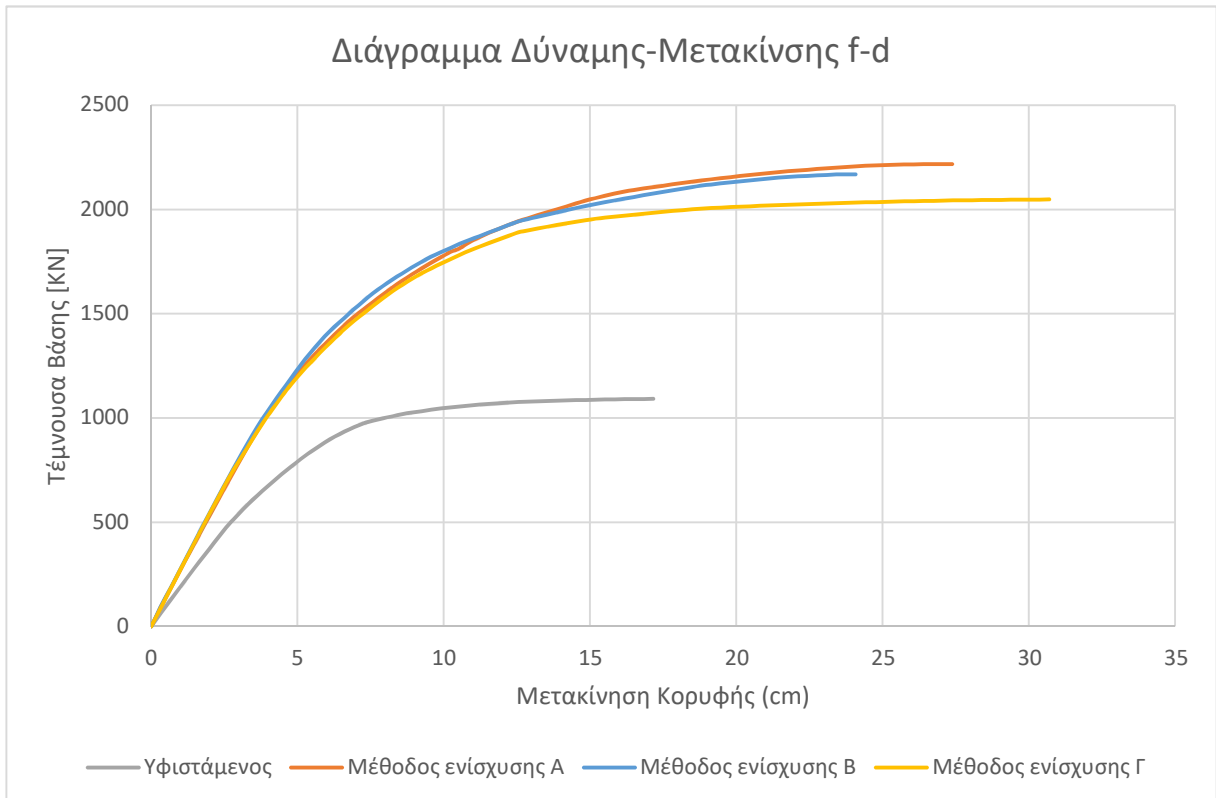
Σχήμα 5.14 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών Ικανότητας μετακίνησης κορυφής στην σ.ε NC για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

Παρατηρείται ότι και με τις τρεις μεθόδους η στοχευμένη μετακίνηση μειώθηκε έναντι σε αυτή του υφιστάμενου φορέα. Παράλληλα υπήρξε αύξηση της ικανότητας μετακίνηση με τις τρεις μεθόδους ενίσχυσης σε σχέση με τον υφιστάμενο φορέα. Συγκεκριμένα αύξηση 58% με τη 1^η και την 3^η μέθοδο ενίσχυσης ενώ με την 2η μέθοδο υπήρξε αύξηση 34%.

5.1.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων κατά την διεύθυνση y (Ομοιόμορφη Φόρτιση)

5.1.2.1 Σύγκριση διαγραμμάτων Δύναμης-Μετακίνησης (f-d)

Στο Σχήμα 5.15 οι τέσσερις καμπύλες απεικονίζουν την απόκριση του υφιστάμενου φορέα και των τριών περιπτώσεων ενίσχυσης του υπό ομοιόμορφη οριζόντια φόρτιση κατά την διεύθυνση y.

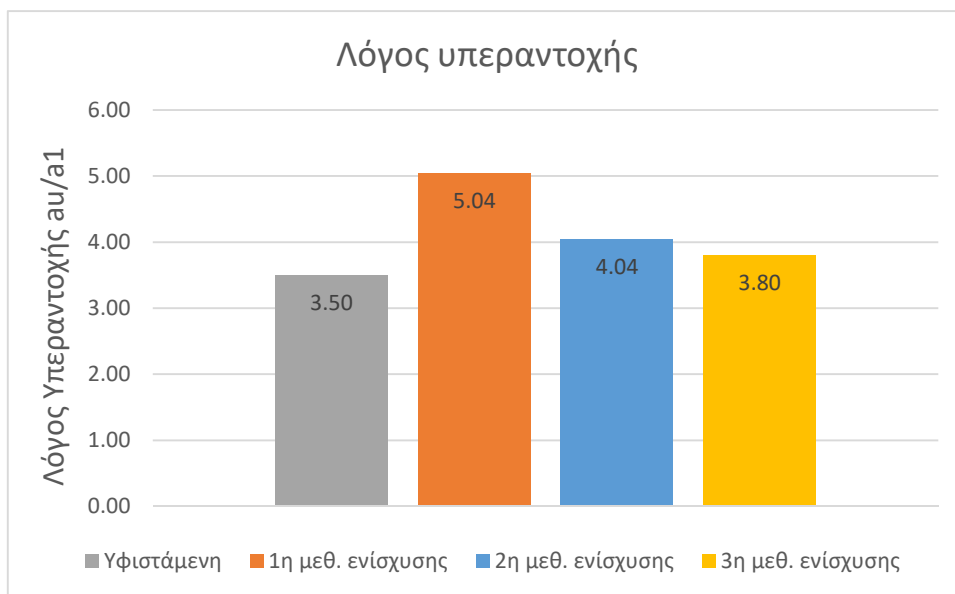


Σχήμα 5.15 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.

Εξετάζοντας το Σχήμα 5.17 προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Παρατηρείται σημαντική αύξηση της δυσκαμψίας του υφιστάμενου φορέα και με τις τρεις μεθόδους ενίσχυσης. Επίσης παρατηρούμε ότι και με τις τρεις μεθόδους η απόκριση των φορέων είναι σχεδόν ίδια..

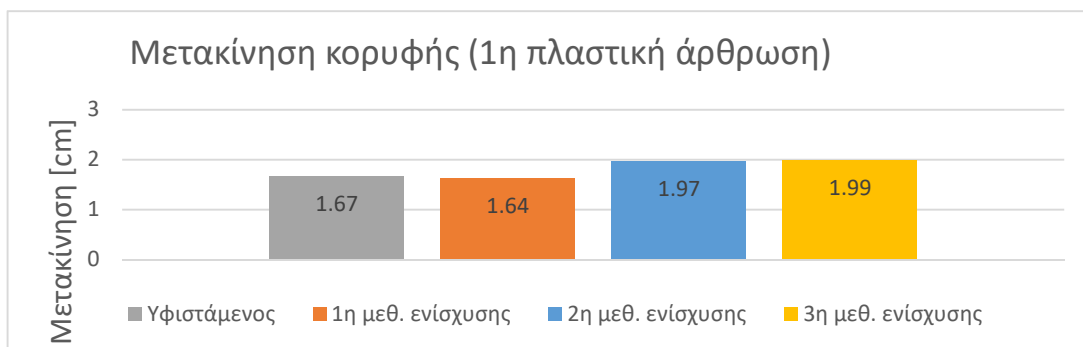
- Στο Σχήμα 5.16 αναγράφονται οι δείκτες υπεραντοχής για τον εκάστοτε φορέα. Υπενθυμίζεται ότι ο λόγος υπεραντοχής είναι ο λόγος του φορτίου για το οποίο δημιουργείται ο μηχανισμός κατάρρευσης (a_u) προς το φορτίο για το οποίο δημιουργείται η 1^η πλαστική άρθρωση.



Σχήμα 5.16 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών υπεραντοχής για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.

Προκύπτει ότι με τις μεθόδους ενίσχυσης 1^η, 2^η και 3^η είχαμε αύξηση 44%, 15% και 9% αντίστοιχα.

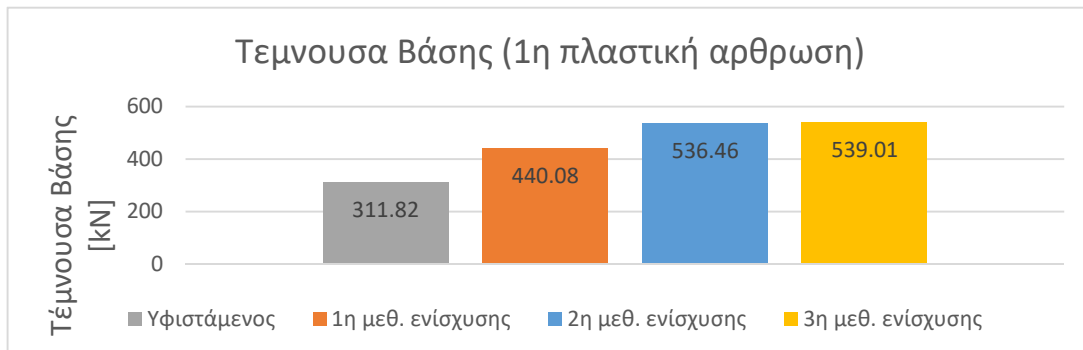
- Στο Σχήμα 5.17 αναγράφονται οι τιμές της μετακίνησης κορυφής την στιγμή που δημιουργείται η 1^η πλαστική άρθρωση για τον εκάστοτε φορέα.



Σχήμα 5.17 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών μετακίνησης κορυφής για δημιουργία 1^{ης} Πλαστικής άρθρωσης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση γ.

Παρατηρείται αύξηση της τιμής της μετακίνησης κορυφής για δημιουργία 1^{ης} πλαστική άρθρωση κατά την 2^η και την 3^η μέθοδο ενίσχυσης (+18%) σε σχέση με τον υφιστάμενο φορέα ενώ με την 1^η μέθοδο προκύπτουν παρόμοια αποτελέσματα

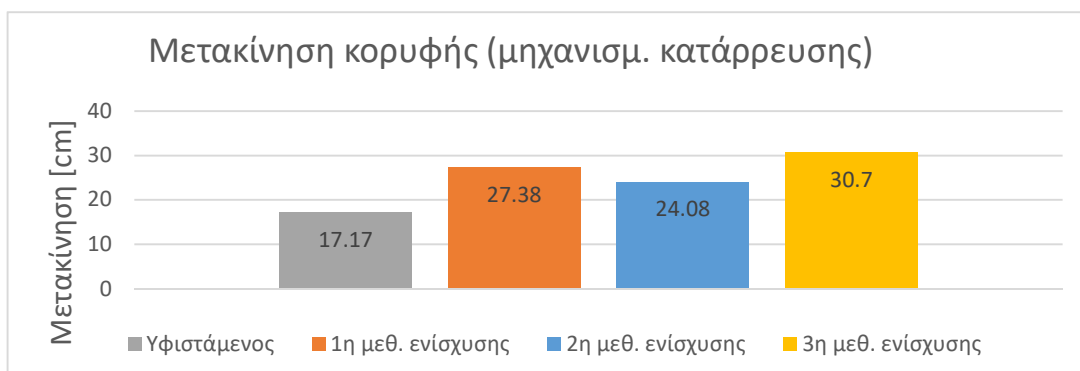
- Στο Σχήμα 5.18 αναγράφονται οι τιμές της τέμνουσας βάσης την στιγμή που δημιουργείται η 1η πλαστική άρθρωση για τον εκάστοτε φορέα.



Σχήμα 5.18 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών Τέμνουσας Βάσης για δημιουργία 1^{ης} Πλαστικής άρθρωσης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση γ.

Παρόλο που για την 2^η μέθοδο ενίσχυσης προκύπτει περίπου ίδια μετακίνηση κορυφής για την δημιουργία της 1^{ης} πλαστικής με αυτή του υφιστάμενου φορέα, η αντίστοιχη τέμνουσα βάσης είναι μεγαλύτερη κατά 41%. Επίσης για τις άλλες 2 μεθόδους ενίσχυσης, την 2^η και την 3^η έχουμε περίπου ίδια αύξηση της τέμνουσας βάσης για δημιουργία της 1^{ης} πλαστικής άρθρωσης έναντι αυτής του υφιστάμενου φορέα και αυτή είναι 72%.

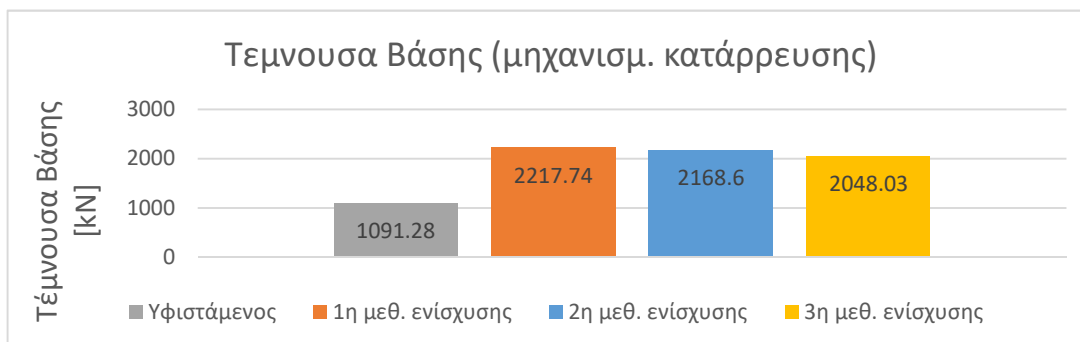
- Στο Σχήμα 5.19 αναγράφονται οι τιμές της μετακίνησης κορυφής την στιγμή που δημιουργείται ο μηχανισμός κατάρρευσης για τον εκάστοτε φορέα.



Σχήμα 5.19 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών μετακίνησης κορυφής για δημιουργία μηχανισμ. κατάρρευσης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση γ.

Και στις τρεις μεθόδους ενίσχυσης παρατηρείται αύξησης της τιμής της μετακίνησης κορυφής για δημιουργία μηχανισμού κατάρρευσης σε σχέση με τον υφιστάμενο φορέα. Συγκεκριμένα +59% για την 1^η μέθοδο, +40% για την 2^η μέθοδο και +79% για την 3^η μέθοδο.

- Στο Σχήμα 5.20 αναγράφονται οι τιμές της τέμνουσας βάσης την στιγμή που δημιουργείται ο μηχανισμός κατάρρευσης για τον εκάστοτε φορέα.

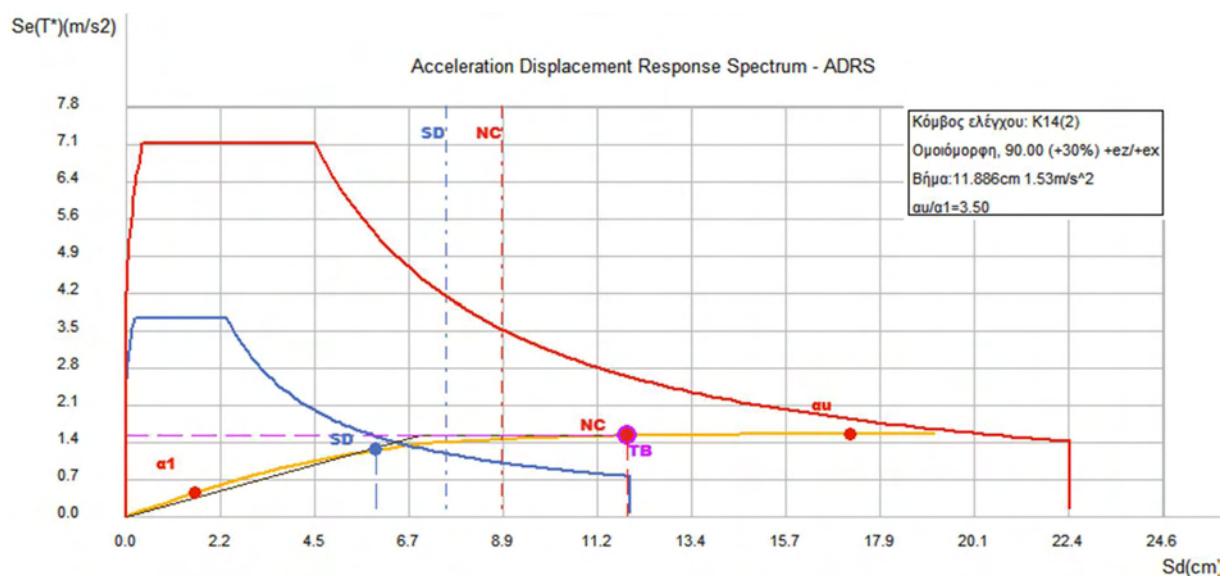


Σχήμα 5.20 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών Τέμνουσας Βάσης για δημιουργία μηχανισμ. κατάρρευσης για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση γ.

