



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παραμετρική Διερεύνηση Κτιριακών Κατασκευών από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα



ΜΩΡΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

Επιβλέπων Καθηγητής
Κ. Τρέζος

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται παραμετρική ανάλυση νέων και υφιστάμενων κατασκευών σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς σχεδιασμού. Διερευνάται η επίδραση διαφόρων παραμέτρων στις αναλύσεις κατά το σχεδιασμό, τη διαστασιολόγηση και την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας τριών φορέων.

Οι παραμετρικές αναλύσεις που έγιναν κατά το σχεδιασμό των φορέων, εξετάζουν την επίδραση στη διαστασιολόγηση που έχει η εφαρμογή διατάξεων διαφορετικών κανονισμών (EC2-EC8, ΕΚΩΣ2000-ΕΑΚ, ΒΔ'54), διαφορετικών μεθόδων ανάλυσης (δυναμική, στατική μέθοδος), αλλά και η μεταβολή της τιμής του συντελεστή συμπεριφοράς, της κατηγορίας πλαστιμότητας, της σεισμική ζώνη και των συντελεστών απομείωσης της δυσκαμψίας. Επίσης, διερευνάται η επίδραση ανασχεδιασμού των φορέων με τοιχώματα και μειωμένο πάχος πλακών.

Αντίστοιχα, για τη διερεύνηση της επιρροής διαφόρων παραμέτρων στον προσδιορισμό της απόκρισης των φορέων, πραγματοποιήθηκαν ανελαστικές στατικές αναλύσεις, με βάση τις διατάξεις των ΚΑΝ.ΕΠΕ και EC8-3, με διαφορετική καθ' ύψος κατανομή σεισμικών φορτίων (ομοιόμορφη, τριγωνική, ιδιομορφική), μεταβάλλοντας το διαμήκη και εγκάρσιο οπλισμό, αλλά και αγνοώντας κάποιες παραμέτρους, όπως την τυχηματική εκκεντρότητα, τη συμμετοχή των τοιχοπληρώσεων, την περίσφιγξη, τα φαινόμενα 2^{αs} τάξεως και το συνεργαζόμενο οπλισμό των πλακών.

Τέλος, εξετάστηκε η επίδραση της μεταβλητότητας των υλικών στην αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας των φορέων, εφαρμόζοντας τη Rosenblueth's 2k+1 Point Estimate Method.

ABSTRACT

In this thesis, parametric analysis of new and existing structures is performed, in accordance with current design codes. The effect of various parameters in design and pushover analysis is examined for three structures.

The parametric analysis, determine the effect on designing by using different design codes (Eurocodes and older national codes of reinforced concrete design), different analysis methods (dynamic and static analysis method), and changing the behavior factor q , the ductility class, the seismic zone and the stiffness factors. Moreover, the redesign of these structures is examined, using walls and plates with reduced thickness.

Accordingly, in order to compare the influence of various parameters in determining the response of the structures, all the buildings are subjected to nonlinear static analysis (pushover analysis) based on EC8-3, using different seismic load distribution (uniform, triangular, modal), changing the reinforcement and taking into consideration parameters, such as the eccentricity, the masonry, the confinement and the P-Delta effects.

Finally, the effect of the variability of materials to the capacity of the structures is determined by using the Rosenblueth's $2k + 1$ Point Estimate Method.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας διπλωματικής εργασίας Κ.Τρέζο, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου με την ανάθεση αυτής της εργασίας, για τις πολύτιμες συμβουλές, τη διαρκή ενασχόλησή του και την καθοδήγησή του για την ορθή εκπόνησή της.

Επίσης, επιθυμώ να ευχαριστήσω την εταιρία LH Λογισμική για την παροχή της εκπαιδευτικής άδειας του στατικού προγράμματος Fespa καθώς και για την επίλυση των ερωτημάτων που προέκυπταν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη συμπαράσταση και την κατανόησή τους όλο το χρονικό διάστημα εκπόνησής της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	1
1.1. Γενικά Στοιχεία.....	1
1.2. Στόχος Διπλωματικής Εργασίας.....	1
2. Θεωρητικά Στοιχεία.....	3
2.1. Σχεδιασμός με EC2-EC8 - Ειδικά Θέματα.....	3
2.1.1. Έλεγχος σε Οριακή Κατάσταση Αστοχίας.....	3
2.1.1.1. Δράσεις.....	3
2.1.1.2. Ανακατανομή Ροπών.....	5
2.1.1.3. Έλεγχος σε Διάτμηση.....	6
2.1.2. Έλεγχος σε Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας.....	7
2.1.2.1. Έλεγχος Τάσεων.....	7
2.1.2.2. Έλεγχος Ρηγμάτωσης.....	7
2.1.2.3. Έλεγχος Παραμορφώσεων.....	8
2.1.3. Ειδικά Θέματα EC8.....	9
2.1.3.1. Κανόνες Ικανοτικού Σχεδιασμού.....	9
2.1.3.2. Έλεγχος Συνάφειας Κόμβων.....	9
2.2. Αποτίμηση Φέρουσας Ικανότητας Κτιρίων με ΚΑΝ.ΕΠΕ και EC8-3.....	10
2.2.1. Αποτίμηση Φέρουσας Ικανότητας με Στάθμες Επιδεστικότητα.....	10
2.2.2. Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων.....	12
2.2.3. Επιμέρους Συντελεστές Ασφαλείας.....	12
2.2.4. Επιρροή Περίσφιξης.....	14
2.2.5. Προσδιορισμός Συμπεριφοράς Δομικών Στοιχείων.....	15
2.2.5.1. Καμπύλη Εντατικού Μεγέθους - Παραμόρφωσης "F-δ".....	15
2.2.5.2. Παραμόρφωση Διαρροής Στοιχείου.....	17
2.2.5.3. Παραμόρφωση Αστοχίας Στοιχείου.....	18
2.2.5.4. Αστοχία από Τέμνουσα.....	20
2.2.5.5. Ενεργός Δυσκαμψία.....	22
2.2.6. Ανελαστική Στατική Ανάλυση.....	23
2.2.6.1. Κατακόρυφα Φορτία - Κατανομή Σεισμικών Φορτίων Καθ'ύψος.....	24
2.2.6.2. Κύρια και Δευτερεύοντα Στοιχεία.....	26
2.2.6.3. Καμπύλη Ικανότητας Κατασκευής.....	26
2.2.6.4. Επιρροές 2 ^{ος} Τάξεως.....	29
2.2.6.5. Υπολογισμός Στοχευόμενης Μετακίνησης.....	29
2.2.7. Συμπεριφορά Τοιχοπληρώσεων.....	31
2.2.7.1. Προσομοίωση άοπλων τοιχοπληρώσεων.....	31
2.3. Διερεύνηση Μεταβλητότητας Δεδομένων.....	34
3. Περιγραφή Φορέων.....	36
3.1. Φορέας 1.....	37
3.1.1. Παραλλαγή 1Α - Φορέας με Υποστυλώματα.....	38
3.1.2. Παραλλαγή 1Β - Φορέας με Γωνιακά Τοιχώματα.....	39
3.1.3. Παραλλαγή 1Γ - Φορέας με Περιμετρικά Τοιχώματα.....	40
3.2. Φορέας 2.....	41
3.2.1. Παραλλαγή 2Α - Αρχικός Φορέας.....	42
3.2.2. Παραλλαγή 2Β - Φορέας με 2 Γωνιακά Τοιχώματα.....	44
3.2.3. Παραλλαγή 2Γ - Φορέας με 4 Γωνιακά Τοιχώματα.....	45
3.3. Φορέας 3.....	46
3.3.1. Παραλλαγή 3Α.....	47
3.3.2. Παραλλαγή 3Β.....	49
4. Παραμετρική Ανάλυση Φορέων κατά τη Διαστασιολόγηση.....	51
4.1. Παραμετρική Ανάλυση Διαστασιολόγησης Φορέα 1.....	55
4.1.1. Επίδραση της Μεθόδου Ανάλυσης.....	55
4.1.1.1. Διαφορές στις Εμφανιζόμενες Ανεπάρκειες.....	55
4.1.1.2. Σύγκριση Όπλισης.....	58
4.1.1.3. Επίπτωση στην Ιδιοπερίοδο της Κατασκευής.....	62

4.1.2.	Μεταβολή του Συντελεστή Συμπεριφοράς	63
4.1.2.1.	Διαφορές στις Εμφανιζόμενες Ανεπάρκειες.....	63
4.1.2.2.	Σύγκριση Όπλισης	65
4.1.3.	Σύγκριση Φορέων με Διαφορετική Προσομοίωση Θεμελίωσης	69
4.1.3.1.	Επίπτωση στην Ιδιοπερίοδο της Κατασκευής	69
4.1.4.	Επίπτωση από την Απομείωση της Δυσκαμψίας	70
4.1.4.1.	Επιρροή στην Όπλιση	71
4.1.4.2.	Επίπτωση στην Ιδιοπερίοδο της Κατασκευής	72
4.1.5.	Επίδραση Σχεδιασμού Φορέα με Τοιχώματα	72
4.1.5.1.	Σύγκριση Όπλισης	73
4.1.5.2.	Επίπτωση στην Ιδιοπερίοδο της Κατασκευής	75
4.1.5.3.	Επίδραση Θεώρησης Τοιχώματος ως Υποστύλωμα	76
4.1.6.	Μεταβολή του Πάχους της Πλάκας.....	77
4.1.6.1.	Σύγκριση Όπλισης	78
4.1.6.2.	Επίδραση στην Ιδιοπερίοδο της Κατασκευής.....	83
4.1.7.	Μεταβολή Κατηγορίας Πλαστιμότητας.....	84
4.1.7.1.	Διαφορές στις Εμφανιζόμενες Ανεπάρκειες.....	85
4.1.7.2.	Σύγκριση Όπλισης	87
4.2.	Παραμετρική Ανάλυση Διαστασιολόγησης Φορέα 2.....	90
4.2.1.	Επίδραση της Μεθόδου Ανάλυσης.....	90
4.2.1.1.	Διαφορές στις Εμφανιζόμενες Ανεπάρκειες.....	90
4.2.1.2.	Επίπτωση στην Ιδιοπερίοδο της Κατασκευής	92
4.2.2.	Μεταβολή Κατηγορίας Πλαστιμότητας.....	93
4.2.2.1.	Διαφορές στις Εμφανιζόμενες Ανεπάρκειες.....	93
4.2.2.2.	Σύγκριση Όπλισης	94
4.2.3.	Επίπτωση Ικανοτικού Ελέγχου Κόμβων.....	97
4.2.3.1.	Σύγκριση Όπλισης	97
4.2.4.	Μεταβολή της Σεισμικής Ζώνης.....	98
4.2.4.1.	Διαφορές στις Εμφανιζόμενες Ανεπάρκειες.....	99
4.2.4.2.	Σύγκριση Όπλισης	100
4.2.5.	Επίδραση Σχεδιασμού Φορέα με Τοιχώματα	102
4.2.5.1.	Σύγκριση Όπλισης	103
4.2.5.2.	Επίπτωση στην Ιδιοπερίοδο της Κατασκευής	106
4.2.6.	Μεταβολή του Πάχους της Πλάκας.....	106
4.2.6.1.	Σύγκριση Όπλισης	107
4.2.6.2.	Επίδραση στην Ιδιοπερίοδο της Κατασκευής.....	112
4.3.	Παραμετρική Ανάλυση Διαστασιολόγησης Φορέα 3.....	113
4.3.1.	Σύγκριση Κανονισμών Διαστασιολόγησης.....	114
4.3.1.1.	Διαφορές στις Εμφανιζόμενες Ανεπάρκειες.....	114
4.3.1.2.	Σύγκριση Όπλισης	115
4.3.2.	Σχεδιασμός Φορέα με Διαφορετική Διάταξη Δομικών Μελών	121
4.3.2.1.	Σύγκριση Όπλισης	121
4.3.2.2.	Επίπτωση στην Ιδιοπερίοδο της Κατασκευής	123
5.	Παραμετρική Ανάλυση Φορέων κατά την Αποτίμηση της Φέρουσας	
	Ικανότητας.....	124
5.1.	Παραμετρική Ανάλυση Φορέα 1.....	128
5.1.1.	Επιρροή της Μεθόδου Ανάλυσης	128
5.1.2.	Επίδραση Σχεδιασμού Φορέων με Τοιχώματα	132
5.1.3.	Επίδραση του Κανονισμού Σχεδιασμού	134
5.1.4.	Μεταβολή της Παραμόρφωσης Αστοχίας του Χάλυβα.....	141
5.1.5.	Μεταβολή του Στόχου Σχεδιασμού.....	143
5.1.6.	Επίδραση Τυχηματικής Εκκεντρότητας	146
5.1.7.	Σύγκριση ως προς την Κατανομή Σεισμικής Φόρτισης	148
5.1.8.	Μεταβολή του Εγκάρσιου Όπλισμού	152
5.1.8.1.	Επίδραση της Διάταξης του Όπλισμού Διάτμησης.....	152
5.1.8.2.	Επιρροή της Περίσφιξης	155
5.2.	Παραμετρική Ανάλυση Φορέα 2.....	159

5.2.1.	Σχεδιασμός Φορέων με Διαφορετική Διάταξη Τοιχωμάτων	159
5.2.2.	Επίδραση του Κανονισμού Σχεδιασμού	162
5.2.3.	Επιρροή Συνεργαζόμενου Οπλισμού Πλάκας	165
5.2.4.	Μεταβολή του Εγκάρσιου Οπλισμού	167
5.2.4.1.	Επίδραση της Διάταξης του Οπλισμού Διάτμησης	167
5.2.4.2.	Επιρροή της Περίσφιγξης	169
5.2.5.	Μεταβολή του Διαμήκου Οπλισμού	171
5.3.	Παραμετρική Ανάλυση Φορέα 3.....	173
5.3.1.	Σύγκριση Σχεδιασμού Φορέα με Διαφορετικούς Κανονισμούς.....	173
5.3.2.	Σχεδιασμός Φορέων με Διαφορετική Διάταξη Δομικών Στοιχείων ...	176
5.3.3.	Επιρροή της Περίσφιγξης.....	179
5.3.4.	Επιρροή Τοιχοπληρώσεων	180
5.3.5.	Επίδραση Φαινομένων 2 ^{ος} Τάξεως	183
6.	Επίδραση της Μεταβλητότητας των Δεδομένων στην Απόκριση.....	186
6.1.	Επίδραση στην Απόκριση του Φορέα 1	187
6.2.	Επίδραση στην Απόκριση του Φορέα 2	190
7.	Συμπεράσματα	195
7.1.	Συμπεράσματα από τη Παραμετρική Διερεύνηση κατά τη Διαστασιολόγηση.....	195
7.2.	Συμπεράσματα από τη Παραμετρική Διερεύνηση κατά την Αποτίμηση Φέρουσας Ικανότητας.....	199
7.3.	Συμπεράσματα από τη Διερεύνηση της Επίδρασης της Μεταβλητότητας των Δεδομένων στην Απόκριση	204
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	205
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΟ SAP2000	207
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΟ FESPA.....	214

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 2.1	Αντίστοιχες στάθμες επιτελεστικότητας ΚΑΝ.ΕΠΕ και EC8-3.....	11
Πίνακας 2.2	Στόχοι αποτίμησης φέροντος οργανισμού.....	11
Πίνακας 2.3	Στάθμες αξιοπιστίας δεδομένων.....	12
Πίνακας 2.4	Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας ΚΑΝ.ΕΠΕ.....	13
Πίνακας 2.5	Επιμέρους συντελεστές εμπιστοσύνης EC8-3.....	14
Πίνακας 2.6	Υπολογισμός χαρακτηριστικών περισφιγμένου σκυροδέματος.....	14
Πίνακας 2.7	Εποπτική παρουσίαση των ελέγχων επιτελεστικότητας στο διάγραμμα συμπεριφοράς του δομικού μέλους.....	17
Πίνακας 2.8	Υπολογισμός της γωνίας στροφής χορδής στη διαρροή.....	18
Πίνακας 2.9	Υπολογισμός της γωνίας στροφής χορδής στην αστοχία.....	19
Πίνακας 2.10	Υπολογισμός διατμητικής αντοχής υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση.....	21
Πίνακας 2.11	Εκτίμηση ενεργούς δυσκαμψίας K_{eff}	23
Πίνακας 2.12	Μέθοδοι εξαγωγής καμπύλης αντίστασης κατασκευής. (Πηγή: Fespa Manual).....	27
Πίνακας 2.13	Μέθοδοι υπολογισμού στοχευόμενης μετακίνησης.....	30
Πίνακας 2.14	Προσομοίωση τοιχοπληρώσεων με ισοδύναμη θλιβόμενη ράβδο.....	32
Πίνακας 3.1	Συγκεντρωτικός πίνακας φορέων και παραμέτρων προς διερεύνηση.....	36
Πίνακας 3.2	Παραδοχές διαστασιολόγησης και αποτίμησης φέρουσας ικανότητας φορέα 1.....	37
Πίνακας 3.3	Παραδοχές διαστασιολόγησης και αποτίμησης φέρουσας ικανότητας φορέα 2.....	42
Πίνακας 3.4	Παραδοχές διαστασιολόγησης και αποτίμησης φέρουσας ικανότητας φορέα 3.....	47
Πίνακας 4.1	Αναλύσεις για την παραμετρική ανάλυση κατά τη διαστασιολόγηση του φορέα 1.....	52
Πίνακας 4.2	Αναλύσεις για την παραμετρική ανάλυση κατά τη διαστασιολόγηση του φορέα 2.....	53
Πίνακας 4.3	Αναλύσεις για την παραμετρική ανάλυση κατά τη διαστασιολόγηση του φορέα 3.....	54
Πίνακας 4.4	Ανεπάρκειες που εμφανίζονται στις αναλύσεις με δυναμική και στατική μέθοδο.....	56
Πίνακας 4.5	Σύγκριση ανεπαρκειών φορέα 1Α αναλόγως της μεθόδου ανάλυσης.....	57

Πίνακας 4.6	Συνολική προμέτρηση φορέα 1A αναλόγως της μεθόδου ανάλυσης.	60
Πίνακας 4.7	Προμέτρηση δομικών μελών φορέα 1A αναλόγως της μεθόδου ανάλυσης.	60
Πίνακας 4.8	Σύγκριση προμέτρησης επιμέρους δομικών μελών φορέα 1A εφαρμόζοντας διαφορετική μέθοδο ανάλυσης.	61
Πίνακας 4.9	Σύγκριση τιμών ιδιοπεριόδου φορέα 1A αναλόγως της μεθόδου ανάλυσης.	62
Πίνακας 4.10	Ανεπάρκειες από τις αναλύσεις του φορέα 1A με $q=5,00$ και $q=5,85$.	64
Πίνακας 4.11	Σύγκριση ανεπαρκειών φορέα 1A για διαφορετική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς q .	65
Πίνακας 4.12	Σύγκριση συνολικής προμέτρησης φορέα 1A από διαστασιολόγηση με διαφορετική τιμή q .	67
Πίνακας 4.13	Προμέτρηση επιμέρους δομικών μελών φορέα 1A αναλόγως της τιμής του q .	68
Πίνακας 4.14	Σύγκριση προμέτρησης επιμέρους δομικών μελών φορέα 1A για διαφορετική τιμή q .	68
Πίνακας 4.15	Σύγκριση τιμών ιδιοπεριόδου φορέα 1A αναλόγως της προσομοίωσης της θεμελίωσης.	70
Πίνακας 4.16	Επίδραση απομείωσης δυσκαμψίας στο φορέα 1A στις τιμές της ιδιοπεριόδου κατασκευής.	72
Πίνακας 4.17	Ανεπάρκειες κατά τη διαστασιολόγηση αρχικών φορέων με τοιχώματα.	73
Πίνακας 4.18	Σύγκριση συνολικής προμέτρησης φορέων με και χωρίς τοιχώματα.	75
Πίνακας 4.19	Επίδραση ύπαρξης τοιχωμάτων στον φορέα 1 στις τιμές της ιδιοπεριόδου.	75
Πίνακας 4.20	Επίδραση θεώρησης δομικών μελών του φορέα 1Γ ως τοιχώματα και υποστυλώματα στις τιμές της ιδιοπεριόδου κατασκευής και της σεισμικής επιτάχυνσης.	77
Πίνακας 4.21	Απλοποιητικός έλεγχος βελών στο φορέα 1.	78
Πίνακας 4.22	Σύγκριση συνολικής προμέτρησης φορέα 1A μετά από μείωση του πάχους των πλακών.	81
Πίνακας 4.23	Σύγκριση συνολικής προμέτρησης φορέα 1Γ μετά από μείωση του πάχους των πλακών.	81
Πίνακας 4.24	Σύγκριση προμέτρησης επιμέρους δομικών μελών φορέων 1 μετά από μείωση του πάχους των πλακών.	82
Πίνακας 4.25	Σύγκριση προμέτρησης επιμέρους δομικών μελών μετά από μείωση του πάχους των πλακών.	83
Πίνακας 4.26	Επίδραση μεταβολής του πάχους πλακών στις τιμές της ιδιοπεριόδου του φορέα 1A.	84
Πίνακας 4.27	Επίδραση μεταβολής του πάχους πλακών στις τιμές της ιδιοπεριόδου του φορέα 1Γ.	84
Πίνακας 4.28	Ανεπάρκειες στο φορέα 1B για διαφορετική κατηγορία πλαστιμότητας.	85
Πίνακας 4.29	Σύγκριση ανεπαρκειών φορέα 1B αναλόγως της κατηγορίας πλαστιμότητας.	85
Πίνακας 4.30	Ανεπάρκειες κατά τη διαστασιολόγηση του φορέα 1Γ θεωρώντας διαφορετική κατηγορία πλαστιμότητας.	86
Πίνακας 4.31	Εντατικά μεγέθη για τον έλεγχο διάτμησης τοιχώματος θεωρώντας διαφορετική κατηγορία πλαστιμότητας.	87
Πίνακας 4.32	Σύγκριση προμέτρησης σιδηρού οπλισμού μελών του φορέα 1Γ για διαφορετική κατηγορία πλαστιμότητας.	89
Πίνακας 4.33	Ανεπάρκειες που εμφανίζονται στις αναλύσεις του φορέα 2A εφαρμόζοντας δυναμική και στατική μέθοδο.	91
Πίνακας 4.34	Σύγκριση ανεπαρκειών φορέα 2A αναλόγως της μεθόδου ανάλυσης.	92
Πίνακας 4.35	Σύγκριση τιμών ιδιοπεριόδου φορέα 2A αναλόγως της μεθόδου ανάλυσης.	93
Πίνακας 4.36	Ανεπάρκειες στο φορέα 2A για διαφορετική κατηγορία πλαστιμότητας.	93
Πίνακας 4.37	Σύγκριση ανεπαρκειών φορέα 2A αναλόγως της κατηγορίας πλαστιμότητας.	94
Πίνακας 4.38	Σύγκριση προμέτρησης σιδηρού οπλισμού μελών του φορέα 2A για διαφορετική κατηγορία πλαστιμότητας.	96
Πίνακας 4.39	Σύγκριση προμέτρησης σιδηρού οπλισμού ενδεικτικού υποστυλώματος του φορέα 2A μετά από ανάλυση με και χωρίς ικανοτικό έλεγχο κόμβων.	98
Πίνακας 4.40	Σύγκριση ανεπαρκειών φορέα 2A αναλόγως της σεισμικής ζώνης.	99
Πίνακας 4.41	Ανεπάρκειες που εμφανίζονται στις αναλύσεις με διαφορετική σεισμική ζώνη στο φορέα 2A.	100
Πίνακας 4.42	Σύγκριση προμέτρησης σιδηρού οπλισμού ενδεικτικών δομικών μελών του φορέα 2A μετά από ανάλυση θεωρώντας διαφορετικές σεισμικές ζώνες.	102
Πίνακας 4.43	Ανεπάρκειες κατά τη διαστασιολόγηση των αρχικών τροποποιημένων φορέων 2B και 2Γ με τοιχώματα.	105
Πίνακας 4.44	Σύγκριση συνολικής προμέτρησης φορέων με 2 και 4 γωνιακά τοιχώματα.	105
Πίνακας 4.45	Επίδραση σχεδιασμού φορέα 2 με διαφορετική διάταξη τοιχωμάτων στις τιμές της ιδιοπεριόδου.	106
Πίνακας 4.46	Απλοποιητικός έλεγχος βελών.	110
Πίνακας 4.47	Σύγκριση προμέτρησης φορέα 2B μετά από μείωση του πάχους των πλακών.	110
Πίνακας 4.48	Σύγκριση προμέτρησης φορέα 2Γ μετά από μείωση του πάχους των πλακών.	110
Πίνακας 4.49	Σύγκριση προμέτρησης επιμέρους μελών φορέων 2B και 2Γ μετά από μείωση του πάχους των πλακών.	111
Πίνακας 4.50	Σύγκριση προμέτρησης δομικών μελών φορέων 2B και 2Γ μετά από μείωση του πάχους των πλακών.	112
Πίνακας 4.51	Επίδραση της μεταβολής του πάχους πλακών στις τιμές της ιδιοπεριόδου του φορέα 2B.	113
Πίνακας 4.52	Επίδραση της μεταβολής του πάχους πλακών στις τιμές της ιδιοπεριόδου του φορέα 2Γ.	113
Πίνακας 4.53	Ανεπάρκειες που εμφανίζονται στις αναλύσεις με διαφορετικούς κανονισμούς.	114
Πίνακας 4.54	Σύγκριση συνολικής προμέτρησης αναλόγως του κανονισμού σχεδιασμού.	119
Πίνακας 4.55	Σύγκριση προμέτρησης δομικών μελών φορέα 3A οπλισμένο με EC2-EC8, ΕΚΩΣ-ΕΑΚ και ΒΔ'54.	119
Πίνακας 4.56	Ανεπάρκειες κατά τη διαστασιολόγηση των φορέων 3A και 3B.	121

Πίνακας 4.57 Σύγκριση συνολικής προμέτρησης φορέων 3A και 3B.	123
Πίνακας 4.58 Επίδραση σχεδιασμού φορέα με διαφορετική διάταξη μελών στις τιμές της ιδιοπεριόδου κατασκευής.	123
Πίνακας 5.1 Αναλύσεις για την παραμετρική ανάλυση κατά την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας του φορέα 1.	125
Πίνακας 5.2 Αναλύσεις για την παραμετρική ανάλυση κατά την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας του φορέα 2.	126
Πίνακας 5.3 Αναλύσεις για την παραμετρική ανάλυση κατά την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας του φορέα 3.	127
Πίνακας 5.4 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης για φορέα 1A διαστασιολογημένο με δυναμική και στατική ανάλυση.	128
Πίνακας 5.5 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης για φορέα σχεδιασμένο με τοιχώματα.	134
Πίνακας 5.6 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης για φορείς διαστασιολογημένους με EC2-EC8 και με ΒΔ'54.	136
Πίνακας 5.7 Επιρροή της παραμόρφωσης αστοχίας του χάλυβα στο διάγραμμα ροπών-καμπυλοτήτων.	141
Πίνακας 5.8 Αποτελέσματα pushover για φορέα 1A με τιμή παραμόρφωσης αστοχίας χάλυβα $\epsilon_{su}=6\%$ και $\epsilon_{su}=4\%$	143
Πίνακας 5.9 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης για φορέα 1A με μεταβολή του στόχου σχεδιασμού.	145
Πίνακας 5.10 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης σε φορείς λαμβάνοντας τυχηματική εκκεντρότητα.	148
Πίνακας 5.11 Αποτελέσματα pushover σε φορείς με τριγωνική, ομοιόμορφη και ιδιομορφική καθ' ύψος κατανομή φορτίων.	149
Πίνακας 5.12 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης μεταβάλλοντας τον εγκάρσιο οπλισμό.	152
Πίνακας 5.13 Επιρροή περίσφιγξης στα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος.	155
Πίνακας 5.14 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης αγνοώντας την επιρροή της περίσφιγξης.	157
Πίνακας 5.15 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης στο φορέα 2 με διαφορετική διάταξη τοιχωμάτων.	159
Πίνακας 5.16 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης στο φορέα 2A υφιστάμενης όπλισης και διαστασιολογημένο με ΒΔ'54.	164
Πίνακας 5.17 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης στο φορέα 2A αγνοώντας το συνεργαζόμενο οπλισμό της πλάκας.	165
Πίνακας 5.18 Αποτελέσματα pushover μεταβάλλοντας τον εγκάρσιο οπλισμό στο φορέα 2A.	167
Πίνακας 5.19 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης αγνοώντας την επιρροή της περίσφιγξης στο φορέα 2A.	169
Πίνακας 5.20 Αποτελέσματα pushover σε φορείς μεταβάλλοντας το διαμήκη οπλισμό.	171
Πίνακας 5.21 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης στο φορέα 3A σχεδιασμένο με διαφορετικούς κανονισμούς.	174
Πίνακας 5.22 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης φορέων με διαφορετική διάταξη δοκών και υποστυλωμάτων.	177
Πίνακας 5.23 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης αγνοώντας την επιρροή της περίσφιγξης στο φορέα 3A.	179
Πίνακας 5.24 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης λαμβάνοντας υπόψη τις τοιχοπληρώσεις.	181
Πίνακας 5.25 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης στο φορέα 3A αγνοώντας την επιρροή των φαινομένων 2 ^{ας} τάξεως.	184
Πίνακας 6.1 Αναλύσεις για τη διερεύνηση της μεταβλητότητας των δεδομένων στην απόκριση κατασκευών.	186
Πίνακας 6.2 Αποτελέσματα εφαρμογής μεθόδου Rosenblueth στο φορέα 1B.	188
Πίνακας 6.3 Αποτελέσματα εφαρμογής μεθόδου Rosenblueth στο φορέα 2A.	192

Περιεχόμενα Σχεδίων

Σχέδιο 3.1 Ξυλότυπος τυπικού ορόφου φορέα 1A.	38
Σχέδιο 3.2 Τριδιάστατη απεικόνιση του φορέα 1A.	38
Σχέδιο 3.3 Ξυλότυπος τυπικού ορόφου φορέα 1B.	39
Σχέδιο 3.4 Τριδιάστατη απεικόνιση του φορέα 1B.	40
Σχέδιο 3.5 Ξυλότυπος τυπικού ορόφου φορέα 1Γ.	40
Σχέδιο 3.6 Τριδιάστατη απεικόνιση του φορέα 1Γ.	41
Σχέδιο 3.7 Ξυλότυπος τυπικού ορόφου φορέα 2A.	43
Σχέδιο 3.8 Τριδιάστατη απεικόνιση του φορέα 2A.	43
Σχέδιο 3.9 Ξυλότυπος τυπικού ορόφου φορέα 2B.	44
Σχέδιο 3.10 Τριδιάστατη απεικόνιση του φορέα 2B.	44
Σχέδιο 3.11 Ξυλότυπος τυπικού ορόφου φορέα 2Γ.	45
Σχέδιο 3.12 Τριδιάστατη απεικόνιση του φορέα 2Γ.	46
Σχέδιο 3.13 Ξυλότυπος τυπικού ορόφου φορέα 3A.	48
Σχέδιο 3.14 Τριδιάστατη απεικόνιση του φορέα 3A.	48
Σχέδιο 3.15 Ξυλότυπος τυπικού ορόφου φορέα 3B.	49
Σχέδιο 3.16 Τριδιάστατη απεικόνιση του φορέα 3B.	50
Σχέδιο 4.1 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέων 1A εφαρμόζοντας διαφορετική μέθοδο ανάλυσης.	59

Σχέδιο 4.2 Σύγκριση όπλισης ενδεικτικών μελών φορέα 1A αναλόγως της μεθόδου ανάλυσης.....	62
Σχέδιο 4.3 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέων 1A σχεδιασμένων με διαφορετική τιμή συντελεστή συμπεριφοράς.....	66
Σχέδιο 4.4 Σύγκριση όπλισης ενδεικτικών μελών φορέα 1A για διαφορετική τιμή α	69
Σχέδιο 4.5 Σύγκριση όπλισης ενδεικτικών μελών φορέα 1A μετά από απομείωση της δυσκαμψίας.....	71
Σχέδιο 4.6 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέων χωρίς ανεπάρκειες με και χωρίς τοιχώματα.....	74
Σχέδιο 4.7 Όπλιση δομικού μέλους θεωρώντας το τοίχωμα και υποστώλωμα.....	76
Σχέδιο 4.8 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέων 1A χωρίς ανεπάρκειες χωρίς και με μείωση του πάχους της πλάκας.....	79
Σχέδιο 4.9 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέων 1Γ χωρίς ανεπάρκειες χωρίς και με μείωση του πάχους της πλάκας.....	80
Σχέδιο 4.10 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέων χωρίς ανεπάρκειες με 2 και 4 γωνιακά τοιχώματα.....	104
Σχέδιο 4.11 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέων 2B χωρίς ανεπάρκειες χωρίς και με μείωση του πάχους της πλάκας.....	108
Σχέδιο 4.12 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέων 2Γ χωρίς ανεπάρκειες χωρίς και με μείωση του πάχους της πλάκας.....	109
Σχέδιο 4.13 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέα 3A χωρίς ανεπάρκειες μετά από σχεδιασμό με EC2-EC8.....	116
Σχέδιο 4.14 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέα 3A χωρίς ανεπάρκειες μετά από σχεδιασμό με ΕΚΩΣ-ΕΑΚ.....	117
Σχέδιο 4.15 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέα 3A χωρίς ανεπάρκειες μετά από σχεδιασμό με ΒΔ'54.....	118
Σχέδιο 4.16 Σύγκριση όπλισης ενδεικτικών μελών φορέα 3A μετά από εφαρμογή EC2-EC8, ΕΚΩΣ-ΕΑΚ, ΒΔ'54.....	120
Σχέδιο 4.17 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέων 3A και 3B διαστασιολογημένοι με EC2-EC8.....	122

Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 2.1 Καμπύλη συμπεριφοράς δομικού στοιχείου "F-δ".....	15
Διάγραμμα 2.2 Διάγραμμα "σ-ε" τοιχοπλήρωσης.....	34
Διάγραμμα 5.1 Καμπύλες φέρουσας ικανότητας φορέα από δυναμική και στατική μέθοδο.....	129
Διάγραμμα 5.2 Καμπύλες φέρουσας ικανότητας φορέα με υποστωλώματα, γωνιακά και περιμετρικά τοιχώματα.....	133
Διάγραμμα 5.3 Καμπύλες φέρουσας ικανότητας φορέα σχεδιασμένο με EC και ΒΔ'54.....	135
Διάγραμμα 5.4 Καμπύλες φέρουσας ικανότητας φορέα 1A για παραμόρφωση αστοχίας χάλυβα $\epsilon_{su}=6\%$ και $\epsilon_{su}=4\%$	142
Διάγραμμα 5.5 Στοχευόμενη μετακίνηση για πιθανότητα υπέρβασης "Σημαντικές Βλάβες" $p=10\%$, $p=80\%$ και $p=3\%$	144
Διάγραμμα 5.6 Καμπύλες φέρουσας ικανότητας φορέα 1 λαμβάνοντας τυχηματική εκκεντρότητα.....	147
Διάγραμμα 5.7 Καμπύλες ικανότητας φορέα 1B για φόρτιση τριγωνικής, ομοιόμορφης και ιδιομορφικής κατανομής.....	150
Διάγραμμα 5.8 Καμπύλες ικανότητας φορέα 1Γ για φόρτιση τριγωνικής, ομοιόμορφης και ιδιομορφικής κατανομής.....	151
Διάγραμμα 5.9 Καμπύλες ικανότητας φορέα 1A μεταβάλλοντας τον οπλισμό διάτμησης.....	153
Διάγραμμα 5.10 Επιρροή περίσφιξης στο διάγραμμα σ-ε του σκυροδέματος.....	156
Διάγραμμα 5.11 Επιρροή περίσφιξης στο διάγραμμα σ-ε του σκυροδέματος.....	156
Διάγραμμα 5.12 Επιρροή περίσφιξης στις καμπύλες φέρουσας ικανότητας του φορέα 1A.....	158
Διάγραμμα 5.13 Καμπύλες φέρουσας ικανότητας φορέα σχεδιασμένο με διαφορετική διάταξη τοιχωμάτων.....	160
Διάγραμμα 5.14 Σύγκριση φέρουσας ικανότητας φορέα 2A υφιστάμενης όπλισης και όπλισης με ΒΔ'54.....	163
Διάγραμμα 5.15 Καμπύλες φέρουσας ικανότητας φορέα 2A αγνοώντας το συνεργαζόμενο οπλισμό των πλακών.....	166
Διάγραμμα 5.16 Καμπύλες ικανότητας φορέα 2A αυξάνοντας τον οπλισμό διάτμησης.....	168
Διάγραμμα 5.17 Επιρροή περίσφιξης στις καμπύλες φέρουσας ικανότητας του φορέα 2A.....	170
Διάγραμμα 5.18 Επιρροή μεταβολής διαμήκους οπλισμού στις καμπύλες φέρουσας ικανότητας του φορέα 2.....	172
Διάγραμμα 5.19 Καμπύλες ικανότητας φορέα 3A σχεδιασμένου με διαφορετικούς κανονισμούς.....	174
Διάγραμμα 5.20 Καμπύλες ικανότητας φορέων 3A και 3B.....	178
Διάγραμμα 5.21 Καμπύλες ικανότητας φορέα 3A αγνοώντας την επιρροή περίσφιξης.....	179
Διάγραμμα 5.22 Καμπύλες ικανότητας φορέα λαμβάνοντας υπόψη τις τοιχοπληρώσεις.....	182
Διάγραμμα 5.23 Καμπύλες ικανότητας φορέα 3A αγνοώντας τα φαινόμενα 2 ^α τάξεως.....	184
Διάγραμμα 6.1 Επίδραση της μεταβλητότητας των δεδομένων στην καμπύλη αντίστασης του φορέα 1B.....	189
Διάγραμμα 6.2 Διάγραμμα ροπών - γωνιών στροφής δοκού $\Delta_{2,2}(1)$	190
Διάγραμμα 6.3 Επίδραση της μεταβλητότητας των δεδομένων στην καμπύλη αντίστασης του φορέα 2A.....	193
Διάγραμμα 6.4 Διάγραμμα ροπών - γωνιών στροφής δοκού $\Delta_{2,1}(1)$	194
Διάγραμμα 6.5 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης υποστωλώματος $K_8(1)$	194

Περιεχόμενα Σχημάτων

Σχήμα 2.1 Κατανομή σεισμικών φορτίων (α) Τριγωνική (β) Ομοιόμορφη (γ) Ιδιομορφική.....	25
Σχήμα 5.1 Εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας στους φορείς από δυναμική και στατική μέθοδο (Φόρτιση 0°).	130
Σχήμα 5.2 Εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας στους φορείς από δυναμική και στατική μέθοδο (Φόρτιση 90°).	131
Σχήμα 5.3 Πλαστικές αρθρώσεις κατά τη στοχευόμενη μετακίνηση (Φόρτιση 0°).....	137
Σχήμα 5.4 Εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας στο φορέα 1Α οπλισμένο με EC και ΒΔ'54 (Φόρτιση 0°).....	138
Σχήμα 5.5 Εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας στο φορέα 1Β οπλισμένο με EC και ΒΔ'54 (Φόρτιση 0°).....	139
Σχήμα 5.6 Εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας στο φορέα 1Γ οπλισμένο με EC και ΒΔ'54 (Φόρτιση 0°).....	140
Σχήμα 5.7 Πλαστικές αρθρώσεις για στοχευόμενη μετακίνηση με $\rho=10\%$, $\rho=80\%$ και $\rho=3\%$	145
Σχήμα 5.8 Πλαστικές αρθρώσεις κατά τη στοχευόμενη μετακίνηση για φορέα με διαφορετική εγκάρσια όπλιση.....	154
Σχήμα 5.9 Πλαστικές αρθρώσεις κατά τη στοχευόμενη μετακίνηση στο φορέα 2 με διαφορετική διάταξη τοιχωμάτων.....	162
Σχήμα 5.10 Πλαστικές αρθρώσεις κατά τη στοχευόμενη μετακίνηση στο φορέα 2Α με αρχική όπλιση και με όπλιση από το ΒΔ'54.....	164
Σχήμα 5.11 Πλαστικές αρθρώσεις κατά τη στοχευόμενη μετακίνηση στο φορέα 3Α, σχεδιασμένο με διαφορετικούς κανονισμούς.	176
Σχήμα 5.12 Πλαστικές αρθρώσεις κατά τη στοχευόμενη μετακίνηση στο φορέα 3Α λαμβάνοντας υπόψη την επιρροή των τοιχοπληρώσεων.	183

1. Εισαγωγή

1.1. Γενικά Στοιχεία

Η Ελλάδα είναι μια χώρα στην οποία για την πλειονότητα των κατασκευών χρησιμοποιείται το οπλισμένο σκυρόδεμα. Σήμερα, ο σχεδιασμός κατασκευών γίνεται με εφαρμογή των Ευρωκωδίκων, οι οποίοι προέκυψαν στο πλαίσιο διαμόρφωσης ενός ενιαίου πλαισίου ευρωπαϊκών κανονισμών για το σχεδιασμό και τη μελέτη κατασκευών.

Πιο συγκεκριμένα, για τις νέες κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται οι EC2 και EC8 με το αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Ο EC2 αναφέρεται στο σχεδιασμό κατασκευών από σκυρόδεμα, ενώ ο EC8 αναφέρεται στον αντισεισμικό σχεδιασμό κατασκευών. Με την εφαρμογή αυτών των κανονισμών, δίνεται η δυνατότητα ανελαστικής ανάλυσης, με την οποία λαμβάνεται υπόψη η απορρόφηση ενέργειας μέσω της πλάστιμης συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων.

Παράλληλα, για τις υφιστάμενες κατασκευές, στις οποίες υπάρχει η ανάγκη επεμβάσεων λόγω ελλείψεων ή ανεπαρκειών, χρησιμοποιούνται δύο κανονισμοί. Αυτοί είναι ο Ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ) και ο Ευρωκώδικας EC8-3 (Αντισεισμικός Σχεδιασμός – Μέρος 3). Στόχος είναι η θεσμοθέτηση κριτηρίων για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας των υφιστάμενων δομημάτων, καθώς και κανόνων εφαρμογής για τον αντισεισμικό ανασχεδιασμό τους αλλά και για τις ενδεχόμενες επεμβάσεις, επισκευές ή ενισχύσεις.

1.2. Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Βασικός στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παραμετρική ανάλυση νέων και υφιστάμενων κατασκευών σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς σχεδιασμού. Εξετάζεται η επίδραση διαφόρων παραμέτρων κατά το σχεδιασμό, τη διαστασιολόγηση και την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας σε τρεις διαφορετικούς φορείς, με χρήση των στατικών προγραμμάτων Fespa και Sap2000.

Πιο συγκεκριμένα, στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής παρατίθενται τα θεωρητικά στοιχεία και οι διευκρινήσεις που συνοδεύουν τις αναλύσεις τόσο κατά τη διαστασιολόγηση με εφαρμογή των EC, όσο και κατά την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας με εφαρμογή των EC8-3 και ΚΑΝ.ΕΠΕ..

Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται αναλυτικά οι τρεις προς εξέταση φορείς, καθώς και οι παραλλαγές τους, με τους αντίστοιχους ξυλότυπους και τριδιάστατα σχέδια. Επίσης, για κάθε φορέα δίνονται οι παραδοχές που λήφθηκαν κατά τις αναλύσεις για τη διαστασιολόγηση και τον προσδιορισμό της απόκρισής τους.

Ακολούθως, στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι παραμετρικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διαστασιολόγηση των φορέων. Εξετάστηκαν οι επιπτώσεις από την εφαρμογή διαφορετικών κανονισμών, από την αλλαγή της μεθόδου ανάλυσης και προσομοίωσης της θεμελίωσης στο σχεδιασμό των φορέων. Επίσης, προσδιορίστηκαν οι συνέπειες της μεταβολής της τιμής του συντελεστή συμπεριφοράς, της κατηγορίας πλαστιμότητας, της σεισμικής ζώνης και της απομείωσης της δυσκαμψίας στη συνολική προμέτρηση. Τέλος, έγινε σύγκριση μεταξύ παραλλαγών των φορέων σχεδιασμένων με τοιχώματα.

Αντιστοίχως, στο πέμπτο κεφάλαιο, πραγματοποιείται διερεύνηση, με εφαρμογή της ανελαστικής στατικής ανάλυσης, για τον προσδιορισμό της επιρροής διαφόρων παραμέτρων στην απόκριση της κατασκευής. Οι παράμετροι που εξετάζονται είναι η καθ' ύψος κατανομή των σεισμικών φορτίσεων, ο εγκάρσιος και διαμήκης οπλισμός, η περίσφιγξη, ο συνεργαζόμενος οπλισμός των πλακών, οι τοιχοπληρώσεις, τα φαινόμενα 2^α τάξεως καθώς και η τυχηματική εκκεντρότητα.

Επίσης, προκειμένου να γίνει έλεγχος αξιοπιστίας, στο έκτο κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις εφαρμόζοντας την Rosenblueth's 2k+1 Point Estimate Method. Σκοπός αυτής της διερεύνησης είναι ο προσδιορισμός της επίδρασης της μεταβλητότητας των δεδομένων στην απόκριση των κατασκευών. Ως μεταβλητές θεωρήθηκαν η αντοχή του χάλυβα του διαμήκους οπλισμού και των συνδετήρων, η αντοχή του σκυροδέματος και η τιμή του συντελεστή συνδυασμού μεταβλητών δράσεων για τα οιονεί μόνιμα φορτία ψ_2 .

Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από τις αναλύσεις για κάθε παράμετρο ξεχωριστά για κάθε στάδιο διερεύνησης (στάδιο διαστασιολόγησης και στάδιο αποτίμησης φέρουσας ικανότητας).

Στο Παράρτημα, παρουσιάζονται τα σχέδια με την όπλιση κάθε φορέα καθώς και τα υπολογιστικά φύλλα Excel με τις σχέσεις του EC8-3, που χρησιμοποιήθηκαν για την εισαγωγή των απαραίτητων στοιχείων των μελών για τις αναλύσεις pushover με χρήση του προγράμματος Sap2000.

2. Θεωρητικά Στοιχεία

2.1. Σχεδιασμός με EC2-EC8 - Ειδικά Θέματα

Στόχος της εφαρμογής των Ευρωκωδίκων είναι ο σχεδιασμός ασφαλέστερων, λειτουργικών και πιο οικονομικών κτιρίων. Εισάγονται νέοι έλεγχοι, τροποποιούνται κάποιοι υπάρχοντες και δίνεται η δυνατότητα στο μελετητή να σχεδιάσει πιο οικονομικά, καθώς υπάρχουν πολλές διατάξεις που αφορούν ιδιαιτερότητες που μπορεί να συναντηθούν σε φορείς.

Στη συνέχεια θα επισημανθούν κάποιες από τις διατάξεις των Ευρωκωδίκων και στο πως εφαρμόστηκαν στους υπό εξέταση φορείς που αναλύθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

2.1.1. Έλεγχος σε Οριακή Κατάσταση Αστοχίας

Στους ελέγχους σε ΟΚΑ, περιλαμβάνονται οι έλεγχοι των κρίσιμων διατομών έναντι ορθών εντατικών μεγεθών, δηλαδή ροπών κάμψης και/ή αξονικής δύναμης, και έναντι διατμητικών καταπονήσεων, δηλαδή τέμνουσα, στρέψη, διάτρηση και συνάφειας.

2.1.1.1. Δράσεις

Στατικές Δράσεις

Οι συνδυασμοί δράσεων για τον έλεγχο σε οριακή κατάσταση αστοχίας (EC0 §6.4.3.2), υπό στατικά φορτία είναι οι ακόλουθοι:

$$Y_G \cdot G + Y_{Q_1} \cdot \Psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \sum Y_{Q_i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{Σχ.2.1α}$$

$$\xi \cdot Y_G \cdot G + Y_{Q_1} \cdot Q_{k,1} + \sum Y_{Q_i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{Σχ.2.1β}$$

Από την παραπάνω σχέση παρατηρείται ότι η μόνιμη δράση μπορεί να απομειωθεί με τον συντελεστή ξ , όπου σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα λαμβάνεται $\xi=0,85$. Στους ελέγχους της ΟΚΑ, οι συντελεστές γ_G για τα μόνιμα και γ_Q κινητά φορτία λαμβάνονται 1,35 και 1,50 αντιστοίχως.

Παρόλο που η συγκεκριμένη παράγραφος δεν αποτελεί τμήμα του EC2, αλλά του EC0 κρίθηκε σκόπιμο να αναφερθεί, καθώς στις επιλύσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διαστασιολόγηση των φορέων, δεν λήφθηκε υπόψη η απομείωση αυτή ($\xi=1$),

καθώς η θεώρηση αυτή παράγει δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη για το σχεδιασμό των μελών του φορέα.

Σεισμικές Δράσεις

Η τιμή σχεδιασμού της σεισμικής δράσης, υπολογίζεται από το συνδυασμό των αποτελεσμάτων των δράσεων στις δύο κύριες διευθύνσεις E_{Edx} και E_{Edy} είτε με χωρική επαλληλία σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$E_{Ed} = \sqrt{E_{Ed,x}^2 + E_{Ed,y}^2} \quad \text{Σχ.2.2}$$

είτε ως ο δυσμενέστερος από τους παρακάτω συνδυασμούς:

$$E_{Ed} = E_{Ed,x} \pm 0,30 \cdot E_{Ed,y} \quad \text{Σχ.2.3α}$$

$$E_{Ed} = E_{Ed,y} \pm 0,30 \cdot E_{Ed,x} \quad \text{Σχ.2.3β}$$

Η διαστασιολόγηση των φορέων πραγματοποιήθηκε με χρήση του στατικού λογισμικού Fespa. Η χωρική επαλληλία των εντατικών μεγεθών, που προέρχονται από δύο διευθύνσεις σεισμικής διέγερσης, πραγματοποιούνται με τη μέθοδο SRSS, δηλαδή πραγματοποιείται χωρική επαλληλία στις δύο ορθογώνιες διευθύνσεις X και Z. Για τα κατακόρυφα μέλη, τα ταυτόχρονα εντατικά μεγέθη κάθε συνδυασμού, προσδιορίζονται πιθανοτικά με τη μέθοδο ταυτόχρονων μεγεθών (A.Gupta).

Η διαστασιολόγηση πραγματοποιείται στους φορείς αφού ληφθεί τυχηματική εκκεντρότητα e_{ai} ίση με το 5% της διάστασης του ορόφου L_i (EC8 §4.3.2).

$$e_{ai} = \pm 0,05 \cdot L_i \quad \text{Σχ.2.4}$$

Επομένως, παράγονται τέσσερις φορείς με μετατόπιση μάζας κατά $\pm X$ και $\pm Z$.

Συντελεστής Συμπεριφοράς q

Δεδομένου του ότι η κατασκευή σχεδιάζεται να συμπεριφέρεται ανελαστικά στο σεισμό σχεδιασμού, πραγματοποιείται ελαστική ανάλυση, χρησιμοποιώντας το συντελεστή συμπεριφοράς q για τη μείωση του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού.

Η τιμή του συντελεστή q προκύπτει από την ακόλουθη σχέση (EC8 §5.2.2.2).

$$q = q_o \cdot k_w \geq 1,5 \quad \text{Σχ.2.5}$$

, q_0 : η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς και εξαρτάται από τον τύπο του στατικού συστήματος (EC8 §5.2.2.2-Πιν.5.1) και από την κανονικότητά του σε όψη k_w : ο συντελεστής που εκφράζει την επικρατούσα μορφή αστοχίας σε στατικά συστήματα τοιχωμάτων (EC8 §5.2.2.2-(11))

Στους συγκεκριμένους φορείς, οι τιμές των συντελεστών συμπεριφοράς που λαμβάνονται για διαστασιολόγηση σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες, είναι αυτοί που προκύπτουν από την παραπάνω σχέση. Επιπροσθέτως, όμως, επειδή γίνεται παραμετρική ανάλυση λαμβάνονται και άλλες τιμές q , ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της μεταβολής της τιμής του συντελεστή συμπεριφοράς.

2.1.1.2. Ανακατανομή Ροπών

Ο EC2 διακρίνει τέσσερις τύπους ανάλυσης. Αυτές είναι η γραμμική-ελαστική συμπεριφορά, η γραμμική με περιορισμένη ανακατανομή, η πλαστική και μη-γραμμική συμπεριφορά.

Στη γραμμική ανάλυση, η καμπτική ένταση σχεδιασμού συνεχών δοκών προκύπτει από περιορισμένη ανακατανομή των ροπών κάμψης της ανάλυσης (EC2 §5.5), υπό την προϋπόθεση:

$$\delta \geq k_1 + \frac{k_2 \cdot x_u}{d} \geq k_5 \quad , \text{για } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa και σπλισμό κατηγορίας B} \quad \text{Σχ.2.6}$$

, δ : ο λόγος της ανακατανεμημένης ροπής προς την ελαστική ροπή

x_u : το ύψος του ουδέτερου άξονα στην ΟΚΑ μετά την ανακατανομή

d : το ενεργό ύψος της διατομής

k_1, k_2, k_5 : συντελεστές που ορίζονται από το εκάστοτε Εθνικό Προσάρτημα

Επομένως, η παραπάνω σχέση γίνεται

$$\delta \geq 0,44 + 1,25 \cdot \left(0,6 + \frac{0,0014}{\epsilon_{cu2}} \right) \cdot \frac{x_u}{d} \geq 0,7 \quad \text{Σχ.2.7}$$

Για τη διαστασιολόγηση των φορέων στην παρούσα εργασία, η καμπτική ένταση σχεδιασμού συνεχών δοκών στην ΟΚΑ, προέκυψε από περιορισμένη ανακατανομή των ροπών κάμψης της ανάλυσης, σύμφωνα με τις παραπάνω σχέσεις.

2.1.1.3. Έλεγχος σε Διάτμηση

Για τον έλεγχο σε διάτμηση υπολογίζονται η διατμητική αντοχή του μέλους χωρίς οπλισμό διάτμησης $V_{Rd,c}$, η τιμή της διατμητικής δύναμης που μπορεί να αναλάβει ο οπλισμός διάτμησης $V_{Rd,s}$, και η τιμή σχεδιασμού της μέγιστης διατμητικής δύναμης που μπορεί να αναλάβει το στοιχείο χωρίς να επέλθει θραύση του κορμού από αστοχία των λοξών θλιπτήρων $V_{Rd,max}$.

Για τον υπολογισμό του οπλισμού διάτμησης $V_{Rd,s}$, χρησιμοποιείται το μοντέλο δικτυώματος (EC2 §6.2.3). Στην περίπτωση τοποθέτησης κατακόρυφων συνδετήρων, η διατμητική αντοχή που μπορεί να αναλάβει ο οπλισμός διάτμησης προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta \quad \text{Σχ.2.8}$$

, A_{sw} : το εμβαδόν της διατομής του οπλισμού διάτμησης

s : η απόσταση των συνδετήρων

f_{ywd} : η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του οπλισμού διάτμησης

θ : η γωνία μεταξύ των λοξών θλιπτήρων και του κάθετου προς τη διεύθυνση της τέμνουσας άξονα

Η τιμή της $\cot\theta$ που θα χρησιμοποιείται σε μια χώρα δίνεται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Στην Ελλάδα, η γωνία θ μπορεί να ληφθεί ώστε να ικανοποιείται η ανίσωση $1 \leq \cot\theta \leq 2,5$, δηλαδή $45^\circ \geq \theta \geq 21,8^\circ$.

Από τα παραπάνω παρατηρείται δηλαδή ότι μειώνοντας τη γωνία θ , μειώνεται και ο απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης. Στους υπό μελέτη φορείς λαμβάνονται τιμές γωνίας θ εντός των ορίων αυτών για τον υπολογισμό του απαιτούμενου οπλισμού διάτμησης. Εξαιρέση αποτελεί ο έλεγχος υπό σεισμικά φορτία, όπου στις κρίσιμες περιοχές κύριων σεισμικών δοκών, η κλίση θ του θλιπτήρα στο προσομοίωμα λαμβάνεται 45° , για ΚΠΥ (EC8 §5.5.3.1.2).

Σε κάθε περίπτωση όμως, υπολογίζεται η μέγιστη τιμή της διατμητικής αντοχής που αντιστοιχεί στην αστοχία του λοξού θλιπτήρα σκυροδέματος $V_{Rd,max}$, λαμβάνοντας $\theta=45^\circ$.

2.1.2. Έλεγχος σε Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας

Πρόκειται για οριακή κατάσταση που αφορά τη λειτουργία του φορέα ή του μέλους υπό τα οιονεί μόνιμα φορτία. Στην ΟΚΛ εντάσσονται οι έλεγχοι εφελκυστικών τάσεων χάλυβα και θλιπτικών τάσεων σκυροδέματος, ο έλεγχος ρηγμάτωσης και ο έλεγχος παραμορφώσεων.

2.1.2.1. Έλεγχος Τάσεων

Η θλιπτική τάση στο σκυρόδεμα πρέπει να περιορίζεται ώστε να αποφεύγεται η διαμήκης ρηγμάτωση, η μικρο-ρηγμάτωση, ή τα υψηλά επίπεδα ερπυσμού, όπου αυτά μπορεί να επιφέρουν μη ανεκτές συνέπειες στη λειτουργία της κατασκευής.

Οι εφελκυστικές τάσεις στον οπλισμό πρέπει να περιορίζονται ώστε να αποφεύγεται η ανάπτυξη ανελαστικών παραμορφώσεων και μη ανεκτής ρηγμάτωσης ή παραμόρφωσης.

Στο Εθνικό Προσάρτημα δίνονται οι τιμές των συντελεστών για τις επιτρεπόμενες τιμές τάσεων για το σκυρόδεμα και χάλυβα (EC2 §7.2).

Στις αναλύσεις, γίνεται παραδοχή τριγωνικής κατανομής τάσεων και οι επιτρεπόμενες τιμές τάσεων λαμβάνονται για το σκυρόδεμα $\sigma_{c,ep}=0,6 \cdot f_{ck}$ και για το χάλυβα $\sigma_{s,ep}=0,8 \cdot f_{yk}$.

2.1.2.2. Έλεγχος Ρηγμάτωσης

Στον EC2 (EC2 §7.3.1) δίνονται πίνακες για τον καθορισμό του μέγιστου ανεκτού εύρους ρωγμής w_{max} , ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος. Ο EC2 προβλέπει αναλυτικό και απλοποιημένο έλεγχο έναντι ρηγμάτωσης.

Ο απλοποιημένος έλεγχος έναντι ρηγμάτωσης πραγματοποιείται με έλεγχο είτε της μέγιστης χρησιμοποιούμενης διαμέτρου \emptyset (EC2 §7.3.3-Πιν.7.2N) είτε με έλεγχο των μεταξύ αποστάσεων των ράβδων (EC2 §7.3.3-Πιν.7.3N), αφού υπολογιστεί η τάση του χάλυβα σ_s .

Σύμφωνα με τον αναλυτικό έλεγχο (EC2 §7.3.4), το εύρος της ρωγμής w_k μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$w_k = s_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) \quad \text{Σχ.2.9}$$

, $s_{r,max}$: η μέγιστη απόσταση των ρωγμών η οποία εκτιμάται με διάφορους τρόπους (EC2-§7.3.4)

ϵ_{sm} , ϵ_{cm} : η μέση ανηγμένη παραμόρφωση του οπλισμού και του σκυροδέματος αντίστοιχα, υπό τον κατάλληλο συνδυασμό δράσεων και υπολογίζονται ως εξής:

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \quad \text{Σχ.2.10}$$

Στην παρούσα εργασία, για τον σχεδιασμό των φορέων πραγματοποιούνται και οι δύο έλεγχοι και η εκάστοτε διατομή θεωρείται επαρκής εάν ικανοποιείται τουλάχιστον ένας από τους δύο παραπάνω ελέγχους.

2.1.2.3. Έλεγχος Παραμορφώσεων

Ο EC2 προβλέπει δύο τρόπους ελέγχου των παραμορφώσεων. Αυτοί είναι οι κανόνες για απαλλαγή του υπολογιστικού ελέγχου των παραμορφώσεων (EC2 §7.4.2) και οι σχέσεις αναλυτικού υπολογισμού των παραμορφώσεων (EC2 §7.4.3).

Στην περίπτωση που οι δοκοί ή πλάκες έχουν σχεδιαστεί με τρόπο ώστε να πληρούνται τα επιτρεπόμενα όρια του λόγου άνοιγμα προς ύψος που προκύπτουν από την ακόλουθη σχέση, παραλείπεται ο αναλυτικός υπολογισμός.

$$\frac{l}{d} = K \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_o}{\rho} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{\rho_o}{\rho} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right], \text{ για } \rho \leq \rho_o \quad \text{Σχ.2.11α}$$

$$\frac{l}{d} = K \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_o}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_o}} \right], \text{ για } \rho \geq \rho_o \quad \text{Σχ.2.11β}$$

, K : συντελεστής που εξαρτάται από το δομικό σύστημα και ορίζεται από το Εθνικό Προσάρτημα (EC2 §7.3.2-Πιν.7.4N)

ρ_o : το ποσοστό οπλισμού αναφοράς $= \sqrt{f_{ck}} \cdot 10^{-3}$

ρ : το απαιτούμενο ποσοστό εφελκούμενου οπλισμού

ρ' : το απαιτούμενο ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού

f_{ck} : η χαρακτηριστική τιμή της αντοχής του σκυροδέματος (MPa)

Στις συγκεκριμένες αναλύσεις ελέγχεται η παραπάνω συνθήκη απαλλαγής από τον αναλυτικό υπολογισμό και στην περίπτωση που δεν πληρείται τότε γίνεται έλεγχος με τους αναλυτικούς τύπους.

2.1.3. Ειδικά Θέματα EC8

2.1.3.1. Κανόνες Ικανοτικού Σχεδιασμού

Αποφυγή Σχηματισμού Μαλακού Ορόφου

Σε κτίρια με πλαισιωτό ή διπλό σύστημα ισοδύναμο προς πλαισιωτό, για την αποφυγή σχηματισμού μαλακού ορόφου, θα πρέπει να ικανοποιείται η παρακάτω συνθήκη για τον ικανοτικό σχεδιασμό των κόμβων (EC8 §4.4.2.3).

$$\sum M_{Rc} \geq \gamma_{Rd} \cdot M_{Rb} \quad \text{Σχ.2.12}$$

, M_{Rc} : το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων που συμβάλλουν στον κόμβο

M_{Rb} : το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής των δοκών που συμβάλλουν στον κόμβο

γ_{Rd} : 1,3

Ο παραπάνω έλεγχος μπορεί να παραλειφθεί σε ορισμένες περιπτώσεις που αναφέρονται αναλυτικά στο κείμενο του EC8 (EC8 §4 και §5). Σε αυτές τις περιπτώσεις εντάσσονται και τα δομήματα τοιχωματικού ή ισοδύναμου τοιχωματικού συστήματος, τα οποία στην υπόψη οριζόντια διεύθυνση αναλαμβάνουν μεγαλύτερη του 50% της σεισμικής τέμνουσας.

Στις επιλύσεις, ο λόγος της τέμνουσας τοιχωμάτων n_v , λαμβάνει υπόψη μόνο τα τοιχώματα με μήκος μεγαλύτερο από αυτό που ορίζει το Ελληνικό Εθνικό Προσάρτημα, ώστε η συνθήκη για το αν θα γίνει ικανοτικός έλεγχος κόμβου να είναι συντηρητικότερη. Έτσι, λαμβάνονται τοιχώματα με μήκος μεγαλύτερο των 1,50 m σε κτίρια μέχρι 4 ορόφους και μεγαλύτερα από 2,00 m όταν ο αριθμός των ορόφων είναι μεγαλύτερων από 4.

2.1.3.2. Έλεγχος Συνάφειας Κόμβων

Για την αποφυγή αστοχίας συνάφειας, η διάμετρος των διαμήκων ράβδων δοκών που διέρχονται μέσω κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων, θα πρέπει να περιορίζεται σύμφωνα με τις οδηγίες του EC8 (EC8 §4.6.2.2).

Στους ελέγχους των υπό εξέταση φορέων, για τη δεδομένη διάσταση υποστυλώματος και την αξονική δύναμη του άνω υποστυλώματος προσδιορίζεται η

μέγιστη διάμετρος ράβδου της δοκού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Από τον έλεγχο εξαιρούνται περιπτώσεις όπου η μια από τις δύο δοκούς του κόμβου είναι τοίχωμα υπογείου.

2.2. Αποτίμηση Φέρουσας Ικανότητας Κτιρίων με ΚΑΝ.ΕΠΕ και EC8-3

Η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας των κατασκευών καλύπτεται από τον Κανονισμό Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) και από τον Ευρωκώδικα 8 - Μέρος 3 (EC8-3). Οι κανονισμοί αυτοί, έχουν ως στόχο να θέσουν κριτήρια αφενός για την αξιολόγηση της σεισμικής συμπεριφοράς υφιστάμενων μεμονωμένων κτιρίων και αφετέρου για τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να γίνει η επέμβαση.

Η διαδικασία της αποτίμησης διαφοροποιείται ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι βλαβών στο προς αποτίμηση κτίριο.

Στους υπό εξέταση φορείς θεωρείται ότι δεν υπάρχουν βλάβες, και επομένως τα παρακάτω αναφέρονται σε φορείς χωρίς βλάβες. Επίσης, για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητάς τους εφαρμόστηκαν οι διατάξεις του EC8-3.

2.2.1. Αποτίμηση Φέρουσας Ικανότητας με Στάθμες Επιτελεστικότητας

Πρωταρχικό στόχο της διαδικασίας αποτίμησης φέρουσας ικανότητας μιας κατασκευής αποτελεί η υιοθέτηση μιας επιτρεπόμενης στάθμης βλαβών για ένα συγκεκριμένο σεισμό σχεδιασμού και η λήψη όλων των αναγκαίων μέτρων προκειμένου η κατασκευή αυτή να μην υπερβεί κατά το δυνατόν τη στοχευόμενη από το σχεδιασμό φέρουσα ικανότητά της.

Η παραπάνω αρχή αποτελεί το βασικό κορμό των κανονισμών επεμβάσεων. Ο αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών με στάθμες επιτελεστικότητας (στοχευόμενες συμπεριφορές), βασίζεται στην αρχή του καθορισμού ενός αποδεκτού επιπέδου ζημιών ανάλογα με την πιθανότητα εμφάνισης της σεισμικής δύναμης σχεδιασμού, δηλαδή του επιδιωκόμενου στόχου σεισμικής ικανότητας.

Οι στόχοι επανελέγχου προβλέπονται αποκλειστικά και μόνο για τον φέροντα οργανισμό του δομήματος και όχι για το μη-φέροντα.

Σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς, ορίζονται τρεις στάθμες επιτελεστικότητας συναρτήσει του βαθμού βλάβης όπως παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 2.1).

EC8-3 (§2.1) KAN.ΕΠΕ (§2.2)	ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΒΛΑΒΩΝ (DL)	ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΒΛΑΒΩΝ (SD)	ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΟΙΟΝΕΙ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ (NC)
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΕΣ ΒΛΑΒΕΣ (Α)	Ο φέρων οργανισμός έχει υποστεί μόνο ελαφριές βλάβες, με τα δομικά στοιχεία να μην έχουν διαρρεύσει σε σημαντικό βαθμό και να διατηρούν την αντοχή και δυσκαμψία τους. Ο φορέας δεν απαιτεί μέτρα επισκευής		
ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ (Β)		Ο φέρων οργανισμός έχει υποστεί σημαντικές, εκτεταμένες βλάβες, ενώ τα δομικά στοιχεία διαθέτουν εναπομένουσα αντοχή και δυσκαμψία και είναι σε θέση να παραλάβουν τα κατακόρυφα φορτία. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μετρίου μεγέθους. Ο φέρων οργανισμός μπορεί να αντέξει μετασεισμούς μέτριας έντασης.	
ΟΙΟΝΕΙ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ (Γ)			Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί εκτεταμένες και σοβαρές ή βαριές βλάβες. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μεγάλες. Ο φέρων οργανισμός έχει ακόμη την ικανότητα να φέρει τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία, χωρίς να διαθέτει άλλο ουσιαστικό περιθώριο ασφαλείας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης, ακόμη και για μετασεισμούς μέτριας έντασης.

Πίνακας 2.1 Αντίστοιχες στάθμες επιτελεστικότητας ΚΑΝ.ΕΠΕ και EC8-3.

Ο βασικός στόχος σχεδιασμού και αποτίμησης στον οποίο βασίζονται οι διατάξεις του EC8, είναι η προστασία ζωής σε ένα σεισμικό γεγονός που έχει περίοδο επανάληψης 10% στα 50 χρόνια. Ο καθορισμός του στόχου για τον οποίο θα γίνει η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας μιας υφιστάμενης κατασκευής εξαρτάται από τον επιθυμητό συνδυασμό ασφαλείας και κόστους, λαμβάνοντας υπόψη και τη σπουδαιότητα της κατασκευής (Πίνακας 2.2).

		ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ		
		ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	ΟΙΟΝΕΙ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ
ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΥΠΕΡΒΑΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΣΕ 50 ΧΡΟΝΙΑ	10 %	A1	B1	Γ1
	50%	A2	B2	Γ2

Πίνακας 2.2 Στόχοι αποτίμησης φέροντος οργανισμού.

Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (§2.2.1), σε περίπτωση δύο στόχων επανελέγχου, τα δυνατά ζεύγη είναι B_1-A_2 και Γ_1-B_2 .

Στις αναλύσεις αποτίμησης φέρουσας ικανότητας των υπό εξέταση κτιρίων επιλέχθηκε η περίπτωση B_1 ως στόχος επανελέγχου.

2.2.2. Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων

Προτού πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε ανάλυση φέρουσας ικανότητας ή επέμβαση, είναι απαραίτητο να διερευνηθεί και να τεκμηριωθεί το υφιστάμενο δόμημα επαρκώς και σε βάθος, με σκοπό να καταστούν όσο δυνατόν πιο αξιόπιστα τα δεδομένα στα οποία θα στηριχθεί η μελέτη αποτίμησης.

Καθορίζονται Σ.Α.Δ. τόσο για τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών όσο και για τα γεωμετρικά στοιχεία του δομήματος (ΚΑΝ.ΕΠΕ §3.6.2., EC8-3 §3.3.1.).

ΚΑΝ.ΕΠΕ ΣΤΑΘΜΕΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	EC8-3 ΕΠΙΠΕΔΑ ΓΝΩΣΗΣ
Υψηλή	Πλήρης γνώση
Ικανοποιητική	Κανονική γνώση
Ανεκτή	Περιορισμένη γνώση

Πίνακας 2.3 Στάθμες αξιοπιστίας δεδομένων.

Για κάθε στάθμη αξιοπιστίας (ή επίπεδο γνώσης), επιλέγονται οι κατάλληλοι συντελεστές ασφαλείας (συντελεστές εμπιστοσύνης).

Η αξιοπιστία των δεδομένων επιδρά και στην επιλογή της μεθόδου ανάλυσης, δεδομένου ότι για τις ανελαστικές αναλύσεις συνιστάται να διασφαλίζεται τουλάχιστον Ικανοποιητική (ή Κανονική Γνώση), καθώς μπορεί να αποδειχθεί ευαίσθητη στη διακύμανση των αποτελεσμάτων.

Στην παρούσα εργασία, δεδομένου ότι όλες οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας την ανελαστική στατική ανάλυση, θεωρήθηκε Ε.Γ. Κανονική Γνώση (ή αντιστοίχως Σ.Α.Δ. Ικανοποιητική).

2.2.3. Επιμέρους Συντελεστές Ασφαλείας

Δεδομένου ότι στις υφιστάμενες κατασκευές, οι αριθμητικές τιμές των δεδομένων που υπεισέρχονται στην αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό, ενδέχεται να έχουν μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας, επιλέγονται κατάλληλοι συντελεστές ασφαλείας.

Στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. χρησιμοποιούνται ανάλογα με τη στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων, κατάλληλοι συντελεστές ασφαλείας. Επιλέγονται, λοιπόν, συντελεστές ασφαλείας για ορισμένες δράσεις (γ_f) και για τις ιδιότητες των υλικών (γ_m) ώστε να ληφθούν υπόψη οι ενδεχόμενες δυσμενείς αποκλίσεις των αντίστοιχων μεταβλητών από τις αντιπροσωπευτικές τιμές. Επιπλέον, επιλέγονται και κατάλληλοι συντελεστές προκειμένου να συμπεριληφθούν οι αβεβαιότητες των προσομοιωμάτων και να εκτιμηθούν οι συνέπειες των δράσεων (γ_{sd}) και οι αντιστάσεις (γ_{Rd}).

Στον EC8-3, ανάλογα με το επίπεδο γνώσης των δεδομένων χρησιμοποιούνται οι κατάλληλοι συντελεστές εμπιστοσύνης (Confidence Factors).

Τα παραπάνω μπορούν να συνοψιστούν στους ακόλουθους πίνακες (Πίνακες 2.4 και 2.5).

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	ΚΑΝ.ΕΠΕ (§4.5)			
Για τα προσομοιώματα	Βλάβες / Επεμβάσεις	γ_{sd}	Στάθμη Επιτελεστικότητας	γ_{Rd}^*
	Έντονες και εκτεταμένες	1,20	Περιορισμένες βλάβες	1,00
	Ελαφρές και τοπικές	1,10	Σημαντικές βλάβες και Οιονεί κατάρρευση	1,50 $\rightarrow \theta\gamma, \theta u$ 1,80 $\rightarrow \theta u^{pl}$
	Χωρίς	1,00		1,30 \rightarrow άοπλες τοιχ. 1,20 \rightarrow οπλισμένες τοιχ.
	Όταν το σύνολο σχεδόν των σεισμικών δράσεων αναλαμβάνεται από νέους, ικανούς και επαρκείς φορείς $\rightarrow \gamma_{sd}=1,00$ Για αποτίμηση με ελαστική ανάλυση $\rightarrow \gamma_{sd,el} = \gamma_{sd} + 0,15$ *Οι τιμές του γ_{Rd} που παρουσιάζονται αφορούν κύρια (πρωτεύοντα) μέλη.			
Για τις δράσεις στην Ο.Κ.Α	Μεταβλητές	Μόνιμες		
	$\gamma_f, \psi_i \rightarrow EC$	Σ.Α.Δ	Βασικοί Συνδυασμοί	Λοιποί Συνδυασμοί
		Υψηλή	1,20	1,00
		Ικανοποιητική	1,35	1,10
Ανεκτή	1,50	1,20		
Για τις ιδιότητες των υλικών	Σ.Α.Δ	Υφιστάμενα Υλικά (γ_m)		
		Έλεγχος σε όρους δυνάμεων	Έλεγχος σε όρους παραμορφώσεων	Τοιχοπληρώσεις
	Υψηλή	$\gamma_c = 1,35 \ \gamma_s = 1,05$	1,00	1,50
	Ικανοποιητική	$\gamma_c = 1,50 \ \gamma_s = 1,15$	1,10**	2,00
	Ανεκτή	$\gamma_c = 1,65 \ \gamma_s = 1,25$	1,20	2,50
** Για Σ.Α.Δ. Ικανοποιητική και αν η τυπική απόκλιση των επιμέρους τιμών είναι σχετικά μικρή $\rightarrow \gamma_m = 1,00$ Για υφιστάμενες τοιχοπληρώσεις δεν επιτρέπεται απλώς ανεκτή Σ.Α.Δ.				

Πίνακας 2.4 Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας ΚΑΝ.ΕΠΕ.

EC8-3 (§3.3, §4.6)			
Επίπεδο Γνώσης	Συντελεστές Εμπιστοσύνης CF	Τύπος Στοιχείου	
		Πλάστιμο	Ψαθυρό
Πλήρης	1,00	Χρήση μέσων τιμών των ιδιοτήτων των υλικών, διαιρεμένων δια του CF.	Χρήση μέσων τιμών των ιδιοτήτων των υλικών, διαιρεμένων δια του CF και του επιμέρους συντελεστή.
Κανονική	1,20		
Περιορισμένη	1,35		

Πίνακας 2.5 Επιμέρους συντελεστές εμπιστοσύνης EC8-3.

Οι αναλύσεις πραγματοποιούνται με χρήση των μέσων τιμών των ιδιοτήτων των υφιστάμενων υλικών, οι οποίες μπορούν να προκύψουν είτε από επί τόπου δοκιμές, είτε από τις αντίστοιχες χαρακτηριστικές τιμές.

Στην προκειμένη περίπτωση, οι παραμετρικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τις μέσες τιμές των ιδιοτήτων των υλικών οι οποίες προέκυψαν από τις χαρακτηριστικές τιμές τους, καθώς δεν υπήρχε η δυνατότητα επί τόπου δοκιμών και ελέγχων.

2.2.4. Επιρροή Περίσφιγξης

Η επιρροή της τριαξονικής θλίψης στην αντοχή του σκυροδέματος, μέσω της περίσφιγξής του με συνδετήρες από χάλυβα, λαμβάνεται υπόψη με χρήση των αντίστοιχων σχέσεων (Πίνακας 2.6).

ΚΑΝ.ΕΠΕ (§6.2.1)	EC8-3 (§A.3.2.2.(8β))
$f_{cd,c} = (1 + 2,5 \cdot \alpha \cdot \omega_{wd}) \cdot f_{cd}$ για $\alpha \omega_{wd} \leq 0,10$ $f_{cd,c} = (1,125 + 1,25 \cdot \alpha \cdot \omega_{wd}) \cdot f_{cd}$ για $\alpha \omega_{wd} \geq 0,10$	$f_{cc} = f_c \cdot \left[1 + 3,7 \cdot \left(\frac{\alpha \cdot \rho_{sx} \cdot f_{yw}}{f_c} \right)^{0,86} \right]$
$\epsilon_{c2,c} = 0,002 \cdot \left(\frac{f_{cd,c}}{f_{cd}} \right)^2$	$\epsilon_{cc} = \epsilon_{c2} \cdot \left[1 + 5 \cdot \left(\frac{f_{cc} - 1}{f_c} \right) \right]$
$\epsilon_{cu,c} = 0,0035 + 0,1 \cdot \alpha \cdot \omega_{wd}$	$\epsilon_{cu} = 0,004 + 0,5 \cdot \frac{\alpha \cdot \rho_{sx} \cdot f_{yw}}{f_{cc}}$

f_c (ή f_{cd}) : η αντοχή του σκυροδέματος (ή αντοχή σχεδιασμού)
 f_{yw} : η αντοχή του χάλυβα των συνδετήρων
 α : ο συντελεστής αποτελεσματικότητας της περίσφιγξης
 ρ_{sx}, ω_{wd} : το ποσοστό του εγκάρσιου οπλισμού παράλληλα προς την κατεύθυνση της φόρτισης
 $\alpha \cdot \omega_{wd}$: το ενεργό ποσοστό περίσφιγξης
 ϵ_{c2} : ανηγμένη παραμόρφωση (=2 ‰ για $f_{ck} \leq 50$ MPa)
Στην περίπτωση διατομών με διαφορετικό ποσοστό οπλισμού περισφίγξεως κατά τους δύο άξονες, ο υπολογισμός των μηχανικών χαρακτηριστικών του περισφίγμένου σκυροδέματος, γίνεται βάσει του μικρότερου από τα δύο ποσοστά οπλισμού περισφίγξεως.

Πίνακας 2.6 Υπολογισμός χαρακτηριστικών περισφίγμένου σκυροδέματος.

Στις περιπτώσεις αναλύσεων που λήφθηκε υπόψη η επιρροή περισφίξεως των συνδετήρων στην αντοχή του σκυροδέματος, για τον υπολογισμό των βελτιωμένων μηχανικών χαρακτηριστικών του σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις του EC8-3 για ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Στην περίπτωση χρήσης του προγράμματος Fespa, το τμήμα του σκυροδέματος εκτός του πυρήνα αγνοείται ενώ στις αναλύσεις με χρήση του Sap2000, λαμβάνεται το τμήμα εκτός του πυρήνα με τα χαρακτηριστικά του απερίσφικτου σκυροδέματος.

2.2.5. Προσδιορισμός Συμπεριφοράς Δομικών Στοιχείων

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι διατάξεις των κανονισμών (ΚΑΝ.ΕΠΕ. και EC8-3) για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς νέων ή υφιστάμενων δομικών στοιχείων χωρίς βλάβες.

2.2.5.1. Καμπύλη Εντατικού Μεγέθους - Παραμόρφωσης "F-δ"

Η μηχανική συμπεριφορά ενός δομικού στοιχείου, μπορεί να περιγραφεί μέσω ενός διαγράμματος εντατικού μεγέθους "F" συναρτήσει της παραμόρφωσης ή σχετικής μετακίνησης "δ".

Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (§7.1.2), θεωρείται ότι η μηχανική συμπεριφορά περιγράφεται από την περιβάλλουσα των εξασθενημένων αποκρίσεων F, μετά από πλήρως ανακυκλιζόμενη επιβαλλόμενη παραμόρφωση $\pm\delta$, μέχρι και την απώλεια της ικανότητας του δομικού στοιχείου να παραλάβει τα κατακόρυφα φορτία βαρύτητας.

Επομένως, για τις ανάγκες της αποτίμησης της φέρουσας ικανότητας ενός δομήματος, η πολυγραμμική καμπύλη η οποία περιγράφει τη συμπεριφορά του κάθε δομικού μέλους έχει την ακόλουθη μορφή (Διάγραμμα 2.1).



Διάγραμμα 2.1 Καμπύλη συμπεριφοράς δομικού στοιχείου "F-δ".

Ο πρώτος ευθύγραμμος κλάδος (οιονεί ελαστικός κλάδος), εκτείνεται από την αρχή των αξόνων μέχρι τη συμβατική (ή ενεργό) διαρροή του στοιχείου (δ_y).

Ακολούθως, είναι ο μετελαστικός κλάδος ο οποίος είναι αποδεκτό να λαμβάνεται ως οριζόντιος μέχρι την παραμόρφωση αστοχίας (δ_u). Η εκτίμηση της ανελαστικής σεισμικής απόκρισης δεν επηρεάζεται ουσιωδώς αν αγνοηθεί η θετική κλίση, λόγω κράτυνσης. Πάντως ο μετελαστικός κλάδος μπορεί να λαμβάνεται με μικρή θετική κλίση για λόγους αριθμητικής ευστάθειας.

Μετά την παραμόρφωση αστοχίας, μειώνεται σημαντικά η απόκριση του στοιχείου σε ένταση (F_{res}), χωρίς όμως να μηδενίζεται. Η απόκριση μπορεί να θεωρηθεί περίπου σταθερή μέχρι την παραμόρφωση που προκαλεί απώλεια της αντίστασης έναντι φορτίων βαρύτητας. Η μέγιστη αυτή παραμόρφωση, μπορεί να θεωρηθεί το πολύ ίση με το διπλάσιο της παραμόρφωσης αστοχίας (δ_u). Για στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος, ο πολλαπλασιαστικός συντελεστής μπορεί να ληφθεί ίσος με $\beta=1,5$. Το μέγεθος της απομένουσας αντίστασης F_{res} , μπορεί να λαμβάνεται ως ποσοστό της οριακής αντοχής των στοιχείων $F_{res}=\alpha \cdot F_y$ ($\alpha \leq 0,5$). Για στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος, το ποσοστό αυτό μπορεί να ληφθεί $\alpha = 0,25$.

Στοιχεία των οποίων η συμπεριφορά χαρακτηρίζεται ως πλάστιμη, η παραπάνω καμπύλη θα εκφράζεται σε όρους παραμορφώσεων. Στην αντίθετη περίπτωση, όπου θα χαρακτηρίζεται ως ψαθυρή, θα εκφράζεται σε όρους δυνάμεων.

Στοιχεία με πλάστιμη συμπεριφορά θεωρούνται όταν η διαθέσιμη τιμή του δείκτη πλαστιμότητας ξεπερνά τη συμβατική τιμή 2 όταν αναφέρεται σε σχετικές μετακινήσεις (μ_δ ή μ_θ) και την τιμή 3 όταν αναφέρεται σε δείκτη πλαστιμότητας καμπυλοτήτων ($\mu_{1/r}$), είτε όταν διαρρέουν σε κάμψη πριν από τη διαρροή σε διάτμηση ($V_{My} < V$) με λόγο διάτμησης (α_s) μεγαλύτερο της τιμής 2.

Έλεγχος Κριτηρίων Επιτελεστικότητας

Με βάση τα προβλεπόμενα από τους κανονισμούς και σύμφωνα με το παραπάνω σκελετικό διάγραμμα συμπεριφοράς, οι έλεγχοι ασφαλείας μπορούν να παρουσιαστούν αναλόγως της στάθμης επιτελεστικότητας (Πίνακας 2.7).

Τα παρακάτω αφορούν στοιχεία με πλάστιμη αστοχία (έλεγχος σε όρους παραμορφώσεων).

	ΚΑΝ.ΕΠΕ (§9.2-9.3)	EC8-3 (§A.3.2.3)
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	Πρωτεύοντα φ.σ. : ϑ_y Τοιχοπληρώσεις : ϑ_y	ϑ_y
ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	Πρωτεύοντα φ.σ. : $\frac{1}{2} \cdot (\vartheta_y + \vartheta_u) / \gamma_{Rd}$ Τοιχοπληρώσεις : $\vartheta_u / \gamma_{Rd}$	$0,75 \cdot \vartheta_u$
ΟΙΟΝΕΙ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ	Πρωτεύοντα φ.σ. : $\vartheta_u / \gamma_{Rd}$ Τοιχοπληρώσεις : ϑ_u	ϑ_u
Οι τιμές γ_{Rd} είναι εκείνες που αναφέρονται στο §2.2.3 της παρούσας εργασίας, όπως αναφέρονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ.		

Πίνακας 2.7 Εποπτική παρουσίαση των ελέγχων επιτελεστικότητας στο διάγραμμα συμπεριφοράς του δομικού μέλους.

Στις αναλύσεις για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας που έγιναν με χρήση του προγράμματος Sap2000, εισάχθηκαν τα διαγράμματα συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων όπως επίσης και τα μεγέθη για τον έλεγχο με βάση τις στάθμες επιτελεστικότητας, σύμφωνα με τις διατάξεις του EC8-3. Οι αναλυτικοί έλεγχοι παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

2.2.5.2. Παραμόρφωση Διαρροής Στοιχείου

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν ακριβέστερα στοιχεία, και ο έλεγχος πραγματοποιείται σε όρους παραμορφώσεων, η γωνία στροφής χορδής ϑ_y στην καμπτική διαρροή μπορεί να εκτιμηθεί από τις αντίστοιχες σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και EC8-3, όπως παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 2.8).

KAN.ΕΠΕ (§7.2.2.)	EC8-3 (§A.3.2.4.)
Δοκοί ή Υποστυλώματα	
$\vartheta_y = \varphi_y \cdot \frac{L_s + a_v \cdot z}{3} + 0,0014 \cdot \left(1 + 1,5 \cdot \frac{h}{L_s} \right) + \varphi_y \cdot \frac{d_b \cdot f_y}{8 \cdot \sqrt{f_c}}$	$\vartheta_y = \varphi_y \cdot \frac{L_v + a_v \cdot z}{3} + 0,00135 \cdot \left(1 + 1,5 \cdot \frac{h}{L_v} \right) + \frac{\varepsilon_y}{d-d'} \cdot \frac{d_b \cdot f_y}{6 \sqrt{f_c}}$ <p style="text-align: center;">ή εναλλακτικώς</p> $\vartheta_y = \varphi_y \cdot \frac{L_v + a_v \cdot z}{3} + 0,0013 \cdot \left(1 + 1,5 \cdot \frac{h}{L_v} \right) + 0,13 \cdot \varphi_y \cdot \frac{d_b \cdot f_y}{\sqrt{f_c}}$
Τοιχώματα	
$\vartheta_y = \varphi_y \cdot \frac{L_s + a_v \cdot z}{3} + 0,0013 + \varphi_y \cdot \frac{d_b \cdot f_y}{8 \cdot \sqrt{f_c}}$	$\vartheta_y = \varphi_y \cdot \frac{L_v + a_v \cdot z}{3} + 0,002 \cdot \left(1 - 0,135 \cdot \frac{L_v}{h} \right) + \frac{\varepsilon_y}{d-d'} \cdot \frac{d_b \cdot f_y}{6 \sqrt{f_c}}$ <p style="text-align: center;">ή εναλλακτικώς</p> $\vartheta_y = \varphi_y \cdot \frac{L_v + a_v \cdot z}{3} + 0,002 \cdot \left(1 - 0,125 \cdot \frac{L_v}{h} \right) + 0,13 \cdot \varphi_y \cdot \frac{d_b \cdot f_y}{\sqrt{f_c}}$
<p>φ_y : η καμπυλότητα διαρροής της ακραίας διατομής</p> <p>$a_v \cdot z$: εκφράζει την επιρροή του μήκους μετατόπισης του διαγράμματος των ροπών κάμψης</p> <p>z : ο μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων</p> <p>a_v: συντελεστής, εάν η τέμνουσα που προκαλεί λοξή ρηγμάτωση (V_{R1}) υπολείπεται της τιμής της τέμνουσας κατά την καμπτική διαρροή (V_{My}) $\rightarrow a_v=1$, αλλιώς $a_v=0$</p> <p>h : το ύψος της διατομής</p> <p>L_s, L_v : η απόσταση της ακραίας διατομής από το σημείο μηδενισμού των ροπών</p> <p>f_y, f_c : τάση διαρροής χάλυβα και σκυροδέματος αντίστοιχα (MPa)</p> <p>ε_y : παραμόρφωση διαρροής</p> <p>d, d' : θέση εφελκόμενου και θλιβόμενου οπλισμού αντίστοιχα</p> <p>d_b : η μέση διάμετρος του εφελκόμενου οπλισμού</p> <p><i>Ο πρώτος όρος εκφράζει τη συμβολή των καμπτικών παραμορφώσεων, ο δεύτερος όρος εκφράζει τις μέσες διατμητικές παραμορφώσεις και ο τρίτος την επιρροή της εξόγκωσης του τμήματος των ράβδων πέραν της ακραίας διατομής του στοιχείου.</i></p> <p><i>*Η τιμή της καμπυλότητας διαρροής (φ_y) διατομής οπλισμένου σκυροδέματος με ορθογωνική θλιβόμενη ζώνη μπορεί να υπολογιστεί από τους αναλυτικούς τύπους του Παραρτήματος 7Α του ΚΑΝ.ΕΠΕ..</i></p> <p><i>**Στην περίπτωση του υπολογισμού της γωνίας στροφής χορδής στη διαρροή χρησιμοποιώντας τις σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ., αν η τέμνουσα αντοχής του στοιχείου υπολείπεται της τιμής της τέμνουσας κατά την καμπτική διαρροή, τότε καθοριστική της διαρροής είναι η διάτμηση και άρα η παραμόρφωση διαρροής υπολογίζεται ως το γινόμενο της ϑ_y επί $V_R \cdot L_s / M_y$.</i></p>	

Πίνακας 2.8 Υπολογισμός της γωνίας στροφής χορδής στη διαρροή.

2.2.5.3. Παραμόρφωση Αστοχίας Στοιχείου

Η εκτίμηση της διαθέσιμης τιμής της πλαστικής γωνίας στροφής χορδής ή της συνολικής γωνίας στροφής χορδής στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας εμπειρικές σχέσεις, που περιλαμβάνουν τα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των στοιχείων αλλά και τους οπλισμούς τους.

Τέτοιες σχέσεις περιγράφονται στους κανονισμούς και παρατίθενται ακολούθως (Πίνακας 2.9).

ΚΑΝ.ΕΠΕ (§7.2.2.)	
Δοκοί - Υποστυλώματα	$\vartheta_{um} = 0,016 \cdot (0,3^v) \cdot \left[\frac{\max(0,01;\omega')}{\max(0,01;\omega)} \cdot f_c \right]^{-0,225} \cdot (\alpha_s)^{0,35} \cdot 25^{\left(\alpha_{psx} \cdot \frac{f_{yw}}{f_c}\right)} \cdot (1,25^{100 \cdot \rho_d})$ $\vartheta_{um}^{pl} = \vartheta_{um} - \vartheta_y = 0,0145 \cdot (0,25^v) \cdot \left[\frac{\max(0,01;\omega')}{\max(0,01;\omega)} \right]^{-0,3} \cdot f_c^{0,2} \cdot (\alpha_s)^{0,35} \cdot 25^{\left(\alpha_{psx} \cdot \frac{f_{yw}}{f_c}\right)} \cdot (1,275^{100 \cdot \rho_d})$
Τοιχώματα	$\vartheta_{um} = 0,58 \cdot 0,016 \cdot (0,3^v) \cdot \left[\frac{\max(0,01;\omega')}{\max(0,01;\omega)} \cdot f_c \right]^{-0,225} \cdot (\alpha_s)^{0,35} \cdot 25^{\left(\alpha_{psx} \cdot \frac{f_{yw}}{f_c}\right)} \cdot (1,25^{100 \cdot \rho_d})$ $\vartheta_{um}^{pl} = \vartheta_{um} - \vartheta_y = 0,56 \cdot 0,0145 \cdot (0,25^v) \cdot \left[\frac{\max(0,01;\omega')}{\max(0,01;\omega)} \right]^{-0,3} \cdot f_c^{0,2} \cdot (\alpha_s)^{0,35} \cdot 25^{\left(\alpha_{psx} \cdot \frac{f_{yw}}{f_c}\right)} \cdot (1,275^{100 \cdot \rho_d})$
EC8-3 (§A.3.2.2.)	
Δοκοί - Υποστυλώματα	$\vartheta_{um} = \frac{1}{Y_{el}} \cdot 0,016 \cdot (0,3^v) \cdot \left[\frac{\max(0,01;\omega')}{\max(0,01;\omega)} \cdot f_c \right]^{-0,225} \cdot \left(\frac{L_v}{h} \right)^{0,35} \cdot 25^{\left(\alpha_{psx} \cdot \frac{f_{yw}}{f_c}\right)} \cdot (1,25^{100 \cdot \rho_d})$ <p style="text-align: center;">ή εναλλακτικώς : $\vartheta_{um} = \frac{1}{Y_{el}} \cdot \left(\vartheta_y + (\varphi_u - \varphi_y) \cdot L_{pl} \cdot \left(1 - \frac{0,5 \cdot L_{pl}}{L_v} \right) \right)$</p> $\vartheta_{um}^{pl} = \vartheta_{um} - \vartheta_y = \frac{1}{Y_{el}} \cdot 0,0145 \cdot (0,25^v) \cdot \left[\frac{\max(0,01;\omega')}{\max(0,01;\omega)} \right]^{-0,3} \cdot f_c^{0,2} \cdot \left(\frac{L_v}{h} \right)^{0,35} \cdot 25^{\left(\alpha_{psx} \cdot \frac{f_{yw}}{f_c}\right)} \cdot (1,275^{100 \cdot \rho_d})$
Τοιχώματα	Οι τιμές που προκύπτουν από τις σχέσεις για την ολική γωνία στροφής χορδής (ϑ_{um}) θα διαιρούνται δια 1,6 και από τις αντίστοιχες σχέσεις για την πλαστική γωνία στροφής χορδής (ϑ_{um}^{pl}) θα πολλαπλασιάζονται με 0,6.

Y_{el} : συντελεστής που στη σχέση για υπολογισμό της ϑ_{um} λαμβάνεται 1,5 για κύρια σεισμικά στοιχεία και 1,0 για δευτερεύοντα, ενώ στη σχέση για υπολογισμό της ϑ_{um}^{pl} λαμβάνεται 1,8 για κύρια σεισμικά στοιχεία και 1,0 για δευτερεύοντα

h : το ύψος της διατομής

L_v : η απόσταση της ακραίας διατομής από το σημείο μηδενισμού των ροπών

α_s : ο λόγος διάτμησης

v : η ανηγμένη αξονική (θετική για θλίψη)

ω, ω' : το μηχανικό ποσοστό οπλισμού του εφελκόμενου και θλιβόμενου διαμήκη οπλισμού αντιστοίχως

f_c, f_{yw} : η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος και η τιμή διαρροής των συνδετήρων αντίστοιχα (MPa)

ρ_{sx} : ποσοστό του εγκάρσιου οπλισμού παράλληλου προς την κατεύθυνση της φόρτισης

ρ_d : το ποσοστό του διαγώνιου οπλισμού σε κάθε διαγώνια διεύθυνση

α : ο συντελεστής αποτελεσματικότητας της περίσφιγξης

ϑ_y : η στρόφη της χορδής στη διαρροή

φ_y : η καμπυλότητα διαρροής στην ακραία διατομή

φ_u : η οριακή καμπυλότητα στην ακραία διατομή

L_{pl} : η τιμή του μήκους της πλαστικής άρθρωσης

Η τιμή του μήκους της πλαστικής άρθρωσης εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο λαμβάνεται υπόψη η ενίσχυση της αντοχής και της ικανότητας παραμόρφωσης του σκυροδέματος, η οποία οφείλεται στην περίσφιγξη.

**Οι παραπάνω σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. ισχύουν για στοιχεία που έχουν διαστασιολογηθεί και κατασκευαστεί με τις μετά το 1985 διατάξεις για αντισεισμικότητα.*

*** Στην περίπτωση στοιχείων που έχουν διαστασιολογηθεί και κατασκευαστεί με βάση τα ισχύοντα στην Ελλάδα προ του 1985, με χρήση νευροχαλύβων, οι τιμές που υπολογίζονται από τις σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ., χρειάζεται να διαιρεθούν δια 1,20.*

Πίνακας 2.9 Υπολογισμός της γωνίας στροφής χορδής στην αστοχία.

Στις αναλύσεις των φορέων της παρούσας εργασίας, το στατικό πρόγραμμα Fespa που χρησιμοποιείται, υπολογίζει αυτόματα τις τιμές της γωνίας στροφής χορδής σύμφωνα με τις σχέσεις του EC8-3. Στις αναλύσεις με το στατικό πρόγραμμα Sap2000, οι γωνίες στροφής χορδής υπολογίζονται με χρήση υπολογιστικών φύλλων Excel, που παρατίθενται στο Παράρτημα.

2.2.5.4. Αστοχία από Τέμνουσα

Κατά τις μετελαστικές ανακυκλίσεις, η σταδιακή εξασθένηση της αντίστασης σε τέμνουσα (V_R), η οποία είναι ανάλογη με το μέγεθος του πλαστικού τμήματος της γωνίας στροφής χορδής στη διατομή της μέγιστης ροπής, ενδέχεται να προκαλέσει αστοχία από τέμνουσα, ακόμη και στην περίπτωση που αρχικώς ήταν μεγαλύτερη της τέμνουσας κατά την καμπτική διαρροή (V_{My}).

Για να ληφθεί επαρκώς υπόψη το ενδεχόμενο αυτό, απαιτείται η εκτίμηση αυτής της εξασθένησης, παρουσία συνδετήρων, με τις ακόλουθες εκφράσεις (Πίνακας 2.10).

ΚΑΝ.ΕΠΕ (§7.2.4.2. - Π.7Δ)
$V_R = \frac{h-x}{2 \cdot L_s} \cdot \min(N; 0,55 \cdot A_c \cdot f_c) + (1-0,05 \cdot \min(5; \mu_{\Delta}^{pl})) \cdot [0,16 \cdot \max(0,5; 100 \cdot \rho_{tot}) \cdot (1-0,16 \cdot \min(5; \alpha_s)) \cdot \sqrt{f_c} \cdot A_c + V_w]$ <p>Η διατμητική αντοχή V_R ενός τοιχώματος δεν μπορεί να λαμβάνεται μεγαλύτερη από την τιμή η οποία αντιστοιχεί στην αστοχία λόγω λοξής θλίψης κορμού:</p> $V_{R,max} = 0,85 \cdot (1-0,06 \cdot \min(5; \mu_{\Delta}^{pl})) \cdot \left(1 + 1,8 \cdot \min(0,15; \frac{N}{A_c \cdot f_c})\right) \cdot (1+0,25 \cdot \max(1,75; 100 \cdot \rho_{tot})) \cdot (1-0,2 \cdot \min(2; \alpha_s)) \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot z$ <p>Εάν σε ένα υποστύλωμα, ο λόγος διάτμησης στη διατομή άκρου $\alpha_s \leq 2,0$, η διατμητική του αντοχή V_R, δεν θα πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερη από την τιμή η οποία αντιστοιχεί σε αστοχία λόγω σύνθλιψης του κορμού κατά μήκος της διαγωνίου του υποστυλώματος πριν από την καμπτική διαρροή:</p> $V_{R,max} = \frac{4}{7} \cdot (1-0,02 \cdot \min(5; \mu_{\Delta}^{pl})) \cdot \left(1 + 1,35 \cdot \frac{N}{A_c \cdot f_c}\right) \cdot (1+0,45 \cdot (100 \cdot \rho_{tot})) \cdot \sqrt{\min(40; f_c)} \cdot b_w \cdot z \cdot \sin(2\delta)$
EC8-3 (§A.3.3.1.)
$V_R = \frac{1}{Y_{el}} \cdot \left[\frac{h-x}{2 \cdot L_v} \cdot \min(N; 0,55 \cdot A_c \cdot f_c) + (1-0,05 \cdot \min(5; \mu_{\Delta}^{pl})) \cdot \left[0,16 \cdot \max(0,5; 100 \cdot \rho_{tot}) \cdot \left(1-0,16 \cdot \min\left(5; \frac{L_v}{h}\right)\right) \cdot \sqrt{f_c} \cdot A_c + V_w \right] \right]$ <p>Η διατμητική αντοχή V_R ενός τοιχώματος δεν μπορεί να λαμβάνεται μεγαλύτερη από την τιμή η οποία αντιστοιχεί στην αστοχία λόγω λοξής θλίψης κορμού:</p> $V_{R,max} = \frac{0,85 \cdot (1-0,06 \cdot \min(5; \mu_{\Delta}^{pl}))}{Y_{el}} \cdot \left(1 + 1,8 \cdot \min(0,15; \frac{N}{A_c \cdot f_c})\right) \cdot (1+0,25 \cdot \max(1,75; 100 \cdot \rho_{tot})) \cdot \left(1-0,2 \cdot \min\left(2; \frac{L_v}{h}\right)\right) \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot z$ <p>Εάν σε ένα υποστύλωμα, ο λόγος διάτμησης στη διατομή άκρου $L_v/h \leq 2,0$, η διατμητική του αντοχή V_R, δεν θα πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερη από την τιμή η οποία αντιστοιχεί σε αστοχία λόγω σύνθλιψης του κορμού κατά μήκος της διαγωνίου του υποστυλώματος πριν από την καμπτική διαρροή:</p> $V_{R,max} = \frac{4}{7} \cdot \frac{(1-0,02 \cdot \min(5; \mu_{\Delta}^{pl}))}{Y_{el}} \cdot \left(1 + 1,35 \cdot \frac{N}{A_c \cdot f_c}\right) \cdot (1+0,45 \cdot (100 \cdot \rho_{tot})) \cdot \sqrt{\min(40; f_c)} \cdot b_w \cdot z \cdot \sin(2\delta)$

γ_{ei} : συντελεστής που λαμβάνεται 1,15 για κύρια σεισμικά στοιχεία και 1,0 για δευτερεύοντα

h : το ύψος της διατομής (σε κυκλικές διατομές ισούται με τη διάμετρο)

x : το ύψος της θλιβόμενης ζώνης

L_s, L_v : η απόσταση της ακραίας διατομής από το σημείο μηδενισμού των ροπών

α_s : ο λόγος διάτμησης

N : η θλιπτική αξονική δύναμη (θετική για θλίψη, λαμβάνεται μηδέν για εφελκυσμό)

A_c : το εμβαδόν της διατομής σκυροδέματος ($=b_w \cdot d$, σε διατομές με ορθογωνικό κορμό πάχους b_w και στατικό ύψος d ή $=0,25 \cdot \pi \cdot D_c^2$, σε κυκλικές διατομές με διάμετρο πυρήνα εντός συνδετήρων διαμέτρου D_c)

f_c : η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος (MPa)

μ_{Δ}^{pl} ή μ_{Θ}^{pl} : ο συντελεστής πλαστιμότητας της στροφής χορδής στο άκρο του μέλους (μπορεί να υπολογιστεί ως ο λόγος του πλαστικού μέρους της στροφής χορδής ανηγμένο στη στροφή χορδής στη διαρροή)

ρ_{tot} : το συνολικό ποσοστό του διαμήκους οπλισμού

δ : η γωνία μεταξύ της διαγωνίου και του άξονα του υποστυλώματος ($\tan \delta = h/2L_v$)

V_w : η συνεισφορά του εγκάρσιου οπλισμού στη διατμητική αντοχή

(α) Για διατομές με ορθογωνικό κορμό πάχους,

$$V_w = \rho_w \cdot b_w \cdot z \cdot f_{yw}$$

ρ_w : το ποσοστό του εγκάρσιου οπλισμού

z : ο μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων

b_w : το πάχος του ορθογωνικού κορμού

f_{yw} : η τάση διαρροής του εγκάρσιου οπλισμού

(β) Για κυκλικές διατομές,

$$V_w = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yw} \cdot (D - 2 \cdot c)$$

D : η διάμετρος της διατομής

A_{sw} : η επιφάνεια της διατομής ενός κυκλικού συνδετήρα

s : η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων

c : η επικάλυψη του σκυροδέματος

*Οι παραπάνω σχέσεις ισχύουν με μονάδες MN και m.

**Για τα πρωτεύοντα στοιχεία η f_c και f_{yw} θα πρέπει επιπλέον να διαιρούνται με τους επιμέρους συντελεστές για το σκυρόδεμα και για το χάλυβα αντιστοίχως, σύμφωνα με τον EC8-1.

***Το ελάχιστο της διατμητικής αντοχής που υπολογίζεται σύμφωνα με τον EC8-1 ή μέσω των παραπάνω σχέσεων θα πρέπει να χρησιμοποιείται στην αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας.

Πίνακας 2.10 Υπολογισμός διατμητικής αντοχής υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση.

Αν το στοιχείο αστοχεί από τέμνουσα προτού διαρρέυσει σε κάμψη, δηλαδή αν $V_R < V_{My}$, τότε επιτρέπεται να λαμβάνεται πλαστική γωνία στροφής στο άκρο του μετά την εξάντληση της διατμητικής αντοχής ίση με το 40% της αντίστοιχης γωνίας στροφής χορδής στην καμπτική διαρροή θ_y .

Στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν με χρήση του προγράμματος Fespa, η αναπτυσσόμενη τέμνουσα δύναμη σε κάθε βήμα της pushover ανάλυσης ελέγχεται με τη διατμητική αντοχή που υπολογίζεται από τους παραπάνω τύπους. Σε

περίπτωση που αστοχήσει το μέλος πρώτα σε τέμνουσα, δεν μπορεί να παραλάβει περαιτέρω ένταση. Στις αναλύσεις με χρήση του Sap2000, δε γίνεται έλεγχος σε τέμνουσα.

2.2.5.5. Ενεργός Δυσκαμψία

Η δυσκαμψία θα εκτιμάται με βάση τα πραγματικά χαρακτηριστικά του δομικού στοιχείου. Δηλαδή, θα χρησιμοποιείται η επιβατική τιμή δυσκαμψίας στη διαρροή του στοιχείου (ΚΑΝ.ΕΠΕ §4.4.1.4, §7.2.3 - EC8-3 §A.3.2.4), η οποία προκύπτει από την ακόλουθη σχέση (Σχέση 2.13).

$$K_{\text{eff}} = \frac{M_y \cdot L_s}{3 \cdot \theta_y} \quad \text{Σχ.2.13}$$

, M_y : η ροπή διαρροής του στοιχείου στην ακραία διατομή του στοιχείου

L_s : η απόσταση της ακραίας διατομής από το σημείο μηδενισμού των ροπών

θ_y : η στροφή της χορδής στη διαρροή στην ακραία διατομή του στοιχείου

Ο παραπάνω υπολογισμός της δυσκαμψίας μπορεί να βασίζεται σε σταθερή τιμή του L_s , ως εξής:

- Σε δοκούς που συνδέονται και στα δύο άκρα με κατακόρυφα στοιχεία, λαμβάνεται ίσο με το μισό του καθαρού ανοίγματος της δοκού.
- Σε δοκούς που συνδέονται με κατακόρυφο στοιχείο μόνο στο ένα άκρο, λαμβάνεται ίσο με το συνολικό καθαρό άνοιγμα της δοκού.
- Σε υποστυλώματα, λαμβάνεται ως το μισό του καθαρού ύψους μέσα στο υπόψη κατακόρυφο επίπεδο κάμψης όπως αυτό ορίζεται από το κάτω πέλμα υπερκείμενης δοκού μέχρι το άνω πέλμα της υποκείμενης δοκού ή την ποδιά τοιχοποιίας ή τοιχώματος στο επίπεδο αυτό σε επαφή με μέρος του ύψους του υποστυλώματος (κοντό υποστύλωμα).
- Στα τοιχώματα, λαμβάνεται σε κάθε όροφο διαφορετικό και ίσο με το μισό της απόστασης της διατομής βάσης ορόφου από την κορυφή του τοιχώματος στο κτίριο.

Η ενεργός δυσκαμψία του συνολικού μήκους του στοιχείου, μπορεί να λαμβάνεται ίση με το μέσο όρο των τιμών που υπολογίζονται στις δύο ακραίες διατομές του στοιχείου. Αν οι διατομές αυτές έχουν μη-συμμετρικό σχήμα ή σπλισμό, λαμβάνονται οι μέσοι όροι των τιμών της δυσκαμψίας για τις δύο φορές κάμψης (θετική ή αρνητική).

Όταν δεν διατίθενται ακριβέστερα στοιχεία, και στην περίπτωση εφαρμογής γραμμικών μεθόδων ανάλυσης με χρήση ενιαίου δείκτη q , μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι δυσκαμψίες όπως προκύπτουν στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 2.11).

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΔΥΣΚΑΜΨΙΑ
Υποστύλωμα εσωτερικό	$0,8 \cdot (E_c \cdot I_g)$
Υποστύλωμα περιμετρικό	$0,6 \cdot (E_c \cdot I_g)$
Τοίχωμα μη-ρηγματωμένο	$0,7 \cdot (E_c \cdot I_g)$
Τοίχωμα ρηγματωμένο	$0,5 \cdot (E_c \cdot I_g)$
Δοκός *	$0,4 \cdot (E_c \cdot I_g)$

**Για τις πλακοδοκούς μορφής Γ ή Τ, επιτρέπεται να ληφθεί υπόψη $I_g = (1,5 \div 2) \cdot I_w$, όπου I_w είναι η ροπή αδράνειας της ορθογωνικής διατομής του κορμού.*

Πίνακας 2.11 Εκτίμηση ενεργούς δυσκαμψίας K_{eff} .

Στις αναλύσεις αποτίμησης φέρουσας ικανότητας των φορέων, με χρήση του προγράμματος Fespa, υπολογίζεται για κάθε ακραία διατομή κάθε δομικού στοιχείου η ενεργός δυσκαμψία σύμφωνα με την παραπάνω σχέση.

Στις αναλύσεις με τη χρήση του προγράμματος Sap2000, αφού υπολογιστούν οι δυσκαμψίες για κάθε ακραία διατομή για θετικές και αρνητικές ροπές, για κάθε μέλος, τελικά λαμβάνεται η μέση τιμή ξεχωριστά για τις δοκούς, τα υποστυλώματα και τα τοιχώματα και όχι κάθε επιμέρους μέλους όπως στις αναλύσεις με το Fespa. Οι αναλυτικοί υπολογισμοί της δυσκαμψίας για τις αναλύσεις με το πρόγραμμα Sap2000 παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

2.2.6. Ανελαστική Στατική Ανάλυση

Οι μέθοδοι ανάλυσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι οι ακόλουθες:

- Ελαστική στατική ανάλυση (μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης)
- Ελαστική δυναμική ανάλυση
- Ανελαστική στατική ανάλυση
- Ανελαστική δυναμική ανάλυση (ανάλυση χρονοϊστορίας)

Στην παρούσα εργασία για όλες τις αναλύσεις αποτίμησης φέρουσας ικανότητας των δομημάτων επιλέχθηκε να εφαρμοστεί η ανελαστική στατική ανάλυση (pushover analysis).

Κεντρικός στόχος της μη γραμμικής μεθόδου είναι η χάραξη της καμπύλης ικανότητας της κατασκευής. Αναπαριστά την οριζόντια μετακίνηση του κόμβου ελέγχου, ως συνάρτηση του μεγέθους της δύναμης που εφαρμόζεται στην κατασκευή.

Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής προσφέρει μια ακριβέστερη προσέγγιση της συμπεριφοράς των μελών μέσω της χρήσης μη-γραμμικών προσομοιωμάτων των υλικών ενώ παράλληλα η σεισμική ένταση εκφράζεται ως μια μονοτονικά αυξανόμενη οριζόντια στατική φόρτιση, ανάλογη ως προς τις αδρανειακές δυνάμεις του σεισμού.

Ο κόμβος ελέγχου της στοχευόμενης μετακίνησης θα λαμβάνεται εν γένει στο κέντρο μάζας της οροφής του κτιρίου.

Ο έλεγχος έγκειται στο αν η ικανότητα μετακίνησης της κατασκευής για τη συγκεκριμένη στάθμη επιτελεσματικότητας είναι μεγαλύτερη από τη στοχευόμενη.

2.2.6.1. Κατακόρυφα Φορτία - Κατανομή Σεισμικών Φορτίων Καθ' ύψος

Σύμφωνα με τους κανονισμούς, θα λαμβάνονται υπόψη και τα κατακόρυφα φορτία που περιλαμβάνονται στον ακόλουθο συνδυασμό δράσεων:

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{Σχ.2.14}$$

, $\psi_{E,i}$: ο συντελεστής συνδυασμού για τη μεταβλητή δράση i

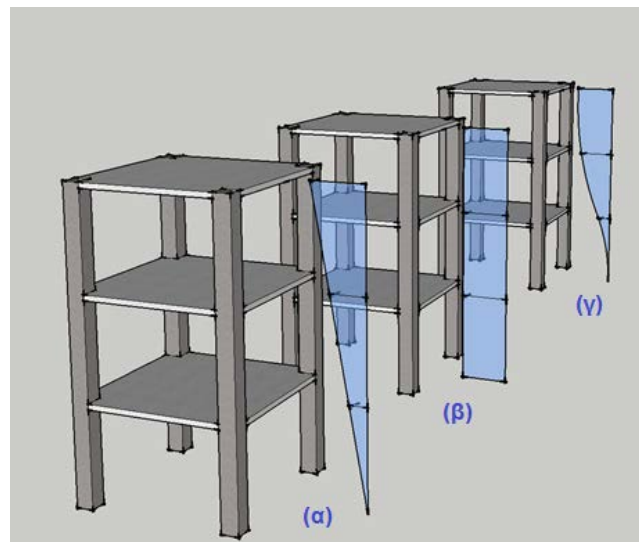
Για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας δομημάτων, χρησιμοποιείται ο συντελεστής συνδυασμού μεταβλητών δράσεων για τα οιονεί μόνιμα φορτία ψ_2 και ο οποίος εξαρτάται από τη χρήση του κτιρίου.

Στην παρούσα εργασία όλα τα υπό εξέταση κτίρια θεωρείται ότι έχουν τη χρήση κατοικίας και επομένως ο συντελεστής ψ_2 λαμβάνεται 0,3.

Όσον αφορά στα οριζόντια φορτία, θα πρέπει να εφαρμόζονται στο προσομοίωμα στις θέσεις των μαζών. Επιπλέον, θα πρέπει να εφαρμόζονται τουλάχιστον δύο καθ' ύψος κατανομές, ώστε να λαμβάνεται η μεταβολή του τρόπου κατανομής των φορτίων λόγω μετελαστικής συμπεριφοράς ορισμένων περιοχών του φορέα αλλά και λόγω της επιρροής των ανώτερων ιδιομορφών.

Οι ΚΑΝ.ΕΠΕ. (§5.7.3.3.) και EC8-3 (§4.4.4.1), προτείνουν την εφαρμογή της ομοιόμορφης και ιδιομορφικής κατανομής. Η ομοιόμορφη κατανομή, βασίζεται σε οριζόντιες δυνάμεις οι οποίες είναι ανάλογες με τη μάζα, ανεξαρτήτως στάθμης. Η ιδιομορφική κατανομή, είναι ανάλογη με πλευρικές δυνάμεις συμβατές με την κατανομή οριζόντιων δυνάμεων στην υπό εξέταση διεύθυνση, που προκύπτει από την ελαστική ανάλυση.

Εκτός των δύο παραπάνω κατανομών, μπορεί να εφαρμοστεί η τριγωνική κατανομή, στην οποία η κατανομή των οριζόντιων φορτίων είναι ανάλογη με πλευρικές δυνάμεις που είναι συμβατές με την κατανομή που προκύπτει από την ελαστική ανάλυση (μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης).



Σχήμα 2.1 Κατανομή σεισμικών φορτίων (α) Τριγωνική (β) Ομοιόμορφη (γ) Ιδιομορφική.

Στην περίπτωση της μη-γραμμικής στατικής μεθόδου, το κτίριο θα αναλύεται για οριζόντια φορτία σε δύο διευθύνσεις, με λόγο των αντίστοιχων τεμνουσών βάσης 10:3 και 3:10 (χωριστά). Εφαρμόζεται το 100% μιας επιλεγείσας τέμνουσας βάσεως στη μια διεύθυνση και το 30% της αντίστοιχης τέμνουσας βάσεως στην άλλη διεύθυνση.

Επίσης, θα πρέπει να λαμβάνεται τυχρηματική εκκεντρότητα, όπως αυτή υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση που αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο του παρόντος κειμένου.

Στις αναλύσεις των υπό εξέταση φορέων, προκειμένου να προκύψει η συμπεριφορά τους ως προς τις δύο κατευθύνσεις οριζόντιας φόρτισης, γίνεται εφαρμογή των φορτίων σε κάθε διεύθυνση ξεχωριστά και μη λαμβάνοντας υπόψη την τυχρηματική

εκκεντρότητα. Για την παραμετρική ανάλυση των φορέων, λαμβάνονται και τρεις δυνατές καθ'ύψος κατανομές των σεισμικών φορτίων αναλόγως της παραμετρικής ανάλυσης.

2.2.6.2. Κύρια και Δευτερεύοντα Στοιχεία

Τα δομικά στοιχεία του φέροντος οργανισμού ενός δομήματος διακρίνονται σε κύρια (πρωτεύοντα) και δευτερεύοντα. Ως κύρια στοιχεία χαρακτηρίζονται εκείνα που συμβάλλουν στην αντοχή και ευστάθεια του κτιρίου υπό σεισμικά φορτία. Τα δευτερεύοντα στοιχεία είναι εκείνα των οποίων η δυσκαμψία και αντοχή στις σεισμικές δράσεις αγνοείται, ενώ διατηρούν την ικανότητα ανάληψης κατακόρυφων φορτίων. Η βασική συνέπεια του χαρακτηρισμού ενός στοιχείου ως δευτερεύον δομικό μέλος, είναι ότι για το στοιχείο αυτό ισχύουν διαφορετικά κριτήρια επιτελεστικότητας, με ανοχή μεγαλύτερων μετακινήσεων και βλαβών από ότι ισχύουν για τα πρωτεύοντα.

Τα προσομοιώματα που θα χρησιμοποιηθούν για ανελαστική ανάλυση πρέπει να συμπεριλαμβάνουν τόσο τα κύρια όσο και τα δευτερεύοντα στοιχεία.

Οι τοιχοπληρώσεις δε θεωρούνται δευτερεύοντα στοιχεία. Δεν επιτρέπεται να συνεκτιμώνται στην ανάληψη μη σεισμικών δράσεων, αλλά πρέπει να λαμβάνονται υποχρεωτικώς στην ανάληψη σεισμικών δράσεων όταν αυτό συνεπάγεται δυσμενή αποτελέσματα για τον φέροντα οργανισμό του δομήματος.

Στους υπό εξέταση φορείς, όλα τα στοιχεία θεωρούνται κύρια. Οι τοιχοπληρώσεις λαμβάνονται μόνο στις αναλύσεις που έχουν ως σκοπό τον προσδιορισμό της επιρροής τους στην απόκριση του φορέα.

2.2.6.3. Καμπύλη Ικανότητας Κατασκευής

Η ανελαστική στατική ανάλυση (pushover analysis), περιλαμβάνει δύο φάσεις φόρτισης. Κατά την πρώτη, λαμβάνονται τα οιονεί μόνιμα φορτία ($G+0,3\cdot Q$). Η επόμενη φάση, ξεκινά από το πέρας της πρώτης και περιλαμβάνει διαδοχικές αναλύσεις με σταδιακή αύξηση της οριζόντιας φόρτισης κατά μια διεύθυνση, υπολογίζοντας τη μετακίνηση στον κόμβο ελέγχου.

Κατά την ανάλυση αυτή, δομικά στοιχεία τα οποία έχουν διαρρεύσει λαμβάνονται με μειωμένη δυσκαμψία και επομένως αυτή η μείωση εισάγεται στο μητρώο δυσκαμψίας του φορέα σε επόμενο βήμα.

Στις αναλύσεις με εφαρμογή του προγράμματος Fespa, προτείνονται δύο μέθοδοι εξαγωγής της καμπύλης ικανότητας της κατασκευής με αύξηση του επιβαλλόμενου φορτίου (Μέθοδος Ελέγχου Δυνάμεων) και με αύξηση επιβαλλόμενων μετατοπίσεων με εύρεση του φορτίου που ισορροπεί αυτές τις παραμορφώσεις (Μέθοδος Ελέγχου των Μετατοπίσεων). Και στις δύο μεθόδους, η επίλυση πραγματοποιείται με εφαρμογή δύναμης στους κόμβους βάσει της μάζας και της καθ' ύψους κατανομής φορτίων. Η διαφοροποίηση έγκειται στον τρόπο αύξησης της δύναμης. Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 2.12) παρουσιάζονται συνοπτικά τα βήματα υπολογισμού για κάθε μια μέθοδο.

	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΥΝΑΜΕΩΝ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ
ΒΑΣΙΚΗ ΑΡΧΗ ΜΕΘΟΔΟΥ	Σχετίζεται με σταθερή αύξηση της επιβαλλόμενης δύναμης ΔP και επίλυση του γραμμικού συστήματος σύμφωνα με το τρέχον εφαπτομενικό μητρώο δυσκαμψίας της κατασκευής.	Σχετίζεται με επιβολή μετακινήσεων και εύρεση του συντελεστή που πρέπει να πολλαπλασιαστούν τα εξωτερικά φορτία ώστε η προκύπτουσα μετατόπιση στον κόμβο ελέγχου να προκύψει ίση με τη δεδομένη.
ΒΗΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΣΕ ΚΑΘΕ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ	<ul style="list-style-type: none"> Υπολογισμός επαυξητικών επικόμβιων μετατοπίσεων Δu_i, $\Delta P = K_i \cdot \Delta u_i$ (K_i: το εφαπτομενικό μητρώο δυσκαμψίας της τελευταίας επανάληψης). Υπολογισμός των επικόμβιων μετακινήσεων $u_i = u_{i-1} + \Delta u_i$ Προσδιορισμός των γωνιών στροφής χορδής κάθε μέλους από τις επικόμβιες μετατοπίσεις. Εύρεση της τρέχουσας εφαπτομενικής δυσκαμψίας κάθε μέλους. Υπολογισμός των επαυξητικών επικόμβιων δράσεων των μελών $\Delta F_i = k_i \cdot \Delta u_i$ $F_i = F_{i-1} + \Delta F_i$ Υπολογισμός υπολειμματικών δράσεων και έλεγχος σύγκλισης 	<ul style="list-style-type: none"> Υπολογισμός ονομαστικών μετατοπίσεων Δu_i, που προκαλεί το ονομαστικό διάνυσμα φορτίου \hat{P}, $P' = K_i \cdot \Delta u_i$ Υπολογισμός του φορτιστικού συντελεστή λ_i και εύρεση των εξωτερικών επιβαλλόμενων φορτίων P_{i+1}, $\lambda_i = \frac{\Delta u_i}{\Delta u_i'}$ $P_{i+1} = P_i + \lambda_i \cdot P'$ Για τις τρέχουσες ολικές μετατοπίσεις της κατασκευής υπολογίζεται το διάνυσμα των εσωτερικών δράσεων της κατασκευής F_i. Υπολογίζονται οι υπολειπόμενες μετατοπίσεις $\Delta \bar{u}_i$, $P_{i+1} - F_i = K_i \cdot \Delta \bar{u}_i$ Αν οι υπολειπόμενες μετατοπίσεις δεν ικανοποιούν το κριτήριο σύγκλισης, υπολογίζεται ο φορτιστικός συντελεστής της επόμενης επανάληψης. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να εξαλειφθούν οι υπολειπόμενες μετατοπίσεις.

Πίνακας 2.12 Μέθοδοι εξαγωγής καμπύλης αντίστασης κατασκευής. (Πηγή: Fespa Manual)

Στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν με χρήση του προγράμματος Fespa, επιλέχθηκε η μέθοδος ελέγχου των μετατοπίσεων, καθώς παρότι είναι υπολογιστικά πιο χρονοβόρα, είναι πιο ακριβής στον προσδιορισμό της συμπεριφοράς της κατασκευής και δίνεται η δυνατότητα προσδιορισμού του φθίνοντα κλάδου της καμπύλης αντίστασης.

Στις αναλύσεις με χρήση του προγράμματος Sap2000, προτείνονται τρεις μέθοδοι εξαγωγής της καμπύλης ικανότητας της κατασκευής. Αυτές είναι οι ακόλουθες:

- Μέθοδος με αποφόρτιση όλης της κατασκευής (Unload Entire Structure). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, κάθε φορά που η επιβαλλόμενη ένταση φτάσει σε φθιτό κλάδο του διαγράμματος εντατικού μεγέθους - παραμόρφωσης (F- δ) ενός δομικού στοιχείου, το πρόγραμμα τείνει να αυξήσει το εφαρμοζόμενο φορτίο. Αν αυτό οδηγήσει σε αυξημένη ένταση, η ανάλυση συνεχίζει. Σε αντίθετη περίπτωση, το πρόγραμμα αντιστρέφει τη φόρτιση σε όλο το φορέα, μέχρις ότου να αποφορτιστεί το εν λόγω δομικό στοιχείο. Ακολούθως, το πρόγραμμα αυξάνει πάλι το επιβαλλόμενο φορτίο και κάποιο άλλο δομικό στοιχείο καλείται να αναλάβει το ποσοστό του φορτίου που αφαιρέθηκε προηγουμένως.
- Μέθοδος με εφαρμογή τοπικής ανακατανομής (Apply Local Redistribution). Αυτή η μέθοδος είναι παρόμοια με την προηγούμενη, αλλά δεν αποφορτίζεται όλη η κατασκευή παρά μόνο το στοιχείο με την πλαστική άρθρωση.
- Μέθοδος στην οποία η επαναφόρτιση της κατασκευής γίνεται χρησιμοποιώντας την τέμνουσα δυσκαμψία (Restart Using Secant Stiffness). Αυτή η μέθοδος διαφέρει από τις προηγούμενες δύο, καθώς κάθε φορά που η επιβαλλόμενη ένταση φτάσει σε τμήμα του φθιτού κλάδου του διαγράμματος F- δ ενός δομικού στοιχείου, υπολογίζεται η τέμνουσα δυσκαμψία συμπεριλαμβάνοντας και όλες οι διατομές που έχουν ήδη πλαστικοποιηθεί, και η ανάλυση ξεκινά ξανά. Η μέθοδος αυτή είναι παρόμοια με αυτή που προτείνεται από τη FEMA 273.

Στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν με χρήση του προγράμματος Sap2000, εφαρμόστηκε η μέθοδος Restart Using Secant Stiffness καθώς είναι η μέθοδος με τη μικρότερη πιθανότητα αποτυχίας στην ανάλυση αλλά και προσομοιώνει καλύτερα τις ανακυκλιζόμενες συνθήκες φόρτισης και αποφόρτισης των πλαστικών αρθρώσεων λόγω σεισμικών δράσεων.

2.2.6.4. Επιρροές 2^{ας} Τάξεως

Στην ανελαστική ανάλυση, οι στατικές επιρροές 2^{ας} τάξεως θα συνεκτιμώνται στην ανάλυση ενσωματώνοντας στο προσομοίωμα τη μη-γραμμική σχέση έντασης-παραμόρφωσης όλων των στοιχείων που φέρουν αξονικά φορτία.

Η συνεκτίμηση των φαινομένων αυτών, λόγω της εμφάνισης πρόσθετων ροπών, επιταχύνει την εμφάνιση των πλαστικών αρθρώσεων στο φορέα.

Στις αναλύσεις της παρούσας εργασίας, που πραγματοποιήθηκαν με το στατικό πρόγραμμα Fespa, λαμβάνονται οι επιρροές 2^{ας} τάξεως, με συνεκτίμηση της παραμορφωμένης κατάστασης του φορέα στη συνολική του δυσκαμψία. Στις αναλύσεις με χρήση του Sap2000, δε λαμβάνονται υπόψη τα φαινόμενα 2^{ας} τάξεως στην καμπύλη αντίστασης καθώς απαιτείται αρκετά μεγάλος αριθμός επαναλήψεων καθιστώντας την κάθε ανάλυση αρκετά χρονοβόρα.

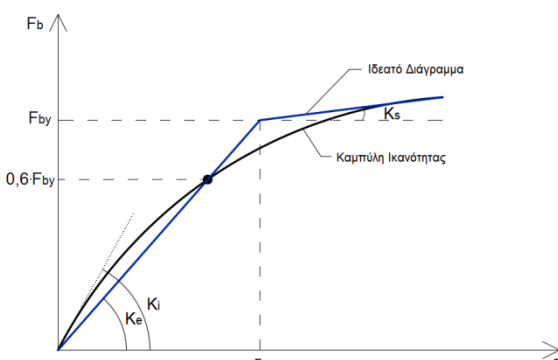
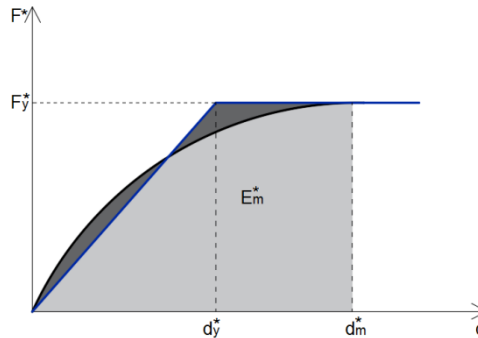
2.2.6.5. Υπολογισμός Στοχευόμενης Μετακίνησης

Ο καθορισμός του σημείου επιτελεστικότητας βασίζεται στον υπολογισμό του σημείου που αντιστοιχεί στην εξισορρόπηση της απαίτησης, σύμφωνα με το επιθυμητό φάσμα σχεδιασμού και της ικανότητας της κατασκευής.

Γίνεται θεώρηση της μετακίνησης ενός ελαστικού μονοβάθμιου συστήματος με ιδιοπερίοδο ίση με τη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο της κατασκευής που υπόκειται στη σεισμική δράση για την οποία γίνεται ο έλεγχος, με κατάλληλη διόρθωση ώστε να προκύψει η αντίστοιχη μετακίνηση της ελαστοπλαστικά αποκρινόμενης κατασκευής.

Από τους κανονισμούς προτείνονται δύο μέθοδοι υπολογισμού της στοχευόμενης μετακίνησης. Η μέθοδος του EC8-1-A και η μέθοδος των Συντελεστών (KAN.ΕΠΕ §5.7.4.2.).

Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 2.13) παρουσιάζονται συνοπτικά τα βήματα υπολογισμού της κάθε μεθόδου.

ΜΕΘΟΔΟΣ EC8-1 (ANNEX A)	ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ (ΚΑΝ.ΕΠΕ §5.7.4.2)
<ul style="list-style-type: none"> Μετατροπή σε Ισοδύναμο Μονοβάθμιο Σύστημα - Η μάζα m^* του ΙΜΣ : $m^* = \sum m_i \cdot \Phi_i$ - Ο συντελεστής μετατροπής Γ : $\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \cdot \Phi_i^2}$ - Η δύναμη F^* και η μετακίνηση d^* του ΙΜΣ : $F^* = \frac{F_b}{\Gamma} \quad d^* = \frac{d_n}{\Gamma}$ <p>F_b: η τέμνουσα δύναμη βάσης d_n: η μετακίνηση του κόμβου ελέγχου του πολυβάθμιου συστήματος</p>	<ul style="list-style-type: none"> Και αυτή η μέθοδος βασίζεται στο ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα, το οποίο όμως χρησιμοποιείται χωρίς να αναφέρεται ρητά. Κατασκευή ιδεατού διγραμμικού διαγράμματος για την καμπύλη ικανότητας - Κατασκευάζεται ο μετελαστικός κλάδος, ορίζοντας δυσκαμψία K_e, κατά την κρίση του μηχανικού - Ορίζεται η ισοδύναμη ελαστική δυσκαμψία K_e, ως το 60% της τέμνουσας διαρροής, με δοκιμές - Ορίζεται η τέμνουσα διαρροής V_y από το σημείο τομής των ευθειών με κλίση K_e και K_e 
<ul style="list-style-type: none"> Προσδιορισμός ιδεατής πλήρως ελαστοπλαστικής σχέσης δύναμης-μετακίνησης (επαναληπτική διαδικασία) <p>Η αρχική δυσκαμψία του ιδεατού συστήματος καθορίζεται με τέτοιον τρόπο ώστε οι επιφάνειες κάτω από την πραγματική και την ιδεατή καμπύλη δύναμης-μετακίνησης να είναι ίσες.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Η μετακίνηση διαρροής d_y^* του ΙΜΣ : $d_y^* = 2 \cdot \left(d_m^* \cdot \frac{E_m^*}{F_y^*} \right)$ <p>E_m^*: η πραγματική ενέργεια παραμόρφωσης έως τη δημιουργία πλαστικού μηχανισμού</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Υπολογισμός της ενεργούς θεμελιώδους ιδιοπεριόδου. - Η ενεργός ιδιοπερίοδος T_e της κατασκευής, που αντιστοιχεί σε δυσκαμψία K_e : $T_e = T_e \cdot \sqrt{\frac{K_i}{K_e}}$
<ul style="list-style-type: none"> Προσδιορισμός της περιόδου του ΙΜΣ - Η περίοδος T^* του ΙΜΣ : $T^* = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m^* \cdot d_y^*}{F_y^*}}$ 	<ul style="list-style-type: none"> Υπολογισμός της στοχευόμενης μετακίνησης - Η στοχευόμενη μετακίνηση της κορυφής που αντιστοιχεί σε δεδομένο ελαστικό φάσμα δ_i : $\delta_i = C_o \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_e(T) \cdot \frac{T_e^2}{4\pi^2}$
<ul style="list-style-type: none"> Προσδιορισμός μετακίνησης στόχου του πολυβάθμιου συστήματος $d_t = \Gamma \cdot d_i^*$ <p>Η στοχευόμενη μετακίνηση αντιστοιχεί στον κόμβο ελέγχου.</p>	<p>Ορισμός Διορθωτικών Συντελεστών:</p> <p>C_o: Συντελεστής που συσχετίζει τη φασματική μετακίνηση του ισοδύναμου ελαστικού φορέα με δυσκαμψία K_e με την πραγματική μετακίνηση δ_i του ελαστοπλαστικά αποκρινόμενου φορέα.</p> <p>C_1: Συντελεστής που συνδέει τη μετακίνηση του ανελαστικού συστήματος με αυτή του αντίστοιχου ελαστικού.</p> <p>C_2: Συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την επιρροή του σχήματος του βρόχου υστέρησης στη μέγιστη μετακίνηση</p> <p>C_3: Συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την αύξηση των μετακινήσεων λόγω φαινομένων 2ας τάξεως.</p>

Πίνακας 2.13 Μέθοδοι υπολογισμού στοχευόμενης μετακίνησης.

Στις αναλύσεις με το Fespa, για τον προσδιορισμό της στοχευόμενης μετακίνησης, εφαρμόζεται η μέθοδος που προτείνεται στον EC8-1 ενώ στις αναλύσεις με το Sap2000, η στοχευόμενη μετακίνηση υπολογίζεται με τη μέθοδο ATC-40.

2.2.7. Συμπεριφορά Τοιχοπληρώσεων

Οι τοιχοπληρώσεις δεν συμμετέχουν στην ανάληψη κατακόρυφων φορτίων, πλην του ίδιου βάρους τους. Στην ανάλυση για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας μιας κατασκευής συνεκτιμώνται υποχρεωτικώς στην ανάληψη σεισμικών δράσεων, όταν αυτό συνεπάγεται δυσμενή αποτελέσματα για το φέροντα οργανισμό.

Ένας τοίχος πλήρωσης μπορεί να λαμβάνεται υπόψη μόνο όταν περιβάλλεται από στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος.

Οι υφιστάμενες τοιχοπληρώσεις, συνήθεις και άοπλες, ελέγχονται σε όρους δυνάμεων ή παραμορφώσεων και λαμβάνονται υπόψη μόνο στις στάθμες επιτελεστικότητας Περιορισμού Βλαβών ή Σημαντικών Βλαβών. Για τη στάθμη επιτελεστικότητας Οιονεί Κατάρρευσης, δε συμπεριλαμβάνονται στο προσομοίωμα και συνεπώς δεν ελέγχονται.

2.2.7.1. Προσομοίωση άοπλων τοιχοπληρώσεων

Αφορά τη συνήθη περίπτωση άοπλων τοιχοπληρώσεων υφιστάμενων ή προστιθέμενων (ΚΑΝ.ΕΠΕ §5.9- §7.4).

Για την προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων επιτρέπονται απλοποιήσεις και για αυτό το σκοπό η προσομοίωση μπορεί να γίνει είτε ως διατμητικό φάτνωμα/πέτασμα είτε ως ισοδύναμη αμφιαρθρωτή θλιβόμενη διαγώνια ράβδος, κατά την εκάστοτε φορά του σεισμού εντός του πλαισίου. Η προσομοίωση μπορεί να γίνει και με θεώρηση θλιπτήρα-ελκυστήρα κατά τις δύο διαγώνιες με ράβδους, μισής δυστένειας και αντοχής σε σχέση με αυτές του προσομοιώματος θλιβόμενης διαγωνίου, αλλά μόνο στην περίπτωση που η διαγώνια ράβδος ξεκινά και καταλήγει σε κόμβους πλαισίου και όχι σε ενδιάμεση περιοχή δοκού ή υποστυλώματος.

Στην περίπτωση προσομοίωσης των τοιχοπληρώσεων με ισοδύναμη θλιβόμενη διαγώνια ράβδο, τα μεγέθη που υπεισέρχονται είναι τα ακόλουθα (Πίνακας 2.14).

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΟΠΛΩΝ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ (ΚΑΝ.ΕΠΕ §7.4)	
Πάχος t	<p>Το πάχος t της θλιβόμενης διαγωνίου, υπολογίζεται όπως και για το προσομοίωμα του διατμητικού φατνώματος t_{eff}:</p> <p>- Για ενιαίες κατά τη διατομή τοιχοπληρώσεις λαμβάνεται το συνολικό τους πάχος.</p> <p>- Στην περίπτωση δίστρων τοιχοπληρώσεων, αποτελούμενων από δύο ανεξάρτητους τοίχους με ενδιάμεσο κενό λαμβάνονται υπόψη η γεωμετρία της διατομής, η ενδεχόμενη ύπαρξη ή απουσία εγκάρσιων συνδέσμων.</p> <p>(α) Για παρειές με πάχη t_1 και t_2, με ημιτελείς ή ανεπαρκείς εγκάρσιους συνδέσμους, λαμβάνεται η τιμή:</p> $t_{\text{eff}} = \frac{1}{2} \cdot (t_1 + t_2)$ <p>(β) Για πλήρη σύνδεση των παρειών ως ισοδύναμο πάχος λαμβάνεται:</p> $t_{\text{eff}} = \sqrt[3]{t_1^3 + t_2^3} \approx \frac{2}{3} \cdot (t_1 + t_2)$
Πλάτος b	<p>Το πλάτος b της θλιβόμενης διαγωνίου, εκτιμάται με βάση την ισοδυναμία και το συμβιβαστό των παραμορφώσεων και δυνάμεων:</p> $b \approx 0,15 \cdot L$ <p>,L : το καθαρό μήκος της διαγωνίου</p> $L = \sqrt{h^2 + l^2}$
Θλιπτική Αντοχή $f_{\text{wc,s}}$	<p>Η θλιπτική χαρακτηριστική αντοχή της άοπλης τοιχοπλήρωσης υπολογίζεται:</p> $\bar{f}_{\text{wc,s}} = \lambda_m \cdot \lambda_s \cdot \lambda_c \cdot k \cdot f_{\text{bc}}^{0,7} \cdot f_{\text{cm}}^{0,3} \approx 1,25 \cdot k \cdot f_{\text{bc}}^{0,7} \cdot f_{\text{cm}}^{0,3}$ <p>,λ_m : συντελεστής μετατροπής της χαρακτηριστικής αντοχής σε μέση (=1,5)</p> <p>,λ_s : μειωτικός συντελεστής για τη δυσμενή υπό γωνία εφαρμογή του φορτίου (=0,7)</p> <p>,λ_c : αυξητικός συντελεστής για την ευμενή επιρροή της περίσφιξης από τα περιβάλλοντα δομικά στοιχεία σπλισμένου σκυροδέματος (=1,2)</p> <p>,f_{bc}, f_{mc} : η θλιπτική αντοχή τοιχοσώματος και κονιάματος αντιστοίχως</p> <p>,k : εμπειρικός συντελεστής ανάλογος της ομάδας που κατατάσσονται τα τοιχοσώματα και το κονίαμα δομήσεως (για συνήθη κονιάματα $\rightarrow 0,35 \div 0,55$)</p> <p>Σε υφιστάμενη τοιχοποιία χρησιμοποιείται η μέση αντοχή ενώ σε νέα η χαρακτηριστική τιμή της.</p> <p>Όταν οι κατακόρυφοι αρμοί της τοιχοποιίας δεν είναι γεμάτοι με κονίαμα, η τιμή της θλιπτικής αντοχής πολλαπλασιάζεται με έναν πρόσθετο μειωτικό συντελεστή, που όταν δεν διατίθενται ακριβέστερα στοιχεία, εκτιμάται βάσει του ποσοστού πλήρωσης των κατακόρυφων αρμών (0,60÷0,90).</p> <p>Όταν το πάχος των οριζόντιων αρμών είναι μεγαλύτερο από 15mm, η τιμή της θλιπτικής αντοχής πολλαπλασιάζεται με έναν πρόσθετο μειωτικό συντελεστή ίσο με 0,85.</p>

Πίνακας 2.14 Προσομοίωση τοιχοπληρώσεων με ισοδύναμη θλιβόμενη ράβδο.

Απομειώσεις αντοχής και δυστένειας τοιχοπληρώσεων

• Επιρροή Ανοιγμάτων:

Η επιρροή του μεγέθους και της θέσεως των ανοιγμάτων στη δυστημής ή δυστένεια και στη φέρουσα ικανότητα των τοιχοπληρώσεων μπορεί να εκτιμηθεί ως εξής:

- Όταν υπάρχουν δύο μεγάλα ανοίγματα κοντά στα άκρα του φατνώματος, η τοιχοπλήρωση αμελείται.
- Όταν υπάρχει άνοιγμα με διαστάσεις οι οποίες δεν υπερβαίνουν το 20% των αντίστοιχων διαστάσεων του φατνώματος και είναι τοποθετημένο περίπου στο κέντρο, η επιρροή του μπορεί να αμελείται.
- Όταν υπάρχει άνοιγμα, με διαστάσεις που υπερβαίνουν το 50% των αντίστοιχων διαστάσεων του φατνώματος και είναι τοποθετημένο στο κέντρο, η τοιχοπλήρωση μπορεί να αμελείται.
- Όταν υπάρχει άνοιγμα, με διαστάσεις μεταξύ του 20% και του 50% των αντίστοιχων διαστάσεων του φατνώματος και είναι τοποθετημένο στο κέντρο, τότε είναι δυνατόν να ληφθούν δύο λοξοί θλιπτήρες ανά φάτνωμα. Σε αυτή την περίπτωση, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επιρροή των θλιπτήρων στην έναντι τέμνουσας ασφάλεια των δοκών.

• Αστοχία Εκτός Επιπέδου:

Πρέπει να εξασφαλίζεται ότι οι άοπλες τοιχοπληρώσεις δεν αστοχούν πρόωρα εκτός επιπέδου. Η μείωση των αντοχών μπορεί να γίνει βάση της λυγηρότητας λ της τοιχοπλήρωσης.

$$\lambda = \frac{L}{t} \quad \text{Σχ.2.15}$$

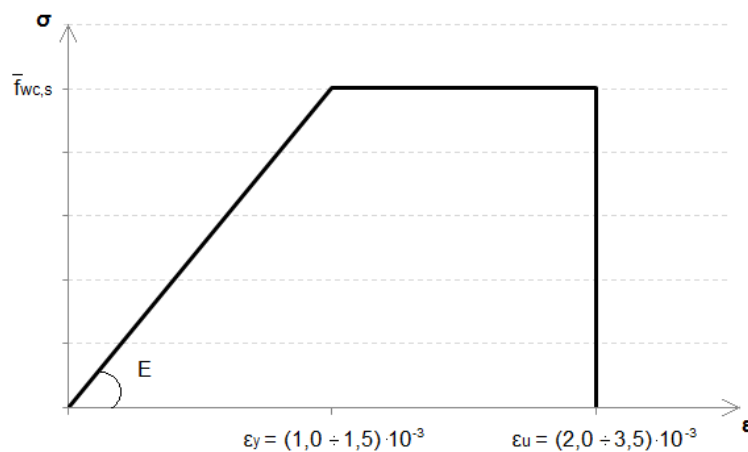
- Όταν η λυγηρότητα $\lambda < 15$, δεν απαιτείται μείωση αντίστασης.
- Όταν η λυγηρότητα $\lambda > 30$, η τοιχοπλήρωση θα αμελείται.
- Στην περίπτωση ενδιάμεσων τιμών λυγηρότητας λ , η μέση αντοχή της τοιχοποιίας πολλαπλασιάζεται με το μειωτικό συντελεστή φ .

$$\varphi = 0,9 \frac{1}{e \frac{(0,0447 \cdot \lambda - 0,063)^2}{0,9}} \quad \text{ή} \quad \varphi = 0,9 \frac{1}{e \frac{(0,0316 \cdot \lambda - 0,063)^2}{0,9}} \quad \text{Σχ.2.16}$$

Διάγραμμα Τάσεων-Παραμορφώσεων

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας πλήρωσης εκτιμώνται βάσει των μηχανικών χαρακτηριστικών των πλινθοσωμάτων και του κονιάματος.

Όταν δεν διατίθενται ακριβέστερα στοιχεία, μπορεί να θεωρηθεί ότι μετά την αστοχία, η εναπομένουσα αντοχή F_{res} είναι μηδενική και να χρησιμοποιηθεί το ακόλουθο διάγραμμα (Διάγραμμα 2.2).



Διάγραμμα 2.2 Διάγραμμα "σ-ε" τοιχοπλήρωσης.

2.3. Διερεύνηση Μεταβλητότητας Δεδομένων

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση της μεταβλητότητας των δεδομένων που εισάγονται ως παράμετροι στις αναλύσεις προσδιορισμού της φέρουσας ικανότητας μιας κατασκευής, εφαρμόζεται η Rosenblueth's 2K+1 Point Estimate Method.

Πρόκειται για μια απλή μέθοδο, όπου με ελάχιστο υπολογιστικό φόρτο, μπορεί να εφαρμοστεί για την εκτίμηση της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης μιας μεταβλητής Y η οποία είναι περίπλοκη συνάρτηση $g(x_1, x_2, \dots, x_k)$, K παραμέτρων.

Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής, δεν χρειάζεται να είναι γνωστές οι κατανομές των εισαγόμενων παραμέτρων $x_1 \dots x_k$, παρά μόνο οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις τους, ενώ δεν είναι δυνατός ο προσδιορισμός της συνάρτησης κατανομής της κατανομής της συνάρτησης $g(x_1, x_2, \dots, x_k)$.

Προκειμένου να υπολογιστούν η μέση τιμή και τυπική απόκλιση της συνάρτησης $g()$, υπολογίζονται οι τιμές της σε $2K+1$ σημεία, και ακολουθείται η ακόλουθη διαδικασία.

- Δίνονται οι μέσες τιμές (μ_{x_i}) και οι τυπικές αποκλίσεις (σ_{x_i}) για κάθε μια από τις K τυχαίες μεταβλητές.
- Υπολογίζεται η τιμή y_0 συνάρτησης $g()$ στο σημείο που αντιστοιχεί στις μέσες τιμές των τυχαίων μεταβλητών $y_0 = g(\mu_{x_1}, \mu_{x_2}, \dots, \mu_{x_K})$.
- Για κάθε τυχαία μεταβλητή x_i υπολογίζεται η συνάρτηση $g()$ δύο φορές. Τη μία χρησιμοποιώντας την τιμή $\mu_{x_i} + \sigma_{x_i}$ και τη δεύτερη χρησιμοποιώντας την τιμή $\mu_{x_i} - \sigma_{x_i}$, ενώ για τις υπόλοιπες τυχαίες μεταβλητές χρησιμοποιούνται οι μέσες τιμές τους.

$$\begin{aligned} y_i^+ &= g(\mu_{x_1}, \mu_{x_2}, \dots, \mu_{x_i} + \sigma_{x_i}, \dots, \mu_{x_K}) \\ y_i^- &= g(\mu_{x_1}, \mu_{x_2}, \dots, \mu_{x_i} - \sigma_{x_i}, \dots, \mu_{x_K}) \end{aligned} \quad \text{Σχ.2.17}$$

Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζονται $2K$ τιμές της συνάρτησης $g()$.

- Για κάθε τυχαία μεταβλητή x_i υπολογίζονται οι ακόλουθες ποσότητες.

$$\bar{y}_i = \frac{y_i^+ + y_i^-}{2} \quad \text{και} \quad V_{y_i} = \frac{y_i^+ - y_i^-}{y_i^+ + y_i^-} \quad \text{Σχ.2.18}$$

- Η μέση τιμή και ο συντελεστής διασποράς της μεταβλητής Y υπολογίζονται από τις ακόλουθες σχέσεις.

$$\bar{Y} = y_0 \cdot \prod_{i=1}^K \left(\frac{\bar{y}_i}{y_0} \right) \quad \text{και} \quad V_y = \sqrt{\prod_{i=1}^K (1 + V_{y_i}^2)} - 1 \quad \text{Σχ.2.19}$$

Στην παρούσα εργασία εφαρμόστηκε η μέθοδος αυτή για τη διερεύνηση της μεταβλητότητας του σημείου επιτελεσματικότητας και της μέγιστης τιμής της τέμνουσας στην καμπύλη pushover σε δύο από τους εξεταζόμενους φορείς.

3. Περιγραφή Φορέων

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά όλοι οι προς εξέταση φορείς καθώς και οι παράμετροι υπό διερεύνηση (Πίνακας 3.1).

ΦΟΡΕΙΣ		ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ								ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ													
			Κανονισμός	Μέθοδος Ανάλυσης	Θεμελίωση	Συντελεστής Συμπεριφοράς	Κατηγορία Πλαστιμότητας	Δυσκαμψία	Σεισμική Ζώνη	Ικανοτικός Έλεγχος	Πάχος Πλάκας	Κανονισμός	Μέθοδος Ανάλυσης	Κατανομή Φόρτισης	Εγκάρσια Όπλιση	Διαμήκης Όπλιση	Περίσφιξη	Παρομόρφωση Αστοχίας Χάλυβα	Όπλισμός Πλάκας	Τοιχοπληρώσεις	Φαινόμενα 2 ^{ης} Τάξης	Στόχος Σχεδιασμού	Τυχηματική Εκκενρότητα	
ΦΟΡΕΑΣ 1			•	•	•	•					•	•	•	•	•	•						•	•	
			•																				•	
			•																					•
ΦΟΡΕΑΣ 2			•	•																				
ΦΟΡΕΑΣ 3			•	•	•																			
			•		•																			

Πίνακας 3.1 Συγκεντρωτικός πίνακας φορέων και παραμέτρων προς διερεύνηση.

3.1. Φορέας 1

Πρόκειται για δόροφο κτίριο, διαστάσεων σε κάτοψη $18,50 \times 12,50 \text{ m}^2$ και ύψος ορόφου 3 m, κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Η πρώτη παραλλαγή αφορά φορέα αποτελούμενο από δοκάρια και υποστυλώματα. Οι άλλες δύο παραλλαγές αφορούν τον ίδιο φορέα, αλλά με τοιχώματα στη θέση κάποιων υποστυλωμάτων. Πιο συγκεκριμένα η δεύτερη παραλλαγή αφορά φορέα με τέσσερα γωνιακά τοιχώματα, ενώ στην τρίτη παραλλαγή ο φορέας αποτελείται από περιμετρικά τοιχώματα.

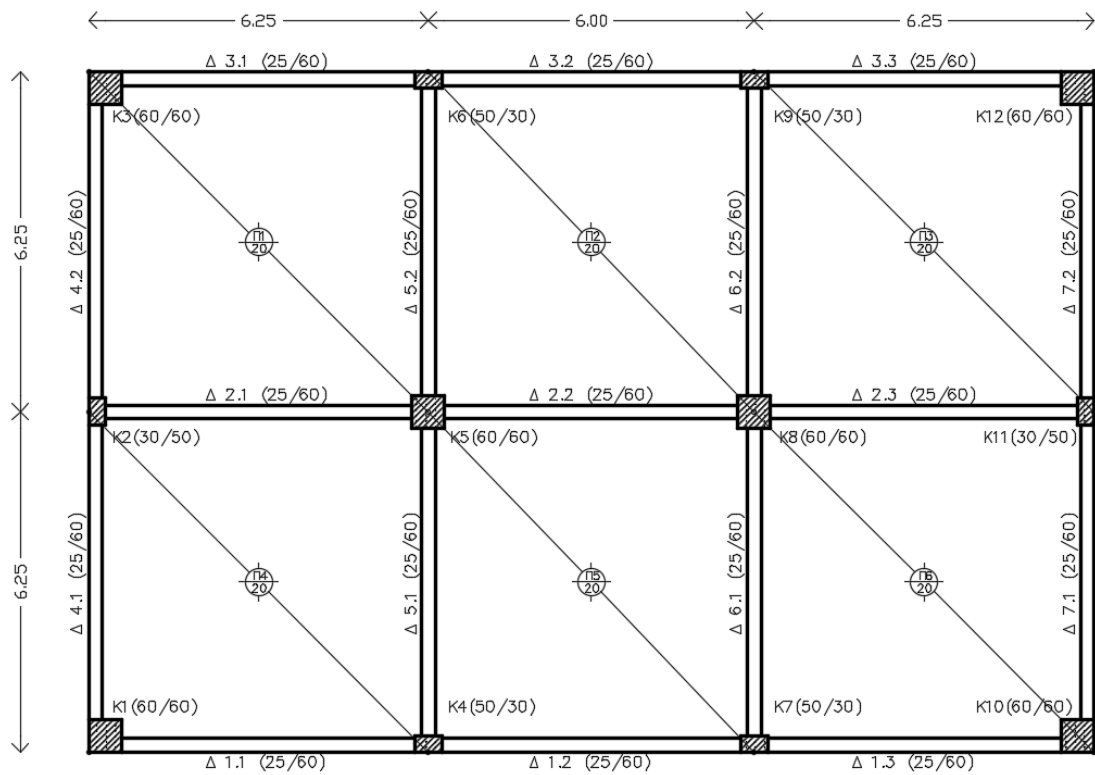
Η διαστασιολόγηση καθώς και η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας των τριών παραλλαγών του φορέα πραγματοποιήθηκαν με τις εξής παραδοχές (Πίνακας 3.2).

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΟΡΕΑ		
	EC2-EC8	ΒΔ'54
ΥΛΙΚΙ	Σκυρόδεμα: C25/30 Χάλυβας οπλισμού: B500C Κατηγορία έκθεσης: XC3	Σκυρόδεμα: B225 Χάλυβας οπλισμού: StIII
ΦΟΡΤΙΑ	Πρόσθετο μόνιμο φορτίο επί των πλακών: $g_1=2,00 \text{ kN/m}^2$ Κινητό φορτίο επί των πλακών: $q=3,50 \text{ kN/m}^2$ Πρόσθετο μόνιμο φορτίο επί των δοκών: $g'_1=1,00 \text{ kN/m}$	
ΣΕΙΣΜΟΣ	Σεισμική ζώνη II - $a_{gR}=0,24 \text{ g}$ Κατηγορία εδάφους B Συντελεστής σπουδαιότητας $\gamma_I=1,00$	Σεισμικός συντελεστής $\varepsilon=0,08$
ΕΔΑΦΟΣ	Επιτρεπόμενη τάση εδάφους: $\sigma_{\text{επ}}=20 \text{ tn/m}^2$ Δείκτης Εδάφους $K_s=28000 \text{ kN/m}^2/\text{m}$	
ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΟΡΕΑ		
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ	Σκυρόδεμα: $f_{cm}=33 \text{ MPa}$ Χάλυβας οπλισμού: $f_{ym}=575 \text{ MPa}$ Παραμόρφωση αστοχίας χάλυβα: $\varepsilon_{su}=6\%$	Σκυρόδεμα: $f_{cm}=22 \text{ MPa}$ Χάλυβας οπλισμού: $f_{ym}=460 \text{ MPa}$
	Επίπεδο γνώσης: Κανονική - Ικανοποιητική	
PUSHOVER ANALYSIS	Συντελεστής συνδυασμού εγκάρσιας φόρτισης: 0% Υπολογισμός στοχευόμενης μετακίνησης: Μέθοδος Φασματικής Μετακίνησης Μέγιστη μετατόπιση: 3% του ύψους κτιρίου	

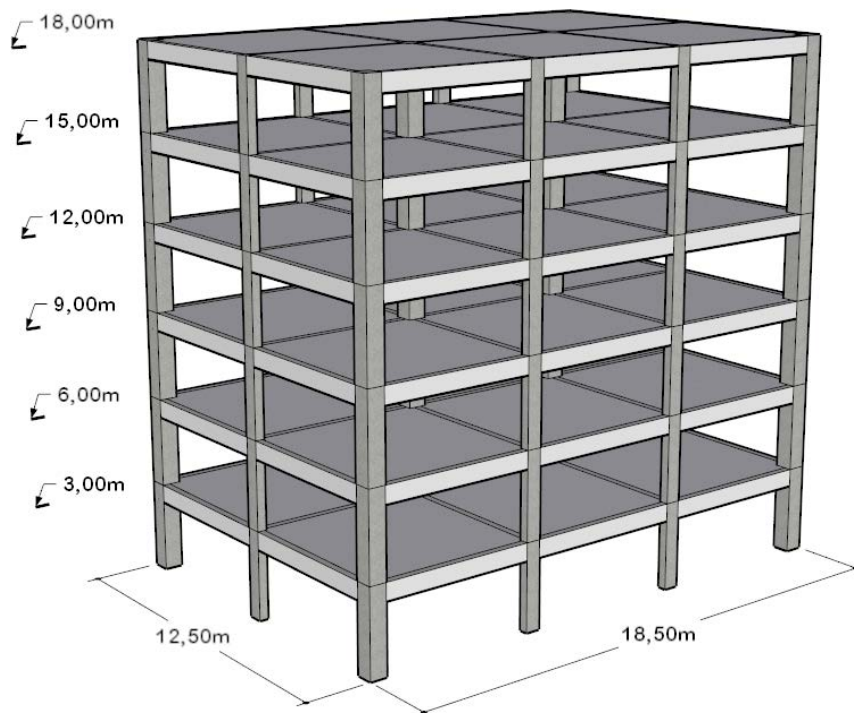
Πίνακας 3.2 Παραδοχές διαστασιολόγησης και αποτίμησης φέρουσας ικανότητας φορέα 1.

3.1.1. Παραλλαγή 1Α - Φορέας με Υποστυλώματα

Πρόκειται για κτίριο με τον ακόλουθο ξυλότυπο τυπικού ορόφου (Σχέδιο 3.1).



Σχέδιο 3.1 Ξυλότυπος τυπικού ορόφου φορέα 1Α.

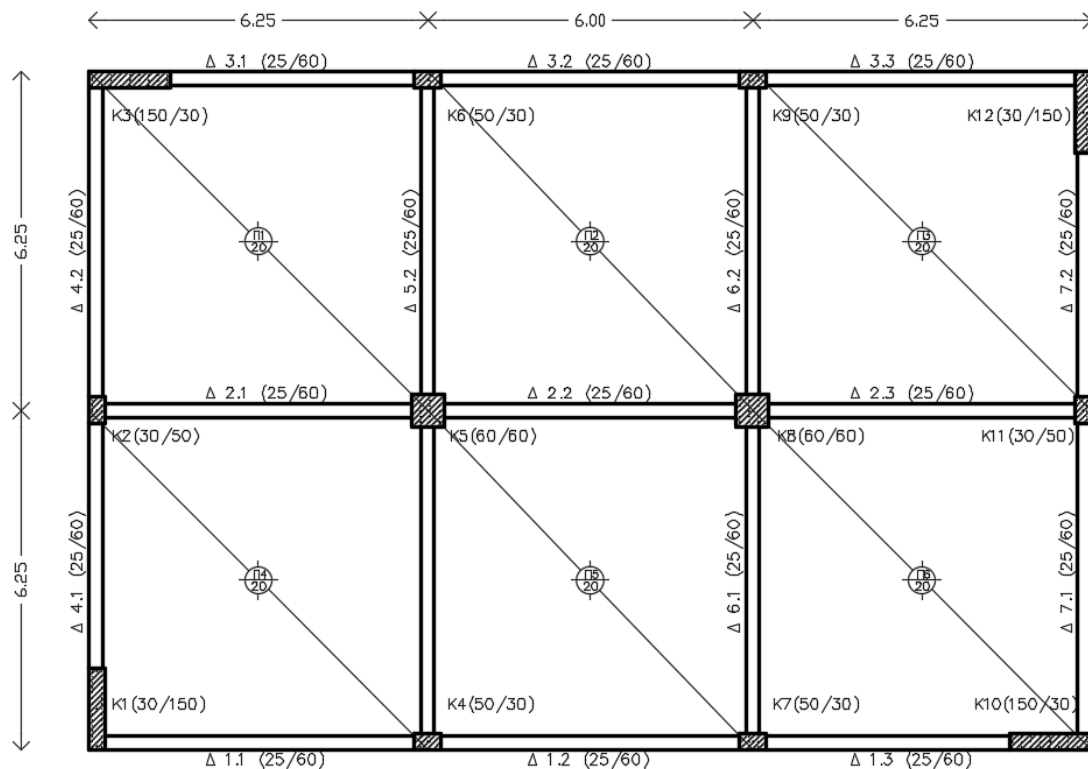


Σχέδιο 3.2 Τριδιάστατη απεικόνιση του φορέα 1Α.

Οι διαστάσεις των δοκών είναι 25×60 (cm), ενώ υπάρχουν υποστυλώματα διαστάσεων 60×60 (cm) ($K_1, K_3, K_5, K_8, K_{10}, K_{12}$) και 30×50 (cm) ($K_2, K_4, K_6, K_7, K_9, K_{11}$). Οι πλάκες είναι συμπαγείς και τετραέριστες, πάχους $h_{πλ}=20$ cm.

3.1.2. Παραλλαγή 1B - Φορέας με Γωνιακά Τοιχώματα

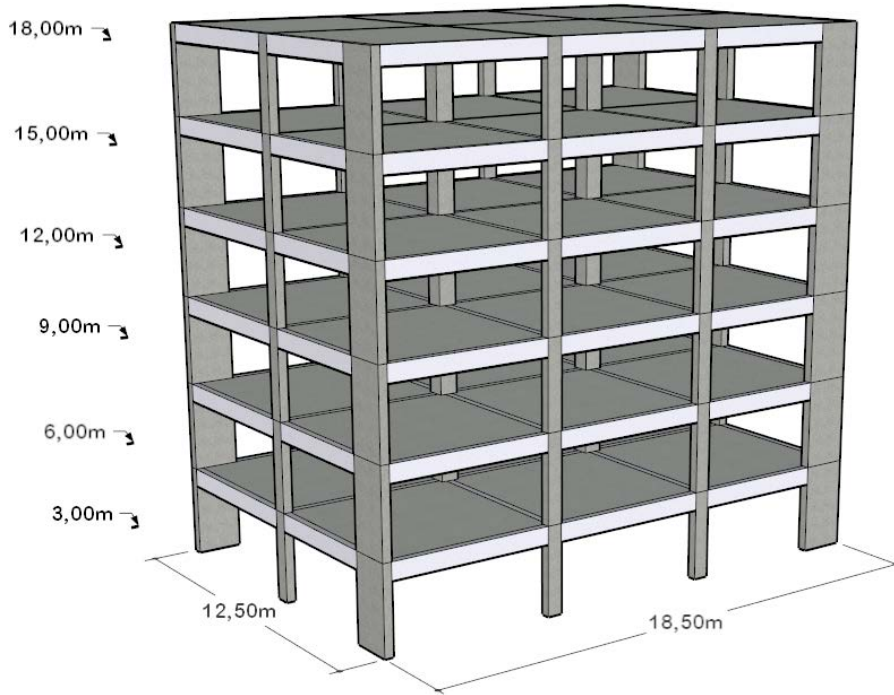
Πρόκειται για κτίριο με τον ακόλουθο ξυλότυπο τυπικού ορόφου (Σχέδιο 3.3).



Σχέδιο 3.3 Ξυλότυπος τυπικού ορόφου φορέα 1B.

Οι διαστάσεις της διατομής των δοκών είναι 25×60 (cm), ενώ υπάρχουν υποστυλώματα διαστάσεων 60×60 (cm) (K_5, K_8) και 30×50 (cm) ($K_2, K_4, K_6, K_7, K_9, K_{11}$). Τα τέσσερα γωνιακά υποστυλώματα (K_1, K_3, K_{10}, K_{12}) αντικαθίστανται από τοιχώματα διαστάσεων 30×150 (cm). Οι πλάκες είναι συμπαγείς και τετραέριστες, πάχους $h_{πλ}=20$ cm.

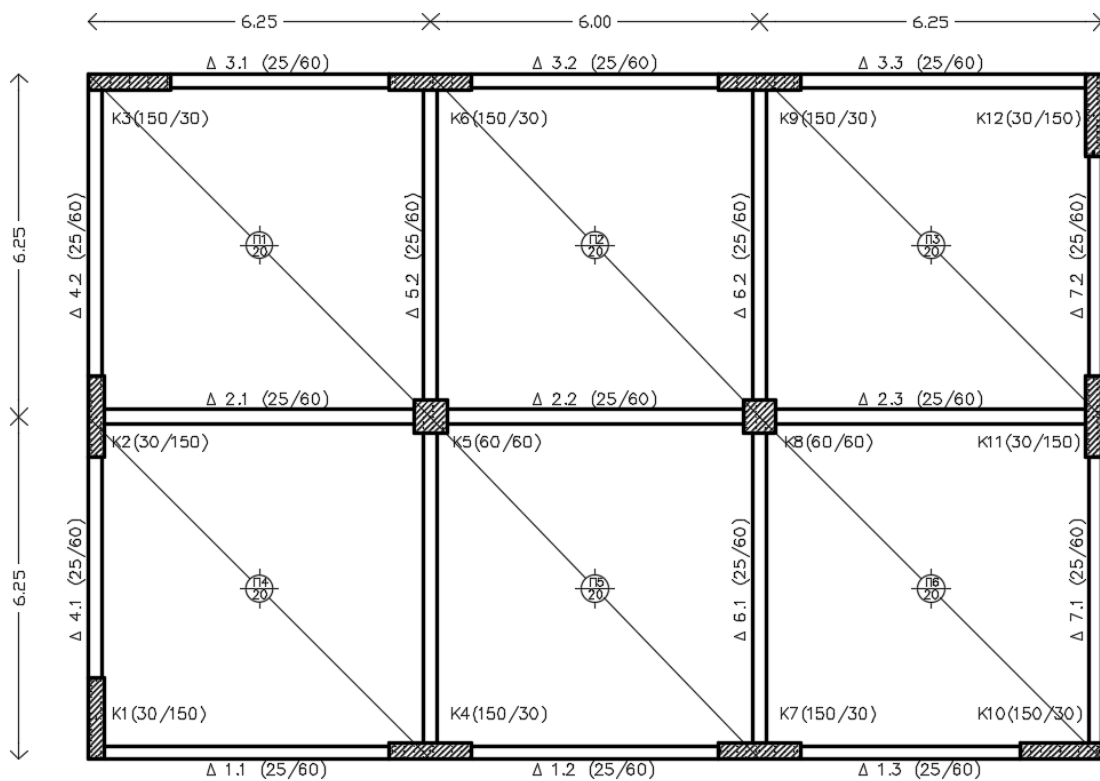
Στο ακόλουθο σχέδιο (Σχέδιο 3.4), παρουσιάζεται μια γενική άποψη του φορέα.



Σχέδιο 3.4 Τριδιάστατη απεικόνιση του φορέα 1B.

3.1.3. Παραλλαγή 1Γ - Φορέας με Περιμετρικά Τοιχώματα

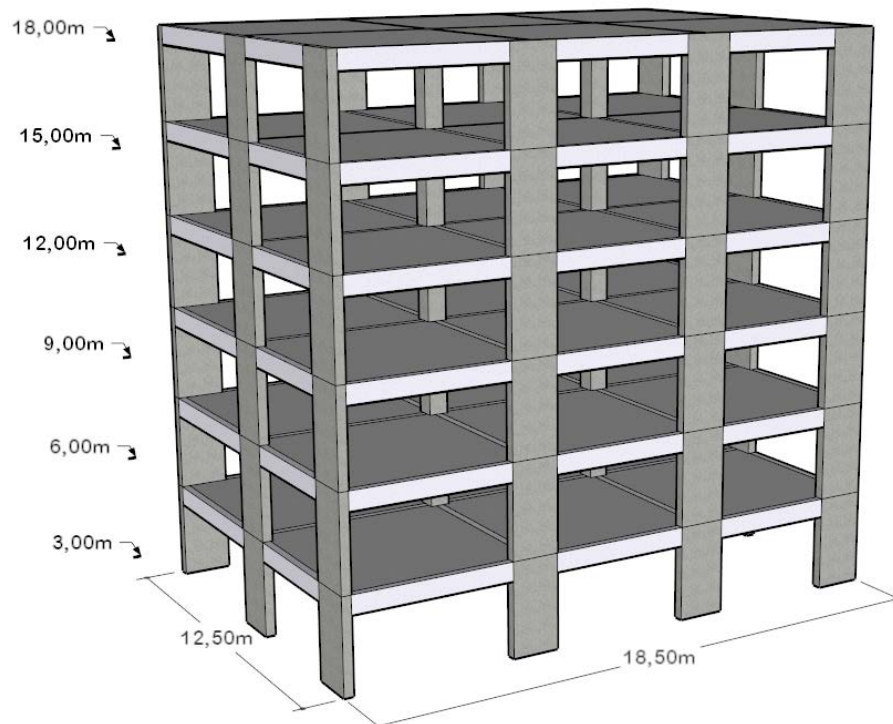
Πρόκειται για κτίριο με τον ακόλουθο ξυλότυπο τυπικού ορόφου (Σχέδιο 3.5).



Σχέδιο 3.5 Ξυλότυπος τυπικού ορόφου φορέα 1Γ.

Οι διαστάσεις της διατομής των δοκών είναι 25x60 (cm), ενώ υπάρχουν υποστυλώματα διαστάσεων 60x60 (cm) (K_5, K_8). Όλα τα περιμετρικά υποστυλώματα ($K_1, K_2, K_3, K_4, K_6, K_7, K_9, K_{10}, K_{11}, K_{12}$) αντικαθίστανται από τοιχώματα διαστάσεων 30x150 (cm). Οι πλάκες είναι τετραέριστες, πάχους $h_{πλ}=20\text{cm}$.

Στο ακόλουθο σχέδιο (Σχέδιο 3.6), παρουσιάζεται μια γενική άποψη του φορέα.



Σχέδιο 3.6 Τριδιάστατη απεικόνιση του φορέα 1Γ.

3.2. Φορέας 2

Πρόκειται για δόροφο κτίριο, διαστάσεων σε κάτοψη 30,25x14,25 m² και ύψος ορόφου 3 m (ύψος ισογείου 4 m), κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Πρόκειται για ένα παράδειγμα φορέα δεδομένης όπλισης (σχέδια όπλισης παρουσιάζονται στο Παράρτημα). Επιπλέον, αναλύθηκαν άλλες δύο παραλλαγές του φορέα. Στους φορείς αυτούς, κάποια περιμετρικά υποστυλώματα αντικαταστάθηκαν με τοιχώματα, αφαιρέθηκε το τοίχωμα μορφής Π και προστέθηκαν κάποιες δοκοί.

Η διαστασιολόγηση καθώς και η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας και των τριών φορέων πραγματοποιήθηκε με τις ακόλουθες παραδοχές (Πίνακας 3.3).

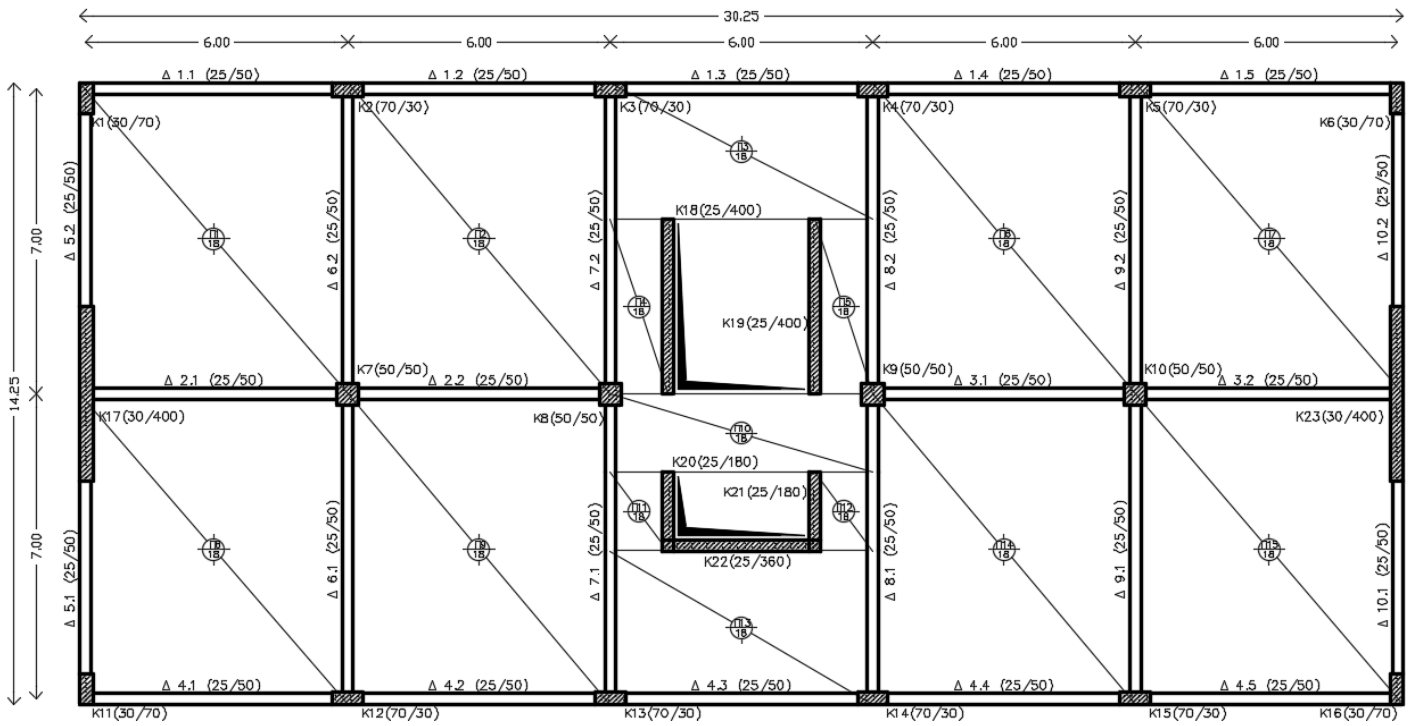
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΟΡΕΑ		
	EC2-EC8	ΒΔ'54
ΥΛΙΚΑ	Σκυρόδεμα: C25/30 Χάλυβας οπλισμού: B500C Κατηγορία έκθεσης: XC3	Σκυρόδεμα: B225 Χάλυβας οπλισμού: StIV
ΦΟΡΤΙΑ	Πρόσθετο μόνιμο φορτίο επί των πλακών: $g_1=1,00 \text{ kN/m}^2$ Κινητό φορτίο επί των πλακών: $q=2,00 \text{ kN/m}^2$ Πρόσθετο μόνιμο φορτίο επί των περιμετρικών δοκών: $g'_1=9,00 \text{ kN/m}$	
ΣΕΙΣΜΟΣ	Σεισμική ζώνη II - $a_{gR}=0,24 \text{ g}$ Κατηγορία εδάφους B Συντελεστής σπουδαιότητας $\gamma_i=1,00$ Κατηγορία πλαστιμότητας ΚΠΥ	Σεισμικός συντελεστής $\varepsilon=0,08$
ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΟΡΕΑ		
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ	Σκυρόδεμα: $f_{cm}=33 \text{ MPa}$ Χάλυβας οπλισμού: $f_{ym}=575 \text{ MPa}$	Σκυρόδεμα: $f_{cm}=22 \text{ MPa}$ Χάλυβας οπλισμού: $f_{ym}=550 \text{ MPa}$
	Επίπεδο γνώσης: Κανονική - Ικανοποιητική	
PUSHOVER ANALYSIS	Συντελεστής συνδυασμού εγκάρσιας φόρτισης: 0% Τυχηματική εκκεντρότητα: Όχι Κατανομή φόρτισης: Τριγωνική Φαινόμενα 2 ^{ας} τάξεως: Ναι Υπολογισμός στοχευόμενης μετακίνησης: Μέθοδος Φασματικής Μετακίνησης Πιθανότητα υπέρβασης Σ.Ε. "Σημαντικές Βλάβες": 10% Μέγιστη μετατόπιση: 3% του ύψους κτιρίου	

Πίνακας 3.3 Παραδοχές διαστασιολόγησης και αποτίμησης φέρουσας ικανότητας φορέα 2.

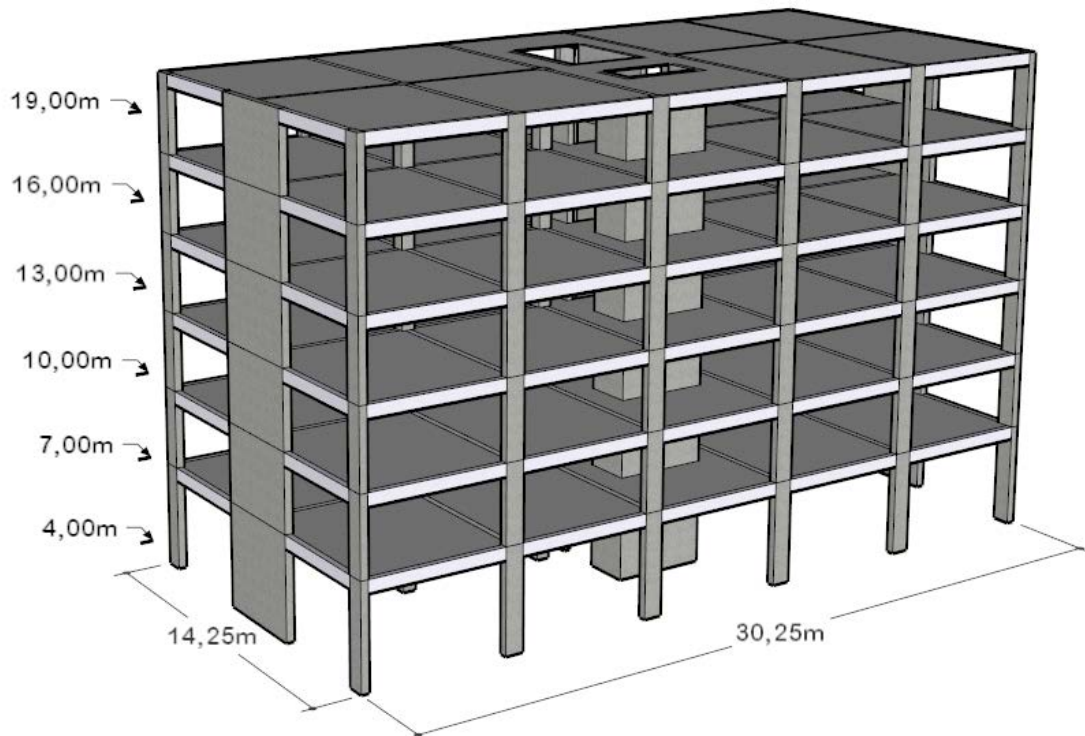
3.2.1. Παραλλαγή 2Α - Αρχικός Φορέας

Πρόκειται για κτίριο με τον ακόλουθο ξυλότυπο τυπικού ορόφου (Σχέδιο 3.7).

Οι διαστάσεις των όλων δοκών είναι 25x50 (cm), ενώ υπάρχουν υποστυλώματα διαστάσεων 30x70 (cm) ($K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_{11}, K_{12}, K_{13}, K_{14}, K_{15}, K_{16}$) και 50x50 (cm) (K_7, K_8, K_9, K_{10}). Τα τοιχώματα είναι διαστάσεων 30x400 (cm) (K_{17}, K_{23}), 25x400 (cm) (K_{18}, K_{19}), ενώ υπάρχει και ένα τοίχωμα μορφής Π διαστάσεων 360x180x25 (cm) (επιμέρους ορθογωνικά τοιχώματα K_{20}, K_{21}, K_{22}). Οι πλάκες είναι συμπαγείς πάχους $h_{\text{πλ}}=18 \text{ cm}$.



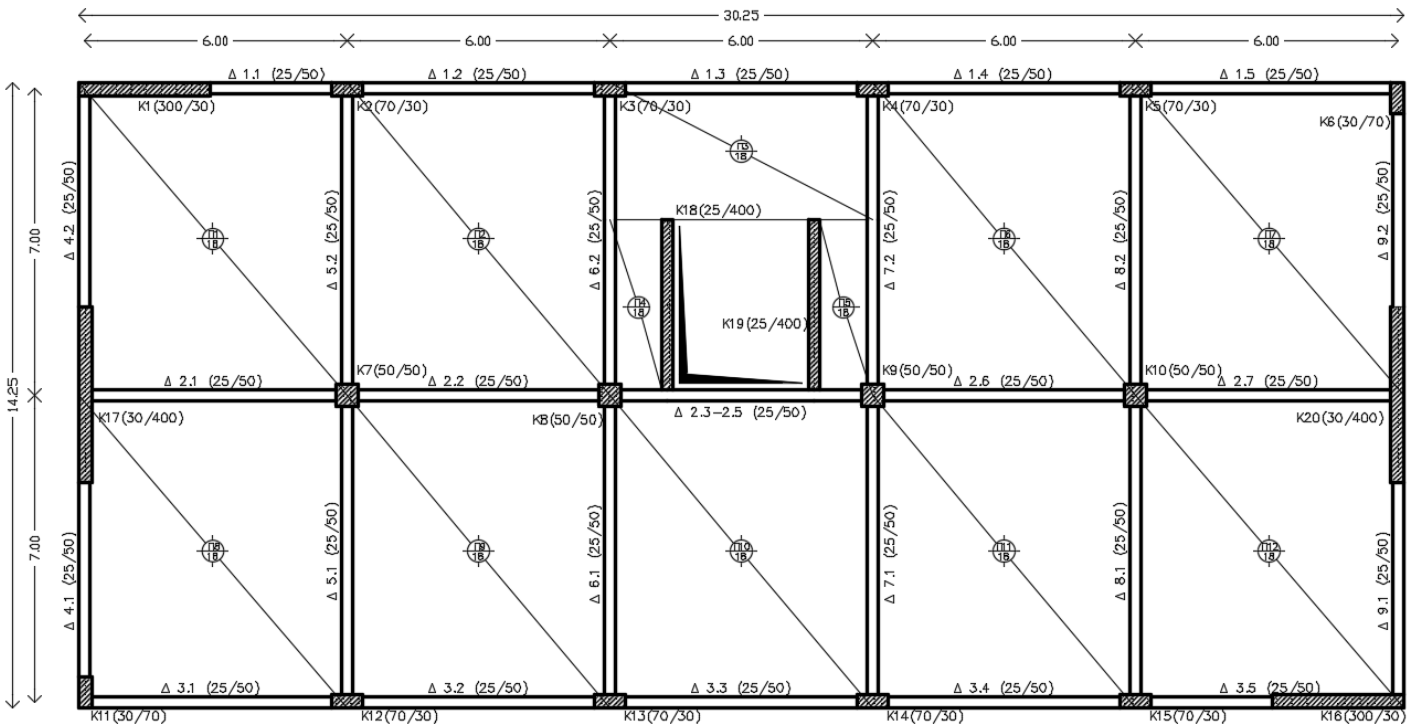
Σχέδιο 3.7 Ξυλότυπος τυπικού ορόφου φορέα 2Α.



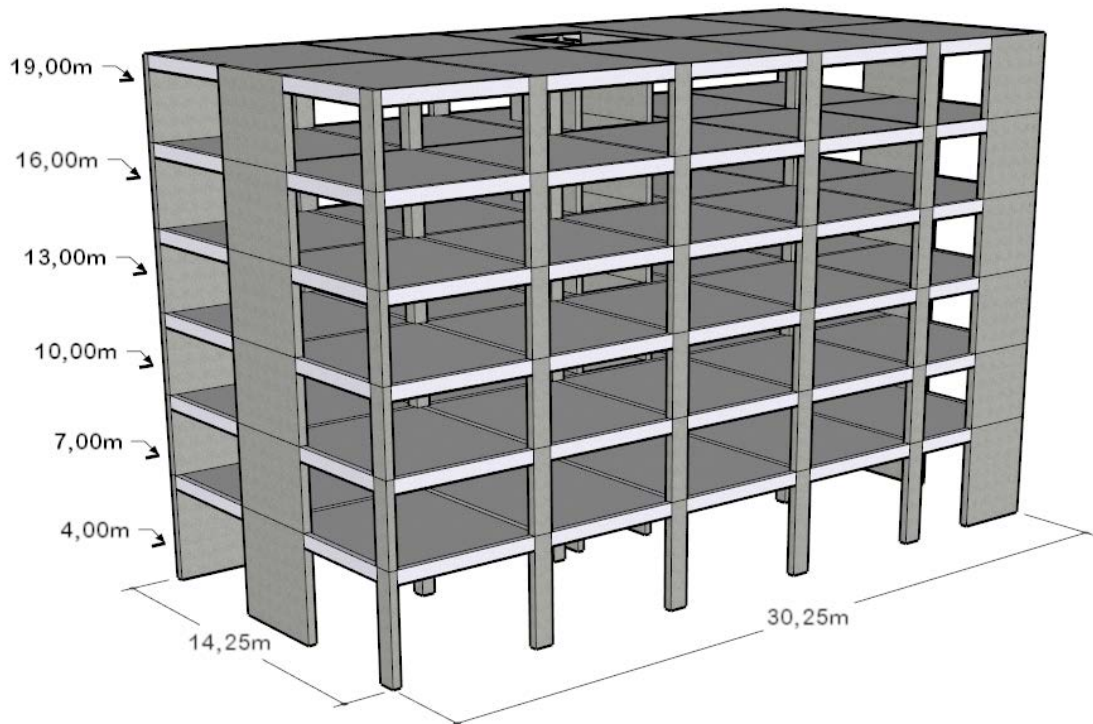
Σχέδιο 3.8 Τριδιάστατη απεικόνιση του φορέα 2Α.

3.2.2. Παραλλαγή 2B - Φορέας με 2 Γωνιακά Τοιχώματα

Πρόκειται για κτίριο με τον ακόλουθο ξυλότυπο τυπικού ορόφου (Σχέδιο 3.9).



Σχέδιο 3.9 Ξυλότυπος τυπικού ορόφου φορέα 2B.



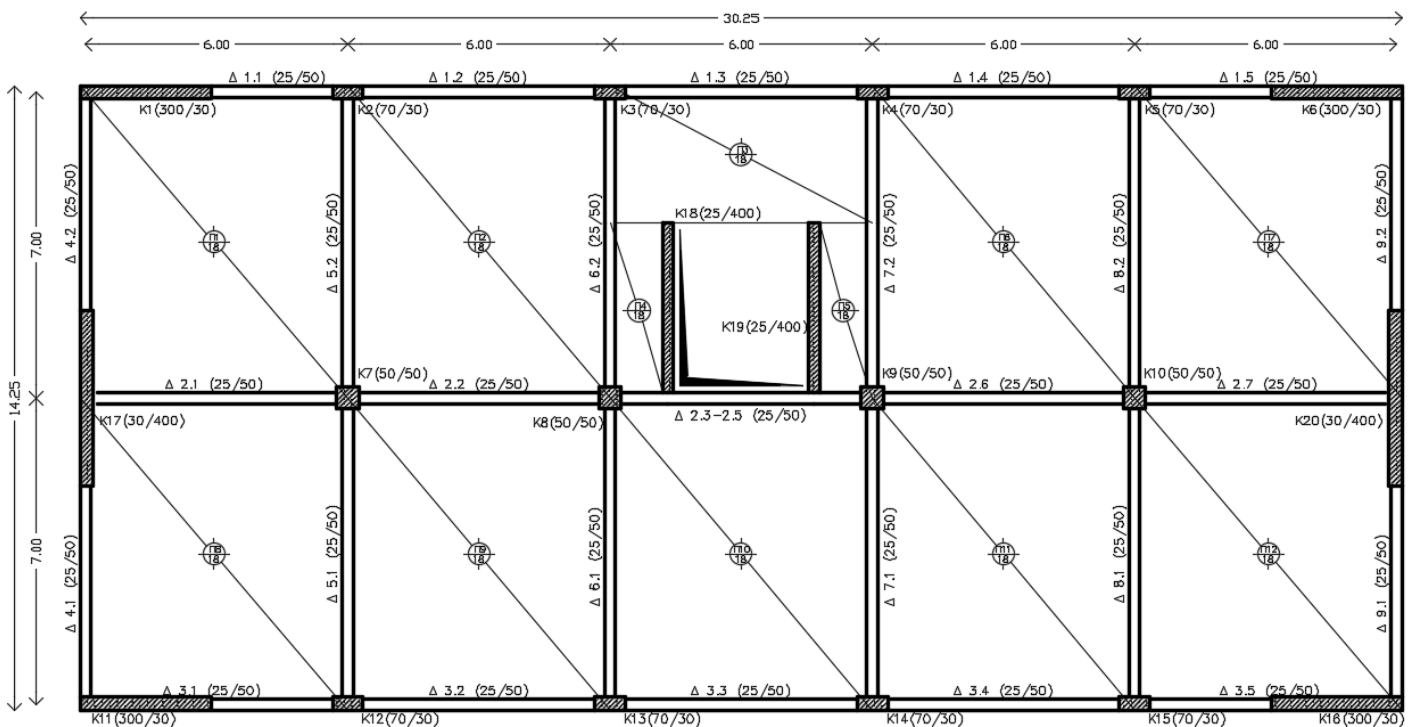
Σχέδιο 3.10 Τριδιάστατη απεικόνιση του φορέα 2B.

Οι διαστάσεις των όλων δοκών είναι 25×50 (cm), ενώ υπάρχουν υποστυλώματα διαστάσεων 30×70 (cm) ($K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_{11}, K_{12}, K_{13}, K_{14}, K_{15}$) και 50×50 (cm) (K_7, K_8, K_9, K_{10}). Δύο γωνιακά υποστυλώματα αντικαταστάθηκαν με τοιχώματα διαστάσεων 30×300 (cm) (K_1, K_{16}). Περιμετρικά υπάρχουν δύο τοιχώματα διαστάσεων 30×400 (cm) (K_{17}, K_{20}). Εσωτερικά παραμένουν μόνο τα δύο ορθογωνικά τοιχώματα διαστάσεων 25×400 (cm) (K_{18}, K_{19}), ενώ προστίθεται δοκός μεταξύ των υποστυλωμάτων (K_8, K_9). Οι πλάκες είναι συμπαγείς πάχους $h_{\text{πλ}}=18$ cm.

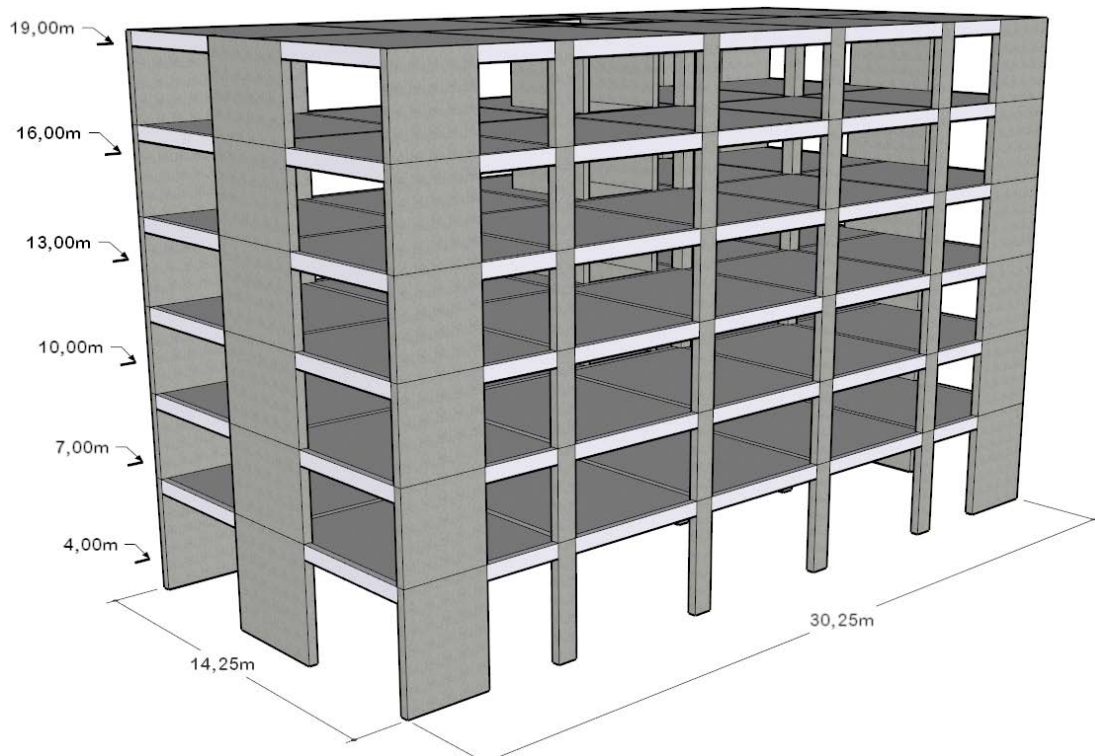
3.2.3. Παραλλαγή 2Γ - Φορέας με 4 Γωνιακά Τοιχώματα

Πρόκειται για κτίριο με τον ακόλουθο ξυλότυπο τυπικού ορόφου (Σχέδιο 3.11).

Οι διαστάσεις των όλων δοκών είναι 25×50 (cm), ενώ υπάρχουν υποστυλώματα διαστάσεων 30×70 (cm) ($K_2, K_3, K_4, K_5, K_{12}, K_{13}, K_{14}, K_{15}$) και 50×50 (cm) (K_7, K_8, K_9, K_{10}). Τα τέσσερα γωνιακά υποστυλώματα του αρχικού φορέα αντικαταστάθηκαν με τοιχώματα διαστάσεων 30×300 (cm) (K_1, K_6, K_{11}, K_{16}). Περιμετρικά υπάρχουν δύο τοιχώματα διαστάσεων 30×400 (cm) (K_{17}, K_{20}). Εσωτερικά παραμένουν μόνο τα δύο ορθογωνικά τοιχώματα διαστάσεων 25×400 (cm) (K_{18}, K_{19}), ενώ και πάλι όπως και στον φορέα 2B, προστίθεται δοκός μεταξύ των υποστυλωμάτων (K_8, K_9). Οι πλάκες είναι συμπαγείς πάχους $h_{\text{πλ}}=18$ cm.



Σχέδιο 3.11 Ξυλότυπος τυπικού ορόφου φορέα 2Γ.



Σχέδιο 3.12 Τριδιάστατη απεικόνιση του φορέα 2Γ.

3.3. Φορέας 3

Πρόκειται για 5όροφο κτίριο, διαστάσεων σε κάτοψη $20,5 \times 20,5 \text{ m}^2$ και ύψος ορόφου 3 m (ύψος ισογείου 5 m), κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Πρόκειται για ένα κτίριο μόνο με υποστυλώματα, σε κάναβο $5 \times 5 \text{ m}^2$. Επιπλέον, αναλύθηκε άλλη μια παραλλαγή του φορέα. Στο φορέα αυτό, άλλαξε η διάταξη των υποστυλωμάτων και των δοκών ώστε οι πλάκες να είναι μεγαλύτερου ανοίγματος.

Στην προκειμένη περίπτωση, η διαστασιολόγηση των φορέων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις διατάξεις παλαιότερων κανονισμών ΕΚΩΣ2000-ΕΑΚ (ΦΕΚ2184Β / 20-12-1999) και ΒΔ'54 και αλλά και με την εφαρμογή των Ευρωκωδίκων.

Η διαστασιολόγηση καθώς και η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας των δύο φορέων πραγματοποιήθηκε με τις ακόλουθες παραδοχές (Πίνακας 3.4).

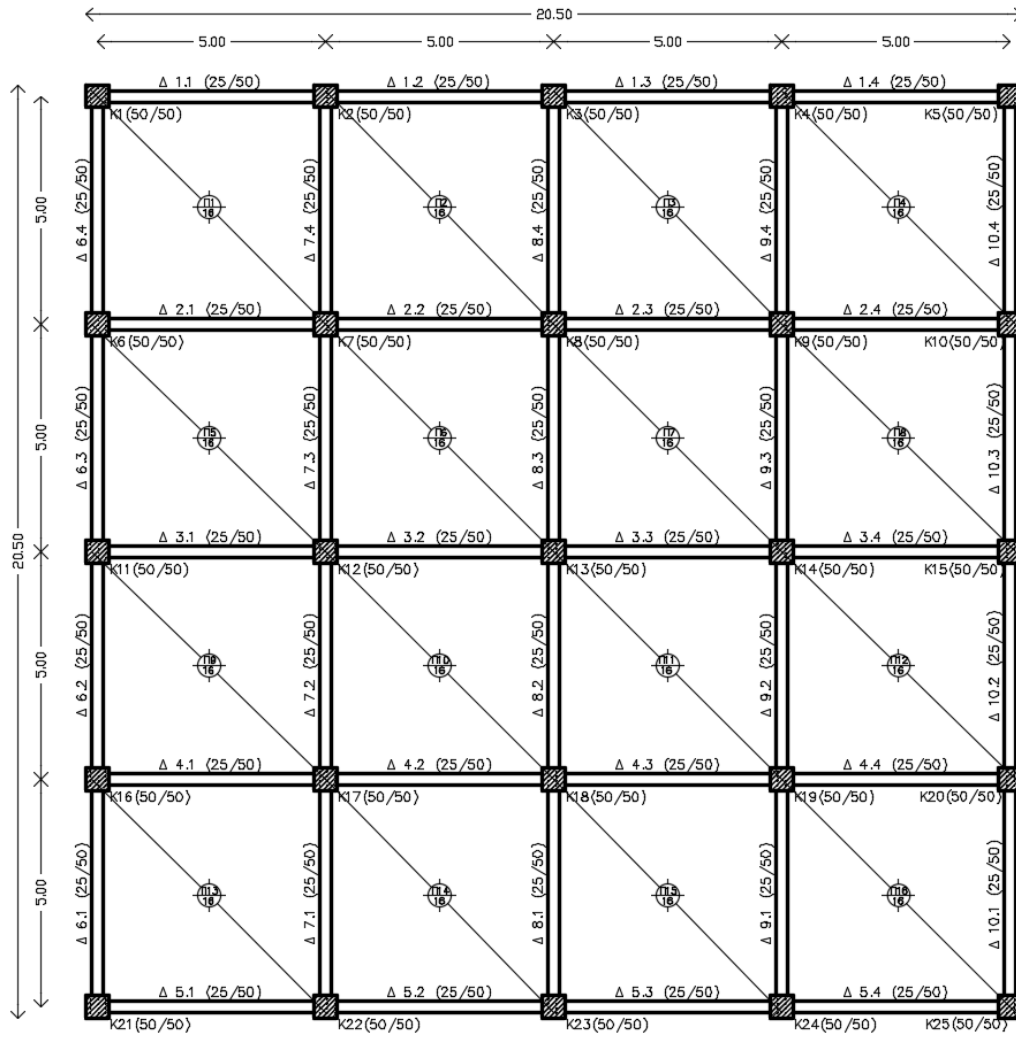
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΟΡΕΑ		
	ΕΚΩΣ-ΕΑΚ & EC2-EC8	ΒΔ'54
ΥΛΙΚΑ	Σκυρόδεμα: C20/25 Χάλυβας οπλισμού: B500C (Επικαλύψεις οπλισμών: πλάκες: 25 mm δοκοί - υποστυλώματα: 30 mm)	Σκυρόδεμα: B225 Χάλυβας οπλισμού: StIII
ΦΟΡΤΙΑ	Πρόσθετο μόνιμο φορτίο επί των πλακών: $g_1=1,50 \text{ kN/m}^2$ Κινητό φορτίο επί των πλακών: $q=2,00 \text{ kN/m}^2$ Πρόσθετο μόνιμο φορτίο επί των περιμετρικών δοκών: $g'_1=9,00 \text{ kN/m}$ (μπατική) Πρόσθετο μόνιμο φορτίο επί των εσωτερικών δοκών: $g'_1=5,00 \text{ kN/m}$ (δρομική)	
ΣΕΙΣΜΟΣ	Σεισμική ζώνη I - $a_{gR}=0,16 \text{ g}$ Κατηγορία εδάφους B Συντελεστής σπουδαιότητας $\gamma_I=1,00$	Σεισμικός συντελεστής $\varepsilon=0,07$
ΕΔΑΦΟΣ	Επιτρεπόμενη τάση εδάφους: $\sigma_{\text{επ}}=20 \text{ tn/m}^2$ Δείκτης Εδάφους $K_s=30000 \text{ kN/m}^2/\text{m}$	
ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΟΡΕΑ		
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ	Σκυρόδεμα: $f_{cm}=26,53 \text{ MPa}$ Χάλυβας: διαμήκους οπλισμού: $f_{ym}=544,66 \text{ MPa}$ συνδετήρων: $f_{ywm}=517,43 \text{ MPa}$	Σκυρόδεμα: $f_{cm}=22,5 \text{ MPa}$ Χάλυβας: διαμήκους οπλισμού: $f_{ym}=457,52 \text{ MPa}$ συνδετήρων: $f_{ywm}=434,64 \text{ MPa}$
	Επίπεδο γνώσης: Κανονική - Ικανοποιητική	
PUSHOVER ANALYSIS	Συντελεστής συνδυασμού εγκάρσιας φόρτισης: 0% Τυχηματική εκκεντρότητα: Όχι Κατανομή Φόρτισης: Ιδιομορφική Πιθανότητα υπέρβασης Σ.Ε. "Σημαντικές Βλάβες": 10% Υπολογισμός στοχευόμενης μετακίνησης: Μέθοδος Φασματικής Μετακίνησης Μέγιστη μετατόπιση: 3% του ύψους κτιρίου	

Πίνακας 3.4 Παραδοχές διαστασιολόγησης και αποτίμησης φέρουσας ικανότητας φορέα 3.

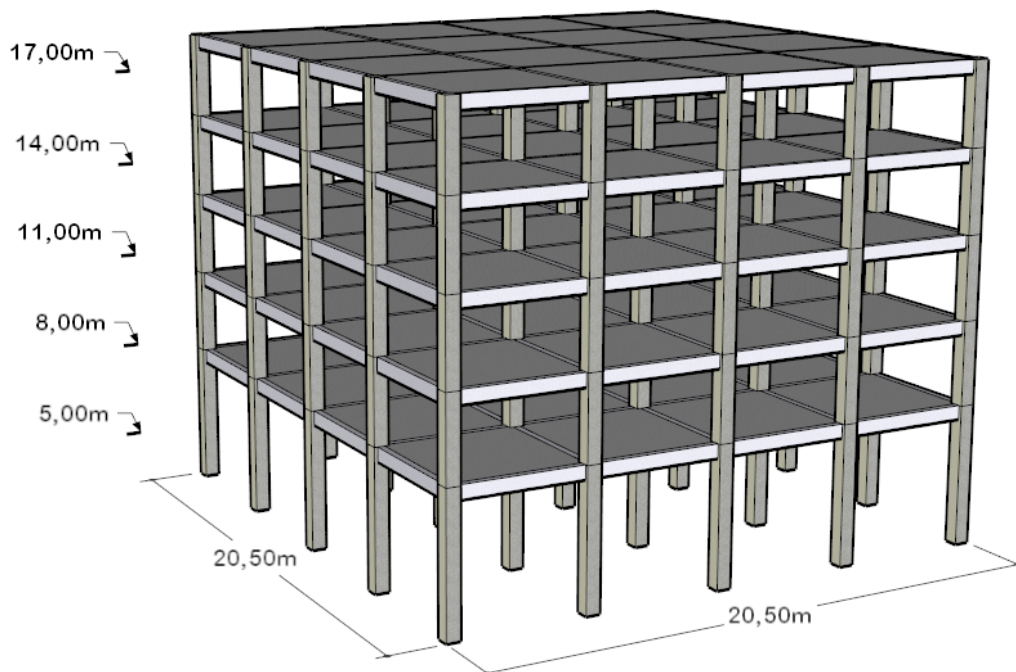
3.3.1. Παραλλαγή 3Α

Πρόκειται για κτίριο με τον ακόλουθο ξυλότυπο τυπικού ορόφου (Σχέδιο 3.13).

Οι διαστάσεις των όλων δοκών είναι 25×50 (cm), ενώ όλα τα υποστυλώματα είναι τετραγωνικά διαστάσεων 50×50 (cm). Οι πλάκες είναι συμπαγείς και τετραέριστες πάχους $h_{\text{πλ}}=16 \text{ cm}$.



Σχέδιο 3.13 Ξυλότυπος τυπικού ορόφου φορέα 3Α.

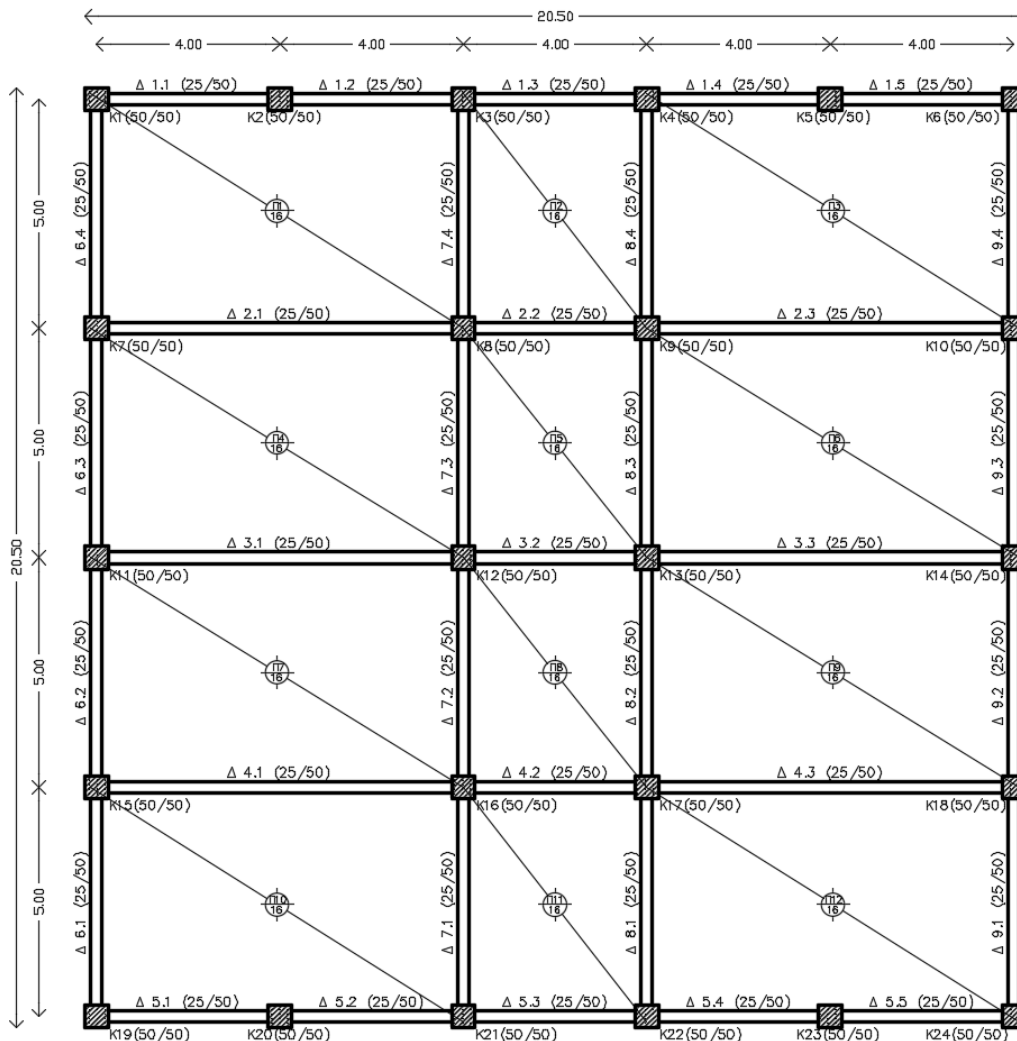


Σχέδιο 3.14 Τριδιάστατη απεικόνιση του φορέα 3Α.

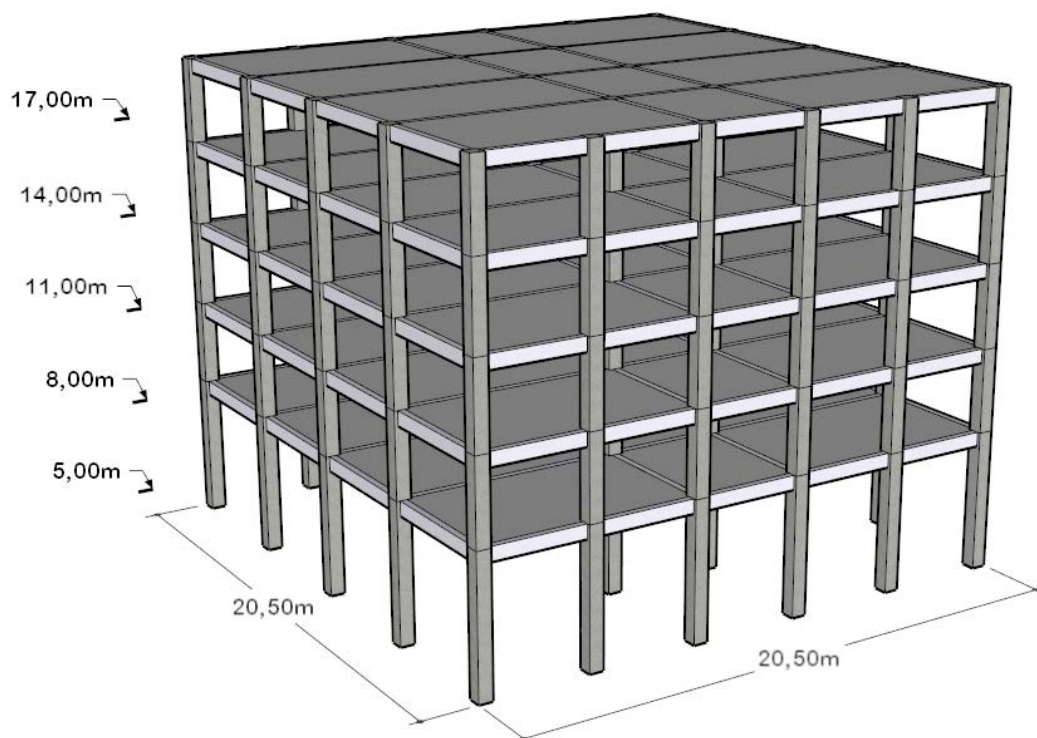
3.3.2. Παραλλαγή 3B

Πρόκειται για κτίριο με τον ακόλουθο ξυλότυπο τυπικού ορόφου (Σχέδιο 3.15).

