



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ - ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝ.ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ
ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 54006 – ΕΛΛΑΣ

Τηλ: + 30.2310.995653 fax: +30.2310.995769

Email: gcmanos@civil.auth.gr

ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ

Του Ερευνητικού Προγράμματος με τίτλο

*Διερεύνηση της συμπεριφοράς εμφανωμένων πλαισίων Ο/Σ
στην πυλωτή κτιριακών κατασκευών σε ανακυκλιζόμενες σεισμικού τύπου φορτίσεις.
Εξέταση των συνδέσεων των εμφανωμάτων με τα δομικά στοιχεία των πλαισίων Ο/Σ
ενισχυμένα με μανδύα έγχυτου σκυροδέματος.*

Που χρηματοδοτείται από τον:

Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ)

Ο επιστημονικώς Υπεύθυνος

Γεώργιος Χ. Μάνος
Καθηγητής Α.Π.Θ.

Θεσσαλονίκη Ιανουάριος 2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	v
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	vi
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	vii
ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	viii
ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	ix
ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	xvi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	1
1.1. Προκαταρκτική αριθμητική διερεύνηση της αλληλεπίδρασης εμφαντώματος – περιβάλλοντος πλαισίου από Ο/Σ	2
1.1.1. Συνθήκες σύνδεσης εμφαντώματος περιβάλλοντος πλαισίου	3
1.1.2. Συμπερασματικές Παρατηρήσεις	7
1.2. Διερεύνηση της φορτιστικής διάταξης και της μορφής του δοκιμίου που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν (δες ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2)	8
1.2.1. Δι-διάστατη αριθμητική προσομοίωση της συμπεριφοράς της φορτιστικής διάταξης που διερευνά στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 την σύνδεση τμήματος εμφαντώματος και περιβάλλοντος πλαισίου	11
1.2.2. Συνοπτικά αποτελέσματα	14
1.2.3. Συμπερασματικές Παρατηρήσεις	15
1.2.4. Περαιτέρω Σχολιασμός	16
Συμπερασματικές παρατηρήσεις	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	19
2.1. Ιδιότητες Υλικών - Κατασκευή Δοκιμίων	19
2.1.1. Ιδιότητες Υλικών	19
2.1.2. Κατασκευή Δοκιμίων	24
2.2. Φορτιστική Διάταξη - Πειραματικός Έλεγχος Δοκιμίων	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	41
3.1. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες δοκιμίων	41
3.2. Πειραματικά αποτελέσματα δοκιμίων Bare1 έως Bare 6	43
3.3. Πειραματικά αποτελέσματα δοκιμίων Bare 7 έως Bare 24	51
3.4. Σύνοψη των αποτελεσμάτων των δοκιμίων που εξετάστηκαν	77
3.5. Εύρεση της μέσης φέρουσας ικανότητας ανά σύνδεσμο για εγκάρσια δύναμη (δράση βλήτρου)	79
3.6. Συνοπτικές συμπερασματικές παρατηρήσεις για το σύνολο των πειραματικών αποτελεσμάτων	87
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	89
4.1. Αποτίμηση της συμπεριφοράς επί τη βάση των διατάξεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ.	89
4.1.1. Συγκρίσεις αναφορικά με την φέρουσα διατμητική ικανότητα των βλήτρων αγνοώντας την ταυτόχρονη λειτουργία αγκυρίου.	89
4.1.2 Συγκρίσεις αναφορικά με την φέρουσα διατμητική ικανότητα των βλήτρων με την ταυτόχρονη λειτουργία αγκυρίου.	93
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	97
5.1 Εισαγωγή και παραδοχές της παρούσης αριθμητικής προσομοίωσης	97
5.2.1. Σύγκριση αριθμητικών προβλέψεων και πειραματικών μετρήσεων	102
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο	111
6.1. Προτεινόμενη εμπειρική σχέση	111
6.2. Σύγκριση με τα πειραματικά αποτελέσματα	112
6.3. Σύγκριση με την μέγιστη διατμητική φόρτιση - μετακίνηση των βλήτρων βάση ΚΑΝ.ΕΠΕ.	115
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ^ο	119
7.1. Περιγραφή της πειραματικής ακολουθίας	122
7.2. Περιγραφή της συμπεριφοράς των δοκιμίων	126
7.2.1. Δοκίμιο Γυμνό-1	126
7.2.2. Δοκίμιο Εμφαντωμαμένο-1	131
7.2.3. Δοκίμιο Μανδ.Γυμνό-1	139
7.2.4. Δοκίμιο Εμφαντωμένο-2	144
7.2.5. Δοκίμιο Μανδ.Γυμνό-1α (Θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει και το δοκίμιο Μανδ.Γυμνο-1β)	153
7.2.6. Δοκίμιο Εμφαντωμένο-2α	157
7.2.7. Δοκίμιο Μανδ.Γυμνό-1γ	167
7.3. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα	170

7.4. Συμπερασματικές παρατηρήσεις αναφορικά με την παρατηρηθείσα συμπεριφορά των εμφανωμένων δύστυλων μονόροφων πλαισίων όταν υποβάλλονται σε ανακυκλιζόμενη συνδυασμένη φόρτιση	174
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ^ο	177
8.1. Η συμπεριφορά τμήματος εμφανώματος σε διαγώνιο εφελκυσμό.....	178
8.2. Αριθμητική προσομοίωση της συμπεριφοράς των συνδέσεων τμήματος εμφανώματος – τμήματος περιβάλλοντος πλαισίου με ή χωρίς χαλύβδινους συνδέσμους.	183
8.2.1. Μηχανικές ιδιότητες των ανελαστικών αριθμητικών συνδέσμων στην διεπιφάνεια χωρίς χαλύβδινους συνδέσμους.....	184
8.2.2. Μηχανικές ιδιότητες των ανελαστικών αριθμητικών συνδέσμων στην διεπιφάνεια με χαλύβδινους συνδέσμους.....	185
8.2.3. Συμπεράσματα αναφορικά με την αριθμητική προσομοίωση της διατμητικής συμπεριφοράς των συνδέσεων τμήματος εμφανώματος και μανδουωμένου στύλου :.....	192
8.3. Αριθμητική προσομοίωση του γυμνού περιβάλλοντος πλαισίου Ο/Σ	193
8.3.1. Αριθμητική προσομοίωση της ανελαστικής συμπεριφοράς των πλαστικών αρθρώσεων.....	193
8.3.2. Αρχικό πλαίσιο (Δοκίμιο Γυμνό-1) χωρίς μανδύα	196
8.3.3. Γυμνό πλαίσιο με μανδύα (Δοκίμιο Μανδ.Γυμνό-1 ^α)	196
8.4. Αριθμητική προσομοίωση της συμπεριφοράς των εμφανωμένων πλαισίων	197
8.4.1. Αριθμητική προσομοίωση του δοκιμίου Εμφανωμένο-1.....	198
8.4.2. Αριθμητική προσομοίωση του δοκιμίου Εμφανωμένο-2.....	200
8.4.3. Αριθμητική προσομοίωση του δοκιμίου Εμφανωμένο-2α.....	201
8.4.4. Αριθμητικά αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης εμφανώματος – περιβάλλοντος πλαισίου. .	204
8.4.4.1. Το δοκίμιο Εμφανωμένο-1 (δες παράγραφο 7.2.2., απλή προσθήκη άοπλου εμφανώματος).	204
8.4.4.2. Το δοκίμιο Εμφανωμένο-2, (δες παράγραφο 7.2.4., Μανδουωμένα υποστυλώματα, άοπλο εμφάνωμα συνδεδεμένο με χαλύβδινους συνδέσμους με το περιβάλλον πλαίσιο).	206
8.4.4.3. Το δοκίμιο Εμφανωμένο-2 ^α (δες παράγραφο 7.2.6., Μανδουωμένα υποστυλώματα, μερικώς οπλισμένο εμφάνωμα συνδεδεμένο με χαλύβδινους συνδέσμους με το περιβάλλον πλαίσιο).....	208
8.5. Συμπεράσματα αναφορικά με την αριθμητική προσομοίωση της συμπεριφοράς των εμφανωμένων πλαισίων:.....	211
ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	213
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	215

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στα πλαίσια του παρόντος ερευνητικού προγράμματος είναι υποχρέωση του συγγραφέως να αποδώσει ευχαριστίες σε όλους όσους βοήθησαν για την ολοκλήρωσή του.

Αρχικά στο τεχνικό προσωπικό του Εργαστηρίου Αντοχής των Υλικών και των Κατασκευών

Και ιδιαίτερα στους κ. Β.Κουρτίδη και Θ. Κουκουφτόπουλο καθώς και στους κ. Δ. Ρήτο και Φ. Τηλκερίδη.

Σε όλους του συνεργάτες της ερευνητικής ομάδας, δηλαδή τους κ. Κ. Κατάκαλο και Β. Σούλη. Τον κ. Γ. Κοϊδη για την βοήθεια ελέγχου των αντοχών των δομικών στοιχείων, τον κ. Ν. Καραμήτσιο για μέρος επεξεργασίας των αποτελεσμάτων και τον κ. Μ. Θεοφάνους για τμήμα των αριθμητικών προσομοιώσεων.

Τέλος τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) για την οικονομική υποστήριξη.

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Σύνοψη αποτελεσμάτων της προηγούμενης αριθμητικής διερεύνησης	14
Πίνακας 2.1α. Αντοχές σκυροδέματος δοκιμών 1 ^{ης} κατασκευαστικής φάσης.....	20
Δοκίμια Bare-1 έως Bare-6	20
Πίνακας 2.1β. Αντοχές σκυροδέματος δοκιμών 2 ^{ης} κατασκευαστικής φάσης.....	20
Δοκίμια Bare-7 έως Bare-18	20
Πίνακας 2.1γ. Αντοχές σκυροδέματος δοκιμών 3 ^{ης} κατασκευαστικής φάσης.....	20
Δοκίμια Bare-19 έως Bare-24	20
Πίνακας 2.2. Μηχανικές Ιδιότητες Δομικού Χάλυβα σε εφελκυσμό.....	22
Πίνακας 2.3. Μηχανικές Ιδιότητες Δομικού Χάλυβα σε δίτμητη διάτμηση-ψαλιδισμό.....	23
Πίνακας 2.5. Λεπτομέρειες σύνδεσης (βλήτρωσης-αγκύρωσης) δοκιμών	31
Πίνακας 2.6. Κατασκευαστικές Λεπτομέρειες Δοκιμών.....	32
Πίνακας 2.7. Φορτιστικές παράμετροι δοκιμών.....	39
Πίνακας 3.1. Σύνοψη αποτελεσμάτων για χαλύβδινους συνδέσμους Ø8	70
Πίνακας 3.2. Σύνοψη αποτελεσμάτων για χαλύβδινους συνδέσμους Ø10	72
Πίνακας 3.3. Σύνοψη αποτελεσμάτων για χαλύβδινους συνδέσμους Ø12 και Ø12	75
Πίνακας 3.4. Συγκριτικά αποτελέσματα των πρώτων έξη δοκιμών (6 δοκιμές).....	77
Πίνακας 3.5. Συγκριτικά αποτελέσματα των επόμενων δεκαοκτώ δοκιμών (18 δοκιμές)	78
Πίνακας 3.6. Μέσος όρος μετρημένης φέρουσας ικανότητας για σύνδεσμο Ø8.....	80
Πίνακας 3.7. Μέσος όρος μετρημένης φέρουσας ικανότητας για σύνδεσμο Ø10.....	81
Πίνακας 3.8. Μέσος όρος μετρημένης φέρουσας ικανότητας για σύνδεσμο Ø12.....	81
Πίνακας 3.9. Μέσος όρος μετρημένης φέρουσας ικανότητας για σύνδεσμο Ø14.....	82
Πίνακας 3.10. Μετρημένη φέρουσα ικανότητα σε λειτουργία βλήτρου.....	82
Πίνακας 4.1. Τιμές της φέρουσας ικανότητας σε λειτουργία βλήτρου και μειωτικοί συντελεστές λόγω εκκεντρότητας 20mm και λόγω ανακυκλιζόμενης φόρτισης.....	90
Πίνακας 4.2. Σύγκριση μετρημένης και υπολογισμένης φέρουσας ικανότητας συνδέσμου σε λειτουργία βλήτρου	92
Πίνακας 4.3. Σύγκριση μετρημένης και υπολογισμένης φέρουσας ικανότητας συνδέσμου σε λειτουργία βλήτρου και αγκυρίου ταυτόχρονα.	95
Πίνακας 5.1: Διενεργηθείσες αριθμητικές προσομοιώσεις.....	97
Πίνακας 5.2. Μειωτικός συντελεστής φέρουσας ικανότητας δράσης βλήτρου (KAN.ΕΠΕ., παράγραφος 6.1.2).....	98
Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα της τρισδιάστατης αριθμητικής μελέτης.....	102
Πίνακας 7.1. Περιγραφή δοκιμών «γυμνών» και εμφατνωμένων πλαισίων.....	122
Πίνακας 7.2 Χαρακτηριστικά αρχικού ιδεατού γυμνού πλαισίου και υπό κλίμακα πλαισίου.....	126
Πίνακας 7.4 Μηχανικά χαρακτηριστικά του χάλυβα του δοκιμίου Γυμνό-1	126
Πίνακας 7.5. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα πλαισίων	170
Πίνακας 7.6. Κατανάλωση ενέργειας για κάθε δοκίμιο και για κάθε επιμέρους δοκιμή σε KNmm	171
Πίνακας 7.7. Συνολική ενέργεια που καταναλώθηκε μέχρι την δοκιμή (συμπεριλαμβανομένης αυτής) όπου σημειώθηκε το μέγιστο φορτίο.....	172
Πίνακας 8.1. Μηχανικά χαρακτηριστικά αριθμητικής προσομοίωσης εμφατνώματος	180
Πίνακας 8.2. Δοκίμια του κεφαλαίου 3 που χρησιμοποιήθηκαν στις αριθμητικές προσομοιώσεις.....	186
Πίνακας 8.3. Μηχανικά χαρακτηριστικά του χάλυβα του αρχικού και του ενισχυμένου γυμνού πλαισίου	195
Πίνακας 8.4. Μηχανικά χαρακτηριστικά του σκυροδέματος του αρχικού και του ενισχυμένου γυμνού...195	

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1. Εμφανωμένο πλαίσιο.....	2
Σχήμα 1.2. Μεταβολή της οριζόντιας μετατόπισης του ζυγώματος συναρτήσει της οριζόντιας δύναμης που επιβάλλεται στο ζύγωμα του «γυμνού» πλαισίου.	3
Σχήμα 1.3. Εικόνα του παραμορφωμένου «γυμνού» περιβάλλοντος πλαισίου για οριζόντια δύναμη 174KN. Σημειώνεται η θέση που αναπτύσσονται οι πλαστικές αρθρώσεις και οι τιμές των αντίστοιχων ροπών.....	3
Σχήμα 1.4. Μεταβολή της οριζόντιας μετατόπισης του ζυγώματος συναρτήσει της οριζόντιας δύναμης που επιβάλλεται σε αυτό	4
Σχήμα 1.4α. Εικόνα του παραμορφωμένου συνολικού φορέα (Εμφάνωμα και περιβάλλον πλαίσιο) για οριζόντια δύναμη 1921KN.....	4
Σχήμα 1.5. Κατανομή αξονικών και διατμητικών (εγκαρσίων) δυνάμεων στους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) που συνδέουν το εμφάνωμα με την δοκό του πλαισίου.	5
Σχήμα 1.6. Μεταβολή της οριζόντιας μετατόπισης του ζυγώματος συναρτήσει της οριζόντιας δύναμης που επιβάλλεται σε αυτό.	6
Σχήμα 1.7. Εικόνα του παραμορφωμένου συνολικού φορέα (Εμφάνωμα και περιβάλλον πλαίσιο) για οριζόντια δύναμη 2000KN.....	6
Σχήμα 1.8. Κατανομή αξονικών και διατμητικών (εγκαρσίων) δυνάμεων στους συνδέσμους (βλήτρα) που συνδέουν το εμφάνωμα με την δοκό του πλαισίου.	6
Σχήμα 1.9. Κατανομή αξονικών και διατμητικών (εγκαρσίων) δυνάμεων στους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) που συνδέουν το εμφάνωμα με τον στύλο του πλαισίου.	7
Σχήμα 1.10. Εμφανωμένο πλαίσιο με ενδεικτικές τομές που αντιστοιχούν στα τμήματα εμφανώματος – περιβάλλοντος πλαισίου που εξετάζονται στη συνέχεια (σχήματα 1.11-1.14)	8
Σχήμα 1.11. Εμφανωμένο πλαίσιο με ενδεικτικές τομές που αντιστοιχούν στα τμήματα εμφανώματος..... περιβάλλοντος πλαισίου που εξετάζονται στη συνέχεια (σχήματα 1.11-1.14)	9
Σχήμα 1.12. Αριθμητική απεικόνιση που αντιστοιχούν σε τμήματα εμφανώματος –..... περιβάλλοντος πλαισίου που επιλέχθηκε να εξετασθούν και πειραματικά (δες ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2).....	9
Σχήμα 1.13. Απεικόνιση της φορτιστικής διάταξης και του δοκιμίου που διερευνάται πειραματικά (ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2) που αντιστοιχεί στο παρόν αριθμητικό προσομοίωμα (σχήματα 1.16 και 1.17).....	10
Σχήμα 1.14. Απεικόνιση της φορτιστικής διάταξης και του δοκιμίου που διερευνάται πειραματικά (ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2, στροφή του σχήματος 1.13 κατά 90°) που αντιστοιχεί στο παρόν αριθμητικό προσομοίωμα (σχήματα 1.12 και 1.15)	10
Σχήμα 1.15. Προσομοίωση δοκιμίου τμήματος εμφανώματος και τμήματος μανδυωμένου στύλου	12
Σχήμα 1.16. Προσομοίωση δοκιμίου τμήματος εμφανώματος και τμήματος μανδυωμένης δοκού.....	12
Σχήμα 1.17. Εναλλακτικές περιπτώσεις της φορτιστικής διάταξης και του δοκιμίου που διερευνήθηκαν αριθμητικά.	13
Σχήμα 1.18. Εικόνα του παραμορφωμένου δοκιμίου για τις τέσσερις εναλλακτικές περιπτώσεις αριθμητικής προσομοίωσης της φορτιστικής διάταξης του ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 2.	14
Σχήμα 1.19. Τιμές της εγκάρσιας και αξονικής έντασης που αναπτύσσεται στους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) για τις τέσσερις εναλλακτικές περιπτώσεις αριθμητικής προσομοίωσης της φορτιστικής διάταξης του ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 2.	15
Σχήμα 1.20. Αστοχίες για την λειτουργία «βλήτρου» του συνδέσμου	16
Σχήμα 1.21. Αστοχίες για την λειτουργία «αγκυρίου» του συνδέσμου.	17
Σχήμα 1.22. Τρισδιάστατη αριθμητική προσομοίωση. Σύνδεση με τέσσερα «βλήτρα» (αγκύρια). Μη δέσμευση μετατόπισης x-x.....	18
Σχήμα 1.23. Παραμορφωμένη εικόνα στην περιοχή που περιβάλλει το βλήτρο στην διεπιφάνεια σύνδεσης-ολίσθησης.....	18
Σχήμα 2.1. Θλίψη κυλινδρικών δοκιμίων σκυροδέματος	19
Σχήμα 2.3. Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το δομικό χάλυβα διαμέτρου Ø8mm	21
Σχήμα 2.4. Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το δομικό χάλυβα διαμέτρου Ø10mm	21
Σχήμα 2.5. Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το δομικό χάλυβα διαμέτρου Ø12mm	22
Σχήμα 2.6. Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το δομικό χάλυβα διαμέτρου Ø14mm	22
Σχήμα 2.7. Ανάμιξη Σκυροδέματος	24
Σχήμα 2.8: Σχέδιο Υφιστάμενου Υποστυλώματος.....	24
Σχήμα 2.9: Γεωμετρία του δοκιμίου (σε mm) του τμήματος του εμφανώματος και του τμήματος του μανδυωμένου στύλου του περιβάλλοντος πλαισίου (δες κεφάλαιο 1).....	25

Σχήμα 2.10. Απεικόνιση της φορτιστικής διάταξης και του δοκιμίου που διερευνάται πειραματικά με τις αποστάσεις σε mm.....	25
Σχήμα 2.11. Απεικόνιση της φορτιστικής διάταξης και του δοκιμίου που διερευνάται πειραματικά με τις αποστάσεις σε mm.....	26
Σχήμα 2.12: Γεωμετρία του δοκιμίου (σε mm) του τμήματος του εμφανώματος και του τμήματος της μανδουωμένης δοκού του περιβάλλοντος πλαισίου (δες κεφάλαιο 1, στροφή του σχήματος 2.10 κατά 90°).	26
Σχήμα 2.13. Απεικόνιση της φορτιστικής διάταξης και του δοκιμίου που διερευνάται πειραματικά με τις αποστάσεις σε mm (δες κεφάλαιο 1, στροφή του σχήματος 2.11 κατά 90°).	27
Σχήμα 2.14α. 1 ^{ος} τρόπος βλήτρωσης-αγκύρωσης	27
Σχήμα 2.14β. 2 ^{ος} τρόπος βλήτρωσης-αγκύρωσης.....	27
Σχήμα 2.15α. Βελτιωμένος 2 ^{ος} τρόπος σύνδεσης.....	28
Σχήμα 2.15β. 3 ^{ος} τρόπος βλήτρωσης-αγκύρωσης.....	28
Σχήμα 2.16. Κατασκευαστικά σχέδια δοκιμίων που περιλαμβάνουν 2 συνδέσμους..... (ένα καθ' ύψος, αποστάσεις σε mm).....	28
Σχήμα 2.19α Ελάχιστες αποστάσεις από τα όρια (KAN.ΕΠΕ.).....	30
Σχήμα 2.19β Θέση βλήτρων-αγκυρίων στα δοκίμια με 4 συνδέσμους.....	30
Σχήμα 2.19γ Θέση βλήτρων-αγκυρίων στα δοκίμια με 2 συνδέσμους.....	30
Σχήμα 2.20. Θέση δοκιμίου στην φορτιστική διάταξη (αποστάσεις σε mm, κατά την διάρκεια του πειράματος στροφή κατά 90°)	31
Σχήμα 2.21. Σκαρίφημα φορτιστικής διάταξης όπου το εγκάρσιο διατμητικό φορτίο επιβάλλεται χωρίς δέσμευση της μετακίνησης x-x του τμήματος του εμφανώματος	38
Σχήμα 2.22 ^α Βασική φορτιστική ακολουθία τριών επάλληλων κύκλων καταναγκασμένης εγκάρσιας μετακίνησης.....	38
Σχήμα 2.22β. Αθροισμα πολλών ακολουθιών τριών επάλληλων κύκλων καταναγκασμένης εγκάρσιας μετακίνησης.....	38
Σχήμα 2.23. Πειραματική διάταξη δοκιμίων bare1-bare24 χωρίς να δεσμεύεται η κατακόρυφη μετακίνηση του τμήματος του εμφανώματος ως προς το μανδουωμένο τμήμα του δοκιμίου.....	40
Σχήμα 2.24. Φορτιστική διάταξη - Πανοραμική όψη.....	40
Σχήμα 3.1. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες του 2 ^{ου} και 3 ^{ου} τρόπων σύνδεσης.	41
Σχήμα 3.2. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες του 1 ^{ου} τρόπου σύνδεσης.	42
Σχήμα 3.3.: Δύναμη – Μετακίνηση 1 ^{ου} Δοκιμίου Bare1	43
Σχήμα 3.4.: 1 ^ο Θραύση τμημάτων σκυροδέματος στην διεπιφάνεια μανδύα – εμφανώματος για μεγάλες μετακινήσεις ολίσθησης	43
Σχήμα 3.5: Δύναμη – Μετακίνηση Δοκιμίου Bare2	44
Σχήμα 3.6. : 2 ^ο Ολίσθηση στην διεπιφάνεια χωρίς βλάβη του μανδύα	44
Σχήμα 3.7: Δύναμη – Μετακίνηση Bare3	45
Σχήμα 3.8. : Αστοχία τμημάτων μανδύα όπου συνδέονται οι σχάρες 2#Φ10/100.....	45
Σχήμα 3.9. : Δύναμη – Μετακίνηση Bare4	46
Σχήμα 3.10: Αστοχία τμημάτων μανδύα όπου συνδέονται οι σχάρες 2#Φ10/100.....	46
Σχήμα 3.11: Δύναμη – Μετακίνηση Bare5	47
Σχήμα 3.12: Αστοχία τμημάτων μανδύα.....	47
Σχήμα 3.13: Δύναμη – Μετακίνηση Bare6	48
Σχήμα 3.14: Αστοχία τμημάτων μανδύα.....	48
Σχήμα 3.15. Σύνοψη των πειραματικών αποτελεσμάτων	49
Σχήμα 3.16: Δύναμη – Μετακίνηση Bare7	51
Σχήμα 3.17: Bare7 Θραύση συνδέσμων 4Ø8mm.....	51
Σχήμα 3.18: Δύναμη – Μετακίνηση Bare8	52
Σχήμα 3.19: Bare8 Θραύση συνδέσμων 2Ø8mm.....	52
Σχήμα 3.20: Δύναμη – Μετακίνηση Bare9	53
Σχήμα 3.21: Bare9 Λαίμωση συνδέσμων 2Ø10mm. Θραύση της διεπιφάνειας και απομάκρυνσή της μετά το τέλος της φορτιστικής ακολουθίας.....	53
Σχήμα 3.22: Δύναμη – Μετακίνηση Bare10	54
Σχήμα 3.23: Bare10 Θραύση βλήτρων 4Ø10mm.....	54
Σχήμα 3.24: Δύναμη – Μετακίνηση Bare11	55
Σχήμα 3.25: Bare11 Διαρροή των βλήτρων Ø8. Θραύση του εμφανώματος στο τελικό στάδιο.	55
Σχήμα 3.26: Δύναμη – Μετακίνηση Bare12	56

Σχήμα 3.28: Δύναμη – Μετακίνηση Bare13	57
Σχήμα 3.29: Bare13 Θραύση 4Ø8mm.....	57
Σχήμα 3.30: Δύναμη – Μετακίνηση Bare14	58
Σχήμα 3.31: Bare14 Θραύση 4Ø10mm.....	58
Σχήμα 3.32: Δύναμη – Μετακίνηση Bare15	59
Σχήμα 3.33: Bare15 Θραύση 2Ø10mm.....	59
Σχήμα 3.34: Δύναμη – Μετακίνηση Bare16	60
Σχήμα 3.35: Bare16 Θραύση 2Ø8mm.....	60
Σχήμα 3.36: Δύναμη – Μετακίνηση Bare17	61
Σχήμα 3.37: Bare17 Θραύση 2Ø10mm.....	61
Σχήμα 3.38: Δύναμη – Μετακίνηση Bare18	62
Σχήμα 3.39: Bare18 Θραύση διεπιφάνειας	62
Σχήμα 3.40: Δύναμη – Μετακίνηση Bare19	63
Σχήμα 3.41: Bare19 Διαρροή των διατμητικών βλήτρων-αγκυρίων. Θραύση του εμφαντώματος στο τελικό στάδιο.	63
Σχήμα 3.42: Δύναμη – Μετακίνηση Bare20	64
Σχήμα 3.43: Bare 20 Λαίμωση συνδέσμου. Θραύση του εμφαντώματος στο τελικό στάδιο.	64
Σχήμα 3.44: Δύναμη – Μετακίνηση Bare21	65
Σχήμα 3.45: Bare21 Διαρροή του βλήτρου - αγκυρίου διαμέτρου 12mm	65
Σχήμα 3.46: Δύναμη – Μετακίνηση Bare22	66
Σχήμα 3.47: Bare22 Λαίμωση-διαρροή των βλήτρων – αγκυρίων διαμέτρου 14mm. Θραύση του εμφαντώματος στο τελικό στάδιο	66
Σχήμα 3.48: Δύναμη – Μετακίνηση Bare23	67
Σχήμα 3.49: Bare23 Διαρροή του βλήτρου – αγκυρίου διαμέτρου 10mm.....	67
Σχήμα 3.50: Δύναμη – Μετακίνηση Bare24	68
Σχήμα 3.51: Bare24 Διαρροή του βλήτρου – αγκυρίου διαμέτρου 14mm.Θραύση διεπιφάνειας στο τελικό στάδιο.	68
Σχήμα 3.52. Σύνοψη των πειραματικών αποτελεσμάτων για συνδέσμους διαμέτρου 8mm.....	69
Σχήμα 3.53. Σύνοψη των πειραματικών αποτελεσμάτων για συνδέσμους διαμέτρου 10mm.....	71
Σχήμα 3.54. Σύνοψη των πειραματικών αποτελεσμάτων για συνδέσμους διαμέτρου 12mm και 14mm	74
Σχήμα 3.55. Σύγκριση της μέσης μετρημένης φέρουσας ικανότητας (μέσος όρος πίνακας 3.10) με τα πειραματικά αποτελέσματα που έχουν αναχθεί για έναν (1) σύνδεσμο και παρουσιάζονται σε μορφή άνω και κάτω ορίου περιβάλλουσας για σύνδεσμο διαμέτρου Ø8	83
Σχήμα 3.56. Σύγκριση της μέσης μετρημένης φέρουσας ικανότητας (μέσος όρος πίνακας 3.10) με τα πειραματικά αποτελέσματα που έχουν αναχθεί για έναν (1) σύνδεσμο και παρουσιάζονται σε μορφή άνω και κάτω ορίου περιβάλλουσας για σύνδεσμο διαμέτρου Ø10	84
Σχήμα 3.57. Σύγκριση της μέσης μετρημένης φέρουσας ικανότητας (μέσος όρος πίνακας 3.10) με τα πειραματικά αποτελέσματα που έχουν αναχθεί για έναν (1) σύνδεσμο και παρουσιάζονται σε μορφή άνω και κάτω ορίου περιβάλλουσας για σύνδεσμο διαμέτρου Ø12	85
Σχήμα 3.58. Σύγκριση της μέσης μετρημένης φέρουσας ικανότητας (μέσος όρος πίνακας 3.10) με τα πειραματικά αποτελέσματα που έχουν αναχθεί για έναν (1) σύνδεσμο και παρουσιάζονται σε μορφή άνω και κάτω ορίου περιβάλλουσας για σύνδεσμο διαμέτρου Ø14	86
Σχήμα 4.1. Σχηματοποίηση δράσης βλήτρου.....	89
Σχήμα 4.2. Σενάριο θλιπτική αστοχίας όγκου σκυροδέματος από δράση βλήτρου.....	92
Σχήμα 4.3. Σχηματοποίηση ταυτόχρονης δράσης βλήτρου - αγκυρίου	93
Σχήμα 4.3. Σενάρια αστοχίας και αντίστοιχες σχέσεις για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας σε λειτουργία αγκυρίου.	94
Σχήμα 5.1: Γεωμετρία φορέα και οπλισμός	99
Σχήμα 5.2: Συνοριακές συνθήκες και επιβεβλημένη μετακίνηση.....	99
Σχήμα 5.3: Διακριτοποίηση σκυροδέματος και βλήτρων.....	100
Σχήμα 5.4: Πύκνωση καννάβου πλησίον των οπών και	100
διακριτοποίηση βλήτρων.....	100
Σχήμα 5.5: Σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων του χάλυβα	101
Σχήμα 5.6: Σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος	101
Σχήμα 5.7: Διάγραμμα κινητικής και εσωτερικής ενέργειας για την πρώτη προσομοίωση	102
Σχήμα 5.8: Σύγκριση αριθμητικών καμπυλών δύναμης-μετακίνησης με την πειραματική περιβάλλουσα.....	103
Σχήμα 5.9: Ρηγματώσεις σκυροδέματος κατά τη διάρκεια της φόρτισης.....	104

Σχήμα 5.10: Μόνιμες παραμορφώσεις βλήτρων μετά το πέρας της φόρτισης (πειραματική εικόνα και αριθμητική πρόβλεψη).	104
Σχήμα 5.11: Ρηγματώσεις σκυροδέματος κεντρικής διατομής (άξονας χαλύβδινων συνδέσμων)	105
για εγκάρσια μετακίνηση $d=4\text{ mm}$	105
Σχήμα 5.12: Ρηγματώσεις σκυροδέματος στην πλάγια όψη του δοκίμιο	105
για εγκάρσια μετακίνηση $d=4\text{ mm}$	105
Σχήμα 5.13: Ρηγματώσεις σκυροδέματος διεπιφάνειας μανδύα-εμφαντώματος	105
για φορτίο 30 KN (πρώτη ρηγμάτωση)	105
Σχήμα 5.14: Επιρροή της εκκεντρότητας της εγκάρσιας φόρτισης στην αριθμητική πρόβλεψη της απόκρισης	106
Σχήμα 5.15: Διαγράμματα εγκάρσιας δύναμης – εγκάρσιας μετακίνησης για $e=2\text{ mm}$	107
(μεταβολή αξονικής φόρτισης από -80KN έως +80KN).....	107
Σχήμα 5.16.: Διαγράμματα εγκάρσιας δύναμης – εγκάρσιας μετακίνησης για $e=80\text{ mm}$	108
Σχήμα 5.17. Κατανομή πλαστικών παραμορφώσεων όπως προβλέπονται από την παρούσα αριθμητική προσομοίωση για το δοκίμιο με εκκεντρότητα $e=2\text{ mm}$	108
Σχήμα 5.18. Κατανομή πλαστικών παραμορφώσεων όπως προβλέπονται από την παρούσα αριθμητική προσομοίωση για το δοκίμιο με εκκεντρότητα $e=80\text{ mm}$	109
Σχήμα 5.19α και 5.19β Σύνθετη καμπτο-διατμητική συμπεριφορά των χαλύβδινων συνδέσμων.....	109
Σχήμα 6.1α.....	111
Σχήμα 6.1β.....	111
Σχήμα 6.3. Απεικόνιση της συμπεριφοράς σε δράση βλήτρου των χαλύβδινων συνδέσμων Φ8, Φ10, Φ12, Φ14 επί τη βάση της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης	113
Σχήμα 6.4. Σύγκριση των αποτελεσμάτων της ως άνω εμπειρικής σχέσης με τα αντίστοιχα πειραματικά αποτελέσματα για τον χαλύβδινο σύνδεσμο Ø8	113
Σχήμα 6.5. Σύγκριση των αποτελεσμάτων της ως άνω εμπειρικής σχέσης με τα αντίστοιχα πειραματικά αποτελέσματα για τον χαλύβδινο σύνδεσμο Ø10	114
Σχήμα 6.6. Σύγκριση των αποτελεσμάτων της ως άνω εμπειρικής σχέσης με τα αντίστοιχα πειραματικά αποτελέσματα για τον χαλύβδινο σύνδεσμο Ø12	114
Σχήμα 6.7. Σύγκριση των αποτελεσμάτων της ως άνω εμπειρικής σχέσης με τα αντίστοιχα πειραματικά αποτελέσματα για τον χαλύβδινο σύνδεσμο Ø14.	115
Σχήμα 6.8. Διάγραμμα διατμητικής δύναμης – μετακίνησης βλήτρου κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.	116
Σχήμα 6.9. Διαγράμματα μεταβολής εγκάρσιας δύναμης – εγκάρσιας μετατόπισης της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης 6.2 και 6.3 για χαλύβδινο σύνδεσμο Φ8	116
Σχήμα 6.10. Διαγράμματα μεταβολής εγκάρσιας δύναμης – εγκάρσιας μετατόπισης της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης 6.2 και 6.3 για χαλύβδινο σύνδεσμο Φ10	116
Σχήμα 6.11. Διαγράμματα μεταβολής εγκάρσιας δύναμης – εγκάρσιας μετατόπισης της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης 6.2 και 6.3 για χαλύβδινο σύνδεσμο Φ12	117
Σχήμα 6.12. Διαγράμματα μεταβολής εγκάρσιας δύναμης – εγκάρσιας μετατόπισης της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης 6.2 και 6.3 για χαλύβδινο σύνδεσμο Φ14	117
Σχήμα 7.1. Συμπεριφορά χαλύβδινων ράβδων διαμέτρου 4mm, που ενσωματώθηκαν στο δοκίμιο Εμφανωμένο-2	121
Σχήμα 7.1 . Κατασκευαστικές λεπτομέρειες γυμνών δοκιμίων	124
Σχήμα 7.2 . Λεπτομέρειες της πειραματικής ακολουθίας	124
Σχήμα 7.3 . Λεπτομέρειες της πειραματικής ακολουθίας	125
Σχήμα 7.4: Λεπτομέρειες κατασκευής γυμνού πλαισίου (Γυμνό-1)	126
Σχήμα 7.5. Μηχανικές ιδιότητες χάλυβα.....	127
Σχήμα 7.5α. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες του δοκιμίου Γυμνό-1	127
Σχήμα 7.5β. Ενοργάνωση του δοκιμίου Γυμνό-1 . Χρησιμοποιείται η ονομασία LVDT για τα μηχανοσκόπια και VLOAD, HLOAD για τα δυναμόμετρα του κατακόρυφου και οριζόντιου φορτίου, αντίστοιχα.....	128
Σχήμα 7.6 Λεπτομέρειες βλαβών δοκιμίου Γυμνό-1	129
Σχήμα 7.6α. Μορφές αστοχίας του δοκιμίου Γυμνό-1	130
Σχήμα 7.7. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά αρχικού γυμνού δοκιμίου Γυμνό-1	130
Σχήμα 7.8. Λεπτομέρειες δοκιμίου Εμφανωμένο-1	131
Σχήμα 7.8α. Ενοργάνωση δοκιμίου Εμφανωμένο-1 Χρησιμοποιείται η ονομασία LVDT για τα μηχανοσκόπια και VLOAD, HLOAD για τα δυναμόμετρα του κατακόρυφου και οριζόντιου φορτίου, αντίστοιχα.....	132

Σχήμα 7.9. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-1	134
Σχήμα 7.10 . Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-1	134
Σχήμα 7.11. Λεπτομέρειες εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-1	135
Σχήμα 7.12. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-1	136
Σχήμα 7.13. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-1 , μορφές βλαβών μετά το τέλος της φορτιστικής ακολουθίας.....	137
Σχήμα 7.13α. Σχηματική απεικόνιση των μορφών βλαβών δοκιμίου Εμφατνωμένο-1 ,.....	138
Σχήμα 7.14. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες όπλισης - μανδύωσης.	139
Σχήμα 7.15. Λεπτομέρειες γυμνού δοκιμίου Μανδ.Γυμνό-1	140
Σχήμα 7.16. Τάση – Παραμόρφωση Φ8.....	141
Σχήμα 7.17. Λεπτομέρειες μανδυνωμένου γυμνού δοκιμίου Μανδ.Γυμνό-1 . Χρησιμοποιείται η ονομασία LVDT για τα μηχανοσκόπετρα και VLOAD, HLOAD για τα δυναμόμετρα του κατακόρυφου και οριζόντιου φορτίου, αντίστοιχα.....	142
Σχήμα 7.18. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά μανδυνωμένου γυμνού δοκιμίου Μανδ.Γυμνό-1	142
Σχήμα 7.18α. Σχηματική απεικόνιση των βλαβών του δοκιμίου Μανδ.Γυμνό-1	143
Σχήμα 7.19. Λεπτομέρειες εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2	144
Σχήμα 7.20. Λεπτομέρειες εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2	145
Σχήμα 7.20α. Ενοργάνωση εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2 Χρησιμοποιείται η ονομασία LVDT για τα μηχανοσκόπετρα και VLOAD, HLOAD για τα δυναμόμετρα του κατακόρυφου και οριζόντιου φορτίου, αντίστοιχα.....	146
Σχήμα 7.21. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2	147
Σχήμα 7.22. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2	147
Σχήμα 7.23. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2 , μορφές βλαβών κατά την διάρκεια της φορτιστικής ακολουθίας	148
Σχήμα 7.24 . Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2 , μορφές βλαβών μετά το τέλος της φορτιστικής ακολουθίας.....	149
Σχήμα 7.24α. Σχηματική απεικόνιση μορφών βλαβών εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2	150
Σχήμα 7.25 . Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2	151
Σχήμα 7.26. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2	152
Σχήμα 7.27. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2	152
Σχήμα 7.28. Λεπτομέρειες μανδυνωμένου γυμνού δοκιμίου Μανδ.Γυμνό-1α	153
Σχήμα 7.28α. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες και ενοργάνωση δοκιμίου Μανδ.Γυμνό-1α	154
Σχήμα 7.29. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά μανδυνωμένου γυμνού δοκιμίου Μανδ.Γυμνό-1α	155
Σχήμα 7.30. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά όλων των γυμνών δοκιμίων	155
Γυμνό-1 vs. Μανδ.Γυμνό-1 vs. Μανδ.Γυμνό-1α	155
Σχήμα 7.30α. Σχηματική απεικόνιση βλαβών του γυμνού δοκιμίου Μανδ.Γυμνό-1α	156
Σχήμα 7.31. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες όπλισης εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2α	157
Σχήμα 7.32. Λεπτομέρειες προπαρασκευής του εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2α	158
Σχήμα 7.33. Λεπτομέρειες του εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2α	159
Σχήμα 7.33α. Ενοργάνωση του εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2α	160
Σχήμα 7.34. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2α	161
Σχήμα 7.35. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2α	161
Σχήμα 7.36. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2α	162
Σχήμα 7.37. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2α ,	163
μορφές βλαβών κατά την διάρκεια και μετά το τέλος της φορτιστικής ακολουθίας	163
Σχήμα 7.37α. Σχηματική απεικόνιση βλαβών εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2α ,	164
Σχήμα 7.38. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2α	165
Σχήμα 7.39. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2α	166
Σχήμα 7.41. Λεπτομέρειες μανδυνωμένου γυμνού δοκιμίου Μανδ.Γυμνό-1γ	167
Σχήμα 7.42. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά μανδυνωμένου γυμνού δοκιμίου Μανδ.Γυμνό-1γ	168
Σχήμα 7.43. Λεπτομέρειες μανδυνωμένου γυμνού δοκιμίου Μανδ.Γυμνό-1γ	168
Σχήμα 7.43α Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά του δοκιμίου Μανδ. Γυμνό-1γ με αυτή του Μανδ. Γυμνο-1δ	169
Σχήμα 7.44. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά όλων των γυμνών δοκιμίων	172
Σχήμα 7.46. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά του εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-1	173
Σχήμα 7.47. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά του εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2	173
Σχήμα 7.48. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά του εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2α	174

Σχήμα 8.1. Πειραματική διάταξη για τον διαγώνιο εφελκυσμό των τμημάτων των εμφανωμάτων.	178
Σχήμα 8.2. Φορτιστική διάταξη και πειραματικά αποτελέσματα.....	179
Σχήμα 8.3. Μορφές αστοχίας από τα πειράματα διαγώνιου εφελκυσμού.....	179
Σχήμα 8.4 α) Επιφάνεια αστοχίας εμφανώματος.....	180
8.4β) Ενεργές τάσεις – πλαστικές παραμορφώσεις (θλιπτική συμπεριφορά).....	180
8.4γ) Φθίνουσα ελκυστική αντοχή μετά την πρώτη διαρροή.....	180
Σχήμα 8.5 . Αριθμητική προσομοίωση των πειραμάτων διαγώνιου εφελκυσμού.	181
Σχήμα 8.6. Σύγκριση αριθμητικών προβλέψεων και μετρηθείσας απόκρισης τ - γ	181
Σχήμα 8.7α. Εικόνα αστοχίας άοπλου δοκιμίου σε διαγώνιο ελκυσμό για διατμητική παραμόρφωση $\gamma_1=0,0003$ mm/mm	182
Σχήμα 8.7β. Εικόνα αστοχίας άοπλου δοκιμίου σε διαγώνιο ελκυσμό για διατμητική παραμόρφωση $\gamma_2=0,0005$ mm/mm	182
Σχήμα 8.7γ. Εικόνα αστοχίας οπλισμένου δοκιμίου σε διαγώνιο ελκυσμό $\gamma_1=0,0003$ mm/mm.....	182
Σχήμα 8.7δ. Εικόνα αστοχίας οπλισμένου δοκιμίου σε διαγώνιο ελκυσμό για διατμητική παραμόρφωση $\gamma_2=0,0005$ mm/mm	182
Σχήμα 8.8.α Διακριτοποίηση των δοκιμίων του κεφαλαίου 3.	183
Σχήμα 8.8.β Λεπτομέρεια της διακριτοποίησης της διεπιφάνειας τμήματος εμφανώματος-τμήματος περιβάλλοντος πλαισίου	183
Σχήμα 8.9α) Αξονική δυσκαμψία και αντοχή ελατηριακού συνδέσμου που προσομοιώνει την θλιπτική-ελκυστική συμπεριφορά της σύνδεσης μεταξύ του μανδουωμένου στύλου και του εμφανώματος β) Εγκάρσια δυσκαμψία και αντοχή που προσομοιώνει την συνάφεια μεταξύ του μανδουωμένου στύλου και του εμφανώματος.....	184
Σχήμα 8.10α) Αξονική δυσκαμψία σε θλίψη ελατηρίου τριβής-ολίσθησης β)Εγκάρσια δυσκαμψία και αντοχή που προσομοιώνει τον μηχανισμό τριβής-ολίσθησης στην διεπιφάνεια.....	184
Σχήμα 8.11. Τρι-γραμμική αριθμητική προσέγγιση της συμπεριφοράς ενός χαλύβδινου συνδέσμου Φ8 σε δράση βλήτρου (εγκάρσια διεύθυνση)	185
Σχήμα 8.11. Τρι-γραμμική αριθμητική προσέγγιση της συμπεριφοράς ενός χαλύβδινου συνδέσμου Φ10 σε δράση βλήτρου (εγκάρσια διεύθυνση)	185
Σχήμα 8.11. Τρι-γραμμική αριθμητική προσέγγιση της συμπεριφοράς ενός χαλύβδινου συνδέσμου Φ12 σε δράση βλήτρου (εγκάρσια διεύθυνση)	185
Σχήμα 8.12. Σύγκριση πειραματικής –αριθμητικής συμπεριφοράς για το δοκίμιο Bare-1	187
Σχήμα 8.13α. Σύγκριση πειραματικής –αριθμητικής συμπεριφοράς για το δοκίμιο Bare-11 υπό αρχική θλιπτική τάση 0,189 MPa.	188
Σχήμα 8.13β. Σύγκριση πειραματικής –αριθμητικής περιβάλλουσας για το δοκίμιο Bare-11 υπό αρχική θλιπτική τάση 0,189 MPa.	188
Σχήμα 8.14α. Σύγκριση πειραματικής –αριθμητικής συμπεριφοράς για το δοκίμιο Bare-10 υπό αρχική θλιπτική τάση 0,189 MPa.	189
Σχήμα 8.14β. Σύγκριση πειραματικής –αριθμητικής περιβάλλουσας για το δοκίμιο Bare-10 υπό αρχική θλιπτική τάση 0,189 MPa.	189
Σχήμα 8.15α. Σύγκριση πειραματικής –αριθμητικής συμπεριφοράς για το δοκίμιο Bare-21.....	190
υπό αρχική θλιπτική τάση 0,189 MPa.....	190
Σχήμα 8.15β. Σύγκριση πειραματικής –αριθμητικής περιβάλλουσας για το δοκίμιο Bare-21	190
υπό αρχική θλιπτική τάση 0,189 MPa.....	190
Σχήμα 8.16α. Σύγκριση πειραματικής –αριθμητικής συμπεριφοράς για το δοκίμιο Bare-22.....	191
υπό αρχική θλιπτική τάση 0,189 MPa.....	191
Σχήμα 8.16β. Σύγκριση πειραματικής –αριθμητικής περιβάλλουσας για το δοκίμιο Bare-22	191
υπό αρχική θλιπτική τάση 0,189 MPa.....	191
Σχήμα 8.17. Αναλυτική αριθμητική προσομοίωση του γυμνού ενισχυμένου πλαισίου	194
Σχήμα 8.18.....	194
α) Αναλυτική προσομοίωση πλαστικής άρθρωσης στα υποστυλώματα του αρχικού γυμνού πλαισίου,....	194
β) Αναλυτική προσομοίωση πλαστικής άρθρωσης στα υποστυλώματα του ενισχυμένου γυμνού πλαισίου	194
Σχήμα 8.19 α) Αριθμητική προσομοίωση του πλαισίου Γυμνό-1 β)Αριθμητική προσομοίωση μανδουωμένου πλαισίου Μανδ.Γυμνό-1α (το σύμβολο z υποδεικνύει την θέση της πλαστικής άρθρωσης του ζυγώματος)	195
Σχήμα 8.20. Σύγκριση πειραματικής-αριθμητικής συμπεριφοράς.....	195
υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση πλαισίου Γυμνό-1	195

Σχήμα 8.21. Σύγκριση πειραματικής-αριθμητικής συμπεριφοράς υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση του επισκευασμένου με μανδύα γυμνού πλαισίου (Δοκίμιο Μανδ.Γυμνό-1α)	196
Σχήμα 8.22. α) Δοκίμιο Εμφατνωμένο-1 (δες κεφάλαιο 7)	198
β) Αριθμητική προσομοίωση Δοκιμίου Εμφατνωμένο-1	198
Σχήμα 8.23 α) Δοκίμιο Εμφατνωμένο-2 (δες κεφάλαιο 7)	198
β) Αριθμητική προσομοίωση Δοκιμίου Εμφατνωμένο-2	198
Σχήμα 8.24 α) Δοκίμιο Εμφατνωμένο-2α (δες κεφάλαιο 7)	198
β) Αριθμητική προσομοίωση Δοκιμίου Εμφατνωμένο-2α	198
Σχήμα 8.25. Σύγκριση πειραματικής-αριθμητικής συμπεριφοράς	199
υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση πλαισίου Δοκίμιο Εμφατνωμένο-1	199
Σχήμα 8.26. Παραμορφωμένη κατάσταση εμφατνωμένου πλαισίου με αστοχία της αριθμητικής προσομοίωσης του εμφατνώματος πλαισίου Δοκίμιο Εμφατνωμένο-1	199
Σχήμα 8.27. Σύγκριση πειραματικής-αριθμητικής συμπεριφοράς	200
υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση του Δοκιμίου Εμφατνωμένο-2	200
Σχήμα 8.28 α) Αστοχία άοπλου εμφατνώματος του δοκιμίου Εμφατνωμένο-2, Καταναγκασμένη μετατόπιση στο ζύγωμα = 3,60mm, β) Αστοχία άοπλου εμφατνώματος του δοκιμίου Εμφατνωμένο-2, Καταναγκασμένη μετατόπιση στο ζύγωμα = 8,60mm.	201
Σχήμα 8.29α. Σύγκριση πειραματικής-αριθμητικής συμπεριφοράς υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση Δοκίμιο Εμφατνωμένο-2α για οριζόντιες καταναγκασμένες μετακινήσεις μέχρι $\pm 8\text{mm}$	201
Σχήμα 8.29β. Σύγκριση πειραματικής-αριθμητικής συμπεριφοράς υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση Δοκίμιο Εμφατνωμένο-2α για οριζόντιες καταναγκασμένες μετακινήσεις μέχρι $\pm 8\text{mm}$	202
Σχήμα 8.29γ. Σύγκριση πειραματικής-αριθμητικής συμπεριφοράς υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση Δοκίμιο Εμφατνωμένο-2α για οριζόντιες καταναγκασμένες μετακινήσεις μέχρι $\pm 8\text{mm}$	202
Σχήμα 8.30. α) Αστοχία άοπλου εμφατνώματος του δοκιμίου Εμφατνωμένο-2α, Καταναγκασμένη μετατόπιση στο ζύγωμα = 3,60mm, β) Αστοχία άοπλου εμφατνώματος του δοκιμίου Εμφατνωμένο-2α, Καταναγκασμένη μετατόπιση στο ζύγωμα = 8,60mm.	203
Σχήμα 8.31α. Κατανομή Τεμνουσών δυνάμεων στο περιβάλλον πλαίσιο	204
Σχήμα 8.31β. Αξονικές δυνάμεις στην διεπιφάνεια ζυγώματος πλαισίου (χωρίς χαλύβδινους συνδέσμους)	204
Σχήμα 8.31γ. Αξονικές δυνάμεις στην διεπιφάνεια αριστερού στύλου πλαισίου (χωρίς χαλύβδινους συνδέσμους)	204
Σχήμα 8.31δ. Αξονικές δυνάμεις στην διεπιφάνεια δεξιού στύλου πλαισίου (χωρίς χαλύβδινους συνδέσμους)	204
Σχήμα 8.32. Κατανομές των τάσεων εντός του εμφατνώματος για το δοκίμιο Εμφατνωμένο-1	205
Σχήμα 8.33 ^α . Κατανομή τεμνουσών δυνάμεων	206
Σχήμα 8.33β. Δοκός-Αξονικές δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων	206
Σχήμα 8.33γ. Δοκός-Εγκάρσιες δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων	206
Σχήμα 8.33δ. Αριστερό υποστύλωμα Αξονικές δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων	206
Σχήμα 8.33ε. Αριστερό υποστύλωμα Εγκάρσιες δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων	206
Σχήμα 8.33στ. Δεξιό υποστύλωμα Αξονικές δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων	207
Σχήμα 8.33ζ. Δεξιό υποστύλωμα Εγκάρσιες δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων	207
Σχήμα 8.34. Κατανομές των τάσεων εντός του εμφατνώματος για το δοκίμιο Εμφατνωμένο-2	208
Σχήμα 8.35 ^α . Κατανομή τεμνουσών δυνάμεων	208
Σχήμα 8.35β. Δοκός-Αξονικές δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων	209
Σχήμα 8.35γ. Δοκός-Εγκάρσιες δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων	209
Σχήμα 8.35δ. Αριστερό υποστύλωμα Αξονικές δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων	209
Σχήμα 8.35ε. Αριστερό υποστύλωμα Εγκάρσιες δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων	209
Σχήμα 8.35στ. Δεξιό υποστύλωμα Αξονικές δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων	209
Σχήμα 8.35ζ. Δεξιό υποστύλωμα Εγκάρσιες δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων	209
Σχήμα 8.36. Κατανομές των τάσεων εντός του εμφατνώματος για το δοκίμιο Εμφατνωμένο-2α	210

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα πολλά σχήματα επέμβασης – ενίσχυσης κτιριακών πλαισιακών κατασκευών από Ο/Σ, ειδικότερα αυτών που έχουν σχεδιαστεί με παλαιότερους κανονισμούς και ως εκ τούτου χρήζουν αναβάθμισης, αυτά που κυριαρχούν στην βιβλιογραφία και που αφενός δεν αναφέρονται σε κάποιο σύστημα προηγμένης τεχνολογίας (σεισμική μόνωση, αποσβεστήρες, κλπ.) αφετέρου μπορούν να υλοποιηθούν στις κτιριακές κατασκευές που κτίζονται στην Ελληνική επικράτεια είναι κυρίως τα ακόλουθα: [δες βιβλιογραφία 1, 10-14, 18-22, 25, 27, 38,57]

1. Εφαρμογή μανδυνών στα υποστυλώματα-δοκούς του ισογείου που επεκτείνονται καθ' ύψος και σε ανώτερους ορόφους.

2. Η κατασκευή μεταλλικών διαγωνίων με διάφορα σχήματα στο άνοιγμα των πλαισίων.

3. Η κατασκευή εμφαντωμάτων με βάση τις υπάρχουσες τοιχοπληρώσεις εντός των ανοιγμάτων των πλαισίων, μέσα από την επισκευή των τοιχοπληρώσεων αυτών με ενισχυμένα αμφίπλευρα επιχρίσματα ή την εφαρμογή σε αυτές λωρίδων από ινοπλισμένα πολυμερή.

4. Η κατασκευή εμφαντωμάτων Ο/Σ εντός των ανοιγμάτων των πλαισίων, όπως προβλέπεται και από τον Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.).

Η τελευταία τεχνική μπορεί να συνδυαστεί με αυτή των μανδυνών των δομικών στοιχείων του περιβάλλοντος πλαισίου που αναφέρθηκε ανωτέρω. Το πλεονέκτημα εδώ είναι ότι ο μεγαλύτερος βαθμός δυσκολίας εμφανίζεται στην κατασκευή των μανδυνών ενώ η προσθήκη των εμφαντωμάτων γίνεται σχετικά εύκολα [21]. Άλλοι λόγοι λειτουργικοί πιθανόν να εμποδίζουν αυτή την προσθήκη (ύπαρξη ανοιγμάτων για πόρτες και παράθυρα), που δεν εξετάζονται στην παρούσα διερεύνηση. Η προσθήκη εμφαντωμάτων μπορεί να προσδώσει σημαντική επαύξηση της δυσκαμψίας, της φέρουσας ικανότητας και της απορρόφησης ενέργειας, πέραν αυτής των μανδυνών, μέσα από την συνδυασμένη μετελαστική συμπεριφορά του συνόλου των μανδυνωμένων πλαισίων και εμφαντωμάτων συνδεδεμένων με αυτά. [22, 33, 34]

Ήδη από πρώτες ερευνητικές πειραματικές διερευνήσεις διαπιστώθηκαν αυτά τα πλεονεκτήματα. Πιο συγκεκριμένα οι Klingner και Bertero [15, 16] εξέτασαν την συμπεριφορά τριώροφων τοιχοπληρωμένων πλαισίων υπό οριζόντια ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Η εν λόγω εργασία όπως και αρκετές μεταγενέστερες αναφέρονται σε ενισχυμένες τοιχοπληρώσεις ως το μέσο που θα υλοποιήσει την εμφάντωση των ανοιγμάτων των πλαισίων. Στην περίπτωση αυτή συνήθως δεν επιχειρείται σύνδεση των πλαισίων με την τοιχοπλήρωση, αν και η προσπάθεια των Klingner και Bertero εξέτασε την ενισχυμένη τοιχοπλήρωση με μια τέτοια σύνδεση. Ο λόγος είναι ότι αυτό το σχήμα ενίσχυσης επιχειρείται σε υπάρχοντα πλαίσια και τοιχοπληρώσεις. Η κατάλληλη σύνδεσή των τοιχοπληρώσεων αυτών με τα περιβάλλοντα πλαίσια χωρίς εκτεταμένες εργασίες επέμβασης και καθαίρεσης είναι προβληματική. Οι Murty και Jain [24] μελέτησαν την ευνοϊκή επιρροή των τοιχοπληρώσεων στην σεισμική απόκριση πλαισίων Ο/Σ. Από τα πειραματικά αποτελέσματα προκύπτει ότι οι οπλισμένες τοιχοποιίες εμφανίζουν φέρουσα ικανότητα αυξημένη κατά 50% σε σχέση με την άοπλη τοιχοποιία. Όσο αφορά την ενέργεια απόσβεσης αυτή είναι κατά 22% μεγαλύτερη στα πλαίσια με την άοπλη τοιχοποιία σε σχέση με τα πλαίσια με οπλισμένη τοιχοποιία. Αυτό δικαιολογείται από το μικρό μήκος ολίσθησης στον οριζόντιο αρμό που αναπτύσσεται μεταξύ των κατακόρυφων οπλισμών της οπλισμένης τοιχοποιίας. Η συμπεριφορά πλαισίων Ο/Σ με ενισχυμένες τοιχοπληρώσεις εξετάστηκε ήδη διεξοδικά από την ερευνητική ομάδα της παρούσας πρότασης (Μάνος, Σούλης, Θαουάμπτα [18-20, 32, 35, 57]).

Για πλαίσια χωρίς τοιχοπληρώσεις, όπως αυτά στη πυλωτή ή σε αυτά που θα προκριθεί η καθαίρεση της τοιχοπλήρωσης πλεονεκτεί η λύση του σχήματος ενίσχυσης με μανδύες στα δομικά στοιχεία του περιβάλλοντος πλαισίου και εμφάντωμα από Ο/Σ με σύνδεσή του με το περιβάλλον πλαίσιο. Αυτό το σχήμα επέμβασης/ενίσχυσης διερευνάται στο παρόν έργο. Τέτοιο σχήμα ενίσχυσης έχει διερευνηθεί στο παρελθόν και από άλλους ερευνητές [3-6, 27-29, 36-38]. Εδώ η προτεινόμενη διερεύνηση εστιάζεται στους μηχανισμούς αλληλεπίδρασης των επί-μέρους τμημάτων του εν λόγω σχήματος ενίσχυσης, δηλαδή του περιβάλλοντος πλαισίου και του εμφαντώματος μέσω λεπτομερειών σύνδεσης. Σε αυτό το σημείο έχει πραγματοποιηθεί ερευνητική δουλειά από πολλούς ερευνητές [39-47]. Στον Ελλαδικό χώρο οι μορφές αστοχίας έχουν περιγραφεί [Σ. Η. Δρίτσος, «Ενισχύσεις / επισκευές κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα», Κ. Σπυράκος, «Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία»], είτε σε ότι αφορά στη δράση αγκυρίου είτε στη δράση βλήτρου.

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται η συνοπτική παρουσίαση του προβλήματος με μια προκαταρκτική διερεύνηση στους μηχανισμούς αλληλεπίδρασης των επί-μέρους τμημάτων του εν λόγω σχήματος ενίσχυσης, δηλαδή του περιβάλλοντος πλαισίου και του εμφαντώματος μέσω λεπτομερειών σύνδεσης συγκεκριμένων περιπτώσεων εμφάντωσης από αυτές που περιλαμβάνονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Γίνεται ταυτόχρονα σχετική σύνδεση με την πειραματική διερεύνηση που θα ακολουθήσει στην συνέχεια στα επόμενα κεφάλαια. Η

συνεργασία του δομικού στοιχείου του υπάρχοντος πλαισίου (αρχικού ή μανδουωμένου) με το νέο στοιχείο Ο/Σ (εμφάνωμα) που τοποθετείται ως ενίσχυση αποτελεί έναν πολύ σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει τόσο τον μηχανισμό αστοχίας όσο και την δυσκαμψία και την φέρουσα ικανότητα. Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται η παρουσίαση των δοκιμών των συνδέσεων τμημάτων εμφαντώματος με δοκό/τύλο του περιβάλλοντος πλαισίου και της φορτιστικής διαδικασίας που αυτά υποβάλλονται. Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων 24 δοκιμών τέτοιων συνδέσεων. Στο κεφάλαιο 4 γίνεται η αποτίμηση των πειραματικών αποτελεσμάτων και συγκρίνονται με προβλέψεις της συμπεριφορά κάνοντας χρήση συγκεκριμένων διατάξεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Στο κεφάλαιο 5 γίνεται μια σε βάθος ανελαστική αριθμητική διερεύνηση των δοκιμών του Κεφαλαίου 3 με στόχο την εξέταση της ευαισθησίας της συμπεριφοράς της σύνδεσης από παραμέτρους όπως η εκκεντρότητα της εγκάρσιας φόρτισης και η ταυτόχρονη επιβολή αξονικής δύναμης. Τέλος, στο Κεφάλαιο 6, γίνεται και πάλι η αξιοποίηση των αποτελεσμάτων του Κεφαλαίου 3 για την αποτίμηση της δυνατότητας μιας προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης να περιγράψει με αποδεκτό τρόπο την συμπεριφορά χαλύβδινων συνδέσμων σε δράση βλήτρου. Το σύνολο των αποτελεσμάτων των κεφαλαίων 3-6 ασχολείται διεξοδικά με την ποσοτικοποίηση της επί μέρους συμπεριφοράς των συνδέσεων με τρόπο που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα επόμενο στάδιο στην αριθμητική προσομοίωση της συνολικής συμπεριφοράς ενός δίστυλου-μονώροφου εμφαντωμένου πλαισίου (Κεφάλαιο 8).

Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 7 εξετάζεται η ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά γυμνών και εμφαντωμένων πλαισιακών δοκιμών σε κλίμακα 1/3. Η ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εξετάζεται σε όρους μεταβολής της δυσκαμψίας, της φέρουσας ικανότητας και της αποσβεσθείσας ενέργειας συναρτήσει της μεταβολής της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου. Ο εν λόγω στόχος διερευνάται εξετάζοντας την επιρροή που εξασκούν οι συνδέσεις του εμφαντώματος αφενός στις ως άνω σημαντικές παραμέτρους της απόκρισης αφετέρου στις μορφές αστοχίας που εμφανίζονται και να ερμηνεύσει την εν λόγω συμπεριφορά με βάση τις συμπεριφορές των επί-μέρους τμημάτων. Τα αποτελέσματα και του κεφαλαίου 7 θα χρησιμοποιηθούν επίσης στο επόμενο στάδιο στην αριθμητική προσομοίωση της συνολικής συμπεριφοράς ενός δίστυλου-μονώροφου εμφαντωμένου πλαισίου (Κεφάλαιο 8).

Μέσω του συνόλου της παρούσης διερεύνησης στοιχειοθετείται ποιοτικά η επιρροή του εμφαντώματος και το σύνδεσμών του με το περιβάλλον πλαίσιο στην μεταβολή της δυσκαμψίας, της φέρουσας ικανότητας και της αποσβεσθείσας ενέργειας κάτω από οριζόντιες ανακυκλιζόμενες “σεισμικού τύπου” φορτίσεις. Επιπρόσθετα, ο τρόπος αριθμητικής προσομοίωσης που χρησιμοποιείται, σε συνδυασμού με τα ποιοτικά και ποσοτικά γενικευμένα στοιχεία που δίδονται αναφορικά με την απόκριση των συνδέσεων εμφαντώματος-περιβάλλοντος πλαισίου, μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο στην προσέγγιση της συμπεριφοράς τέτοιου τύπου φορέων και στον σχεδιασμό της απόκρισής τους κάτω από σεισμικού τύπου φορτίσεις. Συνεπώς, μπορεί να αποτελέσουν το πλαίσιο για να περιγραφούν σχετικές κανονιστικές διατάξεις του κανονισμού των επεμβάσεων. Για τους λόγους αυτούς πιστεύεται ότι η παρούσα μελέτη θα διευρύνει το παρόν αντικείμενο και θα συμβάλλει στην εξέλιξη του εν λόγω κανονισμού [1, 10-13, 38].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Συμπερασματικές παρατηρήσεις.

- Οι χαλύβδινοι σύνδεσμοι μεταξύ του εμφαντώματος και των δομικών στοιχείων του περιβάλλοντος πλαισίου είναι σύνδεσμοι που αναπτύσσουν ταυτόχρονα λειτουργία «βλήτρου» και λειτουργία «αγκυρίου». Οι μορφές αστοχίας του περιβάλλοντος τον σύνδεσμο σκυροδέματος καλύπτονται από κανονιστικές διατάξεις που αφορούν είτε τις ελάχιστες αποστάσεις επικάλυψης του συνδέσμου από σκυρόδεμα είτε τα ελάχιστα μήκη έμπηξης-αγκύρωσης του συνδέσμου εντός του όγκου του σκυροδέματος (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. [45] παράγραφος 6.1.2.2β, σχήμα 6.6). Συνεπώς, οι μορφές αυτές της αστοχίας του περιβάλλοντος τον σύνδεσμο σκυροδέματος δεν αποτελούν παράμετρο της παρούσας διερεύνησης

- Η εκκεντρότητα εφαρμογής της εγκάρσιας-διατμητικής δύναμης που εφαρμόζεται κάθετα προς τον άξονα του συνδέσμου, μπορεί να προσδιοριστεί είτε στην πειραματική εξέταση (δες Κεφάλαιο 2) είτε στην αντίστοιχη αριθμητική προσομοίωση. Στην περίπτωση όμως της αλληλεπίδρασης εμφαντώματος περιβάλλοντος πλαισίου η τιμή της εκκεντρότητας αυτής δεν προσδιορίζεται εύκολα, όπως απαιτείται για να έχουν εφαρμογή οι αντίστοιχες διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. [45] παράγραφος 6.1.2.) για την εύρεση της φέρουσας ικανότητας «βλήτρου».

- Το αποτέλεσμα της εκκεντρότητας της εφαρμογής της εγκάρσιας-διατμητικής δύναμης, δηλαδή της δύναμης που εφαρμόζεται κάθετα προς τον άξονα του συνδέσμου (λειτουργία «βλήτρου»), είναι να αναπτυχθούν επιπρόσθετα στον σύνδεσμο δυνάμεις που εφαρμόζονται παράλληλα προς τον άξονα του

συνδέσμου (λειτουργία «αγκυρίου»). Δηλαδή έχει και πάλι εφαρμογή η προηγούμενη παρατήρηση 1, ότι οι σύνδεσμοι αυτοί αναπτύσσουν ταυτόχρονα λειτουργία «βλήτρου» και λειτουργία «αγκυρίου».

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο και 3^ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Συνοπτικές συμπερασματικές παρατηρήσεις για το σύνολο των πειραματικών αποτελεσμάτων.

- Η διατμητική συμπεριφορά όλων των συνδέσεων εμφαννώματος – μανδυωμένου στύλου/δοκού που εξετάστηκαν εμφανίζει τα εξής κοινά χαρακτηριστικά. Υπάρχει αρχικά μια σχετικά δύσκαμπτη απόκριση που αναφέρεται στον αρχικό κλάδο εγκάρσιας δύναμης – εγκάρσιας μετατόπισης πριν εμφανιστεί κάποια ένδειξη διατμητικής ρηγμάτωσης στην διεπιφάνεια εμφαννώματος – μανδυωμένου στύλου/δοκού.
- Στα δοκίμια που η σύνδεση αυτή δεν περιλαμβάνει χαλύβδινους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) η ανάπτυξη της διατμητικής ρηγμάτωσης συνοδεύεται από άμεση έναρξη του φθίνοντος κλάδου με συνεχή διεύρυνση της διατμητικής ρηγμάτωσης και εμφανείς βλάβες του σκυροδέματος στις περιοχές του εμφαννώματος και του μανδύα που γειτνιάζουν με την διεπιφάνεια σύνδεσης.
- Στα δοκίμια που η σύνδεση περιλαμβάνει χαλύβδινους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) η ανάπτυξη αυτής της πρώτης διατμητικής ρηγμάτωσης δεν συνοδεύεται από σημαντική μείωση της δυσκαμψίας ή πτώση της φέρουσας ικανότητας παραλαβής διατμητικού φορτίου.
- Στα δοκίμια που η σύνδεση περιλαμβάνει χαλύβδινους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) μια μετρήσιμη μείωση της δυσκαμψίας εμφανίζεται για αυξημένα μεγέθη διατμητικής μετακίνησης και συνοδεύεται σχετικά σύντομα από το μέγιστο διατμητικό φορτίο.
- Στα δοκίμια που η σύνδεση περιλαμβάνει χαλύβδινους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια), μετά το μέγιστο διατμητικό φορτίο αρχίζει ο φθίνων κλάδος που όμως χαρακτηρίζεται από υπολογίσιμη φέρουσα ικανότητα για διατμητικές μετακινήσεις πολλαπλάσιες της διατμητικής μετακίνησης που σημειώνεται το μέγιστο διατμητικό φορτίο (περίπου 3-7 φορές).
- Σε όλη την διάρκεια της αυτής της ανακυκλιζόμενης διατμητικής συμπεριφοράς, στα δοκίμια που η σύνδεση περιλαμβάνει χαλύβδινους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) καταναλώνονται σημαντικά ποσά υστερητικής ενέργειας που για τις σχετικά μεγάλες διαμέτρους συνδέσμων μπορεί να φθάσουν και περίπου 10 φορές την υστερητική ενέργεια της ανακυκλιζόμενης σύνδεσης χωρίς χαλύβδινους συνδέσμους στην διεπιφάνεια. Εκεί η κατανάλωση ενέργειας πραγματοποιείται μόνον μέσω του μηχανισμού τριβής-ολίσθησης.
- Ο αρχικός 2^{ος} και 3^{ος} τρόπος σύνδεσης εμφαννώματος και μανδυωμένου στύλου/δοκού που εξετάστηκαν δημιούργησαν πολύ γρήγορα βλάβες στον μανδύα και πρόωρη πτώση της φέρουσας ικανότητας αυτής της σύνδεσης γεγονός που υπογραμμίζει την σημασία της αποφυγής συνδέσεων που μπορεί να έχουν ανάλογα απευκταία αποτελέσματα. Οι κεντρικές συνδέσεις (βλητρώσεις-αγκυρώσεις) που εξετάστηκαν παρουσίασαν όλες ικανοποιητική συμπεριφορά. Ο βελτιωμένος 2^{ος} και 3^{ος} τρόπος σύνδεσης εμφαννώματος και μανδυωμένου στύλου/δοκού που εξετάστηκαν, συμπεριφέρθηκαν πολύ ικανοποιητικά. Παρόλα αυτά η σχετική λεπτομέρεια σύνδεσης είναι αρκετά πιο πολύπλοκη από τον κεντρικό τρόπο σύνδεσης.
- Η εφαρμογή ταυτόχρονα με την διατμητική ανακυκλιζόμενη εγκάρσια δύναμη μετακίνηση και διαφόρων επιπέδων ανακυκλιζόμενης αξονικής έντασης για τους συνδέσμους, έτσι όπως εφαρμόστηκε μαζί με την εκκεντρότητα των 20mm της φορτιστικής διάταξης, δεν είχε κάποια σημαντική επιρροή στις σημαντικές παραμέτρους του φαινομένου που εξετάστηκε, δηλαδή στην δυσκαμψία της αρχικής απόκρισης, στην μέγιστη φέρουσα ικανότητα και στα χαρακτηριστικά του φθίνοντος κλάδου.
- Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη φορτιστική ακολουθία είχε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ως προς την συχνότητα της ανακυκλιζόμενης διατμητικής απαίτησης (0.1Hz). Αναμένεται η αύξηση του συχνотικού περιεχομένου να είναι μάλλον ευνοϊκότερη επαυξάνοντας μάλλον την διατμητική φέρουσα ικανότητα παρά το αντίθετο, αλλά αυτός είναι ένας παράγων που θα πρέπει να τεκμηριωθεί διεξοδικά στο μέλλον.
- Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι οι εν λόγω συμπερασματικές παρατηρήσεις αφορούν τις συγκεκριμένες συνθήκες της πειραματικής ακολουθίας. Δηλαδή ποιότητα σκυροδέματος C20, και χαλύβδινους συνδέσμους με νευρώσεις πραγματικού ορίου διαρροής $f_y^{act} = 570$ Mpa. Αγκύρωση των χαλύβδινων συνδέσμων σε ικανό βάθος και αποτροπή του σεναρίου της εξόλεκευσής τους. Για όλα τα βλήτρα χρησιμοποιήθηκε για την αγκύρωσή τους η ρητίνη “Anchor Fix Sika”. Τήρηση όλων των ελάχιστων αποστάσεων ενός συνδέσμου (βλήτρου-αγκυρίου) από τα όρια, όπως ορίζονται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. και αποτροπή των σεναρίων θραύσης τμημάτων του γειτνιάζοντος όγκου σκυροδέματος (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. [45] παράγραφος 6.1.2.2β, σχήμα 6.6). Χαλύβδini σύνδεσμοι Ø8, Ø10, Ø12, και Ø14 δηλαδή με μέγιστη διάμετρο 14mm. Αντίστοιχα ποσοστά οπλισμού που κυμαίνονται από 0.19% (2 Ø8) έως 1.18% (4 Ø14).

- Στα δοκίμια που η σύνδεση περιλαμβάνει χαλύβδινους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) αναπτύχθηκαν σημαντικές μέγιστες φέρουσες ικανότητες στην παραλαβή εγκάρσιων φορτίσεων που κυμαίνονται από 129KN για 2 χαλύβδινους συνδέσμους 2 Ø8 έως 350KN για τέσσερις χαλύβδινους συνδέσμους 4 Ø14. Όλες οι συμπερασματικές παρατηρήσεις που διατυπώνονται εδώ για την διατμητική συμπεριφορά των συνδέσεων εμφαννώματος – μανδουμένων στύλων / δοκών θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια για να συγκριθούν με αντίστοιχες εμπειρικές σχέσεις για τον υπολογισμό της διατμητικής αντίστασης τέτοιου τύπου σύνδεσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ (ΒΛΗΤΡΩΝ-ΑΓΚΥΡΙΩΝ)

Συνοπτικές συμπερασματικές παρατηρήσεις

- Αποτέλεσμα των συγκρίσεων των πειραματικών αποτελεσμάτων με τις προβλέψεις των σχετικών διατάξεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. παράγραφος 6.1.2), είναι ότι υπάρχει μεγάλος βαθμός συντηρητισμού στις προτεινόμενες από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. τιμές της φέρουσας ικανότητας σε δράση βλήτρου, για την σύνδεση εμφαννώματος και τμήματος μανδουμένου υποστολώματος / δοκού του περιβάλλοντος πλαισίου (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. παράγραφος 6.1.2, σχέση 6.8). Ο συντηρητισμός αυτός είναι ιδιαίτερα αυξημένος στην περίπτωση συνυπολογισμού μειωτικών συντελεστών για την εκκεντρότητα εφαρμογής της εγκάρσιας φόρτισης (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. παράγραφος 6.1.2, σχέση 6.7). και της ανακυκλίζουσας φύσης της φόρτισης (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. παράγραφος 6.1.2, σχέση 6.9).

- Συγκρίσεις αναφορικά με την φέρουσα διατμητική ικανότητα των βλήτρων με την ταυτόχρονη λειτουργία αγκυρίου, δηλαδή ταυτόχρονη εφαρμογή εγκάρσιας και αξονικής δύναμης στους χαλύβδινους συνδέσμους, υποδεικνύουν ότι η πρόβλεψη της φέρουσας ικανότητας μέσω της χρήσης της σχετικής σχέσης του ΚΑΝ.ΕΠΕ (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. παράγραφος 6.1.2, σχέση 6.10). για διδιάστατη καταπόνηση, δεν έχει τον πολύ μεγάλο συντηρητισμό που υπεισέρχεται στην αντιμετώπιση της εκκεντρότητας από την σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ σε αποκλειστικά δράση βλήτρου (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. παράγραφος 6.1.2, σχέση 6.7). Η ισχύς του συμπεράσματος αυτού είναι για επίπεδα ταυτόχρονης αξονικής δύναμης άμεσα και έμεσα (λόγω εκκεντρότητας) που εφαρμόστηκαν στα δοκίμια του παρόντος ερευνητικού έργου.

- Γίνεται προφανές με βάση τα προηγούμενα η ανάγκη ύπαρξης αξιόπιστου τρόπου υπολογισμού της αξονικής έντασης που αναπτύσσεται στους συνδέσμους ταυτόχρονα με την εγκάρσια φόρτιση ώστε με αυτόν τον τρόπο να περιβληθεί ταυτόχρονα και η επιρροή τυχόν εκκεντροτήτων στην επιβολή της εγκάρσιας φόρτισης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΜΦΑΤΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΕ ΥΠΑΡΧΟΝ ΠΛΑΙΣΙΟ

Συνοπτικές συμπερασματικές παρατηρήσεις

- Η αριθμητικά προβλεπόμενη μορφή αστοχίας για την εγκάρσια φόρτιση είναι η διάρρηξη και ολίσθηση της διεπιφάνειας σύνδεσης εμφαννώματος-στύλου/δοκού και η λειτουργία των συνδέσμων σε κυρίαρχη δράση βλήτρου για μικρές εκκεντρότητες της εγκάρσιας φόρτισης ή δράση βλήτρου και αγκυρίου για μεγάλες εκκεντρότητες της εγκάρσιας φόρτισης ή μέση εκκεντρότητα και μεγάλη αξονική φόρτιση ταυτόχρονα με την εγκάρσια φόρτιση. Η λειτουργία αυτή παρατηρήθηκε στην πειραματική ακολουθία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 3 και οδήγησε σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις μαζί με την διάρρηξη της διεπιφάνειας σε διαρροή και θραύση των χαλύβδινων συνδέσμων όπως προβλέφθηκε και από την παρούσα τριδιάστατη αριθμητική προσομοίωση. Αυτή η μορφή οριακής κατάστασης των συνδέσμων είναι διάφορη της καθαρής διάτμησης μια και στην περιοχή της διεπιφάνειας μετά την διάρρηξή της αναπτύσσεται μια σύνθετη καμπτο-διατμητική συμπεριφορά που εξαρτάται από τις συνθήκες μονόπλευρης επαφής – σύνθλιψης του όγκου του

- Η μεταβολή της εκκεντρότητας επηρεάζει σε κάποιο ποσοστό (μέχρι 30% για εκκεντρότητα 80mm) την μέγιστη φέρουσα ικανότητα σε δράση βλήτρου. Επίσης συνάγεται ότι, η τυχόν ύπαρξη αξονικής φόρτισης (εφελκυσμού ή θλίψης στο εύρος των 80KN που διερευνήθηκε) ταυτόχρονα με την εγκάρσια φόρτιση, έχει σχετικά μικρή επιρροή στην απόκριση βλήτρου-αγκυρίου. Αυτό συμβαίνει, επειδή, για την περίπτωση ύπαρξης σημαντικής εκκεντρότητας ($e=80\text{ mm}$), οι εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται στους συνδέσμους εξ αυτού του λόγου είναι σημαντικά υψηλότερες από τις αντίστοιχες ορθές τάσεις λόγω ύπαρξης αξονικής φόρτισης θλίψης ή εφελκυσμού 80 kN. Ως εκ τούτου η επιρροή ύπαρξης ταυτόχρονου αξονικού φορτίου στην περίπτωση αυτή δεν είναι σημαντική. Αντίθετα, για την περίπτωση αμελητέας εκκεντρότητας δεν δημιουργούνται σημαντικές ορθές τάσεις λόγω εκκεντρότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΣΧΕΣΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΝΟΣ ΧΑΛΥΒΔΙΝΟΥ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΣΕ ΔΡΑΣΗ ΒΛΗΤΡΟΥ

Συνοπτικές συμπερασματικές παρατηρήσεις

- Από την σύγκριση των αποτελεσμάτων της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης με τα αντίστοιχα πειραματικά αποτελέσματα για έναν χαλύβδινο σύνδεσμο με διαμέτρους Ø8, Ø10, Ø12 ή Ø14 οι προβλέψεις της φέρουσας ικανότητας σε δράση βλήτρου αποτελούν μια ικανοποιητική προσέγγιση της μετρημένης πειραματικής συμπεριφοράς. Η προτεινόμενη εμπειρική σχέση καλύπτει με ικανοποιητικό τρόπο την πτώση της φέρουσας ικανότητας από τις επάλληλες ανακυκλήσεις της φόρτισης αφού στην πλειοψηφία τους τα πειραματικά αποτελέσματα είναι μεγαλύτερα από τις προβλέψεις της εμπειρικής σχέσης. Σε λίγες περιπτώσεις οι τιμές των περιβαλλουσών «κάτω ορίου» των πειραματικών αποτελεσμάτων είναι λίγο μικρότερες από τις προβλέψεις της εμπειρικής σχέσης για σχετικά μεγάλες εγκάρσιες μετακινήσεις.

Συνεπώς, οι προβλέψεις της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης θα πρέπει να θεωρούνται ως ασφαλείς για την περιγραφή της ανακυκλιζόμενης συμπεριφοράς χαλύβδινων συνδέσμων σε δράση βλήτρου με τον όρο ότι καλύπτονται όλες οι προϋποθέσεις αναφορικά με την αποτροπή άλλων μορφών αστοχίας που θα επέφεραν δραστική πτώση της φέρουσας ικανότητας. Επιπρόσθετα, όπως ήδη αναφέρθηκε, το πεδίο ισχύος της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης είναι το περιβάλλον που αντιστοιχεί στις συνθήκες που εκτελέσθηκε η πειραματική ακολουθία.

Επιπρόσθετα σημειώνονται και τα εξής.

α1. Η δυσκαμψία του αρχικού κλάδου της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης είναι παραπλήσια με την αντίστοιχη της σχέσης του ΚΑΝ.ΕΠΕ. ([45], παράγραφος 6.1.1.2δ). Όπως έχει ήδη αναφερθεί προηγουμένως η δυσκαμψία αυτή συγκρίνεται επίσης ικανοποιητικά με τις πειραματικές τιμές.

β1. Ο συντηρητισμός στην φέρουσα ικανότητα σε δράση βλήτρου της σχέσης του ΚΑΝ.ΕΠΕ. ([45], παράγραφος 6.1.2) γίνεται και πάλι φανερός λαμβανομένου υπόψη ότι, βάση του προηγηθέντος σχολιασμού, η προτεινόμενη εμπειρική σχέση καλύπτει με ικανοποιητικό τρόπο την πτώση της φέρουσας ικανότητας από τις επάλληλες ανακυκλήσεις της φόρτισης αφού στην πλειοψηφία τους τα πειραματικά αποτελέσματα είναι μεγαλύτερα από τις προβλέψεις της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης.

γ1. Το ανωτέρω σχόλιο είναι επίσης σύμφωνο με τον αντίστοιχο σχετικό σχολιασμό του κεφαλαίου 4 ως προς τον συντηρητισμό των προβλέψεων των σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

δ1. Η σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ ([45], παράγραφος 6.1.1.2δ). δεν προβλέπει την πλάστιμη μεταλαστική συμπεριφορά στην δράση βλήτρου που παρατηρήθηκε πειραματικά και ενσωματώθηκε στην προτεινόμενη εμπειρική σχέση. Η μεταλαστική αυτή συμπεριφορά, μπορεί να είναι «χρήσιμη» στην αποδοτική απόκριση των χαλύβδινων συνδέσμων στον αντισεισμικό σχεδιασμό των εμφατνωμένων πλαισίων. Όπως καταδεικνύεται από την παρούσα πειραματική ακολουθία, μέσω αυτής της ανελαστικής συμπεριφοράς καταναλώθηκε μέχρι και είκοσι (20) φορές περισσότερη ενέργεια κατά την ανακυκλιζόμενη φόρτιση μέσω κυρίως των χαλύβδινων συνδέσμων από ότι στα δοκίμια χωρίς τέτοιους συνδέσμους.

Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι οι εν λόγω συγκρίσεις αφορούν τις συγκεκριμένες συνθήκες της πειραματικής ακολουθίας που ήδη έχουν αναφερθεί αλλά επαναλαμβάνονται εδώ συνοπτικά.

- Ποιότητα σκυροδέματος C20, και χαλύβδινους συνδέσμους με νευρώσεις πραγματικού ορίου διαρροής $f_y^{act} = 570 \text{ Mpa}$.

- Ακύρωση των χαλύβδινων συνδέσμων σε ικανό βάθος και αποτροπή του σεναρίου της εξόλεκευσής τους.

- Τήρηση όλων των ελάχιστων αποστάσεων ενός συνδέσμου (βλήτρου-αγκυρίου) από τα όρια, όπως ορίζονται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. [45] παράγραφος 6.1.2.2β, σχήμα 6.6). και αποτροπή των σεναρίων θραύσης τμημάτων του γειτνιάζοντος όγκου σκυροδέματος.

- Χαλύβδini σύνδεσμοι Ø8, Ø10, Ø12, και Ø14 δηλαδή με μέγιστη διάμετρο 14mm. Αντίστοιχα ποσοστά οπλισμού που κυμαίνονται από 0.19% (2 Ø8) έως 1.18% (2 Ø14)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΙΣΤΥΛΩΝ-ΜΟΝΩΡΩΦΩΝ ΕΜΦΑΤΝΩΜΕΝΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΣΕ ΚΛΙΜΑΚΑ 1:3 ΠΟΥ ΥΠΟΒΑΛΛΟΝΤΑΙ ΣΕ ΑΝΑΚΥΚΛΙΖΟΜΕΝΗ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ ΦΟΡΤΙΣΗ.

Συμπερασματικές παρατηρήσεις

- Η κατασκευή μανδύων στο δοκίμιο γυμνού πλαισίου που εξετάσθηκε είχαν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της δυσκαμψίας από 2KN/mm σε 6.0KN/mm. Η δυσκαμψία των γυμνών πλαισίων με μανδύα επανέρχεται στα επίπεδα πριν από την μανδύωση στο τέλος της ανακυκλιζόμενης φορτιστικής ακολουθίας με μέγιστες τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου της τάξεως του 2%.

- Η κατασκευή μανδύων στο δοκίμιο γυμνού πλαισίου που εξετάστηκε είχαν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της φέρουσας ικανότητας από 11KN σε 55KN. Η φέρουσα ικανότητα των γυμνών πλαισίων με μανδύα διατηρήθηκε στα επίπεδα αυτά μετά από μια μεγάλη σειρά από ανακυκλιζόμενες φορτίσεις. Οι μέγιστες τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου ήταν της τάξεως του 3%. Οι βλάβες που αναπτύχθηκαν ήταν τυπικές βλάβες στις δοκούς και στους στύλους με την μορφή πλαστικών αρθρώσεων κοντά στους κόμβους.

- Λόγω των σχετικά μικρών τιμών της δυσκαμψίας και της φέρουσας ικανότητας επιχειρήθηκε η αύξησή τους μέσω της επισκευαστικής τεχνικής της εμφάντωσης. Η εμφάντωση που επιχειρήθηκε ήταν αρχικά αυτή της απλής προσθήκης χωρίς σύνδεση του εμφαντώματος με το περιβάλλον πλαίσιο. Η προσθήκη του άοπλου εμφαντώματος πάχους 50mm, παρά την απουσία σύνδεσής του με το περιβάλλον πλαίσιο, είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση της δυσκαμψίας από 2.0KN/mm σε 12.0KN/mm και την αύξηση της φέρουσας ικανότητας από 11KN σε 124KN. Στην περίπτωση αυτή, το εμφαντόμενο αυτό πλαίσιο δεν παρουσίασε σημαντικές πτωτικές τάσεις της φέρουσας ικανότητάς του για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου της τάξεως του 1.4%. Για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου μεγαλύτερες του 1.4% η πτώση της φέρουσας ικανότητας ήταν πολύ σημαντική.

- Επιπρόσθετα εμφανίστηκαν στην διεπιφάνεια εμφαντώματος - πλαισίου μεγάλες σχετικές μετακινήσεις-αποκολλήσεις που θέτουν το θέμα της συνολικής αποκόλλησης του εμφαντώματος από το περιβάλλον πλαίσιο.

- Η προσθήκη του άοπλου εμφαντώματος πάχους 50mm, με την παρουσία σύνδεσής του με το περιβάλλον πλαίσιο μέσω χαλύβδινων συνδέσμων (αγκυρίων-βλήτρων), έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της δυσκαμψίας από 12.0KN/mm (χωρίς συνδέσμους) σε 70.0KN/mm και σε αύξηση της φέρουσας ικανότητας από 124KN (χωρίς συνδέσμους) σε 338KN. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου μεγαλύτερες του 0.7% παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη πτώση της φέρουσας ικανότητας και της δυσκαμψίας. Δηλαδή, για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου της τάξεως του 1.4% η πτώση της φέρουσας ικανότητας είναι περίπου 70% και της δυσκαμψίας είναι περίπου 400%. Αυτό οφείλεται αφενός στην σχετικά πρόωρη ρηγμάτωση του εμφαντώματος αφετέρου σε τοπικές αστοχίες στην περιοχή των χαλύβδινων συνδέσμων. Και οι δύο μορφές αστοχίας θα πρέπει να αποδοθούν στη απουσία κατανομημένης όπλισης του εμφαντώματος.

- Η παρουσία εμφαντώματος από μερικώς οπλισμένο σκυρόδεμα (σχάρα Φ4/85mm) συνδεδεμένο με χαλύβδινους συνδέσμους περιμετρικά είχε ως αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση τόσο της δυσκαμψίας όσο και της φέρουσας ικανότητας. Έτσι η δυσκαμψία από 6KN/mm (γυμνό με μανδύες) σχεδόν δεκαπλασιάστηκε σε 60KN/mm. Η φέρουσα ικανότητα από 55KN (γυμνό με μανδύες) σχεδόν οκταπλασιάστηκε σε 410KN. Αν οι συγκρίσεις γίνουν με τον αρχικό εύκαμπτο και σχετικά μικρής φέρουσας ικανότητας φορέα η αύξηση που επιτεύχθηκε είναι πολύ μεγάλη (30 φορές για την δυσκαμψία και 80 φορές για την φέρουσα ικανότητα). Γίνεται λοιπόν προφανής η αποτελεσματικότητα αυτού του τρόπου επισκευής.

- Η ταυτόχρονη παρουσία χαλύβδινων συνδέσμων (του εμφαντώματος με το περιβάλλον πλαίσιο) και κατανομημένου οπλισμού στο εμφάντωμα είχε ως αποτέλεσμα να διατηρηθεί αυτή η σημαντική αύξηση στην φέρουσα ικανότητα για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου της τάξεως του 3%. Συνεπώς, με τις ανωτέρω προϋποθέσεις, δηλαδή αφενός της κατάλληλης σύνδεσης του εμφαντώματος με το μανδουωμένο πλαίσιο και αφετέρου της αποφυγής πρόωρης αστοχίας του εμφαντώματος μέσω όπλισης, η συμπεριφορά του εμφαντωμένου μανδουωμένου πλαισίου σε σχέση με το αρχικό, όπως στοιχειοθετείται από τις πειραματικές μετρήσεις, μπορεί να εμφανίσει την επιθυμητή αύξηση δυσκαμψίας και φέρουσας ικανότητας συνοδευόμενη από κύκλους υστέρησης για τέτοιες τιμές ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου που να καταναλώνουν σημαντικές ποσότητες ενέργειας.

- Οι βλάβες που εμφανίστηκαν στα δοκίμια εμφαντωμένων πλαισίων που εξετάστηκαν ήταν για μεν το περιβάλλον πλαίσιο παρόμοιες με αυτές των γυμνών πλαισίων. Δηλαδή, πλαστικές αρθρώσεις στη δοκό και στους στύλους στην περιοχή των κόμβων. Στην κατασκευή των μανδύων ακολουθήθηκε τρόπος όπλισης για την αποφυγή διατμητικής αστοχίας στα δομικά στοιχεία των πλαισίων. Επιπρόσθετα, πρόσθετα μέτρα λήφθηκαν για την αποφυγή αστοχιών στους κόμβους.

- Για το εμφάντωμα, η όπλιση με σχάρα Φ4/85mm συνετέλεσε στην αποφυγή της πρόωξης αστοχίας και στην δημιουργία ρηγματώσεων σχετικά μικρού εύρους. Η βλήτρωση που ακολουθήθηκε στάθηκε ικανή να συνδέσει μάλλον ικανοποιητικά το οπλισμένο εμφάντωμα με το περιβάλλον πλαίσιο. Παρόλα αυτά για σχετικά μεγάλες τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου της τάξεως του 5% οι βλάβες στο εμφάντωμα ήταν σημαντικές τόσο στο εσωτερικό του όσο και στην περιοχή των συνδέσεων ιδιαίτερα κοντά στους κόμβους του μανδουωμένου πλαισίου. Η πτώση της φέρουσας ικανότητας συνοδεύτηκε με διεύρυνση των ρηγματώσεων και με εμφάνιση θραύσης του σκυροδέματος στην περιοχή των βλήτρων.

Στο τελικό στάδιο της μεγάλης ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου (της τάξεως το 5.0%), τόσο οι διαγώνιες ρηγματώσεις όσο και η θραύση του σκυροδέματος στην περιοχή των συνδέσεων διευρύνθηκαν και συνοδεύτηκαν με μερική θραύση των οπλισμών της σχάρας κοντά στις συνδέσεις και θραύση σχετικά ευρέων περιοχών του εμφανώματος στις περιοχές σύνδεσης με το περιβάλλον πλαίσιο, ειδικά στις τέσσερις γωνίες.

- Η κατασκευή του μανδύα στο αρχικό γυμνό πλαίσιο του προσδίδει άμεσα την δυνατότητα επαύξησης της κατανάλωσης ενέργειας σχετικά με το αρχικό γυμνό πλαίσιο (περίπου 6 φορές). Για τα μανδουωμένα γυμνά πλαίσια η προσθήκη του οπλισμένου εμφανώματος με σύνδεση με το περιβάλλον πλαίσιο είχε σαν αποτέλεσμα την πολύ σημαντική επαύξηση της κατανάλωσης ενέργειας (10.75 φορές) σε σχέση με το αντίστοιχο γυμνό πλαίσιο. Στο εν λόγω εμφανωμένο πλαίσιο με μανδύες σημειώνεται μια επαύξηση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 51 φορές συγκριτικά με το αρχικό γυμνό πλαίσιο χωρίς μανδύες.

Παρά τις μεγάλες σχετικές μετακινήσεις του εμφανώματος από το περιβάλλον πλαίσιο δεν δημιουργήθηκε σε καμιά περίπτωση κίνδυνος εκτός επιπέδου πτώσης του εμφανώματος για σεισμικές δυνάμεις κάθετες προς το επίπεδό του λόγω τις ύπαρξης των συνδέσεων και του οπλισμού του εμφανώματος.

Συμπερασματικά μπορούν να διατυπωθούν τα εξής που συσχετίζονται με το σχετικό κείμενο της παραγράφου 8.5 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.:

Η σύνδεση του εμφανώματος με το περιβάλλον πλαίσιο με τους κατάλληλους συνδέσμους με ταυτόχρονη κατάλληλη κατανεμημένη όπλιση του εμφανώματος μπορεί να επιφέρει σημαντική αύξηση της δυσκαμψίας και της φέρουσα ικανότητας και ενός γυμνού πλαισίου για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου μέχρι και 3% με ταυτόχρονη κατανάλωση σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας πλαστικών παραμορφώσεων.

Σημαντικές παράμετροι στον σχεδιασμό μιας τέτοιας λύσης επισκευής είναι:

- Η διατήρηση της αποτελεσματικότητας των χαλύβδινων συνδέσμων και η αποτροπή σεναρίων εξόλκευσής τους ή τοπικής θραύσης του σκυροδέματος που τους περιβάλλει, μέσω των κατασκευαστικών διατάξεων που περιλαμβάνονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. [45] παράγραφος 6.1.2.2β, σχήμα 6.6).

Είναι επιθυμητή η απόκριση αυτών των χαλύβδινων συνδέσμων σε δράσεις βλήτρου με ικανή μετελαστική συμπεριφορά σε ανακυκλιζόμενες φορτίσεις, όπως εξετάστηκε στα κεφάλαια 1-6.

- Η κατασκευή του εμφανώματος με σκυρόδεμα ικανής θλιπτικής αντοχής και κατανεμημένο οπλισμό ώστε να αποτραπούν σενάρια πρόωρης διατμητικής αστοχίας ή σύνθλιψης των περιοχών κοντά στους κόμβους.

- Με την βοήθεια των κατάλληλων κατασκευαστικών λεπτομερειών να γίνει η αποτροπή τοπικών αστοχιών στις θέσεις μεταφοράς δυνάμεων μεταξύ του εμφανώματος και του περιβάλλοντος πλαισίου και ειδικότερα στην περιοχή των χαλύβδινων συνδέσμων.

- Η εκτίμηση των ανωτέρω μπορεί να γίνει μέσω προσομοιώσεων που περιλαμβάνουν την αλληλεπίδραση εμφανώματος πλαισίου, όπως αυτή που επιχειρείται στο επόμενο κεφάλαιο 8.

- Η λύση της απλής προσθήκης-εμφάντωσης (χωρίς σύνδεση με το περιβάλλον πλαίσιο) δεν ενδείκνυται αφενός γιατί η αύξηση της φέρουσας ικανότητας και δυσκαμψίας που επιτυγχάνεται μπορεί να διατηρηθεί για μικρές τιμές της ανηγμένης πλευρικής παραμόρφωσης του ορόφου αφετέρου δημιουργεί στενές ζώνες μονόπλευρης επαφής εμφανώματος – περιβάλλοντος πλαισίου με την δημιουργία περιοχών μεγάλης έντασης τόσο στο τοίχωμα όσο και στο περιβάλλον πλαίσιο με κίνδυνο πρόωρων τοπικών αστοχιών.

- Η απουσία χαλύβδινων συνδέσμων μεταξύ περιβάλλοντος πλαισίου και εμφανώματος ενέχει επιπρόσθετα τον κίνδυνο συνολικής αποκόλλησης του εμφανώματος, ειδικότερα με την θεώρηση της σεισμικής κίνησης με δύο οριζόντιες συνιστώσες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.

Συμπεράσματα αναφορικά με την αριθμητική προσομοίωση της συμπεριφοράς των εμφανωμένων πλαισίων:

1- Η αριθμητική προσομοίωση του εμφανωμένου γυμνού πλαισίου με άοπλο εμφάντωμα χωρίς συνδέσεις με το περιβάλλον πλαίσιο (Εμφανωμένο-1) προβλέπει επιτυχώς την φέρουσα ικανότητα και τον μηχανισμό αστοχίας που παρατηρείται πειραματικά.

2- Η αριθμητική προσομοίωση των εμφανωμένων πλαισίων Εμφανωμένο-2 (άοπλο εμφάντωμα με συνδέσεις) και Εμφανωμένο-2^α (οπλισμένο εμφάντωμα με συνδέσεις) προβλέπει ικανοποιητικά την φέρουσα ικανότητα που παρατηρείται πειραματικά. Με τον τρόπο αυτό η αριθμητική προσομοίωση που

επιχειρήθηκε προσεγγίζει με ρεαλιστικό τρόπο την επιρροή του εμφανώματος και των συνδέσεων στην μεταβολή της φέρουσας ικανότητας αυτής της μορφής των εμφανωμένων πλαισίων. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι όλες οι αριθμητικές προβλέψεις που επιχειρήθηκαν έγιναν με «τυφλό» τρόπο, δηλαδή με βάσει μετρημένες ιδιότητες των υλικών και μετρημένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των φορέων και των διατομών χωρίς καμιά προσπάθεια επί-μέρους αλλαγών μετά την πρώτη σύγκριση που να συντελέσουν στην καλύτερη δυνατή σύγκριση πειραματικών και αριθμητικών αποτελεσμάτων.

3- Ομοίως, για όλα τα εμφανωμένα δοκίμια που προσομοιώθηκαν αριθμητικά και μελετήθηκαν πειραματικά, μέσω της σχετικά καλής συμφωνία μεταξύ της αριθμητικής και της μετρηθείσας συμπεριφοράς στους αρχικούς κύκλους, γίνεται μια καλή πρόβλεψη της δυσκαμψίας του εμφανωμένου φορέα και της μεταβολής της στους αρχικούς κύκλους.