Επίσης υπήρξε ιδιαίτερα μεγάλη αύξηση της τιμής της τέμνουσας βάσης για δημιουργία μηχανισμού κατάρρευσης σε σχέση με τον υφιστάμενο φορέα και με τις τρεις μεθόδους ενίσχυσης 1^η, 2^η, 3^η με +103%, +99%, 88% αντίστοιχα

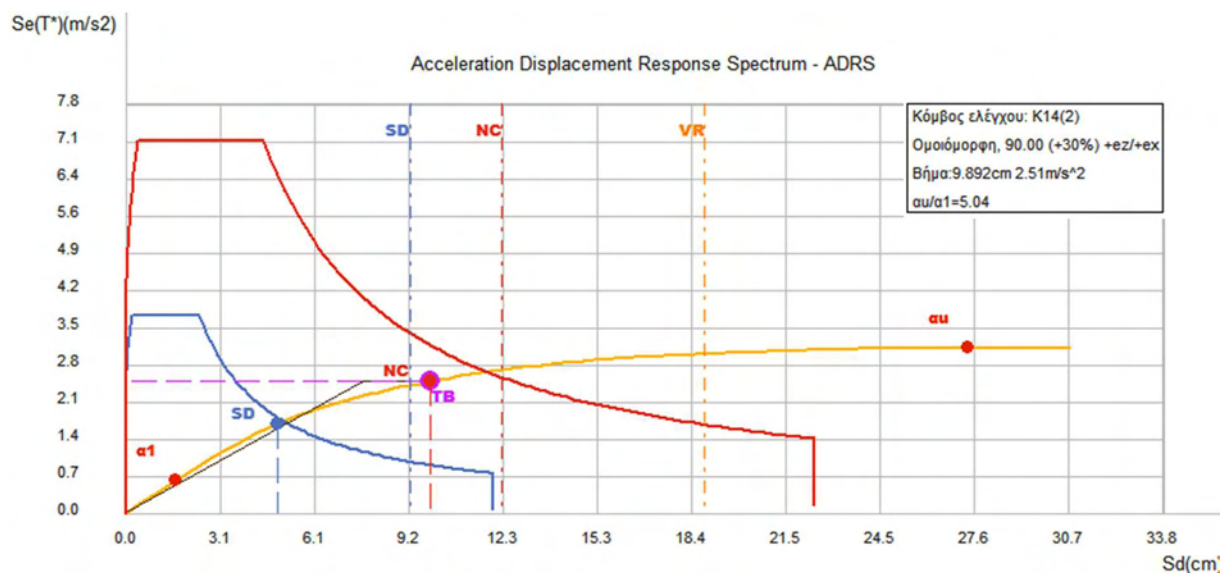
5.1.2.2 Σύγκριση Διαγραμμάτων Απαίτησης-Ικανότητας (ADRS)

Παρακάτω παραθέτονται τα διαγράμματα Απαίτησης-Ικανότητας (ADRS) για τη φόρτιση διεύθυνσης y .



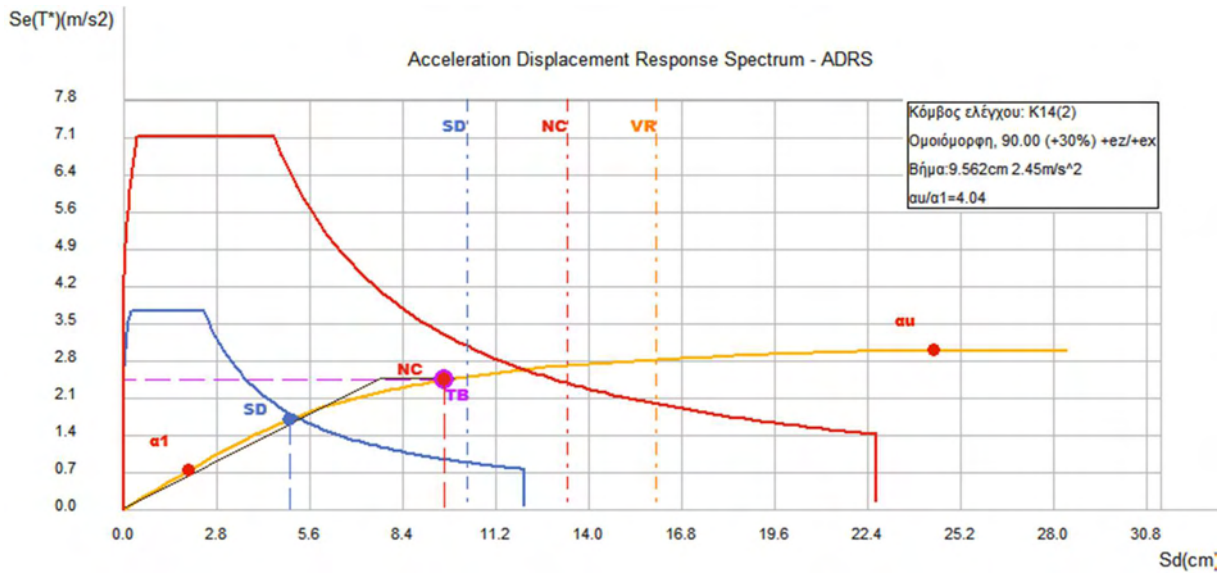
Σχήμα 5.22 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση y (Υφιστάμενος).

Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.

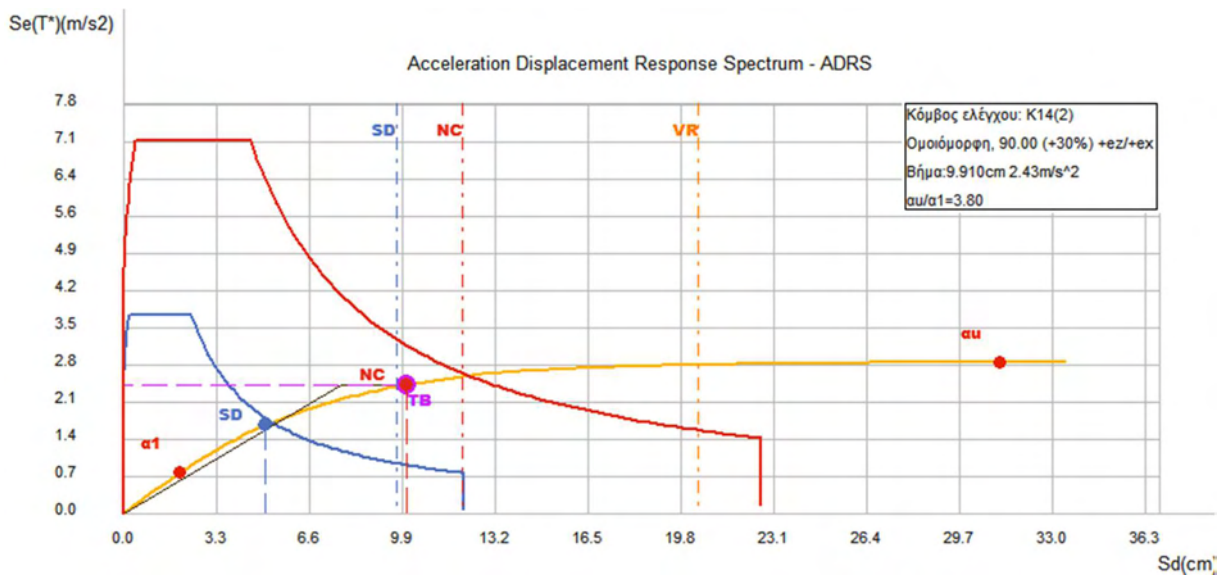


Σχήμα 5.21 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση y (Μέθοδος ενίσχυσης Α).

Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.



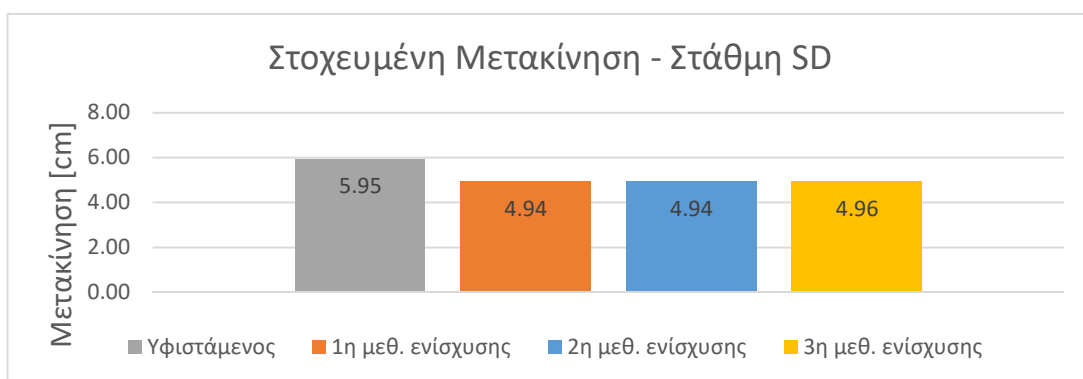
Σχήμα 5.24 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση y (Μέθοδος ενίσχυσης Β).
Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.



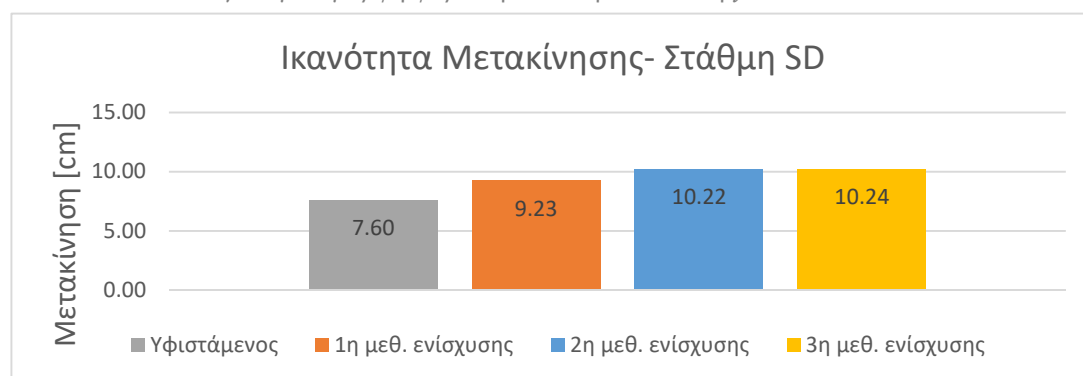
Σχήμα 5.23 Διάγραμμα ADRS για ομοιόμορφη φόρτιση κατά την διεύθυνση y (Μέθοδος ενίσχυσης Γ).
Θέση ορίου επιτελεστικότητας NC.

Εξετάζοντας τα διαγράμματα Απαίτησης-Ικανότητας (ADRS) προέκυψαν τα παρακάτω.

- i. Στα παρακάτω Σχήματα αναγράφονται οι τιμές για τη στοχευμένη μετακίνηση στην στάθμη SD (Σχ. 5.25) και η τέμνουσα βάσης (Σχ. 5.26) για την οποία γίνεται αυτή η μετακίνηση για τον εκάστοτε φορέα.



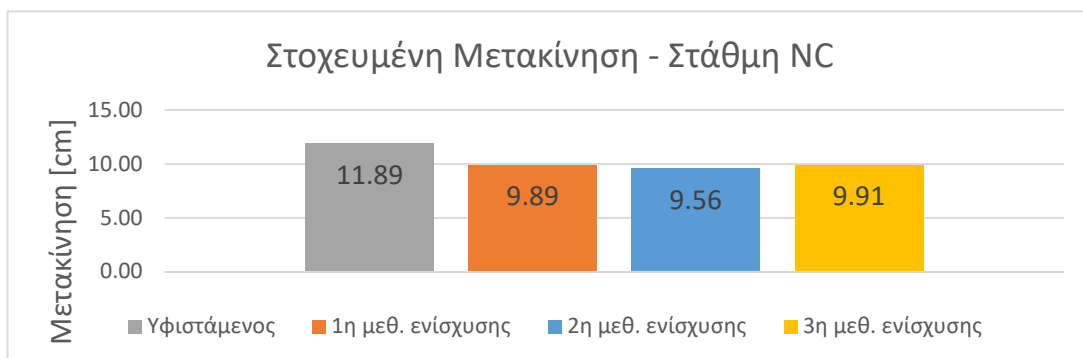
Σχήμα 5.25 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών μετακίνησης κορυφής για Στοχευμένη μετακίνηση στην σ.ε SD για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.



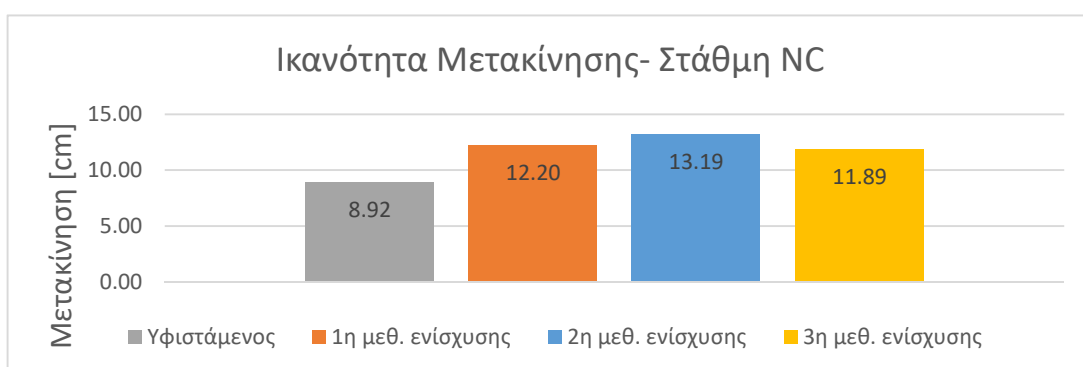
Σχήμα 5.26 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών Τέμνουσας Βάσης για Στοχευμένη μετακίνηση στην σ.ε SD για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.

Παρατηρείται ότι και με τις τρεις μεθόδους η στοχευμένη μετακίνηση μειώθηκε έναντι σε αυτή του υφιστάμενου φορέα. Παράλληλα υπήρξε αύξηση της ικανότητας μετακίνηση με τις τρεις μεθόδους ενίσχυσης σε σχέση με τον υφιστάμενο φορέα. Συγκεκριμένα αύξηση 35% με τις μεθόδους ενίσχυσης 2^η και 3^η ενώ με την 1^η υπήρξε αύξηση 21%.

- ii. Στα παρακάτω Σχήματα αναγράφονται οι τιμές για τη στοχευμένη μετακίνηση στην στάθμη NC (Σχ. 5.27) και η τέμνουσα βάσης (Σχ. 5.28) για την οποία γίνεται αυτή η μετακίνηση για τον εκάστοτε φορέα.



Σχήμα 5.27 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών μετακίνησης κορυφής για Στοχευμένη μετακίνηση στην σ.ε NC για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.



Σχήμα 5.28 Συγκριτικό Διάγραμμα τιμών Ικανότητας μετακίνησης κορυφής στην σ.ε NC για ομοιόμορφη φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.