Όπως και στον προηγούμενο φορέα οι διαστάσεις των όλων δοκών είναι 25x50 (cm), ενώ όλα τα υποστυλώματα είναι τετραγωνικά διαστάσεων 50x50 (cm). Η διαφορά με τον προηγούμενο φορέα έγκειται στο ότι διαφοροποιείται η διάταξη και παραλείπονται κάποια δοκάρια και υποστυλώματα ώστε κάποιες πλάκες να είναι μεγαλύτερου ανοίγματος. Οι πλάκες είναι συμπαγείς πάχους $h_{\text{πλ}}=16$ cm.



Σχέδιο 3.15 Ξυλότυπος τυπικού ορόφου φορέα 3B.



Σχέδιο 3.16 Τριδιάστατη απεικόνιση του φορέα 3B.

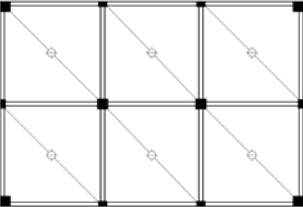
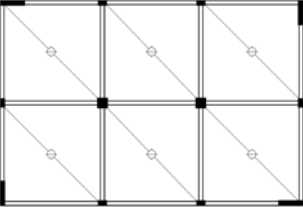
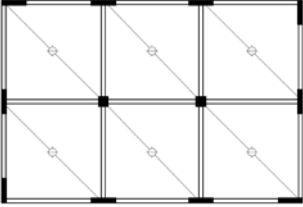
4. Παραμετρική Ανάλυση Φορέων κατά τη Διαστασιολόγηση

Προκειμένου να γίνει παραμετρική ανάλυση και να προσδιοριστεί η επίδραση της μεταβολής της τιμής κάποιων παραμέτρων που υπεισέρχονται στη διαστασιολόγηση μιας κατασκευής, πραγματοποιήθηκαν 50 αναλύσεις χρησιμοποιώντας τα δύο στατικά προγράμματα Fespa και Sap2000.

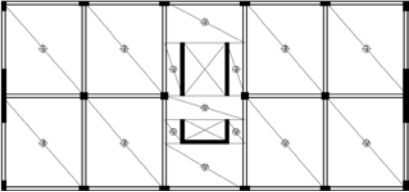
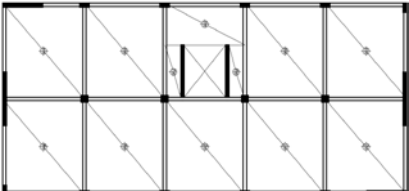
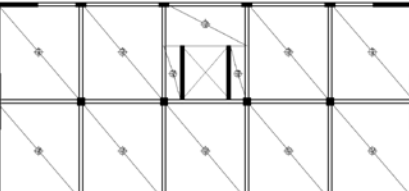
Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις εφαρμόζοντας διατάξεις διαφορετικών κανονισμών (EC2-EC8, ΕΚΩΣ2000-ΕΑΚ, ΒΔ'54), διαφορετικές μεθόδους ανάλυσης (δυναμική, στατική μέθοδος), αλλά και σε φορείς με διαφορετική προσομοίωση θεμελίωσης (πάκτωση / μεμονωμένα πέδιλα, μεταβολή της τιμής του δείκτη εδάφους). Επίσης, πραγματοποιήθηκαν επιλύσεις προκειμένου να διερευνηθεί η επιρροή της μεταβολής του συντελεστή συμπεριφοράς, της κατηγορίας πλαστιμότητας, της σεισμικής ζώνης, της απομείωσης της δυσκαμψίας και της πραγματοποίησης ικανοτικού ελέγχου.

Από τις παραπάνω παραμετρικές διερευνήσεις προκύπτει η επίδραση που έχουν στον οπλισμό που τοποθετείται στην εκάστοτε κατασκευή, δηλαδή στη συνολική προμέτρηση και κατ' επέκταση στην οικονομία του σχεδιασμού. Επιπλέον, παρουσιάζεται η επίπτωση στις τιμές της ιδιοπεριόδου, της σεισμικής επιτάχυνσης καθώς και άλλων παραμέτρων που αναλύονται παρακάτω.

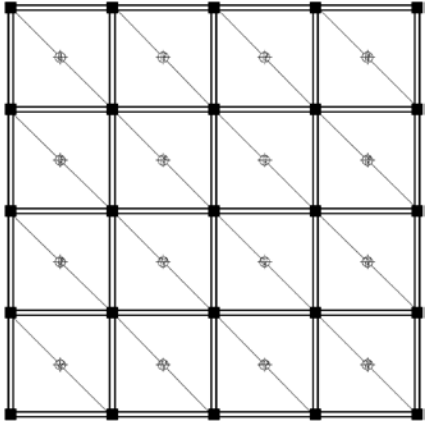
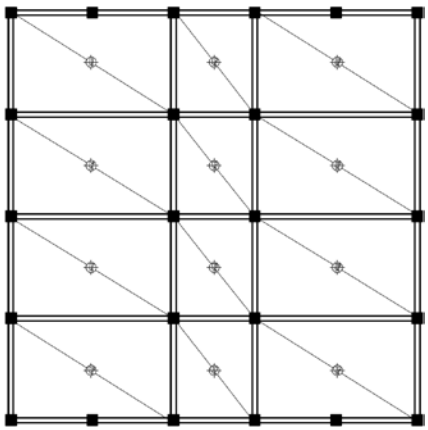
Οι παραμετρικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στους υπό εξέταση φορείς κατά τη διαστασιολόγησή τους συνοψίζονται στους ακόλουθους πίνακες (Πίνακες 4.1, 4.2, 4.3).

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΟΡΕΑ 1														
ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΦΟΡΕΑ		ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ												
		Κανονισμός		Μέθοδος Ανάλυσης		Μορφή Θεμελίωσης		Μεταβολή Συντελεστή Συμπεριφοράς (q)		Κατηγορία Πλαστιμότητας		Δυσκαμψία		
		Κωδικοποίηση Αναλύσεων	EC	ΒΔ '54	Δυναμική	Στατική	Πάκτωση	Πέδιλα	5,00	αναλόγως το στατικό σύστημα	ΚΠΜ	ΚΠΥ	Γεωμετρική	Απομειωμένη
ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ 1Α (Υποστυλώματα) 	1Α-1	•		•		•		•			•		•	
	1Α-2	•			•	•		•			•		•	
	1Α-3	•			•	•			•		•		•	
	1Α-4 (α,β)	•		•			•	•			•		•	
	1Α-5	•			•		•	•			•		•	
	1Α-6	•			•		•	•	•		•		•	
	1Α-7	•		•			•		•		•	•	•	
	1Α-8		•				•						•	
	φορέας χωρίς ανεπάρκειες 1Α-9,1Α-10,1Α-11	•		•			•		•			•		•
		•			•		•		•			•		•
•				•		•		•	•		•		•	
βέλτιστος φορέας (μειωμένο πάχος πλάκας) 1Α-12,1Α-13	•		•			•		•			•		•	
	•		•				•	•			•		•	
ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ 1Β (Γωνιακά Τοιχώματα) 	1Β-1	•		•		•			•		•		•	
	1Β-2	•		•		•			•	•			•	
	1Β-3		•				•						•	
	1Β-4 (διαστασιολόγηση ως υποστύλωμα)	•		•			•			•		•	•	
	φορέας χωρίς ανεπάρκειες 1Β-5	•		•			•				•		•	
	βέλτιστος φορέας (μειωμένο πάχος πλάκας) 1Β-6	•		•			•				•		•	
ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ 1Γ (Περιμετρικά Τοιχώματα) 	1Γ-1	•		•		•			•		•		•	
	1Γ-2	•		•		•			•	•			•	
	1Γ-3		•				•						•	
	1Γ-4 (διαστασιολόγηση ως υποστύλωμα)	•		•			•			•		•	•	
	φορέας χωρίς ανεπάρκειες 1Γ-5	•		•			•				•		•	
	βέλτιστος φορέας (μειωμένο πάχος πλάκας) 1Γ-6	•		•			•				•		•	

Πίνακας 4.1 Αναλύσεις για την παραμετρική ανάλυση κατά τη διαστασιολόγηση του φορέα 1.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΟΡΕΑ 2												
ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΦΟΡΕΑ		ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ										
		Κανονισμός		Μέθοδος Ανάλυσης		Κατηγορία Πλαστιμότητας		Σεισμική Ζώνη		Ικανοτικός Έλεγχος		Αλλαγή Θέσης Ενισχυμένων Ζωνών
<ul style="list-style-type: none"> ● Επίλυση με Fespa ● Επίλυση με SAP2000 	Κωδικοποίηση Αναλύσεων	EC	ΒΔ '54	Δυναμική	Στατική	ΚΠΜ	ΚΠΥ	Z1 $a_{gR}=0,16\text{ g}$	Z2 $a_{gR}=0,24\text{ g}$	με	χωρίς	
ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ 2Α <i>(Αρχικός Φορέας)</i> 	2Α-1	●		●			●		●		●	
	2Α-2	●		●			●		●	●		
	2Α-3	●			●●		●		●		●	
	2Α-4 (α, β, γ)	●		●			●		●		●	
	2Α-5	●		●				●			●	
	2Α-6			●				●				
	2Α-7	●		●			●			●		●
ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ 2Β <i>(2 Γωνιακά Τοιχώματα)</i> 	2Β-1	●		●			●		●		●	
	φορέας χωρίς ανεπάρκειες 2Β-2	●		●			●		●		●	
	βέλτιστος φορέας (μειωμένο πάχος πλάκας) 2Β-3	●		●			●		●		●	
ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ 2Γ <i>(4 Γωνιακά Τοιχώματα)</i> 	2Γ-1	●		●			●		●		●	
	φορέας χωρίς ανεπάρκειες 2Γ-2	●		●			●		●		●	
	βέλτιστος φορέας (μειωμένο πάχος πλάκας) 2Γ-3	●		●			●		●		●	

Πίνακας 4.2 Αναλύσεις για την παραμετρική ανάλυση κατά τη διαστασιολόγηση του φορέα 2.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΟΡΕΑ 3								
ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΦΟΡΕΑ		ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ						
		Κανονισμός			Μέθοδος Ανάλυσης		Μορφή Θεμελίωσης	
Κωδικοποίηση Αναλύσεων		EC	ΕΚΩΣ - ΕΑΚ	ΒΔ '54	Δυναμική	Στατική	Πάκτωση	Πέδιλα
ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ 3Α <i>(Αρχικός Φορέας)</i> 	3Α-1		•		•			•
	3Α-2		•		•		•	
	3Α-3			•			•	
	3Α-4	•			•		•	
	φορέας χωρίς ανεπάρκειες 3Α-5		•		•		•	
	φορέας χωρίς ανεπάρκειες 3Α-6			•	•		•	
	φορέας χωρίς ανεπάρκειες 3Α-7	•			•		•	
ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ 3Β 	3Β-1		•		•			•
	3Β-2		•		•		•	
	3Β-3			•			•	
	3Β-4	•			•		•	
	φορέας χωρίς ανεπάρκειες 3Β-5		•		•		•	
	φορέας χωρίς ανεπάρκειες 3Β-6	•			•		•	

Πίνακας 4.3 Αναλύσεις για την παραμετρική ανάλυση κατά τη διαστασιολόγηση του φορέα 3.

4.1. Παραμετρική Ανάλυση Διαστασιολόγησης Φορέα 1

Οι παραμετρικές αναλύσεις στο φορέα 1 έχουν ως στόχο τον προσδιορισμό της επίδρασης της μεθόδου ανάλυσης, της τιμής του συντελεστή συμπεριφοράς καθώς και της προσομοίωσης της θεμελίωσης στη διαστασιολόγηση, μέσω της ποσότητας του απαιτούμενου οπλισμού, και συνεπώς της συνολικής προμέτρησης αλλά και στις τιμές της ιδιοπεριόδου και της σεισμικής επιτάχυνσης κατά το σχεδιασμό.

Επίσης, οι άλλες δύο παραλλαγές του φορέα παρουσιάζουν τις συνέπειες σχεδιασμού φορέων με περιμετρικά τοιχώματα σε αντιδιαστολή με φορείς που σχεδιάζονται αποκλειστικά με υποστυλώματα.

4.1.1. Επίδραση της Μεθόδου Ανάλυσης

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση της μεθόδου ανάλυσης στη διαστασιολόγηση μιας κατασκευής, πραγματοποιήθηκε ανάλυση στο φορέα 1Α εφαρμόζοντας δυναμική και στατική ανάλυση, διατηρώντας όλες τις άλλες παραμέτρους σταθερές, θεωρώντας πακτωμένο φορέα (Αναλύσεις 1Α-1, 1Α-2).

4.1.1.1. Διαφορές στις Εμφανιζόμενες Ανεπάρκειες

Από τις επιλύσεις, και στις δύο περιπτώσεις προκύπτουν ανεπάρκειες στον αρχικό φορέα.

Πιο συγκεκριμένα, από την εφαρμογή της δυναμικής μεθόδου προκύπτουν αστοχίες θλιπτήρα σκυροδέματος κόμβου σε 8 κόμβους στην οροφή του ισόγειου, 6 κόμβους στον 2^ο όροφο και 2 κόμβους στον 3^ο όροφο. Επίσης, παρατηρείται αστοχία ελέγχου επάρκειας υποστυλώματος με το μέγιστο δυνατό οπλισμό σε 2 υποστυλώματα στον 2^ο και 3^ο όροφο. Τέλος, παρατηρείται και αστοχία συνάφειας των ράβδων των δοκών σε 2 κόμβους στον 3^ο όροφο και σε 6 κόμβους στους 4^ο-6^ο ορόφους.

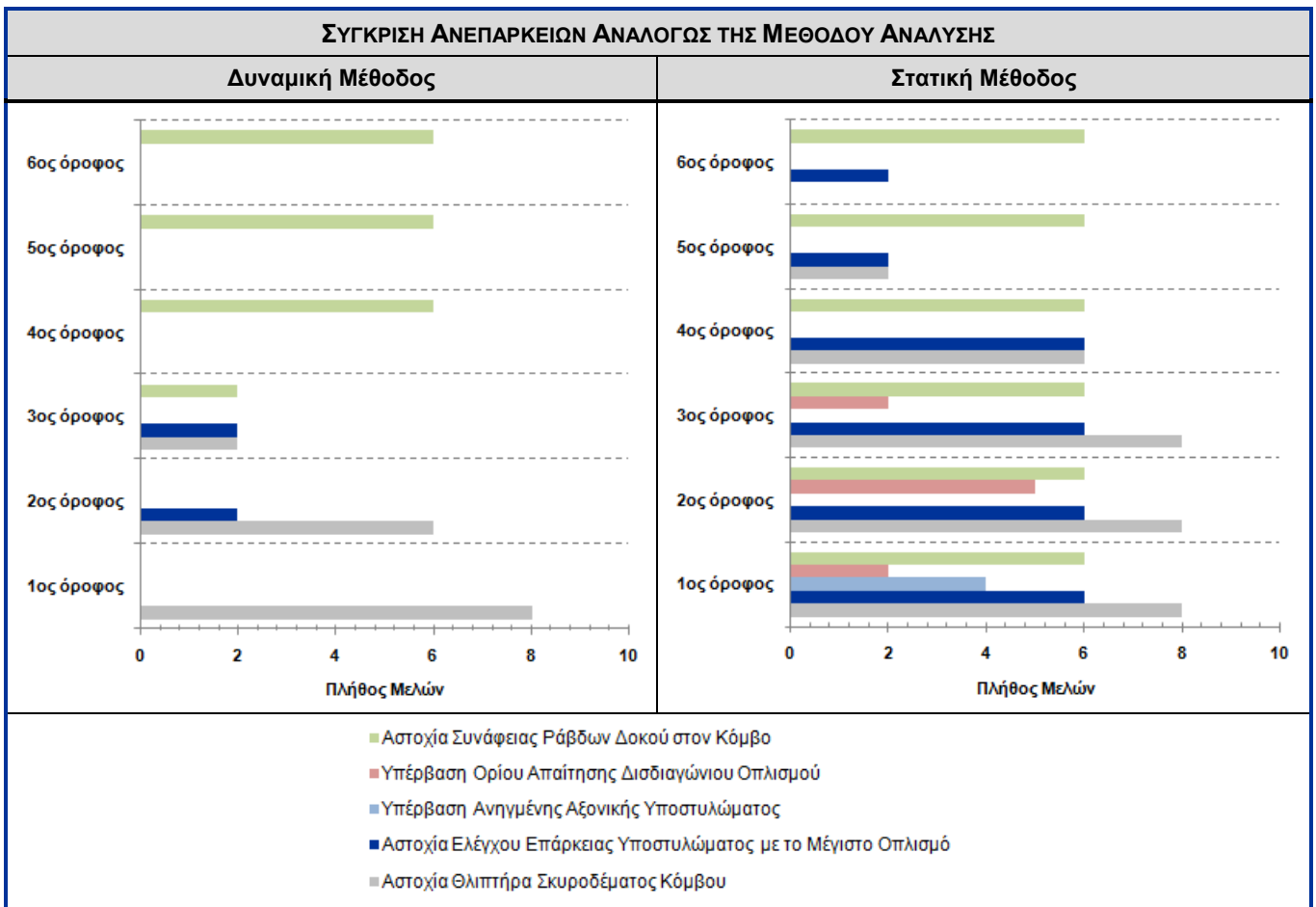
Από την εφαρμογή της στατικής μεθόδου προκύπτουν οι ίδιοι τύποι αστοχίας με αυτούς από την εφαρμογή της δυναμικής μεθόδου, με τη διαφορά ότι οι ανεπάρκειες εμφανίζονται σε περισσότερα μέλη. Αστοχίες θλιπτήρα σκυροδέματος εμφανίζονται σε 8 κόμβους του 1^{ου}, 2^{ου} και 3^{ου} ορόφου, 6 κόμβους στον 4^ο όροφο και 2 κόμβους στον 5^ο όροφο. Αστοχία ελέγχου επάρκειας υποστυλώματος με το μέγιστο δυνατό οπλισμό παρατηρείται σε 6 υποστυλώματα του 1^{ου} (ισόγειο), 2^{ου}, 3^{ου} και 4^{ου} ορόφου, σε 2 υποστυλώματα του 5^{ου} ορόφου και 2 υποστυλώματα του 6^{ου} ορόφου. Επιπλέον, αστοχία συνάφειας των ράβδων των δοκών εμφανίζεται σε 6 κόμβους σε κάθε όροφο

της κατασκευής. Τέλος, εμφανίζονται και επιπλέον ανεπάρκειες που αφορούν την υπέρβαση της ανηγμένης αξονικής σε 4 υποστυλώματα του ισογείου αλλά και παρατηρείται υπέρβαση ορίου απαίτησης δισδιαγώνιου οπλισμού σε 2 δοκούς του 1^{ου} ορόφου, 5 δοκούς του 2^{ου} ορόφου και 2 δοκούς του 3^{ου} ορόφου.

Οι παραπάνω ανεπάρκειες παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακες (Πίνακες 4.4, 4.5).

ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	
	Δυναμική Μέθοδος	Στατική Μέθοδος
Αστοχία Θλιπτήρα Σκυροδέματος Κόμβου	K ₂ (1),K ₄ (1),K ₅ (1),K ₆ (1),K ₇ (1), K ₈ (1),K ₉ (1),K ₁₁ (1), K ₂ (2),K ₄ (2),K ₆ (2),K ₇ (2), K ₉ (2),K ₁₁ (2), K ₂ (3), K ₁₁ (3)	K ₂ (1),K ₄ (1),K ₅ (1),K ₆ (1),K ₇ (1), K ₈ (1),K ₉ (1),K ₁₁ (1), K ₂ (2),K ₄ (2),K ₅ (2),K ₆ (2),K ₇ (2), K ₈ (2),K ₉ (2),K ₁₁ (2), K ₂ (3),K ₄ (3),K ₅ (3),K ₆ (3),K ₇ (3), K ₈ (3),K ₉ (3),K ₁₁ (3), K ₂ (4),K ₄ (4),K ₆ (4),K ₇ (4), K ₉ (4),K ₁₁ (4), K ₂ (5), K ₁₁ (5)
Αστοχία Ελέγχου Επάρκειας Υποστυλώματος με το Μέγιστο Οπλισμό	K ₂ (2),K ₁₁ (2), K ₂ (3),K ₁₁ (3)	K ₂ (1),K ₄ (1),K ₆ (1),K ₇ (1), K ₉ (1),K ₁₁ (1), K ₂ (2),K ₄ (2),K ₆ (2),K ₇ (2), K ₉ (2),K ₁₁ (2), K ₂ (3),K ₄ (3),K ₆ (3),K ₇ (3), K ₉ (3),K ₁₁ (3), K ₂ (4),K ₄ (4),K ₆ (4),K ₇ (4), K ₉ (4),K ₁₁ (4), K ₂ (5), K ₁₁ (5) K ₂ (6), K ₁₁ (6)
Υπέρβαση Ανηγμένης Αξονικής Υποστυλώματος	-	K ₄ (1),K ₆ (1),K ₇ (1),K ₉ (1)
Υπέρβαση Ορίου Απαίτησης Δισδιαγώνιου Οπλισμού	-	Δ _{4.2} (1), Δ _{7.2} (1), Δ _{1.2} (2), Δ _{2.2} (2), Δ _{3.2} (2), Δ _{4.2} (2), Δ _{7.2} (2), Δ _{4.2} (3), Δ _{7.2} (3)
Αστοχία Συνάφειας Ράβδων Δοκού στον Κόμβο	K ₂ (3),K ₁₁ (3), K ₂ (4),K ₄ (4),K ₆ (4),K ₇ (4), K ₉ (4),K ₁₁ (4), K ₂ (5),K ₄ (5),K ₆ (5),K ₇ (5), K ₉ (5),K ₁₁ (5), K ₂ (6),K ₄ (6),K ₆ (6),K ₇ (6), K ₉ (6),K ₁₁ (6)	K ₂ (1-6),K ₄ (1-6),K ₆ (1-6),K ₇ (1-6), K ₉ (1-6),K ₁₁ (1-6)

Πίνακας 4.4 Ανεπάρκειες που εμφανίζονται στις αναλύσεις με δυναμική και στατική μέθοδο.



Πίνακας 4.5 Σύγκριση ανεπαρκειών φορέα 1Α αναλόγως της μεθόδου ανάλυσης.

Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι η στατική μέθοδος επίλυσης είναι δυσμενέστερη, με τον αριθμό των μελών που εμφανίζουν ανεπάρκειες για τον ίδιο τύπο αστοχίας να είναι σε ορισμένες περιπτώσεις αρκετά μεγαλύτερος από ότι αν εφαρμοζόταν η δυναμική μέθοδος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρείται αύξηση κατά 140% των μελών που εμφανίζουν κάποια ανεπάρκεια.

Επιπλέον, η στατική μέθοδος ανάλυσης κατά τη διαστασιολόγηση είναι συντηρητικότερη, σε βαθμό που μπορεί να παρουσιαστούν νέες μορφές αστοχίας από ότι αν εφαρμοζόταν η δυναμική μέθοδος. Στην προκειμένη περίπτωση εμφανίστηκαν δύο επιπλέον μορφές ανεπαρκειών (υπέρβαση ανηγμένης αξονικής σε υποστυλώματα και υπέρβαση ορίου απαίτησης δισδιαγώνιου οπλισμού σε ορισμένα δοκάρια).

Επομένως, από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται ότι η μέθοδος ανάλυσης που εφαρμόζεται κατά τη διαστασιολόγηση επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το σχεδιασμό του φορέα.

4.1.1.2. Σύγκριση Όπλισης

Όπως αναλύθηκε προηγουμένως, ανάλογα με τη μέθοδο ανάλυσης που εφαρμόζεται κατά τη διαστασιολόγηση του φορέα, εμφανίζονται ανεπάρκειες οι οποίες πρέπει να αντιμετωπιστούν προκειμένου ο φορέας να έχει την επιθυμητή επάρκεια.

Επομένως, στην περίπτωση αστοχίας θλιπτήρα σκυροδέματος κόμβου πρέπει να αυξηθούν οι διαστάσεις του κόμβου. Αυτό επιτυγχάνεται με αύξηση των διαστάσεων του υποστυλώματος ή/και της δοκού που καταλήγουν στο συγκεκριμένο κόμβο.

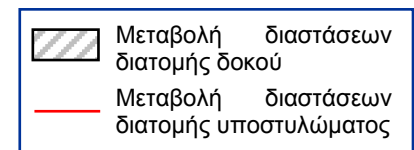
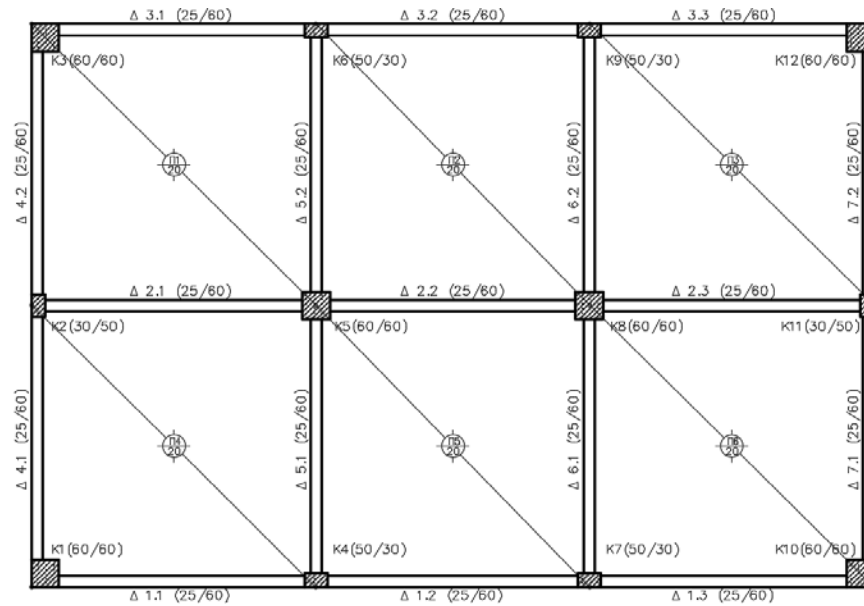
Για την απαλοιφή των αστοχιών συνάφειας των ράβδων μιας δοκού στον κόμβο, καθώς οι διαθέσιμες διάμετροι οπλισμού για τη δεδομένη διάσταση στήριξης δεν καλύπτουν την απαίτηση αποφυγής αστοχίας συνάφειας, είτε προστίθενται μικρότερες διάμετροι στις διαθέσιμες είτε αυξάνεται η διάσταση της στήριξης που είναι παράλληλα στη δοκό.

Όταν ένα υποστυλώμα αστοχεί στον έλεγχο επάρκειας ακόμα και με το μέγιστο δυνατό οπλισμό ($\rho_{\max} = 4\%$) πρέπει να αυξηθούν οι διαστάσεις του. Επίσης, αύξηση των διαστάσεων της διατομής υποστυλώματος απαιτείται και όταν παρουσιαστεί υπέρβαση της ανηγμένης αξονικής ($|v_a| > 0,55$), όπως συμβαίνει συνήθως στα υποστυλώματα του ισογείου.

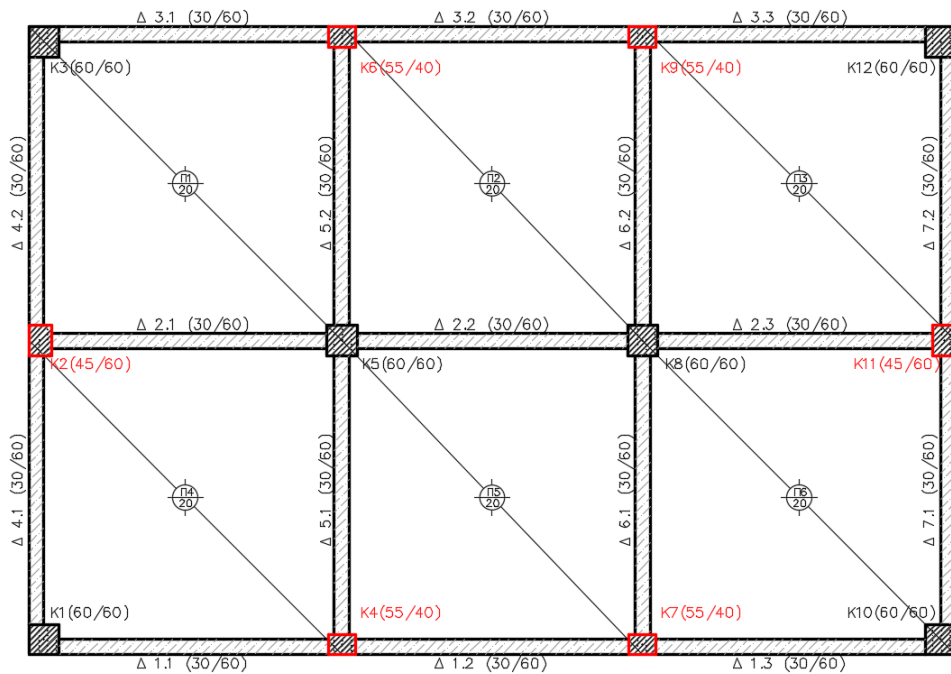
Τέλος, στην περίπτωση υπέρβασης ορίου απαίτησης δισδιαγώνιου οπλισμού σε κάποια δοκό ενδείκνυται η αύξηση του πάχους και ενδεχομένως η μείωση του ύψους της δοκού, καθώς η αύξησή του πιθανώς να αυξήσει τις ικανοτικές τέμνουσες και ροπές, με αποτέλεσμα την επιδείνωση του προβλήματος.

Εφαρμόζοντας, λοιπόν, τις δύο μεθόδους ανάλυσης οι τελικοί φορείς που προκύπτουν μετά από την αντιμετώπιση των ανεπαρειών είναι οι ακόλουθοι (Σχέδιο 4.1).

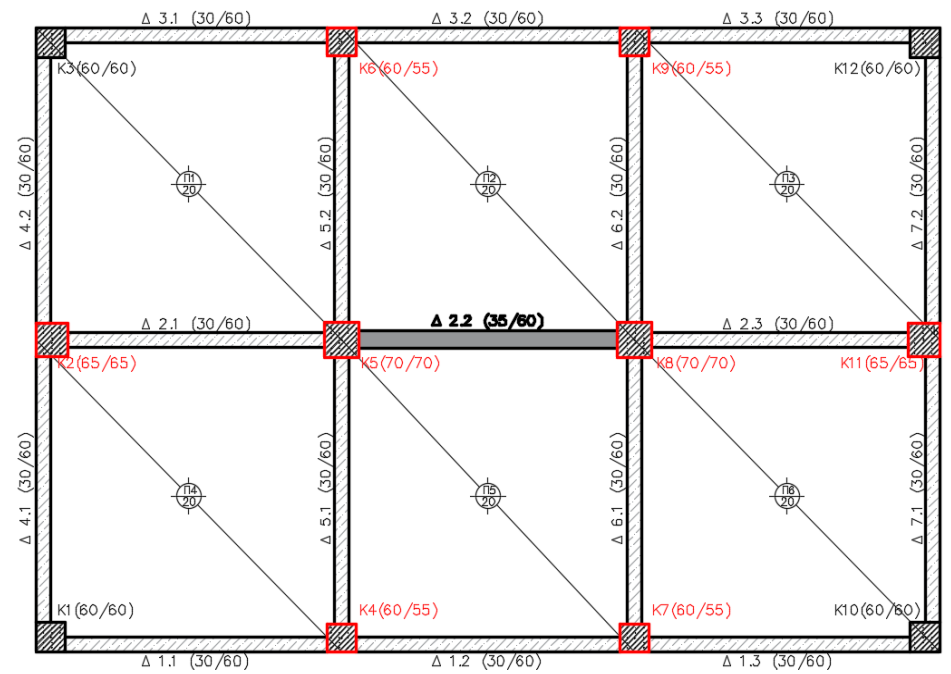
ΑΡΧΙΚΟΣ ΦΟΡΕΑΣ 1Α



ΦΟΡΕΑΣ ΧΩΡΙΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΕΣ - ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ



ΦΟΡΕΑΣ ΧΩΡΙΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΕΣ - ΣΤΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ



Σχέδιο 4.1 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέων 1Α χωρίς ανεπάρκειες εφαρμόζοντας διαφορετική μέθοδο ανάλυσης.

Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι αυξήθηκε το πλάτος των διατομών όλων των δοκών από 25/60 (cm) σε 30/60 (cm) με τη διαφορά ότι στην περίπτωση εφαρμογής της στατικής μεθόδου ανάλυσης, απαιτήθηκε αύξηση της διατομής της μεσαίας δοκού Δ_{2.2} σε 35/60 (cm), για αποφυγή τοποθέτησης δισδιαγώνιου οπλισμού.

Όσον αφορά στα υποστυλώματα, στην περίπτωση εφαρμογής της δυναμικής μεθόδου ανάλυσης, αυξήθηκε η διατομή 6 υποστυλωμάτων (K₂,K₁₁ (30/50) → (45/60) (cm) και K₄,K₆,K₇,K₉ (50/30) → (55/40) (cm)). Ενώ στην περίπτωση της στατικής μεθόδου εκτός του ότι απαιτήθηκε μεγαλύτερη αύξηση των διαστάσεων των υποστυλωμάτων (K₂,K₁₁ (30/50) → (65/65) (cm) και K₄,K₆,K₇,K₉ (50/30) → (60/55) (cm)), αυξήθηκε και η διατομή των δύο κεντρικών υποστυλωμάτων (K₅,K₈ (60/60) → (70/70) (cm)).

Οι τροποποιήσεις αυτές του αρχικού φορέα, έχουν επιπτώσεις στη συνολική προμέτρηση του κτιρίου (Πίνακας 4.6).

	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ	
	Δυναμική Μέθοδος	Στατική Μέθοδος
Βάρος σιδηρού οπλισμού (kg)	35565,70	46437,80
Όγκος σκυροδέματος (m ³)	408,85	426,60
Αναλογία σιδηρού οπλισμού - σκυροδέματος (kg/ m ³)	87,00	108,85

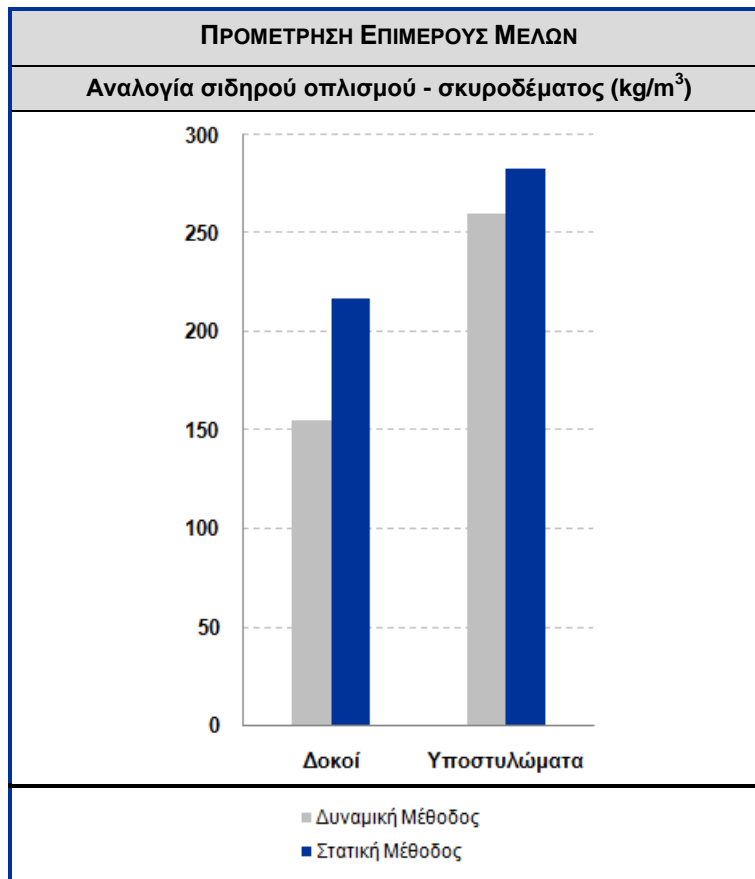
Πίνακας 4.6 Συνολική προμέτρηση φορέα 1Α αναλόγως της μεθόδου ανάλυσης.

Από τον παραπάνω πίνακα, είναι εμφανής η επίδραση της μεθόδου ανάλυσης στη συνολική προμέτρηση, με την απαίτηση τοποθέτησης πολύ περισσότερου οπλισμού στην κατασκευή. Η αύξηση του απαιτούμενου οπλισμού εφαρμόζοντας στατική μέθοδο ανάλυσης συγκριτικά με εφαρμογή της δυναμικής μεθόδου είναι 30% ενώ η αύξηση του όγκου σκυροδέματος είναι πολύ μικρότερη 4%.

Αναλυτικότερα, η προμέτρηση για κάθε τύπο δομικού μέλους, αφαιρώντας τις πλάκες, παρουσιάζεται ακολούθως (Πίνακες 4.7 και 4.8).

	ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΜΕΛΩΝ			
	Δυναμική Μέθοδος		Στατική Μέθοδος	
	Δοκοί	Υποστυλώματα	Δοκοί	Υποστυλώματα
Βάρος σιδηρού οπλισμού (kg)	10380,25	16755,15	14728,80	23348,75
Όγκος σκυροδέματος (m ³)	66,90	64,50	68,00	82,50
Αναλογία οπλισμού-σκυροδέματος (kg/ m ³)	155,20	259,80	216,60	283,00

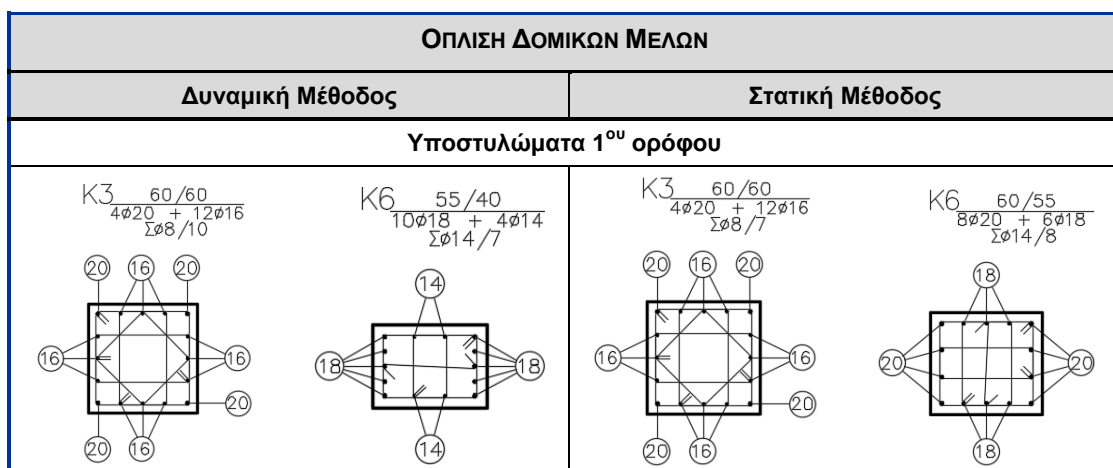
Πίνακας 4.7 Προμέτρηση δομικών μελών φορέα 1Α αναλόγως της μεθόδου ανάλυσης.

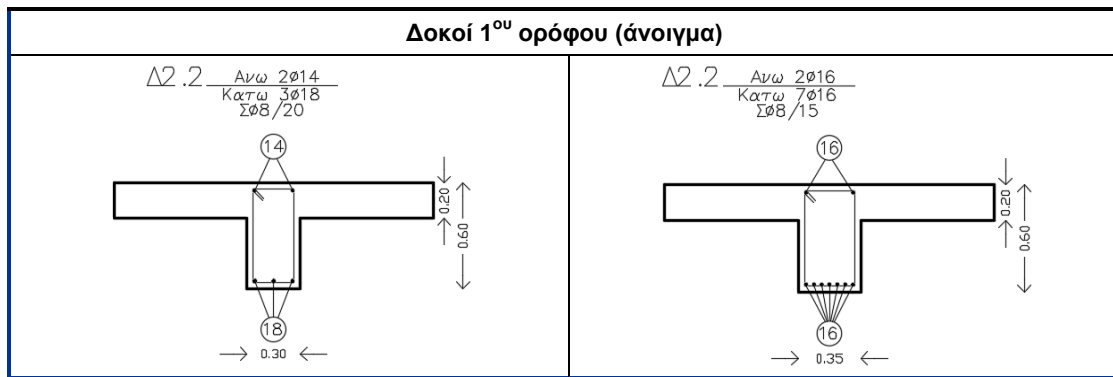


Πίνακας 4.8 Σύγκριση προμέτρησης επιμέρους δομικών μελών φορέα 1Α εφαρμόζοντας διαφορετική μέθοδο ανάλυσης.

Από τα παραπάνω, προκύπτει ότι η αύξηση του απαιτούμενου οπλισμού που προέκυψε από την εφαρμογή της στατικής μεθόδου, συγκριτικά με τη δυναμική μέθοδο, είναι μεγαλύτερη ιδιαίτερα στα δοκάρια. Παρατηρείται αύξηση της αναλογίας οπλισμού - σκυροδέματος στις δοκούς κατά 40% ενώ στα υποστυλώματα κατά 30%.

Ακολούθως, παρουσιάζεται η διαφορά στην όπλιση ενδεικτικά σε δοκούς και υποστυλώματα (Σχέδιο 4.2).





Σχέδιο 4.2 Σύγκριση όπλισης ενδεικτικών μελών φορέα 1Α αναλόγως της μεθόδου ανάλυσης.

Η όπλιση των φορέων παρουσιάζεται αναλυτικά στο Παράρτημα.

4.1.1.3. Επίπτωση στην Ιδιοπερίοδο της Κατασκευής

Η επίπτωση της εφαρμογής διαφορετικής μεθόδου ανάλυσης στις τιμές της ιδιοπεριόδου και της σεισμικής επιτάχυνσης κατά το σχεδιασμό παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 4.9), όπου παρατίθενται οι τιμές της δεσπόζουσας ιδιοπεριόδου της κατασκευής για κάθε κατεύθυνση σεισμικής φόρτισης για κάθε μέθοδο ανάλυσης, για τις τέσσερις περιπτώσεις θεώρησης μετατόπισης μάζας κατά τις διευθύνσεις $\pm X$ και $\pm Z$ του φορέα.

Μέθοδος Ανάλυσης	Μετατόπιση Μάζας	ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΣ T (sec)		ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ a (m/sec ²)	
		Δεσπόζουσα κατά Z	Δεσπόζουσα κατά X	κατά Z	κατά X
Δυναμική Φασματική Ανάλυση	$\pm X$	0,831	0,791	0,850	0,893
	$\pm Z$	0,819	0,798	0,863	0,886
Στατική Ανάλυση	-	0,437	0,437	1,413	1,413

Πίνακας 4.9 Σύγκριση τιμών ιδιοπεριόδου φορέα 1Α αναλόγως της μεθόδου ανάλυσης.

Στην περίπτωση της ανάλυσης με εφαρμογή της δυναμικής μεθόδου, η σεισμική επιτάχυνση κατά το σχεδιασμό είναι αρκετά μικρότερη από την περίπτωση εφαρμογής της στατικής μεθόδου, καθώς οι τιμές ιδιοπεριόδου που προκύπτουν σε αυτή την περίπτωση είναι σχεδόν διπλάσιες (δυναμική ανάλυση $\rightarrow T \approx 0,8$ sec, στατική ανάλυση $\rightarrow T \approx 0,4$ sec).

Επομένως, ο σχεδιασμός με πολύ μεγαλύτερη τιμή σεισμικής επιτάχυνσης στην στατική ανάλυση (δυναμική ανάλυση $\rightarrow a \approx 0,85$ m/sec², στατική ανάλυση $\rightarrow a \approx 1,4$

m/sec²) δικαιολογεί το γεγονός ότι είναι συντηρητικότερη και για αυτό το λόγο τα αποτελέσματα είναι δυσμενέστερα.

4.1.2. Μεταβολή του Συντελεστή Συμπεριφοράς

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση της μεταβολής της τιμής του συντελεστή συμπεριφοράς (q) στη διαστασιολόγηση μιας κατασκευής, πραγματοποιήθηκε ανάλυση με εφαρμογή της στατικής μεθόδου στο φορέα 1A θεωρώντας τιμές συντελεστή συμπεριφοράς $q=5,00$ και $q=5,85$ (τιμή που προκύπτει από τον τύπο του δομικού συστήματος), διατηρώντας όλες τις άλλες παραμέτρους σταθερές, θεωρώντας πακτωμένο φορέα (Αναλύσεις 1A-2, 1A-3).

4.1.2.1. Διαφορές στις Εμφανιζόμενες Ανεπάρκειες

Από τις επιλύσεις, και στις δύο περιπτώσεις προκύπτουν ανεπάρκειες στον φορέα. Οι ανεπάρκειες που εμφανίζονται στο φορέα εφαρμόζοντας τη στατική μέθοδο με τιμή συντελεστή συμπεριφοράς $q=5,00$, αναλύθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο.

Από την εφαρμογή της στατικής μεθόδου με τιμή $q=5,85$ προκύπτουν οι ίδιοι τύποι αστοχίας με αυτούς από την εφαρμογή με τιμή $q=5,00$, με τη διαφορά ότι οι ανεπάρκειες εμφανίζονται σε μικρότερο πλήθος μελών.

Αστοχίες θλιπτήρα σκυροδέματος εμφανίζονται σε 2 λιγότερους κόμβους στον 3^ο όροφο από ότι στη επίλυση με τιμή $q=5,00$. Αστοχία ελέγχου επάρκειας υποστυλώματος με το μέγιστο δυνατό οπλισμό παρατηρείται σε 4 λιγότερα υποστυλώματα του 4^{ου} ορόφου και σε κανένα υποστύλωμα του 6^{ου} ορόφου. Επιπλέον, αστοχία συνάφειας των ράβδων των δοκών εμφανίζεται στους ίδιους κόμβους που παρατηρείται και στην ανάλυση με τιμή $q=5,00$. Τέλος, δεν εμφανίζονται ανεπάρκειες που αφορούν υπέρβαση της ανηγμένης αξονικής σε υποστυλώματα, ενώ απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός μόνο σε 2 δοκούς του 2^{ου} ορόφου.

Οι παραπάνω ανεπάρκειες παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακες (Πίνακες 4.10, 4.11).

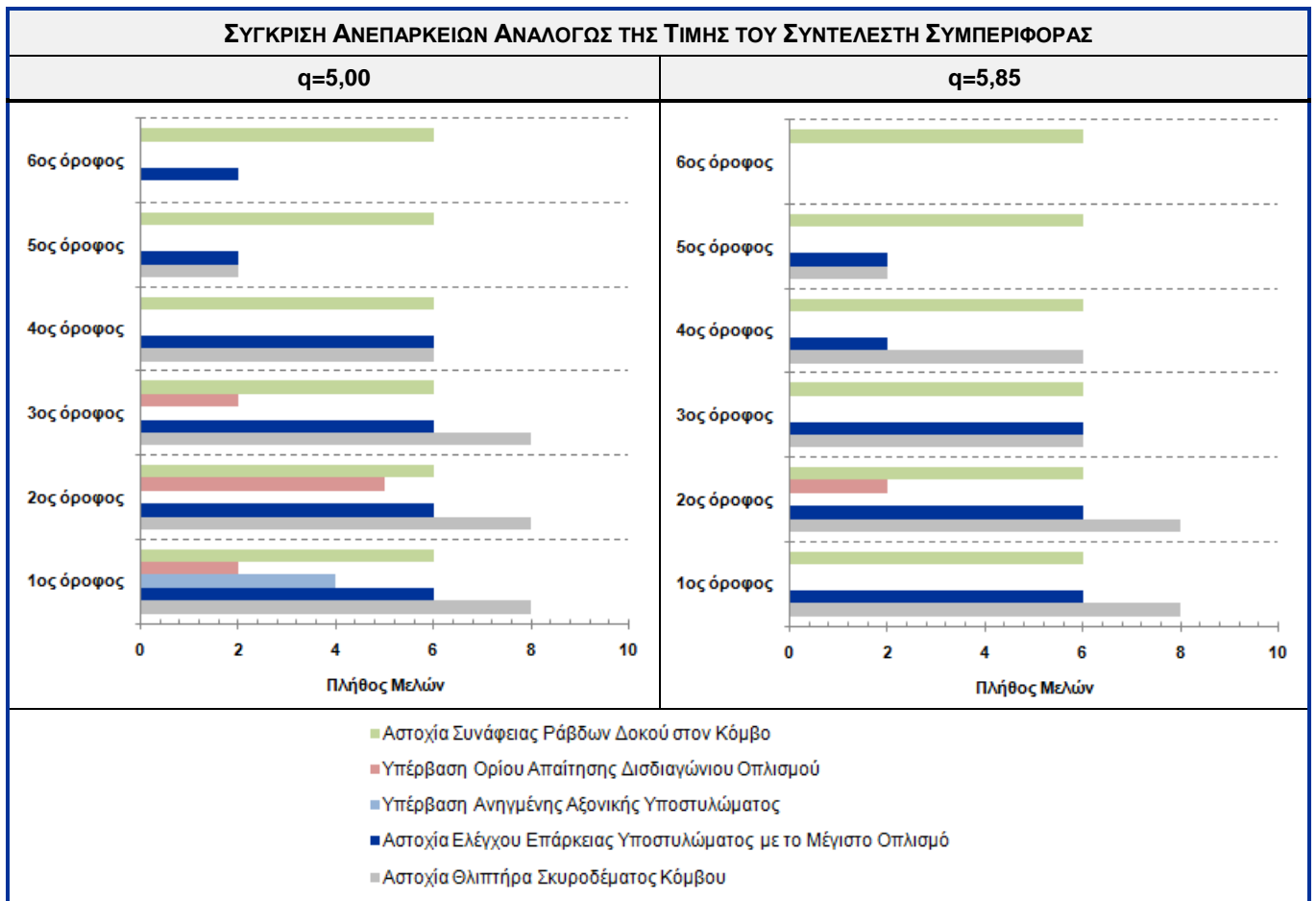
ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ	ΣΤΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	
	q = 5,00	q = 5,85
Αστοχία Θλιπτήρα Σκυροδέματος Κόμβου	K ₂ (1),K ₄ (1),K ₅ (1),K ₆ (1),K ₇ (1), K ₈ (1),K ₉ (1),K ₁₁ (1), K ₂ (2),K ₄ (2),K ₅ (2),K ₆ (2),K ₇ (2), K ₈ (2),K ₉ (2),K ₁₁ (2), K ₂ (3),K ₄ (3),K ₅ (3),K ₆ (3),K ₇ (3), K ₈ (3),K ₉ (3),K ₁₁ (3), K ₂ (4),K ₄ (4),K ₆ (4),K ₇ (4), K ₉ (4),K ₁₁ (4), K ₂ (5), K ₁₁ (5)	K ₂ (1),K ₄ (1),K ₅ (1),K ₆ (1),K ₇ (1), K ₈ (1),K ₉ (1),K ₁₁ (1), K ₂ (2),K ₄ (2),K ₅ (2),K ₆ (2),K ₇ (2), K ₈ (2),K ₉ (2),K ₁₁ (2), K ₂ (3),K ₄ (3),K ₆ (3),K ₇ (3), K ₉ (3),K ₁₁ (3), K ₂ (4),K ₄ (4),K ₆ (4),K ₇ (4), K ₉ (4),K ₁₁ (4), K ₂ (5), K ₁₁ (5)
Αστοχία Ελέγχου Επάρκειας Υποστυλώματος με το Μέγιστο Οπλισμό	K ₂ (1),K ₄ (1),K ₆ (1),K ₇ (1), K ₉ (1),K ₁₁ (1), K ₂ (2),K ₄ (2),K ₆ (2),K ₇ (2), K ₉ (2),K ₁₁ (2), K ₂ (3),K ₄ (3),K ₆ (3),K ₇ (3), K ₉ (3),K ₁₁ (3), K ₂ (4),K ₄ (4),K ₆ (4),K ₇ (4), K ₉ (4),K ₁₁ (4), K ₂ (5), K ₁₁ (5) K ₂ (6), K ₁₁ (6)	K ₂ (1),K ₄ (1),K ₆ (1),K ₇ (1), K ₉ (1),K ₁₁ (1), K ₂ (2),K ₄ (2),K ₆ (2),K ₇ (2), K ₉ (2),K ₁₁ (2), K ₂ (3),K ₄ (3),K ₆ (3),K ₇ (3), K ₉ (3),K ₁₁ (3), K ₂ (4), K ₁₁ (4) K ₂ (5), K ₁₁ (5)
Υπέρβαση Ανηγμένης Αξονικής Υποστυλώματος	K ₄ (1),K ₆ (1),K ₇ (1),K ₉ (1)	-
Υπέρβαση Ορίου Απαίτησης Δισδιαγώνιου Οπλισμού	Δ _{4.2} (1), Δ _{7.2} (1), Δ _{1.2} (2), Δ _{2.2} (2), Δ _{3.2} (2), Δ _{4.2} (2), Δ _{7.2} (2), Δ _{4.2} (3), Δ _{7.2} (3)	Δ _{4.2} (2), Δ _{7.2} (2)
Αστοχία Συνάφειας Ράβδων Δοκού στον Κόμβο	K ₂ (1-6),K ₄ (1-6),K ₆ (1-6),K ₇ (1-6), K ₉ (1-6),K ₁₁ (1-6)	K ₂ (1-6),K ₄ (1-6),K ₆ (1-6),K ₇ (1-6), K ₉ (1-6),K ₁₁ (1-6)

Πίνακας 4.10 Ανεπάρκειες από τις αναλύσεις του φορέα 1Α με q=5,00 και q=5,85.

Από τα αποτελέσματα των επιλύσεων, προκύπτει το συμπέρασμα ότι για αύξηση της τιμής του συντελεστή συμπεριφοράς κατά 17% (από q=5,00 → 5,85) παρατηρείται μείωση 14% του αριθμού των δομικών μελών που εμφανίζουν ανεπάρκειες για τον ίδιο τύπο αστοχίας.

Επιπλέον, η εφαρμογή της στατικής μεθόδου ανάλυσης κατά τη διαστασιολόγηση με τιμή συντελεστή συμπεριφοράς μικρότερη από την αντίστοιχη που προκύπτει από τους EC αναλόγως του στατικού συστήματος του φορέα, είναι συντηρητικότερη σε βαθμό που μπορεί να εμφανιστούν επιπλέον μορφές αστοχίες από ότι αν η επίλυση γινόταν με μεγαλύτερη τιμή συντελεστή συμπεριφοράς. Στην προκειμένη περίπτωση εμφανίστηκε μια επιπλέον μορφή αστοχίας (υπέρβαση ανηγμένης αξονικής σε υποστυλώματα του ισογείου).

Επομένως, παρατηρείται ότι η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς που εφαρμόζεται κατά τη διαστασιολόγηση επηρεάζει το σχεδιασμό του φορέα.



Πίνακας 4.11 Σύγκριση ανεπαρκειών φορέα 1Α για διαφορετική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς q.

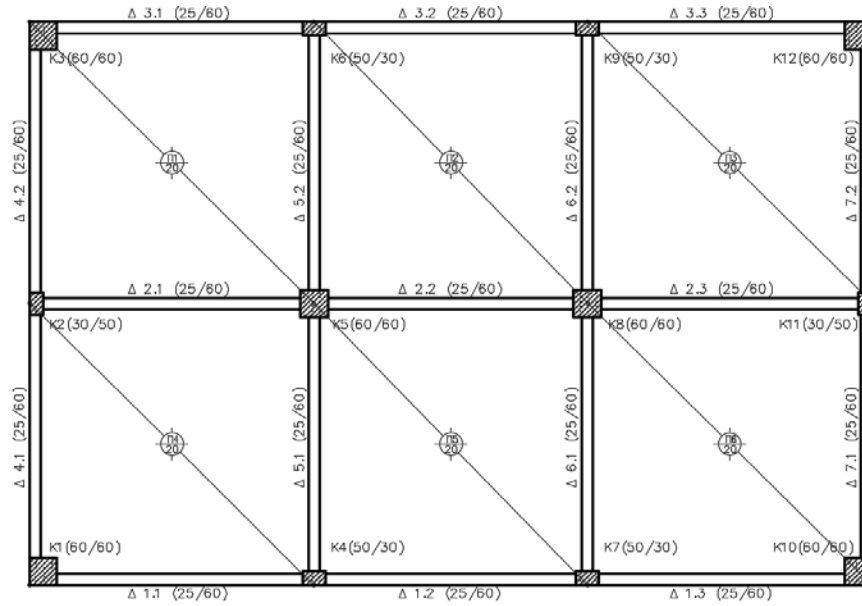
4.1.2.2. Σύγκριση Όπλισης



Όπως αναλύθηκε προηγουμένως, ανάλογα με την τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς που λαμβάνεται κατά τη διαστασιολόγηση του φορέα, εμφανίζονται ανεπάρκειες οι οποίες πρέπει να αντιμετωπιστούν προκειμένου ο φορέας να έχει την επιθυμητή επάρκεια.

Οι μορφές αστοχίας που παρατηρούνται είναι ίδιες με αυτές που αναλύθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο και επομένως για το σχεδιασμό φορέα χωρίς ανεπάρκειες εφαρμόζονται οι αντίστοιχοι τρόποι αντιμετώπισης.

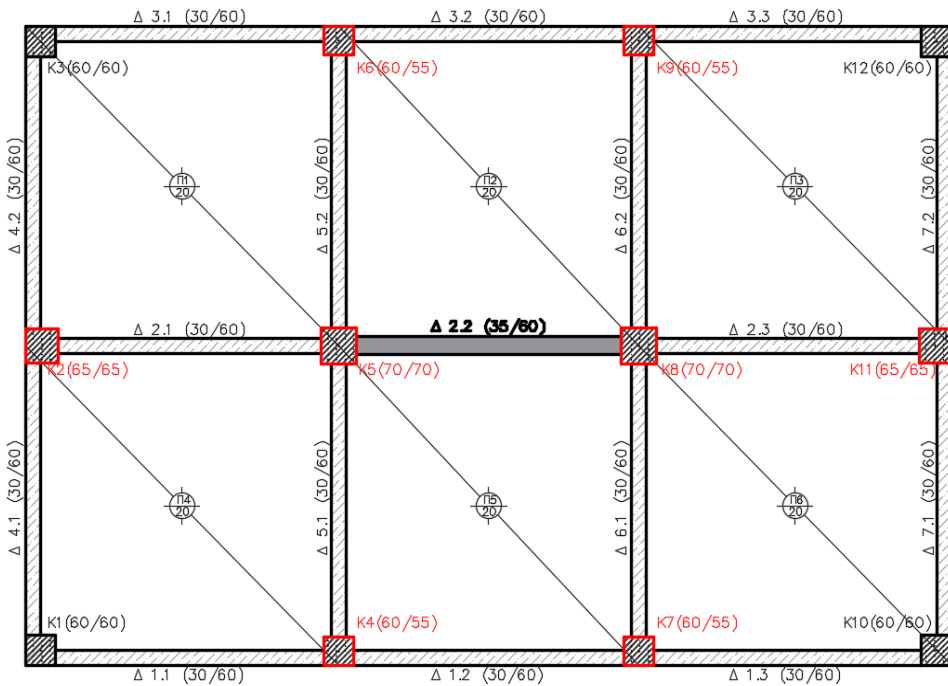
Εκτελώντας, λοιπόν, αναλύσεις με τις δύο τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς, οι τελικοί φορείς που προκύπτουν μετά από την αντιμετώπιση των ανεπαρκειών είναι οι ακόλουθοι (Σχέδιο 4.3).

ΑΡΧΙΚΟΣ ΦΟΡΕΑΣ 1Α

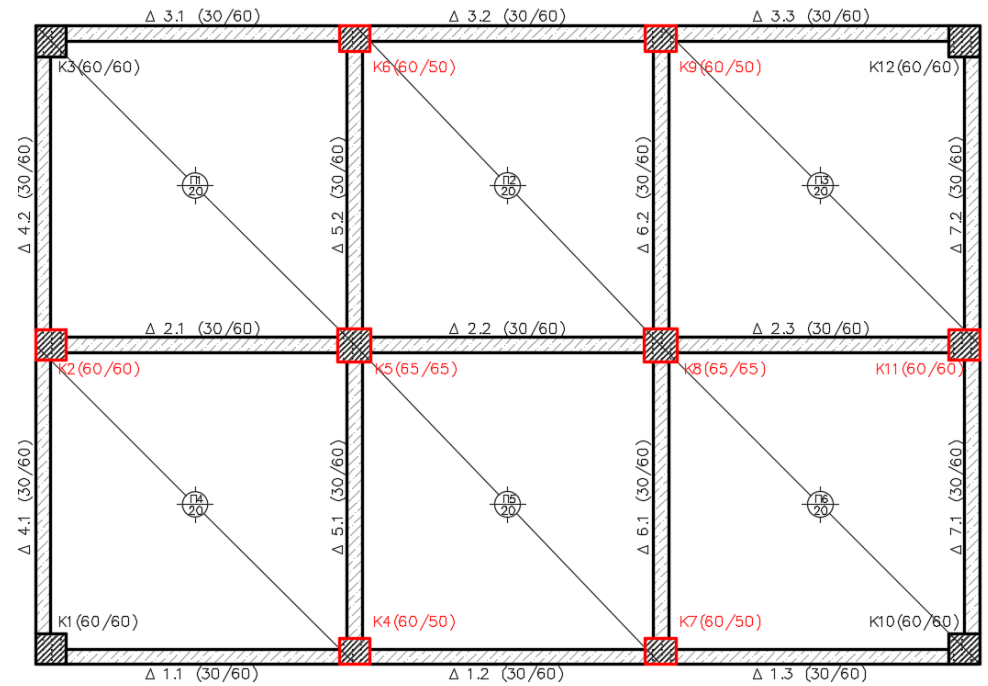


 Μεταβολή διαστάσεων διατομής δοκού
 Μεταβολή διαστάσεων διατομής υποστυλώματος

ΦΟΡΕΑΣ ΧΩΡΙΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΣ - $q=5,00$



ΦΟΡΕΑΣ ΧΩΡΙΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΣ - $q=5,85$



Σχέδιο 4.3 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέων 1Α χωρίς ανεπάρκειες σχεδιασμένων με διαφορετική τιμή συντελεστή συμπεριφοράς.

Παρατηρείται ότι αυξήθηκε το πλάτος των διατομών όλων των δοκών από 25/60 (cm) σε 30/60 (cm) με τη διαφορά ότι στην περίπτωση εφαρμογής τιμής συντελεστή συμπεριφοράς $q=5,00$, απαιτήθηκε η αύξηση της διατομής της μεσαίας δοκού $\Delta_{2,2}$ σε 35/60 (cm), για αποφυγή τοποθέτησης δισδιαγώνιου οπλισμού.

Όσον αφορά στα υποστυλώματα, και στις δύο περιπτώσεις τιμής $q=5,00$ και $q=5,85$, αυξήθηκε η διατομή 8 υποστυλωμάτων σε σχέση με τις διατομές του αρχικού φορέα. Στην περίπτωση θεώρησης τιμής $q=5,00$, απαιτήθηκε μεγαλύτερη αύξηση των διαστάσεων των υποστυλωμάτων (K_2, K_{11} (30/50) \rightarrow (65/65) (cm) - K_4, K_6, K_7, K_9 (50/30) \rightarrow (60/55) (cm) - K_5, K_8 (60/60) \rightarrow (70/70) (cm)) από ότι για τιμή $q=5,85$ (K_2, K_{11} (30/50) \rightarrow (60/60) (cm) - K_4, K_6, K_7, K_9 (50/30) \rightarrow (60/50) (cm) - K_5, K_8 (60/60) \rightarrow (65/65) (cm)).

Οι τροποποιήσεις αυτές του αρχικού φορέα, έχουν επιπτώσεις στη συνολική προμέτρηση του κτιρίου (Πίνακας 4.12).

	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ	
	Στατική Μέθοδος - $q=5,00$	Στατική Μέθοδος - $q=5,85$
Βάρος σιδηρού οπλισμού (kg)	46437,80	41720,95
Όγκος σκυροδέματος (m^3)	426,60	419,15
Αναλογία σιδηρού οπλισμού - σκυροδέματος (kg/m^3)	108,85	99,55

Πίνακας 4.12 Σύγκριση συνολικής προμέτρησης φορέα 1Α από διαστασιολόγηση με διαφορετική τιμή q .

Από τον παραπάνω πίνακα, είναι εμφανής η επίδραση της μεταβολής της τιμής του συντελεστή συμπεριφοράς q στη συνολική προμέτρηση, με την απαίτηση τοποθέτησης πολύ περισσότερου οπλισμού στην κατασκευή όσο μειώνεται η τιμή του. Η αύξηση του απαιτούμενου οπλισμού στην περίπτωση θεώρησης $q=5,00$ συγκριτικά με $q=5,85$ είναι 11% ενώ η αύξηση του όγκου σκυροδέματος είναι πολύ μικρότερη 2%, σχεδόν αμελητέα.

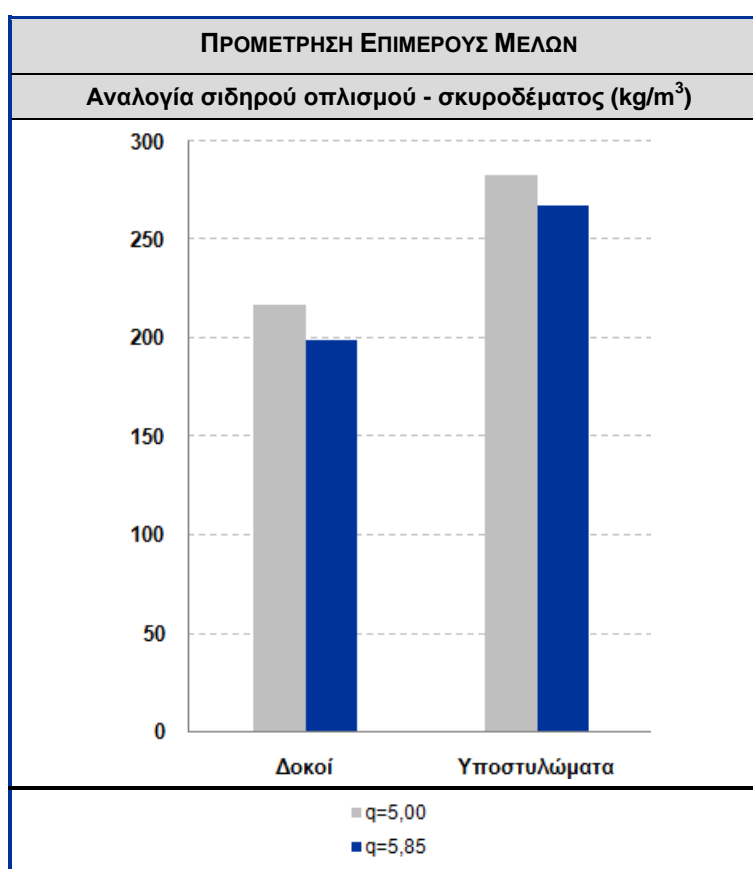
Αναλυτικότερα, η προμέτρηση για κάθε τύπο δομικού μέλους παρουσιάζεται ακολούθως (Πίνακες 4.13 και 4.14).

Από τα παρακάτω, προκύπτει ότι η αύξηση του απαιτούμενου οπλισμού που προέκυψε από διαστασιολόγηση με τιμή $q=5,00$, συγκριτικά με την ανάλυση θεωρώντας $q=5,85$, είναι περίπου ίδια για τα υποστυλώματα και τις δοκούς (~14%).

Η αντίστοιχη αύξηση του απαιτούμενου όγκου σκυροδέματος είναι πολύ μικρή (~6%).

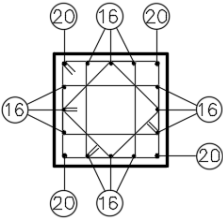
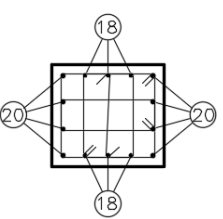
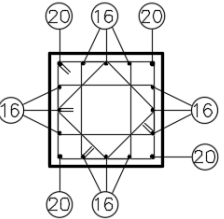
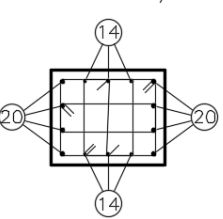
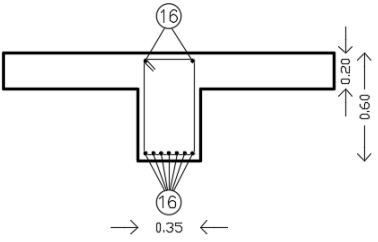
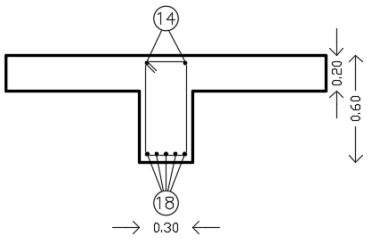
	ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΜΕΛΩΝ			
	Στατική Μέθοδος - $q=5,00$		Στατική Μέθοδος - $q=5,85$	
	Δοκοί	Υποστυλώματα	Δοκοί	Υποστυλώματα
Βάρος σιδηρού οπλισμού (kg)	14728,80	23348,75	13146,30	20214,40
Όγκος σκυροδέματος (m^3)	68,00	82,50	66,00	75,60
Αναλογία οπλισμού - σκυροδέματος (kg/m^3)	216,60	283,00	199,20	267,40

Πίνακας 4.13 Προμέτρηση επιμέρους δομικών μελών φορέα 1Α αναλόγως της τιμής του q .



Πίνακας 4.14 Σύγκριση προμέτρησης επιμέρους δομικών μελών φορέα 1Α για διαφορετική τιμή συντελεστή συμπεριφοράς q .

Ακολούθως, παρουσιάζεται η διαφορά στην όπλιση ενδεικτικά σε δοκούς και υποστυλώματα μετά από διαστασιολόγηση του φορέα μεταβάλλοντας την τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς (Σχέδιο 4.4).

ΟΠΛΙΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΜΕΛΩΝ			
Στατική Μέθοδος - $q=5,00$		Στατική Μέθοδος - $q=5,85$	
Υποστυλώματα 1^{ου} ορόφου			
$K3 \frac{60/60}{4\phi 20 + 12\phi 16}$ $\Sigma \phi 8/7$ 	$K6 \frac{60/55}{8\phi 20 + 6\phi 18}$ $\Sigma \phi 14/8$ 	$K3 \frac{60/60}{4\phi 20 + 12\phi 16}$ $\Sigma \phi 8/10$ 	$K6 \frac{60/50}{8\phi 20 + 6\phi 14}$ $\Sigma \phi 14/8$ 
Δοκοί 1^{ου} ορόφου (άνοιγμα)			
$\Delta 2.2 \frac{Ανω 2\phi 16}{Κατω 7\phi 16}$ $\Sigma \phi 8/15$ 		$\Delta 2.2 \frac{Ανω 2\phi 14}{Κατω 5\phi 18}$ $\Sigma \phi 8/16$ 	

Σχέδιο 4.4 Σύγκριση όπλισης ενδεικτικών μελών φορέα 1A για διαφορετική τιμή q.

Η όπλιση των φορέων παρουσιάζεται αναλυτικά στο Παράρτημα.

4.1.3. Σύγκριση Φορέων με Διαφορετική Προσομοίωση Θεμελίωσης

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση της προσομοίωσης της θεμελίωσης στη διαστασιολόγηση μιας κατασκευής, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις σε φορέα εδραζόμενο στο έδαφος με μεμονωμένα πέλδια (Αναλύσεις 1A-4, 1A-5, 1A-6) και συγκρίνονται με τις αντίστοιχες θεωρώντας φορέα πακτωμένο στο έδαφος (Αναλύσεις 1A-1, 1A-2, 1A-3).

4.1.3.1. Επίπτωση στην Ιδιοπερίοδο της Κατασκευής

Στην προκειμένη περίπτωση προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδραση της προσομοίωσης της θεμελίωσης στις τιμές της ιδιοπεριόδου της κατασκευής, για τον αρχικό με πέλδια φορέα 1A λήφθηκαν δύο τιμές δείκτη εδάφους $K_s = 28000 \text{ kN/m}^2/\text{m}$ και $K_s = 15000 \text{ kN/m}^2/\text{m}$, προκειμένου να προσδιοριστεί και η επίδραση του εδάφους κατά την ανάλυση διαστασιολόγησης.

Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 4.15) παρουσιάζονται οι τιμές της δεσπίζουσας ιδιοπεριόδου της κατασκευής για κάθε κατεύθυνση σεισμικής φόρτισης αναλόγως της

προσομοίωσης της θεμελίωσης, για τις τέσσερις περιπτώσεις θεώρησης μετατόπισης μάζας κατά τις διευθύνσεις $\pm X$ και $\pm Z$ του φορέα.

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ		ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΣ T (sec)		ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ a (m/sec ²)		
		Μετατόπιση Μάζας	Δεσπόζουσα κατά Z	Δεσπόζουσα κατά X	κατά Z	κατά X
Πακτωμένος Φορέας		$\pm X$	0,971	0,900	0,723	0,785
		$\pm Z$	0,958	0,909	0,737	0,777
Φορέας με Πέδιλα	$K_s = 28000$ kN/m ² /m	$\pm X$	1,034	0,953	0,683	0,742
		$\pm Z$	1,021	0,961	0,692	0,735
	$K_s = 15000$ kN/m ² /m	$\pm X$	1,069	0,978	0,661	0,722
		$\pm Z$	1,056	0,986	0,669	0,716

Πίνακας 4.15 Σύγκριση τιμών ιδιοπεριόδου φορέα 1A αναλόγως της προσομοίωσης της θεμελίωσης.

Από την ανάλυση του φορέα με δυναμική μέθοδο, προκύπτει ότι η ιδιοπερίοδος της κατασκευής θεωρούμενης ως πακτωμένης στο έδαφος προκύπτει μικρότερη ($T \sim 0,9$ sec) από ότι θεωρώντας ότι εδράζεται σε μεμονωμένα πέδιλα ($T \sim 1$ sec). Το αντίθετο συμβαίνει με τις αντίστοιχες τιμές της σεισμικής επιτάχυνσης.

Επίσης προκύπτει ότι μεταβάλλοντας το δείκτη εδάφους από $K_s = 28000$ kN/m²/m σε $K_s = 15000$ kN/m²/m δεν προκαλεί μεταβολή της ιδιοπεριόδου του φορέα.

Γενικότερα, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η μεταβολή της τιμής της ιδιοπεριόδου και της σεισμικής επιτάχυνσης σχεδιασμού δεν είναι πολύ ευαίσθητη στην μεταβολή των συνθηκών έδρασης.

4.1.4. Επίπτωση από την Απομείωση της Δυσκαμψίας

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση της απομείωσης της τιμής της δυσκαμψίας στη διαστασιολόγηση μιας κατασκευής, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις θεωρώντας πακτωμένο φορέα χωρίς απομείωση της δυσκαμψίας της ρηγματωμένης διατομής του σκυροδέματος (Ανάλυση 1A-7) και συγκρίνεται με την αντίστοιχη θεωρώντας απομειωμένη δυσκαμψία ρηγματωμένης διατομής (Ανάλυση 1A-1).

Σύμφωνα με τις διατάξεις του EC8 (EC8-1 §4.3.1), σε κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, η δυσκαμψία των φερόντων στοιχείων πρέπει, γενικά, να αποτιμάται λαμβάνοντας υπόψη τις συνέπειες της ρηγμάτωσης. Οι συντελεστές απομείωσης

δυσκαμψίας των δομικών μελών λαμβάνονται 0,50 (για δοκούς, υποστυλώματα και τοιχώματα), ενώ ο συντελεστής απομείωσης στρεπτικής δυσκαμψίας λαμβάνεται 0,1). Επομένως, η μια ανάλυση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τους συντελεστές που προτείνονται από τον EC8-1 και η άλλη θεωρώντας τους συντελεστές αυτούς 1,00.

4.1.4.1. Επιρροή στην Όπλιση

Ακολούθως, παρουσιάζεται η διαφορά στην όπλιση ενδεικτικά σε δοκούς και υποστυλώματα μετά από διαστασιολόγηση του φορέα μεταβάλλοντας την τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς (Σχέδιο 4.5).

Παρατηρείται αύξηση της όπλισης στις δοκούς και στα υποστυλώματα στην περίπτωση που δεν έγινε απομείωση της δυσκαμψίας. Πιο συγκεκριμένα, σε ορισμένα υποστυλώματα απαιτήθηκε αύξηση του διαμήκους οπλισμού από 37,57 cm² σε 46,94 cm², ενώ στα γωνιακά ο οπλισμός δεν μεταβλήθηκε. Στις δοκούς η μεταβολή αυτή ήταν μικρότερη.

ΟΠΛΙΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΜΕΛΩΝ	
Με Απομείωση Δυσκαμψίας	Χωρίς Απομείωση Δυσκαμψίας
Υποστυλώματα 1^{ου} ορόφου	
$K3 \frac{60/60}{4\phi 20 + 12\phi 16} \Sigma \phi 8/10$	$K6 \frac{50/30}{10\phi 20 + 4\phi 14} \Sigma \phi 8/7$
$K3 \frac{60/60}{4\phi 20 + 12\phi 16} \Sigma \phi 8/10$	$K6 \frac{50/30}{12\phi 20 + 6\phi 14} \Sigma \phi 8/7$
Δοκοί 2^{ου} ορόφου (άνοιγμα)	
$\Delta 2.2 \frac{\text{Ανω } 2\phi 14}{\text{Κάτω } 4\phi 18} \Sigma \phi 8/20$	$\Delta 2.2 \frac{\text{Ανω } 2\phi 14}{\text{Κάτω } 5\phi 16} \Sigma \phi 8/18$

Σχέδιο 4.5 Σύγκριση όπλισης ενδεικτικών μελών φορέα 1Α μετά από απομείωση της δυσκαμψίας.

4.1.4.2. Επίπτωση στην Ιδιοπερίοδο της Κατασκευής

Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 4.16) παρουσιάζονται οι τιμές της δεσπόζουσας ιδιοπεριόδου της κατασκευής για κάθε κατεύθυνση σεισμικής φόρτισης σε φορέα χωρίς και με απομειωμένη δυσκαμψία, για τις τέσσερις περιπτώσεις θεώρησης μετατόπισης μάζας κατά τις διευθύνσεις $\pm X$ και $\pm Z$.

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	Μετατόπιση Μάζας	ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΣ T (sec)		ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ a (m/sec ²)	
		Δεσπόζουσα κατά Z	Δεσπόζουσα κατά X	κατά Z	κατά X
Με Απομείωση Δυσκαμψίας	$\pm X$	0,971	0,900	0,723	0,785
	$\pm Z$	0,958	0,909	0,737	0,777
Χωρίς Απομείωση Δυσκαμψίας	$\pm X$	0,697	0,646	1,014	1,093
	$\pm Z$	0,688	0,652	1,027	1,084

Πίνακας 4.16 Επίδραση απομείωσης δυσκαμψίας στο φορέα 1Α στις τιμές της ιδιοπεριόδου κατασκευής.

Από την ανάλυση του φορέα με τη δυναμική μέθοδο, προκύπτει ότι η ιδιοπερίοδος της κατασκευής χωρίς απομείωση της δυσκαμψίας των δομικών μελών της προκύπτει μικρότερη ($T \sim 0,7$ sec) από ότι θεωρώντας απομειωμένη ρηγματωμένη διατομή ($T \sim 1$ sec). Το αντίθετο συμβαίνει με τις τιμές της σεισμικής επιτάχυνσης που στην περίπτωση απομείωσης της δυσκαμψίας του φορέα προκύπτει μικρότερη από τις αντίστοιχες για φορέα χωρίς απομειωμένη δυσκαμψία.

Γενικότερα, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η θεώρηση απομειωμένης ή όχι δυσκαμψίας επηρεάζει αρκετά τις τιμές της ιδιοπεριόδου και της σεισμικής επιτάχυνσης σχεδιασμού και συνεπώς τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης.

4.1.5. Επίδραση Σχεδιασμού Φορέα με Τοιχώματα

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση του σχεδιασμού φορέων με τοιχώματα στη διαστασιολόγηση φορέων, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις στον ίδιο φορέα αποτελούμενο μόνο με υποστυλώματα και στον αντίστοιχο μετά από αντικατάσταση των γωνιακών και περιμετρικών υποστυλωμάτων με τοιχώματα, διατηρώντας τις υπόλοιπες παραδοχές ίδιες.

Με αυτόν τον τρόπο, προσδιορίζεται η επίδραση σχεδιασμού φορέα με τοιχώματα στη συνολική προμέτρηση του κτιρίου και στην ιδιοπερίοδο (Αναλύσεις 1Α-9, 1Β-5,

1Γ-5) αλλά και η επίδραση θεώρησης τοιχώματος ως υποστυλωμα στην όπλισή του (Αναλύσεις 1B-1, 1B-4 και 1Γ-1, 1Γ-4).

4.1.5.1. Σύγκριση Όπλισης

Προκειμένου να γίνει η σύγκριση των φορέων οι οποίοι είναι σχεδιασμένοι με υποστυλώματα και τοιχώματα, απαιτείται η εύρεση των φορέων χωρίς ανεπάρκειες, καθώς οι αρχικοί εμφάνιζαν αστοχίες.

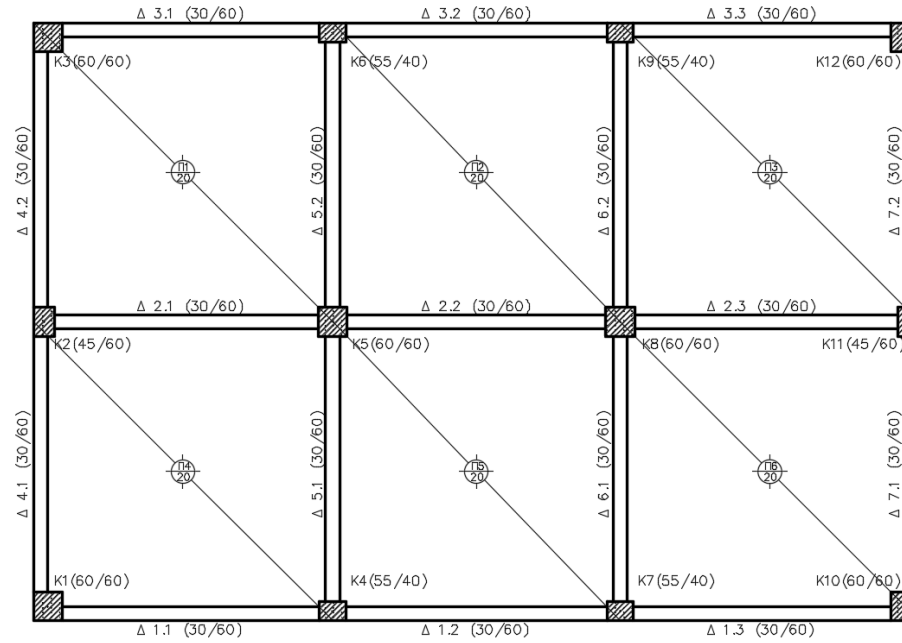
Όπως πραγματοποιήθηκαν διαδοχικές αναλύσεις προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι ανεπάρκειες που παρουσιάστηκαν στον αρχικό φορέα με υποστυλώματα (Ανάλυση 1A-9), με τον ίδιο τρόπο σχεδιάστηκαν οι τελικοί φορείς με τοιχώματα (Ανάλυση 1B-1 → 1B-5 και 1Γ-1 → 1Γ-5).

Οι ανεπάρκειες που παρουσιάστηκαν στους αρχικούς φορείς, οι ξυλότυποι των οποίων παρουσιάζονται σε προηγούμενο κεφάλαιο, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 4.17) και ακολούθως παρουσιάζονται οι φορείς χωρίς ανεπάρκειες (Σχέδιο 4.6).

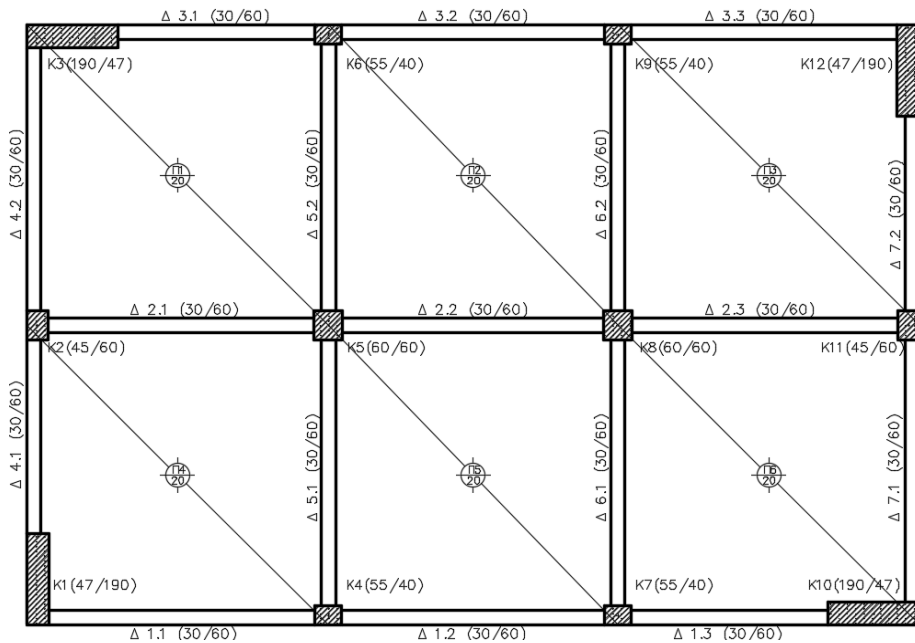
ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ	ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	
	Φορέας με Γωνιακά Τοιχώματα	Φορέας με Περιμετρικά Τοιχώματα
Αστοχία Θλιπτήρα Σκυροδέματος Κόμβου	K ₂ (1),K ₄ (1), K ₆ (1),K ₇ (1), K ₉ (1),K ₁₁ (1), K ₂ (2),K ₄ (2), K ₆ (2),K ₇ (2), K ₉ (2),K ₁₁ (2), K ₂ (3),K ₄ (3), K ₉ (3),K ₁₁ (3)	-
Αστοχία Ελέγχου Επάρκειας Υποστυλώματος με το Μέγιστο Όπλισμό	K ₂ (2), K ₁₁ (2)	-
Αστοχία λόγω Διάτμησης Τοιχώματος	K ₁ (1),K ₃ (1),K ₁₀ (1),K ₁₂ (1)	K ₁ (1),K ₂ (1),K ₄ (1),K ₆ (1),K ₇ (1), ,K ₉ (1),K ₁₁ (1),K ₁₂ (1)
Αστοχία Συνάφειας Ράβδων Δοκού στον Κόμβο	K ₆ (4),K ₇ (4), K ₂ (5),K ₄ (5), K ₆ (5),K ₇ (5), K ₉ (5),K ₁₁ (5), K ₂ (6),K ₄ (6), K ₆ (6),K ₇ (6), K ₉ (6),K ₁₁ (6)	-

Πίνακας 4.17 Ανεπάρκειες κατά τη διαστασιολόγηση αρχικών φορέων με τοιχώματα.

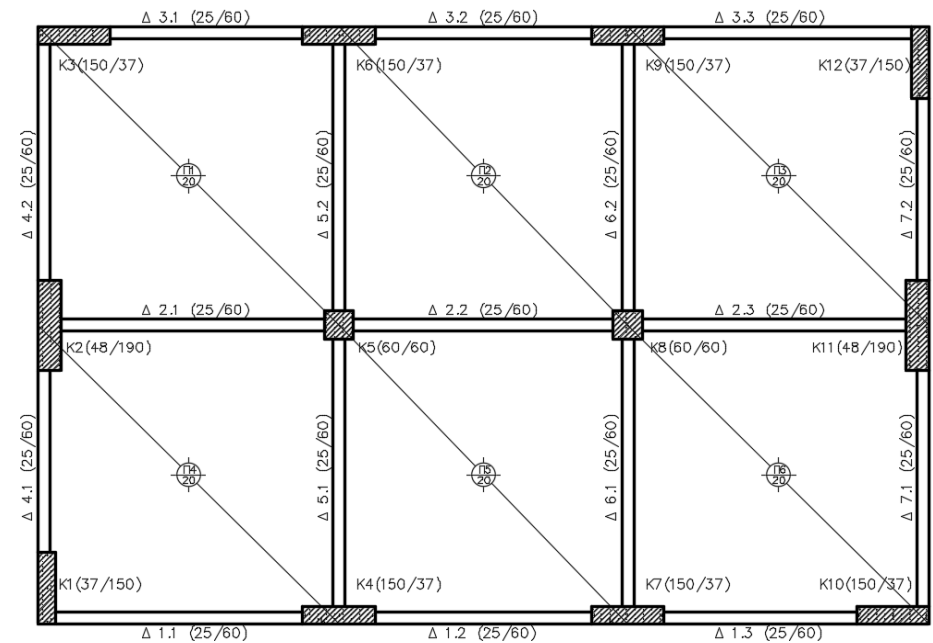
ΦΟΡΕΑΣ ΜΕ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ



ΦΟΡΕΑΣ ΜΕ 4 ΓΩΝΙΑΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ



ΦΟΡΕΑΣ ΜΕ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ



Σχέδιο 4.6 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέων χωρίς ανεπάρκειες με και χωρίς τοιχώματα.

Ο σχεδιασμός φορέων με και χωρίς υποστυλώματα, έχει επίπτωση στη συνολική προμέτρηση του κτιρίου (Πίνακας 4.18).

	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ		
	Φορέας με Υποστυλώματα	Φορέας με Τοιχώματα	
		Γωνιακά	Περιμετρικά
Βάρος σιδηρού οπλισμού (kg)	35565,70	36866,85	34578,05
Όγκος σκυροδέματος (m ³)	408,85	433,65	452,40
Αναλογία σιδηρού οπλισμού - σκυροδέματος (kg/ m ³)	87,00	83,10	76,45

Πίνακας 4.18 Σύγκριση συνολικής προμέτρησης φορέων με και χωρίς τοιχώματα.

Από τον παραπάνω πίνακα, είναι εμφανής η επίδραση του σχεδιασμού του φορέα με τοιχώματα σε σχέση με φορέα σχεδιασμένο μόνο με υποστυλώματα στην όπλιση, καθώς η αναλογία απαιτούμενου οπλισμού και σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση φορέα μόνο με υποστυλώματα από ότι στην περίπτωση του φορέα με τοιχώματα.

Η περίπτωση του φορέα με γωνιακά τοιχώματα απαιτεί τον περισσότερο οπλισμό. Ο συνολικός όγκος σκυροδέματος αυξάνει με την αύξηση του αριθμού των τοιχωμάτων.

4.1.5.2. Επίπτωση στην Ιδιοπερίοδο της Κατασκευής

Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 4.19) παρουσιάζονται οι τιμές της δεσπόζουσας ιδιοπεριόδου της κατασκευής για κάθε κατεύθυνση σεισμικής φόρτισης σε φορέα σχεδιασμένο με υποστυλώματα και τοιχώματα, για τις τέσσερις περιπτώσεις θεώρησης μετατόπισης μάζας κατά τις διευθύνσεις $\pm X$ και $\pm Z$.

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ		ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΣ T (sec)			ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ a (m/sec ²)	
		Μετατόπιση Μάζας	Δεσπόζουσα κατά Z	Δεσπόζουσα κατά X	κατά Z	κατά X
Φορέας με Υποστυλώματα (q=5,00)		$\pm X$	0,831	0,791	0,850	0,893
		$\pm Z$	0,819	0,798	0,863	0,886
Φορέας με Τοιχώματα	Γωνιακά Τοιχώματα (q=5,40)	$\pm X$	0,684	0,665	0,956	0,983
		$\pm Z$	0,677	0,669	0,966	0,977
	Περιμετρικά Τοιχώματα (q=4,40)	$\pm X$	0,603	0,567	1,331	1,416
		$\pm Z$	0,598	0,570	1,343	1,409

Πίνακας 4.19 Επίδραση ύπαρξης τοιχωμάτων στον φορέα 1 στις τιμές της ιδιοπεριόδου.

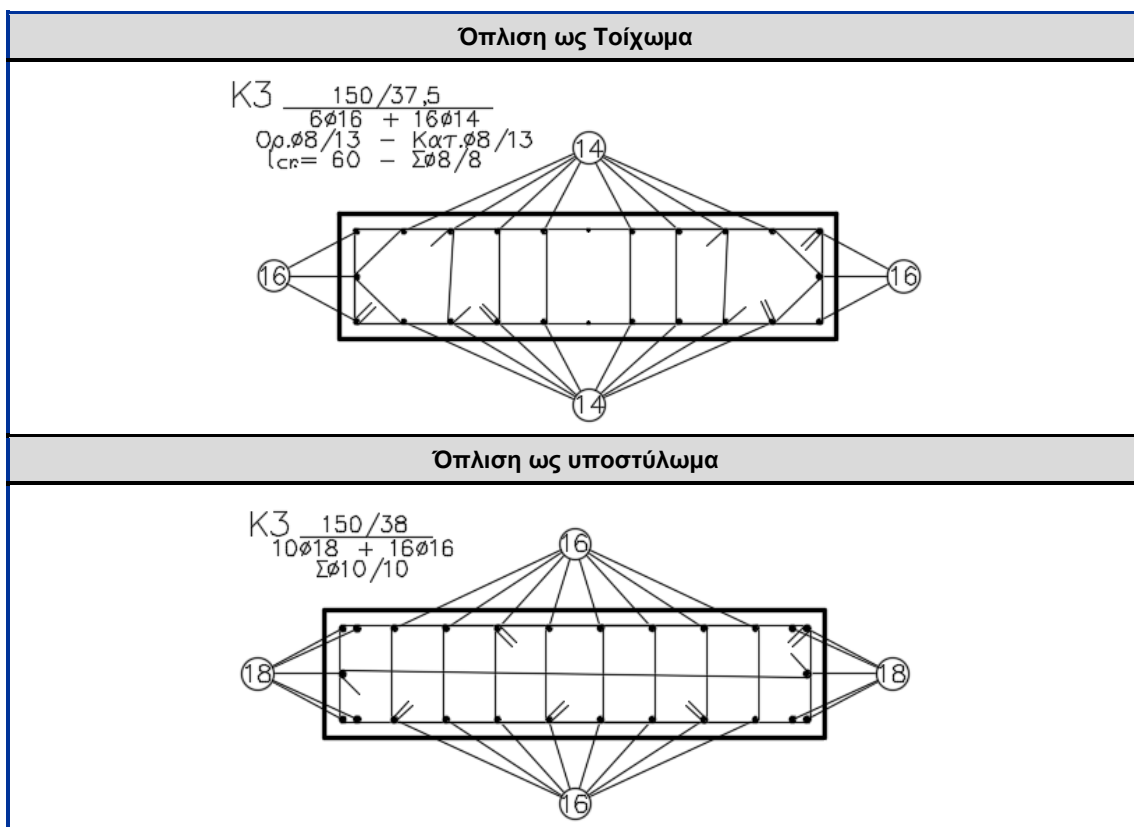
Από την ανάλυση του φορέα, προκύπτει μεταβολή της τιμής της ιδιοπεριόδου στους φορείς με τοιχώματα συγκριτικά με το φορέα στον οποίο υπάρχουν μόνο υποστυλώματα. Πιο συγκεκριμένα η τιμή της ιδιοπεριόδου στον φορέα με υποστυλώματα είναι $T \approx 0,8 \text{ sec}$, ενώ στους φορείς με τοιχώματα $T \approx 0,6 \text{ sec}$. Η μείωση της ιδιοπεριόδου σημαίνει αύξηση της δυσκαμψίας της κατασκευής, κάτι που ήταν αναμενόμενο.

4.1.5.3. Επίδραση Θεώρησης Τοιχώματος ως Υποστύλωμα

Ως τοίχωμα ορίζεται το δομικό στοιχείο που φέρει άλλα στοιχεία και έχει επιμήκη διατομή με λόγο μήκους προς πάχος μεγαλύτερο του 4 ($l_w/b_w \geq 4$).

Επομένως προκειμένου να γίνει σύγκριση της θεώρησης ενός τοιχώματος ως υποστύλωμα, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις μεταβάλλοντας τις διαστάσεις των τοιχωμάτων στο φορέα από την οριακή τιμή του λόγου μήκους προς πάχος 150/37,5 (cm) ($l_w/b_w = 4$) σε υποστύλωμα διαστάσεων 150/38 (cm).

Παρακάτω παρουσιάζεται ενδεικτικά, η όπλιση ενός δομικού μέλους του ισογείου του φορέα 1Γ, η οποία προέκυψε μετά από την ανάλυση θεωρώντας το ως τοίχωμα και ως υποστύλωμα (Σχέδιο 4.7).



Σχέδιο 4.7 Όπλιση δομικού μέλους θεωρώντας το τοίχωμα και υποστύλωμα.

Από την παραπάνω διαστασιολόγηση, προκύπτει ότι ο διαμήκης οπλισμός που τοποθετείται στην περίπτωση τοιχώματος είναι $37,70 \text{ cm}^2$ σε αντίθεση με την περίπτωση υποστυλώματος που τοποθετούνται $57,62 \text{ cm}^2$. Στο σύνολό του, τοποθετείται οπλισμός βάρους $261,38 \text{ kg}$ και $415,56 \text{ kg}$ αντιστοίχως.

Η μεταβολή αυτή των διαστάσεων οδήγησε σε μεταβολή του στατικού συστήματος από σύστημα ασύζευκτων τοιχωμάτων ($q=4,40$) σε πλαισιωτό σύστημα ($q=5,85$). Η μεταβολή αυτή έχει επίπτωση στον υπολογισμό της σεισμικής επιτάχυνσης σχεδιασμού.

Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 4.20) παρουσιάζονται οι τιμές της δεσπόζουσας ιδιοπεριόδου της κατασκευής για κάθε κατεύθυνση σεισμικής φόρτισης, για τις τέσσερις περιπτώσεις θεώρησης μετατόπισης μάζας κατά τις διευθύνσεις $\pm X$ και $\pm Z$.

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΣ T (sec)			ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ a (m/sec ²)	
	Μετατόπιση Μάζας	Δεσπόζουσα κατά Z	Δεσπόζουσα κατά X	κατά Z	κατά X
Φορέας με Υποστυλώματα ($q=5,85$)	$\pm X$	0,636	0,553	0,948	1,091
	$\pm Z$	0,632	0,557	0,955	1,084
Φορέας με Τοιχώματα ($q=4,40$)	$\pm X$	0,653	0,567	1,230	1,416
	$\pm Z$	0,647	0,571	1,240	1,406

Πίνακας 4.20 Επίδραση θεώρησης δομικών μελών του φορέα 1Γ ως τοιχώματα και υποστυλώματα στις τιμές της ιδιοπεριόδου κατασκευής και της σεισμικής επιτάχυνσης.

Από την ανάλυση του φορέα με τη δυναμική μέθοδο, προκύπτει ότι δεν προκύπτει σημαντική μεταβολή της τιμής της ιδιοπεριόδου στους φορείς με τοιχώματα σε σχέση με το φορέα θεωρώντας τα αντίστοιχα δομικά μέλη ως υποστυλώματα. Σημαντική διαφορά παρατηρείται στις τιμές της σεισμικής επιτάχυνσης καθώς στον υπολογισμό της υπεισέρχεται ο συντελεστής συμπεριφοράς q , η τιμή του οποίου μεταβάλλεται με την αλλαγή του στατικού συστήματος.

4.1.6. Μεταβολή του Πάχους της Πλάκας

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση της απομείωσης του πάχους της πλάκας στο ελάχιστο για την οριακή ικανοποίηση των ελέγχων παραμορφώσεων (έλεγχος βελών) στη διαστασιολόγηση μιας κατασκευής, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις σε δύο φορείς με το ελάχιστο πάχος πλάκας θεωρώντας φορέα πακτωμένο και με

πέδιλα (Αναλύσεις 1Α-12 και 1Α-13, 1Γ-6) και έγινε σύγκριση με τον αντίστοιχο φορέα χωρίς ανεπάρκειες (Ανάλυση 1Α-9 και 1Γ-5) αλλά και μεταξύ τους.

4.1.6.1. Σύγκριση Όπλισης

Προκειμένου να βρεθεί ο βέλτιστος φορέας (φορείς 1Α και 1Γ), εκτός από την αντιμετώπιση των ανεπαρκειών, με σχεδιασμό των δομικών μελών στις ελάχιστες διαστάσεις τους και ικανοποιώντας τους ελέγχους των κανονισμών, πρέπει να γίνει και μείωση του πάχους των πλακών στο ελάχιστο. Η μείωση αυτή του πάχους των πλακών επιδρά στη συνολική διαστασιολόγηση του φορέα καθώς μειώνονται κατ' επέκταση τα φορτία (λόγω μείωσης του ίδιου βάρους των πλακών) που αναλαμβάνουν τα δοκάρια και καταλήγουν στα υποστυλώματα.

Η μείωση αυτή του πάχους των πλακών γίνεται μέχρι την οριακή τιμή για την ικανοποίηση των ελέγχων παραμορφώσεων, κρίσιμος έλεγχος για τον καθορισμό του πάχους.

Εκτελώντας, λοιπόν, αναλύσεις με διαδοχική μείωση του πάχους των πλακών, οι τελικοί βέλτιστοι φορείς που προκύπτουν μετά από την αντιμετώπιση των ανεπαρκειών είναι οι ακόλουθοι (Σχέδιο 4.8 και Σχέδιο 4.9).

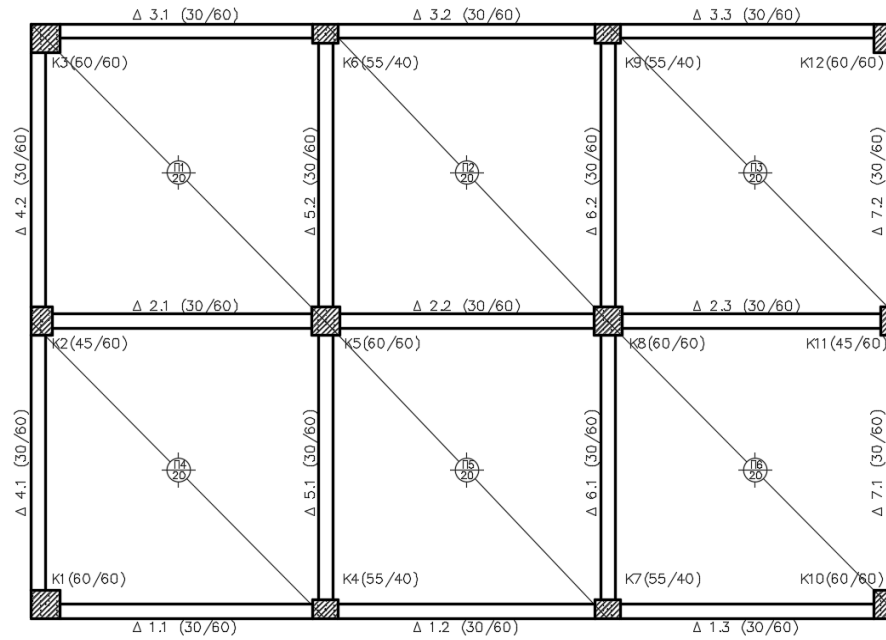
Το πάχος των πλακών μειώθηκε από 20 cm σε 16 cm για τις ακραίες πλάκες (Π₁, Π₃, Π₄, Π₆) και σε 15 cm για τις μεσαίες πλάκες (Π₂, Π₅).

Ο έλεγχος βελών παρουσιάζεται ακολούθως (Πίνακας 4.21). Στην προκειμένη περίπτωση ικανοποιείται η συνθήκη απαλλαγής από τον έλεγχο και για αυτό δεν απαιτείται ο αναλυτικός έλεγχος βελών.

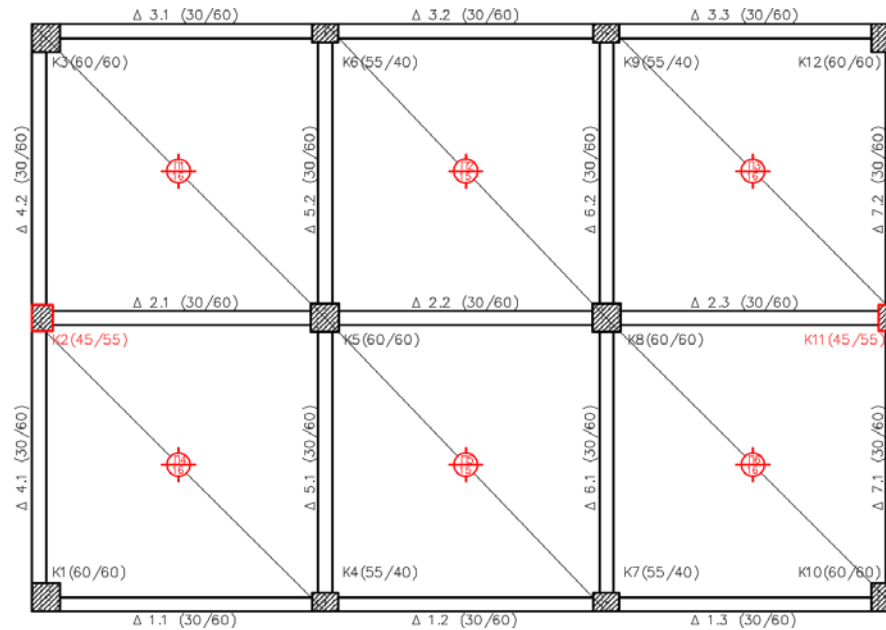
ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΠΛΑΚΩΝ										
Απαλλαγή από τον Έλεγχο Βελών										
Πλάκα	l (m)	d (m)	K	ρ _o (‰)	As _{1_pr} (cm ²)	As _{1_req} (cm ²)	As _{2_req} (cm ²)	l/d		(l/d) _{lim}
1	6,25	0,125	1,3	5	3,59	3,4	0	50,00	<	51,07
2	6	0,115	1,5	5	3,35	3,18	0	52,17	<	57,28
3	6,25	0,125	1,3	5	3,59	3,4	0	50,00	<	51,07
4	6,25	0,125	1,3	5	3,59	3,4	0	50,00	<	51,07
5	6	0,115	1,5	5	3,35	3,18	0	52,17	<	57,28
6	6,25	0,125	1,3	5	3,59	3,4	0	50,00	<	51,07

Πίνακας 4.21 Απλοποιητικός έλεγχος βελών στο φορέα 1.