4- Η προτεινόμενη αριθμητική προσομοίωση των εμφανωμένων πλαισίων με προσομοίωση των συνδέσεων με βλήτρα του εμφανώματος με το περιβάλλον πλαίσιο υπερεκτιμά την αναλωθείσα ενέργεια κατά την ανακύκλιση από την αριθμητική μέσω των σχετικά διευρυμένων κύκλων υστέρησης. Αυτό παρατηρήθηκε επίσης και στην προσπάθεια αριθμητικής προσομοίωσης της διατμητικής συμπεριφοράς των δοκιμίων των συνδέσεων εμφανώματος μανδουμένων στύλων. Για αυτό τον λόγο η επιχειρηθείσα αριθμητική προσομοίωση κυρίως των συνδέσεων χρειάζεται περαιτέρω βελτίωση ως προς αυτό το αποτέλεσμα. Θα πρέπει να σημειωθεί και εδώ ότι υιοθετήθηκε, για την αριθμητική προσομοίωση της συμπεριφοράς των συγκεκριμένων δοκιμίων του κεφαλαίου 3, το τρι-γραμμικό μοντέλο που καθορίζει την συμπεριφορά των χαλύβδινων συνδέσμων να προσεγγίζει την συμπεριφορά του άνω ορίου των περιβαλλουσών καμπύλων του σχήματος 3.56. Δεν έγινε καμιά προσπάθεια ώστε το εν λόγω τρι-γραμμικό μοντέλο να μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά του ώστε να προσεγγίζει και το κάτω όριο των περιβαλλουσών καμπύλων του σχήματος 3.56 εξαρτώμενο από τον αριθμό των κύκλων της ανακυκλιζόμενης φόρτισης. Συνεπώς, η πτωτική αυτή πορεία της φέρουσας ικανότητας των δοκιμίων του κεφαλαίου 3, λόγω των επάλληλων κύκλων της ανακυκλιζόμενης φόρτισης δεν προσομοιώνεται αριθμητικά με πολύ ικανοποιητική προσέγγιση.

5- Η αριθμητική προσομοίωση που διερευνήθηκε περιλαμβάνει τους εξής βασικούς ανελαστικούς μηχανισμούς. Το εμφάνωμα έχει την δυνατότητα εμφάνισης διατμητικού τύπου αστοχίας ή θλιπτικού τύπου αστοχίας. Η διεπιφάνεια σύνδεσης του εμφανώματος με το περιβάλλον πλαίσιο με ή χωρίς την ύπαρξη των χαλύβδινων συνδέσμων (βλήτρων αγκυρίων) έχει την δυνατότητα σύνθετης μετελαστικής συμπεριφοράς τριβής-ολίσθησης, αποκόλλησης και ανελαστικής συμπεριφοράς των συνδέσμων σε δράση βλήτρου ή αγκυρίου. Προβλέπει την ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων στις θέσεις κεφαλή / πόδας στύλων και παρειές δοκών στους κόμβους δοκού-στύλου. Οι εν λόγω μορφές αστοχίας που παρατηρήθηκαν κατά την διάρκεια της πειραματικής ακολουθίας προσεγγίστηκαν αριθμητικά αρκετά ικανοποιητικά.

Τα συμπεράσματα 1, 2, 3 και 5 συνηγορούν στο ότι η αριθμητική προσομοίωση που διερευνήθηκε μπορεί να υιοθετηθεί για την ρεαλιστική εκτίμηση της αλληλεπίδρασης περιβάλλοντος πλαισίου - εμφανώματος ώστε να χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό των μεγεθών έντασης για τον σχεδιασμό μιας τέτοιας μορφής επέμβασης, όπως προτείνεται στην παράγραφο 8.5 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.. Τα μεγέθη αυτά είναι οι δυνάμεις των χαλύβδινων συνδέσμων, τα εντατικά μεγέθη των μανδουμένων δομικών στοιχείων του περιβάλλοντος πλαισίου και τα εντατικά μεγέθη του εμφανώματος.

Δεν συμπεριλαμβάνονται στην αριθμητική προσομοίωση σενάρια εξόλκευσης των χαλύβδινων συνδέσμων ή θραύση του σκυροδέματος στην περιοχή των συνδέσμων. Τέτοια ανεπιθύμητα σενάρια θα πρέπει να αποκλεισθούν μέσα από σχετικές κανονιστικές και κατασκευαστικές διατάξεις, όπως αυτές που περιλαμβάνονται ήδη στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. [45] παράγραφος 6.1.2.2β, σχήμα 6.6). Γίνεται επίσης η παραδοχή ότι η μανδύωση του περιβάλλοντος πλαισίου θα αποκλείσει το σενάριο της διατμητικής αστοχίας των δομικών στοιχείων του περιβάλλοντος πλαισίου, που δεν περιλαμβάνεται στην αριθμητική προσομοίωση που διερευνήθηκε.

Η προσομοίωση που επιχειρήθηκε επί τη βάση του σκεπτικού που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 8 ([57]), χρησιμοποίησε ένα συγκεκριμένο εμπορικό λογισμικό. Τα αριθμητικά εργαλεία που ενεργοποιήθηκαν στην εν λόγω αριθμητική προσομοίωση είναι διαθέσιμα σε πολλά αντίστοιχα λογισμικά.

Η ποσοτικοποίηση των επί μέρους ανελαστικών μηχανισμών για το περιβάλλον πλαίσιο και το εμφάνωμα μπορεί να ακολουθήσει υπάρχοντα αποτελέσματα και συμπεράσματα οριακής συμπεριφοράς για τέτοιου είδους δομικά στοιχεία που υπάρχουν δημοσιευμένα στην βιβλιογραφία. Το πρωτογενές υλικό του κεφαλαίου 3, 4, και 5 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ποσοτικοποίηση των ανελαστικών μηχανισμών των χαλύβδινων συνδέσμων στην διεπιφάνεια σύνδεσης εμφανώματος – μεναδωμένου περιβάλλοντος πλαισίου.

ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

- Αποτέλεσμα των συγκρίσεων των πειραματικών αποτελεσμάτων με τις προβλέψεις των σχετικών διατάξεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. παράγραφος 6.1.2), είναι ότι υπάρχει μεγάλος βαθμός συντηρητισμού στις προτεινόμενες από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. τιμές της φέρουσας ικανότητας σε δράση βλήτρου, για την σύνδεση εμφατνώματος και τμήματος μανδουωμένου υποστυλώματος / δοκού του περιβάλλοντος πλαισίου (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. παράγραφος 6.1.2, σχέση 6.8). Ο συντηρητισμός αυτός είναι ιδιαίτερα αυξημένος στην περίπτωση συνυπολογισμού μειωτικών συντελεστών για την εκκεντρότητα εφαρμογής της εγκάρσιας φόρτισης (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. παράγραφος 6.1.2, σχέση 6.7). και της ανακυκλιζόμενης φύσης της φόρτισης (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. παράγραφος 6.1.2, σχέση 6.9).
- Οι προβλέψεις της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης θα πρέπει να θεωρούνται ως ασφαλείς για την περιγραφή της ανακυκλιζόμενης συμπεριφοράς χαλύβδινων συνδέσμων σε δράση βλήτρου με τον όρο ότι καλύπτονται όλες οι προϋποθέσεις αναφορικά με την αποτροπή άλλων μορφών αστοχίας που θα επέφεραν δραστική πτώση της φέρουσας ικανότητας. Επιπρόσθετα, όπως ήδη αναφέρθηκε, το πεδίο ισχύος της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης είναι το περιβάλλον που αντιστοιχεί στις συνθήκες που εκτελέστηκε η πειραματική ακολουθία.
- Συμπερασματικά μπορούν να διατυπωθούν τα εξής που συσχετίζονται με το σχετικό κείμενο της παραγράφου 8.5 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.: Η σύνδεση του εμφατνώματος με το περιβάλλον πλαίσιο με τους κατάλληλους συνδέσμους με ταυτόχρονη κατάλληλη κατανομημένη όπλιση του εμφατνώματος μπορεί να επιφέρει σημαντική αύξηση της δυσκαμψίας και της φέρουσα ικανότητας και ενός γυμνού πλαισίου για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου μέχρι και 3% με ταυτόχρονη κατανάλωση σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας πλαστικών παραμορφώσεων. Η κατάλληλη σύνδεση του εμφατνώματος με το μανδουωμένο περιβάλλον πλαίσιο μπορεί να έχει πολύ θετική συνεισφορά στην συμπεριφορά. Αντίθετα, η κατασκευή ενός εμφατνώματος-απλής προσθήκης μπορεί να συντελέσει στο να αναπτυχθούν ανεπιθύμητες συγκεντρώσεις έντασης τόσο στο εμφάντωμα όσο και στο περιβάλλον πλαίσιο.
- Η αριθμητική προσομοίωση που διερευνήθηκε μπορεί να υιοθετηθεί για την ρεαλιστική εκτίμηση της αλληλεπίδρασης περιβάλλοντος πλαισίου - εμφατνώματος ώστε να χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό των μεγεθών έντασης για τον σχεδιασμό μιας τέτοιας μορφής επέμβασης, όπως προτείνεται στην παράγραφο 8.5 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.. Τα μεγέθη αυτά είναι οι δυνάμεις των χαλύβδινων συνδέσμων, τα εντατικά μεγέθη των μανδουωμένων δομικών στοιχείων του περιβάλλοντος πλαισίου και τα εντατικά μεγέθη του εμφατνώματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°

ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Στην παράγραφο 8.5 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. αναπτύσσεται η εμφάνιση των πλαισίων. Επιχειρείται εδώ μια μικρή σύνοψη για την οριοθέτηση του προβλήματος και τον συσχετισμό των σχετικών διατάξεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. με το αντικείμενο του παρόντος ερευνητικού έργου. Στην τελευταία έκδοση του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (δες βιβλιογραφία [45]) γίνεται ο εξής διαχωρισμός.

α) Στην προσθήκη απλού γεμίσματος. Στην περίπτωση προσθήκης απλού γεμίσματος, προβλέπεται η κατασκευή τοιχώματος από άοπλο ή οπλισμένο σκυρόδεμα αλλά δεν θεωρείται απαραίτητη η χρησιμοποίηση συνδέσμων μεταξύ του εμφαντώματος και των δομικών στοιχείων του περιβάλλοντος πλαισίου.

Στην περίπτωση απλού γεμίσματος, δεν προβλέπεται σύνδεση του εμφαντώματος με τα υποστυλώματα του περιβάλλοντος πλαισίου. Στο σχετικό κείμενο του ΚΑΝ.ΕΠΕ. η κατασκευή σχετικού κενού. Η περίπτωση αυτή διερευνήθηκε μέσω αρχικής αριθμητικής προσομοίωσης στην παράγραφο 1.1. που ακολουθεί καθώς και στο Κεφάλαιο 7, μέσω του αντίστοιχου φυσικού ομοιώματος σε κλίμακα 1:3. Τέλος διερευνήθηκε στην τελική αριθμητική προσομοίωση στο Κεφάλαιο 8. Τόσο στην αριθμητικό προσομοίωμα της παραγράφου 1.1 και του Κεφαλαίου 8 όσο και στο φυσικό ομοίωμα του Κεφαλαίου 7 δεν έγινε χρήση κανενός συνδέσμου μεταξύ εμφαντώματος και περιβάλλοντος πλαισίου πέραν του μηχανισμού τριβής-ολίσθησης.

Στο κείμενο του ΚΑΝ.ΕΠΕ. στην περίπτωση αυτή του απλού γεμίσματος συνιστάται η χρήση βλήτρων-αγκυρίων στις άνω και κάτω επιφάνειες επαφής του τοιχώματος με το πλαίσιο (δηλαδή με τις δοκούς). Η εντατική αυτή κατάσταση στην διεπιφάνεια δοκού-εμφαντώματος απλής πλήρωσης με συνδέσμους μόνο στις άνω και κάτω επιφάνειες επαφής του τοιχώματος με το πλαίσιο (δηλαδή με τις δοκούς) διερευνήθηκε μόνο μέσα από το αριθμητικό προσομοίωμα που θα περιγραφεί συνοπτικά στην συνέχεια στην παράγραφο 1.1.

β) Στην τοιχοματοποίηση πλαισίων Εδώ διαχωρίζονται δύο υποπερίπτώσεις. Η πρώτη υποπερίπτωση αναφέρεται στις εμφαντώσεις πάχους μικρότερου ή ίσου με το πλάτος της δοκού ενώ η δεύτερη υποπερίπτωση στις εμφαντώσεις με πάχος μεγαλύτερο του πλάτους της δοκού.

Στην 1η υποπερίπτωση της τοιχοματοποίησης πλαισίων, το κείμενο του σχολιασμού αναφέρεται στην απαραίτητη επάρκεια της σύνδεσης του εμφαντώματος με το μανδουμένο υποστυλώμα μέσω κατάλληλων κατασκευαστικών διατάξεων με χρήση βλήτρων. Υποδεικνύεται επίσης η εκτέλεση των εξής ελέγχων:

1. Σε θλίψη του διαγώνιου θλιπτήρα σκυροδέματος
2. Σε διάτμηση κατά μήκος των διεπιφανειών του φαντώματος με το υποστυλώμα και την δοκό και προτείνεται μέθοδος εκτέλεσης των ελέγχων αυτών.

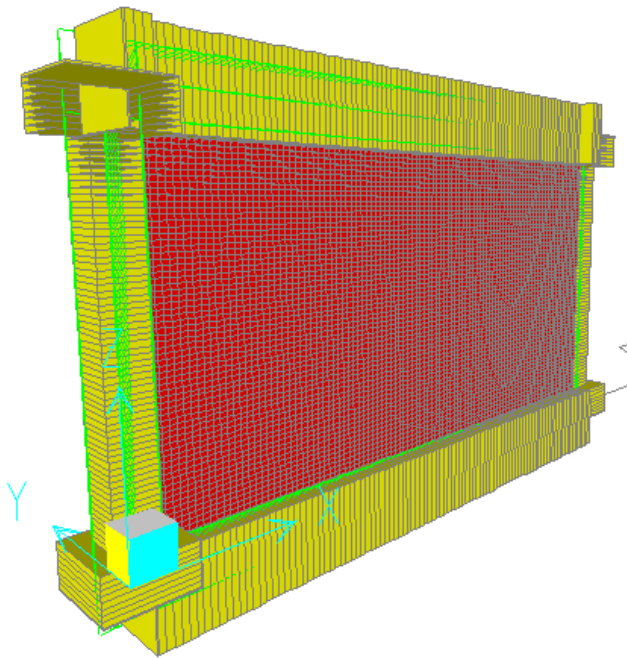
Στην 1η υποπερίπτωση της τοιχοματοποίησης πλαισίων προβλέπεται επίσης η αγκύρωση των οριζόντιων οπλισμών του κορμού του νέου τοιχώματος εντός των κλειστών μανδυνών και των κατακόρυφων οπλισμών του κορμού του νέου τοιχώματος στην άνω και κάτω δοκό του φαντώματος.

. Η περίπτωση αυτή διερευνήθηκε μέσω της αρχικής αριθμητικής προσομοίωσης στην παράγραφο 1.1. που ακολουθεί της τελικής αριθμητικής προσομοίωσης του Κεφαλαίου 8 καθώς και στο Κεφάλαιο 7, μέσω των αντίστοιχων φυσικών ομοιωμάτων σε κλίμακα 1:3.

Στόχος του ερευνητικού προγράμματος είναι η διερεύνηση του προβλήματος της αλληλεπίδρασης πλαισίου-εμφαντώματος τόσο μέσω φυσικών ομοιωμάτων όσο και μέσω των κατάλληλων αριθμητικών προσομοιωμάτων ώστε να συμπληρώσουν το υπόβαθρο σε ποιοτικό και σε ποσοτικό ή δυνατόν επίπεδο για τις εμφαντώσεις που περιγράφηκαν προηγουμένως και να υποβοηθήσουν τον σχεδιασμό τους σε πρακτικό πεδίο εφαρμογής.

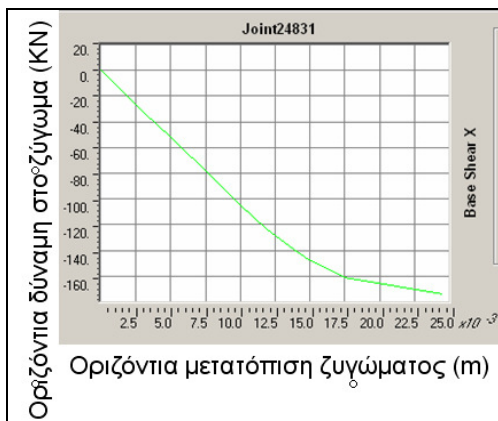
1.1. Προκαταρκτική αριθμητική διερεύνηση της αλληλεπίδρασης εμφαντώματος – περιβάλλοντος πλαισίου από Ο/Σ.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά στοιχεία μιας προκαταρκτικής αριθμητικής διερεύνησης που είχε σαν στόχο να στοιχειοθετήσει ποιοτικά σε ένα πρώιμο στάδιο τις δυνάμεις που αναπτύσσονται στην διεπιφάνεια εμφαντώματος – περιβάλλοντος πλαισίου (σχήμα 1.1) κατά την αλληλεπίδρασή τους όταν στο ζύγωμα εξασκείται μια οριζόντια φόρτιση, που αναπαριστά με αυτόν τον απλοποιητικό τρόπο την σεισμική φόρτιση στη θέση αυτή. Στο στάδιο της εν λόγω προκαταρκτικής διερεύνησης δεν έγινε άλλη προσπάθεια προσέγγισης της σεισμικής φόρτισης πέραν της προαναφερθείσας. Επιλέχθηκε να διερευνηθεί αριθμητικά η συμπεριφορά ενός πλαισίου Ο/Σ σε πρωτότυπες διαστάσεις με τα εξής χαρακτηριστικά.



Σχήμα 1.1. Εμφατνωμένο πλαίσιο

- Μονώροφο δίστυλο πλαίσιο Ο/Σ με άνοιγμα 6m (απόσταση μεταξύ των αξόνων των δύο στύλων) και ύψος 3m (απόσταση του άξονα της δοκού από την θεμελίωση).
- Διατομή στύλων 34cm x 34cm. Διατομή δοκού 30cm x 60cm. Διατομή δοκού θεμελίωσης με μεγάλη καμπτική δυσκαμψία.
- Τρι-γραμμικά μετελαστικά στροφικά ελατήρια ροπών-στροφών στις θέσεις κεφαλής και πόδα κάθε στύλου και ενώσεις της δοκού με το υποστύλωμα στη παρειά του αντίστοιχου κόμβου. Για το διάγραμμα ροπών-στροφών του υποστυλώματος έγινε η παραδοχή ύπαρξης αξονικού φορτίου της τάξεως των 510KN (αντιπροσωπευτικό αξονικό κεντρικών στύλων ισογείου 4-όροφου κτιρίου από κατακόρυφα φορτία).
- Πάχος εμφαντώματος 15cm. Το εμφάντωμα θεωρείται ότι συμπεριφέρεται ελαστικά. Οι τυχόν μικρορρηγματώσεις λήφθηκαν υπόψη με την υιοθέτηση μειωμένου μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος ($E=7\text{GPa}$).
- Οι περιοχές των κόμβων θεωρήθηκαν για το πλαίσιο με αυξημένη δυσκαμψία.
- Περιορισμένες σε έκταση περιοχές του εμφαντώματος στις γωνίες που εφάπτονται των κόμβων δοκού-στύλου θεωρήθηκαν με μειωμένη δυσκαμψία λόγω της ανάπτυξης αρχικά υπερβολικά υψηλής έντασης σε αυτές τις περιοχές, που συνήθως οδηγούν σε πρόωρες θραύσεις του σκυροδέματος στις θέσεις αυτές ($E=0.7\text{GPa}$).
- Το σενάριο της διατμητικής αστοχίας είτε των δοκών είτε των υποστυλωμάτων δεν λαμβάνεται υπόψη αλλά αγνοείται. Ομοίως αγνοείται η ανάπτυξη διαγώνιων ρηγματώσεων στο εμφάντωμα και η αντίστοιχη ανελαστική συμπεριφορά του.



Σχήμα 1.2. Μεταβολή της οριζόντιας μετατόπισης του ζυγώματος συναρτήσει της οριζόντιας δύναμης που επιβάλλεται στο ζύγωμα του «γυμνού» πλαισίου.



Σχήμα 1.3. Εικόνα του παραμορφωμένου «γυμνού» περιβάλλοντος πλαισίου για οριζόντια δύναμη 174 kN. Σημειώνεται η θέση που αναπτύσσονται οι πλαστικές αρθρώσεις και οι τιμές των αντίστοιχων ροπών

Το εν λόγω πλαίσιο θεωρείται ότι είναι αντιπροσωπευτικό ως προς τις διαστάσεις και τα λοιπά χαρακτηριστικά ενός αντίστοιχου τμήματος πλαισιακού κτιρίου Ο/Σ σχεδιασμένου πριν από το 1982, που θα αποτελεί και την τυπική περίπτωση ενίσχυσής του με εμφάνωμα Ο/Σ στο ισόγειό του (Πυλωτή). Στο σχήμα 1.2 απεικονίζεται η μεταβολή της οριζόντιας μετατόπισης του ζυγώματος συναρτήσει της οριζόντιας δύναμης που επιβάλλεται στο ζύγωμα του «γυμνού» πλαισίου. Στο σχήμα 1.3 απεικονίζεται η παραμορφωμένη εικόνα του πλαισίου και η ανάπτυξη των πλαστικών αρθρώσεων στην κεφαλή-πόδα των στύλων και παρειές ζυγώματος για οριζόντιο φορτίο 174 kN που πλησιάζει και το άνω όριο του οριζόντιου φορτίου που μπορεί να παραληφθεί από τον εν λόγω φορέα

1.1.1. Συνθήκες σύνδεσης εμφαντώματος περιβάλλοντος πλαισίου.

Έγινε η διερεύνηση των εξής διακριτών περιπτώσεων αναφορικά με την σύνδεση εμφαντώματος περιβάλλοντος πλαισίου.

1^η Περίπτωση σύνδεσης.

Το εμφάνωμα συνδέεται μόνον με την δοκό του περιβάλλοντος πλαισίου ενώ δεν έχει καμιά σύνδεση με τους στύλους του περιβάλλοντος πλαισίου, όπως προβλέπεται από την σχετική διάταξη του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για την περίπτωση απλού γεμίματος (παράγραφος 8.5), όπου δεν προβλέπεται σύνδεση του εμφαντώματος με τα υποστυλώματα του περιβάλλοντος πλαισίου. Αντίθετα, προτείνεται η κατασκευή σχετικού κενού. Συνιστάται όμως στην περίπτωση αυτή του απλού γεμίματος η χρήση βλήτρων-αγκυρίων (βλητρώσεων) στις άνω και κάτω επιφάνειες επαφής του τοιχώματος με το πλαίσιο (δηλαδή με τις δοκούς). Η εντατική αυτή κατάσταση στην διεπιφάνεια δοκού-εμφαντώματος απλής πλήρωσης προσεγγίστηκε μέσα από το απλό αριθμητικό προσομοίωμα που θα περιγραφεί συνοπτικά στην συνέχεια.

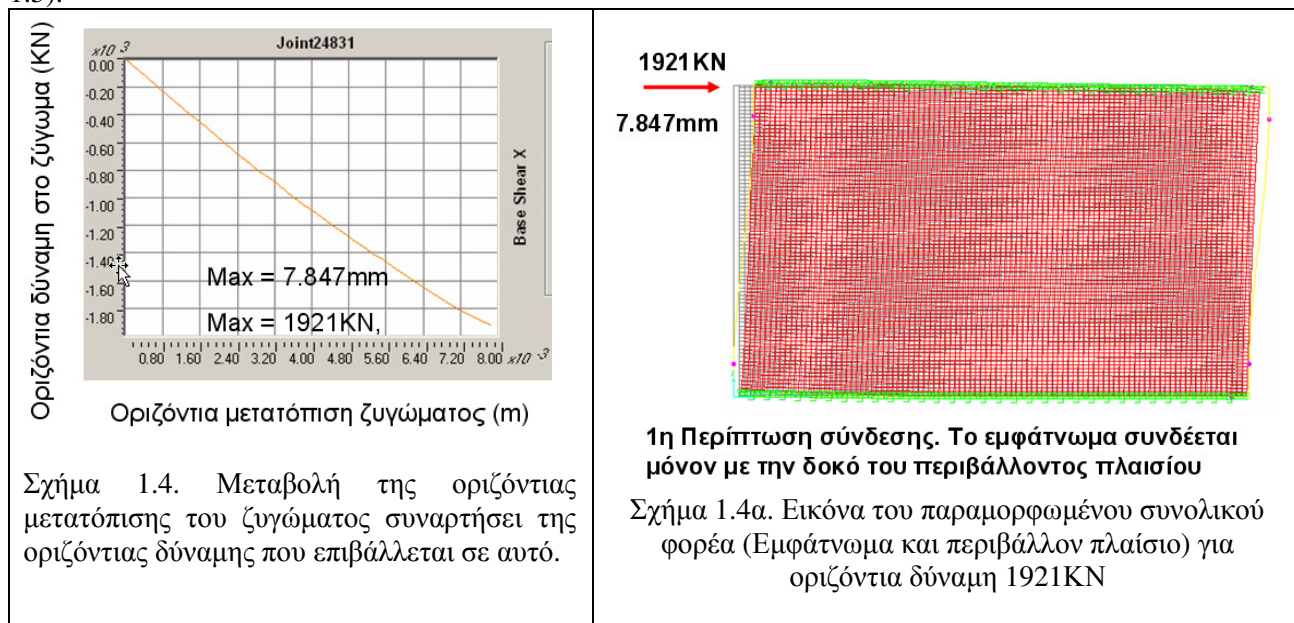
Η σύνδεση του εμφαντώματος με την δοκό του περιβάλλοντος πλαισίου έγινε με τους εξής δύο μη γραμμικούς δι-διάστατους συνδέσμους.

α. Με τον πρώτο σύνδεσμο μπορεί να μεταφερθεί αξονική θλίψη αλλά όχι ελκυσμός κατά την μία διεύθυνση σύνδεσης (κάθετα προς τον άξονα της δοκού) καθώς και εγκάρσια διατμητική δύναμη τριβής-ολίσθησης (στην διεύθυνση παράλληλα προς τον άξονα της δοκού) μεταξύ του εμφαντώματος και της δοκού στην διεπιφάνεια επαφής. Ενώ η δυνατότητα μεταβίβασης θλίψης είναι σχεδόν χωρίς περιορισμό η δυνατότητα μεταβίβασης εγκάρσιας δύναμης στην διεπιφάνεια είναι πεπερασμένη. Οι εν λόγω σύνδεσμοι είναι πολλοί στο πλήθος προσομοιώνοντας αριθμητικά την επαφή του εμφαντώματος με το περιβάλλον πλαίσιο καθώς και την δυνατότητα αποκόλλησής του από αυτό.

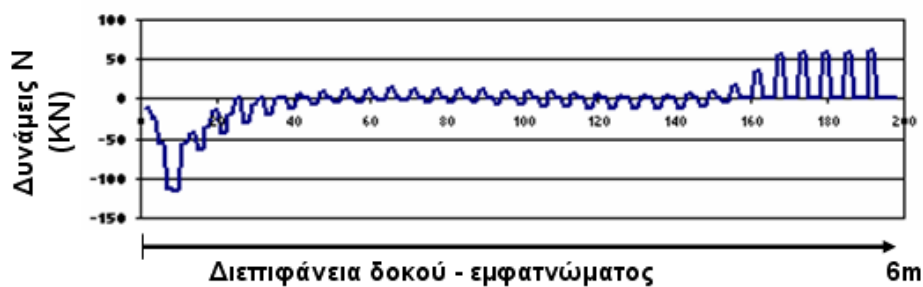
β. Ο δεύτερος σύνδεσμος είναι ένας δι-διάστατος ελαστοπλαστικός σύνδεσμος με δυνατότητα μεταφοράς αξονικών και εγκάρσιων (διατμητικών) δυνάμεων. Αναφορικά με την δυνατότητα μεταφοράς είτε αξονικής είτε διατμητικής δύναμης θεωρήθηκε ότι ο σύνδεσμος αυτός είναι μια χαλύβδινη ράβδος δομικού χάλυβα διαμέτρου 12 mm με όριο διαρροής 500 MPa. Οι εν λόγω σύνδεσμοι, αντιπροσωπευτικοί των βλητρώσεων σύνδεσης εμφαντώματος-πλαισίου, τοποθετήθηκαν σε διακριτές θέσεις του προσομοιώματος

ανά αποστάσεις 180mm. Συνολικά τοποθετήθηκαν 32 τέτοιοι σύνδεσμοι μεταξύ του εμφαντώματος και της δοκού θεωρώντας ότι σε κάθε θέση αντιστοιχεί ένας τέτοιος σύνδεσμος στο πάχος του εμφαντώματος. Οι μηχανικές ιδιότητες των δύο αυτών τύπων συνδέσμων προσεγγίστηκαν με βάση προκαταρκτικά δεδομένα στα πλαίσια του παρόντος ερευνητικού προγράμματος για συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) από χάλυβα S500 διαμέτρου 12mm. Η επίλυση έγινε με την βήμα-προς-βήμα υπερωθητική μέθοδο (pushover analysis).

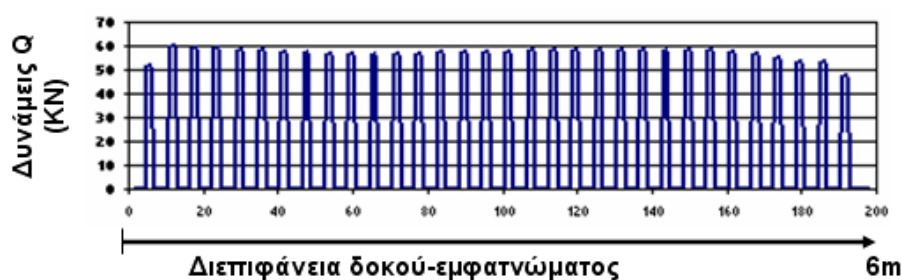
Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στα διαγράμματα που παρουσιάζονται στην συνέχεια (σχήματα 1.3, 1.4, 1.5).



Στο σχήμα 1.6 που ακολουθεί απεικονίζονται αφενός οι δυνάμεις Q (παράλληλα προς τον άξονα της δοκού – διατμητικές) αφετέρου οι δυνάμεις N (κάθετα στον άξονα της δοκού - αξονικές) που αναπτύσσονται στους συνδέσμους τύπου β κατά την έννοια) και που μεταβιβάζονται μέσω των εν λόγω συνδέσμων στην διεπιφάνεια εμφαντώματος-περιβάλλοντος πλαισίου όταν η οριζόντια δύναμη που επιβάλλεται στο ζυγώμα έχει την μέγιστή της τιμή για την επίλυση που διενεργήθηκε (1921KN). Όπως φαίνεται από τα σχήματα αυτά, η μεταβολή των εγκάρσιων – διατμητικών δυνάμεων (Q) των συνδέσμων είναι σχετικά μικρή κατά μήκος του άξονα της δοκού με μέση τιμή ίση περίπου με 60KN. Η αντίστοιχη μεταβολή των αξονικών δυνάμεων των συνδέσμων (N) είναι σημαντική. Στο αριστερό τμήμα του ζυγώματος αναπτύσσονται θλιπτικές καταπονήσεις ενώ στο δεξιό τμήμα του ζυγώματος αναπτύσσονται ελκυστικές αξονικές δυνάμεις στους συνδέσμους με μέγιστη τιμή περίπου ίση με 55KN.



Αξονικές δυνάμεις (N) συνδέσμων παράλληλα προς τον άξονα της δοκού που μεταβιβάζονται στην διεπιφάνεια εμφαντώματος-περιβάλλοντος πλαισίου από τους συνδέσμους τύπου β.



Διατμητικές δυνάμεις (Q) συνδέσμων παράλληλα προς τον άξονα της δοκού που μεταβιβάζονται στην διεπιφάνεια εμφαντώματος-περιβάλλοντος πλαισίου από τους συνδέσμους τύπου β.

1η Περίπτωση σύνδεσης. Το εμφάντωμα συνδέεται μόνον με την δοκό του περιβάλλοντος πλαισίου

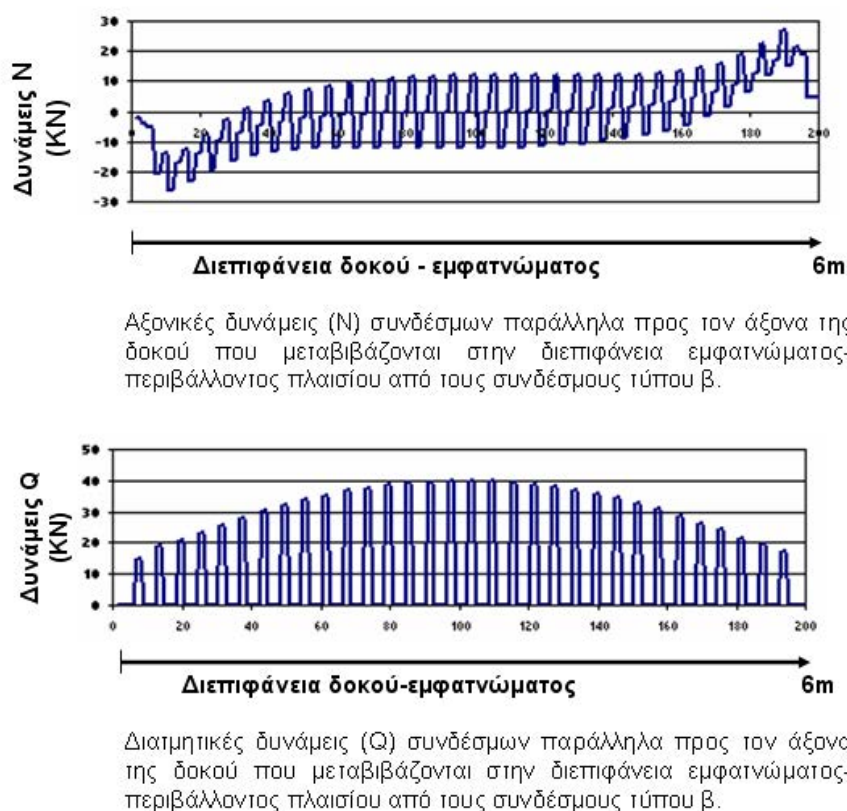
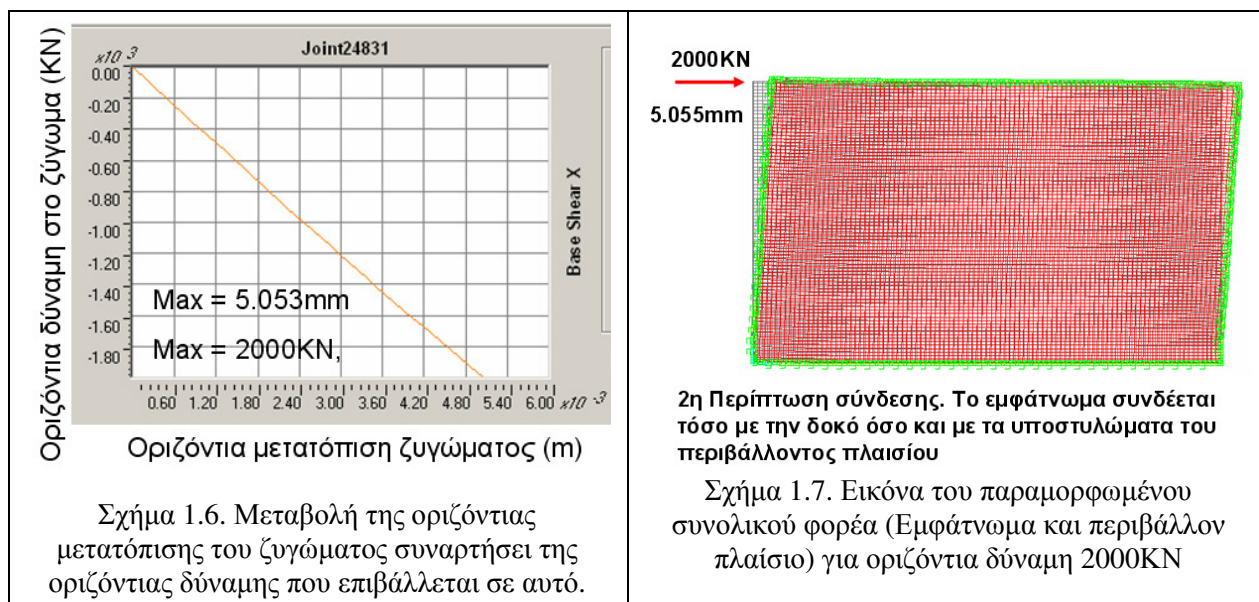
Σχήμα 1.5. Κατανομή αξονικών και διατμητικών (εγκαρσίων) δυνάμεων στους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) που συνδέουν το εμφάντωμα με την δοκό του πλαισίου.

2^η Περίπτωση σύνδεσης.

Το εμφάντωμα συνδέεται τόσο με την δοκό όσο και με τους στύλους του περιβάλλοντος πλαισίου. Πρόκειται για επέκταση της σύνδεσης της προηγούμενης περίπτωσης 1 μεταξύ εμφαντώματος και δοκού. Δηλαδή συνδέοντας το εμφάντωμα με τα υποστυλώματα με τον ίδιο τρόπο σύνδεσης που χρησιμοποιήθηκε για την σύνδεση εμφαντώματος δοκών στην περίπτωση 1 προηγουμένως. Με τον τρόπο αυτόν γίνεται προσπάθεια να επιτευχθεί συνεργασία του εμφαντώματος με όλο το περιβάλλον πλαίσιο μέσω όλων των συνδέσεων (βλητρώσεων-αγκυρώσεων) τόσο αυτών με τα υποστυλώματα όσο και αυτών με τις δοκούς. Μπορεί να θεωρηθεί ότι η περίπτωση που εξετάζεται εδώ, δηλαδή αυτή των συνδέσεων του εμφαντώματος με το περιβάλλον πλαίσιο μόνο με συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) τόσο με τις δοκούς όσο και με τα υποστυλώματα, είναι μια ενδιάμεση κατάσταση ανάμεσα στην κατηγορία της προσθήκης απλού γεμίσματος και της 1η υποπερίπτωσης της τοιχωματοποίησης, όπως περιγράφεται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ.. Ο τρόπος προσομοίωσης της σύνδεσης εμφαντώματος – πλαισίου που περιγράφηκε στην 1^η περίπτωση προηγουμένως ακολουθείται και εδώ. Χρησιμοποιούνται δηλαδή οι ίδιοι ανελαστικοί δι-διάστατοι σύνδεσμοι τύπου α και β, όπως και προηγουμένως με τις ίδιες ιδιότητες τοποθετημένοι στις ίδιες αποστάσεις.

Η επίλυση έγινε και πάλι με την βήμα-προς-βήμα υπερωθητική μέθοδο (pushover analysis).

Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στα διαγράμματα που παρουσιάζονται στην συνέχεια (σχήματα 1.6, 1.7, 1.8)



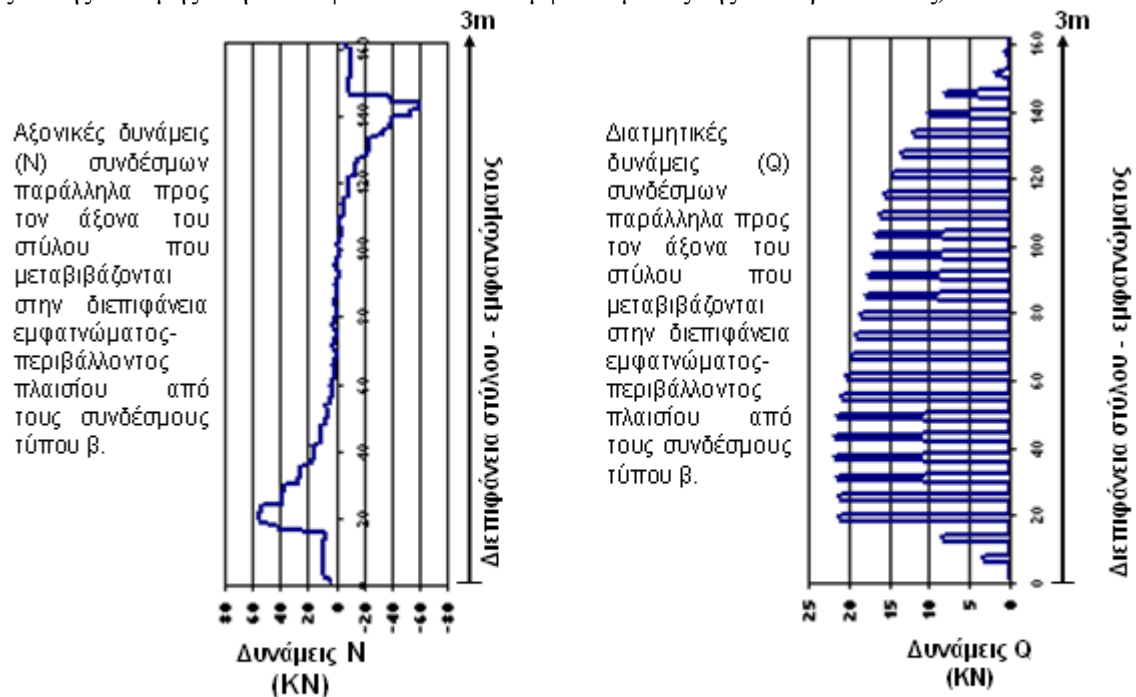
2η Περίπτωση σύνδεσης. Το εμφάντωμα συνδέεται τόσο με την δοκό όσο και με τα υποστυλώματα του περιβάλλοντος πλαισίου

Σχήμα 1.8. Κατανομή αξονικών και διατμητικών (εγκαρσίων) δυνάμεων στους συνδέσμους (βλήτρα) που συνδέουν το εμφάντωμα με την δοκό του πλαισίου.

Στο σχήμα 1.8 απεικονίζονται αφενός οι δυνάμεις Q (παράλληλα προς τον άξονα της δοκού – διατμητικές) αφετέρου οι δυνάμεις N (κάθετα στον άξονα της δοκού - αξονικές) που αναπτύσσονται στους συνδέσμους τύπου β και που μεταβιβάζονται μέσω των εν λόγω συνδέσμων στην διεπιφάνεια εμφαντώματος-περιβάλλοντος πλαισίου όταν η οριζόντια δύναμη που επιβάλλεται στο ζυγώμα έχει την μέγιστή της τιμή για την επίλυση που διενεργήθηκε στην περίπτωση αυτή (2000KN). Όπως φαίνεται από τα σχήματα αυτά, η μεταβολή των εγκάρσιων – διατμητικών δυνάμεων (Q) των συνδέσμων είναι σχετικά μικρή κατά μήκος του άξονα της δοκού με μέση τιμή ίση περίπου με 30KN (περίπου το 50% της τιμής της 1^{ης} περιπτώσεως). Η αντίστοιχη μεταβολή των αξονικών δυνάμεων των συνδέσμων (N) είναι σημαντική.

Στο αριστερό τμήμα του ζυγώματος αναπτύσσονται θλιπτικές καταπονήσεις ενώ στο δεξιό τμήμα του ζυγώματος αναπτύσσονται ελκυστικές αξονικές δυνάμεις στους συνδέσμους με μέγιστη τιμή περίπου ίση με 25KN (περίπου το 50% της τιμής της 1^{ης} περιπτώσεως).

Στο σχήμα 1.9 που ακολουθεί απεικονίζονται αφενός οι εγκάρσιες δυνάμεις Q (παράλληλα προς τον άξονα του στύλου – διατμητικές) αφετέρου οι αξονικές δυνάμεις N (κάθετα στον άξονα του στύλου – αξονικές) που αναπτύσσονται στους συνδέσμους τύπου β και που μεταβιβάζονται μέσω των εν λόγω συνδέσμων στην διεπιφάνεια εμφαντώματος-περιβάλλοντος πλαισίου (τόσο στον αριστερό όσο και στον δεξιό στύλο) όταν η οριζόντια δύναμη που επιβάλλεται στο ζυγώμα έχει την μέγιστή της τιμή για την επίλυση που διενεργήθηκε στην περίπτωση αυτή (2000KN). Όπως φαίνεται από τα σχήματα αυτά, η μεταβολή των εγκάρσιων – διατμητικών δυνάμεων (Q) των συνδέσμων είναι σχετικά μικρή κατά μήκος του άξονα του στύλου με μέση τιμή ίση περίπου με 18KN (περίπου το 50% της τιμής της εγκάρσιας δύναμης στην διεπιφάνεια δοκού – εμφαντώματος της 2^{ης} περιπτώσεως). Η αντίστοιχη μεταβολή των αξονικών δυνάμεων των συνδέσμων (N) είναι σημαντική. Στο αριστερό τμήμα του ζυγώματος αναπτύσσονται θλιπτικές καταπονήσεις ενώ στο δεξιό τμήμα του ζυγώματος αναπτύσσονται ελκυστικές αξονικές δυνάμεις στους συνδέσμους με μέγιστη τιμή περίπου ίση με 40KN (περίπου το 170% της τιμής της αξονικής δύναμης στην διεπιφάνεια δοκού – εμφαντώματος της 2^{ης} περιπτώσεως).



2η Περίπτωση σύνδεσης. Το εμφάνωμα συνδέεται τόσο με την δοκό όσο και με τα υποστυλώματα του περιβάλλοντος πλαισίου

Σχήμα 1.9. Κατανομή αξονικών και διατμητικών (εγκάρσιων) δυνάμεων στους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) που συνδέουν το εμφάνωμα με τον στύλο του πλαισίου.

1.1.2. Συμπερασματικές Παρατηρήσεις.

Με βάση τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν προηγουμένως μπορούν να εξαχθούν οι εξής συμπερασματικές παρατηρήσεις.

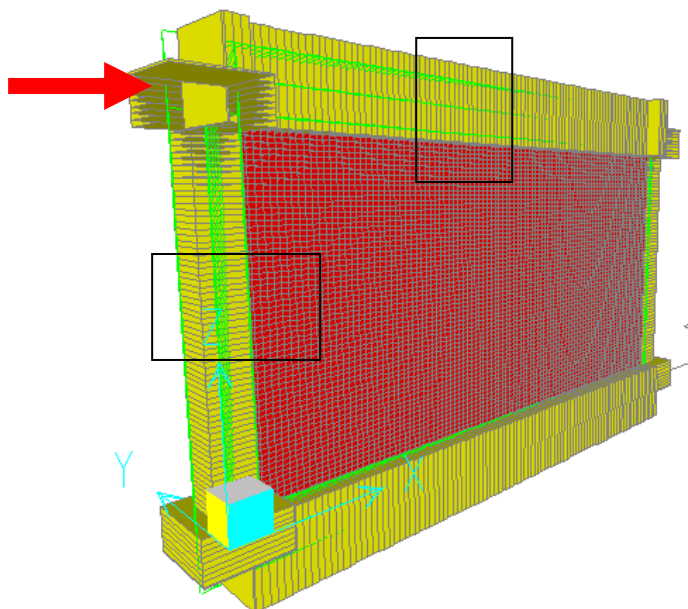
1. Οι σύνδεσμοι (βλήτρα-αγκύρια) και στις δύο περιπτώσεις που εξετάστηκαν υποβάλλονται ταυτόχρονα τόσο σε εγκάρσιες όσο και σε αξονικές δυνάμεις.
2. Οι αξονικές δυνάμεις μπορεί να είναι είτε θλιπτικές είτε αξονικές για τους συνδέσμους.
3. Το μέγεθος της εγκάρσιας δύναμης του συνδέσμου ποικίλλει ανάλογα με την θέση του συνδέσμου. Η μεταβολή της εγκάρσιας αυτής δύναμης που αναπτύσσεται στους συνδέσμους, που είναι τοποθετημένοι σε διάφορες θέσεις κατά μήκος της δοκού ή του στύλου, δεν διαφέρει πολύ από θέση σε θέση από μια μέση τιμή.
4. Το μέγεθος της αξονικής δύναμης του συνδέσμου, που αναπτύσσεται στους συνδέσμους που είναι τοποθετημένοι σε διάφορες θέσεις κατά μήκος της δοκού ή του στύλου, ποικίλλει ανάλογα με την θέση του

συνδέσμου. Ο σύνδεσμος μπορεί να υποβάλλεται είτε σε θλιπτική είτε σε εφελκυστική αξονική δύναμη ανάλογα με τη θέση του.

5. Τα προηγούμενα θα πρέπει να ιδωθούν με το σκεπτικό ότι η οριζόντια δύναμη που επιβάλλεται στο ζύγωμα είναι εναλλασσόμενης φοράς, λόγω της σεισμικής φύσης της φόρτισης. Συνεπώς, όλοι οι σύνδεσμοι μεταξύ του εμφαντώματος και των στύλων και δοκών του περιβάλλοντος πλαισίου θα υποβάλλονται μαζί με την εγκάρσια – διατμητική καταπόνηση σε ταυτόχρονη εναλλασσόμενης αξονική (θλιπτική ή εφελκυστική) καταπόνηση.

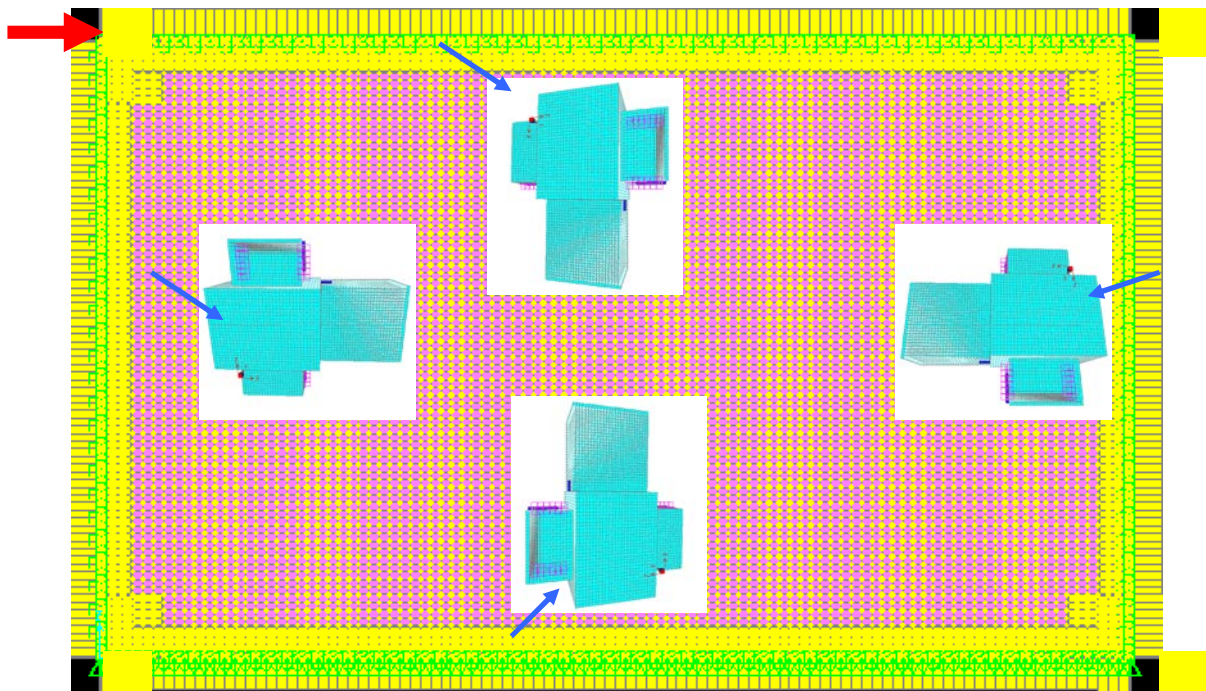
1.2. Διερεύνηση της φορτιστικής διάταξης και της μορφής του δοκιμίου που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν (δες ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2)

Με βάση τα προηγούμενα θα ακολουθήσει εδώ μια προκαταρκτική αριθμητική διερεύνηση της δυνατότητας της φορτιστικής διάταξης που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί (Κεφάλαιο 2) μαζί με την μορφή ενός τμήματος δοκιμίου εμφαντώματος περιβάλλοντος πλαισίου (δες σχήματα 1.10 έως 1.14) που περιλαμβάνει την σχετική σύνδεση των δύο με σύστημα συνδέσμων (βλήτρα-αγκύρια) να αναπαράγει με ρεαλιστικό τρόπο την εντατική κατάσταση στην οποία υποβάλλονται οι εν λόγω σύνδεσμοι κατά την αλληλεπίδραση του εμφαντώματος με το περιβάλλον πλαίσιο όταν το σύνολο υποβάλλεται σε οριζόντια «σεισμικού τύπου» φόρτιση στο ζύγωμα του πλαισίου. Υιοθετήθηκε στα πλαίσια του παρόντος ερευνητικού προγράμματος ότι το δομικό στοιχείο του περιβάλλοντος πλαισίου που θα συνδεθεί με το εμφάντωμα θα είναι μανδυνόμενο.

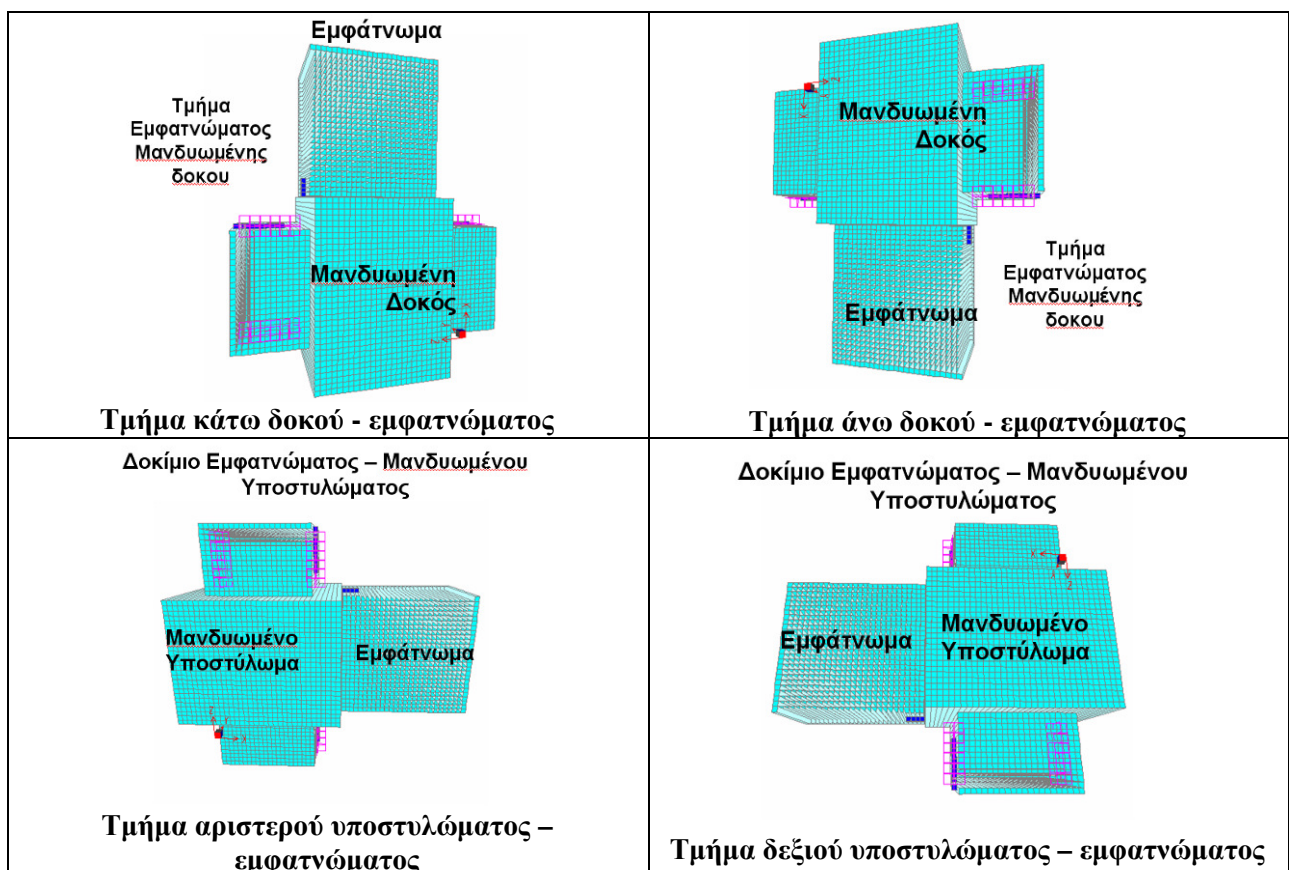


Σχήμα 1.10. Εμφαντωμένο πλαίσιο με ενδεικτικές τομές που αντιστοιχούν στα τμήματα εμφαντώματος – περιβάλλοντος πλαισίου που εξετάζονται στη συνέχεια (σχήματα 1.11-1.14)

Στο σχήμα 1.10 απεικονίζεται ένα τέτοιο εμφαντωμένο πλαίσιο με μανδυνωμένα τα δομικά στοιχεία των δοκών (χωρίς την πλάκα) και των υποστυλωμάτων. Στο ίδιο σχήμα απεικονίζονται ενδεικτικές τομές που θα αποχωρήσουν είτε ένα τμήμα της δοκού, που θα περιλαμβάνει επίσης ένα τμήμα εμφαντώματος κοντά στην διεπιφάνεια σύνδεσης δοκού – εμφαντώματος, είτε ένα τμήμα υποστυλώματος που επίσης θα περιλαμβάνει ένα τμήμα εμφαντώματος κοντά στην διεπιφάνεια σύνδεσης στύλου – εμφαντώματος. Αυτό απεικονίζεται επίσης στα σχήματα 1.11 έως 1.14. Στα σχήματα αυτά απεικονίζεται επίσης τμήμα του αρχικού δομικού στοιχείου (δοκού ή στύλου) το οποίο χρησιμοποιείται για να στηριχθεί το δοκίμιο στο ισχυρό πάτωμα αντίδρασης ώστε να μην επηρεάζεται δια του τρόπου αυτού το μανδυνωμένο τμήμα του δοκιμίου.



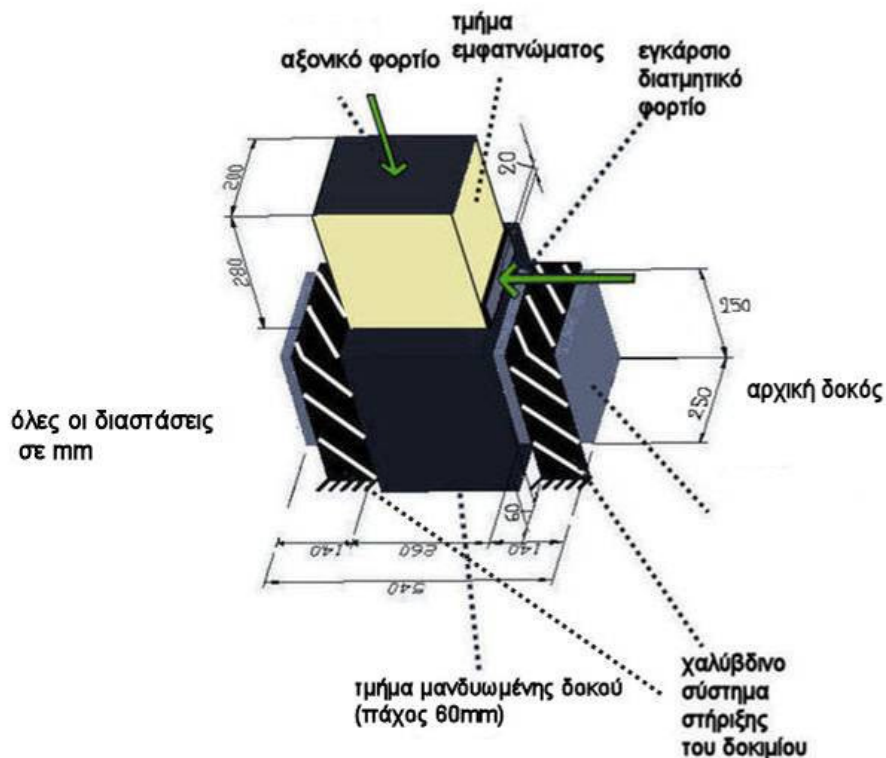
Σχήμα 1.11. Εμφαννωμένο πλαίσιο με ενδεικτικές τομές που αντιστοιχούν στα τμήματα εμφαννώματος περιβάλλοντος πλαισίου που εξετάζονται στη συνέχεια (σχήματα 1.11-1.14)



Σχήμα 1.12. Αριθμητική απεικόνιση που αντιστοιχούν σε τμήματα εμφαννώματος – περιβάλλοντος πλαισίου που επιλέχθηκε να εξετασθούν και πειραματικά (δες ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2)

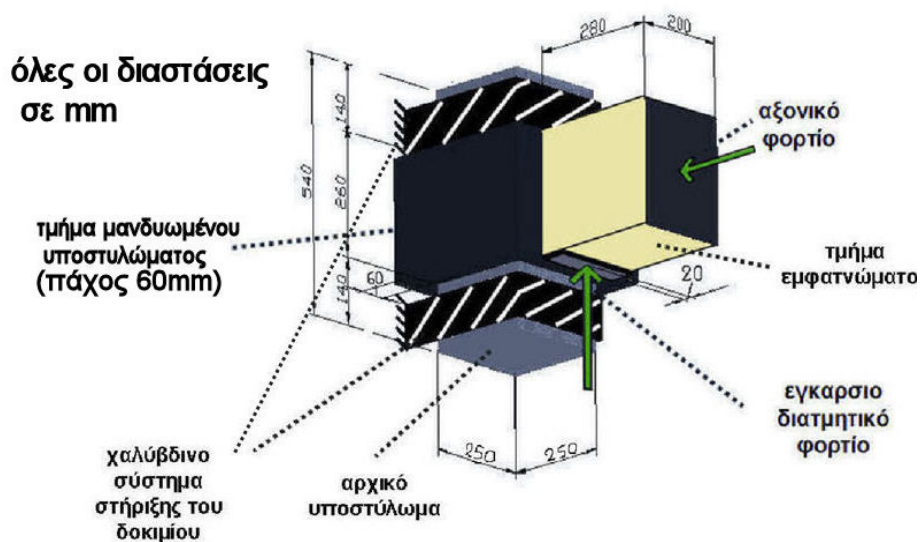
Στο σχήμα 1.13 που ακολουθεί απεικονίζεται ένα τμήμα εμφαννώματος μαζί με ένα τμήμα μανδουωμένης δοκού (χωρίς την πλάκα) το οποίο στηρίζεται με χαλύβδινες πλάκες και ντίζες (δες κεφάλαιο 2) στο ισχυρό πάτωμα της φορτιστικής διάταξης. Στο τμήμα αυτό δοκού (χωρίς την πλάκα) - εμφαννώματος θα επιβληθούν εναλλακτικά οι φορτίσεις που υποδεικνύονται, δηλαδή το αξονικό φορτίο και το εγκάρσιο διατμητικό φορτίο, ώστε να αναπαράγουν με ρεαλιστικό τρόπο την εντατική κατάσταση στην οποία

υποβάλλονται κατά την αλληλεπίδραση του εμφαντώματος με το περιβάλλον πλαίσιο οι σύνδεσμοι (βλήτρα-αγκύρια) που υλοποιούν την σύνδεση δοκού -εμφαντώματος όταν το σύνολο υποβάλλεται σε οριζόντια «σεισμικού τύπου» φόρτιση στο ζύγωμα του πλαισίου, όπως διερευνήθηκε στην προηγούμενη παράγραφο 1.1. Το τμήμα αυτό αντιστοιχεί και στο αντίστοιχο προσομοίωμα του σχήματος 1.12 καθώς και του σχήματος 1.16 που διερευνάται αριθμητικά στην παρούσα παράγραφο



Σχήμα 1.13. Απεικόνιση της φορτιστικής διάταξης και του δοκιμίου που διερευνάται πειραματικά (ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2) που αντιστοιχεί στο παρόν αριθμητικό προσομοίωμα (σχήματα 1.16 και 1.17)

Στο σχήμα 1.14 που ακολουθεί απεικονίζεται ένα τμήμα εμφαντώματος μαζί με ένα τμήμα μανδουωμένου υποστυλώματος το οποίο στηρίζεται με χαλύβδινες πλάκες και ντίζες στο ισχυρό πάτωμα της φορτιστικής διάταξης.



Σχήμα 1.14. Απεικόνιση της φορτιστικής διάταξης και του δοκιμίου που διερευνάται πειραματικά (ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2, στροφή του σχήματος 1.13 κατά 90°) που αντιστοιχεί στο παρόν αριθμητικό προσομοίωμα (σχήματα 1.12 και 1.15)

Στο τμήμα αυτό στύλου-εμφαννώματος θα επιβληθούν εναλλακτικά οι φορτίσεις που υποδεικνύονται, δηλαδή το αξονικό φορτίο και το εγκάρσιο διατμητικό φορτίο, ώστε να αναπαράγουν με ρεαλιστικό τρόπο την εντατική κατάσταση στην οποία υποβάλλονται κατά την αλληλεπίδραση του εμφαννώματος με το περιβάλλον πλαίσιο οι σύνδεσμοι (βλήτρα-αγκύρια) που υλοποιούν την σύνδεση στύλου - εμφαννώματος όταν το σύνολο υποβάλλεται σε οριζόντια «σεισμικού τύπου» φόρτιση στο ζύγωμα του πλαισίου, όπως διερευνήθηκε στην παράγραφο 1.1.

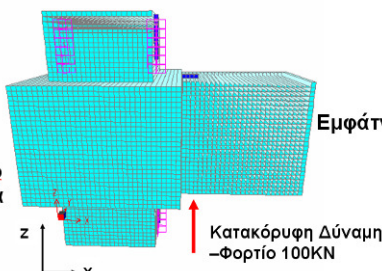
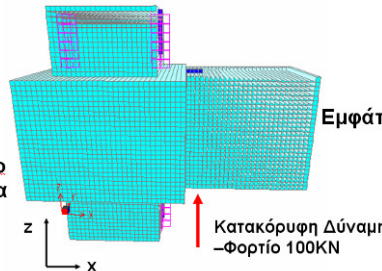
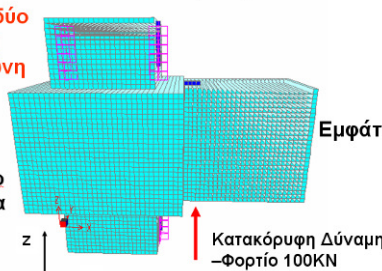
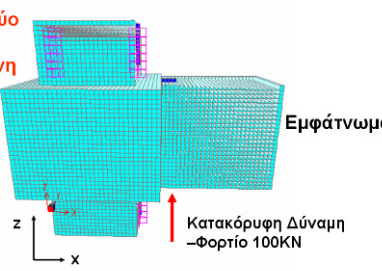
Η διάταξη του σχήματος 1.14 είναι πανομοιότυπη με την προηγούμενη του σχήματος 1.13 (με στροφή 90°). Επειδή το μανδουωμένο τμήμα του υποστύλωματος δεν φορτίζεται με αξονικές δυνάμεις θεωρήθηκε ότι η συμπεριφορά των συνδέσμων μπορεί να διερευνηθεί με την ίδια φορτιστική διάταξη και δοκίμιο είτε οι εν λόγω σύνδεσμοι αναφέρονται σε σύνδεση δοκού – εμφαννώματος (σχήμα 1.13) είτε στύλου – εμφαννώματος (σχήμα 1.14).

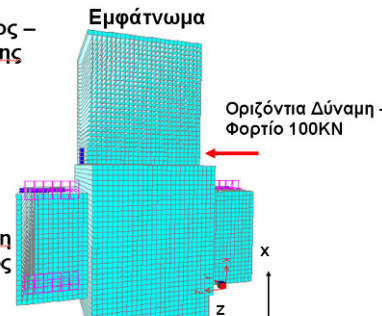
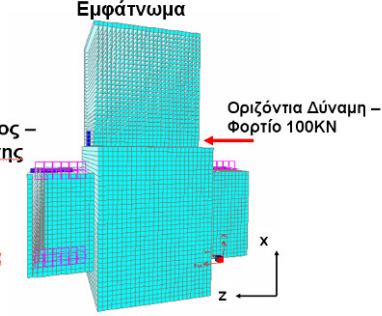
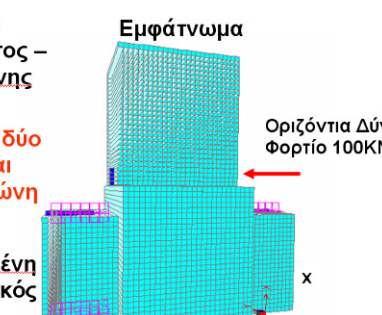
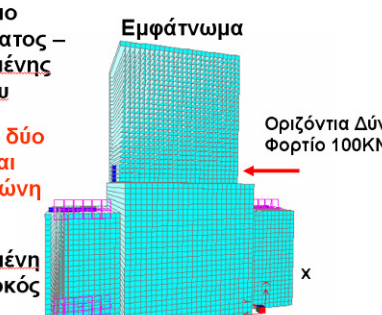
1.2.1. Δι-διάστατη αριθμητική προσομοίωση της συμπεριφοράς της φορτιστικής διάταξης που διερευνά στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 την σύνδεση τμήματος εμφαννώματος και περιβάλλοντος πλαισίου

Στη συνέχεια θα παρουσιασθεί μια προκαταρκτική αριθμητική διερεύνηση της συμπεριφοράς του ως άνω τμήματος δοκού-εμφαννώματος / στύλου-εμφαννώματος με βάση τις παραδοχές αναφορικά με τις ιδιότητες των υλικών και των συνδέσμων, όπως υιοθετήθηκαν για την αριθμητική διερεύνηση που διενεργήθηκε για το σύνολο εμφάνωμα-περιβάλλον πλαίσιο και παρουσιάστηκε συνοπτικά προηγουμένως στην παράγραφο 1.1. Η διάμετρος των χαλύβδινων ράβδων – συνδέσμων που υιοθετήθηκε στην παρούσα αριθμητική προσομοίωση είναι 12mm, όπως έγινε και στην παράγραφο 1.1. Η μεταξύ τους απόσταση είναι 140mm, όπως και αυτή των αντίστοιχων συνδέσμων του ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 2. Η πειραματική ακολουθία του ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 2 διερευνά πειραματικά την συμπεριφορά σύνδεσης τμήματος εμφαννώματος – περιβάλλοντος πλαισίου για συνδέσμους που η διάμετρός τους ποικίλλει από 8mm, 10mm, 12mm μέχρι 14mm. Τα συμπεράσματα της παρούσας αριθμητικής διερεύνησης που θα διατυπωθούν στη συνέχεια πιστεύεται ότι παραμένουν ισχυρά και στην περίπτωση χρήσης συνδέσμων με διάμετρο διάφορης των 12mm που υιοθετείται εδώ.

Στα σχήματα 1.15 και 1.16 που ακολουθούν απεικονίζονται οι τρισδιάστατες εικόνες των δοκιμίων που προσομοιώθηκαν αριθμητικά.

Στα σχήματα αυτά απεικονίζεται η αριθμητική προσομοίωση της συμπεριφοράς τμήματος εμφαννώματος και τμήματος μανδουωμένης δοκού (χωρίς πλάκα, σχήμα 1.15) καθώς και τμήματος εμφαννώματος και τμήματος μανδουωμένου υποστύλωματος (σχήμα 1.16). Όπως σημειώθηκε προηγουμένως οι δύο αυτές περιπτώσεις θεωρούνται για παρόν πρόγραμμα ότι αντιπροσωπεύονται ρεαλιστικά από την ίδια πειραματική διάταξη είτε του σχήματος 1.15 είτε αυτή του σχήματος 1.16. Όπως προαναφέρθηκε, η διάταξη του σχήματος 1.15 (δες επίσης σχήματα 1.13 και 1.14) προκύπτει από την διάταξη του σχήματος 1.16 με στροφή 90°. Η φορτιστική αυτή διάταξη θα παρουσιασθεί στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Στη παρούσα παράγραφο θα γίνει η αριθμητική διερεύνηση της δυνατότητας της εν λόγω φορτιστικής διάταξης μαζί με την μορφή του τμήματος δοκίμιου εμφαννώματος-περιβάλλοντος πλαισίου, που περιλαμβάνει την σχετική σύνδεση των δύο με τους αντίστοιχους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) να αναπαράγει με ρεαλιστικό τρόπο την εντατική κατάσταση στην οποία υποβάλλονται οι εν λόγω σύνδεσμοι κατά την αλληλεπίδραση του εμφαννώματος με το περιβάλλον πλαίσιο όταν το σύνολο του φορέα (εμφαννωμένο πλαίσιο) υποβάλλεται σε οριζόντια «σεισμικού τύπου» φόρτιση στο ζύγωμα του πλαισίου. Η αριθμητική αυτή διερεύνηση εξετάζει την εντατική κατάσταση που δημιουργείται στο δοκίμιο όταν αυτό είναι στηριγμένο στο ισχυρό πάτωμα με τις χαλύβδινες συνδέσεις που απεικονίζονται στα σχήματα 1.13 και 1.14. Οι στηρίξεις αυτές προσομοιώθηκαν επίσης αριθμητικά ως ακλόνητες στηρίξεις που δεσμεύουν όλες τις μετακινήσεις στις θέσεις αυτές. Η παρούσα διερεύνηση εξετάζει την ένταση που δημιουργείται στο δοκίμιο όταν αυτό φορτίζεται πλησίον της διεπιφάνειας σύνδεσης τμήματος του εμφαννώματος και τμήματος του περιβάλλοντος πλαισίου κατά την εγκάρσια έννοια, όπως παρουσιάζεται στα σχήματα (1.15 έως 1.17). Η ένταση κατά την αξονική έννοια, ως απλούστερη δεν παρουσιάζεται εδώ διεξοδικά.

Σχήμα 1.15. Προσομοίωση δοκιμίου τμήματος εμφαννώματος και τμήματος μανδουωμένου στύλου		
	Δέσμευση μετατόπισης x-x	Μη δέσμευση μετατόπισης x-x
Δύο Βλήτρα (αγκύρια)	<p>Δοκίμιο Εμφαννώματος – Μανδουωμένου Υποστύλωματος</p> <p>Σύνδεση μόνον με δύο βλήτρα</p>  <p>Κατακόρυφη Δύναμη – Φορτίο 100kN</p> <p>Η μετατόπιση κατά x-x του εμφαννώματος δεν είναι δεσμευμένη και επιτρέπεται όπως και η μετατόπιση z-z</p>	<p>Δοκίμιο Εμφαννώματος – Μανδουωμένου Υποστύλωματος</p> <p>Σύνδεση μόνον με δύο βλήτρα</p>  <p>Κατακόρυφη Δύναμη – Φορτίο 100kN</p> <p>Η μετατόπιση κατά x-x του εμφαννώματος δεν είναι δεσμευμένη και επιτρέπεται όπως και η μετατόπιση z-z</p>
Δύο Βλήτρα (αγκύρια) και Θλιβόμενη Ζώνη	<p>Δοκίμιο Εμφαννώματος – Μανδουωμένου Υποστύλωματος</p> <p>Σύνδεση με δύο βλήτρα και θλιβόμενη ζώνη</p>  <p>Κατακόρυφη Δύναμη – Φορτίο 100kN</p> <p>Η μετατόπιση κατά x-x του εμφαννώματος δεν είναι δεσμευμένη και επιτρέπεται όπως και η μετατόπιση z-z</p>	<p>Δοκίμιο Εμφαννώματος – Μανδουωμένου Υποστύλωματος</p> <p>Σύνδεση με δύο βλήτρα και θλιβόμενη ζώνη</p>  <p>Κατακόρυφη Δύναμη – Φορτίο 100kN</p> <p>Η μετατόπιση κατά x-x του εμφαννώματος είναι δεσμευμένη. Επιτρέπεται μόνον η μετατόπιση z-z</p>

Σχήμα 1.16. Προσομοίωση δοκιμίου τμήματος εμφαννώματος και τμήματος μανδουωμένης δοκού		
	Μη δέσμευση μετατόπισης x-x	Δέσμευση μετατόπισης x-x
Δύο Βλήτρα (αγκύρια)	<p>Δοκίμιο Εμφαννώματος – Μανδουωμένης δοκού</p> <p>Σύνδεση μόνον με δύο βλήτρα</p>  <p>Οριζόντια Δύναμη – Φορτίο 100kN</p> <p>Η μετατόπιση κατά x-x του εμφαννώματος δεν είναι δεσμευμένη και επιτρέπεται όπως και η μετατόπιση z-z</p>	<p>Δοκίμιο Εμφαννώματος – Μανδουωμένης δοκού</p> <p>Σύνδεση μόνον με δύο βλήτρα</p>  <p>Οριζόντια Δύναμη – Φορτίο 100kN</p> <p>Η μετατόπιση κατά x-x του εμφαννώματος είναι δεσμευμένη. Επιτρέπεται μόνον η μετατόπιση z-z</p>
Δύο Βλήτρα (αγκύρια) και Θλιβόμενη Ζώνη	<p>Δοκίμιο Εμφαννώματος – Μανδουωμένης δοκού</p> <p>Σύνδεση με δύο βλήτρα και θλιβόμενη ζώνη</p>  <p>Οριζόντια Δύναμη – Φορτίο 100kN</p> <p>Η μετατόπιση κατά x-x του εμφαννώματος δεν είναι δεσμευμένη και επιτρέπεται όπως και η μετατόπιση z-z</p>	<p>Δοκίμιο Εμφαννώματος – Μανδουωμένης δοκού</p> <p>Σύνδεση με δύο βλήτρα και θλιβόμενη ζώνη</p>  <p>Οριζόντια Δύναμη – Φορτίο 100kN</p> <p>Η μετατόπιση κατά x-x του εμφαννώματος είναι δεσμευμένη. Επιτρέπεται μόνον η μετατόπιση z-z</p>

Πέραν του τρόπου στήριξης και φόρτισης η παρούσα αριθμητική διερεύνηση εξετάζει τις εξής επί μέρους παραμέτρους της φορτιστικής διάταξης:

α1. Η σύνδεση και μεταφορά των δυνάμεων από το τμήμα του εμφαντώματος στο τμήμα του μανδουωμένου περιβάλλοντος πλαισίου θεωρείται ότι πραγματοποιείται τόσο μέσω των χαλύβδινων συνδέσμων όσο και μέσω του τμήματος του σκυροδέματος που βρίσκεται στην διεπιφάνεια και δεν αναπτύσσει εφελκυστική ένταση λόγω της εξωτερικής φόρτισης (ονομάζεται ως σύνδεση με δύο βλήτρα και θλιβόμενη ζώνη).

α2. Η σύνδεση και μεταφορά δυνάμεων από το τμήμα του εμφαντώματος στο τμήμα του μανδουωμένου περιβάλλοντος πλαισίου θεωρείται ότι πραγματοποιείται μόνον μέσω των δύο χαλύβδινων συνδέσμων με την παραδοχή ότι η μεταφορά δυνάμεων μέσω του σκυροδέματος στην διεπιφάνεια επαφής, λόγω της φύσης της έντασης από την εξωτερική φόρτιση, έχει εξουδετερωθεί.

Εξετάσθηκαν επίσης οι εξής δύο δυνατότητες μετακίνησης του τμήματος του εμφαντώματος κάτω από την επίδραση της εγκάρσιας φόρτισης που απεικονίζεται στα σχήματα 1.15 έως 1.17.

β1. Το τμήμα του εμφαντώματος να μπορεί να μετακινηθεί τόσο κατά την έννοια x-x όσο και κατά την έννοια z-z (δες σχήματα 1.15 έως 1.17).

β2. Το τμήμα του εμφαντώματος φορτίζεται ενώ δεσμεύεται η δυνατότητα ελεύθερης μετακίνησής του κατά την έννοια x-x. Το τμήμα του εμφαντώματος εξακολουθεί να είναι ελεύθερο να μετακινηθεί κατά την έννοια z-z (δες σχήματα 1.15 έως 1.17).

Με βάση τα ανωτέρω εξετάσθηκαν τέσσερις εναλλακτικές περιπτώσεις που απεικονίζονται στο σχήμα 1.17. Η υλοποίηση των ως άνω περιπτώσεων θα σχολιασθεί περαιτέρω στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.

	Μη δέσμευση μετατόπισης x-x	Δέσμευση μετατόπισης x-x
Δύο Βλήτρα (αγκύρια)	<p>Δοκίμιο Εμφαντώματος – Μανδουωμένης δοκού-στύλου</p> <p>Σύνδεση μόνον με δύο βλήτρα</p> <p>2mm Μετατόπιση</p> <p>Εμφάντωμα</p> <p>Οριζόντια Δύναμη – Φορτίο 100kN</p> <p>20mm Εκκεντρότητα</p> <p>Μανδουωμένη Δοκός-Στύλος</p> <p>Η μετατόπιση κατά x-x του εμφαντώματος δεν είναι δεσμευμένη και επιτρέπεται όπως και η μετατόπιση z-z</p>	<p>Δοκίμιο Εμφαντώματος – Μανδουωμένης δοκού-στύλου</p> <p>Σύνδεση μόνον με δύο βλήτρα</p> <p>Οριζόντια Δύναμη – Φορτίο 100kN</p> <p>20mm Εκκεντρότητα</p> <p>Εμφάντωμα</p> <p>Μανδουωμένη Δοκός-Στύλος</p> <p>Η μετατόπιση κατά x-x του εμφαντώματος είναι δεσμευμένη. Επιτρέπεται μόνον η μετατόπιση z-z</p>
Δύο Βλήτρα (αγκύρια) και Θλιβόμενη Ζώνη	<p>Δοκίμιο Εμφαντώματος – Μανδουωμένης δοκού-στύλου</p> <p>Σύνδεση με δύο βλήτρα και θλιβόμενη ζώνη</p> <p>Εμφάντωμα</p> <p>Οριζόντια Δύναμη – Φορτίο 100kN</p> <p>20mm Εκκεντρότητα</p> <p>Μανδουωμένη Δοκός-Στύλος</p> <p>Η μετατόπιση κατά x-x του εμφαντώματος δεν είναι δεσμευμένη και επιτρέπεται όπως και η μετατόπιση z-z</p>	<p>Δοκίμιο Εμφαντώματος – Μανδουωμένης δοκού-στύλου</p> <p>Σύνδεση με δύο βλήτρα και θλιβόμενη ζώνη</p> <p>Εμφάντωμα</p> <p>Οριζόντια Δύναμη – Φορτίο 100kN</p> <p>20mm Εκκεντρότητα</p> <p>Μανδουωμένη Δοκός-Στύλος</p> <p>Η μετατόπιση κατά x-x του εμφαντώματος είναι δεσμευμένη. Επιτρέπεται μόνον η μετατόπιση z-z</p>

Σχήμα 1.17. Εναλλακτικές περιπτώσεις της φορτιστικής διάταξης και του δοκιμίου που διερευνήθηκαν αριθμητικά.

Η αριθμητική προσομοίωση είναι δι-διάστατη και ακολούθησε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν για το εμφάντωμα, το περιβάλλον πλαίσιο και τους συνδέσμους στην παράγραφο 1.1. Τα σχήματα 1.18 και 1.19 που ακολουθούν απεικονίζουν συνοπτικά τα αποτελέσματα αυτής της αριθμητικής προσομοίωσης με κύριο στόχο την εύρεση της έντασης που αναπτύσσεται στους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια). Στο σχήμα 1.17 απεικονίζεται η θέση επιβολής της εγκάρσιας φόρτισης σε σχέση με την διεπιφάνεια του τμήματος του εμφαντώματος και του τμήματος του περιβάλλοντος μανδουωμένου πλαισίου. Όπως φαίνεται, υπάρχει μια εκκεντρότητα 20mm ανάμεσα στην θέση επιβολής της εξωτερικής

φόρτισης (εγκάρσιας για τους συνδέσμους) και της εν λόγω διεπιφάνειας. Όπως θα σχολιασθεί και στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2, λόγω του σχήματος του δοκιμίου και των απαραίτητων χαλύβδινων τμημάτων για την εφαρμογή της εν λόγω δύναμης μέσω του υδραυλικού εμβόλου στο δοκίμιο, η εκκεντρότητα αυτή δεν μπορούσε να μειωθεί περαιτέρω.

1.2.2. Συνοπτικά αποτελέσματα

Στο σχήμα 1.18 που ακολουθεί απεικονίζονται σε μεγενθυμένη κλίμακα οι παραμορφωμένες εικόνες του δοκιμίου για τις τέσσερις εναλλακτικές περιπτώσεις της φορτιστικής διάταξης του σχήματος 1.17 που προσομοιώθηκαν αριθμητικά (δες επίσης το ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2).

	Μη δέσμευση μετατόπισης x-x	Δέσμευση μετατόπισης x-x
Δύο Βλήτρα (αγκύρια)	<p>Δοκίμιο Εμφανώματος Μανδουωμένης δοκού ή στύλου</p> <p>Σύνδεση μόνον με δύο βλήτρα</p> <p>Μανδουωμένη Δοκός ή στύλος</p> <p>Εμφάνωμα</p> <p>Οριζόντια Δύναμη – Φορτίο 100KN</p> <p>20mm Εκκεντρότητα</p> <p>Η μετατόπιση κατά x-x του εμφανώματος δεν είναι δεσμευμένη και επιτρέπεται όπως και η μετατόπιση z-z</p>	<p>Δοκίμιο Εμφανώματος Μανδουωμένης δοκού-στύλου</p> <p>Σύνδεση μόνον με δύο βλήτρα</p> <p>Οριζόντια Δύναμη Φορτίο 100KN</p> <p>20mm Εκκεντρότητα</p> <p>Η μετατόπιση κατά x-x του εμφανώματος είναι δεσμευμένη. Επιτρέπεται μόνον η μετατόπιση z-z</p>
Δύο Βλήτρα (αγκύρια) και Θλιβόμενη Ζώνη	<p>Δοκίμιο Εμφανώματος Μανδουωμένης δοκού-στύλου</p> <p>Σύνδεση με δύο βλήτρα και θλιβόμενη ζώνη</p> <p>Οριζόντια Δύναμη Φορτίο 100KN</p> <p>20mm Εκκεντρότητα</p> <p>Η μετατόπιση κατά x-x του εμφανώματος δεν είναι δεσμευμένη και επιτρέπεται όπως και η μετατόπιση z-z</p>	<p>Δοκίμιο Εμφανώματος Μανδουωμένης δοκού-στύλου</p> <p>Σύνδεση με δύο βλήτρα και θλιβόμενη ζώνη</p> <p>Οριζόντια Δύναμη Φορτίο 100KN</p> <p>20mm Εκκεντρότητα</p> <p>Η μετατόπιση κατά x-x του εμφανώματος είναι δεσμευμένη. Επιτρέπεται μόνον η μετατόπιση z-z</p>

Σχήμα 1.18. Εικόνα του παραμορφωμένου δοκιμίου για τις τέσσερις εναλλακτικές περιπτώσεις αριθμητικής προσομοίωσης της φορτιστικής διάταξης του ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 2.

Πίνακας 1. Σύνοψη αποτελεσμάτων της προηγούμενης αριθμητικής διερεύνησης

Αξονική δύναμη βλήτρων-αγκυρίων σε τυπικό δοκίμιο (σχήμα 1.15 - 1.18) για 100KN εξωτερικό φορτίο		
	Μη δέσμευση μετατόπισης x-x	Δέσμευση μετατόπισης x-x
Σύνδεση με δύο Βλήτρα-Αγκύρια	15KN	4KN
Σύνδεση με δύο Βλήτρα-Αγκύρια και Θλιβόμενη Ζώνη	10KN	3KN
Εγκάρσια δύναμη βλήτρων για 100KN εξωτερικό φορτίο		
	Μη δέσμευση μετατόπισης x-x	Δέσμευση μετατόπισης x-x
Σύνδεση με δύο Βλήτρα-Αγκύρια	50KN	50KN
Σύνδεση με δύο Βλήτρα-Αγκύρια και Θλιβόμενη Ζώνη	50KN	50KN

Στο σχήμα 1.19. απεικονίζονται οι τιμές της εγκάρσιας και αξονικής έντασης που αναπτύσσεται στους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) για τις τέσσερις εναλλακτικές περιπτώσεις αριθμητικής προσομοίωσης της φορτιστικής διάταξης του ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 2. Στον πίνακα 1 γίνεται η σύνοψη αυτών των αποτελεσμάτων.

	Μη δέσμευση μετατόπισης x-x	Δέσμευση μετατόπισης x-x
Δύο Βλήτρα (αγκύρια)	<p>Δοκίμιο Εμφανώματος – Μανδουωμένης δοκού-στύλου Σύνδεση μόνον με δύο βλήτρα</p> <p>Διεπιφάνεια εμφανώματος – μανδουωμένης δοκού-στύλου</p> <p>Αξονική Δύναμη στα βλήτρα – συνδέσμους 15KN / για 100KN Οριζόντια Δύναμη στο Δοκίμιο</p> <p>Διεπιφάνεια εμφανώματος – μανδουωμένης δοκού-στύλου</p> <p>Διαμητική Δύναμη στα βλήτρα – συνδέσμους 50KN / 100KN Οριζόντια Δύναμη στο Δοκίμιο</p> <p>Η μετατόπιση κατά x-x του εμφανώματος δεν είναι δεσμευμένη και επιτρέπεται όπως και η μετατόπιση z-z</p>	<p>Δοκίμιο Εμφανώματος – Μανδουωμένης δοκού-στύλου Σύνδεση μόνον με δύο βλήτρα</p> <p>Διεπιφάνεια εμφανώματος – μανδουωμένης δοκού-στύλου</p> <p>Αξονική Δύναμη στα βλήτρα – συνδέσμους 4KN / για 100KN Οριζόντια Δύναμη στο Δοκίμιο</p> <p>Διεπιφάνεια εμφανώματος – μανδουωμένης δοκού-στύλου</p> <p>Διαμητική Δύναμη στα βλήτρα – συνδέσμους 50KN / 100KN Οριζόντια Δύναμη στο Δοκίμιο</p> <p>Η μετατόπιση κατά x-x του εμφανώματος είναι δεσμευμένη. Επιτρέπεται μόνον η μετατόπιση z-z</p>
Δύο Βλήτρα (αγκύρια) και Θλιβόμενη Ζώνη	<p>Δοκίμιο Εμφανώματος – Μανδουωμένης δοκού-στύλου Σύνδεση με δύο βλήτρα και θλιβόμενη ζώνη</p> <p>Διεπιφάνεια εμφανώματος – μανδουωμένης δοκού-στύλου</p> <p>Αξονική Δύναμη στα βλήτρα – συνδέσμους 10KN / για 100KN Οριζόντια Δύναμη στο Δοκίμιο</p> <p>Διεπιφάνεια εμφανώματος – μανδουωμένης δοκού-στύλου</p> <p>Διαμητική Δύναμη στα βλήτρα – συνδέσμους 50KN / 100KN Οριζόντια Δύναμη στο Δοκίμιο</p> <p>Η μετατόπιση κατά x-x του εμφανώματος δεν είναι δεσμευμένη και επιτρέπεται όπως και η μετατόπιση z-z</p>	<p>Δοκίμιο Εμφανώματος – Μανδουωμένης δοκού-στύλου Σύνδεση με δύο βλήτρα και θλιβόμενη ζώνη</p> <p>Διεπιφάνεια εμφανώματος – μανδουωμένης δοκού-στύλου</p> <p>Αξονική Δύναμη στα βλήτρα – συνδέσμους 3KN / για 100KN Οριζόντια Δύναμη στο Δοκίμιο</p> <p>Διεπιφάνεια εμφανώματος – μανδουωμένης δοκού-στύλου</p> <p>Διαμητική Δύναμη στα βλήτρα – συνδέσμους 50KN / 100KN Οριζόντια Δύναμη στο Δοκίμιο</p> <p>Η μετατόπιση κατά x-x του εμφανώματος είναι δεσμευμένη. Επιτρέπεται μόνον η μετατόπιση z-z</p>

Σχήμα 1.19. Τιμές της εγκάρσιας και αξονικής έντασης που αναπτύσσεται στους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) για τις τέσσερις εναλλακτικές περιπτώσεις αριθμητικής προσομοίωσης της φορτιστικής διάταξης του ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 2.

1.2.3. Συμπερασματικές Παρατηρήσεις

- Όπως φαίνεται από τα συνοπτικά αριθμητικά αποτελέσματα που περιλαμβάνονται στον ανωτέρω πίνακα στην περίπτωση της επιβολής φορτίου 100KN στην πειραματική διάταξη αυτό μεταβιβάζεται με 50KN εγκάρσιες δυνάμεις ανά σύνδεσμο (βλήτρο-αγκύριο) από το τμήμα του εμφανώματος στο τμήμα του μανδουωμένου-υποστυλώματος/δοκού.
- Ταυτόχρονα αναπτύσσεται σε κάθε σύνδεσμο ταυτόχρονα αξονική δύναμη, λόγω της εκκεντρότητας επιβολής του φορτίου αυτού ως προς την διεπιφάνεια σύνδεσης του τμήματος του εμφανώματος με το τμήμα του μανδουωμένου υποστυλώματος/δοκού.
- Η δύναμη αυτή, στην περίπτωση που δεσμεύεται η μετατόπιση x-x στην φορτιστική διάταξη (δες σχήματα 1.17, 1.18 και 1.19 και πίνακα 1), έχει μέγιστη τιμή 4KN, αν θεωρηθεί ότι ενεργούν στην σύνδεση μόνον τα δύο σύνδεσμοι (βλήτρα-αγκύρια), ή 3KN, αν θεωρηθεί ότι μαζί με τους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) συνυπολογίζεται και η συνεισφορά της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος στην διεπιφάνεια σύνδεσης του τμήματος του εμφανώματος με το τμήμα του μανδουωμένου υποστυλώματος/δοκού. Δηλαδή γι' αυτήν την περίπτωση φορτιστικής διάταξης τα επίπεδα της αξονικής δύναμης είναι σχετικά μικρά και η ένταση που δημιουργείται στους συνδέσμους θα πρέπει να θεωρηθεί ότι προσεγγίζει αυτήν της απλής εγκάρσιας καταπόνησης (διάτμησης).

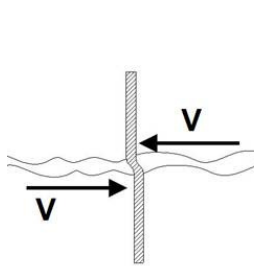
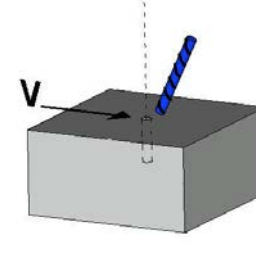
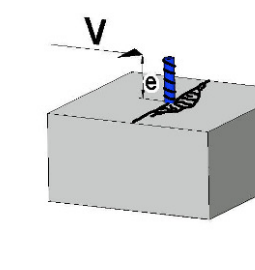
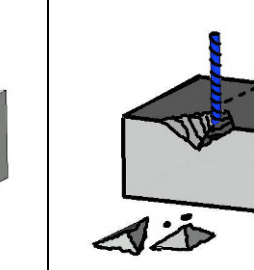
4. Η αξονική δύναμη που αναπτύσσεται στους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια), στην περίπτωση που δεν δεσμεύεται στην φορτιστική διάταξη η μετατόπιση x-x (δες σχήματα 1.17, 1.18 και 1.19 καθώς και τον πίνακα 1), έχει μέγιστη τιμή 15KN, αν θεωρηθεί ότι ενεργοποιούνται στην σύνδεση μόνον οι δύο σύνδεσμοι (βλήτρα-αγκύρια), ή 10KN, αν θεωρηθεί ότι μαζί με τους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) συνυπολογίζεται και η συνεισφορά της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος στην διεπιφάνεια σύνδεσης-επαφής του τμήματος του εμφανώματος με το τμήμα του μανδουμένου υποστυλώματος/δοκού. Στην περίπτωση αυτή τα επίπεδα της αξονικής δύναμης δεν είναι αμελητέα αλλά δημιουργείται με την εν λόγω φορτιστική διάταξη ένταση στους συνδέσμους που ταυτόχρονα συνδυάζει για τους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) την εγκάρσια καταπόνηση με την αξονική καταπόνηση τους. Η περίπτωση αυτή είναι ποιο ρεαλιστική για την δημιουργία δι-διάστατου πεδίου έντασης για τους συνδέσμους, όπως παρουσιάστηκε στην παράγραφο 1.1. της αριθμητικής προσομοίωσης της αλληλεπίδρασης εμφανώματος (με συνδέσμους) / περιβάλλοντος πλαισίου.

5. Η μέγιστη αξονική δύναμη για τους συνδέσμους στην περίπτωση αυτή είναι μόνον το 20% έως 30% του μεγέθους της μέγιστης εγκάρσιας δύναμης που παραλαμβάνουν οι εν λόγω σύνδεσμοι με την χρήση αυτής της φορτιστικής διάταξης. Τα αριθμητικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα σχήματα 1.5, 1.8, 1.9 δείχνουν ότι στις ακραίες περιοχές τόσο της δοκού όσο και των υποστυλωμάτων οι αξονικές δυνάμεις, που αναπτύσσονται στους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) ταυτόχρονα με τις εγκάρσιες δυνάμεις, είναι του ίδιου ή μεγαλύτερου μεγέθους. Προς τον σκοπό αυτό, η φορτιστική διάταξη χωρίς την δέσμευση της μετατόπισης x-x (δες σχήμα 1.17 και 1.18), χρησιμοποιήθηκε σε όλο τον αριθμό δοκιμών για να διερευνηθεί η συνδυασμένη αυτή έντασης των συνδέσμων. Πέραν αυτού σε ορισμένο στάδιο της φορτιστικής ακολουθίας (δες ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2) επιβλήθηκε ταυτόχρονα με την εγκάρσια για τους συνδέσμους εξωτερική φόρτιση και ταυτόχρονη αξονική εξωτερική φόρτιση, όπως ενδεικτικά απεικονίζεται στα σχήματα 1.13 και 1.14. Η φορτιστική διάταξη, όπου δεν δεσμεύεται η μετατόπιση x-x, επιτρέπει την επιβολή αυτής της συνδυασμένης φόρτισης.

1.2.4. Περαιτέρω Σχολιασμός

Τόσο στην βιβλιογραφία όσο και στις σχετικές διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. γίνεται διάκριση των συνδέσμων στους εξής δύο τύπους.

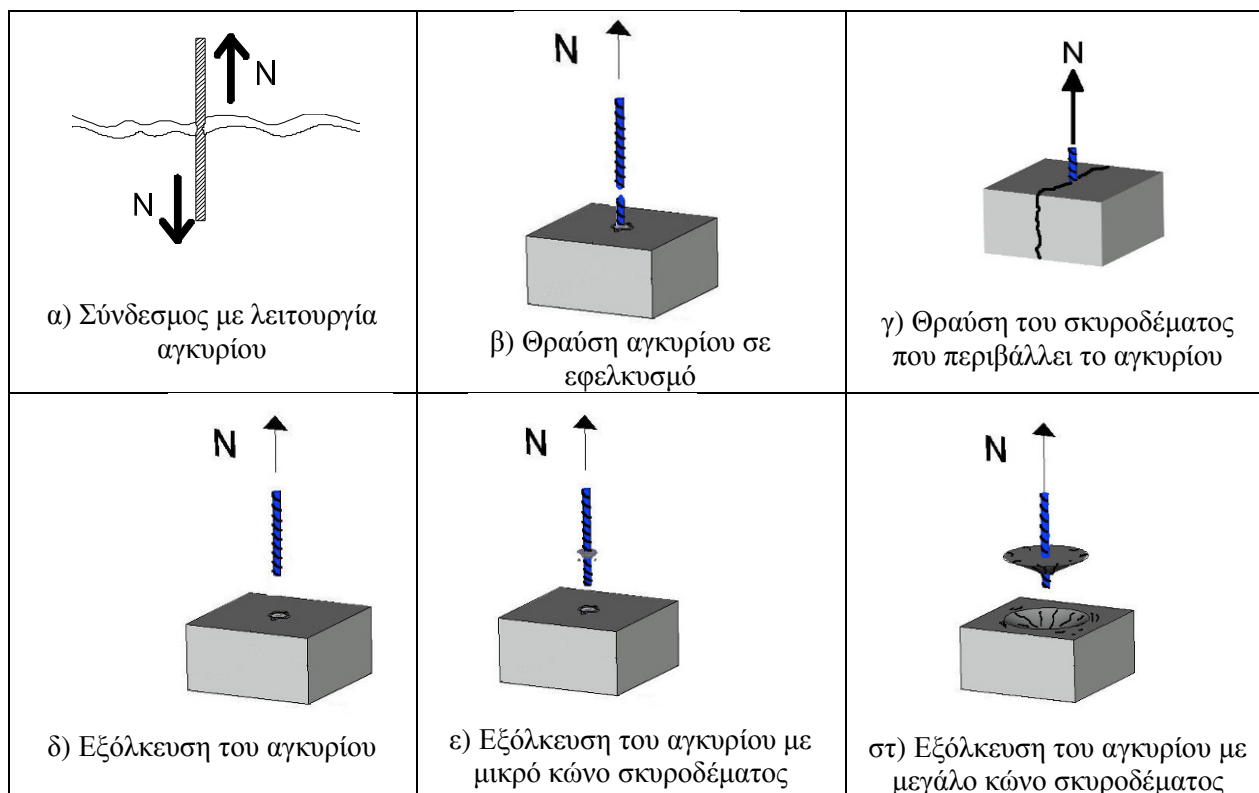
Ο πρώτος είναι αυτός του «βλήτρου» και αναφέρεται σε ένα σύνδεσμο (χαλύβδινο) μέσω του οποίου γίνεται η μεταφορά δυνάμεων που έχουν διεύθυνση κάθετη προς την διεύθυνση του άξονα του συνδέσμου. Για τον σύνδεσμο αυτό προβλέπονται σενάρια αστοχίας [45-47] σχήμα είτε του συνδέσμου αυτού κάθε αυτού είτε του περιβάλλοντος σκυροδέματος που απεικονίζονται από τα κάτωθι ενδεικτικά σκαριφήματα.

			
α) Σύνδεσμος με λειτουργία βλήτρου	β) Θραύση του βλήτρου	γ) Θραύση του σκυροδέματος που περιβάλλει το βλήτρο	δ) Θραύση του σκυροδέματος που περιβάλλει το βλήτρο

Σχήμα 1.20. Αστοχίες για την λειτουργία «βλήτρου» του συνδέσμου

Όπως φαίνεται από το σχήμα 1.20 μόνον το σκαρίφημα 1.20β αναφέρεται στην αστοχία του συνδέσμου ενώ τα άλλα δύο στην αστοχία του σκυροδέματος που περιβάλλει τον σύνδεσμο.

Ο δεύτερος τύπος είναι αυτός του «αγκυρίου» και αναφέρεται σε ένα σύνδεσμο μέσω του οποίου γίνεται η μεταφορά δυνάμεων που έχουν διεύθυνση παράλληλη προς την διεύθυνση του άξονα του συνδέσμου. Για τον σύνδεσμο αυτό προβλέπονται σενάρια αστοχίας [45-47] είτε του συνδέσμου αυτού κάθε αυτού είτε του περιβάλλοντος σκυροδέματος.



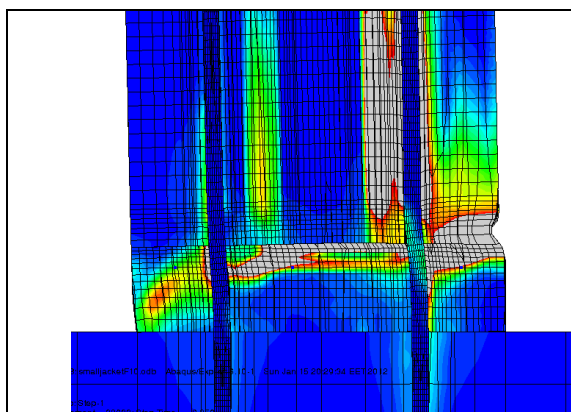
Σχήμα 1.21. Αστοχίες για την λειτουργία «αγκυρίου» του συνδέσμου.