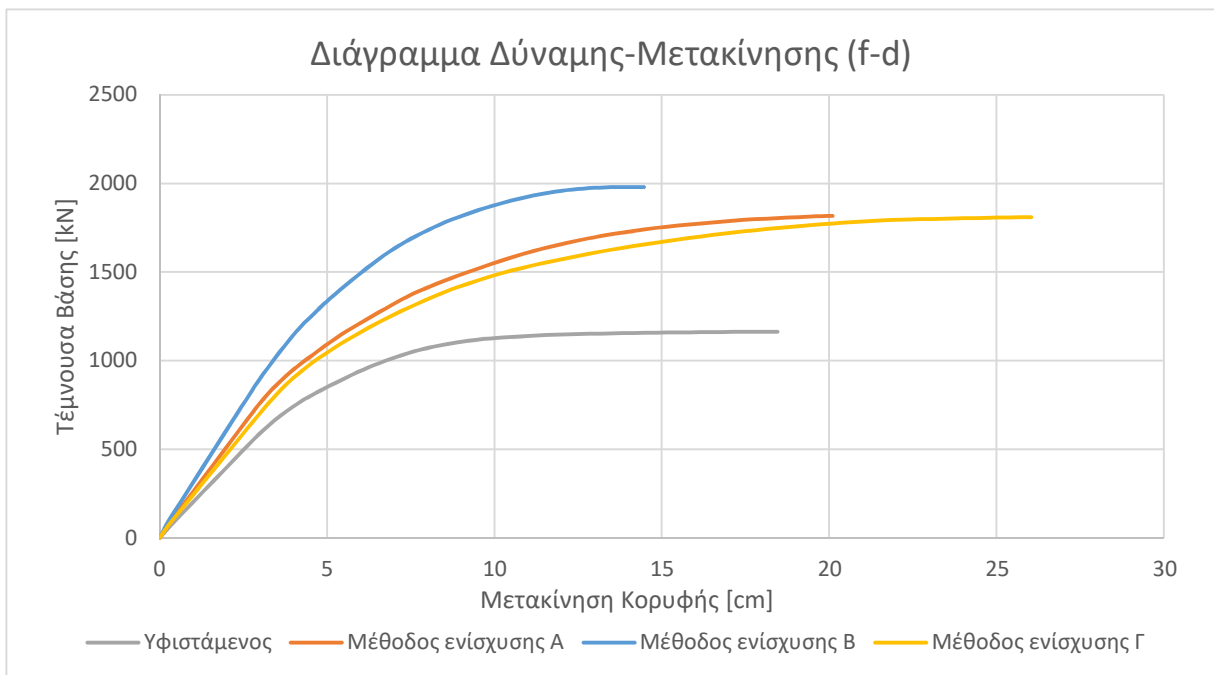
Παρατηρείται ότι και με τις τρεις μεθόδους η στοχευμένη μετακίνηση μειώθηκε έναντι σε αυτή του υφιστάμενου φορέα. Παράλληλα υπήρξε αύξηση της ικανότητας μετακίνηση με τις τρεις μεθόδους ενίσχυσης σε σχέση με τον υφιστάμενο φορέα. Συγκεκριμένα αύξηση 37% με τη 1^η μέθοδο, 48% με την 2^η μέθοδο και 33% με την 3^η μέθοδο.

5.2 Ιδιομορφική φόρτιση

5.2.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων κατά την διεύθυνση x (Ιδιομορφική Φόρτιση)

5.2.1.1 Σύγκριση διαγραμμάτων Δύναμης-Μετακίνησης (f-d)

Στο Σχήμα 5.29 οι τέσσερις καμπύλες απεικονίζουν την απόκριση του υφιστάμενου φορέα και των τριών περιπτώσεων ενίσχυσης του υπό ιδιομορφική οριζόντια φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.



Σχήμα 5.29 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

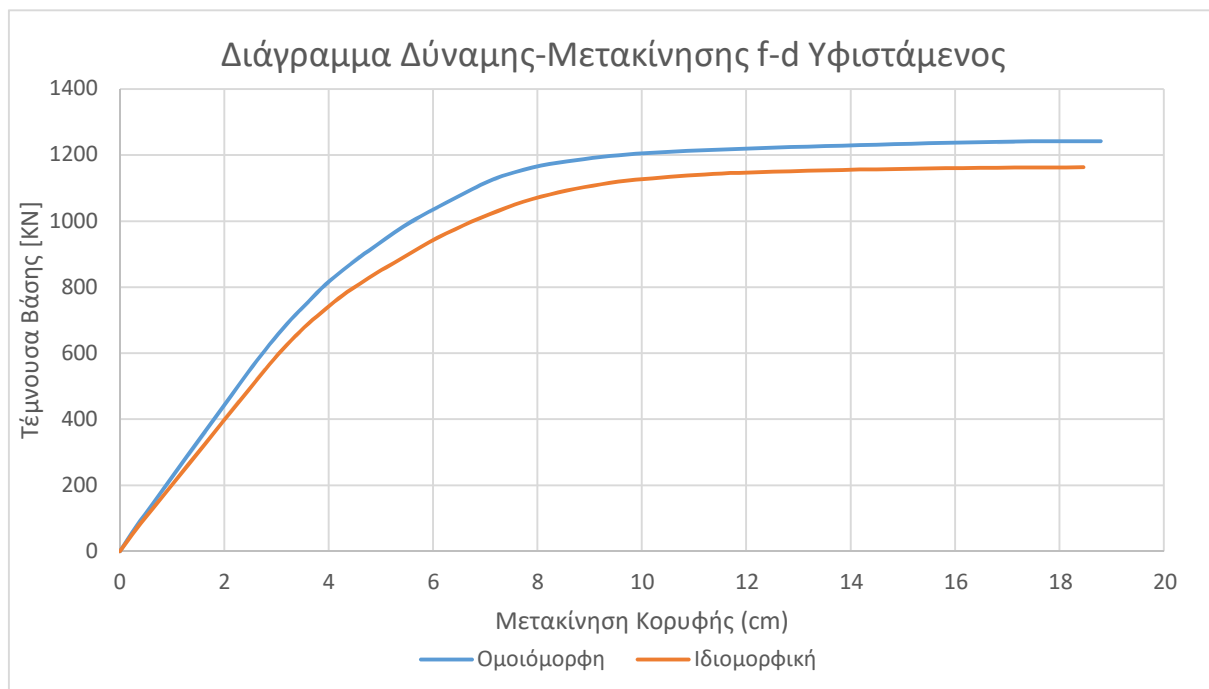
Εξετάζοντας το Σχήμα 5.29 προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Παρατηρείται ότι οι διαφορές που έχουν οι αποκρίσεις των φορέων μεταξύ τους για ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση x είναι παρόμοιες με αυτές που προέκυψαν για την ομοιόμορφη φόρτιση κατά την ίδια διεύθυνση.

Άρα μεγαλύτερη σημασία θα είχε να γίνει σύγκριση της απόκρισης του εκάστοτε φορέα για τις δυο αυτές φορτίσεις.

i. Υφιστάμενος Φορέας

Στο Σχήμα 5.30 απεικονίζεται η απόκριση του υφιστάμενου φορέα για την εκάστοτε κατανομή φόρτισης.

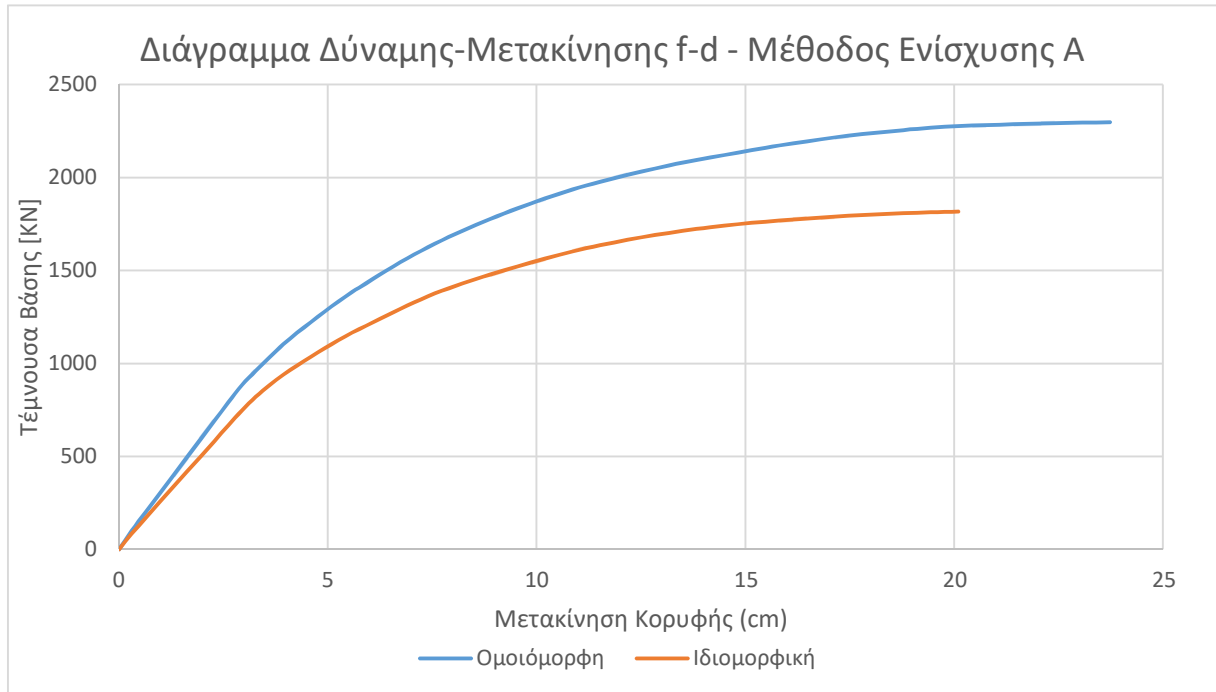


Σχήμα 5.30 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης Υφιστάμενου φορέα για ομοιόμορφη και ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

Παρατηρείται ότι η απόκριση του φορέα είναι ελαφρώς μειωμένη για ιδιομορφική φόρτιση σε σχέση με αυτή για ομοιόμορφη φόρτιση. Επίσης παρατηρείται ότι ο μηχανισμός κατάρρευσης δημιουργείται για ελάχιστα μεγαλύτερη μετακίνηση κορυφής και για μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης στην ομοιόμορφη φόρτιση έναντι της ιδιομορφικής φόρτισης.

ii. Μέθοδος Ενίσχυσης Α

Στο Σχήμα 5.31 απεικονίζεται η απόκριση του ενισχυμένου φορέα με την μέθοδο ενίσχυσης Α για την εκάστοτε κατανομή φόρτισης.

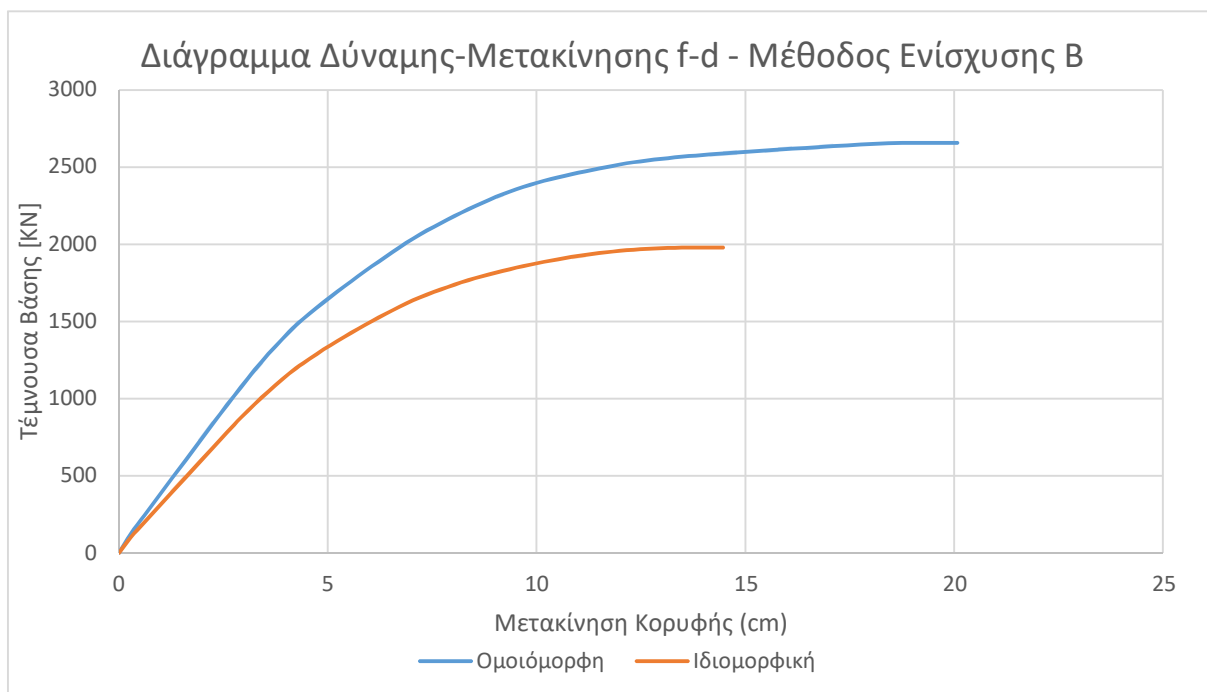


Σχήμα 5.31 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης φορέα μεθόδου ενίσχυσης Α για ομοιόμορφη και ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

Παρατηρείται ότι η απόκριση του φορέα είναι μειωμένη για ιδιομορφική φόρτιση σε σχέση με αυτή για ομοιόμορφη φόρτιση. Επίσης παρατηρείται ότι ο μηχανισμός κατάρρευσης δημιουργείται για μεγαλύτερη μετακίνηση κορυφής και για μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης στην ομοιόμορφη φόρτιση έναντι της ιδιομορφικής φόρτισης.

iii. Μέθοδος Ενίσχυσης Β

Στο Σχήμα 5.32 απεικονίζεται η απόκριση του ενισχυμένου φορέα με την μέθοδο ενίσχυσης Β για την εκάστοτε κατανομή φόρτισης.

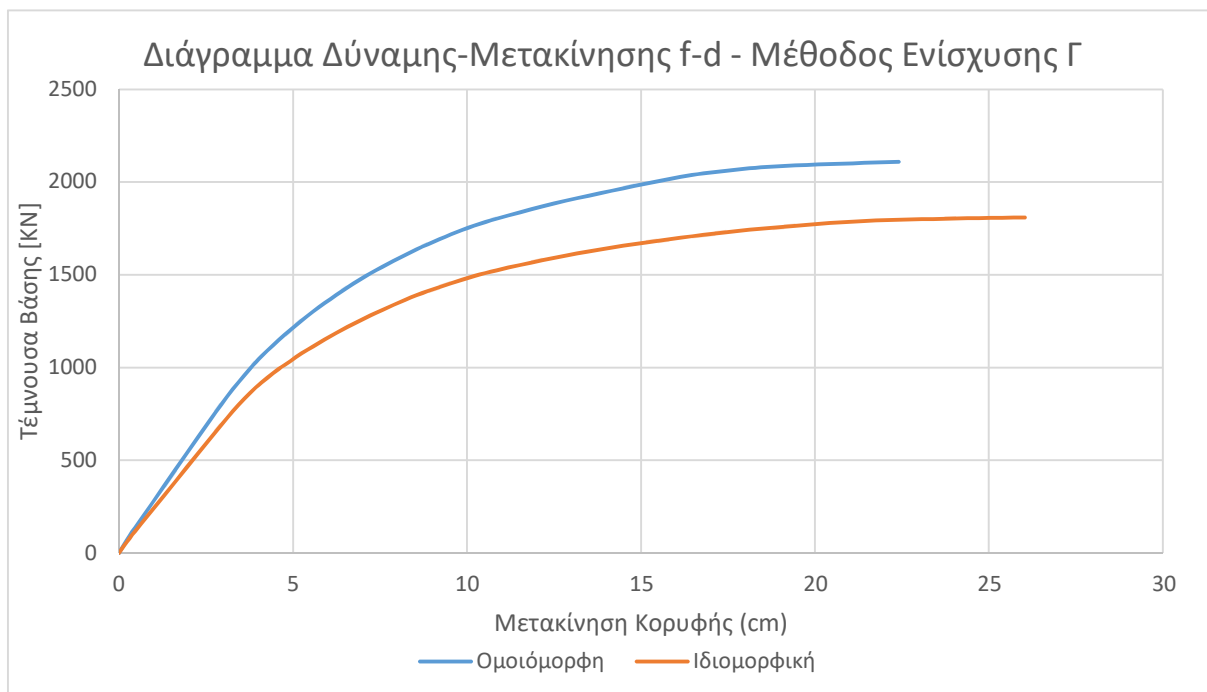


Σχήμα 5.32 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης φορέα μεθόδου ενίσχυσης Β για ομοιόμορφη και ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

Παρατηρείται ότι η απόκριση του φορέα είναι αρκετά μειωμένη για ιδιομορφική φόρτιση σε σχέση με αυτή για ομοιόμορφη φόρτιση. Επίσης παρατηρείται ότι ο μηχανισμός κατάρρευσης δημιουργείται για αρκετά μεγαλύτερη μετακίνηση κορυφής και για μεγαλύτερη τέμνουσα βάση στην ομοιόμορφη φόρτιση έναντι της ιδιομορφικής φόρτισης.

iv. Μέθοδος Ενίσχυσης Γ

Στο Σχήμα 5.33 απεικονίζεται η απόκριση του ενισχυμένου φορέα με την μέθοδο ενίσχυσης Β για την εκάστοτε κατανομή φόρτισης.