ΦΟΡΕΑΣ 1Α ΧΩΡΙΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΕΣ



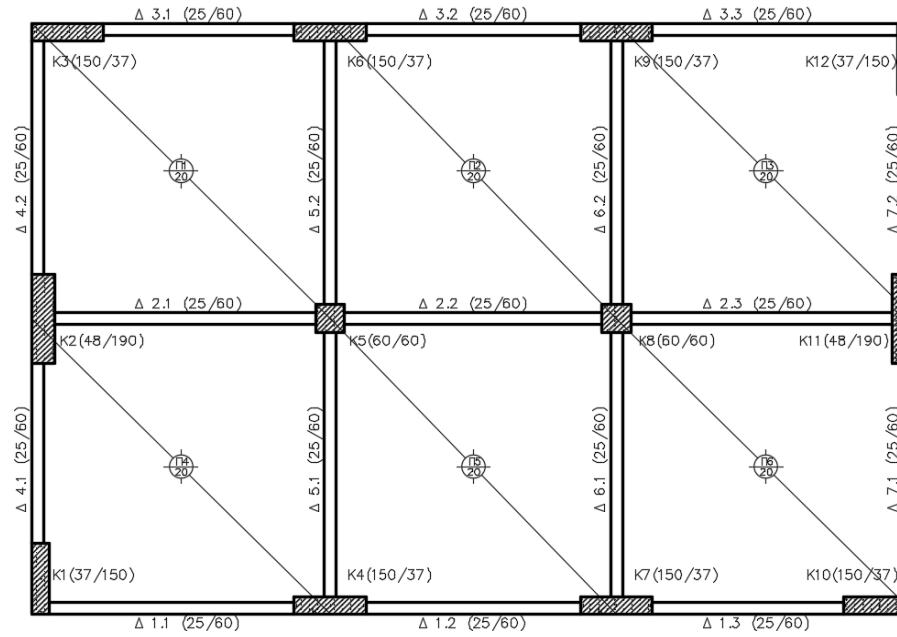
ΦΟΡΕΑΣ 1Α ΧΩΡΙΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΕΣ (ΠΑΚΤΩΜΕΝΟΣ & ΜΕ ΠΕΔΙΛΑ) - ΜΕΙΩΣΗ ΠΑΧΟΥΣ ΠΛΑΚΑΣ



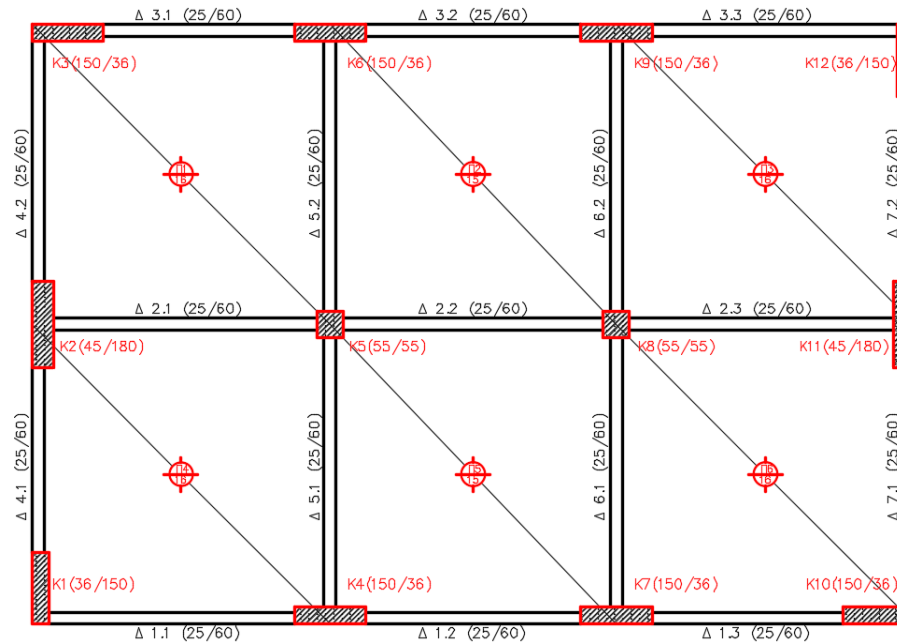
— Μεταβολή διαστάσεων
δομικών μελών φορέα

Σχέδιο 4.8 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέων 1Α χωρίς ανεπάρκειες χωρίς και με μείωση του πάχους της πλάκας.

ΦΟΡΕΑΣ 1Γ ΧΩΡΙΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΕΣ



ΦΟΡΕΑΣ 1Γ ΧΩΡΙΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΕΣ - ΜΕΙΩΣΗ ΠΑΧΟΥΣ ΠΛΑΚΑΣ



— Μεταβολή διαστάσεων δομικών μελών φορέα

Σχέδιο 4.9 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέων 1Γ χωρίς ανεπάρκειες χωρίς και με μείωση του πάχους της πλάκας.

Αρχικώς, παρατηρείται για τον φορέα 1Α, ότι προκύπτει φορέας με ίδιες διαστάσεις δομικών μελών ανεξαρτήτως προσομοίωσης θεμελίωσης (για φορέα με θεώρηση πάκτωσης στο έδαφος και φορέα με θεώρηση έδρασης σε μεμονωμένα πέδιλα).

Επίσης, για μέση μείωση του πάχους των πλακών κατά ~20%, δηλαδή μείωσης του ίδιου βάρους των πλακών κατά 1 kN/m², δεν παρατηρείται μείωση των διαστάσεων των δομικών μελών παρά μόνο μια μικρή μείωση των διαστάσεων των υποστυλωμάτων K₂ και K₁₁ (K₂,K₁₁ (45/60) → (45/55) (cm)).

Στον φορέα 1Γ, παρατηρείται σε περισσότερα μέλη μεταβολή των διαστάσεων με τη μείωση του πάχους των πλακών. Πιο συγκεκριμένα μειώνεται πολύ λίγο η διατομή όλων των περιμετρικών τοιχωμάτων (K₁,K₃,K₄,K₆,K₇,K₉,K₁₀, (150/37) → (150/36) (cm) και K₂,K₁₁ (48/190) → (45/180) (cm)) ενώ στα κεντρικά υποστυλώματα η μείωση των διαστάσεων είναι μεγαλύτερη (K₅,K₈ (60/60) → (55/55) (cm)).

Η μεταβολή του πάχους των πλακών, έχει επίπτωση και στη συνολική όπλιση του κτιρίου (Πίνακες 4.22 και 4.23).

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΦΟΡΕΑ 1Α			
	Χωρίς Μείωση Πάχους Πλάκας	Με Μείωση Πάχους Πλάκας	
		Πακτωμένος Φορέας	Φορέας με Πέδιλα *
Βάρος σιδηρού οπλισμού (kg)	35565,70	37003,65	36298,60
Όγκος σκυροδέματος (m ³)	408,85	354,35	354,35
Αναλογία σιδηρού οπλισμού - σκυροδέματος (kg/ m ³)	87,00	104,40	102,44
* Από την προμέτρηση έχει αφαιρεθεί ο οπλισμός και το σκυρόδεμα της θεμελίωσης.			

Πίνακας 4.22 Σύγκριση συνολικής προμέτρησης φορέα 1Α μετά από μείωση του πάχους των πλακών.

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΦΟΡΕΑ 1Γ		
	Χωρίς Μείωση Πάχους Πλάκας	Με Μείωση Πάχους Πλάκας
Βάρος σιδηρού οπλισμού (kg)	34578,05	35964,10
Όγκος σκυροδέματος (m ³)	452,40	390,85
Αναλογία σιδηρού οπλισμού - σκυροδέματος (kg/ m ³)	76,45	92,00

Πίνακας 4.23 Σύγκριση συνολικής προμέτρησης φορέα 1Γ μετά από μείωση του πάχους των πλακών.

Από τον παραπάνω πίνακα, είναι εμφανής η επίδραση της μεταβολής του πάχους των πλακών στην όπλιση του φορέα, καθώς παρατηρείται αύξηση του τοποθετούμενου οπλισμού (κατά 4% (πακτωμένος φορέας) και 2% (φορέας με πέδιλα) για τον φορέα 1Α και 4% για το φορέα 1Γ). Η μείωση του σκυροδέματος είναι της τάξης των 13% και στους δύο φορείς.

Αναλυτικότερα, η προμέτρηση για κάθε τύπο δομικού μέλους παρουσιάζεται ακολούθως (Πίνακες 4.24 και 4.25).

ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΜΕΛΩΝ										
		Χωρίς Μείωση Πάχους Πλακών			Με Μείωση Πάχους Πλακών					
					Πακτωμένος Φορέας			Φορέας με Πέδιλα		
					Πλάκες	Δοκοί	Στύλοι / Τοιχώματα	Πλάκες	Δοκοί	Στύλοι / Τοιχώματα
ΦΟΡΕΑΣ 1Α	Βάρος σιδηρού οπλισμού (kg)	8360,70	10380,25	16825,15	10686,60	9921,20	16396,10	10686,60	9800,70	15811,60
	Όγκος σκυροδέματος (m ³)	277,50	66,90	64,50	217,50	73,20	63,60	217,50	73,20	63,60
	Αναλογία οπλισμού - σκυροδέματος (kg/ m ³)	30,15	155,15	260,85	49,15	135,55	257,80	49,15	133,90	248,60
ΦΟΡΕΑΣ 1Γ	Βάρος σιδηρού οπλισμού (kg)	8360,70	11586,30	14631,55	10686,60	11380,80	13897,05			
	Όγκος σκυροδέματος (m ³)	277,50	49,50	125,40	217,50	55,50	117,90			
	Αναλογία οπλισμού - σκυροδέματος (kg/ m ³)	30,15	234,05	116,70	49,15	205,05	117,85			

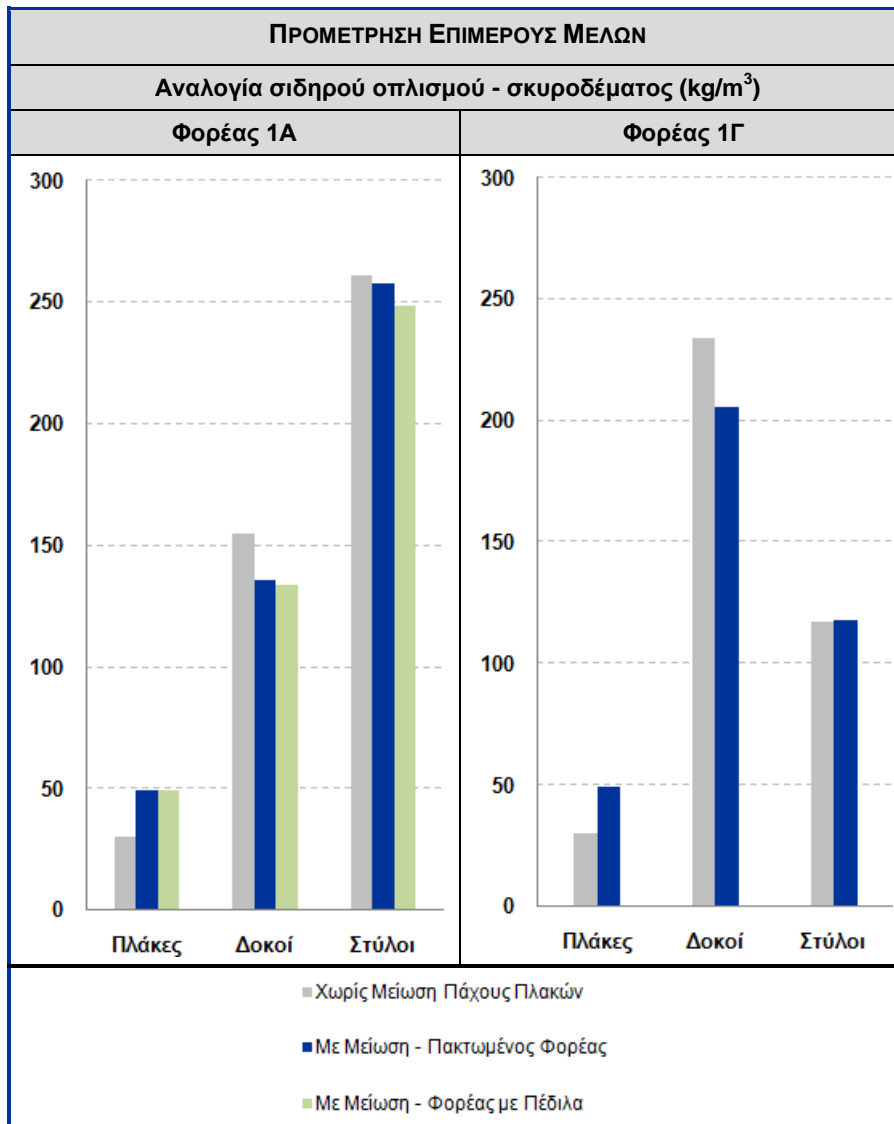
Πίνακας 4.24 Σύγκριση προμέτρησης επιμέρους δομικών μελών φορέων 1 μετά από μείωση του πάχους των πλακών.

Από τα παραπάνω, προκύπτει ότι η μείωση του πάχους των πλακών οδήγησε σε αύξηση του τοποθετούμενου οπλισμού κατά 28% στις πλάκες, ενώ η μείωση του οπλισμού στα υποστυλώματα και δοκάρια ήταν της τάξης του 2÷6% και για τους δύο φορείς.

Η αντίστοιχη μείωση της ποσότητας του σκυροδέματος ήταν της τάξης του 6% για τα υποστυλώματα. Η αύξηση της ποσότητας σκυροδέματος στις δοκούς οφείλεται στη μεταβολή των διαστάσεων των υποστυλωμάτων που μειώνονται ενώ οι διαστάσεις της κάτοψης του φορέα παραμένουν ίδιες με τον αρχικό φορέα.

Επομένως, μπορεί να μειώθηκε το ίδιο βάρος των πλακών, μέσω της μείωσης του πάχους τους, αλλά αυτό οδήγησε σε αύξηση του απαιτούμενου οπλισμού λόγω της

πολύ μεγάλης αύξησης του οπλισμού στις πλάκες, σε βαθμό που το συνολικό βάρος του να είναι μεγαλύτερο από την περίπτωση διατήρησης στο αρχικό τους πάχος.



Πίνακας 4.25 Σύγκριση προμέτρησης επιμέρους δομικών μελών μετά από μείωση του πάχους των πλακών.

Η όπλιση των φορέων παρουσιάζεται αναλυτικά στο Παράρτημα.

4.1.6.2. Επίδραση στην Ιδιοπερίοδο της Κατασκευής

Το πάχος των πλακών επηρεάζει έμμεσα την ιδιοπερίοδο της κατασκευής μέσω της αλλαγής των διατομών των δομικών μελών.

Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακες 4.26 και 4.27) παρουσιάζονται οι τιμές της δεσπύζουσας ιδιοπεριόδου των φορέων (1Α και 1Γ).

ΦΟΡΕΑΣ 1Α		ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΣ T (sec)		ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ a (m/sec ²)		
		Μετατόπιση Μάζας	Δεσπόζουσα κατά Z	Δεσπόζουσα κατά X	κατά Z	κατά X
Χωρίς Μείωση Πάχους Πλακών		±X	0,831	0,791	0,850	0,893
		±Z	0,819	0,798	0,863	0,886
Με Μείωση Πάχους Πλακών	Πακτωμένος Φορέας	±X	0,808	0,757	0,874	0,933
		±Z	0,796	0,766	0,888	0,923
	Φορέας με Πέδιλα	±X	0,868	0,806	0,814	0,876
		±Z	0,856	0,814	0,825	0,867

Πίνακας 4.26 Επίδραση μεταβολής του πάχους πλακών στις τιμές της ιδιοπεριόδου του φορέα 1Α.

ΦΟΡΕΑΣ 1Γ		ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΣ T (sec)		ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ a (m/sec ²)		
		Μετατόπιση Μάζας	Δεσπόζουσα κατά Z	Δεσπόζουσα κατά X	κατά Z	κατά X
Χωρίς Μείωση Πάχους Πλακών		±X	0,603	0,567	1,331	1,416
		±Z	0,598	0,570	1,343	1,409
Με Μείωση Πάχους Πλακών		±X	0,597	0,549	1,346	1,463
		±Z	0,592	0,551	1,357	1,456

Πίνακας 4.27 Επίδραση μεταβολής του πάχους πλακών στις τιμές της ιδιοπεριόδου του φορέα 1Γ.

Από την ανάλυση του φορέα, προκύπτει ότι δεν παρατηρείται μεταβολή της τιμής της ιδιοπεριόδου (όλες οι ιδιοπεριόδοι προέκυψαν $T \approx 0,8$ sec για το φορέα 1Α και $T \approx 0,6$ sec για το φορέα 1Γ) στους φορείς που προέκυψαν μετά από μεταβολή του πάχους των πλακών καθώς δεν σημειώθηκε ιδιαίτερη μεταβολή στις διαστάσεις των μελών.

4.1.7. Μεταβολή Κατηγορίας Πλαστιμότητας

Ο οικονομικός σχεδιασμός των κατασκευών βασίζεται στην πλαστιμότητά τους, μέσω της απορρόφησης σεισμικής ενέργειας από τα δομικά μέλη.

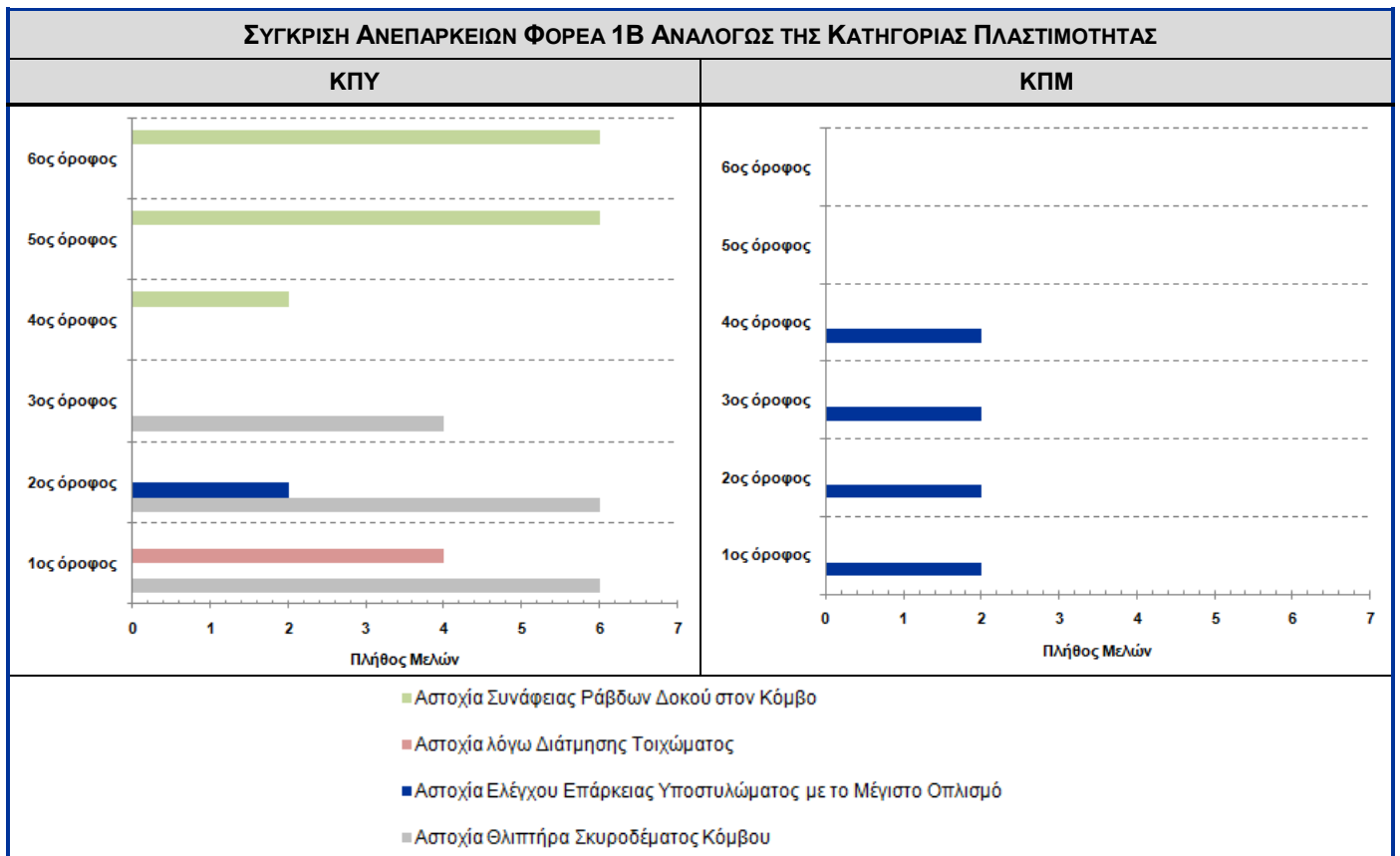
Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση της κατηγορίας πλαστιμότητας στη διαστασιολόγηση μιας κατασκευής, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις σε φορείς θεωρώντας διαφορετική κατηγορία πλαστιμότητας, ΚΠΜ (Αναλύσεις 1B-2, 1Γ-2) και έγινε σύγκριση με τους αντίστοιχους φορείς θεωρώντας ΚΠΥ (Αναλύσεις 1B-1, 1Γ-1).

4.1.7.1. Διαφορές στις Εμφανιζόμενες Ανεπάρκειες

Από τις επιλύσεις, και στις δύο περιπτώσεις προκύπτουν ανεπάρκειες στους φορείς.

ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ	ΦΟΡΕΑΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ (ΦΟΡΕΑΣ 1B)	
	ΚΠΥ	ΚΠΜ
Αστοχία Ολιπήτρα Σκυροδέματος Κόμβου	K ₂ (1),K ₄ (1), K ₆ (1),K ₇ (1), K ₉ (1),K ₁₁ (1), K ₂ (2),K ₄ (2), K ₆ (2),K ₇ (2), K ₉ (2),K ₁₁ (2), K ₂ (3),K ₄ (3), K ₉ (3),K ₁₁ (3)	-
Αστοχία Ελέγχου Επάρκειας Υποστυλώματος με το Μέγιστο Οπλισμό	K ₂ (2), K ₁₁ (2)	K ₂ (1), K ₁₁ (1), K ₂ (2), K ₁₁ (2), K ₂ (3), K ₁₁ (3), K ₂ (4), K ₁₁ (4)
Αστοχία λόγω Διάτμησης Τοιχώματος	K ₁ (1),K ₃ (1),K ₁₀ (1),K ₁₂ (1)	-
Αστοχία Συνάφειας Ράβδων Δοκού στον Κόμβο	K ₆ (4),K ₇ (4), K ₂ (5),K ₄ (5), K ₆ (5),K ₇ (5), K ₉ (5),K ₁₁ (5), K ₂ (6),K ₄ (6), K ₆ (6),K ₇ (6), K ₉ (6),K ₁₁ (6)	-

Πίνακας 4.28 Ανεπάρκειες στο φορέα 1B για διαφορετική κατηγορία πλαστιμότητας.



Πίνακας 4.29 Σύγκριση ανεπαρκειών φορέα 1B αναλόγως της κατηγορίας πλαστιμότητας.

Πιο συγκεκριμένα, στο φορέα με τα τέσσερα γωνιακά τοιχώματα (φορέας 1B), από την θεώρηση ΚΠΜ προκύπτουν μόνο ανεπάρκειες από τον έλεγχο σε υποστυλώματα με το μέγιστο δυνατό οπλισμό (σε 2 υποστυλώματα στους 1^ο-4^ο ορόφους) σε αντίθεση με τη θεώρηση ΚΠΥ όπου προέκυψαν πολλές ανεπάρκειες οι οποίες αναλύθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο (Πίνακες 4.28, 4.29).

Αντίστοιχα, στο φορέα με τα περιμετρικά τοιχώματα (φορέας 1Γ), από την θεώρηση ΚΠΜ δεν προκύπτει καμία αστοχία και ανεπάρκεια στον αρχικό φορέα. Αντιθέτως, θεωρώντας ΚΠΥ ο φορέας εμφανίζει αστοχίες λόγω διάτμησης σε κάποια τοιχώματα του ισόγειου (Πίνακας 4.30).

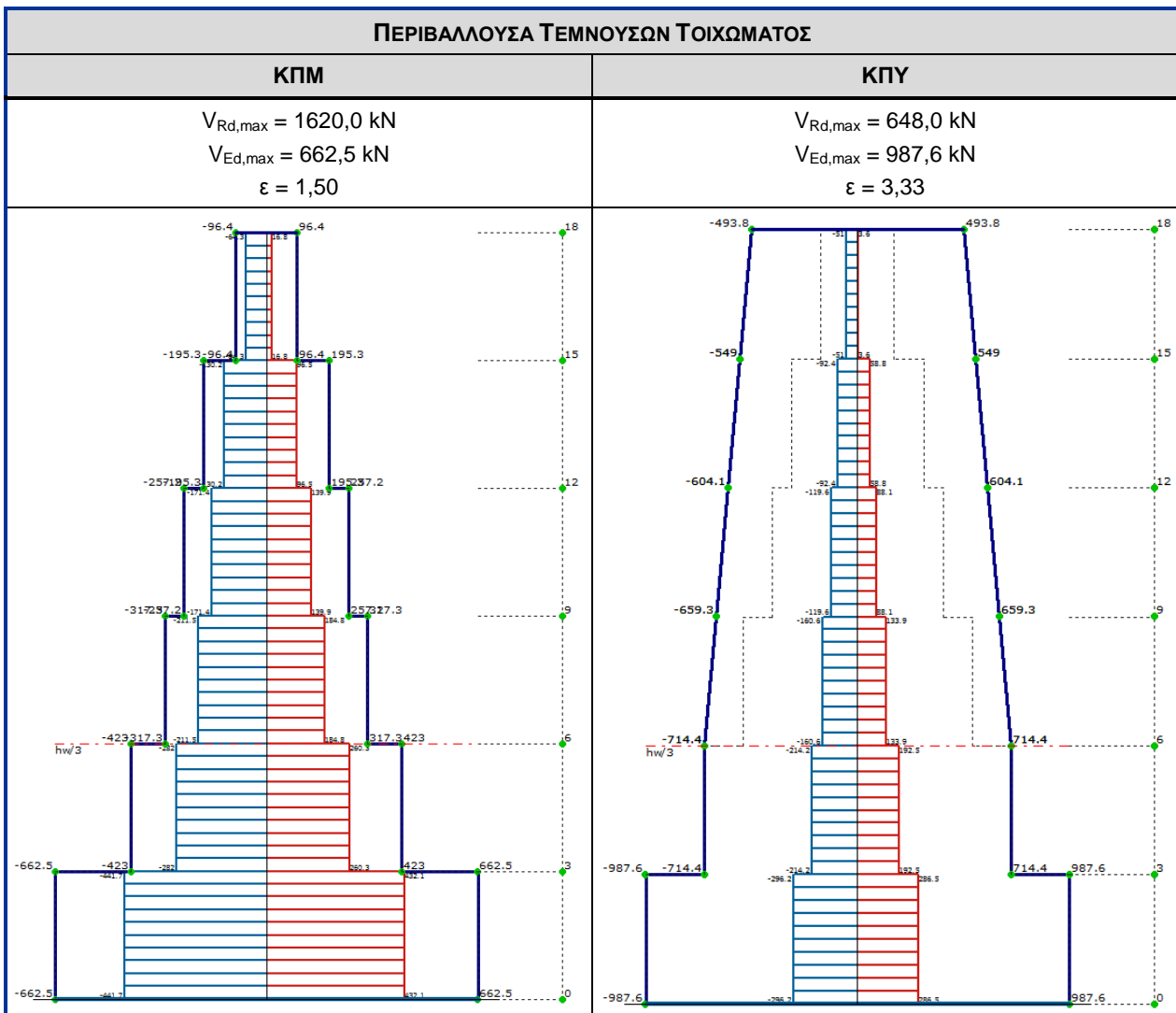
ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ	ΦΟΡΕΑΣ ΜΕ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ (ΦΟΡΕΑΣ 1Γ)	
	ΚΠΥ	ΚΠΜ
Αστοχία Θλιπτήρα Σκυροδέματος Κόμβου	-	-
Αστοχία Ελέγχου Επάρκειας Υποστυλώματος με το Μέγιστο Οπλισμό	-	-
Αστοχία λόγω Διάτμησης Τοιχώματος	K ₁ (1),K ₂ (1),K ₄ (1),K ₆ (1),K ₇ (1), K ₉ (1),K ₁₁ (1),K ₁₂ (1)	-
Αστοχία Συνάφειας Ράβδων Δοκού στον Κόμβο	-	-

Πίνακας 4.30 Ανεπάρκειες κατά τη διαστασιολόγηση του φορέα 1Γ θεωρώντας διαφορετική κατηγορία πλαστιμότητας.

Επομένως, από την αλλαγή κατηγορίας πλαστιμότητας στους δύο φορείς προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι έλεγχοι σε φορείς θεωρώντας ΚΠΜ είναι ευμενέστεροι σε σχέση με τους αντίστοιχους για ΚΠΥ.

Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση ΚΠΥ, η αντοχή τοιχώματος έναντι αστοχίας λοξού θλιπτήρα απομειώνεται κατά 60% στις κρίσιμες περιοχές του αλλά παρατηρείται και αλλαγή στην περιβάλλουσα των τεμνουσών καθώς αλλάζει η τιμή του συντελεστή μεγέθυνσης της τέμνουσας της ανάλυσης ε.

Παρακάτω παρατίθεται ενδεικτικά τα εντατικά μεγέθη για τον έλεγχο σε τέμνουσα σε ένα τοίχωμα του φορέα 1B (τοίχωμα K₁ στο ισόγειο) για τις δύο κατηγορίες πλαστιμότητας (Πίνακας 4.31).



Πίνακας 4.31 Εντατικά μεγέθη για τον έλεγχο διάτμησης τοιχώματος θεωρώντας διαφορετική κατηγορία πλαστιμότητας.

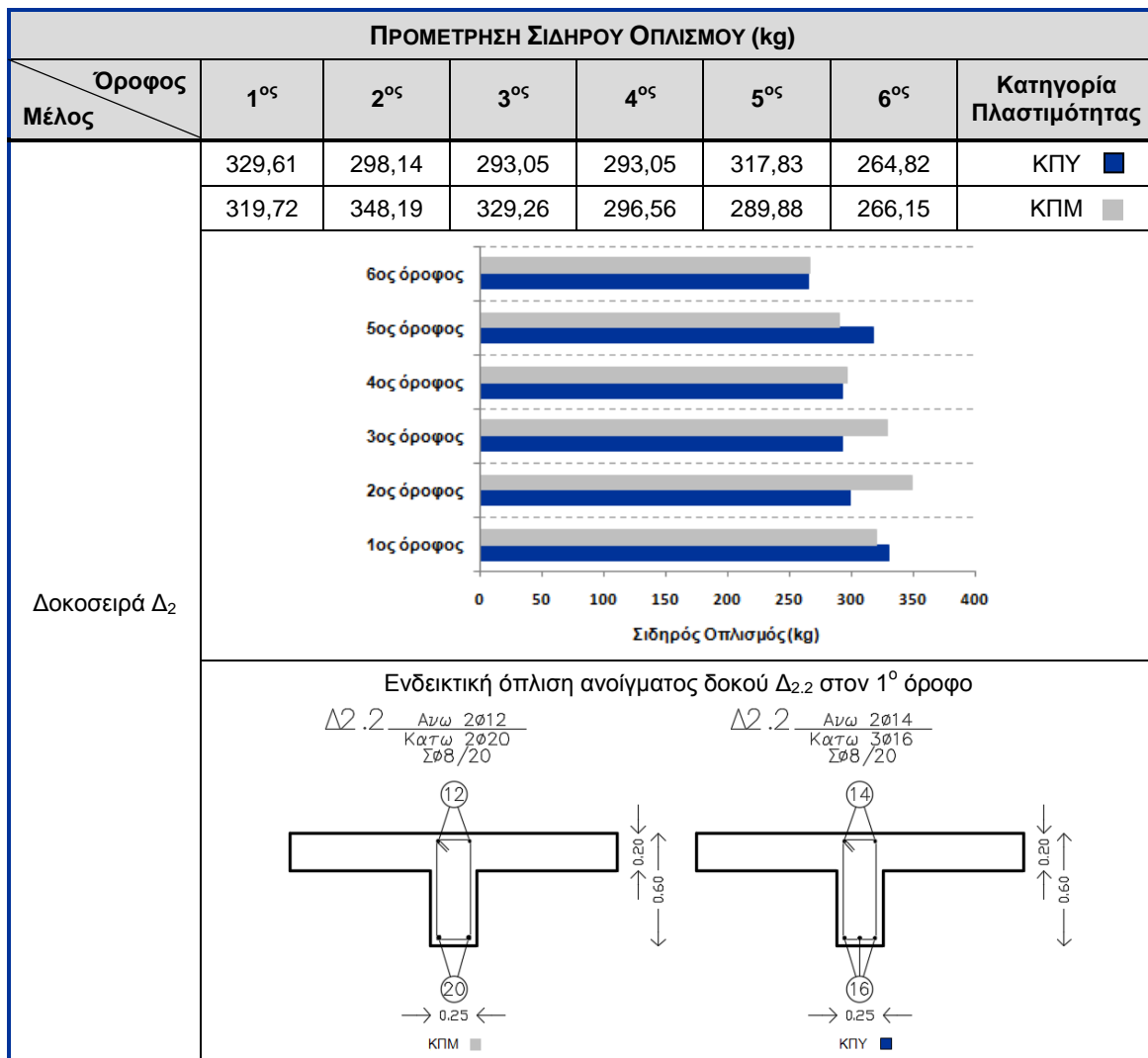
4.1.7.2. Σύγκριση Όπλισης

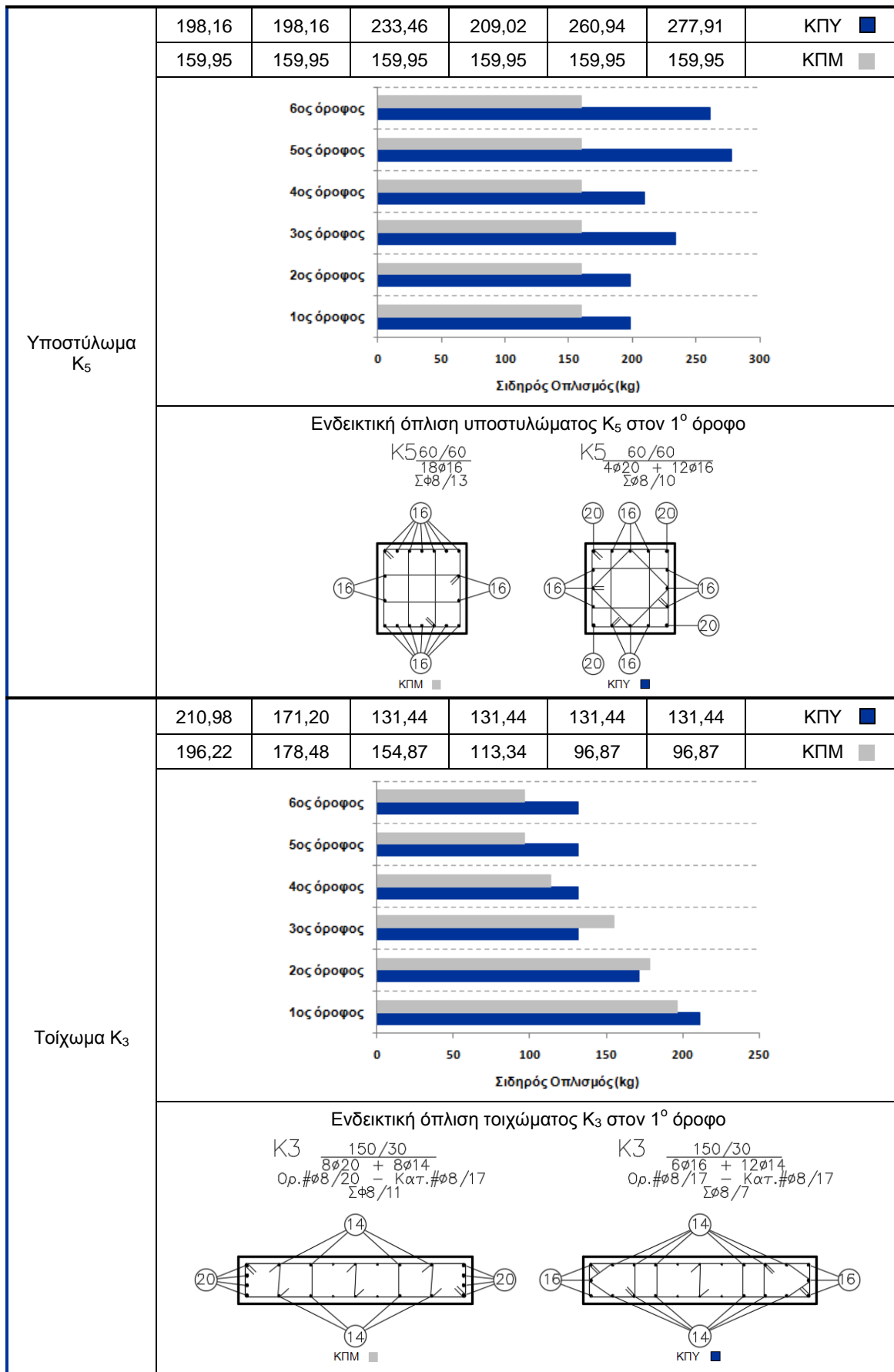
Ο σχεδιασμός φορέων θεωρώντας διαφορετική κατηγορία πλαστιμότητας έχει επιπτώσεις στην όπλιση των δομικών μελών.

Εκτός των επιπτώσεων στους ελέγχους επάρκειας των μελών, η κατηγορία πλαστιμότητας επιδρά και στο συντελεστή συμπεριφοράς του φορέα. Πιο συγκεκριμένα η αλλαγή της κατηγορίας πλαστιμότητας από ΚΠΥ σε ΚΠΜ στους φορείς 1B και 1Γ οδήγησε σε μείωση του συντελεστή συμπεριφοράς από $q=5,40$ και $q=4,40$ σε $q=3,60$ και $q=3,00$ αντιστοίχως. Επίσης, υπάρχουν ειδικές διατάξεις για ελέγχους και όπλιση αναλόγως της κατηγορίας πλαστιμότητας.

Ακολούθως παρουσιάζεται ενδεικτικά η διαφορά στον οπλισμό δοκών, υποστυλωμάτων και τοιχωμάτων του φορέα 1Γ, θεωρώντας διαφορετική κατηγορία πλαστιμότητας (Πίνακας 4.32).

Από τον παρακάτω πίνακα, είναι εμφανής η επίδραση του σχεδιασμού του φορέα θεωρώντας διαφορετική κατηγορία πλαστιμότητας. Πιο συγκεκριμένα, η επίδραση είναι μεγαλύτερη στα υποστυλώματα και τα τοιχώματα στα οποία η συνολική προμέτρηση του σιδηρού οπλισμού προκύπτει μεγαλύτερη στην περίπτωση ΚΠΥ (ο συνολικός οπλισμός του υποστυλώματος είναι 1377,65 kg και ο συνολικός οπλισμός τοιχώματος είναι 907,94 kg) από ότι στην ΚΠΜ (ο συνολικός οπλισμός του υποστυλώματος είναι 959,70 kg και ο συνολικός οπλισμός τοιχώματος είναι 836,65 kg). Στα δοκάρια συμβαίνει το ακριβώς αντίθετο με τον οπλισμό που απαιτείται μετά τη διαστασιολόγηση θεωρώντας ΚΠΜ (ο συνολικός οπλισμός της δοκοσειράς είναι 1849,76 kg) να είναι μεγαλύτερος από ότι οπλίζοντας θεωρώντας ΚΠΥ (ο συνολικός οπλισμός της δοκοσειράς είναι 1796,50 kg).





Πίνακας 4.32 Σύγκριση προμέτρησης σιδηρού οπλισμού ενδεικτικών μελών του φορέα 1Γ για διαφορετική κατηγορία πλαστιμότητας.

Αυτό συμβαίνει γιατί αφενός μεν μειώνεται η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς καθώς μειώνεται η πλαστιμότητα της κατασκευής (ΚΠΥ → ΚΠΜ) οδηγώντας σε δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη, αφετέρου δε οι έλεγχοι για ΚΠΥ είναι συντηρητικότεροι και οι πρόσθετες διατάξεις που υπάρχουν για την διαστασιολόγηση των δομικών μελών οδηγούν σε αυξημένη όπλιση.

4.2. Παραμετρική Ανάλυση Διαστασιολόγησης Φορέα 2

Στο υποκεφάλαιο αυτό πραγματοποιούνται παραμετρικές αναλύσεις στο φορέα 2, παρόλο που είναι υφιστάμενος. Σκοπός των αναλύσεων αυτών είναι ο προσδιορισμός της επίδρασης της μεθόδου ανάλυσης, της σεισμικής ζώνης καθώς και της πραγματοποίησης ικανοτικού ελέγχου κόμβων στη διαστασιολόγηση, μέσω της ποσότητας του απαιτούμενου οπλισμού, και συνεπώς της συνολικής προμέτρησης αλλά και στις τιμές της ιδιοπεριόδου και της σεισμικής επιτάχυνσης κατά το σχεδιασμό.

Τέλος, οι άλλες δύο παραλλαγές του φορέα παρουσιάζουν τις συνέπειες σχεδιασμού του φορέα με τοιχώματα σε διαφορετική διάταξη.

4.2.1. Επίδραση της Μεθόδου Ανάλυσης

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση της μεθόδου ανάλυσης στη διαστασιολόγηση μιας κατασκευής, πραγματοποιήθηκε ανάλυση στο φορέα 2Α εφαρμόζοντας δυναμική και στατική ανάλυση, διατηρώντας όλες τις άλλες παραμέτρους σταθερές, θεωρώντας πακτωμένο φορέα (Αναλύσεις 2Α-1, 2Α-3).

4.2.1.1. Διαφορές στις Εμφανιζόμενες Ανεπάρκειες

Από τις επιλύσεις, και στις δύο περιπτώσεις προκύπτουν ανεπάρκειες στον φορέα.

Πιο συγκεκριμένα, από την εφαρμογή της δυναμικής μεθόδου προκύπτουν αστοχίες θλιπτήρα σκυροδέματος κόμβου σε 2 κόμβους του 1^{ου} - 3^{ου} ορόφου. Επίσης, παρατηρείται αστοχία λόγω διάτμησης σε 3 τοιχώματα και υπέρβαση της ανηγμένης αξονικής σε 2 υποστυλώματα του 1^{ου} ορόφου. Τέλος, παρατηρείται αστοχία συνάφειας των ράβδων των δοκών σε 2 κόμβους στον 4^ο όροφο και σε 4 κόμβους στους 5^ο και 6^ο ορόφους.

Από την εφαρμογή της στατικής μεθόδου προκύπτουν οι ίδιοι τύποι αστοχίας με αυτούς από την εφαρμογή της δυναμικής μεθόδου, με τη διαφορά ότι οι ανεπάρκειες

εμφανίζονται σε περισσότερα μέλη. Αστοχίες θλιπτήρα σκυροδέματος εμφανίζονται σε 8 κόμβους στην οροφή του ισογείου, 6 κόμβους του 2^{ου} και 3^{ου} ορόφου και σε 2 κόμβους στον 4^ο όροφο. Αστοχία λόγω διάτμησης εμφανίζεται σε 3 τοιχώματα του 1^{ου} ορόφου και σε 1 τοίχωμα στους 2^ο μέχρι και 6^ο ορόφους. Υπέρβαση ανηγμένης αξονικής παρουσιάζεται σε 2 υποστυλώματα του 1^{ου} και 2^{ου} ορόφου. Τέλος, αστοχία συνάφειας των ράβδων των δοκών εμφανίζεται σε 4 κόμβους στους 4^ο μέχρι και 6^ο ορόφους.

Οι παραπάνω ανεπάρκειες παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακες (Πίνακες 4.33, 4.34).

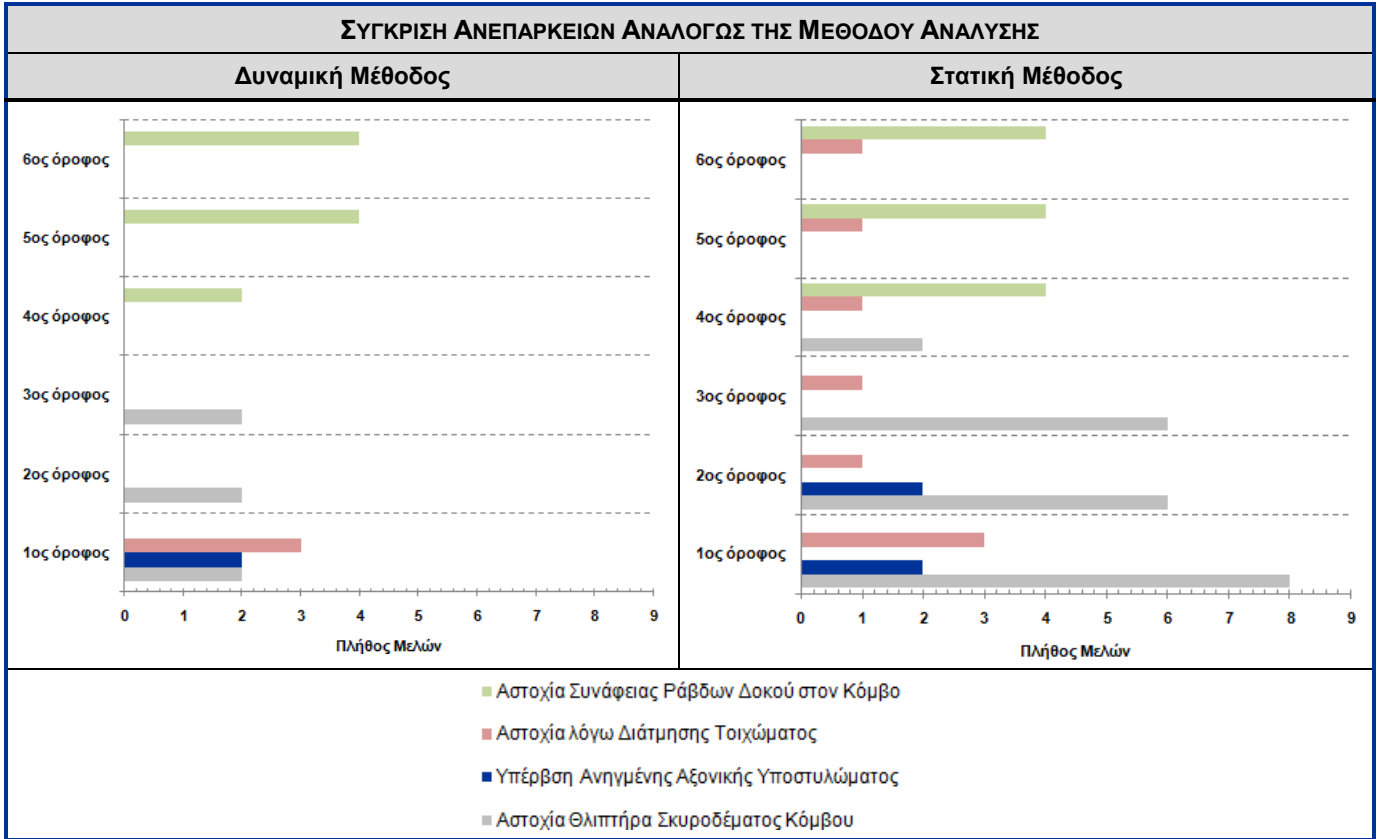
ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	
	Δυναμική Μέθοδος	Στατική Μέθοδος
Αστοχία Θλιπτήρα Σκυροδέματος Κόμβου	$K_7(1), K_{10}(1),$ $K_7(2), K_{10}(2),$ $K_7(3), K_{10}(3)$	$K_2(1), K_3(1), K_4(1), K_5(1), K_7(1),$ $K_{10}(1), K_{12}(1), K_{15}(1),$ $K_2(2), K_3(2), K_4(2), K_5(2), K_7(2),$ $K_{10}(2),$ $K_2(3), K_3(3), K_4(3), K_5(3), K_7(3),$ $K_{10}(3),$ $K_7(4), K_{10}(4)$
Υπέρβαση Ανηγμένης Αξονικής Υποστυλώματος	$K_{20}(1), K_{21}(1)$	$K_{20}(1), K_{21}(1),$ $K_{20}(2), K_{21}(2)$
Αστοχία λόγω Διάτμησης Τοιχώματος	$K_{17}(1), K_{22}(1), K_{23}(1)$	$K_{17}(1), K_{22}(1), K_{23}(1),$ $K_{22}(2),$ $K_{22}(3),$ $K_{22}(4),$ $K_{22}(5),$ $K_{22}(6)$
Αστοχία Συνάφειας Ράβδων Δοκού στον Κόμβο	$K_8(4), K_9(4),$ $K_7(5), K_8(5), K_9(5), K_{10}(5),$ $K_7(6), K_8(6), K_9(6), K_{10}(6)$	$K_7(4), K_8(4), K_9(4), K_{10}(4),$ $K_7(5), K_8(5), K_9(5), K_{10}(5),$ $K_7(6), K_8(6), K_9(6), K_{10}(6)$

Πίνακας 4.33 Ανεπάρκειες που εμφανίζονται στις αναλύσεις του φορέα 2Α εφαρμόζοντας δυναμική και στατική μέθοδο.

Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι η στατική μέθοδος επίλυσης είναι δυσμενέστερη, με τον αριθμό των μελών που εμφανίζουν ανεπάρκειες για τον ίδιο τύπο αστοχίας να είναι σε ορισμένες περιπτώσεις αρκετά μεγαλύτερος από ότι αν εφαρμοζόταν η δυναμική μέθοδος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρείται διπλασιασμός του πλήθους των μελών που εμφανίζουν κάποια ανεπάρκεια.

Σε αυτή την περίπτωση όμως δεν εμφανίστηκαν επιπλέον μορφές αστοχίας στην περίπτωση εφαρμογής της στατικής μεθόδου, όπως συνέβη σε προηγούμενο φορέα.

Επομένως, από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται ότι η μέθοδος ανάλυσης που εφαρμόζεται κατά τη διαστασιολόγηση επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το σχεδιασμό του φορέα.



Πίνακας 4.34 Σύγκριση ανεπαρκειών φορέα 2Α αναλόγως της μεθόδου ανάλυσης.

4.2.1.2. Επίπτωση στην Ιδιοπερίοδο της Κατασκευής

Η επίπτωση της εφαρμογής διαφορετικής μεθόδου ανάλυσης στις τιμές της ιδιοπεριόδου και της σεισμικής επιτάχυνσης κατά το σχεδιασμό παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 4.35), όπου παρατίθενται οι τιμές της δεσπόζουσας ιδιοπεριόδου της κατασκευής για κάθε κατεύθυνση σεισμικής φόρτισης για κάθε μέθοδο ανάλυσης, για τις τέσσερις περιπτώσεις θεώρησης μετατόπισης μάζας κατά τις διευθύνσεις $\pm X$ και $\pm Z$ του φορέα.

Στην περίπτωση της ανάλυσης με εφαρμογή της στατικής μεθόδου, η σεισμική επιτάχυνση κατά το σχεδιασμό είναι μεγαλύτερη ($a \approx 1,6 \text{ m/sec}^2$) από την περίπτωση εφαρμογής της δυναμικής μεθόδου ($a \approx 1,0 \text{ m/sec}^2$), καθώς οι τιμές ιδιοπεριόδου που προκύπτουν από δυναμική ανάλυση είναι μεγαλύτερες (δυναμική ανάλυση $\rightarrow T \approx 0,7 \text{ sec}$, στατική ανάλυση $\rightarrow T \approx 0,45 \text{ sec}$).

Μέθοδος Ανάλυσης	Μετατόπιση Μάζας	ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΣ T (sec)		ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ a (m/sec ²)	
		Δεσπόζουσα κατά Z	Δεσπόζουσα κατά X	κατά Z	κατά X
Δυναμική Φασματική Ανάλυση	±X	0,749	0,633	1,071	1,268
	±Z	0,740	0,620	1,085	1,295
Στατική Ανάλυση	-	0,455	0,455	1,605	1,605

Πίνακας 4.35 Σύγκριση τιμών ιδιοπεριόδου φορέα 2A αναλόγως της μεθόδου ανάλυσης.

4.2.2. Μεταβολή Κατηγορίας Πλαστιμότητας

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση της κατηγορίας πλαστιμότητας στη διαστασιολόγηση μιας κατασκευής, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις στο φορέα 2A θεωρώντας διαφορετική κατηγορία πλαστιμότητας, ΚΠΜ (Ανάλυση 2Α-7) και έγινε σύγκριση με τον αντίστοιχο, θεωρώντας ΚΠΥ (Ανάλυση 2Α-1).

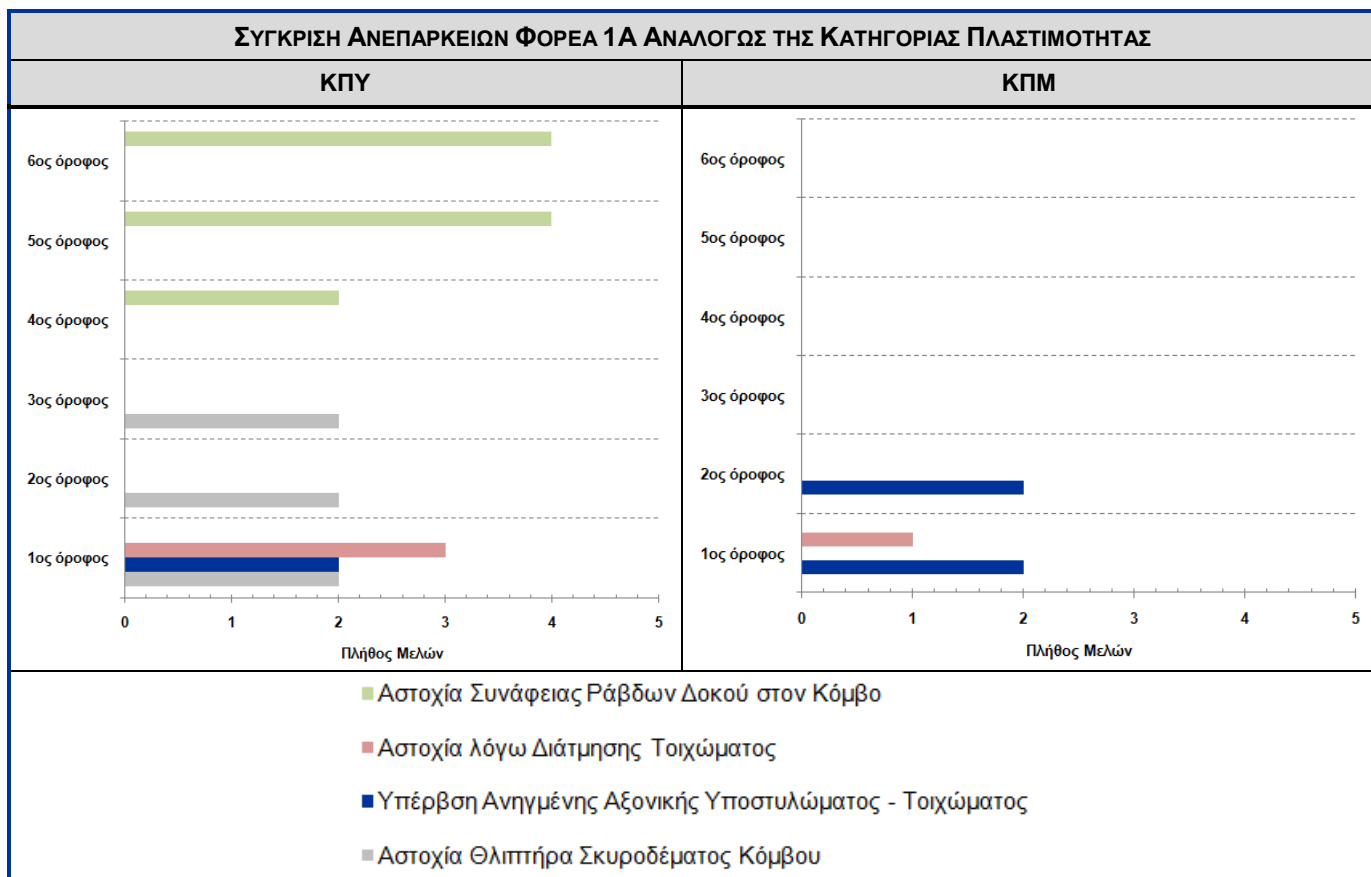
4.2.2.1. Διαφορές στις Εμφανιζόμενες Ανεπάρκειες

Από τις επιλύσεις, και στις δύο περιπτώσεις προκύπτουν ανεπάρκειες στους φορείς.

ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ	
	ΚΠΥ	ΚΠΜ
Αστοχία Ολιπήρα Σκυροδέματος Κόμβου	K ₇ (1),K ₁₀ (1), K ₇ (2),K ₁₀ (2), K ₇ (3),K ₁₀ (3)	-
Υπέρβαση Ανηγμένης Αξονικής Υποστυλώματος - Τοιχώματος	K ₂₀ (1),K ₂₁ (1)	K ₂₀ (1-2),K ₂₁ (1-2)
Αστοχία λόγω Διάτμησης Τοιχώματος	K ₁₇ (1),K ₂₂ (1),K ₂₃ (1)	K ₂₂ (1)
Αστοχία Συνάφειας Ράβδων Δοκού στον Κόμβο	K ₈ (4), K ₉ (4), K ₇ (5),K ₈ (5),K ₉ (5),K ₁₀ (5), K ₇ (6),K ₈ (6),K ₉ (6),K ₁₀ (6)	-

Πίνακας 4.36 Ανεπάρκειες στο φορέα 2A για διαφορετική κατηγορία πλαστιμότητας.

Πιο συγκεκριμένα, στο φορέα 2A, από την θεώρηση ΚΠΜ προκύπτουν μόνο ανεπάρκειες από τον έλεγχο σε διάτμηση σε 1 τοίχωμα στον 1^ο όροφο και από την υπέρβαση ανηγμένης αξονικής σε 2 τοιχώματα στους 1^ο και 2^ο όροφο, σε αντίθεση με τη θεώρηση ΚΠΥ όπου προέκυψαν πολλές ανεπάρκειες οι οποίες αναλύθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο (Πίνακες 4.36, 4.37).



Πίνακας 4.37 Σύγκριση ανεπαρκειών φορέα 2Α αναλόγως της κατηγορίας πλαστιμότητας.

Επομένως, από την αλλαγή κατηγορίας πλαστιμότητας στον ίδιο φορέα, προέκυψε μεταβολή της τιμής του συντελεστή συμπεριφοράς από $q=4,40$ σε $q=3,00$, με μείωση των εμφανιζόμενων ανεπαρκειών καθώς οι έλεγχοι σε φορείς θεωρώντας ΚΠΜ είναι ευμενέστεροι σε σχέση με τους αντίστοιχους για ΚΠΥ.

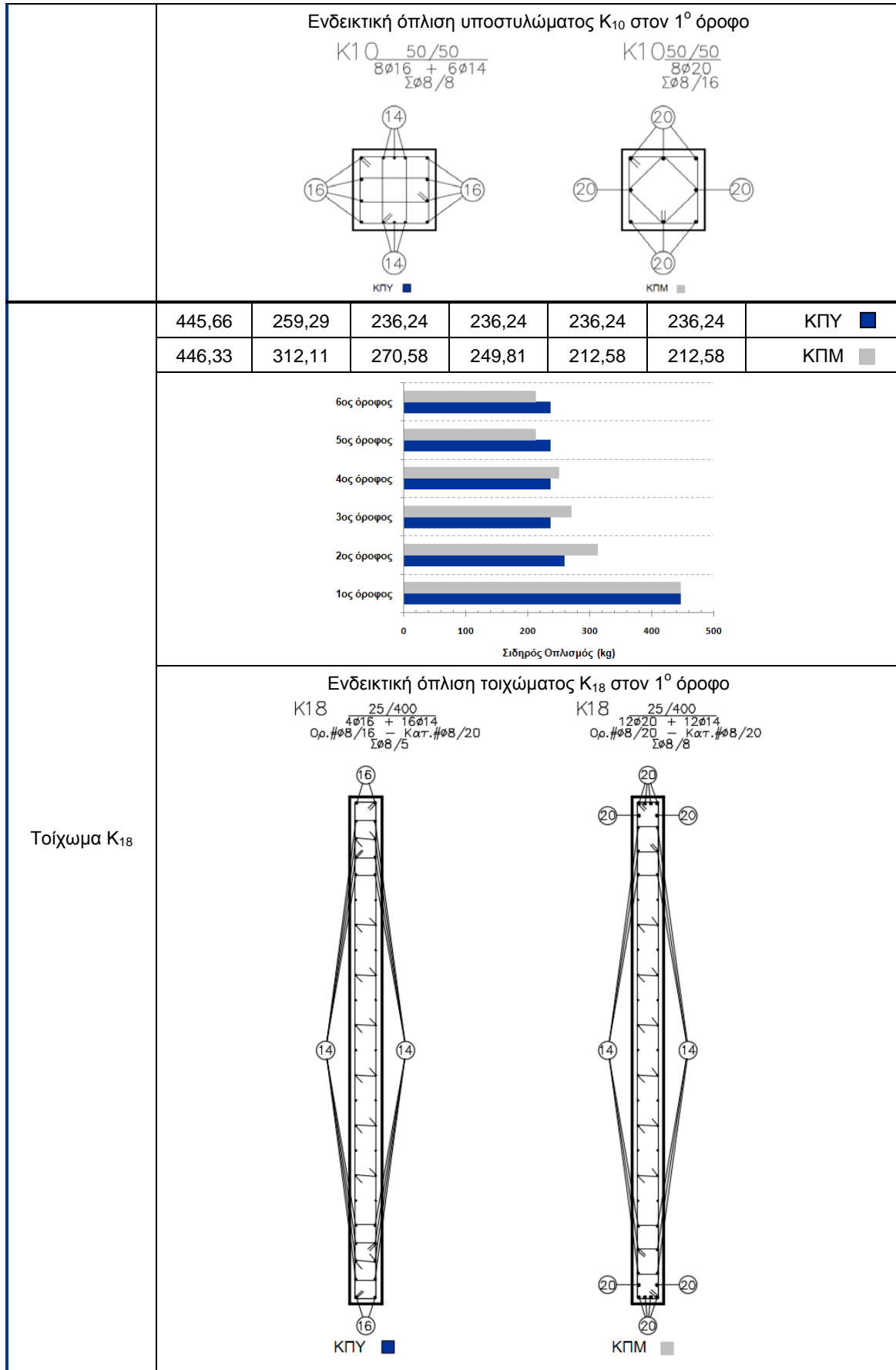
4.2.2.2. Σύγκριση Όπλισης

Ο σχεδιασμός φορέων θεωρώντας διαφορετική κατηγορία πλαστιμότητας έχει επιπτώσεις στην όπλιση των δομικών μελών. Ακολούθως παρουσιάζεται ενδεικτικά η διαφορά στον οπλισμό δοκών, υποστυλωμάτων και τοιχωμάτων του φορέα 2Α, θεωρώντας διαφορετική κατηγορία πλαστιμότητας (Πίνακας 4.38).

Από τον παρακάτω πίνακα, είναι εμφανής η επίδραση του σχεδιασμού του φορέα θεωρώντας διαφορετική κατηγορία πλαστιμότητας. Πιο συγκεκριμένα, η επίδραση είναι περισσότερο εμφανής στα υποστυλώματα στα οποία η συνολική προμέτρηση του σιδηρού οπλισμού προκύπτει πολύ μεγαλύτερη στην περίπτωση ΚΠΥ (συνολικός οπλισμός 1312,12 kg) από ότι στην ΚΠΜ (συνολικός οπλισμός 658,24 kg) για το ίδιο υποστυλόμετρο. Στα δοκάρια συμβαίνει το ακριβώς αντίθετο με τον

οπλισμό που απαιτείται μετά τη διαστασιολόγηση θεωρώντας ΚΠΜ (συνολικός οπλισμός της δοκοσειράς 2606,64 kg) να είναι μεγαλύτερος από ότι οπλίζοντας θεωρώντας ΚΠΥ (συνολικός οπλισμός της δοκοσειράς 2278,41 kg). Στα τοιχώματα η διαφορά δεν είναι τόσο εμφανής από την εφαρμογή διαφορετικής κατηγορίας πλαστιμότητας, με τους οπλισμούς να κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα, με αύξηση όμως του εγκάρσιου οπλισμού στην περίπτωση ΚΠΥ.

ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΣΙΔΗΡΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ (kg)																											
Όροφος Μέλος	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	4 ^{ος}	5 ^{ος}	6 ^{ος}	Κατηγορία Πλαστιμότητας																				
Δοκοσειρά Δ ₁	370,12	386,13	398,16	397,66	386,27	340,07	ΚΠΥ ■																				
	416,70	481,92	483,59	482,47	439,58	302,38	ΚΠΜ ■																				
	<table border="1"> <caption>Σιδηρός Οπλισμός (kg) - Δοκοσειρά Δ₁</caption> <thead> <tr> <th>Όροφος</th> <th>ΚΠΥ (kg)</th> <th>ΚΠΜ (kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1ος όροφος</td> <td>370,12</td> <td>416,70</td> </tr> <tr> <td>2ος όροφος</td> <td>386,13</td> <td>481,92</td> </tr> <tr> <td>3ος όροφος</td> <td>398,16</td> <td>483,59</td> </tr> <tr> <td>4ος όροφος</td> <td>397,66</td> <td>482,47</td> </tr> <tr> <td>5ος όροφος</td> <td>386,27</td> <td>439,58</td> </tr> <tr> <td>6ος όροφος</td> <td>340,07</td> <td>302,38</td> </tr> </tbody> </table>							Όροφος	ΚΠΥ (kg)	ΚΠΜ (kg)	1ος όροφος	370,12	416,70	2ος όροφος	386,13	481,92	3ος όροφος	398,16	483,59	4ος όροφος	397,66	482,47	5ος όροφος	386,27	439,58	6ος όροφος	340,07
Όροφος	ΚΠΥ (kg)	ΚΠΜ (kg)																									
1ος όροφος	370,12	416,70																									
2ος όροφος	386,13	481,92																									
3ος όροφος	398,16	483,59																									
4ος όροφος	397,66	482,47																									
5ος όροφος	386,27	439,58																									
6ος όροφος	340,07	302,38																									
<p>Ενδεικτική όπλιση ανοίγματος δοκού Δ_{1.3} στον 1^ο όροφο</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Δ1.3 $\frac{\text{Ανω } 2\phi 14}{\text{Κατω } 2\phi 16}$ Σφ8/20</p> <p>ΚΠΥ ■</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Δ1.3 $\frac{\text{Ανω } 2\phi 12}{\text{Κατω } 2\phi 20}$ Σφ8/20</p> <p>ΚΠΜ ■</p> </div> </div>																											
Υποστύλωμα Κ ₁₀	178,42	139,22	173,63	265,40	265,40	290,05	ΚΠΥ ■																				
	131,99	105,25	105,25	105,25	105,25	105,25	ΚΠΜ ■																				
	<table border="1"> <caption>Σιδηρός Οπλισμός (kg) - Υποστύλωμα Κ₁₀</caption> <thead> <tr> <th>Όροφος</th> <th>ΚΠΥ (kg)</th> <th>ΚΠΜ (kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1ος όροφος</td> <td>178,42</td> <td>131,99</td> </tr> <tr> <td>2ος όροφος</td> <td>139,22</td> <td>105,25</td> </tr> <tr> <td>3ος όροφος</td> <td>173,63</td> <td>105,25</td> </tr> <tr> <td>4ος όροφος</td> <td>265,40</td> <td>105,25</td> </tr> <tr> <td>5ος όροφος</td> <td>265,40</td> <td>105,25</td> </tr> <tr> <td>6ος όροφος</td> <td>290,05</td> <td>105,25</td> </tr> </tbody> </table>							Όροφος	ΚΠΥ (kg)	ΚΠΜ (kg)	1ος όροφος	178,42	131,99	2ος όροφος	139,22	105,25	3ος όροφος	173,63	105,25	4ος όροφος	265,40	105,25	5ος όροφος	265,40	105,25	6ος όροφος	290,05
Όροφος	ΚΠΥ (kg)	ΚΠΜ (kg)																									
1ος όροφος	178,42	131,99																									
2ος όροφος	139,22	105,25																									
3ος όροφος	173,63	105,25																									
4ος όροφος	265,40	105,25																									
5ος όροφος	265,40	105,25																									
6ος όροφος	290,05	105,25																									



Πίνακας 4.38 Σύγκριση προμέτρησης σιδηρού οπλισμού ενδεικτικών μελών του φορέα 2Α για διαφορετική κατηγορία πλαστιμότητας.

Αυτό συμβαίνει γιατί αφενός μεν μειώνεται η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς καθώς μειώνεται η πλαστιμότητα της κατασκευής (ΚΠΥ → ΚΠΜ) οδηγώντας σε δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη, αφετέρου δε οι έλεγχοι για ΚΠΥ είναι συντηρητικότεροι και οι πρόσθετες διατάξεις που υπάρχουν για την διαστασιολόγηση των δομικών μελών οδηγούν σε αυξημένη όπλιση.

4.2.3. Επίπτωση Ικανοτικού Ελέγχου Κόμβων

Για την αποφυγή σχηματισμού πλαστικού μηχανισμού μαλακού ορόφου ο EC μέσω του ικανοτικού ελέγχου κόμβων εξασφαλίζει ότι η αστοχία των δοκών που συντρέχουν σε κόμβο πλαισίων θα προηγείται της αστοχίας των υποστυλωμάτων.

Προκείμενου να διαπιστωθεί η επίδραση του ικανοτικού ελέγχου κόμβων, έγιναν αναλύσεις κατά τη διαστασιολόγηση με και χωρίς πραγματοποίηση αυτού του ελέγχου στον ίδιο φορέα (Αναλύσεις 2A-1, 2A-2).

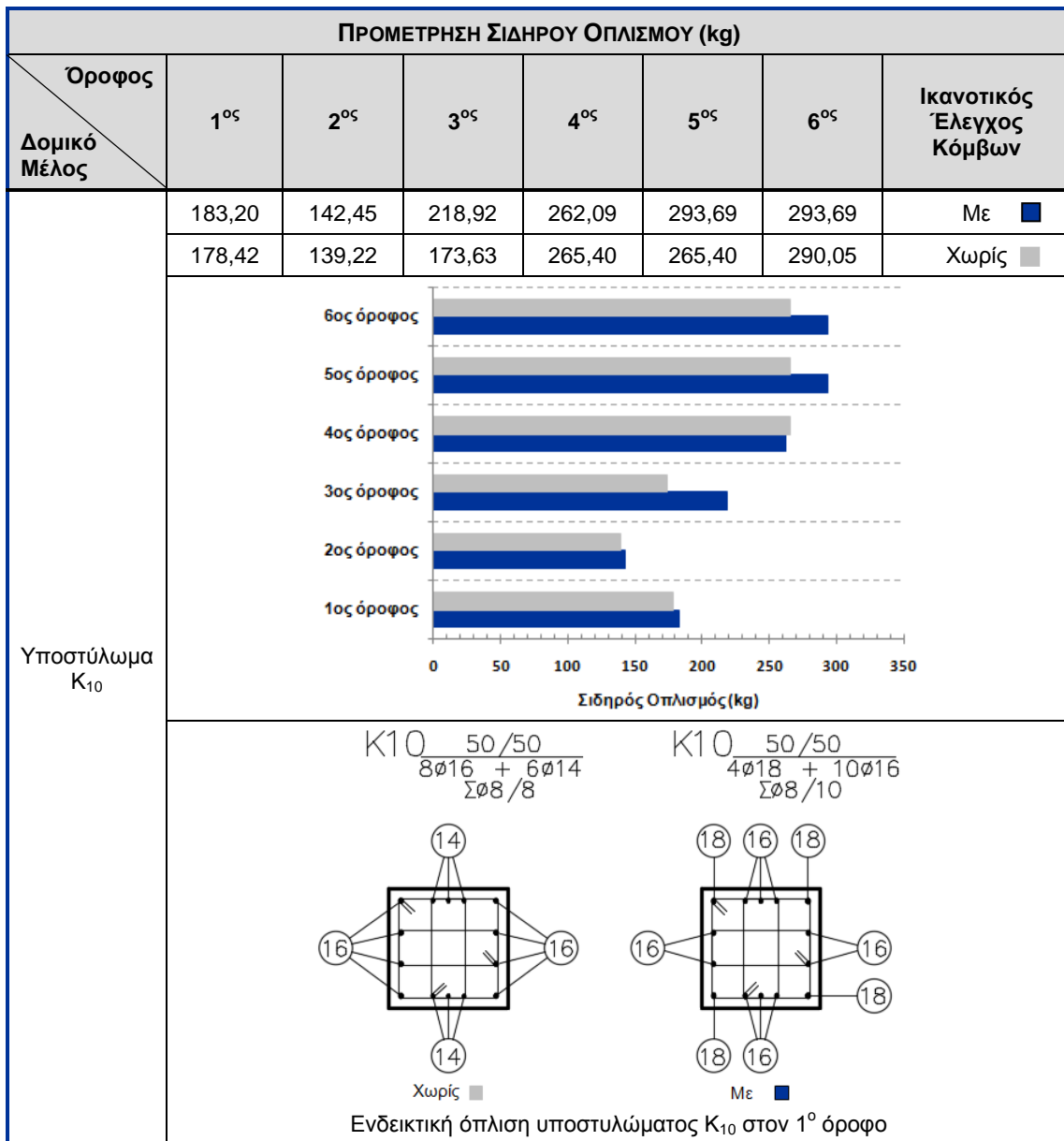
4.2.3.1. Σύγκριση Όπλισης

Ο σχεδιασμός φορέων πραγματοποιώντας ικανοτικό έλεγχο κόμβων έχει επιπτώσεις στην όπλιση των δομικών μελών. Πιο συγκεκριμένα ο οπλισμός των δοκών δεν επηρεάζεται παρά μόνο ο οπλισμός των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στον κόμβο.

Ακολούθως παρουσιάζεται ενδεικτικά η διαφορά στον οπλισμό υποστυλωμάτων του φορέα 2A, μετά από διαστασιολόγηση με και χωρίς ικανοτικό έλεγχο κόμβων (Πίνακας 4.39).

Από τον παρακάτω πίνακα, είναι εμφανής η επίδραση του σχεδιασμού του φορέα πραγματοποιώντας ή μη ικανοτικό έλεγχο κόμβων.

Πιο συγκεκριμένα, η επίδραση παρουσιάζεται μέσω της συνολικής προμέτρησης του σιδηρού οπλισμού που προκύπτει μεγαλύτερη στην περίπτωση πραγματοποίησης ικανοτικού ελέγχου κόμβων. Ενδεικτικά, ο συνολικός οπλισμός του υποστυλώματος K_{10} προκύπτει 1394,04 kg στην περίπτωση όπλισης μετά από ικανοτικό έλεγχο κόμβων και 1287,47 kg χωρίς τον έλεγχο. Αυτή η αύξηση του συνολικού βάρους του οπλισμού, οφείλεται στην αύξηση του διαμήκους οπλισμού.



Πίνακας 4.39 Σύγκριση προμέτρησης σιδηρού οπλισμού ενδεικτικού υποστυλώματος του φορέα 2Α μετά από ανάλυση με και χωρίς ικανοτικό έλεγχο κόμβων.

4.2.4. Μεταβολή της Σεισμικής Ζώνης

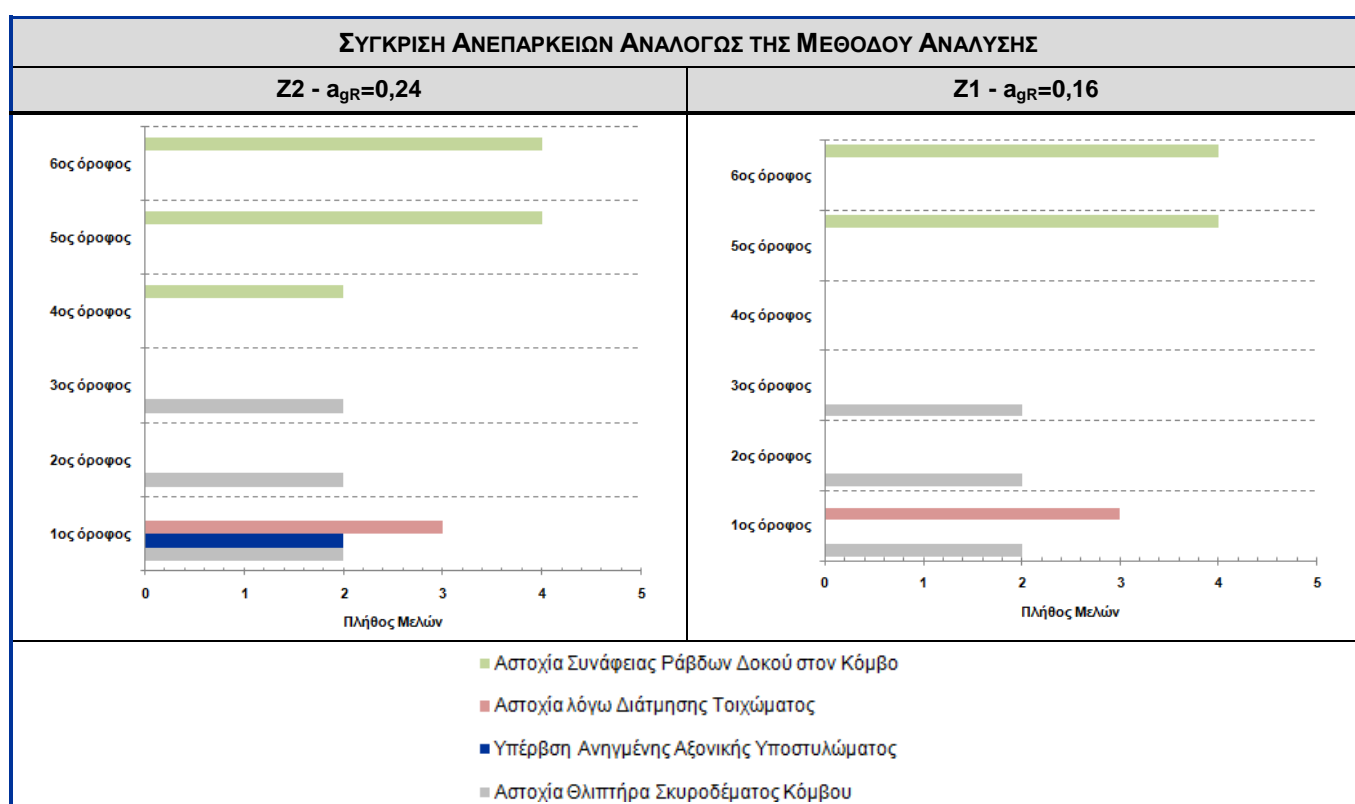
Η σεισμική δράση καθορίζεται από την επιτάχυνση του εδάφους αναλόγως της σεισμικής ζώνης σχεδιασμού.

Προκείμενου να διαπιστωθεί η επίδραση της αλλαγής της σεισμικής ζώνης κατά τη διαστασιολόγηση, έγιναν αναλύσεις μεταβάλλοντας τη σεισμική ζώνη από Z2- $a_{gR}=0,24$ σε Z1- $a_{gR}=0,16$ (Αναλύσεις 2Α-1, 2Α-5).

4.2.4.1. Διαφορές στις Εμφανιζόμενες Ανεπάρκειες

Από τις επιλύσεις, και στις δύο περιπτώσεις προκύπτουν ανεπάρκειες στον φορέα.

Οι ανεπάρκειες που προκύπτουν στην περίπτωση σεισμικής ζώνης Z2 αναλύθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο. Από την αλλαγή της σεισμικής ζώνης σε Z1 προκύπτουν ανεπάρκειες σε μικρότερο αριθμό δομικών μελών. Αστοχίες θλιπτήρα σκυροδέματος κόμβου εμφανίζονται σε 2 κόμβους στους 1^ο μέχρι και 3^ο ορόφους. Επίσης, παρατηρείται αστοχία λόγω διάτμησης σε 3 τοιχώματα του 1^{ου} ορόφου. Τέλος, παρατηρείται και αστοχία συνάφειας των ράβδων των δοκών σε 4 κόμβους στον 5^ο όροφο και σε 4 κόμβους στον 6^ο όροφο. (Πίνακες 4.40, 4.41).



Πίνακας 4.40 Σύγκριση ανεπαρκειών φορέα 2Α αναλόγως της σεισμικής ζώνης.

Οι διαφορές ως προς την εμφάνιση ανεπαρκειών είναι πολύ μικρές μεταξύ των δύο περιπτώσεων θεώρησης σεισμικής ζώνης. Δυσμενέστερη είναι σαφώς η θεώρηση σχεδιασμού φορέα σε σεισμική ζώνη Z2.

ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	
	Z2 - $a_{gR}=0,24$	Z1 - $a_{gR}=0,16$
Αστοχία Θλιπτήρα Σκυροδέματος Κόμβου	$K_7(1), K_{10}(1),$ $K_7(2), K_{10}(2),$ $K_7(3), K_{10}(3)$	$K_7(1), K_{10}(1),$ $K_7(2), K_{10}(2),$ $K_7(3), K_{10}(3)$
Υπέρβαση Ανηγμένης Αξονικής Υποστυλώματος	$K_{20}(1), K_{21}(1)$	-
Αστοχία λόγω Διάτμησης Τοιχώματος	$K_{17}(1), K_{22}(1), K_{23}(1)$	$K_{17}(1), K_{22}(1), K_{23}(1)$
Αστοχία Συνάφειας Ράβδων Δοκού στον Κόμβο	$K_8(4), K_9(4),$ $K_7(5), K_8(5), K_9(5), K_{10}(5),$ $K_7(6), K_8(6), K_9(6), K_{10}(6)$	$K_7(5), K_8(5), K_9(5), K_{10}(5),$ $K_7(6), K_8(6), K_9(6), K_{10}(6)$

Πίνακας 4.41 Ανεπάρκειες που εμφανίζονται στις αναλύσεις με διαφορετική σεισμική ζώνη στο φορέα 2Α.

4.2.4.2. Σύγκριση Όπλισης

Ο σχεδιασμός φορέων πραγματοποιώντας αναλύσεις θεωρώντας διαφορετικές σεισμικές ζώνες έχει επιπτώσεις στην όπλιση των δομικών μελών.

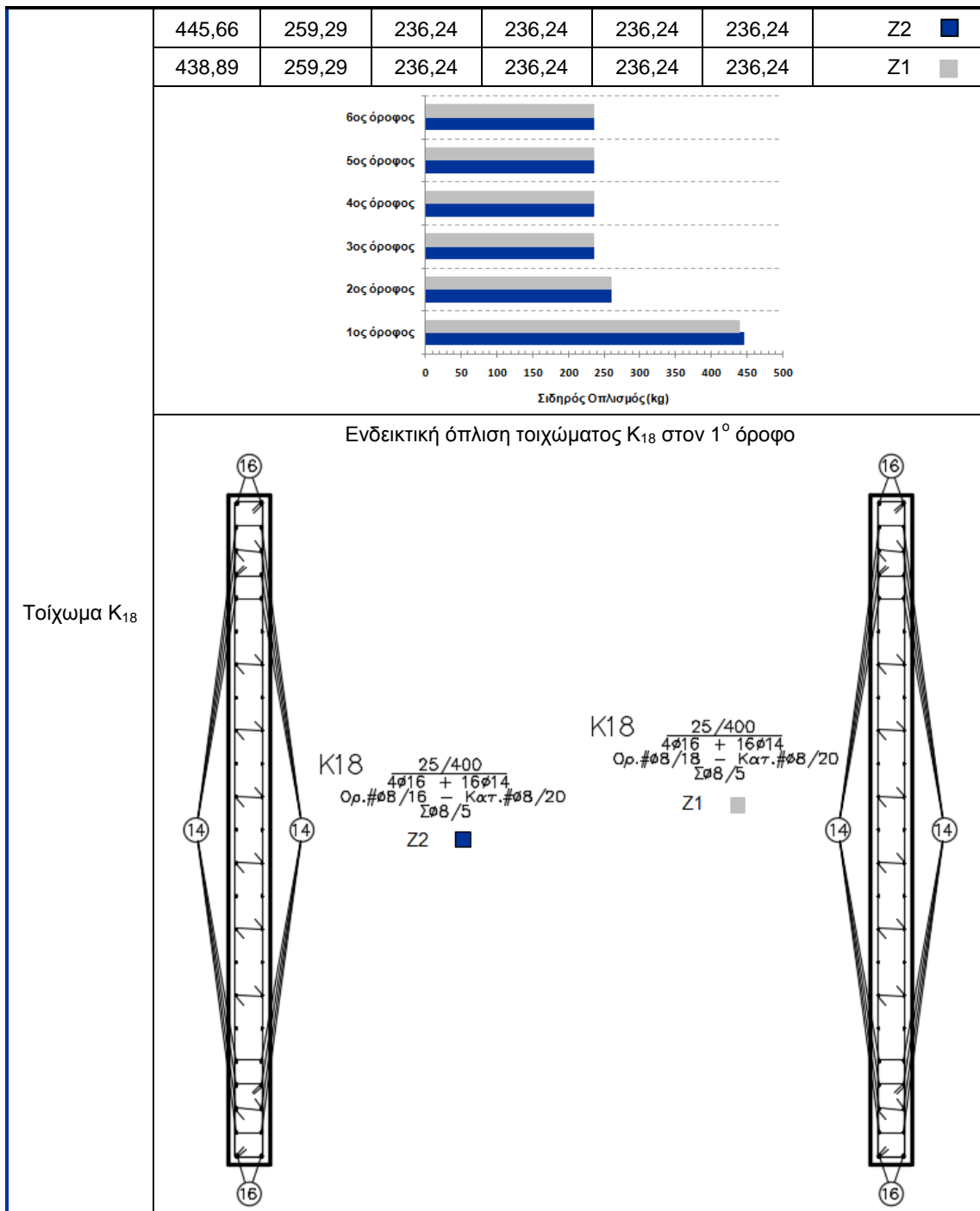
Ακολούθως παρουσιάζεται ενδεικτικά η διαφορά στον οπλισμό διαφόρων δομικών μελών του φορέα 2Α, μετά από διαστασιολόγηση για διαφορετικές σεισμικές ζώνες (Πίνακας 4.42).

Πιο συγκεκριμένα, η επίδραση είναι εμφανής στην όπλιση των δοκών καθώς η όπλιση των υποστυλωμάτων και τοιχωμάτων είναι περίπου ίδια και στις δύο περιπτώσεις και η διαφορά έγκειται στην όπλιση συνδετήρων.

Η έντονη διαφορά στο συνολικό οπλισμό καθ' ύψος για το συγκεκριμένο υποστυλώμα για διαφορετική σεισμική ζώνη οφείλεται αποκλειστικά στην αύξηση της εγκάρσιας όπλισης στους ανώτερους ορόφους.

Το συνολικό βάρος του οπλισμού που απαιτείται για τη δοκοσειρά Δ_1 μετά από ανάλυση σε σεισμική ζώνη Z1 είναι περίπου 10% λιγότερο από ότι για σεισμική ζώνη Z2 (Z1→2064,02 kg και Z2→2278,41 kg).

ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΣΙΔΗΡΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ (kg)																											
Όροφος Δομικό Μέλος	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	4 ^{ος}	5 ^{ος}	6 ^{ος}	Σεισμική Ζώνη																				
Δοκοσειρά Δ ₁	370,12	386,13	398,16	397,66	386,27	340,07	Z2 ■																				
	358,45	340,07	340,11	340,07	345,25	340,07	Z1 ■																				
	<table border="1"> <caption>Σιδηρός Οπλισμός (kg) για Δοκοσειρά Δ₁</caption> <thead> <tr> <th>Όροφος</th> <th>Z2 (kg)</th> <th>Z1 (kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6ος όροφος</td> <td>340,07</td> <td>386,13</td> </tr> <tr> <td>5ος όροφος</td> <td>345,25</td> <td>340,07</td> </tr> <tr> <td>4ος όροφος</td> <td>397,66</td> <td>340,07</td> </tr> <tr> <td>3ος όροφος</td> <td>398,16</td> <td>340,11</td> </tr> <tr> <td>2ος όροφος</td> <td>386,13</td> <td>340,07</td> </tr> <tr> <td>1ος όροφος</td> <td>370,12</td> <td>358,45</td> </tr> </tbody> </table>							Όροφος	Z2 (kg)	Z1 (kg)	6ος όροφος	340,07	386,13	5ος όροφος	345,25	340,07	4ος όροφος	397,66	340,07	3ος όροφος	398,16	340,11	2ος όροφος	386,13	340,07	1ος όροφος	370,12
Όροφος	Z2 (kg)	Z1 (kg)																									
6ος όροφος	340,07	386,13																									
5ος όροφος	345,25	340,07																									
4ος όροφος	397,66	340,07																									
3ος όροφος	398,16	340,11																									
2ος όροφος	386,13	340,07																									
1ος όροφος	370,12	358,45																									
<p>Ενδεικτική όπλιση ανοίγματος δοκού Δ_{1,3} στον 1^ο όροφο</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Δ1 .3 $\frac{Ανω 2\phi 14}{Κατω 2\phi 16}$ Σφ8/20</p> <p>Z2 ■</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Δ1 .3 $\frac{Ανω 2\phi 14}{Κατω 2\phi 14}$ Σφ8/20</p> <p>Z1 ■</p> </div> </div>																											
Υποστυλώμα Κ ₅	171,72	169,17	214,78	268,68	268,68	268,68	Z2 ■																				
	171,72	131,85	169,17	169,17	268,68	268,68	Z1 ■																				
	<table border="1"> <caption>Σιδηρός Οπλισμός (kg) για Υποστυλώμα Κ₅</caption> <thead> <tr> <th>Όροφος</th> <th>Z2 (kg)</th> <th>Z1 (kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6ος όροφος</td> <td>268,68</td> <td>169,17</td> </tr> <tr> <td>5ος όροφος</td> <td>268,68</td> <td>131,85</td> </tr> <tr> <td>4ος όροφος</td> <td>268,68</td> <td>214,78</td> </tr> <tr> <td>3ος όροφος</td> <td>268,68</td> <td>169,17</td> </tr> <tr> <td>2ος όροφος</td> <td>268,68</td> <td>169,17</td> </tr> <tr> <td>1ος όροφος</td> <td>171,72</td> <td>171,72</td> </tr> </tbody> </table>							Όροφος	Z2 (kg)	Z1 (kg)	6ος όροφος	268,68	169,17	5ος όροφος	268,68	131,85	4ος όροφος	268,68	214,78	3ος όροφος	268,68	169,17	2ος όροφος	268,68	169,17	1ος όροφος	171,72
Όροφος	Z2 (kg)	Z1 (kg)																									
6ος όροφος	268,68	169,17																									
5ος όροφος	268,68	131,85																									
4ος όροφος	268,68	214,78																									
3ος όροφος	268,68	169,17																									
2ος όροφος	268,68	169,17																									
1ος όροφος	171,72	171,72																									
<p>Ενδεικτική όπλιση υποστυλώματος Κ₅ στον 3^ο όροφο</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Κ5 $\frac{70/30}{6\phi 16 + 6\phi 14}$ Σφ12/7</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Κ5 $\frac{70/30}{6\phi 16 + 6\phi 14}$ Σφ10/7</p> </div> </div>																											



Πίνακας 4.42 Σύγκριση προμέτρησης σιδηρού οπλισμού ενδεικτικών δομικών μελών του φορέα 2Α μετά από ανάλυση θεωρώντας διαφορετικές σεισμικές ζώνες.

4.2.5. Επίδραση Σχεδιασμού Φορέα με Τοιχώματα

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση του σχεδιασμού φορέων με διαφορετική διάταξη τοιχωμάτων στη διαστασιολόγηση, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις του ίδιου φορέα με αντικατάσταση του τοιχώματος μορφής Π με δύο και τέσσερα γωνιακά τοιχώματα, διατηρώντας τις υπόλοιπες παραδοχές ίδιες. Επίσης, στους

τροποποιημένους φορείς έγινε προσθήκη μιας δοκού μεταξύ των δύο κεντρικών υποστυλωμάτων.

Με αυτόν τον τρόπο, προσδιορίζεται η επίδραση σχεδιασμού φορέα με διαφορετική διάταξη τοιχωμάτων στη συνολική προμέτρηση του κτιρίου και στην ιδιοπερίοδο (*Αναλύσεις 2A-1, 2B-1, 2B-2, 2Γ-1, 2Γ-2*).

4.2.5.1. Σύγκριση Όπλισης

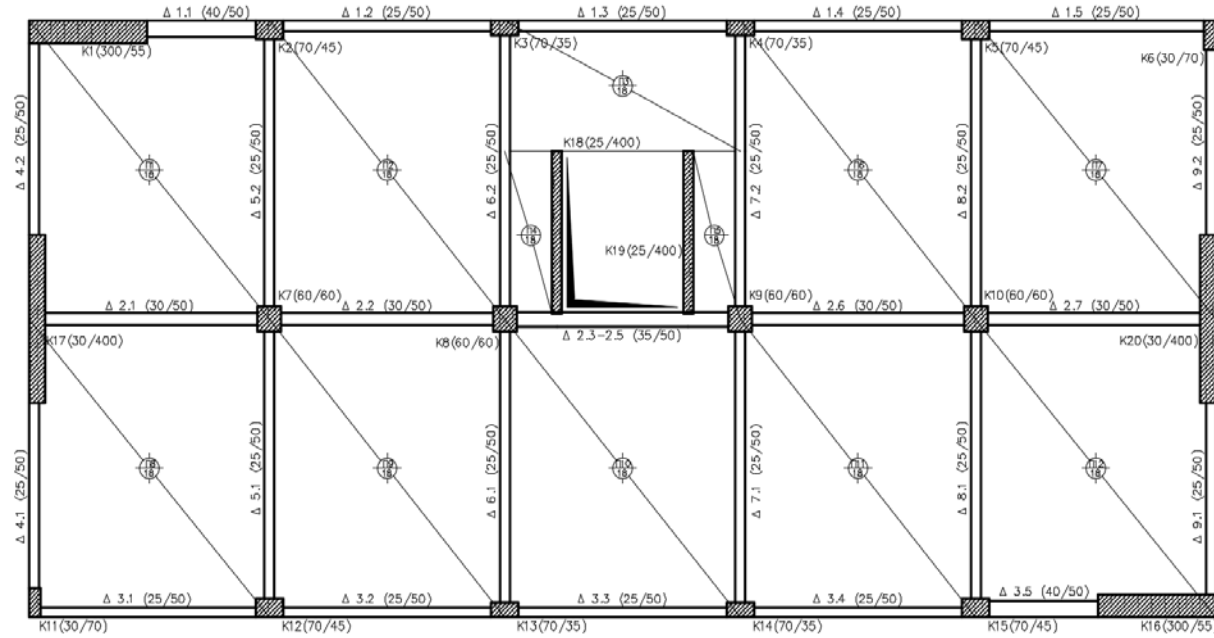
Προκειμένου να γίνει η σύγκριση του αρχικού φορέα με τους τροποποιημένους φορείς με τα δύο και τέσσερα γωνιακά τοιχώματα, απαιτείται η εύρεση των φορέων χωρίς ανεπάρκειες.

Πραγματοποιήθηκαν διαδοχικές αναλύσεις για τον προσδιορισμό των τροποποιημένων φορέων με διαφορετική διάταξη τοιχωμάτων (*Ανάλυση 2B-1 → 2B-2 και 2Γ-1 → 2Γ-2*).

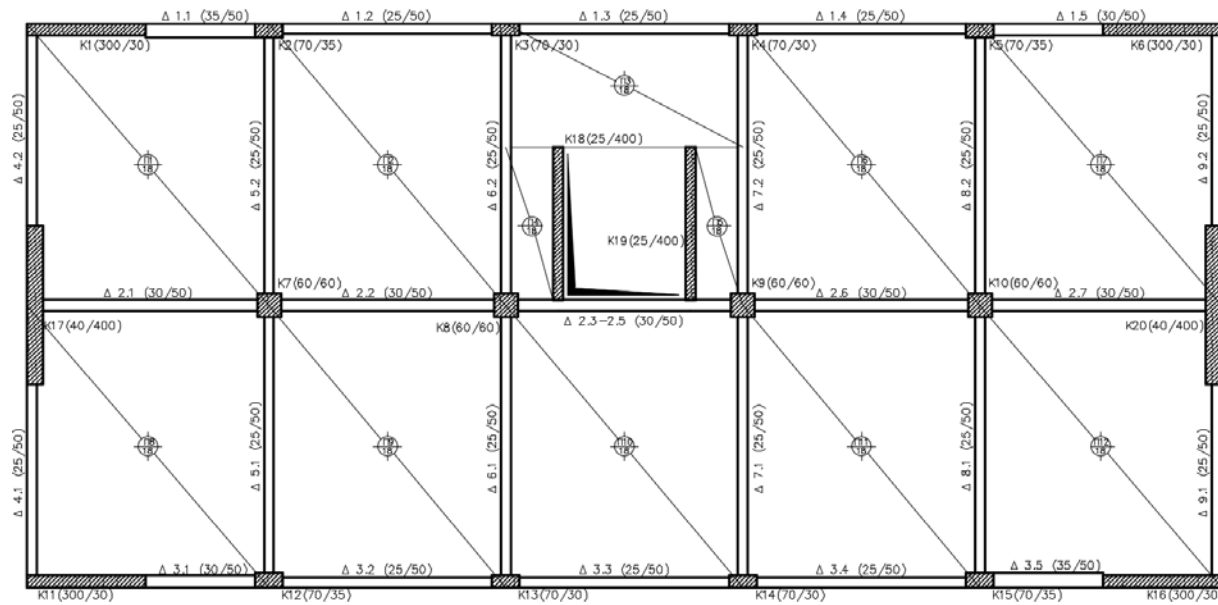
Στον αρχικό φορέα (φορέας 2A) δεν κατέστη δυνατή η αντιμετώπιση της αστοχίας λόγω διάτμησης του τοιχώματος K_{22} στον 1^ο όροφο ακόμα και με το μέγιστο δυνατό πάχος, καθώς δεν μπορεί να αλλάξει το μήκος του δεδομένου ότι αποτελεί τμήμα του σύνθετου τοιχώματος μορφής Π. Η εμφάνιση της ανεπάρκειας αυτής οφείλεται στο ότι δεν υπάρχει άλλο τοίχωμα κατά τη διεύθυνση X του φορέα. Για αυτό το λόγο, σχεδιάστηκαν οι τελικοί φορείς των δύο άλλων παραλλαγών.

Οι ανεπάρκειες που παρουσιάστηκαν στους αρχικούς τροποποιημένους φορείς, οι ξυλότυποι των οποίων παρουσιάζονται σε προηγούμενο κεφάλαιο, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (*Πίνακας 4.43*) και ακολούθως παρουσιάζονται οι φορείς χωρίς ανεπάρκειες (*Σχέδιο 4.10*).

ΦΟΡΕΑΣ ΜΕ 2 ΓΩΝΙΑΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ



ΦΟΡΕΑΣ ΜΕ 4 ΓΩΝΙΑΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ



Σχέδιο 4.10 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέων χωρίς ανεπάρκειες με 2 και 4 γωνιακά τοιχώματα.

ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΡΧΙΚΩΝ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΦΟΡΕΩΝ	
	Φορέας με 2 Γωνιακά Τοιχώματα	Φορέας με 4 Γωνιακά Τοιχώματα
Αστοχία Θλιπτήρα Σκυροδέματος Κόμβου	$K_2(1), K_7(1), K_8(1), K_{10}(1), K_{15}(1),$ $K_2(2), K_7(2), K_{10}(2), K_{15}(2),$ $K_2(3), K_7(3), K_{10}(3), K_{15}(3)$	$K_7(1), K_8(1), K_9(1), K_{10}(1),$ $K_7(2), K_{10}(2),$ $K_7(3), K_{10}(3)$
Αστοχία λόγω Διάτμησης	Δοκοί: $\Delta_{2.3}(2), \Delta_{2.5}(2),$ $\Delta_{2.3}(3), \Delta_{2.5}(3),$ $\Delta_{2.3}(4), \Delta_{2.5}(4),$ $\Delta_{2.3}(5), \Delta_{2.5}(5)$ Τοιχώματα: $K_1(1), K_{16}(1), K_{17}(1), K_{20}(1)$	$\Delta_{2.3}(2), \Delta_{2.5}(2),$ $\Delta_{2.3}(3), \Delta_{2.5}(3),$ $\Delta_{2.3}(4), \Delta_{2.5}(4),$ $\Delta_{2.3}(5), \Delta_{2.5}(5)$ $K_{17}(1), K_{20}(1)$
Υπερβασή Απαίτησης Δισδιαγώνιου Οπλισμού	$\Delta_{1.1}(1), \Delta_{2.3}(1), \Delta_{2.5}(1), \Delta_{3.5}(1),$ $\Delta_{1.1}(2), \Delta_{2.3}(2), \Delta_{2.5}(2), \Delta_{3.5}(2),$ $\Delta_{1.1}(3), \Delta_{2.4}(3), \Delta_{3.5}(3),$ $\Delta_{1.1}(4), \Delta_{3.5}(4),$ $\Delta_{1.1}(5), \Delta_{3.5}(5),$ $\Delta_{2.3}(6), \Delta_{2.5}(6)$	$\Delta_{2.3}(1), \Delta_{2.5}(1),$ $\Delta_{1.1}(2), \Delta_{2.3}(2), \Delta_{2.5}(2), \Delta_{3.5}(2),$ $\Delta_{1.1}(3), \Delta_{2.4}(3), \Delta_{3.5}(3),$ $\Delta_{1.1}(4), \Delta_{3.5}(4),$ $\Delta_{1.1}(5), \Delta_{3.5}(5),$ $\Delta_{2.3}(6), \Delta_{2.5}(6)$
Αστοχία Συνάφειας Ράβδων Δοκού στον Κόμβο	$K_8(1), K_9(1),$ $K_8(2), K_9(2),$ $K_8(3), K_9(3),$ $K_8(4), K_9(4),$ $K_7(5), K_8(5), K_9(5), K_{10}(5),$ $K_7(6), K_8(6), K_9(6), K_{10}(6)$	$K_8(1), K_9(1),$ $K_8(2), K_9(2),$ $K_8(3), K_9(3),$ $K_8(4), K_9(4),$ $K_7(5), K_8(5), K_9(5), K_{10}(5),$ $K_7(6), K_8(6), K_9(6), K_{10}(6)$

Πίνακας 4.43 Ανεπάρκειες κατά τη διαστασιολόγηση των αρχικών τροποποιημένων φορέων 2B και 2Γ με τοιχώματα.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι στους τελικούς τροποποιημένους φορείς χωρίς ανεπάρκειες που προέκυψαν, στις δοκούς $\Delta_{2.3}$ και $\Delta_{2.5}$ απαιτείται η τοποθέτηση δισδιαγώνιου οπλισμού παρόλο που το πλάτος της διατομής τους αυξήθηκε.

Ο σχεδιασμός των τροποποιημένων φορέων 2B και 2Γ με δύο και τέσσερα γωνιακά τοιχώματα, έχει επιπτώσεις στη συνολική προμέτρηση του κτιρίου (Πίνακας 4.44).

	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ	
	2 Γωνιακά Τοιχώματα	4 Γωνιακά Τοιχώματα
Βάρος σιδηρού οπλισμού (kg)	69245,55	70804,25
Όγκος σκυροδέματος (m^3)	763,10	751,00
Αναλογία οπλισμού-σκυροδέματος (kg/m^3)	90,75	94,30

Πίνακας 4.44 Σύγκριση συνολικής προμέτρησης φορέων με 2 και 4 γωνιακά τοιχώματα.

Από τον παραπάνω πίνακα συνολικής προμέτρησης, παρατηρείται ότι σχεδιάζοντας ένα φορέα με τέσσερα γωνιακά τοιχώματα αντί δύο, ο συνολικός όγκος του

απαιτούμενου σκυροδέματος είναι λιγότερος παρόλο που θα αναμενόταν το αντίθετο καθώς αυξάνεται το πλήθος των τοιχωμάτων.

Όσον αφορά στο βάρος του σιδηρού οπλισμού, στην περίπτωση των δύο τοιχωμάτων απαιτείται λιγότερος οπλισμός συγκριτικά με την περίπτωση του φορέα με τέσσερα τοιχώματα, διατηρώντας την αναλογία οπλισμού - σκυροδέματος σχεδόν ίδια στους δύο φορείς.

4.2.5.2. Επίπτωση στην Ιδιοπερίοδο της Κατασκευής

Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 4.45) παρουσιάζονται οι τιμές της δεσπόζουσας ιδιοπεριόδου της κατασκευής για κάθε κατεύθυνση σεισμικής φόρτισης σε φορέα σχεδιασμένο με δύο και τέσσερα γωνιακά τοιχώματα, για τις τέσσερις περιπτώσεις θεώρησης μετατόπισης μάζας κατά τις διευθύνσεις $\pm X$ και $\pm Z$.

Από την ανάλυση του φορέα, προκύπτει πολύ μικρή μεταβολή της τιμής της ιδιοπεριόδου στους φορείς με δύο γωνιακά τοιχώματα σε σχέση με το φορέα με τέσσερα γωνιακά τοιχώματα. Επίσης, η τιμή της ιδιοπεριόδου στους φορείς με γωνιακά τοιχώματα είναι $T \approx 0,6$ sec, ενώ στον αρχικό φορέα $T \approx 0,7$ sec.

Επομένως, η διαφορετική διάταξη τοιχωμάτων δεν επηρέασε την ιδιοπερίοδο του φορέα και συνεπώς ούτε και τη σεισμική επιτάχυνση σχεδιασμού σε μεγάλο βαθμό.

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ($q=4,40$)		ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΣ T (sec)		ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ a (m/sec ²)		
		Μετατόπιση Μάζας	Δεσπόζουσα κατά X	Δεσπόζουσα κατά Z	κατά X	κατά Z
Αρχικός Φορέας		$\pm X$	0,749	0,633	1,071	1,268
		$\pm Z$	0,740	0,620	1,085	1,295
Τροποποιημένοι Φορείς	2 Γωνιακά Τοιχώματα	$\pm X$	0,643	0,572	1,249	1,403
		$\pm Z$	0,645	0,559	1,244	1,436
	4 Γωνιακά Τοιχώματα	$\pm X$	0,602	0,586	1,333	1,371
		$\pm Z$	0,605	0,575	1,328	1,397

Πίνακας 4.45 Επίδραση σχεδιασμού φορέα 2 με διαφορετική διάταξη τοιχωμάτων στις τιμές της ιδιοπεριόδου κατασκευής.