Όπως φαίνεται στο ανωτέρω σχήμα 1.21. και πάλι μόνον το σκαρίφημα 1.21β αναφέρεται στην αστοχία του συνδέσμου σε εφελκυσμό ενώ τα άλλα τέσσερα σκαριφήματα αναφέρονται είτε στην αστοχία του σκυροδέματος που περιβάλλει τον σύνδεσμο είτε στην εξόλκευση του αγκυρίου χωρίς η με μικρό-μεγάλο κώνο σκυροδέματος που περιβάλλει τον σύνδεσμο.

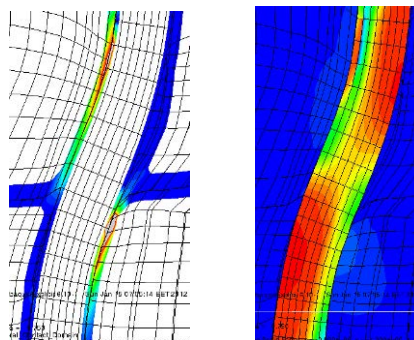
Συμπερασματικές παρατηρήσεις.

1. Με βάση τα προηγούμενα και το υλικό που παρουσιάστηκε στην παράγραφο 1.1 και 1.2. γίνεται προφανές ότι οι σύνδεσμοι μεταξύ του εμφαντώματος και των δομικών στοιχείων του περιβάλλοντος πλαισίου είναι σύνδεσμοι που αναπτύσσουν ταυτόχρονα λειτουργία «βλήτρου» και λειτουργία «αγκυρίου».
2. Οι μορφές αστοχίας του περιβάλλοντος τον σύνδεσμο σκυροδέματος καλύπτονται από κανονιστικές διατάξεις (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. [45] παράγραφος 6.1.2.2β, σχήμα 6.6) που αφορούν είτε τις ελάχιστες αποστάσεις επικάλυψης του συνδέσμου από σκυρόδεμα είτε τα ελάχιστα μήκη έμπηξης-αγκύρωσης του συνδέσμου εντός του όγκου του σκυροδέματος. Συνεπώς, οι μορφές αυτές της αστοχίας του περιβάλλοντος τον σύνδεσμο σκυροδέματος δεν θα αποτελέσουν παράμετρο της παρούσας διερεύνησης.
3. Η εκκεντρότητα εφαρμογής της εγκάρσιας-διατμητικής δύναμης που εφαρμόζεται κάθετα προς τον άξονα του συνδέσμου, μπορεί να προσδιοριστεί είτε στην πειραματική εξέταση (δες Κεφάλαιο 2) είτε στην αντίστοιχη αριθμητική προσομοίωση (δες παράγραφο 1.2). Στην περίπτωση όμως της αλληλεπίδρασης εμφαντώματος περιβάλλοντος πλαισίου η τιμή της εκκεντρότητας αυτής δεν προσδιορίζεται εύκολα, όπως απαιτείται για να έχουν εφαρμογή οι αντίστοιχες διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. [45] παράγραφος 6.1.2.) για την εύρεση της φέρουσας ικανότητας «βλήτρου».
4. Το αποτέλεσμα της εκκεντρότητας της εφαρμογής της εγκάρσιας-διατμητικής δύναμης, δηλαδή της δύναμης που εφαρμόζεται κάθετα προς τον άξονα του συνδέσμου (λειτουργία «βλήτρου»), είναι να αναπτυχθούν επιπρόσθετα στον σύνδεσμο δυνάμεις που, όπως βρέθηκε από την αριθμητική διερεύνηση της παραγράφου 1.2., εφαρμόζονται παράλληλα προς τον άξονα του συνδέσμου (λειτουργία «αγκυρίου»). Δηλαδή έχει και πάλι εφαρμογή η προηγούμενη παρατήρηση 1, ότι οι σύνδεσμοι αυτοί αναπτύσσουν ταυτόχρονα λειτουργία «βλήτρου» και λειτουργία «αγκυρίου».

Με βάση τον ως άνω σχολιασμό γίνεται προφανές ότι για την κατανόηση της συμπεριφορά των συνδέσμων μεταξύ εμφαννώματος-περιβάλλοντος πλαισίου απαιτείται η μελέτη τους κάτω από φορτίσεις που εμπεριέχουν για τους συνδέσμους τόσο την λειτουργία τους ως βλήτρα όσο και την λειτουργία τους ως αγκύρια. Αυτή η συμπερασματική παρατήρηση θα ακολουθηθεί στην φορτιστική διαδικασία του Κεφαλαίου 2. Επιπρόσθετα, παρά το γεγονός ότι οι σχετικές κατασκευαστικές διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. αποτρέπουν την εμφάνιση μορφών αστοχίας του περιβάλλοντος τον σύνδεσμο όγκο του σκυροδέματος το σκυρόδεμα αυτό εξακολουθεί να είναι παραμορφώσιμο. Τα αριθμητικά σκαριφήματα που ακολουθούν απεικονίζουν μια τέτοια λειτουργία «βλήτρου» εντός παραμορφώσιμου περιβάλλοντος σκυροδέματος με μερικώς διαρρηγμένη-αποκολλημένη την περιοχή του ελκυσμένου σκυροδέματος και συμπιεσμένη στις θλιβόμενες περιοχές. Τα αποτελέσματα αυτά προέκυψαν από την τρισδιάστατη αριθμητική προσομοίωση της σύνδεσης τμήματος εμφαννώματος με τμήμα μανδουωμένου στοιχείου περιβάλλοντος πλαισίου (δοκού ή στύλου) όπως αυτή που περιγράφεται στην παράγραφο 1.2.1. Η σύνδεση αυτή την φορά γίνεται με τέσσερις συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) διαμέτρου 12mm. Περισσότερα στοιχεία αυτής της τρισδιάστατης αριθμητικής διερεύνησης παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 5.



Σχήμα 1.22. Τρισδιάστατη αριθμητική προσομοίωση. Σύνδεση με τέσσερα «βλήτρα» (αγκύρια). Μη δέσμευση μετατόπισης x-x



Σχήμα 1.23. Παραμορφωμένη εικόνα στην περιοχή που περιβάλλει το βλήτρο στην διεπιφάνεια σύνδεσης-ολίσθησης

Στο σχήμα 1.22 φαίνονται τα δύο από τα τέσσερα βλήτρα της τρισδιάστατης αυτής προσομοίωσης ενώ στο σχήμα 1.23 απεικονίζεται σε μεγέθυνση η εικόνα του συνδέσμου και του περιβάλλοντος τον σύνδεσμο όγκο σκυροδέματος κατά την λειτουργία του συνδέσμου ως «βλήτρο», όπου θα εμφανίζονται προβλήματα μονόπλευρης επαφής, που είναι συσσωρευμένα μετά από έναν αριθμό ανακυκλίσεων ικανού εύρους. Συνεπώς, η συμπεριφορά του συνδέσμου δεν είναι αυτή της καθαρής διάτμησης αλλά μιας σύνθεσης της διατμητικής με την καμπτική συμπεριφορά του συνδέσμου για ένα μήκος του που εξαρτάται από αυτές τις συνθήκες μονόπλευρης επαφής – σύνθλιψης του όγκου του περιβάλλοντος τον σύνδεσμο σκυροδέματος. Στην παραπάνω σύνθετη λειτουργία θα πρέπει να προστεθεί και η λειτουργία του συνδέσμου ως «αγκυρίου» με την ταυτόχρονη επιβολή αξονικών για τον σύνδεσμο δυνάμεων. Η σύνθετη αυτή συμπεριφορά του συνδέσμου εμφαννώματος-περιβάλλοντος πλαισίου θα διερευνηθεί στα κεφάλαια που ακολουθούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

Εξέταση των συνδέσεων των απλών δοκιμίων των συνδέσεων των εμφανωμάτων με τα δομικά στοιχεία των πλαισίων Ο/Σ ενισχυμένα με μανδύα έγχυτου σκυροδέματος.

2.1. Ιδιότητες Υλικών - Κατασκευή Δοκιμίων

2.1.1. Ιδιότητες Υλικών

Η ανάμιξη και σκυροδέτηση των δοκιμίων έγινε επί τόπου στο εργαστήριο Αντοχής των Υλικών και των Κατασκευών, σύμφωνα με τα πρότυπα του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος. Το σκυρόδεμα για το υφιστάμενο δομικό στοιχείο ακολουθεί την εξής αναλογία.

Υλικό	Βάρος (Kg)
Γαρμπίλι	110
Ρύζι	110
Άμμος	120
Τσιμέντο	110
Νερό	45

Στη συνέχεια έλαβε χώρα η κατασκευή της ενίσχυσης των έξι υποστυλωμάτων με μανδύα. Η αναλογία των αδρανών, τσιμέντου και νερού για την κατασκευή του μανδύα είναι η εξής :

Υλικό	Βάρος (Kg)
Γαρμπίλι	130
Ρύζι	130
Άμμος	140
Τσιμέντο	125
Νερό	60

Προσδιορισμός Ιδιοτήτων των Υλικών

Σκυρόδεμα

Σε κάθε κατασκευή δοκιμίων λαμβάνονταν κυλινδρικά δοκίμια σκυροδέματος διαστάσεων 150mmX300mm που στόχο είχαν τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. Συνολικά ελήφθησαν τρία δοκίμια για κάθε σκυροδέτηση. Στους παρακάτω Πίνακα 2.1α έως Πίνακα 2.1γ παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις δοκιμές θλίψης.



Σχήμα 2.1. Θλίψη κυλινδρικών δοκιμίων σκυροδέματος

Ακολουθούν οι πίνακες 2.1.α-γ .

Πίνακας 2.1α. Αντοχές σκυροδέματος δοκιμών 1^{ης} κατασκευαστικής φάσης
Δοκίμια Bare-1 έως Bare-6

Είδος δοκιμίου	Αντοχή (t)	Τάση (Mpa)	M.O.
Υφιστάμενο υποστύλωμα 1 ^{ης} παρτίδας	35.5	19.72	19.72
	33	18.33	
	38	21.11	
Μανδύας 1 ^{ης} παρτίδας	42	23.33	23.14
	41	22.77	
	42	23.33	

Από τον ανωτέρω πίνακα γίνεται φανερό ότι η χαρακτηριστική αντοχή σε θλίψη για τα δοκίμια που προσομοιώνουν το υφιστάμενο υποστύλωμα είναι 19,72 Mpa. Ενώ αυτά που προσομοιώνουν το μανδύα και το εμφάνωμα είναι 23,14 Mpa.

Πίνακας 2.1β. Αντοχές σκυροδέματος δοκιμών 2^{ης} κατασκευαστικής φάσης
Δοκίμια Bare-7 έως Bare-18

Είδος δοκιμίου	Αντοχή (t)	Τάση (Mpa)	M.O.
Υφιστάμενο υποστύλωμα 2 ^{ης} παρτίδας	32	17.77	19.99
	40	22.22	
	36	19.99	
Μανδύας 2 ^{ης} παρτίδας	43	23.88	22.77
	39	21.66	
	41	22.77	

Από τον ανωτέρω πίνακα γίνεται φανερό ότι η χαρακτηριστική αντοχή σε θλίψη για τα δοκίμια που προσομοιώνουν το υφιστάμενο υποστύλωμα είναι 19,99 Mpa. Ενώ αυτά που προσομοιώνουν το μανδύα και το εμφάνωμα είναι 22,77 Mpa.

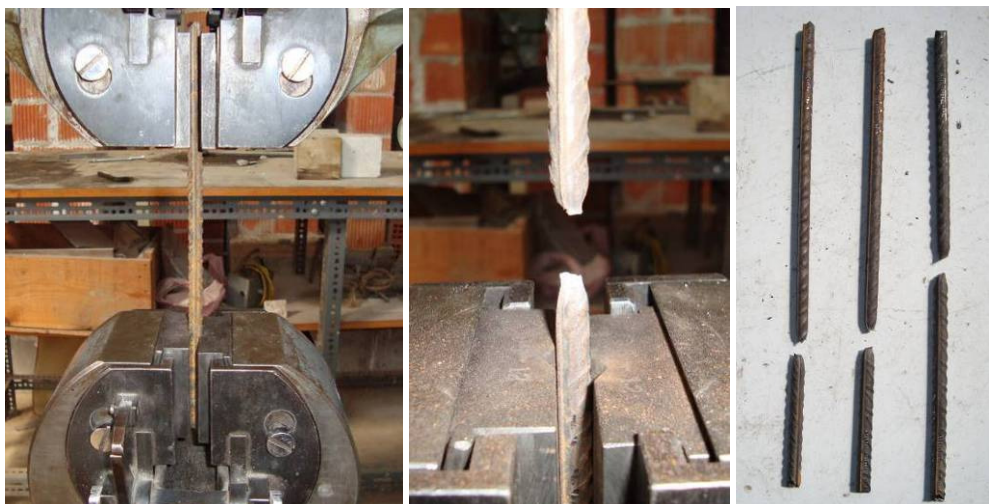
Πίνακας 2.1γ. Αντοχές σκυροδέματος δοκιμών 3^{ης} κατασκευαστικής φάσης
Δοκίμια Bare-19 έως Bare-24

Είδος δοκιμίου	Αντοχή (t)	Τάση (Mpa)	M.O.
Υφιστάμενο υποστύλωμα 3 ^{ης} παρτίδας	36	19.99	21.01
	38	21.11	
	39.5	21.94	
Μανδύας 3 ^{ης} παρτίδας	40	22.22	22.86
	43	23.88	
	40.5	22.49	

Από τον ανωτέρω πίνακα γίνεται φανερό ότι η χαρακτηριστική αντοχή σε θλίψη για τα δοκίμια που προσομοιώνουν το υφιστάμενο υποστύλωμα είναι 21,01 Mpa. Ενώ αυτά που προσομοιώνουν το μανδύα και το εμφάνωμα είναι 22,86 Mpa.

Δομικός Χάλυβας - Εφελκυστική Αντοχή

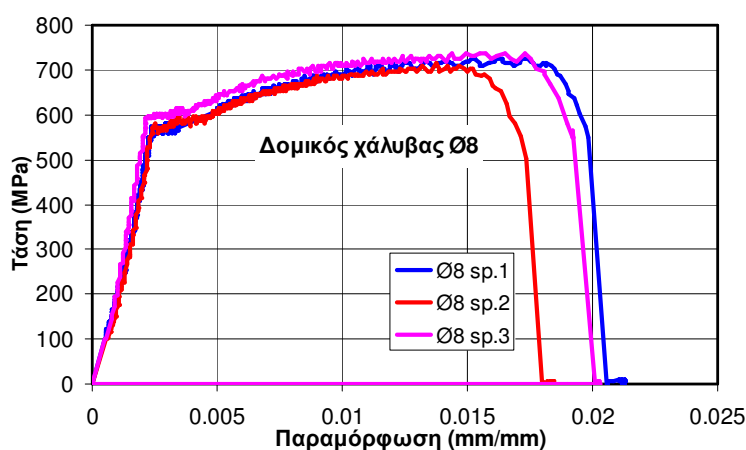
Στο υποκεφάλαιο αυτό θα παρατεθούν τα αποτελέσματα από δοκιμές καθαρού εφελκυσμού δομικού χάλυβα από τις διάφορες διαμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των δοκιμών που ελέγχθηκαν στην παρούσα πειραματική διερεύνηση μανδρωμένων δοκιμών για την εξέταση της συμπεριφοράς συνδέσεων των εμφανωμάτων με τα δομικά στοιχεία των πλαισίων Ο/Σ ενισχυμένα με μανδύα έγχυτου σκυροδέματος. Τα εν λόγω μηχανικά χαρακτηριστικά αφορούν τόσο τις διαμήκεις ράβδους των δοκιμών όσο και τους συνδετήρες και τα αγκύρια-συνδέσμους στην διεπιφάνεια του τμήματος του εμφανώματος με το τμήμα του περιβάλλοντος πλαισίου



Σχήμα 2.2. Καθαρός ελκυσμός δομικού χάλυβα

- Χάλυβας διαμέτρου 8mm

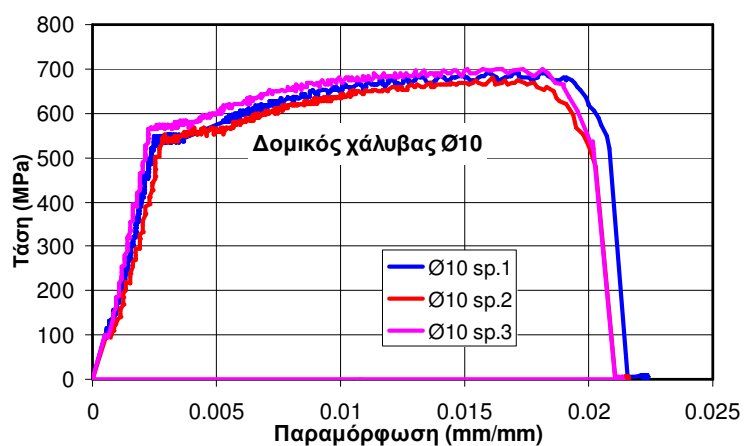
Από το γράφημα που ακολουθεί προκύπτει μια τάση διαρροής ίση με 570MPa με αντίστοιχη παραμόρφωση διαρροής ίση με 2,8‰.



Σχήμα 2.3. Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το δομικό χάλυβα διαμέτρου Ø8mm

- Χάλυβας διαμέτρου 10mm

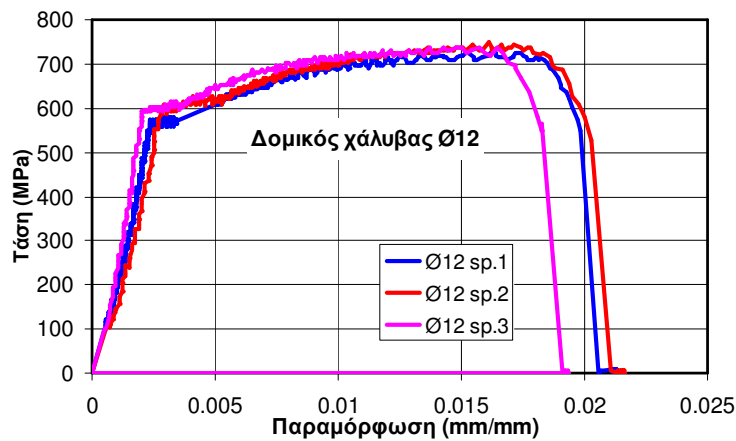
Από το γράφημα που ακολουθεί προκύπτει μια τάση διαρροής ίση με 550MPa με αντίστοιχη παραμόρφωση διαρροής ίση με 2,7‰.



Σχήμα 2.4. Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το δομικό χάλυβα διαμέτρου Ø10mm

- Χάλυβας διαμέτρου 12mm

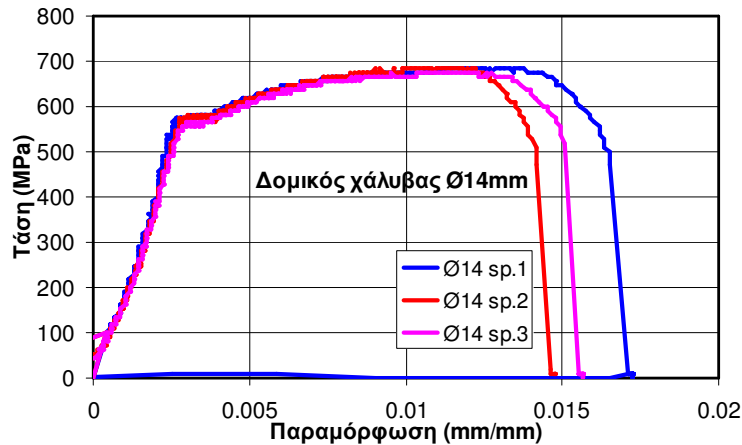
Από το γράφημα που ακολουθεί προκύπτει μια τάση διαρροής ίση με 570MPa με αντίστοιχη παραμόρφωση διαρροής ίση με 2,8‰.



Σχήμα 2.5. Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το δομικό χάλυβα διαμέτρου Ø12mm

- Χάλυβας διαμέτρου 14mm

Από το γράφημα που ακολουθεί προκύπτει μια τάση διαρροής ίση με 570Mpa με αντίστοιχη παραμόρφωση διαρροής ίση με 2,8‰.



Σχήμα 2.6. Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το δομικό χάλυβα διαμέτρου Ø14mm

Πίνακας 2.2. Μηχανικές Ιδιότητες Δομικού Χάλυβα σε εφελκυσμό

Διάμετρος Δομικού Χάλυβα (mm)	Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)	Τάση Διαρροής f_y^{act} (Mpa)	Παραμόρφωση Διαρροής (mm/mm)	Μέγιστη Τάση σ_{ult} (Mpa)
Ø8	203,6	570	0,0028	710
Ø10	203,7	555	0,0027	700
Ø12	203,6	570	0,0028	710
Ø14	203,6	570	0,0028	690

Δομικός Χάλυβας - Διατμητική αντοχή

Οι ράβδοι χάλυβα που χρησιμοποιήθηκαν ως αγκύρια-σύνδεσμοι για την σύνδεση του τμήματος του εμφαντώματος με το τμήμα του μανδρωμένου υποστυλώματος στα δοκίμια της παραγράφου 1.1.2. (δες σχήματα) υποβλήθηκαν σε δοκιμή δίτμητης διάτμησης-ψαλιδισμού με τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Πίνακας 2.3. Μηχανικές Ιδιότητες Δομικού Χάλυβα σε δίτμητη διάτμηση-ψαλιδισμό

Διάμετρος Δομικού Χάλυβα (mm)	Μέγιστο φορτίο ¹ (KN)	Μέση Διατμητική αντοχή ² (τ_{max}) (Mpa)	Άνω όριο ³ $0.9 f_y^{act}$ (Mpa)	Άνω όριο ⁴ $\sigma_{ult} / \sqrt{3}$ (Mpa)	Άνω όριο ⁵ $f_y^{nom} / \sqrt{3}$ (Mpa)	Μέση Διατμητική αντοχή ² / Άνω όριο ⁴	Μέση Διατμητική αντοχή ² / Άνω όριο ⁵
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Ø8	49.34	490.8	513.0	409.93	288.68	1.20	1.7
Ø10	73.08	465.24	513.0	404.16	288.68	1.15	1.61
Ø12	106.24	469.68	513.0	409.93	288.68	1.15	1.63
Ø14	149.41	485.28	513.0	398.38	288.68	1.22	1.68

1. Δίτμητο δοκίμιο-μέσος όρος τριών δοκιμίων.

2 Τιμή (τ_{max}) βασισμένη στην πειραματική μέτρηση του μέγιστου φορτίου

3 Όριο βασισμένο στην μετρημένη τιμή του ορίου διαρροής f_y^{ac}

4 Όριο βασισμένο στην μετρημένη τιμή της τάσης θραύσης σ_{ult}

5 Όριο βασισμένο στην ονομαστική τιμή του ορίου διαρροής f_y^{nom} χωρίς συντελεστή ασφάλειας (χρησιμοποιείται στις σχέσεις 6.7 και 6.8 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.)

Στην στήλη 7 δίδεται ο λόγος της μετρημένης τιμής της μέσης διατμητικής αντοχής (τ_{max}) προς το άνω όριο $\sigma_{ult} / \sqrt{3}$

Οι τιμές του λόγου αυτού κυμαίνονται από 1.15 έως 1.22.

Στην στήλη 8 δίδεται ο λόγος της μετρημένης τιμής της μέσης διατμητικής αντοχής (τ_{max}) προς το άνω όριο $f_y^{nom} / \sqrt{3}$

Οι τιμές του λόγου αυτού κυμαίνονται από 1.61 έως 1.7. Οι τιμές αυτές προέκυψαν χωρίς να διαιρεθεί η τιμή του ονομαστικού ορίου διαρροής f_y^{nom} με τον συντελεστή ασφάλειας του υλικού ($\gamma_s = 1.15$)

Δομικός Χάλυβας - Αντοχή ράβδων σε εξόλκευση

Δοκίμια ράβδων διαμέτρων **Ø8, Ø10, Ø12, Ø14**, που χρησιμοποιήθηκαν ως σύνδεσμοι (βλήτρα-αγκύρια) στην κατασκευή των δοκιμίων του παρόντος κεφαλαίου., υποβλήθηκαν σε δοκιμή εξόλκευσης έχοντας ενσωματωθεί εντός κυλινδρικών δοκιμίων σκυροδέματος σε βάθος 175mm. Για όλα αυτά τα δοκίμια συνδέσμων (βλήτρων-αγκυρίων) χρησιμοποιήθηκε για την αγκύρωσή τους η ρητίνη “AnchorFix-1 της Sika” όπως έγινε και κατά την κατασκευή των δοκιμίων του παρόντος κεφαλαίου (δες σχήματα 2.16, 2.17 και 3.3. έως 3.50). Τα κυλινδρικά δοκίμια του σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκαν στην δοκιμή εξόλκευσης ήταν της ίδιας θλιπτικής αντοχής με αυτά των δοκιμίων της παραγράφου 2.1.2. Στα δοκίμια με ράβδους **Ø8, Ø10** δεν επιτεύχθηκε η εξόλκευσή τους, αφού προηγήθηκε η θραύση των ράβδων. Στα δοκίμια με διαμέτρους **Ø12, Ø14** επιτεύχθηκε η εξόλκευσή τους. Η μέση τάση συνάφειας για τα δοκίμια **Ø12, Ø14**, ανηγμένη στην ιδεατή διατομή των ράβδων, βρέθηκε ίση με 11.37Mpa. Με βάση τα ανωτέρω και για τα μήκη αγκύρωσης των 250mm, που χρησιμοποιήθηκαν για την αγκύρωση των συνδέσμων (βλήτρων-αγκυρίων) εντός του σώματος του μανδουωμένου υποστυλώματος / δοκού όλων των δοκιμίων της παραγράφου 2.1.2., το φορτίο εξόλκευσης υπερκαλύπτει το φορτίο θραύσης των αντίστοιχων ράβδων **Ø8, Ø10, Ø12, Ø14**. Για όλα τα βλήτρα χρησιμοποιήθηκε για την αγκύρωσή τους η ρητίνη “AnchorFix-1 της Sika” που για το βλήτρο με την μεγαλύτερη διάμετρο από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν, δηλαδή το **Ø14**, δίνει απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης ίσο με 140 mm. Επιπρόσθετα, η εξόλκευση των βλήτρων από τον τμήμα του εμφαντώματος στα δοκίμια της παραγράφου 2.1.2. δεν ήταν δυνατή λόγω του μήκους αγκύρωσής τους (270mm) και της διαμόρφωσης άγκιστρου στα άκρα τους με την πρόσθετη τοποθέτηση συγκολλημένης εγκάρσιας ράβδου εντός των αγκιστρών. Συνεπώς, στην πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε, το ανεπιθύμητο σενάριο της εξόλκευσης των βλήτρων, είτε από τον όγκο του σκυροδέματος του τμήματος του μανδουωμένου υποστυλώματος είτε από τον όγκο του σκυροδέματος του τμήματος του εμφαντώματος, αποτράπηκε με τον τρόπο που περιγράφηκε και δεν αποτέλεσε παράμετρο του προβλήματος.

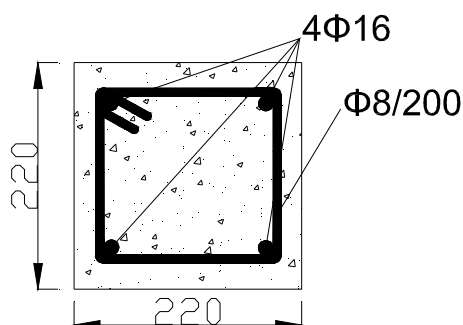
Η αποτροπή της εξόλκευσης με την τεχνική που περιγράφηκε προηγουμένως μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί και στην περίπτωση της σύνδεσης ενός εμφαντώματος με τα δομικά στοιχεία του περιβάλλοντος πλαισίου (μανδουωμένα ή μη).

2.1.2. Κατασκευή Δοκιμίων

Η κατασκευή των δοκιμίων έλαβε χώρα στο Εργαστήριο Πειραματικής Αντοχής των Υλικών και των Κατασκευών. Στο σχήμα 7 παρουσιάζονται φάσεις από την σκυροδέτηση των μανδύων και εμφαντωμάτων των δοκιμίων αυτών



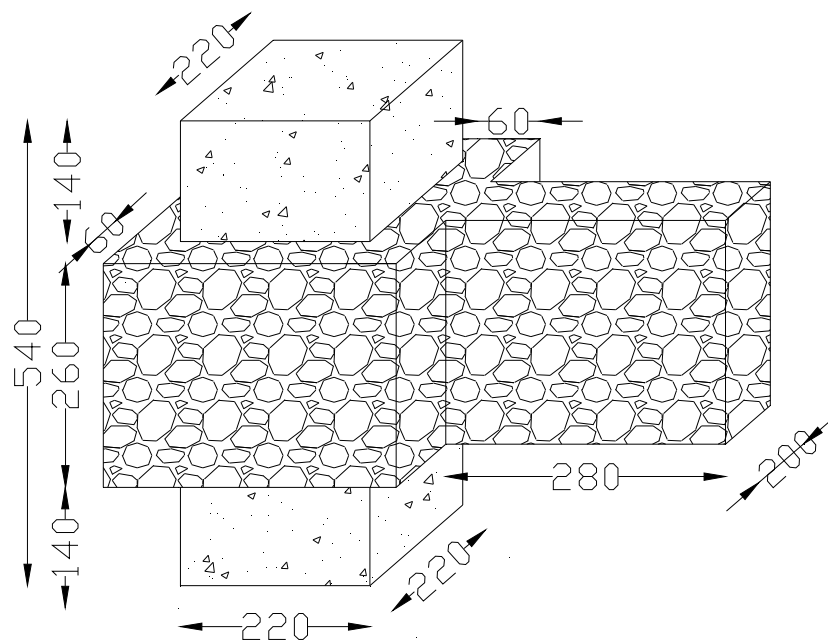
Σχήμα 2.7. Ανάμιξη Σκυροδέματος



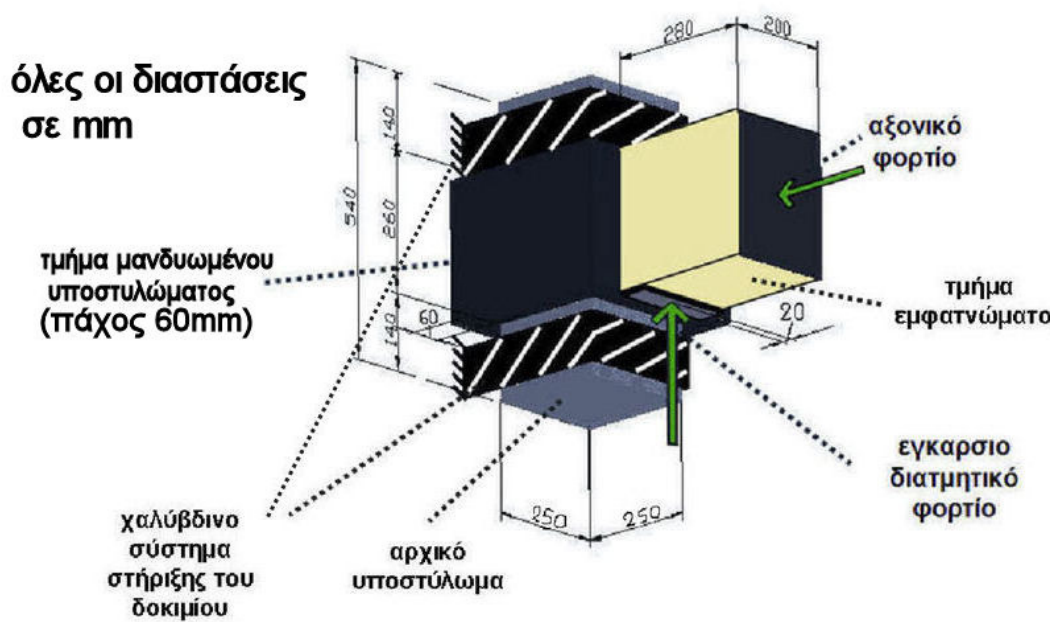
Σχήμα 2.8: Σχέδιο Υφιστάμενου Υποστυλώματος

Η διατομή των δοκιμίων είναι 220mm X 220mm και το μήκος τους 540mm. Τα υφιστάμενα υποστυλώματα είναι οπλισμένα, τυπικά, με 4Φ16 ως διαμήκη οπλισμό και με Φ8/200 ως οπλισμό διάτμησης. Κατασκευάστηκαν συνολικά 24 δοκίμια τα οποία σε δεύτερη φάση θα ενισχυθούν. Κατά τη κατασκευή των δοκιμίων ελήφθησαν 3 κυλινδρικά δοκίμια με πρότυπες διαστάσεις 150mm X 300mm. Θεωρήθηκε ότι σκοπός δεν είναι να παραχθεί σκυρόδεμα πολύ υψηλής αντοχής. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να προσομοιωθεί με σχετική ακρίβεια ένα πιθανό σκυρόδεμα μιας υφιστάμενης κατασκευής η οποία καλείται να ενισχυθεί.

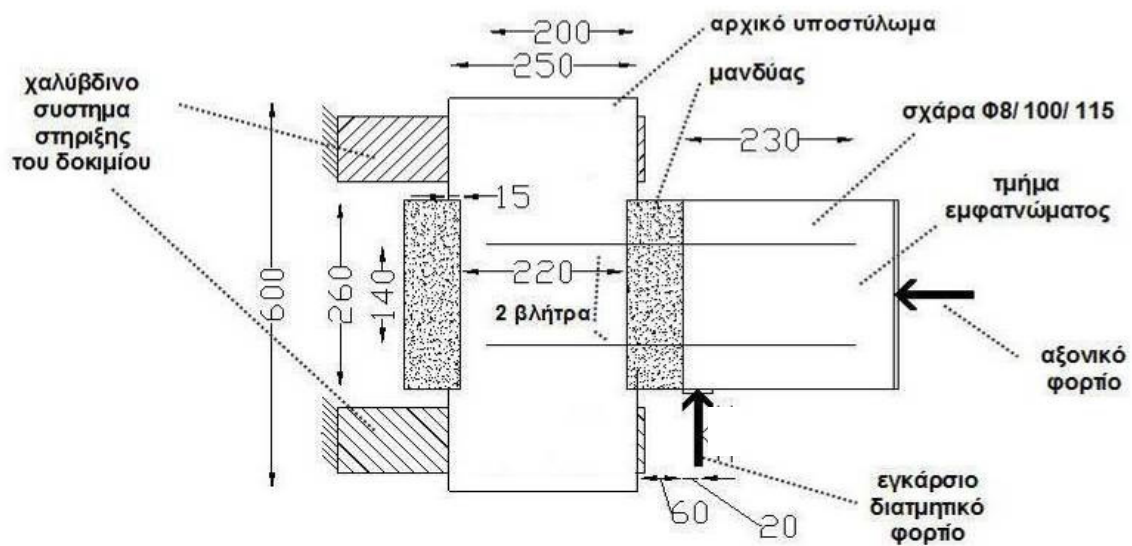
Ο μανδύας είχε πάχος 60mm περιμετρικά του υποστυλώματος. Επίσης κατά τη φάση κατασκευής του μανδύα κατασκευάστηκε και τμήμα του εμφαντώματος της ενίσχυσης με την ίδια ποιότητα σκυροδέματος. Ο μανδύας μαζί με την εμφάντωση περιορίστηκαν σε ένα ύψος 260mm. Η γεωμετρία των δοκιμίων παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



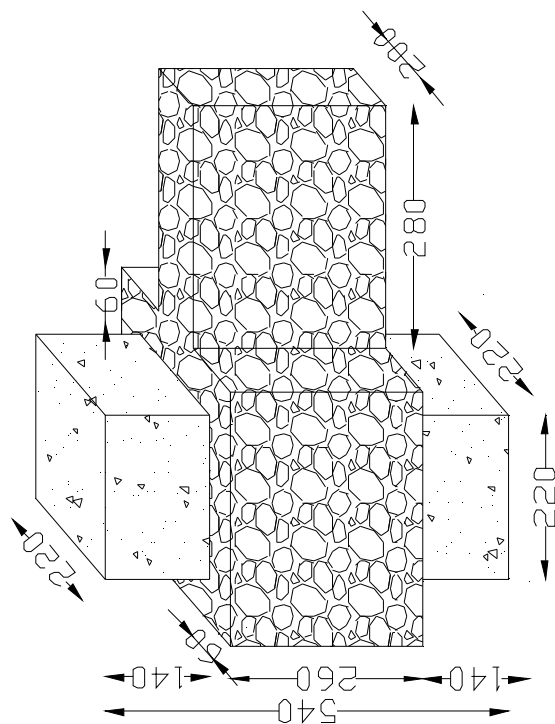
Σχήμα 2.9: Γεωμετρία του δοκιμίου (σε mm) του τμήματος του εμφανώματος και του τμήματος του μανδουωμένου στύλου του περιβάλλοντος πλαισίου (δες κεφάλαιο 1).



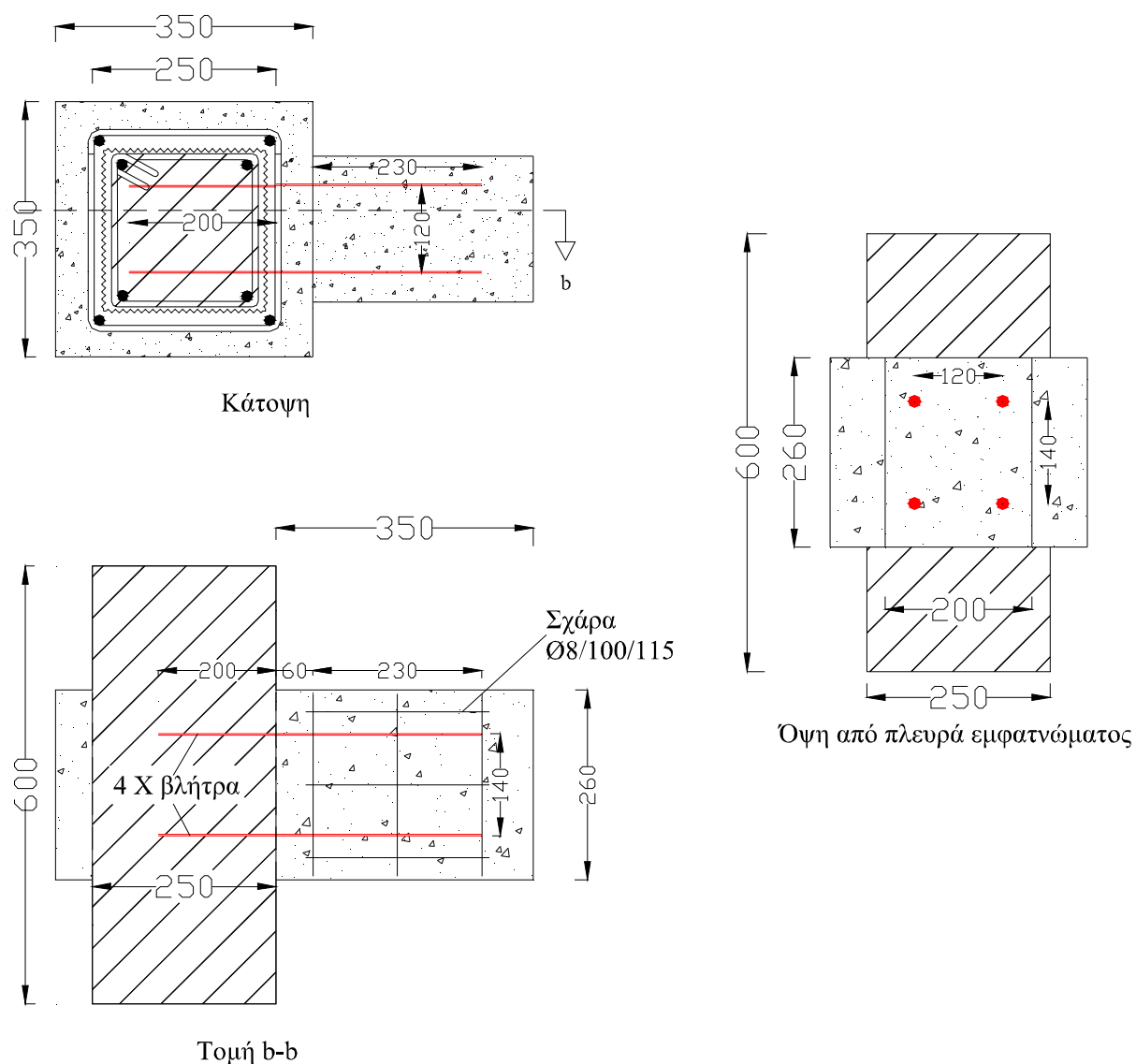
Σχήμα 2.10. Απεικόνιση της φορτιστικής διάταξης και του δοκιμίου που διερευνάται πειραματικά με τις αποστάσεις σε mm



Σχήμα 2.11. Απεικόνιση της φορτιστικής διάταξης και του δοκιμίου που διερευνάται πειραματικά με τις αποστάσεις σε mm



Σχήμα 2.12: Γεωμετρία του δοκιμίου (σε mm) του τμήματος του εμφαννώματος και του τμήματος της μανδουμένης δοκού του περιβάλλοντος πλαισίου (δες κεφάλαιο 1, στροφή του σχήματος 2.10 κατά 90°).

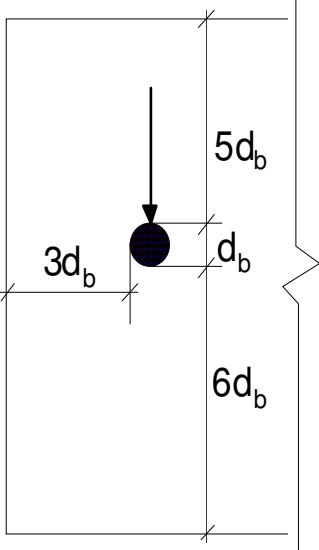
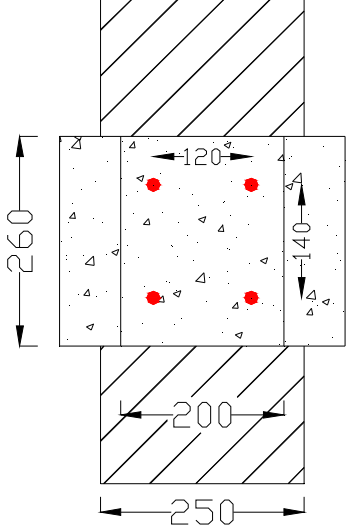
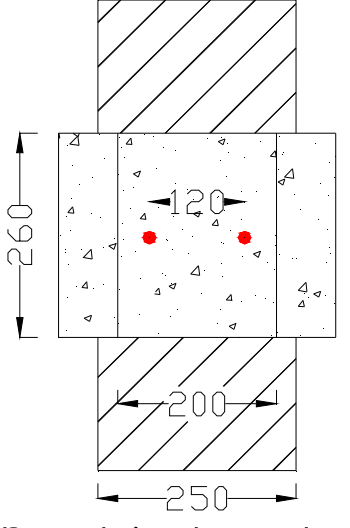


Σχήμα 2.18. Κατασκευαστικά σχέδια δοκιμών που ενισχύθηκαν με 4 βλήτρα (δύο καθ' ύψος)

Πίνακας 2.4. Ποσοστό των συνδέσμων ως προς το εμβαδόν της διατομής

διάμετρος βλήτρου	Ποσοστά Οπλισμού Δοκιμών με δύο βλήτρα	Ποσοστά Οπλισμού Δοκιμών με τέσσερα βλήτρα
mm	%	%
8	0.193	0.387
10	0.302	0.604
12	0.435	0.870
14	0.592	1.184

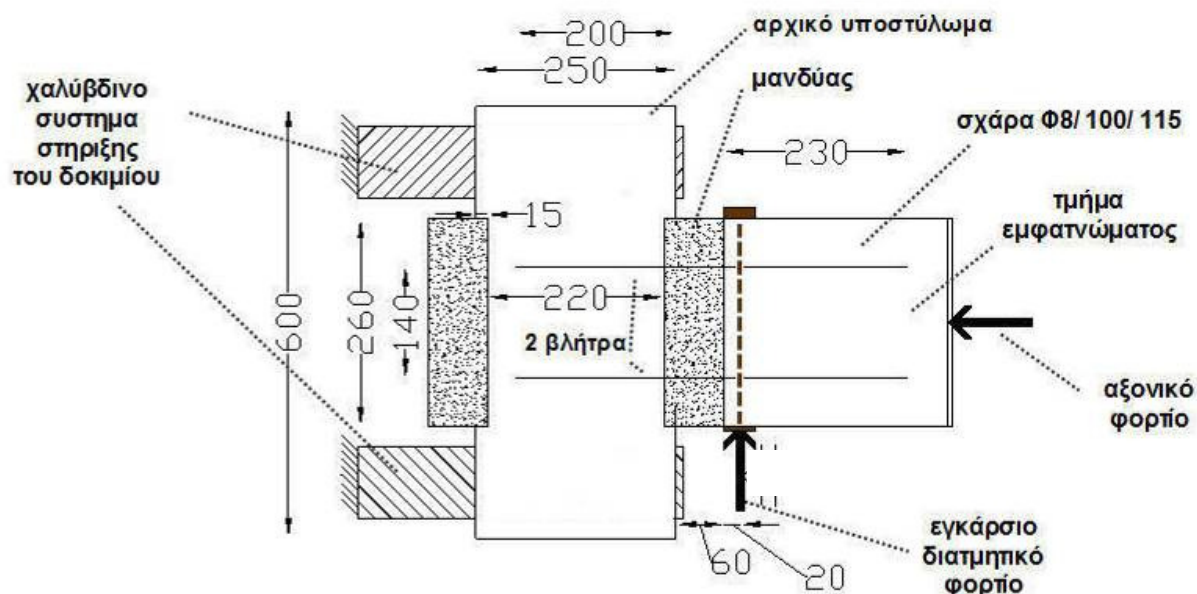
Σε όλες τις περιπτώσεις το ποσοστό των βλήτρων ως λόγος του συνολικού εμβαδού της διατομής τους προς το εμβαδόν της διατομής του εμφαντώματος που αντιστοιχεί στο δοκίμιο που εξετάστηκε πειραματικά είναι πάντα μεγαλύτερο από αυτό που ορίζεται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (0.12%)

	 <p>Όψη από πλευρά εμφαντώματος</p>	 <p>Όψη από πλευρά εμφαντώματος</p>
<p>Σχήμα 2.19α Ελάχιστες αποστάσεις από τα όρια (KAN.ΕΠΕ.)</p>	<p>Σχήμα 2.19β Θέση βλήτρων-αγκυρίων στα δοκίμια με 4 συνδέσμους</p>	<p>Σχήμα 2.19γ Θέση βλήτρων-αγκυρίων στα δοκίμια με 2 συνδέσμους</p>

Σχετικά με τις αποστάσεις των συνδέσμων (βλήτρα-αγκύρια) από τα εξωτερικά όρια των δοκιμίων που ελέγχθηκαν πειραματικά ισχύουν τα εξής:

1. Η θέση των συνδέσμων ως προς τις παράπλευρες παρειές του εμφαντώματος στα 1:1 δοκίμια, δηλαδή αυτές που είναι παράλληλες προς την εγκάρσια φόρτιση, είναι για όλα τα δοκίμια σε απόσταση δ_1 μεγαλύτερη ή περίπου ίση του $3d_b$ (δες σχήματα 2.19α, 2.19β και 2.19γ). Δηλαδή στην έννοια του $3d_b$, $\delta_1 = (200 - 120) / 2 = 40 \text{ mm}$ οριακά επαρκεί για όλες τις διαμέτρους (για $\Phi 14$ $3d_b = 42 \text{ mm}$). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για κανένα δοκίμιο δεν παρατηρήθηκε μορφής αστοχίας λόγω μη επάρκειας του ορίου του $3d_b$.
2. Όλα τα δοκίμια είτε με δύο ράβδους είτε με τέσσερις ράβδους που έχουν συνδέσμους διαμέτρου $\Phi 8$ ή $\Phi 10$ έχουν επικάλυψη δ_2 που καλύπτει το όριο των $6d_b$ του σχήματος 2.19α (και στις δύο διευθύνσεις λόγω ανακύκλισης, $\delta_2 = (260 - 140) / 2 = 60 \text{ mm}$). Όταν η διάμετρος των συνδέσμων είναι $\Phi 12$ ή $\Phi 14$ το όριο των $6d_b$ δεν καλύπτεται. Για σύνδεσμο διαμέτρου $\Phi 12$ η επικάλυψη που πραγματοποιήθηκε υπολείπεται του ορίου κατά 12 mm ενώ για σύνδεσμο διαμέτρου $\Phi 14$ η επικάλυψη που πραγματοποιήθηκε υπολείπεται του ορίου κατά 24 mm . Σε κάθε περίπτωση, η θραύση της επικάλυψης στην παρεία του δοκιμίου κοντά στο βλήτρο την κάθετη προς την εγκάρσια φόρτιση δεν μπορούσε να επισυμβεί λόγω της διάταξης επιβολής της φόρτισης του δοκιμίου (δες σχήμα 2.20).
3. Η απόσταση δ_3 μεταξύ των συνδέσμων (βλήτρα-αγκύρια), κατά την έννοια της εγκάρσιας φόρτισης υπερκαλύπτει για όλα τα δοκίμια την ελάχιστη απόσταση ΚΑΝ.ΕΠΕ. ($\delta_3 = 140 \text{ mm} > 5d$, δες σχήματα 2.19 και 2.20).
4. Με βάση τις παρατηρήσεις 1,2,3 καταδεικνύεται ότι μέσα από τις κατασκευαστικές διατάξεις των δοκιμίων που εξετάστηκαν καθώς και την φορτιστική διάταξη που ακολουθήθηκε η ανεπιθύμητη θραύση του σκυροδέματος επικάλυψης των συνδέσμων (βλήτρων-αγκυρίων) ως σενάριο αστοχίας που να επηρεάζει την φέρουσα ικανότητα της σύνδεσης δεν είναι επιτρεπτή και δεν αποτελεί παράμετρο του προβλήματος.
5. Όλα οι σύνδεσμοι (βλήτρα-αγκύρια), ανεξαρτήτως διαμέτρου, έχουν μήκος αγκύρωσης εντός του τμήματος του μανδουωμένου υποστυλώματος για όλα τα δοκίμια ίσο με 250 mm . Για όλους τους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) χρησιμοποιήθηκε για την αγκύρωσή τους η ρητίνη "Anchor Fix Sika" που υπαγορεύει απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης για τον σύνδεσμο με την μεγαλύτερη διάμετρο από αυτούς που χρησιμοποιήθηκαν ($\Phi 14$) ίσο με 140 mm . Επιπρόσθετα, διενεργήθηκαν για όλες τις ράβδους των συνδέσμων που χρησιμοποιήθηκαν δοκιμές εξόλκευσης για μήκος αγκύρωσης μικρότερο από αυτό που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διαδικασία (δες παράγραφο 2.1.1. δοκιμές εξόλκευσης). Σε όλες τις περιπτώσεις αστόχησαν οι σύνδεσμοι από θραύση των ράβδων σε εφελκυσμό και όχι από εξόλκευση. Συνεπώς, στην πειραματική διαδικασία που θα ακολουθήσει στην συνέχεια το ανεπιθύμητο σενάριο της

εξόλκευσης των συνδέσμων (βλήτρων-αγκυρίων) αποτράπηκε με τον τρόπο που περιγράφηκε και δεν αποτελεί παράμετρο του προβλήματος.



Σχήμα 2.20. Θέση δοκιμίου στην φορτιστική διάταξη (αποστάσεις σε mm, κατά την διάρκεια του πειράματος στροφή κατά 90°)

Ακολουθεί ο πίνακας 2.5 με την σύνοψη της περιγραφής της σύνδεσης όλων των δοκιμών και ο πίνακας 2.6 που παρουσιάζει τις αντίστοιχες κατασκευαστικές λεπτομέρειες όλων των δοκιμών.

Πίνακας 2.5. Λεπτομέρειες σύνδεσης (βλήτρωσης-αγκύρωσης) δοκιμών

Κωδική Ονομασία	Κατασκευαστική Φάση	Τρόπος Βλήτρωσης-αγκύρωσης	Αριθμός Βλήτρων-αγκυρίων	Διάμετρος Βλήτρων-αγκυρίων
Bare-1	1 ^η	Χωρίς Βλήτρα	0	-
Bare-2	1 ^η	1 ^{ος} (σχήμα 2.14α)	3	10
Bare-3	1 ^η	Χωρίς Βλήτρα	0	-
Bare-4	1 ^η	1 ^{ος} (σχήμα 2.14α)	3	10
Bare-5	1 ^η	2 ^{ος} (σχήμα 2.14β)	6	10
Bare-6	1 ^η	3 ^{ος} (σχήμα 2.15β)	6	10
Bare-7	2 ^η	1 ^{ος} (σχήμα 2.14α)	4	8
Bare-8	2 ^η	1 ^{ος} (σχήμα 2.14α)	2	8
Bare-9	2 ^η	1 ^{ος} (σχήμα 2.14α)	2	10
Bare-10	2 ^η	1 ^{ος} (σχήμα 2.14α)	4	10
Bare-11	2 ^η	1 ^{ος} (σχήμα 2.14α)	4	8
Bare-12	2 ^η	1 ^{ος} (σχήμα 2.14α)	4	10
Bare-13	2 ^η	1 ^{ος} (σχήμα 2.14α)	4	8
Bare-14	2 ^η	1 ^{ος} (σχήμα 2.14α)	4	10
Bare-15	2 ^η	1 ^{ος} (σχήμα 2.14α)	2	10
Bare-16	2 ^η	1 ^{ος} (σχήμα 2.14α)	2	8
Bare-17	2 ^η	1 ^{ος} (σχήμα 2.14α)	2	10
Bare-18	2 ^η	Χωρίς Βλήτρα	0	-
Bare-19	3 ^η	1 ^{ος} (σχήμα 2.14α)	2	12
Bare-20	3 ^η	1 ^{ος} (σχήμα 2.14α)	2	14
Bare-21	3 ^η	1 ^{ος} (σχήμα 2.14α)	4	12
Bare-22	3 ^η	1 ^{ος} (σχήμα 2.14α)	4	14
Bare-23	3 ^η	2 ^{ος} (σχήμα 2.15α)	4	10
Bare-24	3 ^η	2 ^{ος} (σχήμα 2.15α)	4	14

Πίνακας 2.6. Κατασκευαστικές Λεπτομέρειες Δοκιμίων

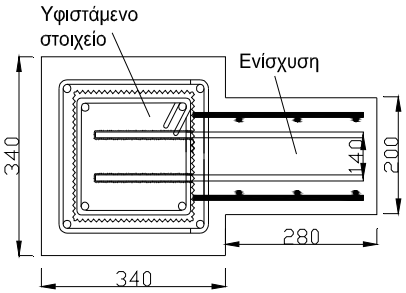
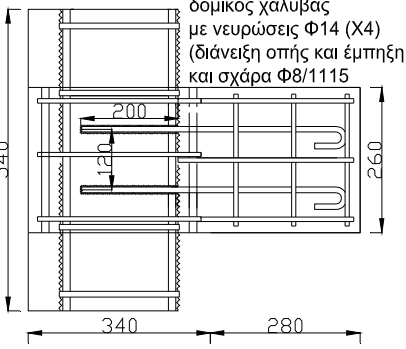
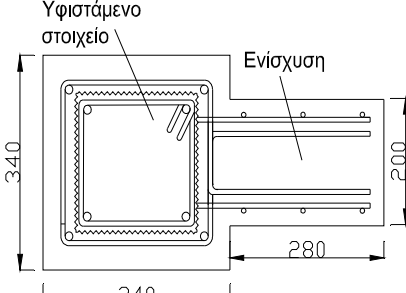
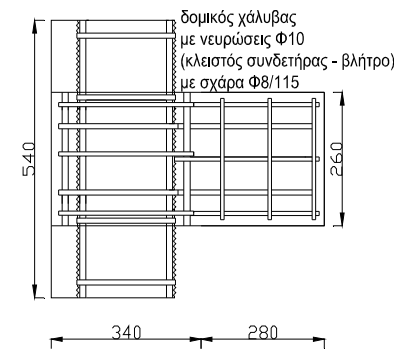
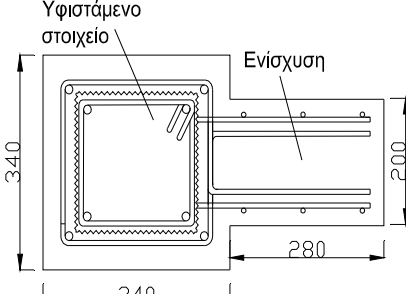
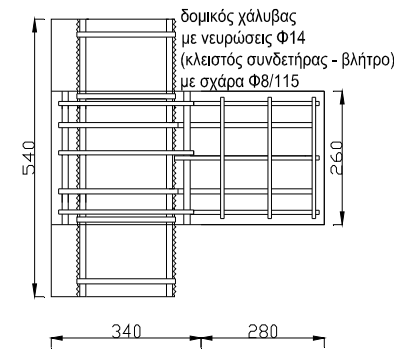
		<p>No1-Bare1 ΧΩΡΙΣ ΒΛΗΤΡΑ (άοπλο εμφάντωμα)</p> <p>Μανδύας 60mm Άοπλο εμφάντωμα</p>
		<p>No2-Bare2 3 ΒΛΗΤΡΑ Ø10mm (3 Καθ' ύψος)</p> <p>Μανδύας 60mm 3 βλήτρα με γάντζο 60mm. Βάθος έμπηξης 180mm.</p>
		<p>No3-Bare3 ΧΩΡΙΣ ΒΛΗΤΡΑ (Εμφάντωμα με δύο σχάρες)</p> <p>Μανδύας 60mm 2 σχάρες #10/100</p>
		<p>No4-Bare4 3 ΒΛΗΤΡΑ Ø10mm (3 Καθ' ύψος)</p> <p>Μανδύας 60mm 3 βλήτρα με γάντζο 60mm. Βάθος έμπηξης 180mm.</p>

<p>Υφιστάμενο στοιχείο</p> <p>Ενίσχυση</p> <p>340</p> <p>340</p> <p>280</p> <p>200</p>	<p>δομικός χάλυβας με νευρώσεις $\Phi 10$ (ανοικτός συνδετήρας - βλήτρα με σχάρα $\Phi 10/100$)</p> <p>540</p> <p>340</p> <p>280</p> <p>260</p>	<p>No5-Bare5 6 ΒΛΗΤΡΑ $\Phi 10\text{mm}$ (3 καθ' ύψος)</p> <p>Μανδύας 60mm 3 βλήτρα δίτητα, τύπου κλειστού συνδετήρα.</p>
<p>Υφιστάμενο στοιχείο</p> <p>Ενίσχυση</p> <p>340</p> <p>340</p> <p>280</p> <p>200</p>	<p>δομικός χάλυβας με νευρώσεις $\Phi 10$ (κλειστός συνδετήρας - βλήτ με σχάρα $\Phi 10/100$)</p> <p>540</p> <p>340</p> <p>280</p> <p>260</p>	<p>No6-Bare6 6 ΒΛΗΤΡΑ $\Phi 10\text{mm}$ (3 καθ' ύψος)</p> <p>Μανδύας 60mm 3 βλήτρα δίτητα, τύπου ανοικτού συνδετήρα.</p>
<p>Υφιστάμενο στοιχείο</p> <p>Ενίσχυση</p> <p>340</p> <p>340</p> <p>280</p> <p>200</p>	<p>δομικός χάλυβας με νευρώσεις $\Phi 8$ (X4) (διάνειξη σπής και έμπηξη) και σχάρα $\Phi 10/100$</p> <p>540</p> <p>340</p> <p>280</p> <p>260</p>	<p>No7-Bare7 4 ΒΛΗΤΡΑ $\Phi 8\text{mm}$ (δύο καθ' ύψος)</p> <p>Μανδύας 60mm 4 βλήτρα $\Phi 8\text{mm}$ με γάντζο 60mm. Βάθος έμπηξης 200mm</p>
<p>Υφιστάμενο στοιχείο</p> <p>Ενίσχυση</p> <p>340</p> <p>340</p> <p>280</p> <p>200</p>	<p>δομικός χάλυβας με νευρώσεις $\Phi 8$ (X2) (διάνειξη σπής και έμπηξη) και σχάρα $\Phi 8/115$</p> <p>540</p> <p>340</p> <p>280</p> <p>260</p>	<p>No8-Bare8 2ΒΛΗΤΡΑ $\Phi 8\text{mm}$ (ένα καθ' ύψος)</p> <p>Μανδύας 60mm 2 βλήτρα $\Phi 8\text{mm}$ με γάντζο 60mm. Βάθος έμπηξης 200mm.</p>
<p>Υφιστάμενο στοιχείο</p> <p>Ενίσχυση</p> <p>340</p> <p>340</p> <p>280</p> <p>200</p>	<p>δομικός χάλυβας με νευρώσεις $\Phi 10$ (X2) (διάνειξη σπής και έμπηξη) και σχάρα $\Phi 8/115$</p> <p>540</p> <p>340</p> <p>280</p> <p>260</p>	<p>No9-Bare9 2 ΒΛΗΤΡΑ $\Phi 10\text{mm}$ (ένα καθ' ύψος)</p> <p>Μανδύας 60mm 2 βλήτρα $\Phi 10\text{mm}$ με γάντζο 60mm. Βάθος έμπηξης 200mm.</p>

		<p>No10-Bare10 4 ΒΛΗΤΡΑ Ø10mm (δύο καθ' ύψος)</p> <p>Μανδύας 60mm 4 βλήτρα Ø 10mm με γάντζο 60mm. Βάθος έμπηξης 200mm.</p>
		<p>No11-Bare11 4 ΒΛΗΤΡΑ Ø8mm (δύο καθ' ύψος)</p> <p>Μανδύας 60mm 4 βλήτρα Ø 8mm με γάντζο 60mm. Βάθος έμπηξης 200mm.</p>
		<p>No12-Bare12 4 ΒΛΗΤΡΑ Ø10mm (δύο καθ' ύψος)</p> <p>Μανδύας 60mm 4 βλήτρα Ø 10mm με γάντζο 60mm. Βάθος έμπηξης 200mm.</p>
		<p>No13-Bare13 4 ΒΛΗΤΡΑ Ø8mm (δύο καθ' ύψος)</p> <p>Μανδύας 60mm 4 βλήτρα Ø 8mm με γάντζο 60mm. Βάθος έμπηξης 200mm.</p>

		<p>No14-Bare14 4 ΒΛΗΤΡΑ Ø10mm (δύο καθ' ύψος)</p> <p>Μανδύας 60mm 4 βλήτρα Ø 10mm με γάντζο 60mm. Βάθος έμψηξης 200mm.</p>
		<p>No15-Bare15 2 ΒΛΗΤΡΑ Ø10mm (ένα καθ' ύψος)</p> <p>Μανδύας 60mm 2 βλήτρα Ø 10mm με γάντζο 60mm. Βάθος έμψηξης 200mm.</p>
		<p>No16-Bare16 2 ΒΛΗΤΡΑ Ø8mm (ένα καθ' ύψος)</p> <p>Μανδύας 60mm 2 βλήτρα Ø 8mm με γάντζο 60mm. Βάθος έμψηξης 200mm.</p>
		<p>No17-Bare17 2 ΒΛΗΤΡΑ Ø10mm (ένα καθ' ύψος)</p> <p>Μανδύας 60mm 2 βλήτρα Ø 10mm με γάντζο 60mm. Βάθος έμψηξης 200mm.</p>

		<p>No18-Bare18 ΧΩΡΙΣ ΒΛΗΤΡΑ (άοπλο εμφάντνωμα)</p> <p>Μανδύας 60mm Άοπλο εμφάντνωμα</p>
		<p>No19-Bare19 2 ΒΛΗΤΡΑ Ø12mm (ένα καθ' ύψος)</p> <p>Μανδύας 60mm 2 βλήτρα Ø 12mm με γάντζο 60mm. Βάθος έμψηξης 200mm.</p>
		<p>No20-Bare20 2 ΒΛΗΤΡΑ Ø14mm (ένα καθ' ύψος)</p> <p>Μανδύας 60mm 2 βλήτρα Ø 14mm με γάντζο 60mm. Βάθος έμψηξης 200mm.</p>
		<p>No21-Bare21 4 ΒΛΗΤΡΑ Ø12mm (δύο καθ' ύψος)</p> <p>Μανδύας 60mm 4 βλήτρα Ø 12mm με γάντζο 60mm. Βάθος έμψηξης 200mm.</p>

 <p>Υφιστάμενο στοιχείο</p> <p>Ενίσχυση</p>	 <p>δομικός χάλυβας με νευρώσεις Φ14 (Χ4) (δάνειξη οπής και έμπηξη) και σχάρα Φ8/115</p>	<p>No22-Bare22 4 ΒΛΗΤΡΑ Ø14mm (δύο καθ' ύψος)</p> <p>Μανδύας 60mm 4 βλήτρα Ø 14mm με γάντζο 60mm. Βάθος έμπηξης 200mm.</p>
 <p>Υφιστάμενο στοιχείο</p> <p>Ενίσχυση</p>	 <p>δομικός χάλυβας με νευρώσεις Φ10 (κλειστός συνδετήρας - βλήτρο) με σχάρα Φ8/115</p>	<p>No23-Bare23 4 ΒΛΗΤΡΑ Ø10mm (δύο καθ' ύψος)</p> <p>Μανδύας 60mm 4 βλήτρα δίτμητα Ø10mm με γάντζο 60mm σύνθετος τρόπος συνδετήρα μανδύα</p>
 <p>Υφιστάμενο στοιχείο</p> <p>Ενίσχυση</p>	 <p>δομικός χάλυβας με νευρώσεις Φ14 (κλειστός συνδετήρας - βλήτρο) με σχάρα Φ8/115</p>	<p>No24-Bare24 4 ΒΛΗΤΡΑ Ø14mm (δύο καθ' ύψος)</p> <p>Μανδύας 60mm 4 βλήτρα δίτμητα Ø 14mm με γάντζο 60mm σύνθετος τρόπος συνδετήρα μανδύα</p>

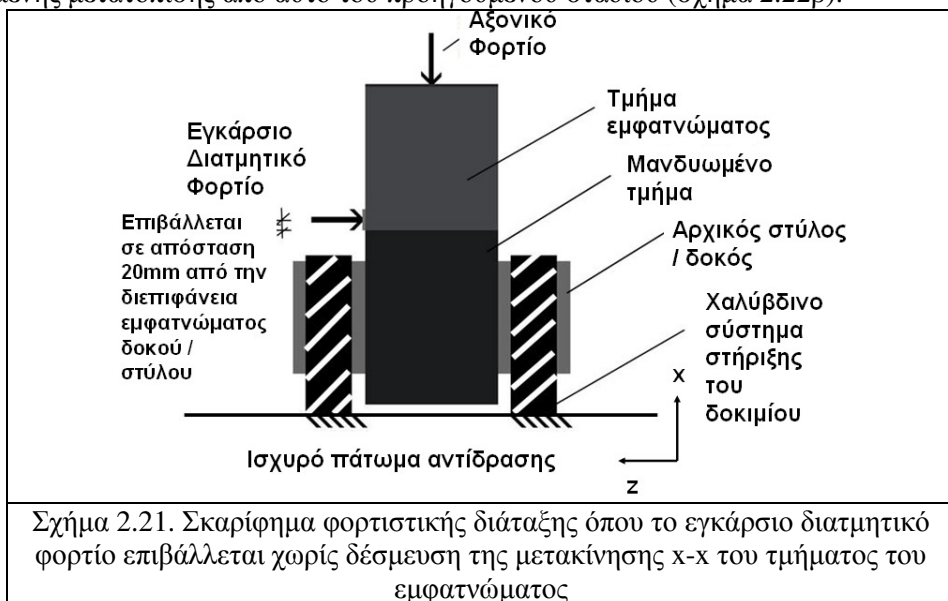
Συνολικά διερευνήθηκαν 4 διάμετροι βλήτρων με τρεις διαφορετικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες. Πιο συγκεκριμένα οι διάμετροι είναι η Ø8mm, Ø10mm, Ø12mm, Ø14mm.

2.2. Φορτιστική Διάταξη - Πειραματικός Έλεγχος Δοκιμίων

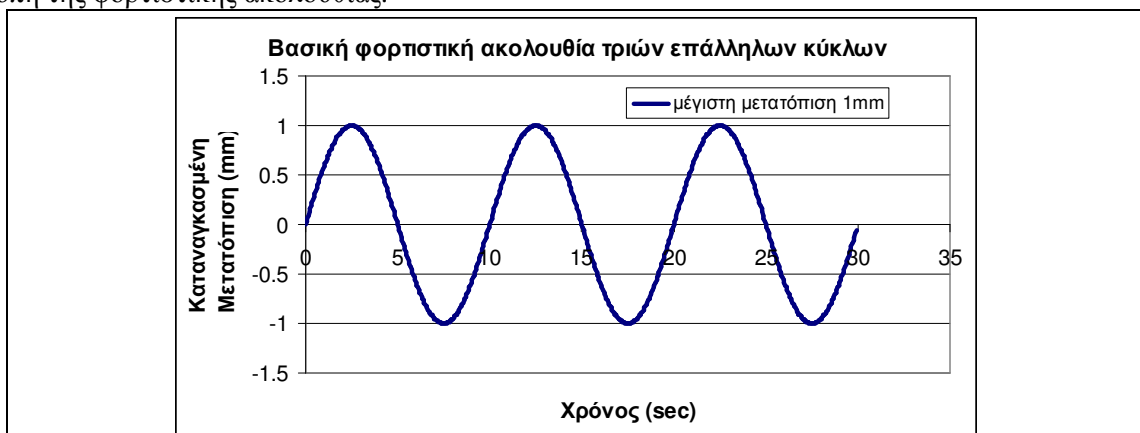
Ο έλεγχος των δοκιμίων έλαβε χώρα στο Εργαστήριο Πειραματικής Αντοχής των Υλικών και των Κατασκευών. Το σκαρίφημα της φορτιστικής διάταξης και του δοκιμίου απεικονίζεται σε δι-διάστατη μορφή στα σχήματα που ακολουθούν.

Επιβολή του εγκάρσιου – διατμητικού φορτίου. Στο σχήμα 2.21 απεικονίζεται η φορτιστική διάταξη όπου το εγκάρσιο διατμητικό φορτίο επιβάλλεται επί του τμήματος του εμφαντώματος ενώ το τμήμα του μανδουμένου υποστυλώματος είναι στηριγμένο ακλόνητο στο ισχυρό πάτωμα αντίδρασης σε τμήματα του αρχικού υποστυλώματος μακράν του μανδουμένου τμήματος που περιλαμβάνει και τους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια). Το διατμητικό αυτό φορτίο επιβάλλεται έμμεσα μέσω μιας ανακυκλιζόμενη καταναγκασμένης εγκάρσιας μετακίνησης που αποτελείται από διακριτά στάδια τριών επάλληλων κύκλων για κάθε στάδιο (σχήμα 2.22^α). Οι τρεις αυτοί επάλληλοι κύκλοι υπακούουν σε νόμο ημιτονοειδούς μεταβολής στο πεδίο του χρόνου – μετατόπισης με την ίδια μέγιστη καταναγκασμένη μετακίνηση και για τους τρεις κύκλους και με συχνотικό περιεχόμενο 0.1Hz.

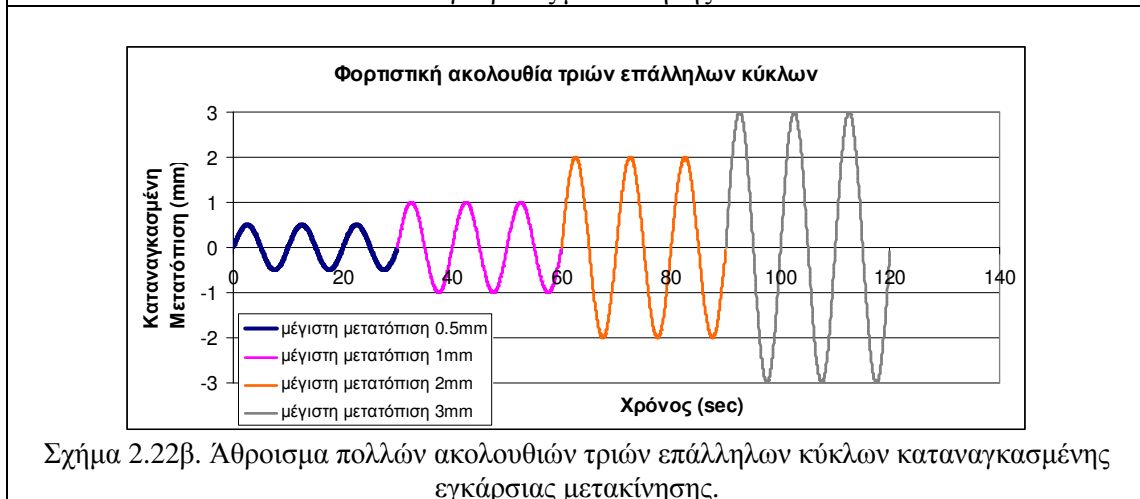
Η συνολική φορτιστική ακολουθία είναι άθροισμα πολλών τέτοιων σταδίων τριών κύκλων με συνεχώς αυξανόμενο εύρος εκκινώντας από $\pm 0.5 \text{ mm}$. Για κάθε στάδιο πραγματοποιούνταν τρεις κύκλοι καταναγκασμένης εγκάρσιας μετακίνησης διατηρώντας το εύρος σταθερό μέχρι το επόμενο στάδιο όπου επαναλαμβάνονταν η βασική ακολουθία των τριών επάλληλων κύκλων με μεγαλύτερο εύρος καταναγκασμένης μετατόπισης από αυτό του προηγούμενου σταδίου (σχήμα 2.22β).



Αυτό το είδος της φορτιστικής ακολουθίας υιοθετείται συχνά για την προσομοίωση της επιβολής «σεισμικού τύπου» καταπόνησης σε δοκίμια δομικών στοιχείων όπως αυτά που εξετάζονται στην παρούσα διερεύνηση. Σημαντική πτώση της φέρουσας ικανότητας και μεγάλου εύρους βλάβες υπαγορεύουν την διακοπή της φορτιστικής ακολουθίας.



Σχήμα 2.22^α Βασική φορτιστική ακολουθία τριών επάλληλων κύκλων καταναγκασμένης εγκάρσιας μετακίνησης.



Σχήμα 2.22β. Άθροισμα πολλών ακολουθιών τριών επάλληλων κύκλων καταναγκασμένης εγκάρσιας μετακίνησης.

Το επιθυμητό εύρος της καταναγκασμένης εγκάρσιας μετακίνησης καθώς και το συχνοτικό περιεχόμενό της μεταβολής της είναι επιλογές του σερβοϋδραυλικού εμβόλου από ηλεκτρονικό υπολογιστή που έχει όλες τις εντολές ελέγχου του εμβόλου αυτού. Ταυτόχρονα, το δοκίμιο είχε ενοργανωθεί (δες σχήμα 2.23), ώστε να διαπιστώνεται μέσω των μετρήσεων των αντίστοιχων αισθητηρίων φορτίου (Load Cell) και μετατόπισης (LVDT), που ήταν ανεξάρτητες από αυτές του σερβοϋδραυλικού εμβόλου, ποιο ήταν το επίπεδο της καταναγκασμένης μετατόπισης που υλοποιήθηκε στο δοκίμιο και ποιο ήταν το μέγεθος του φορτίου που αναπτύχθηκε στο δοκίμιο ως ανάδραση της εν λόγω καταναγκασμένης εγκάρσιας μετακίνησης.

Επιβολή του αξονικού φορτίου στο τμήμα του εμφαντώματος. Στο σχήμα 2.21, όπου δεν δεσμεύεται η μετακίνηση x-x του τμήματος του εμφαντώματος, απεικονίζεται η φορτιστική διάταξη όπου μαζί με το εγκάρσιο διατμητικό φορτίο επιβάλλεται επί του τμήματος του εμφαντώματος και αξονικό φορτίο ενώ το τμήμα του μανδουωμένου υποστυλώματος είναι στηριγμένο ακλόνητο στο ισχυρό πάτωμα αντίδρασης σε τμήματα του αρχικού υποστυλώματος μακράν του μανδουωμένου τμήματος που περιλαμβάνει και τους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια). Στην περίπτωση αυτή το αξονικό φορτίο μπορεί να είναι είτε σταθερό στο επιθυμητό επίπεδο (θλιπτικό ή εφελκυστικό) είτε ημιτονοειδώς μεταβαλλόμενο στο χρόνο με το ίδιο συχνοτικό περιεχόμενο του εγκάρσιου – διατμητικού φορτίου που απεικονίζεται στο σχήμα 2.22^α. Ποιο συγκεκριμένα, για κάθε σταθερό εύρος καταναγκασμένης εγκάρσιας μετακίνησης εφαρμόζονται είτε μηδενικό αξονικό φορτίο είτε αξονικό φορτίο θλιπτικό ή εφελκυστικό σταθερού εύρους 10KN. Πέραν του σταθερού εύρους αξονικό φορτίο επιβάλλονταν ως τελευταία επιλογής ανακυκλιζόμενο αξονικό φορτίο $\pm 10\text{KN}$. Σε ορισμένες περιπτώσεις το εύρος αυτού του ανακυκλιζόμενου αξονικού φορτίου ήταν μεγαλύτερο προσεγγίζοντας το επίπεδο των $\pm 50\text{KN}$, όπως θα σημειωθεί κατά περίπτωση. Η παραμετρική αυτή αξονική φόρτιση σημειώνεται συνοπτικά στον πίνακα 2.7. Ο σκοπός της επιβολής αυτού του αξονικού φορτίου ήταν να προσπαθήσει να δημιουργήσει συνδυασμένη ένταση για τους συνδέσμους που προσομοιάζει με αυτή που αναπτύσσεται κατά την αλληλεπίδραση εμφαντώματος πλαισίου (δες Κεφάλαιο 1).

Πίνακας 2.7. Φορτιστικές παράμετροι δοκιμών

Επίπεδο Εγκάρσιας Ανακυκλιζόμενης Μετακίνησης για το τμήμα του εμφαντώματος (0,1Hz).	Επίπεδο Αξονικού φορτίου για το τμήμα του εμφαντώματος			
$\pm 0.5\text{mm}$	+10KN	0KN	-10KN	$\pm 10\text{KN}$ (0,1Hz).
$\pm 1\text{mm}$	+10KN	0KN	-10KN	$\pm 10\text{KN}$ (0,1Hz).
$\pm 3\text{mm}$	+10KN	0KN	-10KN	$\pm 10\text{KN}$ (0,1Hz).
$\pm 5\text{mm}$ ή $\pm 7\text{mm}$	+15KN	0KN	-15KN	$-15\text{KN} \pm 30\text{KN}$ (0,1Hz).

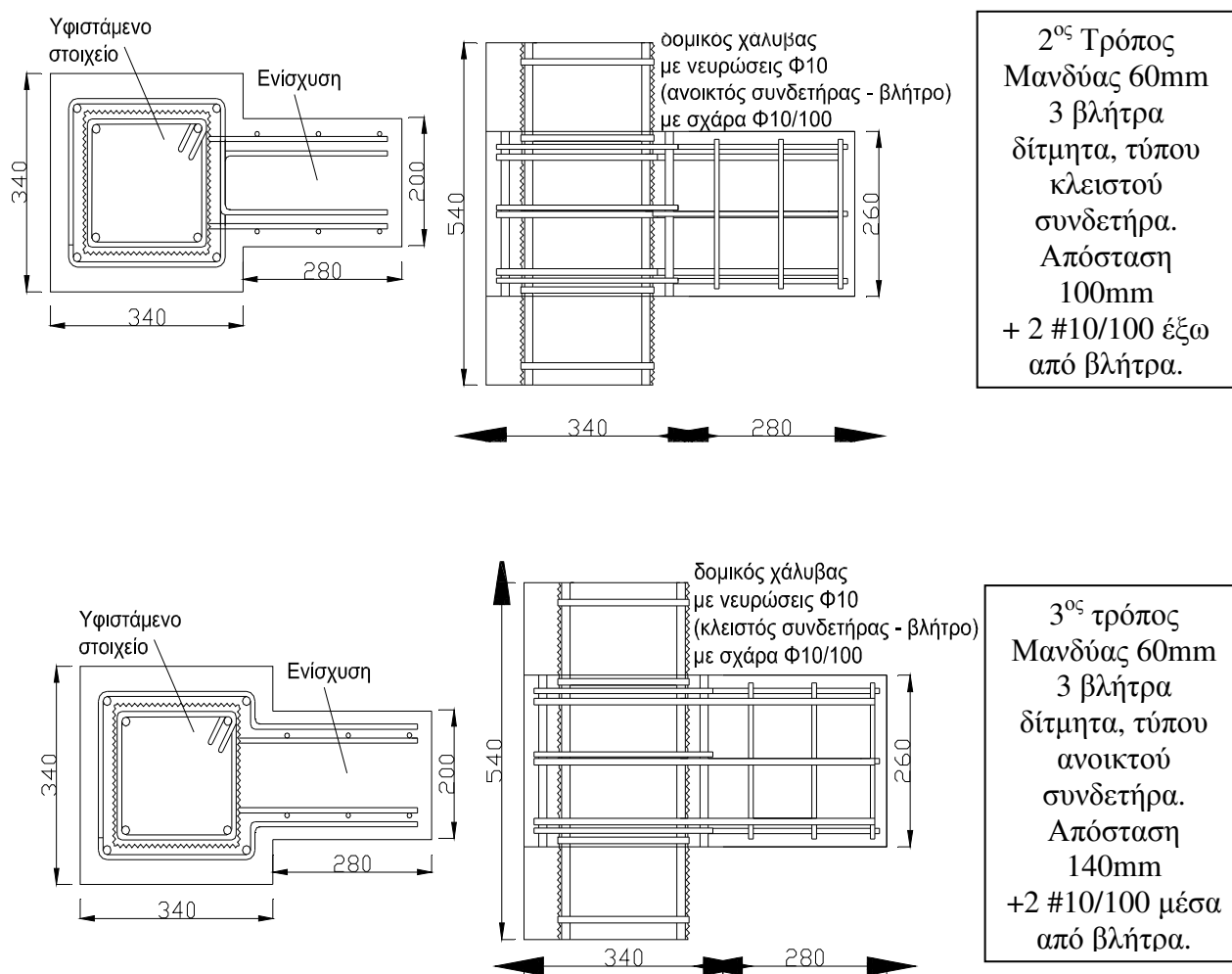
Όπως αναφέρθηκε για την καταναγκασμένη εγκάρσια μετακίνηση έτσι και για το αξονικό φορτίο τόσο το εύρος του όσο και το συχνοτικό περιεχόμενό της μεταβολής του είναι επιλογές του δεύτερου σερβοϋδραυλικού εμβόλου από ηλεκτρονικό υπολογιστή που έχει όλες τις εντολές ελέγχου του εμβόλου αυτού. Όπως επισημάνθηκε προηγουμένως για το εγκάρσιο διατμητικό φορτίο, και το κατακόρυφο φορτίο καταγράφονταν με ανεξάρτητο τρόπο καθ'όλην την διάρκεια της φορτιστικής ακολουθίας. Στα σχήματα 2.23 και 2.24 παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη με τις θέσεις των αισθητηρίων τόσο των μετακινήσεων (αισθητήρια μετακίνησης LVDT) όσο και του εγκάρσιου και αξονικού φορτίου (Load Cell).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

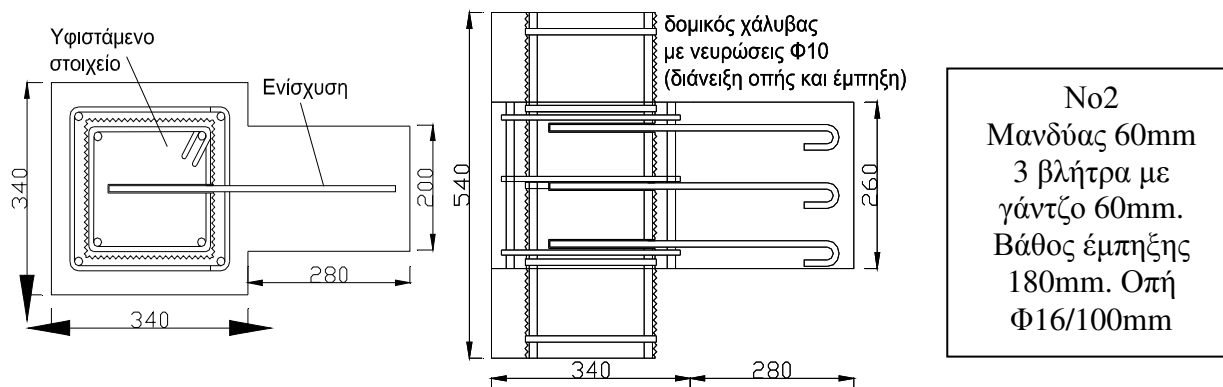
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες δοκιμίων

Συνολικά ελέγχθηκαν 24 δοκίμια. Για τα πρώτα έξι δοκίμια πραγματοποιήθηκε αρχικά το πείραμα της εγκάρσιας φόρτισης με ανακυκλιζόμενου σεισμικού τύπου φόρτιση και στη συνέχεια ακολούθησε καθαρός ελκυσμός στα βλήτρα – αγκύρια των δοκιμίων αυτών. Τα δοκίμια αυτά θα πρέπει να θεωρηθούν ως προκαραρκτικά. Από την εξέταση της συμπεριφοράς των δοκιμίων αυτών προέκυψαν συγκεκριμένα συμπεράσματα αναφορικά με τους διαφορετικούς τρόπους σύνδεσης (δες σχήματα 2.14 και 2.15.) δοκού / υποστυλώματος και εμφαντώματος που διερευνήθηκαν. Η συμπεριφορά του 2^{ου} τρόπου σύνδεσης και του 3^{ου} τρόπου σύνδεσης (δες επίσης σχήμα 3.1.) αποδείχθηκε ότι επιδεικνύει συγκεκριμένα μειονεκτήματα που καθιστούν τους τρόπους αυτούς (2^ο και 3^ο) πρακτικά αναποτελεσματικούς. Με αυτούς του τρόπους σύνδεσης επιχειρήθηκε οι σύνδεσμοι που εκκινούν από το σώμα του εμφαντώματος να αποτελούν προέκταση των εγκάρσιων οπλισμών του μανδύα που περιβάλλει το αρχικό δομικό στοιχείο.



Σχήμα 3.1. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες του 2^{ου} και 3^{ου} τρόπων σύνδεσης.



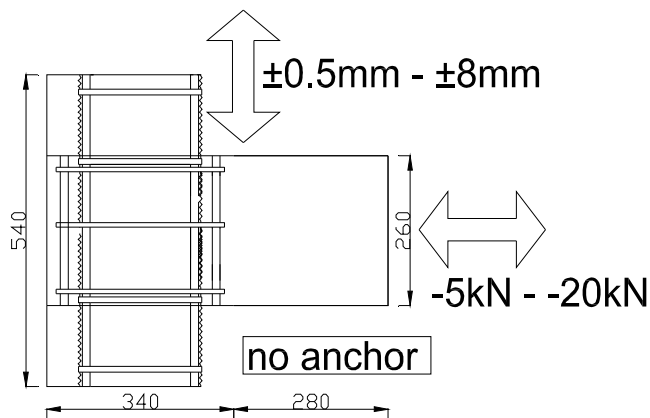
Σχήμα 3.2. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες του 1^{ου} τρόπου σύνδεσης.

Σε αντίθεση με τις αδυναμίες του 2^{ου} και 3^{ου} τρόπων σύνδεσης ο 1^{ος} τρόπος σύνδεσης (δες σχήμα 3.2 και σχήματα 2.14 και 2.15), δηλαδή αυτός όπου η σύνδεση του εμφανώματος με το μανδρωμένο δομικό στοιχείο γίνεται με ανεξάρτητο τρόπο, δηλαδή με ανεξάρτητα βλήτρα-αγκύρια που δεν συμπλέκονται με τους διαμήκεις ή εγκάρσιους οπλισμούς του μανδύα, είναι απαλλαγμένος από τέτοιου είδους μειονεκτήματα που τον καθιστούν πρακτικά εφαρμόσιμο. Τα ανωτέρω θα σχολιαστούν επίσης στη συνέχεια επί τη βάση των αποτελεσμάτων των δοκιμών που ακολουθούν για τα δοκίμια Bare1 έως Bare 6. Αυτό θα γίνει τόσο αναφορικά με την φέρουσα ικανότητα των εν λόγω δοκιμών όσο και με τις μορφές αστοχίας που παρατηρήθηκαν.

Στα σχήματα που ακολουθούν απεικονίζεται η μεταβολή της οριζόντιας μετακίνησης (με διεύθυνση εγκάρσια προς τον άξονα των αγκυρίων-βλήτρων) με την ταυτόχρονη μεταβολή της οριζόντιας δύναμης που επιβάλλεται στο δοκίμιο στην ίδια διεύθυνση (εγκάρσια προς τον άξονα των αγκυρίων-βλήτρων).

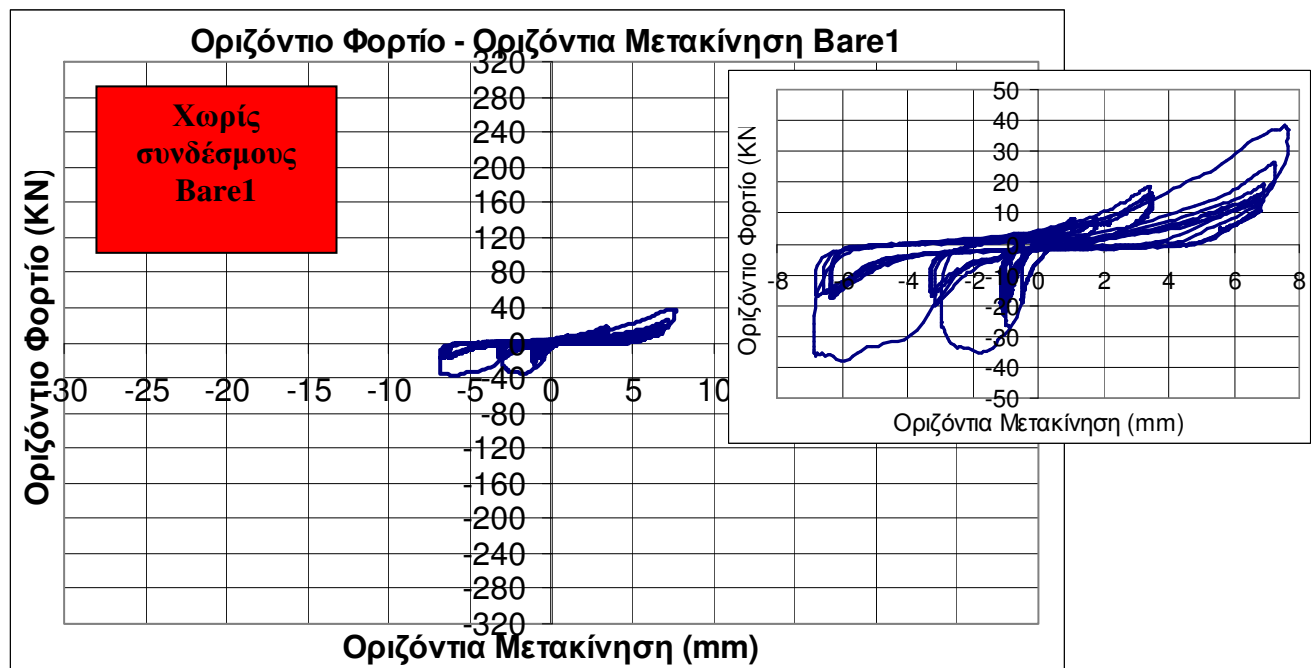
3.2. Πειραματικά αποτελέσματα δοκιμών Bare1 έως Bare 6

Δοκίμιο Bare1 (χωρίς βλήτρα)



Το δοκίμιο αυτό αφορά στον ενισχυμένο κόμβο χωρίς την ύπαρξη αγκυρίων ή βλήτρων. Πραγματοποιήθηκε μια σειρά πειραμάτων με επιβεβλημένη μετακίνηση έως $\pm 8\text{mm}$.

Παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα δύναμης μετακίνησης:

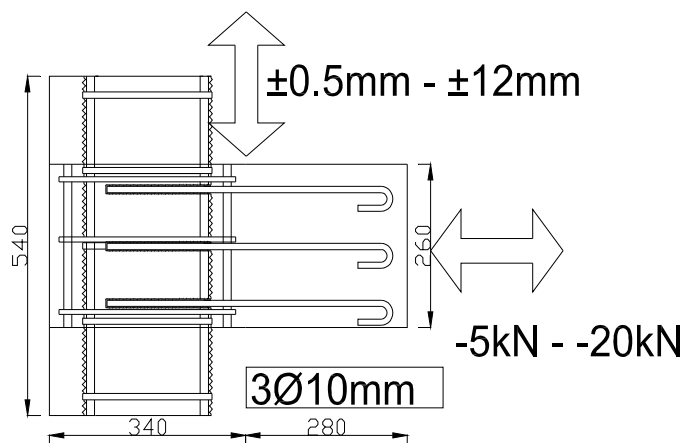


Σχήμα 3.3.: Δύναμη – Μετακίνηση 1^{ου} Δοκιμίου Bare1



Σχήμα 3.4.: 1^ο Θραύση τμημάτων σκυροδέματος στην διεπιφάνεια μανδύα – εμφαννώματος για μεγάλες μετακινήσεις ολίσθησης

Δοκίμιο Bare 2

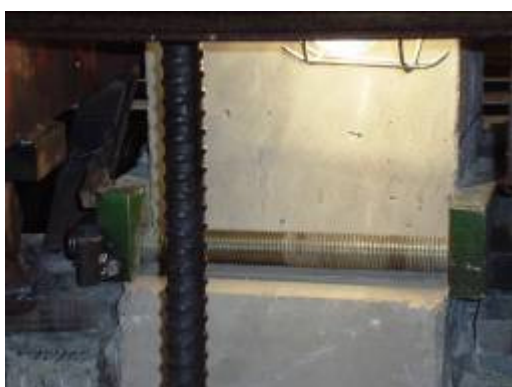


Το δοκίμιο αυτό αφορά ενισχυμένο κόμβο με την ύπαρξη 3 αγκυρίων ή βλήτρων διαμέτρου 10mm, με επιβεβλημένη μετακίνηση έως $\pm 12\text{mm}$.

Παρακάτω παρατίθενται το διάγραμμα δύναμης μετακίνησης:

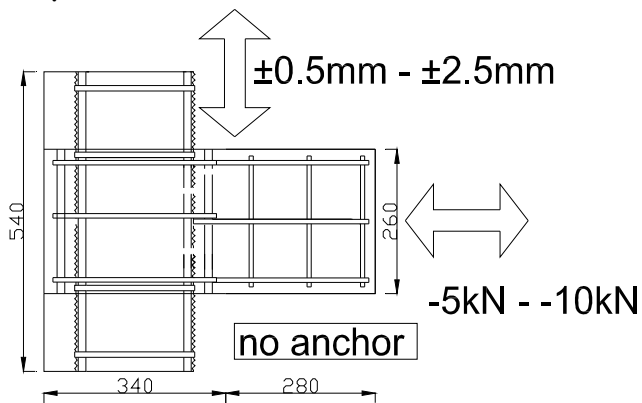


Σχήμα 3.5: Δύναμη – Μετακίνηση Δοκιμίου Bare2

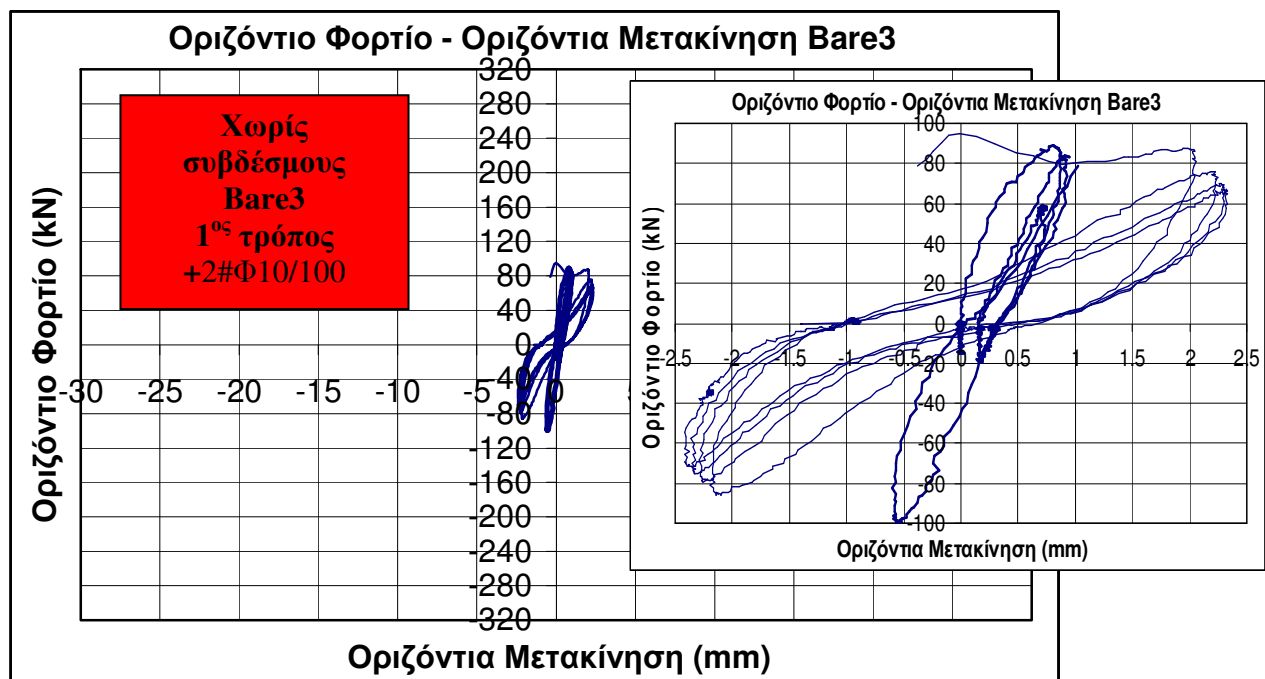


Σχήμα 3.6. : 2° Ολίσθηση στην διεπιφάνεια χωρίς βλάβη του μανδύα

Δοκίμιο Bare3



Δοκίμιο χωρίς την ύπαρξη αγκυρίων ή βλήτρων, αλλά με την ύπαρξη 2 σχαρών παράλληλα στη διεύθυνση φόρτισης (2#Φ10/100). Η επιβεβλημένη μετακίνηση από $\pm 0,5\text{mm}$ έως $\pm 2.5\text{mm}$.

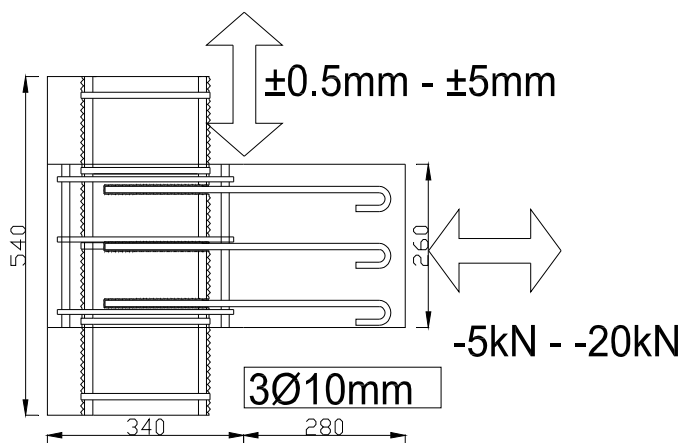


Σχήμα 3.7: Δύναμη – Μετακίνηση Bare3

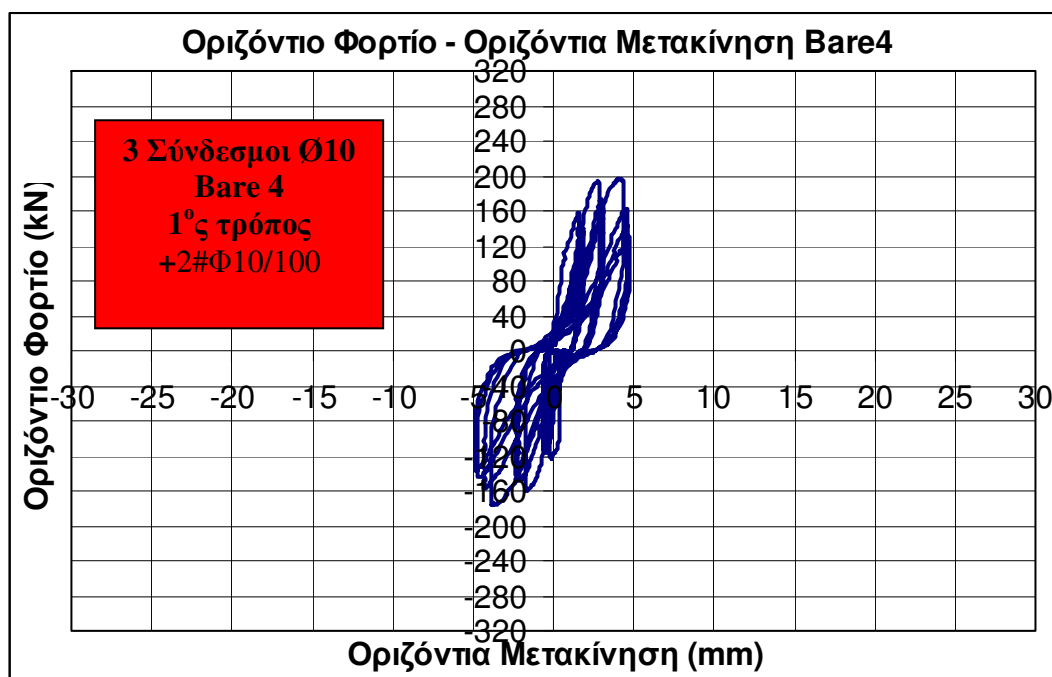


Σχήμα 3.8. : Αστοχία τμημάτων μανδύα όπου συνδέονται οι σχάρες 2#Φ10/100

Δοκίμιο Bare4



Το δοκίμιο αυτό αφορά ενισχυμένο κόμβο με την ύπαρξη 3 αγκυρίων ή βλήτρων διαμέτρου 10 mm και με την ύπαρξη 2 σχαρών παράλληλα στη διεύθυνση φόρτισης (2#Φ10/100). Πραγματοποιήθηκε μια σειρά πειραμάτων με επιβεβλημένη μετακίνηση έως $\pm 5,0$ mm.