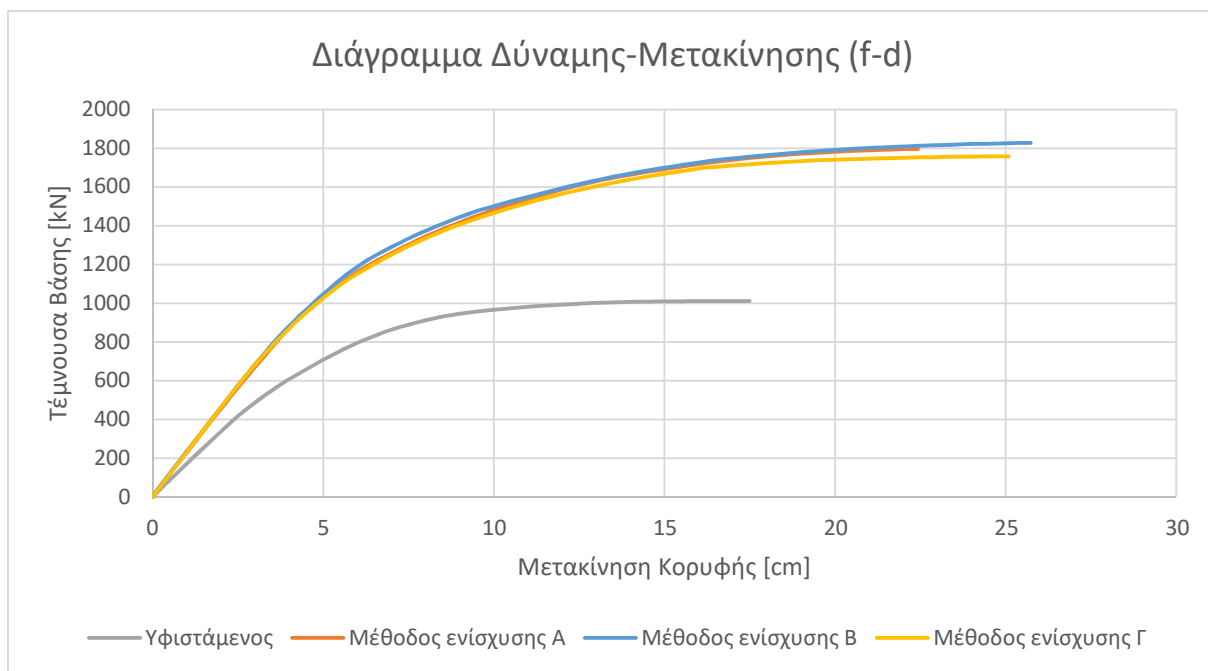
Σχήμα 5.33 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης φορέα μεθόδου ενίσχυσης Γ για ομοιόμορφη και ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση x.

Παρατηρείται ότι η απόκριση του φορέα είναι αρκετά μειωμένη για ιδιομορφική φόρτιση σε σχέση με αυτή για ομοιόμορφη φόρτιση. Επίσης παρατηρείται ότι ο μηχανισμός κατάρρευσης δημιουργείται για μεγαλύτερη μετακίνηση κορυφής για ιδιομορφική φόρτιση ενώ η τέμνουσα βάσης είναι μικρότερη έναντι αυτής που προκύπτει για ομοιόμορφη φόρτιση.

5.2.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων κατά την διεύθυνση y (Ιδιομορφική Φόρτιση)

5.2.2.1 Σύγκριση διαγραμμάτων Δύναμης-Μετακίνησης (f-d)

Στο Σχήμα 5.34 οι τέσσερις καμπύλες απεικονίζουν μας δείχνουν την απόκριση του υφιστάμενου φορέα και των τριών περιπτώσεων ενίσχυσης του υπό ιδιομορφική οριζόντια φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.



Σχήμα 5.34 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης για ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.

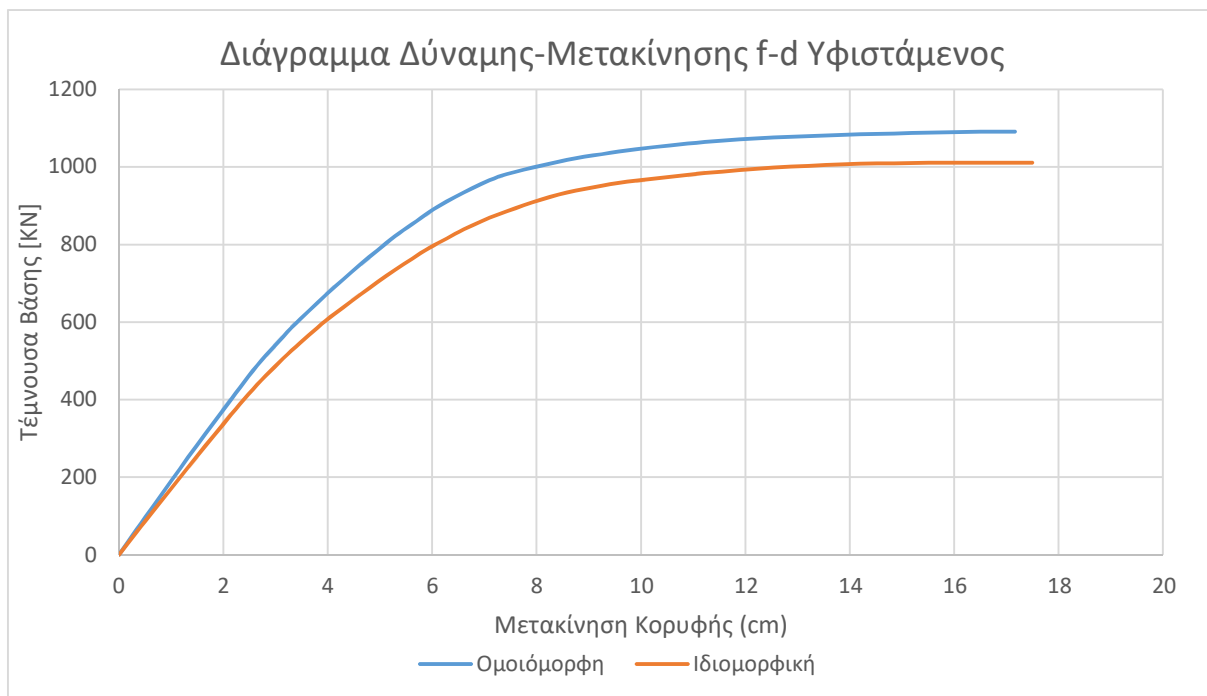
Εξετάζοντας το Σχήμα 5.34 προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Παρατηρείται ότι οι διαφορές που έχουν οι αποκρίσεις των φορέων μεταξύ τους για ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση x είναι παρόμοιες με αυτές που προέκυψαν για την ομοιόμορφη φόρτιση κατά την ίδια διεύθυνση.

Άρα μεγαλύτερη σημασία θα είχε να γίνει σύγκριση της απόκρισης του εκάστοτε φορέα για τις δυο αυτές φορτίσεις. Έχοντας ολοκληρώσει τη παρουσίαση και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων για κάθε μέθοδο ενίσχυσης είναι χρήσιμη μια συνοπτική αξιολόγησή τους για κάθε μέθοδο ξεχωριστά.

i. Υφιστάμενος Φορέας

Στο Σχήμα 5.35 απεικονίζεται η απόκριση του υφιστάμενου φορέα για την εκάστοτε κατανομή φόρτισης.

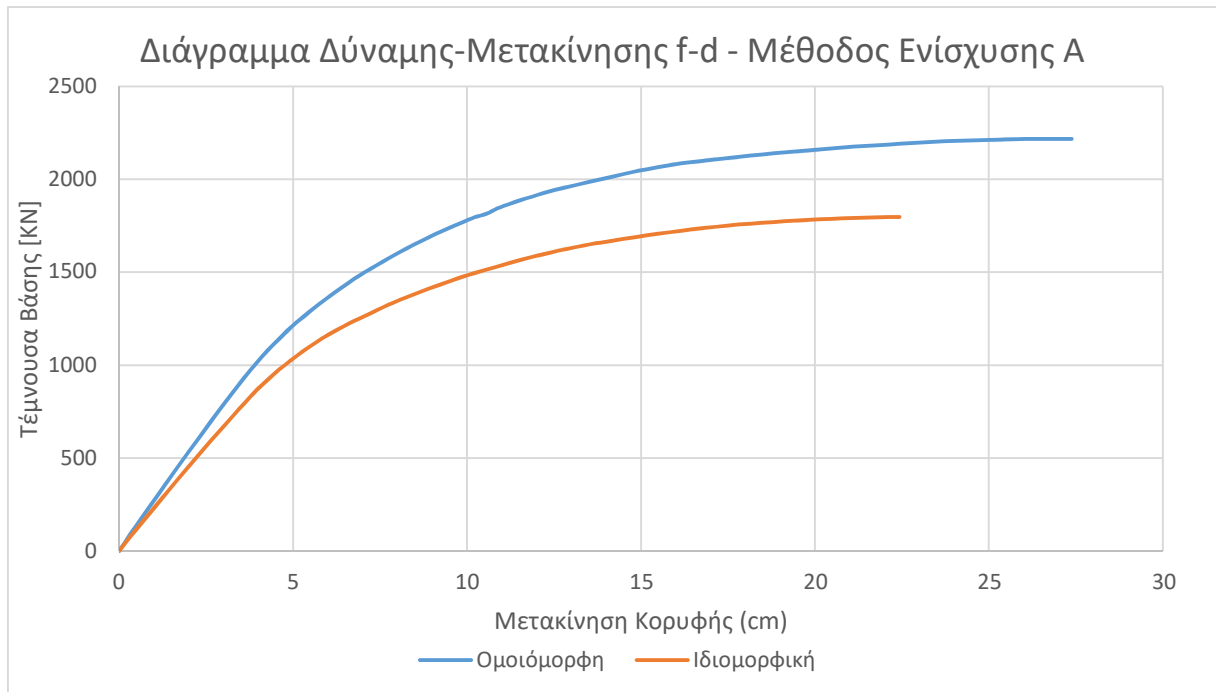


Σχήμα 5.35 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης Υφιστάμενου φορέα για ομοιόμορφη και ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση y.

Παρατηρείται ότι η απόκριση του φορέα είναι ελαφρώς μειωμένη για ιδιομορφική φόρτιση σε σχέση με αυτή για ομοιόμορφη φόρτιση. Επίσης παρατηρείται ότι ο μηχανισμός κατάρρευσης δημιουργείται για ελάχιστα μικρότερη μετακίνηση κορυφής και για ελάχιστα μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης στην ομοιόμορφη φόρτιση έναντι της ιδιομορφικής φόρτισης.

ii. Μέθοδος Ενίσχυσης Α

Στο Σχήμα 5.36 απεικονίζεται η απόκριση του ενισχυμένου φορέα με την μέθοδο ενίσχυσης Α για την εκάστοτε κατανομή φόρτισης.

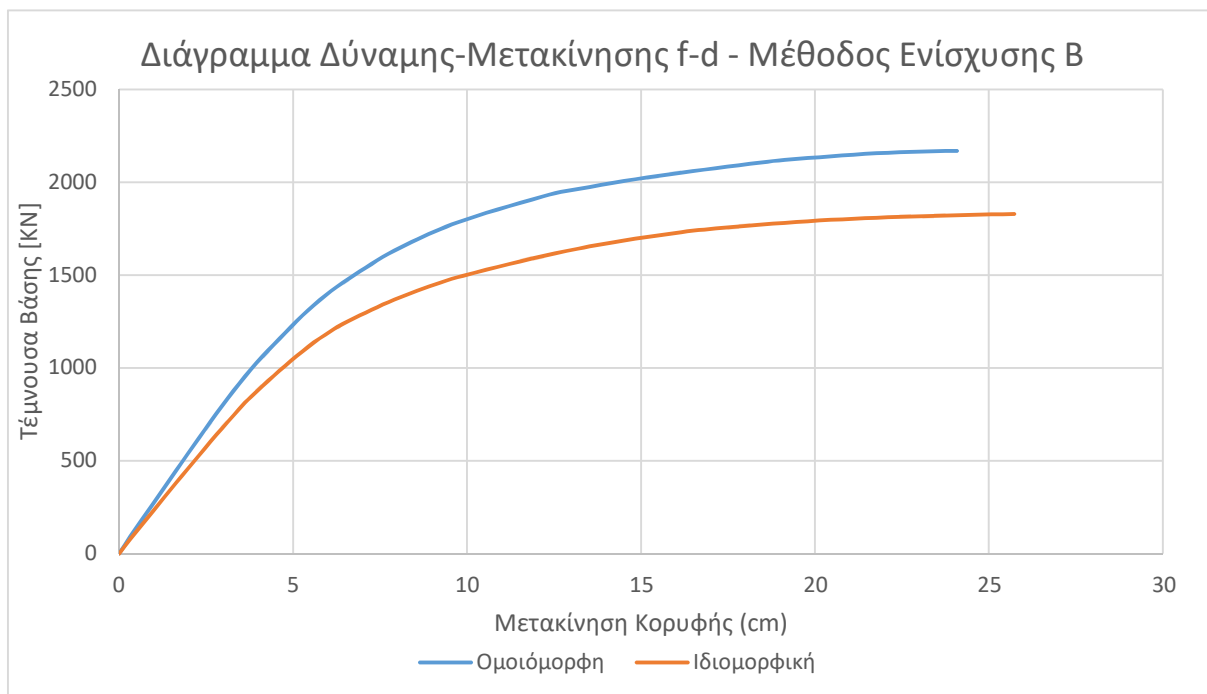


Σχήμα 5.36 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης φορέα μεθόδου ενίσχυσης Α για ομοιόμορφη και ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση γ.

Παρατηρείται ότι η απόκριση του φορέα είναι μειωμένη για ιδιομορφική φόρτιση σε σχέση με αυτή για ομοιόμορφη φόρτιση. Επίσης παρατηρείται ότι ο μηχανισμός κατάρρευσης δημιουργείται για μεγαλύτερη μετακίνηση κορυφής και για μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης για ομοιόμορφη φόρτιση.

iii. Μέθοδος Ενίσχυσης Β

Στο Σχήμα 5.37 απεικονίζεται η απόκριση του ενισχυμένου φορέα με την μέθοδο ενίσχυσης Β για την εκάστοτε κατανομή φόρτισης.

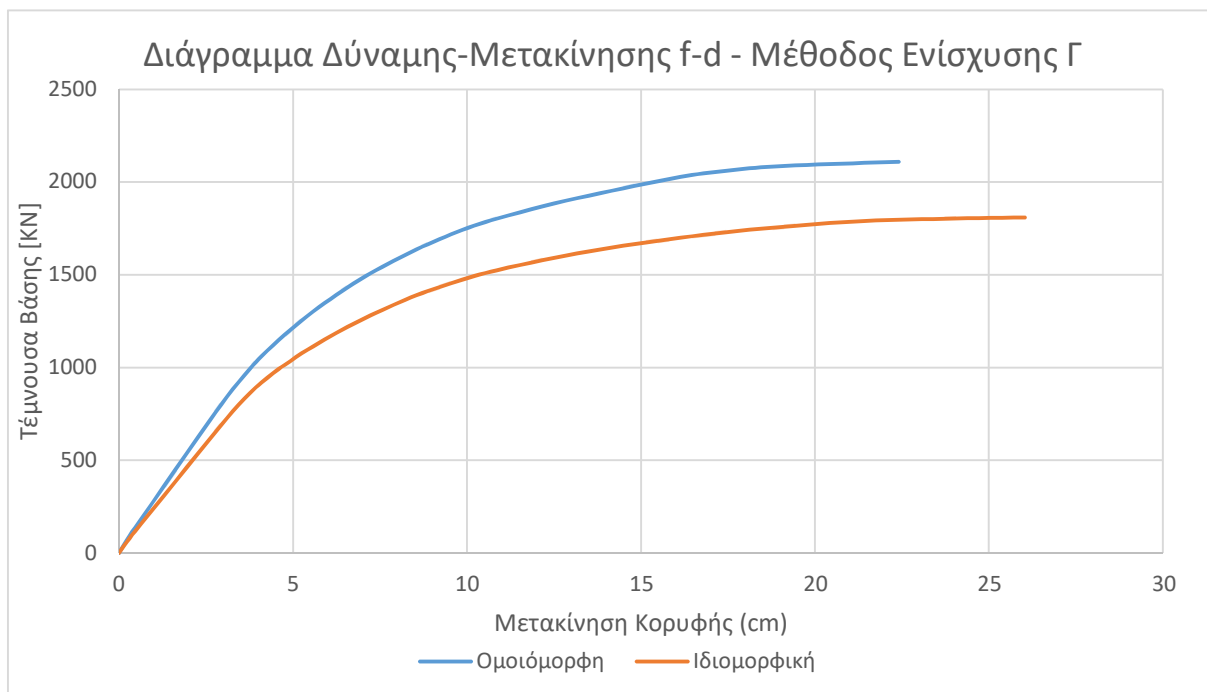


Σχήμα 5.37 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης φορέα μεθόδου ενίσχυσης Β για ομοιόμορφη και ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση γ.