4.2.6. Μεταβολή του Πάχους της Πλάκας

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση της απομείωσης του πάχους της πλάκας στο ελάχιστο, για την οριακή ικανοποίηση των ελέγχων παραμορφώσεων (έλεγχος

βελών) στη διαστασιολόγηση μιας κατασκευής, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις στους δύο τροποποιημένους φορείς μειώνοντας στο ελάχιστο το πάχος της πλάκας (Αναλύσεις 2B-3, 2Γ-3) και έγινε σύγκριση με τον αντίστοιχο φορέα με το αρχικό πάχος πλακών (Αναλύσεις 2B-1, 2Γ-1).

4.2.6.1. Σύγκριση Όπλισης

Όπως και στον φορέα 1, προκειμένου να βρεθεί ο βέλτιστος φορέας (φορείς 2B και 2Γ), εκτός από την αντιμετώπιση των ανεπαρκειών, πρέπει να γίνει και μείωση του πάχους των πλακών στο ελάχιστο.

Η μείωση αυτή του πάχους των πλακών επιδρά στη συνολική διαστασιολόγηση του φορέα καθώς μειώνονται κατ' επέκταση τα φορτία (λόγω μείωσης του ίδιου βάρους των πλακών) που αναλαμβάνουν τα δοκάρια και καταλήγουν στα υποστυλώματα. Η μείωση αυτή, γίνεται μέχρι την οριακή τιμή για την ικανοποίηση των ελέγχων παραμορφώσεων.

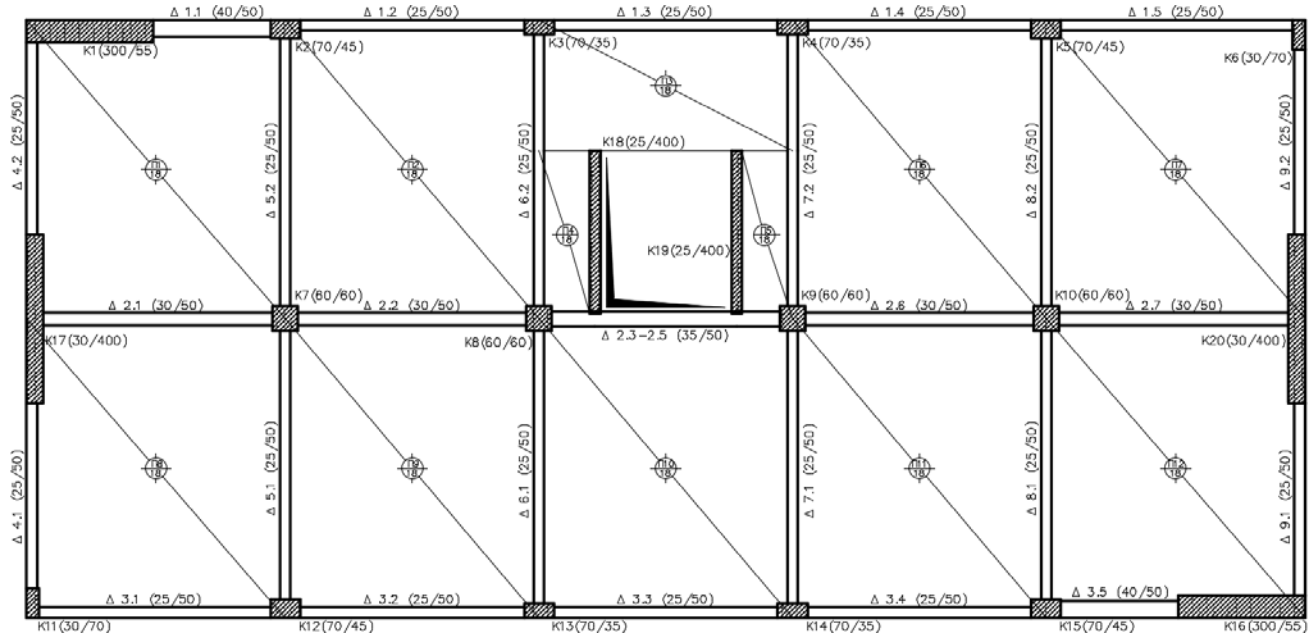
Εκτελώντας, λοιπόν, αναλύσεις με διαδοχική μείωση του πάχους των πλακών, οι τελικοί βέλτιστοι φορείς που προκύπτουν μετά από την αντιμετώπιση των ανεπαρκειών είναι οι ακόλουθοι (Σχέδιο 4.11 και Σχέδιο 4.12).

Το πάχος των πλακών μειώθηκε από 18 cm σε 16 cm για τις πλάκες Π₁, Π₂, Π₃, Π₆, Π₇, Π₈, Π₁₀, Π₁₂, σε 15 cm για τις πλάκες Π₉, Π₁₁ και σε 14 cm για τις πλάκες προβόλους Π₄, Π₅.

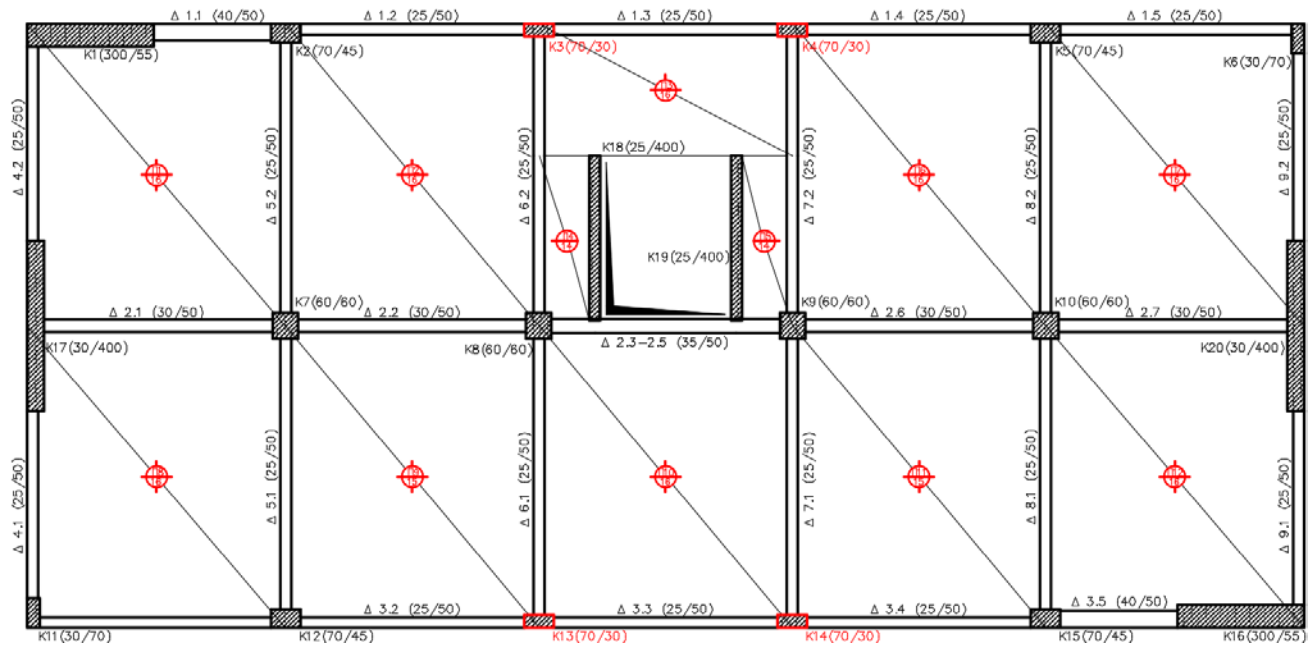
Αρχικώς, παρατηρείται για τον φορέα 2B, ότι προκύπτει φορέας με ίδιες διαστάσεις δομικών μελών παρά μόνο μία μικρή μείωση των διαστάσεων των περιμετρικών υποστυλωμάτων K₃, K₄, K₁₃, K₁₄ (70/35 → 70/30 (cm)).

Στον φορέα 2Γ, παρατηρείται σε περισσότερα μέλη μεταβολή των διαστάσεων με τη μείωση του πάχους των πλακών. Πιο συγκεκριμένα μειώνεται πολύ λίγο η διατομή των περιμετρικών υποστυλωμάτων (K₂, K₅, K₁₂, K₁₅ (70/35) → (65/35) (cm) και K₃, K₄, K₁₃, K₁₄ (70/30) → (55/35) (cm)).

ΦΟΡΕΑΣ 2B ΧΩΡΙΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΕΣ



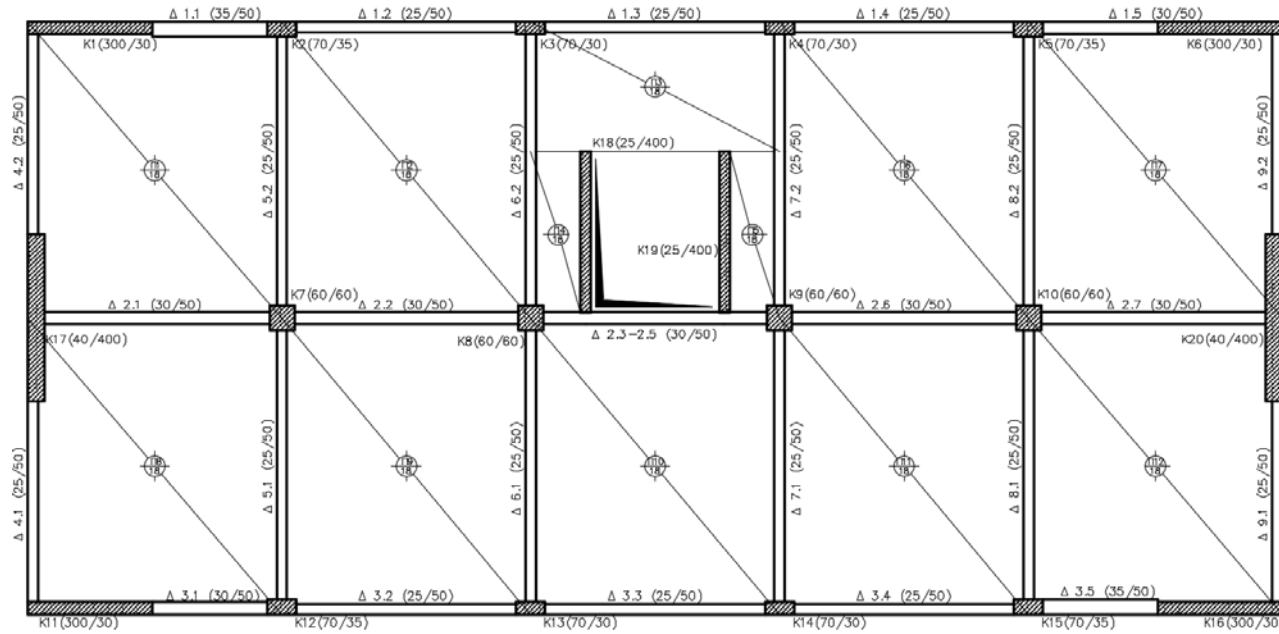
ΦΟΡΕΑΣ 2B ΧΩΡΙΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΕΣ - ΜΕΙΩΣΗ ΠΑΧΟΥΣ ΠΛΑΚΑΣ



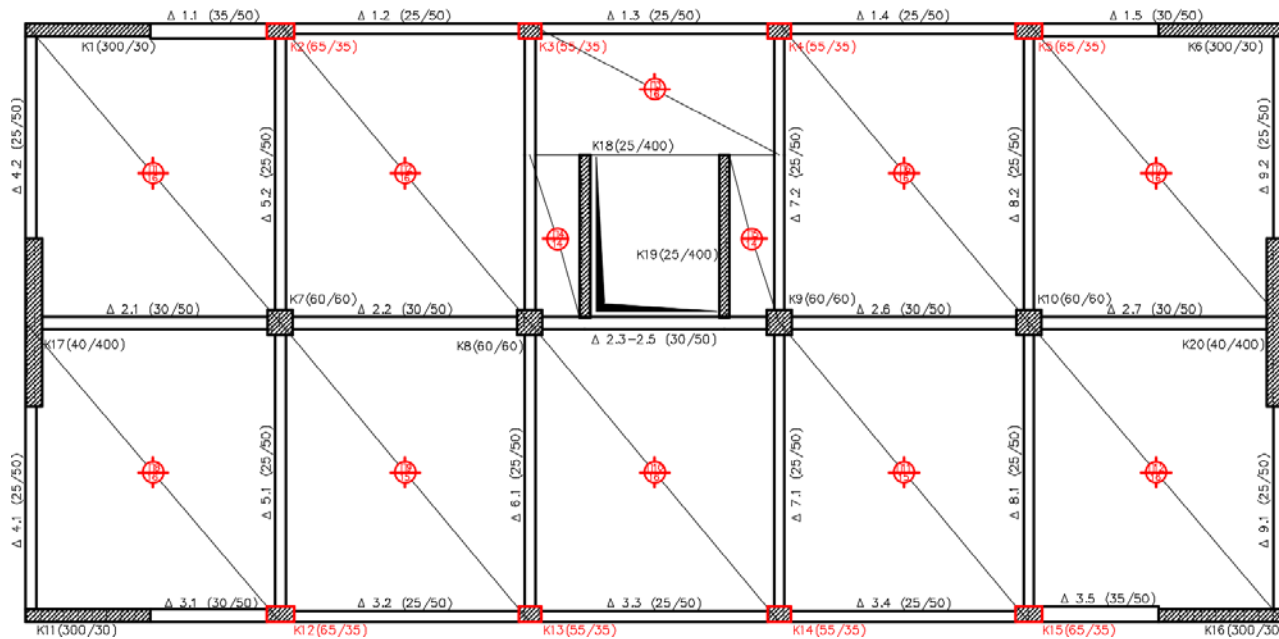
— Μεταβολή διαστάσεων δομικών μελών φορέα

Σχέδιο 4.11 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέων 2B χωρίς ανεπάρκειες χωρίς και με μείωση του πάχους της πλάκας.

ΦΟΡΕΑΣ 2Γ ΧΩΡΙΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΕΣ



ΦΟΡΕΑΣ 2Γ ΧΩΡΙΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΕΣ - ΜΕΙΩΣΗ ΠΑΧΟΥΣ ΠΛΑΚΑΣ



— Μεταβολή διαστάσεων δομικών μελών φορέα

Σχέδιο 4.12 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέων 2Γ χωρίς ανεπάρκειες χωρίς και με μείωση του πάχους της πλάκας.

Ο έλεγχος βελών παρουσιάζεται ακολούθως (Πίνακας 4.46). Στην προκειμένη περίπτωση η μείωση του πάχους έγινε μέχρι την οριακή ικανοποίηση της συνθήκης απαλλαγής από τον έλεγχο και για αυτό δεν απαιτείται ο αναλυτικός έλεγχος βελών.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΠΛΑΚΩΝ										
Απαλλαγή από τον Έλεγχο Βελών										
Πλάκα	l (m)	d (m)	K	ρ_o (‰)	As_{1_pr} (cm ²)	As_{1_req} (cm ²)	As_{2_req} (cm ²)	l/d		(l/d) _{lim}
1	6,125	0,12	1,3	5	3,14	3,01	0	51,04	<	56,76
2	6	0,12	1,3	5	3,14	3	0	50	<	57,29
3	3,125	0,12	0,4	5	2,09	2,04	0	26,04	<	31,35
4	1,325	0,1	0,4	5	2,58	1,91	0	13,25	<	34,43
5	1,325	0,1	0,4	5	2,51	2,51	0	13,25	<	16,67
6	6	0,12	1,3	5	3,14	3	0	50	<	57,29
7	6,125	0,12	1,3	5	3,14	3,01	0	51,04	<	56,76
8	6,125	0,12	1,3	5	3,14	3,01	0	51,04	<	56,76
9	6	0,11	1,5	5	3,14	3	0	54,55	<	57,89
10	6	0,12	1,5	5	3,14	3	0	50	<	65,94
11	6	0,11	1,5	5	3,14	3	0	54,55	<	57,89
12	6,125	0,12	1,3	5	3,14	3,01	0	51,04	<	56,76

Πίνακας 4.46 Απλοποιητικός έλεγχος βελών.

Η μεταβολή του πάχους των πλακών, έχει επίπτωση και στη συνολική όπλιση του κτιρίου (Πίνακες 4.47 και 4.48).

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΦΟΡΕΑ 2Β		
	Χωρίς Μείωση Πάχους Πλάκας	Με Μείωση Πάχους Πλάκας
Βάρος σιδηρού οπλισμού (kg)	69245,55	70566,85
Όγκος σκυροδέματος (m ³)	763,10	709,00
Αναλογία οπλισμού - σκυροδέματος (kg/ m ³)	90,75	99,55

Πίνακας 4.47 Σύγκριση προμέτρησης φορέα 2Β μετά από μείωση του πάχους των πλακών.

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΦΟΡΕΑ 2Γ		
	Χωρίς Μείωση Πάχους Πλάκας	Με Μείωση Πάχους Πλάκας
Βάρος σιδηρού οπλισμού (kg)	70804,25	69452,60
Όγκος σκυροδέματος (m ³)	751,00	696,65
Αναλογία οπλισμού - σκυροδέματος (kg/ m ³)	94,30	99,70

Πίνακας 4.48 Σύγκριση προμέτρησης φορέα 2Γ μετά από μείωση του πάχους των πλακών.

Από τον παραπάνω πίνακα, είναι εμφανής η επίδραση της μεταβολής του πάχους των πλακών στην όπλιση του φορέα, καθώς παρατηρείται αύξηση του τοποθετούμενου οπλισμού στον φορέα 2B και μείωση στον 2Γ. Και στους δύο φορείς παρατηρείται μείωση του συνολικού όγκου σκυροδέματος που είναι και αναμενόμενη λόγω της μείωσης των διατομών των δομικών μελών.

Πάντως, και στις δύο περιπτώσεις η μείωση του πάχους των πλακών συνεπάγεται αύξηση της αναλογίας οπλισμού - σκυροδέματος.

Αναλυτικότερα, η προμέτρηση για κάθε τύπο δομικού μέλους παρουσιάζεται ακολούθως (Πίνακες 4.49 και 4.50).

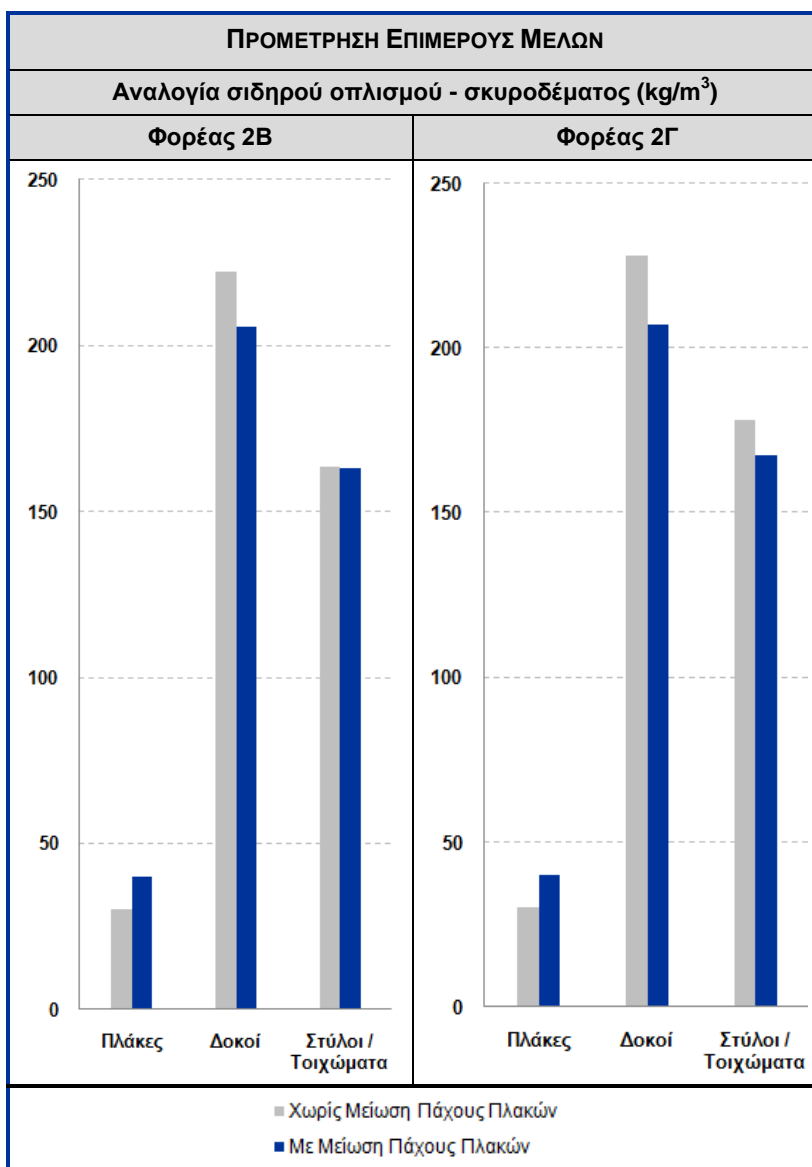
ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΜΕΛΩΝ							
		Χωρίς Μείωση Πάχους Πλακών			Με Μείωση Πάχους Πλακών		
		Πλάκες	Δοκοί	Στύλοι / Τοιχώματα	Πλάκες	Δοκοί	Στύλοι / Τοιχώματα
ΦΟΡΕΑΣ 2B	Βάρος σιδηρού οπλισμού (kg)	13743,60	16449,80	39052,75	15780,60	16264,30	38522,20
	Όγκος σκυροδέματος (m ³)	451,20	73,80	238,15	394,50	78,90	235,60
	Αναλογία οπλισμού - σκυροδέματος (kg/ m ³)	30,45	222,90	164,00	40,00	206,15	163,50
ΦΟΡΕΑΣ 2Γ	Βάρος σιδηρού οπλισμού (kg)	13743,60	16436,80	40624,45	15780,60	15902,80	37769,60
	Όγκος σκυροδέματος (m ³)	451,20	72,00	228,00	394,50	76,80	225,20
	Αναλογία οπλισμού - σκυροδέματος (kg/ m ³)	30,45	228,30	178,15	40,00	207,05	167,70

Πίνακας 4.49 Σύγκριση προμέτρησης επιμέρους δομικών μελών φορέων 2B και 2Γ μετά από μείωση του πάχους των πλακών.

Από τα παραπάνω, προκύπτει ότι η μείωση του πάχους των πλακών οδήγησε σε αύξηση του τοποθετούμενου οπλισμού κατά 15% στις πλάκες, ενώ η μείωση του οπλισμού στα δοκάρια ήταν πολύ μικρή (της τάξης του 1%) ενώ για τα υποστυλώματα η μείωση ήταν λίγο μεγαλύτερη ιδιαίτερα στο φορέα 2Γ (μείωση 7%).

Η αντίστοιχη μείωση της ποσότητας του σκυροδέματος ήταν της τάξης του 1% για τα υποστυλώματα και για τους δύο φορείς. Η αύξηση της ποσότητας σκυροδέματος στις δοκούς οφείλεται στη μεταβολή των διαστάσεων των υποστυλωμάτων που μειώνονται ενώ οι διαστάσεις της κάτοψης του φορέα παραμένουν ίδιες με τον αρχικό φορέα.

Η όπλιση των φορέων παρουσιάζεται αναλυτικά στο Παράρτημα.



Πίνακας 4.50 Σύγκριση προμέτρησης επιμέρους δομικών μελών φορέων 2B και 2Γ μετά από μείωση του πάχους των πλακών.

4.2.6.2. Επίδραση στην Ιδιοπερίοδο της Κατασκευής

Το πάχος των πλακών επηρεάζει έμμεσα την ιδιοπερίοδο της κατασκευής μέσω της αλλαγής των διατομών των δομικών μελών.

Ακολούθως (Πίνακες 4.51, 4.52) παρουσιάζονται οι τιμές της δεσπόζουσας ιδιοπεριόδου των φορέων (2B και 2Γ).

ΦΟΡΕΑΣ 2B	ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΣ T (sec)			ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ a (m/sec ²)	
	Μετατόπιση Μάζας	Δεσπόζουσα κατά X	Δεσπόζουσα κατά Z	κατά X	κατά Z
Χωρίς Μείωση Πάχους Πλακών	±X	0,643	0,572	1,249	1,403
	±Z	0,645	0,559	1,244	1,436
Με Μείωση Πάχους Πλακών	±X	0,629	0,560	1,277	1,433
	±Z	0,631	0,547	1,273	1,466

Πίνακας 4.51 Επίδραση της μεταβολής του πάχους πλακών στις τιμές της ιδιοπεριόδου του φορέα 2B.

ΦΟΡΕΑΣ 2Γ	ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΣ T (sec)			ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ a (m/sec ²)	
	Μετατόπιση Μάζας	Δεσπόζουσα κατά X	Δεσπόζουσα κατά Z	κατά X	κατά Z
Χωρίς Μείωση Πάχους Πλακών	±X	0,602	0,586	1,333	1,371
	±Z	0,605	0,575	1,328	1,397
Με Μείωση Πάχους Πλακών	±X	0,601	0,570	1,335	1,407
	±Z	0,604	0,558	1,330	1,438

Πίνακας 4.52 Επίδραση της μεταβολής του πάχους πλακών στις τιμές της ιδιοπεριόδου του φορέα 2Γ.

Προκύπτει ότι δεν παρατηρείται μεταβολή της τιμής της ιδιοπεριόδου στους φορείς που προέκυψαν μετά από μεταβολή του πάχους των πλακών καθώς δεν σημειώθηκε ιδιαίτερη μεταβολή στις διαστάσεις των μελών.

4.3. Παραμετρική Ανάλυση Διαστασιολόγησης Φορέα 3

Πραγματοποιήθηκαν παραμετρικές αναλύσεις στο φορέα 3, σκοπός των οποίων είναι ο προσδιορισμός της επίδρασης των διαφορετικών κανονισμών που ίσχυαν στην Ελλάδα για τον σχεδιασμό κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, στην όπλιση και διαστασιολόγηση.

Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με βάση τους EC2-EC8 (Ανάλυση 3A-4), τους ΕΚΩΣ-ΕΑΚ (Ανάλυση 3A-2) και του Βασιλικού Διατάγματος '54 (Ανάλυση 3A-3) και βρέθηκαν οι αντίστοιχοι φορείς χωρίς ανεπάρκειες (Αναλύσεις 3A-7, 3A-5, 3A-6) προκειμένου να γίνει η σύγκρισή τους ως προς τη συνολική προμέτρηση και να διαπιστωθεί η διαφορά στο σχεδιασμό κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα μέσω της εξέλιξης των κανονισμών.

4.3.1. Σύγκριση Κανονισμών Διαστασιολόγησης

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση σχεδιασμού με διαφορετικούς κανονισμούς στη διαστασιολόγηση μιας κατασκευής, πραγματοποιήθηκε ανάλυση στο φορέα 3Α εφαρμόζοντας τους EC2-EC8, ΕΚΩΣ-ΕΑΚ, ΒΔ'54 και διατηρώντας τις υπόλοιπες παραμέτρους σταθερές, θεωρώντας πακτωμένο φορέα (Αναλύσεις 3Α-4, 3Α-2, 3Α-3).

4.3.1.1. Διαφορές στις Εμφανιζόμενες Ανεπάρκειες

Από τις επιλύσεις προκύπτουν ανεπάρκειες στον φορέα (Πίνακας 4.53).

Πιο συγκεκριμένα, από την εφαρμογή των διατάξεων των EC2-EC8 προκύπτουν αστοχίες συνάφειας ράβδων σε 21 κόμβους και στους πέντε ορόφους του κτιρίου. Από την εφαρμογή του ακριβώς προηγούμενου κανονισμού ΕΚΩΣ-ΕΑΚ, εμφανίστηκε υπέρβαση της τιμής της τέμνουσας αντοχής σχεδιασμού λόγω λοξής θλίψης κορμού στα περιμετρικά δοκάρια του 1^{ου} ορόφου και υπέρβαση της αντοχής με το μέγιστο επιτρεπόμενο οπλισμό σε δοκάρια του 1^{ου} και 2^{ου} ορόφου. Από την εφαρμογή του παλαιότερου κανονισμού ΒΔ'54, παρουσιάστηκε υπέρβαση της αντοχής των δοκών με το μέγιστο οπλισμό σε δοκάρια του 1^{ου} ορόφου.

ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ	ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ		
	EC2-EC8	ΕΚΩΣ-ΕΑΚ	ΒΔ'54
Αστοχία Συνάφειας Ράβδων Δοκού στον Κόμβο	K ₂ (1-5), K ₃ (1-5), K ₄ (1-5), K ₆ (1-5), K ₇ (1-5), K ₈ (1-5), K ₉ (1-5), K ₁₀ (1-5), K ₁₁ (1-5), K ₁₂ (1-5), K ₁₃ (1-5), K ₁₄ (1-5), K ₁₅ (1-5), K ₁₆ (1-5), K ₁₇ (1-5), K ₁₈ (1-5), K ₁₉ (1-5), K ₂₀ (1-5), K ₂₂ (1-5), K ₂₃ (1-5), K ₂₄ (1-5)	-	-
Υπέρβαση της Αντοχής Δοκών με το Μέγιστο Οπλισμό	-	Δ _{2.1} (1), Δ _{2.2} (1), Δ _{2.3} (1), Δ _{2.4} (1), Δ _{3.1} (1), Δ _{3.2} (1), Δ _{3.3} (1), Δ _{3.4} (1), Δ _{4.1} (1), Δ _{4.2} (1), Δ _{4.3} (1), Δ _{4.4} (1), Δ _{7.1} (1), Δ _{7.2} (1), Δ _{7.3} (1), Δ _{7.4} (1), Δ _{8.1} (1), Δ _{8.2} (1), Δ _{8.3} (1), Δ _{8.4} (1), Δ _{9.1} (1), Δ _{9.2} (1), Δ _{9.3} (1), Δ _{9.4} (1), & όλες οι δοκοί του 2 ^{ου} ορόφου	Δ _{2.1} (1), Δ _{2.4} (1), Δ _{3.1} (1), Δ _{3.4} (1), Δ _{4.1} (1), Δ _{4.4} (1), Δ _{7.1} (1), Δ _{7.4} (1), Δ _{8.1} (1), Δ _{8.4} (1), Δ _{9.1} (1), Δ _{9.4} (1),
Αστοχία λόγω Τέμνουσας	-	Δ _{1.1} (1), Δ _{1.2} (1), Δ _{1.3} (1), Δ _{1.4} (1), Δ _{5.1} (1), Δ _{5.2} (1), Δ _{5.3} (1), Δ _{5.4} (1), Δ _{6.1} (1), Δ _{6.2} (1), Δ _{6.3} (1), Δ _{6.4} (1), Δ _{10.1} (1), Δ _{10.2} (1), Δ _{10.3} (1), Δ _{10.4} (1)	-

Πίνακας 4.53 Ανεπάρκειες που εμφανίζονται στις αναλύσεις με διαφορετικούς κανονισμούς.

4.3.1.2. Σύγκριση Όπλισης

Όπως αναλύθηκε προηγουμένως, ανάλογα με τον κανονισμό σχεδιασμού που εφαρμόζεται κατά τη διαστασιολόγηση του φορέα, εμφανίζονται ανεπάρκειες οι οποίες πρέπει να αντιμετωπιστούν προκειμένου ο φορέας να έχει την επιθυμητή επάρκεια.

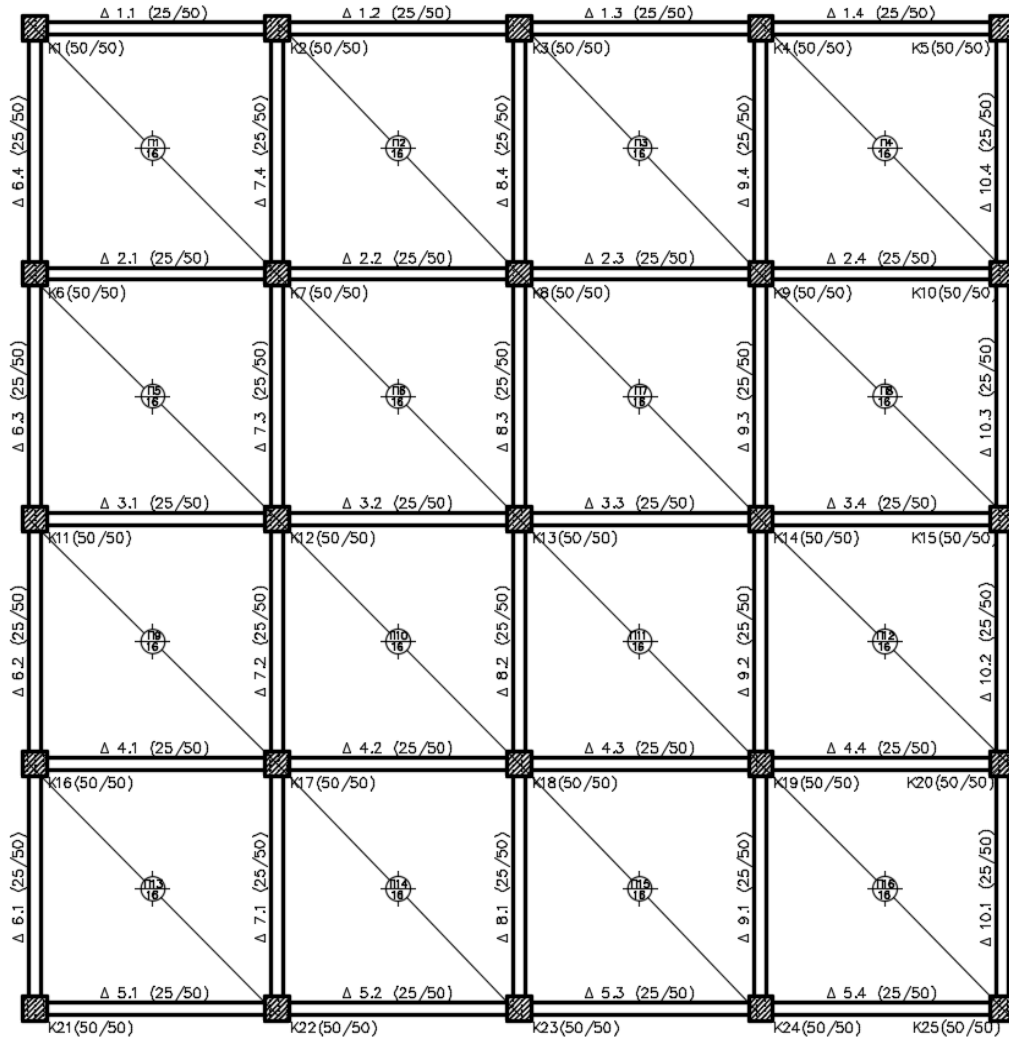
Εφαρμόζοντας, λοιπόν, διαδοχικές αναλύσεις και μεταβάλλοντας τις διαστάσεις των δομικών μελών που εμφανίζουν αστοχίες, προκύπτουν οι τελικοί φορείς μετά από την αντιμετώπιση των ανεπαρκειών για κάθε κανονισμό που εφαρμόζεται (Σχέδια 4.13, 4.14, 4.15).

Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι όσον αφορά στο φορέα σχεδιασμένο με EC2-EC8, αυξήθηκε το πλάτος των διατομών όλων των δοκών από 25/50 (cm) σε 35/50 (cm). Το ίδιο συνέβη και στις διατομές των υποστυλωμάτων που αυξήθηκαν από 50/50 (cm) σε 65/65 (cm) και ιδιαίτερα τα περιμετρικά (εκτός των γωνιακών) αυξήθηκαν σε 70/70 (cm).

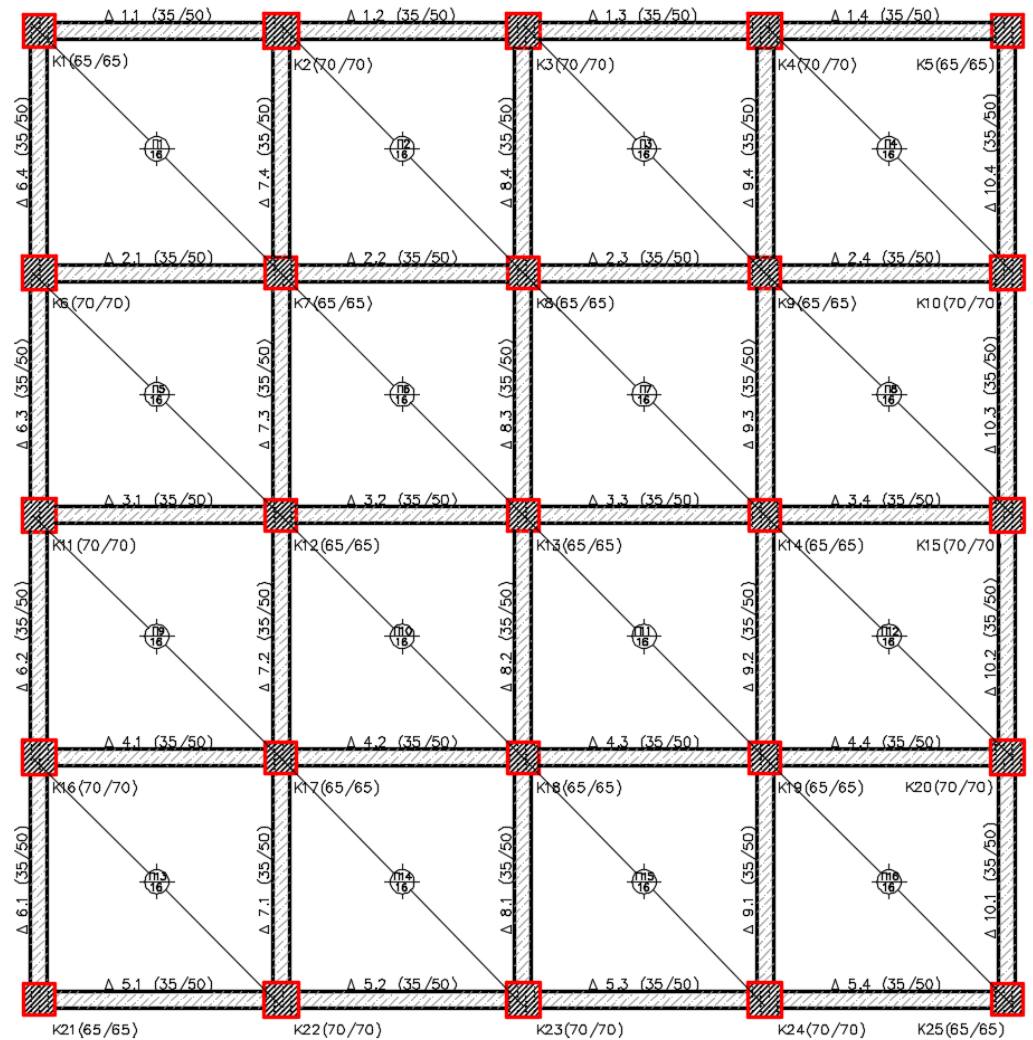
Στο φορέα που σχεδιάστηκε με τον προηγούμενο κανονισμό ΕΚΩΣ-ΕΑΚ, οι διατομές των περιμετρικών δοκών του 1^{ου} ορόφου αυξήθηκαν από 25/50 (cm) σε 45/70 (cm) και τα υπόλοιπα του ίδιου ορόφου σε 35/50 (cm). Επίσης στις δοκούς του 2^{ου} ορόφου αυξήθηκε το πλάτος τους σε 30/50 (cm) ενώ στους υπόλοιπους ορόφους διατηρήθηκε η ίδια διατομή. Στα υποστυλώματα απαιτήθηκε μεταβολή των διαστάσεων της διατομής τους μόνο για τα περιμετρικά υποστυλώματα του 1^{ου} ορόφου σε 60/60(cm).



Τέλος στο φορέα που σχεδιάστηκε με ΒΔ'54, απαιτήθηκε μεταβολή των διαστάσεων των διατομών μόνο των δοκών του 1^{ου} ορόφου, με αύξηση του πλάτους τους από 25/50 (cm) σε 30/50 (cm).

ΑΡΧΙΚΟΣ ΦΟΡΕΑΣ 3Α



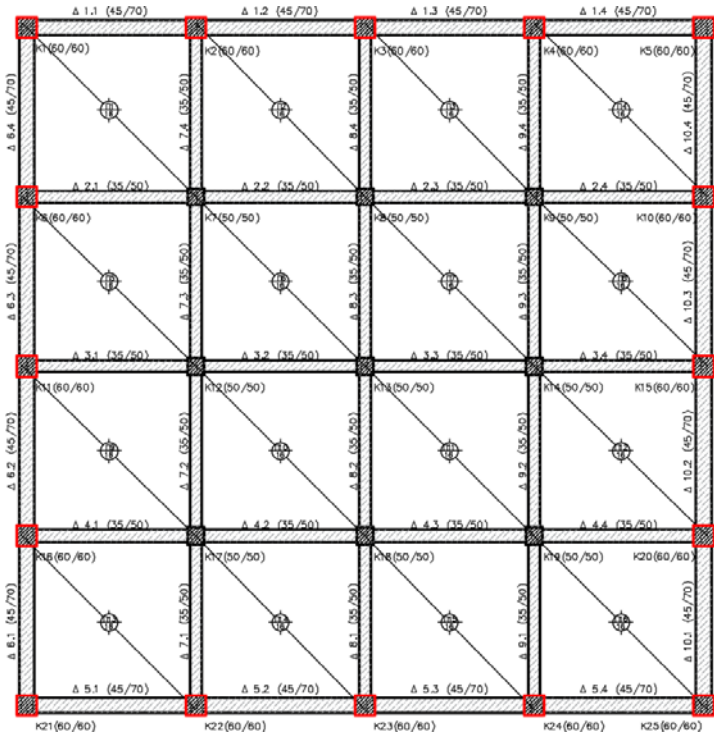
ΦΟΡΕΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΟΣ ΜΕ EC2-EC8



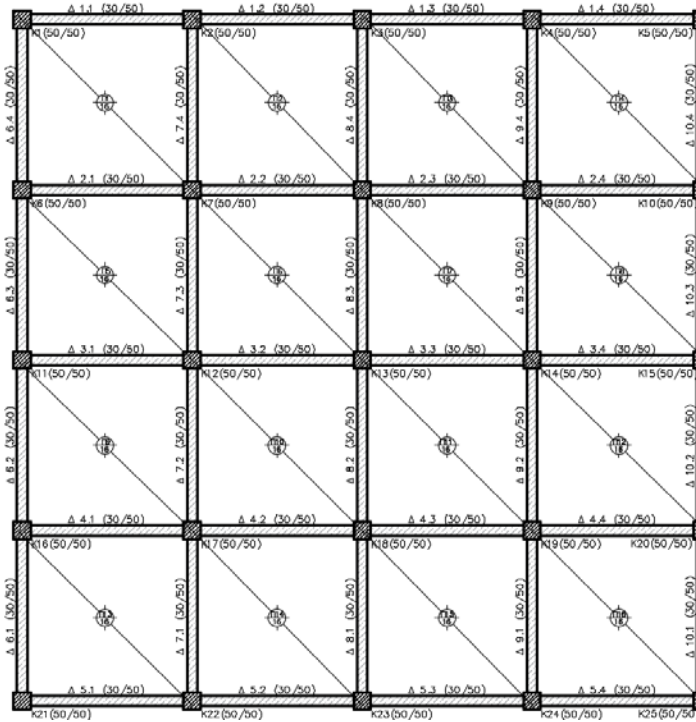
	Μεταβολή διαστάσεων διατομής δοκού
	Μεταβολή διαστάσεων διατομής υποστυλώματος

Σχέδιο 4.13 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέα 3Α χωρίς ανεπάρκειες μετά από σχεδιασμό με EC2-EC8.

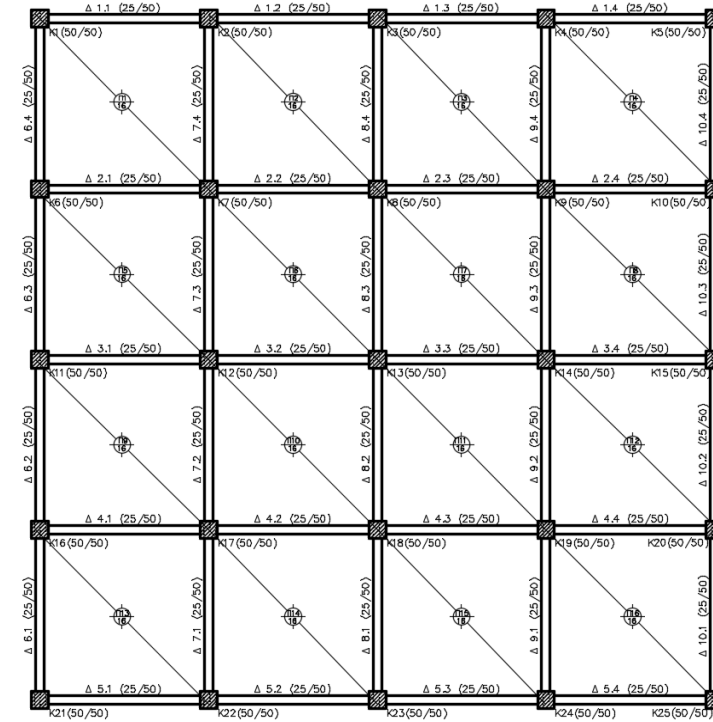
ΦΟΡΕΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΟΣ ΜΕ ΕΚΩΣ-ΕΑΚ



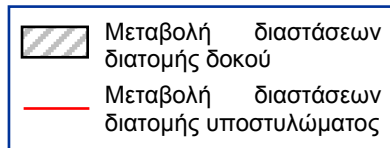
Όροφος 1



Όροφος 2

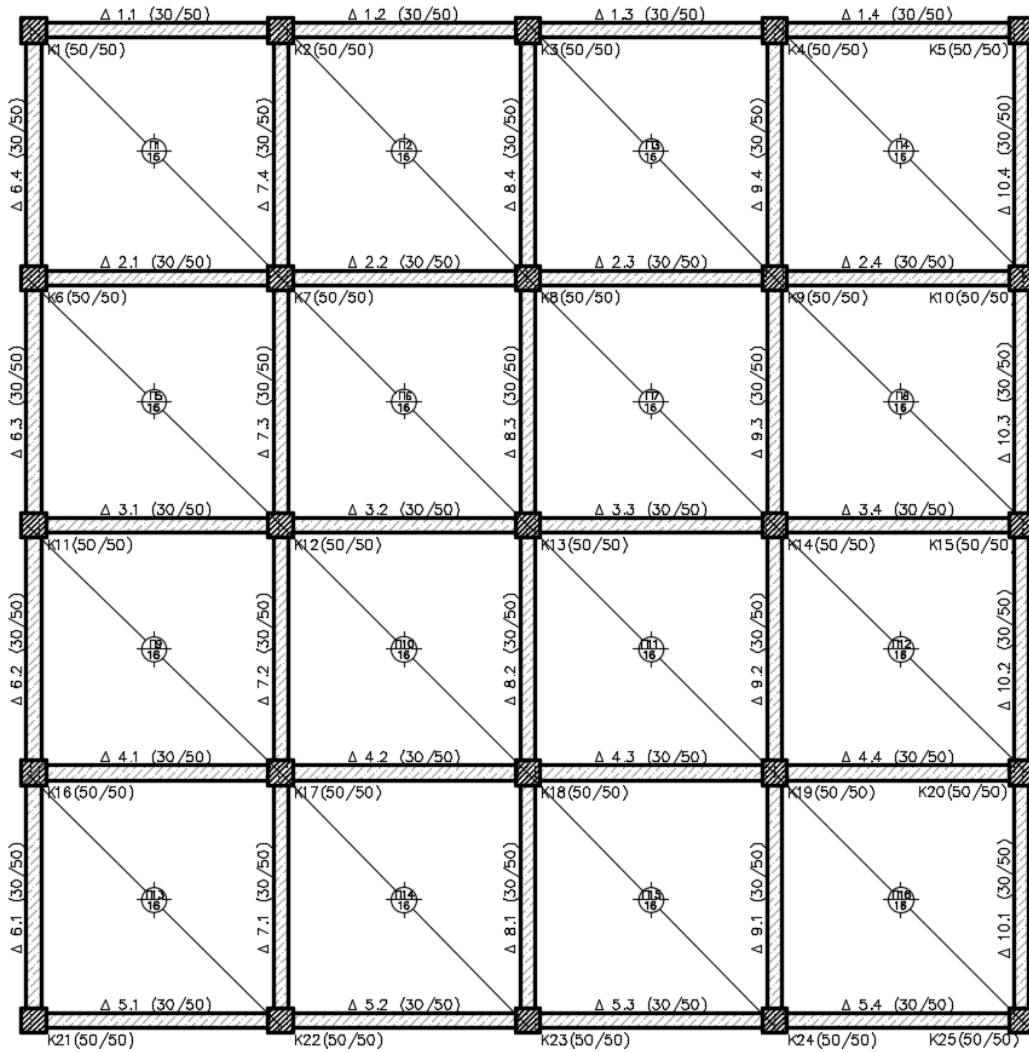


Όροφοι 3-5

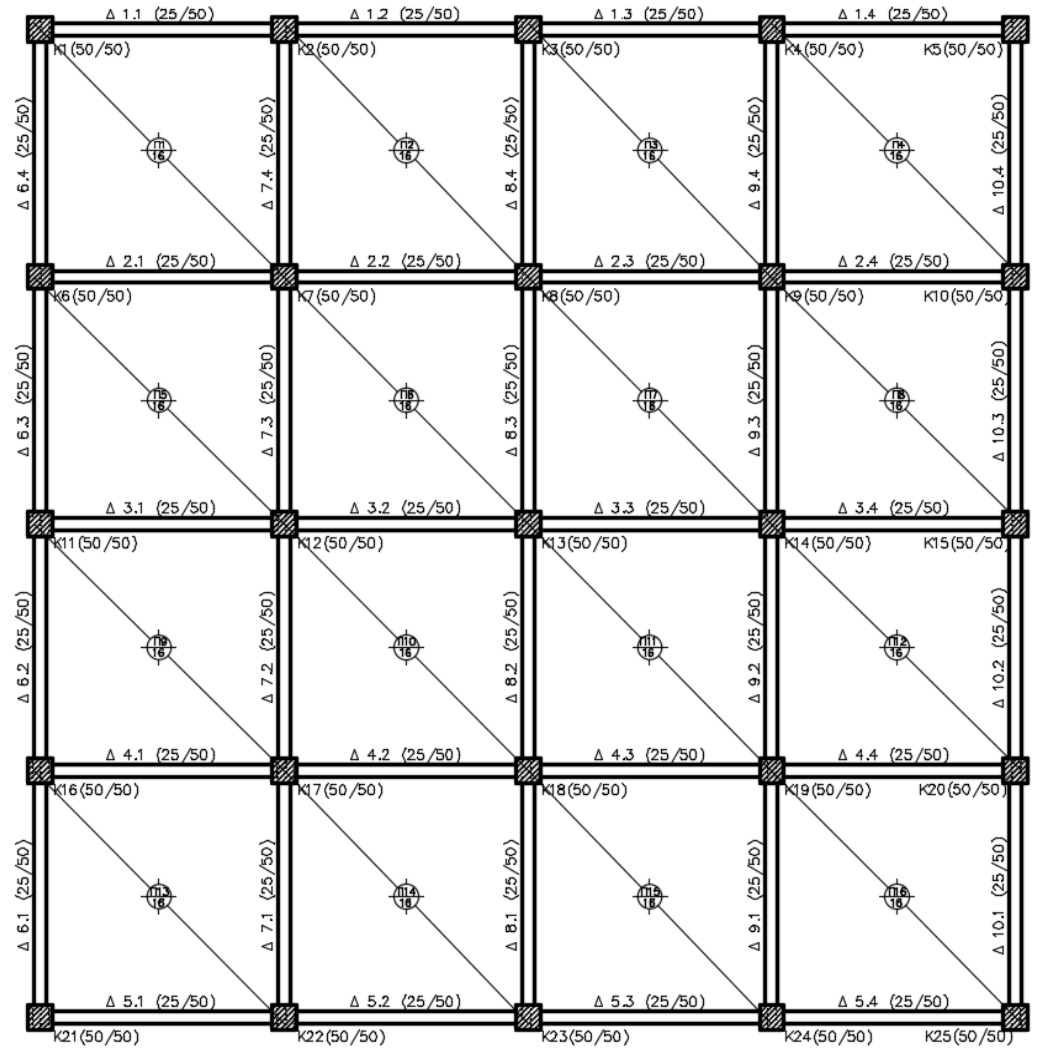


Σχέδιο 4.14 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέα 3Α χωρίς ανεπάρκειες μετά από σχεδιασμό με ΕΚΩΣ-ΕΑΚ.

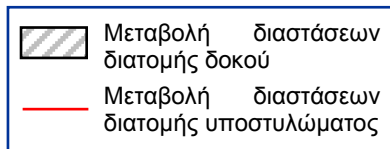
ΦΟΡΕΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΟΣ ΜΕ ΒΔ'54



Οροφος 1



Οροφοι 2-5



Σχέδιο 4.15 Ξελότυποι τυπικού ορόφου φορέα 3Α χωρίς ανεπάρκειες μετά από σχεδιασμό με ΒΔ'54.

Οι τροποποιήσεις αυτές του αρχικού φορέα για τη διαστασιολόγησή του με διαφορετικούς κανονισμούς, έχουν επιπτώσεις στη συνολική προμέτρηση του κτιρίου (Πίνακας 4.54).

	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ		
	EC2-EC8	EΚΩΣ-EAK	ΒΔ'54
Βάρος σιδηρού οπλισμού (kg)	59169,70	49393,20	42872,95
Όγκος σκυροδέματος (m ³)	623,90	538,20	514,60
Αναλογία σιδηρού οπλισμού - σκυροδέματος (kg/ m ³)	94,85	91,75	83,30

Πίνακας 4.54 Σύγκριση συνολικής προμέτρησης αναλόγως του κανονισμού σχεδιασμού.

Από τον παραπάνω πίνακα, είναι εμφανής η διαφοροποίηση στο σχεδιασμό φορέων με το πέρας των χρόνων. Στο φορέα που σχεδιάστηκε με τον EC2-EC8, παρατηρείται η μέγιστη απαίτηση σιδηρού οπλισμού και όγκου σκυροδέματος. Στους δύο πιο σύγχρονους κανονισμούς (EC2-EC8 και EΚΩΣ-EAK) διατηρείται περίπου η ίδια αναλογία σιδηρού οπλισμού και όγκου σκυροδέματος (~90 kg/m³). Η διαφορά στο σχεδιασμό με τον παλαιότερο κανονισμό είναι εμφανής, καθώς η απαίτηση σιδηρού οπλισμού και όγκου σκυροδέματος είναι η ελάχιστη.

Αναλυτικότερα, η προμέτρηση για κάθε τύπο δομικού μέλους παρουσιάζεται ακολούθως (Πίνακας 4.55).

ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΜΕΛΩΝ				
		Πλάκες	Δοκοί	Υποστυλώματα
EC2-EC8	Βάρος σιδηρού οπλισμού (kg)	9196,50	14382,05	35591,50
	Όγκος σκυροδέματος (m ³)	328,00	102,50	193,25
	Αναλογία οπλισμού - σκυροδέματος (kg/ m ³)	28,05	140,30	184,15
EΚΩΣ-EAK	Βάρος σιδηρού οπλισμού (kg)	10886,50	16882,25	21624,75
	Όγκος σκυροδέματος (m ³)	328,00	95,10	115,05
	Αναλογία οπλισμού - σκυροδέματος (kg/ m ³)	33,20	177,50	187,95
ΒΔ'54	Βάρος σιδηρού οπλισμού (kg)	11483,50	16994,25	14395,55
	Όγκος σκυροδέματος (m ³)	328,00	80,30	106,25
	Αναλογία οπλισμού - σκυροδέματος (kg/ m ³)	35,00	211,65	135,50

Πίνακας 4.55 Σύγκριση προμέτρησης επιμέρους δομικών μελών φορέα 3Α οπλισμένο με EC2-EC8, EΚΩΣ-EAK και ΒΔ'54.

Παρατηρείται ότι όσον αφορά στις πλάκες, ο σχεδιασμός με εφαρμογή των EC απαιτεί τον λιγότερο οπλισμό συγκριτικά με τους άλλους κανονισμούς. Το ίδιο

συμβαίνει και στις δοκούς με τη διαφορά να είναι πολύ μεγάλη (EC→140,3 kg/m³, ΕΚΩΣ-ΕΑΚ→177,50 kg/m³ και ΒΔ'54 →211,65 kg/m³).

Στα υποστυλώματα, η διαφορά στη τοποθέτηση διαμήκους οπλισμού είναι σημαντική μεταξύ των νεότερων κανονισμών (EC και ΕΚΩΣ) με τον παλαιότερο (ΒΔ'54), ενώ η διαφορά μεταξύ της όπλισης μεταξύ των EC και ΕΚΩΣ έγκειται στην τοποθέτηση περισσότερου εγκάρσιου οπλισμού.

Ακολούθως, παρουσιάζεται ενδεικτικά η όπλιση δοκών και υποστυλωμάτων με την εφαρμογή των διατάξεων των τριών κανονισμών (Σχέδιο 4.16).

ΟΠΛΙΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΜΕΛΩΝ		
EC2-EC8	ΕΚΩΣ-ΕΑΚ	ΒΔ'54
Υποστυλώματα 1^{ου} ορόφου		
$K1 \frac{65/65}{4\phi 20 + 12\phi 18}$ $\Sigma\phi 8/11$	$K1 \frac{60/60}{12\phi 20 + 8\phi 18}$ $\Sigma\phi 8/10$	$K1 \frac{50/50}{8\phi 18 + 4\phi 16}$ $\Sigma\phi 8/10$
$K1 3 \frac{65/65}{4\phi 20 + 12\phi 18}$ $\Sigma\phi 8/11$	$K1 3 \frac{50/50}{8\phi 20}$ $\Sigma\phi 8/9$	$K1 3 \frac{50/50}{12\phi 18 + 8\phi 16}$ $\Sigma\phi 8/19$
Δοκοί 1^{ου} ορόφου (άνοιγμα)		
$\Delta 3.3 \frac{Ανω 2\phi 14}{Κατω 2\phi 16}$ $\Sigma\phi 8/20$	$\Delta 3.3 \frac{Ανω 3\phi 16}{Κατω 3\phi 16}$ $\Sigma\phi 8/16$	$\Delta 3.3 \frac{Ανω 2\phi 8}{Κατω 4\phi 16}$ $\Sigma\phi 8/20$

Σχέδιο 4.16 Σύγκριση όπλισης ενδεικτικών μελών φορέα 3Α μετά από εφαρμογή EC2-EC8, ΕΚΩΣ-ΕΑΚ, ΒΔ'54.

4.3.2. Σχεδιασμός Φορέα με Διαφορετική Διάταξη Δομικών Μελών

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση του σχεδιασμού φορέων με διαφορετική διάταξη δομικών μελών στη διαστασιολόγηση, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις του ίδιου φορέα (φορέας 3A) με μεταβολή της διάταξης των υποστυλωμάτων και δοκών ώστε να προκύψουν πλάκες μεγαλύτερου ανοίγματος (φορέας 3B).

Με αυτόν τον τρόπο, προσδιορίζεται η επίδραση στη συνολική προμέτρηση του κτιρίου και στην ιδιοπερίοδο (Αναλύσεις 3A-7, 3B-6).

4.3.2.1. Σύγκριση Όπλισης

Προκειμένου να γίνει η σύγκριση του αρχικού φορέα με τον τροποποιημένο φορέα, απαιτείται η αντιμετώπιση των ανεπαρκειών που εμφανίζονται.

Πραγματοποιήθηκαν διαδοχικές αναλύσεις για τον προσδιορισμό του τροποποιημένου φορέα (Ανάλυση 3B-4 → 3B-6).

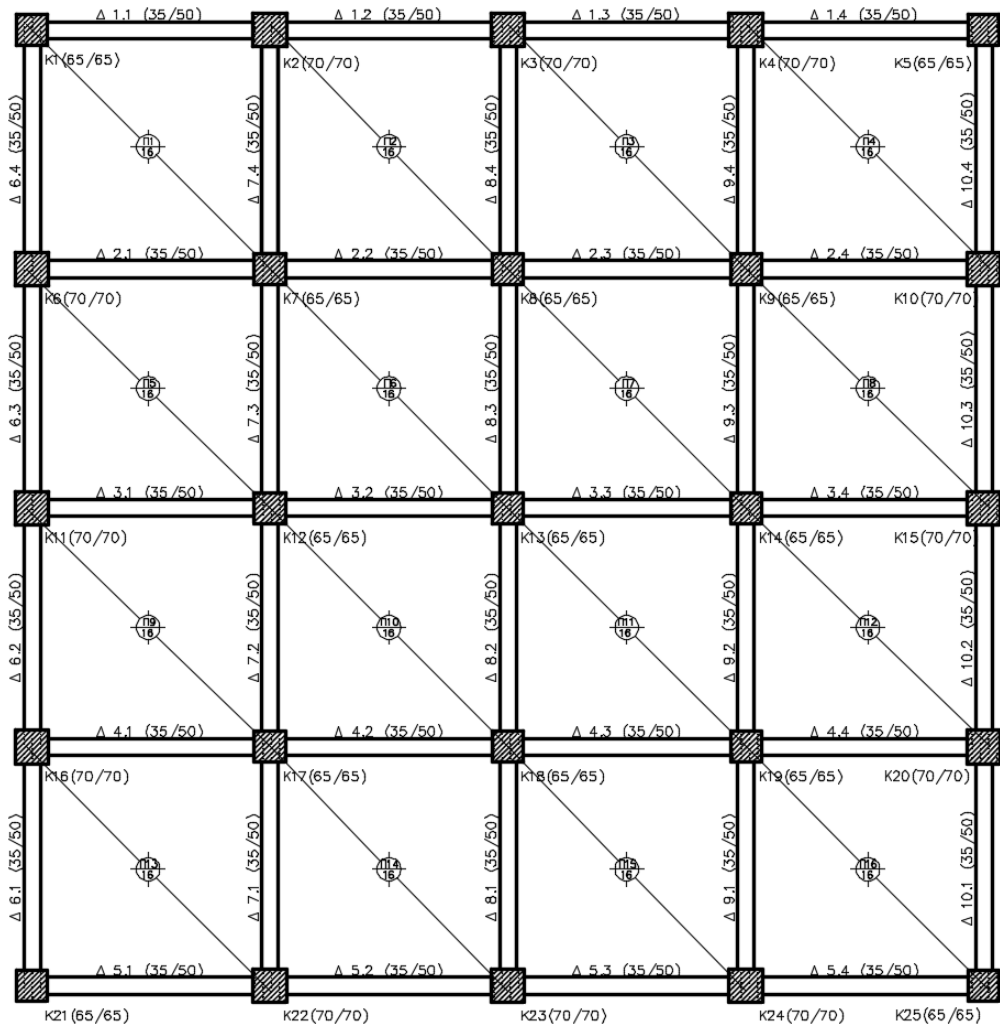
Στον αρχικό φορέα (φορέας 3A) οι ανεπάρκειες καθώς και η αντιμετώπισή τους παρουσιάστηκαν σε προηγούμενη παράγραφο.

Οι ανεπάρκειες που παρουσιάστηκαν στον αρχικό τροποποιημένο φορέα 3B, ο ξυλότυπος του οποίου παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 4.56) και ακολούθως παρουσιάζονται οι τελικοί φορείς (Σχέδιο 4.17).

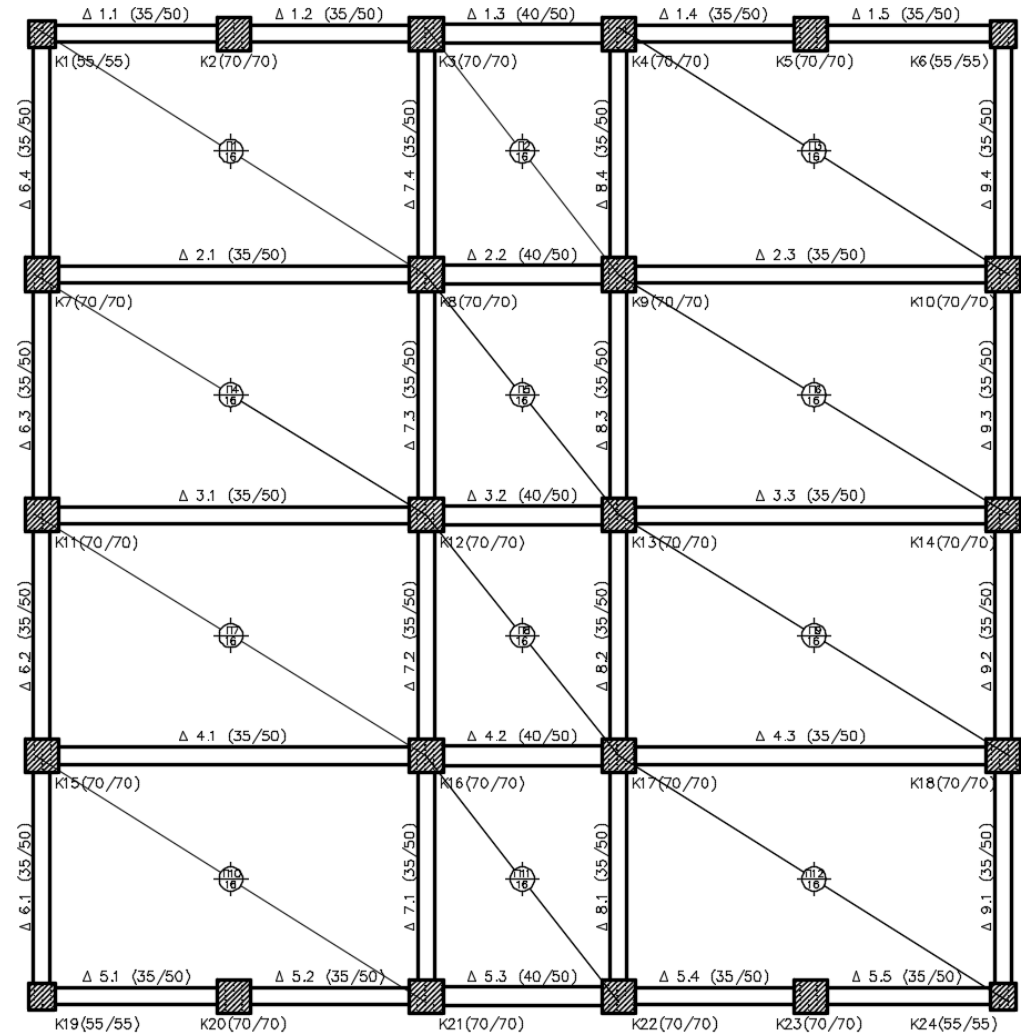
ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ	ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΟΡΕΑ 3	
	Αρχικός Φορέας 3A	Φορέας 3B
Αστοχία Συνάφειας Ράβδων Δοκού στον Κόμβο	K ₂ (1-5), K ₃ (1-5), K ₄ (1-5), K ₆ (1-5), K ₇ (1-5), K ₈ (1-5), K ₉ (1-5), K ₁₀ (1-5), K ₁₁ (1-5), K ₁₂ (1-5), K ₁₃ (1-5), K ₁₄ (1-5), K ₁₅ (1-5), K ₁₆ (1-5), K ₁₇ (1-5), K ₁₈ (1-5), K ₁₉ (1-5), K ₂₀ (1-5), K ₂₂ (1-5), K ₂₃ (1-5), K ₂₄ (1-5)	K ₂ (1-5), K ₃ (1-5), K ₄ (1-5), K ₅ (1-5), K ₇ (1-5), K ₈ (1-5), K ₉ (1-5), K ₁₀ (1-5), K ₁₁ (1-5), K ₁₂ (1-5), K ₁₃ (1-5), K ₁₄ (1-5), K ₁₅ (1-5), K ₁₆ (1-5), K ₁₇ (1-5), K ₁₈ (1-5), K ₂₀ (1-5), K ₂₁ (1-5), K ₂₂ (1-5), K ₂₃ (1-5)
Αστοχία Θλιπτήρα Σκυροδέματος Κόμβου	-	K ₈ (1-5), K ₉ (1-5), K ₁₂ (1-5), K ₁₃ (1-5), K ₁₆ (1-5), K ₁₇ (1-5)
Υπέρβαση Απαιτήσης Δισδιαγώνιου Όπλισμού	-	Δ _{2.2} (1-5), Δ _{3.2} (1-5), Δ _{4.2} (1-5)

Πίνακας 4.56 Ανεπάρκειες κατά τη διαστασιολόγηση των φορέων 3A και 3B.

ΦΟΡΕΑΣ 3Α



ΦΟΡΕΑΣ 3Β



Σχέδιο 4.17 Ξυλότυποι τυπικού ορόφου φορέων 3Α και 3Β διαστασιολογημένοι με EC2-EC8.

Ο σχεδιασμός των φορέων 3A και 3B μεταβάλλοντας τη διάταξη των δοκών και των υποστυλωμάτων, έχει επιπτώσεις στη συνολική προμέτρηση του κτιρίου (Πίνακας 4.57).

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ		
	Φορέας 3A	Φορέας 3B
Βάρος σιδηρού οπλισμού (kg)	59169,70	68180,70
Όγκος σκυροδέματος (m ³)	623,90	609,70
Αναλογία οπλισμού-σκυροδέματος (kg/ m ³)	94,85	111,80

Πίνακας 4.57 Σύγκριση συνολικής προμέτρησης φορέων 3A και 3B.

Από τον παραπάνω πίνακα συνολικής προμέτρησης, παρατηρείται ότι σχεδιάζοντας ένα φορέα με μεγαλύτερα ανοίγματα πλακών, αφαιρώντας ενδιάμεσα υποστυλώματα, η αναλογία οπλισμού - σκυροδέματος που απαιτείται είναι πολύ μεγαλύτερη (111,80 kg/m³) συγκριτικά με το φορέα που τα υποστυλώματα είναι τοποθετημένα σε τετραγωνικό κάναβο (94,85 kg/m³).

4.3.2.2. Επίπτωση στην Ιδιοπερίοδο της Κατασκευής

Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 4.58) παρουσιάζονται οι τιμές της δεσπόζουσας ιδιοπεριόδου των φορέων για κάθε κατεύθυνση σεισμικής φόρτισης, για τις τέσσερις περιπτώσεις θεώρησης μετατόπισης μάζας κατά τις διευθύνσεις $\pm X$ και $\pm Z$.

Από την ανάλυση του φορέα, προκύπτει πολύ μικρή μεταβολή της τιμής της ιδιοπεριόδου στους δύο φορείς. Επομένως, η διαφορετική διάταξη των δοκών και υποστυλωμάτων δεν επηρέασε την ιδιοπερίοδο του φορέα και συνεπώς ούτε και τη σεισμική επιτάχυνση σχεδιασμού.

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ($q=5,85$)	ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΣ T (sec)			ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ a (m/sec ²)	
	Μετατόπιση Μάζας	Δεσπόζουσα κατά Z	Δεσπόζουσα κατά X	κατά X	κατά Z
Φορέας 3A	$\pm X$	0,715	0,699	0,563	0,576
	$\pm Z$	0,699	0,715	0,576	0,563
Φορέας 3B	$\pm X$	0,752	0,689	0,536	0,584
	$\pm Z$	0,741	0,704	0,543	0,572

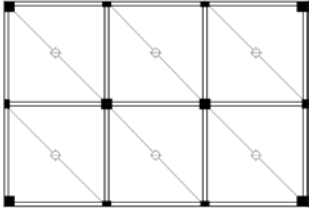
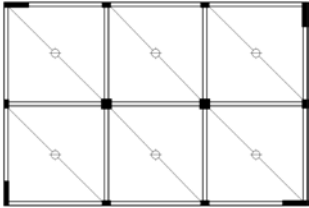
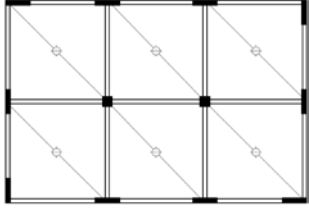
Πίνακας 4.58 Επίδραση σχεδιασμού φορέα με διαφορετική διάταξη δομικών μελών στις τιμές της ιδιοπεριόδου κατασκευής.

5. Παραμετρική Ανάλυση Φορέων κατά την Αποτίμηση της Φέρουσας Ικανότητας

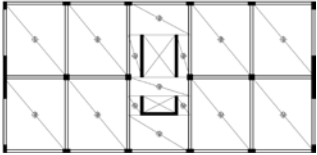
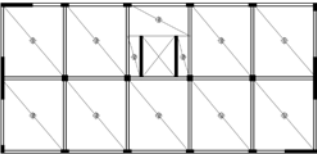
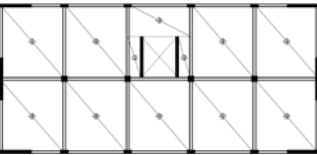
Προκειμένου να γίνει παραμετρική ανάλυση και να προσδιοριστεί η επίδραση της μεταβολής της τιμής ορισμένων παραμέτρων που υπεισέρχονται στις αναλύσεις για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας μιας κατασκευής, πραγματοποιήθηκαν 45 αναλύσεις χρησιμοποιώντας τα στατικά προγράμματα Fespa και Sap2000.

Προκειμένου να μελετηθεί η επιρροή διαφόρων παραμέτρων που συμμετέχουν στον προσδιορισμό της φέρουσας ικανότητας των φορέων, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις pushover, με διαφορετική καθ' ύψος κατανομή σεισμικών φορτίων (ομοιόμορφη, τριγωνική, ιδιομορφική), αλλά και μεταβάλλοντας το διαμήκη οπλισμό, τον οπλισμό συνδετήρων και αλλάζοντας το στόχο σχεδιασμού μέσω της πιθανότητας υπέρβασης κάποιας στάθμης επιτελεστικότητας. Παράλληλα, πραγματοποιούνται αναλύσεις αγνοώντας στον προσδιορισμό της καμπύλης ικανότητας των κατασκευών κάποιες παραμέτρους, όπως την τυχηματική εκκεντρότητα, τη συμμετοχή των τοιχοπληρώσεων, την περίσφιγξη, τα φαινόμενα 2^{ος} τάξεως και το συνεργαζόμενο οπλισμό των πλακών.

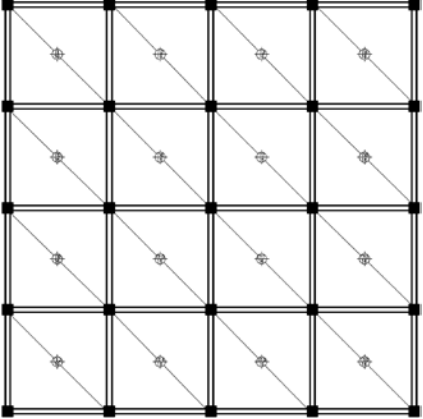
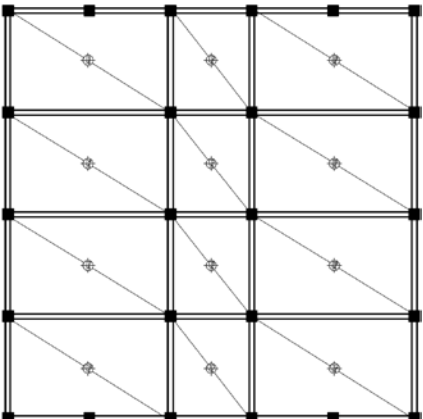
Οι παραμετρικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στους υπό εξέταση φορείς για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητάς τους συνοψίζονται στους ακόλουθους πίνακες (Πίνακες 5.1, 5.2, 5.3).

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΟΡΕΑ 1											
ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΦΟΡΕΑ			ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ								
			Κατανομή Φόρτισης			Τυχηματική Εκκεντρότητα		Αλλαγή Όπλισης Συνδετήρων	Περίσφιγξη		Παραμόρφωση Αστοχίας Χάλυβα
<ul style="list-style-type: none"> ● Επίλυση με Fespa ● Επίλυση με SAP2000 	Κωδικοποίηση Αναλύσεων	Όπλιση Φορέα	Ομοιόμορφη	Τριγωνική	Ιδιομορφική	Με	Χωρίς		Με	Χωρίς	
ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ 1Α (Υποστυλώματα) 	1Α-9-1	1Α-9 (EC-δυναμική)		●			●	●			
	1Α-9-2			●				●			
	1Α-9-3				●		●				
	1Α-9-4				●			●			● ($\epsilon_{su}=4\%$)
	1Α-9-5 (α,β)				●			●			● ($p=80\%$ και 5%)
	1Α-9-6				●			●		●	
	1Α-9-7					●		●			[χωρίς συνδετήρες στα υποστυλώματα]
	1Α-9-8					●		●			[με αραιούς συνδετήρες στα υποστυλώματα]
	1Α-9-9					●		●			[με αραιούς συνδετήρες στα υπ. & δοκ.]
	1Α-10-10	1Α-10 (EC-στατική)			●			●			
1Α-8-11	1Α-8 (ΒΔ'54)			●			●				
ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ 1Β (Γωνιακά Τοιχώματα) 	1Β-5-1	1Β-5 (EC-δυναμική)		●●			●●		●●		
	1Β-5-2			●●				●●		●●	
	1Β-5-3					●		●		●	
	1Β-5-4				●		●		●		
	1Β-3-5	1Β-3 (ΒΔ'54)			●			●		●	
ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ 1Γ (Περιμετρικά Τοιχώματα) 	1Γ-5-1	1Γ-5 (EC-δυναμική)		●			●		●		
	1Γ-5-2			●				●		●	
	1Γ-5-3					●		●		●	
	1Γ-5-4				●		●		●		
	1Γ-3-5	1Γ-3 (ΒΔ'54)			●			●		●	

Πίνακας 5.1 Αναλύσεις για την παραμετρική ανάλυση κατά την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας του φορέα 1.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΟΡΕΑ 2											
ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΦΟΡΕΑ			ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ								
			Περίσφιγξη		Αλλαγή Διαμήκους Όπλισης	Αλλαγή Όπλισης Συνδετήρων	Συμμετοχή Όπλισμού Πλάκας				
• Επίλυση με Fespa			Με	Χωρίς					Ναι	Όχι	
<p>ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ 2Α (Αρχικός Φορέας)</p> 	2Α-0-1	Δεδομένη Όπλιση 2Α-0 (Παράρτημα)	•					•			
	2Α-0-2			•						•	
	2Α-0-3				•					•	
	2Α-0-4			•		•	(×2 όπλιση στα υποστυλώματα)			•	
	2Α-0-5			•		•	(×2 όπλιση στα δοκάρια)			•	
	2Α-0-6			•		•	(×2 όπλιση στα δοκάρια & υποστυλώματα)			•	
	2Α-0-7			•				•	(αύξηση στα υποστυλώματα)	•	
	2Α-0-8			•				•	(αύξηση στα δοκάρια)	•	
	2Α-0-9			•				•	(αύξηση στα δοκάρια & υποστυλώματα)	•	
	2Α-0-10			•		•		•	(αύξηση στα δοκάρια & υποστυλώματα)	•	
	2Α-6-11		2Α-6 (ΒΔ'54)	•						•	
<p>ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ 2Β (2 Γωνιακά Τοιχώματα)</p> 	2Β-2-1	2Β-2 (ΕC)	•						•		
	2Β-2-2		•		•	(×2 όπλιση στα τοιχώματα)			•		
<p>ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ 2Γ (4 Γωνιακά Τοιχώματα)</p> 	2Γ-2-1	2Γ-2 (ΕC)	•						•		
	2Γ-2-2		•		•	(×2 όπλιση στα τοιχώματα)			•		

Πίνακας 5.2 Αναλύσεις για την παραμετρική ανάλυση κατά την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας του φορέα 2.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΟΡΕΑ 3											
ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΦΟΡΕΑ			ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ								
			Περίσφιγξη		Φαινόμενα 2 ^{ας} Τάξεως		Τοιχοπληρώσεις				
<ul style="list-style-type: none"> • Επίλυση με Fespa • Επίλυση με SAP2000 			Κωδικοποίηση Αναλύσεων	Όπλιση Φορέα	Με	Χωρίς	Ναι	Όχι	Με	Χωρίς	
ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ 3Α <i>(Αρχικός Φορέας)</i> 			3Α-5-1	3Α-5 (ΕΚΩΣ-ΕΑΚ)	•		•			•	
			3Α-5-2			•	•			•	
			3Α-0-3	Δεδομένη Όπλιση 3Α-0		••		••			••
			3Α-0-4			•	•			•	
			3Α-0-5 (α),(β)			•	•		• (α) εξωτερικά (β) τύπου pilotis		
			3Α-6-6	3Α-6 (ΒΔ'54)		•	•				•
			3Α-7-7	3Α-7 (ΕC)	•		•				•
ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ 3Β 			3Β-5-1	3Β-5 (ΕΚΩΣ-ΕΑΚ)	•		•			•	
			3Β-6-2	3Β-6 (ΕC)	•		•				•

Πίνακας 5.3 Αναλύσεις για την παραμετρική ανάλυση κατά την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας του φορέα 3.

5.1. Παραμετρική Ανάλυση Φορέα 1

Πραγματοποιήθηκαν παραμετρικές αναλύσεις με σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης των επιμέρους στοιχείων που εισάγονται για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας του φορέα.

Πιο συγκεκριμένα οι παράμετροι που εξετάστηκαν είναι η μέθοδος ανάλυσης με την οποία έγινε η διαστασιολόγηση του φορέα, ο κανονισμός σχεδιασμού που εφαρμόστηκε, η κατανομή της σεισμικής φόρτισης, η τυχηματική εκκεντρότητα, η διαμήκης και εγκάρσια όπλιση καθώς και η περίσφιγξη, η παραμόρφωση αστοχίας του χάλυβα και η αλλαγή της πιθανότητας υπέρβασης της στάθμης επιτελεστικότητας. Τέλος, προσδιορίστηκε η επίδραση που έχει στην απόκριση ο σχεδιασμός φορέων με τοιχώματα.

5.1.1. Επιρροή της Μεθόδου Ανάλυσης

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση της μεθόδου ανάλυσης στην αποτίμηση της φέρουσας ικανότητάς του, πραγματοποιήθηκε ανελαστική στατική ανάλυση στους φορείς 1A που οπλίστηκαν με εφαρμογή δυναμικής και στατικής μεθόδου (Αναλύσεις 1A-9-1, 1A-10-10).

Οι αντίστοιχες καμπύλες ικανότητας του φορέα για κάθε διεύθυνση φόρτισης και οι στοχευόμενες μετακινήσεις παρουσιάζονται ακολούθως (Πίνακας 5.4, Διάγραμμα 5.1).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ					
Περιγραφή Φορέα	Διεύθυνση Φόρτισης (°)	α_u/α_1	Στοχευόμενη Μετακίνηση		Μέγιστη τιμή Τέμνουσας Βάσης F_{max} (kN)
			F (kN)	SD (cm)	
Φορέας από δυναμική μέθοδο	0	2,79	1940,30	21,06	2357,43
	90	2,57	1752,60	22,14	2158,23
Φορέας από στατική μέθοδο	0	2,57	2730,20	16,74	3740,68
	90	2,01	2658,60	17,28	3540,64

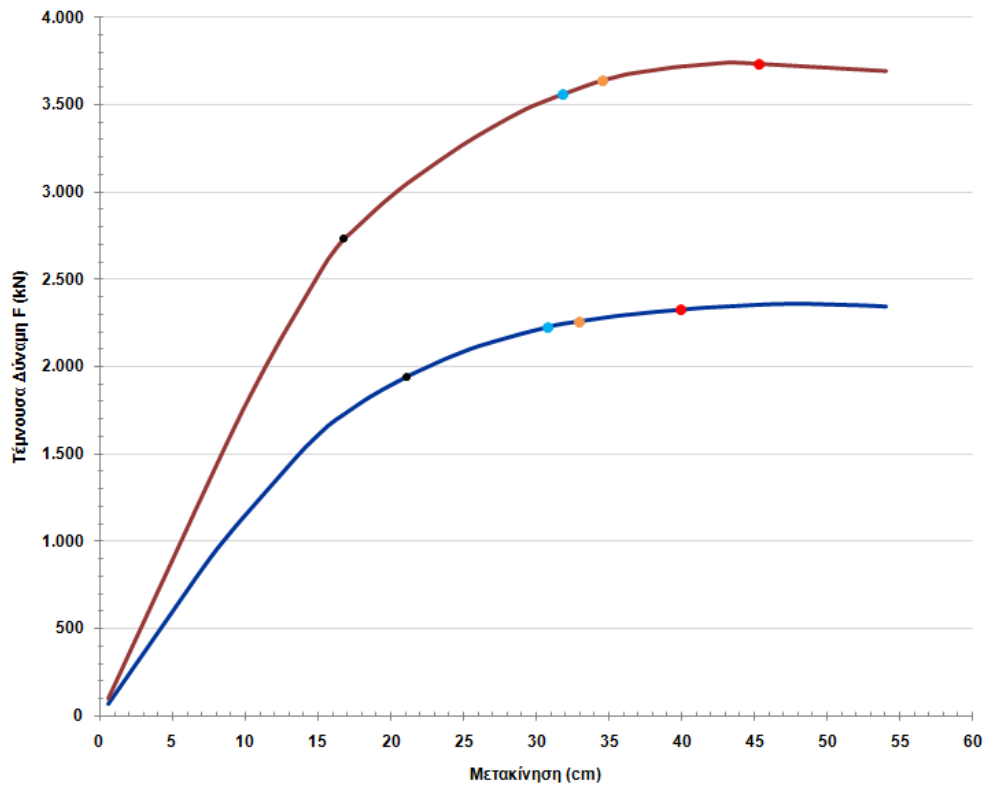
Παραδοχές Ανάλυσης:

- Κατανομή φόρτισης: Τριγωνική
- Φαινόμενα 2^{ος} τάξεως: Ναι
- Επιρροή περίσφιγξης: Ναι
- Πιθανότητα υπέρβασης Σ.Ε. "Σημαντικές Βλάβες": 10%
- Κόμβος ελέγχου: $K_8(6)$

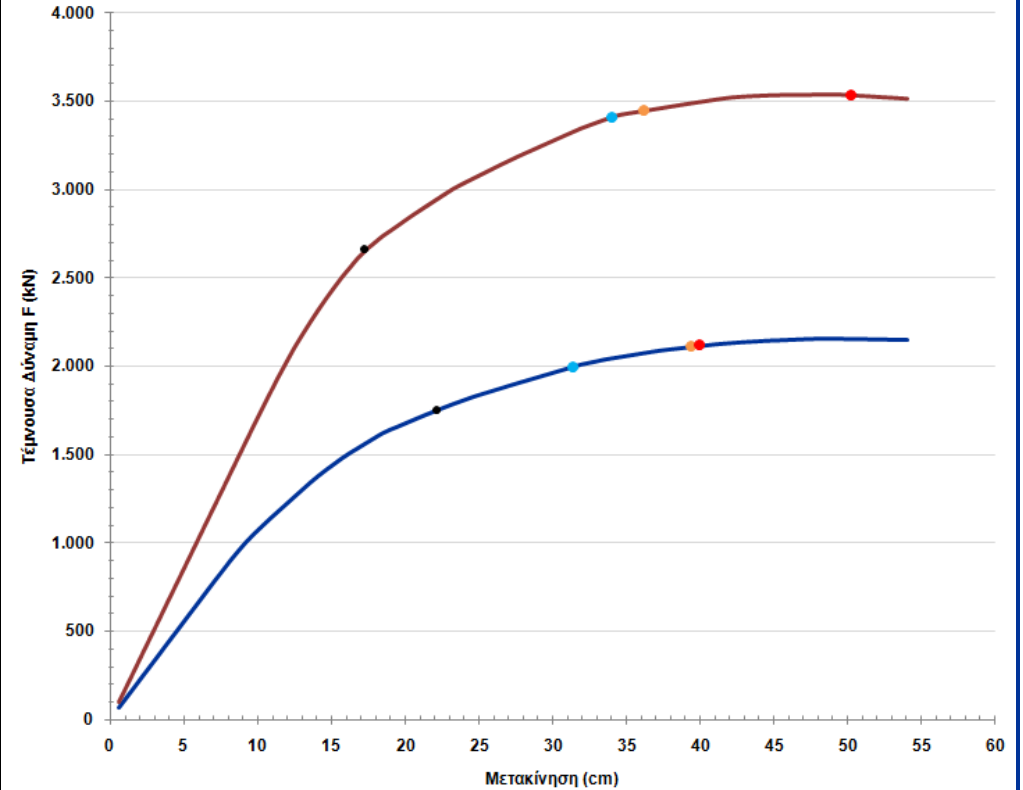
Πίνακας 5.4 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης για φορέα 1A διαστασιολογημένο με εφαρμογή δυναμικής και στατικής ανάλυσης.

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΟΡΕΑ

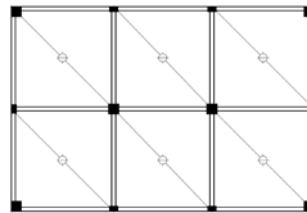
Διεύθυνση Φόρτισης 0°



Διεύθυνση Φόρτισης 90°



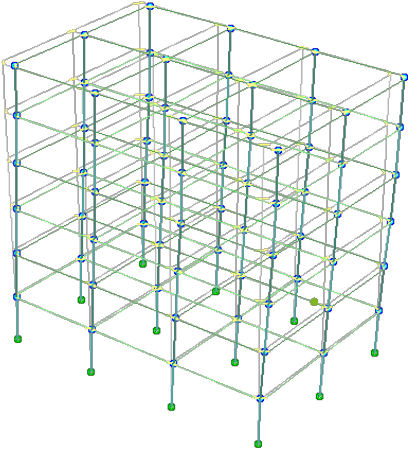
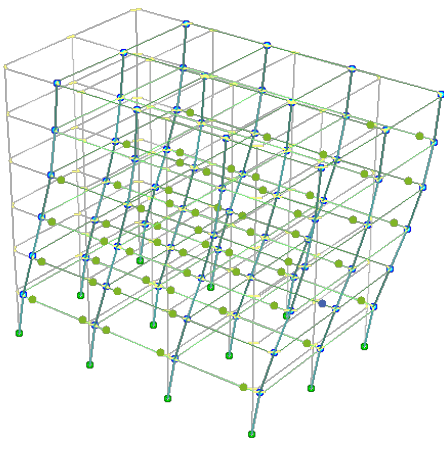
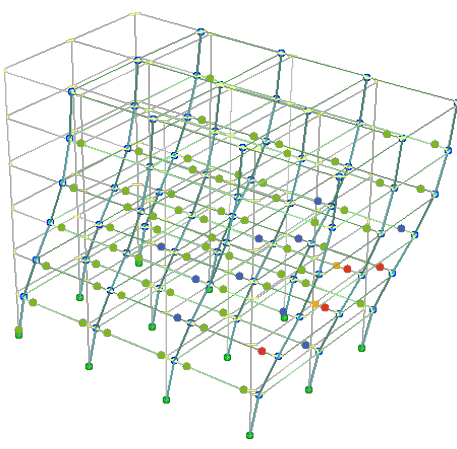
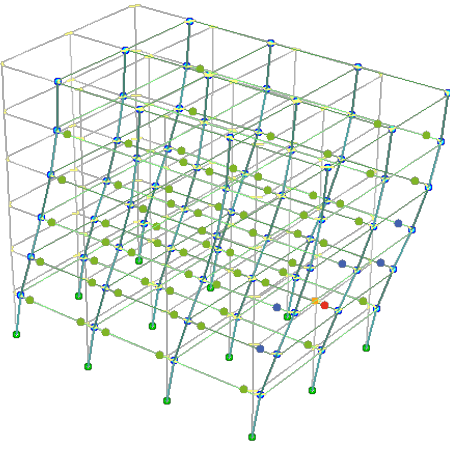
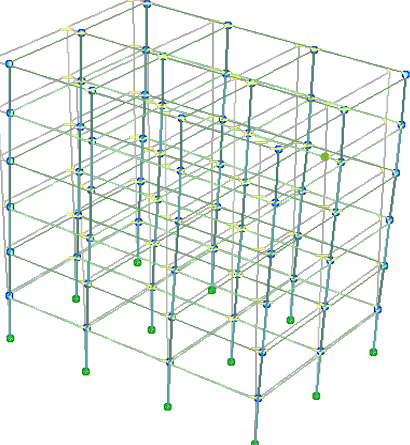
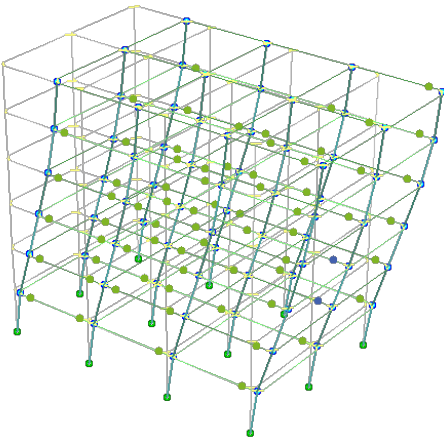
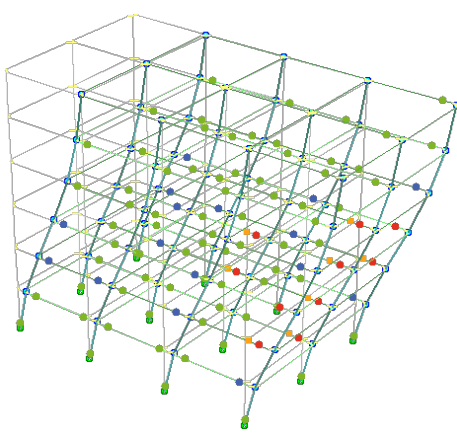
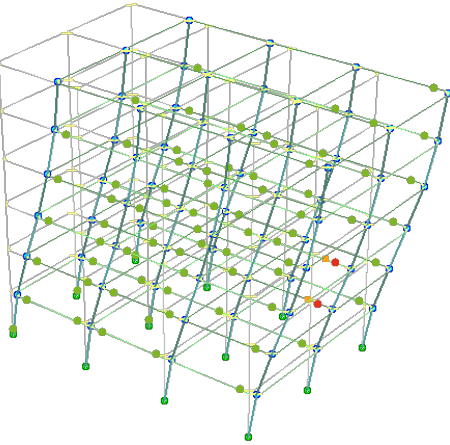
- Φορέας από δυναμική μέθοδο
- Φορέας από στατική μέθοδο
- Στοχευόμενη Μετακίνηση ($a=0,24g$)
- Σημαντικές Βλάβες
- Οιονεί Κατάρρευση
- Αστοχία Τέμνουσας



Φορέας 1A

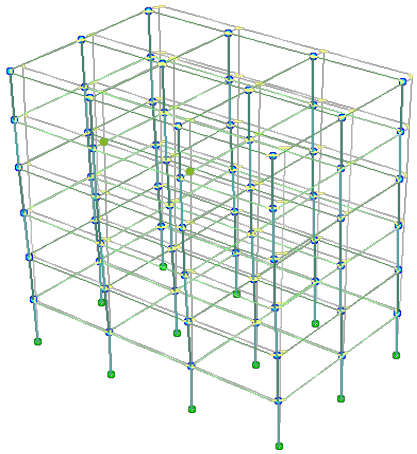
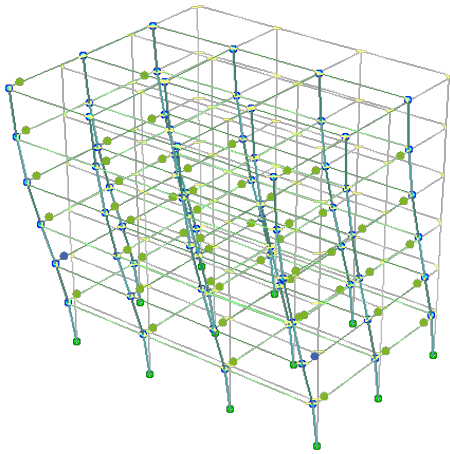
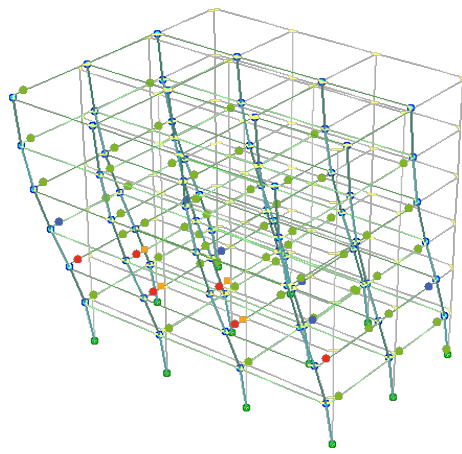
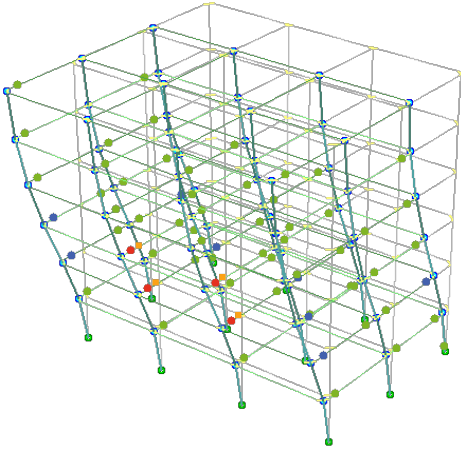
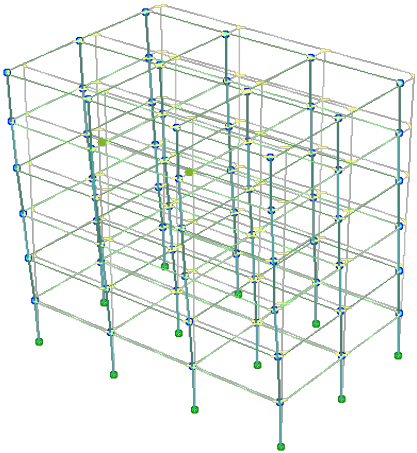
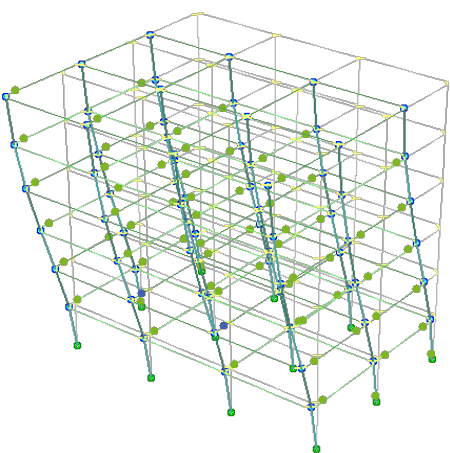
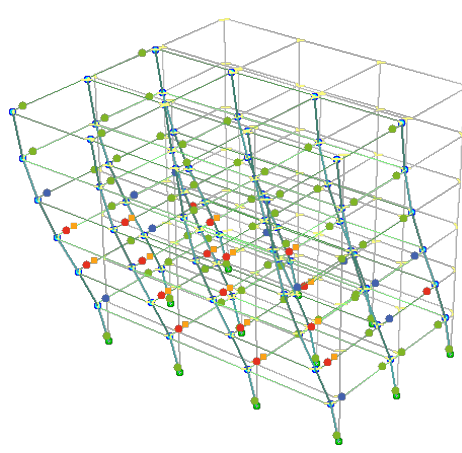
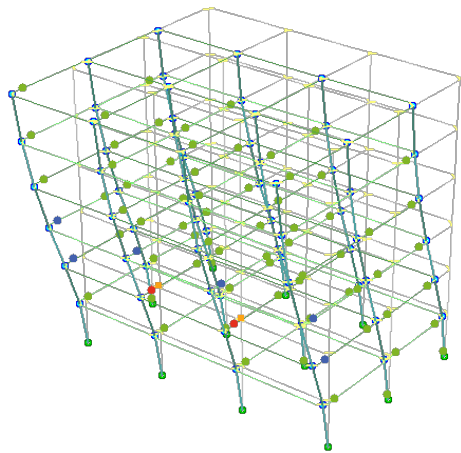
Διάγραμμα 5.1 Καμπύλες φέρουσας ικανότητας φορέα από δυναμική και στατική μέθοδο.

Διεύθυνση Φόρτισης 0°

	1 ^η Υπέρβαση της Σ.Ε. "Περιορισμένες Βλάβες"	1 ^η Υπέρβαση της Σ.Ε. "Σημαντικές Βλάβες"	1 ^η Υπέρβαση της Σ.Ε. "Οιονεί Κατάρρευση"	1 ^η Υπέρβαση Αντοχής σε Τέμνουσα
ΦΟΡΕΑΣ ΑΠΟ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	 (F=843,53 kN, δ=7,019 cm)	 (F=2224,21 kN, δ=30,779 cm)	 (F=2323,47 kN, δ=39,959 cm)	 (F=2256,65 kN, δ=32,939 cm)
ΦΟΡΕΑΣ ΑΠΟ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	 (F=1458,22 kN, δ=8,099 cm)	 (F=3561,18 kN, δ=31,859 cm)	 (F=3732,21 kN, δ=45,359 cm)	 (F=3638,33 kN, δ=34,559 cm)
	<ul style="list-style-type: none"> ● Περιορισμένες Βλάβες ($\vartheta > \vartheta_v$) ● Σημαντικές Βλάβες ($\vartheta > 0,75 \cdot \vartheta_u$) ● Οιονεί Κατάρρευση ($\vartheta > \vartheta_u$) ■ Αστοχία σε Τέμνουσα ($V > V_{R,max}$) 			

Σχήμα 5.1 Εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας στους φορείς από δυναμική και στατική μέθοδο (Φόρτιση 0°).

Διεύθυνση Φόρτισης 90°

	1 ^η Υπέρβαση της Σ.Ε. "Περιορισμένες Βλάβες"	1 ^η Υπέρβαση της Σ.Ε. "Σημαντικές Βλάβες"	1 ^η Υπέρβαση της Σ.Ε. "Οιονεί Κατάρρευση"	1 ^η Υπέρβαση Αντοχής σε Τέμνουσα
ΦΟΡΕΑΣ ΑΠΟ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	 (F=840,20 kN, δ=7,560 cm)	 (F=1997,14 kN, δ=31,320 cm)	 (F=2116,21 kN, δ=39,960 cm)	 (F=2111,43 kN, δ=39,420 cm)
ΦΟΡΕΑΣ ΑΠΟ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	 (F=1760,61 kN, δ=10,260 cm)	 (F=3414,35 kN, δ=34,020 cm)	 (F=3536,16 kN, δ=50,220 cm)	 (F=3447,96 kN, δ=36,180 cm)
	<ul style="list-style-type: none"> ● Περιορισμένες Βλάβες ($\vartheta > \vartheta_{\gamma}$) ● Σημαντικές Βλάβες ($\vartheta > 0,75 \cdot \vartheta_u$) ● Οιονεί Κατάρρευση ($\vartheta > \vartheta_u$) ■ Αστοχία σε Τέμνουσα ($V > V_{R,max}$) 			

Σχήμα 5.2 Εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας στους φορείς από δυναμική και στατική μέθοδο (Φόρτιση 90°).

Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο φορέας ο οποίος είναι διαστασιολογημένος εφαρμόζοντας τη στατική μέθοδο εμφανίζει μεγαλύτερη αρχική ελαστική δυσκαμψία σε σχέση με το φορέα από τη δυναμική μέθοδο. Επίσης, η μέγιστη τέμνουσα βάσης F_{max} είναι αρκετά μεγαλύτερη ενώ η τιμή της στοχευόμενης μετατόπισης είναι μικρότερη από την αντίστοιχη στο φορέα από τη δυναμική μέθοδο.

Επίσης, από τα παραπάνω σχήματα (Σχήματα 5.1, 5.2), που παρουσιάζουν τη στιγμή υπέρβασης κάθε στάθμης επιτελεστικότητας στους δύο φορείς, προκύπτει ότι για τις στάθμες επιτελεστικότητας "Σημαντικές Βλάβες" και "Οιονεί Κατάρρευση" η υπέρβαση συμβαίνει στα ίδια μέλη, μόνο που για το φορέα από τη στατική μέθοδο η υπέρβαση συμβαίνει σε μεγαλύτερη μετατόπιση.

Όσον αφορά στη συμπεριφορά του φορέα στις δύο διευθύνσεις φόρτισης, προκύπτει ότι η τιμή της στοχευόμενης μετακίνησης κατά τη διεύθυνση 0° είναι λίγο μικρότερη από ότι κατά τη διεύθυνση 90° . Αυτό σημαίνει ότι κατά τη διεύθυνση 0° η κατασκευή είναι λίγο πιο δύσκαμπτη από ότι στη διεύθυνση 90° .

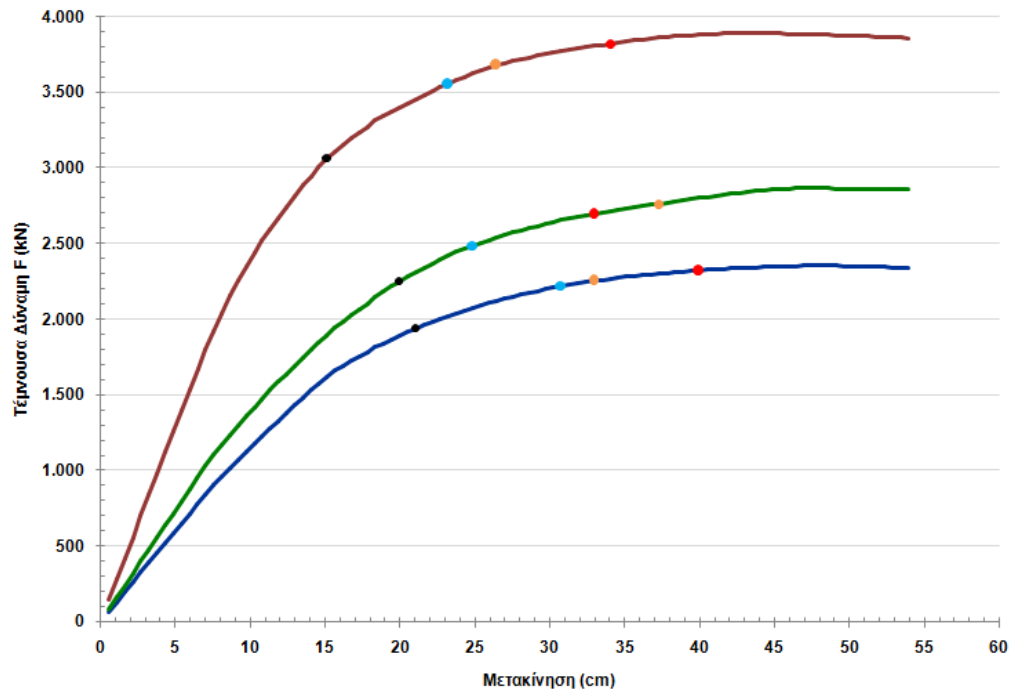
5.1.2. Επίδραση Σχεδιασμού Φορέων με Τοιχώματα

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση του σχεδιασμού φορέων με τοιχώματα σε σχέση με φορέα αποτελούμενο μόνο με υποστυλώματα στην αποτίμηση της φέρουσας ικανότητάς του, πραγματοποιήθηκε ανελαστική στατική ανάλυση στους φορείς 1A, 1B και 1Γ (Αναλύσεις 1A-9-1, 1B-5-1, 1Γ-5-1).