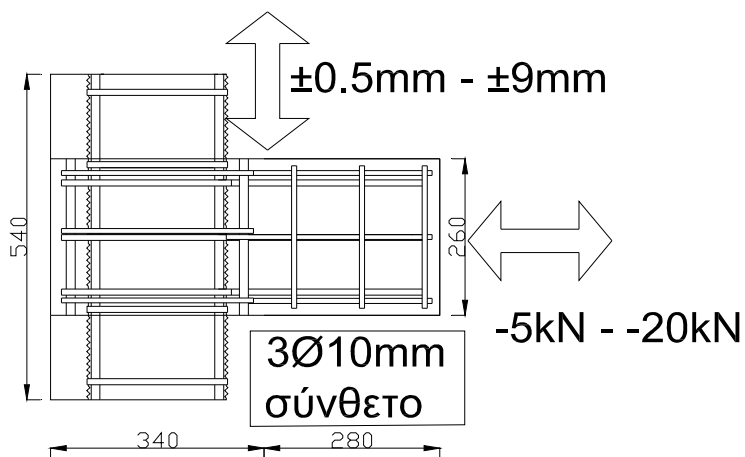


Σχήμα 3.9. : Δύναμη – Μετακίνηση Bare4



Σχήμα 3.10: Αστοχία τμημάτων μανδύα όπου συνδέονται οι σχάρες 2#Φ10/100

Δοκίμιο Bare 5



Ενισχυμένος κόμβος με την ύπαρξη 3 αγκυρίων ή βλήτρων διαμέτρου 10mm, με σχάρες. Σε αυτό το δοκίμιο τα βλήτρα έχουν μορφή ανοικτού συνδετήρα. Ο παρόν τρόπος είναι ο 2^{ος} τρόπος σύνδεσης. Πραγματοποιήθηκε μια σειρά πειραμάτων με επιβεβλημένη μετακίνηση έως $\pm 9\text{mm}$.

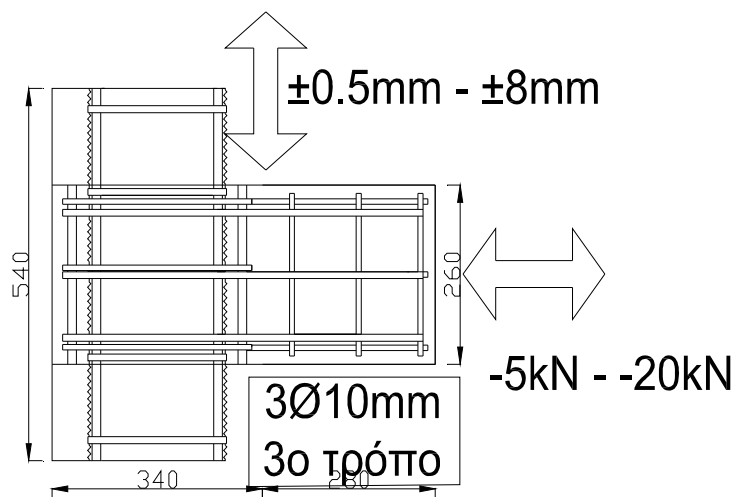


Σχήμα 3.11: Δύναμη – Μετακίνηση Bare5



Σχήμα 3.12: Αστοχία τμημάτων μανδύα

Δοκίμιο Bare 6



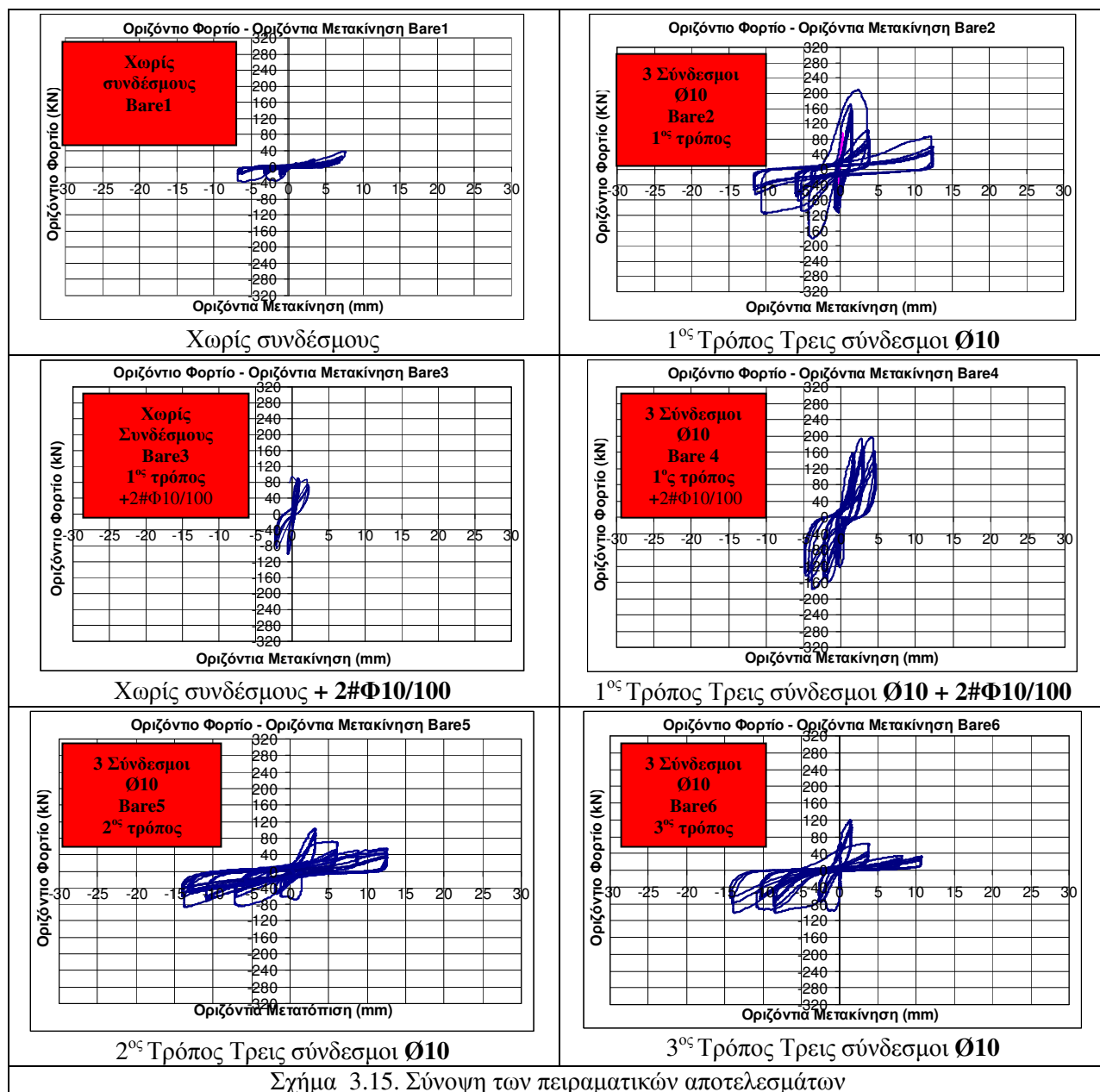
Ενισχυμένος κόμβος με την ύπαρξη 3 αγκυρίων ή βλήτρων διαμέτρου 10mm και σχάρες. Σε αυτό το δοκίμιο τα βλήτρα έχουν μορφή κλειστού συνδετήρα. Ο παρόν τρόπος είναι ο τρίτος τρόπος σύνδεσης. Πραγματοποιήθηκε μια σειρά πειραμάτων με επιβεβλημένη μετακίνηση έως $\pm 8\text{mm}$



Σχήμα 3.13: Δύναμη – Μετακίνηση Bare6



Σχήμα 3.14: Αστοχία τμημάτων μανδύα



Σχήμα 3.15. Σύνοψη των πειραματικών αποτελεσμάτων

Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.15 η φέρουσα ικανότητα των δοκιμών του 2^{ου} και 3^{ου} τρόπου σύνδεσης με 3 συνδέσμους Ø10 (110kN) είναι σημαντικά μειωμένη από αυτήν του 1^{ου} τρόπου σύνδεσης με τον ίδιο αριθμό και διάμετρο συνδέσμων (190kN). Η φέρουσα ικανότητα χωρίς κανένα σύνδεσμο είναι βεβαίως πολύ χαμηλότερη (μικρότερη των 40kN), όταν μετά την ρηγμάτωση της διεπιφάνειας αρχίζει η ολίσθηση (σχήμα 3.4). Όταν την διεπιφάνεια αυτή διατρέχουν μόνον σχάρες από τις παρειές του εμφαντώματος που συνδέονται με το μανδουωμένο στοιχείο στο πάχος του μανδύα (χωρίς κανένα άλλο σύνδεσμο) η φέρουσα ικανότητα αυξάνεται σε περίπου 80kN. Αυτή η συνεισφορά δεν ενεργοποιείται για τον 1^ο τρόπο σύνδεσης αφού αδρανοποιείται με την θραύση του μανδύα στις θέσεις που συνδέονται αυτές οι σχάρες (δες σχήμα) όπως παρατηρείται επίσης θραύση τμημάτων του μανδύα και εξουδετέρωση του 2^{ου} και 3^{ου} τρόπου σύνδεσης (δες σχήματα 3.14 και 3.12).

Ένα από τα βασικά ενδιάμεσα συμπεράσματα από τον έλεγχο των πρώτων έξι δοκιμών (1^η προκαταρκτικό στάδιο) είναι ότι ο 2^{ος} και 3^{ος} τρόπος σύνδεσης που χρησιμοποιήθηκε στην αρχική σειρά δοκιμών με κωδική ονομασία Bare-5 και Bare-6 δεν είχαν ικανοποιητική συμπεριφορά σε σύγκριση με την αντίστοιχη συμπεριφορά των Bare-2 Bare-4 στα οποία χρησιμοποιήθηκε ο 1^{ος} τρόπος σύνδεσης. Τα δοκίμια Bare-1 Bare-3 της προκαταρκτικής αυτής φάσης δεν είχαν καμιά σύνδεση. Από την εξέταση της συμπεριφοράς των δοκιμών Bare-5 και Bare-6, που αντιστοιχούν στον 2^ο και 3^ο τρόπο σύνδεσης, καταδεικνύεται ότι η σύνδεση που προκύπτει είναι αφενός εύκαμπτη και αφετέρου μεταβιβάζει τις δυνάμεις που αναπτύσσονται στην διεπιφάνεια εμφαντώματος-επισκευασμένου υποστυλώματος στο

γεινιάζον τμήμα του σκυροδέματος του μανδύα με έναν συγκεντρωμένο τρόπο. Για το λόγο αυτό ο μανδύας εμφανίζει βλάβες σε ένα σχετικά πρώιμο στάδιο. Αυτό έχει σαν συνέπεια την σημαντική πτώση της φέρουσας ικανότητας αυτής της σύνδεσης εμφατνώματος-μανδυωμένου υποστυλώματος σε σύγκριση με την φέρουσα ικανότητα της κεντρικής σύνδεσης του 1^ο τρόπου σύνδεσης.

Για όλους αυτούς τους λόγους κρίθηκε σκόπιμο, στην περαιτέρω διερεύνηση της συμπεριφοράς των συνδέσεων των εμφατνωμάτων με τα δομικά στοιχεία των πλαισίων Ο/Σ ενισχυμένα με μανδύα έγχυτου σκυροδέματος, να εξετασθεί ο 1^ο τρόπος σύνδεσης. Ο τρόπος αυτός είναι επίσης ο πιο απλός σε σύγκριση με τον 2^{ος} και 3^{ος} τρόπο σύνδεσης, που παρουσίασαν τα μειονεκτήματα που προαναφέρθηκαν. Προς αυτήν την κατεύθυνση τα δοκίμια Bare-7 Bare-22, δηλαδή 16 δοκίμια, είναι όλα κατασκευασμένα με τον 1^ο τρόπο σύνδεσης. Εδώ διερευνάται παραμετρικά κυρίως η επιρροή της διαμέτρου των βλήτρων-αγκυρίων (από Φ8 έως Φ14) και η διάταξή τους (2 ή 4 βλήτρα-αγκύρια). Δύο επί πλέον δοκίμια Bare-23 Bare-24, χρησιμοποιήθηκαν για να ελέγξουν μια βελτιωτική παραλλαγή του δεύτερου τρόπου σύνδεσης.

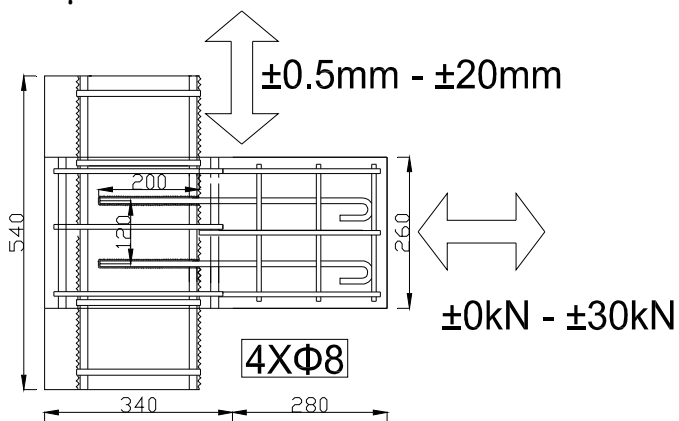
Τέλος για έξι δοκίμια (Bare 25 – Bare 30) έγινε η εγκάρσια φόρτιση με εναλλακτικά δέσμευση ή μη της μετακίνησης του εμφατνώματος όπως φαίνεται στα σχήμα 2.21β και 2.21α. Με τον τρόπο αυτό πιστεύεται ότι περιβλήθηκε ως ένα βαθμό το πρόβλημα της συνδυασμένης έντασης που αναπτύσσεται στους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) κατά την αλληλεπίδραση ενός εμφατνούμενου τοιχώματος και του περιβάλλοντος πλαισίου όταν αυτό υποβάλλεται σε σεισμικές καταπονήσεις,. Στα έξι αυτά δοκίμια (Bare 25 – Bare 30) χρησιμοποιήθηκε και πάλι ο 1^{ος} τρόπος σύνδεσης με διαμέτρους συνδέσμων από Φ8 έως Φ14

Λόγω της προκαταρκτικής φύσης των δοκιμών Bare 2 – Bare 6 τα αποτελέσματά τους, πέραν των ποιοτικών συμπερασμάτων που διατυπώθηκαν προηγουμένως δεν χρησιμοποιούνται περαιτέρω στην συγκριτική αποτίμηση είτε μεταξύ τους είτε με τις σχέσεις της φέρουσας ικανότητας που περιλαμβάνονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών Bare-7 Bare-22, και Bare-25 Bare-30 μέσω σχημάτων όπου απεικονίζεται η μεταβολή της οριζόντιας μετακίνησης (με διεύθυνση εγκάρσια προς τον άξονα των αγκυρίων-βλήτρων) με την ταυτόχρονη μεταβολή της οριζόντιας δύναμης που επιβάλλεται στο δοκίμιο στην ίδια διεύθυνση (εγκάρσια προς τον άξονα των αγκυρίων-βλήτρων).

3.3. Πειραματικά αποτελέσματα δοκιμών Bare 7 έως Bare 24

Δοκίμιο Bare7



Το δοκίμιο Bare 7 έχει ενισχυθεί με 4 βλήτρα-αγκύρια διαμέτρου 8mm. Η διατμητική επιβαλλόμενη μετακίνηση είναι ανακυκλιζόμενη και ποικίλει από $\pm 0,5\text{mm}$ έως $\pm 22\text{mm}$, με ταυτόχρονη επιβολή κατακόρυφου αξονικού ανακυκλιζόμενου φορτίου από $\pm 0\text{ kN}$ έως $\pm 30\text{kN}$



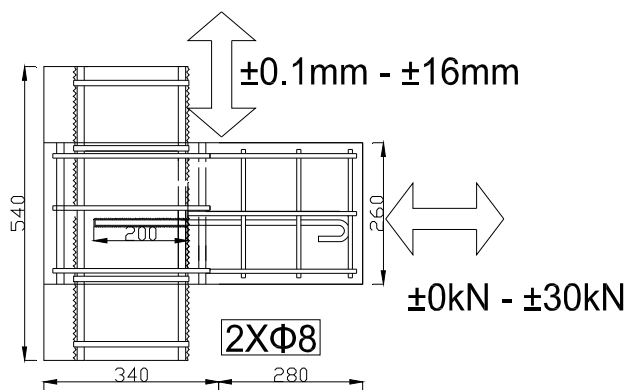
Σχήμα 3.16: Δύναμη – Μετακίνηση Bare7

Στο σχήμα 3.17 παρουσιάζεται η μορφή αστοχίας του δοκιμίου αυτού η οποία εντοπίζεται στη θραύση των 4 βλήτρων-αγκυρίων διαμέτρου $\text{Ø}8\text{mm}$.

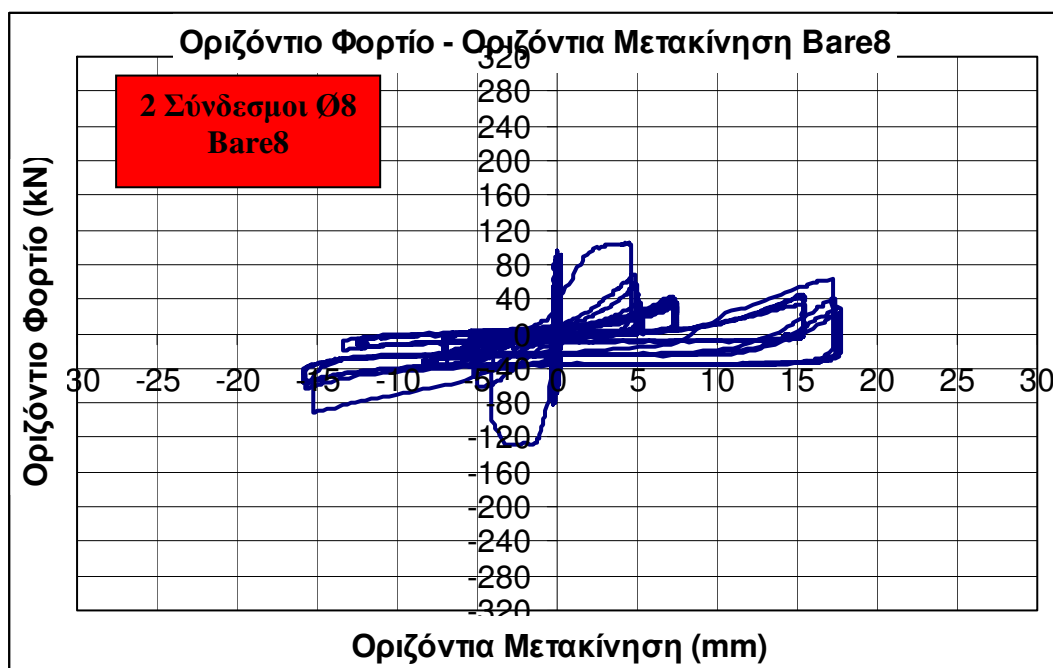


Σχήμα 3.17: Bare7 Θραύση συνδέσμων $4\text{Ø}8\text{mm}$

Δοκίμιο Bare8



Το δοκίμιο Bare 8 έχει ενισχυθεί με 2 βλήτρα - αγκύρια διαμέτρου 8mm. Η διατμητική επιβαλλόμενη μετακίνηση είναι ανακυκλιζόμενη και ποικίλει από $\pm 0,1\text{mm}$ έως $\pm 16\text{mm}$, με ταυτόχρονη επιβολή κατακόρυφου αξονικού ανακυκλιζόμενου φορτίου από $\pm 0\text{ kN}$ έως $\pm 30\text{kN}$



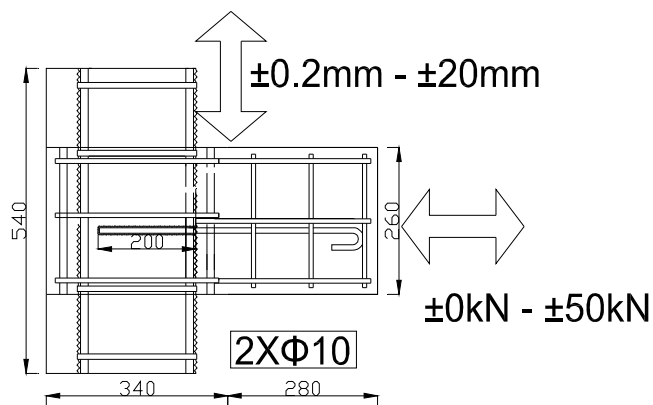
Σχήμα 3.18: Δύναμη – Μετακίνηση Bare8

Στο σχήμα 3.19 παρουσιάζεται η μορφή αστοχίας του δοκιμίου αυτού η οποία εντοπίζεται στη θραύση των 2 συνδέσμων (βλήτρων-αγκυρίων) διαμέτρου Ø8mm



Σχήμα 3.19: Bare8 Θραύση συνδέσμων 2Ø8mm

Δοκίμιο Bare9



Το δοκίμιο Bare 9 έχει ενισχυθεί με 2 βλήτρα - αγκύρια διαμέτρου 10mm. Η διατμητική επιβαλλόμενη μετακίνηση είναι ανακυκλιζόμενη και ποικίλει από $\pm 0,2\text{mm}$ έως $\pm 20\text{mm}$, με ταυτόχρονη επιβολή κατακόρυφου αξονικού ανακυκλιζόμενου φορτίου από $\pm 0\text{ kN}$ έως $\pm 50\text{kN}$



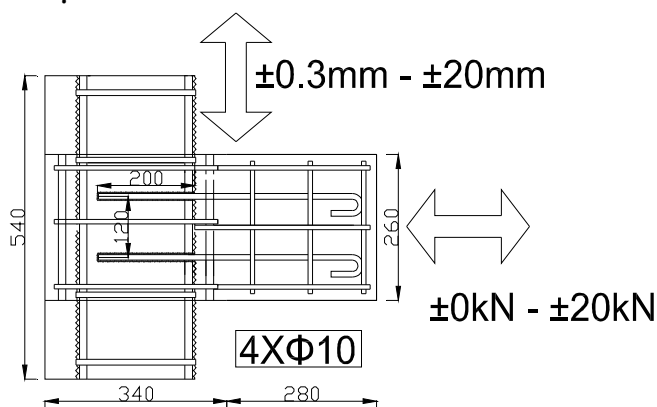
Σχήμα 3.20: Δύναμη – Μετακίνηση Bare9

Στο σχήμα 3.21 παρουσιάζεται η μορφή αστοχίας του δοκιμίου αυτού η οποία εντοπίζεται στη εμφάνιση λαίμωσης των 2 βλήτρων- αγκυρίων διαμέτρου $\Phi 10\text{mm}$ και θραύση της διεπιφάνειας.

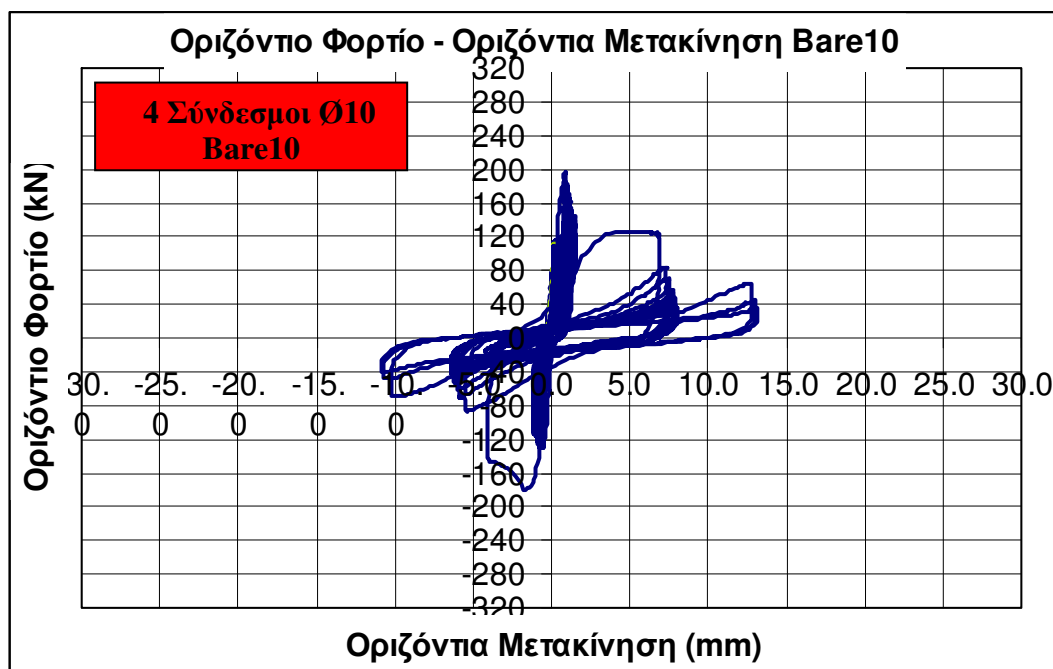


Σχήμα 3.21: Bare9 Λαίμωση συνδέσμων $2\Phi 10\text{mm}$. Θραύση της διεπιφάνειας και απομάκρυνσή της μετά το τέλος της φορτιστικής ακολουθίας

Δοκίμιο Bare10



Το δοκίμιο Bare 10 έχει ενισχυθεί με 4 βλήτρα - αγκύρια διαμέτρου 10mm. Η διατμητική επιβαλλόμενη μετακίνηση είναι ανακυκλιζόμενη και ποικίλει από $\pm 0,3\text{mm}$ έως $\pm 20\text{mm}$, με ταυτόχρονη επιβολή κατακόρυφου αξονικού ανακυκλιζόμενου φορτίου από $\pm 0\text{ kN}$ έως $\pm 20\text{kN}$



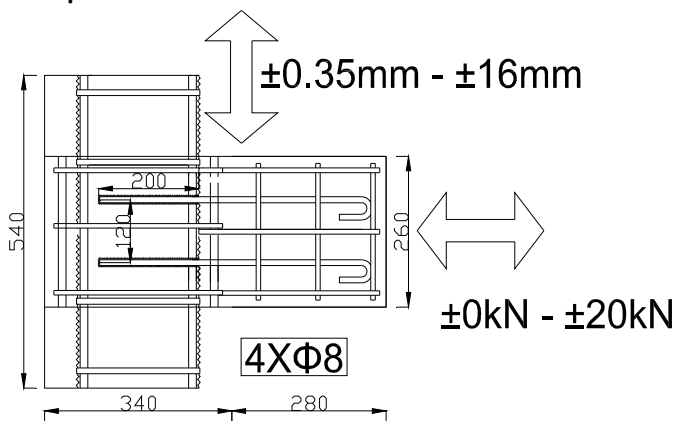
Σχήμα 3.22: Δύναμη – Μετακίνηση Bare10

Στο σχήμα 3.23 παρουσιάζεται η μορφή αστοχίας του δοκιμίου αυτού η οποία εντοπίζεται στη διαρροή και θραύση των 4 βλήτρων-αγκυρίων διαμέτρου $\Phi 10\text{mm}$



Σχήμα 3.23: Bare10 Θραύση βλήτρων 4Ø10mm

Δοκίμιο Bare11



Το δοκίμιο Bare 11 έχει ενισχυθεί με 4 βλήτρα - αγκύρια διαμέτρου 8mm. Η διατμητική επιβαλλόμενη μετακίνηση είναι ανακυκλιζόμενη και ποικίλει από $\pm 0,35\text{mm}$ έως $\pm 16\text{mm}$, με ταυτόχρονη επιβολή κατακόρυφου αξονικού ανακυκλιζόμενου φορτίου από $\pm 0\text{ kN}$ έως $\pm 20\text{kN}$



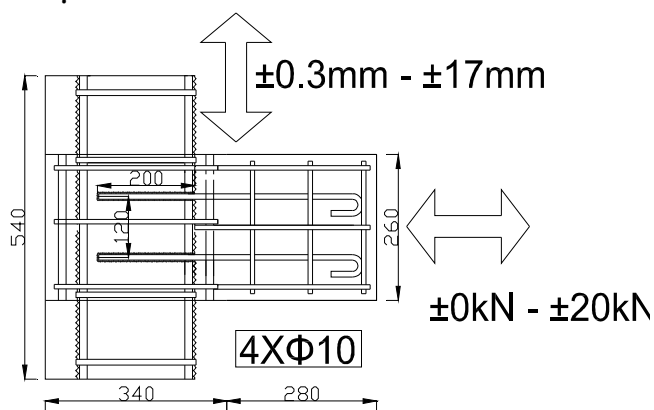
Σχήμα 3.24: Δύναμη – Μετακίνηση Bare11

Στο σχήμα 39 παρουσιάζεται η μορφή αστοχίας του δοκιμίου αυτού η οποία εντοπίζεται στη διαρροή των βλήτρων Ø8. Θραύση του εμφαννώματος στο τελικό στάδιο.

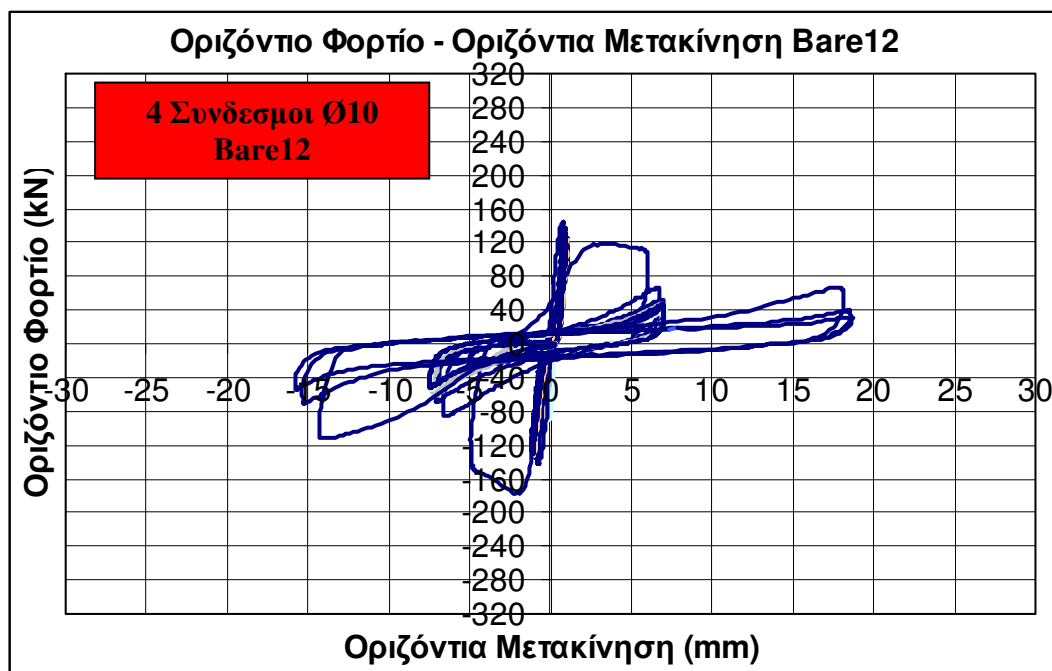


Σχήμα 3.25: Bare11 Διαρροή των βλήτρων Ø8. Θραύση του εμφαννώματος στο τελικό στάδιο.

Δοκίμιο Bare12



Το δοκίμιο Bare 12 έχει ενισχυθεί με 4 βλήτρα - αγκύρια διαμέτρου 10mm. Η διατμητική επιβαλλόμενη μετακίνηση είναι ανακυκλιζόμενη και ποικίλει από $\pm 0,3\text{mm}$ έως $\pm 17\text{mm}$, με ταυτόχρονη επιβολή κατακόρυφου αξονικού ανακυκλιζόμενου φορτίου από $\pm 0\text{ kN}$ έως $\pm 20\text{kN}$



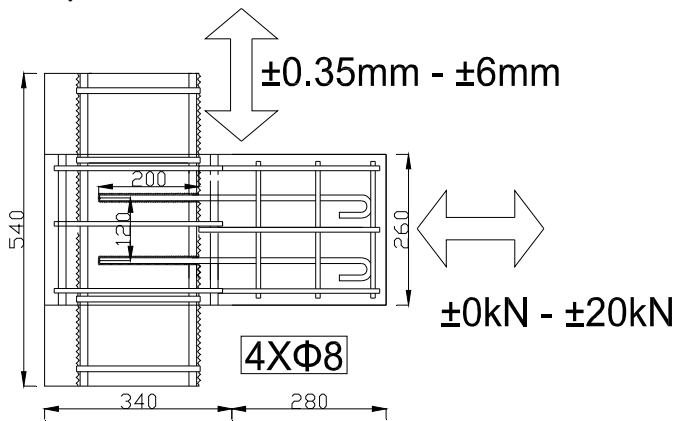
Σχήμα 3.26: Δύναμη – Μετακίνηση Bare12

Στο σχήμα 3.27 παρουσιάζεται η μορφή αστοχίας του δοκιμίου αυτού η οποία εντοπίζεται στη διαρροή του των βλήτρων Ø10.

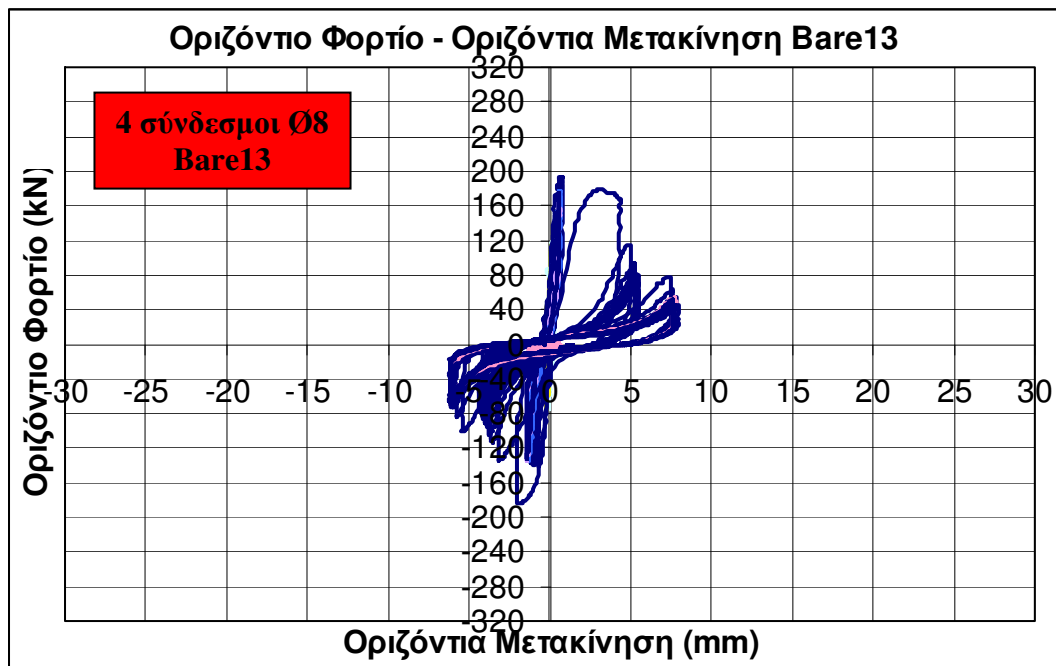


Σχήμα 3.27: Bare12 Διαρροή 4Ø10mm

Δοκίμιο Bare13



Το δοκίμιο Bare 13 έχει ενισχυθεί με 4 βλήτρα - αγκύρια διαμέτρου 8mm. Η διατμητική επιβαλλόμενη μετακίνηση είναι ανακυκλιζόμενη και ποικίλει από $\pm 0,35\text{mm}$ έως $\pm 6\text{mm}$, με ταυτόχρονη επιβολή κατακόρυφου αξονικού ανακυκλιζόμενου φορτίου από $\pm 0\text{ kN}$ έως $\pm 20\text{kN}$



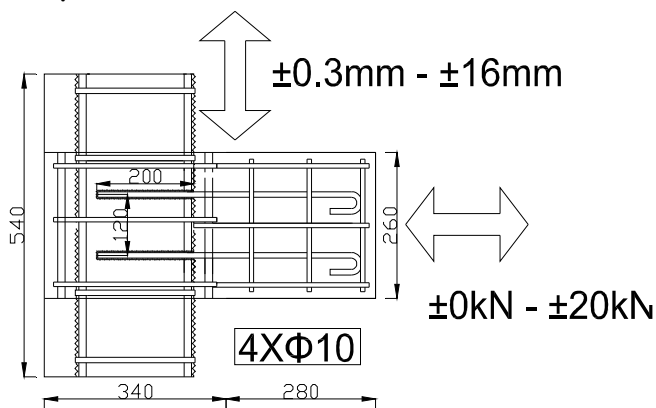
Σχήμα 3.28: Δύναμη – Μετακίνηση Bare13

Στο σχήμα 3.29 παρουσιάζεται η μορφή αστοχίας του δοκιμίου αυτού η οποία εντοπίζεται στη θραύση των βλήτρων Ø8mm.

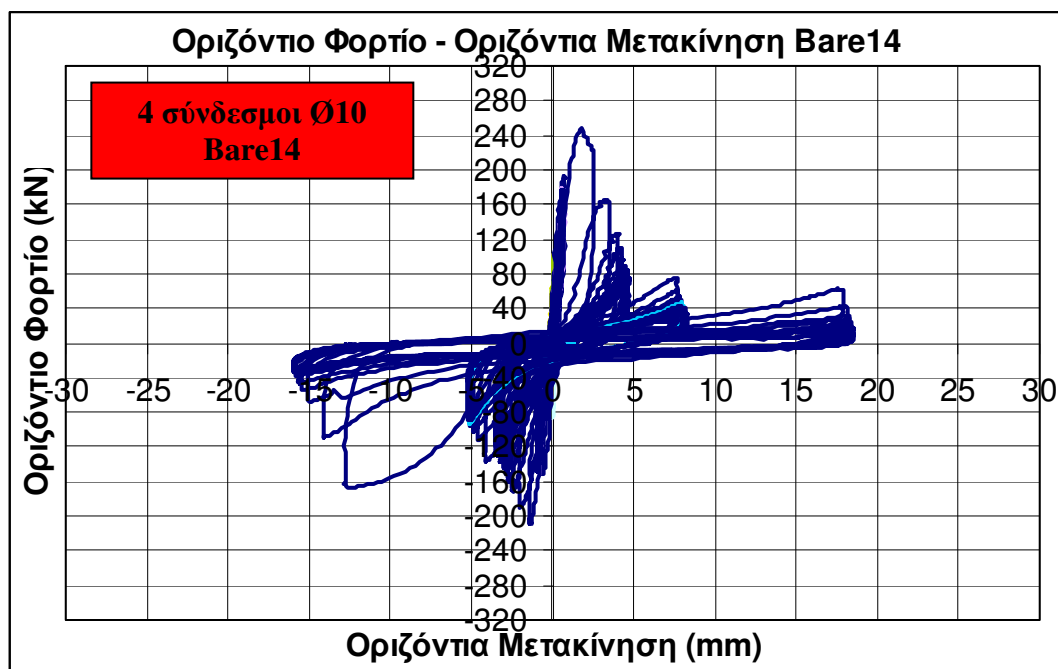


Σχήμα 3.29: Bare13 Θραύση 4Ø8mm

Δοκίμιο Bare14



Το δοκίμιο Bare 14 έχει ενισχυθεί με 4 βλήτρα - αγκύρια διαμέτρου 10mm. Η διατμητική επιβαλλόμενη μετακίνηση είναι ανακυκλιζόμενη και ποικίλει από $\pm 0,3\text{mm}$ έως $\pm 16\text{mm}$, με ταυτόχρονη επιβολή κατακόρυφου αξονικού ανακυκλιζόμενου φορτίου από $\pm 0\text{ kN}$ έως $\pm 20\text{kN}$



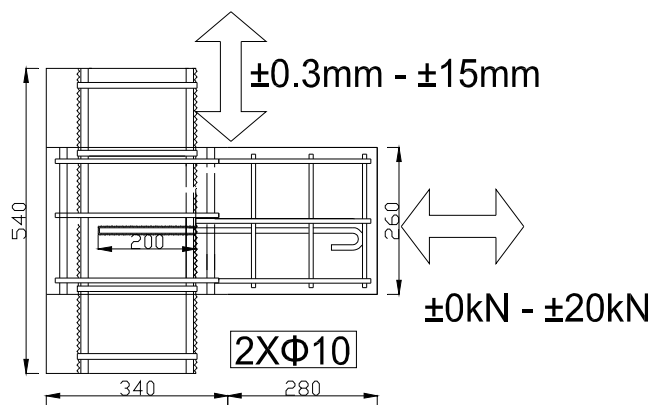
Σχήμα 3.30: Δύναμη – Μετακίνηση Bare14

Στο σχήμα 3.31 παρουσιάζεται η μορφή αστοχίας του δοκιμίου αυτού η οποία εντοπίζεται στη θραύση των βλήτρων $\Phi 10\text{mm}$.



Σχήμα 3.31: Bare14 Θραύση 4 $\Phi 10\text{mm}$

Δοκίμιο Bare15



Το δοκίμιο Bare 15 έχει ενισχυθεί με 2 βλήτρα - αγκύρια διαμέτρου 10mm. Η διατμητική επιβαλλόμενη μετακίνηση είναι ανακυκλιζόμενη και ποικίλει από $\pm 0,3 \text{ mm}$ έως $\pm 15 \text{ mm}$, με ταυτόχρονη επιβολή κατακόρυφου αξονικού ανακυκλιζόμενου φορτίου από $\pm 0 \text{ kN}$ έως $\pm 20 \text{ kN}$



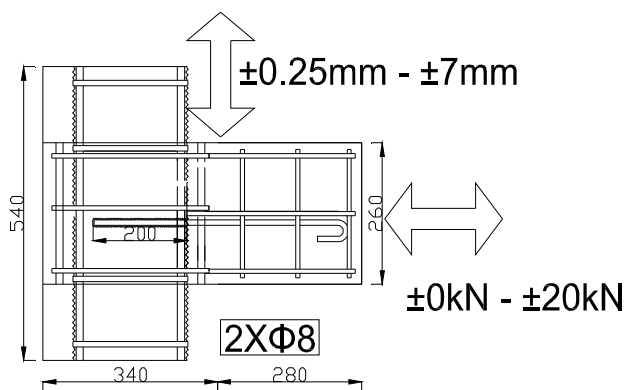
Σχήμα 3.32: Δύναμη – Μετακίνηση Bare15

Στο σχήμα 3.33 παρουσιάζεται η μορφή αστοχίας του δοκιμίου αυτού η οποία εντοπίζεται στη θραύση των 2 βλήτρων - αγκυρίων $\Phi 10 \text{ mm}$.

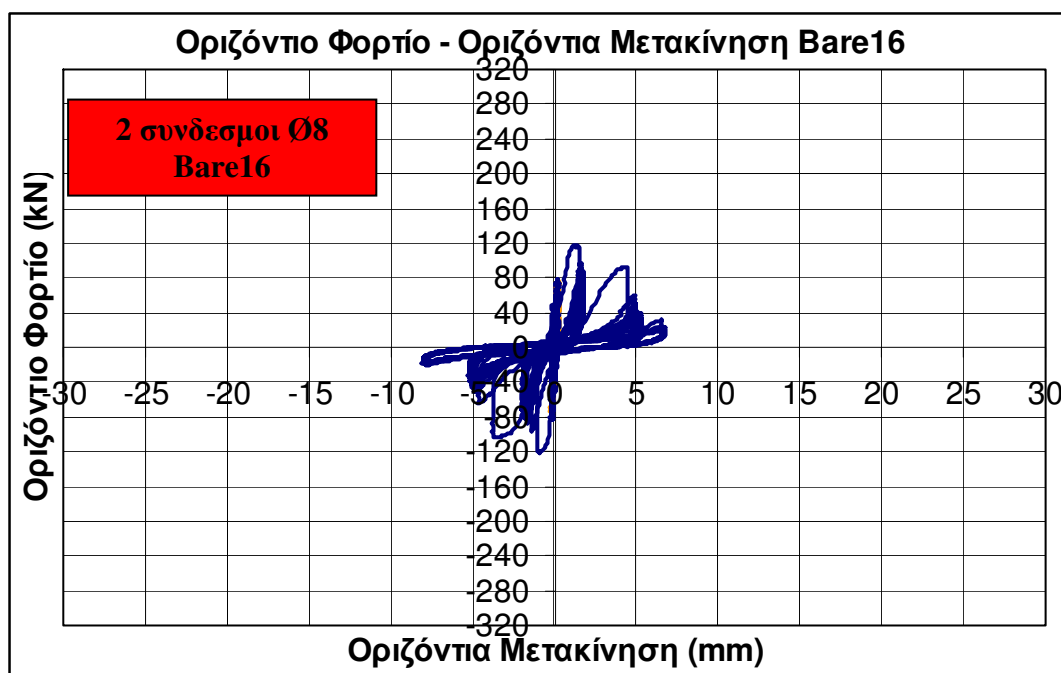


Σχήμα 3.33: Bare15 Θραύση $2 \Phi 10 \text{ mm}$

Δοκίμιο Bare16



Το δοκίμιο Bare 16 έχει ενισχυθεί με 2 βλήτρα - αγκύρια διαμέτρου 8mm. Η διατμητική επιβαλλόμενη μετακίνηση είναι ανακυκλιζόμενη και ποικίλει από $\pm 0,25\text{mm}$ έως $\pm 7\text{mm}$, με ταυτόχρονη επιβολή κατακόρυφου αξονικού ανακυκλιζόμενου φορτίου από $\pm 0\text{ kN}$ έως $\pm 20\text{kN}$



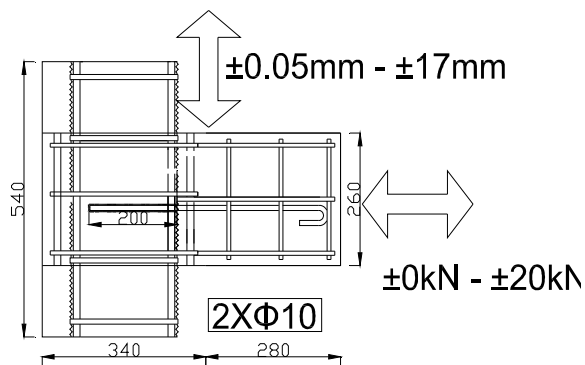
Σχήμα 3.34: Δύναμη – Μετακίνηση Bare16

Στο σχήμα 3.35 παρουσιάζεται η μορφή αστοχίας του δοκιμίου αυτού η οποία εντοπίζεται στη θραύση των 2 βλήτρων-αγκυριών Ø8mm.

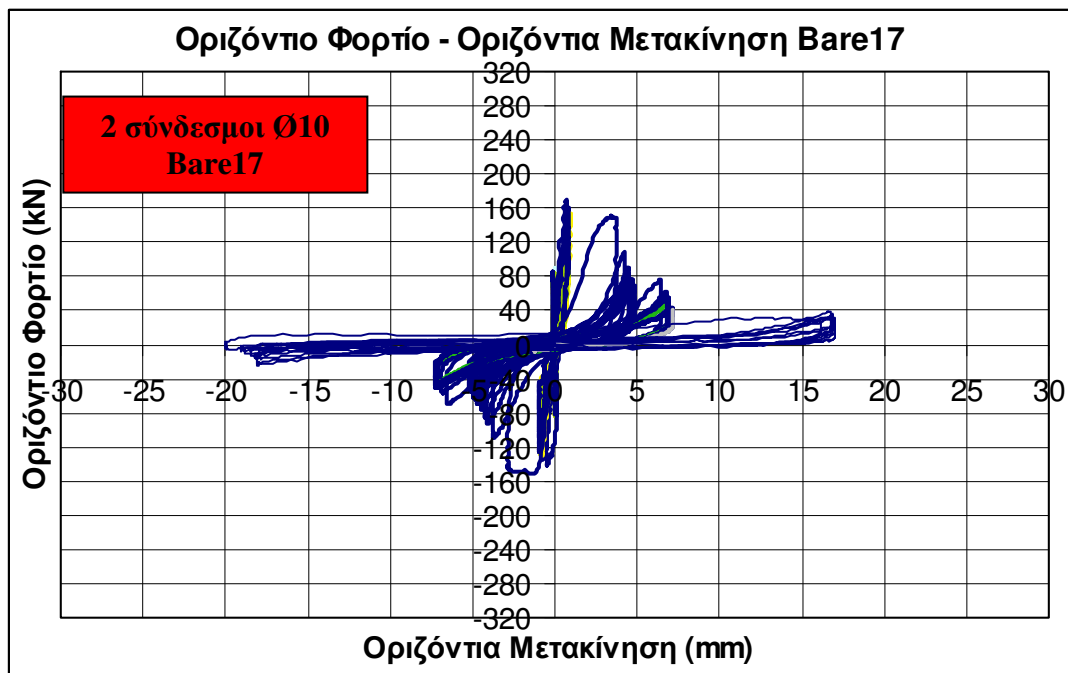


Σχήμα 3.35: Bare16 Θραύση 2Ø8mm

Δοκίμιο Bare17



Το δοκίμιο Bare 17 έχει ενισχυθεί με 2 βλήτρα-αγκύρια διαμέτρου 10mm. Η διατμητική επιβαλλόμενη μετακίνηση είναι ανακυκλιζόμενη και ποικίλει από $\pm 0,05\text{mm}$ έως $\pm 17\text{mm}$, με ταυτόχρονη επιβολή κατακόρυφου αξονικού ανακυκλιζόμενου φορτίου από $\pm 0\text{ kN}$ έως $\pm 20\text{kN}$



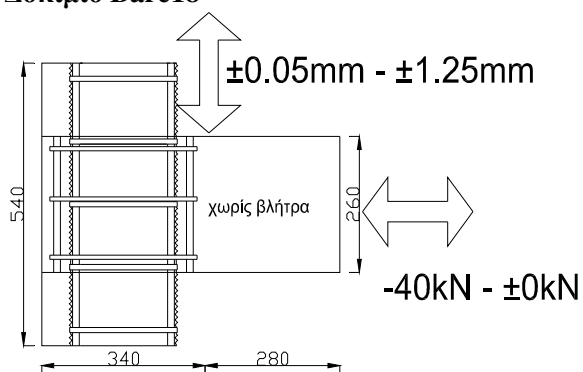
Σχήμα 3.36: Δύναμη – Μετακίνηση Bare17

Στο σχήμα 3.37 παρουσιάζεται η μορφή αστοχίας του δοκιμίου αυτού η οποία εντοπίζεται στη θραύση των 2 βλήτρων-αγκυρίων Ø10mm.

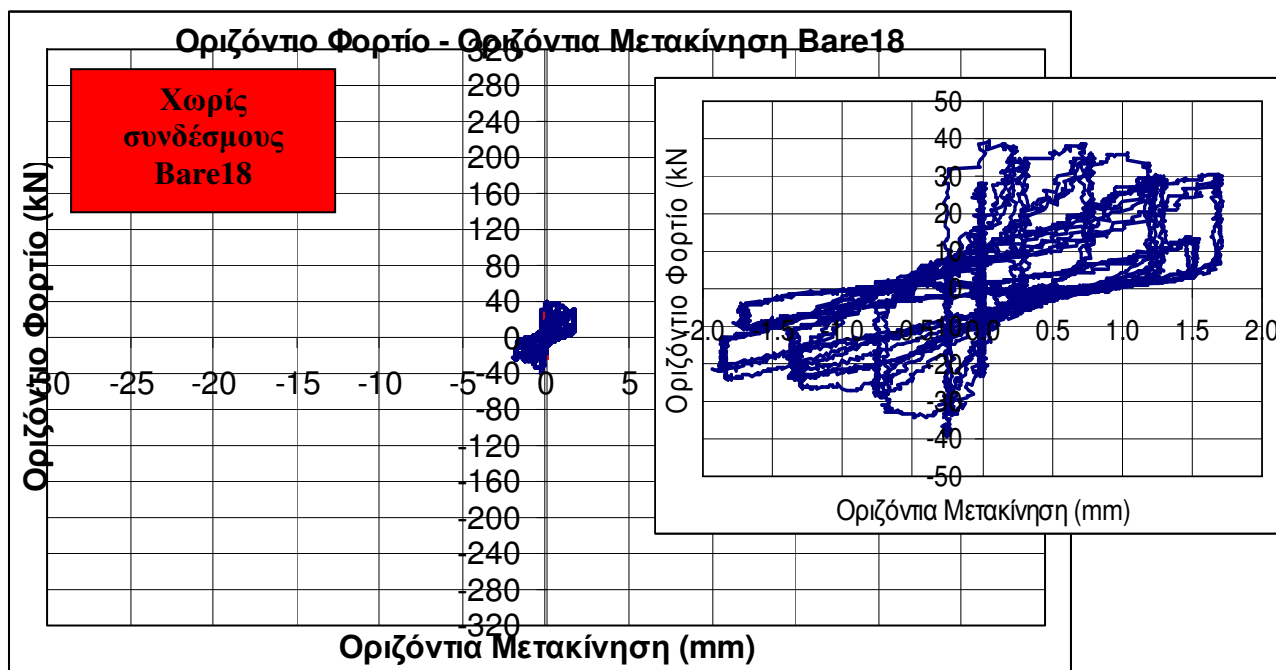


Σχήμα 3.37: Bare17 Θραύση 2Ø10mm

Δοκίμιο Bare18



Το δοκίμιο Bare 18 δεν έχει κανένα σύνδεσμο με βλήτρα - αγκύρια. Αποτελεί δοκίμιο ελέγχου. Η διατμητική επιβαλλόμενη μετακίνηση είναι ανακυκλιζόμενη και ποικίλει από $\pm 0,05\text{mm}$ έως $\pm 1,25\text{mm}$, με ταυτόχρονη επιβολή κατακόρυφου αξονικού ανακυκλιζόμενου φορτίου από -40kN έως $\pm 0\text{ kN}$.



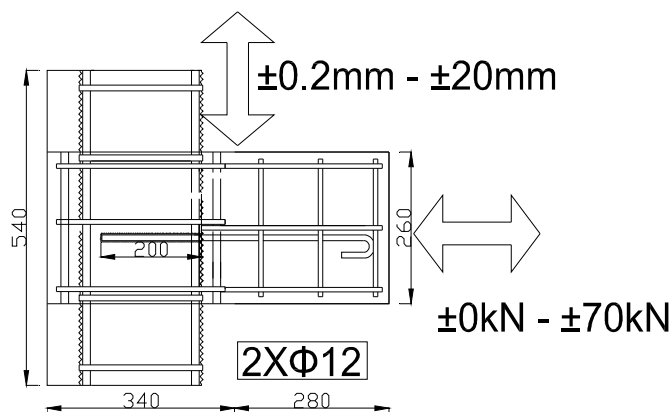
Σχήμα 3.38: Δύναμη – Μετακίνηση Bare18

Στο σχήμα 3.39 παρουσιάζεται η μορφή αστοχίας του δοκιμίου αυτού η οποία εντοπίζεται στη θραύση της διεπιφάνειας επιβολής της διατμητικής ανακυκλιζόμενης μετακίνησης.



Σχήμα 3.39: Bare18 Θραύση διεπιφάνειας

Δοκίμιο Bare19



Το δοκίμιο Bare 19 έχει ενισχυθεί με 2 βλήτρα - αγκύρια διαμέτρου 12mm. Η διατμητική επιβαλλόμενη μετακίνηση είναι ανακυκλιζόμενη και ποικίλει από $\pm 0,2\text{mm}$ έως $\pm 20\text{mm}$, με ταυτόχρονη επιβολή κατακόρυφου αξονικού ανακυκλιζόμενου φορτίου από $\pm 0\text{ kN}$ έως $\pm 70\text{kN}$



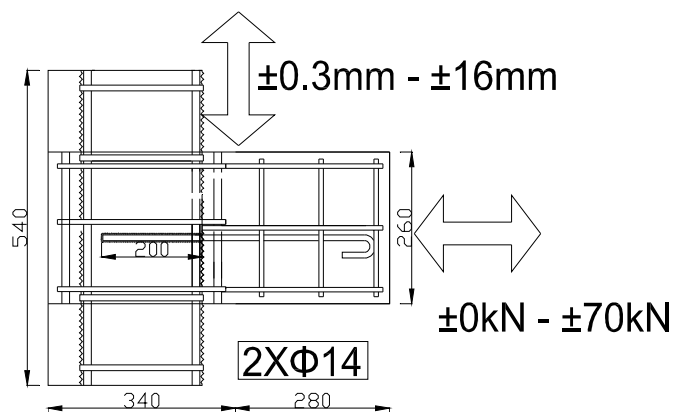
Σχήμα 3.40: Δύναμη – Μετακίνηση Bare19

Στο σχήμα 3.41 παρουσιάζεται η μορφή αστοχίας του δοκιμίου αυτού η οποία εντοπίζεται στη διαρροή των διατμητικών βλήτρων-αγκυρίων. Θραύση του εμφαντώματος στο τελικό στάδιο



Σχήμα 3.41: Bare19 Διαρροή των διατμητικών βλήτρων-αγκυρίων. Θραύση του εμφαντώματος στο τελικό στάδιο.

Δοκίμιο Bare20



Το δοκίμιο Bare 20 έχει ενισχυθεί με 2 βλήτρα - αγκύρια διαμέτρου 14mm. Η διατμητική επιβαλλόμενη μετακίνηση είναι ανακυκλιζόμενη και ποικίλει από $\pm 0,3\text{mm}$ έως $\pm 16\text{mm}$, με ταυτόχρονη επιβολή κατακόρυφου αξονικού ανακυκλιζόμενου φορτίου από $\pm 0\text{ kN}$ έως $\pm 70\text{kN}$



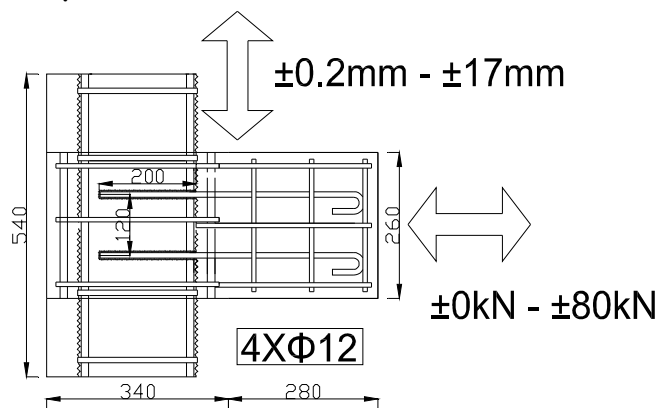
Σχήμα 3.42: Δύναμη – Μετακίνηση Bare20

Στο σχήμα 3.43 παρουσιάζεται η μορφή αστοχίας του δοκιμίου αυτού η οποία εντοπίζεται στη διαρροή των διατμητικών βλήτρων. Θραύση του εμφαννώματος στο τελικό στάδιο



Σχήμα 3.43: Bare 20 Λαίμωση συνδέσμων. Θραύση του εμφαννώματος στο τελικό στάδιο.

Δοκίμιο Bare21



Το δοκίμιο Bare 21 έχει ενισχυθεί με 4 βλήτρα - αγκύρια διαμέτρου 12mm. Η διατμητική επιβαλλόμενη μετακίνηση είναι ανακυκλιζόμενη και ποικίλει από $\pm 0,2\text{mm}$ έως $\pm 17\text{mm}$, με ταυτόχρονη επιβολή κατακόρυφου αξονικού ανακυκλιζόμενου φορτίου από $\pm 0\text{ kN}$ έως $\pm 80\text{kN}$



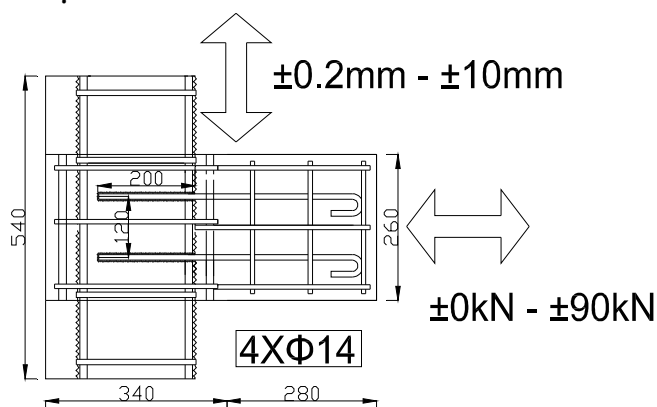
Σχήμα 3.44: Δύναμη – Μετακίνηση Bare21

Στο σχήμα 3.45 παρουσιάζεται η μορφή αστοχίας του δοκιμίου αυτού η οποία εντοπίζεται στη διαρροή του βλήτρου – αγκυρίου διαμέτρου 12mm.

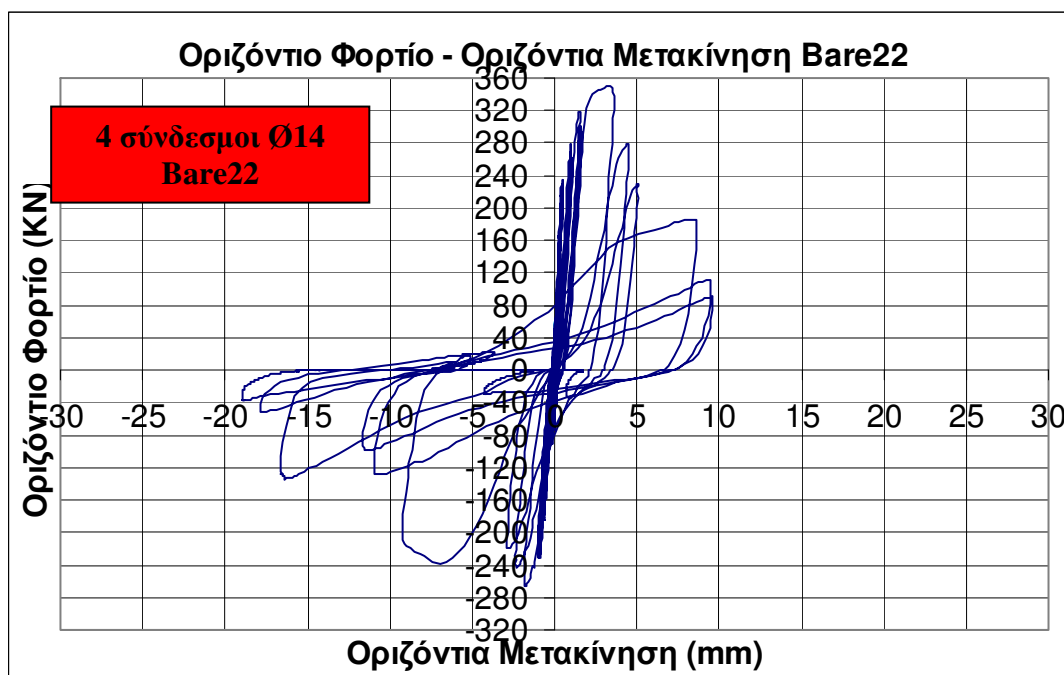


Σχήμα 3.45: Bare21 Διαρροή του βλήτρου - αγκυρίου διαμέτρου 12mm

Δοκίμιο Bare22



Το δοκίμιο Bare 22 έχει ενισχυθεί με 4 βλήτρα - αγκύρια διαμέτρου 14mm. Η διατμητική επιβαλλόμενη μετακίνηση είναι ανακυκλιζόμενη και ποικίλει από $\pm 0,2\text{mm}$ έως $\pm 10\text{mm}$, με ταυτόχρονη επιβολή κατακόρυφου αξονικού ανακυκλιζόμενου φορτίου από $\pm 0\text{ kN}$ έως $\pm 90\text{kN}$



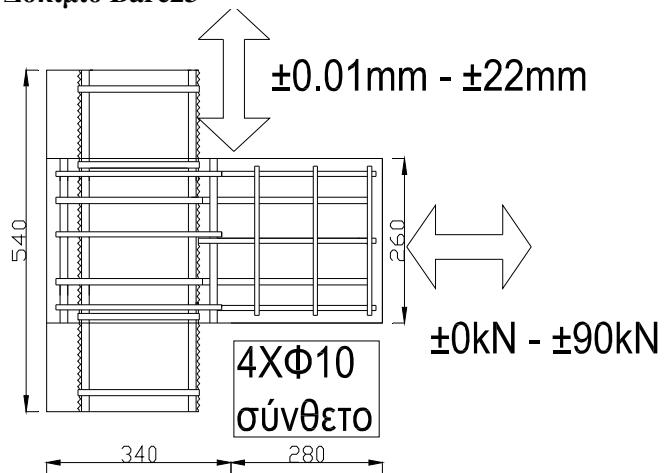
Σχήμα 3.46: Δύναμη – Μετακίνηση Bare22

Στο σχήμα 3.47 παρουσιάζεται η μορφή αστοχίας του δοκιμίου αυτού η οποία εντοπίζεται στη διαρροή – λαίμωση των βλήτρων – αγκυρίων διαμέτρου 14mm. Θραύση του εμφαννώματος στο τελικό στάδιο

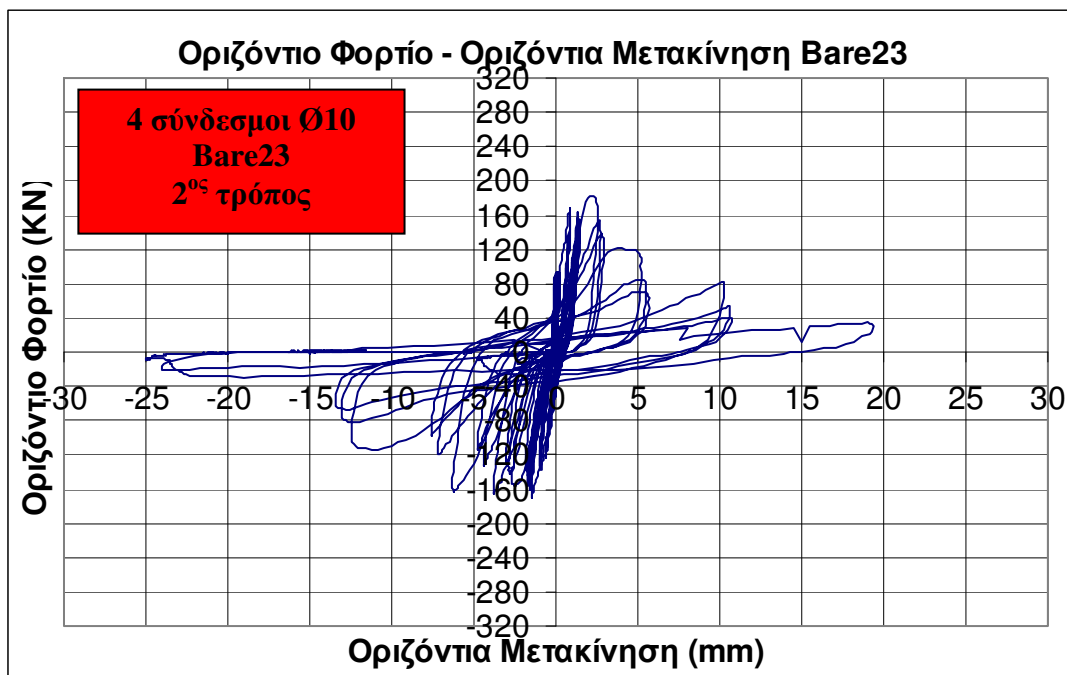


Σχήμα 3.47: Bare22 Λαίμωση-διαρροή των βλήτρων – αγκυρίων διαμέτρου 14mm. Θραύση του εμφαννώματος στο τελικό στάδιο

Δοκίμιο Bare23



Το δοκίμιο Bare 23 έχει ενισχυθεί με 4 βλήτρα – αγκυρίων διαμέτρου 10mm με το σύνθετο τρόπο εφαρμογής. Η διατμητική επιβαλλόμενη μετακίνηση είναι ανακυκλιζόμενη και ποικίλει από $\pm 0,01\text{mm}$ έως $\pm 22\text{mm}$, με ταυτόχρονη επιβολή κατακόρυφου αξονικού ανακυκλιζόμενου φορτίου από $\pm 0\text{ kN}$ έως $\pm 90\text{kN}$



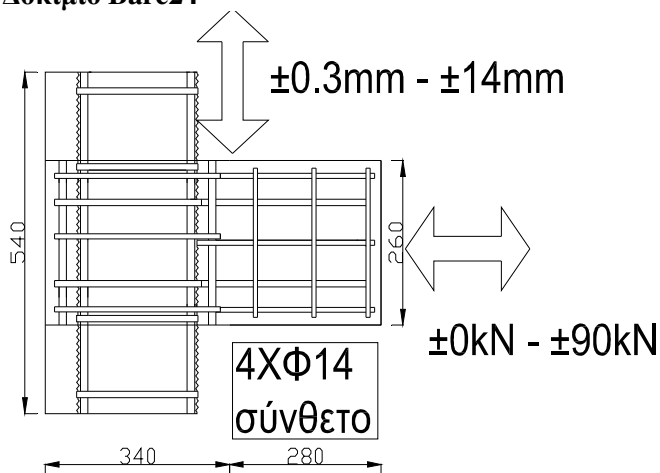
Σχήμα 3.48: Δύναμη – Μετακίνηση Bare23

Στο σχήμα 3.49 παρουσιάζεται η μορφή αστοχίας του δοκιμίου αυτού η οποία εντοπίζεται στη διαρροή του βλήτρου – αγκυρίου διαμέτρου 10mm.



Σχήμα 3.49: Bare23 Διαρροή του βλήτρου – αγκυρίου διαμέτρου 10mm

Δοκίμιο Bare24



Το δοκίμιο Bare 24 έχει ενισχυθεί με 4 βλήτρα – αγκύρια διαμέτρου 12mm με το σύνθετο τρόπο εφαρμογής. Η διατμητική επι-βαλλόμενη μετακίνηση είναι ανακυκλιζόμενη και ποικίλει από $\pm 0,3\text{mm}$ έως $\pm 14\text{mm}$, με ταυτόχρονη επιβολή κατακόρυφου αξονικού ανακυκλιζόμενου φορτίου από $\pm 0\text{ kN}$ έως $\pm 90\text{kN}$

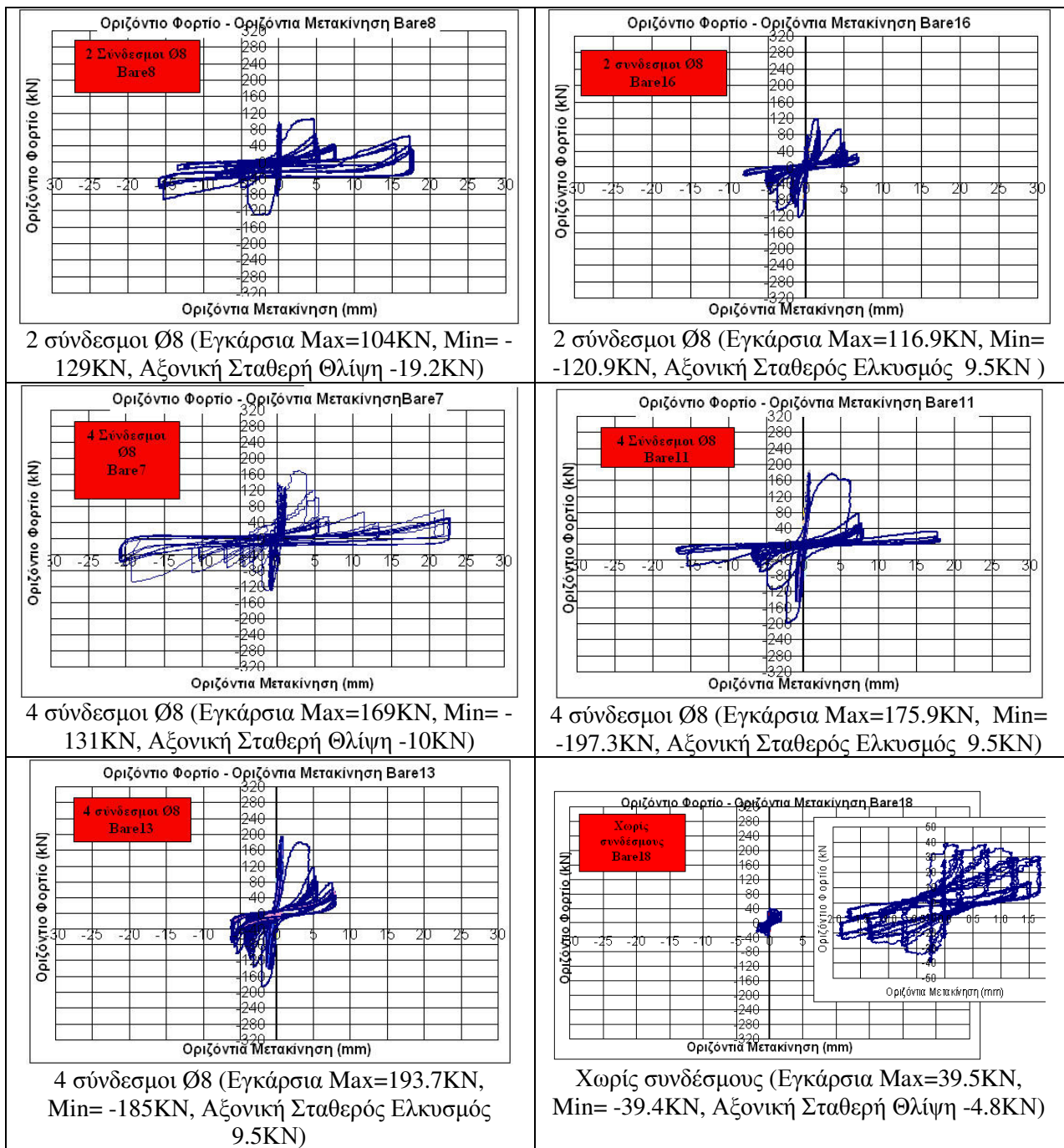


Σχήμα 3.50: Δύναμη – Μετακίνηση Bare24

Στο σχήμα 3.51 παρουσιάζεται η μορφή αστοχίας του δοκιμίου αυτού η οποία εντοπίζεται στη διαρροή του βλήτρου – αγκυρίου διαμέτρου 14mm.



Σχήμα 3.51: Bare24 Διαρροή του βλήτρου – αγκυρίου διαμέτρου 14mm.Θραύση διεπιφάνειας στο τελικό στάδιο.









Σχήμα 3.52. Σύνοψη των πειραματικών αποτελεσμάτων για συνδέσμους διαμέτρου 8mm

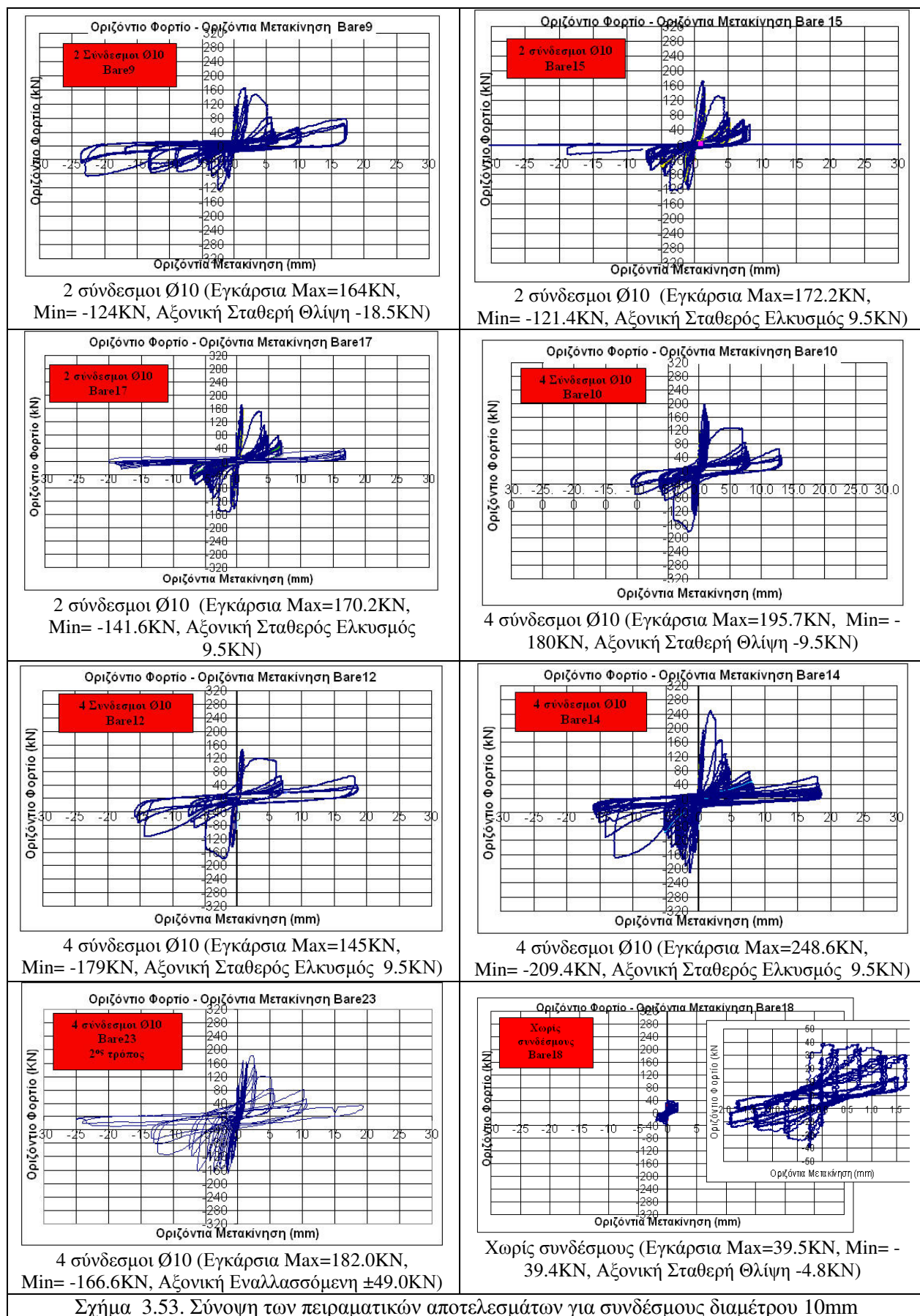
Παρατηρήσεις α:

1. Η μέγιστη και η ελάχιστη αναλαμβανόμενη από τα δοκίμια δύναμη έχει περίπου την ίδια τιμή.
2. Η ταυτόχρονη επιβολή σταθερής αξονικής έντασης στους συνδέσμους του εύρους είτε σταθερή θλίψη 10kN είτε σταθερού ελκυσμού 10kN δεν έχει σημαντική επιρροή στην μέγιστη (ελάχιστη) αναλαμβανόμενη από τους συνδέσμους εγκάρσια δύναμη.
3. Η μέγιστη (ελάχιστη) αναλαμβανόμενη εγκάρσια δύναμη αναπτύσσεται για μέγιστη εγκάρσια μετατόπιση περίπου 0.8mm. Για μεγαλύτερες εγκάρσιες μετατοπίσεις η μέγιστη (ελάχιστη) εγκάρσια δύναμη παραμένει περίπου σταθερή μέχρι περίπου 5mm εγκάρσια μετατόπιση. Αυτό όμως ισχύει για τον 1^ο από τους τρεις κύκλους καταναγκασμένης εγκάρσιας μετατόπισης.
4. Για τους επόμενους δύο κύκλους καταναγκασμένης εγκάρσιας μετατόπισης, καθώς και για μεγαλύτερο εύρος εγκάρσιας μετατόπισης από περίπου 5mm η μέγιστη (ελάχιστη) εγκάρσια δύναμη παρουσιάζει σημαντική μείωση.
5. Η συνεισφορά δυνάμεων τριβής-ολίσθησης της διεπιφάνειας στην μέγιστη (ελάχιστη) αναλαμβανόμενη εγκάρσια δύναμη δεν πρέπει να θεωρηθεί σημαντική.

6. Η σημαντική αυτή μείωση είναι ανεξάρτητη από την ταυτόχρονη επιβολή σταθερής θλίψης 10KN ή σταθερού ελκυσμού 10KN.
7. Η κυρίαρχη μορφή αστοχίας ήταν αυτή της θραύσης των συνδέσμων







Πίνακας 3.1. Σύνοψη αποτελεσμάτων για χαλύβδινους συνδέσμους Ø8



Ονομασία Δοκιμίου - Αριθμός Συνδέσμων	Μέγιστη Εγκάρσια Δύναμη (KN)	Ελάχιστη Εγκάρσια Δύναμη (KN)	Αξονική Δύναμη (KN)	Μορφή Αστοχίας
Bare 8 2 Ø8	104.0KN	-129KN,	Σταθερή Θλίψη -19.2KN	 Θραύση συνδέσμων 2Ø8mm
Bare 16 2 Ø8	116.9KN	-120.9KN	Σταθερός Ελκυσμός 9.5KN	 Θραύση 2Ø8mm
Bare 7 4 Ø8	169.0KN	-131KN	Σταθερή Θλίψη -10KN	 Θραύση συνδέσμων 4Ø8mm
Bare 11 4 Ø8	175.9KN	-197.3KN	Σταθερός Ελκυσμός 9.5KN	 Διαρροή των βλήτρων Ø8. Θραύση του εμφατνώματος στο τελικό στάδιο.
Bare 13 4 Ø8	193.7KN,	-185.0KN	Σταθερός Ελκυσμός 9.5KN	 Θραύση 4Ø8mm
Bare 18 Χωρίς συνδέσμους	39.5KN	-39.4KN	Σταθερή Θλίψη -4.8KN	 Θραύση διεπιφάνειας



Σχήμα 3.53. Σύνοψη των πειραματικών αποτελεσμάτων για συνδέσμους διαμέτρου 10mm

Πίνακας 3.2. Σύνοψη αποτελεσμάτων για χαλύβδινους συνδέσμους Ø10

Ονομασία Δοκιμίου - Αριθμός Συνδέσμων	Μέγιστη Εγκάρσια Δύναμη (KN)	Ελάχιστη Εγκάρσια Δύναμη (KN)	Αξονική Δύναμη (KN)	Μορφή Αστοχίας
Bare 9 2 Ø10	164KN	-124KN,	Σταθερή Θλίψη -18.5KN	 Λαίμωση συνδέσμων 2Ø10mm
Bare 15 2 Ø10	172.2KN	-121KN	Σταθερός Ελκυσμός 9.5KN	 Θραύση 2Ø10mm
Bare 17 2 Ø10	170.2KN,	-141.6KN	Σταθερός Ελκυσμός 9.5KN	 Θραύση 2Ø10mm
Bare 10 4 Ø10	195.7KN	-180.0KN	Αξονική Σταθερή Θλίψη -9.5KN	 Θραύση βλήτρων 4Ø10mm
Bare 12 4 Ø10	145KN	-179.0KN	Σταθερός Ελκυσμός 9.5KN	 Διαρροή 4Ø10mm
Bare 14 4 Ø10	248.6KN Min=,)	-209.4KN	Σταθερός Ελκυσμός 9.5KN	 Θραύση 4Ø10mm

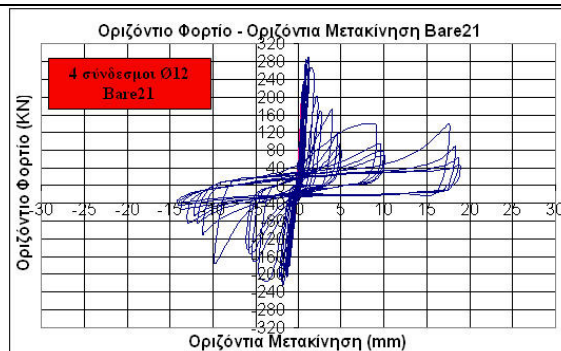
Bare 23 4 Ø10 2 ^{ος} τρόπος	182.0KN	-166.6KN	Αξονική Εναλλασσόμενη ±49.0KN	 Διαρροή του βλήτρου – αγκυρίου διαμέτρου 10mm
Bare 18 Χωρίς συνδέσμους	39.5KN	-39.4KN	Σταθερή Θλίψη – 4.8KN	 Θραύση διεπιφάνειας

Παρατηρήσεις β:

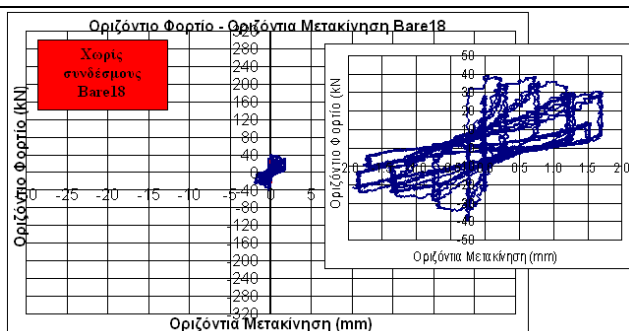
8. Η μέγιστη και η ελάχιστη αναλαμβανόμενη από τα δοκίμια εγκάρσια δεν έχει πολύ σημαντική διαφορά. Στα δοκίμια με 2 συνδέσμους Ø10 παρατηρείται μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης τιμής από ότι στα δοκίμια με 4 συνδέσμους Ø10.
9. Η ταυτόχρονη επιβολή σταθερής αξονικής έντασης στους συνδέσμους του εύρους είτε σταθερή θλίψη 10KN είτε σταθερού ελκυσμού 10KN έχει μικρή επιρροή στην μέγιστη (ελάχιστη) αναλαμβανόμενη από τους συνδέσμους εγκάρσια δύναμη.
10. Η μέγιστη (ελάχιστη) αναλαμβανόμενη εγκάρσια δύναμη αναπτύσσεται για μέγιστη εγκάρσια μετατόπιση περίπου 1.0mm. Για μεγαλύτερες εγκάρσιες μετατοπίσεις η μέγιστη (ελάχιστη) εγκάρσια δύναμη παραμένει περίπου σταθερή μέχρι περίπου 5mm εγκάρσια μετατόπιση. Αυτό όμως ισχύει για τον 1^ο από τους τρεις κύκλους καταναγκασμένης εγκάρσιας μετατόπισης.
11. Για τους επόμενους δύο κύκλους καταναγκασμένης εγκάρσιας μετατόπισης, καθώς και για μεγαλύτερο εύρος εγκάρσιας μετατόπισης από περίπου 5mm η μέγιστη (ελάχιστη) εγκάρσια δύναμη παρουσιάζει σημαντική μείωση.
12. Η συνεισφορά δυνάμεων τριβής-ολίσθησης της διεπιφάνειας στην μέγιστη (ελάχιστη) αναλαμβανόμενη εγκάρσια δύναμη δεν πρέπει να θεωρηθεί σημαντική.
13. Η σημαντική αυτή μείωση είναι ανεξάρτητη από την ταυτόχρονη επιβολή σταθερής θλίψης 10KN ή σταθερού ελκυσμού 10KN.
14. Η κυρίαρχη μορφή αστοχίας ήταν και πάλι αυτή της θραύσης των συνδέσμων.
15. Η χρησιμοποίηση του βελτιωμένου 2^{ου} τρόπου σύνδεσης υπήρξε αποτελεσματική στην διατήρηση της φέρουσας ικανότητας σε υψηλή τιμή της εγκάρσιας δύναμης με ταυτόχρονη επιβολή αξονικής εναλλασσόμενης δύναμης του εύρους των ±49.0KN.



2 σύνδεσμοι Ø12 (Εγκάρσια Max=158.4kN (Αξονική Θλίψη-68.6kN), Min= -188.1kN, Αξονική ελκυσμός 24.kN) Αξονική Εναλλασσόμενη ± 50.0 kN.



4 σύνδεσμοι Ø12 (Εγκάρσια Max=288.7kN (Αξονική Θλίψη-54.kN), Min= -224.6kN, Αξονική ελκυσμός 54.kN) Αξονική Εναλλασσόμενη ± 54.0 kN.



Χωρίς συνδέσμοι (Εγκάρσια Max=39.5kN, Min= -39.4kN, Αξονική Σταθερή Θλίψη -4.8kN)



2 σύνδεσμοι Ø14 (Εγκάρσια Max=175.1kN (Αξονική ελκυσμός 25.kN), Min= -147.2kN, Αξονική θλίψη -27.kN) Αξονική Εναλλασσόμενη ± 50.0 kN.








4 σύνδεσμοι Ø14 (Εγκάρσια Max=350.7kN (Αξονική θλίψη -50.kN), Min= -266.9kN, Αξονική ελκυσμός 50.kN) Αξονική Εναλλασσόμενη ± 60.0 kN.



4 σύνδεσμοι Ø14 (Εγκάρσια Max=309.2kN (Αξονική ελκυσμός 40.kN), Min= -285.9kN, Αξονική θλίψη -60.kN) Αξονική Εναλλασσόμενη ± 60.0 kN.

Σχήμα 3.54. Σύνοψη των πειραματικών αποτελεσμάτων για συνδέσμους διαμέτρου 12mm και 14mm

Πίνακας 3.3. Σύνοψη αποτελεσμάτων για χαλύβδινους συνδέσμους Ø12 και Ø12

Ονομασία Δοκιμίου - Αριθμός Συνδέσμων	Μέγιστη Εγκάρσια Δύναμη (KN)	Ελάχιστη Εγκάρσια Δύναμη (KN)	Αξονική Δύναμη (KN)	Μορφή Αστοχίας
Bare 19 2 Ø12	158.4KN	-188.1KN	Εναλλασσόμενη ±50.0KN.	Διαρροή των διατμητικών βλήτρων-αγκυρίων. Θραύση του εμφαντώματος στο τελικό στάδιο.
Bare 21 4 Ø12	288.7KN	-224.6KN	Εναλλασσόμενη ±54.0KN	 Διαρροή βλήτρων – αγκυρίων διαμέτρου 12mm
Bare 18 Χωρίς συνδέσμους	39.5KN	-39.4KN	Σταθερή Θλίψη -4.8KN	 Θραύση διεπιφάνειας
Bare 20 2 Ø14	175.1KN	-147.2KN	Εναλλασσόμενη ±50.0KN	 Λαίμωση Φ14. Θραύση του εμφαντώματος - τελικό στάδιο.
Bare 22 4 Ø14	350.7KN	-266.9KN	Εναλλασσόμενη ±60.0KN	 Λαίμωση-διαρροή των βλήτρων – αγκυρίων διαμέτρου 14mm. Θραύση του εμφαντώματος στο τελικό στάδιο
Bare 24 4 Ø14 2 ^{ος} τρόπος	309.2KN	-285.9KN	Εναλλασσόμενη ±60.0KN	 Διαρροή του βλήτρου – αγκυρίου διαμέτρου 14mm.Θραύση διεπιφάνειας στο τελικό στάδιο.

Παρατηρήσεις γ:

16. Η μέγιστη και η ελάχιστη αναλαμβανόμενη από τα δοκίμια εγκάρσια δύναμη δεν έχει πολύ σημαντική διαφορά.
17. Η ταυτόχρονη επιβολή εναλλασσόμενης αξονικής έντασης στους συνδέσμους του εύρους $\pm 50.0\text{KN}$ δεν έχει σημαντική επιρροή στην μέγιστη (ελάχιστη) αναλαμβανόμενη από τους συνδέσμους εγκάρσια δύναμη.
18. Η μέγιστη (ελάχιστη) αναλαμβανόμενη εγκάρσια δύναμη αναπτύσσεται για μέγιστη εγκάρσια μετατόπιση περίπου 1.5mm . Για μεγαλύτερες εγκάρσιες μετατοπίσεις η μέγιστη (ελάχιστη) εγκάρσια δύναμη παραμένει περίπου σταθερή μέχρι περίπου 5mm εγκάρσια μετατόπιση. Αυτό όμως ισχύει για τον 1^ο από τους τρεις κύκλους καταναγκασμένης εγκάρσιας μετατόπισης.
19. Για τους επόμενους δύο κύκλους καταναγκασμένης εγκάρσιας μετατόπισης, καθώς και για μεγαλύτερο εύρος εγκάρσιας μετατόπισης από περίπου 5mm η μέγιστη (ελάχιστη) εγκάρσια δύναμη παρουσιάζει σημαντική μείωση.
20. Η συνεισφορά δυνάμεων τριβής-ολίσθησης της διεπιφάνειας στην μέγιστη (ελάχιστη) αναλαμβανόμενη εγκάρσια δύναμη δεν πρέπει να θεωρηθεί σημαντική.
21. Η σημαντική αυτή μείωση είναι ανεξάρτητη από την ταυτόχρονη επιβολή εναλλασσόμενης αξονικής έντασης στους συνδέσμους του εύρους $\pm 50.0\text{KN}$.
22. Η κυρίαρχη μορφή αστοχίας ήταν η διαρροή και λαίμωση των συνδέσμων. Στο τελικό στάδιο αυτό συνοδεύτηκε από θραύση του εμφατνώματος.
23. Η χρησιμοποίηση του βελτιωμένου 2^{ου} τρόπου σύνδεσης υπήρξε αποτελεσματική στην διατήρηση της φέρουσας ικανότητας σε υψηλή τιμή της εγκάρσιας δύναμης με ταυτόχρονη επιβολή αξονικής εναλλασσόμενης δύναμης του εύρους των $\pm 60.0\text{KN}$.

3.4. Σύνοψη των αποτελεσμάτων των δοκιμών που εξετάστηκαν.

Στη συνέχεια ακολουθούν οι πίνακες 1.5α και 1.5β όπου παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα των δοκιμών. Στην 1^η στήλη παρουσιάζεται η κωδική ονομασία του δοκιμίου, στη 2^η στήλη ο αριθμός των συνδέσμων και το είδος της σύνδεσης, στη 3^η στήλη καταγράφεται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της εγκάρσιας δύναμης που παραλήφθηκε από την σύνδεση με ταυτόχρονη μεία της αξονικής έντασης. Στην 4^η στήλη αναγράφεται η μετακίνηση για την ποία παρατηρήθηκε η μέγιστη κατά απόλυτη τιμή της εγκάρσιας δύναμης ενώ στην 5^η στήλη αναγράφεται η μέγιστη μετακίνηση για την οποία η φέρουσα ικανότητα διατηρείται σε υψηλά επίπεδα. Τέλος η 6^η στήλη περιλαμβάνει τις τιμές της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται κατά την διάρκεια της ανακυκλιζόμενης απόκρισης του κάθε δοκιμίου μέχρι μια μετακίνηση - στόχο των 5 ή 7mm όπου ολοκληρώνεται το κύριο στάδιο της φορτιστικής διαδικασίας του κάθε δοκιμίου. Τα περισσότερα από τα δοκίμια έφτασαν σε αυτό το επίπεδο μετακίνησης και πολλά από αυτά το ξεπέρασαν. Για μεγαλύτερα επίπεδα μετακίνησης η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την διάρκεια της ανακυκλιζόμενης απόκρισης δεν έχει ληφθεί υπόψη. Στην στήλη 7 αναγράφεται η παρατηρηθείσα μορφή αστοχίας των συνδέσμων.

Πίνακας 3.4. Συγκριτικά αποτελέσματα των πρώτων έξι δοκιμών (6 δοκιμές)

Κωδική Ονομασία	Αριθμός συνδέσμων	Φορτίο max / min (KN)	Μετακίνηση μέγιστου φορτίου (mm)	Μετακίνηση μη γραμμικού κλάδου (mm)	Καταναλισκόμενη Ενέργεια (KNmm=Joule)	Μορφές Αστοχίας
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Bare-1	Χωρίς συνδέσμους	39 / -39	0,1	2	1753	Διεπιφάνεια μανδύα εμφατνώματος
Bare-2	3 Ø10	210 / -180	2	7	11508	Διαρροή 3Ø10
Bare-3	Χωρίς συνδέσμους + 2#Φ10/100	85 / -100	0,7	2,25	7238	Διεπιφάνεια μανδύα εμφατνώματος Θραύση μανδύα
Bare-4	3Ø10 + 2#Φ10/100	200 / -180	2	4,5	21619	Διαρροή 3Ø10
Bare-5	3Ø10 2 ^{ος} τρόπος	100 / -80	2	13-	6685	Θραύση Μανδύα
Bare-6	3Ø10 3 ^{ος} τρόπος	120 / -100	1,5	13-	5577	Μανδύας

Πίνακας 3.5. Συγκριτικά αποτελέσματα των επόμενων δεκαοκτώ δοκιμών (18 δοκιμές)

Κωδική Ονομασία	Αριθμός συνδέσμων	Φορτίο max / min (KN)	Μετακ/ση μέγιστου φορτίου (mm)	Μετ/ση μη γραμ/κού κλάδου (mm)	Καταν/μενη Ενέργεια (KNmm=Joule)	Μορφές Αστοχίας
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Bare-18	Χωρίς συνδέσμους	39.5 / -39.4 Αξονική Σταθερή Θλίψη -4.8KN	0,05	1,5	1058	Θραύση διεπιφάνειας μανδύα εμφαντώματος
Bare-8	2 Ø8	104 / -129 Αξονική Σταθερή Θλίψη - 19.2KN	0,6	5	2655	Θραύση συνδέσμων 2Ø8mm
Bare-16	2 Ø8	117 / -121 Αξονική Σταθερός Ελκυσμός 9.5KN	0,8	4	6999	Θραύση συνδέσμων 2Ø8mm
Bare-7	4 Ø8	169 / -131 Αξονική Σταθερή Θλίψη -10KN	1	5	2864	Θραύση συνδέσμων 4Ø8mm
Bare-11	4 Ø8	176 / -197 Αξονική Σταθερός Ελκυσμός 9.5KN	0,3	6	6909	Διαρροή των βλήτρων Ø8. Θραύση του εμφαντώματος στο τελικό στάδιο.
Bare-13	4 Ø8	194 / -185 Αξονική Σταθερός Ελκυσμός 9.5KN	0,5	4,5	9552	Θραύση συνδέσμων 4Ø8mm
Bare-9	2 Ø10	164 / -124 Αξονική Σταθερή Θλίψη - 18.5KN	1	5	11690	Διαρροή 2Ø10
Bare-15	2 Ø10	172 / -121 Αξονική Σταθερός Ελκυσμός 9.5KN	0,8	4	13148	Θραύση 2Ø10
Bare-17	2 Ø10	170 / -142 Αξονική Σταθερός Ελκυσμός 9.5KN	0,6	3	13397	Θραύση 2Ø8
Bare-10	4 Ø10	196 / -180 Αξονική Σταθερή Θλίψη -9.5KN	0,6	5	14643	Θραύση 4Ø10
Bare-12	4 Ø10	145 / -179 Αξονική Σταθερός	0,5	6,5	16437	Διαρροή 4Ø10

		Ελκυσμός 9.5KN				
Bare-14	4 Ø10	249 / -209 Αξονική Σταθερός Ελκυσμός 9.5KN	1,5	7-	21173	Θραύση 4Ø10
Bare-23 2 ^{ος} τρόπος	4 Ø10	182 / -167 Αξονική Εναλλασσόμεν η ±49.0KN	1,5	7-	8190	Διαρροή των βλήτρων – αγκυρίων διαμέτρου 10mm
Bare-19	2 Ø12	158 / -188 Αξονική Εναλλασσόμεν η ±50.0KN.	0,8-	15	12642	Διαρροή των διατμητικών βλήτρων- αγκυρίων 2 Ø12
Bare-21	4 Ø12	289 / -225 Αξονική Εναλλασσόμεν η ±54.0KN	0,8	5-	4302	Διαρροή βλήτρων – αγκυρίων 4 Ø12
Bare-20	2 Ø14	175 / -147 Αξονική Εναλλασσόμεν η ±50.0KN.	0,8	7-	7984	Λαίμωση συνδέσμων 2 Ø14
Bare-22	4 Ø14	350 / -267 Αξονική Εναλλασσόμεν η ±60.0KN.	2	7-	10303	Λαίμωση- διαρροή των βλήτρων – αγκυρίων 4 Ø14
Bare-24 3 ^{ος} τρόπος	4 Ø14	309 / -285.9 Αξονική Εναλλασσόμεν η ±60.0KN.	1,5	3	20610	Διαρροή βλήτρων – αγκυρίων 4 Ø14

3.5. Εύρεση της μέσης φέρουσας ικανότητας ανά σύνδεσμο για εγκάρσια δύναμη (δράση βλήτρου).

Στη συνέχεια θα γίνει προσπάθεια να εκτιμηθεί επί τη βάση των πειραματικών αποτελεσμάτων η μέση μέγιστη/ελάχιστη φέρουσα ικανότητα ανά σύνδεσμο για εγκάρσια δύναμη (δράση βλήτρου). Η έννοια της μέγιστης / ελάχιστης εγκάρσιας δύναμης είναι ότι αυτή επιβάλλεται κατά μία διεύθυνση (θετική) και στην ανακυκλιζόμενη φορτιστική ακολουθία επιβάλλεται στην συνέχεια και πάλι εγκάρσια για τον σύνδεσμο (δράση βλήτρου) αλλά κατά την αντίθετη φορά.

Για την εύρεση της τιμής της μέσης μέγιστης/ελάχιστης φέρουσας ικανότητας ανά σύνδεσμο για εγκάρσια δύναμη (δράση βλήτρου) θα γίνει η ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων για την ίδια διάμετρο συνδέσμου είτε πρόκειται για δοκίμια με δύο συνδέσμους είτε πρόκειται για δοκίμια με τέσσερις συνδέσμους. Για τα δοκίμια με 2 συνδέσμους (ένα καθ' ύψος) αφαιρείται από την μετρημένη μέγιστη / ελάχιστη φέρουσα ικανότητα το 100% της συνεισφοράς του μηχανισμού τριβής- ολίσθησης έτσι όπως μετρήθηκε στην δοκιμή bare 18 (39KN / -39KN). Για τα δοκίμια με 4 συνδέσμους (2 καθ' ύψος) αφαιρείται από την μετρημένη μέγιστη / ελάχιστη φέρουσα ικανότητα το 50% της συνεισφοράς του μηχανισμού τριβής- ολίσθησης έτσι όπως μετρήθηκε στην δοκιμή bare 18 (39KN / -39KN). Η προσέγγιση αυτή δικαιολογείται από το γεγονός ότι στα δοκίμια με 2 συνδέσμους (1 καθ' ύψος) ενεργοποιείται περισσότερο ο μηχανισμός της θλιβόμενης ζώνης από ότι στα δοκίμια με τους τέσσερις συνδέσμους (δύο καθ' ύψος) λόγω της εκκεντρότητας των 20mm (δες κεφάλαιο 1). Η αφαίρεση της συνεισφοράς του μηχανισμού τριβής ολίσθησης είναι επιπρόσθετα προς την πλευρά της ασφάλειας αφού η μετρημένη φέρουσα ικανότητα σε

λειτουργία βλήτρου που θα προκύψει με τον τρόπο αυτό θα είναι μικρότερη από την αντίστοιχη τιμή που θα προέκυπτε χωρίς τον συνυπολογισμό αυτής της συνεισφοράς.