Παρατηρείται ότι η απόκριση του φορέα είναι μειωμένη για ιδιομορφική φόρτιση σε σχέση με αυτή για ομοιόμορφη φόρτιση. Επίσης παρατηρείται ότι ο μηχανισμός κατάρρευσης δημιουργείται για ελάχιστα μικρότερη μετακίνηση κορυφής και για μεγαλύτερη τεμνουσα βάση στην ομοιόμορφη φόρτιση έναντι της ιδιομορφικής φόρτισης.

iv. Μέθοδος Ενίσχυσης Γ

Στο Σχήμα 5.38 απεικονίζεται η απόκριση του ενισχυμένου φορέα με την μέθοδο ενίσχυσης Β για την εκάστοτε κατανομή φόρτισης.



Σχήμα 5.38 Συγκριτικό Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης φορέα μεθόδου ενίσχυσης Γ για ομοιόμορφη και ιδιομορφική φόρτιση κατά τη διεύθυνση γ.

Παρατηρείται ότι η απόκριση του φορέα είναι αρκετά μειωμένη για ιδιομορφική φόρτιση σε σχέση με αυτή για ομοιόμορφη φόρτιση. Επίσης παρατηρείται ότι ο μηχανισμός κατάρρευσης δημιουργείται για μεγαλύτερη μετακίνηση κορυφής για ιδιομορφική φόρτιση ενώ η τέμνουσα βάσης είναι μικρότερη έναντι αυτής που προκύπτει για ομοιόμορφη φόρτιση.

5.3 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων για την κάθε μέθοδο ενίσχυσης

Έχοντας ολοκληρώσει τη παρουσίαση και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων για κάθε μέθοδο ενίσχυσης είναι χρήσιμη μια συνοπτική αξιολόγησή τους για κάθε μέθοδο ξεχωριστά.

5.3.1 Μέθοδος ενίσχυσης A

Στη μέθοδος ενίσχυσης A χρησιμοποιήσαμε τις εξής τεχνικές ενίσχυσης:

- i. Ενίσχυση υποστλωμάτων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος
- ii. Ενίσχυση υποστλωμάτων με ινοπλισμένα πολυμερή (fgr)
- iii. Ενίσχυση δοκών με πρόσθετε στρώσεις σκυροδέματος

Στη συνέχεια γίνεται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, που παρουσιάστηκαν προηγουμένως στο Κεφάλαιο 5, για κάθε διεύθυνση σεισμική φόρτισης.

Σεισμική φόρτιση στη Διεύθυνση x

Έπειτα από την εφαρμογή των παραπάνω ενισχύσεων, πραγματοποιήθηκαν ανελαστικές αναλύσεις Pushover, και μέσω των διαγραμμάτων Δύναμης – Μετακίνησης F-d, και των διαγραμμάτων Απαίτησης Ικανότητας προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Το κτίριο μετά την ενίσχυση με τη Μέθοδο A, επαρκεί για τη Στάθμη Επιτελεστικότητας Σημαντικών Βλαβών (SD), όπως και για τη Στάθμη Επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευση (NC).
- Το διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης είχε σημαντική αλλαγή καθώς η δυσκαμψία της κατασκευής έγινε μεγαλύτερη.
- Η 1^η πλαστική άρθρωση γίνεται σε άκρο δοκού της οροφής του ισογείου.
- Η 1^η πλαστική άρθρωση δημιουργείται για μεγαλύτερη μετακίνηση κορυφής αλλά και μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης, δηλαδή ο φορέας σε σχέση με τον Υφιστάμενο παραμορφώνεται ελαστικά για μεγαλύτερες παραμορφώσεις.
- Ο μηχανισμός κατάρρευσης δημιουργείται για μεγαλύτερη μετακίνηση κορυφής και για μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης. Αυτό σημαίνει ότι η μέθοδος ενίσχυσης A αύξησε την αντοχή του κτιρίου με αποτέλεσμα να μπορεί να παραλάβει μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης έως ότου δημιουργηθεί μηχανισμός κατάρρευσης.

- Η διαθέσιμη πλαστιμότητα του ενισχυόμενου φορέα για τη μέθοδο A είναι μεγαλύτερη από τη πλαστιμότητα της υφιστάμενης κατάστασης.
- Ο λόγος υπεραντοχής είναι αυξημένος σε σχέση με τον λόγο υπεραντοχής του Υφιστάμενου φορέα, οπότε ένα μεγαλύτερο μέρος της εισαγόμενης σεισμικής ενέργειας αποσβένεται μέσω των πλαστικών αρθρώσεων.
- Η ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης του ενισχυμένου φορέα είναι μεγαλύτερη για τη μέθοδο A απ' ό,τι για την υφιστάμενη κατάσταση.
- Η στοχευμένη μετακίνηση τόσο στην στάθμη SD όσο και στην στάθμη NC είναι μειωμένες σε σχέση με αυτές του Υφιστάμενου φορέα.
- Η ικανότητα μετακίνησης και στις δύο στάθμες είναι αυξημένη σε σχέση με του Υφιστάμενου φορέα.

➤ **Σεισμική φόρτιση στη Διεύθυνση y**

Έπειτα από την εφαρμογή των παραπάνω ενισχύσεων, πραγματοποιήθηκαν ανελαστικές αναλύσεις Pushover, και μέσω των διαγραμμάτων Δύναμης – Μετακίνησης F-d, και των διαγραμμάτων Απαίτησης Ικανότητας προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Το κτίριο μετά την ενίσχυση με τη Μέθοδο A, επαρκεί για τη Στάθμη Επιτελεστικότητας Σημαντικών Βλαβών (SD), όπως και για τη Στάθμη Επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευση (NC).
- Το διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης είχε ιδιαίτερα μεγάλη αλλαγή καθώς η δυσκαμψία της κατασκευής έγινε αρκετά μεγαλύτερη.
- Η διαθέσιμη πλαστιμότητα του ενισχυόμενου φορέα για τη μέθοδο A είναι μεγαλύτερη από τη πλαστιμότητα της υφιστάμενης κατάστασης.
- Η 1^η πλαστική άρθρωση γίνεται σε άκρο δοκού της οροφής του ισογείου.
- Η 1^η πλαστική άρθρωση δημιουργείται ίδια μετακίνηση κορυφής αλλά μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης, πράγμα που σημαίνει ότι ο φορέας έγινε πιο δύσκαμπτος.
- Ο μηχανισμός κατάρρευσης δημιουργείται για αρκετά μεγαλύτερη μετακίνηση κορυφής και για πολύ μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης. Αυτό σημαίνει ότι η μέθοδος ενίσχυσης A αύξησε την αντοχή του κτιρίου με αποτέλεσμα να μπορεί

να παραλάβει μεγαλύτερη τέμνουσα βάση έως ότου δημιουργηθεί μηχανισμός κατάρρευσης.

- Ο λόγος υπεραντοχής παρουσίασε σημαντική αύξηση σε σχέση με τον λόγο υπεραντοχής του Υφιστάμενου φορέα, οπότε ένα μεγαλύτερο μέρος της εισαγόμενης σεισμικής ενέργειας αποσβένεται μέσω των πλαστικών αρθρώσεων.
- Η ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης του ενισχυμένου φορέα είναι μεγαλύτερη για τη μέθοδο Α απ' ό τι για την υφιστάμενη κατάσταση.
- Η στοχευμένη μετακίνηση, τόσο στην στάθμη SD όσο και στην στάθμη NC, είναι μειωμένη σε σχέση με αυτή του Υφιστάμενου φορέα.
- Η ικανότητα μετακίνησης και στις δύο στάθμες είναι αυξημένη σε σχέση με του Υφιστάμενου φορέα.

5.3.2 Μέθοδος ενίσχυσης Β

Στη μέθοδος ενίσχυσης Β χρησιμοποιήσαμε τις εξής τεχνικές ενίσχυσης:

- i. Κατασκευή πλευρικών τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστλωμάτων
- ii. Ενίσχυση υποστλωμάτων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος
- iii. Ενίσχυση υποστλωμάτων με ινοπλισμένα πολυμερή (fip)
- iv. Ενίσχυση δοκών με πρόσθετε στρώσεις σκυροδέματος

Στη συνέχεια γίνεται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, που παρουσιάστηκαν προηγουμένως στο Κεφάλαιο 5, για κάθε διεύθυνση σεισμική φόρτισης.

Σεισμική φόρτιση στη Διεύθυνση x

Έπειτα από την εφαρμογή των παραπάνω ενισχύσεων, πραγματοποιήθηκαν ανελαστικές αναλύσεις Pushover, και μέσω των διαγραμμάτων Δύναμης – Μετακίνησης F-d, και των διαγραμμάτων Απαιτήσης Ικανότητας προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Το κτίριο μετά την ενίσχυση με τη Μέθοδο Α, επαρκεί για τη Στάθμη Επιτελεστικότητας Σημαντικών Βλαβών (SD), όπως και για τη Στάθμη Επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευση (NC).

- Το διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης είχε σημαντική αλλαγή καθώς η δυσκαμψία της κατασκευή έγινε μεγαλύτερη.
- Η 1^η πλαστική άρθρωση γίνεται σε άκρο δοκού της οροφής του ισογείου.
- Η 1^η πλαστική άρθρωση δημιουργείται για ελάχιστα μικρότερη μετακίνηση κορυφής αλλά αρκετά μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης, δηλαδή ο φορέας σε σχέση με τον Υφιστάμενο είναι περισσότερο δύσκαμπτος.
- Ο μηχανισμός κατάρρευσης δημιουργείται για μεγαλύτερη μετακίνηση κορυφής και για μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης. Αυτό σημαίνει ότι η μέθοδος ενίσχυσης A αύξησε την αντοχή του κτιρίου με αποτέλεσμα να μπορεί να παραλάβει μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης έως ότου δημιουργηθεί μηχανισμός κατάρρευσης.
- Η διαθέσιμη πλαστιμότητα του ενισχυόμενου φορέα για τη μέθοδο A είναι μεγαλύτερη από τη πλαστιμότητα της υφιστάμενης κατάστασης.
- Ο λόγος υπεραντοχής είναι αυξημένος σε σχέση με τον λόγο υπεραντοχής του Υφιστάμενου φορέα, οπότε ένα μεγαλύτερο μέρος της εισαγόμενης σεισμικής ενέργειας αποσβένεται μέσω των πλαστικών αρθρώσεων.
- Η ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης του ενισχυμένου φορέα είναι μεγαλύτερη για τη μέθοδο A απ' ό τι για την υφιστάμενη κατάσταση.
- Η στοχευμένη μετακίνηση τόσο στην στάθμη SD όσο και στην στάθμη NC είναι μειωμένες σε σχέση με αυτές του Υφιστάμενου φορέα.
- Η ικανότητα μετακίνησης και στις δύο στάθμες είναι αυξημένη σε σχέση με του Υφιστάμενου φορέα.

➤ **Σεισμική φόρτιση στη Διεύθυνση y**

Έπειτα από την εφαρμογή των παραπάνω ενισχύσεων , πραγματοποιήθηκαν ανελαστικές αναλύσεις Pushover , και μέσω των διαγραμμάτων Δύναμης – Μετακίνησης F-d , και των διαγραμμάτων Απαίτησης Ικανότητας προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα :

- Το κτίριο μετά την ενίσχυση με τη Μέθοδο A , επαρκεί για τη Στάθμη Επιτελεστικότητας Σημαντικών Βλαβών (SD), όπως και για τη Στάθμη Επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευση (NC).

- Το διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης είχε ιδιαίτερα μεγάλη αλλαγή καθώς η δυσκαμψία της κατασκευή έγινε αρκετά μεγαλύτερη.
- Η 1^η πλαστική άρθρωση γίνεται σε άκρο δοκού της οροφής του ισογείου.
- Η 1^η πλαστική άρθρωση δημιουργείται για μεγαλύτερη μετακίνηση κορυφής αλλά και μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης, δηλαδή ο φορέας σε σχέση με τον Υφιστάμενο παραμορφώνεται ελαστικά για μεγαλύτερες παραμορφώσεις.
- Ο μηχανισμός κατάρρευσης δημιουργείται για αρκετά μεγαλύτερη μετακίνηση κορυφής και για πολύ μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης. Αυτό σημαίνει ότι η μέθοδος ενίσχυσης Α αύξησε την αντοχή του κτιρίου με αποτέλεσμα να μπορεί να παραλάβει μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης έως ότου δημιουργηθεί μηχανισμός κατάρρευσης.
- Η διαθέσιμη πλαστιμότητα του ενισχυόμενου φορέα για τη μέθοδο Α είναι μεγαλύτερη από τη πλαστιμότητα της υφιστάμενης κατάστασης.
- Ο λόγος υπεραντοχής παρουσίασε μικρή αύξηση σε σχέση με τον λόγο υπεραντοχής του Υφιστάμενου φορέα, οπότε ένα μεγαλύτερο μέρος της εισαγόμενης σεισμικής ενέργειας αποσβένεται μέσω των πλαστικών αρθρώσεων.
- Η ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης του ενισχυμένου φορέα είναι μεγαλύτερη για τη μέθοδο Α απ' ό τι για την υφιστάμενη κατάσταση.
- Η στοχευμένη μετακίνηση, τόσο στην στάθμη SD όσο και στην στάθμη NC, είναι μειωμένη σε σχέση με αυτή του Υφιστάμενου φορέα.
- Η ικανότητα μετακίνησης και στις δύο στάθμες είναι αυξημένη σε σχέση με του Υφιστάμενου φορέα.

5.3.3 Μέθοδος ενίσχυσης Γ

Στη μέθοδος ενίσχυσης Β χρησιμοποιήσαμε τις εξής τεχνικές ενίσχυσης:

- i. Κατασκευή πλευρικών γωνιακών τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστυλωμάτων.
- ii. Ενίσχυση υποστυλωμάτων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος
- iii. Ενίσχυση υποστυλωμάτων με ινοπλισμένα πολυμερή (fgr)
- iv. Ενίσχυση δοκών με πρόσθετε στρώσεις σκυροδέματος

Στη συνέχεια γίνεται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, που παρουσιάστηκαν προηγουμένως στο Κεφάλαιο 5, για κάθε διεύθυνση σεισμική φόρτισης.