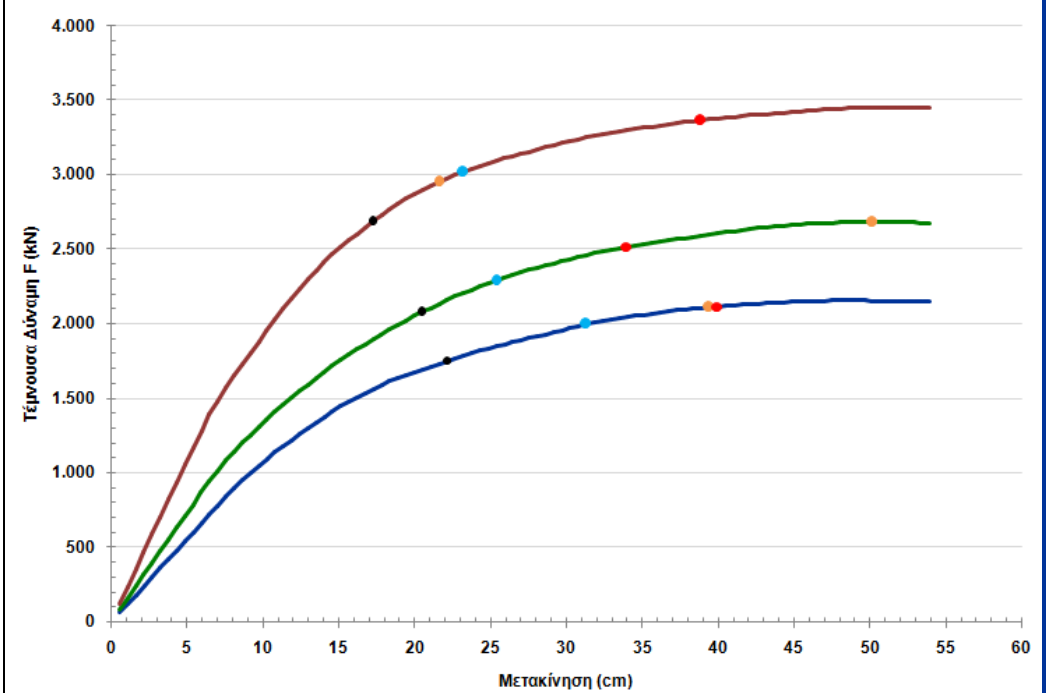
Οι αντίστοιχες καμπύλες ικανότητας του φορέα για κάθε διεύθυνση φόρτισης και οι στοχευόμενες μετακινήσεις παρουσιάζονται ακολούθως (Διάγραμμα 5.2, Πίνακας 5.5).

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΟΡΕΑ

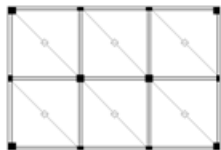
Διεύθυνση Φόρτισης 0°



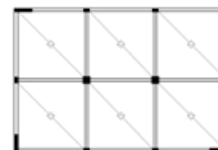
Διεύθυνση Φόρτισης 90°



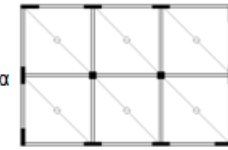
— Φορέας με υποστυλώματα



— Φορέας με γωνιακά τοιχώματα



— Φορέας με περιμετρικά τοιχώματα



• Στοχευόμενη Μετακίνηση (a=0,24g)

Διάγραμμα 5.2 Καμπύλες φέρουσας ικανότητας φορέα σχεδιασμένο με υποστυλώματα, γωνιακά και περιμετρικά τοιχώματα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ					
Περιγραφή Φορέα	Διεύθυνση Φόρτισης (°)	α_u/α_1	Στοχευόμενη Μετακίνηση		Μέγιστη τιμή Τέμνουσας Βάσης F_{max} (kN)
			F (kN)	SD (cm)	
Φορέας με υποστυλώματα	0	2,79	1940,30	21,06	2357,43
	90	2,57	1752,60	22,14	2158,23
Φορέας με γωνιακά τοιχώματα	0	3,00	2252,50	19,98	2868,46
	90	2,64	2081,40	20,51	2680,70
Φορέας με περιμετρικά τοιχώματα	0	2,69	3062,10	15,12	3893,17
	90	2,53	2690,20	17,27	3452,48

Παραδοχές Ανάλυσης:

- Κατανομή φόρτισης: Τριγωνική
- Φαινόμενα 2^{ας} τάξεως: Ναι
- Επιρροή περισφιγξης: Ναι
- Πιθανότητα υπέρβασης Σ.Ε. "Σημαντικές Βλάβες": 10%
- Κόμβος ελέγχου: $K_8(6)$

Πίνακας 5.5 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης για φορέα σχεδιασμένο με τοιχώματα.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, είναι σαφές ότι οι φορέας σχεδιασμένος με περιμετρικά τοιχώματα εμφανίζει τη μεγαλύτερη αρχική ελαστική δυσκαμψία και ακολούθως ο φορέας με τα γωνιακά τοιχώματα, κάτι που ήταν αναμενόμενο.

Η μέγιστη τιμή της τέμνουσας βάσης F_{max} αυξάνει αρκετά ενώ η τιμή της στοχευόμενης μετατόπισης μικραίνει όσο αυξάνεται το πλήθος των υποστυλωμάτων που αντικαθίστανται με τοιχώματα.

Και στους τρεις φορείς, το σημείο επιτελεστικότητας βρίσκεται μόλις μετά τον ελαστικό κλάδο, στην αρχή της πλαστικοποίησης.

5.1.3. Επίδραση του Κανονισμού Σχεδιασμού

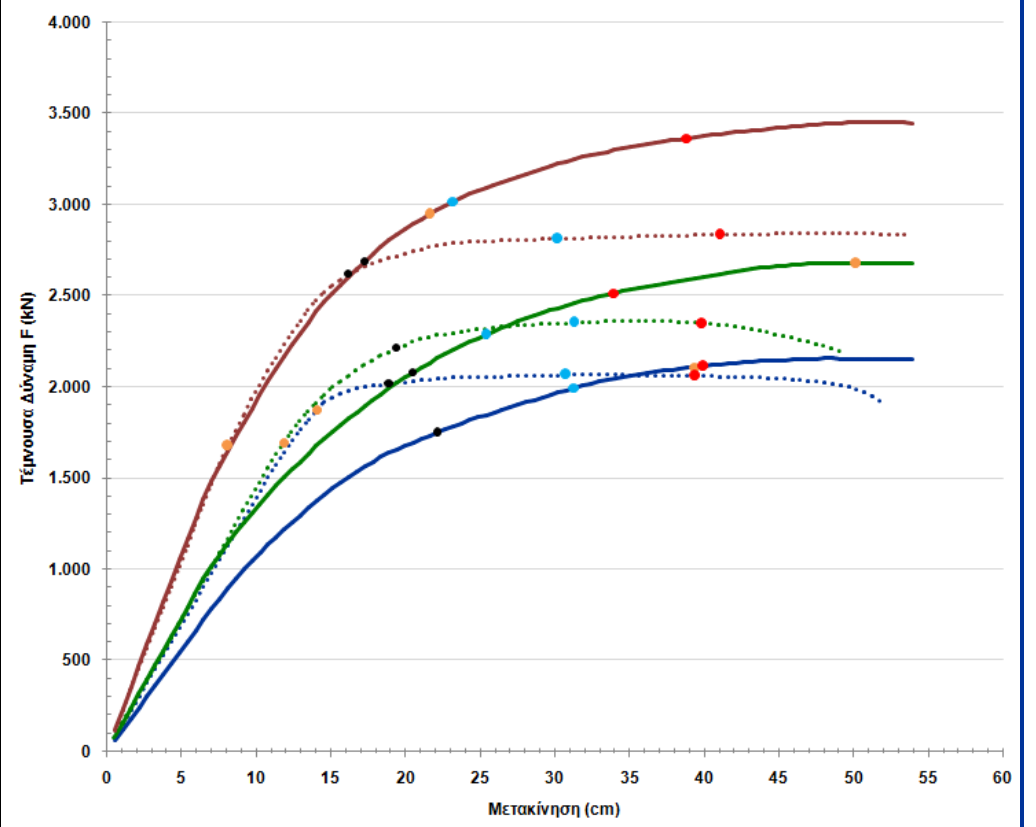
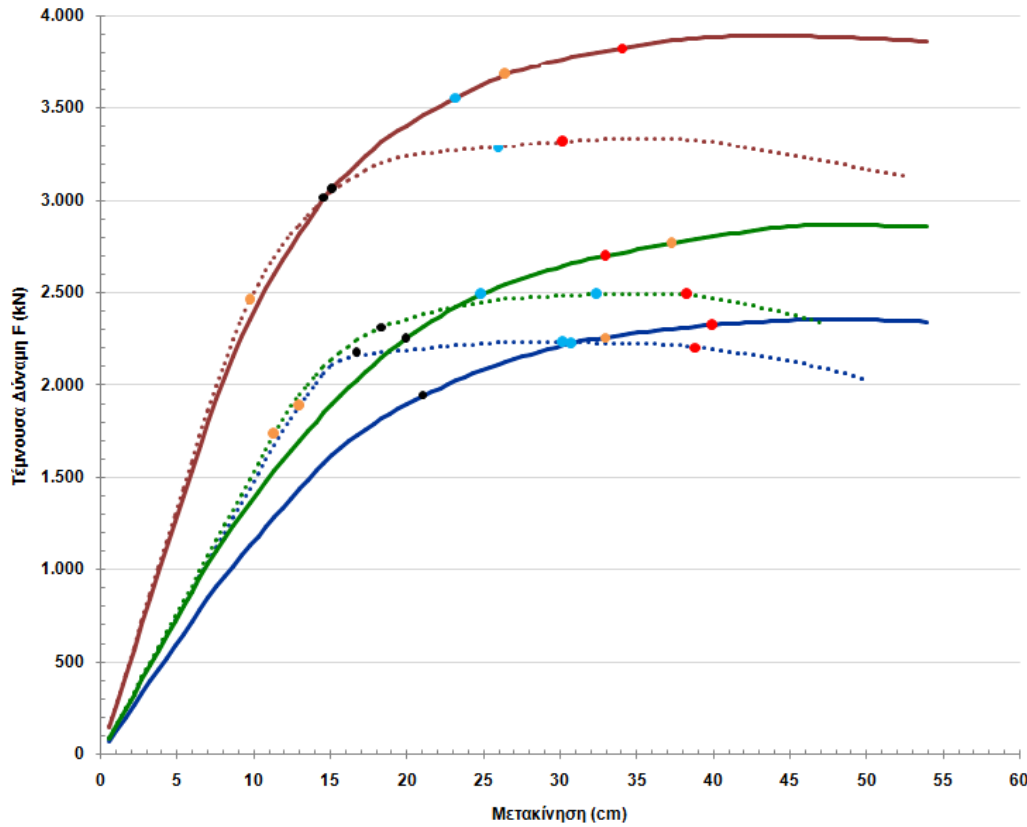
Οι τρεις αυτές παραλλαγές του φορέα 1 διαστασιολογήθηκαν εκτός με EC2-EC8 (Αναλύσεις 1A-9-1, 1B-5-1, 1Γ-5-1) και με τον παλαιότερο κανονισμό του ΒΔ'54 (Αναλύσεις 1A-8-11, 1B-3-5, 1Γ-3-5). Αυτές οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με σκοπό τη σύγκριση της φέρουσας ικανότητας παλαιότερων φορέων με φορείς σχεδιασμένους με σύγχρονες διατάξεις, μετά από ανάλυση pushover.

Οι αντίστοιχες καμπύλες ικανότητας του φορέα για κάθε διεύθυνση φόρτισης και οι στοχευόμενες μετακινήσεις παρουσιάζονται ακολούθως (Διάγραμμα 5.3, Πίνακας 5.6).

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΟΡΕΑ

Διεύθυνση Φόρτισης 0°

Διεύθυνση Φόρτισης 90°



- | | | |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> — Φορέας με υποστυλώματα - EC2/EC8 — Φορέας με γωνιακά τοιχώματα - EC2/EC8 — Φορέας με περιμετρικά τοιχώματα - EC2/EC8 | <ul style="list-style-type: none"> ⋯ ΒΔ'54 ⋯ ΒΔ'54 ⋯ ΒΔ'54 | <ul style="list-style-type: none"> ● Σημαντικές Βλάβες ● Οιονεί Κατάρρευση ● Αστοχία Τέμνουσας |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Στοχευόμενη Μετακίνηση (a=0,24g) | | |

Διάγραμμα 5.3 Καμπύλες φέρουσας ικανότητας φορέα σχεδιασμένο με EC και ΒΔ'54.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ							
Περιγραφή Φορέα		Διεύθυνση Φόρτισης (°)	α_u/α_1	Στοχευόμενη Μετακίνηση		Μέγιστη τιμή Τέμνουσας Βάσης F_{max} (kN)	Ανεπάρκειες
				F (kN)	SD (cm)		
Φορέας με υποστυλώματα	EC2-EC8	0	2,79	1940,30	21,06	2357,43	-
		90	2,57	1752,60	22,14	2158,23	
	ΒΔ'54	0	1,33	2174,30	18,36	2231,70	$K_2(2-3), K_4(2), K_6(2), K_7(2), K_9(2), K_{11}(2-3),$
		90	1,31	2017,50	18,90	2069,07	$\Delta_{5.1}(1-3), \Delta_{5.2}(1-3), \Delta_{6.1}(1-3), \Delta_{6.2}(1-3), \Delta_{2.1}(2), \Delta_{2.2}(2), \Delta_{2.3}(2)$
Φορέας με γωνιακά τοιχώματα	EC2-EC8	0	3,00	2252,50	19,98	2868,46	-
		90	2,64	2081,40	20,51	2680,70	
	ΒΔ'54	0	1,51	2311,20	18,36	2495,00	$K_2(2-4), K_6(2-3), K_7(2-3), K_{11}(2-3),$
		90	1,45	2213,10	19,39	2363,05	$\Delta_{1.3}(2-3), \Delta_{2.2}(2-3), \Delta_{3.1}(2-3), \Delta_{4.1}(2-3), \Delta_{5.1}(2), \Delta_{5.2}(2), \Delta_{6.1}(2), \Delta_{7.2}(2-3)$
Φορέας με περιμετρικά τοιχώματα	EC2-EC8	0	2,69	3062,10	15,12	3893,17	-
		90	2,53	2690,20	17,27	3452,48	
	ΒΔ'54	0	1,79	3012,80	14,58	3336,22	$\Delta_{1.2}(2-3), \Delta_{1.3}(2-3), \Delta_{3.1}(2-3), \Delta_{3.2}(2-3), \Delta_{4.1}(1-3), \Delta_{5.1}(2),$
		90	1,69	2619,40	16,18	2843,69	$\Delta_{5.2}(2), \Delta_{6.1}(2), \Delta_{6.2}(2), \Delta_{7.2}(1-3)$

Παραδοχές Ανάλυσης:

- Κατανομή φόρτισης: Τριγωνική
- Φαινόμενα 2^{ης} τάξεως: Ναι
- Επιρροή περίσφιξης: Ναι
- Πιθανότητα υπέρβασης Σ.Ε. "Σημαντικές Βλάβες": 10%
- Κόμβος ελέγχου: $K_8(6)$

Πίνακας 5.6 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης για φορείς διαστασιολογημένους με EC2-EC8 και με ΒΔ'54.

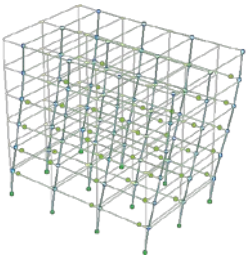
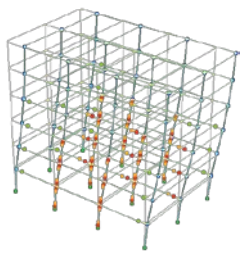
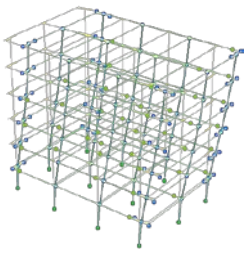
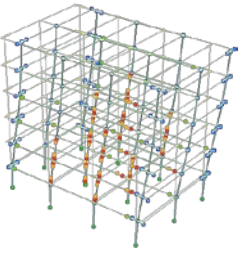
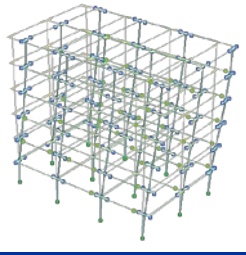
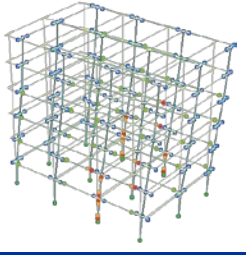
Από τα παραπάνω διαγράμματα αντίστασης των φορέων προκύπτει ότι για την περίπτωση του φορέα με υποστυλώματα και σχεδιασμένου με το ΒΔ'54, η αρχική ελαστική δυσκαμψία είναι αρκετά μεγαλύτερη από το φορέα διαστασιολογημένο με EC2-EC8. Στις άλλες δύο περιπτώσεις φορέων με τοιχώματα η αρχική ελαστική δυσκαμψία των φορέων οπλισμένων με βάση τους EC και το ΒΔ'54 είναι σχεδόν ίδια. Το διάγραμμα φέρουσας ικανότητας των φορέων σχεδιασμένων με το ΒΔ'54 σταματά σε μετατόπιση μικρότερη του 3% του ύψους του κτιρίου, σε αντίθεση με τις καμπύλες των σύγχρονων φορέων. Αυτό συμβαίνει καθώς έχει σχηματιστεί επαρκής αριθμός πλαστικών αρθρώσεων που μετατρέπουν την κατασκευή σε μηχανισμό

κατάρρευσης. Επίσης, παρατηρείται και μια πτώση του διαγράμματος στην οριακή αυτή μετατόπιση.

Και στους τρεις φορείς, η τιμή του σημείου επιτελεστικότητας είναι μικρότερη στην περίπτωση των παλαιότερων φορέων (φορείς σχεδιασμένοι με ΒΔ'54). Αυτό συμβαίνει καθώς οι φορείς αυτοί είναι πιο δύσκαμπτοι.

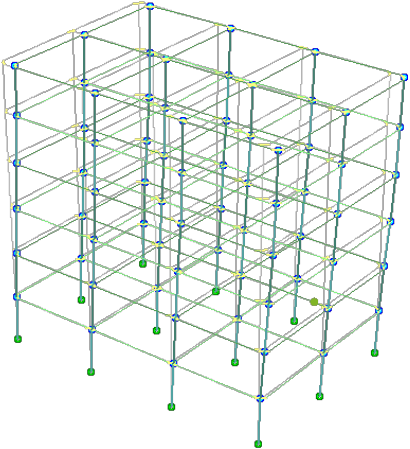
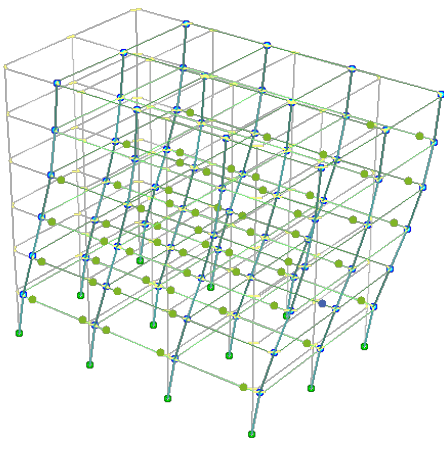
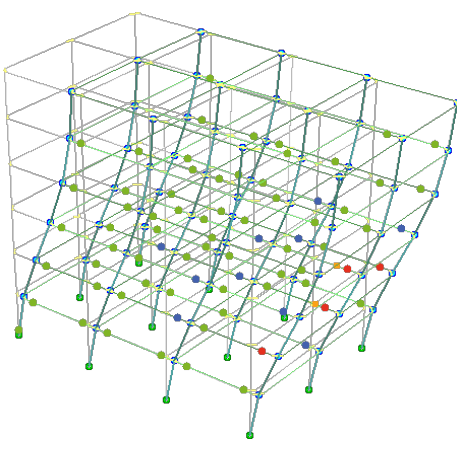
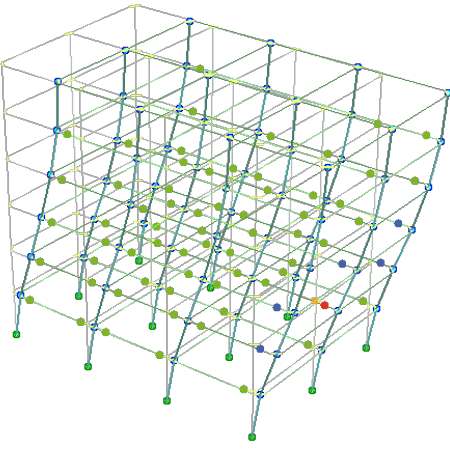
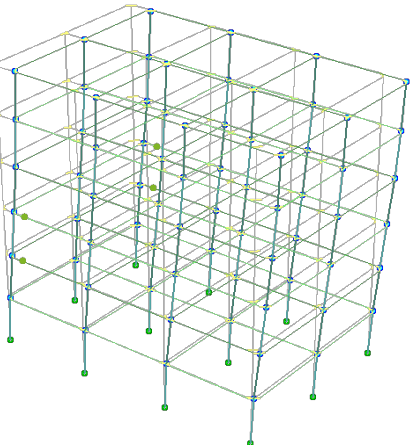
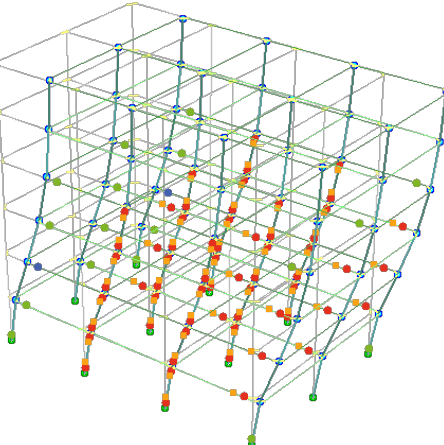
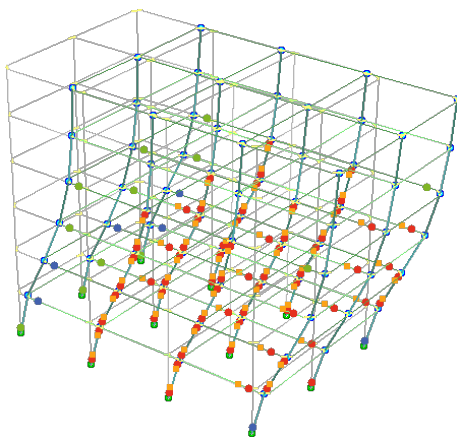
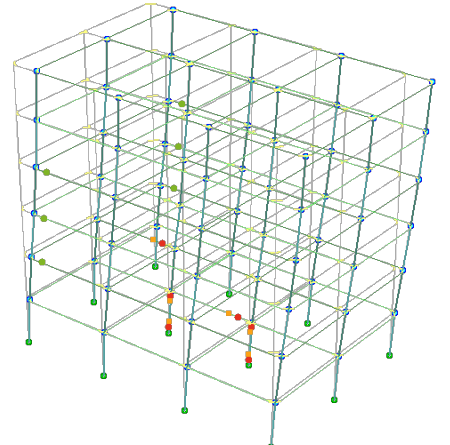
Τέλος, από τα παρακάτω σχήματα (Σχήματα 5.4, 5.5, 5.6), που παρουσιάζουν τη στιγμή υπέρβασης κάθε στάθμης επιτελεστικότητας στους δύο φορείς και για τις τρεις παραλλαγές, προκύπτει ότι στην περίπτωση των φορέων από ΒΔ'54 εμφανίζεται υπέρβαση της αντοχής σε τέμνουσα, δηλαδή ψαθυρή αστοχία, σε πολλά δομικά μέλη πριν την αστοχία σε κάμψη. Αυτό το φαινόμενο παρουσιάζεται και στον φορέα με περιμετρικά τοιχώματα που οπλίστηκε βάση EC. Αντιθέτως, στους υπόλοιπους φορείς που είναι διαστασιολογημένοι με EC, τα μέλη αστοχούν σε τέμνουσα μετά την υπέρβαση της Σ.Ε. "Σημαντικές Βλάβες".

Στον ακόλουθο πίνακα εμφανίζονται οι πλαστικές αρθρώσεις σε κάθε φορέα τη στιγμή της στοχευόμενης μετακίνησης για σεισμική διεύθυνση 0° (Σχήμα 5.3).

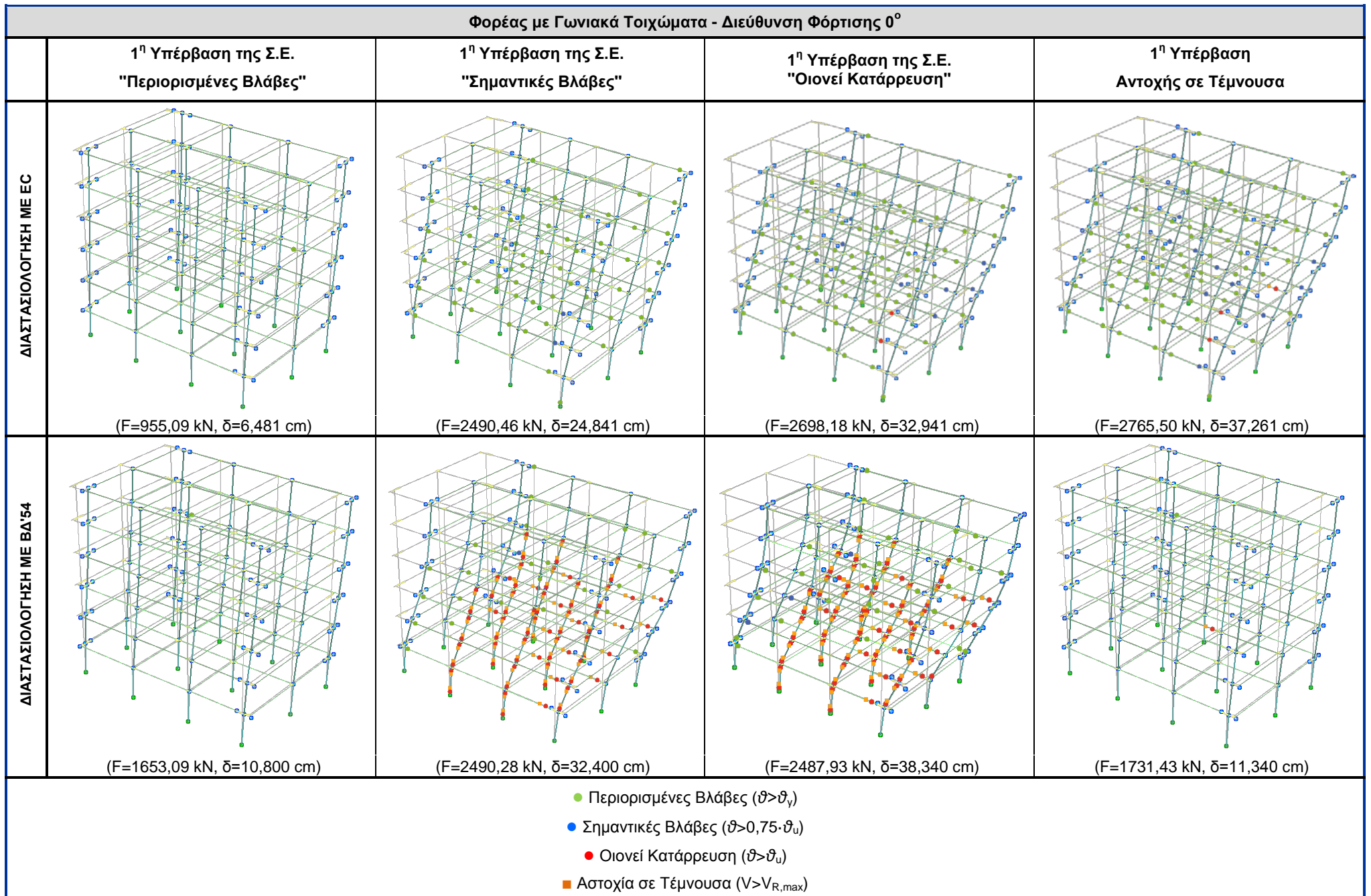
Περιγραφή Φορέα	EC2-EC8	ΒΔ'54
Φορέας με υποστυλώματα		
Φορέας με γωνιακά τοιχώματα		
Φορέας με περιμετρικά τοιχώματα		

Σχήμα 5.3 Πλαστικές αρθρώσεις κατά τη στοχευόμενη μετακίνηση (Φόρτιση 0°).

Φορέας με Υποστυλώματα - Διεύθυνση Φόρτισης 0°

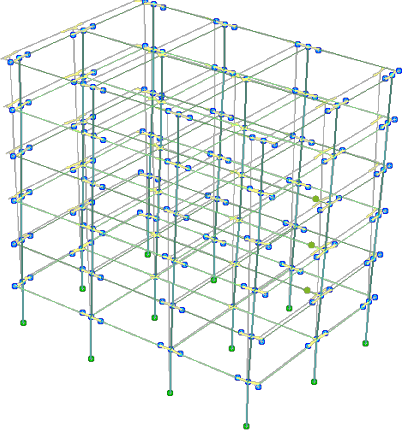
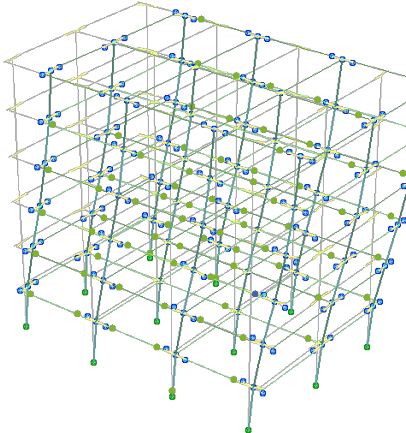
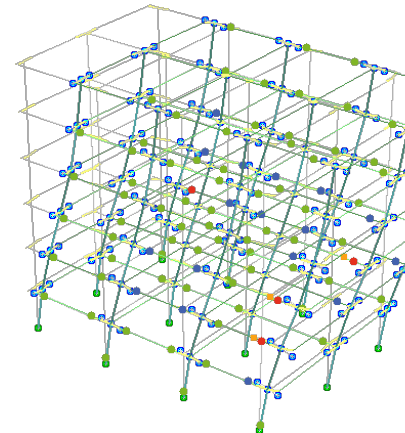
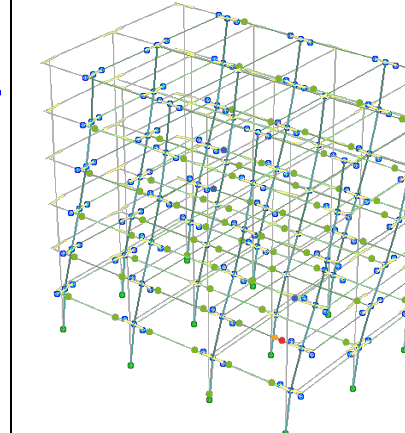
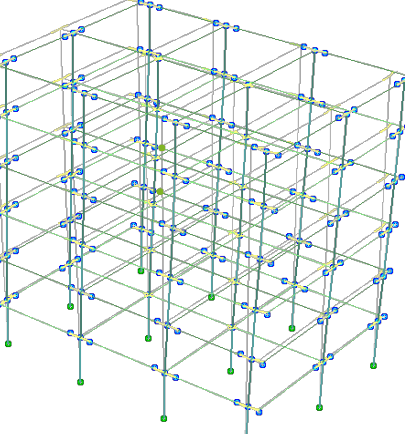
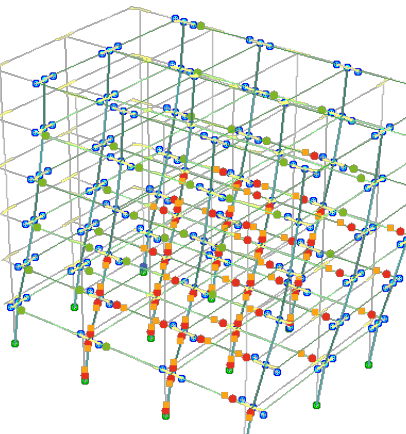
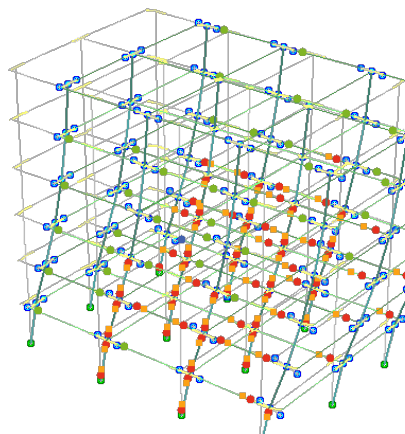
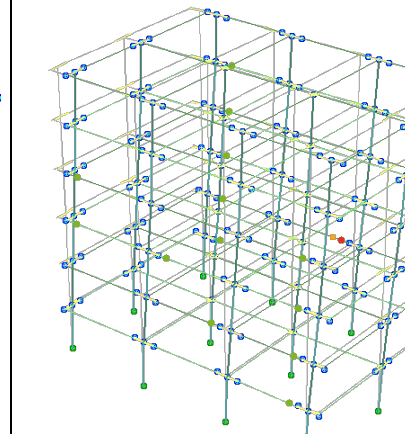
	1 ^η Υπέρβαση της Σ.Ε. "Περιορισμένες Βλάβες"	1 ^η Υπέρβαση της Σ.Ε. "Σημαντικές Βλάβες"	1 ^η Υπέρβαση της Σ.Ε. "Οιονεί Κατάρρευση"	1 ^η Υπέρβαση Αντοχής σε Τέμνουσα
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗ ΜΕ EC	 (F=843,53 kN, δ=7,019 cm)	 (F=2224,21 kN, δ=30,779 cm)	 (F=2323,47 kN, δ=39,959 cm)	 (F=2256,65 kN, δ=32,939 cm)
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗ ΜΕ ΒΔ'54	 (F=1672,49 kN, δ=11,339 cm)	 (F=2231,28 kN, δ=30,239 cm)	 (F=2204,07 kN, δ=38,879 cm)	 (F=1888,29 kN, δ=12,959 cm)
	<ul style="list-style-type: none"> ● Περιορισμένες Βλάβες ($\vartheta > \vartheta_{\gamma}$) ● Σημαντικές Βλάβες ($\vartheta > 0,75 \cdot \vartheta_{\gamma}$) ● Οιονεί Κατάρρευση ($\vartheta > \vartheta_{\gamma}$) ■ Αστοχία σε Τέμνουσα ($V > V_{R,max}$) 			

Σχήμα 5.4 Εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας στο φορέα 1Α οπλισμένο με EC και ΒΔ'54 (Φόρτιση 0°).



Σχήμα 5.5 Εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας στο φορέα 1B οπλισμένο με EC και ΒΔ'54 (Φόρτιση 0°).

Φορέας με Περιμετρικά Τοιχώματα - Διεύθυνση Φόρτισης 0°

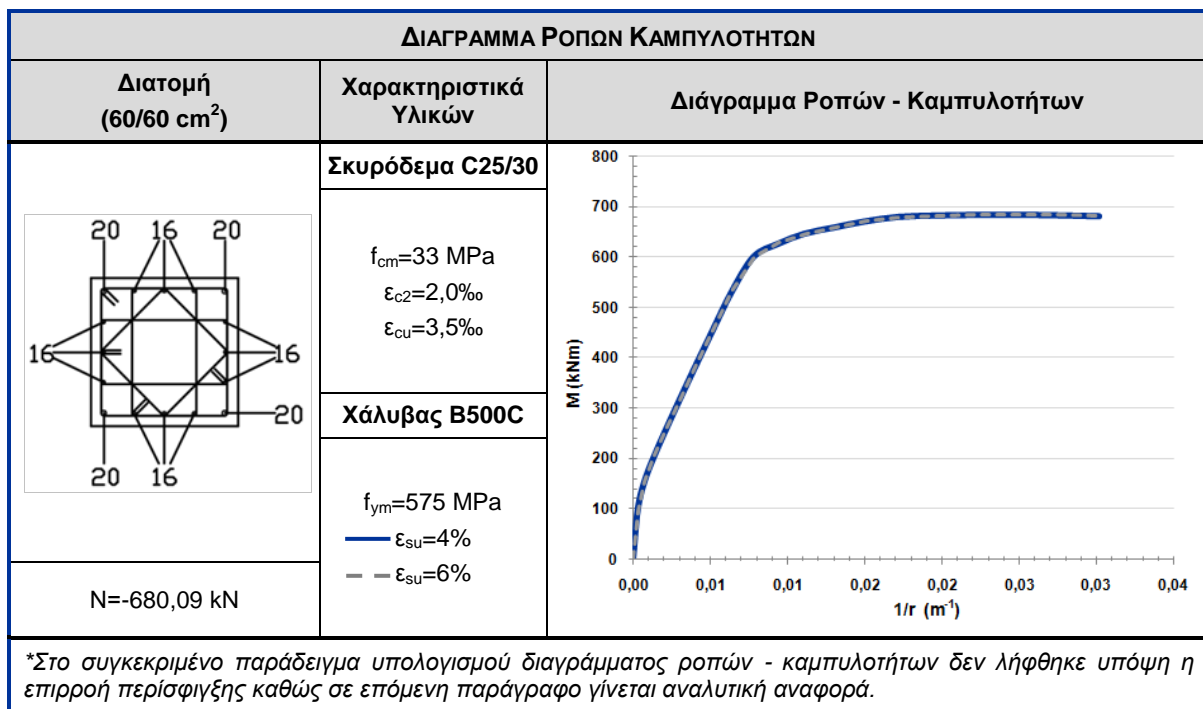
	1 ^η Υπέρβαση της Σ.Ε. "Περιορισμένες Βλάβες"	1 ^η Υπέρβαση της Σ.Ε. "Σημαντικές Βλάβες"	1 ^η Υπέρβαση της Σ.Ε. "Οιονεί Κατάρρευση"	1 ^η Υπέρβαση Αντοχής σε Τέμνουσα
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ EC	 (F=1535,63 kN, δ= cm)	 (F=3557,74 kN, δ=23,221 cm)	 (F=3824,48 kN, δ=34,021 cm)	 (F=3684,75 kN, δ=26,461 cm)
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΒΔ'54	 (F=1866,61 kN, δ=7,020 cm)	 (F=3290,39 kN, δ=41,581 cm)	 (F=3316,42 kN, δ=30,241 cm)	 (F=2460,16 kN, δ=9,720 cm)
	<ul style="list-style-type: none"> ● Περιορισμένες Βλάβες ($\vartheta > \vartheta_{\gamma}$) ● Σημαντικές Βλάβες ($\vartheta > 0,75 \cdot \vartheta_u$) ● Οιονεί Κατάρρευση ($\vartheta > \vartheta_u$) ■ Αστοχία σε Τέμνουσα ($V > V_{R,max}$) 			

Σχήμα 5.6 Εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας στο φορέα 1Γ οπλισμένο με EC και ΒΔ'54 (Φόρτιση 0°).

5.1.4. Μεταβολή της Παραμόρφωσης Αστοχίας του Χάλυβα

Η οριακή παραμόρφωση του οπλισμού υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση, για κατηγορία χάλυβα C, προτείνεται να λαμβάνεται ίση με $\epsilon_{su}=6\%$. Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση της τιμής της παραμόρφωσης αστοχίας του χάλυβα στη καμπύλη αντίστασης της κατασκευής, πραγματοποιήθηκε ανάλυση pushover λαμβάνοντας παραμόρφωση αστοχίας $\epsilon_{su}=4\%$ (Ανάλυση 1A-9-4).

Αρχικά εξετάστηκε η επίδραση στο διάγραμμα ροπών-καμπυλοτήτων χρησιμοποιώντας το στατικό πρόγραμμα Sap2000. Ακολούθως παρουσιάζεται το διάγραμμα ροπών-καμπυλοτήτων για μια ενδεικτική διατομή υποστυλώματος με οπλισμό διαφορετικής παραμόρφωσης αστοχίας (Πίνακας 5.7).



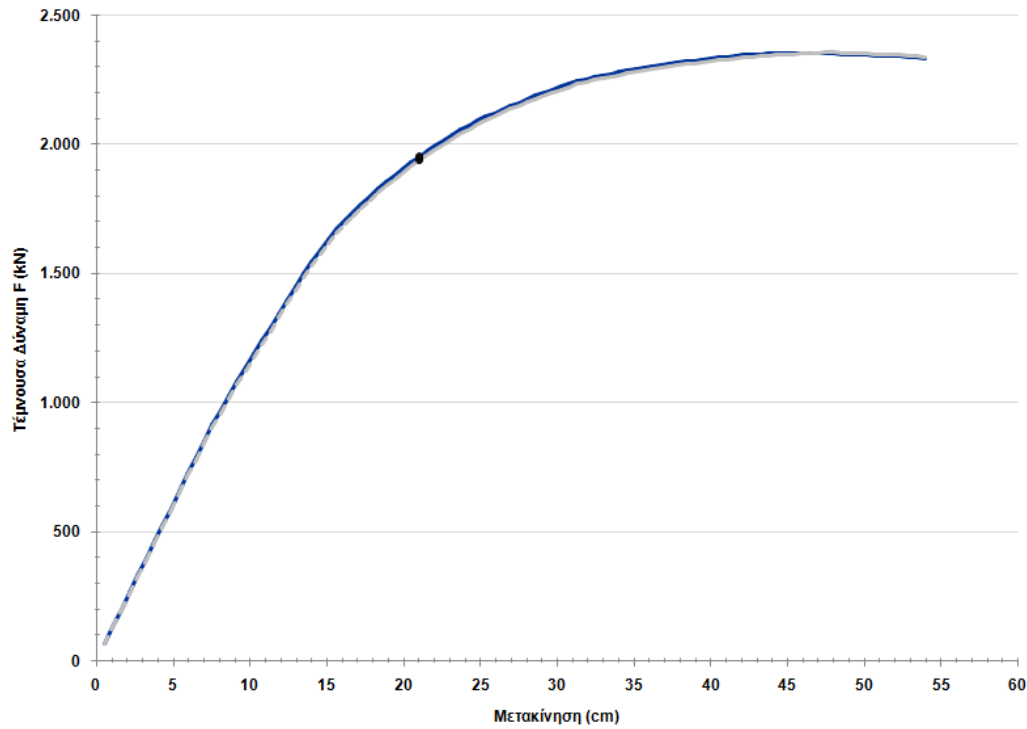
Πίνακας 5.7 Επιρροή της παραμόρφωσης αστοχίας του χάλυβα στο διάγραμμα ροπών-καμπυλοτήτων.

Οι διαφορές που προκύπτουν στο διάγραμμα ροπών - καμπυλοτήτων για τις δύο τιμές παραμόρφωσης αστοχίας του χάλυβα είναι αμελητέες. Για αυτό το λόγο, δεν αναμένεται και από την ανελαστική στατική ανάλυση να προκύψουν διαφορές στην καμπύλη ικανότητας της κατασκευής.

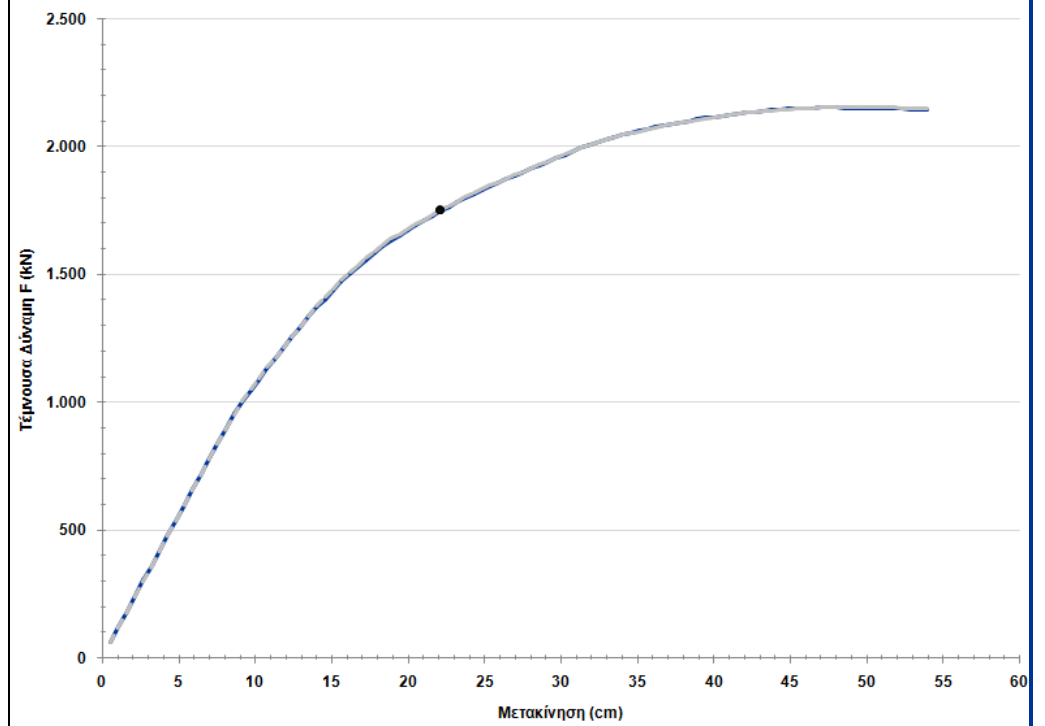
Οι αντίστοιχες καμπύλες ικανότητας του φορέα για κάθε διεύθυνση φόρτισης και οι στοχευόμενες μετακινήσεις παρουσιάζονται ακολούθως (Διάγραμμα 5.4, Πίνακας 5.8).

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΟΡΕΑ

Διεύθυνση Φόρτισης 0°



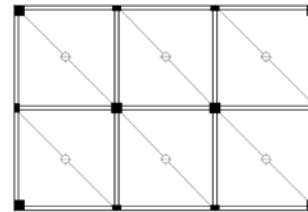
Διεύθυνση Φόρτισης 90°



----- $\epsilon_{su}=6\%$

— $\epsilon_{su}=4\%$

● Στοχευόμενη Μετακίνηση ($a=0,24g$)



Φορέας 1Α

Διάγραμμα 5.4 Καμπύλες φέρουσας ικανότητας φορέα 1Α για τιμές παραμόρφωσης αστοχίας χάλυβα $\epsilon_{su}=6\%$ και $\epsilon_{su}=4\%$.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ					
Περιγραφή Φορέα	Διεύθυνση Φόρτισης (°)	α_u/α_1	Στοχευόμενη Μετακίνηση		Μέγιστη τιμή Τέμνουσας Βάσης F_{max} (kN)
			F (kN)	SD (cm)	
Φορέας με $\varepsilon_{su}=6\%$	0	2,79	1940,30	21,06	2357,43
	90	2,57	1752,60	22,14	2158,23
Φορέας με $\varepsilon_{su}=4\%$	0	2,76	1955,10	21,06	2356,57
	90	2,56	1749,20	22,14	2154,28

Παραδοχές Ανάλυσης:

- Κατανομή φόρτισης: Τριγωνική
- Φαινόμενα 2^{ας} τάξεως: Ναι
- Επιρροή περίσφιγξης: Ναι
- Πιθανότητα υπέρβασης Σ.Ε. "Σημαντικές Βλάβες": 10%
- Κόμβος ελέγχου: $K_8(6)$

Πίνακας 5.8 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης για φορέα 1Α με τιμή παραμόρφωσης αστοχίας χάλυβα $\varepsilon_{su}=6\%$ και $\varepsilon_{su}=4\%$.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, είναι σαφές ότι η καμπύλη αντίστασης του φορέα δεν επηρεάζεται από τη μεταβολή της τιμής παραμόρφωσης αστοχίας του χάλυβα από $\varepsilon_{su}=6\%$ σε $\varepsilon_{su}=4\%$.

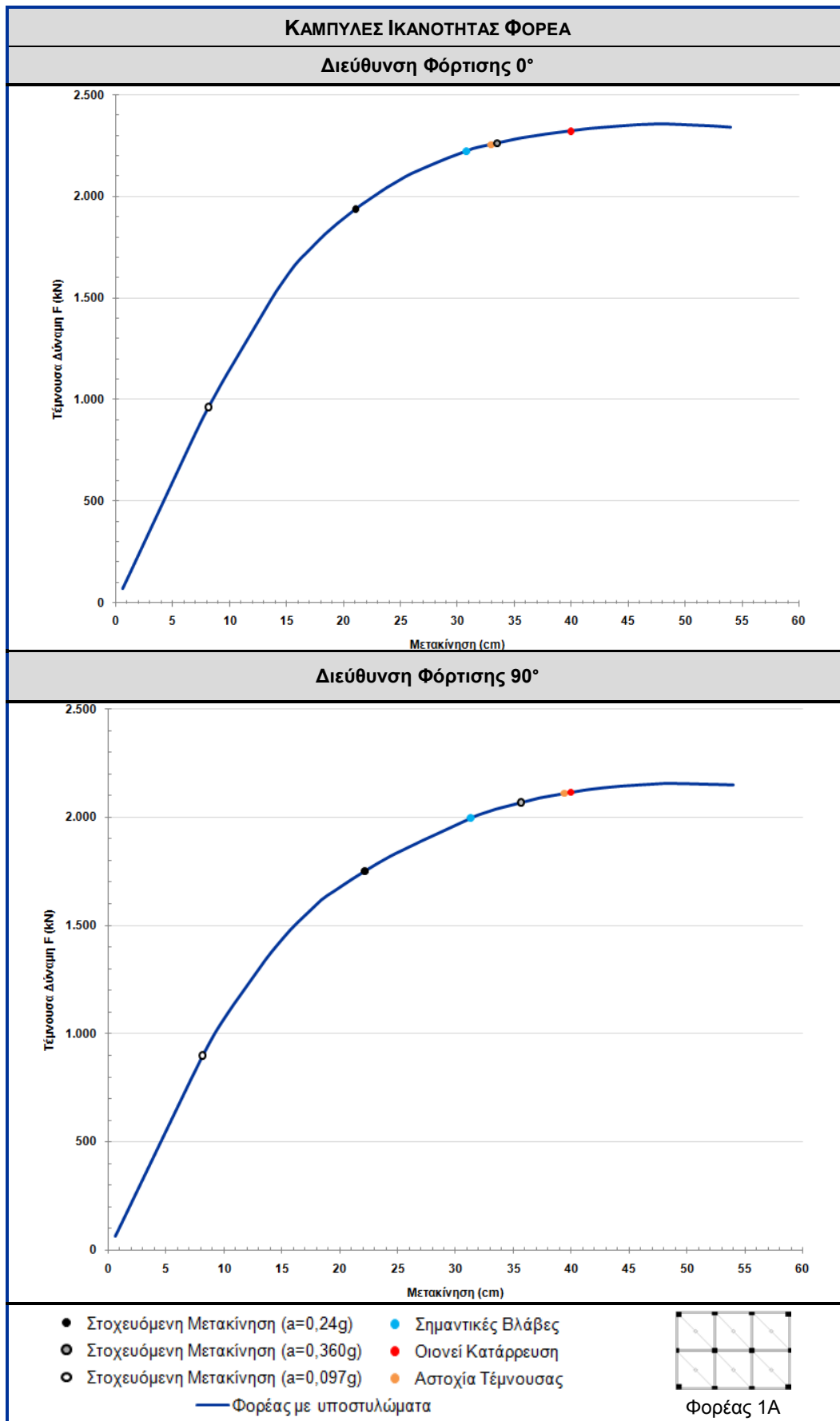
Δεν παρατηρείται μεταβολή της τιμής της στοχευόμενης μετακίνησης και η διαφορά των μέγιστων τιμών της τέμνουσας βάσης είναι αμελητέα.

5.1.5. Μεταβολή του Στόχου Σχεδιασμού

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο βασικός στόχος σχεδιασμού και αποτίμησης στον οποίο βασίζονται οι διατάξεις του EC8, είναι η προστασία ζωής σε ένα σεισμικό γεγονός που έχει περίοδο επανάλιψης 10% στα 50 χρόνια. Ο καθορισμός του στόχου για τον οποίο θα γίνει η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας μιας υφιστάμενης κατασκευής εξαρτάται από την επιλογή του μελετητή για τον επιθυμητό συνδυασμό ασφάλειας και κόστους.

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση της μεταβολής του στόχου σχεδιασμού, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις μεταβάλλοντας την πιθανότητα υπέρβασης της στάθμης επιτελεστικότητας "Σημαντικές Βλάβες" από 10% σε 80% και 3% (Ανάλυση 1Α-9-5 α,β), δηλαδή για εδαφική επιτάχυνση $a=0,097g$ και $a=0,363g$ αντιστοίχως.

Είναι σαφές ότι η μόνη μεταβολή θα είναι η στοχευόμενη μετακίνηση. Η καμπύλη ικανότητας του φορέα για κάθε διεύθυνση φόρτισης και οι στοχευόμενες μετακινήσεις παρουσιάζονται ακολούθως (Διάγραμμα 5.5, Πίνακας 5.9).



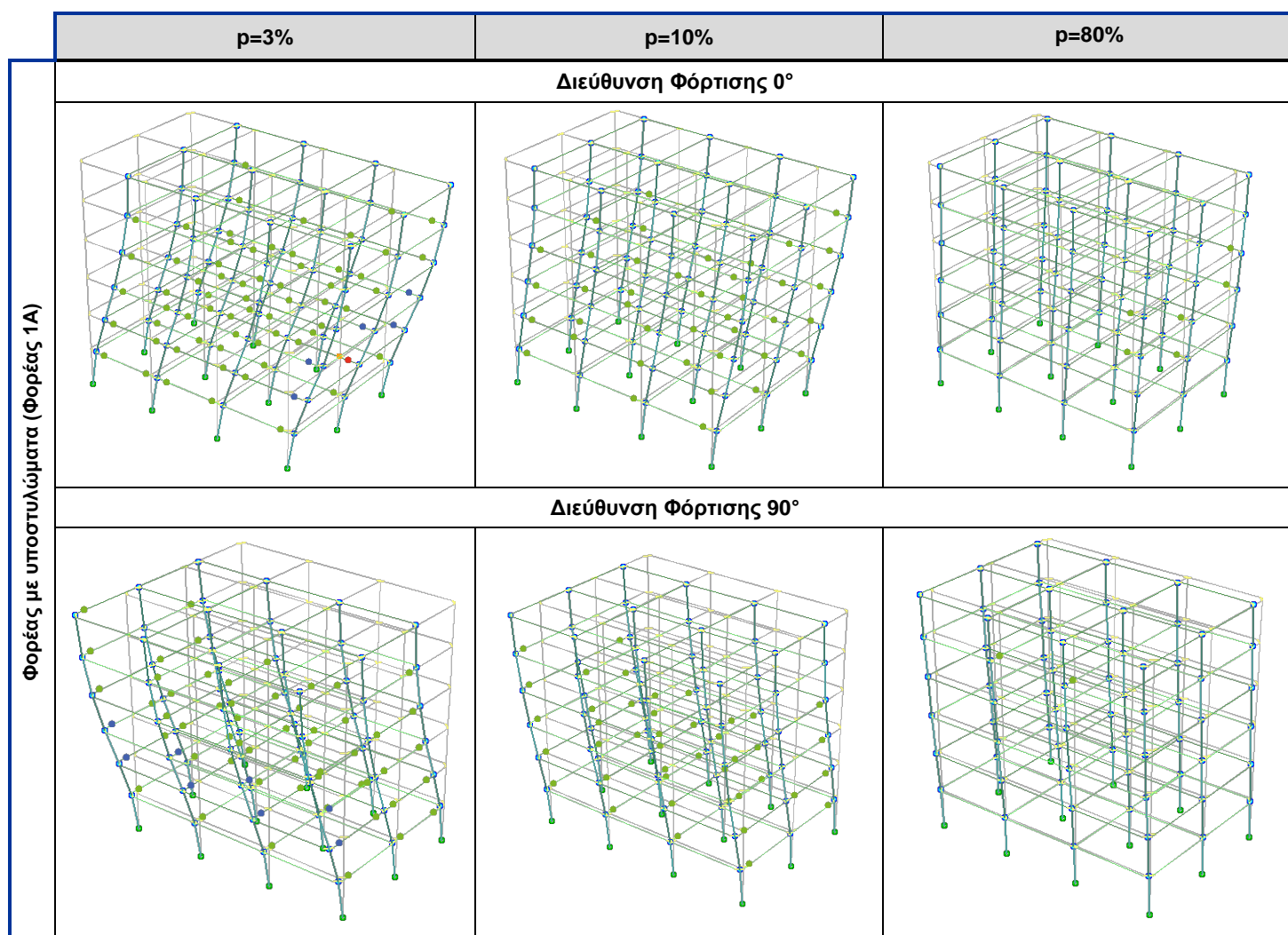
Διάγραμμα 5.5 Στοχευόμενη μετακίνηση για πιθανότητα υπέρβασης Σ.Ε. "Σημαντικές Βλάβες"
 $\rho=10\%$, $\rho=80\%$ και $\rho=3\%$.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ				
Περιγραφή Φορέα	Πιθανότητα Υπέρβασης Σ.Ε. "Σημαντικές Βλάβες"	Διεύθυνση Φόρτισης (°)	Στοχευόμενη Μετακίνηση	
			F (kN)	SD (cm)
Φορέας με υποστυλώματα	ρ=10% (a=0,24g)	0	1940,30	21,06
		90	1752,60	22,14
	ρ=80% (a=0,097g)	0	963,80	8,10
		90	898,40	8,10
	ρ=3% (a=0,360g)	0	2263,20	33,48
		90	2068,80	35,64

Παραδοχές Ανάλυσης:

- Κατανομή φόρτισης: Τριγωνική
- Φαινόμενα 2^{ας} τάξεως: Ναι
- Επιρροή περισφιγξης: Ναι
- Κόμβος ελέγχου: K₈(6)

Πίνακας 5.9 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης για φορέα 1Α με μεταβολή του στόχου σχεδιασμού.



Σχήμα 5.7 Πλαστικές αρθρώσεις για στοχευόμενη μετακίνηση με ρ=10%, ρ=80% και ρ=3%.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι για επιτάχυνση $a=0,097g$, το σημείο επιτελεστικότητας βρίσκεται αμέσως μετά τον ελαστικό κλάδο της κατασκευής. Αυτό έχει ως συνέπεια ότι τη στιγμή που η μετακίνηση γίνει ίση με την στοχευόμενη, τα μέλη που έχουν διαρρεύσει είναι λιγότερα στην περίπτωση στόχου σχεδιασμού $\rho=80\%$ από ότι για $\rho=10\%$. Αντίστοιχα, για επιτάχυνση $a=0,360g$ η στοχευόμενη μετακίνηση είναι μεγαλύτερη της μετακίνησης όπου παρατηρείται υπέρβαση της Σ.Ε. "Σημαντικές Βλάβες" και "Υπέρβαση Αντοχής σε Τέμνουσα" και επομένως ο φορέας κρίνεται ανεπαρκής (Σχήμα 5.7).

Επομένως, ο στόχος σχεδιασμού παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στον έλεγχο επάρκειας μιας κατασκευής και συνεπώς είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει τα αποτελέσματα της επίλυσης pushover.

5.1.6. Επίδραση Τυχηματικής Εκκεντρότητας

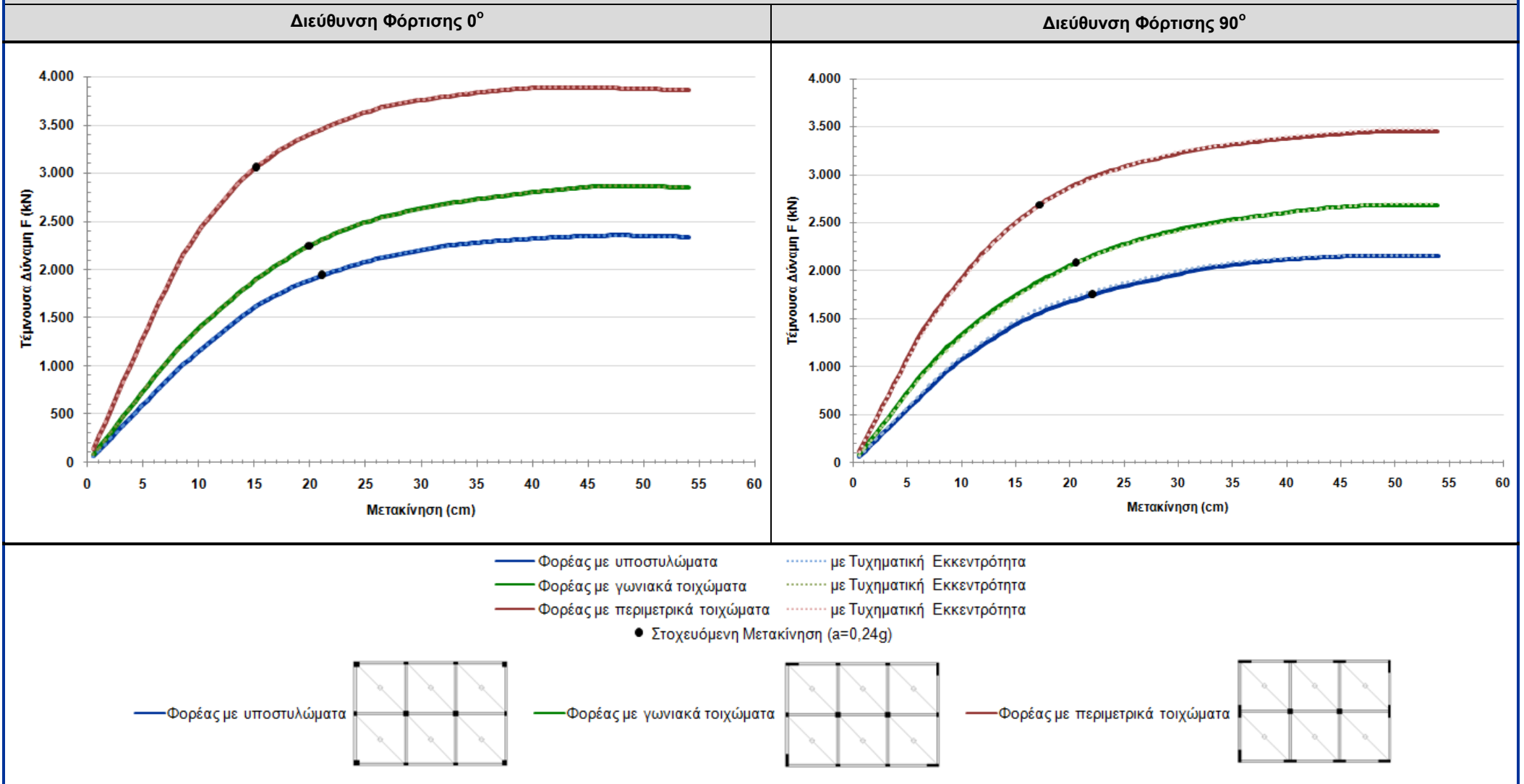
Σύμφωνα με τον EC8-3, κατά την εφαρμογή των πλευρικών φορτίων στις θέσεις των μαζών πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τυχηματική εκκεντρότητα. Προκειμένου να προσδιοριστεί η επίδραση της στην καμπύλη αντίστασης της κατασκευής, αναλύθηκαν και οι τρεις παραλλαγές του φορέα 1, λαμβάνοντας υπόψη τυχηματική εκκεντρότητα μόνο στην εγκάρσια διεύθυνση (Αναλύσεις 1A-9-3, 1B-5-4, 1Γ-5-4).

Οι αντίστοιχες καμπύλες ικανότητας του φορέα για κάθε διεύθυνση φόρτισης και οι στοχευόμενες μετακινήσεις παρουσιάζονται ακολούθως (Διάγραμμα 5.6, Πίνακας 5.10).

Από τα αποτελέσματα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η επίδραση της τυχηματικής εκκεντρότητας είναι αμελητέα στις καμπύλες αντίστασης και των τριών φορέων και δεν επιδρά στην τιμή της στοχευόμενης μετακίνησης.

Επομένως, η τυχηματική εκκεντρότητα είναι μία παράμετρος που δεν επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τον προσδιορισμό της φέρουσας ικανότητας των φορέων.

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΟΡΕΑ



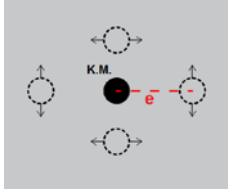
Διάγραμμα 5.6 Καμπύλες φέρουσας ικανότητας φορέα 1 λαμβάνοντας τυχηματική εκκεντρότητα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ						
Περιγραφή Φορέα		Διεύθυνση Φόρτισης (°)	α_u/α_1	Στοχευόμενη Μετακίνηση		Μέγιστη τιμή Τέννουσας Βάσης F_{max} (kN)
				F (kN)	SD (cm)	
Φορέας 1Α	Χωρίς Τ.Ε.	0	2,79	1940,30	21,06	2357,43
		90	2,57	1752,60	22,14	2158,23
	Με Τ.Ε.	0	2,79	1942,70	21,06	2355,20
		90	2,66	1788,50	22,14	2162,90
Φορέας 1Β	Χωρίς Τ.Ε.	0	3,00	2252,50	19,98	2868,46
		90	2,64	2081,40	20,51	2680,70
	Με Τ.Ε.	0	3,00	2253,00	19,98	2871,80
		90	2,93	2100,80	20,51	2699,10
Φορέας 1Γ	Χωρίς Τ.Ε.	0	2,69	3062,10	15,12	3893,17
		90	2,53	2690,20	17,27	3452,48
	Με Τ.Ε.	0	2,53	3070,80	15,12	3898,40
		90	2,75	2686,40	17,27	3481,40

Παραδοχές Ανάλυσης:

- Κατανομή φόρτισης: Τριγωνική
- Φαινόμενα 2^{ας} τάξεως: Ναι
- Επιρροή περίσφιξης: Ναι
- Πιθανότητα υπέρβασης Σ.Ε. "Σημαντικές Βλάβες": 10%
- Κόμβος ελέγχου: $K_8(6)$

*Τ.Ε.: Τυχηματική εκκεντρότητα e κατά την εγκάρσια διεύθυνση, δηλαδή σε φορτίσεις κατά τις διευθύνσεις 0° ή 180° λαμβάνεται τυχηματική εκκεντρότητα μόνο κατά $\pm Z$ και αντιστοίχως για φορτίσεις κατά τις διευθύνσεις 90° ή 270°.



Πίνακας 5.10 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης σε φορείς λαμβάνοντας τυχηματική εκκεντρότητα.

5.1.7. Σύγκριση ως προς την Κατανομή Σεισμικής Φόρτισης

Σκοπός αυτού του υποκεφαλαίου είναι η διερεύνηση της επίδρασης της καθ' ύψος κατανομής της σεισμικής φόρτισης στα αποτελέσματα της ανάλυσης pushover. Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις στις δύο παραλλαγές του φορέα 1 με τοιχώματα εφαρμόζοντας οριζόντια φόρτιση τριγωνικής, ομοιόμορφης και τριγωνικής κατανομής (Αναλύσεις 1B-5-1, 1B-5-2, 1B-5-3 και 1Γ-5-1, 1Γ-5-2, 1Γ-5-3).

Οι αναλύσεις του φορέα με γωνιακά τοιχώματα πραγματοποιήθηκαν με χρήση του στατικού προγράμματος Sap2000 και οι αντίστοιχες αναλύσεις του φορέα με περιμετρικά τοιχώματα με χρήση του προγράμματος Fespa.

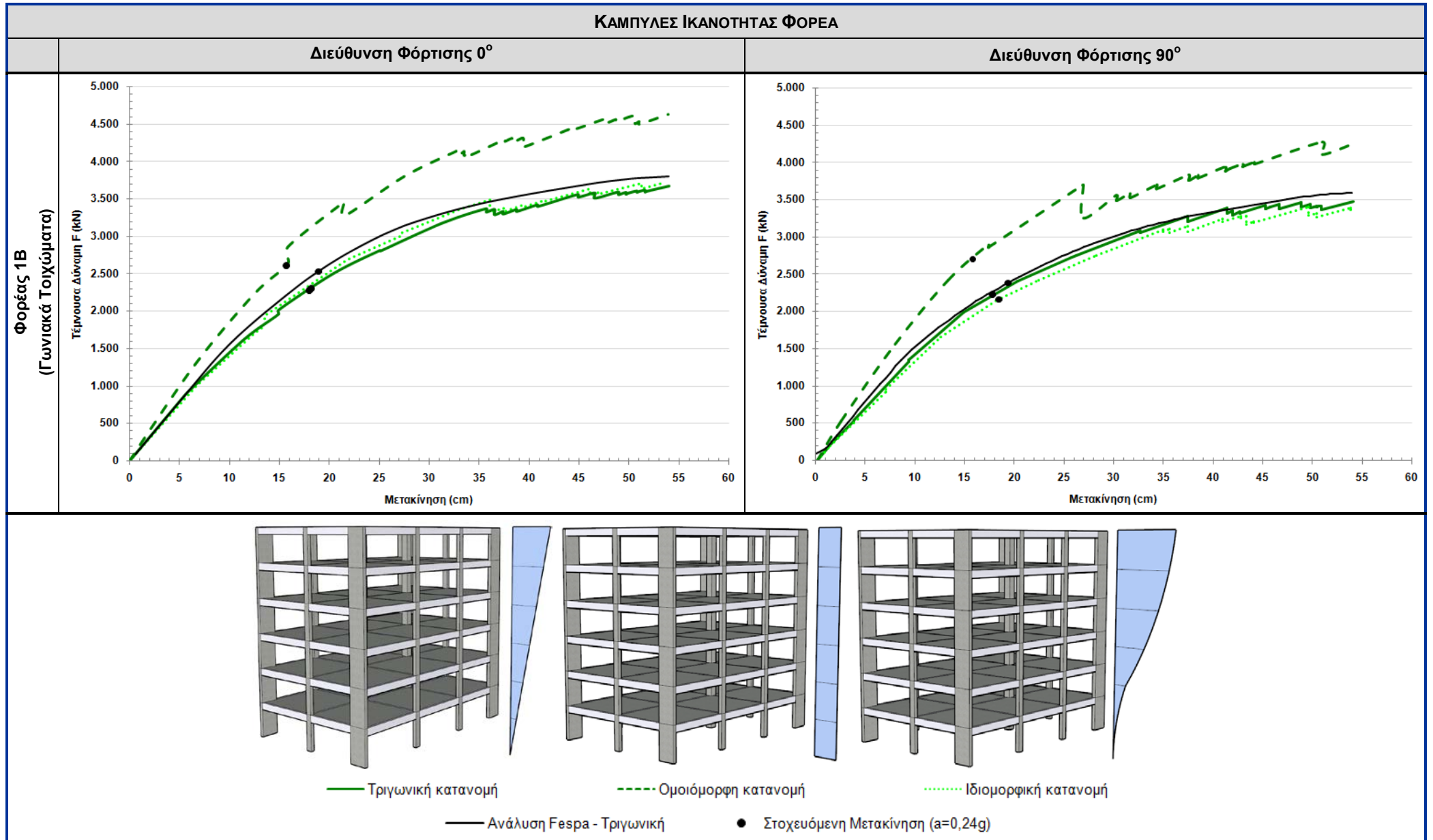
Οι αντίστοιχες καμπύλες ικανότητας των φορέων με γωνιακά και περιμετρικά τοιχώματα, για κάθε διεύθυνση φόρτισης και οι στοχευόμενες μετακινήσεις παρουσιάζονται ακολούθως (Διαγράμματα 5.7, 5.8, Πίνακας 5.11).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ					
Περιγραφή Φορέα	Καθ' ύψος Κατανομή Φορτίων	Διεύθυνση Φόρτισης (°)	Στοχευόμενη Μετακίνηση		Μέγιστη τιμή Τέννουσας Βάσης F_{max} (kN)
			F (kN)	SD (cm)	
Φορέας 1B Γωνιακά τοιχώματα	Τριγωνική	0	2393,709	18,60	3708,35
		90	2165,085	18,50	3408,69
	Ομοιόμορφη	0	2611,022	15,70	4631,49
		90	2708,405	15,80	3938,71
	Ιδιομορφική	0	2303,336	18,20	3670,30
		90	2222,584	17,90	3390,54
Παραδοχές Ανάλυσης: - Φαινόμενα 2 ^{ας} τάξεως: Όχι - Επιρροή περίσφιξης: Ναι - Πιθανότητα υπέρβασης Σ.Ε. "Σημαντικές Βλάβες": 10% - Κόμβος ελέγχου: $K_8(6)$ - Συντελεστής Εμπιστοσύνης $CF=1,00$ (αντί 1,20 για Ε.Γ. "Κανονική")					
Φορέας 1Γ Περιμετρικά Τοιχώματα	Τριγωνική	0	3062,10	15,12	3893,17
		90	2690,20	17,27	3452,48
	Ομοιόμορφη	0	3543,00	12,42	4648,70
		90	3041,40	13,49	4137,10
	Ιδιομορφική	0	2990,40	14,58	3876,50
		90	2588,20	16,19	3434,50
Παραδοχές Ανάλυσης: - Φαινόμενα 2 ^{ας} τάξεως: Ναι - Επιρροή περίσφιξης: Ναι - Πιθανότητα υπέρβασης Σ.Ε. "Σημαντικές Βλάβες": 10% - Κόμβος ελέγχου: $K_8(6)$					

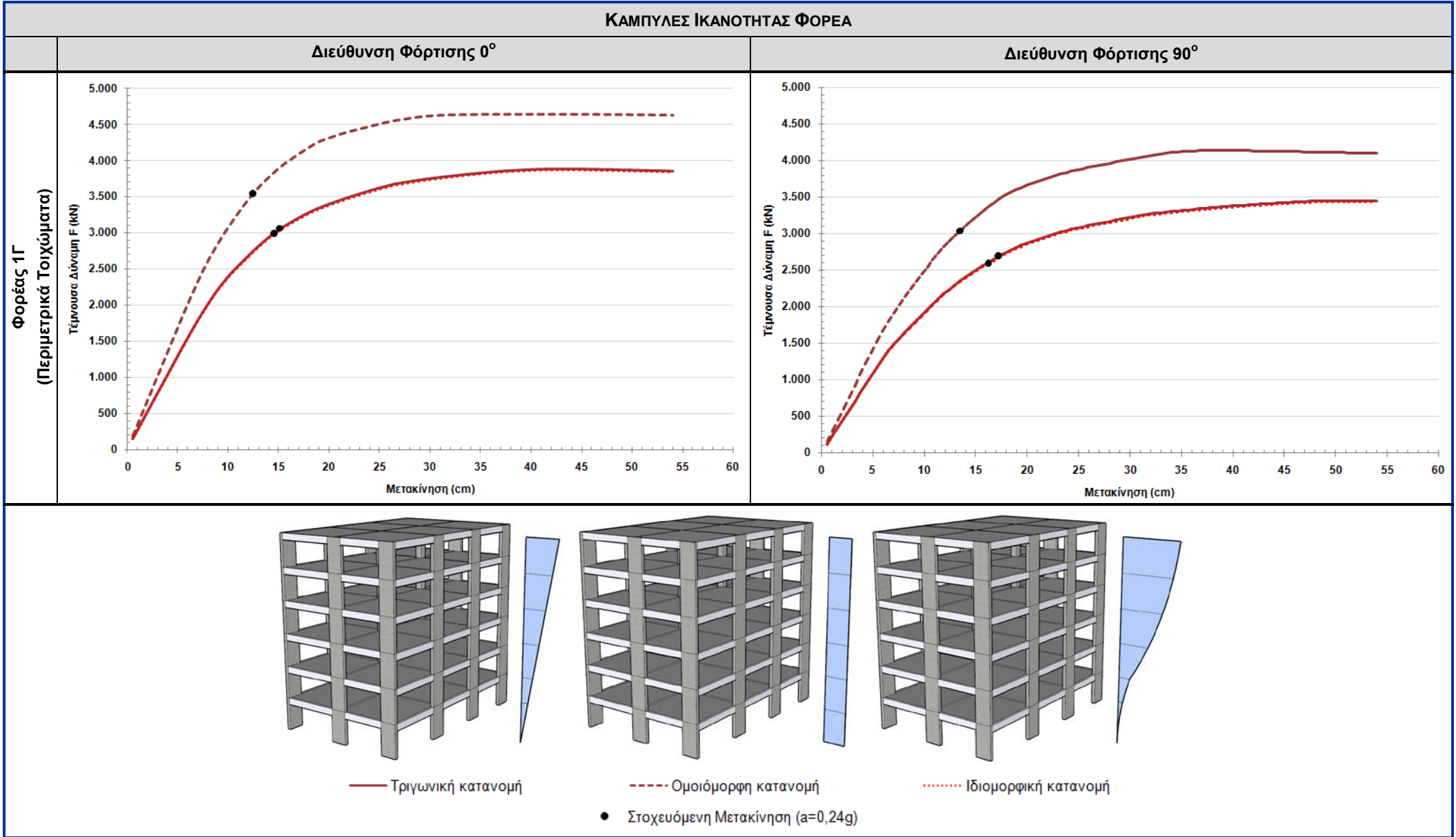
Πίνακας 5.11 Αποτελέσματα rushover ανάλυσης σε φορείς για τριγωνική, ομοιόμορφη και ιδιομορφική καθ' ύψος κατανομή φορτίων.

Από τα παρακάτω διαγράμματα αντίστασης των φορέων, είναι φανερό ότι με την εφαρμογή ομοιόμορφης καθ' ύψος κατανομής σεισμικών φορτίσεων τα αποτελέσματα είναι ευμενέστερα σε σχέση με τα αντίστοιχα από την εφαρμογή τριγωνικής και ιδιομορφικής κατανομής, οι καμπύλες αντίστασης των οποίων είναι σχεδόν ταυτόσημες. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση της ομοιόμορφης κατανομής, ο φορέας εμφανίζει μεγαλύτερη αρχική ελαστική δυσκαμψία αλλά και μεγαλύτερη μέγιστη τιμή τέμνουσας βάσης που μπορεί να αναλάβει.

Όσον αφορά στις στοχευόμενες μετακινήσεις προκύπτει μικρότερη τιμή στην περίπτωση εφαρμογής ομοιόμορφης κατανομής οριζόντιων φορτίσεων, κάτι που αναμενόταν αφού ο φορέας από αυτή την ανάλυση παρουσιάζεται πιο δύσκαμπτος. Γενικότερα, με την εφαρμογή τριγωνικής και ιδιομορφικής κατανομής προκύπτουν συντηρητικότερα αποτελέσματα, και επομένως είναι υπέρ της ασφαλείας.



Διάγραμμα 5.7 Καμπύλες φέρουσας ικανότητας φορέα 1B για φόρτιση τριγωνικής, ομοιόμορφης και ιδιομορφικής κατανομής.



Διάγραμμα 5.8 Καμπύλες φέρουσας ικανότητας φορέα 1Γ για φόρτιση τριγωνικής, ομοιόμορφης και ιδιομορφικής κατανομής.

5.1.8. Μεταβολή του Εγκάρσιου Οπλισμού

Σκοπός αυτού του υποκεφαλαίου είναι η διερεύνηση της επίδρασης του οπλισμού, που τοποθετείται έναντι διάτμησης καθώς και της επιρροής της περίσφιγξης που προσφέρει, στα αποτελέσματα της ανάλυσης pushover.

Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις στον φορέα 1Α αφαιρώντας τους συνδετήρες από τα υποστυλώματα (Ανάλυση 1Α-9-7), τοποθετώντας συνδετήρες σε πιο αραιή διάταξη μόνο στα υποστυλώματα (Ανάλυση 1Α-9-8) καθώς και στα δοκάρια (Ανάλυση 1Α-9-9). Τέλος, στον αρχικά οπλισμένο φορέα πραγματοποιήθηκε ανάλυση pushover αγνοώντας την επιρροή της περίσφιγξης (Ανάλυση 1Α-9-6).

5.1.8.1. Επίδραση της Διάταξης του Οπλισμού Διάτμησης

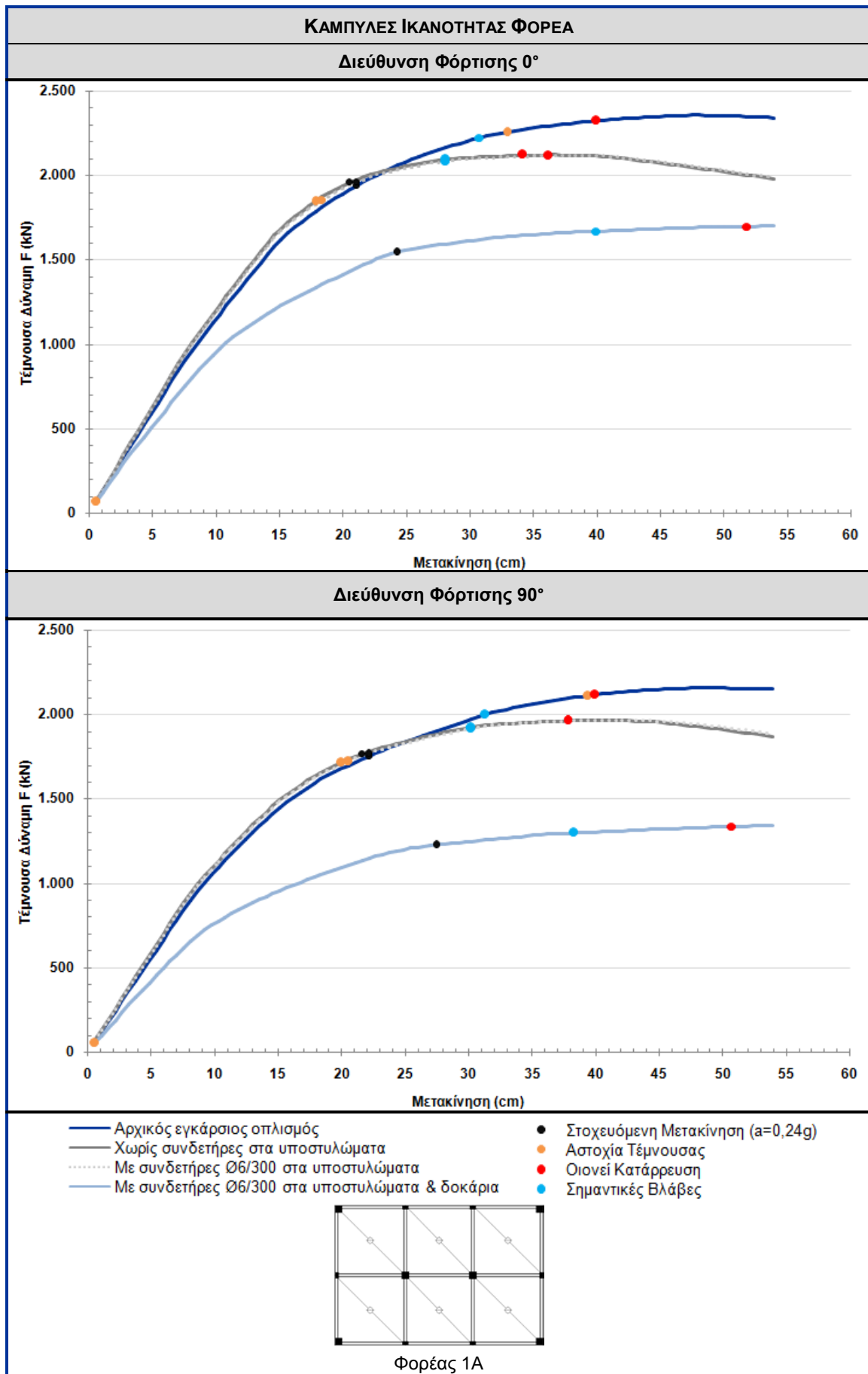
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η διάταξη του εγκάρσιου οπλισμού επιδρά στην διατμητική αντοχή των δομικών μελών και συνεπώς στην γρηγορότερη εμφάνιση μελών με υπέρβαση διατμητικής αντοχής στα διαδοχικά βήματα της ανάλυσης pushover. Εξετάστηκε, λοιπόν, η επίδραση της τοποθέτησης οπλισμού διάτμησης σε πιο αραιή διάταξη ($\emptyset 6/300$) στα υποστυλώματα, αλλά και στα δοκάρια. Επίσης μελετήθηκε η περίπτωση φορέα αγνοώντας τον εγκάρσιο οπλισμό των υποστυλωμάτων.

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα του φορέα 1Α για τις προηγούμενες περιπτώσεις εγκάρσιας όπλισης, παρουσιάζονται ακολούθως (Διάγραμμα 5.9, Πίνακας 5.12).

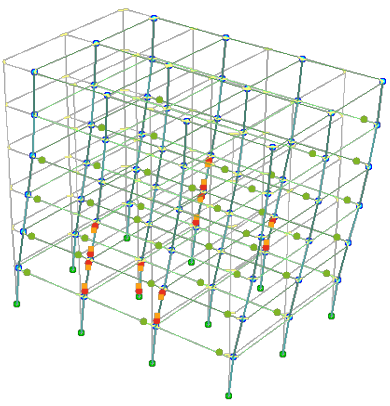
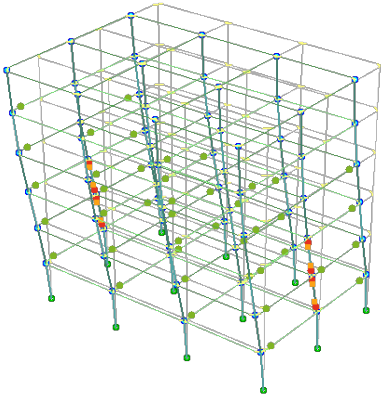
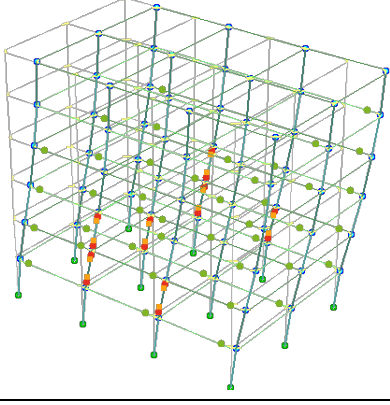
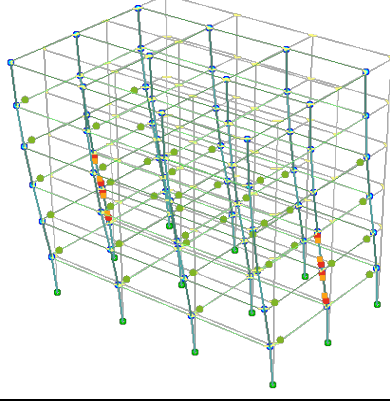
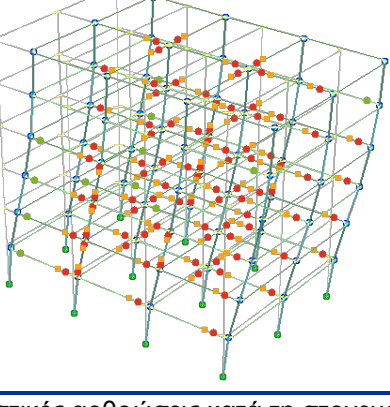
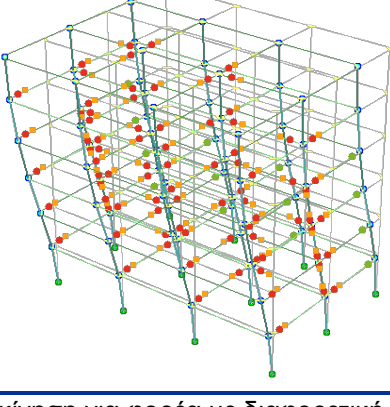
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ						
Περιγραφή Εγκάρσιας Όπλισης	Διεύθυνση Φόρτισης (°)	α_u/α_1	Στοχευόμενη Μετακίνηση		Μέγιστη τιμή Τέμνουσας Βάσης F_{max} (kN)	Ανεπάρκειες
			F (kN)	SD (cm)		
Αρχική εγκάρσια όπλιση	0	2,79	1940,30	21,06	2357,43	-
	90	2,57	1752,60	22,14	2158,23	
Αγνοώντας την εγκάρσια όπλιση στα υποστυλώματα	0	2,40	1957,50	20,52	2121,92	$K_2(2-3), K_4(2-4), K_5(1), K_6(2-3), K_7(2), K_9(2), K_{11}(2-3)$
	90	2,39	1763,80	21,60	1963,98	
Με συνδετήρες $\emptyset 6/300$ μόνο στα υποστυλώματα	0	2,41	1958,80	21,06	2118,74	$K_2(2-3), K_4(2-4), K_5(2), K_6(2-3), K_7(2), K_9(2), K_{11}(2-3)$
	90	2,41	1769,50	22,14	1967,30	
Με συνδετήρες $\emptyset 6/300$ στα δοκάρια και στα υποστυλώματα	0	26,97	1546,00	24,30	1698,85	Σχεδόν όλα τα δοκάρια λόγω διάτμησης
	90	26,70	1227,50	27,54	1341,50	

- Κατανομή φόρτισης: Τριγωνική - Φαινόμενα 2^{ος} τάξεως: Ναι - Επιρροή περίσφιγξης: Ναι - Κόμβος ελέγχου: $K_8(6)$

Πίνακας 5.12 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης μεταβάλλοντας τον εγκάρσιο οπλισμό.



Διάγραμμα 5.9 Καμπύλες ικανότητας φορέα 1A μεταβάλλοντας τον οπλισμό διάμετρου.

		Διεύθυνση Φόρτισης 0°	Διεύθυνση Φόρτισης 90°
Φορέας 1Α (Μόνο Υποστυλώματα)	Χωρίς συνδετήρες στα υποστυλώματα		
	Με συνδετήρες Ø6/300 μόνο στα υποστυλώματα		
	Με συνδετήρες Ø6/300 στα δοκάρια & υποστυλώματα		

Σχήμα 5.8 Πλαστικές αρθρώσεις κατά τη στοχευόμενη μετακίνηση για φορέα με διαφορετική εγκάρσια όπλιση.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι για την περίπτωση του φορέα με αραιή όπλιση συνδετήρων και στα υποστυλώματα και στα δοκάρια προκύπτουν τα δυσμενέστερα αποτελέσματα, με σημαντική μείωση της αρχικής ελαστικής δυσκαμψίας, καθώς παρατηρούνται αστοχίες λόγω τέμνουσας ήδη από τα οιονεί μόνιμα φορτία πριν την εφαρμογή των οριζόντιων φορτίσεων.

Δεν παρατηρείται σημαντική μεταβολή στην καμπύλη αντίστασης για φορέα χωρίς και με αραιή εγκάρσια όπλιση στα υποστυλώματα. Υπάρχει διαφοροποίηση

συγκριτικά με την ανάλυση διατηρώντας την αρχική όπλιση καθώς στην περίπτωση χωρίς και με αραιούς συνδετήρες στα υποστυλώματα η καμπύλη ικανότητας παρουσιάζει φθίνουσα πορεία με την αύξηση των μετακινήσεων.

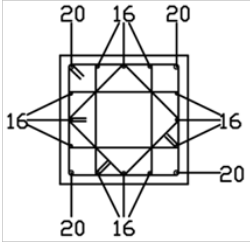
Σημαντική αύξηση της τιμής της στοχευόμενης μετακίνησης παρατηρείται για την περίπτωση αραιής εγκάρσιας όπλισης στα υποστυλώματα και στα δοκάρια. Η τιμή του σημείου επιπελεστικότητας για την περίπτωση μεταβολής της εγκάρσιας όπλισης μόνο στα υποστυλώματα δεν μεταβάλλεται συγκριτικά με την περίπτωση αρχικής όπλισης συνδετήρων.

Τέλος, από τα παραπάνω σχήματα (Σχήμα 5.8), που παρουσιάζουν τις πλαστικές αρθρώσεις που έχουν εμφανιστεί στο φορέα για μετακίνηση ίση με τη στοχευόμενη, εμφανίζεται υπέρβαση της αντοχής σε τέμνουσα σε υποστυλώματα και στους τρεις φορείς, με τη διαφορά ότι στην τρίτη περίπτωση, ψαθυρή αστοχία εμφανίζεται σε πλήθος δοκών.

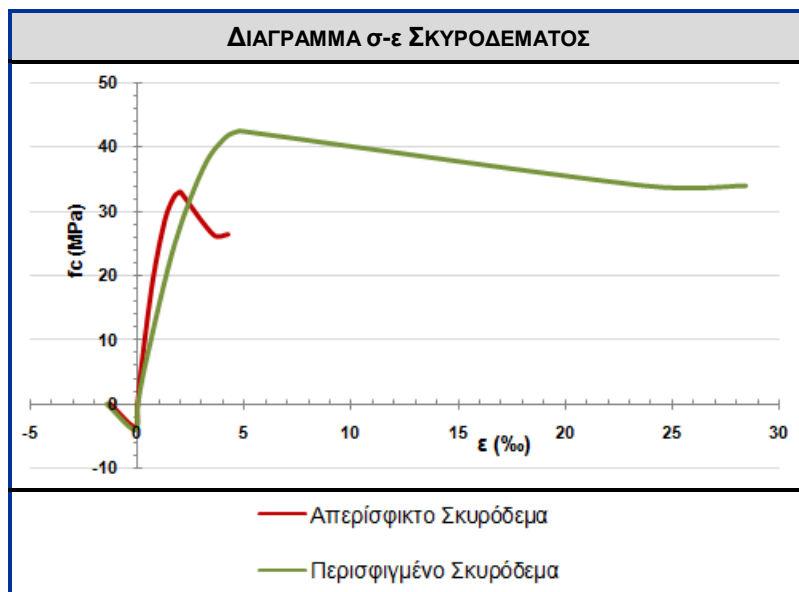
5.1.8.2. Επιρροή της Περίσφιγξης

Η συμπεριφορά του σκυροδέματος διαφέρει στην περίπτωση τριαξονικής θλίψης. Επομένως η περίσφιγξη που προσφέρουν οι συνδετήρες οδηγούν σε αύξηση της αντοχής και πλαστιμότητας του σκυροδέματος.

Ακολούθως παρουσιάζεται η επίδραση της περίσφιγξης τόσο στα χαρακτηριστικά του ίδιου του υλικού (Διάγραμμα 5.10) όσο και στο διάγραμμα ροπών - καμπυλοτήτων (Διάγραμμα 5.11) μιας ενδεικτικής διατομής υποστυλώματος (Πίνακας 5.13).

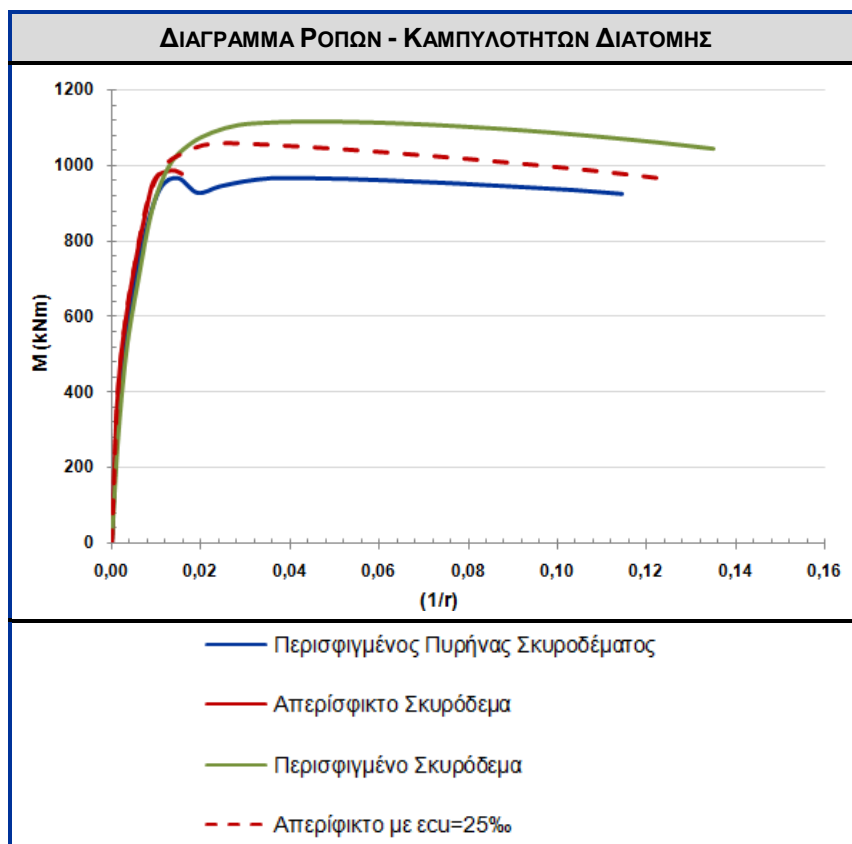
ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ		
Διατομή	Χαρακτηριστικά Απερίσφικτου Σκυροδέματος	
 <p>Διαστάσεις: 60/60 cm² Συνδετήρες: Ø8/100 mm N= -2720,08 kN</p>	Μέση θλιπτική αντοχή: $f_c = 33,0 \text{ MPa}$	Παραμορφώσεις: $\epsilon_c = 2,00 \text{ ‰}$ $\epsilon_{cu} = 3,50 \text{ ‰}$
	Χαρακτηριστικά Περίσφιγμένου Σκυροδέματος	
	Θλιπτική αντοχή: $f_{cc} = 42,36 \text{ MPa}$ Διαστάσεις πυρήνα: $h_o = 0,522 \text{ m}$ $b_o = 0,522 \text{ m}$	Παραμορφώσεις: $\epsilon_{cc} = 4,84 \text{ ‰}$ $\epsilon_{cu} = 23,66 \text{ ‰}$

Πίνακας 5.13 Επιρροή περίσφιγξης στα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος.



Διάγραμμα 5.10 Επιρροή περίσφιγξης στο διάγραμμα σ-ε του σκυροδέματος.

Από το διάγραμμα ροπών - καμπυλοτήτων προκύπτει το συμπέρασμα ότι στην περίπτωση περισφιγμένου σκυροδέματος, εκτός της αύξησης της αντοχής του, η δυνατότητα παραμόρφωσής του αυξάνει θεαματικά συγκριτικά με το απερίσφικτο.



Διάγραμμα 5.11 Επιρροή περίσφιγξης στο διάγραμμα σ-ε του σκυροδέματος.

Πιο συγκεκριμένα, ακόμα αν αυξηθεί μόνο η παραμόρφωση αστοχίας του απερίσφικτου σκυροδέματος, αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό η ροπή αντοχής του. Στην περίπτωση όμως που διαχωρίσουμε τη διατομή σε τμήμα πυρήνα με τα χαρακτηριστικά του περισφιγμένου σκυροδέματος και σε τμήμα εκτός του πυρήνα με τα χαρακτηριστικά του απερίσφικτου, παρατηρείται μικρή μείωση της μέγιστης ροπής αντοχής σε σχέση με την ροπή αντοχής του απερίσφικτου σκυροδέματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι με την αύξηση των τιμών των μηχανικών χαρακτηριστικών του σκυροδέματος, αυξάνεται και η ανηγμένη παραμόρφωση ε_{c2} και συνεπώς για κάποιες τιμές ανηγμένης παραμόρφωσης, το απερίσφικτο σκυρόδεμα έχει μεγαλύτερη αντοχή. Συνεπώς, η επίδραση της αγνόησης της περισφιγξης στην καμπύλη ικανότητας του φορέα παρουσιάζεται ακολούθως (Διάγραμμα 5.12, Πίνακας 5.14).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ					
Περιγραφή Εγκάρσιας Όπλισης	Διεύθυνση Φόρτισης (°)	α_w/α_1	Στοχευόμενη Μετακίνηση		Μέγιστη τιμή Τέμνουσας Βάσης F_{max} (kN)
			F (kN)	SD (cm)	
Αρχική εγκάρσια όπλιση με επιρροή περισφιγξης	0	2,79	1940,30	21,06	2357,43
	90	2,57	1752,60	22,14	2158,23
Αρχική εγκάρσια όπλιση χωρίς επιρροή περισφιγξης	0	2,65	1984,70	20,52	2348,30
	90	2,60	1790,50	21,60	2151,20
Παραδοχές Ανάλυσης: - Κατανομή φόρτισης: Τριγωνική - Φαινόμενα 2 ^{ας} τάξεως: Ναι - Πιθανότητα υπέρβασης Σ.Ε. "Σημαντικές Βλάβες": 10% - Κόμβος ελέγχου: K ₈ (6)					

Πίνακας 5.14 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης αγνοώντας την επιρροή της περισφιγξης.

Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης pushover προκύπτει ότι για την περίπτωση που αγνοείται η επιρροή της περισφιγξης, για μικρές τιμές μετακίνησης ο φορέας έχει μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα από την περίπτωση που η περισφιγξη λαμβάνεται υπόψη, όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα ροπών - καμπυλοτήτων, ενώ για μεγαλύτερες μετακινήσεις παρατηρείται φθίνουσα πορεία του κλάδου, καθώς παρατηρείται και το φαινόμενο της αποφλοίωσης. Επίσης, όσον αφορά στη στοχευόμενη μετακίνηση δεν παρατηρείται σημαντική μεταβολή.

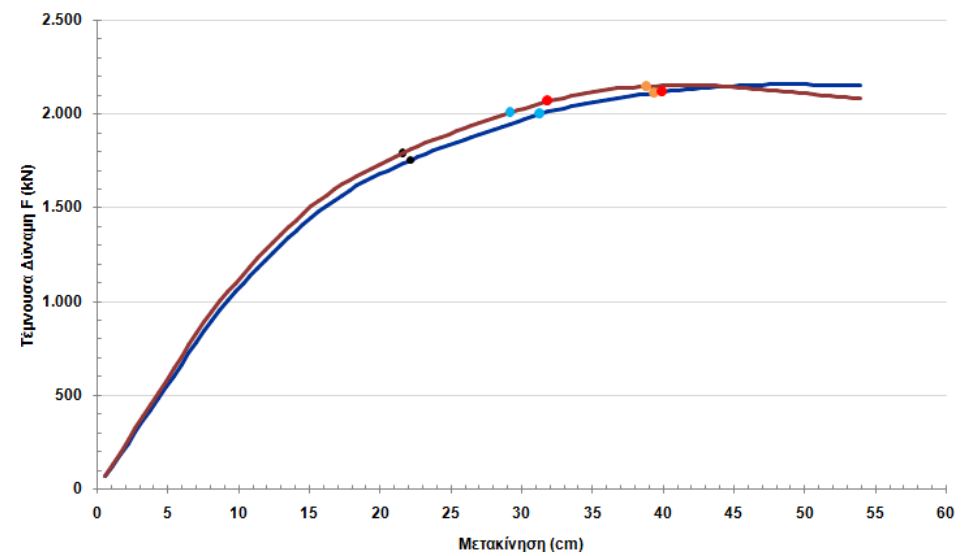
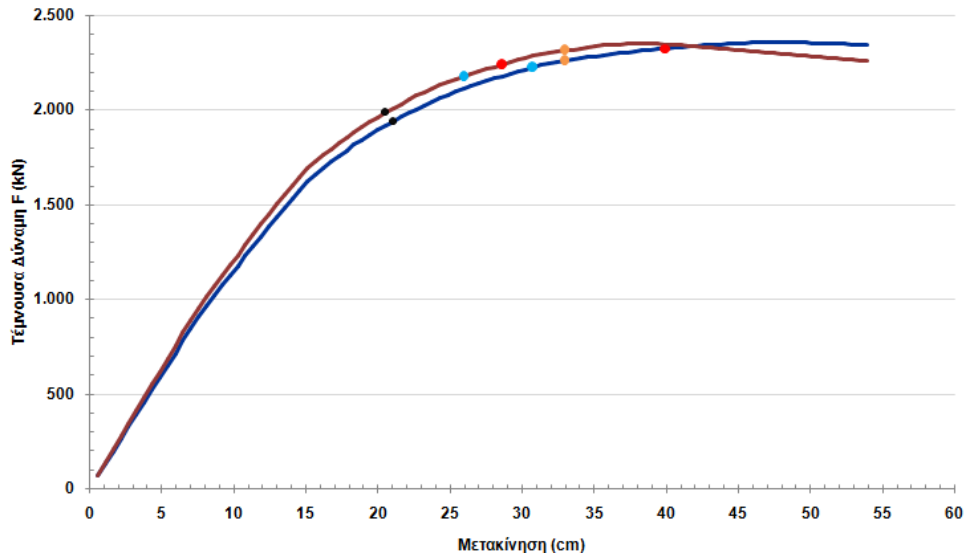
Επίσης, στην περίπτωση που η περισφιγξη αγνοείται, παρατηρείται ότι η πρώτη υπέρβαση της Σ.Ε. "Όιονεί Κατάρρευση" προηγείται της αστοχίας σε τέμνουσα, ενώ στην περίπτωση που λαμβάνεται υπόψη συμβαίνει το αντίθετο.