Στο σημείο αυτό θα μπορούσε να υποστηριχθεί η μη αφαίρεση αυτής της συνεισφοράς του μηχανισμού τριβής ολίσθησης για την εύρεση της μέγιστης μετρημένης φέρουσας ικανότητας που ακολουθήθηκε προηγουμένως (εν όλω ή εν μέρει). Αυτό μπορεί να βασισθεί στο ακόλουθο σκεπτικό. Η μέγιστη / ελάχιστη εγκάρσια δύναμη στην διεπιφάνεια εμφαντώματος – μανδουωμένου στύλου/δοκού στην περίπτωση των δοκιμών με χαλύβδινους συνδέσμους επισυμβαίνει όταν η εν λόγω διεπιφάνεια είναι ήδη διερρηγμένη. Στην περίπτωση αυτή η εγκάρσια μετακίνηση έχει λάβει τέτοια τιμή ώστε ο μηχανισμός τριβής – ολίσθησης να έχει ως ένα βαθμό εξουδετερωθεί από τις ανακυκλίσεις και την επιβαλλόμενη αξονική ένταση εφελκυσμού για αυτό το επίπεδο μετακίνησης, όπως προκύπτει από την συμπεριφορά του δοκιμίου bare 18 χωρίς συνδέσμους και μόνον τον μηχανισμό τριβής - ολίσθησης. Στους πίνακες 3.6 έως 3.9 που ακολουθούν περιλαμβάνονται αυτές οι εκτιμήσεις της μέσης φέρουσας ικανότητας ανά σύνδεσμο για εγκάρσια δύναμη (δράση βλήτρου) για τις διαμέτρους συνδέσμων που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική ακολουθία, δηλαδή Ø8, Ø10, Ø12 και Ø10.

Πίνακας 3.6. Μέσος όρος μετρημένης φέρουσας ικανότητας για σύνδεσμο Ø8

Κωδική Ονομασία	Αριθμός συνδέσμων	Φορτίο max / min (KN)	Φέρουσα ικανότητα ανά σύνδεσμο ¹ (KN)	Φέρουσα ικανότητα ανά σύνδεσμο ² (KN)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Bare-8	2 Ø8	104 / -129 Αξονική Σταθερή Θλίψη - 19.2KN	52. / -64.5	32.5 / -45
Bare-16	2 Ø8	117 / -121 Αξονική Σταθερός Ελκυσμός 9.5KN	58.5 / -60.5	39 / -41
Bare-7	4 Ø8	169 / -131 Αξονική Σταθερή Θλίψη -10KN	42.25 / -32.75	37.25 / -27.75
Bare-11	4 Ø8	176 / -197 Αξονική Σταθερός Ελκυσμός 9.5KN	44.0 / -49.25	39.0 / -44.25
Bare-13	4 Ø8	194 / -185 Αξονική Σταθερός Ελκυσμός 9.5KN	48.5 / -46.25	43.5 / -41.25
Μέσος Όρος ¹ (49.05 / -50.65) 49.85KN χωρίς την αφαίρεση της συνεισφοράς τριβής ολίσθησης				
Μέσος Όρος ² (38.25 / -39.85) 39.05KN με την αφαίρεση της συνεισφοράς τριβής ολίσθησης				

¹ Χωρίς την αφαίρεση της συνεισφοράς τριβής ολίσθησης

² Με την αφαίρεση της συνεισφοράς τριβής ολίσθησης

Πίνακας 3.7. Μέσος όρος μετρημένης φέρουσας ικανότητας για σύνδεσμο Ø10

Κωδική Ονομασία	Αριθμός συνδέσμων	Φορτίο max / min (KN)	Φέρουσα ικανότητα ανά σύνδεσμο ¹ (KN)	Φέρουσα ικανότητα ανά σύνδεσμο ² (KN)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Bare-9	2 Ø10	164 / -124 Αξονική Σταθερή Θλίψη - 18.5KN	82 / -62	62.5 / -42.5
Bare-15	2 Ø10	172 / -121 Αξονική Σταθερός Ελκυσμός 9.5KN	86 / -60.5	66.5 / -41.0
Bare-17	2 Ø10	170 / -142 Αξονική Σταθερός Ελκυσμός 9.5KN	85.5 / -71	65.5 / -51.5
Bare-10	4 Ø10,	196 / -180 Αξονική Σταθερή Θλίψη - 9.5KN	49 / -45	44.0 / -40.0
Bare-12	4 Ø10	145 / -179 Αξονική Σταθερός Ελκυσμός 9.5KN	36.25 / -44.75	31.25 / -39.75
Bare-14	4 Ø10	249 / -209 Αξονική Σταθερός Ελκυσμός 9.5KN	62.25 / -52.25	57.25 / -47.25
Bare-23 2 ^{ος} τρόπος	4 Ø10	182 / -167 Αξονική Εναλλασσόμενη ±49.0KN	45.5 / -41.75	40.5 / -36.75
Μέσος Όρος ¹ (63.79 / -53.89) 58.84KN χωρίς την αφαίρεση της συνεισφοράς τριβής ολίσθησης				
Μέσος Όρος ² (52.50 / -42.68) 47.58KN με την αφαίρεση της συνεισφοράς τριβής ολίσθησης				

¹ Χωρίς την αφαίρεση της συνεισφοράς τριβής ολίσθησης

² Με την αφαίρεση της συνεισφοράς τριβής ολίσθησης

Πίνακας 3.8. Μέσος όρος μετρημένης φέρουσας ικανότητας για σύνδεσμο Ø12

Κωδική Ονομασία	Αριθμός συνδέσμων	Φορτίο max / min (KN)	Φέρουσα ικανότητα ανά σύνδεσμο ¹ (KN)	Φέρουσα ικανότητα ανά σύνδεσμο ² (KN)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Bare-19	2 Ø12	158 / -188 Αξονική Εναλλασσόμενη ±50.0KN.	79.0 / -94.0	59.5 / -74.5
Bare-21	4 Ø12	289 / -225 Αξονική Εναλλασσόμενη ±54.0KN	72.25 / -56.25	67.25 / -51.25
Μέσος Όρος ¹ (75.62 / -75.13) 75..37KN χωρίς την αφαίρεση της συνεισφοράς τριβής ολίσθησης				
Μέσος Όρος ² (63.38 / -62.83) 63.13 KN με την αφαίρεση της συνεισφοράς τριβής ολίσθησης				

¹ Χωρίς την αφαίρεση της συνεισφοράς τριβής ολίσθησης

² Με την αφαίρεση της συνεισφοράς τριβής ολίσθησης

Πίνακας 3.9. Μέσος όρος μετρημένης φέρουσας ικανότητας για σύνδεσμο Ø14

Κωδική Ονομασία	Αριθμός συνδέσμων	Φορτίο max / min (KN)	Φέρουσα ικανότητα ανά σύνδεσμο ¹ (KN)	Φέρουσα ικανότητα ανά σύνδεσμο ² (KN)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Bare-20	2 Ø14	175 / -147 Αξονική Εναλλασσόμενη ±50.0KN.	87.5 / -73.5	68.0 / -54.0
Bare-22	4 Ø14	350 / -267 Αξονική Εναλλασσόμενη ±60.0KN.	87.5 / -66.75	82.75 / -61.75
Bare-24 3 ^{ος} τρόπος	4 Ø14	309 / -285.9 Αξονική Εναλλασσόμενη ±60.0KN.	77.25 / -71.48	72.25 / -66.48
Μέσος Όρος ¹ (84.08 / -70.58) 77.33KN χωρίς την αφαίρεση της συνεισφοράς τριβής ολίσθησης				
Μέσος Όρος ² (74.33 / -60.74) 67.54KN με την αφαίρεση της συνεισφοράς τριβής ολίσθησης				

¹ Χωρίς την αφαίρεση της συνεισφοράς τριβής ολίσθησης

² Με την αφαίρεση της συνεισφοράς τριβής ολίσθησης

Στον πίνακα 3.10 που ακολουθεί αναγράφονται στην στήλη (2) οι τελικές τιμές της μέσης φέρουσας ικανότητας ανά σύνδεσμο για εγκάρσια δύναμη (δράση βλήτρου) για τις διαμέτρους συνδέσμων που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική ακολουθία, όπου υιοθετήθηκε εν όλω ή εν μέρει αφαίρεση της συνεισφοράς του μηχανισμού τριβής – ολίσθησης με βάση τα ανωτέρω επιχειρήματα. Οι τιμές αυτές περιλαμβάνονται στον πίνακα 3.10 και είναι αυτές που θα χρησιμοποιηθούν για τις συγκρίσεις των πειραματικών αποτελεσμάτων με αντίστοιχες εκτιμήσεις της φέρουσας ικανότητας συνδέσμων σε δράση βλήτρου έτσι όπως προτείνονται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.. Στην στήλη (3) του ίδιο πίνακα αναγράφονται οι τιμές που αντιστοιχούν στο **75%** των τιμών της στήλης (2). Το ποσοστό αυτό 75%, θα δικαιολογηθεί από τα σχήματα 3.55 έως 3.58, ώστε με τον τρόπο αυτό οι τιμές της στήλης (3) να αντανakλούν την πτώση της μέγιστης / ελάχιστης φέρουσας ικανότητας που προέκυψε για κάθε επίπεδο εγκάρσιας μετακίνησης για τον 2^ο και 3^ο κύκλο της επάλληλης ανακύκλισης (δες παράγραφο 2.2). Οι τιμές της στήλης (3) του πίνακα 3.10 θα χρησιμοποιηθούν ως πειραματικές μετρήσεις (F_{ud}^{exp}) για την αποτίμηση της συμπεριφοράς των χαλύβδινων συνδέσμων στο κεφάλαιο 4 που ακολουθεί.

Πίνακας 3.10. Μετρημένη φέρουσα ικανότητα σε λειτουργία βλήτρου

Διάμετρος συνδέσμων (λειτουργία βλήτρου)	Μέσος όρος των πειραματικών μετρήσεων (KN)	75% του μέσου όρου των πειραματικών μετρήσεων (KN) F_{ud}^{exp}
(1)	(2)	(3)
Σύνδεσμος Ø8	39.05 ²	29.29
Σύνδεσμος Ø10	47.58 ²	34.34
Σύνδεσμος Ø12	63.13 ²	47.35
Σύνδεσμος Ø14	72.44 ^{M.O 1+2}	54.33

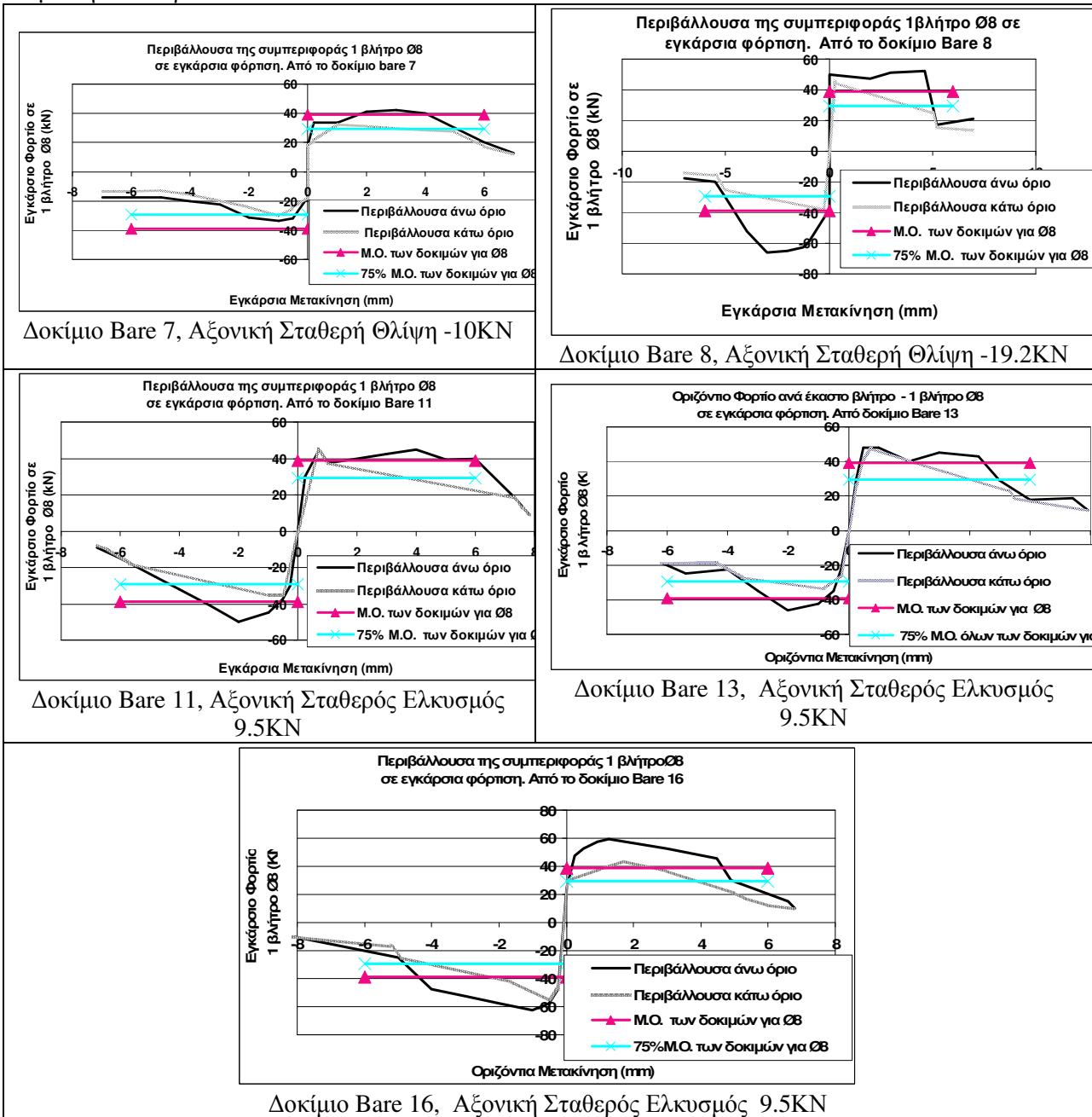
¹ Χωρίς την αφαίρεση της συνεισφοράς τριβής ολίσθησης

² Με την αφαίρεση της συνεισφοράς τριβής ολίσθησης

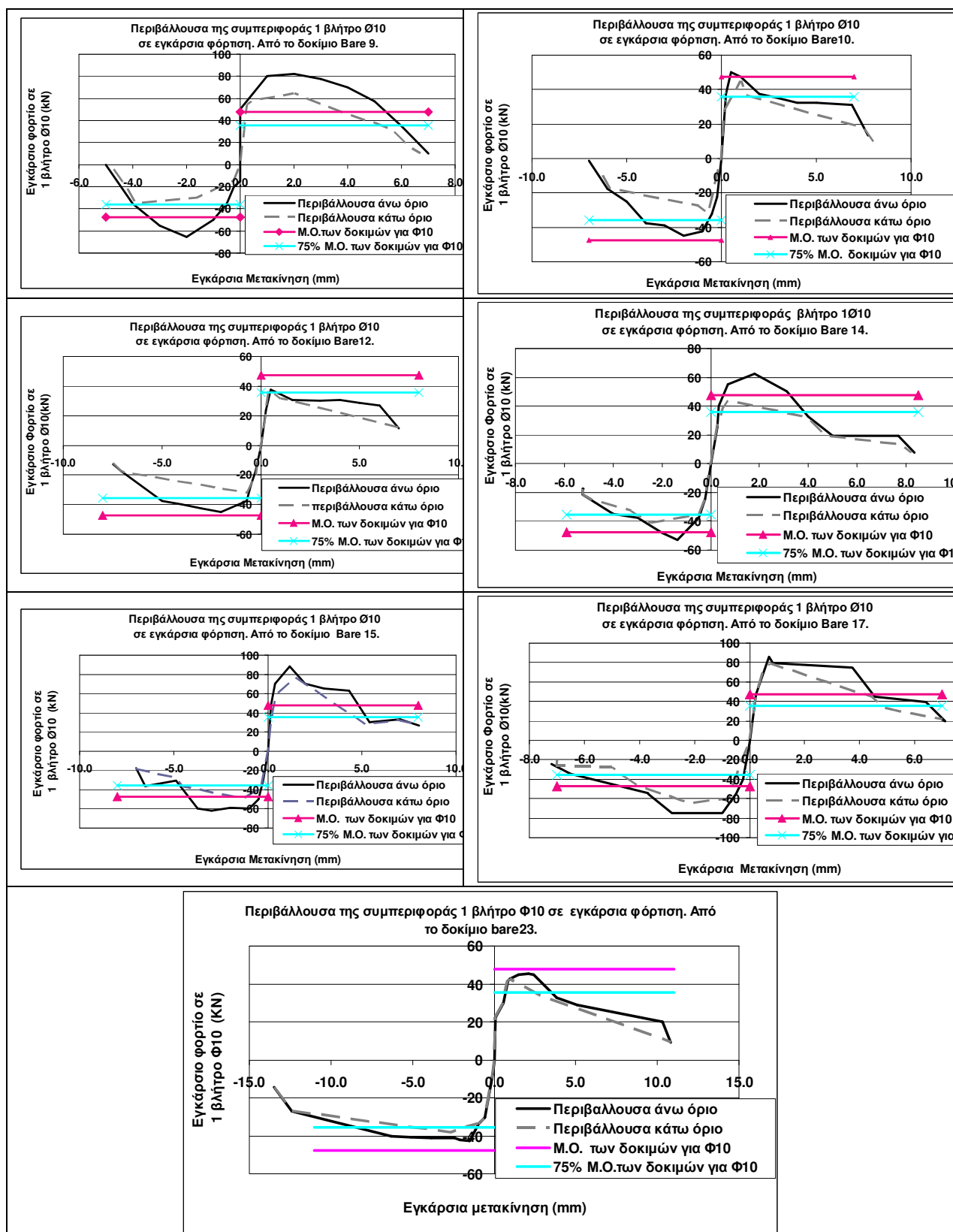
¹⁺² Μέσος όρος με + χωρίς την αφαίρεση της συνεισφοράς τριβής ολίσθησης

Στην συνέχεια ακολουθεί η σύγκριση της μέσης μετρημένης φέρουσας ικανότητας (μέσος όρος πίνακας 3.10) με τα πειραματικά αποτελέσματα που έχουν αναχθεί για έναν (1) σύνδεσμο και παρουσιάζονται σε μορφή άνω και κάτω ορίου περιβάλλουσας. Παρουσιάζονται τόσο ο θετικός κλάδος (εγκάρσια δύναμη προς μια διεύθυνση) όσο και ο αρνητικός κλάδος (εγκάρσια δύναμη στην αντίθετη διεύθυνση). Επίσης σημειώνεται η επιβαλλόμενη ταυτόχρονη αξονική ένταση. Η σύγκριση αυτή παρουσιάζεται στο σχήμα 3.55. για σύνδεσμο διαμέτρου Ø8, στο σχήμα 3.56. για σύνδεσμο διαμέτρου Ø10, στο σχήμα 3.57. για σύνδεσμο διαμέτρου Ø12 και στο σχήμα 3.58. για σύνδεσμο διαμέτρου Ø14. Στα σχήματα αυτά απεικονίζονται οι περιβάλλουσες καμπύλες που αντιστοιχούν στην μέγιστη καταγεγραμμένη δύναμη που μετρήθηκε για κάθε επίπεδο καταναγκασμένης εγκάρσιας μετακίνησης (θετικό ή αρνητικό). Αυτή η περιβάλλουσα καμπύλη αποτελεί το άνω όριο της μετρηθείσας συμπεριφοράς σε επίπεδο φέρουσας ικανότητας δράσης βλήτρου. Για να αποτυπωθεί η πτώση της φέρουσας ικανότητας στους επάλληλους

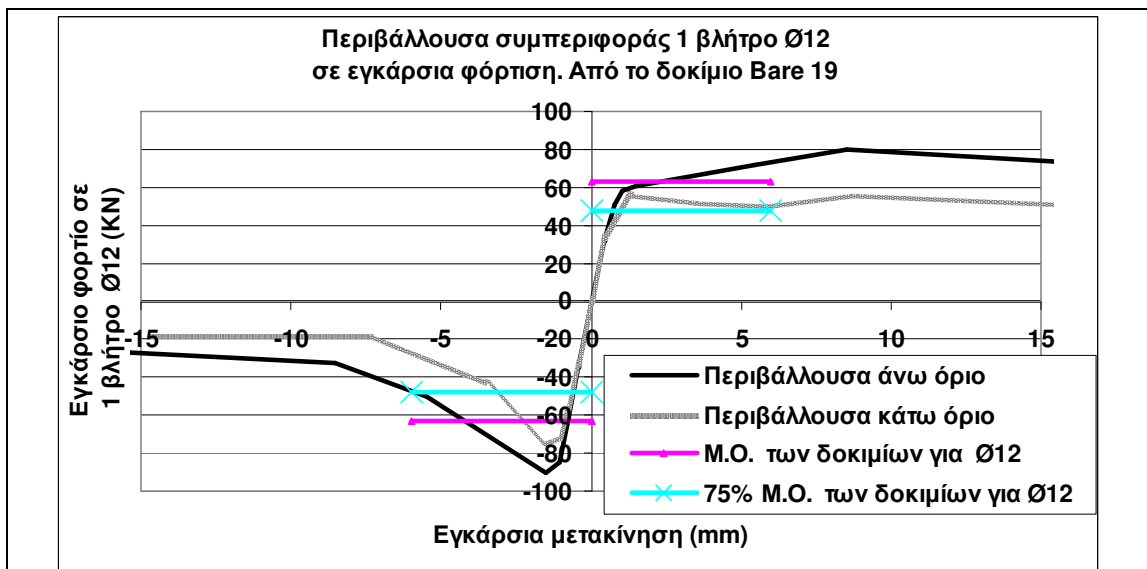
κύκλους της ανακυκλιζόμενης φόρτισης απεικονίζεται σε κάθε σχήμα μια πρόσθετη περιβάλλουσα καμπύλη (κάτω όριο) που αντανακλά την μετρηθείσα πτώση της φέρουσας ικανότητας για το ίδιο επίπεδο καταναγκασμένης μετατόπισης, που όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 2.2. αποτελούνταν από τρεις επάλληλους κύκλους του αυτού εύρους εγκάρσιας καταναγκασμένης μετατόπισης. Η καμπύλη αυτή συμβολίζεται ως «περιβάλλουσα κάτω όριο». Στα ίδια σχήματα απεικονίζονται επίσης με ευθείες οι τιμές αφενός της στήλης (2) του πίνακα 3.10, που είναι συγκρίσιμες με την «περιβάλλουσα καμπύλη άνω όριο» και αφετέρου οι τιμές της στήλης (3) του πίνακα 3.10, που είναι συγκρίσιμες με την «περιβάλλουσα Καμύλη κάτω όριο»



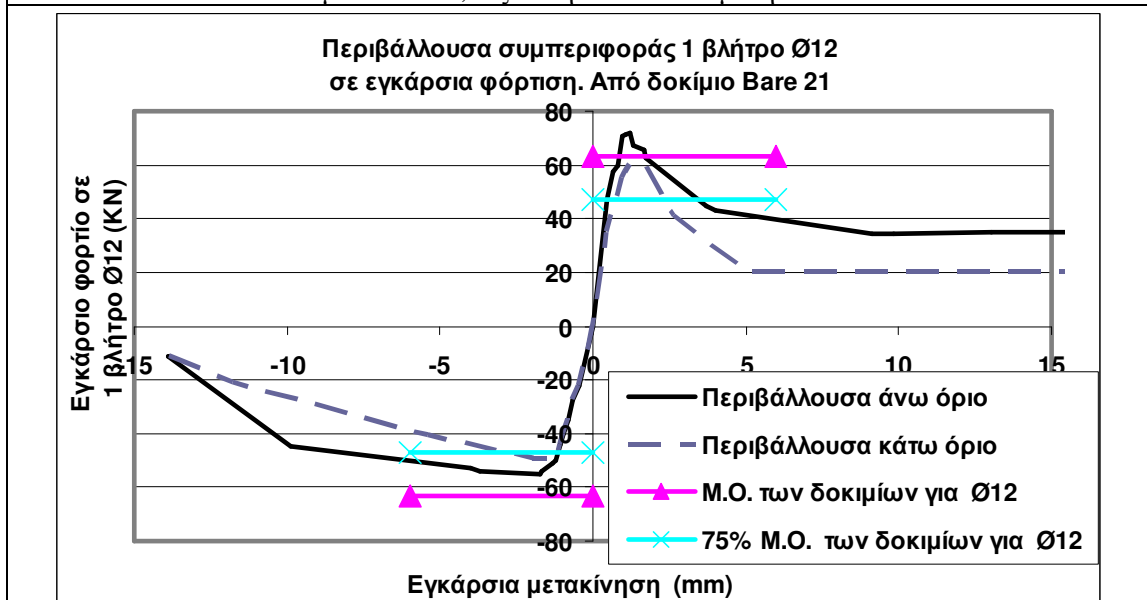
Σχήμα 3.55. Σύγκριση της μέσης μετρημένης φέρουσας ικανότητας (μέσος όρος πίνακας 3.10) με τα πειραματικά αποτελέσματα που έχουν αναχθεί για έναν (1) σύνδεσμο και παρουσιάζονται σε μορφή άνω και κάτω ορίου περιβάλλουσας για σύνδεσμο διαμέτρου Ø8



Σχήμα 3.56. Σύγκριση της μέσης μετρημένης φέρουσας ικανότητας (μέσος όρος πίνακας 3.10) με τα πειραματικά αποτελέσματα που έχουν αναχθεί για έναν (1) σύνδεσμο και παρουσιάζονται σε μορφή άνω και κάτω ορίου περιβάλλουσας για σύνδεσμο διαμέτρου Ø10

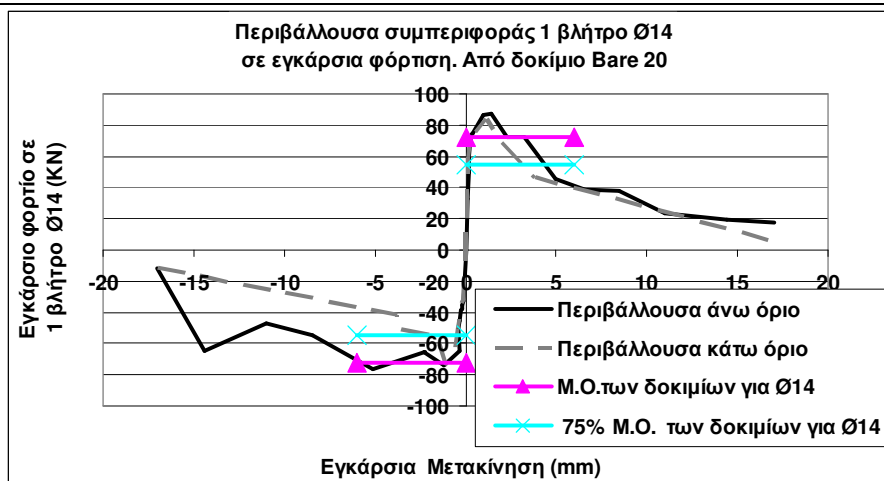


Δοκίμιο Bare 19, Αξονική Εναλλασσόμενη $\pm 50.0 \text{KN}$

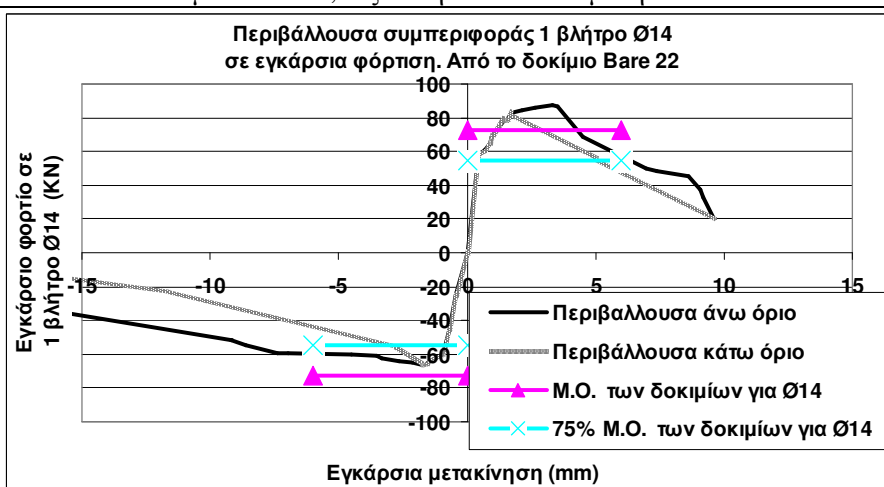


Δοκίμιο Bare 21, Αξονική Εναλλασσόμενη $\pm 54.0 \text{KN}$

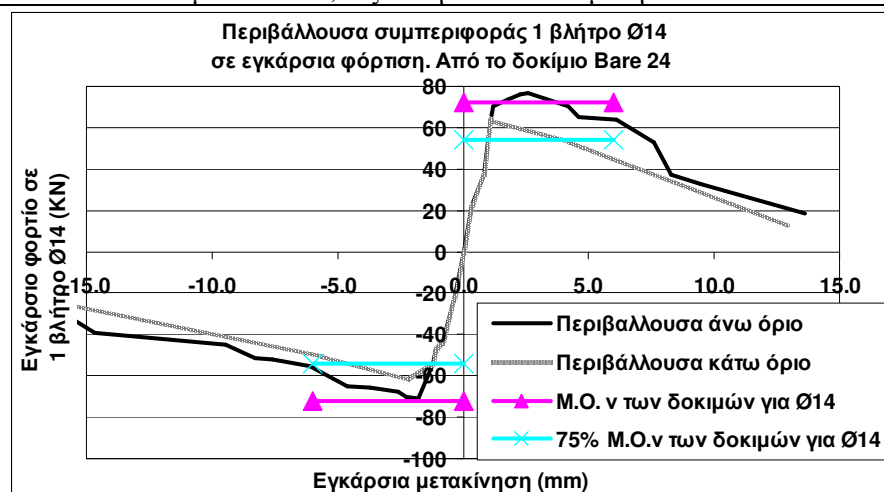
Σχήμα 3.57. Σύγκριση της μέσης μετρημένης φέρουσας ικανότητας (μέσος όρος πίνακας 3.10) με τα πειραματικά αποτελέσματα που έχουν αναχθεί για έναν (1) σύνδεσμο και παρουσιάζονται σε μορφή άνω και κάτω ορίου περιβάλλουσας για σύνδεσμο διαμέτρου Ø12



Δοκίμιο Bare 20, Αξονική Εναλλασσόμενη $\pm 50.0 \text{KN}$.



Δοκίμιο Bare 22, Αξονική Εναλλασσόμενη $\pm 60.0 \text{KN}$.



Δοκίμιο Bare 24 3^{ος} τρόπος, Αξονική Εναλλασσόμενη $\pm 60.0 \text{KN}$.

Σχήμα 3.58. Σύγκριση της μέσης μετρημένης φέρουσας ικανότητας (μέσος όρος πίνακας 3.10) με τα πειραματικά αποτελέσματα που έχουν αναχθεί για έναν (1) σύνδεσμο και παρουσιάζονται σε μορφή άνω και κάτω ορίου περιβάλλουσας για σύνδεσμο διαμέτρου Ø14

3.6. Συνοπτικές συμπερασματικές παρατηρήσεις για το σύνολο των πειραματικών αποτελεσμάτων.

- Η διατμητική συμπεριφορά όλων των συνδέσεων εμφαντώματος – μανδουωμένου στύλου/δοκού που εξετάσθηκαν εμφανίζει τα εξής κοινά χαρακτηριστικά. Υπάρχει αρχικά μια σχετικά δύσκαμπτη απόκριση που αναφέρεται στον αρχικό κλάδο εγκάρσιας δύναμης – εγκάρσιας μετατόπισης πριν εμφανιστεί κάποια ένδειξη διατμητικής ρηγμάτωσης στην διεπιφάνεια εμφαντώματος – μανδουωμένου στύλου/δοκού.
- Στα δοκίμια που η σύνδεση αυτή δεν περιλαμβάνει χαλύβδινους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) η ανάπτυξη της διατμητικής ρηγμάτωσης συνοδεύεται από άμεση έναρξη του φθίνοντος κλάδου με συνεχή διεύρυνση της διατμητικής ρηγμάτωσης και εμφανείς βλάβες του σκυροδέματος στις περιοχές του εμφαντώματος και του μανδύα που γειτνιάζουν με την διεπιφάνεια σύνδεσης.
- Στα δοκίμια που η σύνδεση περιλαμβάνει χαλύβδινους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) η ανάπτυξη αυτής της πρώτης διατμητικής ρηγμάτωσης δεν συνοδεύεται από σημαντική μείωση της δυσκαμψίας ή πτώση της φέρουσας ικανότητας παραλαβής διατμητικού φορτίου.
- Στα δοκίμια που η σύνδεση περιλαμβάνει χαλύβδινους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) μια μετρήσιμη μείωση της δυσκαμψίας εμφανίζεται για αυξημένα μεγέθη διατμητικής μετακίνησης και συνοδεύεται σχετικά σύντομα από το μέγιστο διατμητικό φορτίο.
- Στα δοκίμια που η σύνδεση περιλαμβάνει χαλύβδινους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια), μετά το μέγιστο διατμητικό φορτίο αρχίζει ο φθίνων κλάδος που όμως χαρακτηρίζεται από υπολογίσιμη φέρουσα ικανότητα για διατμητικές μετακινήσεις πολλαπλάσιες της διατμητικής μετακίνησης που σημειώνεται το μέγιστο διατμητικό φορτίο (περίπου 3-7 φορές).
- Σε όλη την διάρκεια της αυτής της ανακυκλιζόμενης διατμητικής συμπεριφοράς, στα δοκίμια που η σύνδεση περιλαμβάνει χαλύβδινους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) καταναλώνονται σημαντικά ποσά υστερητικής ενέργειας που για τις σχετικά μεγάλες διαμέτρους συνδέσμων μπορεί να φθάσουν και περίπου 10 φορές την υστερητική ενέργεια της ανακυκλιζόμενης σύνδεσης χωρίς χαλύβδινους συνδέσμους στην διεπιφάνεια. Εκεί η κατανάλωση ενέργειας πραγματοποιείται μόνον μέσω του μηχανισμού τριβής-ολίσθησης (Δοκίμιο Bare-18).
- Ο αρχικός 2^{ος} και 3^{ος} τρόπος σύνδεσης εμφαντώματος και μανδουωμένου στύλου/δοκού που εξετάσθηκαν δημιούργησαν πολύ γρήγορα βλάβες στον μανδύα και πρόωρη πτώση της φέρουσας ικανότητας αυτής της σύνδεσης γεγονός που υπογραμμίζει την σημασία της αποφυγής συνδέσεων που μπορεί να έχουν ανάλογα απευκταία αποτελέσματα. Οι κεντρικές συνδέσεις (βλητρώσεις-αγκυρώσεις) που εξετάσθηκαν παρουσίασαν όλες ικανοποιητική συμπεριφορά. Ο βελτιωμένος 2^{ος} και 3^{ος} τρόπος σύνδεσης εμφαντώματος και μανδουωμένου στύλου/δοκού που εξετάσθηκαν, συμπεριφέρθηκαν πολύ ικανοποιητικά. Παρόλα αυτά η σχετική λεπτομέρεια σύνδεσης είναι αρκετά πιο πολύπλοκη από τον κεντρικό τρόπο σύνδεσης.
- Η εφαρμογή ταυτόχρονα με την διατμητική ανακυκλιζόμενη εγκάρσια δύναμη μετακίνηση και διαφόρων επιπέδων ανακυκλιζόμενης αξονικής έντασης για τους συνδέσμους, έτσι όπως εφαρμόστηκε μαζί με την εκκεντρότητα των 20mm της φορτιστικής διάταξης, δεν είχε κάποια σημαντική επιρροή στις σημαντικές παραμέτρους του φαινομένου που εξετάσθηκε, δηλαδή στην δυσκαμψία της αρχικής απόκρισης, στην μέγιστη φέρουσα ικανότητα και στα χαρακτηριστικά του φθίνοντος κλάδου.
- Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη φορτιστική ακολουθία είχε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ως προς την συχνότητα της ανακυκλιζόμενης διατμητικής απαίτησης (0.1Hz). Αναμένεται η αύξηση του συχνοτικού περιεχομένου να είναι μάλλον ευνοϊκότερη επαυξάνοντας μάλλον την διατμητική φέρουσα ικανότητα παρά το αντίθετο, αλλά αυτός είναι ένας παράγων που θα πρέπει να τεκμηριωθεί διεξοδικά στο μέλλον.
- Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι οι εν λόγω συμπερασματικές παρατηρήσεις αφορούν τις συγκεκριμένες συνθήκες της πειραματικής ακολουθίας. Δηλαδή ποιότητα σκυροδέματος C20, και χαλύβδινους συνδέσμους με νευρώσεις πραγματικού ορίου διαρροής $f_y^{act} = 570$ Mpa. Αγκύρωση των χαλύβδινων συνδέσμων σε ικανό βάθος και αποτροπή του σεναρίου της εξόλεκευσής τους. Για όλα τα βλήτρα χρησιμοποιήθηκε για την αγκύρωσή τους η ρητίνη “Anchor Fix Sika” (δες παράγραφο 2.1.1). Τήρηση όλων των ελάχιστων αποστάσεων ενός συνδέσμου (βλήτρου-αγκυρίου) από τα όρια, όπως ορίζονται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. και αποτροπή των σεναρίων θραύσης τμημάτων του γειτνιάζοντος όγκου σκυροδέματος (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. [45] παράγραφος 6.1.2.2β, σχήμα 6.6). Χαλύβδini σύνδεσμοι Ø8, Ø10, Ø12, και Ø14 δηλαδή με μέγιστη διάμετρο 14mm. Αντίστοιχα ποσοστά οπλισμού που κυμαίνονται από 0.19% (2 Ø8) έως 1.18% (4 Ø14).

- Στα δοκίμια που η σύνδεση περιλαμβάνει χαλύβδινους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) αναπτύχθηκαν σημαντικές μέγιστες φέρουσες ικανότητες στην παραλαβή εγκάρσιων φορτίσεων που κυμαίνονται από 129KN για 2 χαλύβδινους συνδέσμους 2 Ø8 έως 350KN για τέσσερις χαλύβδινους συνδέσμους 4 Ø14.
- Όλες οι συμπερασματικές παρατηρήσεις που διατυπώνονται εδώ για την διατμητική συμπεριφορά των συνδέσεων εμφατώματος – μανδρωμένων στύλων / δοκών θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια για να συγκριθούν με αντίστοιχες εμπειρικές σχέσεις για τον υπολογισμό της διατμητικής αντίστασης τέτοιου τύπου σύνδεσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

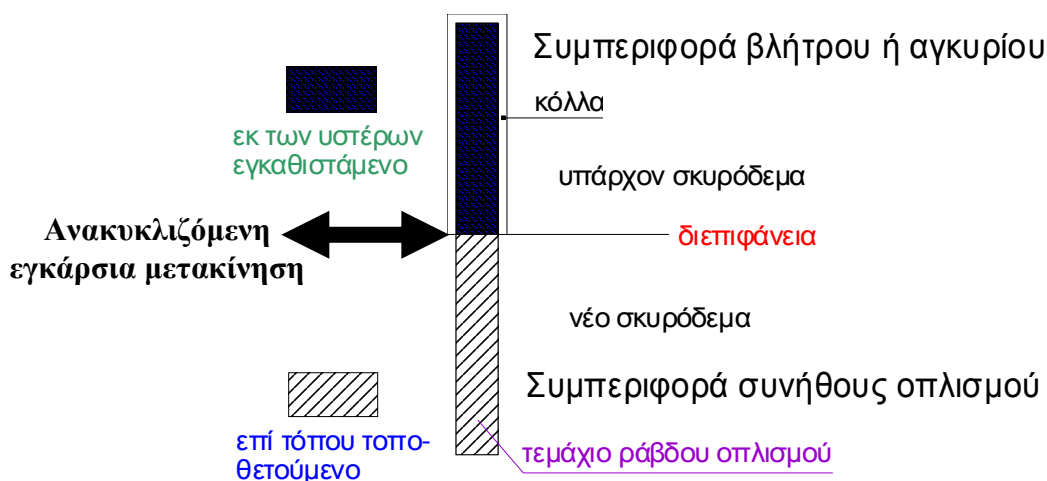
ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ (ΒΛΗΤΡΩΝ-ΑΓΚΥΡΙΩΝ)

4.1. Αποτίμηση της συμπεριφοράς επί τη βάση των διατάξεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Στο παρόν κεφάλαιο λαμβάνει χώρα ο σχολιασμός των πειραματικών αποτελεσμάτων της διατμητικής συμπεριφοράς των συνδέσεων που εξετάστηκαν στο παρόν κεφάλαιο συγκρινόμενα με τις σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. ([45]) του κεφαλαίου 6 (μεταφορά δυνάμεων) καθώς και του κεφαλαίου 8 (διαστασιολόγηση επεμβάσεων). Πιο συγκεκριμένα το κεφάλαιο 8, και παράγραφο 8.1.2, για τον υπολογισμό της αντίστασης της διεπιφάνειας γίνεται παραπομπή στο κεφάλαιο 6 που πραγματεύεται τους μηχανισμούς μεταφοράς δυνάμεων.

4.1.1. Συγκρίσεις αναφορικά με την φέρουσα διατμητική ικανότητα των βλήτρων αγνοώντας την ταυτόχρονη λειτουργία αγκυρίου.

Η αστοχία σε όλα τα δοκίμια εμφανίστηκε στη διεπιφάνεια μεταξύ μανδύα και εμφαντώματος όπου εκεί υπάρχει μόνο το νέο σκυρόδεμα. Η κυρίαρχη μορφή αστοχίας που εμφανίστηκε στα βλήτρα-αγκύρια ήταν αυτή της διαρροής-λαίμωσης-θραύσης τους. Για τα δοκίμια που δεν έχουν χαλύβδινους συνδέσμους οι δυνάμεις μεταβιβάζονται μέσω της συνοχής του σκυροδέματος και στη συνέχεια μέσω του μηχανισμού τριβής-ολίσθησης. Για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας των χαλύβδινων συνδέσμων (βλήτρων-αγκυρίων) ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. αφιερώνει την παράγραφο « 6.1.2. Μεταφορά δυνάμεων από χάλυβα σε σκυρόδεμα μέσω αγκυρίων και βλήτρων ». Σύμφωνα με την παράγραφο αυτή δύο είναι οι δράσεις μεταφοράς δυνάμεων. Η λειτουργία βλήτρου και η δράση αγκυρίου. Η πειραματική ακολουθία διερεύνησε την συμπεριφορά των δοκιμών κυρίως για δράση βλήτρου με ταυτόχρονη μερική λειτουργία αγκυρίου λόγω αφενός της εκκεντρότητας επιβολής της εγκάρσιας φόρτισης (δες κεφάλαιο 1) καθώς και με την ταυτόχρονη επιβολή αξονικής φόρτισης μαζί με την εγκάρσια φόρτιση για τους χαλύβδινους συνδέσμους των δοκιμών. Στην παρούσα παράγραφο θα γίνει σύγκριση της μετρημένης φέρουσας ικανότητας των συνδέσμων με αυτήν που υπολογίζεται για μόνον δράση βλήτρου. Στην επόμενη παράγραφο θα γίνει προσπάθεια σύγκρισης της μετρημένης φέρουσας ικανότητας των συνδέσμων με αυτήν που υπολογίζεται για ταυτόχρονη δράση βλήτρου και αγκυρίου.



Σχήμα 4.1. Σχηματοποίηση δράσης βλήτρου

Σύμφωνα, λοιπόν, με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ [45] παράγραφος 6.1.2.) για την δράση βλήτρου η φέρουσα ικανότητα υπολογίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\alpha) F_{ud} = 1,30 d_b^2 \sqrt{f_{cd} f_{yd}} \leq \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (4.1) \text{ χωρίς εκκεντρότητα,}$$

$$\beta) F_{ud} = 1,30 d_b^2 \left[\sqrt{1 + (1,3\varepsilon)^2} - 1,3\varepsilon \right] \sqrt{f_{cd} f_{yd}} \leq \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (4.2)$$

$$\text{Με εκκεντρότητα } e : , \text{ όπου } \varepsilon = 3 \frac{e}{d_b} \sqrt{\frac{f_{cd}}{f_{yd}}}$$

γ) Για ανακυκλιζόμενες δράσεις η φέρουσα ικανότητα σε δράση βλήτρου μειώνεται στο μισό.

$$\text{Για ανακύκλιση } F_{ud}^{ανκ} = 0,5 F_{ud} \quad (4.3) \text{ ανακύκλιση,}$$

Η διερεύνηση της ισχύος των ανωτέρω σχέσεων καταδεικνύει τα κατωτέρω.

Η μέγιστη φέρουσα ικανότητα ενός χαλύβδινου συνδέσμου από λειτουργία του βλήτρου προκύπτει από μονότονη φόρτιση (δηλαδή χωρίς ανακυκλίσεις) και με μηδενική εκκεντρότητα. Η ύπαρξη εκκεντρότητας μειώνει την φέρουσα αυτή ικανότητα σε σημαντικό βαθμό.

Για τιμές του $f_{cd}=20\text{Mpa}$ και $f_{yd}=500\text{Mpa}$ και για την τιμή της πειραματικής εκκεντρότητας των 20mm προκύπτουν οι εξής τιμές του μειωτικού συντελεστή της φέρουσας ικανότητας σε λειτουργία βλήτρου:

Πίνακας 4.1. Τιμές της φέρουσας ικανότητας σε λειτουργία βλήτρου και μειωτικοί συντελεστές λόγω εκκεντρότητας 20mm και λόγω ανακυκλιζόμενης φόρτισης.

Διάμετρος Συνδέ- σμου (mm)	Ανηγμένη εκκεντρότητα Για $e = 20\text{mm}$ $\varepsilon = 3 \frac{e}{d_b} \sqrt{\frac{f_{cd}}{f_{yd}}}$	Μειωτικός συντελεστής από την εκκεντρότητα $e = 20\text{mm}$ για την F_{ud}^{pred} $\left[\sqrt{1 + (1,3\varepsilon)^2} - 1,3\varepsilon \right]$	Μειωτικός συντελεστής από ανακυκλιζόμενη φόρτιση για την F_{ud}^{pred}	Συνολικός μειωτικός συντελεστής λόγω εκκεντρότητας $e = 20\text{mm}$ και ανακυκλιζόμενης φόρτισης για την F_{ud}^{pred}	Αντίστροφο της στήλης (5)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3)*(4)	(6)
8	$\varepsilon = 1.5$	0.241	0.5	0.121	8.26
10	$\varepsilon = 1.2$	0.293	0.5	0.147	6.80
12	$\varepsilon = 1.0$	0.340	0.5	0.170	5.88
14	$\varepsilon = 0.857$	0.383	0.5	0.192	5.21

Όπως γίνεται φανερό από τις τιμές του μειωτικού συντελεστού λόγω εκκεντρότητας $e = 20\text{mm}$, η υπολογιζόμενη φέρουσα ικανότητα σε λειτουργία βλήτρου (F_{ud}^{pred}) από την σχέση 4.1. (χωρίς την επιρροή της εκκεντρότητας) μειώνεται σημαντικά λόγω της επιρροής αυτής της εκκεντρότητας. Εάν στην επιρροή αυτή συνυπολογισθεί σφρευτικά και η επιρροή της φύσης της ανακυκλιζόμενης φόρτισης που χρησιμοποιήθηκε για όλα τα δοκίμια τότε η μείωση της φέρουσας ικανότητας σε λειτουργία βλήτρου (F_{ud}^{pred}) που προκύπτει είναι πολύ σημαντική, δηλαδή 5 έως 8 φορές μικρότερη από αυτήν χωρίς τον συνυπολογισμό των δύο αυτών μειωτικών επιρροών. Σημειώνεται εδώ ότι η σχέση 4.1. ήδη συμπεριλαμβάνει συντελεστή ασφάλειας με τιμή 1.3.

Στην συνέχεια θα γίνει η εξής σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων της φέρουσας ικανότητας σε λειτουργία βλήτρου (F_{ud}^{exp}) από όλα τα δοκίμια, έτσι όπως προέκυψαν από την συσχέτιση των μέγιστων και ελάχιστων τιμών με το εύρος μεταβολής τους για τα δοκίμια με την ίδια διάμετρο συνδέσμων (δες πίνακες 3.6. έως 3.10).

α. Θα γίνει σύγκριση της F_{ud}^{exp} με την τιμή της φέρουσας ικανότητας σε λειτουργία βλήτρου (F_{ud}^{pred}) από την σχέση 4.1. χωρίς κανένα μειωτικό συντελεστή.

β. Θα γίνει σύγκριση της F_{ud}^{exp} με την τιμή της φέρουσας ικανότητας σε λειτουργία βλήτρου (F_{ud}) από την σχέση 4.2. και 4.3 συνυπολογίζοντας την επιρροή τόσο της εκκεντρότητας όσο και της φύσης της ανακυκλιζόμενης φόρτισης.

Ως τιμή της φέρουσας ικανότητας κάθε συνδέσμου (F_{ud}^{exp}) είναι αυτή εκτιμήθηκε από τα πειραματικά αποτελέσματα (διαιρημένα με 2 ή 4, για συνδέσεις με 2 ή 4 συνδέσμους αντίστοιχα) ότι μπορεί να θεωρηθεί ως ένα αποδεκτό όριο της φέρουσας ικανότητας του συνδέσμου σε δράση βλήτρου. Όπως σχολιάστηκε στην παράγραφο 3.4. ως πειραματική τιμή της φέρουσας ικανότητας σε λειτουργία βλήτρου λήφθηκε η μετρημένη τιμή με την αφαίρεση ποσοστού της συνεισφοράς του μηχανισμού τριβής-ολίσθησης. Όπως ήδη αναφέρθηκε, η συνεισφορά αυτή θα πρέπει να θεωρείται ποιο σημαντική στα δοκίμια με δύο συνδέσμους (ένα καθ' ύψος) από ότι στα δοκίμια με τέσσερις συνδέσμους (δύο καθ' ύψος). Επιπρόσθετα, η συνεισφορά αυτή θα πρέπει να θεωρηθεί ποιο σημαντική για συνδέσμους σχετικά μικρής διαμέτρου (Ø8, Ø10) από ότι για συνδέσμους σχετικά μεγάλης διαμέτρου (Ø14). Το 75% της τιμής της μετρημένης φέρουσας διατμητικής ικανότητας κάθε συνδέσμου που βρέθηκε με αυτόν τον τρόπο (δες στήλη 3 του πίνακα 3.10) περιλαμβάνεται στην στήλη (2) του πίνακα 4.2. που ακολουθεί και αυτή θα χρησιμοποιηθεί ως F_{ud}^{exp} για τις σχετικές συγκρίσεις που ακολουθούν. Υιοθετώντας για τις συγκρίσεις το 75% του μέσου όρου της μετρημένης φέρουσας ικανότητας για κάθε σύνδεσμο διαμέτρου Ø8, Ø10, Ø12, και Ø14 καλύπτεται και το γεγονός της πτώσης της φέρουσας ικανότητας που παρατηρήθηκε μετά τον 1^ο κύκλο από τις τρεις ανακυκλίσεις, αν και η πτώση αυτή παρατηρήθηκε κυρίως για εγκάρσιες μετακινήσεις μεγαλύτερου εύρους από αυτήν που σημειώθηκε η μέγιστη / ελάχιστη τιμή. Με τον τρόπο αυτόν υπεισέρχεται στις πειραματικές μετρήσεις αυτός ο βαθμός συντηρητισμού.

Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι οι εν λόγω συγκρίσεις αφορούν τις συγκεκριμένες συνθήκες της πειραματικής ακολουθίας που ήδη έχουν αναφερθεί αλλά επαναλαμβάνονται εδώ συνοπτικά.

α1) Ποιότητα σκυροδέματος C20, και χαλύβδινους συνδέσμους με νευρώσεις πραγματικού ορίου διαρροής $f_y^{act} = 570$ Mpa.

β1) Ακύρωση των χαλύβδινων συνδέσμων σε ικανό βάθος και αποτροπή του σεναρίου της εξόλεκευσής τους. Για όλα τα βλήτρα χρησιμοποιήθηκε για την αγκύρωσή τους η ρητίνη “Anchor Fix Sika” (δες παράγραφο 2.1.1).

γ1) Τήρηση όλων των ελάχιστων αποστάσεων ενός συνδέσμου (βλήτρου-αγκυρίου) από τα όρια, όπως ορίζονται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. και αποτροπή των σεναρίων θραύσης τμημάτων του γειτνιάζοντος όγκου σκυροδέματος (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. [45] παράγραφος 6.1.2.2β, σχήμα 6.6)..

δ1) Χαλύβδινοι σύνδεσμοι Ø8, Ø10, Ø12, και Ø14 δηλαδή με μέγιστη διάμετρο 14mm. Αντίστοιχα ποσοστά οπλισμού που κυμαίνονται από 0.19% (2 Ø8) έως 1.18% (2 Ø14)

Ο Πίνακας 4.2 που ακολουθεί περιλαμβάνει (στήλη 3) επίσης της τιμές της υπολογισμένης διατμητικής φέρουσας ικανότητας βλήτρων (F_{ud}^{pred}) με βάση την σχέση 4.1. του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για κάθε μια από τις διαμέτρους βλήτρων που εξετάστηκαν πειραματικά (στήλη 1) χωρίς τον συνυπολογισμό της μειωτικής επιρροής είτε της εκκεντρότητας των 20mm είτε της ανακυκλιζόμενης φόρτισης. Οι τιμές στη στήλη (4) του πίνακα αυτού αντιστοιχούν στη τιμή του άνω ορίου που προβλέπεται από την εν λόγω σχέση

$$F_{ud} = 1,30d_b^2 \sqrt{f_{cd} f_{yd}} \leq \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{3}}, \text{ που ικανοποιείται σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάζονται.}$$

Στην στήλη (5) του πίνακα 4.2. παρουσιάζονται οι τιμές του λόγου της μετρημένης φέρουσας ικανότητας σε λειτουργία βλήτρου (F_{ud}^{exp}) δια της αντίστοιχης υπολογισμένης τιμής, έτσι όπως προέκυψε από την σχέση 4.1. χωρίς του μειωτικούς συντελεστές λόγω εκκεντρότητας και ανακυκλιζόμενης φόρτισης (F_{ud}^{pred}). Οι τιμές του λόγου αυτού μεταβάλλονται από 2.00 για τον σύνδεσμο Ø14 μέχρι 3.29 για τον σύνδεσμο Ø8. Δηλαδή, η μετρημένη φέρουσα ικανότητα των συνδέσμων σε λειτουργία βλήτρου, όπως προέκυψε από την πειραματική ακολουθία, είναι 2.00 έως 3.29 φορές μεγαλύτερη από την υπολογισθείσα φέρουσα ικανότητα σε λειτουργία βλήτρου, που προτείνεται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ., χωρίς να ληφθούν υπόψη οι μειωτικές επιρροές της εκκεντρότητας και της ανακύκλισης (που αναγράφονται στην στήλη 6 του πίνακα 4.2). Στην περίπτωση που ληφθούν υπόψη και οι εν λόγω μειωτικές επιρροές, τότε οι τιμές του της μετρημένης φέρουσας ικανότητας σε λειτουργία βλήτρου (F_{ud}^{exp}) δια της αντίστοιχης υπολογισμένης τιμής, έτσι όπως προέκυψε από τις σχέσεις 4.2. και 4.3. με του μειωτικούς συντελεστές λόγω εκκεντρότητας και ανακυκλιζόμενης φόρτισης (F_{ud}^{pred}) αναγράφεται στην στήλη (7). Οι τιμές του λόγου αυτού μεταβάλλονται από 10.42 για τον σύνδεσμο Ø14 μέχρι 27.18 για τον σύνδεσμο Ø8. Δηλαδή, η μετρημένη φέρουσα ικανότητα των συνδέσμων σε λειτουργία βλήτρου, όπως προέκυψε από την

πειραματική ακολουθία, είναι 10.42 έως 27.18 φορές μεγαλύτερη από την υπολογισθείσα φέρουσα ικανότητα σε λειτουργία βλήτρου, που προτείνεται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. με συνυπολογισμό των μειωτικών συντελεστών που προτείνονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. για την αντιμετώπιση του προβλήματος της εκκεντρότητας και της φύσης της ανακυκλιζόμενης φόρτισης.

Πίνακας 4.2. Σύγκριση μετρημένης και υπολογισμένης φέρουσας ικανότητας συνδέσμου σε λειτουργία βλήτρου

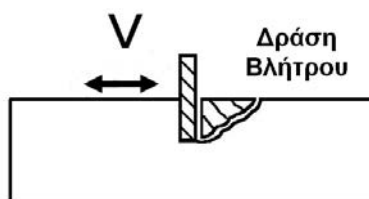
Διάμετρος συνδέσμων (λειτουργία βλήτρου)	75% Μέσου όρου πειραματικών μετρήσεων F_{ud}^{exp} (KN)	ΚΑΝ.ΕΠΕ. σχέση 4.1 F_{ud}^{pred} (KN)	ΚΑΝ.ΕΠΕ. Άνω όριο ¹ $(A_s f_y) / \sqrt{3}$ Σχέση 4.1 (KN)	Λόγος $F_{ud}^{exp} / F_{ud}^{pred}$	Αντίστροφο του συνόλου των μειωτικών συντελεστών ²	Με μειωτικούς συντελεστές Λόγος $F_{ud}^{exp} / F_{ud}^{pred}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Σύνδεσμος Ø8	29.29	8.9	16.55	3.29	8.26	27.18
Σύνδεσμος Ø10	34.34	13.9	25.85	2.47	6.80	16.80
Σύνδεσμος Ø12	47.35	20.0	37.20	2.37	5.88	13.94
Σύνδεσμος Ø14	54.33	27.2	50.65	2.00	5.21	10.42

¹ Χρησιμοποιήθηκε η τιμή $f_y^{act} = 570$ Mpa (δες πίνακα 2.2)

² Μειωτικοί συντελεστές ΚΑΝ.ΕΠΕ. λόγω εκκεντρότητας 20mm και λόγω ανακυκλιζόμενης φόρτισης (Πίνακας 4.1.)

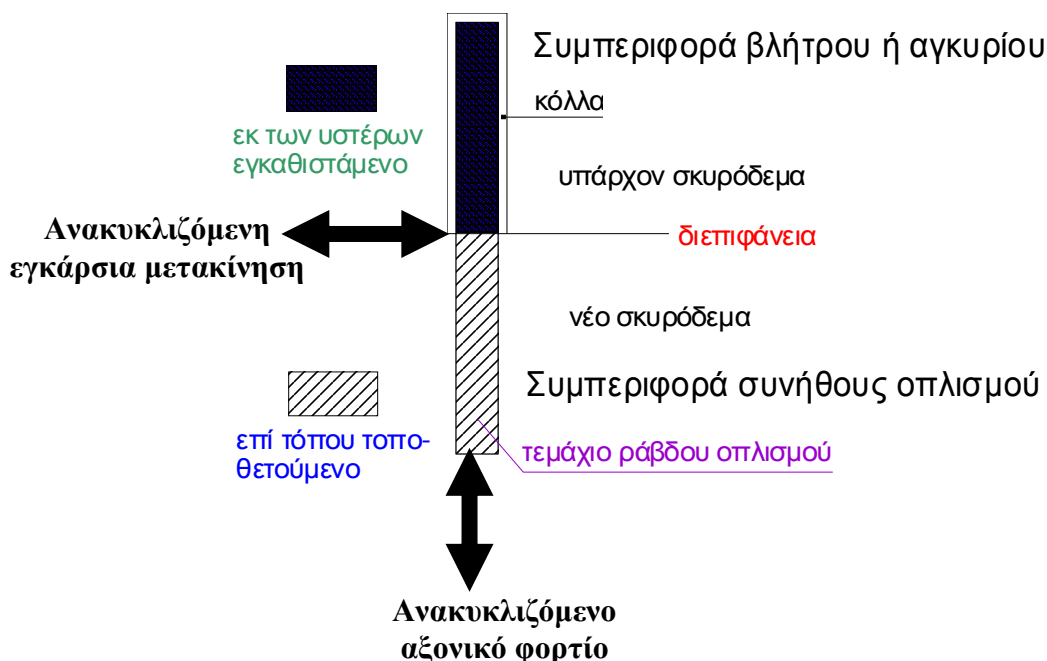
Αποτέλεσμα αυτών των συγκρίσεων είναι ότι υπάρχει μεγάλος βαθμός συντηρητισμού στις προτεινόμενες από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. τιμές της φέρουσας ικανότητας σε δράση βλήτρου, για την σύνδεση εμφαντώματος και τμήματος μανδουωμένου υποστρώματος / δοκού του περιβάλλοντος πλαισίου.

- Η αρχή αυτής της συντηρητικής προσέγγισης είναι το σενάριο αστοχίας που είναι η βάση της σχέσης 4.1. [46]. Το σενάριο αυτό υποθέτει ένα ότι ο σύνδεσμος-βλήτρο θα οδηγήσει σε τοπική αστοχία του σκυροδέματος που περιβάλλει τον σύνδεσμο. Το σενάριο αυτό για τις διαμέτρους των χαλύβδινων συνδέσμων που εξετάστηκαν σε συνδυασμό με την ποιότητα του σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε στα δοκίμια που διερευνήθηκαν πειραματικά οδηγεί σε φέρουσες ικανότητες 2.00 φορές (Ø14) έως 3.29 (Ø8) φορές μικρότερες από τις μετρημένες πειραματικά. Δηλαδή ο βαθμός συντηρητισμού αυξάνει όσο μικρότερη είναι η διάμετρος του συνδέσμου. Στην αριθμητική προσομοίωση του μηχανισμού αυτού, που θα παρουσιασθεί συνοπτικά στο κεφάλαιο 5, για σύνδεσμο διαμέτρου 12mm, παρατηρείται η παραμόρφωση της περιοχής άμεσα γύρω από τον σύνδεσμο ώστε η κυλινδρική περιοχή που τον περιβάλλει να παίρνει ελλειπτικό σχήμα χωρίς να υποδεικνύεται ταυτόχρονα η εκδήλωση της αστοχίας του γειτνιαζοντος όγκου σκυροδέματος όπως υποδηλώνεται από το σενάριο αστοχίας του σχήματος 4.2. Για συνδέσμους μεγαλύτερης διαμέτρου από αυτά που εξετάστηκαν στα πλαίσια της παρούσης πειραματικής ακολουθίας είναι πιθανό να μειώνεται περαιτέρω ο βαθμός συντηρητισμού των αποτελεσμάτων της σχέσης 4.1. και να γίνεται μικρότερος του 2.00. Το συμπέρασμα αυτό έχει μόνον ποιοτικό χαρακτήρα καθώς η παρούσα πειραματική ακολουθία περιορίστηκε σε συνδέσμους διαμέτρου Ø8, Ø10, Ø12, και Ø14.



Σχήμα 4.2. Σενάριο θλιπτική αστοχίας όγκου σκυροδέματος από δράση βλήτρου

- Το δεύτερο και τρίτο βήμα αυτής της συντηρητικής προσέγγισης γίνεται μέσω των μειωτικών συντελεστών με τους οποίους γίνεται η διασφάλιση της συμπεριφοράς των χαλύβδινων συνδέσμων (βλήτρων-αγκυρίων) έναντι της έκκεντρης επιβολής της εγκάρσιας φόρτισης καθώς και η διασφάλιση έναντι της ανακυκλιζόμενης φύσης της φόρτισης. Η σύγκριση των τιμών της μετρημένης φέρουσας ικανότητας σε λειτουργία βλήτρου (F_{ud}^{exp}) με τις αντίστοιχες υπολογισμένες τιμές που περιλαμβάνουν αυτές τις μειωτικές επιρροές καταδεικνύουν ότι για το πρόβλημα που εξετάστηκε (σύνδεση τμήματος εμφατνώματος με τμήμα μανδουωμένου στύλου / δοκού) ο συνυπολογισμός των εν λόγω μειωτικών επιρροών, επί τη βάση των προβλέψεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ., καταλήγει σε πολύ σημαντικές μειώσεις της φέρουσας ικανότητας των χαλύβδινων συνδέσμων που δεν υποστηρίζεται από τις πειραματικές μετρήσεις. Επειδή στην φορτιστική ακολουθία υπήρχαν ταυτόχρονα και οι δύο επιρροές (και εκκεντρότητα και ανακυκλιζόμενη φόρτιση) δεν είναι δυνατόν να γίνει επιμερισμός του βαθμού συντηρητικότητας που προκύπτει από την κάθε μία επιρροή ξεχωριστά.
- Αναφορικά με τις τιμές της μετρημένης φέρουσας ικανότητας σε λειτουργία βλήτρου (F_{ud}^{exp}) θα πρέπει να σημειωθεί εκ νέου ότι αυτές έχουν προκύψει από την σε μεγάλο μέρος αφαίρεση της τυχόν συνεισφοράς του μηχανισμού τριβής – ολίσθησης ώστε να προκύψουν σχετικά μικρότερες τιμές. Επιπρόσθετα, στην φορτιστική ακολουθία έχει επιβληθεί αξονική ένταση εφελκυσμού (δράση αγκυρίου) τόσο μέσω της άμεσης φόρτισης όσο και έμμεσα μέσω της εκκεντρότητας, που δεν συνυπολογίστηκε ως επιπρόσθετη μείωση. Αυτό θα γίνει στην συνέχεια. Τέλος, Υιοθετώντας για τις συγκρίσεις το 75% του μέσου όρου της μετρημένης φέρουσας ικανότητας για κάθε σύνδεσμο διαμέτρου Ø8, Ø10, Ø12, και Ø14 καλύπτεται και το γεγονός της πτώσης της φέρουσας ικανότητας που παρατηρήθηκε μετά τον 1^ο κύκλο από τις τρεις ανακυκλίσεις, αν και η πτώση αυτή παρατηρήθηκε κυρίως για εγκάρσιες μετακινήσεις μεγαλύτερου εύρους από αυτήν που σημειώθηκε η μέγιστη / ελάχιστη τιμή. Με τον τρόπο αυτόν υπεισέρχεται στις πειραματικές μετρήσεις αυτός ο βαθμός συντηρητισμού.



Σχήμα 4.3. Σχηματοποίηση ταυτόχρονης δράσης βλήτρου - αγκυρίου

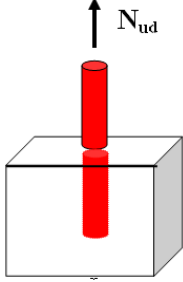
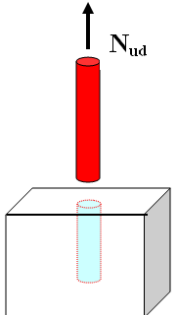
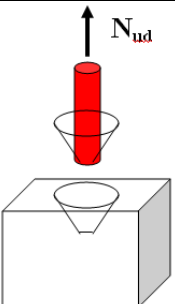
4.1.2 Συγκρίσεις αναφορικά με την φέρουσα διατμητική ικανότητα των βλήτρων με την ταυτόχρονη λειτουργία αγκυρίου.

Στην παρούσα παράγραφο θα γίνει προσπάθεια σύγκρισης της μετρημένης φέρουσας ικανότητας των συνδέσμων (F_{ud}^{exp}) με αυτήν που υπολογίζεται για ταυτόχρονη δράση βλήτρου και αγκυρίου. Η σύγκριση πειραματικών και υπολογισμένων τιμών με βάση το εξής σκεπτικό:

Θα επαναληφθεί η σύγκριση της F_{ud}^{exp} με την τιμή της φέρουσας ικανότητας σε λειτουργία βλήτρου (F_{ud}) από την σχέση 4.1. χωρίς κανένα μειωτικό συντελεστή είτε από εκκεντρότητα είτε από ανακυκλιζόμενη

φόρτιση. Αυτή την φορά θα γίνει η θεώρηση της ταυτόχρονη λειτουργία του συνδέσμου και με λειτουργία αγκυρίου (σχέση 4.4) επί τη βάση της τιμής της αξονικής δύναμης ελκυσμού που επιβλήθηκε κατά την φορτιστική ακολουθία και της εκτίμησης της αξονικής έντασης που αναπτύσσεται στον σύνδεσμο λόγω της έκκεντρης επιβολής της εγκάρσιας φόρτισης (δες κεφάλαιο 1). Λόγω έλλειψης ακριβέστερων στοιχείων θα θεωρηθεί ένα όριο για την αξονική αυτή δύναμη για κάθε σύνδεσμο λόγω της έκκεντρης εγκάρσιας φόρτισης ίσο με 15KN για όλες τις διαμέτρους των συνδέσμων, όπως προέκυψε από την αριθμητική διερεύνηση του κεφαλαίου 1.

$$\left(\frac{N_{sd}}{N_{ud}} \right)^{3/2} + \left(\frac{F_{sd}}{F_{ud}} \right)^{3/2} \leq 1 \quad (4.4.) \text{ ταυτόχρονη δράση βλήτρου - αγκυρίου}$$

	<p>α. $N_{ud,a} = A_s \cdot f_{yd}$</p> <p>Θραύση αγκυρίου</p>
	<p>β. $N_{ud,c} = \frac{\tau_r}{\gamma_m} \cdot \pi \cdot l_b \cdot d_0$</p> <p>Εξόλκευση αγκυρίου</p>
	<p>γ. $N_{ud,b} = \frac{0,92}{\gamma_c} \cdot \sqrt{f_{cd}} \cdot l_b^2$</p> <p>Εξόλκευση αγκυρίου με όγκο περιβάλλοντος σκυροδέματος</p>

Σχήμα 4.3. Σενάρια αστοχίας και αντίστοιχες σχέσεις για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας σε λειτουργία αγκυρίου.

Η χρήση της σχέσης 4.4 θα γίνει ως εξής:

1. Θα υπολογισθεί αρχικά η τιμή του λόγου N_{sd} / N_{ud} (πίνακας 4.3. στήλη 4) επί τη βάση αφενός της τιμής της επιβαλλόμενης αξονικής έντασης N_{sd} (πίνακας 4.3. στήλη 2), δηλαδή του αθροίσματος της άμεσης εφελκυστικής φόρτισης και της έμμεσης αξονικής έντασης του συνδέσμου λόγω της έκκεντρης επιβολής της εγκάρσιας φόρτισης, και της τιμής της φέρουσας ικανότητας σε δράση αγκυρίου $N_{ud,a}$ που προκύπτει με βάση το σεναρίου α. που απεικονίζεται στο ανωτέρω σχήμα 4.3 (πίνακας 4.3. στήλη 3). Ο λόγος για αυτό είναι ότι τα υπόλοιπα σενάρια αστοχίας του αγκυρίου (β και γ σχήμα 4.3) αποτράπηκαν στην πειραματική ακολουθία, όπως σχολιάστηκε στην παρουσίαση των μορφών αστοχίας στο κεφάλαιο 3 καθώς και παράγραφο 2.1.1. «Ιδιότητες Υλικών σελίδα 37 Δομικός Χάλυβας - Αντοχή ράβδων σε εξόλκευση».

2. Στον υπολογισμό της αξονικής έντασης-απαίτησης N_{sd} συνυπολογίζεται, όπως προαναφέρθηκε, και η τιμή ελκυσμού που αναπτύσσεται στους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) λόγω της εκκεντρότητας $e=20\text{mm}$, δηλαδή 15KN για κάθε σύνδεσμο ανεξαρτήτως διαμέτρου (δες κεφάλαιο 1).
3. Στην συνέχεια θα τροποποιηθεί η σχέσης 4.4. που θα πάρει την κατωτέρω μορφή (4.5), όπου η τιμή της F_{ud} θα υπολογισθεί από την σχέση 4.1 χωρίς την μειωτική επιρροή της εκκεντρότητας ή της ανακυκλιζόμενης φόρτισης, όπως προαναφέρθηκε.
4. Με αυτόν τον τρόπο θα προκύψει η μέγιστη τιμή της απαίτησης σε δράση βλήτρου F_{sd} (στήλη 6, πίνακας 4.3) που θα ικανοποιεί την ανισότητα (4.5) για ταυτόχρονη λειτουργία βλήτρου και αγκυρίου και θα είναι συνεπώς συγκρίσιμη με την μετρημένη οριακή μέγιστη απαίτηση (μετρημένη φέρουσα ικανότητα F_{ud}^{exp} , πίνακας 4.2, στήλη 2 και πίνακας 4.3. στήλη 7) σε λειτουργία βλήτρου που καταγράφηκε κατά την διάρκεια της πειραματικής ακολουθίας, όταν επενεργούσε ταυτόχρονα η αξονική ένταση – απαίτηση που περιγράφηκε στα βήματα 1 και 2 προηγουμένως.
5. Στην στήλη 8 του πίνακα 4.3 δίδεται ο λόγος της μετρημένης φέρουσας ικανότητας σε δράση βλήτρου και αγκυρίου από την παρούσα πειραματική ακολουθία (F_{ud}^{exp} πίνακας 3.10 στήλη 3 και πίνακας 4.2. στήλη 2), προς την μέγιστης τιμής της απαίτησης βλήτρου F_{sd} με την ταυτόχρονη δράση αγκυρίου, όπως προέκυψε από την σχέση 4.5 (KAN.EΠΕ.).

$$F_{sd} \leq F_{ud} \left[1 - \left(\frac{N_{sd}}{N_{ud}} \right)^{3/2} \right]^{2/3} \quad (4.5) \text{ ταυτόχρονη λειτουργία βλήτρου και αγκυρίου}$$

Πίνακας 4.3. Σύγκριση μετρημένης και υπολογισμένης φέρουσας ικανότητας συνδέσμου σε λειτουργία βλήτρου και αγκυρίου ταυτόχρονα.

Διάμετρος	N_{sd}^1 (KN)	$N_{ud,act} = A_s f_y^{act}$ (KN) ²	Λόγος N_{sd} / N_{ud} Σχέση 4.4	KAN.EΠΕ σχέση 4.1 F_{ud}^{pred} (KN)	KAN.EΠΕ σχέση 4.5 F_{sd} (KN)	Μετρημένη Φέρουσα Ικανότητα F_{ud}^{exp} (KN)	Λόγος F_{ud}^{exp} / F_{sd}	Λόγος ³ $F_{ud}^{exp} / F_{ud}^{pred}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Σύνδεσμος Ø8	17.37 5	28.65	0.606	8.9	5.82	29.29	5.03	13.65
Σύνδεσμος Ø10	17.37 5	44.77	0.388	13.9	11.56	34.34	2.97	8.43
Σύνδεσμος Ø12	27.5	64.47	0.425	20.0	16.11	47.35	2.94	6.97
Σύνδεσμος Ø14	27.5	87.74	0.313	27.2	23.92	54.33	2.27	5.22

¹ Συνολική αξονική ένταση ανά σύνδεσμο το άθροισμα της άμεσης εφελκυστικής φόρτισης και της έμμεσης αξονικής έντασης του συνδέσμου λόγω της εκκεντρής επιβολής της εγκάρσιας φόρτισης.

² Χρησιμοποιήθηκε η τιμή $f_y^{act} 570 \text{ Mpa}$ (δες πίνακα 2.2). A_s η διατομή του συνδέσμου

³ Λήφθηκαν οι τιμές του πίνακα 4.2 στήλη 5 και η επιρροή της εκκεντρότητας από τον μειωτικό συντελεστή του πίνακα 4.1 στήλη 3.

Όπως φαίνεται από τις τιμές του λόγου F_{ud}^{exp} / F_{sd} (πίνακας 4.3. στήλη 8) η αντιμετώπιση της επιρροής της εκκεντρότητας μέσω της χρήσης της σχέσης 4.4. δεν έχει τον πολύ μεγάλο συντηρητισμό που υπεισέρχεται στην αντιμετώπιση της εκκεντρότητας από την σχέση 4.2 με τους μειωτικούς συντελεστές της στήλης 3 του πίνακα 4.1 από όπου θα προέκυπταν τιμές του αντίστοιχου λόγου $F_{ud}^{exp} / F_{ud}^{pred}$ που περιλαμβάνονται στον πίνακα 4.3. στην στήλη 9. Η δυσκολία εδώ έγκειται στην ύπαρξη αξιόπιστου τρόπου υπολογισμού της αξονικής έντασης που αναπτύσσεται στους συνδέσμους λόγω της εκκεντρότητας της εγκάρσιας φόρτισης. Στην περίπτωση του προβλήματος της συμπεριφοράς των εμφανωμάτων θα πρέπει να θεωρηθεί ότι το πρόβλημα είναι μάλλον αντίστροφο. Δηλαδή η εκτίμηση της εκκεντρότητας επιβολής της εγκάρσιας φόρτισης για τον σχεδιασμό των βλήτρων επί τη βάση της σχέσεως 4.2. Αντίθετα, όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 1 και θα επαναπαρουσιασθεί στο κεφάλαιο 5, μέσω ενός αριθμητικού προσομοιώματος της αλληλεπίδρασης εμφαντώματος - περιβάλλοντος πλαισίου, όπου προσομοιώνονται οι σύνδεσμοι (βλήτρα-

αγκύρια), με διακριτό τρόπο, δίδει ως αποτελέσματα για κάθε σύνδεσμο τόσο την εγκάρσια ένταση του (δράση βλήτρου) όσο και την αξονική ένταση του (δράση αγκυρίου). Συνεπώς μπορεί να γίνει άμεσα η χρήση της σχέσης 4.4 που περιλαμβάνεται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ., όπως εφαρμόστηκε συνοπτικά εδώ.

Στην περίπτωση αυτή ισχύουν τα σχόλια που έγιναν στην προηγούμενη παράγραφο 4.1.1. για τον συντηρητισμό της σχέσης 4.1. (πίνακας 4.2).

Συμπερασματικές παρατηρήσεις

- Αποτέλεσμα των συγκρίσεων των πειραματικών αποτελεσμάτων με τις προβλέψεις των σχετικών διατάξεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. παράγραφος 6.1.2), είναι ότι υπάρχει μεγάλος βαθμός συντηρητισμού στις προτεινόμενες από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. τιμές της φέρουσας ικανότητας σε δράση βλήτρου, για την σύνδεση εμφανώματος και τμήματος μανδουωμένου υποστυλώματος / δοκού του περιβάλλοντος πλαισίου (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. παράγραφος 6.1.2, σχέση 6.8). Ο συντηρητισμός αυτός είναι ιδιαίτερα αυξημένος στην περίπτωση συνυπολογισμού μειωτικών συντελεστών για την εκκεντρότητα εφαρμογής της εγκάρσιας φόρτισης (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. παράγραφος 6.1.2, σχέση 6.7). και της ανακυκλιζόμενης φύσης της φόρτισης (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. παράγραφος 6.1.2, σχέση 6.9).
- Συγκρίσεις αναφορικά με την φέρουσα διατμητική ικανότητα των βλήτρων με την ταυτόχρονη λειτουργία αγκυρίου, δηλαδή ταυτόχρονη εφαρμογή εγκάρσιας και αξονικής δύναμης στους χαλύβδινους συνδέσμους, υποδεικνύουν ότι η πρόβλεψη της φέρουσας ικανότητας μέσω της χρήσης της σχετικής σχέσης του ΚΑΝ.ΕΠΕ (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. παράγραφος 6.1.2, σχέση 6.10). για διδιάστατη καταπόνηση, δεν έχει τον πολύ μεγάλο συντηρητισμό που υπεισέρχεται στην αντιμετώπιση της εκκεντρότητας από την σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ σε αποκλειστικά δράση βλήτρου (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. παράγραφος 6.1.2, σχέση 6.7). Η ισχύς του συμπεράσματος αυτού είναι για επίπεδα ταυτόχρονης αξονικής δύναμης άμεσα και έμεσα (λόγω εκκεντρότητας) που εφαρμόστηκαν στα δοκίμια του παρόντος ερευνητικού έργου.
- Γίνεται προφανές με βάση τα προηγούμενα η ανάγκη ύπαρξης αξιόπιστου τρόπου υπολογισμού της αξονικής έντασης που αναπτύσσεται στους συνδέσμους ταυτόχρονα με την εγκάρσια φόρτιση ώστε με αυτόν τον τρόπο να περιβληθεί ταυτόχρονα και η επιρροή τυχόν εκκεντροτήτων στην επιβολή της εγκάρσιας φόρτισης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΜΦΑΤΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΕ ΥΠΑΡΧΟΝ ΠΛΑΙΣΙΟ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει η προσπάθεια αριθμητικής προσομοίωσης ενός τυπικού δοκιμίου που εξετάστηκε στην πειραματική ακολουθία του κεφαλαίου 3. Ως τέτοιο επιλέχθηκε ένα δοκίμιο που η σύνδεση του τμήματος του εμφατνώματος και του τμήματος του μανδυωμένου στύλου / δοκού πραγματοποιείται με 4 χαλύβδινους συνδέσμους διαμέτρου Ø12. Η αριθμητική προσομοίωση του παρόντος κεφαλαίου είναι τρισδιάστατη με πρόβλεψη ανελαστικής συμπεριφοράς τόσο για τους χαλύβδινους συνδέσμους όσο και για τα τμήματα του σκυροδέματος, όπως θα περιγραφεί στη συνέχεια.

5.1 Εισαγωγή και παραδοχές της παρούσης αριθμητικής προσομοίωσης

Στα πλαίσια του παρόντος ερευνητικού προγράμματος και επιπροσθέτως των πειραματικών δοκιμών διενεργήθηκαν δισδιάστατες αριθμητικές προσομοιώσεις με πεπερασμένα στοιχεία (δες κεφάλαιο 1), ούτως ώστε να γίνει μια αρχική εκτίμηση της επιρροής των φορτιστικών καταστάσεων. Συγκεκριμένα, κατά το πειραματικό στάδιο της έρευνας, όπως αναφέρθηκε κατ' επανάληψη, η οριζόντια δύναμη ασκήθηκε σε απόσταση 20 mm από την διεπιφάνεια σύνδεσης του υπό μελέτη τμήματος του εμφατνώματος με τον μανδύα του πλαισίου, εξ αιτίας εργαστηριακών περιορισμών στην υλοποίηση της φορτιστικής διάταξης. Η επιρροή της θέσης της ασκούμενης οριζόντιας δύναμης στη δομική συμπεριφορά των υπό μελέτη δοκιμών καθώς και η διερεύνηση πιθανής εξάρτησης της επιρροής αυτής από την ταυτόχρονη ύπαρξη εφελκυστικού ή θλιπτικού φορτίου (ταυτόχρονη δράση βλήτρου και αγκυρίου) αποτελεί αντικείμενο της παρούσας αριθμητικής μελέτης. Στην προκαταρκτική διερεύνηση του κεφαλαίου 1 πέραν της ανελαστικής συμπεριφοράς των συνδέσμων της διεπιφάνειας η συμπεριφορά των υπολοίπων τμημάτων του προβλήματος θεωρήθηκε ελαστική. Στην παρούσα τρισδιάστατη αριθμητική διερεύνηση επεκτάθηκε η δυνατότητα ανελαστικής συμπεριφοράς και στα υπόλοιπα τμήματα του δοκιμίου, όπως θα περιγραφεί στην συνέχεια.

Συνολικά διενεργήθηκαν 9 αριθμητικές προσομοιώσεις, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: Διενεργηθείσες αριθμητικές προσομοιώσεις

A/A	Απόσταση εγκάρσιας δύναμης από τη συμβολή εμφατνώματος-μανδύα εκκεντρότητα e (mm)	Αξονική δύναμη (KN)	Παρατηρήσεις
1	20	0	βαθμονόμηση
2	20	80 (εφελκυστική)	βαθμονόμηση
3	20	-80 (θλιπτική)	βαθμονόμηση
4	2	0	Παραμετρική μελέτη
5	2	80 (εφελκυστική)	Παραμετρική μελέτη
6	2	-80 (θλιπτική)	Παραμετρική μελέτη
7	80	0	Παραμετρική μελέτη
8	80	80 (εφελκυστική)	Παραμετρική μελέτη
9	80	-80 (θλιπτική)	Παραμετρική μελέτη

Οι πρώτες 3 προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση των αριθμητικών προσομοιωμάτων με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα (άσκηση οριζόντιας δύναμης σε απόσταση 20 mm από τη συμβολή εμφατνώματος-μανδύα) ενώ οι υπόλοιπες 6 προσομοιώσεις αποτελούν μια πρόσθετη παραμετρική διερεύνηση του υπό μελέτη φαινομένου.

Η πρώτη παράμετρος είναι αυτή της εκκεντρότητας επιβολής της εγκάρσιας φόρτισης. Οι μελετηθείσες τιμές της εκκεντρότητας (πέραν των 20mm) είναι είτε περίπου 0 είτε 80 mm. Η πρώτη αντιστοιχεί σε μια περίπου καθαρή διατμητική λειτουργία ενώ η δεύτερη περίπτωση σε μια σχετικά μεγάλη εκκεντρότητα.

Για την προσομοίωση της περίπτωσης μηδενικής εκκεντρότητας στην επιβολή του φορτίου, χρησιμοποιήθηκε μια πολύ μικρή εκκεντρότητα ίση με 2mm, καθώς η επιβολή φόρτισης στη διεπιφάνεια εμφατνώματος-μανδύα οδηγούσε σε αριθμητικές αστάθειες. Η εκκεντρότητα των 2 mm μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα και στη συνέχεια του παρόντος θα αναφέρεται ως μηδενική εκκεντρότητα. Στον πίνακα 5.2. που ακολουθεί, για αυτές τις τιμές της εκκεντρότητας (e, στήλη 1) αναγράφονται οι σχετικές τιμές τις

ανηγμένης εκκεντρότητας (ε , στήλη 2) και οι τιμές του αντίστοιχου μειωτικού συντελεστή (στήλη 3) για την φέρουσα ικανότητας σε δράση βλήτρου κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. (δες σχέσεις 4.1. και 4.2. κεφάλαιο 4) αναγράφονται.

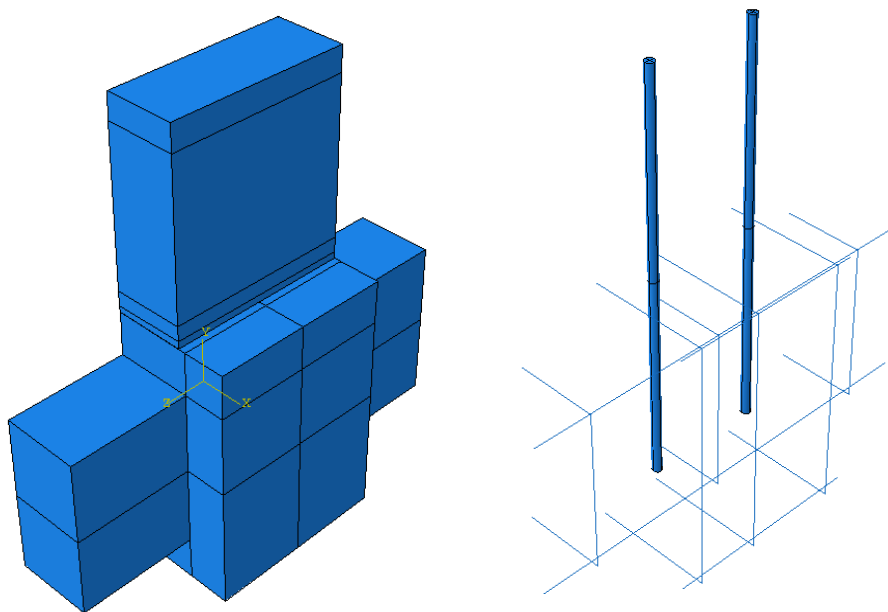
Πίνακας 5.2. Μειωτικός συντελεστής φέρουσας ικανότητας δράσης βλήτρου (ΚΑΝ.ΕΠΕ., παράγραφος 6.1.2)

Εκκεντρότητα e (mm)	Ανηγμένη $\varepsilon = 3 \frac{e}{d_b} \sqrt{\frac{f_{cd}}{f_{yd}}}$ εκκεντρότητα (ε)	$\left[\sqrt{1 + (1,3\varepsilon)^2} - 1,3\varepsilon \right]$ Μειωτικός συντελεστής ΚΑΝ.ΕΠΕ. (σχέση 4.2. κεφάλαιο 4)	Αντίστροφο της τιμής του μειωτικού συντελεστή
(1)	(2)	(3)	(5)
2	0.1	0.878	1.139
20	1.0	0.340	2.941
80	4.0	0.095	10.526

Όπως ήδη σχολιάστηκε στο κεφάλαιο 4, η μείωση της φέρουσας ικανότητας σε δράση βλήτρου όπως προβλέπεται από την σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ. είναι άκρως συντηρητική. Από τις τιμές του μειωτικού συντελεστή γίνεται κατανοητό ότι για εκκεντρότητα 2mm η μείωση που επέρχεται στην φέρουσα ικανότητα δράσης βλήτρου για μηδενική εκκεντρότητα είναι της τάξεως του 14%, ενώ για αυτήν των 20mm η φέρουσα ικανότητα που προκύπτει είναι 3 φορές μικρότερη από την αρχική χωρίς εκκεντρότητα. Τέλος, για εκκεντρότητα 80mm η φέρουσα ικανότητα που προκύπτει είναι 10.5 φορές μικρότερη από την αρχική χωρίς εκκεντρότητα.

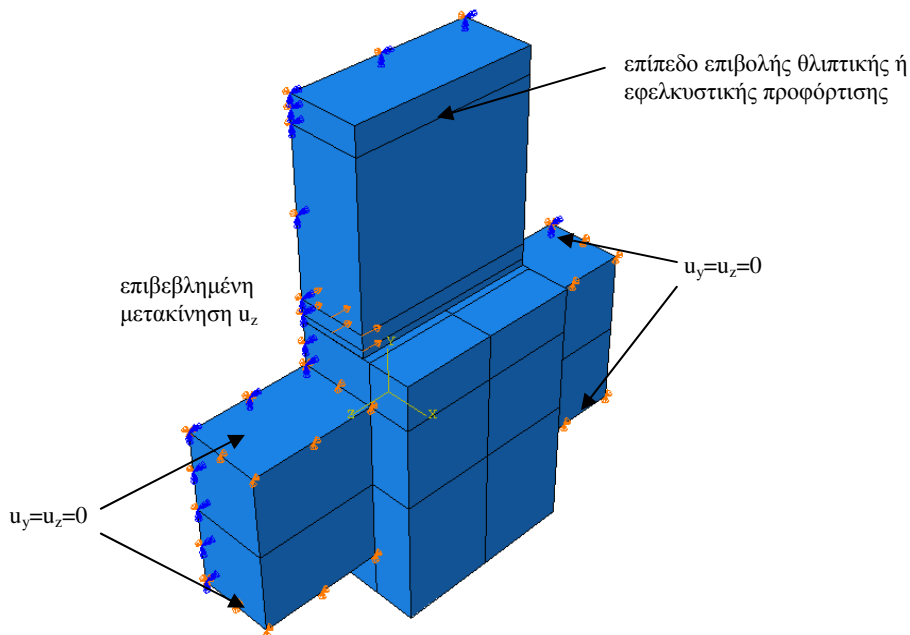
Η δεύτερη παράμετρος που μεταβάλλεται είναι αυτής της ταυτόχρονης επιβολής αξονικής δύναμης (δράση αγκυρίου). Αυτή, όπως φαίνεται στον πίνακα 5.1. μεταβάλλεται σε τρία επίπεδα, δηλαδή 0KN, Θλίψη - 80KN και εφελκυσμός 80KN. Το μέτρο της ασκούμενης εφελκυστικής αξονικής δύναμης επελέγη ίσο με 80 KN, τιμή που οδηγεί σε μέση εφελκυστική τάση ίση με 1.52Mpa που προσεγγίζει το 70% της εκτιμώμενης εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος.

Όλες οι προσομοιώσεις διενεργήθηκαν με το γενικό πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ABAQUS (έκδοση 6.10.1). Όλα τα προσομοιώματα είχαν γεωμετρία αυτή των πειραματικών δοκιμών. Οι χαλύβιδινοι σύνδεσμοι (βλήτρα) θεωρήθηκαν ότι είναι κυλινδρικού σχήματος, διατομής 12 mm. Τόσο τα βλήτρα όσο και το περιβάλλον σκυρόδεμα προσομοιώθηκαν με εξάεδρα γραμμικά στοιχεία μειωμένης ολοκλήρωσης ενώ ο οπλισμός κάμψης και διάτμησης του σκυροδέματος προσομοιώθηκε με στοιχεία δικτυώματος στο χώρο, οι κόμβοι των οποίων ακολουθούν τις μετακινήσεις των κόμβων του περιβάλλοντος σκυροδέματος (embedded region). Εφόσον κατά την πειραματική μελέτη δεν παρατηρήθηκε σχετική ολίσθηση μεταξύ των βλήτρων και του περιβάλλοντος σκυροδέματος, η προσομοίωση της διεπιφάνειας βλήτρου-σκυροδέματος έγινε μέσω χρήσης γενικευμένης επαφής-τριβής σε τραχεία επιφάνεια (general contact, rough tangential behavior), η οποία απαγορεύει τη σχετική ολίσθηση των εν επαφή κόμβων και επομένως μεταβιβάζει το σύνολο των εφαπτομενικών δυνάμεων χωρίς καμία ολίσθηση. Η γεωμετρία του φορέα, ο οπλισμός κάμψης και διάτμησης του μανδουμένου τμήματος του στύλου / δοκού (αχνές γραμμές) και οι χαλύβιδινοι σύνδεσμοι (βλήτρα-αγκύρια στις τρεις διαστάσεις) φαίνονται στο σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1: Γεωμετρία φορέα και οπλισμός

Σύμφωνα με τις συνθήκες στήριξης των δοκιμών (δες σχήματα 2.13, 2.20 και 2.23, κεφάλαιο 2) όλοι οι μεταφορικοί βαθμοί ελευθερίας των άνω και κάτω εδρών του τμήματος του υποστυλώματος / δοκού εκτός του μανδύα (στο αριστερό και στο δεξιό εξέχον τμήμα του προσομοιώματος) παγιώθηκαν ενώ η εγκάρσια φόρτιση επιβλήθηκε ως καταναγκασμένη μετακίνηση των κάθετων προς τη διεύθυνση της επιβεβλημένης μετακίνησης ακμών της διατομής όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2.

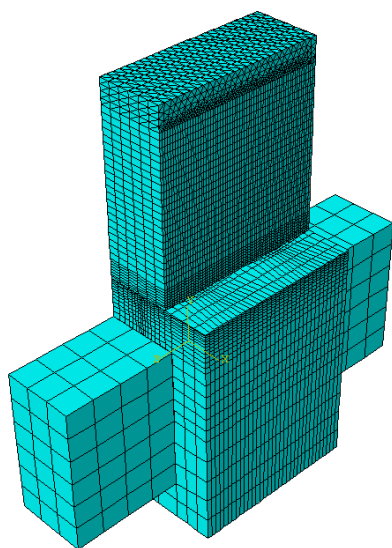


Σχήμα 5.2: Συνοριακές συνθήκες και επιβεβλημένη μετακίνηση

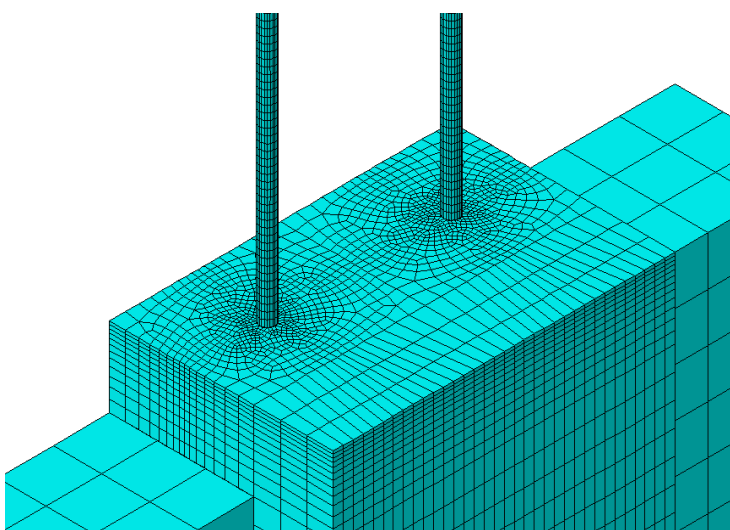
Επίσης, προκειμένου να μειωθεί το υπολογιστικό κόστος και δεδομένης της συμμετρίας του φορέα στην έννοια του πάχους του και της φόρτισης, προσομοιώθηκε ο μισός φορέας στον οποίο επιβλήθηκαν κατάλληλες συνοριακές συνθήκες συμμετρίας στο επίπεδο της τιμής του μισού φορέα (ως προς το πάχος του). Το ύψος επιβολής της εγκάρσιας μετακίνησης για κάθε δοκίμιο δίδεται στον Πίνακα 5.1. (μεταβολή εκκεντρότητας) Στις αριθμητικές προσομοιώσεις που επενεργούσε ταυτόχρονα αξονική φόρτιση (θλιπτική ή εφελκυστική), πέραν της εγκάρσιας καταναγκασμένης μετακίνησης, αυτή ασκήθηκε ως κατανεμημένη

πίεση στην άνω έδρα του τμήματος του εμφαντώματος. Η ακολουθία της φόρτισης κατά την αριθμητική προσομοίωση ήταν η εξής. Στο πρώτο βήμα της φόρτισης επιβάλλονταν η αξονική φόρτιση πριν την επιβολή της εγκάρσιας μετακίνησης. Για τις περιπτώσεις επενέργειας εφελκυστικής δύναμης, οι βαθμοί ελευθερίας των βλήτρων άνω της στάθμης της ασκούμενης δύναμης τέθηκαν ίσοι με τους βαθμούς ελευθερίας του περιβάλλοντος σκυροδέματος μέσω κινηματικής δέσμευσης (kinematic coupling, ABAQUS 2010). Στη συνέχεια, στα επόμενα βήματα της αριθμητικής ανάλυσης επιβλήθηκε σταδιακά η καταναγκασμένη εγκάρσια μετακίνηση (με σταθερή την επενέργεια της αξονικής φόρτισης). Η τιμή της εγκάρσιας φόρτισης που αντιστοιχεί στην επιβαλλόμενη καταναγκασμένη εγκάρσια μετακίνηση υπολογίστηκε ως η συνισταμένη των αντιδράσεων των βαθμών ελευθερίας κατά τη διεύθυνση φόρτισης σε κάθε βήμα της αριθμητικής ανάλυσης. Η καταναγκασμένη εγκάρσια μετακίνηση επιβλήθηκε μονότονα εξαιτίας του υψηλού υπολογιστικού κόστους αλλά και της αυξημένης αβεβαιότητας και πολυπλοκότητας που θα συνεπάγονταν η προσομοίωση της ανακύκλισης της φόρτισης, σε σχέση με το σκοπό της παρούσας παραμετρικής διερεύνησης, που οριοθετείται σε συσχέτισμό με την πειραματική εξέταση και την αποτίμηση των σχετικών πειραματικών αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν στα κεφάλαια 3 και 4. Ως εκ τούτου οι προσομοιώσεις συγκρίνονται με την περιβάλλουσα που προέκυψε από τις ανακυκλιζόμενες φορτίσεις.

Κατόπιν μελετών σύγκλισης της λύσης με βάση την πυκνότητα του καννάβου πεπερασμένων στοιχείων (mesh convergence studies) επιλέχθηκε ένας σχετικά πυκνός κάνναβος τόσο για το τμήμα του μανδουωμένου στύλου/δοκού όσο και για το τμήμα του εμφαντώματος και για τους χαλύβδινους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) πλησίον της διεπιφάνειας σύνδεσής τους (δες σχήμα 5.3). Στην περιοχή αυτή αναπτύσσεται για μεν τα τμήματα του σκυροδέματος συγκέντρωση εφελκυστικών τάσεων και πιθανότητα διάρρηξης (tensile damage), για δε τους χαλύβδινους συνδέσμους συγκέντρωση πλαστικών παραμορφώσεων. Η επιλεγείσα διακριτοποίηση απεικονίζεται στο σχήμα 5.3. Όπου ήταν δυνατόν τα πεπερασμένα στοιχεία ήταν ορθογώνια παραλληλεπίπεδα με μέγιστο πλάτος 35 mm ενώ πλησίον των οπών (των χαλύβδινων συνδέσμων) υπήρξε πύκνωση του καννάβου (20 κόμβοι ανά 360 μοίρες κυκλικής οπής) η οποία έβαινε μειούμενη αυξανόμενης της απόστασης από την οπή (σχήμα 5.4). Η διατομή των βλήτρων προσομοιώθηκε με εξαεδρικά στοιχεία 1,5X1,5X4 mm, μέγεθος αρκετά μικρό που υπαγορεύτηκε από την ανάγκη αποφυγής του φαινομένου του shear locking κατά την προσομοίωση της καμπτο-διατμητικής λειτουργίας κατά την έννοια του πάχους του βλήτρου με στοιχεία με γραμμικές συναρτήσεις παρεμβολής.