Σεισμική φόρτιση στη Διεύθυνση x

Έπειτα από την εφαρμογή των παραπάνω ενισχύσεων, πραγματοποιήθηκαν ανελαστικές αναλύσεις Pushover, και μέσω των διαγραμμάτων Δύναμης – Μετακίνησης F-d, και των διαγραμμάτων Απαίτησης Ικανότητας προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα :

- Το κτίριο μετά την ενίσχυση με τη Μέθοδο A, επαρκεί για τη Στάθμη Επιτελεστικότητας Σημαντικών Βλαβών (SD), όπως και για τη Στάθμη Επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευση (NC).
- Το διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης είχε σημαντική αλλαγή καθώς η δυσκαμψία της κατασκευή έγινε μεγαλύτερη.
- Η 1^η πλαστική άρθρωση γίνεται σε άκρο δοκού της οροφής του ισογείου.
- Η 1^η πλαστική άρθρωση δημιουργείται για ελάχιστα μικρότερη μετακίνηση κορυφής αλλά αρκετά μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης, δηλαδή ο φορέας σε σχέση με τον Υφιστάμενο είναι περισσότερο δύσκαμπτος.
- Ο μηχανισμός κατάρρευσης δημιουργείται για μεγαλύτερη μετακίνηση κορυφής και για μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης. Αυτό σημαίνει ότι η μέθοδος ενίσχυσης A αύξησε την αντοχή του κτιρίου με αποτέλεσμα να μπορεί να παραλάβει μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης έως ότου δημιουργηθεί μηχανισμός κατάρρευσης.
- Η διαθέσιμη πλαστιμότητα του ενισχυόμενου φορέα για τη μέθοδο A είναι μεγαλύτερη από τη πλαστιμότητα της υφιστάμενης κατάστασης.
- Ο λόγος υπεραντοχής είναι αυξημένος σε σχέση με τον λόγο υπεραντοχής του Υφιστάμενου φορέα, οπότε ένα μεγαλύτερο μέρος της εισαγόμενης σεισμικής ενέργειας αποσβένεται μέσω των πλαστικών αρθρώσεων.
- Η ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης του ενισχυμένου φορέα είναι μεγαλύτερη για τη μέθοδο A απ' ό τι για την υφιστάμενη κατάσταση.
- Η στοχευμένη μετακίνηση τόσο στην στάθμη SD όσο και στην στάθμη NC είναι ελάχιστα μειωμένες σε σχέση με αυτές του Υφιστάμενου φορέα.
- Η ικανότητα μετακίνησης και στις δύο στάθμες είναι αυξημένη σε σχέση με του Υφιστάμενου φορέα.

➤ Σεισμική φόρτιση στη Διεύθυνση y

Έπειτα από την εφαρμογή των παραπάνω ενισχύσεων , πραγματοποιήθηκαν ανελαστικές αναλύσεις Pushover , και μέσω των διαγραμμάτων Δύναμης – Μετακίνησης F-d , και των διαγραμμάτων Απαίτησης Ικανότητας προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα :

- Το κτίριο μετά την ενίσχυση με τη Μέθοδο A , επαρκεί για τη Στάθμη Επιτελεστικότητας Σημαντικών Βλαβών (SD), όπως και για τη Στάθμη Επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευση (NC).
- Το διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης είχε ιδιαίτερα μεγάλη αλλαγή καθώς η δυσκαμψία της κατασκευή έγινε αρκετά μεγαλύτερη.
- Η 1^η πλαστική άρθρωση γίνεται σε άκρο δοκού της οροφής του ισογείου.
- Η 1^η πλαστική άρθρωση δημιουργείται για μεγαλύτερη μετακίνηση κορυφής αλλά και μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης, δηλαδή ο φορέας σε σχέση με τον Υφιστάμενο παραμορφώνεται ελαστικά για μεγαλύτερες παραμορφώσεις.
- Ο μηχανισμός κατάρρευσης δημιουργείται για αρκετά μεγαλύτερη μετακίνηση κορυφής και για πολύ μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης. Αυτό σημαίνει ότι η μέθοδος ενίσχυσης A αύξησε την αντοχή του κτιρίου με αποτέλεσμα να μπορεί να παραλάβει μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης έως ότου δημιουργηθεί μηχανισμός κατάρρευσης.
- Η διαθέσιμη πλαστιμότητα του ενισχυόμενου φορέα για τη μέθοδο A είναι μεγαλύτερη από τη πλαστιμότητα της υφιστάμενης κατάστασης.
- Ο λόγος υπεραντοχής παρουσίασε μικρή αύξηση σε σχέση με τον λόγο υπεραντοχής του Υφιστάμενου φορέα, οπότε ένα μεγαλύτερο μέρος της εισαγόμενης σεισμικής ενέργειας αποσβένεται μέσω των πλαστικών αρθρώσεων.
- Η ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης του ενισχυμένου φορέα είναι μεγαλύτερη για τη μέθοδο A απ' ό τι για την υφιστάμενη κατάσταση.
- Η στοχευμένη μετακίνηση, τόσο στην στάθμη SD όσο και στην στάθμη NC, είναι μειωμένη σε σχέση με αυτή του Υφιστάμενου φορέα.
- Η ικανότητα μετακίνησης και στις δύο στάθμες είναι αυξημένη σε σχέση με του Υφιστάμενου φορέα.

Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε μελέτη αποτίμησης φέρουσας ικανότητας και ενίσχυσης υφιστάμενου διώροφου κτιρίου που βρίσκεται στο κέντρο της πόλης του Βόλου και η χρήσεις του είναι στο ισόγειο καταστήματα και στους υπόλοιπους ορόφους κατοικίες. Για τις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Fespa της LH Λογισμική. Για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας του κτιρίου και τη στρατηγική των επεμβάσεων εφαρμόστηκαν οι διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (Κανονισμός Επεμβάσεων), του ΕΑΚ 2000 (Ελληνικό Αντισεισμικός Κανονισμός) και του Ευρωκώδικα 2 και 8. Η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας του κτιρίου έγινε με την ανελαστική ανάλυση Pushover και έχοντας ορίσει ως στάθμες επιτελεστικότητας την Σημαντικών Βλαβών (SD) και την Οιονεί Κατάρρευση (NC) όπως προτείνουν οι κανονισμοί. Προτάθηκαν τρεις μέθοδοι ενίσχυσης, η Α, η Β και η Γ. Κατά την μέθοδο ενίσχυσης Α έγινε ενίσχυση υποστυλωμάτων με πρόσθετα υποστυλώματα και ινοπλισμένα πολυμερή (FRP) και για τις δοκούς ενίσχυσης με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος. Κατά την μέθοδο ενίσχυσης Β έγινε κατασκευή πλευρικών τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστυλωμάτων, ενίσχυση υποστυλωμάτων με πρόσθετα υποστυλώματα και FRP και ενίσχυση δοκών με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος. Τέλος κατά την μέθοδο ενίσχυσης Γ έγινε κατασκευή τοιχωμάτων πλευρικά σε συνέχεια γωνιακών υποστυλωμάτων, ενίσχυση υποστυλωμάτων με πρόσθετα υποστυλώματα και FRP και ενίσχυση δοκών με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος.

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων Pushover που εφαρμόσαμε στον υφιστάμενο φορέα και στους ενισχυμένους φορείς προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα.

1. Κατά τον έλεγχο επάρκειας του υφιστάμενου φορέα στις Στάθμες Επιτελεστικότητας Σημαντικές Βλάβες (SD) και (NC) διαπιστώθηκε ότι ο φορέας επαρκεί στην στάθμη SD αλλά δεν επαρκεί για την στάθμη NC και στις δύο διευθύνσεις φόρτισης (x,y).
2. Με τις μεθόδους ενίσχυσης Α, Β και Γ ο φορέας απέκτησε την ικανότητα να επαρκεί τόσο για την Στάθμη Επιτελεστικότητας SD όσο και για την Στάθμη Επιτελεστικότητας NC και για τις δύο διευθύνσεις φόρτισης (x, y).

3. Η ικανότητα μετακίνησης για τις στάθμες επιτελεσματικότητας αυξήθηκε και με τις τρεις μεθόδους ενίσχυσης, οπότε το κτίριο καθίσταται ικανό να παραλάβει μεγαλύτερες φορτίσεις/μετακινήσεις.
4. Στον υφιστάμενο φορέα ο μέγιστος λόγος επάρκειας υποστυλωμάτων ήταν $\lambda=1.81$ και με τις μεθόδους ενίσχυσης A, B και Γ γίνεται $\lambda=0.85$, $\lambda=0.93$, $\lambda=0.91$ αντίστοιχα.
5. Στον Υφιστάμενο φορέα ο μέγιστος λόγος επάρκειας δοκών ήταν $\lambda=1.26$ και με τις μεθόδους ενίσχυσης A, B και Γ είναι $\lambda=0.95$, $\lambda=0.92$, $\lambda=0.92$ αντίστοιχα.
6. Και με τις τρεις μεθόδους ενίσχυσης αυξάνεται σημαντικά η δυσκαμψία και την αντοχή του φορέα και για τις δύο διευθύνσεις φόρτισης (x,y). Παρατηρήθηκε ότι και οι τρεις μέθοδοι ενίσχυσης είχαν παρόμοια απόκριση για την διεύθυνση φόρτισης y. Για την διεύθυνση φόρτισης x παρατηρήσαμε ότι οι μέθοδοι ενίσχυσης A και Γ είχαν παρόμοια απόκριση ενώ η μέθοδος ενίσχυσης B παρουσίασε ακόμα μεγαλύτερη αύξηση της δυσκαμψίας του φορέα.
7. Η διαθέσιμη πλαστιμότητα αυξάνεται και με τις τρεις μεθόδους ενίσχυσης και για τις δύο διευθύνσεις φόρτισης (x,y), κάτι που δείχνει τη δυνατότητα του κτιρίου να απορροφά ενέργεια μέσω δημιουργίας πλαστικών αρθρώσεων.
8. Ο λόγος υπεραντοχής αυξήθηκε και με τις τρεις μεθόδους ενίσχυσης και για τις δύο διευθύνσεις φόρτισης (x, y), ιδιαίτερα για την x.
9. Παρατηρήθηκε και στις τρεις μεθόδους ενίσχυσης ότι ο φορέας είχε μειωμένη απόκριση κατά της επιβολή της ιδιομορφικής φόρτισης σε σχέση με την επιβολή της ομοιόμορφης φόρτισης και στις δύο διευθύνσεις φόρτισης x & y. Αυτό οφείλεται στο ότι κατά την ιδιομορφική φόρτιση επιβάλλονται μεγαλύτερα φορτία.
10. Με την σύγκριση των τριών μεθόδων ενίσχυσης διαπιστώθηκε ότι με την μέθοδο ενίσχυσης B (προσθήκη πλευρικών τοιχωμάτων σε συνέχεια υπ/των) ο φορέας απέκτησε σημαντικά μεγαλύτερη δυσκαμψία κατά την διεύθυνση x ενώ η δυσκαμψία των άλλων δύο μεθόδων ενίσχυσης A και Γ

κατά αυτή τη διεύθυνση ήταν μεταξύ τους παρόμοια. Κατά τη διεύθυνση y η δυσκαμψία του φορέα είναι παρόμοια και με τις τρεις μεθόδους ενίσχυσης.

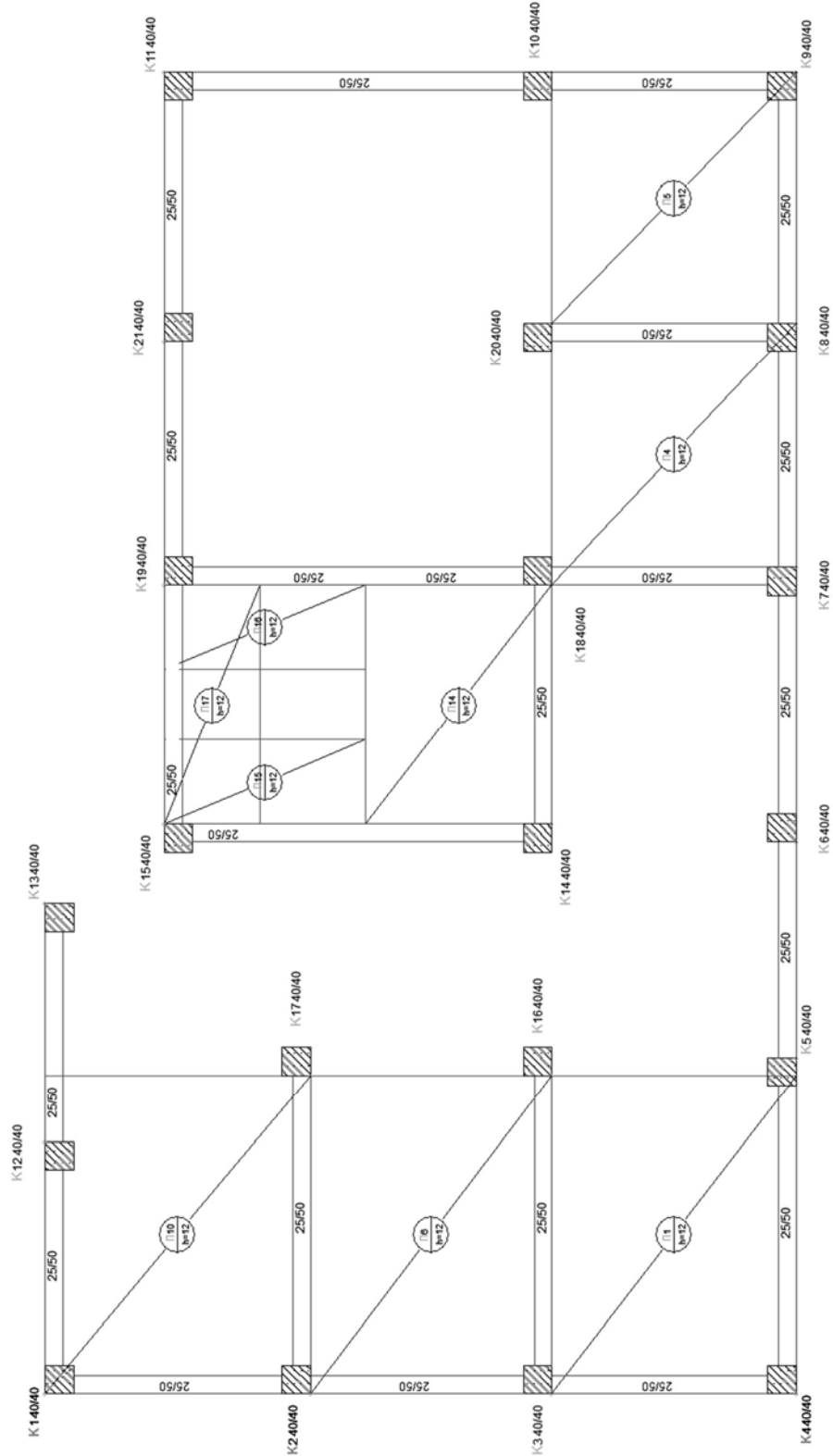
11. Η τελική απόφαση για την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου ενισχύσεως, θα εξαρτηθεί από την επιθυμητή σεισμική συμπεριφορά του κτιρίου αλλά και από το κόστος που θα απαιτήσει η κάθε μέθοδος για να εφαρμοστεί.

Βιβλιογραφία

- [1] Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (Ε.Α.Κ. 2000), Ο.Α.Σ.Π., Αθήνα 2006
- [2] Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος (Ε.Κ.Ω.Σ. 2000), Ο.Α.Σ.Π., Αθήνα 2005
- [3] Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος (1954), Εφημερίδα της Κυβέρνησης του Βασιλείου της Ελλάδος, Τεύχος πρώτον, Αρ. Φύλου 160
- [4] Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings (EN 1998 – 1: 2004)
- [5] Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 3: Assessment and retrofitting of buildings, (EN 1998 – 1: 2004)
- [6] Σπυράκος Κ. (2004). Ενίσχυση Κατασκευών για Σεισμικά Φορτία. Αθήνα: Εκδόσεις Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας.
- [7] LH Λογισμική (Οκτώβριος 2013). Pushover Θεωρητικά Στοιχεία. Αθήνα 2013.
- [8] Δρίτσος, Η. Στέφανος (2003). Στρατηγικές και Σχεδιασμός Αντισεισμικής Ενίσχυσης Κτιρίων. <http://www.teepelop.gr/wp-content/uploads/2003/11/dritsos.pdf>
- [9] Δρίτσος, Η. Στέφανος (2006). Τα σύνθετα υλικά στις κατασκευές. http://library.tee.gr/digital/m2173/m2173_dritsos.pdf

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Στο Παράρτημα Α παρουσιάζονται οι υφιστάμενοι οπλισμοί των υποστυλωμάτων και των δοκών για κάθε όροφο.