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΟΡΕΑ

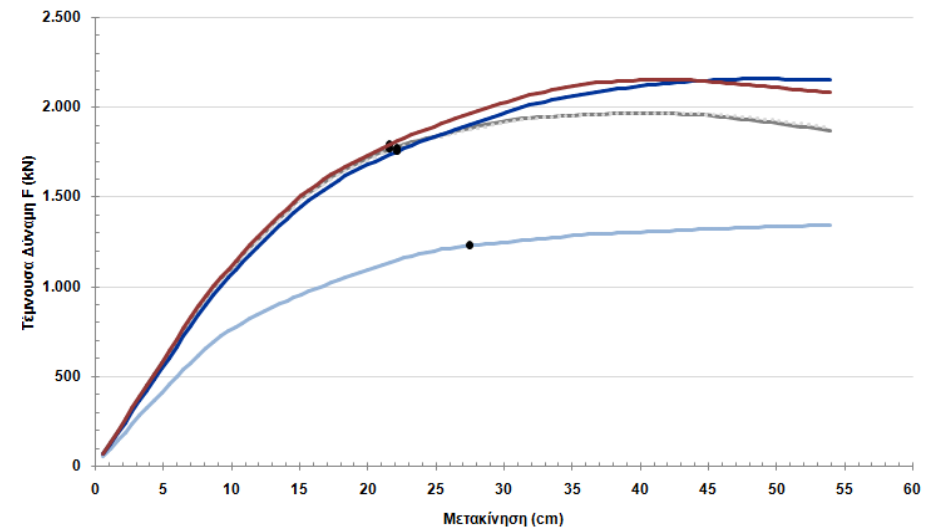
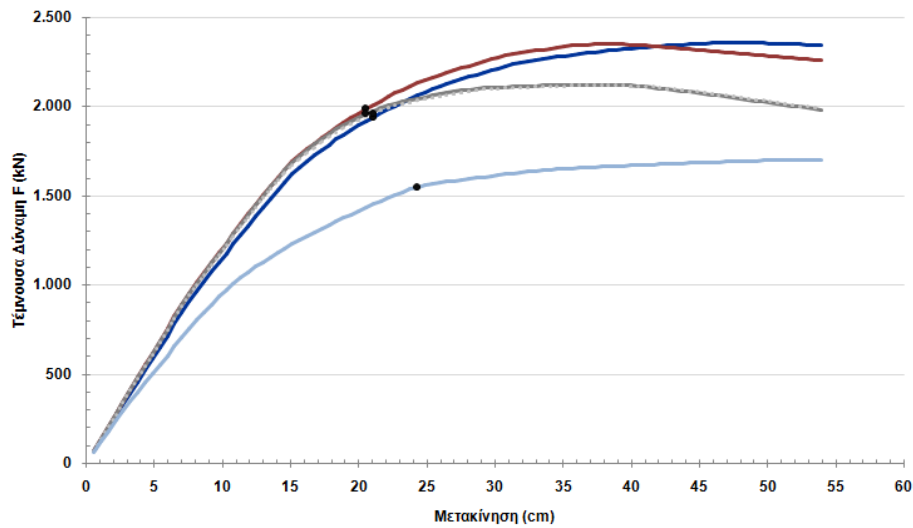
Διεύθυνση Φόρτισης 0°

Διεύθυνση Φόρτισης 90°

Επιρροή Περίσφιγξης Σκυροδέματος

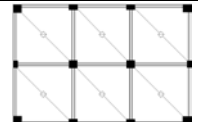


Συγκριτική Παράθεση Αναλύσεων Μεταβολής Εγκάρσιου Οπλισμού



- Αρχικός εγκάρσιος οπλισμός - Με περίσφιγξη
- Αρχικός εγκάρσιος οπλισμός - Χωρίς περίσφιγξη
- Χωρίς συνδετήρες στα υποστυλώματα
- Με συνδετήρες Ø6/300 στα υποστυλώματα
- Με συνδετήρες Ø6/300 στα υποστυλώματα & δοκάρια
- Στοχευόμενη Μετακίνηση (a=0,24g)
- Σημαντικές Βλάβες
- Αστοχία Τέμνουσας
- Οιονεί Κατάρρευση

Φορέας 1Α



Διάγραμμα 5.12 Επιρροή περίσφιγξης στις καμπύλες φέρουσας ικανότητας του φορέα 1Α.

Συγκριτικά και με τις άλλες αναλύσεις, η καμπύλη του φορέα αγνοώντας την περίσφιγξη τείνει να συμπίψει στην καμπύλη του φορέα με τη μεταβολή της όπλισης στα υποστυλώματα στο ελαστικό τμήμα του κλάδου και διαφοροποιείται στη συνέχεια.

5.2. Παραμετρική Ανάλυση Φορέα 2

Η παραμετρική διερεύνηση στο φορέα 2, έχει ως στόχο τον προσδιορισμό της επίδρασης ορισμένων παραμέτρων, όπως ο διαμήκης και εγκάρσιος οπλισμός και η περίσφιγξη στην αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας.

Επίσης, εξετάστηκε η συμπεριφορά του φορέα με διαφορετική διάταξη τοιχωμάτων όπως και η περίπτωση όπλισής του με παλαιότερο κανονισμό (ΒΔ'54), μέσω της επίλυσης pushover.

5.2.1. Σχεδιασμός Φορέων με Διαφορετική Διάταξη Τοιχωμάτων

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση του σχεδιασμού φορέων με τοιχώματα σε διαφορετική διάταξη σε σχέση με τον αρχικό φορέα 2Α ο οποίος είναι υφιστάμενος (δεδομένης διαστασιολόγησης), πραγματοποιήθηκε ανελαστική στατική ανάλυση στους φορείς 2Α, 2Β και 2Γ (Αναλύσεις 2Α-0-1, 2Β-2-1, 2Γ-2-1).

Οι αντίστοιχες καμπύλες ικανότητας του φορέα για κάθε διεύθυνση φόρτισης και οι στοχευόμενες μετακινήσεις παρουσιάζονται ακολούθως (Διάγραμμα 5.13, Πίνακας 5.15).

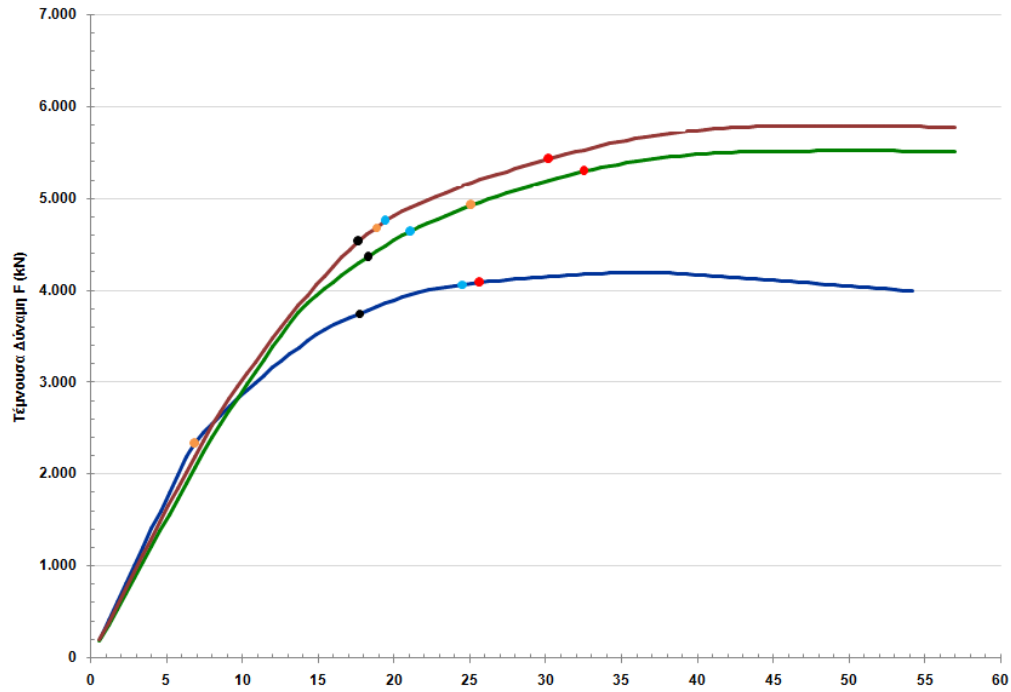
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ						
Περιγραφή Φορέα	Διεύθυνση Φόρτισης (°)	α_u/α_1	Στοχευόμενη Μετακίνηση		Μέγιστη τιμή Τέμνουσας Βάσης F_{max} (kN)	Ανεπάρκειες
			F (kN)	SD (cm)		
Αρχικός Φορέας 2Α	0	2,10	3747,70	17,69	4194,74	K ₂₂ (1-3)
	90	1,91	4930,30	16,50	6341,09	
Φορέας με 2 γωνιακά τοιχώματα (Φορέας 2Β)	0	2,78	4362,20	18,25	5516,46	-
	90	2,46	4700,60	16,12	5932,41	
Φορέας με 4 γωνιακά τοιχώματα (Φορέας 2Γ)	0	3,15	4531,80	17,67	5786,17	Δ _{2.3} (4), Δ _{2.5} (4)
	90	2,62	4510,00	17,27	5495,21	

Παραδοχές Ανάλυσης:- Επιρροή περίσφιγξης: Ναι
- Κόμβος ελέγχου: K₁₉(5)

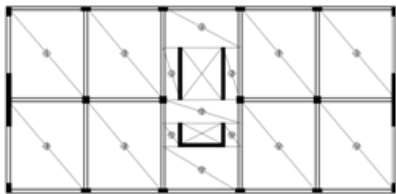
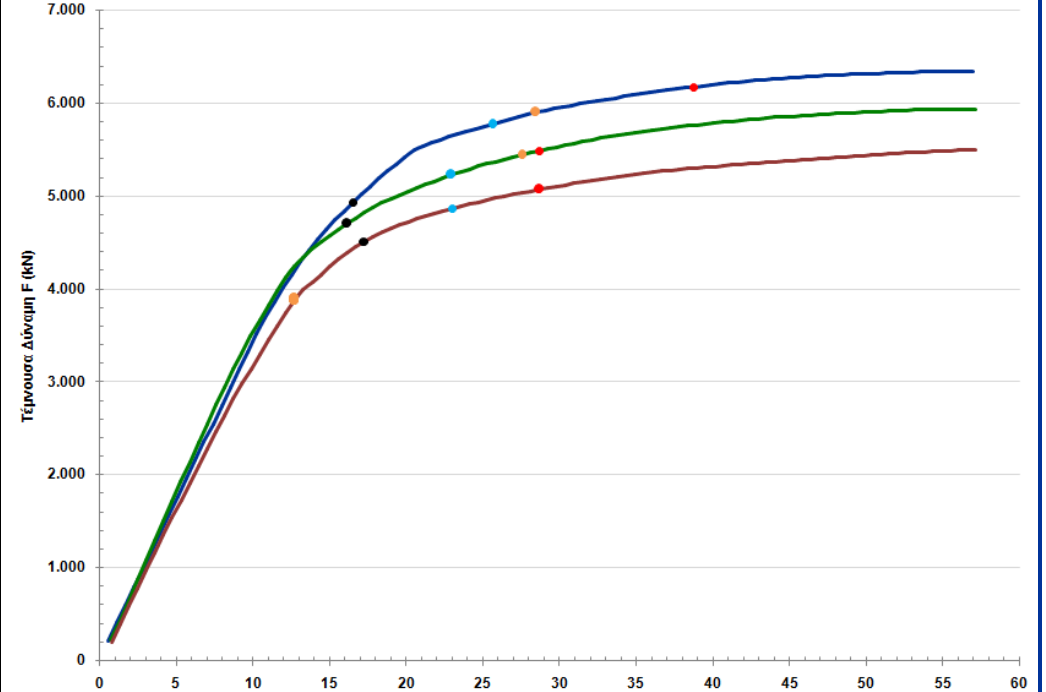
Πίνακας 5.15 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης στο φορέα 2 με διαφορετική διάταξη τοιχωμάτων.

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΟΡΕΑ

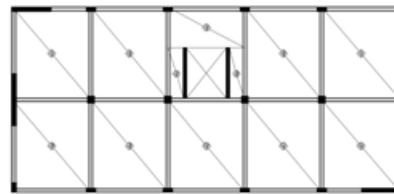
Διεύθυνση Φόρτισης 0°



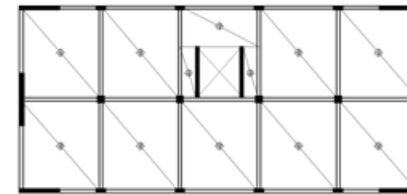
Διεύθυνση Φόρτισης 90°



— Αρχικός Φορέας 2Α



— Φορέας με 2 γωνιακά τοιχώματα (Φορέας 2Β)



— Φορέας με 4 γωνιακά τοιχώματα (Φορέας 2Γ)

● Στοχευόμενη Μετακίνηση (a=0,24g)

Διάγραμμα 5.13 Καμπύλες φέρουσας ικανότητας φορέα σχεδιασμένο με διαφορετική διάταξη τοιχωμάτων.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, είναι σαφές ότι κατά τη διεύθυνση 0° ο φορέας σχεδιασμένος με τα 4 γωνιακά τοιχώματα εμφανίζει τη μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα και ακολούθως ο φορέας με τα 2 γωνιακά τοιχώματα. Το αντίθετο συμβαίνει για σεισμική φόρτιση με διεύθυνση 90° , που την καλύτερη συμπεριφορά εμφανίζει ο αρχικός φορέας. Αυτό είναι κάτι αναμενόμενο καθώς ο αρχικός φορέας έχει περισσότερα τοιχώματα κατά τη διεύθυνση 90° συγκριτικά με τις δύο άλλες παραλλαγές του φορέα.

Επίσης, η μεγαλύτερη αρχική ελαστική δυσκαμψία εμφανίζεται στον αρχικό φορέα για σεισμική φόρτιση κατά τη διεύθυνση 0° , ενώ κατά τη διεύθυνση 90° στο φορέα με 2 γωνιακά τοιχώματα.

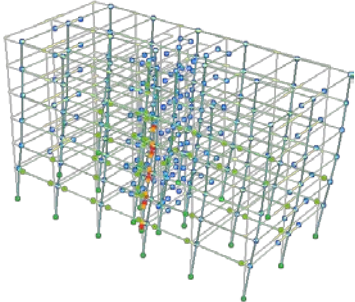
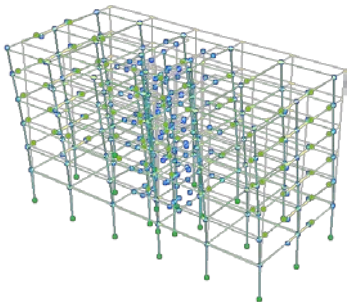
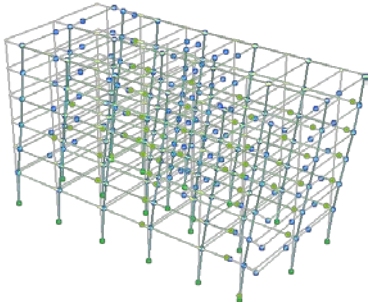
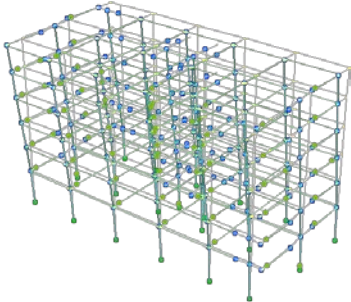
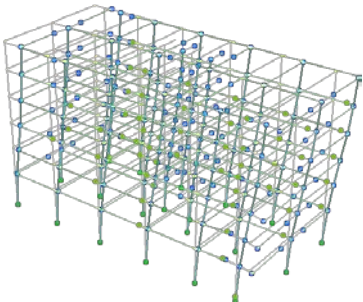
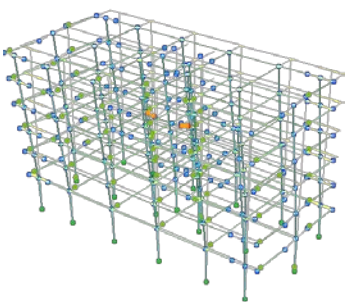
Δεν παρατηρείται σημαντική μεταβολή της στοχευόμενης μετακίνησης μεταξύ των τριών φορέων. Ο φορέας 2Γ εμφανίζει τη μέγιστη τιμή τέμνουσας βάσης F_{max} για φόρτιση κατά 0° και ο φορέας 2Α για φόρτιση κατά 90° .

Τέλος, από τα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 5.9), που παρουσιάζουν τις πλαστικές αρθρώσεις που έχουν εμφανιστεί στο φορέα για μετακίνηση ίση με τη στοχευόμενη, εμφανίζεται υπέρβαση της αντοχής σε τέμνουσα στον αρχικό φορέα, στο τοίχωμα K_{22} στους τρεις πρώτους ορόφους, και σε δύο δοκούς στο φορέα με 4 τοιχώματα ενώ δεν παρατηρούνται ανεπάρκειες στο φορέα με 2 γωνιακά τοιχώματα, για το δεδομένο στόχο σχεδιασμού.

Αυτό ήταν αναμενόμενο, καθώς από το στάδιο της διαστασιολόγησης του φορέα 2Α, προέκυψε αδυναμία όπλισης του συγκεκριμένου τοιχώματος λόγω αστοχίας σε τέμνουσα ακόμα και με το μέγιστο δυνατό πάχος.

Τέλος, παρατηρείται ότι η καμπύλη ικανότητας του αρχικού φορέα σταματά σε μικρότερη μετακίνηση από αυτή των δύο άλλων φορέων. Αυτό σημαίνει ότι στον αρχικό φορέα εμφανίζεται νωρίτερα ικανός αριθμός πλαστικών αρθρώσεων που τον καθιστούν μηχανισμό.

Επομένως, η μεταβολή της διάταξης των τοιχωμάτων ήταν επιτακτική ώστε να προκύψει φορέας με επάρκεια για τη δεδομένη στάθμη επιτελεστικότητας, αλλά και να παρουσιαστεί ο βαθμός επίδρασης στην απόκριση.

Περιγραφή Φορέα	Διεύθυνση Φόρτισης 0°	Διεύθυνση Φόρτισης 90°
Αρχικός Φορέας 2Α		
Φορέας με 2 γωνιακά τοιχώματα (Φορέας 2Β)		
Φορέας με 4 γωνιακά τοιχώματα (Φορέας 2Γ)		

Σχήμα 5.9 Πλαστικές αρθρώσεις κατά τη στοχευόμενη μετακίνηση στο φορέα 2 με διαφορετική διάταξη τοιχωμάτων.

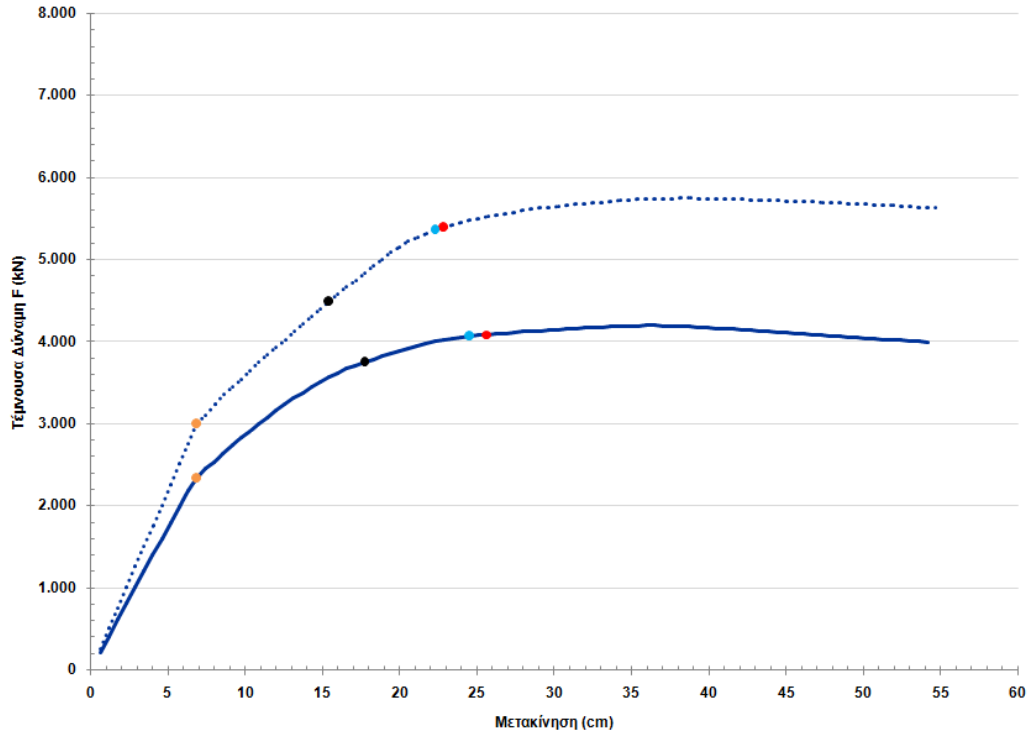
5.2.2. Επίδραση του Κανονισμού Σχεδιασμού

Ο φορέας 2Α, διαστασιολογήθηκε και με τον παλαιότερο κανονισμό του ΒΔ'54 (Ανάλυση 2Α-6-11). Αυτές οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με σκοπό τη σύγκριση της φέρουσας ικανότητας παλαιότερων φορέων με φορείς σχεδιασμένους, ακόμα και με ανεπάρκειες, με σύγχρονες διατάξεις, μετά από ανάλυση pushover.

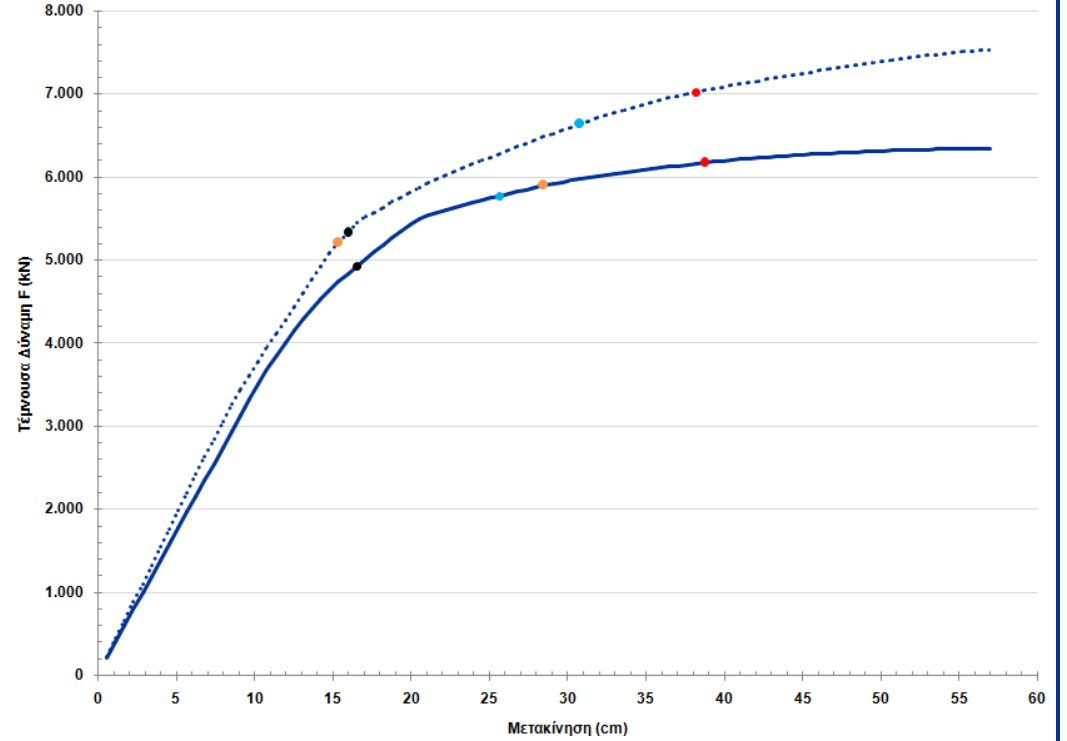
Οι αντίστοιχες καμπύλες ικανότητας του φορέα για κάθε διεύθυνση φόρτισης και οι στοχευόμενες μετακινήσεις παρουσιάζονται ακολούθως (Διάγραμμα 5.14, Πίνακας 5.16).

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΟΡΕΑ

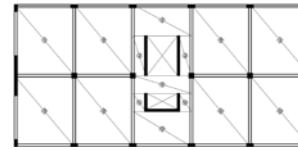
Διεύθυνση Φόρτισης 0°



Διεύθυνση Φόρτισης 90°



- Αρχικός Φορέας 2A
- Αρχικός Φορέας - ΒΔ'54
- Στοχευόμενη Μετακίνηση (a=0,24g)
- Αστοχία Τέμνουσας
- Οιονεί Κατάρρευση
- Σημαντικές Βλάβες



Φορέας 2A

Διάγραμμα 5.14 Σύγκριση φέρουσας ικανότητας φορέα 2A υφιστάμενης όπλισης και όπλισης με ΒΔ'54.

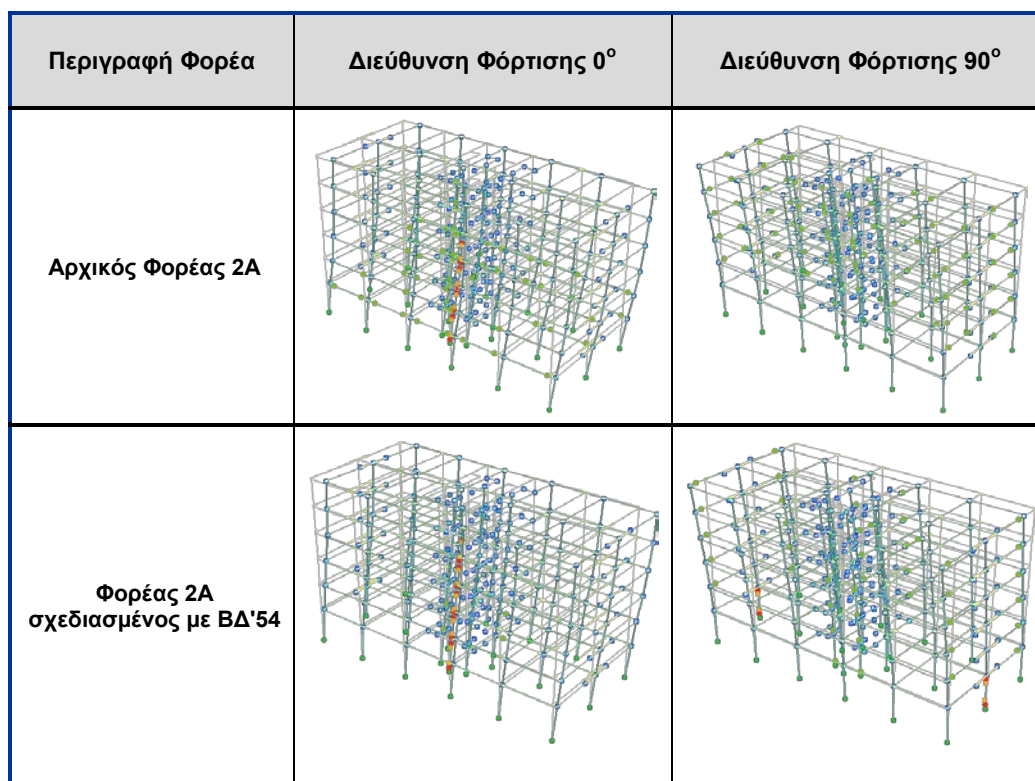
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ							
Περιγραφή Φορέα		Διεύθυνση Φόρτισης (°)	α_u/α_1	Στοχευόμενη Μετακίνηση		Μέγιστη τιμή Τέμνουσας Βάσης F_{max} (kN)	Ανεπάρκειες
				F (kN)	SD (cm)		
Αρχικός Φορέας 2A	Αρχική όπλιση	0	2,10	3747,70	17,69	4194,74	K ₂₂ (1-3)
		90	1,91	4930,30	16,50	6341,09	
	ΒΔ'54	0	1,92	4484,50	15,42	5744,60	K ₂₂ (1-5), K ₁₇ (1), K ₂₃ (1)
		90	2,64	5328,20	15,93	7533,37	

Παραδοχές Ανάλυσης:

- Επιρροή περισφιγξης: Ναι
- Κόμβος ελέγχου: K₁₉(5)

Πίνακας 5.16 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης στο φορέα 2A υφιστάμενης όπλισης και διαστασιολογημένο με ΒΔ'54.

Από τα παραπάνω διαγράμματα αντίστασης των φορέων προκύπτει ότι για την περίπτωση του φορέα σχεδιασμένου με το ΒΔ'54, η αρχική ελαστική δυσκαμψία είναι αρκετά μεγαλύτερη. Επίσης, η τιμή του σημείου επιτελεστικότητας είναι μικρότερη στην περίπτωση του φορέα που σχεδιάστηκε με τον παλαιότερο κανονισμό. Αυτό συμβαίνει καθώς ο φορέας είναι πιο δύσκαμπτος. Επιπλέον, η μέγιστη τιμή της τέμνουσας βάσης είναι αρκετά μικρότερη στην περίπτωση του αρχικού φορέα και για τις δύο διευθύνσεις φόρτισης.



Σχήμα 5.10 Πλαστικές αρθρώσεις κατά τη στοχευόμενη μετακίνηση στο φορέα 2A με αρχική όπλιση και με όπλιση από το ΒΔ'54.

Τέλος, από τα παραπάνω σχήματα (Σχήμα 5.10), που παρουσιάζουν τη στιγμή στοχευόμενης μετακίνησης στους δύο φορείς και για τις δύο διευθύνσεις φόρτισης, προκύπτει ότι στην περίπτωση του φορέα από ΒΔ'54, εμφανίζεται υπέρβαση της αντοχής σε τέμνουσα επιπλέον σε δύο περιμετρικά τοιχώματα.

5.2.3. Επιρροή Συνεργαζόμενου Οπλισμού Πλάκας

Κατά την ανάλυση για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας μιας κατασκευής, στον υπολογισμό της αντοχής των δοκών και στην σύνταξη των διαγραμμάτων ροπών - καμπυλοτήτων, μπορεί να συμμετάσχει και ο συνεργαζόμενος οπλισμός της πλάκας, μόνο για τη φορά κατά την οποία εφελκύεται.

Προκειμένου να προσδιοριστεί η επίδραση της αγνόησης του πρόσθετου οπλισμού στις δοκούς, αναλύθηκε ο φορέας 2Α, μη λαμβάνοντας υπόψη το συνεργαζόμενο οπλισμό της πλάκας (Ανάλυση 2Α-0-2).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ						
Περιγραφή Φορέα		Διεύθυνση Φόρτισης (°)	Στοχευόμενη Μετακίνηση		Μέγιστη τιμή Τέμνουσας Βάσης F_{max} (kN)	Ανεπάρκειες
			F (kN)	SD (cm)		
Φορέας 1Α	Με Ο.Π	0	3747,70	17,69	4194,74	K ₂₂ (1-3)
		90	4930,30	16,50	6341,09	
	Χωρίς Ο.Π	0	3525,30	17,69	4000,27	K ₂₂ (1-3)
		90	4607,20	17,07	6001,60	

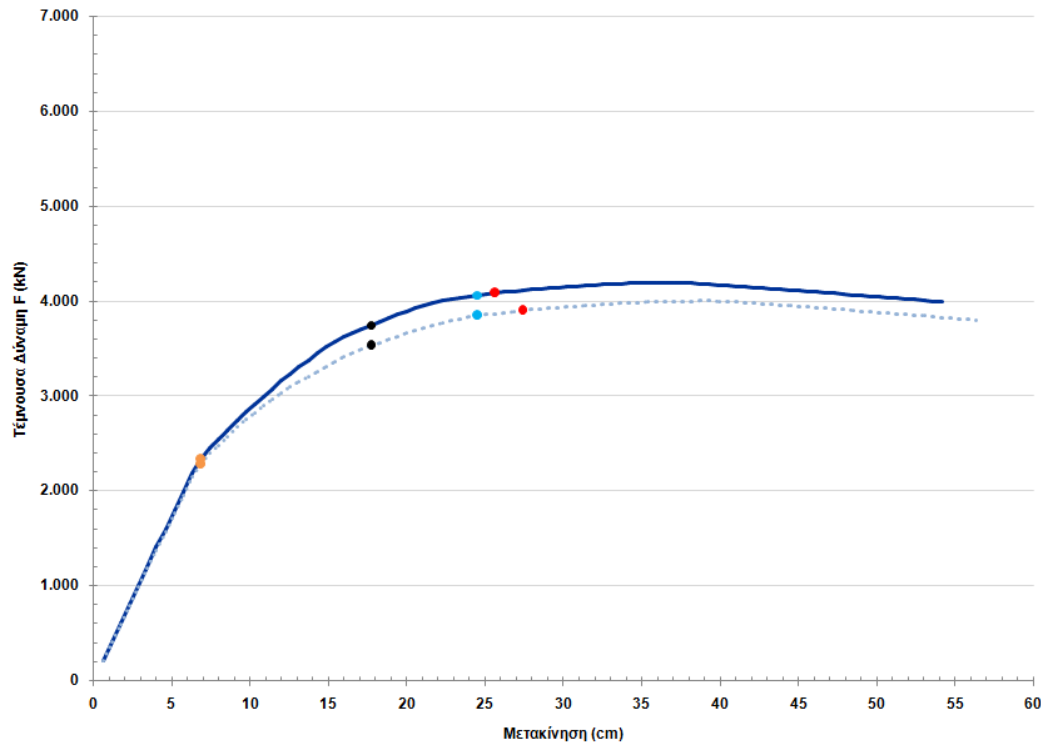
Παραδοχές Ανάλυσης:
 - Επιρροή περίσφιγξης: Ναι
 - Κόμβος ελέγχου: K₁₉(5)
 *Ο.Π.: Συνεργαζόμενος οπλισμός πλάκας 1,8 cm²

Πίνακας 5.17 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης στο φορέα 2Α αγνοώντας το συνεργαζόμενο οπλισμό της πλάκας.

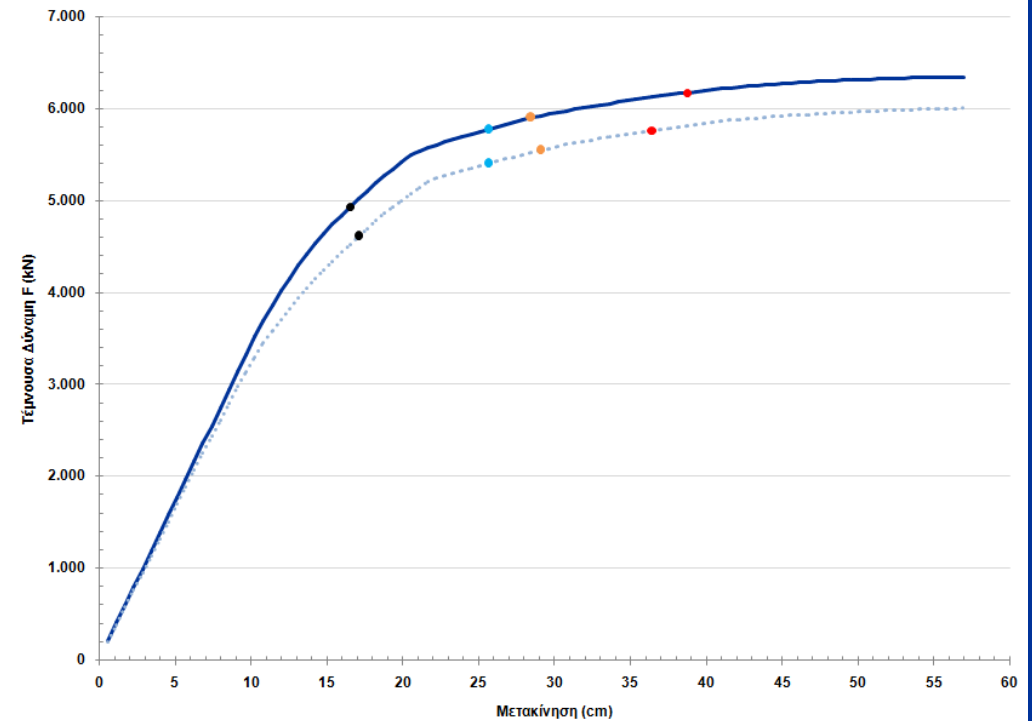
Από τα αποτελέσματα (Πίνακας 5.17, Διάγραμμα 5.15) προκύπτει το συμπέρασμα ότι η αγνόηση του συνεργαζόμενου οπλισμού επιδρά στη φέρουσα ικανότητα του φορέα, καθώς η καμπύλη ικανότητας φτάνει σε μικρότερες τιμές τέμνουσας βάσης. Οι δύο καμπύλες ταυτίζονται στο ελαστικό τμήμα τους και η τιμή της στοχευόμενης μετακίνησης δεν εμφανίζει μεγάλη μεταβολή. Επίσης, προκύπτουν ίδιες μετακινήσεις όπου παρατηρείται υπέρβαση της Σ.Ε. "Σημαντικές Βλάβες" και αστοχίας σε τέμνουσα.

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΟΡΕΑ

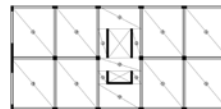
Διεύθυνση Φόρτισης 0°



Διεύθυνση Φόρτισης 90°



- Αρχικός Φορέας 2A
- Αγνοώντας τον οπλισμό των πλακών
- Στοχευόμενη Μετακίνηση ($\alpha=0,24g$)
- Αστοχία Τέμνουσας
- Οιονεί Κατάρρευση
- Σημαντικές Βλάβες



Φορέας 2A

Διάγραμμα 5.15 Καμπύλες φέρουσας ικανότητας φορέα 2A αγνοώντας το συνεργαζόμενο οπλισμό των πλακών.

5.2.4. Μεταβολή του Εγκάρσιου Οπλισμού

Σκοπός αυτού του υποκεφαλαίου είναι η διερεύνηση της επίδρασης του οπλισμού, που τοποθετείται έναντι διάτμησης καθώς και της επιρροής της περίσφιγξης που προσφέρει, στα αποτελέσματα της ανάλυσης pushover.

Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις στον φορέα 2A μετά από αύξηση των συνδετήρων στα υποστυλώματα (Ανάλυση 2A-0-7), στα δοκάρια (Ανάλυση 2A-0-8), καθώς και μετά από ταυτόχρονη αύξηση του εγκάρσιου οπλισμού στις δοκούς και υποστυλώματα (Ανάλυση 2A-0-9).

Τέλος, στον αρχικά οπλισμένο φορέα πραγματοποιήθηκε ανάλυση pushover αγνοώντας την επιρροή της περίσφιγξης (Ανάλυση 2A-0-3) καθώς και στο φορέα που προέκυψε μετά από αύξηση του εγκάρσιου οπλισμού στα δοκάρια και υποστυλώματα (Ανάλυση 2A-0-11).

5.2.4.1. Επίδραση της Διάταξης του Οπλισμού Διάτμησης

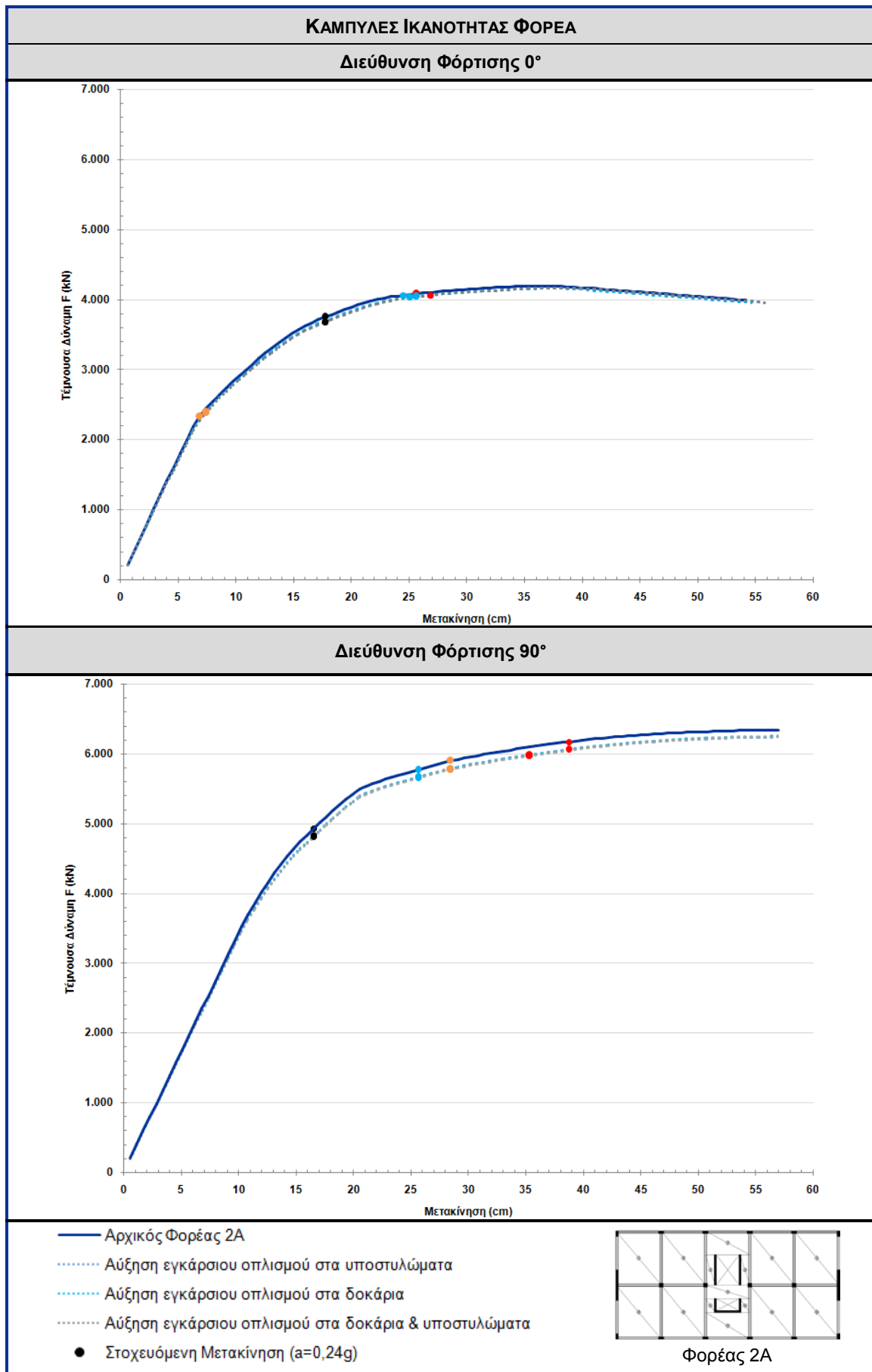
Διερευνήθηκε η επίδραση τοποθέτησης εγκάρσιου οπλισμού σε πιο πυκνή διάταξη ($\emptyset 10/9$) στα υποστυλώματα, αλλά και στα δοκάρια. Επίσης μελετήθηκε η περίπτωση ταυτόχρονης αύξησης του οπλισμού διάτμησης στα υποστυλώματα και στα δοκάρια.

Τα αποτελέσματα pushover στο φορέα 2A για τις προηγούμενες περιπτώσεις εγκάρσιας όπλισης, παρουσιάζονται ακολούθως (Διάγραμμα 5.16, Πίνακας 5.18).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ						
Περιγραφή Εγκάρσιας Όπλισης	Διεύθυνση Φόρτισης (°)	α_u/α_1	Στοχευόμενη Μετακίνηση		Μέγιστη τιμή Τέμνουσας Βάσης F_{max} (kN)	Ανεπάρκειες
			F (kN)	SD (cm)		
Αρχική εγκάρσια όπλιση	0	2,10	3747,70	17,69	4194,74	K ₂₂ (1-3)
	90	1,91	4930,30	16,50	6341,09	
Αύξηση της εγκάρσιας όπλισης στα υποστυλώματα	0	2,49	3679,10	17,69	4166,66	K ₂₂ (1-3)
	90	2,11	4825,20	16,50	6253,32	
Αύξηση της εγκάρσιας όπλισης στα δοκάρια	0	2,35	3694,60	17,69	4160,25	K ₂₂ (1-3)
	90	2,11	4820,00	16,50	6239,63	
Αύξηση της εγκάρσιας όπλισης στα υποστυλώματα και δοκάρια	0	2,49	3678,60	17,69	4166,27	K ₂₂ (1-3)
	90	2,11	4809,90	16,50	6239,27	

Παραδοχές Ανάλυσης: - Επιρροή περίσφιγξης: Ναι - Κόμβος ελέγχου: K₁₉(5)

Πίνακας 5.18 Αποτελέσματα pushover μεταβάλλοντας τον εγκάρσιο οπλισμό στο φορέα 2A.



Διάγραμμα 5.16 Καμπύλες ικανότητας φορέα 2A αυξάνοντας τον οπλισμό διάτμησης.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι για όλες τις περιπτώσεις αύξησης του εγκάρσιου οπλισμού στα δομικά μέλη (δοκάρια και υποστυλώματα), δεν παρατηρείται ουσιαστική μεταβολή της καμπύλης ικανότητας του φορέα. Συγκεκριμένα παρατηρείται ελαφριά πτώση, λόγω της επιρροής περίσφιγξης όπως αναλύθηκε σε προηγούμενη παράγραφο. Η στοχευόμενη μετακίνηση δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη μεταβολή. Τα μέλη που παρουσιάζουν ανεπάρκειες παραμένουν τα ίδια. Αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς ανεπάρκεια λόγω αστοχίας σε τέμνουσα παρουσίαζε το τοίχωμα K_{22} του οποίου ο οπλισμός δεν μεταβλήθηκε.

5.2.4.2. Επιρροή της Περίσφιγξης

Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις στον φορέα 2A με την αρχική όπλιση και μετά από αύξηση του εγκάρσιου οπλισμού στα δοκάρια και υποστυλώματα (σε $\Sigma\emptyset 10/9$) αγνοώντας την επιρροή της περίσφιγξης (Διάγραμμα 5.17, Πίνακας 5.19).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ						
Περιγραφή Εγκάρσιας Όπλισης	Διεύθυνση Φόρτισης (°)	α_u/α_1	Στοχευόμενη Μετακίνηση		Μέγιστη τιμή Τέμνουσας Βάσης F_{max} (kN)	
			F (kN)	SD (cm)		
Αρχική εγκάρσια όπλιση	με επιρροή περίσφιγξης	0	2,10	3747,70	17,69	4194,74
		90	1,91	4930,30	16,50	6341,09
	χωρίς επιρροή περίσφιγξης	0	2,23	3833,60	17,12	4102,85
		90	1,80	5046,20	16,50	6274,99
Αύξηση συνδετήρων στα δοκάρια & υποστυλώματα	με επιρροή περίσφιγξης	0	2,49	3678,60	17,69	4166,27
		90	2,11	4809,90	16,50	6239,27
	χωρίς επιρροή περίσφιγξης	0	2,03	3851,50	17,69	4088,75
		90	1,99	4957,60	16,50	6184,48

Παραδοχές Ανάλυσης: - Επιρροή περίσφιγξης: Ναι - Κόμβος ελέγχου: $K_{19}(5)$

Πίνακας 5.19 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης αγνοώντας την επιρροή της περίσφιγξης στο φορέα 2A.

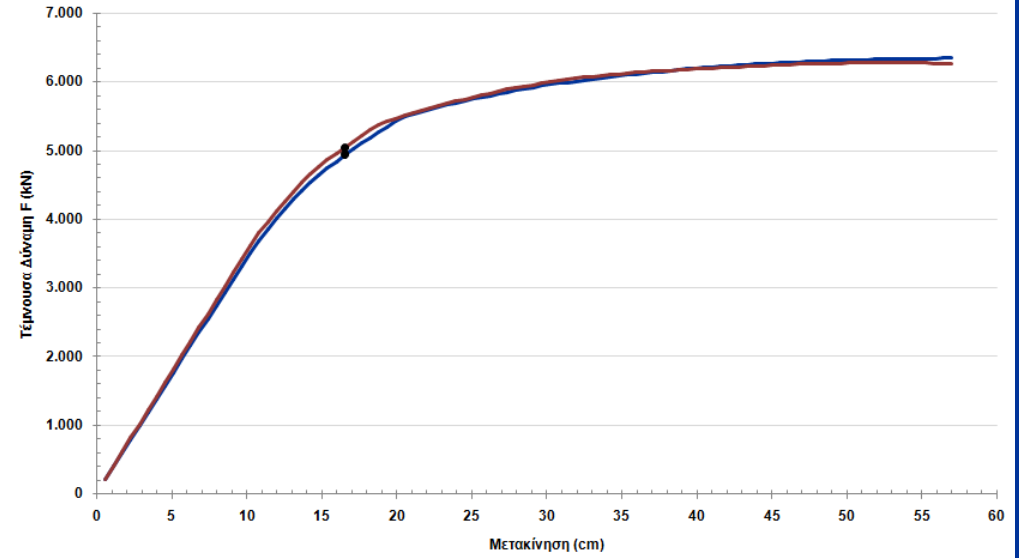
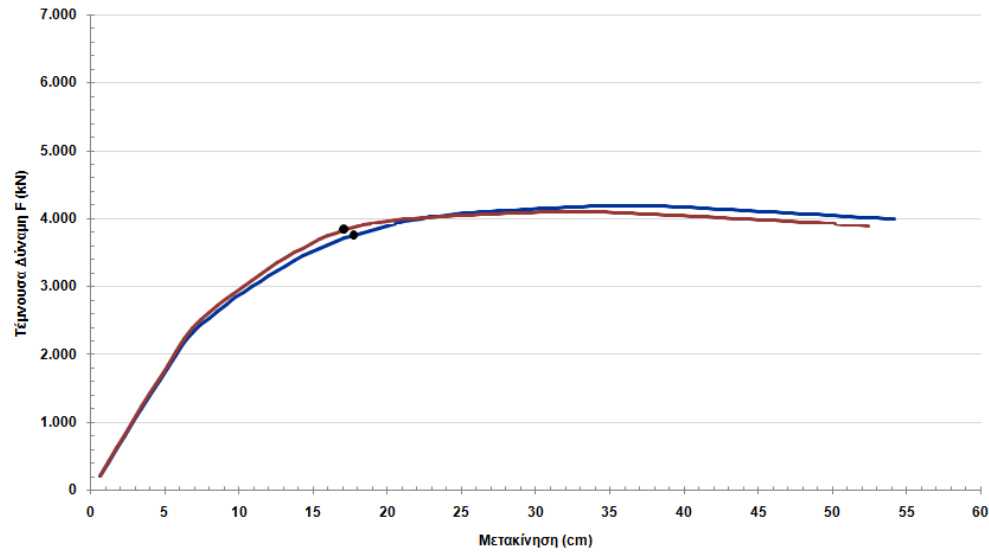
Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης pushover προκύπτει ότι για την περίπτωση που αγνοείται η επιρροή της περίσφιγξης, για μικρές τιμές μετακίνησης ο φορέας έχει μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα από την περίπτωση που η περίσφιγξη λαμβάνεται υπόψη ενώ για μεγαλύτερες μετακινήσεις, παρατηρείται φθίνουσα πορεία του κλάδου, για τους λόγους που αναλύθηκαν προηγουμένως αλλά και στο γεγονός ότι αγνοείται το τμήμα της διατομής εκτός του πυρήνα από την αρχή της ανάλυσης και όχι μετά την εμφάνιση του φαινομένου της αποφλοίσωσης.

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΟΡΕΑ

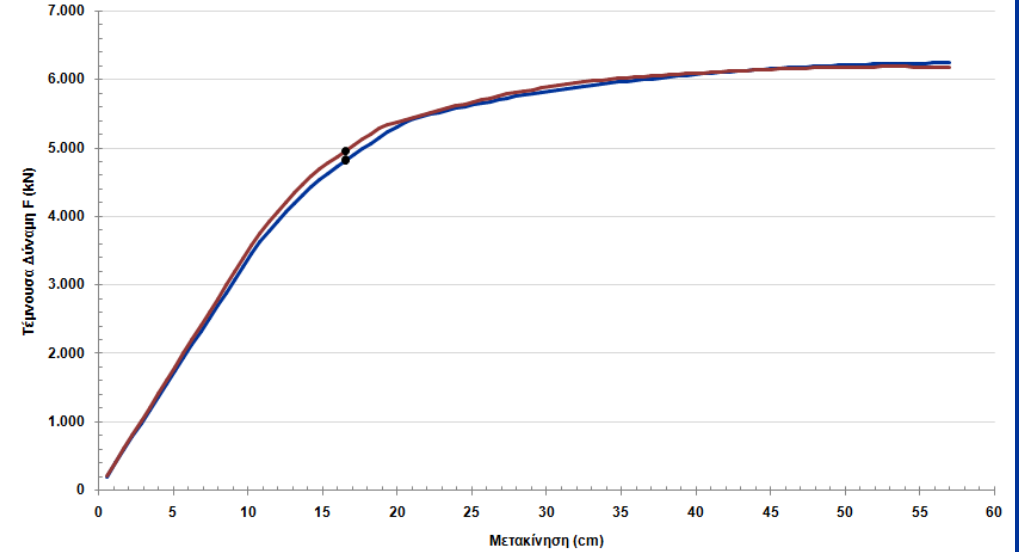
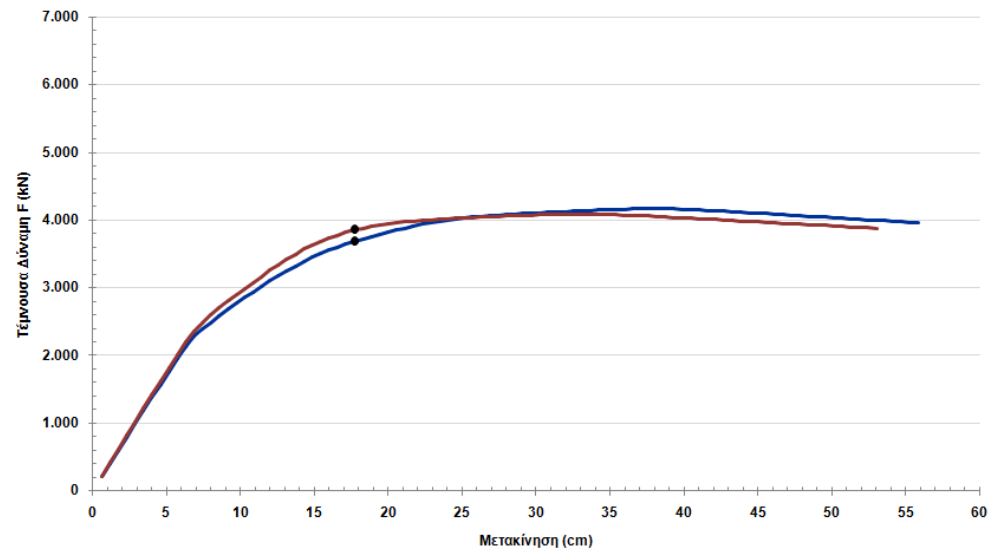
Διεύθυνση Φόρτισης 0°

Διεύθυνση Φόρτισης 90°

Αρχική Όπλιση Φορέα 2Α



Φορέας 2Α μετά από Αύξηση του Εγκάρσιου Όπλισμού στις Δοκούς & Υποστύλωματα

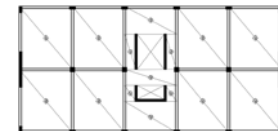


— Με επιρροή περισφιγξης

— Χωρίς επιρροή περισφιγξης

● Στοχευόμενη Μετακίνηση (α=0,24g)

Φορέας 2Α



Διάγραμμα 5.17 Επιρροή περισφιγξης στις καμπύλες φέρουσας ικανότητας του φορέα 2Α.

5.2.5. Μεταβολή του Διαμήκους Οπλισμού

Στο υποκεφάλαιο αυτό εξετάστηκε η επίδραση του διαμήκους οπλισμού στα αποτελέσματα της ανάλυσης pushover και στην καμπύλη ικανότητας του υπό εξέταση φορέα.

Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις και στις τρεις παραλλαγές του φορέα 2 μετά από διπλασιασμό του διαμήκους οπλισμού στα διάφορα δομικά μέλη. Πιο συγκεκριμένα για το φορέα 2A πραγματοποιήθηκε ανάλυση pushover μετά από διπλασιασμό του διαμήκους οπλισμού στα υποστυλώματα (Ανάλυση 2A-0-4), στις δοκούς (Ανάλυση 2A-0-5) και μετά από ταυτόχρονη αύξηση του οπλισμού στις δοκούς και στα υποστυλώματα (Ανάλυση 2A-0-6).

Όσον αφορά στους φορείς 2B και 2Γ, έγινε ανάλυση μετά από διπλασιασμό του οπλισμού των τοιχωμάτων (Αναλύσεις 2B-2-2, 2Γ-2-2).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ						
Περιγραφή Διαμήκους Όπλισης		Διεύθυνση Φόρτισης (°)	α_u/α_1	Στοχευόμενη Μετακίνηση		Μέγιστη τιμή Τέμνουσας Βάσης F_{max} (kN)
				F (kN)	SD (cm)	
Αρχικός Φορέας (Φορέας 2A)	Αρχική όπλιση	0	2,10	3747,70	17,69	4194,74
		90	1,91	4930,30	16,50	6341,09
	×2 οπλισμού υποστυλωμάτων	0	2,46	3840,90	17,69	4488,75
		90	2,17	4885,20	16,50	6379,79
	×2 οπλισμού δοκών	0	2,59	4375,00	16,55	5160,35
		90	2,09	5896,90	14,79	7787,63
×2 οπλισμού υποστυλωμάτων & δοκών	0	2,70	4523,20	15,98	5611,59	
	90	2,48	5958,30	14,22	8015,61	
Φορέας με 2 Γωνιακά Τοιχώματα (Φορέας 2B)	Αρχική όπλιση	0	2,78	4362,20	18,25	5516,46
		90	2,46	4700,60	16,12	5932,41
	×2 οπλισμού τοιχωμάτων	0	2,82	4800,90	17,68	6230,40
		90	2,55	4714,50	16,12	6039,82
Φορέας με 4 Γωνιακά Τοιχώματα (Φορέας 2B)	Αρχική όπλιση	0	3,15	4531,80	17,67	5786,17
		90	2,62	4510,00	17,27	5495,21
	×2 οπλισμού τοιχωμάτων	0	3,18	4790,50	17,10	6683,13
		90	2,87	4534,30	17,27	5553,56
Παραδοχές Ανάλυσης: - Επιρροή περίσφιγξης: Ναι - Κόμβος ελέγχου: $K_{1g}(5)$						

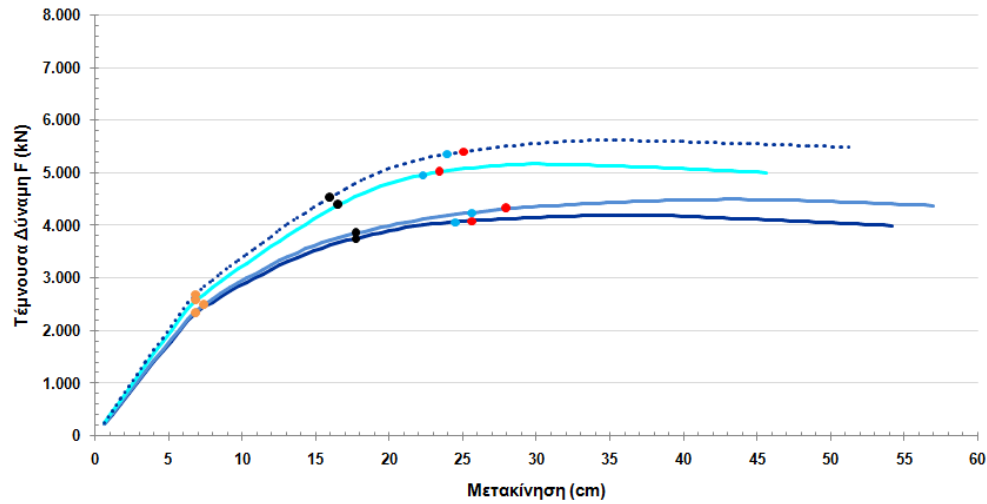
Πίνακας 5.20 Αποτελέσματα pushover σε φορείς μεταβάλλοντας το διαμήκη οπλισμό.

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΟΡΕΑ

Διεύθυνση Φόρτισης 0°

Διεύθυνση Φόρτισης 90°

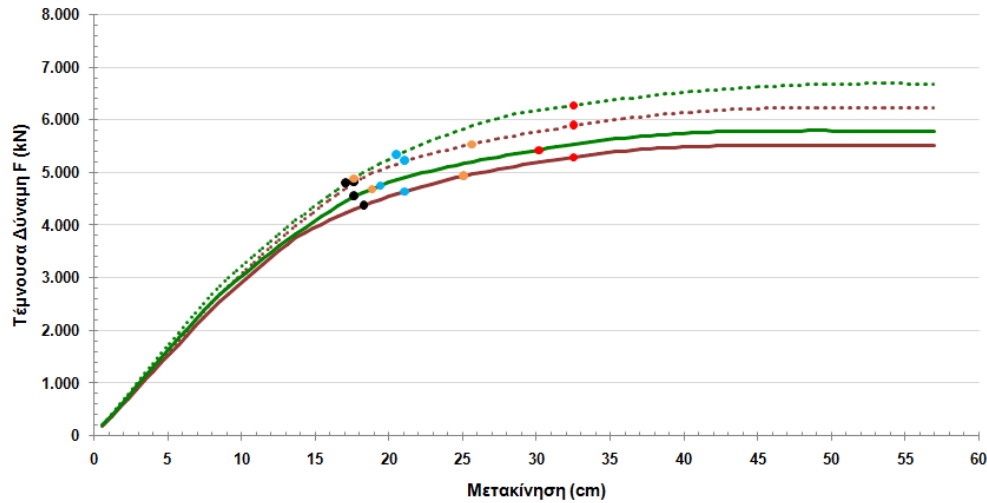
Φορέας 2Α



Τέμνουσα Δύναμη F (kN)

Μετακίνηση (cm)

Φορέας 2Β και 2Γ



Τέμνουσα Δύναμη F (kN)

Μετακίνηση (cm)

- | | | |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> — Αρχικός Φορέας 2Α — x2 Οπλισμού Υποστρωμάτων — x2 Οπλισμού Δοκών ····· x2 Οπλισμού Δοκών & Υποστρωμάτων | <ul style="list-style-type: none"> — Φορέας με 2 γωνιακά τοιχώματα (Φορέας 2Β) — Φορέας με 4 γωνιακά τοιχώματα (Φορέας 2Γ) ····· x2 Οπλισμός Τοιχωμάτων | <ul style="list-style-type: none"> ● Στοχευόμενη Μετακίνηση (a=0,24g) ● Σημαντικές Βλάβες ● Οιονεί Κατάρρευση ● Αστοχία Τέμνουσας |
|--|--|---|

Διάγραμμα 5.18 Επιρροή μεταβολής διαμήκουσ οπλισμού στις καμπύλες φέρουσας ικανότητας του φορέα 2.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα (*Πίνακας 5.20, Διάγραμμα 5.18*) προκύπτει ότι για όλες τις περιπτώσεις αύξησης του διαμήκους οπλισμού στα δομικά μέλη (δοκοί, υποστυλώματα και τοιχώματα), παρατηρείται αύξηση της αρχικής ελαστικής δυσκαμψίας. Επίσης, στην περίπτωση του φορέα 2Α, η αύξηση του οπλισμού στα υποστυλώματα δεν αυξάνει ιδιαίτερα τη φέρουσα ικανότητα συγκριτικά με την περίπτωση αύξησης του οπλισμού στις δοκούς. Όμως σε αυτή την περίπτωση ο φορέας καθίσταται πιο γρήγορα μηχανισμός. Η στοχευόμενη μετακίνηση δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη μεταβολή. Γενικότερα όσο αυξάνεται ο οπλισμός, η τιμή της στοχευόμενης μετατόπισης γίνεται μικρότερη.

Τέλος, δεν παρατηρείται σημαντική μεταβολή όσον αφορά στις υπερβάσεις των Σ.Ε. στους φορείς μετά από μεταβολή του διαμήκους οπλισμού, ιδιαίτερα στους φορείς 2Β και 2Γ. Αξιοσημείωτο είναι ότι στο φορέα 1Α και για διεύθυνση φόρτισης 90°, η αύξηση του διαμήκους οπλισμού των δοκών οδηγεί σε υπέρβαση της αντοχής σε τέμνουσα σε αρκετά μικρότερη μετακίνηση από ότι στο φορέα με τον αρχικό οπλισμό.

5.3. Παραμετρική Ανάλυση Φορέα 3

Πραγματοποιήθηκε παραμετρική ανάλυση στο φορέα 3, με σκοπό την επίδραση κάποιων παραμέτρων στην απόκριση μιας κατασκευής.

Εξετάστηκε, λοιπόν, η επίπτωση σχεδιασμού μιας κατασκευής με διαφορετικούς κανονισμούς, αλλά και η περίπτωση σχεδιασμού της ίδιας κατασκευής με διαφορετική διάταξη δομικών στοιχείων.

Επίσης, μελετήθηκε η επιρροή της περίσφιγξης, των φαινομένων 2^{ος} τάξεως και των τοιχοπληρώσεων στα αποτελέσματα της ανελαστικής στατικής ανάλυσης.

5.3.1. Σύγκριση Σχεδιασμού Φορέα με Διαφορετικούς Κανονισμούς

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση σχεδιασμού ενός φορέα με διαφορετικούς κανονισμούς στην απόκρισή του, πραγματοποιήθηκε ανάλυση pushover στον φορέα 3Α, ο οποίος σχεδιάστηκε με EC2-EC8 (*Ανάλυση 3Α-7-7*), με ΕΚΩΣ-ΕΑΚ (*Ανάλυση 3Α-5-1*) και με ΒΔ'54 (*Ανάλυση 3Α-6-6*).

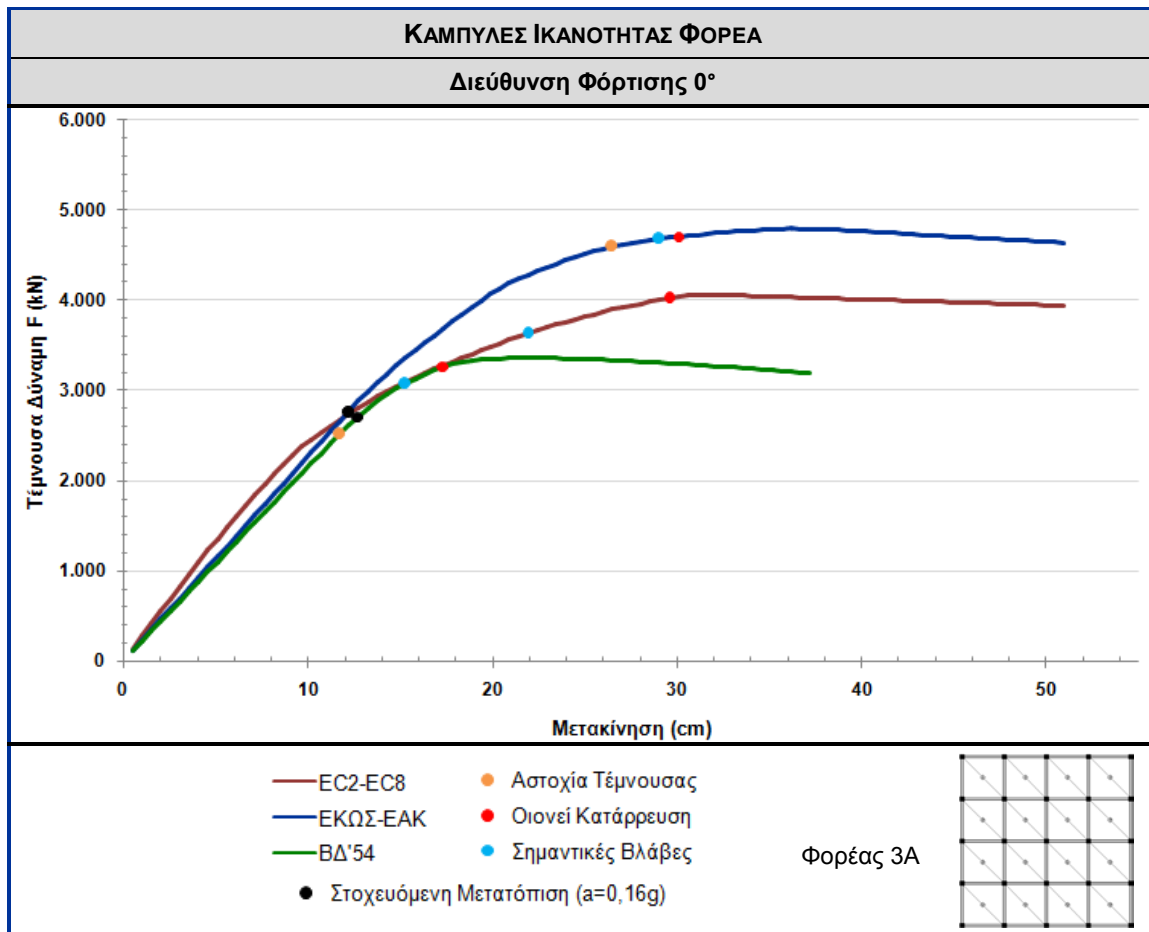
Οι αντίστοιχες καμπύλες ικανότητας του φορέα, σχεδιασμένο με κάθε έναν από τους τρεις κανονισμούς, καθώς και οι στοχευόμενες μετακινήσεις παρουσιάζονται ακολούθως (*Πίνακας 5.21, Διάγραμμα 5.19*).

Επειδή πρόκειται για φορέα συμμετρικό ως προς τους δύο άξονες, παρατίθενται τα αποτελέσματα για διεύθυνση σεισμικής φόρτισης 0°, καθώς προκύπτουν αντίστοιχα αποτελέσματα για διεύθυνση 90°.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ					
Κανονισμός Σχεδιασμού Φορέα	α_i/α_1	Στοχευόμενη Μετακίνηση		Μέγιστη τιμή Τέμνουσας Βάσης F_{max} (kN)	Ανεπάρκειες
		F (kN)	SD (cm)		
EC2-EC8	3,71	2751,50	12,24	4067,08	-
ΕΚΩΣ-ΕΑΚ	1,66	2778,50	12,24	4798,19	-
ΒΔ'54	1,61	2714,90	12,75	3367,00	$\Delta_{2.1}(1), \Delta_{2.4}(1), \Delta_{3.1}(1), \Delta_{3.4}(1), \Delta_{4.1}(1), \Delta_{4.4}(1), \Delta_{7.1}(1), \Delta_{7.2}(1), \Delta_{8.1}(1), \Delta_{8.4}(1), \Delta_{9.1}(1), \Delta_{9.4}(1)$

Παραδοχές Ανάλυσης:
 - Φαινόμενα 2^{ος} τάξεως: Ναι
 - Επιρροή περισφίξεως: Ναι (Στο φορέα από ΒΔ'54 → Όχι)
 - Κόμβος ελέγχου: K₁₃(5)

Πίνακας 5.21 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης στο φορέα 3Α σχεδιασμένο με διαφορετικούς κανονισμούς.



Διάγραμμα 5.19 Καμπύλες ικανότητας φορέα 3Α σχεδιασμένου με διαφορετικούς κανονισμούς.

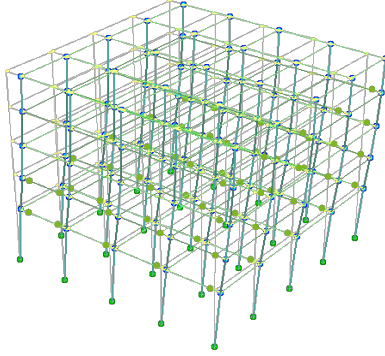
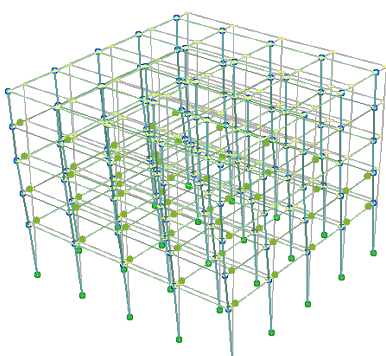
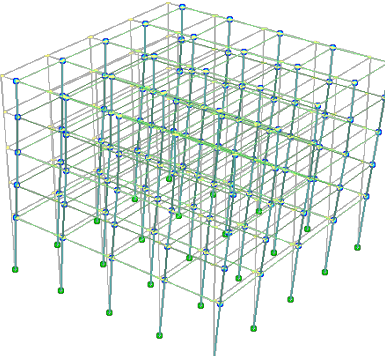
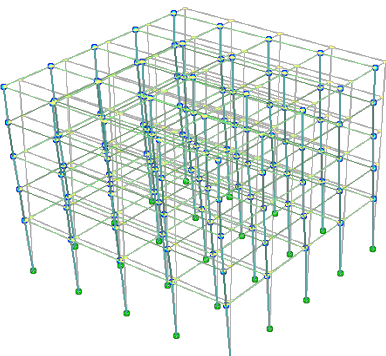
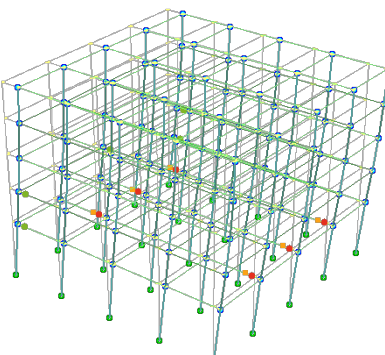
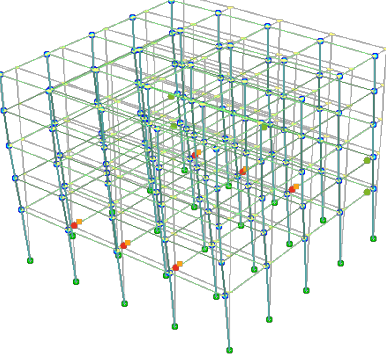
Από τα παραπάνω αποτελέσματα, είναι σαφές ότι οι φορείς σχεδιασμένοι με EC και ΕΚΩΣ-ΕΑΚ έχουν μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα σε σχέση με αυτή του φορέα διαστασιολογημένου με ΒΔ'54.

Πιο συγκεκριμένα, ενώ ο φορέας που προέκυψε από εφαρμογή των διατάξεων των EC εμφανίζει μεγαλύτερη δυσκαμψία στην ελαστική περιοχή, πλαστικοποίηση συμβαίνει για μικρότερες μετακινήσεις από ότι στον φορέα σχεδιασμένο με ΕΚΩΣ. Ο φορέας σχεδιασμένος με το ΒΔ'54 έχει τη χειρότερη συμπεριφορά, καθώς εκτός από τη μικρότερη αρχική δυσκαμψία, καθίσταται μηχανισμός γρηγορότερα συγκριτικά με το φορέα σχεδιασμένο με βάση τους άλλους δύο κανονισμούς, αφού η καμπύλη ικανότητάς του σταματά σε μικρότερη μετακίνηση από αυτή των δύο άλλων φορέων.

Επίσης, προκύπτει η ίδια τιμή στοχευόμενης μετακίνησης για το φορέα ο οποίος διαστασιολογήθηκε με EC και για τον αντίστοιχο με ΕΚΩΣ. Η διαφορά έγκειται στο ότι στην περίπτωση του φορέα σχεδιασμένου με ΕΚΩΣ, για μετακίνηση ίση με τη στοχευόμενη, ο φορέας βρίσκεται ακόμα στην ελαστική περιοχή, σε αντίθεση με το φορέα σχεδιασμένο με EC που έχει εμφανίσει πλαστικές αρθρώσεις. Στην περίπτωση του φορέα οπλισμένου με το ΒΔ'54, η τιμή της στοχευόμενης μετακίνησης είναι μεγαλύτερη.

Τέλος, από τα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 5.11), που παρουσιάζουν τις πλαστικές αρθρώσεις που έχουν εμφανιστεί στο φορέα για μετακίνηση ίση με τη στοχευόμενη, εμφανίζεται υπέρβαση της αντοχής σε τέμνουσα σε δοκάρια του φορέα που σχεδιάστηκε με ΒΔ'54, ενώ για τους άλλους φορείς επιβεβαιώνεται ότι ο φορέας από τους EC βρίσκεται στην πλαστική περιοχή ενώ ο φορέας από τον ΕΚΩΣ στην ελαστική. Παρόλα αυτά, στο φορέα σχεδιασμένο με ΕΚΩΣ-ΕΑΚ, διατμητικές αστοχίες μελών εμφανίζονται προτού εμφανιστεί υπέρβαση της στάθμης επιτελεστικότητας "Σημαντικές Βλάβες" (πρώτη υπέρβαση διατμητικής αστοχίας παρατηρείται σε μετακίνηση 26,52 cm ενώ πρώτη υπέρβαση της στάθμης επιτελεστικότητας "Σημαντικές Βλάβες" εμφανίζεται για μετακίνηση 29,07 cm), ενώ στο φορέα οπλισμένο με EC δεν παρατηρείται υπέρβαση αντοχής σε τέμνουσα μέχρι τη μετακίνηση $d=51$ cm.

Για αυτούς τους λόγους, είναι σαφές ότι οι φορείς σχεδιασμένοι με EC, είναι προσανατολισμένοι στο να απορροφούν τη σεισμική ενέργεια μέσω της πλάστιμης συμπεριφοράς τους.

Κανονισμός Σχεδιασμού Φορέα	Διεύθυνση Φόρτισης 0°	Διεύθυνση Φόρτισης 90°
EC2-EC8		
ΕΚΩΣ-ΕΑΚ		
ΒΔ'54		

Σχήμα 5.11 Πλαστικές αρθρώσεις κατά τη στοχευόμενη μετακίνηση στο φορέα 3Α, σχεδιασμένο με διαφορετικούς κανονισμούς.

5.3.2. Σχεδιασμός Φορέων με Διαφορετική Διάταξη Δομικών Στοιχείων

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση του σχεδιασμού φορέων με υποστυλώματα σε διαφορετική διάταξη, σχεδιάστηκε η παραλλαγή του φορέα 3Α με διαφορετική διάταξη υποστυλωμάτων που δημιουργούν πλάκες μεγαλύτερων ανοιγμάτων και πραγματοποιήθηκε ανελαστική στατική ανάλυση (Ανάλυση 3B-6-2).

Οι αντίστοιχες καμπύλες ικανότητας των φορέων, που διαστασιολογήθηκαν με βάση τις διατάξεις του EC2-EC8, παρουσιάζονται ακολούθως (Διάγραμμα 5.20).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ					
Περιγραφή Φορέα	Διεύθυνση Φόρτισης (°)	α_w/α_1	Στοχευόμενη Μετακίνηση		Μέγιστη τιμή Τέμνουσας Βάσης F_{max} (kN)
			F (kN)	SD (cm)	
Φορέας 3A	0	3,71	2751,50	12,24	4067,08
	90	3,71	2751,50	12,24	4067,08
Φορέας 3B	0	2,49	2930,40	11,73	4531,64
	90	2,79	2192,60	14,79	3312,37

Παραδοχές Ανάλυσης: - Φαινόμενα 2^{ος} τάξεως: Ναι
 - Επιρροή περισφίξεως: Ναι
 - Κόμβος ελέγχου: K₁₃(5)

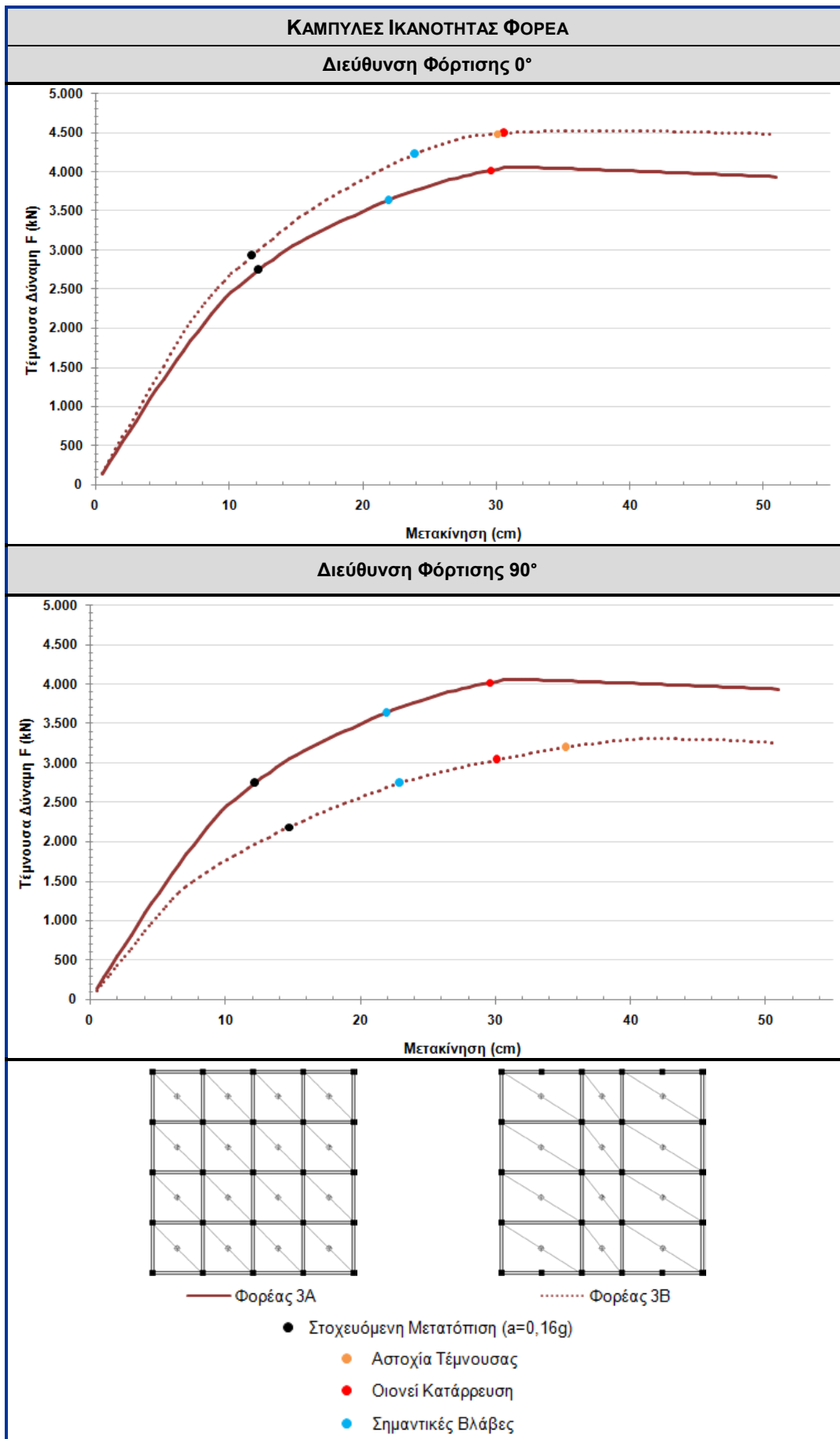
Πίνακας 5.22 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης φορέων με διαφορετική διάταξη δοκών και υποστυλωμάτων.

Από τα παρακάτω αποτελέσματα, είναι σαφές ότι οι φορέας 3A παρουσιάζει καλύτερη απόκριση σε σχέση με αυτή του φορέα 3B κατά τη διεύθυνση σεισμικής φόρτισης 90°.

Πιο συγκεκριμένα, ο φορέας 3B έχει μεγαλύτερη αρχική δυσκαμψία συγκριτικά με τον άλλο φορέα κατά τη διεύθυνση 90°, ενώ κατά την άλλη διεύθυνση έχει ο φορέας 3A. Επιπλέον, παρατηρείται ότι για διεύθυνση φόρτισης 0° η στοχευόμενη μετακίνηση έχει μικρότερη τιμή συγκριτικά με την αντίστοιχη του φορέα 3A, ενώ κατά την άλλη διεύθυνση συμβαίνει το αντίθετο.

Τέλος, παρατηρείται ότι στην περίπτωση του φορέα 3B, για σεισμική φόρτιση κατά τη διεύθυνση 0°, η πρώτη αστοχία σε τέμνουσα προηγείται της πρώτης υπέρβασης της Σ.Ε. "Οιονεί Κατάρρευση" ενώ κατά την άλλη διεύθυνση σεισμικής φόρτισης έπεται. Συγκριτικά με το φορέα 3A, παρατηρείται ότι ο φορέας για μετακίνηση μέχρι 51cm δεν έχει εμφανίσει υπέρβαση της αντοχής σε τέμνουσα κανένα δομικό μέλος του, σε αντίθεση με το φορέα 3B που εμφανίζει ψαθυρή αστοχία μελών.

Πάντως, και στις δύο περιπτώσεις οι φορείς κρίνονται επαρκείς για πιθανότητα υπέρβασης 10% της Σ.Ε. "Σημαντικές Βλάβες" ($a=0,16$ g), καθώς για μετακίνηση ίση με τη στοχευόμενη παρατηρούνται δομικά μέλη που έχουν υπερβεί τη Σ.Ε. "Περιορισμένες Βλάβες".



Διάγραμμα 5.20 Καμπύλες ικανότητας φορέων 3A και 3B.

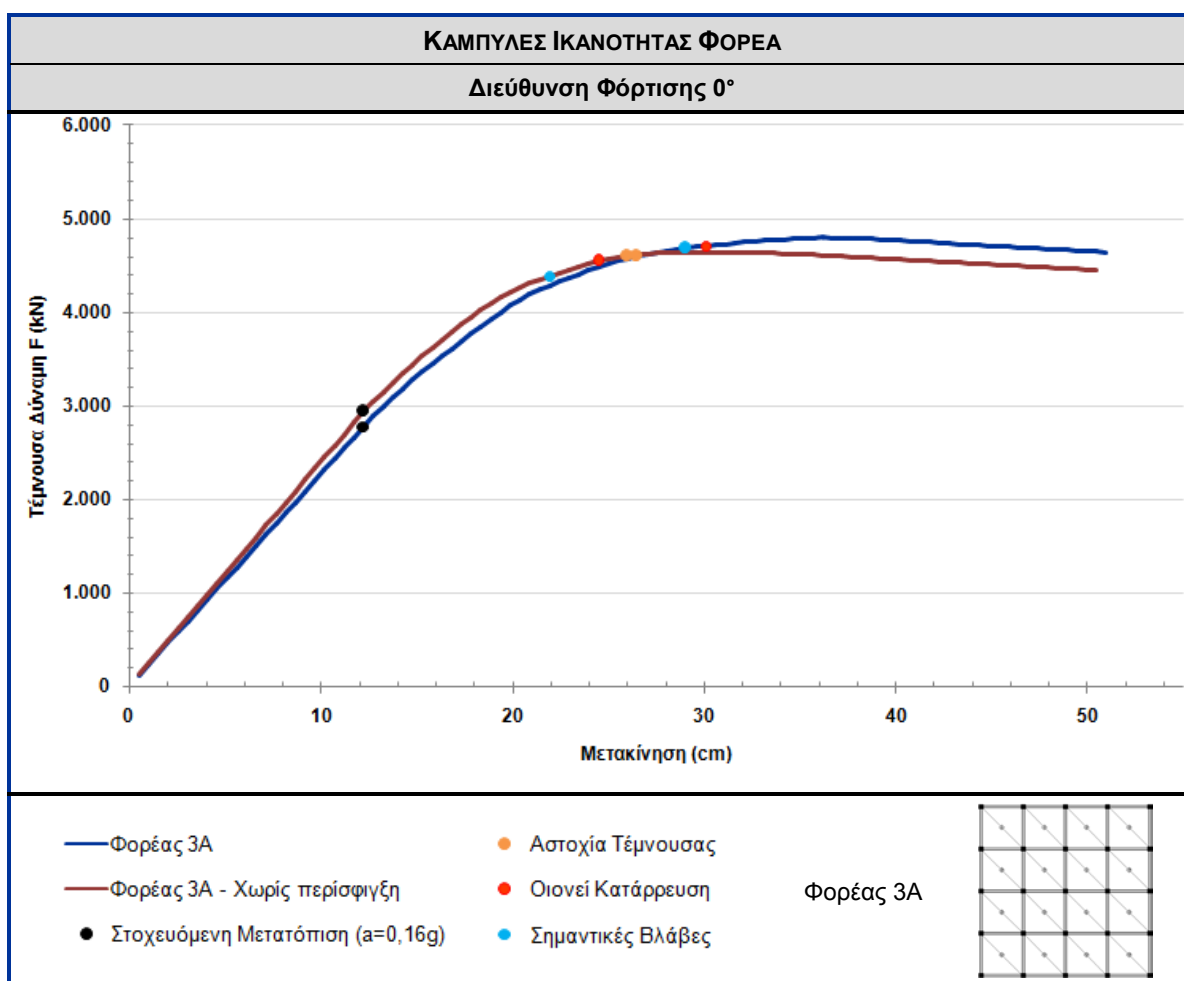
5.3.3. Επιρροή της Περίσφιγξης

Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις στον φορέα 3Α αγνοώντας την επιρροή της περίσφιγξης (Ανάλυση 3Α-5-2). Η επίδραση της αγνόησης της περίσφιγξης στην καμπύλη ικανότητας παρουσιάζεται ακολούθως (Πίνακας 5.23, Διάγραμμα 5.21).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ						
Περιγραφή Φορέα		Διεύθυνση Φόρτισης (°)	α_u/α_1	Στοχευόμενη Μετακίνηση		Μέγιστη τιμή Τέμνουσας Βάσης F_{max} (kN)
				F (kN)	SD (cm)	
Φορέας 3Α	με επιρροή περίσφιγξης	0	1,66	2778,50	12,24	4798,19
	χωρίς επιρροή περίσφιγξης	0	1,58	2941,40	12,24	4641,90

Παραδοχές Ανάλυσης:
 - Φαινόμενα 2^{ας} τάξεως: Ναι
 - Κόμβος ελέγχου: Κ₁₃(5)

Πίνακας 5.23 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης αγνοώντας την επιρροή της περίσφιγξης στο φορέα 3Α.



Διάγραμμα 5.21 Καμπύλες ικανότητας φορέα 3Α αγνοώντας την επιρροή περίσφιγξης.

Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης pushover προκύπτει ότι και σε αυτή την περίπτωση που αγνοείται η επιρροή της περίσφιγξης, για μικρές τιμές μετακίνησης ο φορέας έχει μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα από την περίπτωση που η περίσφιγξη λαμβάνεται υπόψη ενώ για μεγαλύτερες μετακινήσεις, παρατηρείται φθίνουσα πορεία του κλάδου. Στην περίπτωση απερίσφικτου σκυροδέματος ο κλάδος φθίνει καθώς εμφανίζεται το φαινόμενο της αποφλοίσωσης. Επίσης, όσον αφορά στη στοχευόμενη μετακίνηση δεν παρατηρείται μεταβολή της τιμής της στις δύο περιπτώσεις αναλύσεων.

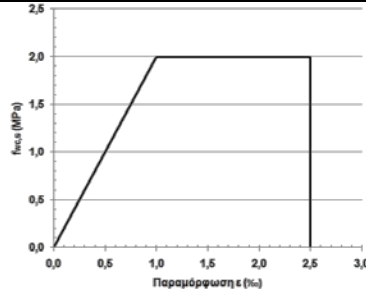
Τέλος, παρατηρείται ότι στην περίπτωση που η επιρροή περίσφιγξης αγνοείται, η πρώτη υπέρβαση της αντοχής σε τέμνουσα έπεται της πρώτης υπέρβασης της Σ.Ε. "Οιονεί Κατάρρευση", ενώ στην περίπτωση που λαμβάνεται προηγείται.

5.3.4. Επιρροή Τοιχοπληρώσεων

Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις στον φορέα 3A, ώστε να προσδιοριστεί η επίδραση των τοιχοπληρώσεων στην απόκριση μιας κατασκευής.

Για το σκοπό αυτό, έγινε σύγκριση μεταξύ τριών αναλύσεων: ανάλυση "γυμνού φορέα", δηλαδή με απουσία τοιχοπληρώσεων αλλά λαμβάνοντας υπόψη τα φορτία τοιχοποιίας (Ανάλυση 3A-0-4), ανάλυση φορέα με τοιχοπληρώσεις παντού εξωτερικά και φορτία τοιχοποιίας (Ανάλυση 3A-0-5(α)) και ανάλυση με τοιχοπληρώσεις τύπου pilotis, δηλαδή με τοιχοπληρώσεις και φορτία σε όλους τους ορόφους πλην του ισογείου (Ανάλυση 3A-0-5(β)).

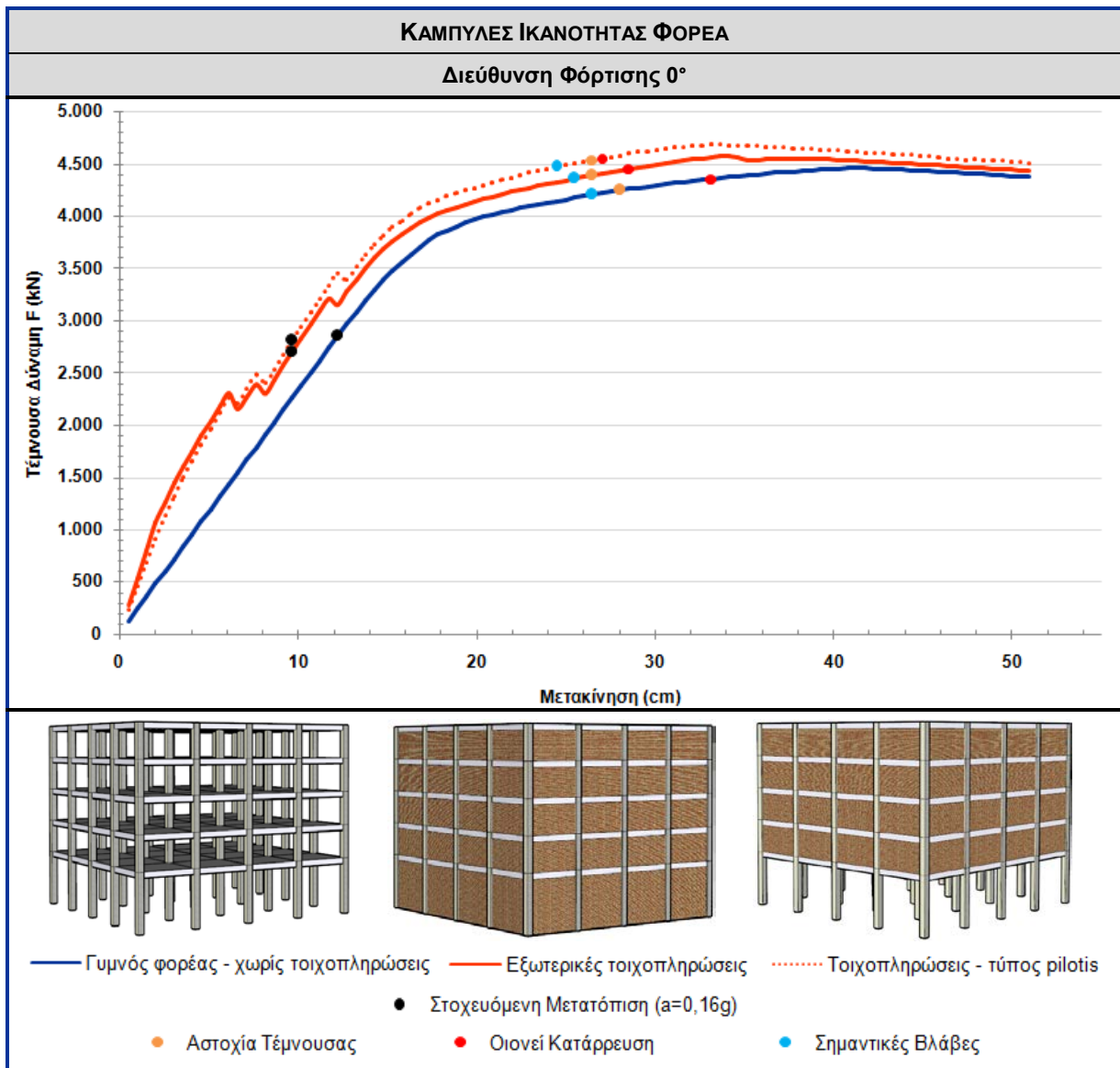
Η επίδραση των τοιχοπληρώσεων στα αποτελέσματα της ανελαστικής στατικής ανάλυσης παρουσιάζεται ακολούθως (Πίνακας 5.24, Διάγραμμα 5.22).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ					
Περιγραφή Φορέα		α_u/α_1	Στοχευόμενη Μετακίνηση		Μέγιστη τιμή Τέμνουσας Βάσης F_{max} (kN)
			F (kN)	SD (cm)	
Φορέας 3A	χωρίς τοιχοπληρώσεις - "γυμνός φορέας"	1,56	2857,30	12,24	4457,20
	με τοιχοπληρώσεις - παντού εξωτερικά	1,54	2699,70	9,69	4569,33
	με τοιχοπληρώσεις - τύπου pilotis	1,52	2807,40	9,69	4683,00
Παραδοχές Ανάλυσης: - Φαινόμενα 2 ^{ος} τάξεως: Ναι - Επιρροή περισφίξεως: Όχι - Κόμβος ελέγχου: K ₁₃ (5)					
Χαρακτηριστικά τοιχοπληρώσεων: - Πάχος τοίχου: t=20 cm (μπατική τοιχοποιία) - Απομείωση λόγω ανοιγμάτων: R=1,00 - Χαρακτηριστική αντοχή $f_{wck}=2,00$ MPa (αντοχή λιθοσωμάτων: $f_b=5$ MPa, αντοχή κονιάματος: $f_m=3$ MPa)					

Πίνακας 5.24 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης λαμβάνοντας υπόψη τις τοιχοπληρώσεις.

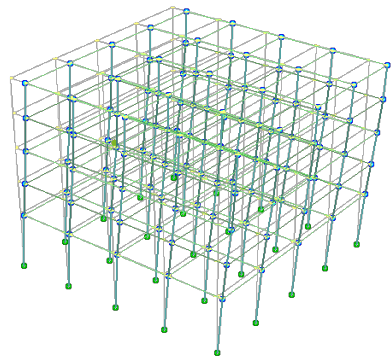
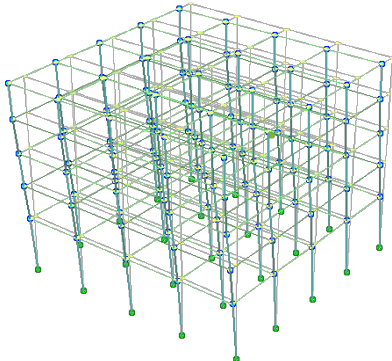
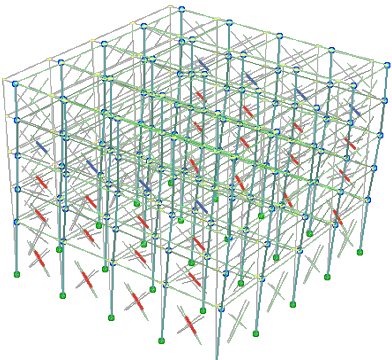
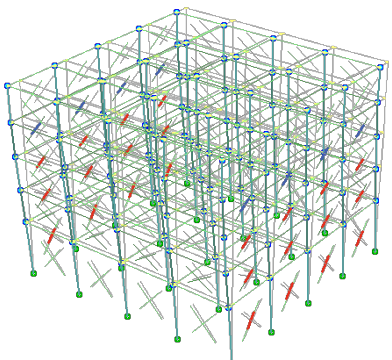
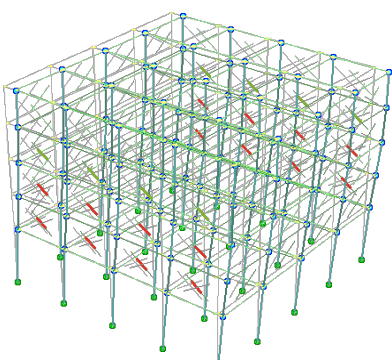
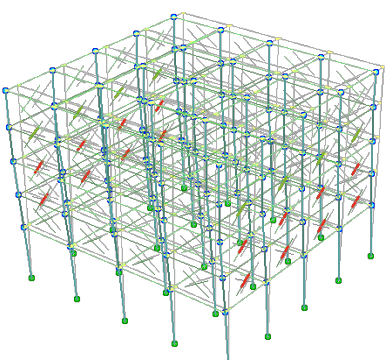
Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης pushover προκύπτει ότι για την περίπτωση που λαμβάνεται υπόψη η επιρροή των τοιχοπληρώσεων ο φορέας γίνεται πιο δύσκαμπτος. Οι απότομες διακυμάνσεις που παρουσιάζουν οι καμπύλες αντίστασης της κατασκευής με τοιχοπληρώσεις, φανερώνουν τη διαδοχική αστοχία των τοιχοπληρώσεων. Με αυτόν τον τρόπο, η αστοχία των δομικών μελών έπεται της αστοχίας των τοιχοπληρώσεων. Παρόλα αυτά, στο γυμνό φορέα, η πρώτη υπέρβαση για κάθε στάθμη επιτελεσματικότητας συμβαίνει σε μεγαλύτερη μετακίνηση συγκριτικά με τις περιπτώσεις που επιδρούν οι τοιχοπληρώσεις.

Η τιμή της στοχευόμενης μετακίνησης στην περίπτωση των τοιχοπληρώσεων προκύπτει αρκετά μικρότερη. Όπως παρατηρείται και από τα σχήματα (Σχήμα 5.12) που παρουσιάζουν τις πλαστικές αρθρώσεις που έχουν εμφανιστεί στο φορέα για μετακίνηση ίση με τη στοχευόμενη, εμφανίζεται ότι στο φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, έχει διαρρεύσει ένα δομικό μέλος, ενώ στις άλλες δύο περιπτώσεις έχουν αστοχήσει κάποιες τοιχοπληρώσεις.



Διάγραμμα 5.22 Καμπύλες ικανότητας φορέα λαμβάνοντας υπόψη τις τοιχοπληρώσεις.

Επομένως, η παρουσία τοιχοπληρώσεων επιδρά ευμενώς στην απόκριση του φορέα. Οι αστοχίες των κύριων δομικών στοιχείων παρατηρούνται για μεγαλύτερες μετακινήσεις συγκριτικά με φορείς χωρίς τοιχοπληρώσεις, καθώς οι αστοχίες εμφανίζονται πρώτα στις τοιχοπληρώσεις.

Περιγραφή Φορέα	Διεύθυνση Φόρτισης 0°	Διεύθυνση Φόρτισης 90°
Χωρίς τοιχοπληρώσεις		
Τοιχοπληρώσεις παντού εξωτερικά		
Τοιχοπληρώσεις τύπου pilotis		

Σχήμα 5.12 Πλαστικές αρθρώσεις κατά τη στοχευόμενη μετακίνηση στο φορέα 3Α λαμβάνοντας υπόψη την επιρροή των τοιχοπληρώσεων.

5.3.5. Επίδραση Φαινομένων 2^{ας} Τάξεως

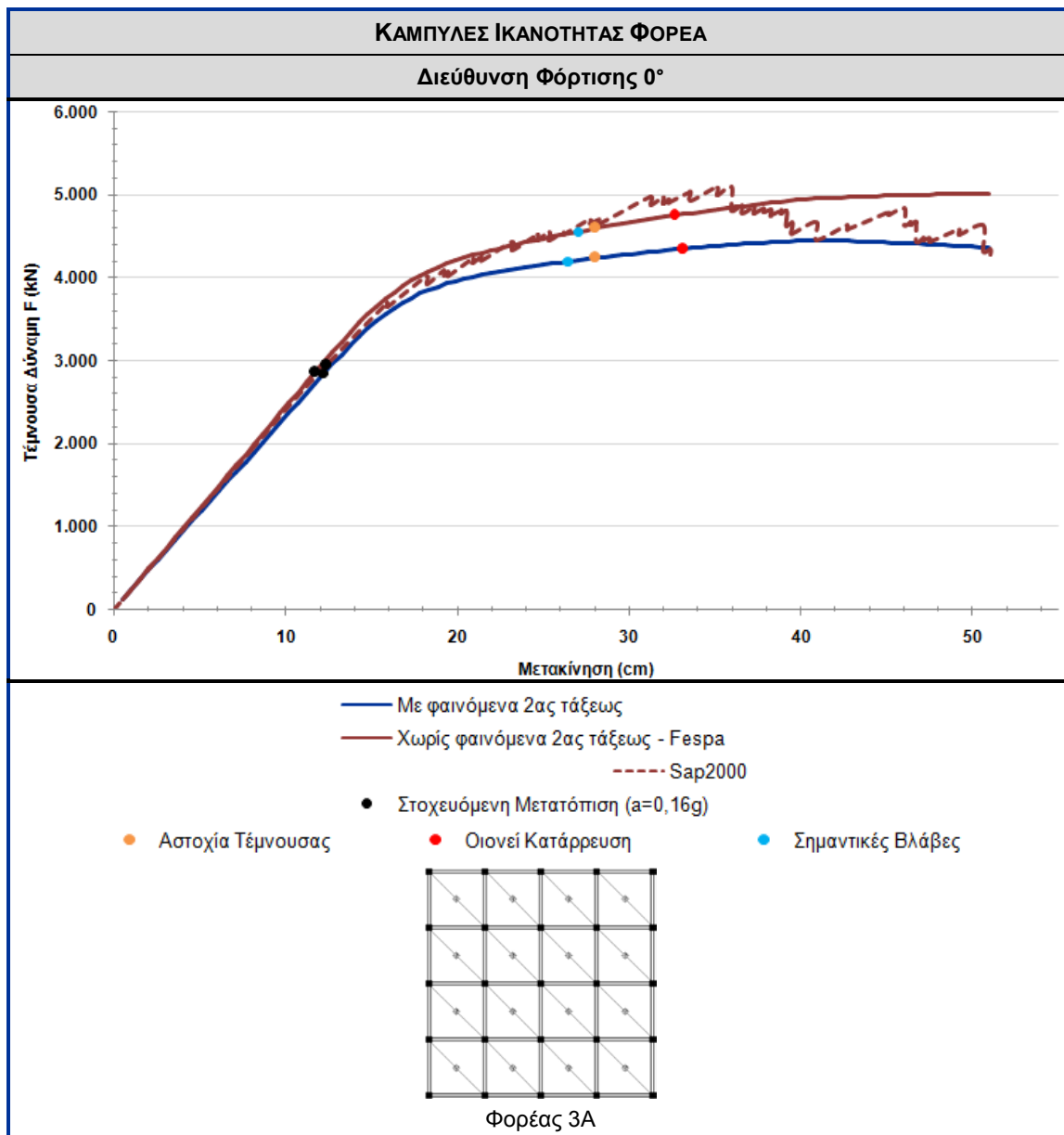
Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση των φαινομένων 2^{ας} τάξεως, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις στον φορέα 3Α αγνοώντας τις πρόσθετες ροπές που εμφανίζονται λόγω αυτών των φαινομένων (Ανάλυση 3Α-0-3).