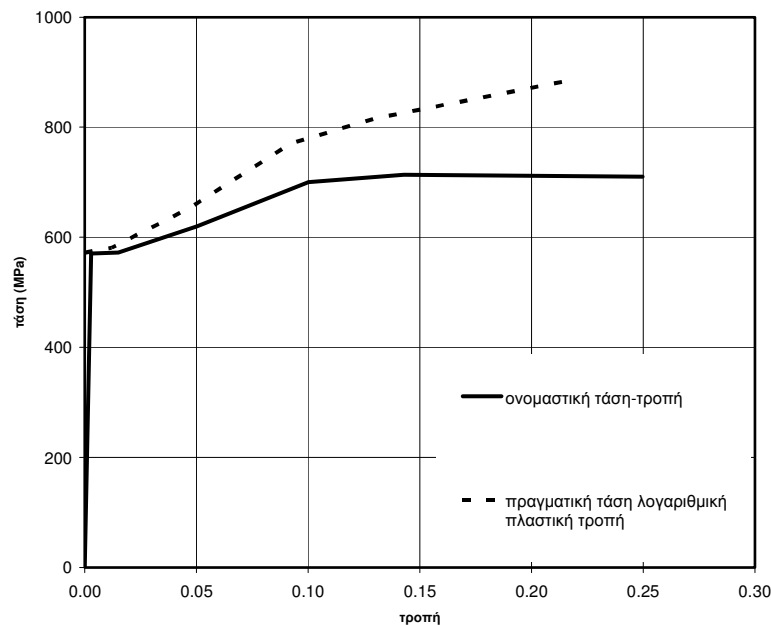
Σχήμα 5.3: Διακριτοποίηση σκυροδέματος και βλήτρων



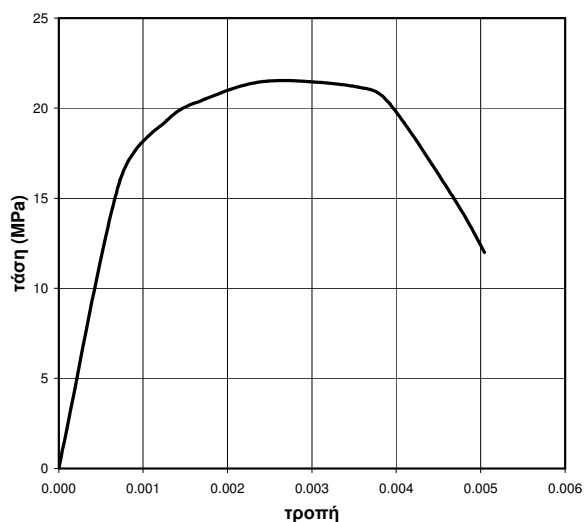
Σχήμα 5.4: Πύκνωση καννάβου πλησίον των οπών και διακριτοποίηση βλήτρων

Ο νόμος υλικού που υιοθετήθηκε για τους χαλύβδινους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) ήταν ένας ελαστο-πλαστικός νόμος με ισότροπη κράτυνση υπό μορφή πραγματικής τάσης-λογαριθμικής πλαστικής παραμόρφωσης (true stress- logarithmic plastic strain). Ο νόμος αυτός μορφώθηκε με βάση τις πειραματικές δοκιμές εφελκυσμού δοκιμίων χάλυβα, τα οποία ελήφθησαν από τις ίδιες ράβδους οπλισμού που χρησιμοποιήθηκαν ως χαλύβδινοι σύνδεσμοι στην παρούσα πειραματική ακολουθία (δες κεφάλαιο 2). Αντίστοιχος νόμος υλικού υιοθετήθηκε και για τον οπλισμό κάμψης και διάτμησης του μανδουωμένου τμήματος ο οποίος όμως σε όλες τις αριθμητικές αναλύσεις παρέμεινε στην ελαστική περιοχή καθ' όλη την

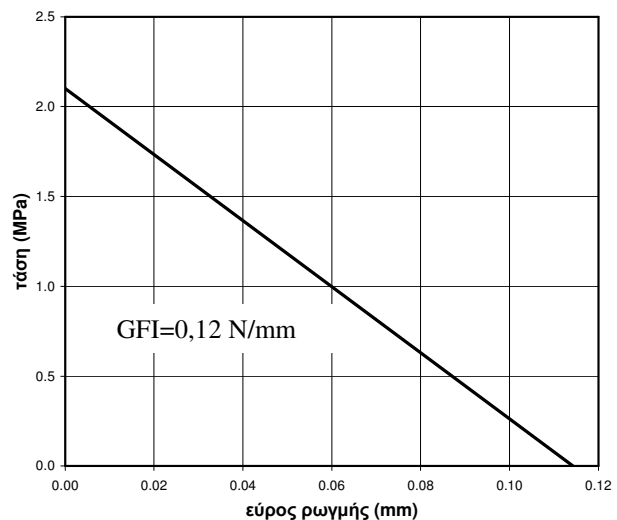
ιστορία φόρτισης. Για την προσομοίωση του υλικού του σκυροδέματος υιοθετήθηκε ο νόμος βλάβης-πλαστικότητας για σκυρόδεμα (damaged plasticity model for concrete) που υπάρχει στις βιβλιοθήκες υλικών του ABAQUS (ABAQUS, 2010). Μία αναλυτική περιγραφή του μοντέλου υλικού δίνεται από τον Malm (2009) και τους Mercan et al. 2010. Το μέτρο ελαστικότητας και η θλιπτική συμπεριφορά του σκυροδέματος (καμπύλη τάσεων θλιπτικών παραμορφώσεων) βασίστηκε στις θλιπτικές δοκιμές κυλινδρικών δοκιμίων της παρούσης πειραματικής ακολουθίας ενώ ο λόγος του Poisson ελήφθη ίσος με 0,15. Σύμφωνα με τον EN 1992-1-1, για τη συγκεκριμένη ποιότητα σκυροδέματος η μέση εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος f_{ctm} είναι ίση με περίπου 2,2 MPa. Οι υπόλοιπες ιδιότητες του υλικού υιοθετήθηκαν κατόπιν βαθμονόμησης του προσομοιώματος με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα και βρίσκονται εντός του εύρους τιμών που απαντάται στην βιβλιογραφία (Malm, 2009; Elfgren, 1989). Συγκεκριμένα η ενέργεια θραύσης (GFI) ελήφθη ίση με 0,12 N/mm, η γωνία διαστολής (dilation angle) της επιφάνειας διαρροής (non-associative yield surface) ίση με 40° , ο λόγος τάσης αστοχίας υπό διαξονική θλίψη προς την τάση αστοχίας υπό μονο-αξονική θλίψη ίσος με 1,16, ενώ δεν συμπεριλήφθησαν στην ανάλυση παράμετροι βλάβης για θλίψη ή εφελκυσμό (compression damage, tension damage) εφόσον η φόρτιση επιβλήθηκε μονότονα. Οι χρησιμοποιούμενες σχέσεις τάσεων παραμορφώσεων για το σκυρόδεμα και το χάλυβα απεικονίζονται στα σχήματα 5.5 και 5.6 για τον χάλυβα και το σκυρόδεμα αντίστοιχα.



Σχήμα 5.5: Σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων του χάλυβα



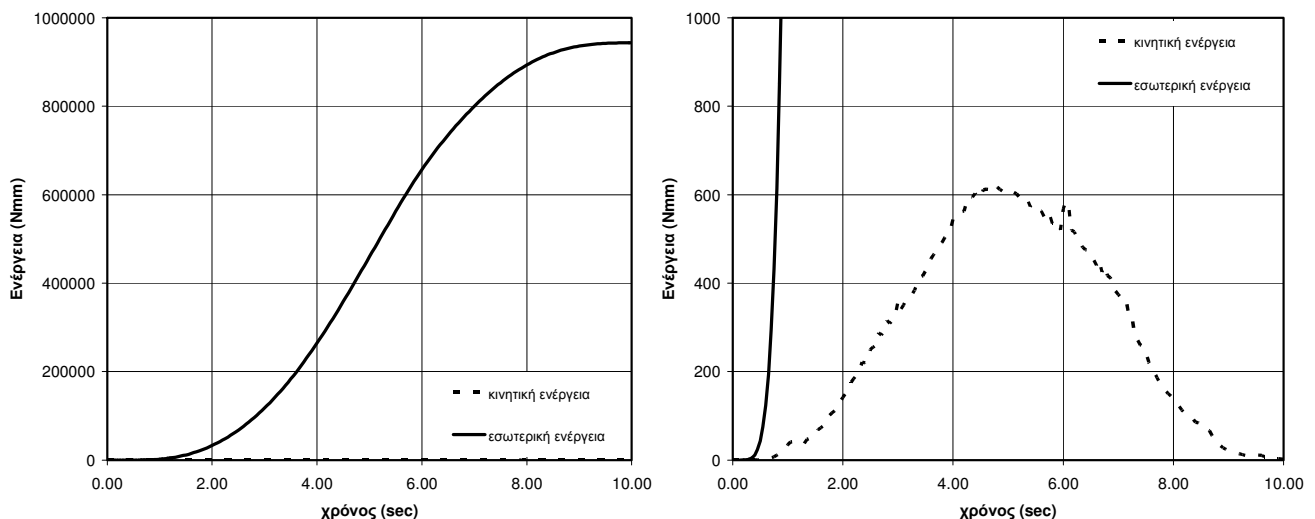
α) θλίψη



β) εφελκυσμός

Σχήμα 5.6: Σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος

Προκειμένου να αποφευχθεί η δυσκολία σύγκλισης του αλγορίθμου επίλυσης καθώς και η αλλοίωση των παραμέτρων υλικού ώστε να επιτευχθεί η σύγκλιση, επελέγη η χρήση ψευδο-στατικής δυναμικής ανάλυσης (Quasistatic explicit dynamic analysis) με το πρόγραμμα ABAQUS/EXPLICIT, το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε παρόμοιες εφαρμογές (Malm 2009, Qureshi et al 2011). Η ταχύτητα επιβολής της παραμόρφωσης είναι μικρή ούτως ώστε η αδράνεια του συστήματος να είναι αμελητέα, κάτι που πιστοποιείται από τη σύγκριση της κινητικής ενέργειας με τη συνολική εσωτερική ενέργεια του συστήματος. Η καταναγκασμένη παραμόρφωση είχε μέγιστη τιμή 10 mm στο τέλος της ανάλυσης και επεβλήθη μέσω μιας ομαλής καμπύλης παραμόρφωσης-χρόνου (smooth amplitude curve) που χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα για ψευδο-στατικές δυναμικές αναλύσεις. Σε όλες τις προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της κλιμάκωσης μάζας (mass scaling) προκειμένου να επιταχυνθεί η επίλυση και κατόπιν πιστοποιήθηκε ότι η κινητική ενέργεια είναι αμελητέα σε σχέση με την εσωτερική ενέργεια του συστήματος (<2%), όπως φαίνεται στο σχήμα 5.7 για την πρώτη προσομοίωση.



Σχήμα 5.7: Διάγραμμα κινητικής και εσωτερικής ενέργειας για την πρώτη προσομοίωση

Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών προσομοιώσεων παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 5.2, όπου σημειώνεται η μέγιστη εγκάρσια φόρτιση που προέκυψε από την αριθμητική ανάλυση καθώς και η μετακίνηση στην οποία αυτή εμφανίζεται.

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα της τρισδιάστατης αριθμητικής μελέτης

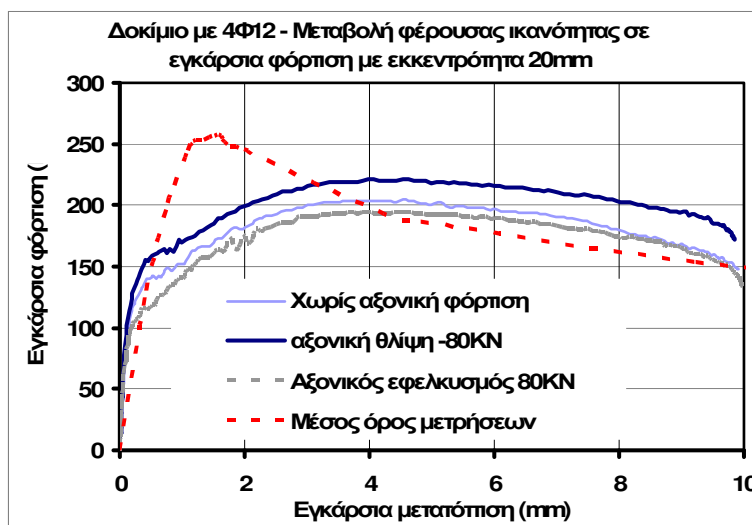
A/A	Απόσταση εγκάρσιας δύναμης από τη συμβολή εμφαννώματος-μανδύα εκκεντρότητα (mm)	Αξονική δύναμη (KN)	Μέγιστη εγκάρσια φόρτιση (Αριθμητικό Φορτίο αστοχίας) (KN)	Μετακίνηση για την μέγιστη εγκάρσια φόρτιση (mm)
1	20	0	204.78	4.0
2	20	80 (εφελκυστική)	194.27	3.8
3	20	-80 (θλιπτική)	220.88	4.5
4	2	0	233.22	5.4
5	2	80 (εφελκυστική)	228.37	5.4
6	2	-80 (θλιπτική)	234.43	5.5
7	80	0	164.95	2.8
8	80	80 (εφελκυστική)	162.71	2.46
9	80	-80 (θλιπτική)	167.32	3.17

5.2.1. Σύγκριση αριθμητικών προβλέψεων και πειραματικών μετρήσεων

Στο σχήμα 5.8 απεικονίζονται τα διαγράμματα εγκάρσιας δύναμης – εγκάρσιας μετακίνησης (στο σημείο εφαρμογής του φορτίου) που προέκυψαν από τις αριθμητικές αναλύσεις του παρόντος κεφαλαίου για

εκκεντρότητα φόρτισης 20 mm καθώς και η αντίστοιχη πειραματική περιβάλλουσα των ανακυκλιζόμενων φορτίσεων της πειραματικής ακολουθίας (κεφάλαιο 3). Η πειραματική αυτή καμπύλη προέκυψε ως μέσος όρος όλων των περιβαλλουσών (άνω και κάτω όριο) των πειραματικών καμπύλων που καταγράφηκαν για τα δοκίμια με χαλύβδινους συνδέσμους διαμέτρου 12mm.

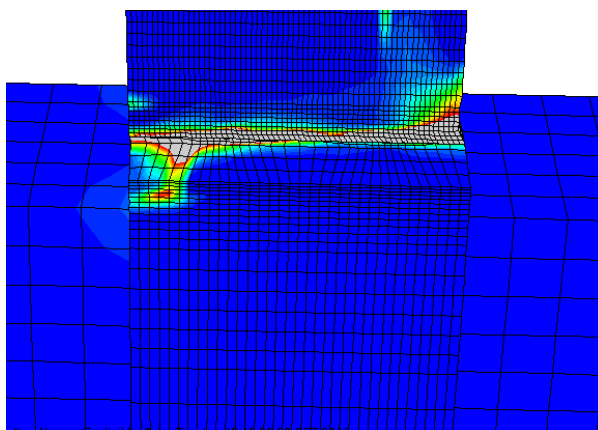
Από τα διαγράμματα εγκάρσιας δύναμης-μετακίνησης του σχήματος 5.8 προκύπτει ότι οι αριθμητικές προσομοιώσεις προσεγγίζουν ικανοποιητικά τις πειραματικές μετρήσεις για το αρχικό ελαστικό τμήμα της καμπύλης, με την πτώση της δυσκαμψίας λόγω έναρξης της ρηγμάτωσης του σκυροδέματος να συμβαίνει περίπου για το ίδιο επίπεδο φόρτισης (με κάποιες διαφοροποιήσεις στα προσομοιώματα ανάλογα με την ύπαρξη ή μη εφελκυστικού ή θλιπτικού φορτίου). Στη συνέχεια παρατηρείται μια απόκλιση της πειραματικής περιβάλλουσας από τις αριθμητικές καμπύλες, ενώ ο φθίνων κλάδος της πειραματικής περιβάλλουσας έχει όμοια κλίση με τους φθίνοντες κλάδους των αριθμητικών καμπύλων. Συγκεκριμένα η πειραματική περιβάλλουσα εμφανίζει μεγαλύτερη δυσκαμψία και φτάνει σε υψηλότερα επίπεδα φόρτισης για την ίδια τιμή μετακίνησης σε σχέση με τις αριθμητικές καμπύλες, ενώ η πτώση της δυσκαμψίας μετά την επίτευξη του μέγιστου φορτίου είναι εντονότερη στην πειραματική περιβάλλουσα σε σχέση με τις αριθμητικές αναλύσεις.



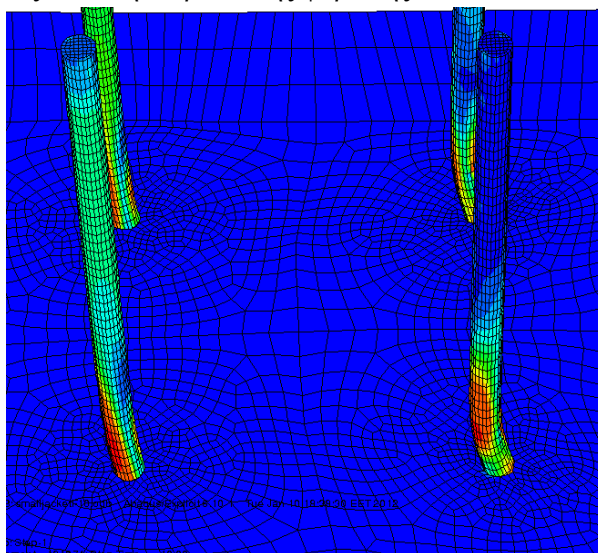
Σχήμα 5.8: Σύγκριση αριθμητικών καμπύλων δύναμης-μετακίνησης με την πειραματική περιβάλλουσα

Η σύγκριση μεταξύ των αριθμητικών προβλέψεων και των πειραματικών μετρήσεων μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ικανοποιητική. Οι διαφορές που παρατηρούνται μεταξύ των αριθμητικών προβλέψεων και των πειραματικών αποτελεσμάτων μπορεί να αποδοθούν σε πλήθος παραγόντων με σημαντικότερο όλων τη διαφορά απόκρισης τόσο του σκυροδέματος όσο και των βλήτρων σε στατική και ανακυκλιζόμενη φόρτιση καθώς και στην πιθανή επιρροή της ταχύτητας επιβολής της παραμόρφωσης (strain rate). Οι ανακυκλήσεις της φόρτισης πέραν του ελαστικού ορίου οδηγούν τόσο στην εντονότερη ρηγμάτωση του σκυροδέματος και άρα στη μεταβίβαση μεγαλύτερων τάσεων στους χαλύβδινους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) όσο και στη μετατόπιση της περιοχής διαρροής του χάλυβα των χαλύβδινων συνδέσμων (τα οποία διαρρέουν σε αντίθεση με τον υπόλοιπο οπλισμό ο οποίος παραμένει στην ελαστική περιοχή), εξ αιτίας της κινηματικής κράτυνσης του χάλυβα, κάτι που δεν ελήφθη υπόψη στην προσομοίωση όπου η φόρτιση ήταν μονότονη. Επομένως μετά τις πρώτες ανακυκλήσεις της φόρτισης, οι παραμένουσες πλαστικές παραμορφώσεις του χάλυβα οδηγούν σε αύξηση της δυσκαμψίας του καθώς εισέρχεται νωρίτερα στην περιοχή της κράτυνσης, ενώ αντίθετα στην μονότονη στατική φόρτιση πριν την έναρξη της κράτυνσης μεσολαβεί το πλατό διαρροής, εξ' αιτίας του οποίου οι αριθμητικές καμπύλες παρουσιάζουν μικρότερη δυσκαμψία και περισσότερο πλαστική συμπεριφορά (διατήρηση μεγάλης φέρουσας ικανότητας για μεγάλες ανελαστικές παραμορφώσεις). Επίσης η πλαστική συμπεριφορά των πειραματικών δοκιμών επηρεάζεται δυσμενώς από τη συσσώρευση βλαβών (damage accumulation) από τους επάλληλους κύκλους φόρτισης. Τέλος, η ανακυκλιζόμενη φύση της φόρτισης με συχνότητα 0.1Hz (2 sec μέχρι την επιβολή της μέγιστης καταναγκασμένης μετακίνησης) οδηγεί σε ταχύτητα επιβολής παραμόρφωσης (strain rate) ίση με $0,05s^{-1}$, η οποία είναι σημαντικά αυξημένη σε σχέση με τη δοκιμή εφελκυσμού των βλήτρων από την οποία ελήφθη ο νόμος τάσεων τροπών που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις. Ως γνωστόν η αυξημένη ταχύτητα επιβολής φόρτισης οδηγεί σε αύξηση της φέρουσας ικανότητας και μείωση της πλαστιμότητας (Harding 1989, Malvern 1984) του χάλυβα.

Σε ποιοτικό επίπεδο τα αριθμητικά προσομοιώματα προσεγγίζουν ικανοποιητικά την παρατηρηθείσα συμπεριφορά, κάτι που γίνεται φανερό από τα σχήματα 5.9 και 5.10, όπου συγκρίνονται οι αριθμητικές με τις πειραματικές μορφές αστοχίας για το σκυροδέμα και τα αντίστοιχα, όπως προέκυψαν για την πρώτη προσομοίωση. Η εικόνα ρηγματώσεων του σκυροδέματος που προέκυψε από την αριθμητική ανάλυση συγκεντρώνεται στην περιοχή της διεπιφάνειας σύνδεσης εμφαντώματος-στύλου/δοκού και συμφωνεί με τις αντίστοιχες πειραματικές παρατηρήσεις (σχήμα 5.9). Στην ερμηνεία των αριθμητικών αποτελεσμάτων θεωρείται ότι η εικόνα των εφελκυστικών πλαστικών παραμορφώσεων που προβλέπονται από το αριθμητικό προσομοίωμα αντιστοιχούν στην υλοποίηση ρηγματώσεων στα αντίστοιχα τμήματα του σκυροδέματος των πειραματικών δοκιμών (σχήμα 5.9). Όμοια συμφωνία πειραματικής και αριθμητικής συμπεριφοράς παρατηρείται και για τους χαλύβδινους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) στο σχήμα 5.10. Όπως αναμένεται οι χαλύβδινοι σύνδεσμοι (βλήτρα-αγκύρια) που καταπονούνται ταυτόχρονα σε εφελκυσμό και διάτμηση (χαλύβδινος σύνδεσμος στο δεξιό τμήμα του σχήματος 5.10) παρουσιάζουν μεγαλύτερες πλαστικές παραμορφώσεις εξαιτίας της πρώιμης διαρροής τους σε σχέση με τα χαλύβδινους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια) τα οποία καταπονούνται μόνο σε διάτμηση ή διάτμηση και θλίψη (χαλύβδινος σύνδεσμος στο αριστερό τμήμα του σχήματος 5.10).

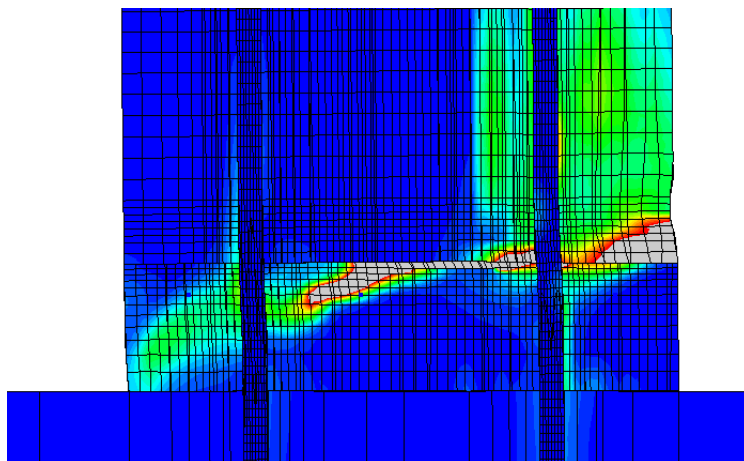


Σχήμα 5.9: Ρηγματώσεις σκυροδέματος κατά τη διάρκεια της φόρτισης

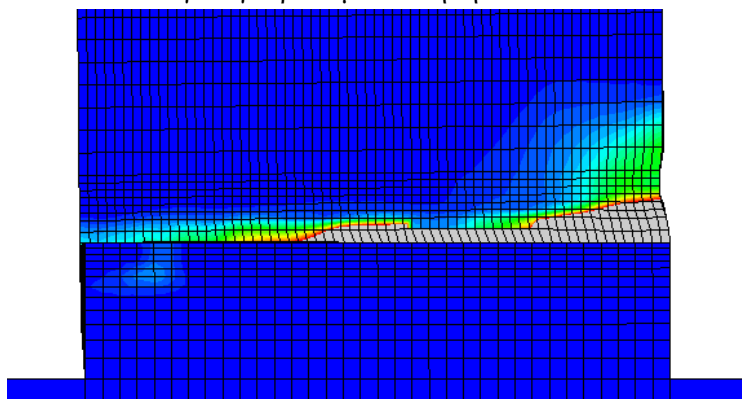


Σχήμα 5.10: Μόνιμες παραμορφώσεις βλήτρων μετά το πέρας της φόρτισης (πειραματική εικόνα και αριθμητική πρόβλεψη).

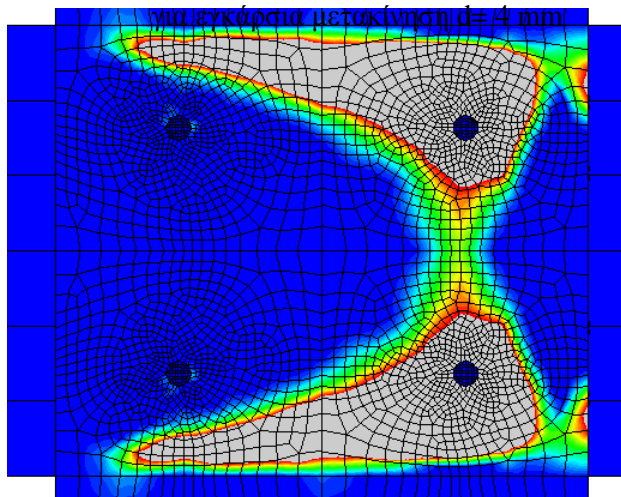
Η επιρροή της ταυτόχρονης ύπαρξης θλίψης ή εφελκυσμού στη δομική απόκριση του υπό μελέτη συστήματος φαίνεται στο σχήμα 5.8, όπου, όπως αναμένεται, η ταυτόχρονη παρουσία θλίψης μαζί με την εγκάρσια φόρτιση δρα ευμενώς ως ένα βαθμό, αυξάνοντας τη δυσκαμψία και τη φέρουσα ικανότητα, ενώ η παρουσία εφελκυσμού μειώνει τη δυσκαμψία και τη φέρουσα ικανότητα λόγω πρώιμης αστοχίας του σκυροδέματος και επιταχύνοντας τη διαρροή του χάλυβα.



Σχήμα 5.11: Ρηγματώσεις σκυροδέματος κεντρικής διατομής (άξονας χαλύβδινων συνδέσμων) για εγκάρσια μετακίνηση $d=4$ mm



Σχήμα 5.12: Ρηγματώσεις σκυροδέματος στην πλάγια όψη του δοκίμιου για εγκάρσια μετακίνηση $d=4$ mm



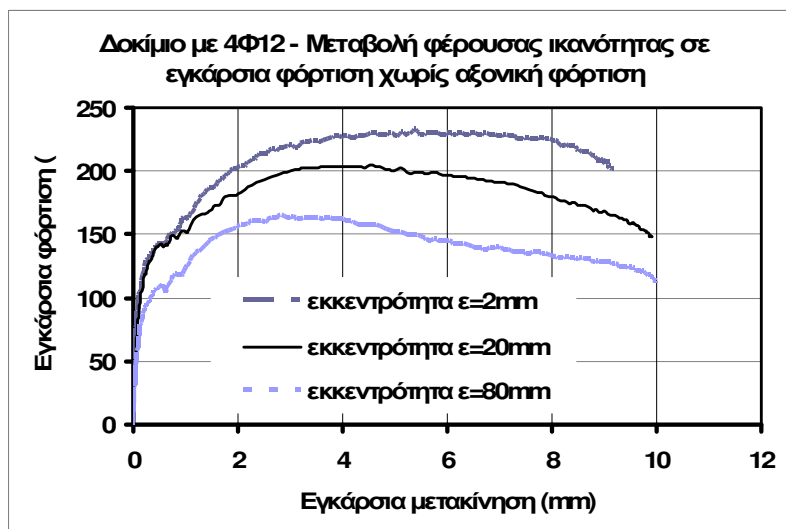
Σχήμα 5.13: Ρηγματώσεις σκυροδέματος διεπιφάνειας μανδύα-εμφαντώματος για φορτίο 30 KN (πρώτη ρηγμάτωση)

Στα σχήματα 5.11 και 5.12 παρουσιάζεται η εικόνα ρηγμάτωσης του σκυροδέματος του φορέα με εκκεντρότητα 20mm και χωρίς αξονική φόρτιση (πίνακας 5.1. 1^η αριθμητική προσομοίωση) για εγκάρσια μετακίνηση που αντιστοιχεί στο φορτίο αστοχίας. Στο σχήμα 5.11 απεικονίζεται η παραμορφωμένη εικόνα στη διατομή του δοκιμίου που διέρχεται από τον διαμήκη άξονα των χαλύβδινων συνδέσμων (βλήτρα-αγκύρια) ενώ το σχήμα 5.12 απεικονίζει την παραμορφωμένη εικόνα του δοκιμίου στην πλάγια όψη του, έτσι όπως προβλέπεται από την παρούσα αριθμητική προσομοίωση. Στο σχήμα 5.13 παρουσιάζεται η παραμορφωμένη εικόνα (ρηγμάτωση) της διεπιφάνειας εμφαντώματος-μανδουωμένου στύλου/δοκού για

εγκάρσια φόρτιση 30 KN. Το επίπεδο αυτό της εγκάρσιας φόρτισης προσεγγίζει ικανοποιητικά το αντίστοιχο επίπεδο της εγκάρσιας φόρτισης όπου παρατηρήθηκε η ρηγμάτωση της διεπιφάνειας κατά την πειραματική ακολουθία και η πτώση της φέρουσας ικανότητας στην περίπτωση απουσίας χαλύβδινων συνδέσμων (δες κεφάλαιο 3, δοκίμιο bare 18).

Επιρροή της εκκεντρότητας.

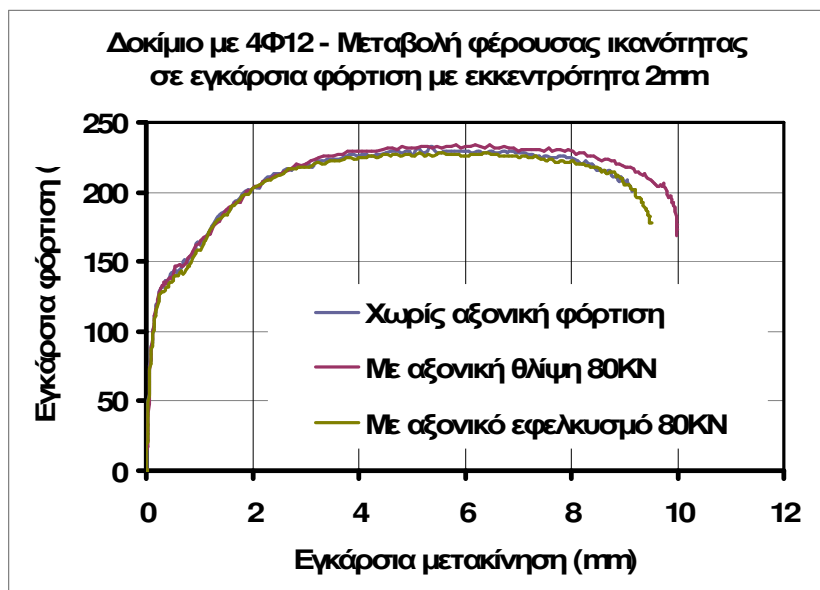
Στο σχήμα 5.14 παρουσιάζονται τα διαγράμματα της αριθμητικής πρόβλεψης της απόκρισης των προσομοιωμάτων 1, 4, 7 του πίνακα 5.1, σε όρους μεταβολής της εγκάρσιας δύναμης – εγκάρσιας μετακίνησης. Πρόκειται για προσομοιώματα με τιμές της εκκεντρότητας 2mm, 20mm και 80mm χωρίς την παρουσία αξονικής φόρτισης θλίψης ή εφελκυσμού. Από τα διαγράμματα αυτά προκύπτει η επιρροή της εκκεντρότητας στην φέρουσα ικανότητα όπως προβλέφθηκε από την παρούσα αριθμητική προσομοίωση. Όπως αναμένεται, η αύξηση της εκκεντρότητας συνεπάγεται μείωση τόσο στην αρχική δυσκαμψία, όσο και στην μέγιστη φέρουσα ικανότητα (φορτίο αστοχίας). Επίσης, η πτώση της φέρουσας ικανότητας (κατιών κλάδος) γίνεται εντονότερη για μεγαλύτερες τιμές της εκκεντρότητας της εγκάρσιας φόρτισης. Αυτό θα πρέπει να αποδοθεί στην ταυτόχρονη επενέργεια ροπής και τέμνουσας δύναμης στην διεπιφάνεια σύνδεσης που οδηγεί στην ταχύτερη διαρροή των εφελκούμενων βλήτρων, τα οποία πέραν από την δράση βλήτρου αναπτύσσουν και ταυτόχρονη λειτουργία αγκυρίου, και επομένως μειώνεται η δυνατότητά τους για ανάληψη μεγάλης τέμνουσας δύναμης. Από τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν προκύπτει αυτή η επιρροή της εκκεντρότητας της εγκάρσιας φόρτισης. Η μεταβολή της εκκεντρότητας από τα 2mm στα 80 mm οδηγεί σε πτώση της φέρουσας ικανότητας κατά 30%. Όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 5.2 στήλη 5, η πρόβλεψη της φέρουσας ικανότητας με εκκεντρότητα 80mm από την σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ. είναι 10.5 μικρότερη από την πρόβλεψη φέρουσας ικανότητας χωρίς εκκεντρότητα. Η παρατήρηση αυτή υποδεικνύει και πάλι τον μεγάλο συντηρητισμό που ενέχει η σχετική μεθοδολογία του μειωτικού συντελεστή της σχέσεως 4.2, γεγονός που σχολιάστηκε και στην παράγραφο 4.1.1. (πίνακας 4.2).



Σχήμα 5.14: Επιρροή της εκκεντρότητας της εγκάρσιας φόρτισης στην αριθμητική πρόβλεψη της απόκρισης

Για την περίπτωση της ενδιάμεσης εκκεντρότητας ($e=20$ mm), που είναι και αυτή που υλοποιήθηκε σε όλα τα δοκίμια κατά την διάρκεια της φορτιστικής ακολουθίας, η μειωτική επιρροή της στην φέρουσα ικανότητά είναι της τάξεως του 12% ενώ η καμπύλη απόκρισης εγκάρσιας φόρτισης – εγκάρσιας μετακίνησης στην περίπτωση αυτή σχεδόν ταυτίζεται σε μεγάλο μέρος του αρχικού της κλάδου με την καμπύλη αμελητέας εκκεντρότητας ($e=2$ mm), την οποία και ακολουθεί πιστά μέχρι την έναρξη διαρροής των χαλύβδινων συνδέσμων. Ως εκ τούτου μπορεί να θεωρηθεί ότι η πειραματική διάταξη φόρτισης ($e=20$ mm) δίνει ελαφρώς συντηρητικά αποτελέσματα σε σχέση με την περίπτωση ύπαρξης μηδενικής εκκεντρότητας, χωρίς να μεταβάλλεται ουσιωδώς η συμπεριφορά του δοκιμίου. Η ύπαρξη εκκεντρότητας της τέμνουσας δύναμης, την οποία καλούνται να αναλάβουν χαλύβδινοι σύνδεσμοι σε πραγματικές κατασκευές πρέπει να λαμβάνεται υπόψη με έναν ρεαλιστικό τρόπο. Στην περίπτωση του προβλήματος της συμπεριφοράς των εμφαντωμάτων θα πρέπει να θεωρηθεί ότι η προσέγγισή του θέματος της

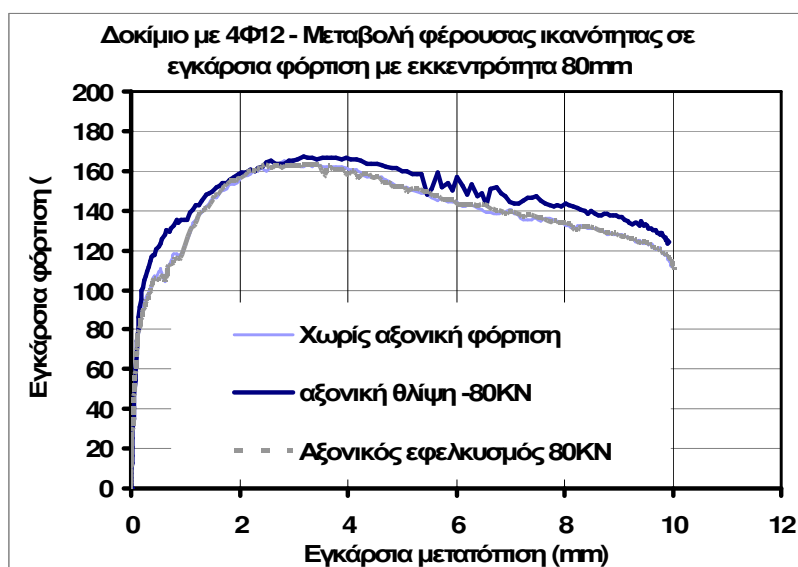
εκκεντρότητας της εγκάρσιας φόρτισης στους χαλύβδινους συνδέσμους εμφαντώματος περιβάλλοντος πλαισίου αντιμετωπίζεται ρεαλιστικά μέσω ενός αριθμητικού προσομοιώματος που προσεγγίζει την αλληλεπίδραση εμφαντώματος - περιβάλλοντος πλαισίου, όπου προσομοιώνονται οι σύνδεσμοι (βλήτρα-αγκύρια), με διακριτό τρόπο. Συνεπώς με τον τρόπο αυτό θα υπάρχουν αποτελέσματα για κάθε σύνδεσμο τόσο για την εγκάρσια ένταση του (δράση βλήτρου) όσο και για την αξονική ένταση του (δράση αγκυρίου).



Σχήμα 5.15: Διαγράμματα εγκάρσιας δύναμης – εγκάρσιας μετακίνησης για $e=2$ mm (μεταβολή αξονικής φόρτισης από -80KN έως +80KN)

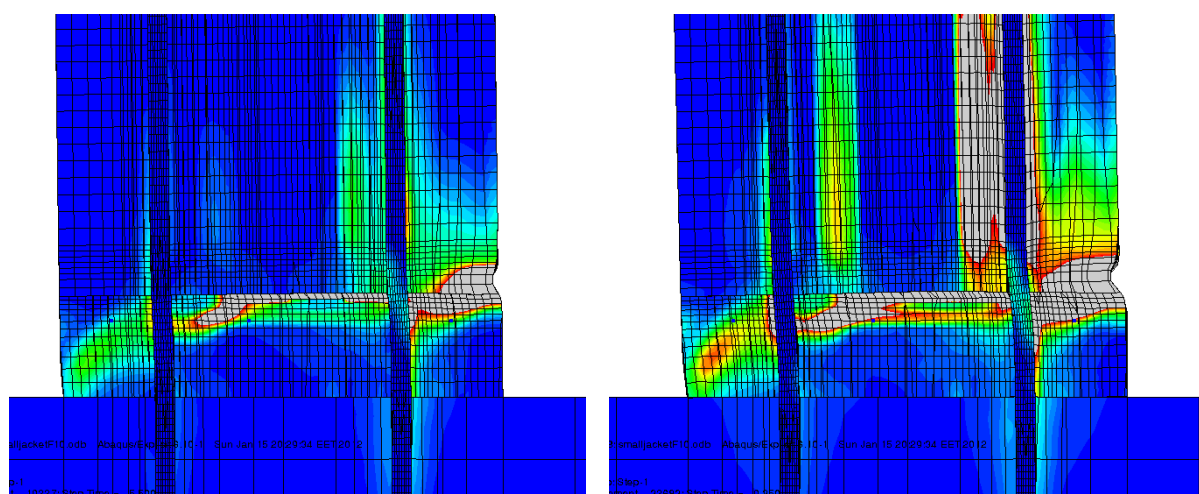
Επιρροή της αξονικής φόρτισης ταυτόχρονα με την εγκάρσια φόρτιση.

Στα σχήματα 5.15 και 5.16 παρουσιάζονται τα διαγράμματα εγκάρσιας δύναμης – εγκάρσιας μετακίνησης για ακραίες τιμές της εκκεντρότητας τις εγκάρσιας φόρτισης από αυτές που εξετάστηκαν, δηλαδή είτε $e=2$ mm (αριθμητικά προσομοιώματα 4, 5, 6, πίνακας 5.1.) είτε $e=80$ mm (αριθμητικά προσομοιώματα 7, 8, 9, πίνακας 5.1.). Στο σχήμα 5.15 αντιστοιχεί σε εκκεντρότητα $e=2$ mm ενώ στο σχήμα 5.16 σε εκκεντρότητα $e=80$ mm. Σε κάθε ομάδα προσομοιώσεων εξετάζεται η απόκριση για τις διάφορες περιπτώσεις ύπαρξης αξονικής φόρτισης είτε εφελκυσμού είτε θλίψης, δηλαδή αξονικής φόρτισης με εφελκυσμό 80KN, είτε μηδενικής αξονικής φόρτισης, είτε αξονικής φόρτισης θλίψης 80KN, ενώ η εκκεντρότητα και στις τρεις περιπτώσεις παραμένει σταθερή. Όπως σχολιάστηκε στη προηγούμενη παράγραφο, η παρούσα αριθμητική διερεύνηση κατέδειξε ότι η μεταβολή της εκκεντρότητας επηρεάζει σε κάποιο ποσοστό (μέχρι 30% για εκκεντρότητα 80mm) την μέγιστη φέρουσα ικανότητα. Από τα σχήματα 5.15 και 5.16 συνάγεται ότι, η τυχόν ύπαρξης αξονικής φόρτισης (εφελκυσμού ή θλίψης στο εύρος των 80KN που διερευνήθηκε) ταυτόχρονα με την εγκάρσια φόρτιση, έχει σχετικά μικρή επιρροή στην απόκριση βλήτρου-αγκυρίου. Αυτό συμβαίνει, επειδή, για την περίπτωση ύπαρξης σημαντικής εκκεντρότητας ($e=80$ mm), οι εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται στους συνδέσμους εξ αυτού του λόγου είναι σημαντικά υψηλότερες από τις αντίστοιχες ορθές τάσεις λόγω ύπαρξης αξονικής φόρτισης θλίψης ή εφελκυσμού 80 KN. Ως εκ τούτου η επιρροή ύπαρξης ταυτόχρονου αξονική φορτίου στην περίπτωση αυτή δεν είναι σημαντική. Αντίθετα, για την περίπτωση αμελητέας εκκεντρότητας δεν δημιουργούνται σημαντικές ορθές τάσεις λόγω εκκεντρότητας. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται αξονική φόρτιση υψηλότερου επιπέδου από τα 80KN για να δημιουργήσει σημαντική διαφοροποίηση στην απόκριση. Η περίπτωση της εκκεντρότητας των 20mm αποτελεί μια ενδιάμεση κατάσταση που συνδυασμένη με ταυτόχρονη αξονική φόρτιση 50KN (δες κεφάλαιο 3) αναμένεται να έχει μια μικρή επιρροή στην φέρουσα ικανότητα. Αυτή η επιρροή αποτιμήθηκε στην παράγραφο 4.1.2. μαζί με την επιρροή της εκκεντρότητας.

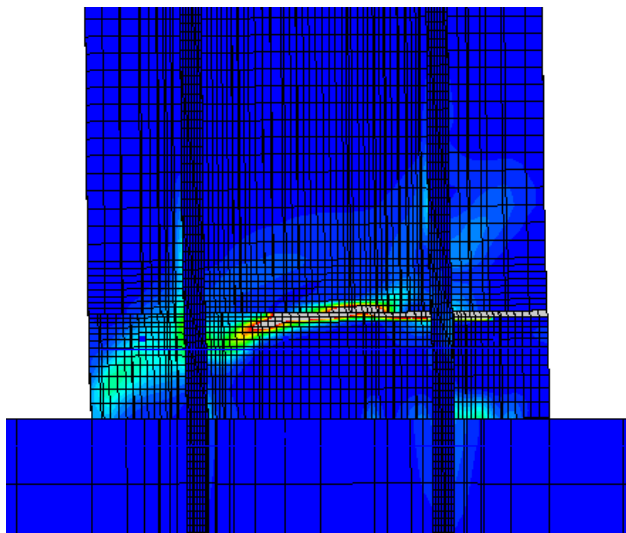


Σχήμα 5.16.: Διαγράμματα εγκάρσιας δύναμης – εγκάρσιας μετακίνησης για $e=80$ mm

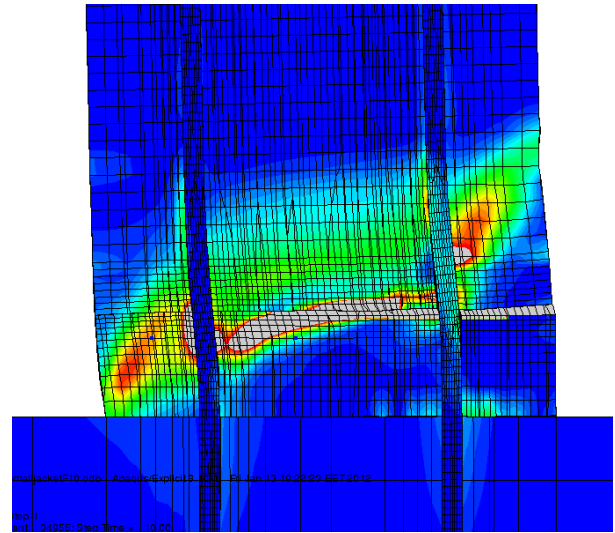
Οι προβλεπόμενες μορφές αστοχίας από την παρούσα αριθμητική προσομοίωση που αντιστοιχούν σε εκκεντρότητα $e=2$ mm και $e=80$ mm απεικονίζονται στα σχήματα 5.17 και 5.18 αντίστοιχα



Σχήμα 5.17. Κατανομή πλαστικών παραμορφώσεων όπως προβλέπονται από την παρούσα αριθμητική προσομοίωση για το δοκίμιο με εκκεντρότητα $e=2$ mm



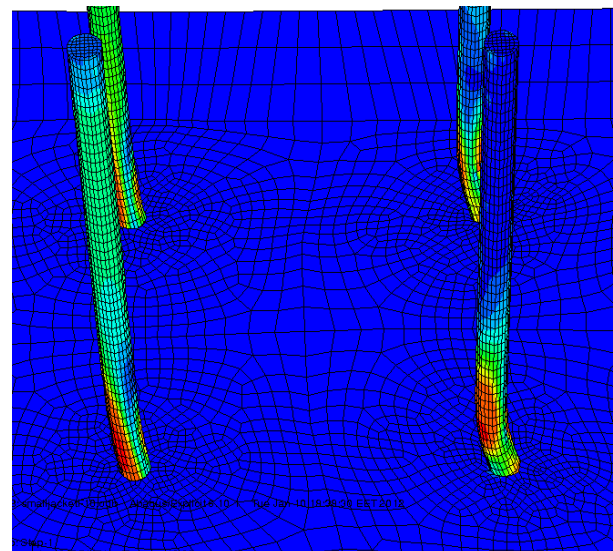
α) $d=2,8$ mm (μέγιστο φορτίο)



(β) $d= 10$ mm (πέρασ ανάλυσης)

Σχήμα 5.18. Κατανομή πλαστικών παραμορφώσεων όπως προβλέπονται από την παρούσα αριθμητική προσομοίωση για το δοκίμιο με εκκεντρότητα $e=80$ mm

Όπως φαίνεται από τα σχήματα 5.17 και 5.18 η αριθμητικά προβλεπόμενη μορφή αστοχίας για την εγκάρσια φόρτιση είναι η διάρρηξη και ολίσθηση της διεπιφάνειας σύνδεσης εμφαντώματος-στύλου/δοκού και η λειτουργία των συνδέσμων σε κυρίαρχη δράση βλήτρου για μικρές εκκεντρότητες της εγκάρσιας φόρτισης ή δράση βλήτρου και αγκυρίου για μεγάλες εκκεντρότητες της εγκάρσιας φόρτισης ή μέση εκκεντρότητα και μεγάλη αξονική φόρτιση ταυτόχρονα με την εγκάρσια φόρτιση. Η λειτουργία αυτή παρατηρήθηκε στην πειραματική ακολουθία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 3 και οδήγησε σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις μαζί με την διάρρηξη της διεπιφάνειας σε διαρροή και θραύση των χαλύβδινων συνδέσμων όπως προβλέφθηκε και από την παρούσα τρισδιάστατη αριθμητική προσομοίωση. Αυτή η μορφή οριακής κατάστασης των συνδέσμων είναι διάφορη της καθαρής διάτμησης μια και στην περιοχή της διεπιφάνειας μετά την διάρρηξή της αναπτύσσεται μια σύνθετη καμπτο-διατμητική συμπεριφορά (δες σχήματα 5.19^α και 5.19^β) που εξαρτάται από τις συνθήκες μονόπλευρης επαφής – σύνθλιψης του όγκου του περιβάλλοντος τον σύνδεσμο σκυροδέματος.



Σχήμα 5.19α και 5.19β Σύνθετη καμπτο-διατμητική συμπεριφορά των χαλύβδινων συνδέσμων

Συμπερασματικές παρατηρήσεις

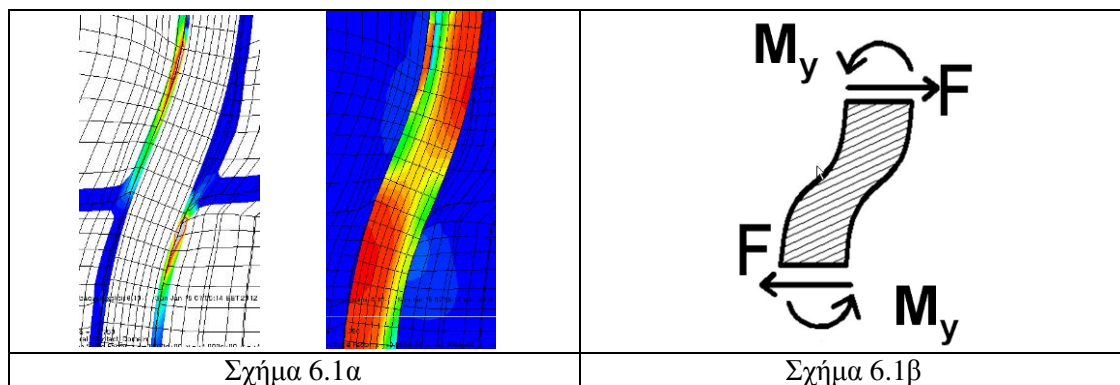
- Η αριθμητικά προβλεπόμενη μορφή αστοχίας για την εγκάρσια φόρτιση είναι η διάρρηξη και ολίσθηση της διεπιφάνειας σύνδεσης εμφαννώματος-στύλου/δοκού και η λειτουργία των συνδέσμων σε κυρίαρχη δράση βλήτρου για μικρές εκκεντρότητες της εγκάρσιας φόρτισης ή δράση βλήτρου και αγκυρίου για μεγάλες εκκεντρότητες της εγκάρσιας φόρτισης ή μέση εκκεντρότητα και μεγάλη αξονική φόρτιση ταυτόχρονα με την εγκάρσια φόρτιση. Η λειτουργία αυτή παρατηρήθηκε στην πειραματική ακολουθία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 3 και οδήγησε σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις μαζί με την διάρρηξη της διεπιφάνειας σε διαρροή και θραύση των χαλύβδινων συνδέσμων όπως προβλέφθηκε και από την παρούσα τρισδιάστατη αριθμητική προσομοίωση. Αυτή η μορφή οριακής κατάστασης των συνδέσμων είναι διάφορη της καθαρής διάτμησης μια και στην περιοχή της διεπιφάνειας μετά την διάρρηξή της αναπτύσσεται μια σύνθετη καμπτο-διατμητική συμπεριφορά που εξαρτάται από τις συνθήκες μονόπλευρης επαφής – σύνθλιψης του όγκου του

- Η μεταβολή της εκκεντρότητας επηρεάζει σε κάποιο ποσοστό (μέχρι 30% για εκκεντρότητα 80mm) την μέγιστη φέρουσα ικανότητα σε δράση βλήτρου. Επίσης συνάγεται ότι, η τυχόν ύπαρξης αξονικής φόρτισης (εφελκυσμού ή θλίψης στο εύρος των 80KN που διερευνήθηκε) ταυτόχρονα με την εγκάρσια φόρτιση, έχει σχετικά μικρή επιρροή στην απόκριση βλήτρου-αγκυρίου. Αυτό συμβαίνει, επειδή, για την περίπτωση ύπαρξης σημαντικής εκκεντρότητας ($e=80\text{ mm}$), οι εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται στους συνδέσμους εξ αυτού του λόγου είναι σημαντικά υψηλότερες από τις αντίστοιχες ορθές τάσεις λόγω ύπαρξης αξονικής φόρτισης θλίψης ή εφελκυσμού 80 KN. Ως εκ τούτου η επιρροή ύπαρξης ταυτόχρονου αξονική φορτίου στην περίπτωση αυτή δεν είναι σημαντική. Αντίθετα, για την περίπτωση αμελητέας εκκεντρότητας δεν δημιουργούνται σημαντικές ορθές τάσεις λόγω εκκεντρότητας.

ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΣΧΕΣΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΝΟΣ ΧΑΛΥΒΔΙΝΟΥ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΣΕ ΔΡΑΣΗ ΒΛΗΤΡΟΥ

6.1. Προτεινόμενη εμπειρική σχέση

Στα πλαίσια του παρόντος ερευνητικού προγράμματος, και με βάση το σύνολο των σχετικών πειραματικών μετρήσεων, αναπτύχθηκε μια εμπειρική σχέση που στόχο έχει την πρόβλεψη της διατμητικής συμπεριφοράς της σύνδεσης εμφανιζόμενου πλαισίου μανδουωμένου στύλου μέσω κεντρικών βλήτρων. Η σχέση που προτείνεται έχει ως μεταβλητές τη διάμετρο του βλήτρου d και την ποιότητά του χάλυβα του βλήτρου όπως αυτή εκφράζεται από το όριο διαρροής f_y . Η βάση της εν λόγω εμπειρικής σχέσης είναι ότι η φέρουσα ικανότητα σε τέμνουσα της διατομής του βλήτρου έχει ως οριακή κατάσταση την πλαστικοποίηση της διατομής του βλήτρου όπως φαίνεται στα σχήματα 6.1^α και 6.1.β. Αυτή η εμπειρική σχέση βασίζεται στο ότι η συμπεριφορά του συνδέσμου δεν είναι καθαρή διάτμηση αλλά μια σύνθετη καμπτο-διατμητική συμπεριφορά που εξαρτάται από τις συνθήκες μονόπλευρης επαφής – σύνθλιψης του όγκου του περιβάλλοντος τον σύνδεσμο σκυροδέματος, όπως φαίνεται στα σχήματα 6.1α και 6.1β. Ως οριακή κατάσταση λαμβάνεται αυτή που αντιστοιχεί στο ότι μια διατομή του βλήτρου στο τμήμα πάνω από την διεπιφάνεια σύνδεσης-ολίσθησης αναπτύσσει πλαστική οριακή ροπή (M_y) με βάση το όριο διαρροής f_y του υλικού του χαλύβδινου συνδέσμου (βλήτρο-αγκύριο). Ομοίως, υπάρχει και μια αντίστοιχη διατομή του χαλύβδινου συνδέσμου στο τμήμα του κάτω από την διεπιφάνεια σύνδεσης-ολίσθησης όπου επίσης αναπτύσσεται πλαστική οριακή ροπή (M_y) με βάση το όριο διαρροής f_y του υλικού του χαλύβδινου συνδέσμου (βλήτρο-αγκύριο). Η μορφή αυτή της πλαστικοποίησης του χαλύβδινου συνδέσμου στην περιοχή της διεπιφάνειας διάρρηξης (τριβής-ολίσθησης) κατά την δράση βλήτρου επιβεβαιώθηκε από την τρισδιάστατη αριθμητική διερεύνηση που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 5. Η φέρουσα ικανότητα του χαλύβδινου συνδέσμου σε δράση βλήτρου, $F(\delta)$, που εκτιμάται επί τη βάση της ανωτέρω υπόθεσης υπολογίζεται μέσω μιας εμπειρικής σχέσης που θα παρουσιαστεί στην συνέχεια. Η εμπειρική αυτή σχέση μορφοποιήθηκε αφενός με βάση αυτήν την μορφή οριακής κατάστασης του συνδέσμου σε δράση βλήτρου αφετέρου μέσω των αποτελεσμάτων της πειραματικής ακολουθίας του κεφαλαίου 3.



Σχήμα 6.1α

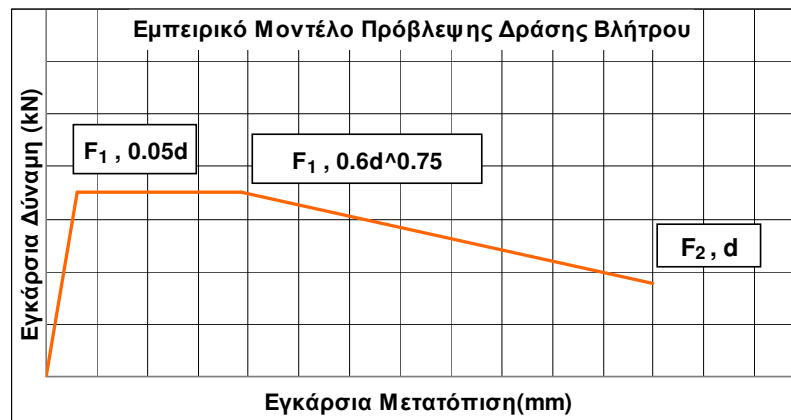
Σχήμα 6.1β

Ακολουθεί η περιγραφή της εν λόγω εμπειρικής σχέσης που περιγράφει για έναν (1) χαλύβδινο σύνδεσμο την μεταβολή της εγκάρσιας δύναμης $F(\delta)$ που παραλαμβάνει συναρτήσει της εγκάρσιας μετακίνησής του δ .

Η μέγιστη φέρουσα ικανότητα του συνδέσμου σε εγκάρσια δύναμη δίδεται από την σχέση που 6.1 και θα πρέπει να είναι μικρότερη του άνω ορίου που ορίζεται όπως και στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. ([45] παράγραφος 6.1.2)

$$F_1 = 2.38 \cdot 10^{-3} \cdot f_y \cdot d^{1.4} < A_s f_y / \sqrt{3} \quad (6.1)$$

Η πλήρης μεταβολή της εγκάρσιας δύναμης ενός χαλύβδινου συνδέσμου συναρτήσει της εγκάρσιας μετατόπισής του δίδεται σχηματικά στο σχήμα καθώς και από το σύνολο των σχέσεων 5.2 που ακολουθούν (όπου $F_2 = 0.5 F_1$).



Σχήμα 6.2. Μεταβολή της εγκάρσιας δύναμης μέσω της μεταβολής της εγκάρσιας μετατόπισης επί τη βάση της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης για την περιγραφή της συμπεριφοράς χαλύβδινου συνδέσμου σε δράση βλήτρου.

$$F(\delta) = (4.76 \cdot 10^{-2} \cdot f_y \cdot d^{0.4}) \cdot \delta \text{ για μετακίνηση } (0, 0.05d)$$

$$F(\delta) = 2.38 \cdot 10^{-3} \cdot f_y \cdot d^{1.4} \text{ για μετακίνηση } (0.05d, 0.6d^{0.75})$$

$$F(\delta) = \frac{2.38 \cdot f_y \cdot d^{1.4}}{2000 \cdot (0.6 - d^{0.25})} \left[0.6 - 2 \cdot d^{0.25} + d^{0.25} \frac{\delta}{d} \right] \text{ για μετακίνηση } (0.6d^{0.75}, d)$$

Σχέση 6.2.

Όπου **d** είναι η διάμετρος του βλήτρου σε mm

f_y είναι το όριο διαρροής του βλήτρου σε Mpa

δ είναι η εγκάρσια μετακίνηση του βλήτρου κάθετα στον άξονά του σε mm

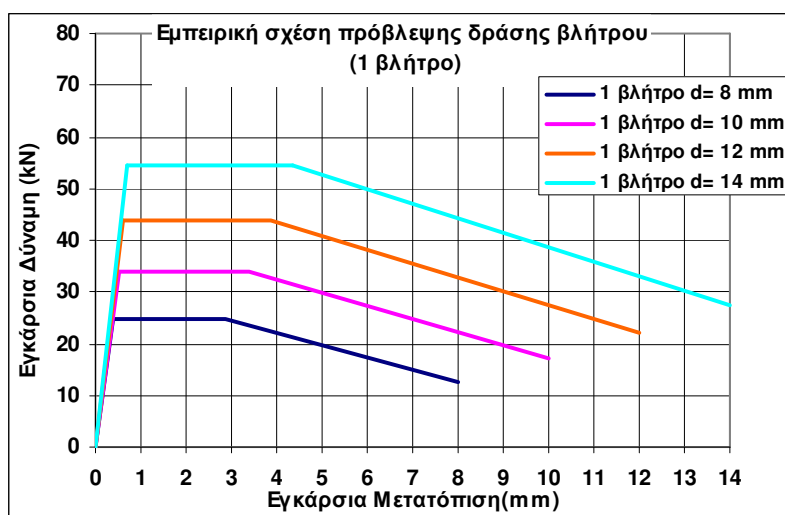
F(δ) είναι η εγκάρσια δύναμη που παραλαμβάνεται από το βλήτρο κάθετα στον άξονά του σε kN και δίδεται από τις ανωτέρω εκφράσεις ως συνάρτηση της εγκάρσιας μετακίνησης δ.

Η παραπάνω σχέση 6.2 αντιστοιχεί σε ένα τρι-γραμμικό μοντέλο εγκάρσιας δύναμης (F) – εγκάρσιας μετακίνησης (δ) του χαλύβδινου συνδέσμου σε δράση βλήτρου με τρεις διακριτούς κλάδους ανάλογα με το επίπεδο της διατμητικής μετακίνησης (δ). Ο πρώτος κλάδος είναι γραμμικά ελαστικός ανιών κλάδος που καθορίζει και την αρχική δυσκαμψία. Ο 2^{ος} κλάδος είναι ελαστο-πλαστικός που εκκινεί από το σημείο που ο χαλύβδινος σύνδεσμος πλαστικοποιείται εμφανίζοντας ταυτόχρονα την μέγιστη φέρουσα ικανότητα του (F₁). Ο τρίτος κλάδος είναι ένας φθίνων ανελαστικός κλάδος που εκκινεί για δ=0.6 d^{0.75} για την μέγιστη φέρουσα ικανότητα σε δράση βλήτρου και φθάνει μέχρι εγκάρσια μετακίνηση ίση με την διάμετρο του χαλύβδινου συνδέσμου (δ= d) όπου η αναλαμβανόμενη εγκάρσια δύναμη είναι το 50% της μέγιστης φέρουσας ικανότητας (F₂ = 0.5F₁). Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι η συνολική φέρουσα ικανότητα για περισσότερους από έναν συνδέσμους δίδεται πολλαπλασιάζοντας το αποτέλεσμα της εμπειρικής σχέσης, που αναφέρεται σε έναν σύνδεσμο, επί τον αριθμό των συνδέσμων.

6.2. Σύγκριση με τα πειραματικά αποτελέσματα.

Στο σχήμα 6.3. απεικονίζεται η μεταβολή της εγκάρσιας δύναμης μέσω της μεταβολής της εγκάρσιας μετατόπισης επί τη βάση της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης για την περιγραφή της συμπεριφοράς σε δράση βλήτρου χαλύβδινων συνδέσμων Φ8, Φ10, Φ12, Φ14, που χρησιμοποιήθηκαν στο κεφάλαιο 3.

Ακολούθως πραγματοποιήθηκε η σύγκριση των αποτελεσμάτων της ως άνω εμπειρικής σχέσης με τα αντίστοιχα πειραματικά αποτελέσματα που έχουν αναχθεί σε ένα χαλύβδινο σύνδεσμο για τις διαμέτρους που έχουν εξετασθεί. Στην εμπειρική σχέση χρησιμοποιείται η τιμή του μετρημένου ορίου διαρροής **f_y^{act}** = 570 Mpa. Αυτά τα πειραματικά αποτελέσματα συγκρίνονται στα σχήματα 6.4. μέχρι 6.7 που ακολουθούν με τις προβλέψεις της προτεινόμενης εμπειρικής μοντέλου σχέσης.



Σχήμα 6.3. Απεικόνιση της συμπεριφοράς σε δράση βλήτρου των χαλύβδινων συνδέσμων Φ8, Φ10, Φ12, Φ14 επί τη βάση της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης

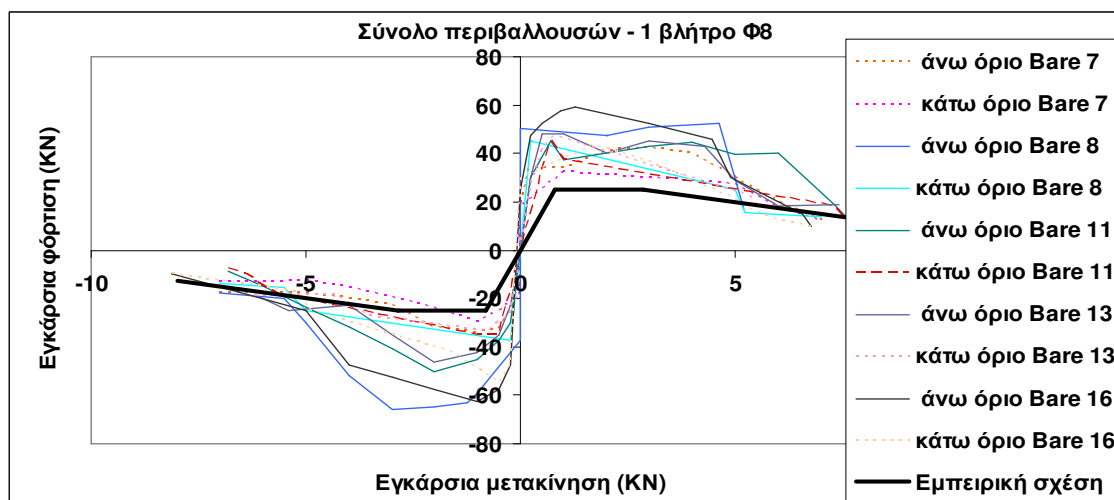
Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι οι εν λόγω συγκρίσεις αφορούν τις συγκεκριμένες συνθήκες της πειραματικής ακολουθίας που ήδη έχουν αναφερθεί αλλά επαναλαμβάνονται εδώ συνοπτικά.

α1) Ποιότητα σκυροδέματος C20, και χαλύβδινους συνδέσμους με νευρώσεις πραγματικού ορίου διαρροής $f_y^{act} = 570 \text{ Mpa}$.

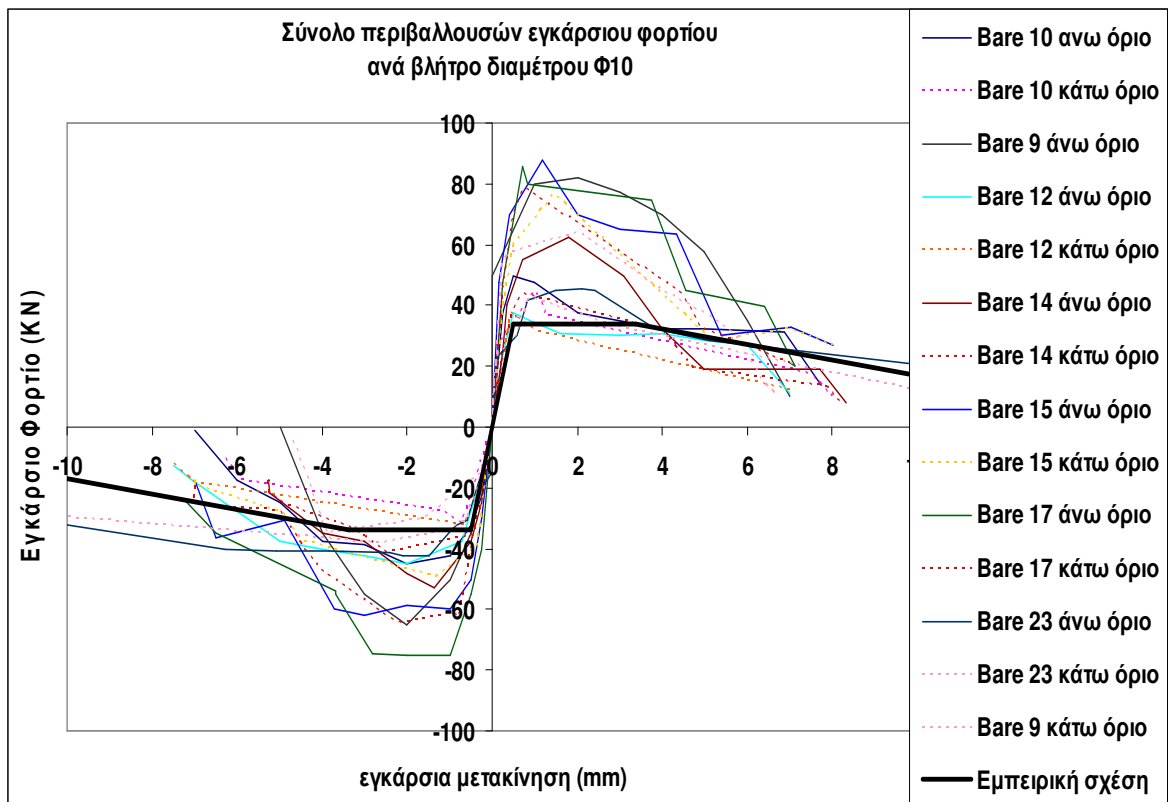
β1) Ακύρωση των χαλύβδινων συνδέσμων σε ικανό βάθος και αποτροπή του σεναρίου της εξόλεκευσής τους. Για όλα τα βλήτρα χρησιμοποιήθηκε για την αγκύρωσή τους η ρητίνη “Anchor Fix Sika” (δες παράγραφο 2.1.1).

γ1) Τήρηση όλων των ελάχιστων αποστάσεων ενός συνδέσμου (βλήτρου-αγκυρίου) από τα όρια, όπως ορίζονται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (6.1.2.2β, σχήμα 6.6) και αποτροπή των σεναρίων θραύσης τμημάτων του γειτνιάζοντος όγκου σκυροδέματος.

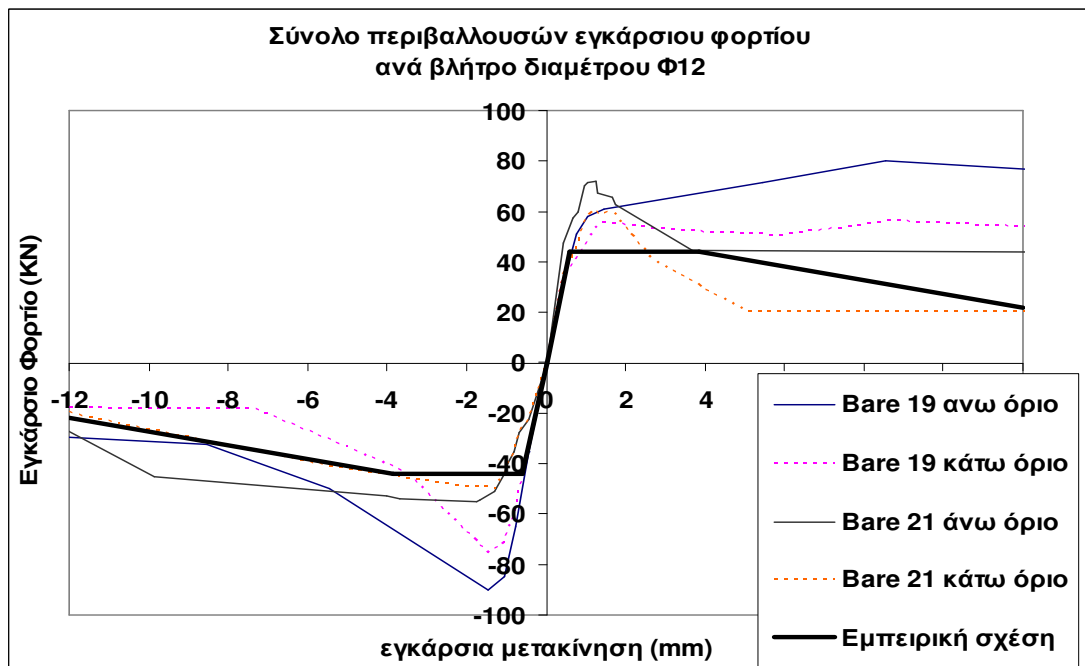
δ1) Χαλύβδini σύνδεσμοι Ø8, Ø10, Ø12, και Ø14 δηλαδή με μέγιστη διάμετρο 14mm. Αντίστοιχα ποσοστά οπλισμού που κυμαίνονται από 0.19% (2 Ø8) έως 1.18% (2 Ø14)



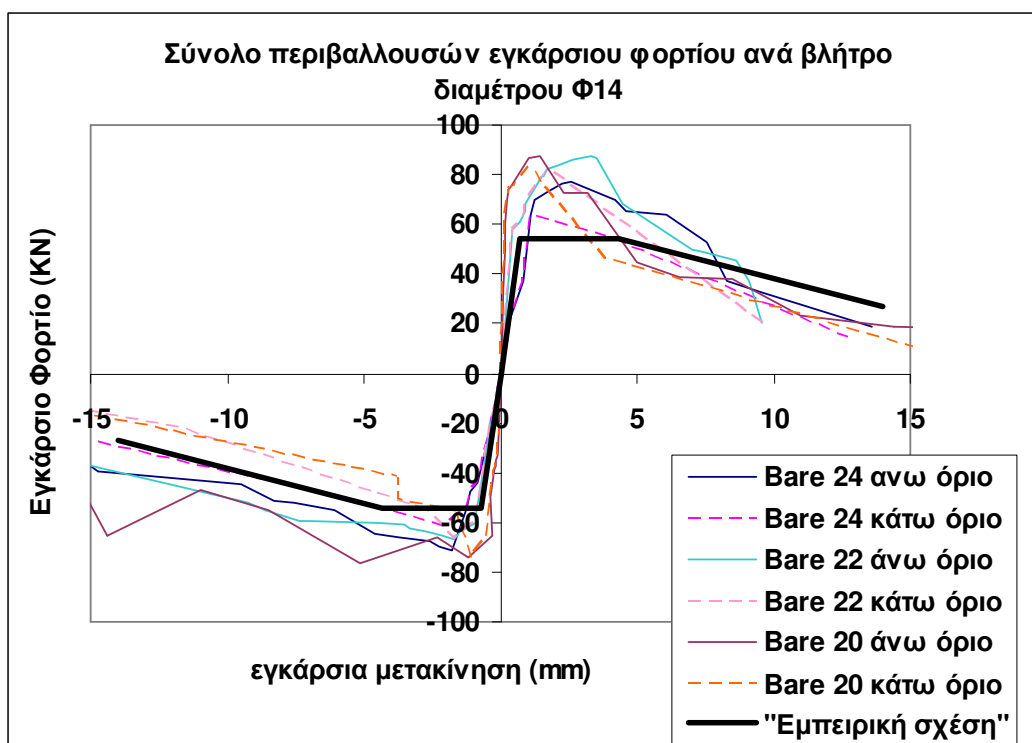
Σχήμα 6.4. Σύγκριση των αποτελεσμάτων της ως άνω εμπειρικής σχέσης με τα αντίστοιχα πειραματικά αποτελέσματα για τον χαλύβδινο σύνδεσμο Ø8



Σχήμα 6.5. Σύγκριση των αποτελεσμάτων της ως άνω εμπειρικής σχέσης με τα αντίστοιχα πειραματικά αποτελέσματα για τον χαλύβδινο σύνδεσμο Ø10



Σχήμα 6.6. Σύγκριση των αποτελεσμάτων της ως άνω εμπειρικής σχέσης με τα αντίστοιχα πειραματικά αποτελέσματα για τον χαλύβδινο σύνδεσμο Ø12



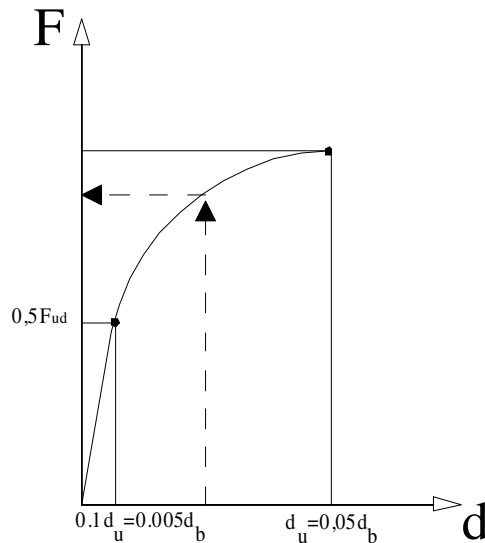
Σχήμα 6.7. Σύγκριση των αποτελεσμάτων της ως άνω εμπειρικής σχέσης με τα αντίστοιχα πειραματικά αποτελέσματα για τον χαλύβδινο σύνδεσμο Ø14.

Όπως βλέπουμε από την σύγκριση των αποτελεσμάτων της εμπειρικής σχέσης 6.2. με τα αντίστοιχα πειραματικά αποτελέσματα για έναν χαλύβδινο σύνδεσμο με διαμέτρους Ø8, Ø10, Ø12 ή Ø14 οι προβλέψεις της φέρουσας ικανότητας σε δράση βλήτρου αποτελούν μια ικανοποιητική προσέγγιση της μετρημένης πειραματικής συμπεριφοράς. Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι, όπως παρουσιάστηκε στην παράγραφο 3.6, στα σχήματα 6.4 έως 6.7 απεικονίζονται οι περιβάλλουσες καμπύλες που αντιστοιχούν στην μέγιστη καταγεγραμμένη δύναμη (άνω όριο) καθώς και αντίστοιχες πρόσθετες περιβάλλουσες καμπύλες (κάτω όριο) που αντανakλούν την μετρηθείσα πτώση της φέρουσας ικανότητας στους τρεις επάλληλους κύκλους του αυτού εύρους εγκάρσιας καταναγκασμένης μετατόπισης. Με βάση αυτό το σκεπτικό, η προτεινόμενη εμπειρική σχέση καλύπτει με ικανοποιητικό τρόπο την πτώση της φέρουσας ικανότητας από τις επάλληλες ανακυκλήσεις της φόρτισης αφού στην πλειοψηφία τους τα πειραματικά αποτελέσματα είναι μεγαλύτερα από τις προβλέψεις της εμπειρικής σχέσης. Σε λίγες περιπτώσεις οι τιμές των περιβαλλουσών «κάτω ορίου» των πειραματικών αποτελεσμάτων είναι λίγο μικρότερες από τις προβλέψεις της εμπειρικής σχέσης για σχετικά μεγάλες εγκάρσιες μετακινήσεις. Συνεπώς, οι προβλέψεις της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης θα πρέπει να θεωρούνται ως ασφαλείς για την περιγραφή της ανακυκλιζόμενης συμπεριφοράς χαλύβδινων συνδέσμων σε δράση βλήτρου με τον όρο ότι καλύπτονται όλες οι προϋποθέσεις αναφορικά με την αποτροπή άλλων μορφών αστοχίας που θα επέφεραν δραστηκή πτώση της φέρουσας ικανότητας. Επιπρόσθετα, όπως ήδη αναφέρθηκε, το πεδίο ισχύος της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης είναι περιβάλλον που αντιστοιχεί στις συνθήκες που εκτελέστηκε η πειραματική ακολουθία και περιγράφηκαν συνοπτικά από τις προτάσεις α1 έως δ1 προηγούμενων.

6.3. Σύγκριση με την μέγιστη διατμητική φόρτιση - μετακίνηση των βλήτρων βάση ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Η σύγκριση εδώ γίνεται με βάση την σχετική διάταξη στον εν λόγω κανονισμό (ΚΑΝ.ΕΠΕ. 6.1.1.2δ) που αναφέρεται στην μέγιστη επιστρατευμένη μετακίνηση την οποία ορίζει ίση με $du = 0.05d_b$. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα η μετακίνηση αυτή να είναι από 0,4mm έως 0,7mm για τις διαμέτρους από Ø8 έως Ø14. Η σχετική εμπειρική σχέση που συνδέει την μεταβολή της εγκάρσιας μετακίνησης d με την αντίστοιχη εγκάρσια δύναμη F_d δίδεται κατωτέρω με την αντίστοιχη γραφική παράσταση του σχήματος 6.8. Στην εν λόγω εμπειρική σχέση η παράμετρος F_{ud} αντιπροσωπεύει την φέρουσα ικανότητα του χαλύβδινου συνδέσμου σε δράση βλήτρου, όπως έχει ήδη παρατεθεί με την εξίσωση 4.1. στο κεφάλαιο 4. Η γραφική παράσταση που παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα 6.8 προκύπτει από τη σχέση που ακολουθεί:

$$d = 0,1d_u + 1,80d_u \left[\left(\frac{F_d}{F_{ud}} \right)^4 - 0,5 \left(\frac{F_d}{F_{ud}} \right)^3 \right]. \quad \text{Σχέση 6.3}$$

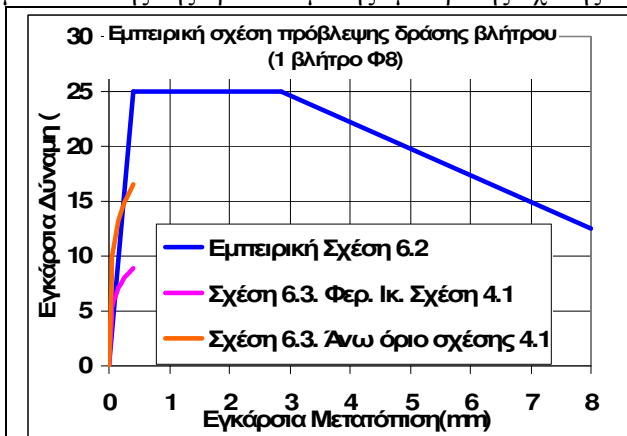


Σχήμα 6.8. Διάγραμμα διατμητικής δύναμης – μετακίνησης βλήτρου κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.

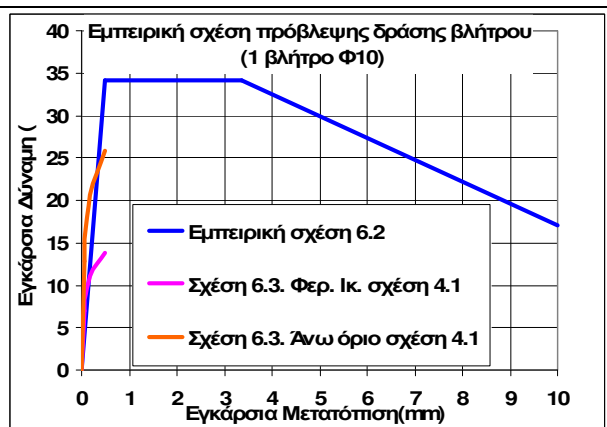
Η σχέση 6.3 χρησιμοποιήθηκε για να υπολογισθεί βάση αυτής η μεταβολή της εγκάρσιας μετακίνησης d με την αντίστοιχη εγκάρσια δύναμη F_d για τους χαλύβδινους συνδέσμους Ø8, Ø10, Ø12 ή Ø14. Ως τιμή της F_{ud} χρησιμοποιήθηκε εναλλακτικά είτε η φέρουσα ικανότητα σε δράση βλήτρου του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. [45] παράγραφος 6.1.2. και σχέση 4.1. κεφάλαιο 4 της παρούσης έκθεσης) είτε το άνω όριο της ίδιας σχέσης 4.1. που παρατίθεται εκ νέου εδώ.

$$F_{ud} = 1,30d_b^2 \sqrt{f_{cd} f_{yd}} \leq \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (\text{σχέση 4.1}) \quad \text{χωρίς εκκεντρότητα,}$$

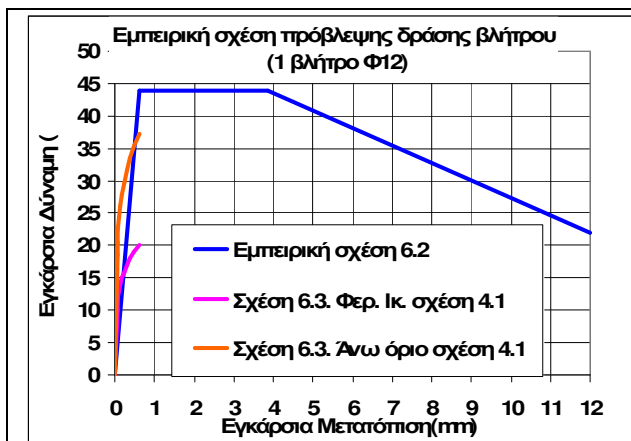
Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της σχέσης 4.1 με τις δύο εναλλακτικές τιμές της F_{ud} παρουσιάζονται στα σχήματα συγκρινόμενες με τα αντίστοιχα διαγράμματα μεταβολής εγκάρσιας δύναμης – εγκάρσιας μετατόπισης της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης 6.2.



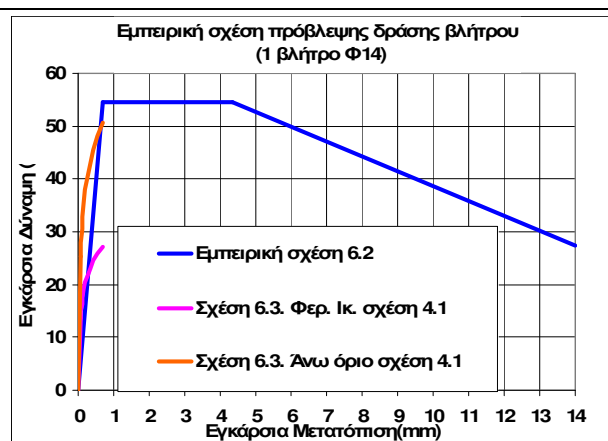
Σχήμα 6.9. Διαγράμματα μεταβολής εγκάρσιας δύναμης – εγκάρσιας μετατόπισης της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης 6.2 και 6.3 για χαλύβδινο σύνδεσμο Φ8



Σχήμα 6.10. Διαγράμματα μεταβολής εγκάρσιας δύναμης – εγκάρσιας μετατόπισης της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης 6.2 και 6.3 για χαλύβδινο σύνδεσμο Φ10



Σχήμα 6.11. Διαγράμματα μεταβολής εγκάρσιας δύναμης – εγκάρσιας μετατόπισης της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης 6.2 και 6.3 για χαλύβδινο σύνδεσμο Φ12



Σχήμα 6.12. Διαγράμματα μεταβολής εγκάρσιας δύναμης – εγκάρσιας μετατόπισης της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης 6.2 και 6.3 για χαλύβδινο σύνδεσμο Φ14

Από την σύγκριση των ανωτέρω διαγραμμάτων συνάγονται οι εξής συμπερασματικές παρατηρήσεις αναφορικά με την συμπεριφορά των χαλύβδινων συνδέσμων επί τη βάση των εμπειρικών σχέσεων υπολογισμού που λήφθηκαν υπόψη στην παρούσα διερεύνηση:

α1. Η δυσκαμψία του αρχικού κλάδου της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης 6.2, είναι παραπλήσια με την αντίστοιχη της σχέσης του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Όπως έχει ήδη αναφερθεί προηγουμένως η δυσκαμψία αυτή συγκρίνεται επίσης ικανοποιητικά με τις πειραματικές τιμές.

β1. Ο συντηρητισμός στην φέρουσα ικανότητα σε δράση βλήτρου της σχέσης του ΚΑΝ.ΕΠΕ. γίνεται και πάλι φανερός λαμβανομένου υπόψη ότι, βάση του προηγηθέντος σχολιασμού, η προτεινόμενη εμπειρική σχέση καλύπτει με ικανοποιητικό τρόπο την πτώση της φέρουσας ικανότητας από τις επάλληλες ανακυκλώσεις της φόρτισης αφού στην πλειοψηφία τους τα πειραματικά αποτελέσματα είναι μεγαλύτερα από τις προβλέψεις της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης 6.2.

γ1. Το ανωτέρω σχόλιο είναι επίσης σύμφωνο με τον αντίστοιχο σχετικό σχολιασμό του κεφαλαίου 4 ως προς τον συντηρητισμό των προβλέψεων των σχέσεων 4.1 και 4.2 του κεφαλαίου 4 της παρούσας έκθεσης που αναφέρονται στις αντίστοιχες σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

δ1. Η σχέση 6.3, δεν προβλέπει την πλαστική μεταελαστική συμπεριφορά στην δράση βλήτρου που παρατηρήθηκε πειραματικά και ενσωματώθηκε στην προτεινόμενη εμπειρική σχέση 6.2. Η μεταελαστική αυτή συμπεριφορά, μπορεί να είναι «χρήσιμη» στην αποδοτική απόκριση των χαλύβδινων συνδέσμων στον αντισεισμικό σχεδιασμό των εμφανωμένων πλαισίων. Όπως καταδεικνύεται από την παρούσα πειραματική ακολουθία, μέσω αυτής της ανελαστικής συμπεριφοράς καταναλώθηκε μέχρι και είκοσι (20) φορές περισσότερη ενέργεια κατά την ανακυκλιζόμενη φόρτιση μέσω κυρίως των χαλύβδινων συνδέσμων από ότι στα δοκίμια χωρίς τέτοιους συνδέσμους (δες πίνακες 3.4. και 3.5).

Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι οι εν λόγω συγκρίσεις αφορούν τις συγκεκριμένες συνθήκες της πειραματικής ακολουθίας που ήδη έχουν αναφερθεί αλλά επαναλαμβάνονται εδώ συνοπτικά.

- Ποιότητα σκυροδέματος C20, και χαλύβδινους συνδέσμους με νευρώσεις πραγματικού ορίου διαρροής $f_y^{act} = 570 \text{ Mpa}$.

- Ακύρωση των χαλύβδινων συνδέσμων σε ικανό βάθος και αποτροπή του σεναρίου της εξόλεκευσής τους. Για όλα τα βλήτρα χρησιμοποιήθηκε για την αγκύρωσή τους η ρητίνη “Anchor Fix Sika” (δες παράγραφο 2.1.1).

- Τήρηση όλων των ελάχιστων αποστάσεων ενός συνδέσμου (βλήτρου-αγκυρίου) από τα όρια, όπως ορίζονται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. και αποτροπή των σεναρίων θραύσης τμημάτων του γειτνιάζοντος όγκου σκυροδέματος ([45] παράγραφος 6.1.2.2β σχήμα 6.6).

- Χαλύβδini σύνδεσμοι Ø8, Ø10, Ø12, και Ø14 δηλαδή με μέγιστη διάμετρο 14mm. Αντίστοιχα ποσοστά οπλισμού που κυμαίνονται από 0.19% (2 Ø8) έως 1.18% (2 Ø14)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7°

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΙΣΤΥΛΩΝ-ΜΟΝΩΡΩΦΩΝ ΕΜΦΑΤΝΩΜΕΝΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΣΕ ΚΛΙΜΑΚΑ 1:3 ΠΟΥ ΥΠΟΒΑΛΛΟΝΤΑΙ ΣΕ ΑΝΑΚΥΚΛΙΖΟΜΕΝΗ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ ΦΟΡΤΙΣΗ.

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει η παρουσίαση της πειραματικής ακολουθίας και των αντιστοίχων αποτελεσμάτων που είχε σαν στόχο να διερευνήσει την συμπεριφορά ενός εμφατνωμένου πλαισίου σε κλίμακα 1:3, όπως θα περιγραφεί στη συνέχεια.

Αρχικά επιλέχθηκε ένα γυμνό πλαίσιο σε κλίμακα 1:3. Το γυμνό αυτό πλαίσιο δεν αντιπροσωπεύει επακριβώς ένα φυσικό ομοίωμα μιας πρωτότυπης κατασκευής που σχεδιάστηκε με ένα συγκεκριμένο κανονισμό. Αντίθετα, πρόκειται για ένα φυσικό ομοίωμα που αν οι διαστάσεις του αναχθούν στην πρωτότυπη γεωμετρική κλίμακα αντιστοιχούν σε ένα τυπικό πρωτότυπο φορέα ύψους 3m ανοίγματος 5m, με διαστάσεις της διατομής του ζυγώματος 465mm(ύψος) x 300mm(πλάτος) και διαστάσεις της διατομής των στύλων 330mm x 330 mm. Στις διαστάσεις της κλίμακας 1:3 το φυσικό ομοίωμα ήταν δυνατόν να κατασκευαστεί με πρωτότυπα υλικά, ως προς το σκυρόδεμα και τους οπλισμούς (δες παράγραφο 7.2.1). Η συμπεριφορά του φυσικού αυτού ομοιώματος, που ονομάζεται *Γυμνό -I*, μελετήθηκε κατ' επανάληψη στα πλαίσια προηγούμενης ερευνητικής προσπάθειας που είχε ως αντικείμενο τοιχοπληρωμένα πλαίσια [18-21,32,35,57]. Με τους διαμήκεις οπλισμούς των στύλων και των δοκών του εν λόγω πλαισίου (με την ταυτόχρονη επιβολή αξονικής δύναμης 50KN ανά στύλο) ο εν λόγω φορέας αναπτύσσει βλάβες στην κεφαλή και στον πόδα των στύλων καθώς και στις παρειές της δοκού. Επιπρόσθετα, με τους συνδετήρες των δοκών και των στύλων έγινε προσπάθεια να αποτραπεί η διατμητική τους αστοχία. Πρόκειται λοιπόν για ένα εύκαμπτο φορέα που αναπτύσσει για σχετικά μικρή οριζόντια δύναμη στο ζυγώμα του τα καμπτικά σενάρια αστοχίας που προαναφέρθηκαν στους στύλους και στις δοκούς του. Αποτελεί λοιπόν μια από τις περιπτώσεις για εφαρμογή εμφατνώματος ώστε να επαυξηθεί τόσο η δυσκαμψία του όσο και η φέρουσα ικανότητά του με ταυτόχρονη μανδύωση των υποστύλωμάτων του. Η γεωμετρία του φορέα επιτρέπει την προσαρμογή του στις φορτιστικές διατάξεις του εργαστηρίου και η φέρουσα ικανότητά του και μετά την εμφάτνωση, έτσι όπως προεκτιμήθηκε, είναι στα όρια των δυνατοτήτων της φορτιστικής διάταξης του εργαστηρίου. Οι ως άνω λόγοι, υπαγόρευαν και την επιλογή του εν λόγω φορέα. Η φόρτιση των 50KN ανά στύλο ακολουθήθηκε εδώ επαναλαμβάνοντας τη φορτιστική διαδικασία που ακολουθήθηκε στην προηγούμενη ερευνητική προσπάθεια.

Συνεπώς, ένας από τους στόχους της πειραματικής ακολουθίας ήταν να διερευνηθούν συγκεκριμένα σενάρια εμφάτνωσης ενός τέτοιου αρχικού φορέα με γνωστή συμπεριφορά κάτω από οριζόντιες ανακυκλιζόμενες «σεισμικού τύπου» φορτίσεις στο ζυγώμα του. Δηλαδή να μελετηθεί η επαύξηση της δυσκαμψίας και φέρουσας ικανότητας που μπορεί να προκύψουν από συγκεκριμένα σενάρια εμφάτνωσης ενός τέτοιου αρχικού φορέα.

Ένας δεύτερος στόχος είναι να μελετηθεί η αλληλεπίδραση που αναπτύσσεται ανάμεσα στο εμφάτνωμα και στο περιβάλλον πλαίσιο όταν εφαρμοστούν συγκεκριμένα σενάρια εμφάτνωσης ενός τέτοιου αρχικού φορέα

Ένας τρίτος στόχος είναι να μελετηθούν οι μορφές αστοχίας που αναπτύσσονται και να συσχετισθούν με το σενάριο εμφάτνωσης που εφαρμόζεται κατά περίπτωση και με την μεταβολή της δυσκαμψίας και της φέρουσας ικανότητας.

Τέλος, ο τελευταίος στόχος είναι να χρησιμοποιηθεί η μετρημένη πειραματικά συμπεριφορά ώστε να γίνει η κατά το δυνατόν αξιοποίησή της σε αριθμητική προσομοίωση του προβλήματος της εμφάτνωσης πλαισίου για να ελεγχθεί κατά πόσον μια τέτοια αριθμητική πρόβλεψη της συμπεριφοράς ενός εμφατνωμένου φορέα, όπως θα επιχειρηθεί στο κεφάλαιο 8, μπορεί να δώσει ρεαλιστικά αποτελέσματα.

Τα σενάρια εμφάτνωσης που διερευνήθηκαν ήταν τα εξής σενάρια εμφάτνωσης:

α) Στην προσθήκη απλού γεμίσματος, όπως περιγράφεται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Δηλαδή, στην περίπτωση προσθήκης απλού γεμίσματος, προβλέπεται η κατασκευή τοιχώματος από άοπλο ή οπλισμένο σκυρόδεμα αλλά δεν θεωρείται απαραίτητη η χρησιμοποίηση συνδέσμων μεταξύ του εμφατνώματος και των δομικών στοιχείων του περιβάλλοντος πλαισίου.

β) Στην 1^η υποπερίπτωση της τοιχωματοποίησης πλαισίων, όπως περιγράφεται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Δηλαδή για εμφατνώσεις πάχους μικρότερου ή ίσου με το πλάτος της δοκού και με σύνδεση του εμφατνώματος με το μανδυωμένο υποστύλωμα και την δοκό μέσω κατάλληλων κατασκευαστικών διατάξεων με χρήση βλήτρων/αγκυρίων (δες κεφάλαιο 1).

Με βάση τα δύο αυτά σενάρια εμφάντωσης εξετάστηκαν τα εξής δοκίμια:

1. Έγινε η προσθήκη εμφάντωσης πάχους 50mm απλού γεμίσματος από σκυρόδεμα στο δοκίμιο του αρχικού πλαισίου Γυμνό-1. Δηλαδή η εμφάντωση αυτή έγινε χωρίς καμιά ειδική σύνδεση με το περιβάλλον πλαίσιο πέραν της επαφής. Το δοκίμιο αυτό ονομάζεται στην συνέχεια **Εμφαντωμένο-1**.

2. Μετά το τέλος της πειραματικής ακολουθίας με το Εμφαντωμένο-1 απομακρύνθηκε η προηγούμενη απλή προσθήκη – εμφάντωση και πριν επιχειρηθεί νέα εμφάντωση, οι στύλοι του περιβάλλοντος πλαισίου μανδυνώθηκαν. Έτσι προέκυψε το μανδυνωμένο περιβάλλον πλαίσιο με την κωδική ονομασία **Μανδ.Γυμνό-1**. Και αυτό το περιβάλλον πλαίσιο, πριν εμφανιστεί μελετήθηκε ως προς την συμπεριφορά του κάτω από ανακυκλιζόμενη οριζόντια δύναμη στο ζύγωμά του ώστε να υπάρξει το απαιτούμενο επίπεδο αναφοράς ως προς την αρχική δυσκαμψία του μανδυνωμένου αυτού πλαισίου.

3. Έγινε η εμφάντωση του μανδυνωμένου αυτού πλαισίου με εμφάντωμα πάχους 50mm που ο κύριος όγκος του ήταν από άοπλο σκυρόδεμα, όπως και του δοκιμίου Εμφαντωμένο-1. Στην περίπτωση όμως αυτή χρησιμοποιήθηκαν χαλύβδινοι σύνδεσμοι για να συνδεθεί το εμφάντωμα με το περιβάλλον πλαίσιο. Η κωδική ονομασία αυτού του φορέα είναι **Εμφαντωμένο-2**. Παρά το γεγονός ότι ένας τέτοιος φορέας δεν θα υλοποιηθεί στην πράξη μελετάται εδώ για να αναδειχθούν τα προβλήματα στην συμπεριφορά του.

4. Μετά το τέλος της πειραματικής ακολουθίας με τον φορέα Εμφαντωμένο-2, το εμφάντωμα απομακρύνθηκε και το περιβάλλον πλαίσιο μελετήθηκε πειραματικά μόνο του ώστε να εξετασθεί η παραμένουσα δυσκαμψία και φέρουσα ικανότητά του μετά το πέρας μιας ολόκληρης φορτιστικής ακολουθίας ως τμήμα του φορέα Εμφαντωμένο-2. Για να γίνει διαχωρισμός των αποτελεσμάτων δόθηκε εδώ μια νέα κωδική ονομασία σε αυτό το περιβάλλον πλαίσιο. Ονομάστηκε δηλαδή **Μανδ.Γυμνό-1α**.

5. Πριν επαναχρησιμοποιηθεί το περιβάλλον μανδυνωμένο πλαίσιο επισκευάστηκε τοπικά και απετέλεσε τον φορέα με την κωδική ονομασία **Μανδ.Γυμνό-1β**. Το περιβάλλον αυτό πλαίσιο, πριν εμφανιστεί δεν μελετήθηκε ως προς την συμπεριφορά του κάτω από ανακυκλιζόμενη οριζόντια δύναμη στο ζύγωμά του. Θεωρείται ότι η συμπεριφορά του συμπίπτει με αυτή του δοκιμίου Μανδ.Γυμνό-1α.

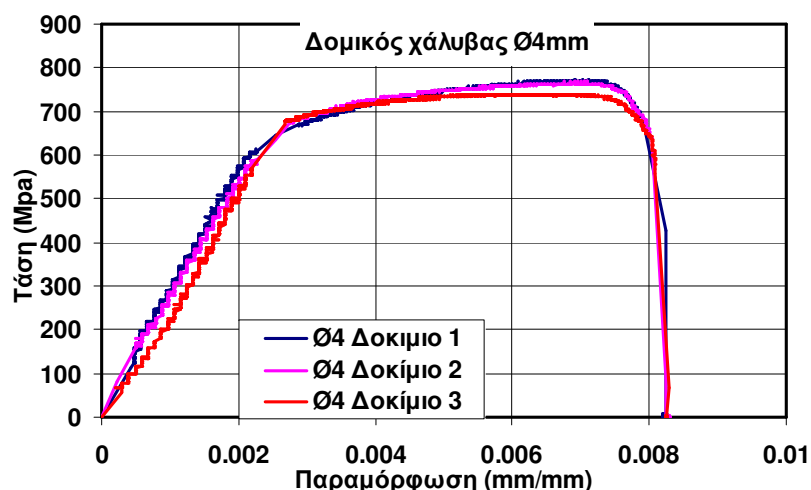
6. Έγινε η εμφάντωση του φορέα Μανδ.Γυμνό-1β. Αυτή την φορά, το εμφάντωμα από Ο/Σ ήταν μερικώς οπλισμένο με σχάρες Φ4/85mm, ενώ χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες συνδέσεις με το περιβάλλον πλαίσιο που χρησιμοποιήθηκαν και στο δοκίμιο Εμφαντωμένο-2. Η κωδική ονομασία του εμφαντωμένου αυτού πλαισίου είναι **Εμφαντωμένο-2α**.

7. Μετά το τέλος της πειραματικής ακολουθίας με τον φορέα Εμφαντωμένο-2α, το εμφάντωμα απομακρύνθηκε και το περιβάλλον πλαίσιο μελετήθηκε πειραματικά μόνο του ώστε να εξετασθεί η παραμένουσα δυσκαμψία και φέρουσα ικανότητά του μετά το πέρας μιας ολόκληρης φορτιστικής ακολουθίας ως τμήμα του φορέα Εμφαντωμένο-2α. Για να γίνει διαχωρισμός των αποτελεσμάτων δόθηκε εδώ μια νέα κωδική ονομασία σε αυτό το περιβάλλον πλαίσιο. Ονομάστηκε δηλαδή **Μανδ.Γυμνό-1γ**. Στον φορέα αυτόν στη συνέχεια έγινε μερική επισκευή στη κεφαλή και των πόδα των στύλων με αντικατάσταση του θραυσμένου σκυροδέματος και περιτύλιξη με λωρίδες ινοπλισμένου πολυμερούς (CFRP). Το δοκίμιο αυτό ονομάστηκε δηλαδή **Μανδ.Γυμνό-1δ**.

Για κάθε ένα από τους ανωτέρω φορείς διενεργήθηκαν περισσότερες από μια σειρά κύκλων φόρτισης (δες παράγραφο 7.1). Η κάθε σειρά από αυτούς τους κύκλους φόρτισης έχει για το ίδιο δοκίμιο την κωδική ονομασία **Δοκιμή i**. Όπου **i** είναι ένας αριθμός που βαίνει αυξανόμενος και χαρακτηρίζει την καταγεγραμμένη απόκριση του δοκιμίου και τις βλάβες του για μια συγκεκριμένη σειρά κύκλων φόρτισης του εν λόγω δοκιμίου.

Μηχανικά χαρακτηριστικά των εμφαντωμάτων.