I

Σχήμα 0.1 Ευλόγυτος οροφής Ισογείου

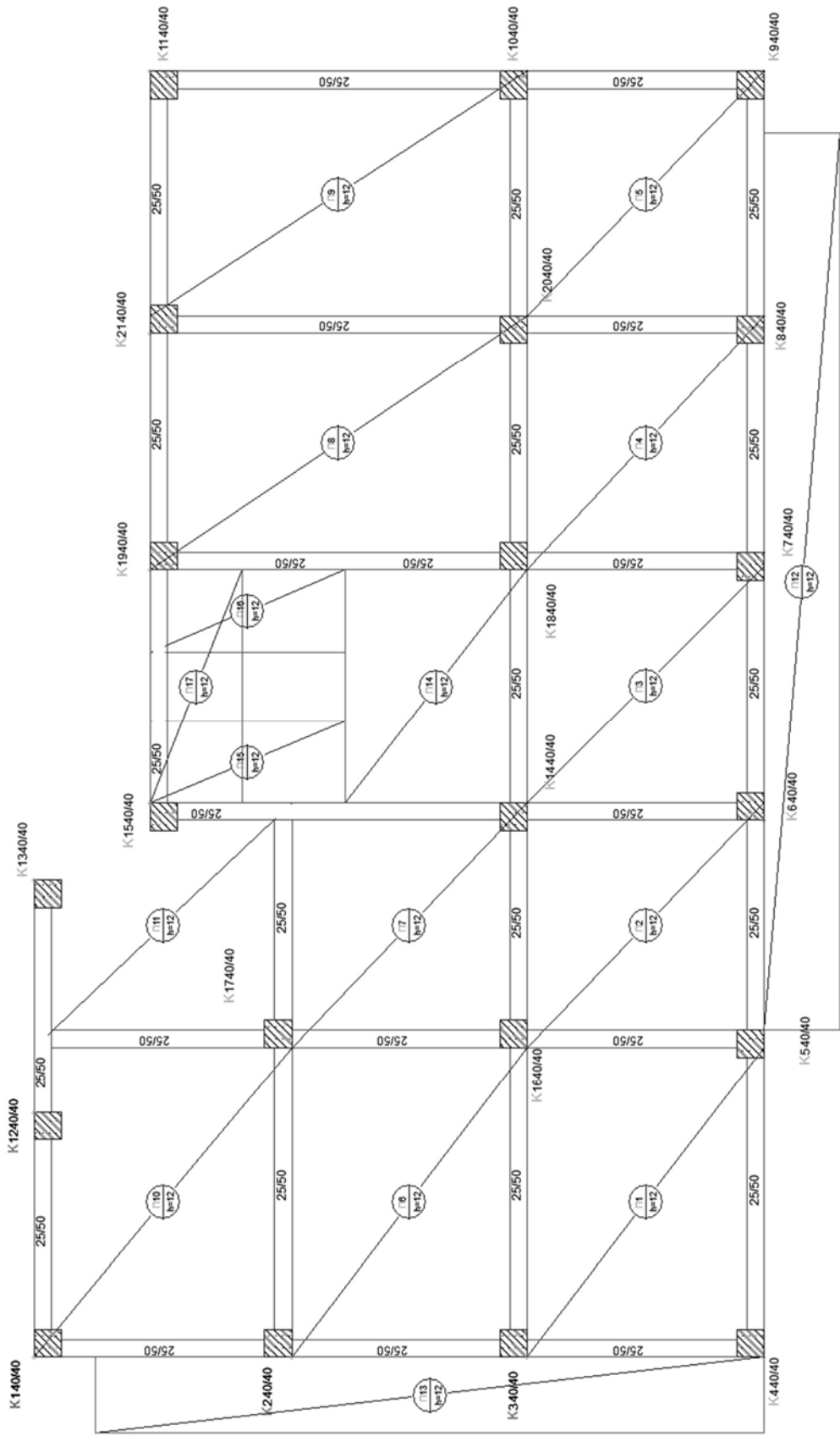
Τα υποστυλώματα του φορέα είναι ίδια για όλους τους ορόφους.

Πίνακας 0.1 Διατομές και οπλισμοί υποστυλωμάτων Ισογείου και Τυπικού ορόφου

Υποστυλώματα			
Τυπικός Όροφος			
Υπ/μα	Διατομή	Διμήκης οπλ.	Συνδετήρες
K1	40/40	8Φ20	ΣΦ8/25
K2	40/40	8Φ20	ΣΦ8/25
K3	40/40	8Φ20	ΣΦ8/25
K4	40/40	8Φ20	ΣΦ8/25
K5	40/40	8Φ20	ΣΦ8/25
K6	40/40	8Φ20	ΣΦ8/25
K7	40/40	8Φ20	ΣΦ8/25
K8	40/40	8Φ20	ΣΦ8/25
K9	40/40	8Φ20	ΣΦ8/25
K10	40/40	8Φ20	ΣΦ8/25
K11	40/40	8Φ20	ΣΦ8/25
K12	40/40	8Φ20	ΣΦ8/25
K13	40/40	8Φ20	ΣΦ8/25
K14	40/40	8Φ20	ΣΦ8/25
K15	40/40	8Φ20	ΣΦ8/25
K16	40/40	8Φ20	ΣΦ8/25
K17	40/40	8Φ20	ΣΦ8/25
K18	40/40	8Φ20	ΣΦ8/25
K19	40/40	8Φ20	ΣΦ8/25
K20	40/40	8Φ20	ΣΦ8/25
K21	40/40	8Φ20	ΣΦ8/25

Πίνακας 0.2 Διατομές και σπλισμοί δοκών οροφής ισογείου

ΔΟΚΟΙ								
Οροφή Ισογείου								
Δοκός	Διατομή	Αριστερό άκρο		Μέσο		Δεξιό άκρο		Συνδετήρες
		Άνω	Κάτω	Άνω	Κάτω	Άνω	Κάτω	
1.1(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
1.2(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
1.3(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
1.4(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
1.5(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
2.1(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
4.1(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
5.1(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
5.2(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
5.3(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
6.1(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
6.2(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
6.3(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
6.4(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
6.5(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
7.1(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
7.2(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
7.3(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
9.1(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
9.2(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
9.3(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
10.1(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
10.2(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
10.3(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
10.4(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
11.1(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
12.1(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
12.2(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25
15.1(0)	25/50	2Φ12+2Φ16	2Φ16	2Φ12	4Φ16	2Φ12+2Φ16	2Φ16	ΣΦ8/25



IV

Σχήμα 0.2 Ευλόγυτος οροφής Γυπικού Ορόσου

Πίνακας 0.3 Διατομές και οπλισμοί δοκών οροφής Τυπικού ορόφου

ΔΟΚΟΙ								
Τυπικός Όροφος								
Δοκός	Διατομή	Αριστερό άκρο		Μέσο		Δεξιό άκρο		Συνδετήρες
		Άνω	Κάτω	Άνω	Κάτω	Άνω	Κάτω	
1.1	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
1.2	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
1.3	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
1.4	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
1.5	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
2.1	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
2.2	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
2.3	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
2.4	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
2.5	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
4.1	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
4.2	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
5.1	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
5.2	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
6.1	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
6.4	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
6.5	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
7.2	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
7.3	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
7.4	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
8.2	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
8.3	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
8.4	25/50	2Φ12+2Φ14	2Φ14	2Φ12	4Φ14	2Φ12+2Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
9.1	25/50	4Φ14	2Φ14	2Φ14	4Φ14	4Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
9.5	25/50	4Φ14	2Φ14	2Φ14	4Φ14	4Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
10.1	25/50	4Φ14	2Φ14	2Φ14	4Φ14	4Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
10.2	25/50	4Φ14	2Φ14	2Φ14	4Φ14	4Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
11.1	25/50	4Φ14	2Φ14	2Φ14	4Φ14	4Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
11.2	25/50	4Φ14	2Φ14	2Φ14	4Φ14	4Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
12.1	25/50	4Φ14	2Φ14	2Φ14	4Φ14	4Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25
12.2	25/50	4Φ14	2Φ14	2Φ14	4Φ14	4Φ14	2Φ14	ΣΦ8/25

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Στο Παράρτημα Β, παρουσιάζονται οι πίνακες που προέκυψαν από τις ανελαστικές αναλύσεις του υφιστάμενου φορέα, χρησιμοποιώντας το λογισμικό Fespa, στους οποίους πίνακες αναγράφονται οι λόγοι επάρκειας των δοκών και των υποστυλωμάτων για τις στάθμες επιτελεστικότητας Σημαντικών Βλαβών (SD) και Οιονεί Κατάρρευση (NC).

Πίνακας 0.4 Λόγοι επάρκειας Υποστυλωμάτων

Πίνακες υποστυλωμάτων

Συγκεντρωτικός πίνακας λόγων επάρκειας Υποστυλωμάτων

Μέλος	Κ/Δ	ΛΔΙ Αρχής	ΛΔΙ Τέλους	ΛSD Αρχής	ΛSD Τέλους	ΛNC Αρχής	ΛNC Τέλους	λ VRy	λ VRz
K 1(0)	Κύριο	-	-	0.69	0.18	1.36 !	0.26	0.58	0.60
K 1(1)	Κύριο	-	-	0.25	0.28	0.16	0.33	0.41	0.44
K 1(2)	Κύριο	-	-	0.13	0.33	0.17	0.37	0.30	0.30
K 1(3)	Κύριο	-	-	0.09	0.26	0.12	0.30	0.14	0.24
K 2(0)	Κύριο	-	-	0.71	0.22	1.49 !	0.35	0.51	0.65
K 2(1)	Κύριο	-	-	0.39	0.41	0.35	0.45	0.37	0.82
K 2(2)	Κύριο	-	-	0.22	0.41	0.22	0.51	0.23	0.57
K 2(3)	Κύριο	-	-	0.12	0.29	0.15	0.35	0.20	0.46
K 3(0)	Κύριο	-	-	0.79	0.30	1.54 !	0.31	0.58	0.65
K 3(1)	Κύριο	-	-	0.38	0.41	0.33	0.46	0.32	0.84
K 3(2)	Κύριο	-	-	0.20	0.42	0.20	0.54	0.23	0.57
K 3(3)	Κύριο	-	-	0.13	0.29	0.15	0.35	0.19	0.43
K 4(0)	Κύριο	-	-	0.75	0.18	1.34 !	0.23	0.61	0.57
K 4(1)	Κύριο	-	-	0.22	0.30	0.13	0.34	0.38	0.43
K 4(2)	Κύριο	-	-	0.12	0.35	0.14	0.38	0.29	0.29
K 4(3)	Κύριο	-	-	0.08	0.25	0.11	0.29	0.18	0.23
K 5(0)	Κύριο	-	-	0.75	0.31	1.27 !	0.38	0.69	0.45
K 5(1)	Κύριο	-	-	0.33	0.40	0.31	0.47	0.86	0.25
K 5(2)	Κύριο	-	-	0.24	0.42	0.21	0.48	0.56	0.24
K 5(3)	Κύριο	-	-	0.10	0.28	0.11	0.30	0.38	0.21
K 6(0)	Κύριο	-	-	0.69	0.27	1.24 !	0.36	0.67	0.42
K 6(1)	Κύριο	-	-	0.32	0.41	0.30	0.46	0.91	0.30
K 6(2)	Κύριο	-	-	0.22	0.41	0.23	0.48	0.59	0.27
K 6(3)	Κύριο	-	-	0.11	0.25	0.12	0.28	0.43	0.16
K 7(0)	Κύριο	-	-	0.74	0.27	1.44 !	0.36	0.70	0.54
K 7(1)	Κύριο	-	-	0.32	0.44	0.31	0.52	0.87	0.35
K 7(2)	Κύριο	-	-	0.25	0.42	0.22	0.49	0.60	0.36
K 7(3)	Κύριο	-	-	0.10	0.28	0.10	0.30	0.41	0.21
K 8(0)	Κύριο	-	-	0.79	0.26	1.58 !	0.36	0.68	0.53
K 8(1)	Κύριο	-	-	0.30	0.45	0.37	0.60	0.86	0.32
K 8(2)	Κύριο	-	-	0.28	0.44	0.21	0.51	0.58	0.39
K 8(3)	Κύριο	-	-	0.09	0.29	0.12	0.31	0.38	0.20
K 9(0)	Κύριο	-	-	0.76	0.20	1.55 !	0.23	0.61	0.63
K 9(1)	Κύριο	-	-	0.21	0.33	0.12	0.42	0.40	0.49
K 9(2)	Κύριο	-	-	0.16	0.37	0.16	0.44	0.30	0.43
K 9(3)	Κύριο	-	-	0.08	0.24	0.13	0.25	0.20	0.22
K 10(0)	Κύριο	-	-	0.83	0.33	1.81 !	0.41	0.50	0.68
K 10(1)	Κύριο	-	-	0.38	0.46	0.33	0.66	0.16	0.95
K 10(2)	Κύριο	-	-	0.22	0.44	0.25	0.66	0.23	0.65
K 10(3)	Κύριο	-	-	0.13	0.29	0.17	0.33	0.19	0.54
K 11(0)	Κύριο	-	-	0.73	0.19	1.46 !	0.24	0.58	0.60
K 11(1)	Κύριο	-	-	0.20	0.34	0.12	0.39	0.41	0.48
K 11(2)	Κύριο	-	-	0.14	0.37	0.19	0.42	0.29	0.39
K 11(3)	Κύριο	-	-	0.08	0.23	0.13	0.28	0.18	0.27
K 12(0)	Κύριο	-	-	0.69	0.32	1.21 !	0.38	0.67	0.45
K 12(1)	Κύριο	-	-	0.31	0.35	0.32	0.42	0.89	0.18
K 12(2)	Κύριο	-	-	0.20	0.36	0.21	0.43	0.59	0.19
K 12(3)	Κύριο	-	-	0.15	0.21	0.18	0.25	0.38	0.10
K 13(0)	Κύριο	-	-	0.61	0.22	1.07 !	0.24	0.60	0.41
K 13(1)	Κύριο	-	-	0.11	0.22	0.12	0.30	0.47	0.26

K 13(2)	Κύριο	-	-	0.20	0.25	0.18	0.32	0.30	0.11
K 13(3)	Κύριο	-	-	0.13	0.18	0.16	0.21	0.23	0.12
K 14(0)	Κύριο	-	-	0.63	0.18	1.11 !	0.23	0.52	0.50
K 14(1)	Κύριο	-	-	0.15	0.46	0.14	0.51	0.54	0.65
K 14(2)	Κύριο	-	-	0.35	0.45	0.24	0.53	0.60	0.59
K 14(3)	Κύριο	-	-	0.16	0.26	0.10	0.29	0.36	0.42
K 15(0)	Κύριο	-	-	0.61	0.19	1.14 !	0.27	0.53	0.53
K 15(1)	Κύριο	-	-	0.18	0.32	0.14	0.36	0.42	0.47
K 15(2)	Κύριο	-	-	0.13	0.35	0.19	0.37	0.38	0.38
K 15(3)	Κύριο	-	-	0.13	0.28	0.16	0.28	0.19	0.35
K 16(0)	Κύριο	-	-	0.68	0.21	1.28 !	0.22	0.54	0.42
K 16(1)	Κύριο	-	-	0.18	0.48	0.18	0.55	0.54	0.47
K 16(2)	Κύριο	-	-	0.34	0.49	0.19	0.55	0.54	0.52
K 16(3)	Κύριο	-	-	0.16	0.33	0.12	0.34	0.38	0.37
K 17(0)	Κύριο	-	-	0.61	0.15	1.28 !	0.22	0.49	0.44
K 17(1)	Κύριο	-	-	0.21	0.45	0.20	0.53	0.56	0.50
K 17(2)	Κύριο	-	-	0.30	0.42	0.21	0.55	0.57	0.54
K 17(3)	Κύριο	-	-	0.11	0.28	0.08	0.31	0.36	0.35
K 18(0)	Κύριο	-	-	0.74	0.26	1.52 !	0.33	0.53	0.66
K 18(1)	Κύριο	-	-	0.37	0.52	0.30	0.57	0.51	0.83
K 18(2)	Κύριο	-	-	0.34	0.47	0.21	0.61	0.54	0.60
K 18(3)	Κύριο	-	-	0.16	0.28	0.10	0.31	0.32	0.48
K 19(0)	Κύριο	-	-	0.70	0.27	1.34 !	0.34	0.66	0.55
K 19(1)	Κύριο	-	-	0.33	0.40	0.29	0.49	0.82	0.45
K 19(2)	Κύριο	-	-	0.23	0.40	0.21	0.46	0.57	0.34
K 19(3)	Κύριο	-	-	0.12	0.30	0.11	0.31	0.37	0.30
K 20(0)	Κύριο	-	-	0.68	0.12	1.49 !	0.19	0.50	0.52
K 20(1)	Κύριο	-	-	0.16	0.51	0.15	0.60	0.34	0.54
K 20(2)	Κύριο	-	-	0.38	0.51	0.27	0.67	0.52	0.61
K 20(3)	Κύριο	-	-	0.14	0.35	0.11	0.35	0.31	0.50
K 21(0)	Κύριο	-	-	0.72	0.32	1.48 !	0.33	0.65	0.45
K 21(1)	Κύριο	-	-	0.32	0.43	0.39	0.53	0.80	0.30
K 21(2)	Κύριο	-	-	0.28	0.41	0.20	0.48	0.52	0.33
K 21(3)	Κύριο	-	-	0.12	0.33	0.13	0.33	0.34	0.31

Σημείωση: Ο λόγος επάρκειας έναντι διάτμησης υπολογίζεται στη στάθμη: NC

Πίνακας 0.5 Μέγιστα Λόγων επάρκειας Υποστυλωμάτων

Μέγιστα λόγων επάρκειας υποστυλωμάτων - Έλεγχος στροφής.