Η επίδραση συνεκτίμησης των φαινομένων 2^{ας} τάξεως στην καμπύλη ικανότητας του φορέα παρουσιάζεται ακολούθως (Πίνακας 5.25, Διάγραμμα 5.23).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ				
Περιγραφή Φορέα	Επιρροές 2 ^{ας} Τάξεως	Στοχευόμενη Μετακίνηση		Μέγιστη τιμή Τέμνουσας Βάσης F _{max} (kN)
		F (kN)	SD (cm)	
Φορέας 3Α	Ναι	2857,30	12,24	4457,20
	Όχι	2873,10	11,73	5024,00
		2956,64	12,40	5097,06

Παραδοχές Ανάλυσης:
 - Επιρροή περισφίξεως: Όχι
 - Κόμβος ελέγχου: K₁₃(5)
 *Επίλυση με χρήση Sap2000

Πίνακας 5.25 Αποτελέσματα pushover ανάλυσης στο φορέα 3Α αγνοώντας την επιρροή των φαινομένων 2^{ας} τάξεως.



Διάγραμμα 5.23 Καμπύλες ικανότητας φορέα 3Α αγνοώντας τα φαινόμενα 2^{ας} τάξεως.

Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης pushover προκύπτει ότι για την περίπτωση που αγνοείται η επιρροή φαινομένων δευτέρας τάξεως, η απόκριση του φορέα είναι καλύτερη. Γενικά, η συνεκτίμηση τέτοιων φαινομένων, λόγω της εμφάνισης πρόσθετων ροπών, επιταχύνει την εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων στο φορέα. Βέβαια στην περίπτωση αυτή, οι πρώτες υπερβάσεις για τις στάθμες επιτελεστικότητας συμβαίνουν περίπου για την ίδια τιμή μετακίνησης.

Επίσης, όσον αφορά στην τιμή της στοχευόμενης μετακίνησης δεν παρατηρείται σημαντική μεταβολή της τιμής της στις δύο περιπτώσεις αναλύσεων. Μεγάλη διαφορά παρατηρείται στη μέγιστη τιμή της τέμνουσας βάσεως, όπου η αύξηση φτάνει το 14%, αν δεν συνυπολογιστούν τα φαινόμενα 2^{ος} τάξεως.

Συνεπώς, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η αγνόηση φαινομένων 2^{ος} τάξεως οδηγεί σε υπερεκτίμηση της φέρουσας ικανότητας μιας κατασκευής και επομένως τα αποτελέσματα είναι κατά της ασφαλείας.

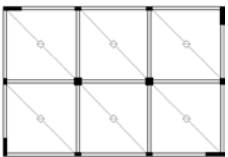
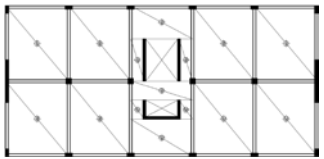
6. Επίδραση της Μεταβλητότητας των Δεδομένων στην Απόκριση

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η διερεύνηση της επίδρασης της μεταβλητότητας των υλικών και κάποιων παραμέτρων στην αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας των φορέων.

Για αυτό το λόγο εφαρμόστηκε η Rosenblueth's 2k+1 Point Estimate Method, θεωρώντας ως μεταβλητές την αντοχή του χάλυβα του διαμήκους οπλισμού και των συνδετήρων, την αντοχή του σκυροδέματος και την τιμή του συντελεστή συνδυασμού μεταβλητών δράσεων για τα οιονεί μόνιμα φορτία ψ_2 .

Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 6.1) παρουσιάζονται οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν καθώς και οι μεταβλητότητες των δεδομένων, μέσω του συντελεστή μεταβλητότητας (CV).

Ο συντελεστής μεταβλητότητας αποτελεί σχετική μέτρηση της διασποράς και ορίζεται ως ο λόγος της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή του μεγέθους σε ποσοστό επί τοις εκατό.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ROSENBLUETH'S 2K+1 POINT ESTIMATE METHOD					
Περιγραφή Φορέα		Συντελεστής Μεταβλητότητας Δεδομένων $CV = \frac{\sigma_{x_i}}{\mu_{x_i}}$ (%)			
		Σκυρόδεμα	Χάλυβας		Συντελεστής ψ_2
			Διαμήκους Οπλισμού	Συνδετήρων	
Φορέας 1B (Γωνιακά Τοιχώματα) 	1B-5-1	15%	5%	5%	33%
Φορέας 2A 	2A-0-1				

Πίνακας 6.1 Αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν για τη διερεύνηση της μεταβλητότητας των δεδομένων στην απόκριση κατασκευών.

6.1. Επίδραση στην Απόκριση του Φορέα 1

Εφαρμόστηκε η μέθοδος Rosenblueth's $2k+1$ Point Estimate Method στο φορέα 1B, με σκοπό τον προσδιορισμό της επίδρασης της μεταβλητότητας των δεδομένων στον υπολογισμό της στοχευόμενης μετακίνησης καθώς και στη συνολική απόκριση της κατασκευής.

Πραγματοποιήθηκαν 9 ανελαστικές στατικές αναλύσεις, μία με τις μέσες τιμές και δύο αναλύσεις για κάθε μία από τις τέσσερις μεταβλητές χρησιμοποιώντας ως τιμές $\mu_{x_i} + \sigma_{x_i}$ και $\mu_{x_i} - \sigma_{x_i}$. Οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις των μεταβλητών καθώς και τα αποτελέσματα από την εφαρμογή αυτής της μεθόδου, για τις δύο διευθύνσεις σεισμικής φόρτισης, παρουσιάζονται ακολούθως (Πίνακας 6.2, Διάγραμμα 6.1).

Από τα αποτελέσματα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η μεταβλητότητα των δεδομένων δεν επηρεάζει την απόκριση του φορέα, με τις αβεβαιότητες που προκύπτουν για τα εξεταζόμενα μεγέθη (σημείο επιτελεστικότητας και μέγιστη τέμνουσα βάση) να είναι πάρα πολύ μικρές, σχεδόν αμελητέες.

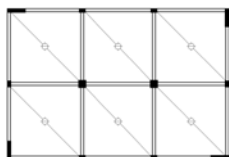
Πιο συγκεκριμένα μπορεί να παρατηρηθεί ότι η μεταβλητότητα των τιμών του σκυροδέματος επηρεάζει την τιμή της στοχευόμενης μετακίνησης συγκριτικά με τις άλλες μεταβλητές, όμως όχι σε σημαντικό βαθμό. Αντιστοίχως, η μεταβλητότητα του χάλυβα του διαμήκους οπλισμού επιδρά στην τιμή της μέγιστης τέμνουσας δύναμης που μπορεί να δεχτεί η κατασκευή. Η μεταβλητότητα του χάλυβα του εγκάρσιου οπλισμού καθώς και η μεταβλητότητα της τιμής του συντελεστή συνδυασμού μεταβλητών δράσεων για τα οιονεί μόνιμα φορτία ψ_2 δεν έχουν καμία επίδραση στην απόκριση της κατασκευής.

Επιπλέον, παρατίθενται και τα διαγράμματα ροπών - γωνιών στροφής μιας δοκού ώστε να μελετηθεί η επίδραση της μεταβλητότητας των δεδομένων σε επίπεδο δομικού μέλους (Διάγραμμα 6.2).

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η μεταβλητότητα του διαμήκους οπλισμού επηρεάζει τον υπολογισμό των τιμών των ροπών και γωνιών στροφής, ενώ οι άλλες μεταβλητές, (σκυρόδεμα, εγκάρσιος οπλισμός) δεν έχουν καμία επίδραση.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ROSENBLUETH'S 2K+1 POINT ESTIMATE METHOD

ΦΟΡΕΑΣ 1B



- Σκυρόδεμα C25/30 : $f_{cm}=33$ MPa, $\sigma_{fcm}=33 \cdot 15\%=4,95$ MPa
- Χάλυβας Οπλισμού : $f_{ym}=575$ MPa, $\sigma_{fym}=575 \cdot 5\%=28,75$ MPa
 Συνδετήρων : $f_{ywm}=575$ MPa, $\sigma_{fywm}=575 \cdot 5\%=28,75$ MPa
- Συντελεστής συνδυασμού μεταβλητών δράσεων για τα οιοειή μόνιμα φορτία ψ_2 : $f_{\psi m}=0,30$, $\sigma_{\psi m}=0,30 \cdot 33\%=1,00$

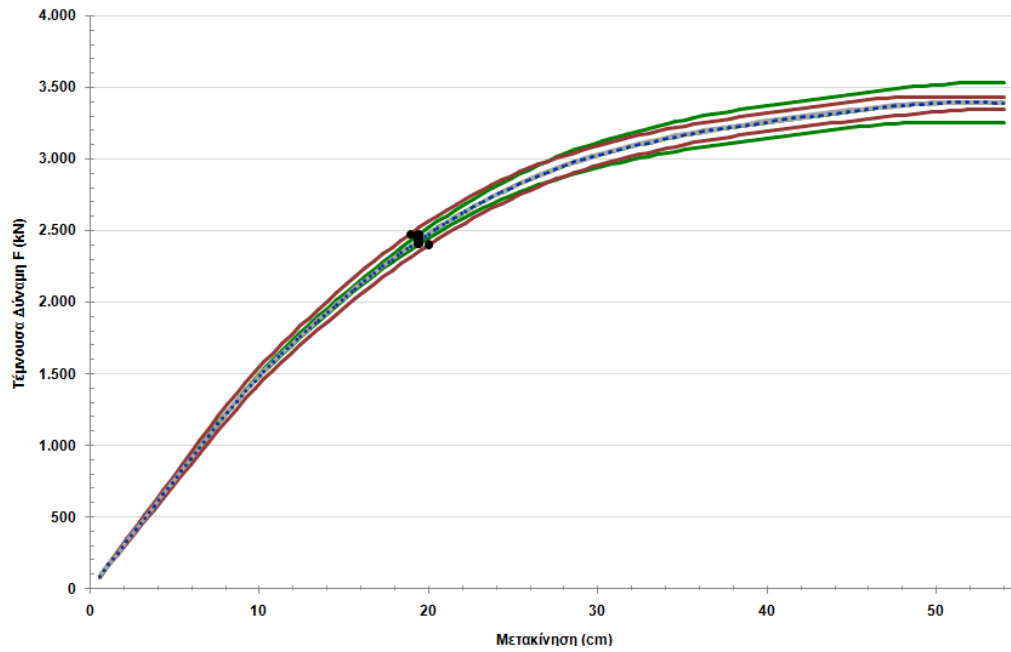
Αποτελέσματα Αναλύσεων

Επιλύσεις	Φόρτιση (°)	Σημείο Επιτελεστικότητας		Μέγιστη Τέμνουσα Βάσης F_{max} (kN)	Υπολογισμοί									
		F (kN)	SD (cm)		$\bar{y}_i = \frac{y_i^+ + y_i^-}{2}$			$V_{yi} = \frac{y_i^+ - y_i^-}{y_i^+ + y_i^-}$			$\bar{Y} = y_0 \cdot \prod_{i=1}^K \left(\frac{\bar{y}_i}{y_0} \right)$			
					F (kN)	SD (cm)	F_{max} (kN)	F (kN)	SD (cm)	F_{max} (kN)	F (kN)	SD (cm)	F_{max} (kN)	
Χρησιμοποιώντας τις μέσες τιμές των μεταβλητών		0	2437,05	19,44	3397,22							2449,97	19,44	3389,59
		90	2276,08	19,97	3188,40							2261,10	19,70	3174,25
Χάλυβας διαμήκους οπλισμού	$f_{ym} + \sigma_{fym} = 603,75$ MPa	0	2478,90	19,44	3534,99	2444,45	19,44	3396,10	$1,41 \cdot 10^{-2}$	0	$4,09 \cdot 10^{-2}$	$V_y = \sqrt{\prod_{i=1}^K (1 + V_{yi}^2)} - 1$		
		90	2318,90	19,97	3317,96	2277,90	19,97	3183,94	$1,80 \cdot 10^{-2}$	0	$4,21 \cdot 10^{-2}$			
	$f_{ym} - \sigma_{fym} = 546,25$ MPa	0	2410,00	19,44	3257,21							F (kN)	SD (cm)	F_{max} (kN)
		90	2236,90	19,97	3049,91							$7,60 \cdot 10^{-11}$	0	$2,65 \cdot 10^{-12}$
Χάλυβας συνδετήρων	$f_{ywm} + \sigma_{fywm} = 603,75$ MPa	0	2435,20	19,44	3396,11	2437,55	19,44	3396,12	$9,64 \cdot 10^{-4}$	0	$2,94 \cdot 10^{-6}$	$1,91 \cdot 10^{-9}$	0	$2,21 \cdot 10^{-10}$
		90	2274,60	19,97	3185,42	2277,30	19,97	3186,09	$1,19 \cdot 10^{-3}$	0	$2,09 \cdot 10^{-4}$			
	$f_{ywm} - \sigma_{fywm} = 546,25$ MPa	0	2439,90	19,44	3396,13									
		90	2280,00	19,97	3186,75									
Σκυρόδεμα C25/30	$f_{cm} + \sigma_{fcm} = 37,95$ MPa	0	2479,30	18,90	3435,27	2440,15	19,44	3392,08	$1,60 \cdot 10^{-2}$	$2,78 \cdot 10^{-2}$	$1,27 \cdot 10^{-2}$			
		90	2309,40	19,43	3228,04	2274,35	19,97	3180,17	$1,54 \cdot 10^{-2}$	$2,70 \cdot 10^{-2}$	$1,51 \cdot 10^{-2}$			
	$f_{cm} - \sigma_{fcm} = 28,05$ MPa	0	2401,00	19,98	3348,88									
		90	2239,30	20,51	3132,30									
Συντελεστής ψ_2	$\psi_m + \sigma_{\psi m} = 0,40$	0	2438,10	19,44	3391,09	2438,95	19,44	3396,96	$3,49 \cdot 10^{-4}$	0	$1,73 \cdot 10^{-3}$			
		90	2272,90	19,97	3183,92	2259,80	19,70	3189,25	$5,80 \cdot 10^{-3}$	$1,37 \cdot 10^{-2}$	$1,67 \cdot 10^{-3}$			
	$\psi_m - \sigma_{\psi m} = 0,20$	0	2439,80	19,44	3402,82									
		90	2246,70	19,43	3194,57									

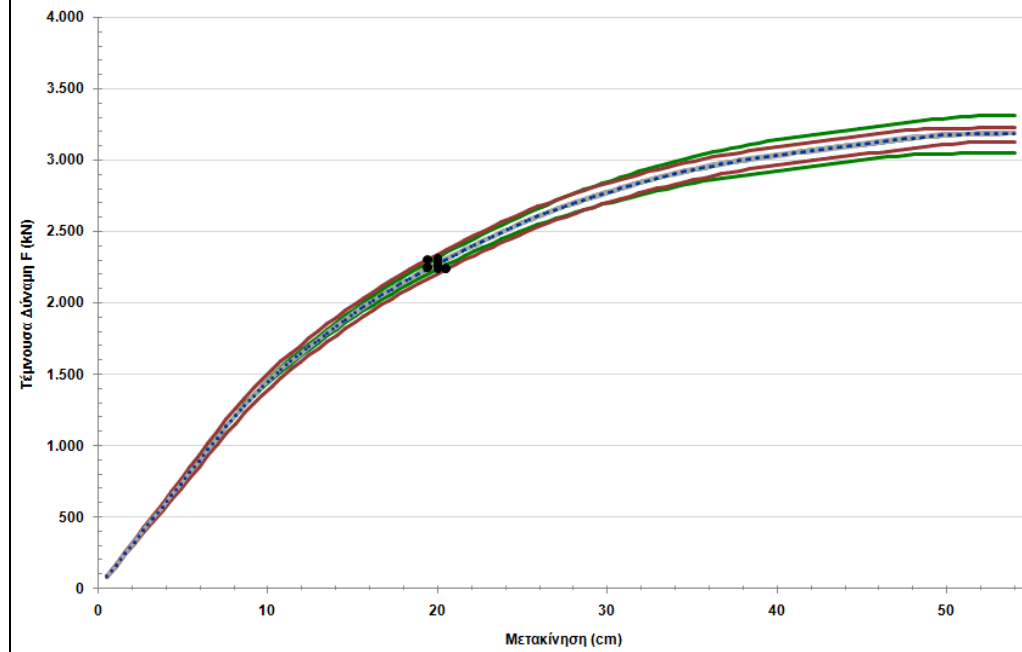
Πίνακας 6.2 Αποτελέσματα εφαρμογής μεθόδου Rosenblueth στο φορέα 1B.

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΟΡΕΑ

Διεύθυνση Φόρτισης 0°



Διεύθυνση Φόρτισης 90°



— Χάλυβας διαμήκους οπλισμού

- - - Χάλυβας συνδετήρων

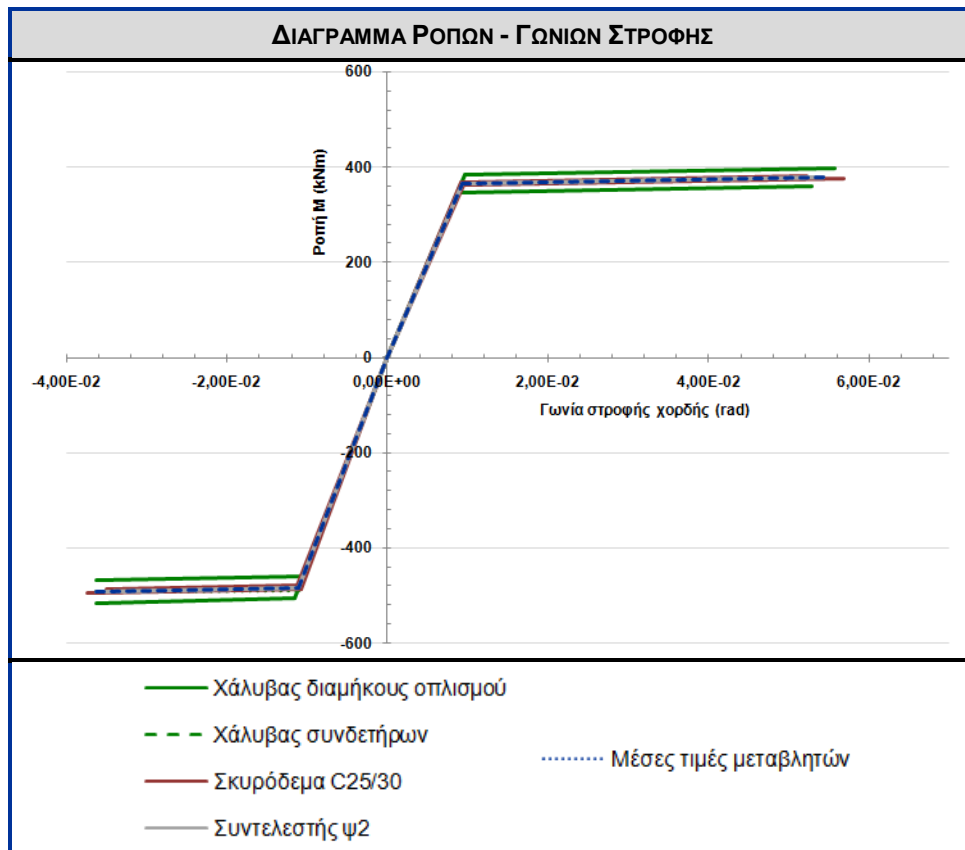
— Σκυρόδεμα C25/30

— Συντελεστής ψ_2

..... Μέσες τιμές μεταβλητών

● Σημείο Επιτελεστικότητας

Διάγραμμα 6.1 Επίδραση της μεταβλητότητας των δεδομένων στην καμπύλη αντίστασης του φορέα 1B.



Διάγραμμα 6.2 Διάγραμμα ροπών - γωνιών στροφής δοκού Δ_{2,2}(1).

6.2. Επίδραση στην Απόκριση του Φορέα 2

Εφαρμόστηκε η μέθοδος Rosenblueth's 2k+1 Point Estimate Method στο φορέα 2Α, με σκοπό τον προσδιορισμό της επίδρασης της μεταβλητότητας των δεδομένων στον υπολογισμό της στοχευόμενης μετακίνησης καθώς και στη συνολική απόκριση της κατασκευής.

Οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις των μεταβλητών καθώς και τα αποτελέσματα από την εφαρμογή αυτής της μεθόδου, για τις δύο διευθύνσεις σεισμικής φόρτισης, παρουσιάζονται ακολούθως (Πίνακας 6.3, Διάγραμμα 6.3). Επίσης, πραγματοποιήθηκε ανάλυση εφαρμόζοντας τις δυσμενέστερες και ευμενέστερες τιμές των μεταβλητών.

Από τα αποτελέσματα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι και σε αυτόν το φορέα, η μεταβλητότητα των δεδομένων δεν επηρεάζει την απόκριση του φορέα, με τις αβεβαιότητες που προκύπτουν για τα εξεταζόμενα μεγέθη (σημείο επιτελεστικότητας και μέγιστη τέμνουσα βάσης) να είναι πάρα πολύ μικρές, σχεδόν αμελητέες.

Πιο συγκεκριμένα μπορεί να παρατηρηθεί ότι η μεταβλητότητα των τιμών του σκυροδέματος επηρεάζει την τιμή της στοχευόμενης μετακίνησης αλλά και της τιμής της μέγιστης τέμνουσας συγκριτικά με τις άλλες μεταβλητές, όμως όχι σε σημαντικό βαθμό. Η μεταβλητότητα του χάλυβα του διαμήκους οπλισμού καθώς και η μεταβλητότητα της τιμής του συντελεστή συνδυασμού μεταβλητών δράσεων για τα οιονεί μόνιμα φορτία ψ_2 δεν έχουν καμία επίδραση στην απόκριση της κατασκευής.

Συνεπώς, η μεταβλητότητα των τιμών των παραμέτρων που υπεισέρχονται στην ανάλυση για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας μιας κατασκευής δεν επιδρά στην απόκρισή της.

Επιπλέον, παρατίθενται και τα διαγράμματα ροπών - γωνιών στροφής μιας δοκού και αλληλεπίδρασης υποστυλώματος ώστε να μελετηθεί η επίδραση της μεταβλητότητας των δεδομένων σε επίπεδο δομικού μέλους (*Διαγράμματα 6.4, 6.5*).

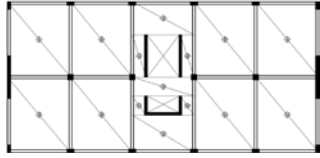
Από το διάγραμμα ροπών - γωνιών στροφής προκύπτει ότι η μεταβλητότητα του διαμήκους οπλισμού επηρεάζει τον υπολογισμό των τιμών των ροπών και γωνιών στροφής, ενώ οι άλλες μεταβλητές, (σκυρόδεμα, εγκάρσιος οπλισμός) δεν έχουν καμία επίδραση.

Από το διάγραμμα αλληλεπίδρασης του υποστυλώματος, παρατηρείται ότι η μεταβλητότητα της αντοχής του σκυροδέματος επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την αντοχή του υποστυλώματος, για μεγάλες τιμές θλιπτικής αξονικής δύναμης (για $N > 3000$ kN). Μολονότι η επίδραση είναι μεγάλη, για τη δεδομένη αξονική δύναμη από τα οιονεί μόνιμα, η επίδραση αυτή είναι σχεδόν αμελητέα.

Επίσης, στο ίδιο διάγραμμα παρατίθεται και η καμπύλη αλληλεπίδρασης του υποστυλώματος με τα μεγέθη κατά το σχεδιασμό ώστε να παρουσιαστεί η διαφορά μεταξύ αναλύσεων διαστασιολόγησης και αποτίμησης φέρουσας ικανότητας σε κατασκευές.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ROSENBLUETH'S 2K+1 POINT ESTIMATE METHOD

ΦΟΡΕΑΣ 2Α



- Σκυρόδεμα C25/30 : $f_{cm}=33$ MPa, $\sigma_{fcm}=33 \cdot 15\%=4,95$ MPa
- Χάλυβας Οπλισμού : $f_{ym}=575$ MPa, $\sigma_{fym}=575 \cdot 5\%=28,75$ MPa
 Συνδετήρων : $f_{ywm}=575$ MPa, $\sigma_{fywm}=575 \cdot 5\%=28,75$ MPa
- Συντελεστής συνδυασμού μεταβλητών δράσεων για τα οιονεί μόνιμα φορτία ψ_2 : $f_{\psi m}=0,30$, $\sigma_{\psi m}=0,30 \cdot 33\%=1,00$

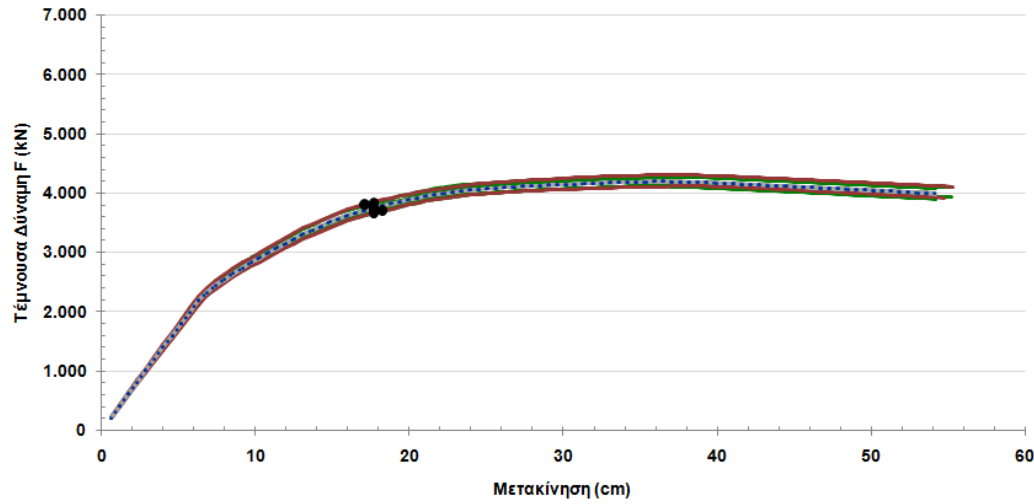
Αποτελέσματα Αναλύσεων

Επιλύσεις	Φόρτιση (°)	Σημείο Επιτελεστικότητας		Μέγιστη Τέμνουσα Βάσης F_{max} (kN)	Υπολογισμοί									
		F (kN)	SD (cm)		$\bar{y}_i = \frac{y_i^+ + y_i^-}{2}$			$V_{yi} = \frac{y_i^+ - y_i^-}{y_i^+ + y_i^-}$			$\bar{Y} = y_0 \cdot \prod_{i=1}^K \left(\frac{\bar{y}_i}{y_0} \right)$			
					F (kN)	SD (cm)	F_{max} (kN)	F (kN)	SD (cm)	F_{max} (kN)	F (kN)	SD (cm)	F_{max} (kN)	
Χρησιμοποιώντας τις μέσες τιμές των μεταβλητών		0	3747,70	17,69	4194,75							3740,29	17,69	4225,33
		90	4930,30	16,50	6341,09							4801,05	16,50	6302,75
Χάλυβας διαμήκους οπλισμού	$f_{ym} + \sigma_{fym} = 603,75$ MPa	0	3764,90	17,69	4263,89	3736,85	17,69	4188,62	$7,51 \cdot 10^{-3}$	0	$1,80 \cdot 10^{-2}$	$V_y = \sqrt{\prod_{i=1}^K (1 + V_{yi}^2) - 1}$		
		90	5005,50	16,50	6539,74	4870,25	16,50	6325,66	$2,78 \cdot 10^{-2}$	0	$3,38 \cdot 10^{-2}$			
	$f_{ym} - \sigma_{fym} = 546,25$ MPa	0	3708,80	17,69	4113,34							F (kN)	SD (cm)	F_{max} (kN)
		90	4735,00	16,50	6111,58							$9,48 \cdot 10^{-10}$	0	$6,03 \cdot 10^{-9}$
Χάλυβας συνδετήρων	$f_{ywm} + \sigma_{fywm} = 603,75$ MPa	0	3838,50	17,69	4300,91	3750,10	17,69	4213,82	$2,36 \cdot 10^{-2}$	0	$2,07 \cdot 10^{-2}$	$7,91 \cdot 10^{-10}$	0	$4,73 \cdot 10^{-9}$
		90	4925,30	16,50	6348,79	4913,55	16,50	6328,70	$2,39 \cdot 10^{-3}$	0	$3,18 \cdot 10^{-3}$			
	$f_{ywm} - \sigma_{fywm} = 546,25$ MPa	0	3661,70	17,69	4126,73									
		90	4901,80	16,50	6308,60									
Σκυρόδεμα C25/30	$f_{cm} + \sigma_{fcm} = 37,95$ MPa	0	3803,00	17,12	4307,25	3751,10	17,69	4211,62	$1,38 \cdot 10^{-2}$	$3,22 \cdot 10^{-2}$	$2,27 \cdot 10^{-2}$			
		90	4964,70	15,93	6408,18	4877,90	16,50	6318,01	$1,78 \cdot 10^{-2}$	$3,45 \cdot 10^{-2}$	$1,43 \cdot 10^{-2}$			
	$f_{cm} - \sigma_{fcm} = 28,05$ MPa	0	3699,20	18,26	4115,98									
		90	4791,10	17,07	6227,84									
Συντελεστής ψ_2	$\psi_m + \sigma_{\psi m} = 0,40$	0	3743,90	17,69	4192,50	3745,35	17,69	4195,50	$3,87 \cdot 10^{-4}$	0	$7,15 \cdot 10^{-4}$			
		90	4925,90	16,50	6373,21	4929,20	16,50	6353,63	$6,69 \cdot 10^{-4}$	0	$3,08 \cdot 10^{-3}$			
	$\psi_m - \sigma_{\psi m} = 0,20$	0	3746,80	17,69	4198,50									
		90	4932,50	16,50	6334,04									

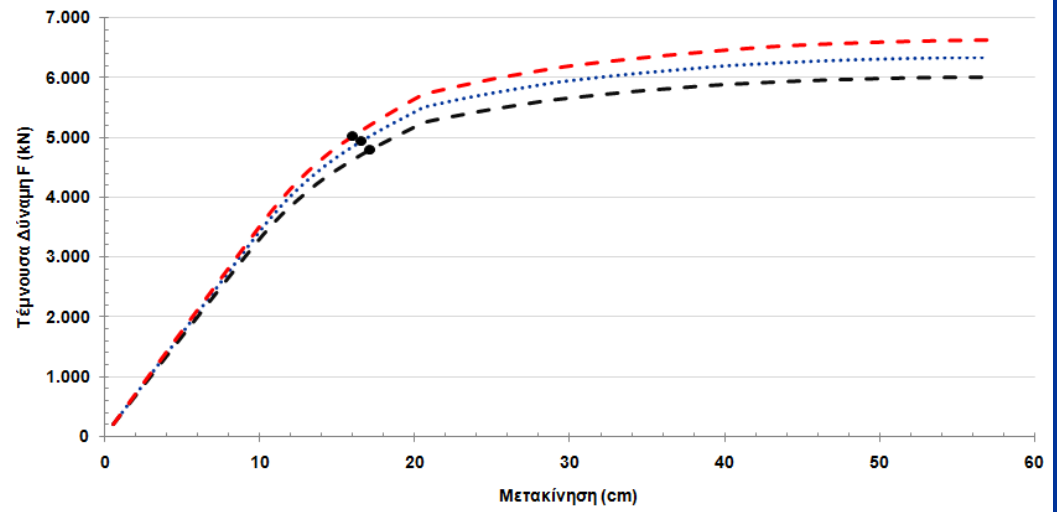
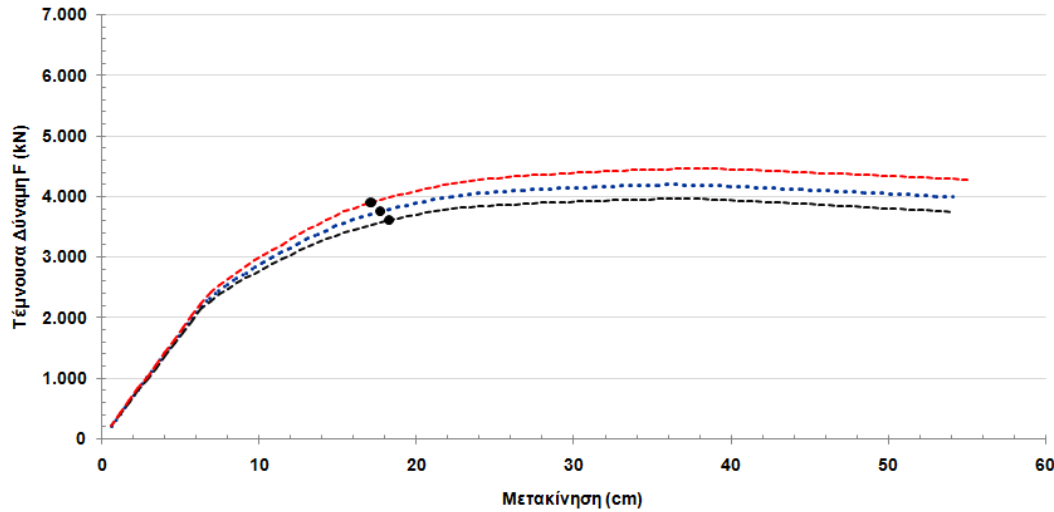
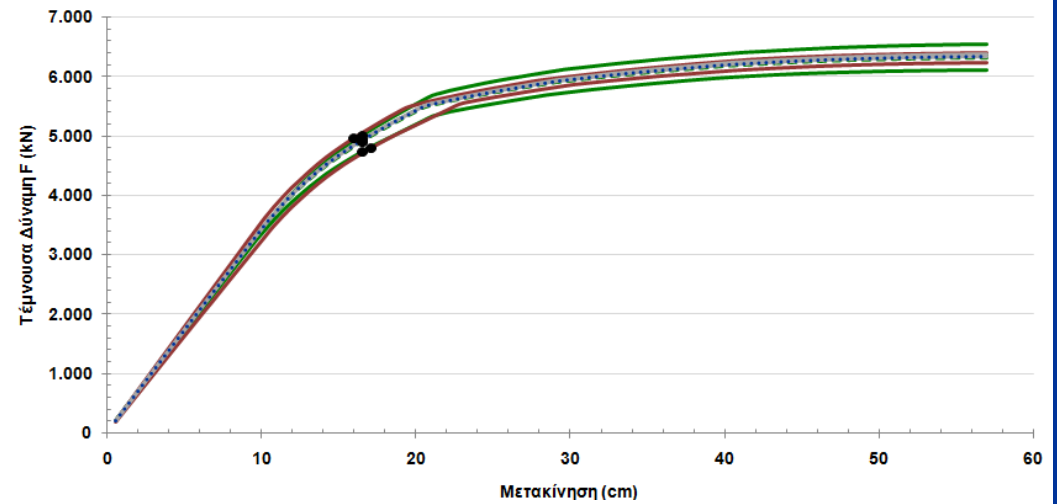
Πίνακας 6.3 Αποτελέσματα εφαρμογής μεθόδου Rosenblueth στο φορέα 2Α.

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΟΡΕΑ

Διεύθυνση Φόρτισης 0°



Διεύθυνση Φόρτισης 90°



— Χάλυβας διαμήκους οπλισμού

- - - Χάλυβας συνδετήρων

— Σκυρόδεμα C25/30

— Συντελεστής ψ_2

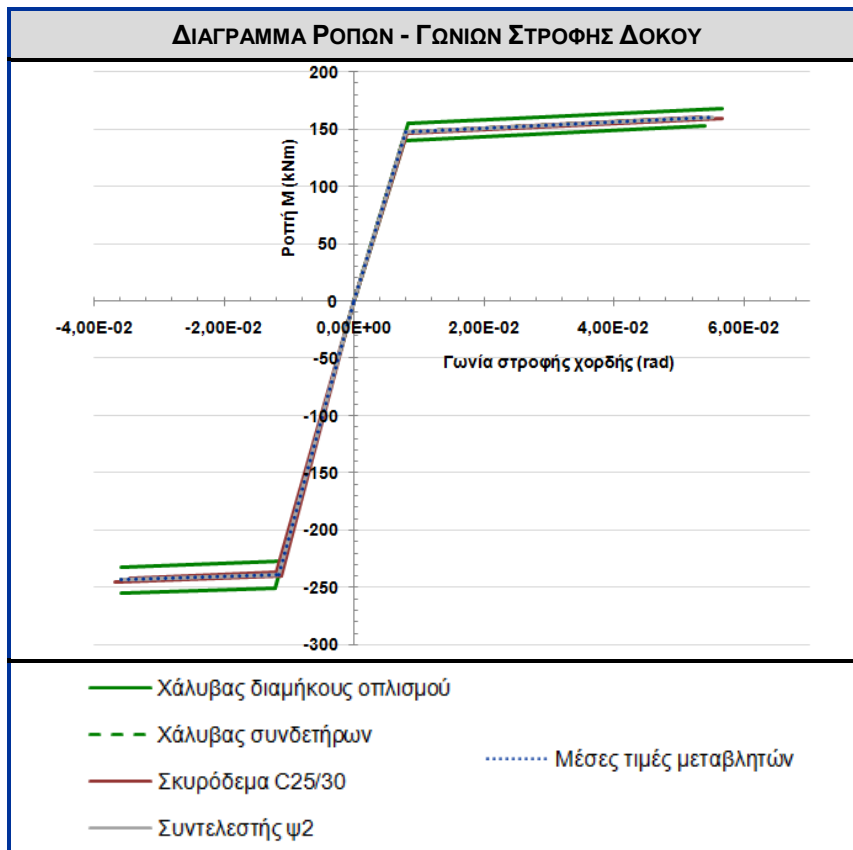
..... Χρησιμοποιώντας τις μέσες τιμές των μεταβλητών

● Σημείο Επιτελεστικότητας

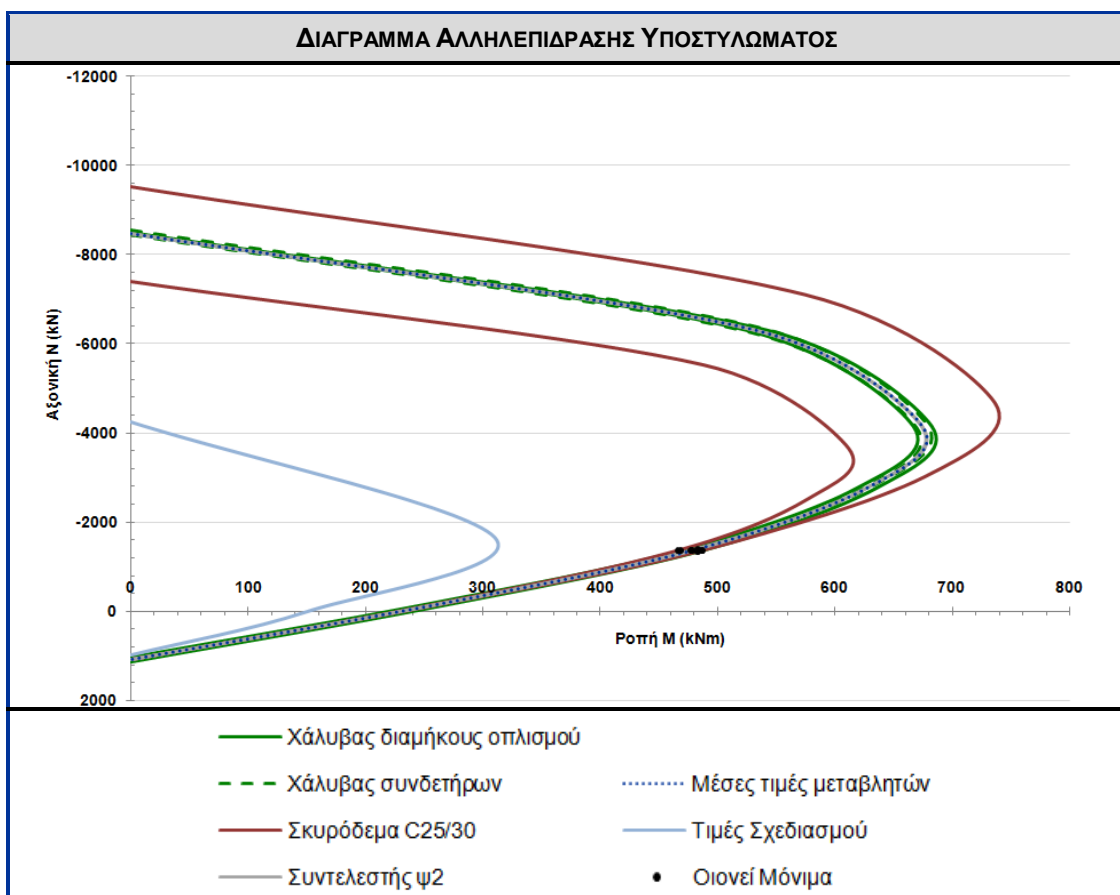
- - - Επίλυση με τις δυσμενέστερες τιμές των μεταβλητών

- - - Επίλυση με τις ευμενέστερες τιμές των μεταβλητών

Διάγραμμα 6.3 Επίδραση της μεταβλητότητας των δεδομένων στην καμπύλη αντίστασης του φορέα 2Α.



Διάγραμμα 6.4 Διάγραμμα ροπών - γωνιών στροφής δοκού $\Delta_{2,1}(1)$.



Διάγραμμα 6.5 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης υποστυλώματος $K_8(1)$.

7. Συμπεράσματα

Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν έχουν ως στόχο την εξέταση της επίδρασης διαφόρων παραμέτρων που υπεισέρχονται τόσο κατά το σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση όσο και κατά την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας μιας κατασκευής.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις διερευνήσεις και συγκρίσεις στους τρεις φορείς καθώς και στις παραλλαγές τους.

7.1. Συμπεράσματα από τη Παραμετρική Διερεύνηση κατά τη Διαστασιολόγηση

Οι τρεις φορείς διαστασιολογήθηκαν μετά από μεταβολή διαφόρων παραμέτρων ώστε να προσδιοριστεί η επίδρασή τους στον οπλισμό.

Πιο συγκεκριμένα, μελετήθηκε η επίδραση στη διαστασιολόγηση εφαρμόζοντας διαφορετική μέθοδο ανάλυσης, διαφορετικούς κανονισμούς, μεταβάλλοντας την τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς, την κατηγορία πλαστιμότητας αλλά και τη σεισμική ζώνη. Επιπλέον, προσδιορίστηκαν οι επιπτώσεις στο σχεδιασμό φορέων χωρίς απομείωση της δυσκαμψίας και χωρίς ικανοτικό έλεγχο στους κόμβους. Επίσης, διερευνήθηκε η περίπτωση σχεδιασμού του ίδιου φορέα με διαφορετική προσομοίωση θεμελίωσης. Τέλος, έγινε σύγκριση των φορέων σχεδιασμένων με τοιχώματα, με διαφορετική διάταξη κάποιων δομικών μελών και με μειωμένο πάχος πλακών.

- Μέθοδος Ανάλυσης

Από τις αναλύσεις στους φορείς 1A και 2A, εφαρμόζοντας δυναμική και στατική μέθοδο παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές τόσο στην όπλιση όσο και στις αρχικές εμφανιζόμενες ανεπάρκειες.

Ως προς την εμφάνιση ανεπαρκειών στους αρχικούς φορείς, προκύπτει το συμπέρασμα ότι στην περίπτωση εφαρμογής στατικής μεθόδου η αύξηση του πλήθους των μελών που εμφανίζουν τις ίδιες ανεπάρκειες συγκριτικά με την εφαρμογή της δυναμικής μεθόδου είναι της τάξης του 100%, δηλαδή παρατηρείται διπλασιασμός των μελών που αστοχούν. Επίσης, από την εφαρμογή της στατικής μεθόδου παρουσιάστηκαν επιπροσθέτως και άλλοι τύποι ανεπαρκειών. Αυτό

οφείλεται στην αυξημένη τιμή της σεισμικής επιτάχυνσης, καθώς στη στατική ανάλυση η τιμή της φτάνει να είναι διπλάσια της αντίστοιχης στη δυναμική μέθοδο.

Τα παραπάνω έχουν αντίκτυπο και στη συνολική προμέτρηση, σε βαθμό που η αύξηση της αναλογίας σιδηρού οπλισμού - σκυροδέματος στη στατική μέθοδο να φτάνει το 25% συγκριτικά με τη δυναμική ανάλυση.

- Συντελεστής Συμπεριφοράς και Κατηγορία Πλαστιμότητας

Οι φορείς από οπλισμένο σκυρόδεμα έχουν την ικανότητα απορρόφησης σεισμικής ενέργειας μέσω της πλάστιμης συμπεριφοράς των στοιχείων τους. Η επιρροή της πλαστιμότητας λαμβάνεται υπόψη με το συντελεστή συμπεριφοράς και την κατηγορία πλαστιμότητας.

Από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, μεταβάλλοντας την τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς και διατηρώντας την ίδια κατηγορία πλαστιμότητας προκύπτει ότι αυξάνοντας την τιμή του συντελεστή q κατά 17%, παρατηρείται μείωση 14% του αριθμού των δομικών μελών που εμφανίζουν ανεπάρκειες για την ίδια μορφή αστοχίας, ενώ η μείωση της αναλογίας σιδηρού οπλισμού - σκυροδέματος που απαιτείται για τον τελικό φορέα είναι 9%.

Αντιστοίχως, για αλλαγή της κατηγορίας πλαστιμότητας από υψηλή (ΚΠΥ) σε μέση (ΚΠΜ) για τους ίδιους φορείς, ενώ οι ανεπάρκειες των μελών ήταν πολύ λιγότερες ταυτοχρόνως, η διαφορά στην ποσότητα του απαιτούμενου οπλισμού δεν ήταν προφανής. Αυτό συμβαίνει αφενός γιατί η αλλαγή της κατηγορίας πλαστιμότητας από ΚΠΥ σε ΚΠΜ επιφέρει μείωση της τιμής του συντελεστή συμπεριφοράς, οδηγώντας σε αυξημένη τιμή σεισμικής επιτάχυνσης σχεδιασμού και αυξημένα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού, αφετέρου οι έλεγχοι για ΚΠΥ είναι διαφορετικοί και οι πρόσθετες διατάξεις για διαφορετική διαμόρφωση λεπτομερειών όπλισης οδηγούν σε διαφοροποίηση της όπλισης. Γενικότερα παρατηρήθηκε αυξημένη όπλιση στις δοκούς για ΚΠΜ και αυξημένη όπλιση στα υποστυλώματα για ΚΠΥ.

- Κανονισμός Σχεδιασμού

Με το πέρασμα των χρόνων, οι κανονισμοί διαστασιολόγησης των κατασκευών εξελίσσονται ώστε να ικανοποιούν τις απαιτήσεις ασφαλείας σε συνδυασμό με την οικονομία στο σχεδιασμό.

Προκειμένου να εξεταστεί η εξέλιξη αυτή των κανονισμών στο πέρας των χρόνων και οι επιπτώσεις στη συνολική προμέτρηση, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για διαστασιολόγηση του ίδιου φορέα με εφαρμογή των διατάξεων των σύγχρονων κανονισμών (EC2-EC8), των προηγούμενων κανονισμών (ΕΚΩΣ-ΕΑΚ) και του παλαιότερου κανονισμού (ΒΔ'54).

Οι διαφορές στις εμφανιζόμενες ανεπάρκειες ήταν αναμενόμενες εξαιτίας των διαφορετικών ελέγχων των κανονισμών. Από τη συνολική προμέτρηση των τελικών αντίστοιχων φορέων, προέκυψε το συμπέρασμα ότι ο φορέας σχεδιασμένος με EC έχει τη μεγαλύτερη αναλογία σιδηρού οπλισμού - σκυροδέματος και ακολούθως ο φορέας σχεδιασμένος με ΕΚΩΣ-ΕΑΚ. Στις δύο αυτές περιπτώσεις διαστασιολόγησης φορέων η αναλογία αυτή κυμαίνεται στο 90 kg/m^3 . Στο φορέα σχεδιασμένο με ΒΔ'54, ενώ η απαιτούμενη ποσότητα σκυροδέματος δεν διαφέρει πολύ σε σχέση με την αντίστοιχη ποσότητα για φορέα σχεδιασμένο με ΕΚΩΣ-ΕΑΚ, η αναλογία οπλισμού - σκυροδέματος είναι μικρότερη $\sim 80 \text{ kg/m}^3$ και συνεπώς η απαίτηση σε οπλισμό είναι η ελάχιστη.

- Σχεδιασμός Φορέων με Τοιχώματα

Για τον προσδιορισμό της επίδρασης του σχεδιασμού φορέων με τοιχώματα στη διαστασιολόγηση, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις σε φορέα αντικαθιστώντας κάποια υποστυλώματα με τοιχώματα, αρχικά τα γωνιακά και ακολούθως όλα τα περιμετρικά.

Η μεγαλύτερη αναλογία σιδηρού οπλισμού - σκυροδέματος παρατηρείται στην περίπτωση του φορέα μόνο με υποστυλώματα, ενώ παρατηρείται ότι καθώς αυξάνεται το πλήθος των τοιχωμάτων η τιμή της αναλογίας μειώνεται. Η μεταβολή της τιμής της ιδιοπεριόδου στο φορέα μετά την προσθήκη τοιχωμάτων από $T=0,8 \text{ sec}$ σε $T=0,6 \text{ sec}$ ήταν αναμενόμενη, καθώς συνεπάγεται αύξηση της δυσκαμψίας του.

Μελετήθηκε όμως και η μεταβολή της διάταξης των τοιχωμάτων σε ένα φορέα, με αντικατάσταση ενός κεντρικού τοιχώματος μορφής Π με δύο και τέσσερα γωνιακά τοιχώματα.

Σε αυτήν την περίπτωση, σε αντίθεση με την προηγούμενη, με την αύξηση του πλήθους των τοιχωμάτων η αναλογία οπλισμού - σκυροδέματος αυξάνει. Η μείωση της τιμής της ιδιοπεριόδου ήταν μικρή (από $T=0,7 \text{ sec}$ σε $T=0,65 \text{ sec}$ και $T=0,6 \text{ sec}$ για 2 και 4 γωνιακά τοιχώματα).

Συνεπώς, ο σχεδιασμός φορέων με τοιχώματα εκτός της αύξησης της δυσκαμψίας μπορεί να οδηγήσει και σε οικονομικότερο σχεδιασμό.

- Πάχος πλάκας

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση της μείωσης του πάχους των πλακών στο σχεδιασμό των φορέων, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις σε φορείς μετά από μείωση του πάχους της πλάκας στο ελάχιστο, ώστε να ικανοποιούνται παράλληλα οι έλεγχοι οριακής κατάστασης λειτουργικότητας.

Για μείωση πάχους πλακών κατά 20%, δηλαδή για μείωση φορτίου λόγω ίδιου βάρους κατά 1 kN/m², παρατηρήθηκε αύξηση της αναλογίας οπλισμού - σκυροδέματος κατά 20%. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η αύξηση του συνολικού οπλισμού οφείλεται στην κατά 28% αύξηση του οπλισμού των πλακών καθώς η αντίστοιχη μείωση στα υποστυλώματα και δοκάρια κυμάνθηκε από 2÷4%.

Από ανάλυση σε άλλους φορείς, για μέση μείωση του πάχους των πλακών κατά 15%, παρατηρήθηκε και πάλι αύξηση της αναλογίας οπλισμού - σκυροδέματος κατά 6÷10%.

Η μεταβολή της τιμής της ιδιοπεριόδου από το σχεδιασμό φορέων στο ελάχιστο πάχος πλακών είναι αμελητέα.

Συνεπώς, η μείωση του πάχους των πλακών οδηγεί σε μεγαλύτερη αναλογία σιδηρού οπλισμού - σκυροδέματος καθιστώντας το σχεδιασμό αντισοικονομικό.

- Σεισμική Ζώνη

Από τη μεταβολή της σεισμικής ζώνης, για τον ίδιο τύπο εδάφους, στον ίδιο φορέα από Z2 σε Z1, όσον αφορά στις εμφανιζόμενες ανεπάρκειες προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι διαφορές είναι πάρα πολύ μικρές. Η διαφορά στον απαιτούμενο οπλισμό είναι εμφανέστερη στα δοκάρια όπου παρατηρείται μείωση 12%, ενώ στα υποστυλώματα και στα τοιχώματα είναι πολύ μικρή, σχεδόν αμελητέα και η διαφοροποίηση αφορά κυρίως στην εγκάρσια όπλιση.

- Ικανοτικός Έλεγχος Κόμβων

Η πραγματοποίηση ικανοτικού ελέγχου κόμβων, για την αποφυγή σχηματισμού μαλακού ορόφου, έχει επίπτωση στην όπλιση των δομικών μελών. Πιο

συγκεκριμένα, στην περίπτωση αγνόησης του ικανοτικού ελέγχου, η όπλιση στα υποστυλώματα που συντρέχουν στους εξεταζόμενους κόμβους μειώνεται κατά 6%, ενώ δεν έχει επίπτωση στην όπλιση των δοκών.

- Απομείωση Δυσκαμψίας

Η απομείωση της δυσκαμψίας, όπως επιτάσσουν οι κανονισμοί για ρηγματωμένες διατομές μελών, έχει επίπτωση στην υπολογιζόμενη τιμή της ιδιοπεριόδου μιας κατασκευής.

Από αναλύσεις εφαρμόζοντας τη δυναμική μέθοδο σε φορέα αγνοώντας την απομείωση της δυσκαμψίας στα δομικά μέλη, προκύπτει ότι η τιμή της ιδιοπεριόδου από $T \sim 1$ sec μεταβάλλεται σε $T \sim 0,7$ sec, με ανάλογη αύξηση της σεισμικής επιτάχυνσης σχεδιασμού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μικρή αύξηση του απαιτούμενου οπλισμού.

- Προσομοίωση Θεμελίωσης

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων φορέων με προσομοίωση της έδρασης του φορέα στο έδαφος με πάκτωση και με μεμονωμένα πέδιλα, για διάφορες τιμές δείκτη εδάφους, προκύπτει ότι η τιμή της ιδιοπεριόδου του φορέα δεν επηρεάζεται και επομένως, η επίπτωση στην όπλιση είναι σχεδόν αμελητέα.

7.2. Συμπεράσματα από τη Παραμετρική Διερεύνηση κατά την Αποτίμηση Φέρουσας Ικανότητας

Μελετήθηκε η επίδραση της μεθόδου ανάλυσης που εφαρμόστηκε για τη διαστασιολόγηση του φορέα, της τιμής παραμόρφωσης αστοχίας του χάλυβα, της καθ' ύψος κατανομής της σεισμικής φόρτισης, των τοιχοπληρώσεων, της τυχηματικής εκκεντρότητας και των φαινομένων 2^{ος} τάξεως στην απόκριση της κατασκευής. Επίσης, προσδιορίστηκε η επιρροή της μεταβολής του διαμήκους και εγκάρσιου οπλισμού στην αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας ενός φορέα. Τέλος, έγινε σύγκριση φορέων σχεδιασμένων με τοιχώματα αλλά και φορέων διαστασιολογημένων με εφαρμογή διαφορετικών κανονισμών.

- Μέθοδος Ανάλυσης

Πραγματοποιήθηκε σύγκριση φορέων διαστασιολογημένων με εφαρμογή δυναμικής και στατικής μεθόδου ως προς την απόκρισή τους.

Παρατηρήθηκε ότι ο φορέας σχεδιασμένος με εφαρμογή στατικής μεθόδου ανάλυσης εμφανίζει μεγαλύτερη αρχική ελαστική δυσκαμψία και μέγιστη τιμή τέμνουσας βάσεως. Λόγω του γεγονότος ότι ο φορέας αυτός είναι πιο δύσκαμπτος, η στοχευόμενη μετακίνηση είναι μικρότερη της αντίστοιχης του φορέα από τη δυναμική μέθοδο ανάλυσης.

Επίσης, προέκυψε ότι ενώ εμφανίζονται οι ίδιες πλαστικές αρθρώσεις στα δομικά μέλη σε κάθε στάθμη επιτελεστικότητας, για το φορέα από τη στατική μέθοδο η υπέρβαση αυτή συμβαίνει σε αρκετά μεγαλύτερη μετατόπιση.

Επομένως, η μέθοδος που εφαρμόστηκε κατά τη διαστασιολόγηση επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη δυσκαμψία καθώς και την απόκριση του φορέα.

- Καθ' ύψος Κατανομή Σεισμικών Δυνάμεων

Η διαφορετική θεώρηση κατανομής οριζόντιων φορτίσεων επηρεάζει τα αποτελέσματα της επίλυσης pushover. Πιο συγκεκριμένα, η εφαρμογή ομοιόμορφης κατανομής οδήγησε σε ευμενέστερα αποτελέσματα για τους ίδιους φορείς, καθώς παρατηρήθηκε αύξηση της αρχικής ελαστικής δυσκαμψίας, μεγαλύτερη τιμή μέγιστης τέμνουσας βάσης και μικρότερη στοχευόμενη μετακίνηση συγκριτικά με την εφαρμογή τριγωνικής και ιδιομορφικής κατανομής όπου προέκυψαν σχεδόν ταυτόσημα αποτελέσματα.

Επομένως, προτείνεται η εφαρμογή τριγωνικής ή ιδιομορφικής κατανομής σεισμικής φόρτισης καθώς τα παραγόμενα αποτελέσματα είναι συντηρητικότερα και συνεπώς υπέρ της ασφαλείας.

- Κανονισμός Σχεδιασμού

Φορείς διαστασιολογημένοι με βάση τις διατάξεις διαφόρων κανονισμών - όπως EC, ΕΚΩΣ και ΒΔ'54 - εμφανίζουν σημαντικές διαφορές ως προς τη σεισμική τους απόκριση.

Γενικότερα, φορείς διαστασιολογημένοι με ΒΔ'54 εμφανίζουν μεγάλη αρχική ελαστική δυσκαμψία, αλλά με την αύξηση των μετακινήσεων η απόκρισή τους πολύ γρήγορα μειώνεται, κάτι που δεν παρατηρείται σε φορείς οπλισμένους με EC και ΕΚΩΣ. Σε τέτοιους φορείς, ενώ η αρχική δυσκαμψία τους μπορεί ακόμα να είναι και μικρότερη της αντίστοιχης των φορέων από ΒΔ'54, η μέγιστη δυνατή τιμή της τέμνουσας

βάσεως που μπορούν να δεχτούν είναι αρκετά μεγαλύτερη, ιδιαίτερα στην περίπτωση του φορέα από ΕΚΩΣ.

Επίσης, φορείς σχεδιασμένοι με ΒΔ'54 φτάνουν σε μικρότερες τιμές μετακίνησης μέχρι να γίνουν μηχανισμοί και εμφανίζουν ψαθυρή αστοχία σε αρκετά μέλη. Το φαινόμενο αυτό, δηλαδή η πλάστιμη αστοχία να έπεται της ψαθυρής παρατηρήθηκε και σε φορέα σχεδιασμένο με ΕΚΩΣ, με τη διαφορά ότι οι αντίστοιχες υπερβάσεις παρατηρήθηκαν σε μεγαλύτερες τιμές μετακίνησης, ενώ στον αντίστοιχο φορέα με EC δεν παρατηρήθηκε αστοχία σε τέμνουσα.

Συμπερασματικά, λοιπόν, φορείς σχεδιασμένοι με παλαιότερους κανονισμούς χρήζουν ελέγχους καθώς δεν ήταν σχεδιασμένοι να έχουν πλάστιμη συμπεριφορά, η οποία είναι επιτακτική σε μια τόσο σεισμογενή χώρα όπως είναι η Ελλάδα.

- Σχεδιασμός Φορέων με Τοιχώματα

Φορείς σχεδιασμένοι μόνο με υποστυλώματα εμφανίζουν αρκετά πιο μειωμένη καμπύλη αντίστασης συγκριτικά με φορείς με τοιχώματα. Πιο συγκεκριμένα, φορέας σχεδιασμένος με περιμετρικά τοιχώματα εκτός του ότι έχει μεγαλύτερη αρχική δυσκαμψία, παρουσιάζει αυξημένη τιμή της μέγιστης τέμνουσας βάσεως που μπορεί να αναλάβει, αλλά και μειωμένη τιμή στοχευόμενης μετακίνησης συγκριτικά με φορείς με γωνιακά τοιχώματα.

Εκτός της ύπαρξης τοιχωμάτων, σημαντικό ρόλο παίζει η διάταξή τους ως προς τις δύο διευθύνσεις σεισμικής φόρτισης. καθώς συμβάλλει στην καλύτερη απόκριση της κατασκευής και στις δύο διευθύνσεις. Για αυτό πρέπει να αποφεύγεται η τοποθέτηση τοιχωμάτων μόνο κατά τη μία διεύθυνση.

Γενικότερα, τα τοιχώματα βελτιώνουν την απόκριση της κατασκευής αρκεί να είναι σωστά διατεταγμένα.

- Εγκάρσιος Οπλισμός - Περίσφιγξη

Ο εγκάρσιος οπλισμός καθώς και η περίσφιγξη που προσφέρει, επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την απόκριση μιας κατασκευής καθώς και την εμφάνιση ψαθυρών αστοχιών.

Πιο συγκεκριμένα, η τοποθέτηση αραιότερων συνδετήρων στα υποστυλώματα και στις δοκούς μειώνει τη φέρουσα ικανότητα σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι στην

περίπτωση τοποθέτησης αραιού ή και καθόλου εγκάρσιου οπλισμού μόνο στα υποστυλώματα καθώς υπάρχει η περίπτωση ψαθυρής αστοχίας των δοκών ήδη από τα οιονεί μόνιμα φορτία.

Σε αντιδιαστολή, η αύξηση του εγκάρσιου οπλισμού σε φορέα που είναι επαρκώς οπλισμένος με συνδετήρες δεν επιφέρει σημαντική μεταβολή στην απόκρισή του. Μάλιστα, υπάρχει και η πιθανότητα μιας μικρής μείωσης της καμπύλης ικανότητας στην περίπτωση που λαμβάνεται υπόψη η επιρροή περίσφιξης.

Όσον αφορά στην επίδραση της περίσφιξης, παρατηρείται από τις αναλύσεις και στους τρεις φορείς ότι στην περίπτωση που λαμβάνεται υπόψη η επιρροή της, η φέρουσα ικανότητα του φορέα παρά τα βελτιωμένα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος, είναι μειωμένη συγκριτικά με την περίπτωση απερίσφικτου σκυροδέματος για μικρές μετακινήσεις, μέχρι δηλαδή την αρχή του φαινομένου της αποφλοιώσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η αύξηση των μηχανικών χαρακτηριστικών του σκυροδέματος συνεπάγεται αύξηση της ανηγμένης παραμόρφωσης ϵ_{c2} και για ίδιες τιμές παραμόρφωσης, το περισφιγμένο σκυρόδεμα έχει μικρότερη αντοχή από το απερίσφικτο.

Επομένως, στην περίπτωση να ληφθεί υπόψη η επιρροή της περίσφιξης τα αποτελέσματα μπορεί να είναι δυσμενέστερα.

- Διαμήκης Οπλισμός

Για όλες τις περιπτώσεις αναλύσεων με αύξηση του διαμήκους οπλισμού στα δομικά μέλη, η αρχική ελαστική δυσκαμψία αυξάνεται και η τιμή της στοχευόμενης μετακίνησης μικραίνει. Επίσης, αύξηση της μέγιστης τιμής της τέμνουσας βάσεως παρατηρείται στην περίπτωση αύξησης του οπλισμού σε δοκούς παρά σε υποστυλώματα και τοιχώματα.

- Συνεργαζόμενος Οπλισμός Πλάκας

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προκύπτει το συμπέρασμα ότι η αγνόηση του συνεργαζόμενου οπλισμού επιδρά στη φέρουσα ικανότητα του φορέα, καθώς η καμπύλη ικανότητας φτάνει σε μικρότερες τιμές τέμνουσας βάσης, με μειωμένες τιμές τέμνουσας βάσης κατά 5%.

Δεν παρατηρείται επίδραση στην αρχική δυσκαμψία και ούτε στην τιμή της στοχευόμενης μετατόπισης.

- Παραμόρφωση Αστοχίας Χάλυβα

Η μεταβολή της τιμής παραμόρφωσης αστοχίας του χάλυβα από $\varepsilon_{su}=6\%$ σε $\varepsilon_{su}=4\%$, δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα της ανελαστικής στατικής ανάλυσης. Επομένως, είναι μια παράμετρος που η μεταβολή της επιφέρει αμελητέα επιρροή στην απόκριση μιας κατασκευής.

- Τοιχοπληρώσεις

Πραγματοποιήθηκαν τρεις περιπτώσεις φορέων χωρίς τοιχοπληρώσεις, με τοιχοπληρώσεις παντού εξωτερικά και σε μορφή pilotis.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι τοιχοπληρώσεις αυξάνουν την αρχική δυσκαμψία του φορέα και μειώνουν την τιμή της στοχευόμενης μετακίνησης. Με αυτόν τον τρόπο, η αστοχία των δομικών μελών έπεται της αστοχίας των τοιχοπληρώσεων.

Επομένως, η παρουσία τοιχοπληρώσεων επιδρά ευμενώς στην απόκριση του φορέα και για αυτό δεν πρέπει να λαμβάνεται η συμμετοχή τους σε αυτή την περίπτωση καθώς ο μελετητής οδηγείται σε υπερεκτίμηση της απόκρισης της κατασκευής.

- Φαινόμενα 2^{ας} Τάξεως

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε το συμπέρασμα ότι η συνεκτίμηση των φαινομένων 2^{ας} τάξεως επιδρά στην απόκριση της κατασκευής, καθώς επιταχύνουν την εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων στο φορέα. Επομένως, η αγνόησή τους οδηγεί σε υπερεκτίμηση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής, με αύξηση της μέγιστης τιμής τέμνουσας βάσεως μέχρι και 14%.

- Τυχηματική Εκκεντρότητα

Στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, στην περίπτωση που λήφθηκε τυχηματική εκκεντρότητα μόνο κατά την εγκάρσια έννοια, δεν παρουσιάστηκαν διαφορές συγκριτικά με την περίπτωση αγνόησής της. Επομένως η τυχηματική εκκεντρότητα είναι μια παράμετρος με αμελητέα επίδραση στην αποτίμηση φέρουσας ικανότητας συμμετρικών φορέων.

7.3. Συμπεράσματα από τη Διερεύνηση της Επίδρασης της Μεταβλητότητας των Δεδομένων στην Απόκριση

Από την εφαρμογή της μεθόδου Rosenblueth σε δύο φορείς, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η απόκριση της κατασκευής δεν επηρεάζεται από τις συνηθισμένες τιμές μεταβλητότητας των δεδομένων που υπεισέρχονται στον υπολογισμό της.

Σε γενικές γραμμές μπορεί να θεωρηθεί ότι η μεταβλητότητα του σκυροδέματος και του χάλυβα του διαμήκους οπλισμού επηρεάζουν την καμπύλη αντίστασης της κατασκευής και τη στοχευόμενη μετακίνηση. Η μεταβλητότητα της τιμής του συντελεστή συνδυασμού μεταβλητών δράσεων για τα οιονεί μόνιμα φορτία ψ_2 δεν έχει καμία επίδραση στην απόκριση της κατασκευής.

Σε επίπεδο διατομής, από τις επιλεγμένες μεταβλητές, μόνο η μεταβλητότητα του διαμήκους οπλισμού επηρεάζει τον υπολογισμό των τιμών των ροπών και γωνιών στροφής στο διάγραμμα ροπών - γωνιών στροφής των δοκών, ενώ η μεταβλητότητα του σκυροδέματος επηρεάζει τον υπολογισμό του διαγράμματος αλληλεπιδράσεων των υποστυλωμάτων κυρίως όμως για μεγάλες τιμές αξονικής θλιπτικής δύναμης.

BIBLIOΓΡΑΦΙΑ

Κανονισμοί

ATC-40 (1996), "Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings", Applied Technology Council, Seismic Safety Commission of California, USA.

EN 1992-1-1:2004 (2005), "Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός φορέων από Σκυρόδεμα, Μέρος 1-1: Γενικοί Κανόνες και κανόνες για κτίρια", CEN, Βρυξέλλες.

EN 1998-1:2004 (2004), "Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός Σχεδιασμός, Μέρος 1: Γενικοί Κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια", CEN, Βρυξέλλες.

EN 1998-3 (2004), "Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός Σχεδιασμός, Μέρος 3: Αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας και ενισχύσεις κτιρίων", CEN, Βρυξέλλες.

ΟΑΣΠ (2013), "Κανονισμός Επεμβάσεων", Αθήνα.

ΟΑΣΠ (2005), "Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος - ΕΚΩΣ2000", Αθήνα.

ΟΑΣΠ (2006), "Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός - ΕΑΚ2000", Αθήνα.

Εγχειρίδια Χρήσης Προγραμμάτων

FESPA (Έκδοση 5.6.0.14) (2013), "Το επίσημο εγχειρίδιο αναφοράς", ΛΗΛογισμική, Αθήνα.

SAP2000 (Έκδοση 15.0.0) (2011), "Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analysis and Design of Three-Dimensional Structures, Introductory Tutorial", Computer and Structures Inc., Berkeley, California, USA.

Βιβλιογραφία

ACUN B.; ATHANASOPOULOU A.; PINTO A.; CARVALHO E.; FARDIS M. (2011), "Eurocode 8: Seismic Design of Buildings - Worked examples", Worked examples presented at the workshop "EC8: Seismic Design of Buildings", JRC Scientific and Technical Reports, Lisbon.

LEONHARDT F. (1977-1980), "Ολόσωμες Κατασκευές", Μετάφραση: Χατζηθεοδώρου Γ.Δ., Εκδόσεις Μ.Γκιούρδας, Αθήνα.

NOWAK A., COLLINS K. (2013), "Reliability of Structures", Second Edition, CRC Press (Taylor & Francis Group).

STIGLAT K., WIPPEL H. (1976), "Πλάκες", Μετάφραση: Ευστρατιάδης Γρ., Εκδόσεις Μ.Γκιούρδας, Αθήνα.

ΚΟΝΤΟΡΟΥΠΗ Θ. (2010), "Επεμβάσεις σε Υφιστάμενα κτίρια κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.", Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.

ΜΑΛΑΚΑΤΑΣ Ν., ΤΡΕΖΟΣ Κ.Γ. (2013), "Σημειώσεις για τη Χρήση Ευρωκωδίκων - EN 1990: Βάσεις Σχεδιασμού των Φερουσών Κατασκευών, EN 1991: Δράσεις επί των Κατασκευών", ΤΕΕ, Αθήνα.

ΤΡΕΖΟΣ Κ.Γ. (2011), "Αξιοπιστία Κατασκευών", ΕΜΠ, Αθήνα.

ΦΟΝΙΑΣ Ε., ΔΗΜΟΥΔΗΣ Β. (2009), "Αποτίμηση Υφιστάμενης Κατασκευής από Οπλισμένο Σκυρόδεμα και Διερεύνηση Πιθανών Σεναρίων Ενίσχυσης", Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.

ΨΥΧΑΡΗΣ Ι. (2015), "Αντισεισμικός Σχεδιασμός με Στάθμες Επιτελεστικότητας", Σημειώσεις για το μάθημα Αντισεισμική Τεχνολογία 2, ΕΜΠ, Αθήνα.

ΨΥΧΑΡΗΣ Ι. (2014), "Βασικές Διατάξεις Ευρωκώδικα 8", Σημειώσεις για το μάθημα Αντισεισμική Τεχνολογία 2, ΕΜΠ, Αθήνα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΟ SAP2000

Η ανελαστική στατική ανάλυση ορισμένων φορέων (φορέας 1B και 3A), πραγματοποιήθηκε όπως αναφέρθηκε και στο κυρίως κείμενο, με χρήση του στατικού προγράμματος Sap2000. Ακολούθως, θα αναφερθούν ορισμένα σημαντικά σημεία που αφορούν τόσο την προσομοίωση των φορέων όσο και τις παραδοχές επίλυσης.

Προσομοίωση Υλικών

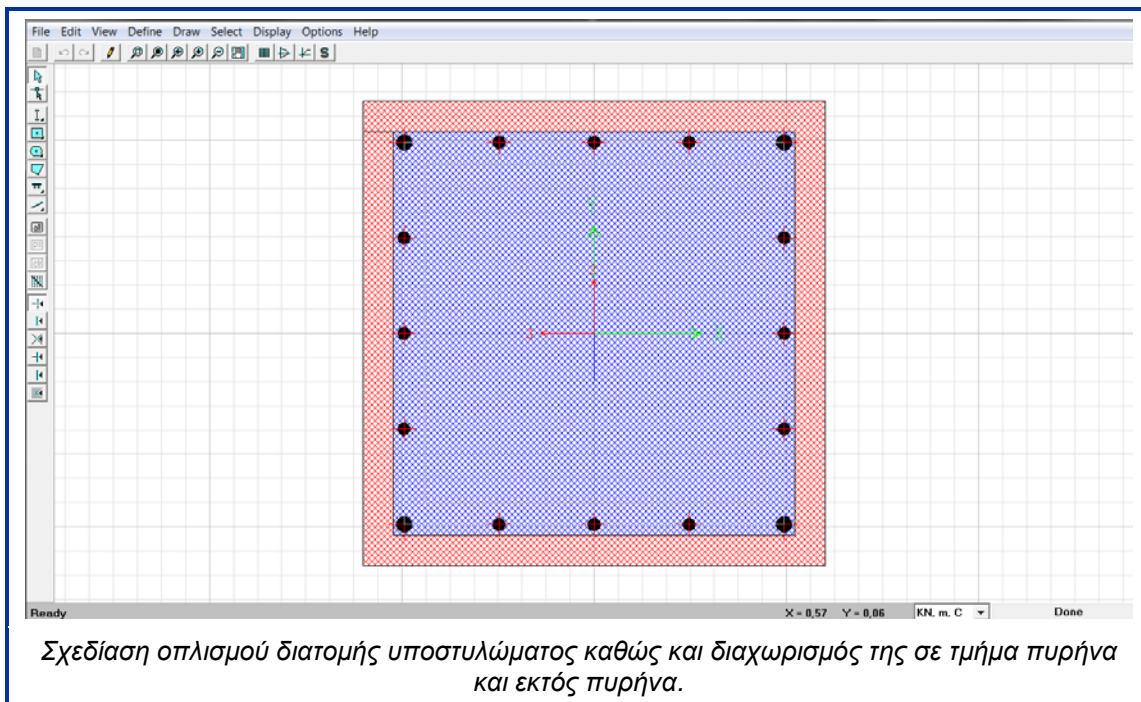
Η προσομοίωση των υλικών, δηλαδή του σκυροδέματος και του χάλυβα έγινε μέσω της εισαγωγής των μη γραμμικών χαρακτηριστικών τους. Για την περίπτωση όπου λήφθηκε υπόψη η επιρροή της περισφιγξης, αφού υπολογιστούν τα βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά (Υπολογισμοί Excel, Παράρτημα Γ), δημιουργούνται διαφορετικά υλικά με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά.

Εισαγωγή μηχανικών χαρακτηριστικών απερίσφικτου σκυροδέματος C25/30 (μέσες τιμές).

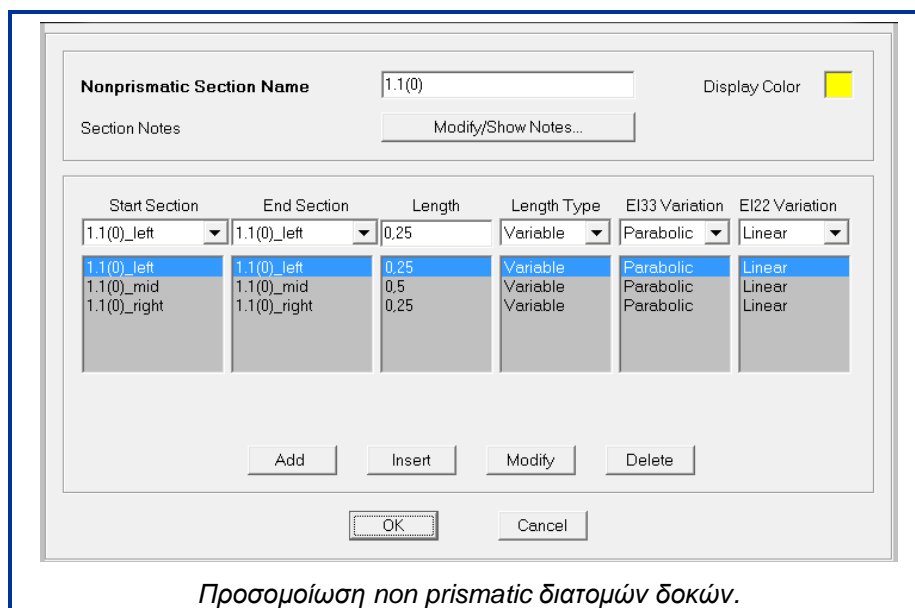
Προσομοίωση Δομικών Μελών

Ο ορισμός των πλακών απαιτεί αύξηση της διακριτοποίησης ώστε να προσομοιωθεί ορθότερα η μεταβίβαση των φορτίων τους στις δοκούς, καθώς σε αντίθετη περίπτωση το φορτίο των πλακών μεταβιβάζεται στους κόμβους στήριξης και οι δοκοί παραμένουν αφόρτιστες. Για αυτό το λόγο επιλέχθηκε ο απευθείας ορισμός των φορτίων στις δοκούς μετά από υπολογισμό του με τη μέθοδο των τραπεζίων.

Η προσομοίωση των υπόλοιπων δομικών μελών, δοκών και υποστυλωμάτων, επιλέχθηκε να γίνει με την εντολή Section Designer καθώς με αυτόν τον τρόπο έγινε η εισαγωγή του ακριβούς οπλισμού για κάθε μέλος καθώς και ο διαχωρισμός της διατομής σε πυρήνα με τα χαρακτηριστικά του περισφιγμένου σκυροδέματος και εκτός πυρήνα με τα χαρακτηριστικά του απερίσφικτου.

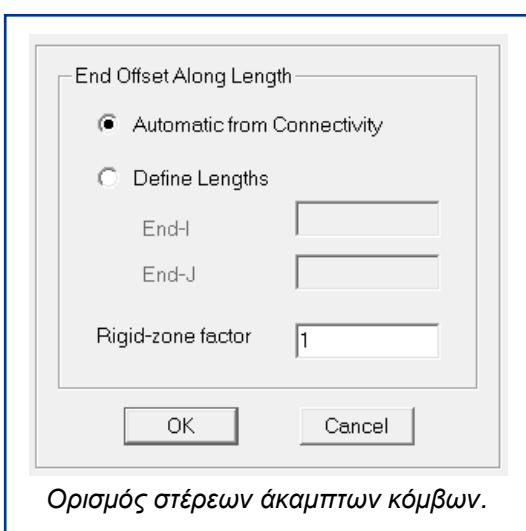


Για τις δοκούς, επειδή ο κατά μήκος οπλισμός στους διαφοροποιείται, για την προσομοίωσή τους εφαρμόστηκαν non prismatic διατομές αφού σχεδιαστούν οι δύο ακραίες και η μεσαία διατομή με τους αντίστοιχους οπλισμούς.



Δεδομένου ότι στην ανάλυση pushover χρησιμοποιείται η επιβατική τιμή της δυσκαμψίας στη διαρροή του στοιχείου, εισάγονται οι κατάλληλοι συντελεστές (που προέκυψαν από υπολογισμούς της ενεργούς δυσκαμψίας - υπολογισμοί Excel, Παράρτημα Γ) από την εντολή Assign → Property Modifiers.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι ο άξονας 1 είναι πάντα κατά μήκος του εκάστοτε μέλους, ενώ όταν το στοιχείο είναι οριζόντιο (δοκός) ο άξονας 2 είναι παράλληλος στον άξονα Z και ο 3 είναι παράλληλος στον άξονα Y και όταν είναι κατακόρυφο (υποσύλωμα - τοίχωμα) ο άξονας 2 είναι παράλληλος στον άξονα X και ο 3 είναι παράλληλος στον άξονα Y.



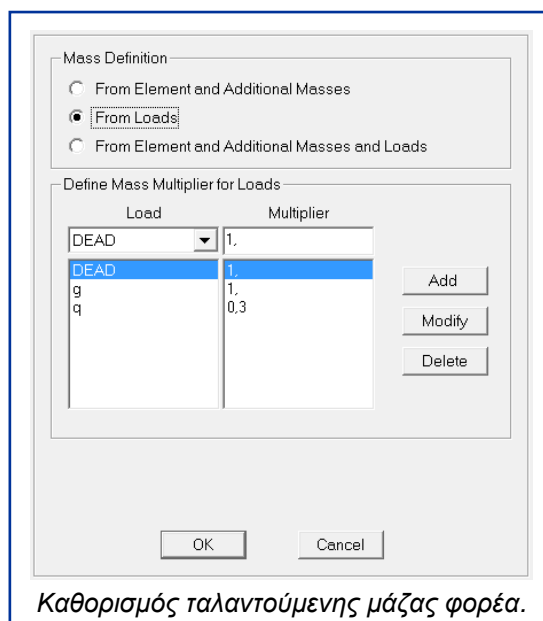
Οι διαστάσεις των κόμβων του κάθε στοιχείου ορίστηκαν από τις εντολές Assign → End length Offset → Automatic from Connectivity, θεωρώντας Rigid-zone Factor = 1.

Τέλος, η διαφραγματική λειτουργία ορίστηκε ξεχωριστά σε κάθε επίπεδο (όροφο) με την εντολή Assign → Joint → Constraints.

Εισαγωγή Φορτίσεων

Το ίδιο βάρος των δομικών στοιχείων υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα, καθορίζοντας το συντελεστή Self Weight Multiplier ίσο με 1. Οι υπόλοιπες φορτίσεις εισάγονται με τιμή αυτού του συντελεστή ίση με 0.

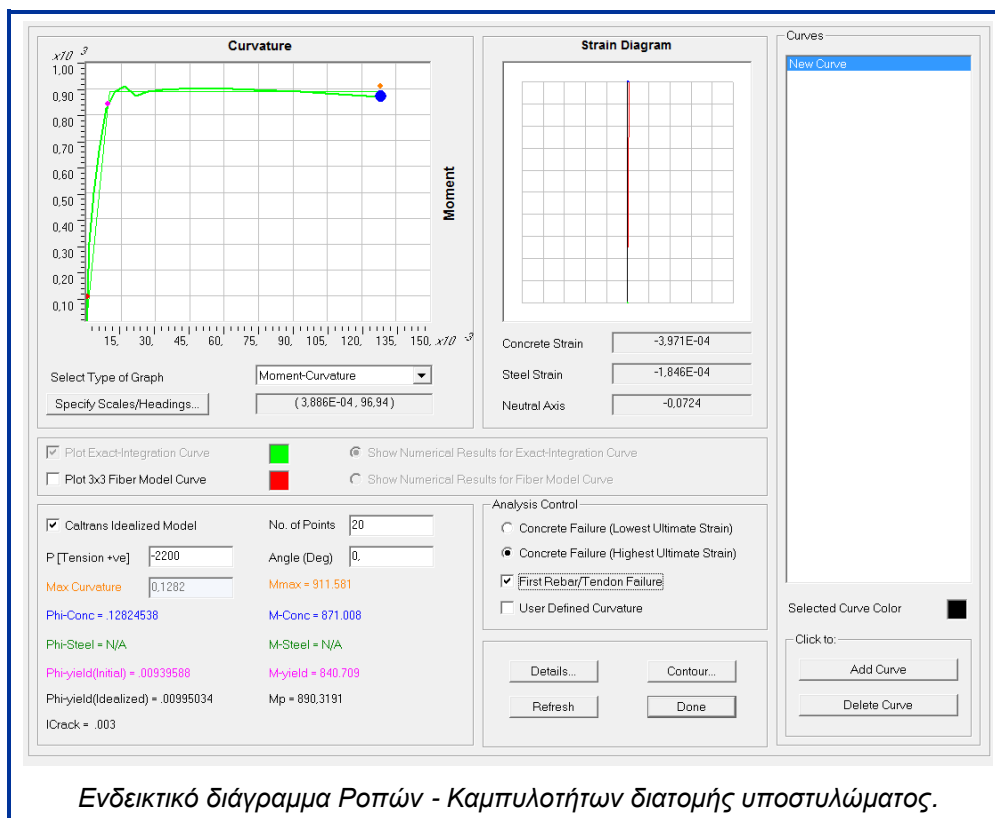
Ο υπολογισμός των ιδιομορφών που απαιτούνται για τον καθορισμό της καθ' ύψους κατανομής των οριζόντιων φορτίων της ανάλυσης pushover, γίνεται με την εντολή Define → Mass Source → from Loads, αφού πρώτα οριστεί ο συνδυασμός φορτίσεων για τα οιονεί μόνιμα φορτία $G+0,3\cdot Q$.



Καθορισμός Πλαστικών Αρθρώσεων

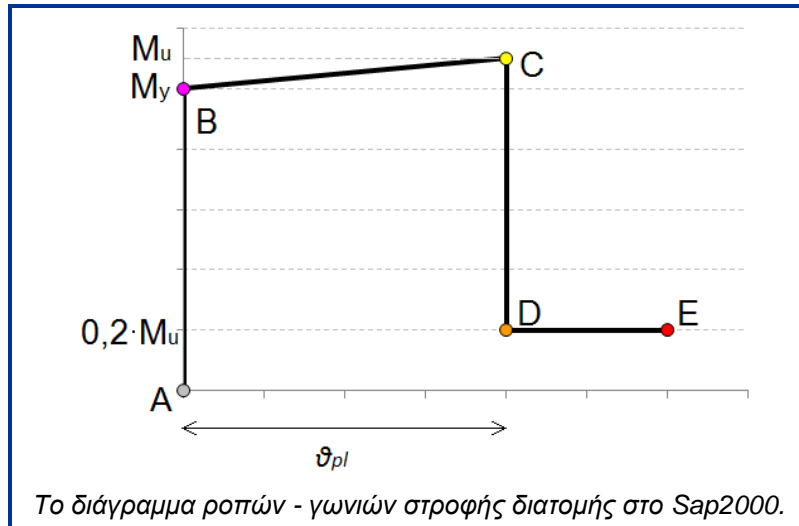
Αρχικά, προκειμένου να υπολογιστούν τα διαγράμματα ροπών - γωνιών στροφής των δομικών μελών απαιτείται ο υπολογισμός των μεγεθών φ_y , φ_u και M_y , M_u . Το πρόγραμμα, παράγει τα διαγράμματα ροπών - καμπυλοτήτων αυτομάτως με την προϋπόθεση να έχει προηγηθεί η εισαγωγή των οπλισμών. Για τα υποστυλώματα, απαιτείται επιπλέον η εισαγωγή της αξονικής δύναμης που έχει προκύψει από τα οιοιεί μόνιμα φορτία.

Το διάγραμμα ροπών - καμπυλοτήτων παρουσιάζεται με την εντολή Define → Frame Sections → Section Designer → Display → Show Moment - Curvature Curve.



Ενδεικτικό διάγραμμα Ροπών - Καμπυλοτήτων διατομής υποστυλώματος.

Στο πρόγραμμα, η ιδεατή καμπύλη M- θ σχεδιάζεται με χρήση των πλαστικών μεγεθών παραμόρφωσης (ϑ_{pl}) χωρίς να δίνεται η δυνατότητα χρήσης των μεγεθών (ϑ_y και ϑ_u). Δηλαδή, για το σημείο που αντιστοιχεί σε Σ.Ε. "Άμεση Χρήση", η γωνία διαρροής λαμβάνεται μηδενική και αντί για γωνία διαρροής και αστοχίας χρησιμοποιείται μόνο το μέγεθος της πλαστικής στροφής $\vartheta_{pl} = \vartheta_u - \vartheta_y$.



Ακολουθώς, για τον καθορισμό των πλαστικών αρθρώσεων των δομικών μελών εκτελούμε τις εντολές Define → Section Properties → Hinge Properties → Add New Property → Concrete.

Για τα υποστυλώματα, κρίσιμη είναι η αστοχία από αλληλεπίδραση αξονικής δύναμης και ροπών στους δύο άξονες 2 και 3. Επομένως, επιλέγονται αρθρώσεις τύπου P-M₂-M₃ και εισάγονται τα αντίστοιχα μεγέθη για την αξονική από τα οιονεί μόνιμα φορτία.

Edit

Select Curve: Axial Force: -1080.04 Angle: 0. Curve #1

Units: KN, m, C

Point	Moment/Yield Mom	Curvature/SF
A	0.	0.
B	1.	0.
C	1.0918	0.0481
D	0.2	0.0481
E	0.2	0.1203

Note: Yield moment is defined by interaction surface

Acceptance Criteria (Plastic Deformation / SF)

- Immediate Occupancy: 0.
- Life Safety: 0.0361
- Collapse Prevention: 0.0481

Show Acceptance Points on Current Curve:

3D View: Plan: 315 Elevation: 35 Aperture: 0

3-D Surface: Axial Force = -1080.04

Moment Curvature Information: Symmetry Condition: Double Number of Axial Force Values: 1 Number of Angles: 2 Total Number of Curves: 2

Angle Is Moment About: 0 degrees = About Positive M2 Axis 90 degrees = About Positive M3 Axis 180 degrees = About Negative M2 Axis 270 degrees = About Negative M3 Axis

OK Cancel

Ορισμός πλαστικών αρθρώσεων σε υποστυλωμα.

Για τις δοκούς, κρίσιμη είναι η αστοχία από κάμψη κατά τον άξονα 3. Επομένως, επιλέγονται αρθρώσεις τύπου M_3 και εισάγονται τα αντίστοιχα μεγέθη.

Edit
Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.2	-0.0841
D-	-0.2	-0.0336
C-	-1.1431	-0.0336
B-	-1.	0.
A	0.	0.
B	1.	0.
C	1.2321	0.0339
D	0.2	0.0339
E	0.2	0.0848

Symmetric

Load Carrying Capacity Beyond Point E
 Drops To Zero
 Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

	Positive	Negative
<input checked="" type="checkbox"/> Use Yield Moment	Moment SF	
<input type="checkbox"/> Use Yield Rotation (Steel Objects Only)	Rotation SF	1.

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

	Positive	Negative
<input type="checkbox"/> Immediate Occupancy	0.	0.
<input type="checkbox"/> Life Safety	0.0254	-0.0252
<input type="checkbox"/> Collapse Prevention	0.0339	-0.0336

Show Acceptance Criteria on Plot

Type
 Moment - Rotation
 Moment - Curvature
 Hinge Length
 Relative Length

Hysteresis Type And Parameters
 Hysteresis Type
 No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

OK Cancel

Ορισμός πλαστικών αρθρώσεων σε δοκό.

Αφού οριστούν τα χαρακτηριστικά των πλαστικών αρθρώσεων, εισάγονται στα άκρα των αντίστοιχων δομικών μελών, με την εντολή Assign → Frame → Hinges, με τιμή 0 για το ένα άκρο του στοιχείου και 1 για το άλλο.

Ανάλυση Pushover

Η ανάλυση pushover πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Αρχικά ορίζεται η φόρτιση από τα οιονεί μόνιμα (μη γραμμική) και ακολούθως επιβάλλονται τα οριζόντια φορτία με την αντίστοιχη κατανομή που επιλεγεί.

Για τον ορισμό της μη-γραμμικής φόρτισης από τα οιονεί μόνιμα φορτία, επιλέγονται Load Application → Full Load και Results Saved → Final State Only, καθώς το τελευταίο στάδιο αυτής της φόρτισης θα αποτελέσει τις αρχικές συνθήκες για τις οριζόντιες φορτίσεις.

Load Case Name: G+0.3Q-non_linear

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

Analysis Type: Linear
 Nonlinear
 Nonlinear Staged Construction

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	DEAD	1.
Load Pattern	g	1.
Load Pattern	q	0.3

Other Parameters: Load Application: Full Load, Results Saved: Final State Only, Nonlinear Parameters: Default

Ορισμός μη γραμμικής φόρτισης οιονεί μόνιμων.

Για τον καθορισμό της ανάλυσης pushover, επιλέγεται Continue from State at end of Nonlinear Case → G+0,3Q_nonlinear και στο Load Type ορίζεται η μορφή της κατανομής ως Mode (Ιδιομορφική), Accel (Ομοιόμορφη) ή ως Load (αναλόγως της κατανομής της φόρτισης). Επίσης, επιλέγεται η μέθοδος Deformation Control, δηλαδή ελεγχόμενης μετακίνησης καθώς η επιβολή των φορτίων γίνεται μέχρι η μετακίνηση του κόμβου ελέγχου (πλησιέστερος κόμβος στο κέντρο βάρους του τελευταίου ορόφου) κατά τη δεδομένη διεύθυνση να φτάσει την επιδιωκόμενη που έχει οριστεί (στις συγκεκριμένες αναλύσεις επιλέχθηκε το 3% του ύψους του κτιρίου). Ως μέθοδο ανάλυσης επιλέχθηκε Restart Using Secant Stiffness.

Load Case Name: pushover

Initial Conditions: Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
 Continue from State at End of Nonlinear Case: G+0.3Q-non_lir

Analysis Type: Linear
 Nonlinear
 Nonlinear Staged Construction

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	2	1.
Mode	2	1.

Other Parameters: Load Application: Displ Control, Results Saved: Multiple States, Nonlinear Parameters: User Defined

Ορισμός μη γραμμικής στατικής ανάλυσης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΟ FESPA

Ο ορισμός της γεωμετρίας των φορέων καθώς και η εισαγωγή των δεδομένων είναι αρκετά εύκολη και καλύπτεται επαρκώς από το εγχειρίδιο χρήσης. Οι παραδοχές που λήφθηκαν για τις αναλύσεις τόσο για τη διαστασιολόγηση όσο και για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας των φορέων αναφέρονται στο κυρίως κείμενο. Παρόλα αυτά, είναι σημαντικό να γίνει αναφορά στα ακόλουθα σημεία.

Προσομοίωση Φορέων

Συστήματα Συντεταγμένων

Ως καθολικό σύστημα συντεταγμένων, χρησιμοποιείται ένα τρισσορθογώνιο καρτεσιανό σύστημα με τις διευθύνσεις των αξόνων X και Z να συμπίπτουν με τις κύριες διαστάσεις της κάτοψης της κατασκευής και ο άξονας Y να είναι πάντα κατακόρυφος και με θετική φορά προς τα πάνω. Όσον αφορά στα δομικά μέλη, χρησιμοποιείται ένα τοπικό τρισσορθογώνιο δεξιόστροφο σύστημα συντεταγμένων, όπου ο άξονας 1 συμπίπτει πάντα με τον άξονα της ράβδου (κεντροβαρικός άξονας) και οι άξονες 2 και 3 συμπίπτουν με τους κύριους άξονες αδράνειας της διατομής της ράβδου. Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή, καθώς τα εντατικά μεγέθη των δομικών μελών αναφέρονται στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων.

Ονομασία Μελών


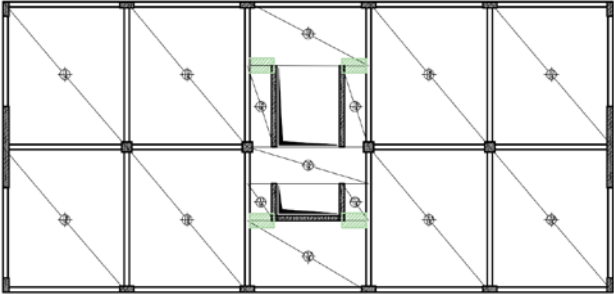
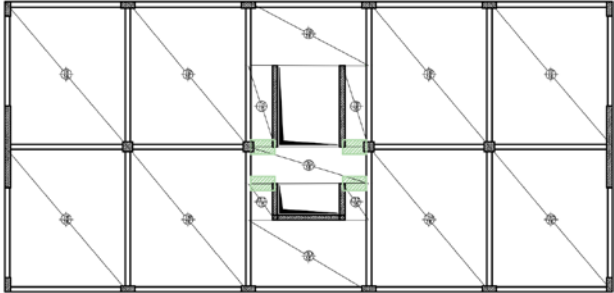
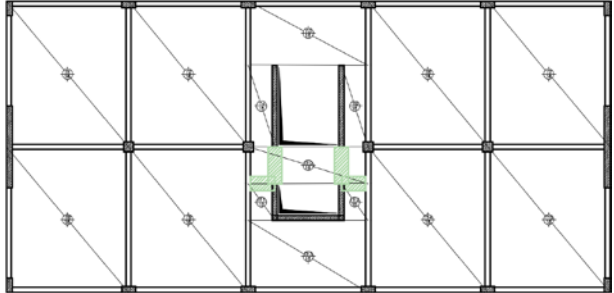
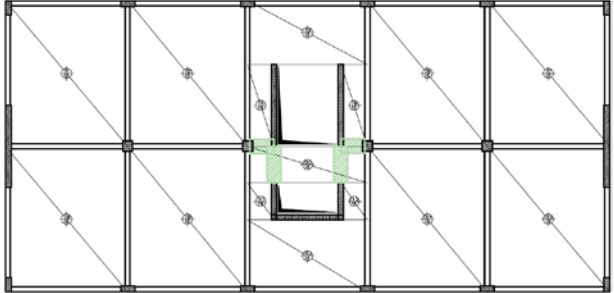
Προκειμένου να γίνει ενιαία όπλιση συνεχών δοκών απαραίτητη είναι η ονομασία τους να είναι της μορφής Δ(αριθμός δοκοσειράς).(αριθμός επιμέρους δοκού). Όμως, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή καθώς σε περίπτωση λάθους ονομασίας συνεχών δοκών, η όπλιση δεν είναι ενιαία.

Προσομοίωση με Ενισχυμένες Ζώνες

Ένα πρόβλημα που παρουσιάστηκε ήταν η προσομοίωση του φορέα 2Α στον οποίο τα κεντρικά τοιχώματα συνδέονταν απευθείας με την πλάκα και όχι μέσω δοκαριών. Το πρόγραμμα είχε τη δυνατότητα προσομοίωσης μόνο μέσω ενισχυμένων ζωνών.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση εφαρμόστηκαν ενισχυμένες ζώνες ορθογωνικής διατομής με πάχος ίσο με το πάχος της πλάκας ($h=18\text{ cm}$) και με πλάτος $b=70\text{ cm}$ ώστε να μην απαιτείται τοποθέτηση θλιβόμενου οπλισμού.

Παρατηρήθηκε ότι η θέση των ενισχυμένων ζωνών επιδρά στο ποσοστό τέμνουσας που παραλαμβάνουν τα τοιχώματα και στην τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς q . Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση στα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις (Αναλύσεις 2A-1, 2A-4) αλλάζοντας τις θέσεις των ενισχυμένων ζωνών. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα.

ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΕΣ ΖΩΝΕΣ 	Ποσοστό Τέμνουσας Τοιχωμάτων	Συντελεστής Συμπεριφοράς q
<p style="text-align: center;"><i>Αρχική Προσομοίωση του Φορέα</i></p> 	$n_{vx} = 0,718$ $n_{vz} = 0,920$	$q_x = 4,40$ $q_z = 4,40$
<p style="text-align: center;">(α)</p> 	$n_{vx} = 0,707$ $n_{vz} = 0,921$	$q_x = 4,40$ $q_z = 4,40$
<p style="text-align: center;">(β)</p> 	$n_{vx} = 0,715$ $n_{vz} = 0,924$	$q_x = 4,40$ $q_z = 4,40$
<p style="text-align: center;">(γ)</p> 	$n_{vx} = 0,629$ $n_{vz} = 0,923$	$q_x = 5,40$ $q_z = 4,40$
<i>Επίδραση αλλαγής θέσης ενισχυμένων ζωνών στη μοντελοποίηση του φορέα.</i>		

Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι η θέση τοποθέτησης των ενισχυμένων ζωνών μπορεί να επηρεάσει την τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς q . Παρατηρήθηκε ότι ενώ στις δύο πρώτες περιπτώσεις (α , β) δεν παρουσιάστηκε σημαντική διαφορά στο ποσοστό τέμνουσας που παραλαμβάνουν τα τοιχώματα και συνεπώς προκύπτουν ίδιοι συντελεστές συμπεριφοράς για τις δύο διευθύνσεις φόρτισης, στην τρίτη περίπτωση (γ) το ποσοστό τέμνουσας που παραλαμβάνουν τα τοιχώματα κατά τη διεύθυνση x μειώνεται σε τέτοιο βαθμό ($n_{vx} = 0,718 \rightarrow 0,629$) που προκαλεί τη μεταβολή του συντελεστή συμπεριφοράς ($q_x = 4,40 \rightarrow 5,40$).

Η μεταβολή αυτή έχει επίπτωση στην όπλιση του φορέα, όμως επειδή η επίδραση αυτή είναι πολύ μικρή στην προκειμένη περίπτωση όλες οι αναλύσεις γίνονται με την αρχική διάταξη των ενισχυμένων ζωνών.

Προσομοίωση Σύνθετων Τοιχωμάτων

Η περίπτωση σύνθετων τοιχωμάτων γίνεται με εισαγωγή ανεξάρτητων διατομών τοιχωμάτων που συνδέονται με δεσμικές δοκούς μεγάλης καμπτικής και στρεπτικής δυσκαμψίας.

Ανάλυση για Διαστασιολόγηση των Φορέων

Εμφανιζόμενα Εντατικά Μεγέθη

Το Fespa δίνει τη δυνατότητα γραφικής παρουσίασης των εντατικών μεγεθών εκτός της αναφοράς τους στο τεύχος υπολογισμών. Παρόλα αυτά, ενώ για τις στατικές φορτίσεις παρουσιάζονται τα εντατικά μεγέθη για κάθε φόρτιση ξεχωριστά, για τις σεισμικές παρουσιάζεται μόνο η περιβάλλουσα και στο τεύχος μόνο οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές.

Έλεγχοι Δομικών Μελών

Το πρόγραμμα δεν εκτελεί έλεγχο διάτρησης και έλεγχο λυγισμού. Οι έλεγχοι αυτοί πρέπει να γίνονται από το μελετητή.

Όπλιση Δομικών Μελών

Οι πλάκες μπορούν να σχεδιαστούν με τέσσερις πλευρές. Στην περίπτωση τυχαίου σχήματος, η πλάκα οπλίζεται ως ορθογωνική με διαστάσεις που προκύπτουν από το μέσο όρο των απέναντι πλευρών.

Επίσης, στην περίπτωση τοιχώματος τυχούσας διατομής, τα ενισχυμένα άκρα πρέπει να διαμορφωθούν από το μελετητή.

Ο εγκάρσιος οπλισμός στα υποστυλώματα προκύπτει ως ο δυσμενέστερος από τους υπολογιζόμενους λόγω διάτμησης, περίσφιγξης και οριζόντιος οπλισμός κόμβου (απαιτούμενοι συνδετήρες για την ανάληψη τέμνουσας δύναμης κόμβου). Ο εγκάρσιος αυτός οπλισμός τελικά εφαρμόζεται σε όλο το μήκος του υποστυλώματος. Επίσης, δεν γίνεται ο έλεγχος μέγιστης ενεργούς διατομής οπλισμού διάτμησης (EC2 §6.2.3(3)) με αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις ο τελικά εφαρμοζόμενος να μην ικανοποιεί αυτή τη συνθήκη.

Ανελαστική Στατική Ανάλυση (Pushover Analysis)

Προκειμένου να γίνει η επίλυση pushover θα πρέπει όλα τα δομικά μέλη να είναι οπλισμένα. Ο ορισμός της όπλισης ώστε να συμβαδίζει με την υπάρχουσα στο φορέα γίνεται με τροποποίηση της όπλισης που προέκυψε από διαστασιολόγηση με εφαρμογή του τότε ισχύοντα κανονισμού. Το πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα όπλισης με βάση τους EC2-EC8, ΕΚΩΣ2000, Νέος ('95) και Παλιός ('54) με τους αντίστοιχους Αντισεισμικούς Κανονισμούς.

Όσον αφορά στην εισαγωγή των τιμών των υφιστάμενων υλικών, ενώ δίνεται η δυνατότητα για το χάλυβα ο ορισμός των μέσων τιμών ξεχωριστά για το διαμήκη και εγκάρσιο οπλισμό, το πρόγραμμα λαμβάνει αυτόματα και χωρίς δυνατότητα τροποποίησης, χάλυβα χωρίς κράτυνση.

Επίσης, στην περίπτωση όπου συνεκτιμάται και η επιρροή περίσφιγξης, το τμήμα της διατομής εκτός πυρήνα αγνοείται.

Τέλος, παρατηρήθηκε αδυναμία πραγματοποίησης της ανάλυσης για περιπτώσεις φορέων όπου η λυγηρότητα των υποστυλωμάτων ή το φορτίο ξεπερνούσαν κάποιες τιμές. Προκειμένου να διερευνηθεί αν η αδυναμία αυτή παρουσιάζεται για ορισμένες τιμές λυγηρότητας, ακολούθως παρατίθενται για ένα απλό μονώροφο πλαίσιο, οι διαστάσεις των υποστυλωμάτων για τις οποίες δεν πραγματοποιήθηκε στατική ανελαστική ανάλυση.

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ		ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΛΥΓΗΡΟΤΗΤΑΣ λ (EC2 § 5.8.3.2) (για μέλη πλαισίων θεωρώντας την ελάχιστη τιμή k=0,1)	
Διατομή (cm×cm)	Ύψος ορόφου (m)	Στοιχεία με πλευρική παγίωση	Στοιχεία χωρίς πλευρική παγίωση
25×25	3,4	30,9	87,7
30×30	4	31,1	88,2
60×60	7,4	30,6	86,9

Διερεύνηση αδυναμίας εκτέλεσης στατικής ανελαστικής ανάλυσης με χρήση του προγράμματος Fespa.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, το στατικό πρόγραμμα Fespa εμφάνισε τις ακόλουθες αδυναμίες:

- Μη παρουσίαση των εντατικών μεγεθών των μελών ξεχωριστά για κάθε σεισμική φόρτιση και για κάθε βήμα στην ανάλυση pushover.
- Μη πραγματοποίηση ελέγχου διάτρησης και λυγισμού.
- Μη πραγματοποίηση ελέγχου μέγιστης ενεργούς διατομής οπλισμού διάτρησης, με αποτέλεσμα τοποθέτησης αυξημένου εγκάρσιου οπλισμού.
- Στην προμέτρηση οπλισμού διάτρησης, δεν γίνεται διαχωρισμός εγκάρσιου οπλισμού εντός και εκτός κρίσιμων περιοχών, με αποτέλεσμα και σε συνδυασμό με τη μη πραγματοποίηση ελέγχου μέγιστης ενεργούς διατομής οπλισμού διάτρησης, το βάρος του συνολικού εγκάρσιου οπλισμού να είναι αυξημένο κατά πολύ.
- Δεν υπάρχει η δυνατότητα θεώρησης χάλυβα με κράτυνση, στην ανάλυση pushover.
- Αδυναμία πραγματοποίησης ανάλυσης pushover για ορισμένες περιπτώσεις φορέων με υποστυλώματα αυξημένης λυγηρότητας ή μεγάλο αξονικό θλιπτικό φορτίο.