Για όλα τα εμφαντώματα το πάχος ήταν το ίδιο ίσο με 50mm. η ποιότητα του σκυροδέματος με μέση τιμή της θλιπτικής αντοχής 22MPa. Στο οπλισμένο εμφάντωμα του δοκιμίου Εμφαντωμένο-2α χρησιμοποιήθηκε απλή σχάρα οπλισμών με νευρώσεις διαμέτρου 4mm, που αντιστοιχεί σε ποσοστό οπλισμού 0.3%. Η τάση διαρροής αυτών των οπλισμών, όπως μπορεί να εκτιμηθεί από σχετικά πειράματα εφελκυσμού (δες σχήμα 7.1) είναι της τάξεως των 700MPa. Στοιχεία για την συμπεριφορά τμημάτων των εμφαντωμάτων σε πειράματα διαγώνιου εφελκυσμού δίδονται στην παράγραφο 8.2.



Σχήμα 7.1. Συμπεριφορά χαλύβδινων ράβδων διαμέτρου 4mm, που ενσωματώθηκαν στο δοκίμιο Εμφαντωμένο-2

Στις παραγράφους που ακολουθούν δίδεται η περιγραφή όλων των δοκιμών με σχετικά κατασκευαστικά σχέδια και λεπτομέρειες της ενοργάνωσής τους, των βλαβών που παρουσίασαν και των αποτελεσμάτων της απόκρισής τους κατά την διάρκεια της ανακυκλιζόμενης φόρτισής τους.

Στην παράγραφο 7.1. που ακολουθεί γίνεται η περιγραφή της πειραματικής ακολουθίας με στοιχεία σχετικά με τα κατασκευαστικά σχέδια του αρχικού φορέα *Γυμνό-1*, με την φορτιστική διαδικασία και την ενοργάνωση των δοκιμών. Στην παράγραφο 7.2. γίνεται η περιγραφή της συμπεριφοράς των δοκιμών που εξετάστηκαν, όπως περιγράφηκαν συνοπτικά προηγουμένως. Για κάθε δοκίμιο δίδονται οι απαραίτητες λεπτομέρειες της κατασκευής του καθώς και της φορτιστικής του ακολουθίας και της ενοργάνωσής τους. Δίδονται επίσης τα πιο σημαντικά αποτελέσματα της συμπεριφοράς που μετρήθηκε και οι εικόνες των βλαβών που εμφανίστηκαν. Στην παράγραφο 7.3. δίδονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα και γίνονται συγκρίσεις ανάμεσα στην συμπεριφορά των δοκιμών που μετρήθηκε για να αποτιμηθεί η επιρροή των συγκεκριμένων σχημάτων εμφάνισης που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα πειραματική διερεύνηση. Τέλος, στην παράγραφο 7.4. διατυπώνονται σχετικές συμπερασματικές παρατηρήσεις αναφορικά με την παρατηρηθείσα συμπεριφορά των δοκιμών που εξετάστηκαν.

7.1. Περιγραφή της πειραματικής ακολουθίας

Στον Πίνακα 7.1 που ακολουθεί εμφανίζεται η ακολουθία των δοκιμών για την διερεύνηση της συμπεριφοράς των δοκιμών των δίστηλων-μονώροφων εμφανωμένων πλαισίων μαζί με τις κωδικές τους ονομασίες στην στήλη 1, την χρονολογία της κάθε επί μέρους πειραματικής ακολουθίας (στήλη 2), την ύπαρξη μανδύα στους στύλους και στις περιοχές των κόμβων (στήλη 3), την ύπαρξη εμφανωματος οπλισμένου ή άοπλου (στήλη 4), τον τρόπο σύνδεσής του εμφανωματος με το περιβάλλον πλαίσιο (στήλη 5) και τέλος στη στήλη 6 παρουσιάζεται μια σύντομη περιγραφή του κάθε δοκιμίου.

Τα κατασκευαστικά σχέδια και οι σχετικές πληροφορίες για το κάθε δοκίμιο δίδονται στην παράγραφο που ακολουθεί και προηγούνται της παρουσίασης των σχετικών πειραματικών αποτελεσμάτων.

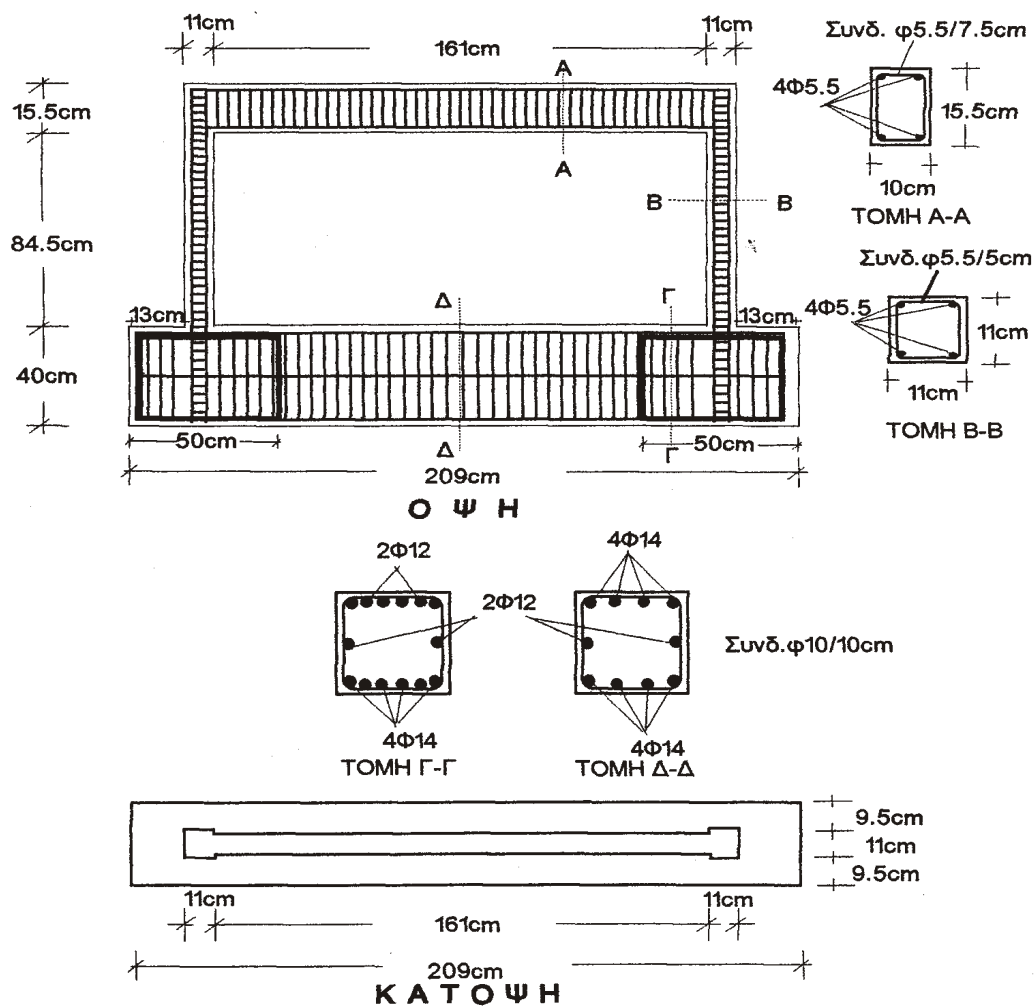
Πίνακας 7.1. Περιγραφή δοκιμών «γυμνών» και εμφανωμένων πλαισίων

Ονομασία	Ημερ/νία πειράματος	Ύπαρξη μανδύων	Ύπαρξη εμφανωματος	Σύνδεση μέσω βλήτρων	Σύντομη περιγραφή των δοκιμών
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Γυμνό-1	17/3/2010	Όχι	Όχι	Όχι	Αρχικό Γυμνό Πλαίσιο Ο/Σ
Εμφανωμένο-1	21/4/2010	Όχι	Ναι, πάχους 50mm, άοπλο	Όχι	Τοιχοματοποιημένο πλαίσιο που προέκυψε από το αρχικό γυμνό πλαίσιο (Γυμνό-1) με άοπλο εμφάνωμα από Ο/Σ, χωρίς καμία σύνδεση με το περιβάλλον πλαίσιο.
Μανδ.Γυμνό-1	7/6/2010	Ναι	Όχι	Όχι	Πλαίσιο που προέκυψε από την επισκευή του αρχικού (Γυμνό-1) με μανδύες Ο/Σ. Οι εξωτερικές διαστάσεις του μανδύα ήταν για τους στύλους 180mm x 180mm. Η δοκός ενισχύθηκε σε μια μικρή περιοχή στον κόμβο.
Εμφανωμένο-2	3/2/2011	Ναι	Ναι, πάχους 50mm, άοπλο	Ø8/150 mm	Τοιχοματοποιημένο πλαίσιο Ο/Σ με μανδύες και άοπλο εμφάνωμα Ο/Σ, έχοντας σύνδεση με το περιβάλλον πλαίσιο χαλύβδινα βλήτρα από δομικό χάλυβα B500C, τοποθετημένα σε μια σειρά στη μέση του πάχους των στύλων. Το μήκος αγκύρωσης είναι 150mm (εντός του εμφανωματος) και 100 (εντός του πλαισίου)
Μανδ.Γυμνό-1α	4/2/2011	Ναι	Όχι	Όχι	Γυμνό πλαίσιο Ο/Σ με μανδύες μετά την απομάκρυνση του άοπλου σπασμένου εμφανωματος του και πριν την προσπάθεια επανεπισκευής του.
Μανδ.Γυμνό-1β	28/2/2011 Δεν ελέγχθηκε Πειρα/τικά	Ναι	Όχι	Όχι	Το προηγούμενο δοκίμιο μετά την επανεπισκευή του με φύλλα ανθρακούφασμάτων στους κόμβους και στο μέσον της δοκού πριν από την ακολουθία «Εμφανωμένο-2α»
Εμφανωμένο-2α	17/5/2011 και 30/5/2011	Ναι	Ναι, πάχους 50mm, οπλισμένο # Ø4/85mm	Ø8/150 mm	Τοιχοματοποιημένο πλαίσιο που προέκυψε από «Μανδ.Γυμνό-1β» με την κατασκευή οπλισμένου εμφανωματος Ο/Σ, συνδεδεμένο με το περιβάλλον πλαίσιο όπως το «Εμφανωμένο-2».

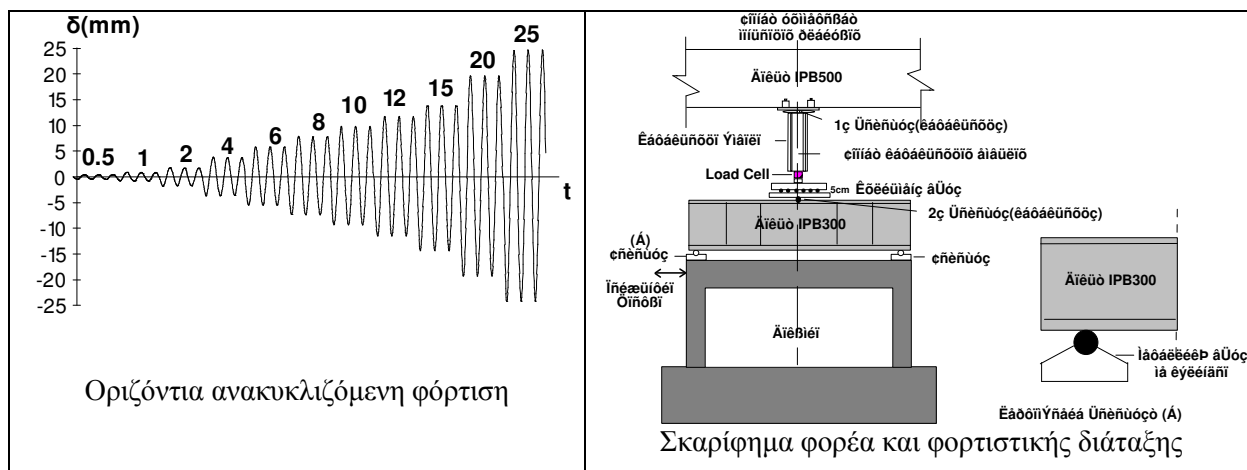
Μανδ.Γυμνό-1γ	5/6/2011	Ναι	Όχι	Όχι	Πλαίσιο Ο/Σ με μανδύες σε στύλους και κόμβους μετά την απομάκρυνση του οπλισμένου σπασμένου μετά την ολοκλήρωση της σειράς πειραμάτων «Εμφανωμένο 2α».
Μανδ.Γυμνό-1δ	5/10/2011	Ναι	Όχι	Όχι	Όπως το προηγούμενο μερική επισκευή στη κεφαλή και τον πόδα των στύλων με αντικατάσταση του θραυσμένου σκυροδέματος και περιτύλιξη με λωρίδες ινοπλισμένου πολυμερούς (CFRP).

Στο σχήμα 7.1 παρουσιάζονται οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του υπό διερεύνηση αρχικού πλαισίου (Γυμνό-1)

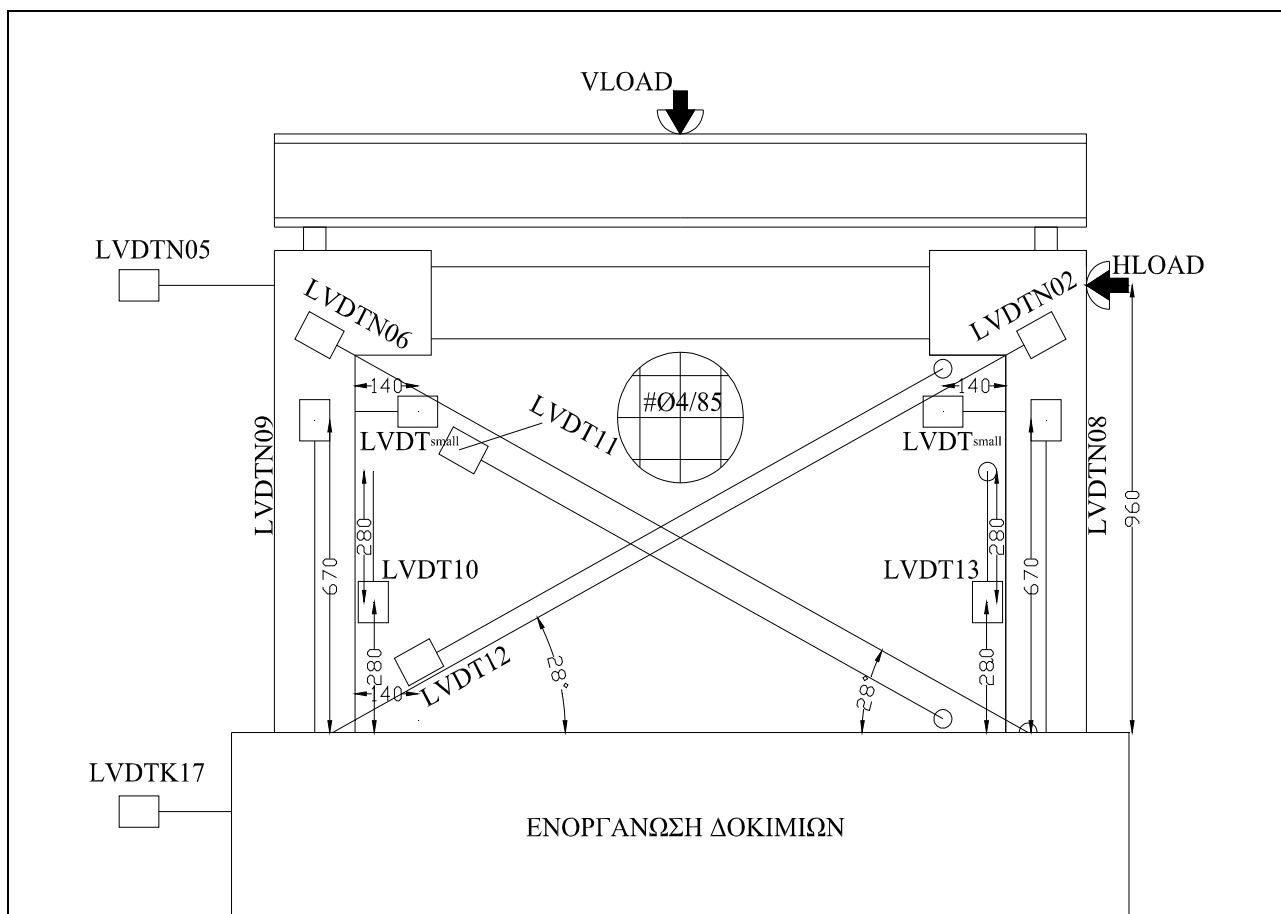
Συνολικά ελέγχθηκαν 4 γυμνά και τρία εμφανωμένα πλαίσια. Για όλα αυτά τα δοκίμια η φορτιστική ακολουθία ήταν η ίδια. Δηλαδή, επιβάλλονταν αρχικά ένα κατακόρυφο φορτίο περίπου 50KN στην κορυφή κάθε στύλου του δοκιμίου το οποίο διατηρούνταν σταθερό καθ' όλη την διάρκεια της ανακυκλιζόμενης, σεισμικού τύπου φόρτισης που επιβάλλονταν στη συνέχεια. Το φορτίο αυτό αντιστοιχεί στο 20% περίπου της θλιπτικής αντοχής των στύλων για την αρχική τους διατομή (πριν την κατασκευή του μανδύα). Το ποσοστό αυτό είναι περίπου 8% μετά την κατασκευή του μανδύα. Η ανακυκλιζόμενη αυτή φόρτιση ήταν πολλαπλών κύκλων με συνεχώς αυξανόμενο επίπεδο οριζόντιας μετακίνησης (δ) που επιβάλλονταν από το ηλεκτρονικά ελεγχόμενο δυναμικό έμβολο στο ζύγωμα των γυμνών ή εμφανωμένων πλαισίων (σχήμα 7.2 και 7.3). Η μεταβολή του εύρους (δ) κάθε κύκλου ήταν ημιτονοειδής με συχνότητα της ανακυκλιζόμενης αυτής φόρτισης 0.1Hz. Για κάθε δοκίμιο η φορτιστική ακολουθία αποτελούνταν από μια σειρά αυτών των ημιτονοειδών κύκλων στην οποία υπήρχαν για κάθε εύρος (δ) τρεις κύκλοι του αυτού σταθερού εύρους ακολουθούμενοι από τρεις κύκλους του επόμενου εύρους όπως φαίνεται ενδεικτικά στο σχήμα 7.2. Το επίπεδο του τελικού εύρους καταναγκασμένης οριζόντιας μετατόπισης προέκυπτε από την μέγιστη οριζόντια δύναμη που καταγράφονταν κατά την διάρκεια των κύκλων του προηγούμενου εύρους, τον βαθμό πτώσης αυτής της οριζόντιας δύναμης και την σοβαρότητα των βλαβών. Σε όλη αυτή την σειρά της οριζόντιας ανακυκλιζόμενης φόρτισης επιβάλλονταν ταυτόχρονα σταθερό κατακόρυφο φορτίο περίπου 50KN σε κάθε στύλο όπως φαίνεται στα σχήματα 7.2 και 7.3. Το επίπεδο του κατακόρυφου φορτίου διατηρούνταν σταθερό μέσω της συσκευής ηλεκτρονικού ελέγχου του συγκεκριμένου σερβουδραυλικού εμβόλου. Τέλος στο σχήμα 7.3 παρουσιάζεται επίσης η ενοργάνωση του δοκιμίου Γυμνο-1. Επισημαίνεται ότι για κάθε δοκίμιο δίδεται σκαρίφημα με την ενοργάνωση του. Για όλα τα δοκίμια μετρώνται εκτός από την οριζόντια και κατακόρυφη επιβαλλόμενη δύναμη, οι μετακινήσεις σε διάφορα σημεία. Πιο συγκεκριμένα, μετρήθηκαν οι οριζόντιες μετακινήσεις της κορυφής και της βάσης του πλαισίου. Για τα δοκίμια με εμφανωμάτα μετρήθηκαν επιπλέον οι μεταβολές του μήκους των διαγωνίων στο εσωτερικό του εμφανωμάτος καθώς και οι σχετικές μετακινήσεις εμφανωμάτος περιβάλλοντος πλαισίου σε περιορισμένο αριθμό σημείων.



Σχήμα 7.1 . Κατασκευαστικές λεπτομέρειες γυμνών δοκιμίων



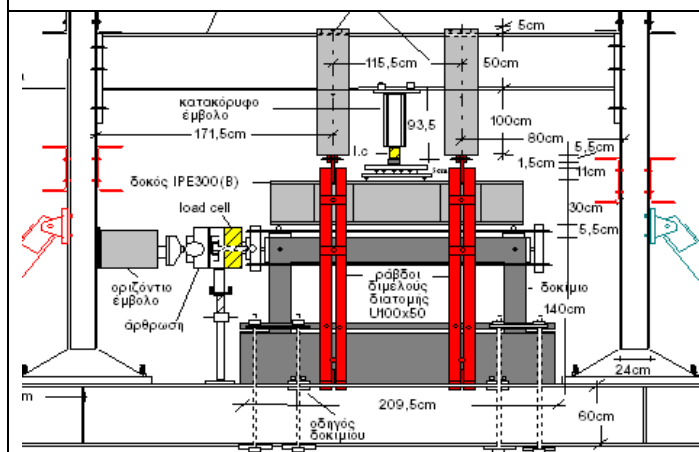
Σχήμα 7.2 . Λεπτομέρειες της πειραματικής ακολουθίας



Ενδεικτική ενοργάνωση των δοκιμών (εφαρμόστηκε για το δοκίμιο «Εμφανωμένο-2α»).

Χρησιμοποιείται η ονομασία LVDT για τα μηχανοσκόπια και VLOAD, HLOAD για τα δυναμόμετρα του κατακόρυφου και οριζόντιου φορτίου, αντίστοιχα

Για κάθε δοκίμιο γίνεται ξεχωριστή περιγραφή.



Το γυμνό δοκίμιο στην φορτιστική διάταξη



Το γυμνό δοκίμιο στην φορτιστική διάταξη

Σχήμα 7.3 . Λεπτομέρειες της πειραματικής ακολουθίας

7.2. Περιγραφή της συμπεριφοράς των δοκιμίων

7.2.1. Δοκίμιο Γυμνό-1

Πρόκειται για το αρχικό γυμνό πλαίσιο.

Στα σχήματα 7.1 και 7.5α, δίδονται οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του δοκιμίου αυτού που είναι αντιπροσωπευτικές των δίστηλων-μονώροφων πλαισίων Ο/Σ με διαστάσεις που αντιστοιχούν σε φυσικά ομοιώματα σε κλίμακα 1:3 [18-21,32,35,57]. Τα δοκίμια αυτά σκυροδετήθηκαν με τον μεταλλότυπο τοποθετημένο οριζόντια (σχήμα 7.4). Στη συνέχεια υποβλήθηκαν στην φορτιστική ακολουθία που περιγράφηκε προηγουμένως και φαίνεται ενδεικτικά στα σχήματα (7.1, 7.2 και 7.6.).

Πίνακας 7.2 Χαρακτηριστικά αρχικού ιδεατού γυμνού πλαισίου και υπό κλίμακα πλαισίου

Χαρακτηριστικά πλαισίου	Πρότυπο (ιδεατό)	Δοκίμιο 1:3
Άνοιγμα (αξονική απόσταση) mm	5160	1720
Ύψος (μεικτού ορόφου)	3000	1000
Διατομή στύλων (mm)	350x350	110x110
Διατομή ζυγώματος (mm)	300x450	100x155
Διαμήκης οπλισμός στύλων	4Φ16	4Φ5,5
Εφελκ.& θλιβ. Οπλισμός δοκών	4Φ16	4Φ5,5
Συνδετήρες	Φ16	Φ5,5
Απόσταση συνδετήρων υποστρωμάτων	150	50



Σιδηρότυπος στην κλίνη του με τοποθετημένο τον οπλισμό



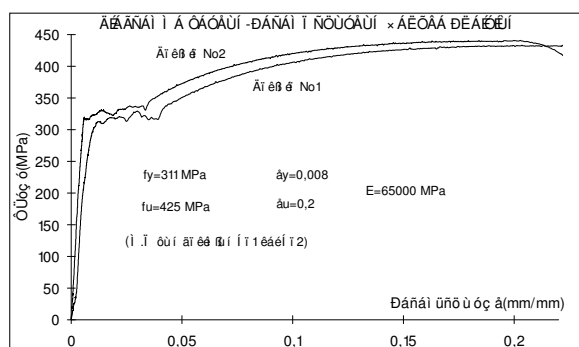
Σκυροδετημένο πλαίσιο στην κλίνη του σιδηρότυπου

Σχήμα 7.4: Λεπτομέρειες κατασκευής γυμνού πλαισίου (Γυμνό-1)

Ο πίνακας 7.3 που ακολουθεί παρουσιάζει τα μηχανικά χαρακτηριστικά του δομικού χάλυβα που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του αρχικού γυμνού πλαισίου (Γυμνό-1). Στη συνέχεια στο σχήμα 7.5 παρουσιάζεται το διάγραμμα τάσης παραμόρφωσης του χάλυβα από όπου προέκυψαν οι τιμές του πίνακα 7.3. Τέλος στον πίνακα 7.4 παρουσιάζεται η μέση θλιπτική τάση του σκυροδέματος όπως μετρήθηκε από τα κυλινδρικά δοκίμια.

Πίνακας 7.4 Μηχανικά χαρακτηριστικά του χάλυβα του δοκιμίου Γυμνό-1

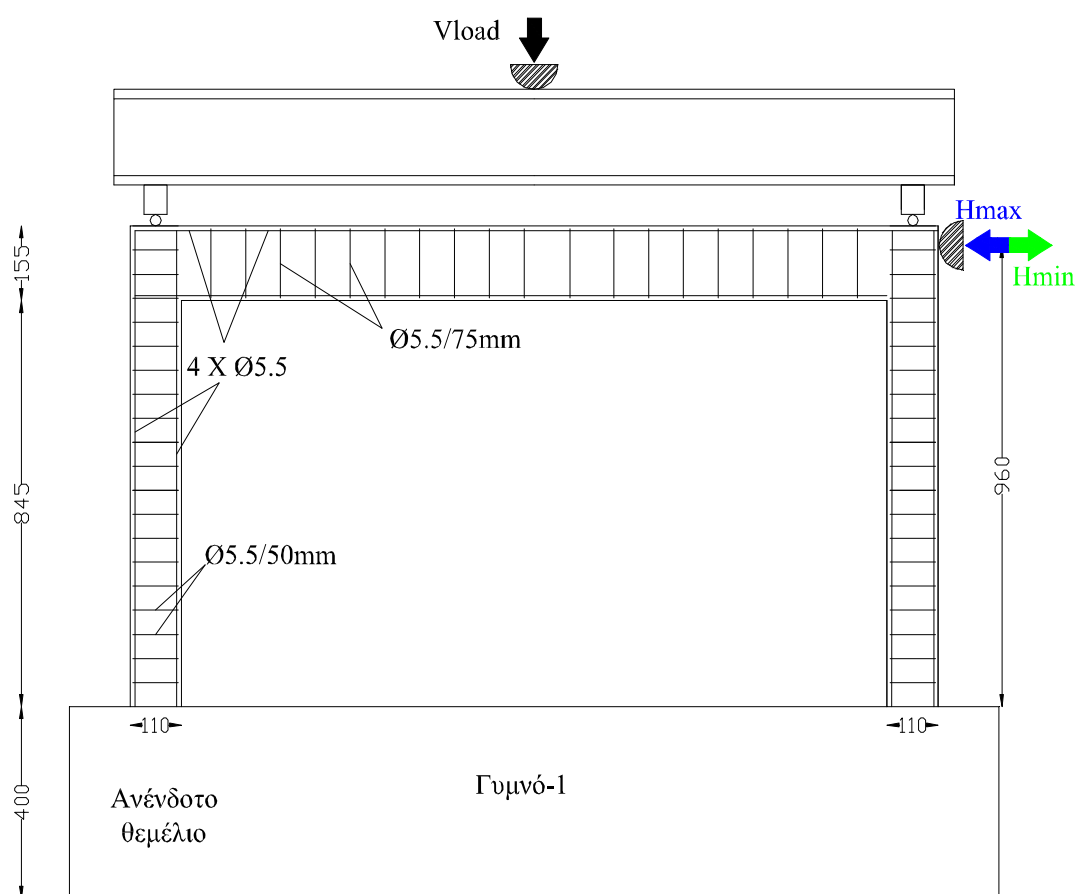
Περιγραφή	f_{sy}	f_{su}	ϵ_{sy}	ϵ_{su}
	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)
Φ5.5 (διαμήκης)	311	425	0.8	22.0
Φ5.5 (Συνδετήρες)	360	542	0.6	20.0



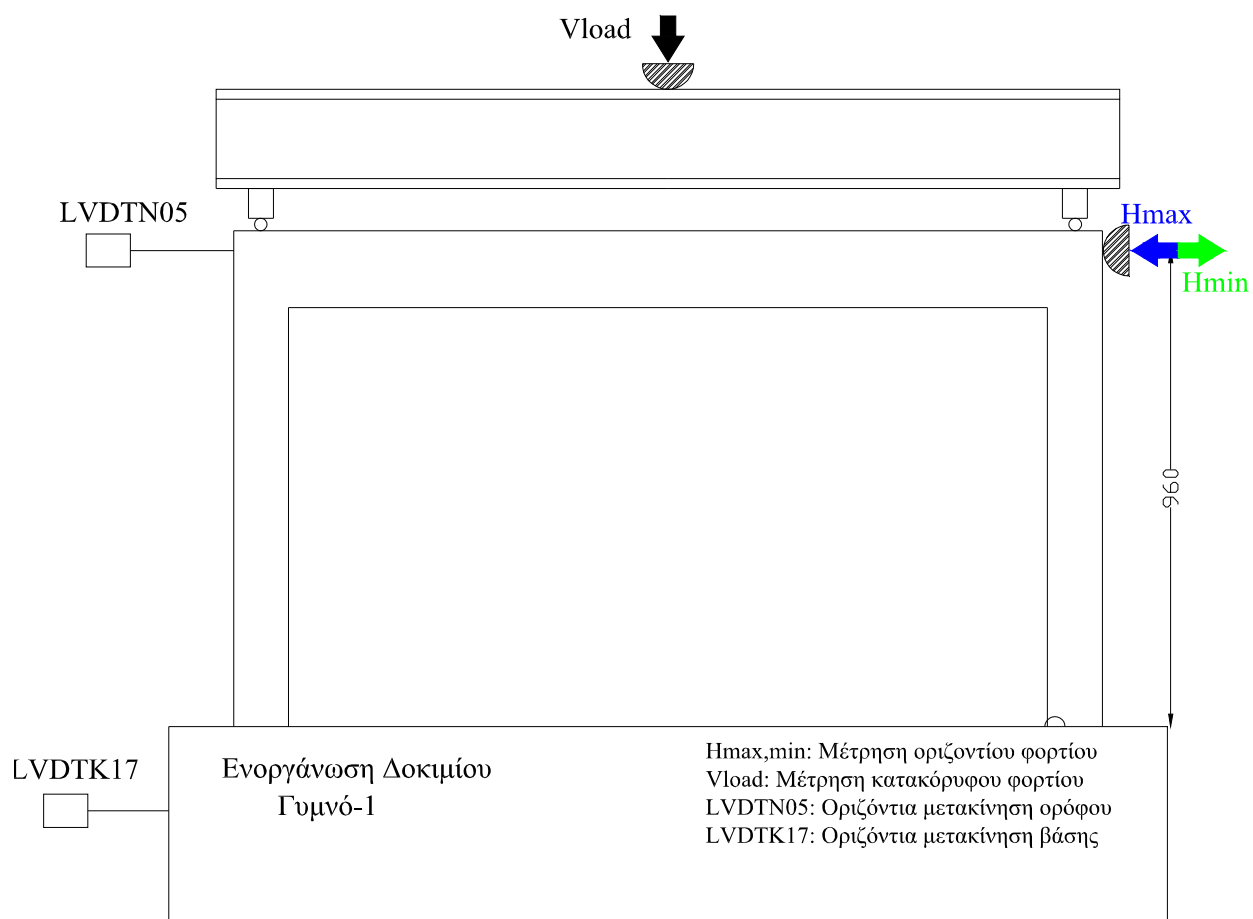
Σχήμα 7.5. Μηχανικές ιδιότητες χάλυβα

Πίνακας 7.4. Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος

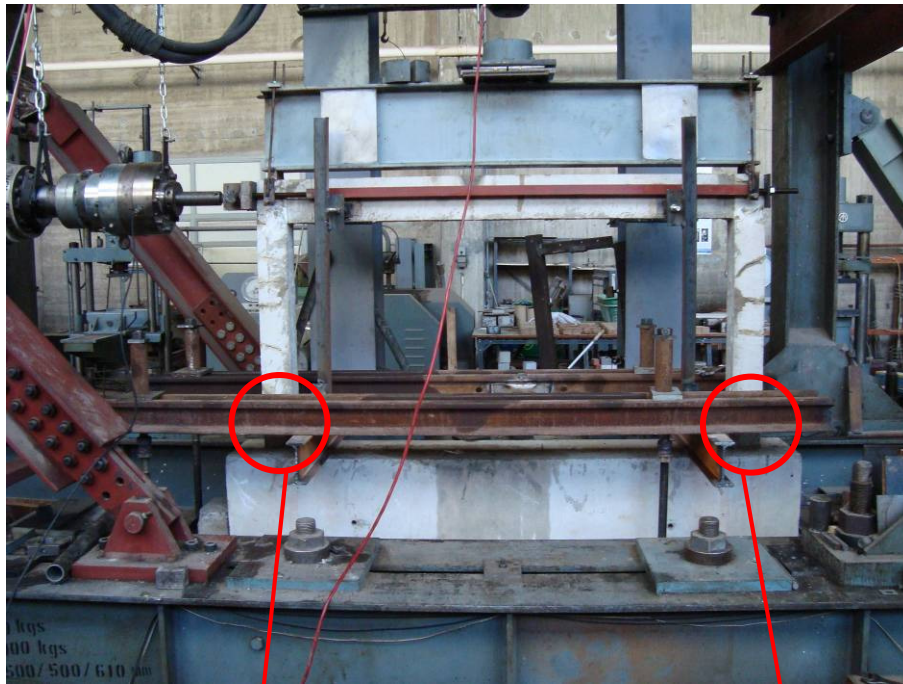
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	Αριθμός δοκιμίου	ΤΑΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ f_c (MPa)
Γυμνό-1	Δ1	26.8
	Δ2	25.0
Μ.Ο ΤΑΣΗΣ ΘΡΑΥΣΗΣ		25,9



Σχήμα 7.5α. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες του δοκιμίου Γυμνό-1



Σχήμα 7.5β. Ενοργάνωση του δοκιμίου **Γυμνό-1**. Χρησιμοποιείται η ονομασία LVDT για τα
 μηχανοσκόπια και VLOAD, HLOAD για τα δυναμόμετρα του κατακόρυφου και οριζόντιου φορτίου,
 αντίστοιχα



Δοκίμιο Γυμνό-1



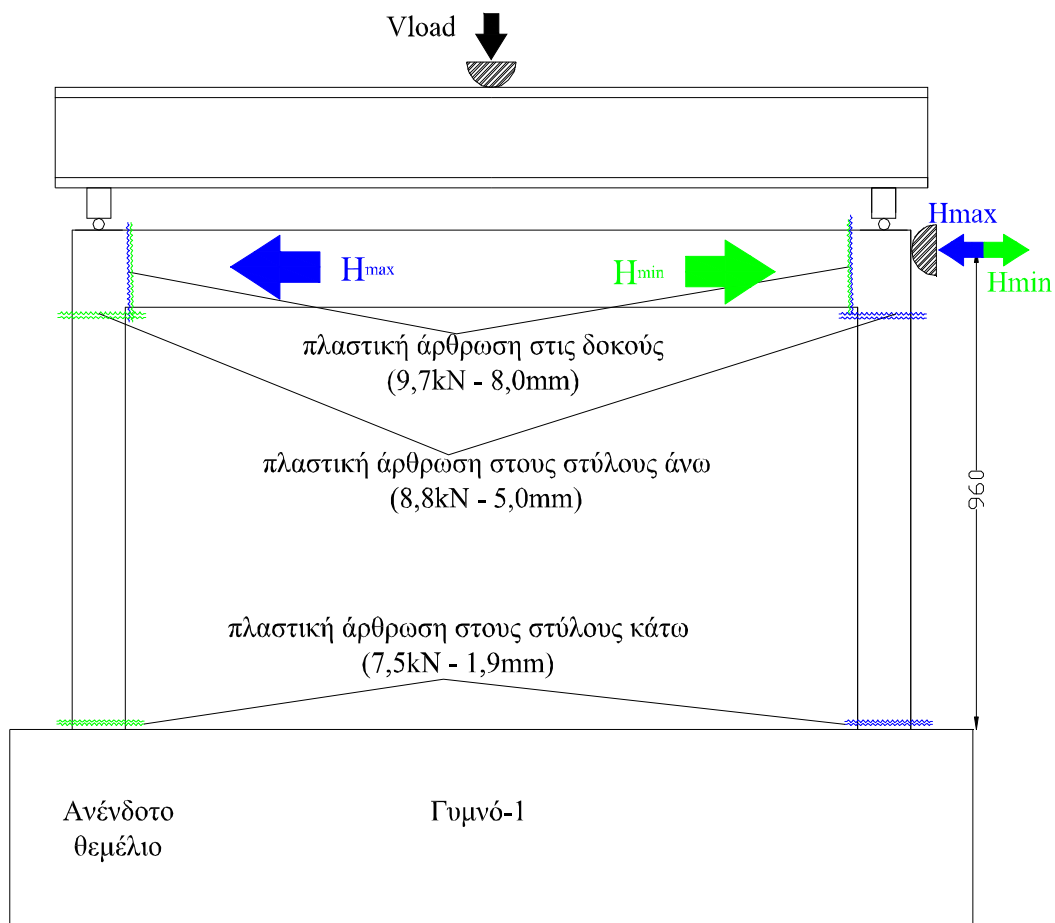
Βλάβες στη βάση των στύλων του δοκ. Γυμνό-1



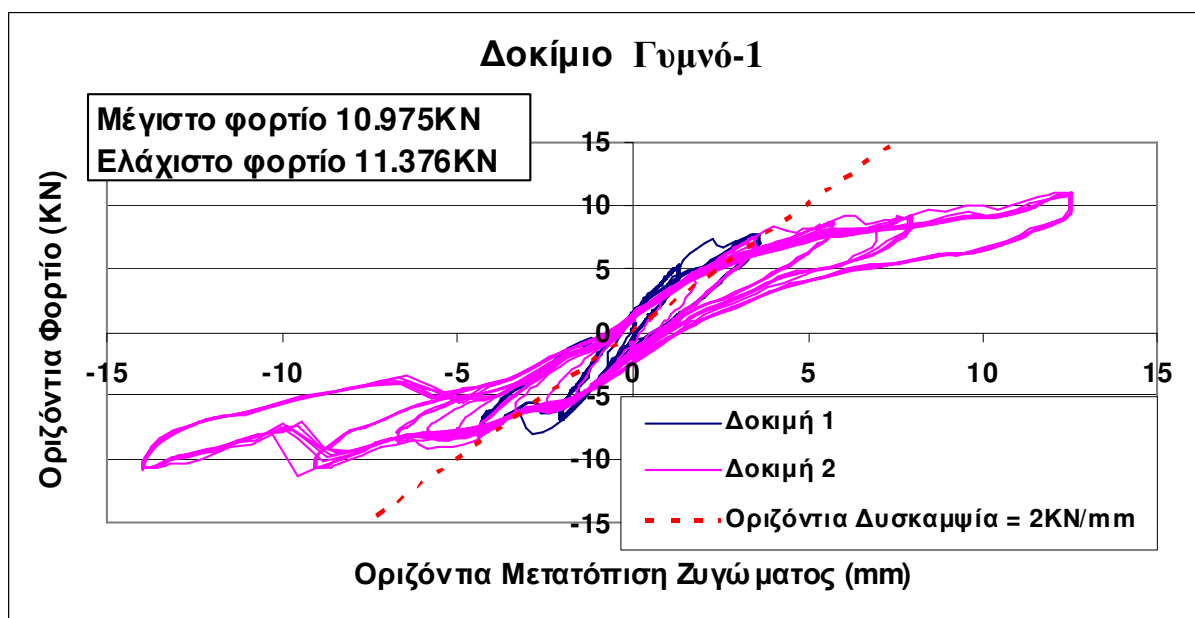
Βλάβες στη βάση των στύλων του δοκ. Γυμνό-1

Σχήμα 7.6 Λεπτομέρειες βλαβών δοκιμίου Γυμνό-1

Στο σχήμα που ακολουθεί (σχήμα 7.7) παρουσιάζεται η μετρημένη ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά του δοκιμίου Γυμνό-1. Στο συγκεκριμένο δοκίμιο η μέγιστη τιμή της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου (Drift) ήταν 1.48%. Η μέση δυσκαμψία αυτού του φορέα είναι περίπου 2KN/mm και το μέγιστο καταγεγραμμένο (μέγιστο και ελάχιστο) οριζόντιο φορτίο είναι 10.98KN και -11.38KN. Ταυτόχρονα με βάση την μετρημένη οριζόντια (δ_x) μετατόπιση του ζυγώματος υπολογίστηκε η ανηγμένη πλευρική μετατόπιση ορόφου ως ο λόγος του δ_x του με το ύψος του ορόφου h . Το δοκίμιο αυτό εμφάνισε ρηγματώσεις στον πόδα και στην κορυφή των στύλων και στις παρειές της δοκού κοντά στους κόμβους (σχήματα 7.6 και 7.6α) στο τέλος των δοκιμών για την μέγιστη τιμή της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου (Drift). Παρά τις βλάβες και την μείωση της δυσκαμψίας για αυτές τις τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου η φέρουσα ικανότητα δεν παρουσίασε πτωτικές τάσεις. Λόγω της σχετικής ολίσθησης των λείων διαμήκων ράβδων του οπλισμού στις περιοχές των πλαστικών αρθρώσεων η ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά χαρακτηρίζεται από σχετική στένωση των κύκλων φορτίου-μετατόπισης με συνέπεια την μείωση της κατανάλωσης υστερητικής ενέργειας.



Σχήμα 7.6α. Μορφές αστοχίας του δοκιμίου Γυμνό-1

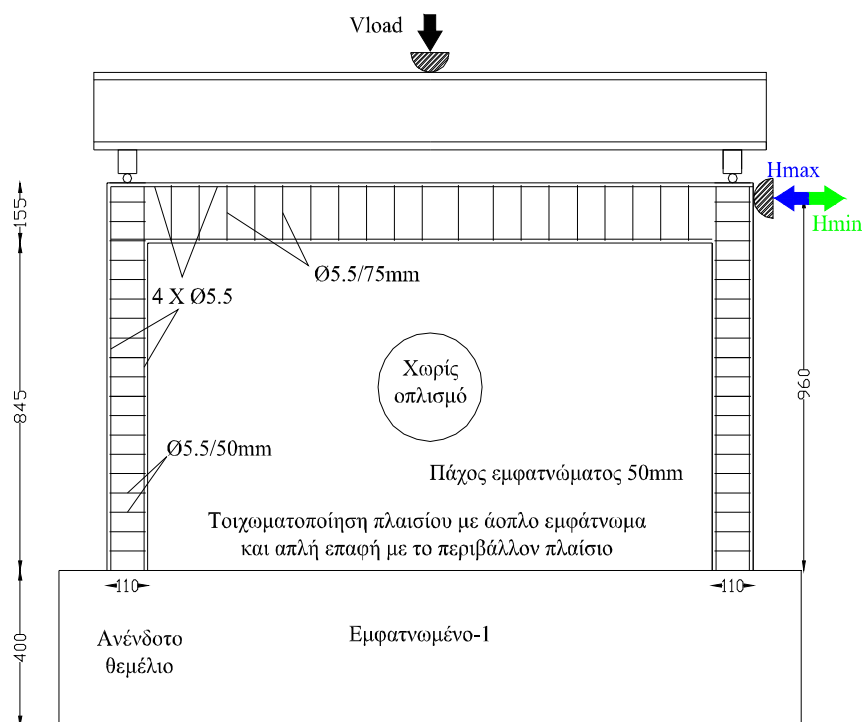


Σχήμα 7.7. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά αρχικού γυμνού δοκιμίου Γυμνό-1

7.2.2. Δοκίμιο Εμφατνωμένο-1

Εμφαντωμένο πλαίσιο που προέκυψε από το αρχικό γυμνό πλαίσιο Ο/Σ (Γυμνό-1) με εσωτερικό άοπλο εμφάντωμα από Ο/Σ πάχους 50mm χωρίς καμιά σύνδεση με το περιβάλλον πλαίσιο. Το παρόν δοκίμιο (Εμφαντωμένο-1) είναι η συνέχεια της πειραματικής ακολουθίας του δοκιμίου Γυμνό-1. Οι δοκιμές 1 και 2 για το δοκίμιο αυτό ήταν δοκιμές ελέγχου των οργάνων και δεν ενδιαφέρουν. Πραγματοποιήθηκαν οι εξής δοκιμές φορτίζοντας το δοκίμιο με την καταναγκασμένη οριζόντια μετακίνηση στο ζύγωμά του: Η δοκιμή 3 Εμφαντωμένο-1 και η δοκιμή 4 Εμφαντωμένο-1.

Στο σχήμα που ακολουθεί (σχήμα 7.8) φαίνονται οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες, καθώς και η κατασκευή του εν λόγω άοπλου εμφαντώματος χωρίς καμιά σύνδεση του εμφαντώματος με το περιβάλλον πλαίσιο, ενώ στο σχήμα 7.8α παρουσιάζεται η ενοργάνωση του δοκιμίου Εμφαντωμαμένο-1.



Κατασκευαστικές λεπτομέρειες του δοκιμίου **Εμφανωμένο-1**



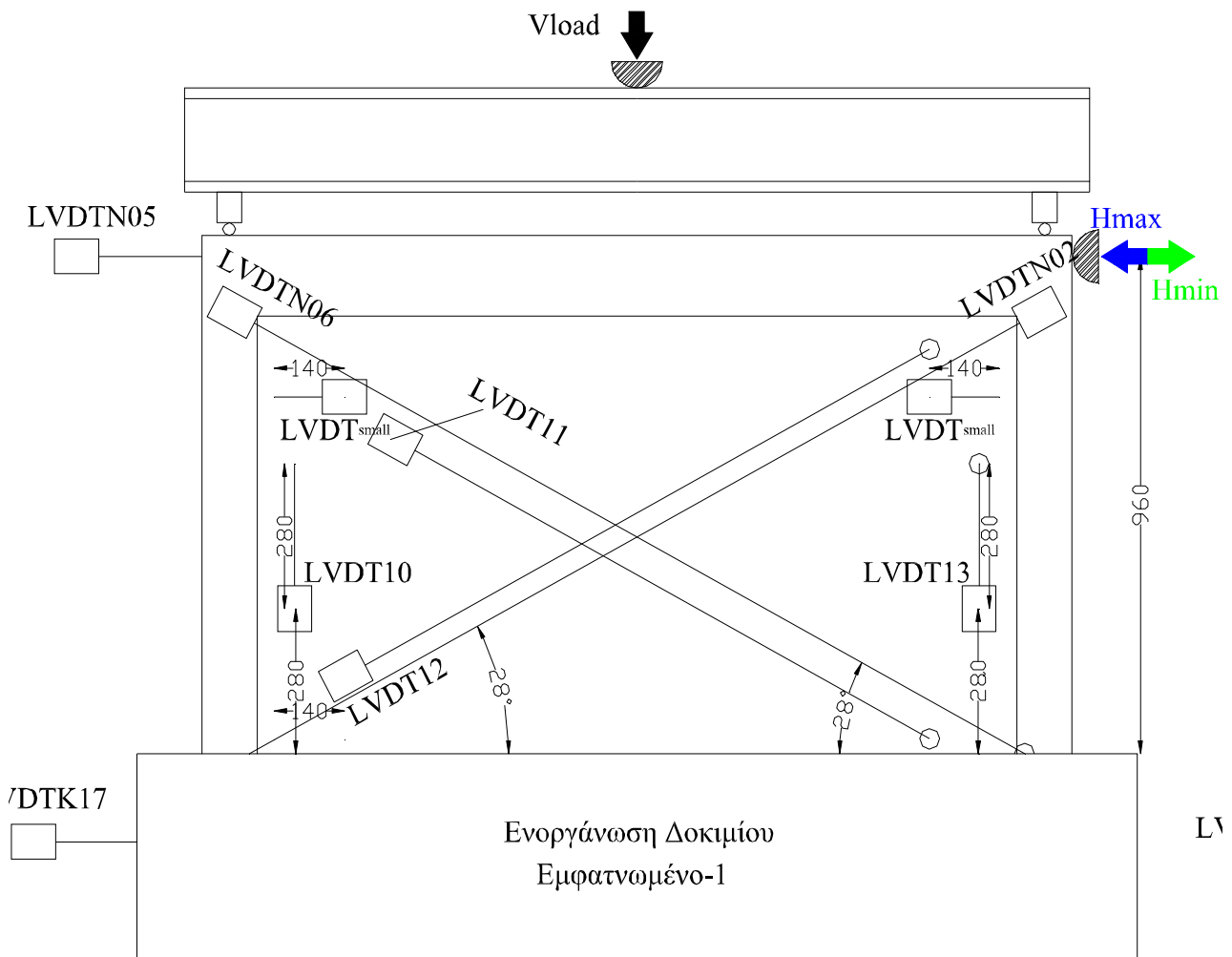
Κατασκευή του δοκιμίου Εμφατνωμένο-1



Κατασκευή του δοκιμίου Εμφανωμένο-1

Σχήμα 7.8. Λεπτομέρειες δοκιμίου Εμφανωμένο-1

$H_{max,min}$: Μέτρηση οριζοντίου φορτίου
 V_{load} : Μέτρηση κατακόρυφου φορτίου
 LVDTN05: Οριζόντια μετακίνηση ορόφου
 LVDTK17: Οριζόντια μετακίνηση βάσης
 LVDTN06: Διαγώνια μετακίνηση πλαισίου 1
 LVDTN02: Διαγώνια μετακίνηση πλαισίου 2
 LVDTN11: Διαγώνια μετακίνηση εμφαντώματος 1
 LVDTN12: Διαγώνια μετακίνηση εμφαντώματος 2
 LVDTN10: Ολίσθηση πλαισίου-εμφαντώματος 1
 LVDTN13: Ολίσθηση πλαισίου-εμφαντώματος 2
 LVDT_{small}: Αποκόλληση πλαισίου-εμφαντώματος 1
 LVDT_{small}: Αποκόλληση πλαισίου-εμφαντώματος 2



Σχήμα 7.8α. Ενοργάνωση δοκιμίου Εμφαντωμένο-1. Χρησιμοποιείται η ονομασία LVDT για τα μηχανοστάσια και VLOAD, HLOAD για τα δυναμόμετρα του κατακόρυφου και οριζοντίου φορτίου, αντίστοιχα.

Στο σχήμα 7.8α φαίνεται η μια όψη του δοκιμίου με τα αισθητήρια που μετρούν την μεταβολή του μήκους των διαγωνίων του εμφαντώματος με αρχικά μήκη l_1 (διαγώνιος κάτω αριστερή γωνία-πάνω δεξιά γωνία του εμφαντώματος) l_2 (διαγώνιος κάτω δεξιά γωνία-πάνω αριστερή γωνία του εμφαντώματος). Αντίστοιχα αισθητήρια ήταν τοποθετημένα και στην άλλη όψη του δοκιμίου στις αντίστοιχες θέσεις. Η μεταβολή του μήκους είτε της μιας διαγωνίου (δ_{d1}) είτε της άλλης διαγωνίου (δ_{d2}) υπολογίστηκε από τους μέσους όρους των αντίστοιχων μετρήσεων. Μέσω αυτών υπολογίστηκε η σχετική διατμητική παραμόρφωση γ . Με τον ίδιο τρόπο υπολογίστηκε η διατμητική παραμόρφωση και στα τμήματα των εμφαντωμάτων (δες παράγραφο 8.2).

$$\gamma = \frac{\delta_{d1} + \delta_{d2}}{\frac{l_1 + l_2}{2}}$$

Ταυτόχρονα με βάση την μετρημένη οριζόντια δ_z μετατόπιση του ζυγώματος υπολογίσθηκε η ανηγμένη πλευρική μετατόπιση ορόφου ως ο λόγος του δ_z του με το ύψος του ορόφου h .

Η μετρηθείσα συμπεριφορά απεικονίζεται στα σχήματα που ακολουθούν αφενός σε όρους οριζόντιου φορτίου – οριζόντιας μετατόπισης (σχήμα 7.9) αφετέρου σε όρους οριζόντιου φορτίου ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου (σχήμα 7.10). Η τελευταία παράμετρος απεικονίζεται στο σχήμα 7.10 τόσο για το σύνολο του φορέα (πλαίσιο + εμφάνωμα) όσο και μόνον για το άοπλο εμφάνωμα, που είναι σχεδόν μηδενική. Στο σχήμα 7.9. απεικονίζεται επίσης η μετρηθείσα ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά για το αρχικό γυμνό πλαίσιο (Γυμνό-1) ώστε να μπορεί να συγκριθεί απευθείας με την αντίστοιχη συμπεριφορά του δοκιμίου με το άοπλο εμφάνωμα χωρίς σύνδεση με το περιβάλλον πλαίσιο (Εμφανωμένο-1). Επί τη βάση αυτών των μετρήσεων μπορεί να διατυπωθούν οι εξής παρατηρήσεις:

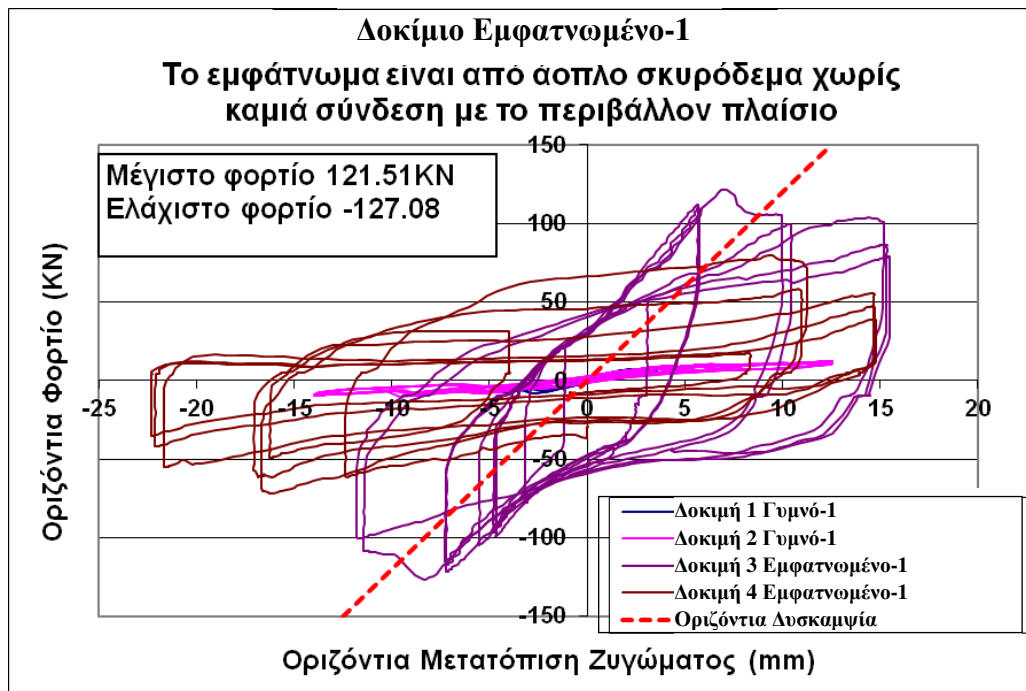
- Η προσθήκη του άοπλου εμφανώματος πάχους 50mm, παρά την απουσία σύνδεσής του με το περιβάλλον πλαίσιο, είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση της δυσκαμψίας από 2.0KN/mm σε 12.0KN/mm και την αύξηση της φέρουσας ικανότητας από 11KN σε 124KN.

- Το εμφανωμένο αυτό πλαίσιο δεν παρουσίασε σημαντικές πτωτικές τάσεις της φέρουσας ικανότητάς του για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου της τάξεως του 1.4%. Για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου μεγαλύτερες του 1.4% η πτώση της φέρουσας ικανότητας ήταν πολύ σημαντική.

- Για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου μικρότερες του 1.4% η συμπεριφορά χαρακτηρίζεται από κύκλους φορτίου-μετατόπισης σχετικά μεγάλου εύρους χωρίς στένωση που υποδηλώνουν την κατανάλωση σημαντικής υστερητικής ενέργειας.

- Η διατμητική παραμόρφωση γ του εμφανώματος αυτού κάθε αυτού είναι σχεδόν μηδενική. Το γεγονός ότι οι τιμές του γ που προέκυψαν είναι πολύ μικρές, υποδηλώνει ότι το εν λόγω εμφάνωμα στο εσωτερικό του συμπεριφέρθηκε ελαστικά ως σχεδόν απαραμόρφωτο τοίχωμα. Αυτό πρέπει να οφείλεται στην ένταση που αναπτύχθηκε στο εμφάνωμα κατά την αλληλεπίδρασή του με το περιβάλλον πλαίσιο που ήταν μικρότερη της αντίστοιχης αντοχής του εμφανώματος. Στο σχήμα 7.10 παρουσιάζεται η ανωτέρω διαπίστωση.

- Συνέπεια του προηγούμενου συλλογισμού είναι και το γεγονός ότι δεν εμφανίσθηκε καμιά ρηγμάτωση στο εσωτερικό του εμφανώματος. Αντίθετα αναπτύχθηκαν σημαντικού εύρους μετατοπίσεις αποκόλλησης του εμφανώματος από το περιβάλλον πλαίσιο καθώς και μετακινήσεις σχετικής ολίσθησης του εμφανώματος από τις παρειές των δομικών στοιχείων του περιβάλλοντος πλαισίου, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.11. που ακολουθεί. Οι σχετικές ολισθήσεις εμφανώματος πλαισίου, που μετρήθηκαν απευθείας για το εν λόγω δοκίμιο, είχαν μέγιστη τιμή περίπου 10mm (σχήμα 7.12., Δοκιμή 4) οι δε αποκολλήσεις του εμφανώματος από το περιβάλλον πλαίσιο στις γωνίες είχαν τιμές μεγαλύτερες από 20mm.



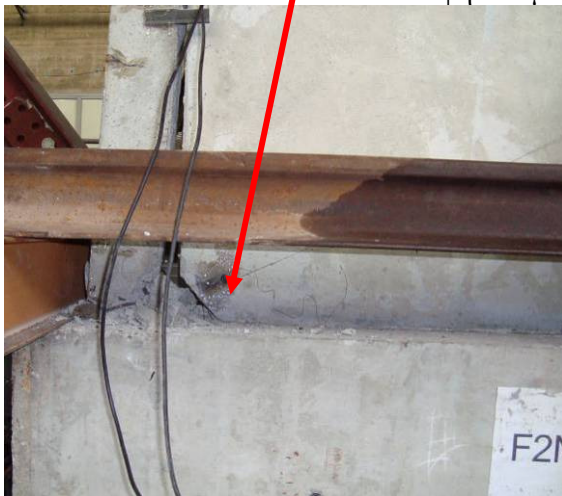
Σχήμα 7.9. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφαντωμένου δοκιμίου **Εμφαντωμένο-1**



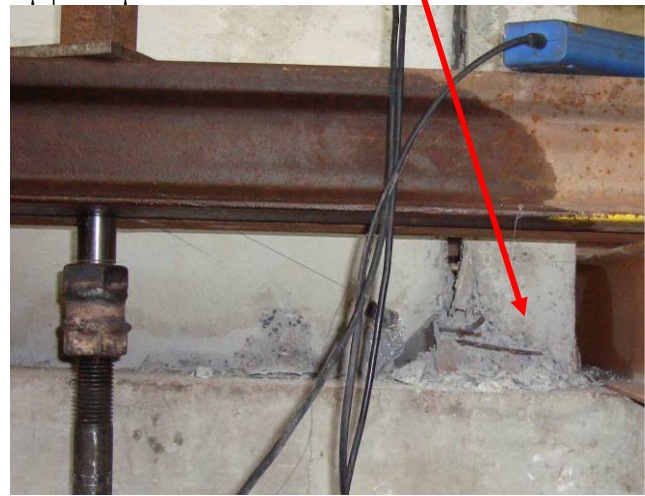
Σχήμα 7.10 . Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφαντωμένου δοκιμίου **Εμφαντωμένο-1**



Όψη δοκιμίου «Εμφατνωμένο-1»

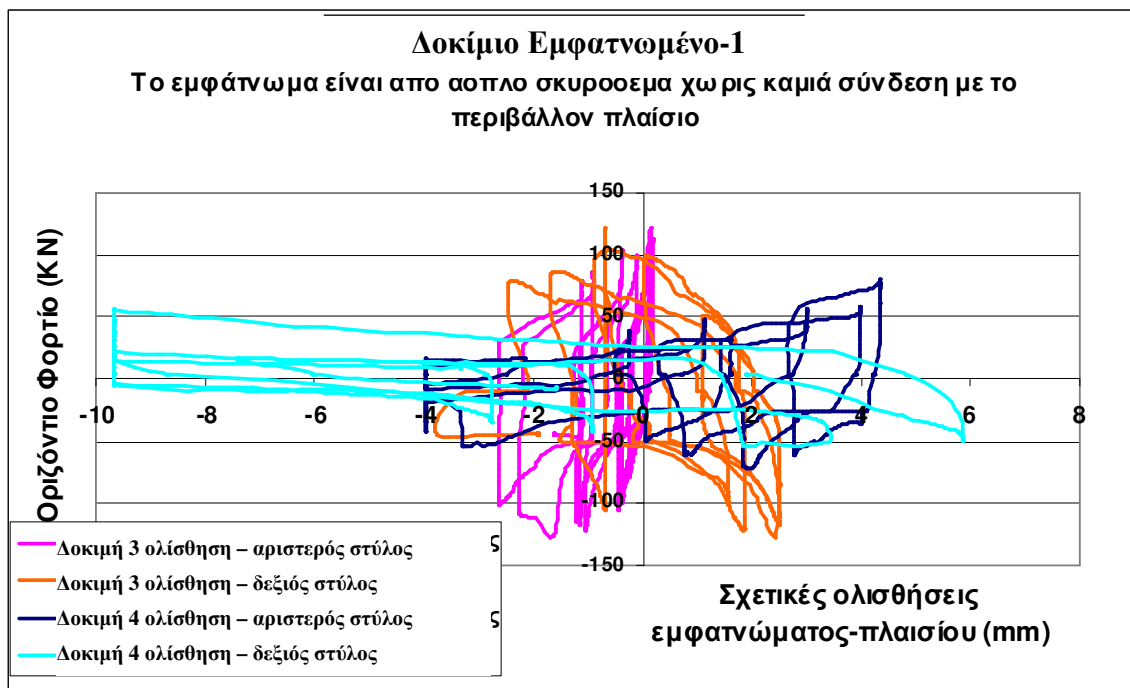


Εμφατνωμένο πλαίσιο Εμφατνωμένο-1 όπου φαίνεται η αποκόλληση του άοπλου εμφατνώματος από τις παρειές των στύλων του περιβάλλοντος πλαισίου, καθώς και η βλάβη στον πόδα του αριστερού στύλου.



Εμφατνωμένο πλαίσιο Εμφατνωμένο-1 όπου φαίνεται η αποκόλληση του άοπλου εμφατνώματος από τις παρειές των στύλων του περιβάλλοντος πλαισίου, καθώς και η βλάβη στον πόδα του δεξιού στύλου.

Σχήμα 7.11. Λεπτομέρειες εμφατνωμένου δοκιμίου **Εμφατνωμένο-1**



Σχήμα 7.12. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφαντνωμένου δοκιμίου **Εμφαντνωμένο-1**

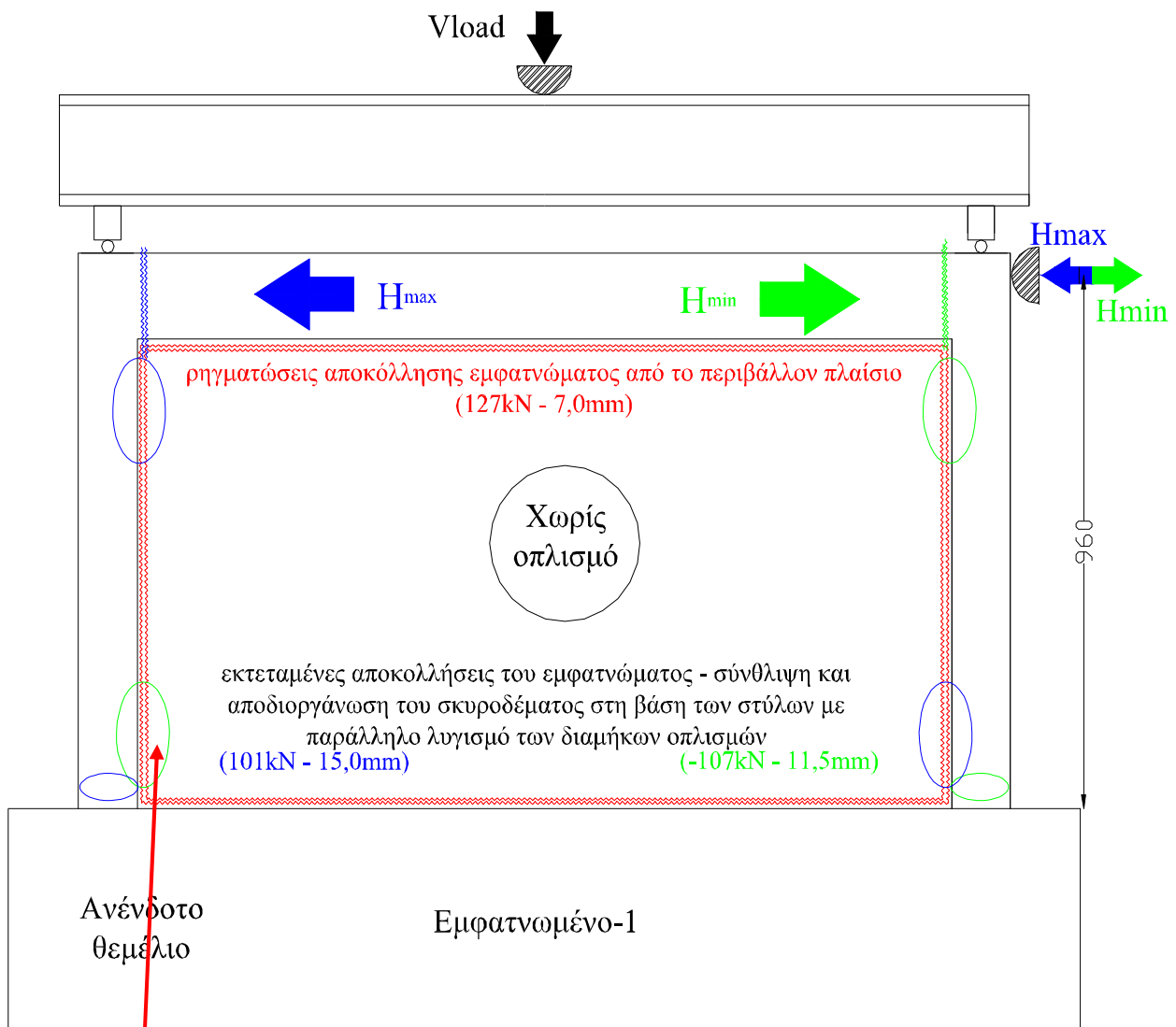
- Οι βλάβες που σημειώθηκαν επικεντρώθηκαν στην αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στις διατομές των στύλων στον πόδα καθώς και στις διατομές της δοκού στους κόμβους με ταυτόχρονο λυγισμό των διαμήκων οπλισμών. Είχε προβλεφθεί η δημιουργία μικρού κενού στο εμφάντνωμα στις γωνίες του κοντά στη περιοχή των κόμβων για την αποφυγή υπερβολικής συγκέντρωσης έντασης σ' αυτές τις περιοχές (δες σχήμα 7.11). Οι εν λόγω περιοχές μετά την απομάκρυνση του σπασμένου σκυροδέματος και του εμφαντνώματος απεικονίζονται στο σχήμα 7.13 και 7.13α όπου φαίνεται ότι απεφεύχθη η θραύση των εν λόγω γωνιών του εμφαντνώματος. Το εμφάντνωμα απομακρύνθηκε σχετικά εύκολα από το πλαίσιο μετά το τέλος της φορτιστικής ακολουθίας ανέπαφο, όπως φαίνεται στα σχήματα που ακολουθούν (σχήμα 7.13 και 7.13α).

- Οι μεγάλες σχετικές μετακινήσεις του εμφαντνώματος από το περιβάλλον πλαίσιο ενέχουν τον κίνδυνο της εκτός επιπέδου πτώσης του για σεισμικές δυνάμεις κάθετες προς το επίπεδό του εμφαντνώματος.





Σχήμα 7.13. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφανιζόμενου δοκιμίου **Εμφατνομένο-1**, μορφές βλαβών μετά το τέλος της φορτιστικής ακολουθίας



Δοκίμιο Εμφατνωμένο-1 με άοπλο εμφάντνωμα πάχους 50mm χωρίς ενίσχυση πλαισίου περιβάλλοντος πλαισίου και χωρίς σύνδεση του εμφατνώματος με το περιβάλλον πλαίσιο



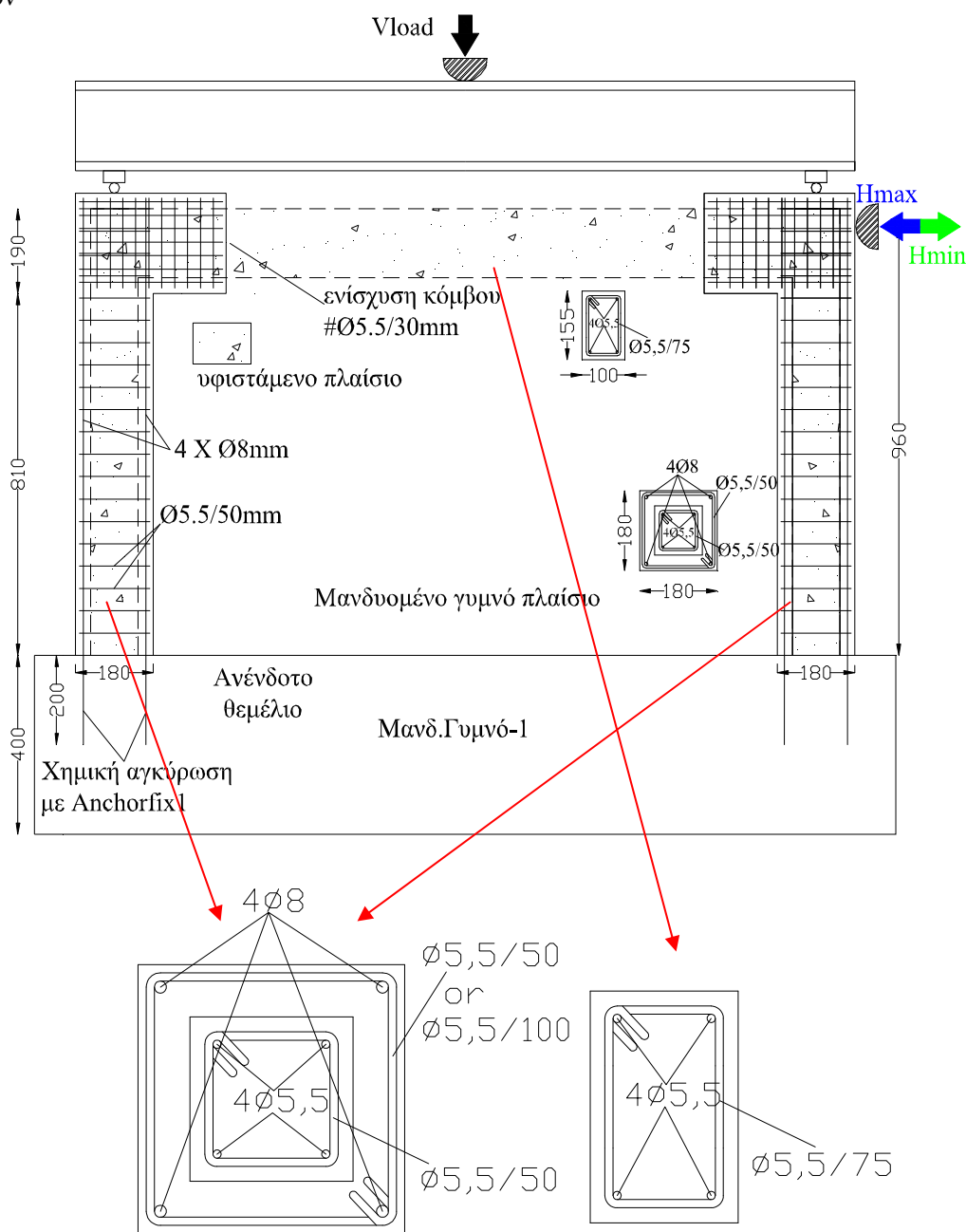
Εμφατνωμένο πλαίσιο (Εμφατνωμένο-1), φαίνεται η αποκόλληση του άοπλου εμφατνώματος από τις παρειές των στύλων του περιβάλλοντος πλαισίου λόγω απουσίας σύνδεσής του με το πλαίσιο.

Σχήμα 7.13α. Σχηματική απεικόνιση των μορφών βλαβών δοκιμίου **Εμφατνωμένο-1**,

7.2.3. Δοκίμιο Μανδ.Γυμνό-1

Γυμνό πλαίσιο που προέκυψε από την επισκευή του αρχικού (Γυμνό-1) με μανδύες Ο/Σ στους στύλους και κόμβους μετά το τέλος της ακολουθίας Εμφάτνωμα-1. Οι εξωτερικές διαστάσεις του μανδύα ήταν για τους στύλους 180mm x 180mm με 4 διαμήκεις οπλισμούς Ø8. Η δοκός ενισχύθηκε ομοίως σε μια μικρή περιοχή κοντά στον κόμβο. Η αγκύρωση του διαμήκους οπλισμού στο θεμέλιο έγινε με έμπηξη του οπλισμού σε αυτό με χρήση εποξειδικής κόλλας (AnchorFix 1 της εταιρίας Sika). Οι προδιαγραφές του κατασκευαστή απαιτούν βάθος έμπηξης για διάμετρο 8mm τουλάχιστον ίσο με 80mm. Στην προκειμένη περίπτωση ανοίχτηκαν οπές βάθους 200mm. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η αστοχία από εξόλκευση του αγκυρίου. Στα σχήματα 7.14 και 7.15 που ακολουθούν απεικονίζεται η κατασκευή των μανδυνών για το περιβάλλον πλαίσιο μετά το τέλος της ακολουθίας Εμφάτνωμα-1.

Για το παρόν δοκίμιο πραγματοποιήθηκαν τρεις δοκιμές: δοκιμές, δοκιμή 1 Μανδ.Γυμνό-1, δοκιμή 2 Μανδ.Γυμνό-1 και δοκιμή 3 Μανδ.Γυμνό-1. Με αυτόν τον τρόπο αναφέρονται και στα διαγράμματα που ακολουθούν



Σχήμα 7.14. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες όπλισης - μανδύωσης.

Οι κόμβοι ενισχύθηκαν ώστε η περιοχή της ενίσχυσης να συμπεριλάβει και την περιοχή των πλαστικών αρθρώσεων των δοκών πλησίον των κόμβων. Για τους μανδύες χρησιμοποιήθηκε έγχυτο σκυρόδεμα

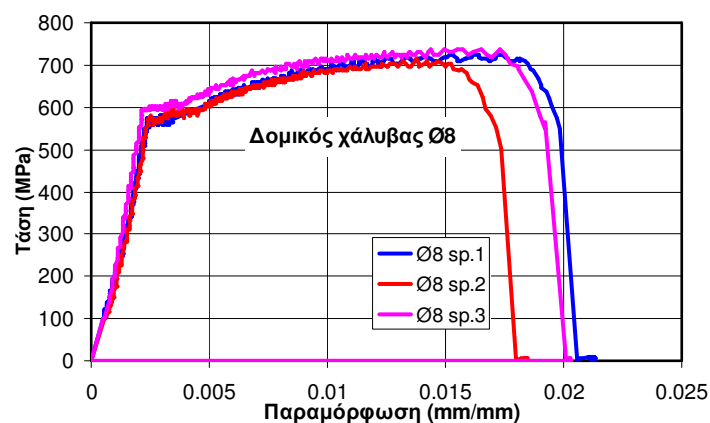
υψηλής αντοχής με την εμπορική ονομασία EMACO S88. Η διατομή των στύλων μετά την κατασκευή του μανδύα είχε εξωτερικές διαστάσεις 180mm x 180mm με 4 διαμήκεις οπλισμούς Φ8 (δες σχήμα 7.15) και συνδετήρες Φ5.5/50 mm στις περιοχές των κόμβων και του πόδα των στύλων και Φ5.5/100 mm στα υπόλοιπα τμήματα.



Σχήμα 7.15. Λεπτομέρειες γυμνού δοκιμίου **Μανδ.Γυμνό-1**

Οι διαμήκεις οπλισμοί είχαν διατομή Φ8 και ήταν οπλισμοί με νευρώσεις ονομαστικής τάσης διαρροής 500Mpa. Οι μηχανικές ιδιότητες των οπλισμών αυτών, έτσι όπως μετρήθηκαν μέσω της δοκιμής εφελκυσμού, αναγράφονται στον πίνακα και στο σχήμα που ακολουθεί. Με τους ίδιους οπλισμούς Φ8 κατασκευάστηκαν και τα βλήτρα που συνέδεσαν το εν λόγω επισκευασμένο περιβάλλον πλαίσιο Μανδ.Γυμνό-1 με το δοκίμιο Εμφαντωμένο-2, όπως θα περιγραφεί στην επόμενη παράγραφο.

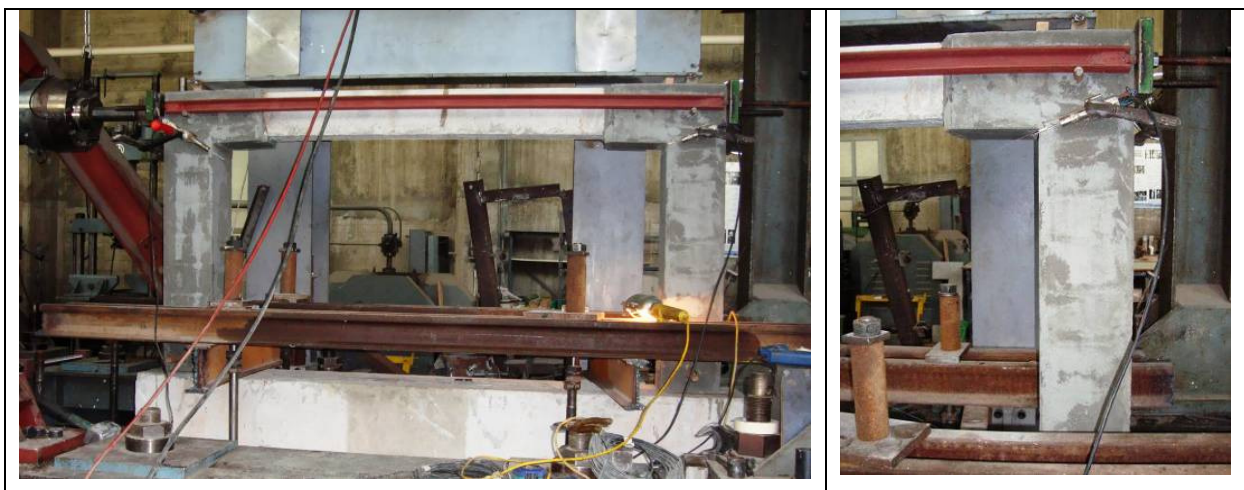
Διάμετρος Δομικού Χάλυβα (mm)	Μέση Τάση Διαρροής (Mpa)	Μέγιστη Τάση Θραύσης (Mpa)	Μέση Παραμόρφωση Θραύσης (mm/mm)
Ø8	570	710	0,018

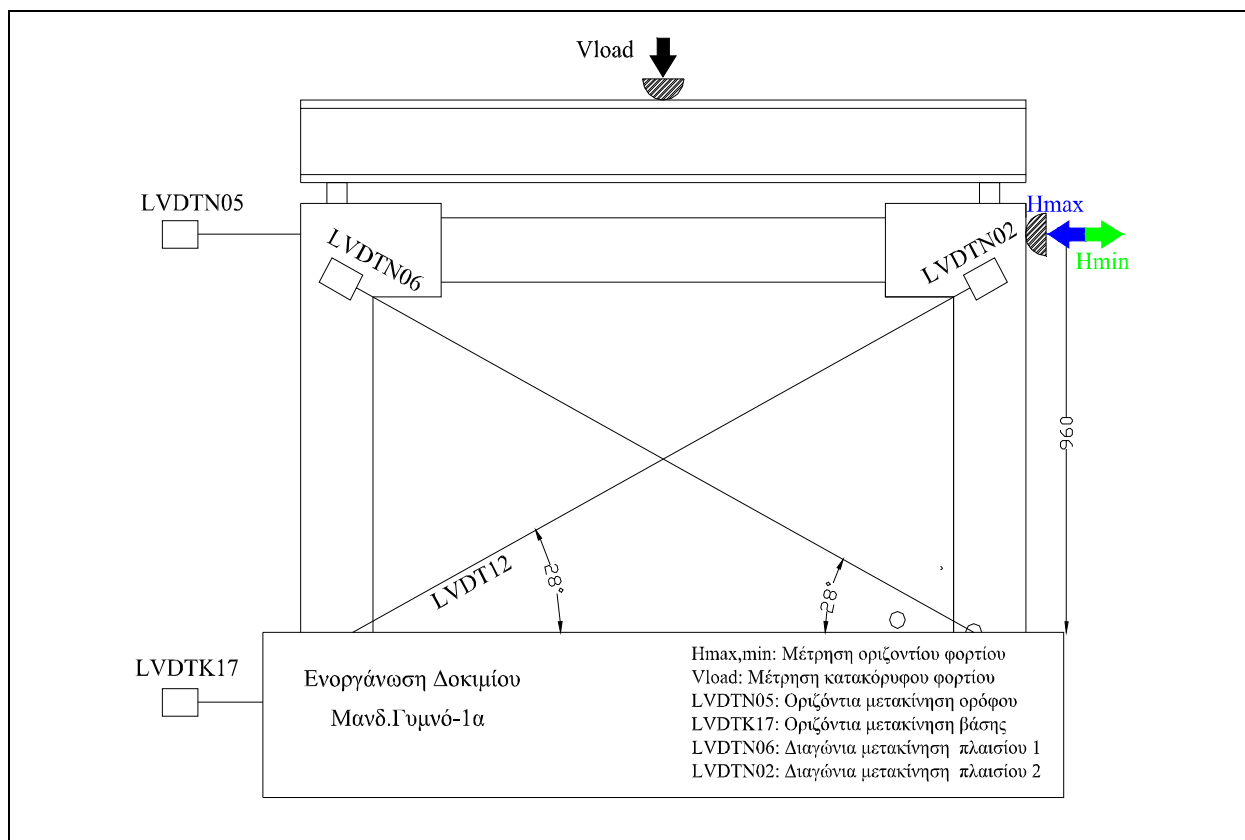


Σχήμα 7.16. Τάση – Παραμόρφωση Φ8

Πριν προστεθεί εμφάντωμα στο επισκευασμένο αυτό δοκίμιο ελέγχθηκε η συμπεριφορά του κάτω από τις τυπικές συνθήκες ανακυκλιζόμενης φόρτισης με την ταυτόχρονη επιβολή αξονικού φορτίου 50KN σε κάθε στύλο. Στο σχήμα 7.17. που ακολουθεί απεικονίζεται το δοκίμιο Μανδ.Γυμνό-1 στην φορτιστική διάταξη μαζί με την σχετική ενοργάνωσή του.

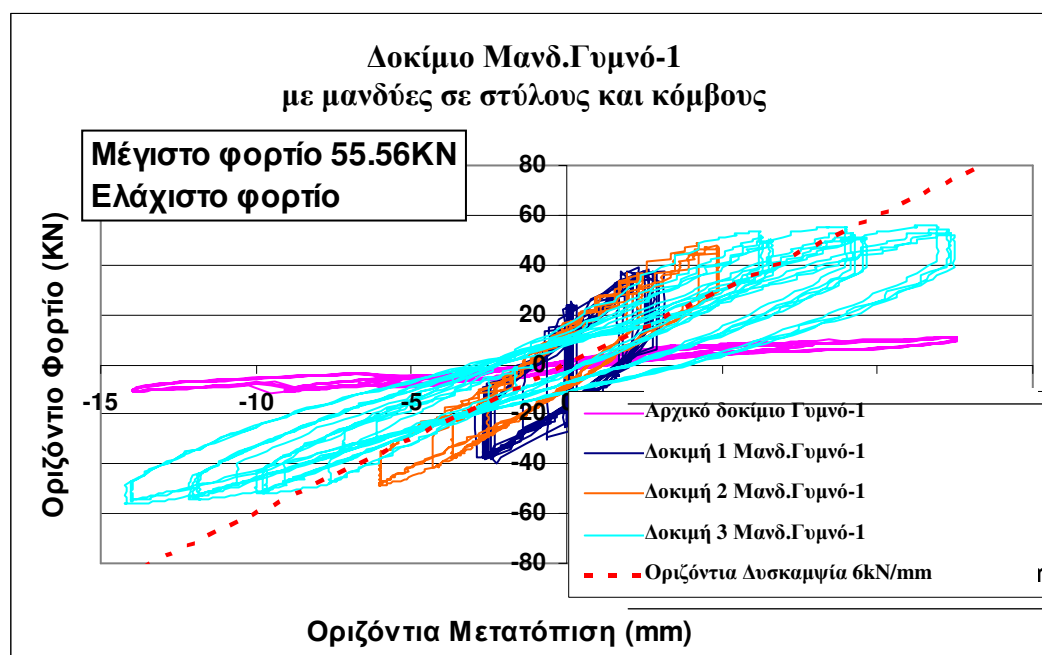
Στο σχήμα 7.18. που ακολουθεί απεικονίζεται η συμπεριφορά του δοκιμίου **Μανδ.Γυμνό-1**. Στο συγκεκριμένο δοκίμιο η μέγιστη τιμή της ανηγμένης σχετικής πλευρικής μετατόπισης του ορόφου (Drift) ήταν και πάλι περίπου 1.48%. Η μέση δυσκαμψία είναι ίση με 6KN/mm έναντι 2KN/mm που ήταν η δυσκαμψία του αρχικού γυμνού δοκιμίου (Γυμνό-1). Το καταγεγραμμένο μέγιστο και ελάχιστο οριζόντιο φορτίο είναι 55.56KN (έναντι 10.98KN του Γυμνό-1) και 56.06KN (έναντι 11.38KN Γυμνό-1). Το δοκίμιο αυτό εμφάνισε περιορισμένες ορατές ρηγματώσεις, είτε στον πόδα και κορυφή των στύλων είτε στις άκρες της δοκού κοντά στους κόμβους, στο τέλος των δοκιμών για την μέγιστη τιμή του Drift. Εμφανίστηκε μια σχετική μείωση της δυσκαμψίας ανάμεσα στη δοκιμή No. 1 και στην δοκιμή No 3.



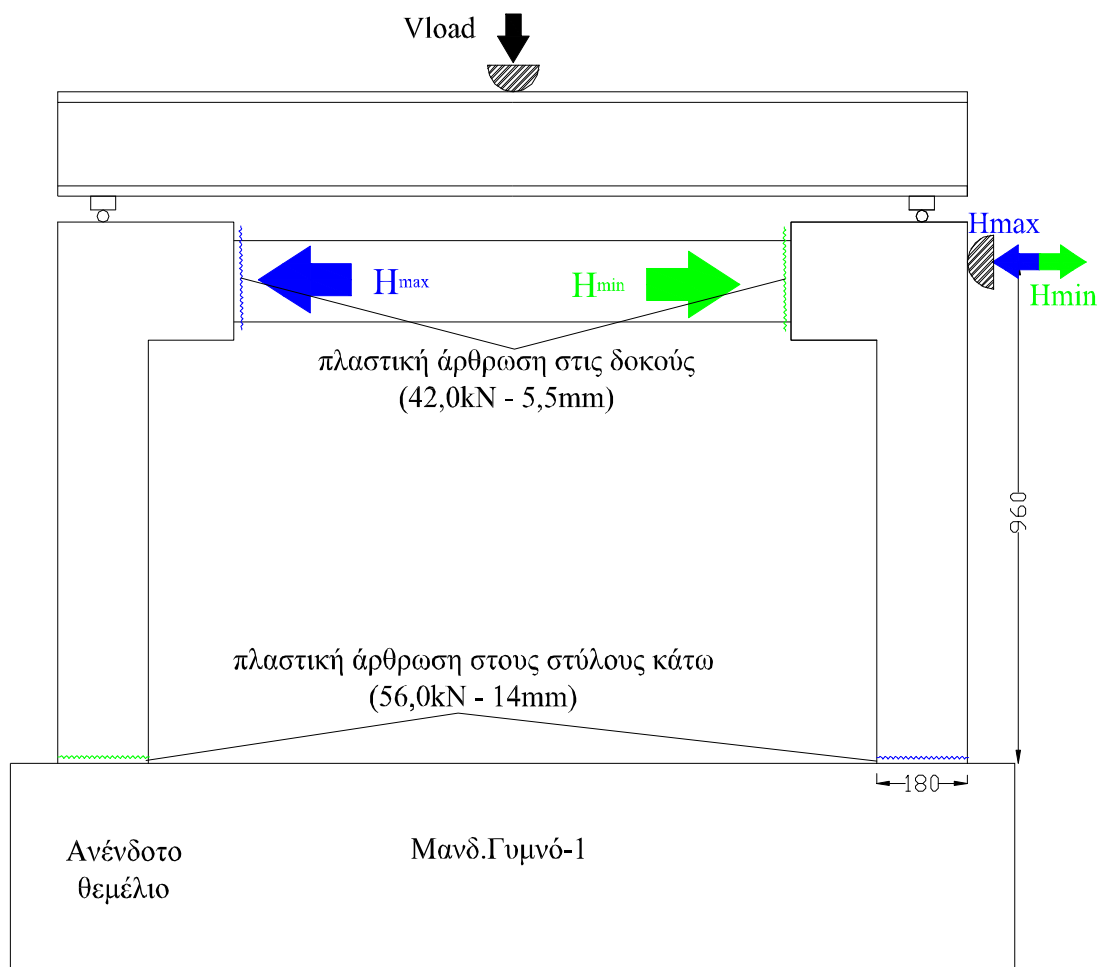


Σχήμα 7.17. Λεπτομέρειες μανδουωμένου γυμνού δοκιμίου **Μανδ.Γυμνό-1**. Χρησιμοποιείται η ονομασία LVDT για τα μηκυνσιόμετρα και VLOAD, HLOAD για τα δυναμόμετρα του κατακόρυφου και οριζόντιου φορτίου, αντίστοιχα

Για την μέγιστη τιμή της ανηγμένης σχετικής πλευρικής μετατόπισης του ορόφου η φέρουσα ικανότητα δεν παρουσίασε πτωτικές τάσεις. Επιπρόσθετα λόγω της αγκύρωσης των διαμήκων οπλισμών του μανδύα στη θεμελίωση η ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά δεν χαρακτηρίζεται από αξιοσημείωτη στένωση των κύκλων φορτίου-μετατόπισης.



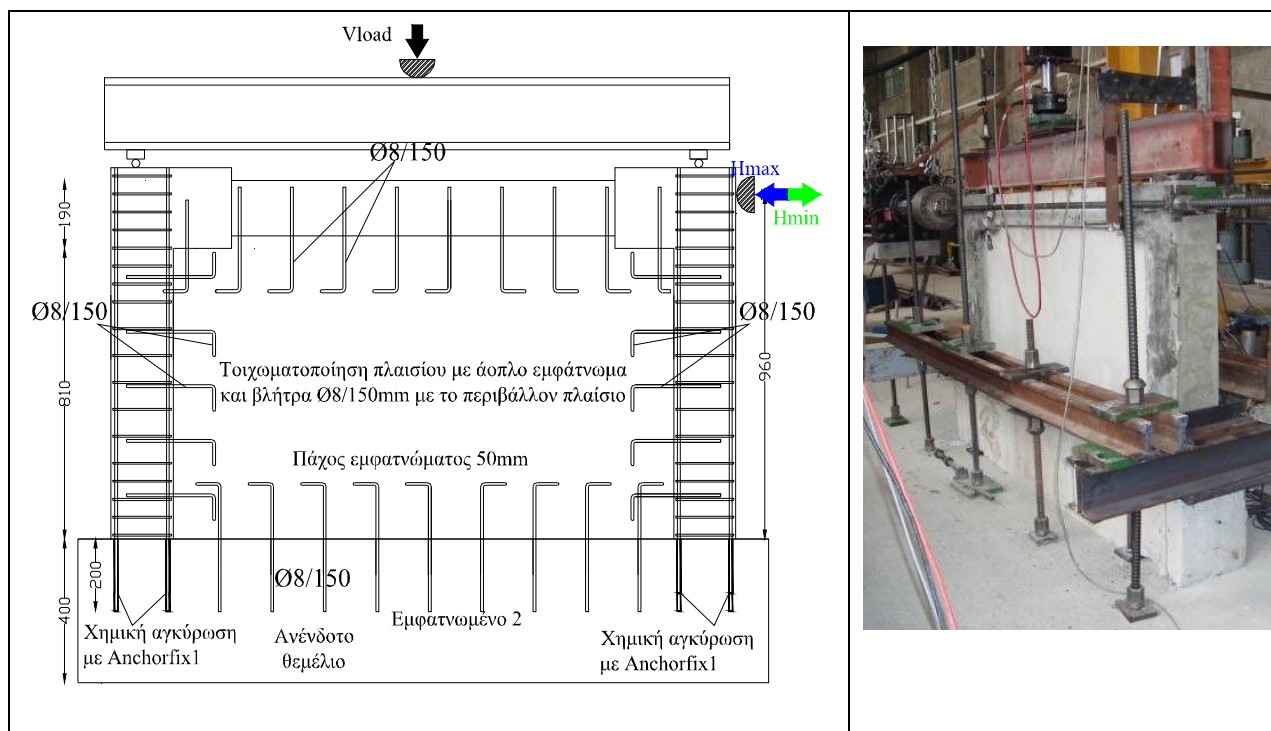
Σχήμα 7.18. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά μανδουωμένου γυμνού δοκιμίου Μανδ.Γυμνό-1



Σχήμα 7.18α. Σχηματική απεικόνιση των βλαβών του δοκιμίου **Μανδ.Γυμνό-1**

7.2.4. Δοκίμιο Εμφανωμένο-2

Εμφανωμένο πλαίσιο Ο/Σ με μανδύες σε στύλους και κόμβους (Μανδ.Γυμνό-1) με εσωτερικό άοπλο εμφάντωμα από Ο/Σ πάχους 50mm έχοντας σύνδεση με το περιβάλλον πλαίσιο χαλύβδινα βλήτρα B500C, μήκους 150mm (εντός του εμφαντώματος και 100 (εντός των διατομών του επισκευασμένου πλαισίου), διαμέτρου 8mm σε αποστάσεις 150mm τοποθετημένα σε μια σειρά στη μέση του πάχους των στύλων (5 βλήτρα ανά στύλο) και της δοκού του ζυγώματος (10 βλήτρα) και της θεμελίωσης (9 βλήτρα). Τα βλήτρα αυτά κατασκευάστηκαν από τον ίδιο χάλυβα που κατασκευάστηκαν οι διαμήκεις οπλισμοί του μανδύα του επισκευασμένου περιβάλλοντος πλαίσιο Μανδ.Γυμνό-1 (δες σχήμα 7.19 και πίνακα 7.2).



Σχήμα 7.19. Λεπτομέρειες εμφανωμένου δοκιμίου **Εμφανωμένο-2**

Για το παρόν δοκίμιο πραγματοποιήθηκαν πέντε δοκιμές: δοκιμή 1 Εμφανωμένο-2, δοκιμή 2 Εμφανωμένο-2 έως και δοκιμή 5 Εμφανωμένο-2. Με αυτόν τον τρόπο αναφέρονται και οι σχετικές μετρημένες αποκρίσεις στα διαγράμματα που ακολουθούν.

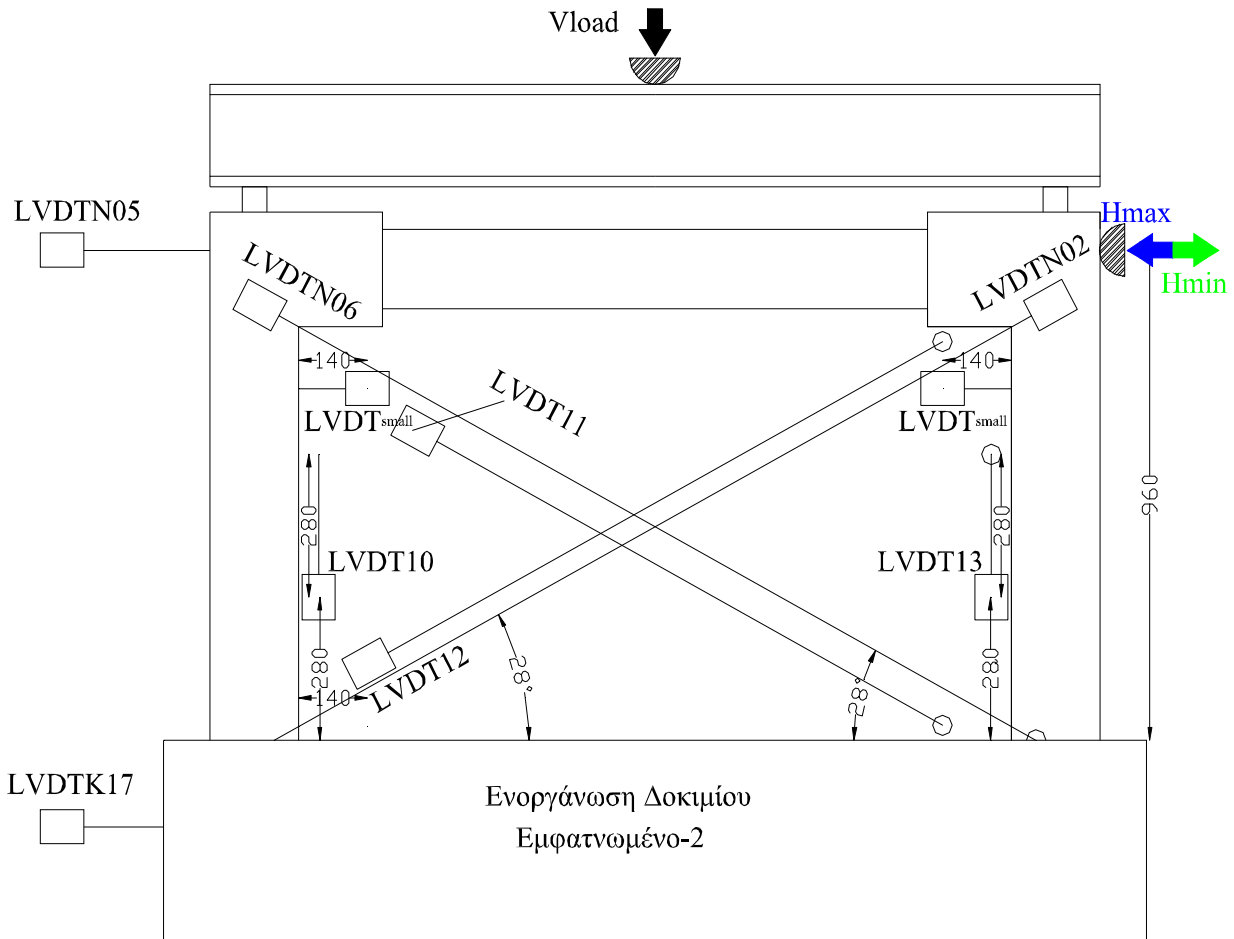
Το εμφάντωμα στο δοκίμιο αυτό (Εμφανωμένο-2) κατασκευάστηκε αφού προηγουμένως το γυμνό επισκευασμένο πλαίσιο Μανδ.Γυμνό-1 υποβλήθηκε στη φορτιστική ακολουθία που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Αρχικά κατασκευάστηκαν τα βλήτρα περιμετρικά σε όλα τα δομικά στοιχεία με την διάνοιξη οπών. Η αγκύρωση των βλήτρων στο περιβάλλον πλαίσιο έγινε με έμπηξη του οπλισμού σε αυτό με χρήση εποξειδικής κόλλας (AnchorFix 1 της εταιρίας Sika). Οι προδιαγραφές του κατασκευαστή απαιτούν βάθος έμπηξης για διάμετρο 8mm τουλάχιστον ίσο με 80mm για δράση αγκυρίου και 50mm για δράση βλήτρου. Στην προκειμένη περίπτωση ανοίχτηκαν οπές βάθους 100mm.

Στη συνέχεια, έγινε η έγχυση του άοπλου εμφαντώματος όπως έγινε και για το δοκίμιο Εμφανωμένο-1 (δες φωτογραφίες στο σχήμα 7.20).