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος [/]	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας [/]
DL	-	-	-
SD	K 10(0)	Κύριο	0.83
NC	K 10(0)	Κύριο	1.81

Μέγιστα λόγων επάρκειας υποστυλωμάτων - Έλεγχος διάτμησης.

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος [/]	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας [/]
DL	-	-	-
SD	K 10(1)	Κύριο	0.85
NC	K 10(1)	Κύριο	0.95

Πίνακας 0.6 Λόγοι επάρκειας δοκών

Πίνακες δοκών

Συγκεντρωτικός πίνακας λόγων επάρκειας Δοκών

Μέλος	Κ/Δ	ΛΔΙ Αρχής	ΛΔΙ Τέλους	ΛSD Αρχής	ΛSD Τέλους	ΛNC Αρχής	ΛNC Τέλους	λ VRγ Αρχής	λ VRγ Τέλους
Δ 1.1(0)	Κύριο	-	-	0.52	0.37	0.86	0.63	0.27	0.28
Δ 1.2(0)	Κύριο	-	-	0.41	0.40	0.77	0.70	0.30	0.29
Δ 1.3(0)	Κύριο	-	-	0.41	0.40	0.75	0.69	0.29	0.29
Δ 1.4(0)	Κύριο	-	-	0.42	0.41	0.77	0.73	0.35	0.33
Δ 1.5(0)	Κύριο	-	-	0.40	0.56	0.71	0.88	0.32	0.29
Δ 2.1(0)	Κύριο	-	-	0.49	0.57	0.82	0.84	0.41	0.41
Δ 4.1(0)	Κύριο	-	-	0.46	0.52	0.84	0.85	0.42	0.42
Δ 5.1(0)	Κύριο	-	-	0.51	0.40	0.92	0.71	0.37	0.39
Δ 5.2(0)	Κύριο	-	-	0.31	-	0.62	-	0.40	-
Δ 5.3(0)	Κύριο	-	-	-	0.56	-	0.89	-	0.31
Δ 6.1(0)	Κύριο	-	-	0.50	-	0.85	-	0.33	-
Δ 6.3(0)	Κύριο	-	-	-	0.32	-	0.63	-	0.28
Δ 6.4(0)	Κύριο	-	-	0.40	0.39	0.74	0.70	0.34	0.34
Δ 6.5(0)	Κύριο	-	-	0.38	0.55	0.68	0.89	0.32	0.31
Δ 7.1(0)	Κύριο	-	-	0.73	0.43	1.19 !	0.87	0.36	0.36
Δ 7.2(0)	Κύριο	-	-	0.50	0.46	0.99	0.94	0.41	0.39
Δ 7.3(0)	Κύριο	-	-	0.47	0.68	0.91	1.18 !	0.38	0.38
Δ 9.1(0)	Κύριο	-	-	0.55	-	0.85	-	0.43	-
Δ 9.3(0)	Κύριο	-	-	-	0.49	-	0.80	-	0.28
Δ 10.1(0)	Κύριο	-	-	0.63	0.44	0.99	0.81	0.28	0.38
Δ 10.2(0)	Κύριο	-	-	0.38	-	0.78	-	0.40	-
Δ 10.4(0)	Κύριο	-	-	-	0.59	-	0.97	-	0.33
Δ 11.1(0)	Κύριο	-	-	0.70	0.71	1.08 !	1.10 !	0.41	0.42
Δ 12.1(0)	Κύριο	-	-	0.74	0.56	1.26 !	1.15 !	0.49	0.53
Δ 12.2(0)	Κύριο	-	-	0.45	0.68	0.92	1.15 !	0.34	0.34
Δ 15.1(0)	Κύριο	-	-	0.56	0.53	0.86	0.82	0.29	0.28
Δ 1.1(1)	Κύριο	-	-	0.49	0.38	0.74	0.62	0.31	0.34
Δ 1.2(1)	Κύριο	-	-	0.42	0.41	0.75	0.72	0.47	0.46
Δ 1.3(1)	Κύριο	-	-	0.44	0.39	0.78	0.69	0.49	0.46
Δ 1.4(1)	Κύριο	-	-	0.42	0.41	0.75	0.71	0.48	0.47
Δ 1.5(1)	Κύριο	-	-	0.39	0.53	0.67	0.78	0.45	0.43
Δ 2.1(1)	Κύριο	-	-	0.45	0.34	0.70	0.59	0.41	0.43
Δ 2.2(1)	Κύριο	-	-	0.38	0.38	0.66	0.65	0.43	0.43
Δ 2.3(1)	Κύριο	-	-	0.34	0.34	0.61	0.59	0.37	0.37
Δ 2.4(1)	Κύριο	-	-	0.38	0.37	0.66	0.63	0.44	0.43
Δ 2.5(1)	Κύριο	-	-	0.33	0.50	0.55	0.75	0.37	0.36
Δ 4.1(1)	Κύριο	-	-	0.48	0.35	0.75	0.62	0.46	0.46
Δ 4.2(1)	Κύριο	-	-	0.33	0.03	0.55	0.20	0.36	0.24
Δ 5.1(1)	Κύριο	-	-	0.48	0.41	0.81	0.71	0.40	0.45
Δ 5.2(1)	Κύριο	-	-	0.29	-	0.72	-	0.77	-
Δ 5.3(1)	Κύριο	-	-	-	0.63	-	0.90	-	0.54
Δ 6.1(1)	Κύριο	-	-	0.44	-	0.72	-	0.35	-
Δ 6.3(1)	Κύριο	-	-	-	0.29	-	0.61	-	0.34
Δ 6.4(1)	Κύριο	-	-	0.41	0.39	0.71	0.66	0.42	0.39
Δ 6.5(1)	Κύριο	-	-	0.39	0.50	0.66	0.78	0.39	0.38
Δ 7.2(1)	Κύριο	-	-	0.75	0.45	1.12 !	0.85	0.53	0.51
Δ 7.3(1)	Κύριο	-	-	0.59	0.50	0.98	0.94	0.60	0.57
Δ 7.4(1)	Κύριο	-	-	0.48	0.69	0.89	1.08 !	0.51	0.50
Δ 8.2(1)	Κύριο	-	-	0.63	0.42	0.98	0.76	0.47	0.46
Δ 8.3(1)	Κύριο	-	-	0.51	0.44	0.90	0.81	0.51	0.48
Δ 8.4(1)	Κύριο	-	-	0.38	0.13	0.66	0.49	0.43	0.31
Δ 9.1(1)	Κύριο	-	-	0.60	-	0.87	-	0.94	-
Δ 9.4(1)	Κύριο	-	-	-	0.34	-	0.71	-	0.58

Δ 9.4(1)	Κύριο	-	-	-	0.34	-	0.71	-	0.58
Δ 9.5(1)	Κύριο	-	-	0.40	0.54	0.65	0.87	0.42	0.41
Δ 10.1(1)	Κύριο	-	-	0.54	0.43	0.92	0.77	0.48	0.50
Δ 10.2(1)	Κύριο	-	-	0.39	-	0.77	-	0.76	-
Δ 10.4(1)	Κύριο	-	-	-	0.64	-	0.97	-	0.64
Δ 11.1(1)	Κύριο	-	-	0.59	0.46	1.00	0.86	0.52	0.54
Δ 11.2(1)	Κύριο	-	-	0.44	0.63	0.83	0.98	0.68	0.72
Δ 12.1(1)	Κύριο	-	-	0.61	0.50	0.98	0.91	0.51	0.54
Δ 12.2(1)	Κύριο	-	-	0.45	0.67	0.81	0.98	0.52	0.57
Δ 1.1(2)	Κύριο	-	-	0.35	0.23	0.47	0.30	0.26	0.27
Δ 1.2(2)	Κύριο	-	-	0.27	0.25	0.35	0.35	0.37	0.36
Δ 1.3(2)	Κύριο	-	-	0.25	0.26	0.33	0.36	0.37	0.36
Δ 1.4(2)	Κύριο	-	-	0.26	0.26	0.34	0.37	0.37	0.36
Δ 1.5(2)	Κύριο	-	-	0.24	0.40	0.32	0.54	0.36	0.34
Δ 2.1(2)	Κύριο	-	-	0.30	0.21	0.44	0.29	0.34	0.35
Δ 2.2(2)	Κύριο	-	-	0.26	0.25	0.37	0.34	0.34	0.35
Δ 2.3(2)	Κύριο	-	-	0.22	0.26	0.33	0.36	0.30	0.30
Δ 2.4(2)	Κύριο	-	-	0.26	0.27	0.34	0.39	0.36	0.35
Δ 2.5(2)	Κύριο	-	-	0.26	0.34	0.38	0.49	0.30	0.29
Δ 4.1(2)	Κύριο	-	-	0.30	0.23	0.45	0.31	0.37	0.39
Δ 4.2(2)	Κύριο	-	-	0.23	0.04	0.32	0.03	0.28	0.20
Δ 5.1(2)	Κύριο	-	-	0.43	0.27	0.58	0.35	0.30	0.35
Δ 5.2(2)	Κύριο	-	-	0.19	-	0.28	-	0.47	-
Δ 5.3(2)	Κύριο	-	-	-	0.39	-	0.53	-	0.41
Δ 6.1(2)	Κύριο	-	-	0.30	-	0.52	-	0.25	-
Δ 6.3(2)	Κύριο	-	-	-	0.24	-	0.36	-	0.27
Δ 6.4(2)	Κύριο	-	-	0.25	0.24	0.35	0.37	0.32	0.30
Δ 6.5(2)	Κύριο	-	-	0.23	0.34	0.34	0.51	0.30	0.29
Δ 7.2(2)	Κύριο	-	-	0.46	0.35	0.67	0.55	0.39	0.37
Δ 7.3(2)	Κύριο	-	-	0.33	0.36	0.52	0.54	0.42	0.40
Δ 7.4(2)	Κύριο	-	-	0.33	0.46	0.49	0.71	0.38	0.37
Δ 8.2(2)	Κύριο	-	-	0.40	0.31	0.60	0.49	0.35	0.35
Δ 8.3(2)	Κύριο	-	-	0.30	0.36	0.45	0.51	0.39	0.36
Δ 8.4(2)	Κύριο	-	-	0.24	0.07	0.36	0.26	0.33	0.26
Δ 9.1(2)	Κύριο	-	-	0.33	-	0.50	-	0.59	-
Δ 9.4(2)	Κύριο	-	-	-	0.22	-	0.27	-	0.43
Δ 9.5(2)	Κύριο	-	-	0.25	0.41	0.34	0.59	0.33	0.31
Δ 10.1(2)	Κύριο	-	-	0.29	0.28	0.46	0.37	0.35	0.37
Δ 10.2(2)	Κύριο	-	-	0.23	-	0.27	-	0.45	-
Δ 10.4(2)	Κύριο	-	-	-	0.32	-	0.52	-	0.49
Δ 11.1(2)	Κύριο	-	-	0.33	0.32	0.53	0.40	0.37	0.38
Δ 11.2(2)	Κύριο	-	-	0.25	0.37	0.35	0.55	0.50	0.53
Δ 12.1(2)	Κύριο	-	-	0.33	0.30	0.54	0.40	0.35	0.36
Δ 12.2(2)	Κύριο	-	-	0.26	0.35	0.34	0.55	0.38	0.40
Δ 1.1(3)	Κύριο	-	-	0.11	0.09	0.11	0.09	0.15	0.17
Δ 1.2(3)	Κύριο	-	-	0.10	0.09	0.11	0.09	0.22	0.21
Δ 1.3(3)	Κύριο	-	-	0.10	0.09	0.10	0.09	0.23	0.21
Δ 1.4(3)	Κύριο	-	-	0.09	0.09	0.09	0.10	0.22	0.21
Δ 1.5(3)	Κύριο	-	-	0.08	0.11	0.09	0.11	0.22	0.19
Δ 2.1(3)	Κύριο	-	-	0.09	0.07	0.10	0.07	0.27	0.31
Δ 2.2(3)	Κύριο	-	-	0.11	0.10	0.12	0.10	0.22	0.21
Δ 2.3(3)	Κύριο	-	-	0.08	0.08	0.08	0.09	0.22	0.21
Δ 2.4(3)	Κύριο	-	-	0.10	0.10	0.10	0.10	0.22	0.21
Δ 2.5(3)	Κύριο	-	-	0.07	0.10	0.08	0.10	0.25	0.25
Δ 4.1(3)	Κύριο	-	-	0.08	0.08	0.10	0.09	0.28	0.32
Δ 4.2(3)	Κύριο	-	-	0.12	0.01	0.12	0.01	0.22	0.13
Δ 5.1(3)	Κύριο	-	-	0.10	0.10	0.11	0.10	0.13	0.20
Δ 5.2(3)	Κύριο	-	-	0.08	-	0.08	-	0.28	-
Δ 5.3(3)	Κύριο	-	-	-	0.12	-	0.12	-	0.21

Δ 6.1(3)	Κύριο	-	-	0.10	-	0.13	-	0.10	-
Δ 6.3(3)	Κύριο	-	-	-	0.07	-	0.08	-	0.10
Δ 6.4(3)	Κύριο	-	-	0.08	0.09	0.09	0.09	0.17	0.17
Δ 6.5(3)	Κύριο	-	-	0.08	0.11	0.09	0.11	0.19	0.18
Δ 7.2(3)	Κύριο	-	-	0.13	0.10	0.15	0.12	0.26	0.25
Δ 7.3(3)	Κύριο	-	-	0.11	0.10	0.12	0.11	0.28	0.25
Δ 7.4(3)	Κύριο	-	-	0.10	0.13	0.12	0.15	0.26	0.26
Δ 8.2(3)	Κύριο	-	-	0.13	0.09	0.14	0.10	0.28	0.28
Δ 8.3(3)	Κύριο	-	-	0.11	0.10	0.12	0.12	0.27	0.21
Δ 8.4(3)	Κύριο	-	-	0.07	0.05	0.09	0.05	0.24	0.22
Δ 9.1(3)	Κύριο	-	-	0.07	-	0.08	-	0.31	-
Δ 9.4(3)	Κύριο	-	-	-	0.10	-	0.11	-	0.29
Δ 9.5(3)	Κύριο	-	-	0.10	0.13	0.11	0.17	0.25	0.18
Δ 10.1(3)	Κύριο	-	-	0.12	0.10	0.12	0.11	0.21	0.27
Δ 10.2(3)	Κύριο	-	-	0.09	-	0.10	-	0.31	-
Δ 10.4(3)	Κύριο	-	-	-	0.08	-	0.08	-	0.28
Δ 11.1(3)	Κύριο	-	-	0.12	0.12	0.12	0.14	0.21	0.30
Δ 11.2(3)	Κύριο	-	-	0.08	0.10	0.10	0.12	0.41	0.36
Δ 12.1(3)	Κύριο	-	-	0.12	0.10	0.13	0.13	0.17	0.19
Δ 12.2(3)	Κύριο	-	-	0.08	0.12	0.10	0.13	0.20	0.19

Σημείωση: Ο λόγος επάρκειας έναντι διάτμησης υπολογίζεται στη στάθμη: NC

Πίνακας 0.7 Μέγιστα λόγων επάρκειας δοκών

Μέγιστα λόγων επάρκειας δοκών - Έλεγχος στρωφής.

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος [/]	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας [/]
DL	-	-	-
SD	Δ 7.2(1)	Κύριο	0.75
NC	Δ 12.1(0)	Κύριο	1.26

Μέγιστα λόγων επάρκειας δοκών - Έλεγχος διάτμησης.

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος [/]	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας [/]
DL	-	-	-
SD	Δ 9.1(1)	Κύριο	0.54
NC	Δ 9.1(1)	Κύριο	0.94