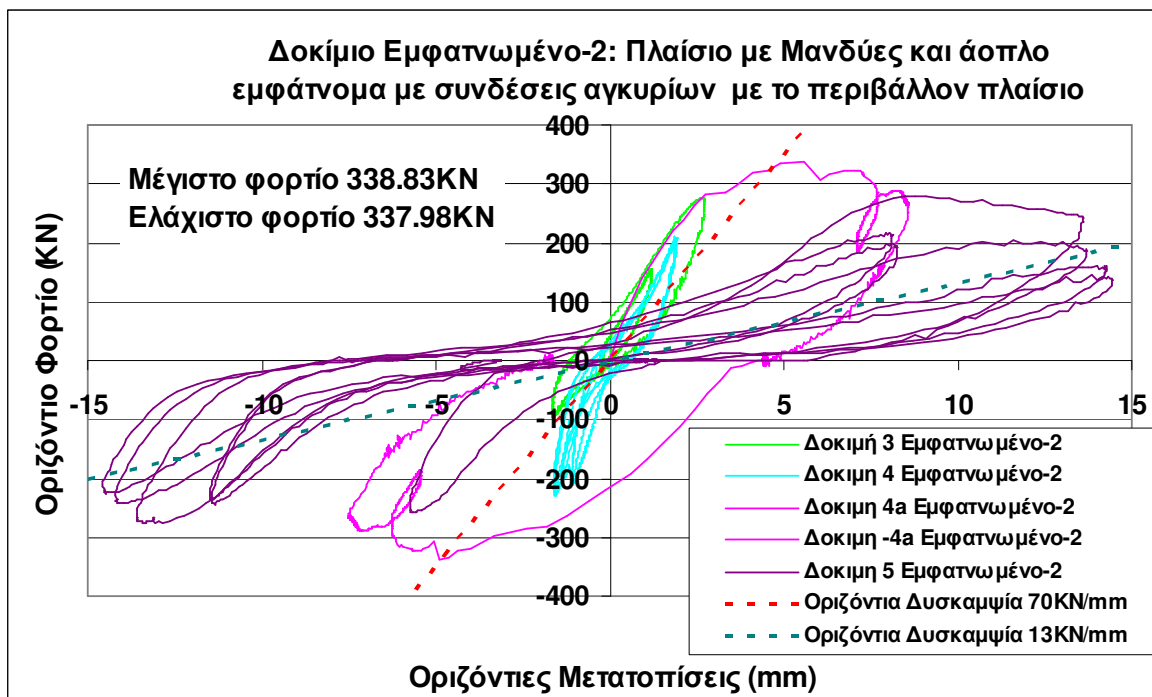
Σχήμα 7.20. Λεπτομέρειες εμφανιζόμενου δοκιμίου **Εμφανιζόμενο-2**

$H_{max,min}$: Μέτρηση οριζοντίου φορτίου
 V_{load} : Μέτρηση κατακόρυφου φορτίου
 LVDTN05: Οριζόντια μετακίνηση ορόφου
 LVDTK17: Οριζόντια μετακίνηση βάσης
 LVDTN06: Διαγώνια μετακίνηση πλαισίου 1
 LVDTN02: Διαγώνια μετακίνηση πλαισίου 2
 LVDTN11: Διαγώνια μετακίνηση εμφαντώματος 1
 LVDTN12: Διαγώνια μετακίνηση εμφαντώματος 2
 LVDTN10: Ολίσθηση πλαισίου-εμφαντώματος 1
 LVDTN13: Ολίσθηση πλαισίου-εμφαντώματος 2
 LVDT_{small}: Αποκόλληση πλαισίου-εμφαντώματος 1
 LVDT_{small}: Αποκόλληση πλαισίου-εμφαντώματος 2

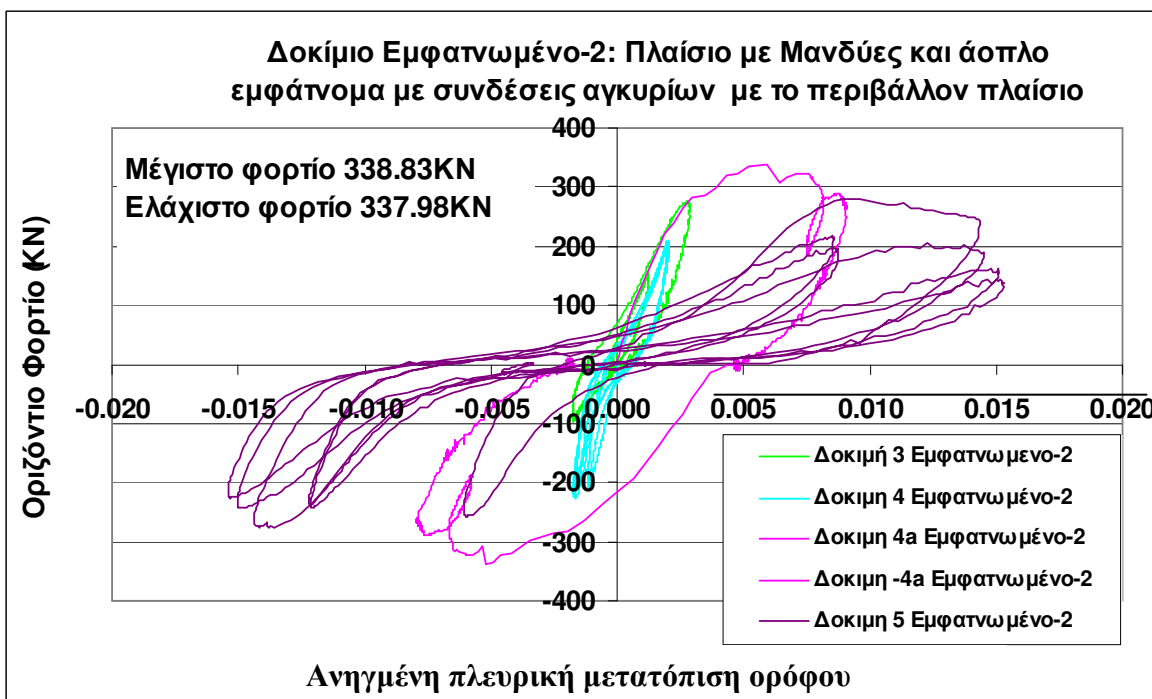


Σχήμα 7.20α. Ενοργάνωση εμφαντωμένου δοκιμίου **Εμφαντώμενο-2** Χρησιμοποιείται η ονομασία LVDT για τα μηχανοσκόπια και V_{LOAD} , H_{LOAD} για τα δυναμόμετρα του κατακόρυφου και οριζοντίου φορτίου, αντίστοιχα

Η μετρηθείσα συμπεριφορά απεικονίζεται στα σχήματα που ακολουθούν αφενός σε όρους οριζοντίου φορτίου – οριζόντιας μετατόπισης (Σχήμα 7.21) αφετέρου σε όρους οριζοντίου φορτίου ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου (σχήμα 7.22). Στο σχήμα 7.25 απεικονίζεται η μεταβολή της διατμητικής παραμόρφωσης (γ) του εμφαντώματος συναρτήσει της μεταβολής της οριζόντιας δύναμης, όπως έγινε και για το δοκίμιο Εμφαντώμενο-1. Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι η ανηγμένη πλευρική μετατόπιση του ορόφου, που απεικονίζεται στο σχήμα 7.22, αντιστοιχεί στο σύνολο του φορέα (πλαίσιο + εμφάντωμα + συνδέσεις) ενώ η διατμητική παραμόρφωση (γ) του σχήματος 7.25 αναφέρεται στις παραμορφώσεις μόνον του άοπλου εμφαντώματος. Επί τη βάση αυτών των μετρήσεων μπορεί να διατυπωθούν οι εξής παρατηρήσεις:



Σχήμα 7.21. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφανωμένου δοκιμίου **Εμφανωμένο-2**



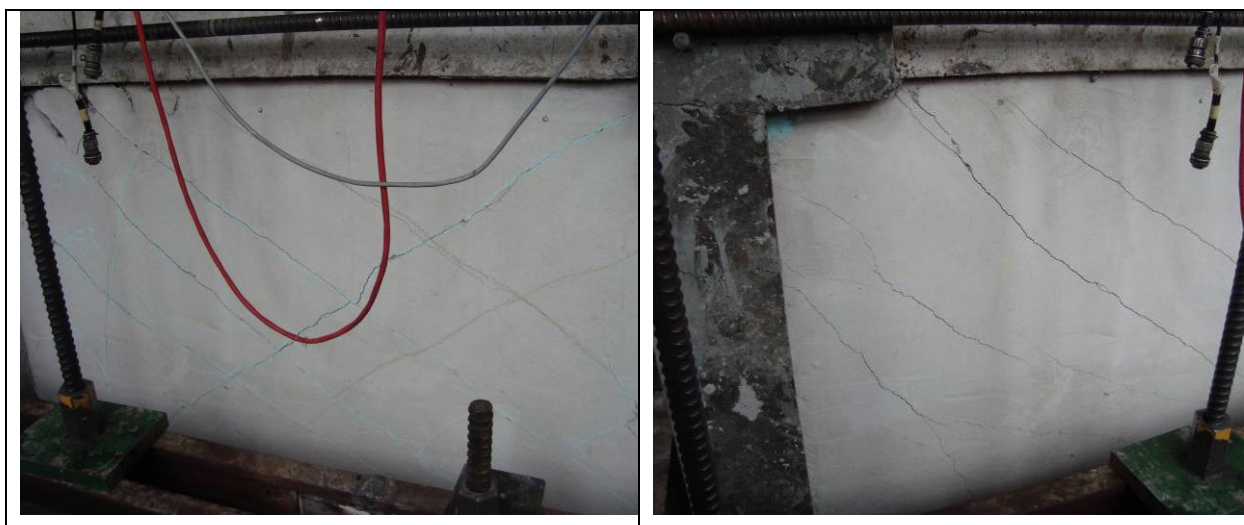
Σχήμα 7.22. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφανωμένου δοκιμίου **Εμφανωμένο-2**

- Η προσθήκη του άοπλου εμφανώματος πάχους 50mm, με την παρουσία σύνδεσής του με το περιβάλλον πλαίσιο μέσω χαλύβδινων συνδέσμων (αγκυρίων-βλήτρων), έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της δυσκαμψίας από 12.0kN/mm (χωρίς σύνδεση αγκυρίων Εμφανωμένο-1) σε 70.0kN/mm και σε αύξηση της φέρουσας ικανότητας από 124kN (χωρίς σύνδεση αγκυρίων Εμφανωμένο-1) σε 338kN.
- Για τιμές της ανηγμένης σχετικής πλευρικής μετατόπισης του ορόφου της τάξεως του 0.7% δεν παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη πτώση της φέρουσας ικανότητας.
- Το εμφανωμένο αυτό πλαίσιο (**Εμφανωμένο-2**) παρουσίασε σημαντικές πτωτικές τάσεις της φέρουσας ικανότητάς του για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου μεγαλύτερες του 0.7%. Για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου της τάξεως του 1.4% η πτώση της φέρουσας ικανότητας είναι περίπου 70% και της δυσκαμψίας είναι περίπου 400%.

- Για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου μικρότερες του 0.7% η συμπεριφορά χαρακτηρίζεται από κύκλους φορτίου-μετατόπισης χωρίς στένωση που υποδηλώνουν την κατανάλωση σημαντικής υστερητικής ενέργειας. Για μεγαλύτερες τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου παρατηρείται στένωση στους κύκλους υστέρησης αλλά η κατανάλωση υστερητικής ενέργειας είναι σημαντική.

- Λόγω των συνδέσεων μεταξύ εμφατνώματος και περιβάλλοντος πλαισίου, το εμφάτνωμα του δοκιμίου **Εμφατνωμένο-2** ανέπτυξε μεγαλύτερη ένταση από ότι στη δοκιμή Εμφατνωμένο-1 όπου υπήρχε απουσία τέτοιων συνδέσεων. Αυτό δικαιολογεί και την αύξηση τόσο της δυσκαμψίας από 12.0KN/mm (χωρίς σύνδεση αγκυρίων Εμφατνωμένο-1) σε 70.0KN/mm (Εμφατνωμένο-2) όσο και την αύξηση της φέρουσας ικανότητας από 124KN (χωρίς σύνδεση αγκυρίων Εμφατνωμένο-1) σε 338KN (Εμφατνωμένο-2) που παρατηρήθηκε.

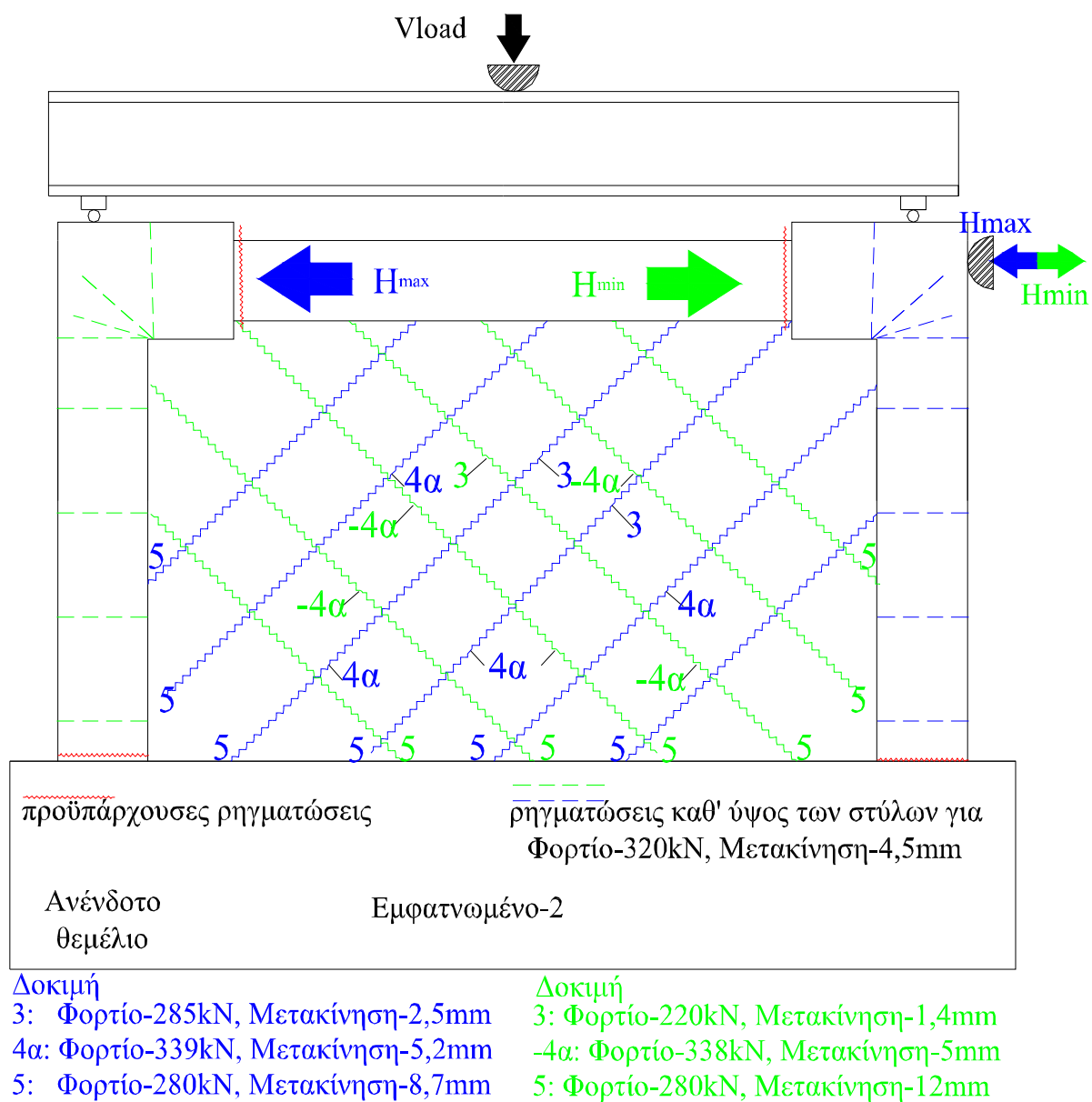
Η μορφή των βλαβών που εμφανίστηκαν στους επάλληλους κύκλους απεικονίζεται στο φωτογραφικό υλικό στα σχήματα 7.23. και 7.24 που ακολουθούν.



Σχήμα 7.23. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου **Εμφατνωμένο-2**, μορφές βλαβών κατά την διάρκεια της φορτιστικής ακολουθίας

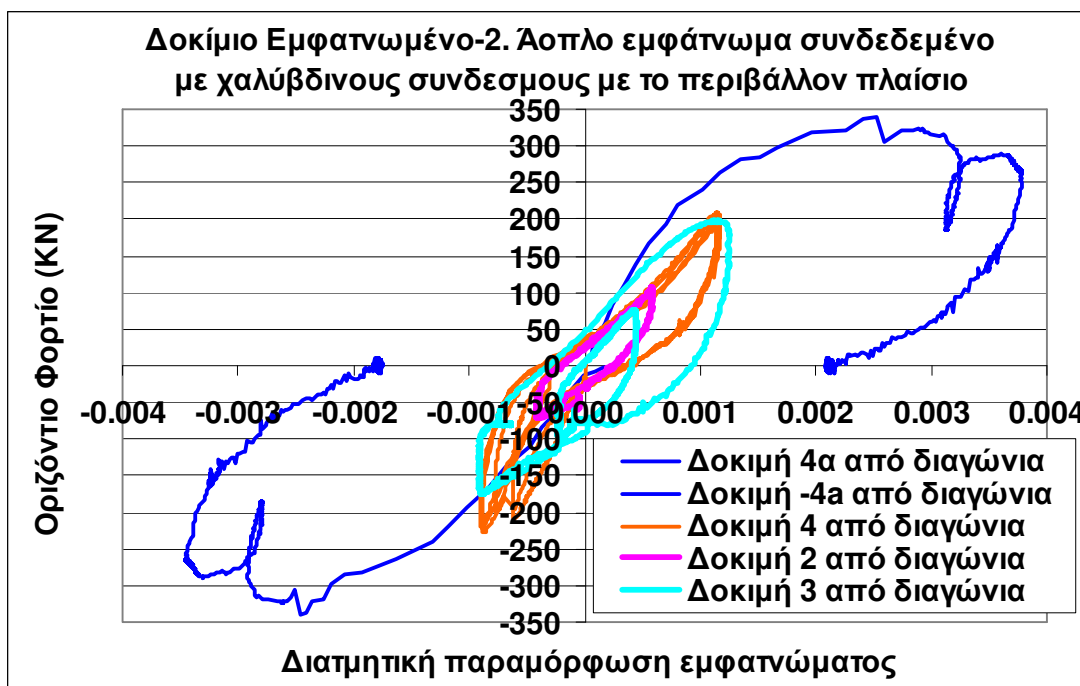


Σχήμα 7.24 . Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφανιζόμενου δοκιμίου **Εμφανωμένο-2**, μορφές βλαβών μετά το τέλος της φορτιστικής ακολουθίας



Σχήμα 7.24α. Σχηματική απεικόνιση μορφών βλαβών εμφανωμένου δοκιμίου **Εμφανωμένο-2**

- Συνέπεια αυτής της αυξημένης έντασης του άοπλου εμφαντώματος είναι και οι βλάβες που σημειώθηκαν στο σώμα του εμφαντώματος. Όπως ήταν αναμενόμενο, αυτές είχαν διαγώνια μορφή για το σώμα του εμφαντώματος (7.23, 7.24 και 7.24^α). Επιπρόσθετα, λόγω της ύπαρξης των συνδέσεων, πέραν της ρηγματώσης στην κύρια διαγώνιο (λόγω της ανακύκλισης και στις δύο κύριες διαγώνιους) αναπτύχθηκε μια ομάδα ρηγματώσεων παράλληλων προς την κύρια διαγώνιο που είχαν οι περισσότερες ως σημείο εκκίνησης την θέση συνδέσμου του περιβάλλοντος πλαισίου με το άοπλο εμφάντωμα. Οι αρχική εμφάνιση των διαγωνίων ρηγματώσεων αντιστοιχεί σε διατμητικές παραμορφώσεις της τάξεως του 0.001 (δες σχήμα 7.25). Στην συνέχεια οι αρχικές διαγώνιες ρηγματώσεις διευρύνθηκαν δημιουργήθηκαν και ομάδα ρηγματώσεων παράλληλων προς τις αρχικές (δες σχήματα 7.25). Λόγω αυτών των ρηγματώσεων το εμφάντωμα ανέπτυξε διατμητικές παραμορφώσεις (γ) της τάξεως του 0.4%, όπως φαίνεται από το σχήμα 7.25. που ακολουθεί.



Σχήμα 7.25 . Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφαντωμένου δοκιμίου **Εμφαντωμένο-2**

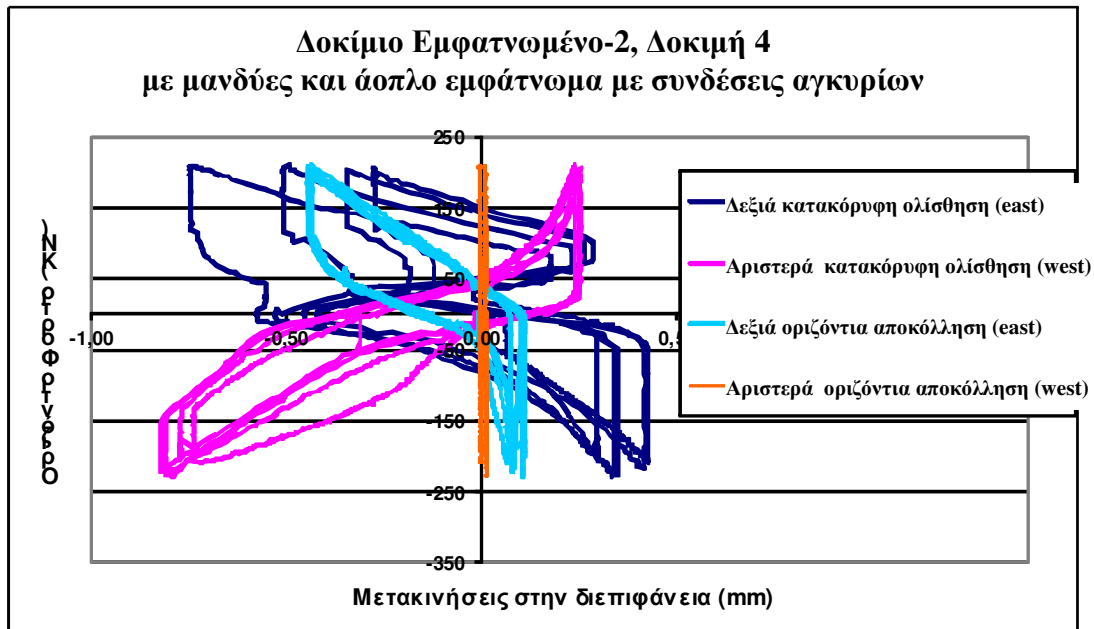
- Για τους κύκλους σχετικά μεγάλου εύρους οριζόντιας μετατόπισης οι θέσεις αυτών των συνδέσεων ανέπτυξαν εμφανή σημεία καταπόνησης με τον σχηματισμό περιοχών τοπικής θραύσης του σκυροδέματος (σχήμα 7.24). Η πλέον εμφανής αστοχία σε τέτοια περιοχή σύνδεσης αναπτύχθηκε στην πάνω δεξιά γωνία (East), όπου η θραύση του εμφαντώματος επεκτάθηκε σε σημαντική έκταση και απεκαλύφθησαν όλοι οι υπάρχοντες εκεί οπλισμοί σύνδεσης μεταξύ του εμφαντώματος και του περιβάλλοντος πλαισίου. Συνέπεια αυτών των αστοχιών σε συνδυασμό με τις συνεχώς διευρυνόμενες ομάδες διαγωνίων ρηγματώσεων στο εσωτερικό του εμφαντώματος ήταν η σημαντική πτώση της δυσκαμψίας και της φέρουσας ικανότητας του εν λόγω δοκιμίου.

- Με βάση όλα τα προηγούμενα γίνεται προφανής η διαφορετική συμπεριφορά τόσο του άοπλου εμφαντώματος όσο και όλου του εμφαντωμένου πλαισίου (**Εμφαντωμένο-2**) με την παρουσία των συνδέσεων, σε σχέση με το αντίστοιχο άοπλο φάντωμα χωρίς συνδέσεις, το οποίο συμπεριφέρθηκε ελαστικά ως σχεδόν απαραμόρφωτο τοίχωμα, όπως ήδη παρουσιάστηκε (Εμφαντωμένο-1).

- Παρά τις μεγάλες σχετικές μετακινήσεις του εμφαντώματος από το περιβάλλον πλαίσιο δεν δημιουργήθηκε σε καμιά περίπτωση κίνδυνος εκτός επιπέδου πτώσης του εμφαντώματος για σεισμικές δυνάμεις κάθετες προς το επίπεδο του λόγω τις ύπαρξης των συνδέσεων. Το τμήμα του άοπλου εμφαντώματος απομακρύνθηκε σχετικά εύκολα από το πλαίσιο μετά το τέλος της φορτιστικής. Η περιοχή όμως πλησίον των συνδέσεων με το περιβάλλον πλαίσιο μέσω των βλήτρων απομακρύνθηκε με σχετική δυσκολία (δες επόμενη παράγραφο 7.2.5).

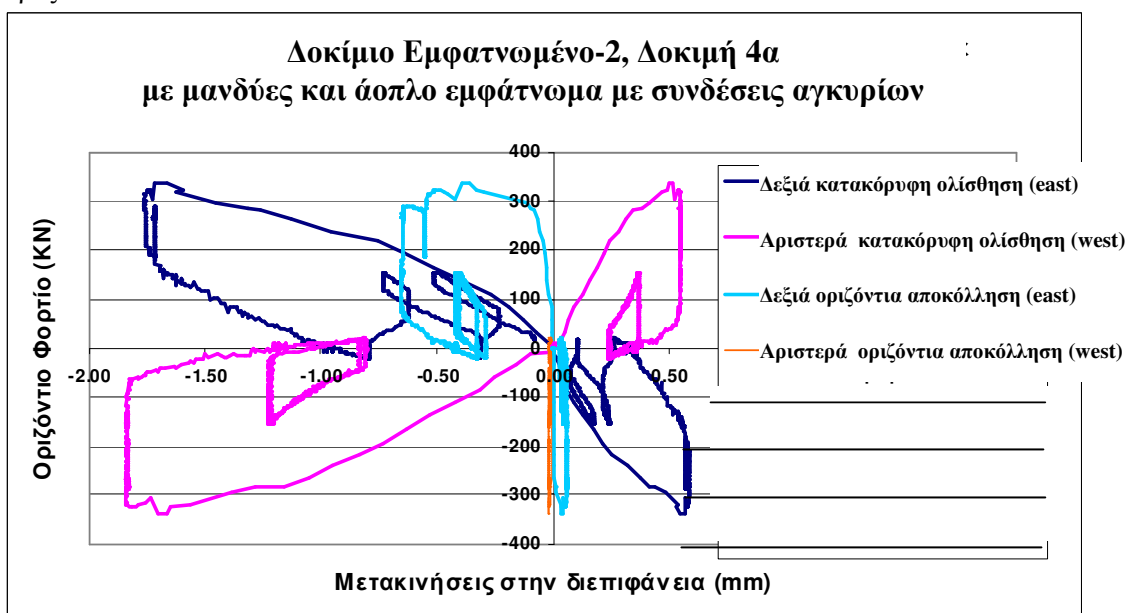
Στο ανωτέρω σχήμα 7.27. καθώς και σε αυτό που ακολουθεί (σχήμα 7.28.) παρουσιάζονται οι μετρήσεις των μετακινήσεων που αναπτύχθηκαν στην διεπιφάνεια σύνδεσης μεταξύ του εμφαντώματος και του περιβάλλοντος επισκευασμένου πλαισίου με του μανδύες. Οι μετακινήσεις που μετρώνται είναι η σχετική κατακόρυφη ολίσθηση μεταξύ του εμφαντώματος και του δεξιού ή του αριστερού στύλου καθώς και η οριζόντια αποκόλληση μεταξύ του εμφαντώματος και του δεξιού ή του αριστερού στύλου . Οι σχετικές

αυτές μετατόπισης μεταξύ εμφαντώματος και περιβάλλοντος πλαισίου μετρώνται στις θέσεις που υποδεικνύονται στο σχήμα 7.3 και 7.20α (ενοργάνωση δοκιμίου). Δηλαδή οι μετακινήσεις ολίσθησης αντιπροσωπεύουν την σχετική ολίσθηση εμφαντώματος-πλαισίου για περίπου το 1/2 του ύψους της κατακόρυφης πλευράς του εμφαντώματος ενώ οι οριζόντιες αποκολλήσεις του φατνώματος από τους στύλους μετρώνται στην περιοχή κοντά στην αριστερή και δεξιά γωνία του φατνώματος σε απόσταση περίπου 190mm από τον άξονα της δοκού. Με βάση αυτές τις μετρήσεις μπορούν να γίνουν οι εξής παρατηρήσεις:



Σχήμα 7.26. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφαντωμένου δοκιμίου **Εμφαντωμένο-2**

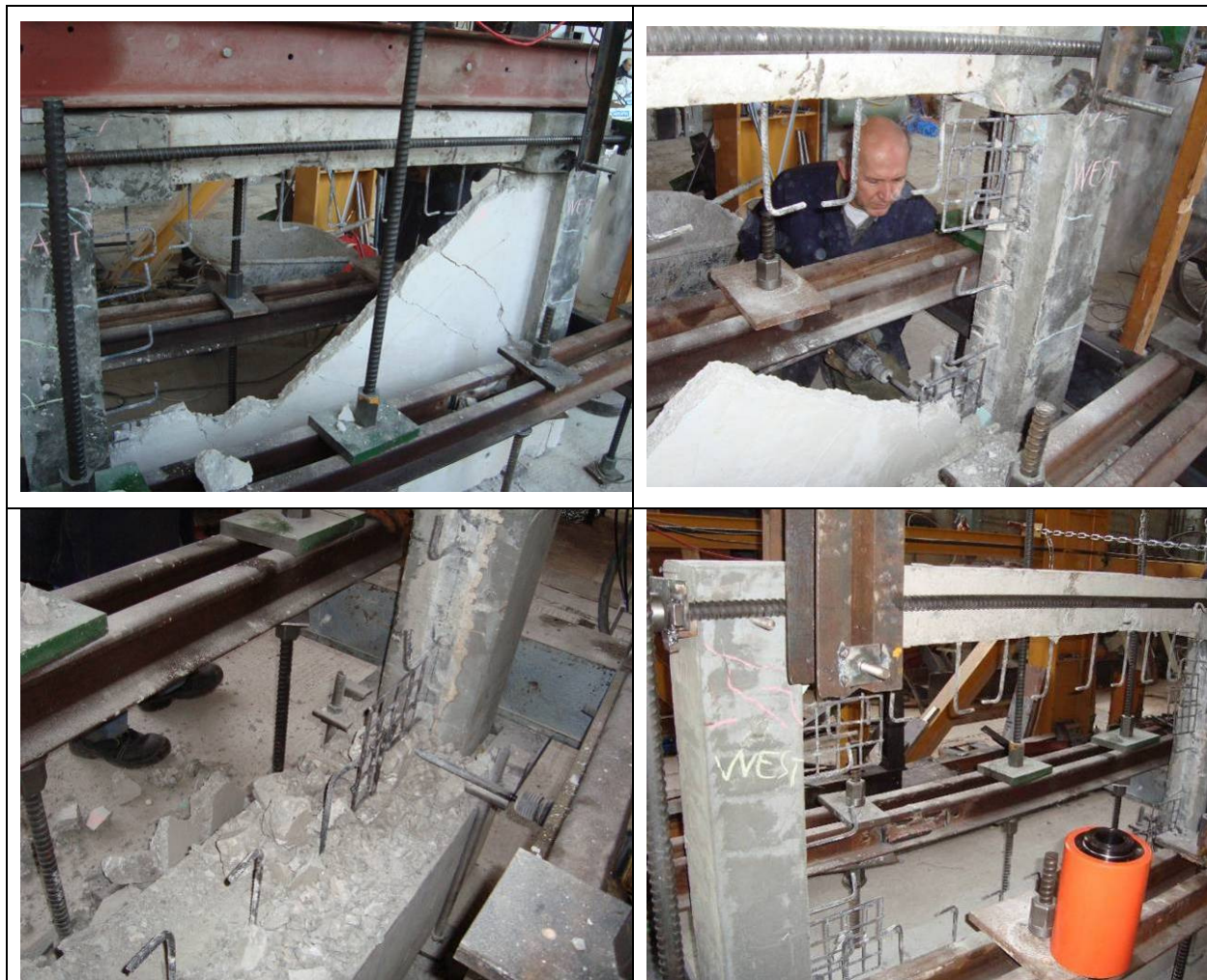
- Λόγω της παρουσίας των βλήτρων, οι σχετικές αυτές μετακινήσεις του φατνώματος από το περιβάλλον πλαίσιο είναι της τάξεως των μερικών χιλιοστών του μέτρου σε αντίθεση με το φάτνωμα χωρίς συνδέσεις όπου, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο , αναπτύχθηκαν σημαντικού εύρους μετατοπίσεις αποκόλλησης του φατνώματος από το περιβάλλον πλαίσιο καθώς και μετακινήσεις σχετικής ολίσθησης του φατνώματος από τις παρειές των δομικών στοιχείων του περιβάλλοντος πλαισίου, με μέγιστη τιμή ολίσθησης περίπου 10mm (Δοκιμή 4) οι δε αποκολλήσεις του φατνώματος από το περιβάλλον πλαίσιο στις γωνίες είχαν τιμές μεγαλύτερες από 20mm



Σχήμα 7.27. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφαντωμένου δοκιμίου **Εμφαντωμένο-2**

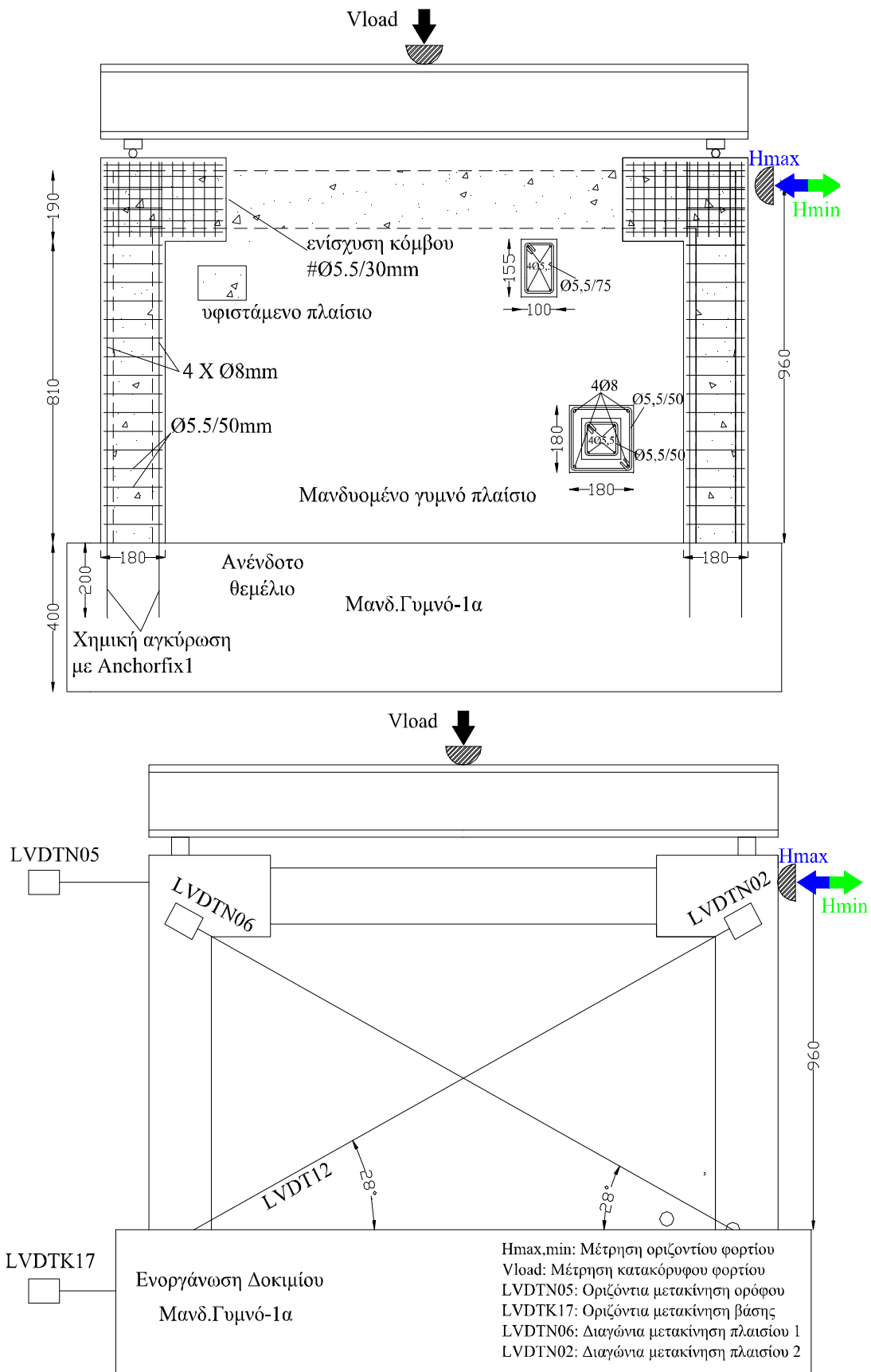
7.2.5. Δοκίμιο Μανδ.Γυμνό-1α (Θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει και το δοκίμιο Μανδ.Γυμνο-1β)

Μετά το τέλος της φορτιστικής ακολουθίας Εμφανωμένο-2 το θραυσμένο άοπλο εμφάνωμα απομακρύνθηκε από το περιβάλλον πλαίσιο χωρίς να απομακρυνθεί από την φορτιστική διάταξη (φωτογραφίες στο σχήμα 7.28 και 7.28α). Λόγω της απουσίας οπλισμού στο εσωτερικό του εμφαντώματος η απομάκρυνση αυτή έγινε σχετικά εύκολα στο μεγάλο τμήμα του εμφαντώματος μακράν των περιοχών σύνδεσης με το περιβάλλον πλαίσιο. Στις περιοχές σύνδεσης απαιτήθηκε ιδιαίτερη προσοχή για την απομάκρυνση των τμημάτων σκυροδέματος του εμφαντώματος χωρίς να πειραχθούν τα υπάρχοντα βλήτρα. Το δοκίμιο γυμνού πλαισίου που προέκυψε με αυτό τον τρόπο αποτελέσε ένα ακόμη δοκίμιο με την κωδική ονομασία **Μανδ.Γυμνό-1α**, που αντιπροσωπεύει το περιβάλλον πλαίσιο στην κατάσταση του στο τέλος της φορτιστικής ακολουθίας Εμφανωμένο-2. Το εν λόγω δοκίμιο υποβλήθηκε ξανά στον ίδιο τύπο ανακυκλιζόμενης φόρτισης που χρησιμοποιήθηκε σε όλα τα δοκίμια της παρούσας διερεύνησης.

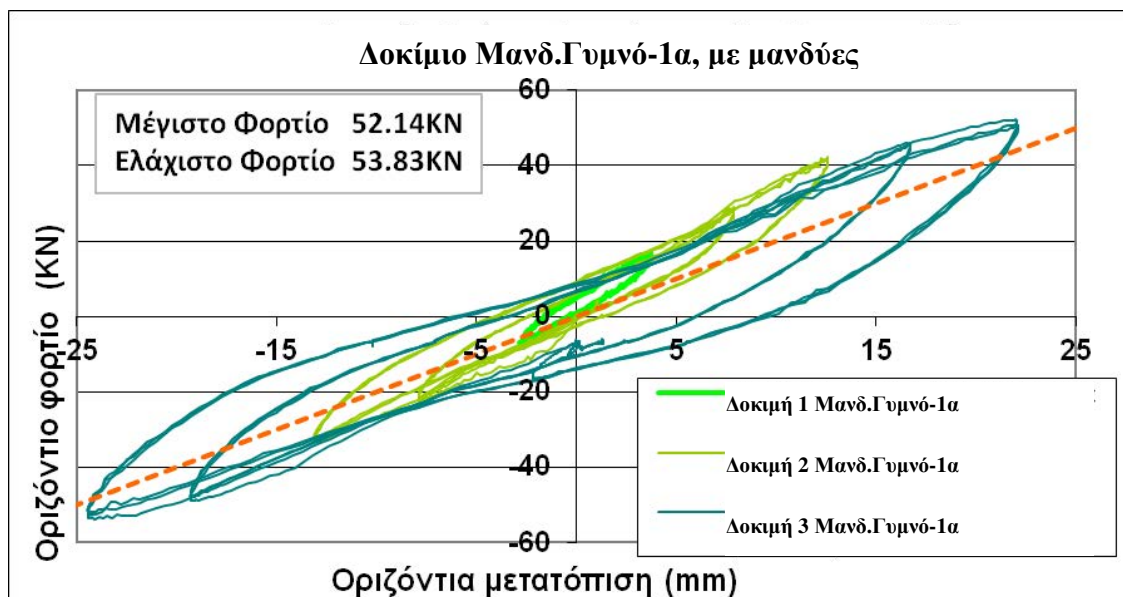


Σχήμα 7.28. Λεπτομέρειες μανδουμένου γυμνού δοκιμίου **Μανδ.Γυμνό-1α**

Η μετρηθείσα συμπεριφορά σε όρους οριζόντιου φορτίου – οριζόντιας μετατόπισης για το δοκίμιο **Μανδ.Γυμνό-1α** απεικονίζεται στο κατωτέρω σχήμα 7.29. Στο σχήμα 7.30 που ακολουθεί, η εν λόγω συμπεριφορά συγκρίνεται με την αντίστοιχη συμπεριφορά των γυμνών δοκιμίων **Γυμνό-1**, και **Μανδ.Γυμνό-1**.

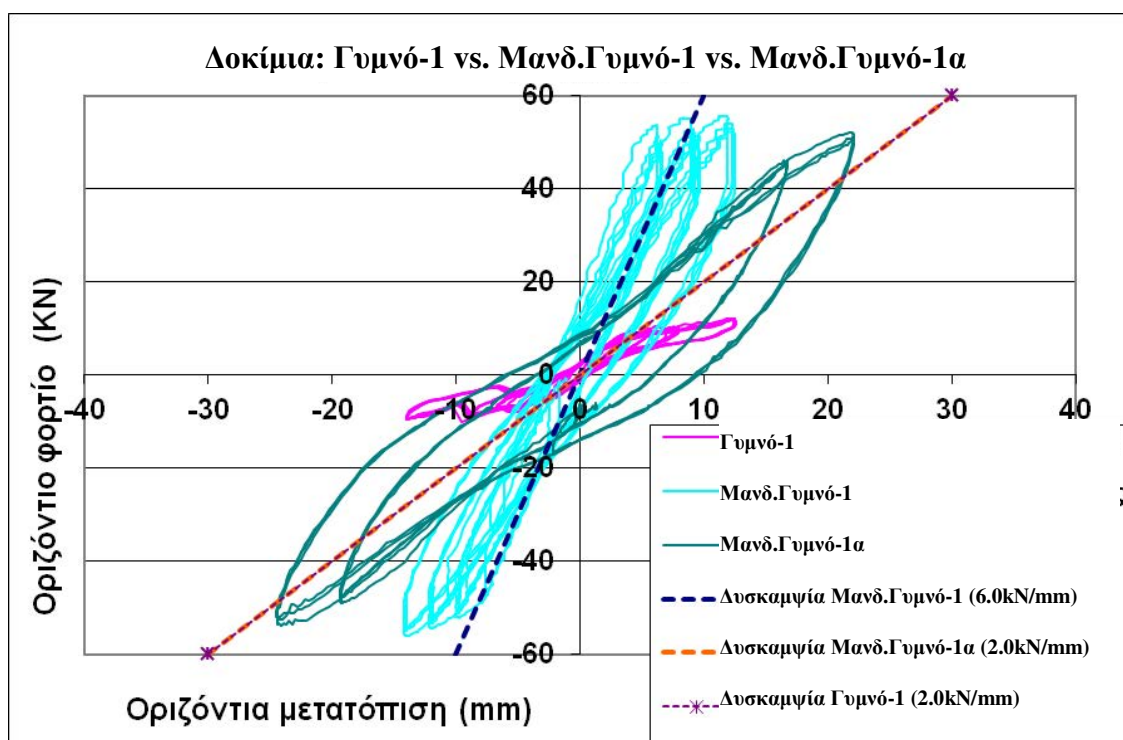


Σχήμα 7.28α. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες και ενοργάνωση δοκιμίου **Μανδ.Γυμνό-1α**

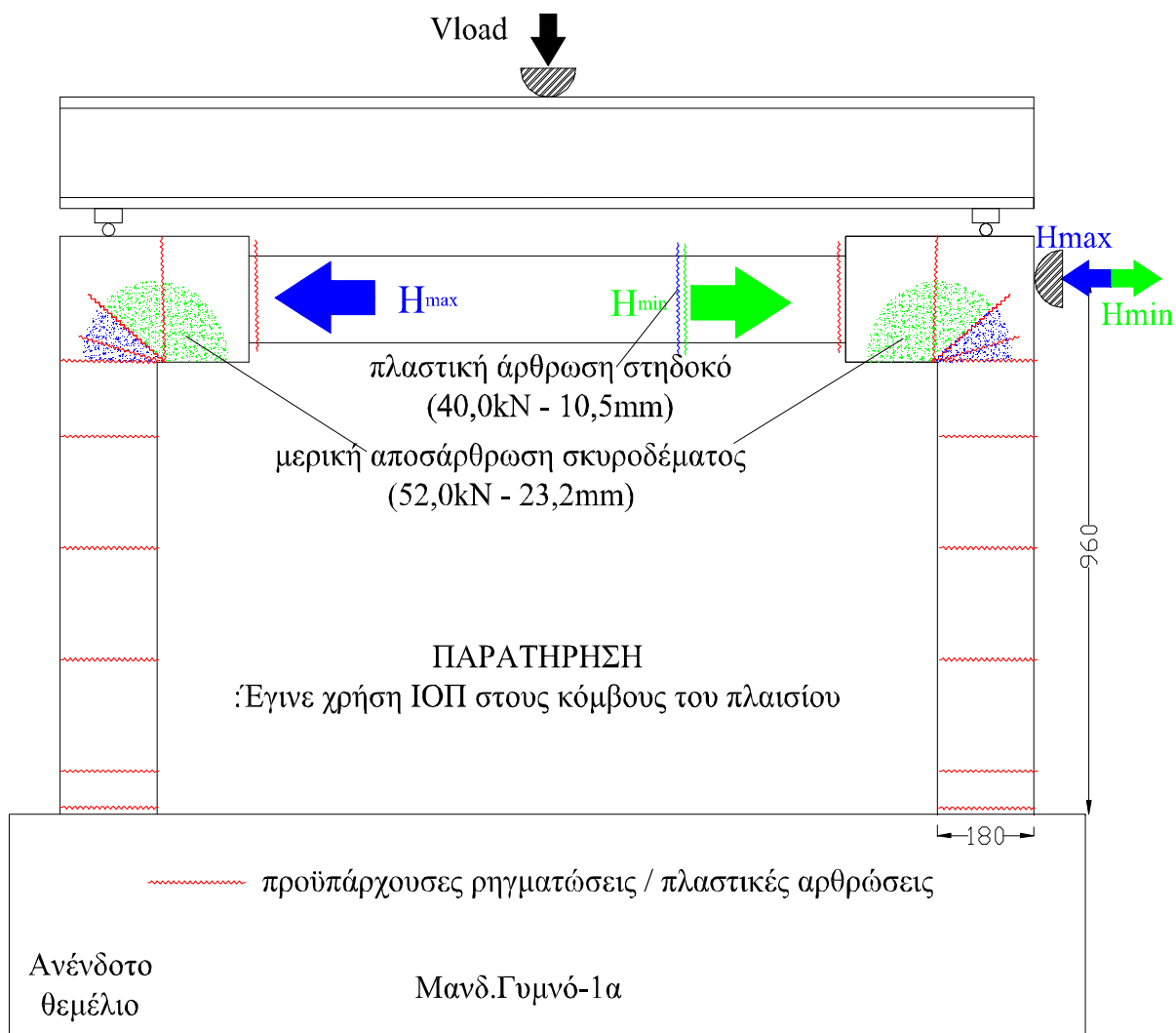


Σχήμα 7.29. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά μανδωμένου γυμνού δοκιμίου **Μανδ.Γυμνό-1α**

Όπως φαίνεται από την σύγκριση αυτή μετά την ακολουθία το γυμνό δοκίμιο παρουσιάζει μείωση της δυσκαμψίας του που πλησιάζει την δυσκαμψία του αρχικού γυμνού πλαισίου δοκίμιο . Η φέρουσα ικανότητά του **Μανδ.Γυμνό-1α** μετά το τέλος της φορτιστικής ακολουθίας Εμφατνωμένο-2 παραμένει στα αυτά επίπεδα με αυτήν πριν από την φορτιστική ακολουθία Εμφατνωμένο-2, δηλαδή με αυτή του δοκιμίου **Μανδ.Γυμνό-1**.



Σχήμα 7.30. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά όλων των γυμνών δοκιμίων **Γυμνό-1 vs. Μανδ.Γυμνό-1 vs. Μανδ.Γυμνό-1α**

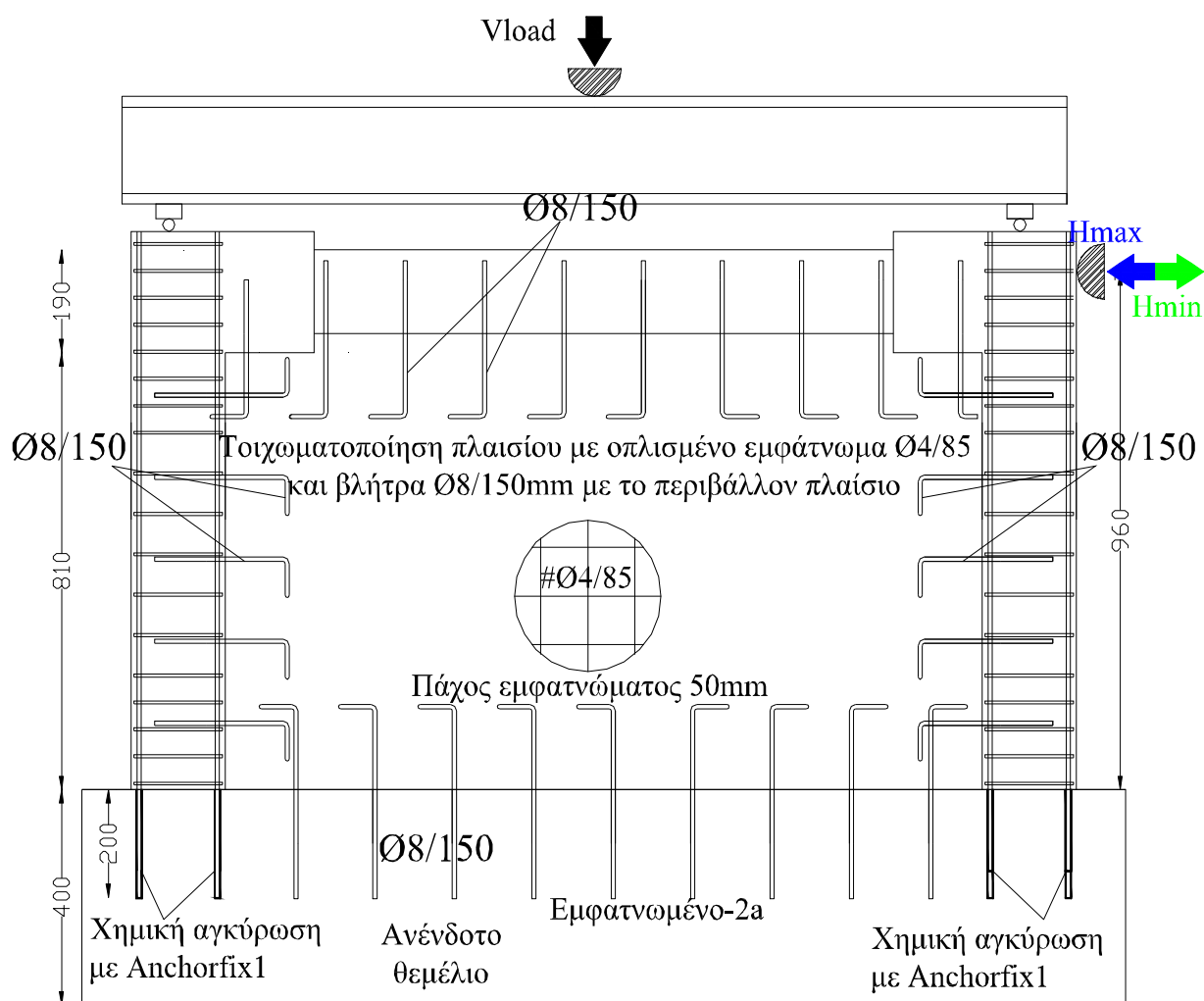


Σχήμα 7.30α. Σχηματική απεικόνιση βλαβών του γυμνού δοκιμίου **Μανδ.Γυμνό-1α**

7.2.6. Δοκίμιο Εμφανωμένο-2α

Εμφανωμένο πλαίσιο που προέκυψε από το γυμνό πλαίσιο Μανδ.Γυμνό-1α με την κατασκευή εμφαντώματος Ο/Σ οπλισμένου με σχάρα $\text{Ø}4/85\text{mm}$ πάχους 50mm. Το μερικώς οπλισμένο αυτό εμφάντωμα ήταν συνδεδεμένο με το περιβάλλον πλαίσιο όπως και το Εμφάντωμα-2, δηλαδή με χαλύβδινα βλήτρα B500C, μήκους 150mm (εντός του εμφαντώματος και 100 (εντός των διατομών του επισκευασμένου πλαισίου), διαμέτρου 8mm σε αποστάσεις 150mm τοποθετημένα σε μια σειρά στη μέση του πάχους των στύλων (5 βλήτρα ανά στύλο) και της δοκού του ζυγώματος (10 βλήτρα) και της θεμελίωσης (9 βλήτρα). (δες σχήμα 7.31). Στο οπλισμένο εμφάντωμα του δοκιμίου Εμφανωμένο-2α χρησιμοποιήθηκε απλή σχάρα οπλισμών με νευρώσεις διαμέτρου 4mm, που αντιστοιχεί σε ποσοστό οπλισμού 0.3%. Οι φωτογραφίες στο σχήμα 7.32 που ακολουθεί είναι ενδεικτικές του τρόπου τοποθέτησης της σχάρας $\text{Ø}4/85\text{mm}$, καθώς και της σύνδεσης της με τα βλήτρα και τον ειδικό οπλισμό του εμφαντώματος στις γωνίες.

Συνολικά για το δοκίμιο αυτό πραγματοποιήθηκαν 25 δοκιμές μέχρι αστοχίας του. Στα σχόλια και γραφήματα που ακολουθούν θα αναφέρονται ως: Δοκιμή 1 Εμφανωμένο-2α έως Δομική 25 Εμφανωμένο-2α.

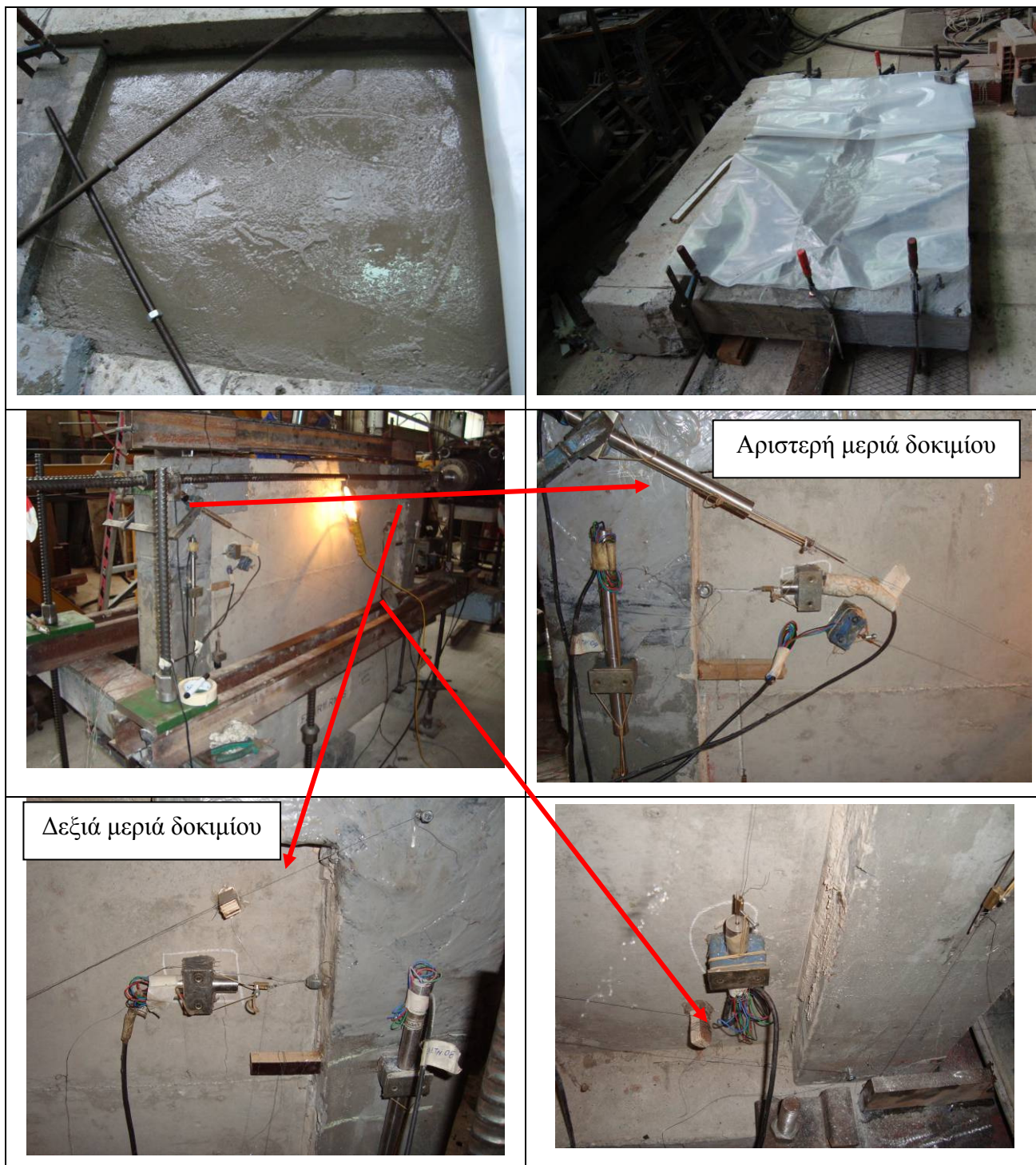


Σχήμα 7.31. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες όπλισης εμφανωμένου δοκιμίου **Εμφανωμένο-2α**



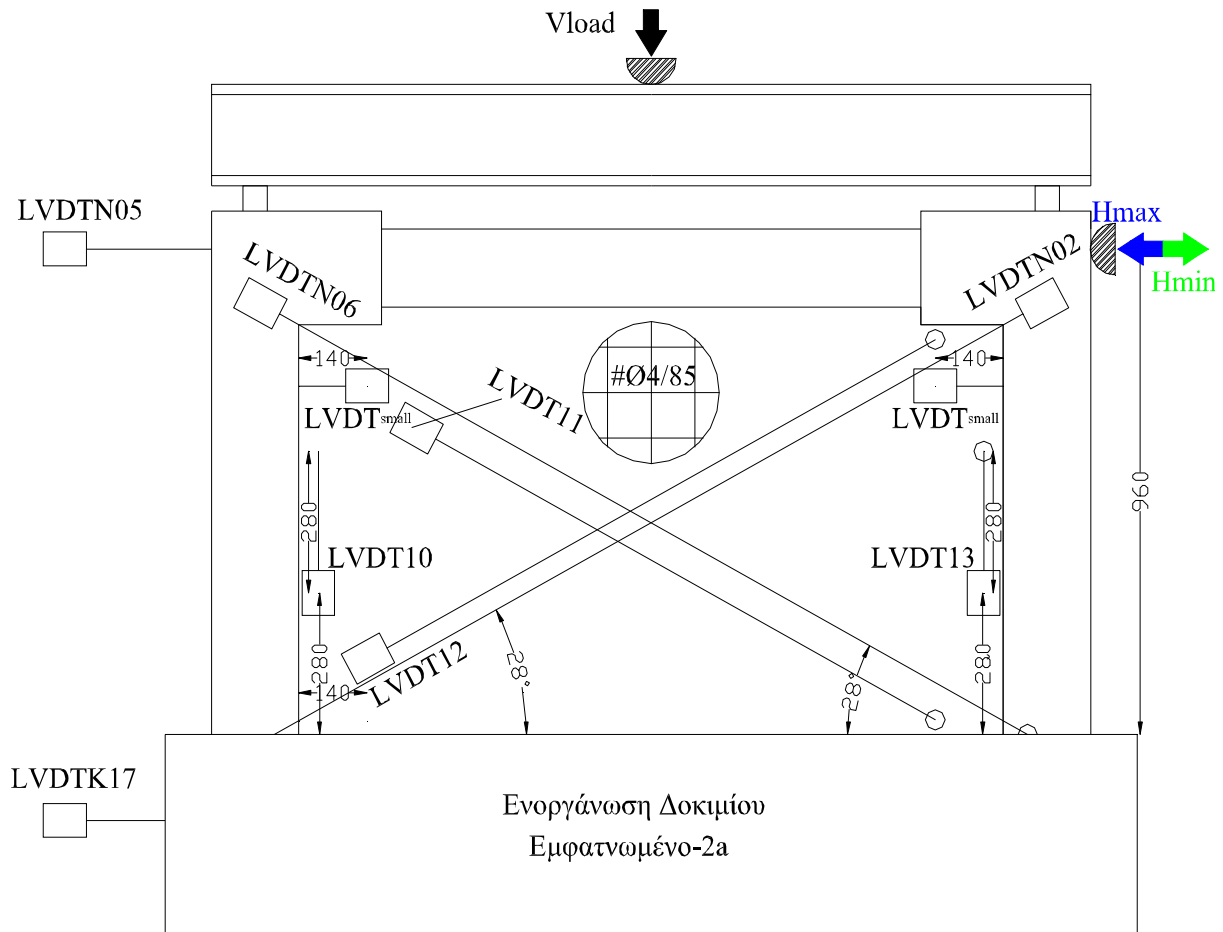
Σχήμα 7.32. Λεπτομέρειες προπαρασκευής του εμφαντνωμένου δοκιμίου **Εμφάτνωμένο-2α**

Στο φωτογραφικό υλικό στο σχήμα 7.33. που ακολουθεί απεικονίζεται η σκυροδέτηση του εμφατνώματος αυτού καθώς και η τοποθέτηση του δοκιμίου **Εμφάτνωμένο-2α** στη φορτιστική διάταξη και η ενοργάνωσή του. Επίσης στο σχήμα 7.33α παρουσιάζεται η ενοργάνωση του δοκιμίου αυτού.



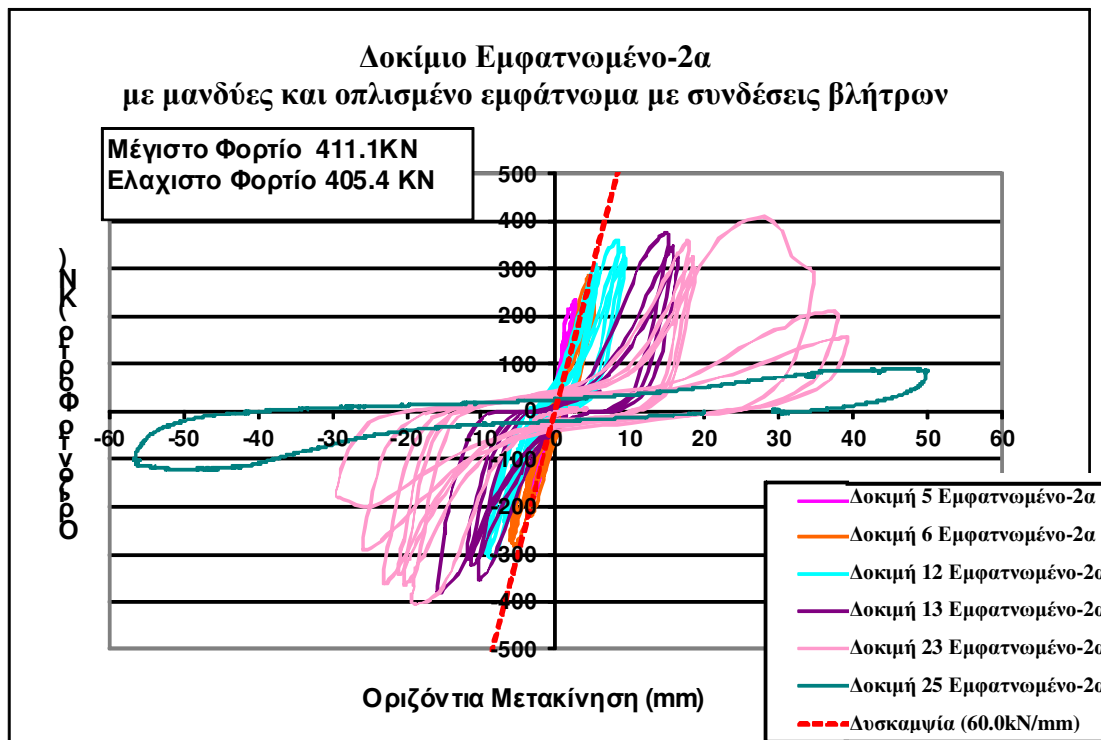
Σχήμα 7.33. Λεπτομέρειες του εμφαντιωμένου δοκιμίου **Εμφάτνωμένο-2α**

$H_{max,min}$: Μέτρηση οριζοντίου φορτίου
 V_{load} : Μέτρηση κατακόρυφου φορτίου
 LVDTN05: Οριζόντια μετακίνηση ορόφου
 LVDTK17: Οριζόντια μετακίνηση βάσης
 LVDTN06: Διαγώνια μετακίνηση πλαισίου 1
 LVDTN02: Διαγώνια μετακίνηση πλαισίου 2
 LVDTN11: Διαγώνια μετακίνηση εμφαντώματος 1
 LVDTN12: Διαγώνια μετακίνηση εμφαντώματος 2
 LVDTN10: Ολίσθηση πλαισίου-εμφαντώματος 1
 LVDTN13: Ολίσθηση πλαισίου-εμφαντώματος 2
 LVDT_{small}: Αποκόλληση πλαισίου-εμφαντώματος 1
 LVDT_{small}: Αποκόλληση πλαισίου-εμφαντώματος 2

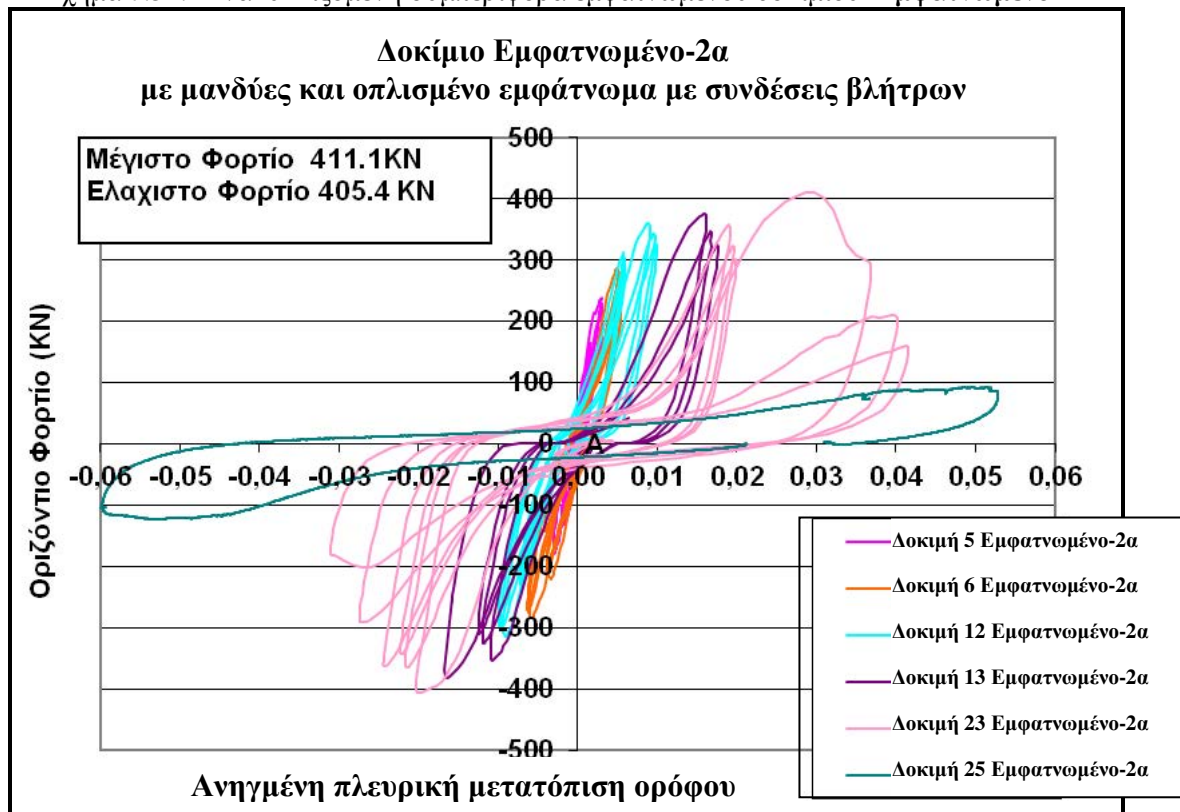


Σχήμα 7.33α. Ενοργάνωση του εμφαντωμένου δοκιμίου **Εμφάντωμένο-2α**

Η μετρηθείσα συμπεριφορά απεικονίζεται στα σχήματα που ακολουθούν αφενός σε όρους οριζόντιου φορτίου – οριζόντιας μετατόπισης (σχήμα 7.34) αφετέρου σε όρους οριζόντιου φορτίου ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου (σχήμα 7.35). Η τελευταία παράμετρος απεικονίζεται στο σχήμα 7.35 για το σύνολο του φορέα (πλαίσιο + εμφάντωμα + συνδέσεις) ενώ στο σχήμα 7.36 απεικονίζεται η διατμητική παραμόρφωση του εμφαντώματος (γ). Επί τη βάση αυτών των μετρήσεων μπορεί να διατυπωθούν οι εξής παρατηρήσεις:



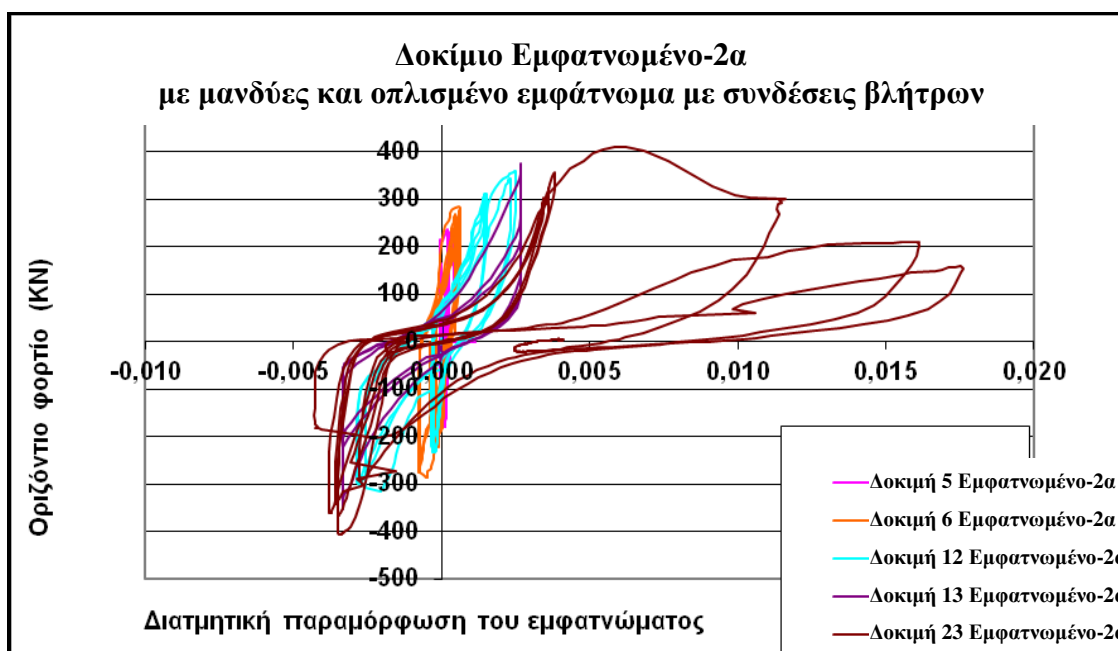
Σχήμα 7.34. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου **Εμφατνωμένο-2^α**



Σχήμα 7.35. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου **Εμφατνωμένο-2α**

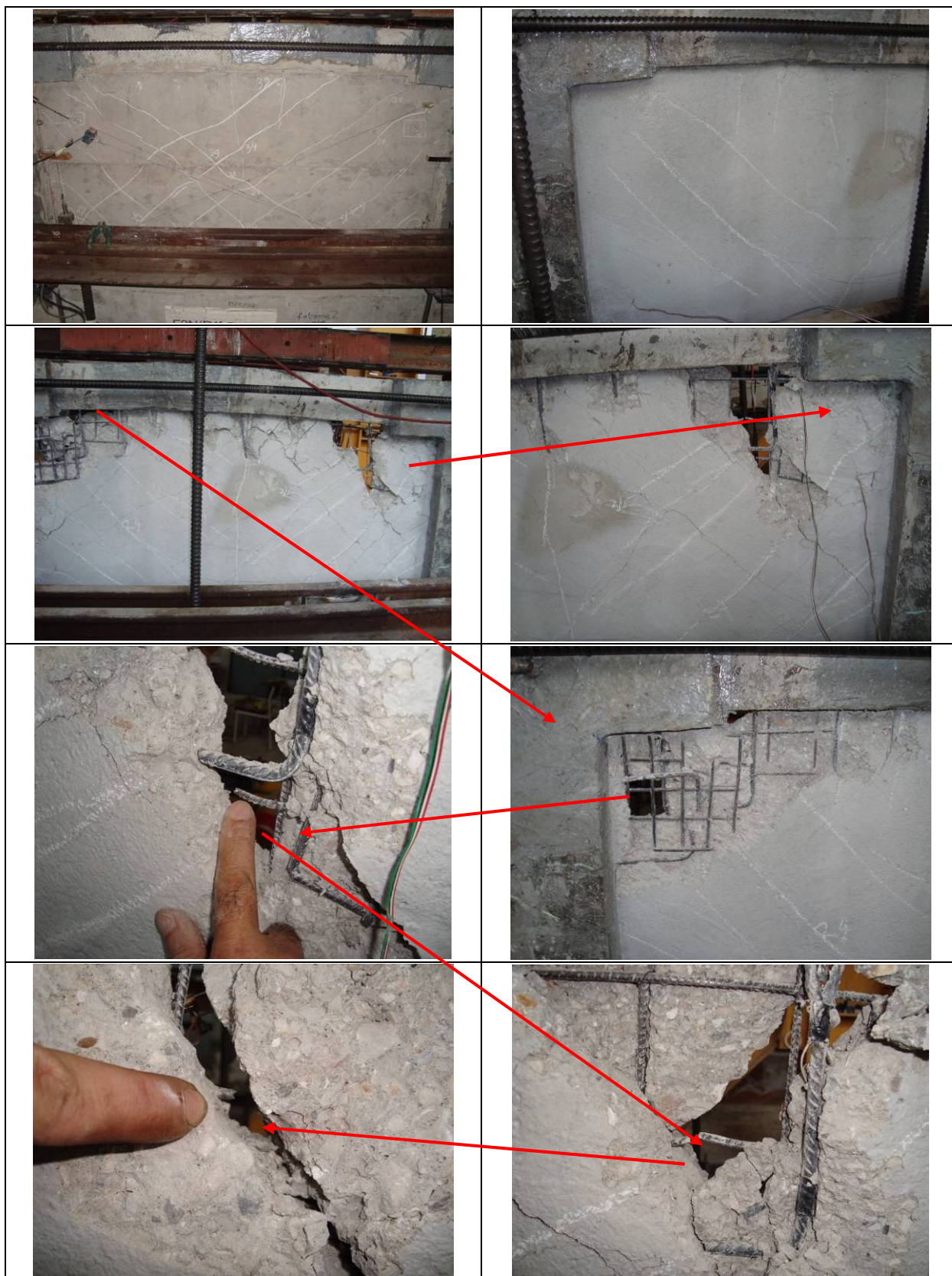
- Η προσθήκη του οπλισμένου εμφαντώματος πάχους 50mm, με την παρουσία σύνδεσής του με το περιβάλλον πλαίσιο μέσω αγκυρίων (οπλισμένο με σύνδεση αγκυρίων Εμφατνωμένο-2α), είχε σαν αποτέλεσμα την διατήρηση της δυσκαμψίας στα ίδια επίπεδα με αυτά του άοπλου εμφαντώματος με συνδέσεις, δηλαδή από 70.0KN/mm (άοπλο με σύνδεση αγκυρίων Εμφατνωμένο-2) σε 60.0KN/mm (οπλισμένο με σύνδεση αγκυρίων Εμφατνωμένο-2α).
- Η προσθήκη του οπλισμένου εμφαντώματος πάχους 50mm, με την παρουσία σύνδεσής του με το περιβάλλον πλαίσιο μέσω αγκυρίων (Εμφατνωμένο-2α), είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση της φέρουσας ικανότητας σε 411KN, δηλαδή μια αύξηση της τάξεως του 20% σε σχέση με την φέρουσα ικανότητα του δοκιμίου Εμφατνωμένο-2 (άοπλο με σύνδεση αγκυρίων) που μετρήθηκε ίση με 338KN.

- Στην περίπτωση του δοκιμίου Εμφανωμένο-2α η φέρουσα αυτή ικανότητα διατηρήθηκε για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου μεγαλύτερες του μέχρι 3.0% έναντι 0.7% του δοκιμίου Εμφανωμένο-2.
- Το εμφανωμένο αυτό πλαίσιο (Εμφανωμένο-2α) παρουσίασε σημαντικές πτωτικές τάσεις της φέρουσας ικανότητάς του για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου μεγαλύτερες του 3.0%. Η φορτιστική ακολουθία έφθασε τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου της τάξεως του 5.0%, όπου η πτώση της φέρουσας ικανότητας και της δυσκαμψίας είναι σημαντικές.
- Για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου μικρότερες του 3.0% η συμπεριφορά χαρακτηρίζεται από κύκλους φορτίου-μετατόπισης σχετικά μεγάλου εύρους χωρίς στένωση που υποδηλώνουν την κατανάλωση σημαντικής υστερητικής ενέργειας. Για μεγαλύτερες τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου παρατηρείται στένωση στους κύκλους υστέρησης αλλά η κατανάλωση υστερητικής ενέργειας εξακολουθεί να είναι σημαντική.

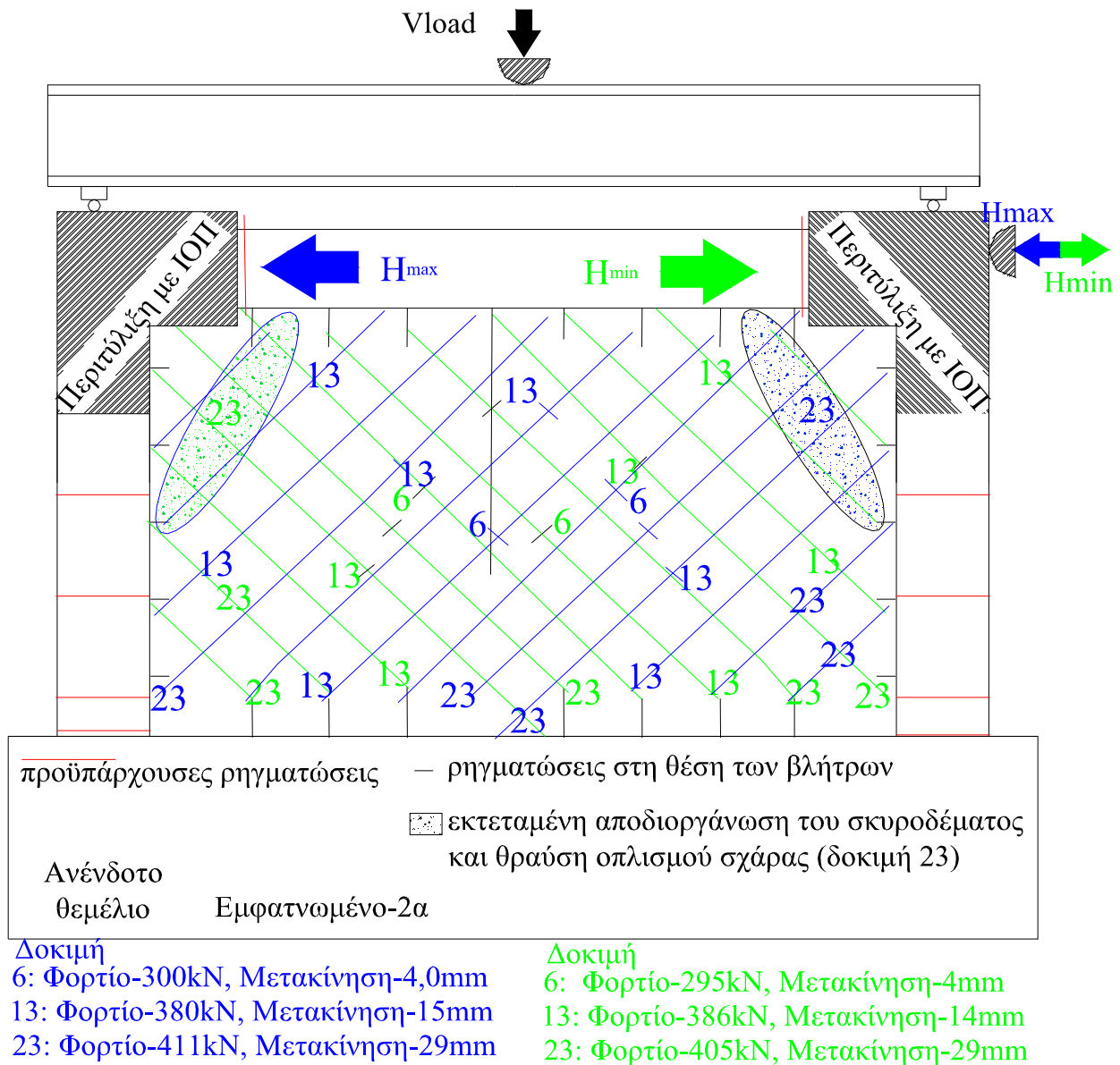


Σχήμα 7.36. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφανωμένου δοκιμίου **Εμφανωμένο-2α**

- Λόγω των συνδέσεων μεταξύ εμφαντώματος και περιβάλλοντος πλαισίου καθώς και της παρουσίας οπλισμών στο εμφάντωμα, το εν λόγω δοκίμιο Εμφανωμένο-2α ανέπτυξε μεγαλύτερη ένταση από ότι στη δοκιμή Εμφανωμένο-2 όπου υπήρχε απουσία οπλισμού. Παρά την αύξηση της έντασης η παρουσία των οπλισμών εντός του εμφαντώματος περιορίσε ως ένα βαθμό το επίπεδο των παραμορφώσεων εντός του εμφαντώματος καθώς και το εύρος των ρηγματώσεων. Για το μέγιστο φορτίο των 411KN η μέγιστη μετρημένη διατμητική παραμόρφωση (γ) του εμφαντώματος είναι της τάξεως του 0.5%. Η μεγέθυνση των παραμορφώσεων του εμφαντώματος πέραν του 0.5% συνοδεύεται και από πτώση της φέρουσας ικανότητας του δοκιμίου Εμφανωμένο-2α. (δες σχήμα 7.36).
 - Παρά το γεγονός ότι οι αρχικές ρηγματώσεις και εδώ εμφανίστηκαν για διατμητικές παραμορφώσεις της τάξεως του 0.1%, η ύπαρξη οπλισμού επέτυχε ώστε η διεύρυνση των ρηγματώσεων να είναι περιορισμένη και να μην συνοδεύεται από σημαντική πτώση της φέρουσας ικανότητας μέχρι διατμητική παραμόρφωση (γ) του εμφαντώματος της τάξεως του 0.5%.
- Η μορφή των βλαβών που εμφανίστηκαν στους επάλληλους κύκλους απεικονίζεται στο φωτογραφικό υλικό στο σχήμα 7.37 και σχήμα 7.37α που ακολουθούν.

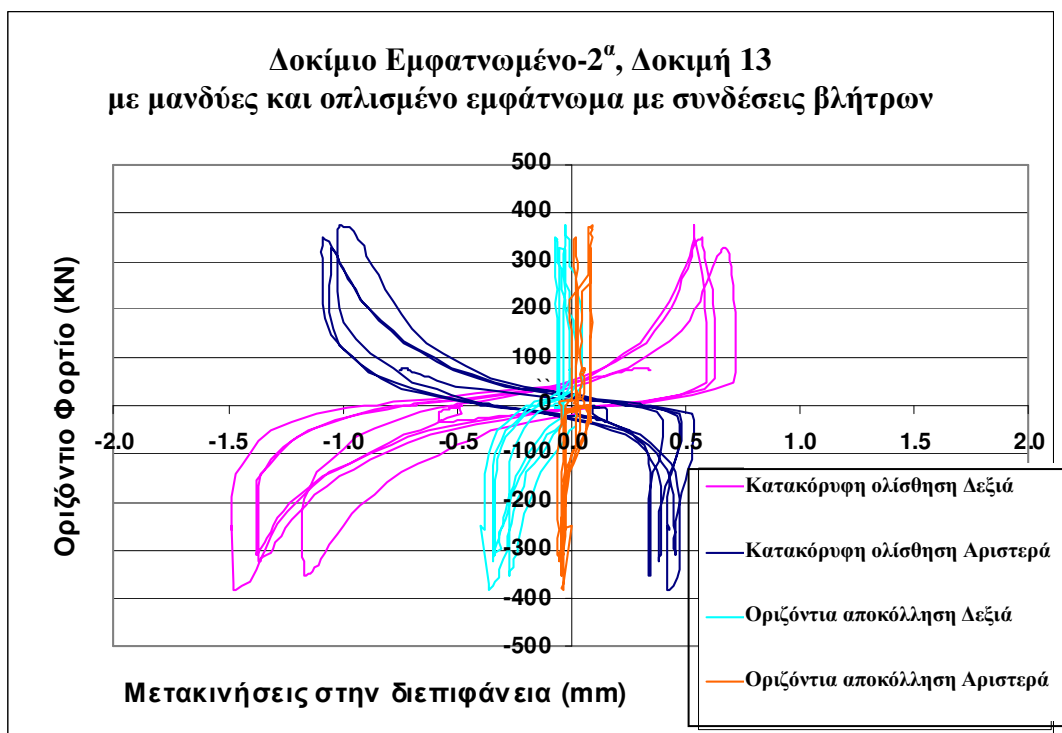


Σχήμα 7.37. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφανιζόμενου δοκιμίου Εμφανωμένο-2α, μορφές βλαβών κατά την διάρκεια και μετά το τέλος της φορτιστικής ακολουθίας



Σχήμα 7.37α. Σχηματική απεικόνιση βλαβών εμφατνωμένου δοκιμίου Εμφατνωμένο-2α,

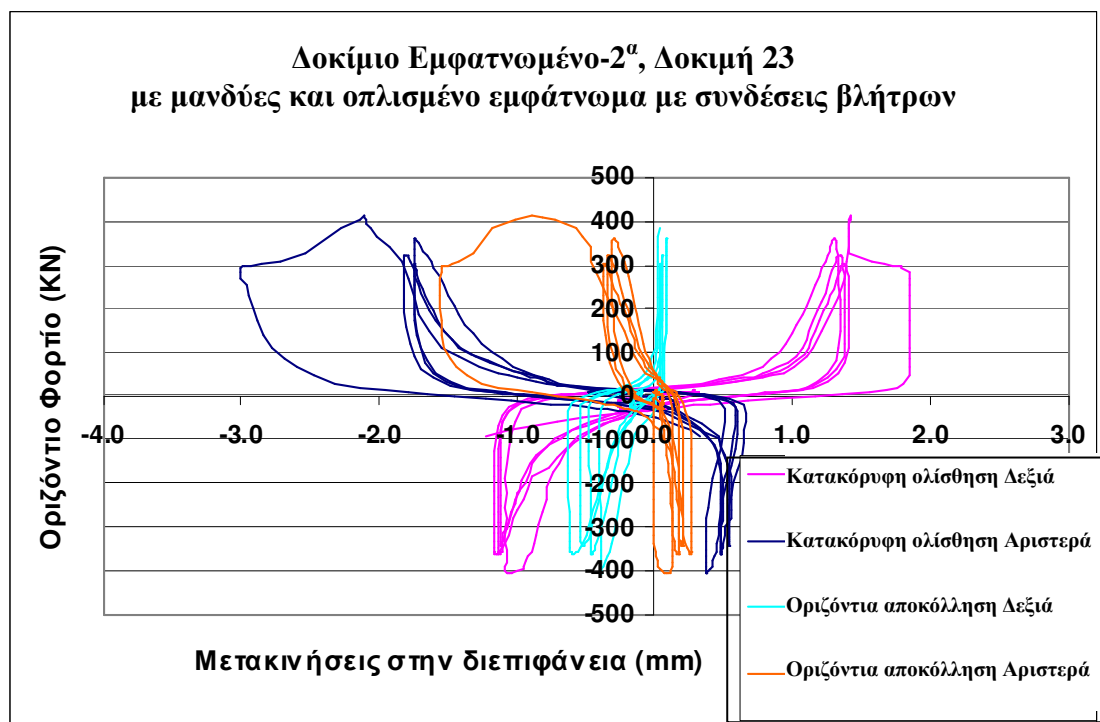
- Συνέπεια αυτής της αυξημένης έντασης του οπλισμένου εμφατνώματος είναι και οι βλάβες που σημειώθηκαν τόσο στο σώμα του εμφατνώματος (σχήμα 7.37 και 7.37α) όσο και στην περιοχή σύνδεσής του με το περιβάλλον πλαίσιο μέσω των βλήτρων. Όπως ήταν αναμενόμενο, οι βλάβες στο σώμα του εμφατνώματος είχαν την μορφή ρηγματώσεων παράλληλων προς τις δύο διαγώνιους του. Λόγω της ύπαρξης του οπλισμού στο εμφατνώμα με τη μορφή σχάρας, οι εν λόγω ρηγματώσεις ήταν μέχρι το μέγιστο φορτίο περιορισμένου εύρους και αρκετά διεσπαρμένες με σημεία εκκίνησης την θέση των βλήτρων σύνδεσης με το περιβάλλον πλαίσιο.
- Η πτώση της φέρουσας ικανότητας συνοδεύτηκε με διεύρυνση των ρηγματώσεων και με εμφάνιση θραύσης του σκυροδέματος στην περιοχή των βλήτρων. Στο τελικό στάδιο της μεγάλης ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου (της τάξεως το 5.0%), τόσο οι διαγώνιες ρηγματώσεις όσο και η θραύση του σκυροδέματος στην περιοχή των συνδέσεων διευρύνθηκαν και συνοδεύτηκαν με μερική θραύση των οπλισμών της σχάρας κοντά στις συνδέσεις και θραύση σχετικά ευρέων περιοχών του εμφατνώματος στις περιοχές σύνδεσης με το περιβάλλον πλαίσιο, ειδικά στις τέσσερις γωνίες.



Σχήμα 7.38. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου **Εμφατνωμένο-2α**

Στο ανωτέρω σχήμα 7.38, καθώς και σε αυτό που ακολουθεί (σχήμα 7.39) παρουσιάζονται οι μετρήσεις των μετακινήσεων που αναπτύχθηκαν στην διεπιφάνεια σύνδεσης μεταξύ του εμφατνώματος και του περιβάλλοντος επισκευασμένου πλαισίου με τον μανδύε. Όπως και για το δοκίμιο Εμφατνωμένο-2, οι μετακινήσεις που μετρώνται εδώ (Εμφατνωμένο-2α) είναι η σχετική κατακόρυφη ολίσθηση μεταξύ του εμφατνώματος και του δεξιού ή του αριστερού στύλου καθώς και η οριζόντια αποκόλληση μεταξύ του εμφατνώματος και του δεξιού ή του αριστερού στύλου, όπως παρουσιάζονται στο σχήμα 7.33. Οι σχετικές μετατοπίσεις μεταξύ εμφατνώματος και περιβάλλοντος πλαισίου μετρώνται στις θέσεις που υποδεικνύονται στο σχήμα 7.3. Δηλαδή οι μετακινήσεις ολίσθησης αντιπροσωπεύουν την σχετική ολίσθηση εμφατνώματος-πλαισίου για περίπου το $\frac{1}{2}$ του ύψους της κατακόρυφης πλευράς του εμφατνώματος ενώ οι οριζόντιες αποκολλήσεις του εμφατνώματος από τους στύλους μετρώνται στην περιοχή κοντά στην αριστερή και δεξιά γωνία του εμφατνώματος σε απόσταση περίπου 190mm από τον άξονα της δοκού. Με βάση αυτές τις μετρήσεις μπορούν να γίνουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Λόγω της παρουσίας των βλήτρων, οι σχετικές αυτές μετακινήσεις του εμφατνώματος από το περιβάλλον πλαίσιο στο δοκίμιο (Εμφατνωμένο-2^α) είναι του ίδιου περίπου μεγέθους με αυτές του δοκιμίου Εμφατνωμένο-2, δηλαδή της τάξεως των μερικών χιλιοστών του μέτρου (μέγιστη τιμή 3mm). Σε αντίθεση το εμφάντνωμα χωρίς συνδέσεις με το περιβάλλον πλαίσιο Εμφατνωμένο-1, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 7.2.2., αναπτύχθηκαν σημαντικού εύρους μετατοπίσεις αποκόλλησης του εμφατνώματος από το περιβάλλον πλαίσιο καθώς και μετακινήσεις σχετικής ολίσθησης του εμφατνώματος από τις παρειές των δομικών στοιχείων του περιβάλλοντος πλαισίου, με μέγιστη τιμή ολίσθησης περίπου 10mm (Δοκιμή 4 Εμφατνωμένο-1) οι δε αποκολλήσεις του εμφατνώματος από το περιβάλλον πλαίσιο στις γωνίες είχαν τιμές μεγαλύτερες από 20mm



Σχήμα 7.39. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά εμφατνωμένου δοκιμίου **Εμφατνωμένο-2α**

- Παρά τις μεγάλες σχετικές μετακινήσεις του εμφατνώματος από το περιβάλλον πλαίσιο δεν δημιουργήθηκε σε καμιά περίπτωση κίνδυνος εκτός επιπέδου πτώσης του εμφατνώματος για σεισμικές δυνάμεις κάθετες προς το επίπεδό του λόγω τις ύπαρξης των συνδέσεων και του οπλισμού του εμφατνώματος. Το τμήμα του οπλισμένου εμφατνώματος, λόγω της παρουσίας οπλισμού σχάρας, απομακρύνθηκε σχετικά πιο δύσκολα σε σχέση με τα εμφατνώματα των προηγούμενων δοκιμών (δες επόμενη παράγραφο 7.2.7.).

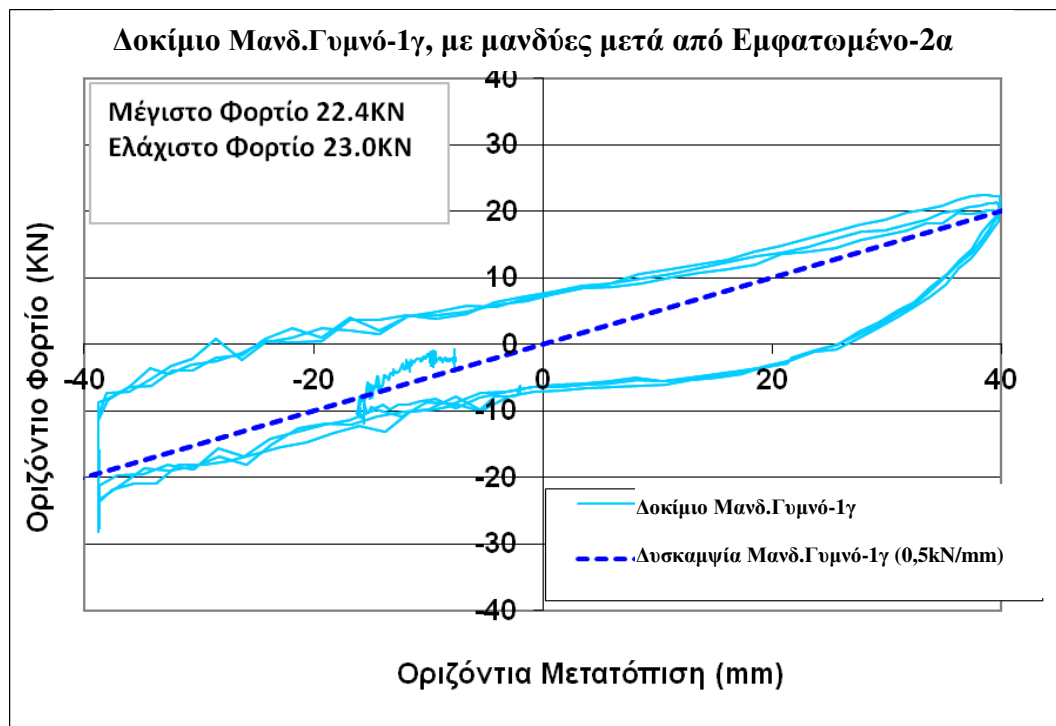
7.2.7. Δοκίμιο Μανδ.Γυμνό-1γ

Γυμνό πλαίσιο Ο/Σ με μανδύες σε στύλους και κόμβους μετά την απομάκρυνση του οπλισμένου σπασμένου εμφαντώματος από το εσωτερικό του με την ολοκλήρωση της προηγούμενης σειράς πειραμάτων (Εμφαντώμενο-2α, παράγραφος 7.2.6.). Το τμήμα του οπλισμένου εμφαντώματος, λόγω της παρουσίας οπλισμού σχάρας καθώς και των βλήτρων σύνδεσης με το περιβάλλον πλαίσιο, απομακρύνθηκε σχετικά ποιο δύσκολα σε σχέση με τα εμφαντώματα των προηγούμενων δοκιμίων. Στις περιοχές σύνδεσης απαιτήθηκε ιδιαίτερη προσοχή για την απομάκρυνση των τμημάτων σκυροδέματος του εμφαντώματος χωρίς να πειραχθούν τα υπάρχοντα βλήτρα (δες σχήμα 7.41.). Το δοκίμιο γυμνού πλαισίου που προέκυψε με αυτό τον τρόπο αποτέλεσε ένα ακόμη δοκίμιο με την κωδική ονομασία **Μανδ.Γυμνό-1γ**, που αντιπροσωπεύει το περιβάλλον πλαίσιο στην κατάσταση του στο τέλος της φορτιστικής ακολουθίας Εμφαντώμενο-2α. Το εν λόγω δοκίμιο υποβλήθηκε ξανά στον ίδιο τύπο ανακυκλιζόμενης φόρτισης που χρησιμοποιήθηκε σε όλα τα δοκίμια της παρούσας διερεύνησης (σχήμα 7.42).



Σχήμα 7.41. Λεπτομέρειες μανδουωμένου γυμνού δοκιμίου **Μανδ.Γυμνό-1γ**

Η μετρηθείσα συμπεριφορά σε όρους οριζόντιου φορτίου – οριζόντιας μετατόπισης για το δοκίμιο **Μανδ.Γυμνό-1γ** συγκρίνεται στο σχήμα 7.45. με την αντίστοιχη συμπεριφορά των γυμνών δοκιμίων **Γυμνό-1**, **Μανδ.Γυμνό-1** και **Μανδ.Γυμνό-1α**. Όπως φαίνεται από την σύγκριση αυτή μετά την ακολουθία **Εμφαντώμα-2α** το γυμνό δοκίμιο παρουσιάζει μείωση της δυσκαμνίας του (0.5KN/mm), που είναι μικρότερη και από την δυσκαμνία του αρχικού γυμνού πλαισίου δοκίμιο **Γυμνό-1** (2.0KN/mm). Η φέρουσα ικανότητά του **Μανδ.Γυμνό-1γ** μετά το τέλος της φορτιστικής ακολουθίας **Εμφαντώμενο-2α** είναι ίση με 20KN και είναι μικρότερη από την αντίστοιχη φέρουσα ικανότητα όλων των γυμνών πλαισίων με μανδύα που εξετάστηκαν πριν από την φορτιστική ακολουθία **Εμφαντώμενο-2α**, δηλαδή από αυτή του δοκιμίου **Μανδ.Γυμνό-1** και **Μανδ.Γυμνό-1α**. Αυτό οφείλεται στον σχηματισμό διευρυμένων περιοχών πλαστικών αρθρώσεων τόσο στις δοκούς πλησίον των κόμβων όσο και στους πόδες των στύλων (δες σχήμα 7.43).



Σχήμα 7.42. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά μανδωμένου γυμνού δοκιμίου **Μανδ.Γυμνό-1γ**



Σχήμα 7.43. Λεπτομέρειες μανδωμένου γυμνού δοκιμίου **Μανδ.Γυμνό-1γ**

Στο σχήμα 7.43^α που ακολουθεί συγκρίνεται η ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά του δοκιμίου Μανδ. Γυμνό-1γ με αυτή του Μανδ. Γυμνο-1δ, που προέκυψε από την μερική επισκευή στη κεφαλή και των πόδα των στύλων με αντικατάσταση του θραυσμένου σκυροδέματος και περιτύλιξη με λωρίδες ινοπλισμένου πολυμερούς (CFRP). Όπως φαίνεται, μέσω αυτής της επισκευής έγινε και πάλι μερική ανάκτηση της δυσκαμψίας και της φέρουσας ικανότητας. Δεν επιχειρήθηκε η εκ νέου εμφάντωση αυτού του δοκιμίου.



Σχήμα 7.43α Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά του δοκιμίου Μανδ. Γυμνό-1γ με αυτή του Μανδ. Γυμνο-1δ

7.3. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Στον πίνακα 7.5. που ακολουθεί περιλαμβάνονται όλα τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα από τα δοκίμια που εξετάστηκαν στην παρούσα πειραματική ακολουθία τόσο χωρίς όσο και με άοπλο ή οπλισμένο εμφάνωμα με ή χωρίς συνδέσεις με το περιβάλλον πλαίσιο (δες επίσης σχήματα 7.44 έως 7.48).

Πίνακας 7.5. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα πλαισίων

Ονομασία Ημερομηνία	Max οριζόντιο φορτίο H_{max} (kN)	Min οριζόντιο φορτίο H_{min} (kN)	Μέσος όρος οριζοντίου φορτίου (kN)	Δυσκαμψία (kN/mm)	d_{max} dH_{max} *
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Γυμνό-1 17/3/2010	10.98	-11.38	11.12	2.0	1.48% 1.48%
Εμφατνωμένο- 1 21/4/2010	121.51	-127.08	124.30	12.0	1.8% 0.7%
Μανδ.Γυμνό-1 7/6/2010	55.56	-56.06	55.81	6.0	1.48%
Εμφατνωμένο-2 3/2/2011	338.83	-337.98	338.4	70.0	1.48%
Μανδ.Γυμνό-1α 4/2/2011	52.14	-53.83	52.99	2.0	2.4% 2.4%
Μανδ.Γυμνό-1β 28/2/2011	Δεν ελέγχθηκε πειραματικά				
Εμφατνωμένο-2α 17 -30/5/2011	411.1	-405.4	408.25	60.0	5.13% 2.86%
Μανδ.Γυμνό-1γ 5/6/2011	22.4	-23.7	23.05	0.5	Όχι

* d_{max} : Μέγιστη ανηγμένη πλευρική μετατόπιση ορόφου

dH_{max} : Ανηγμένη πλευρική μετατόπιση ορόφου για μέγιστο φορτίο

Στον πίνακα 7.6. που ακολουθεί αναγράφονται για κάθε δοκίμιο οι επί μέρους δοκιμές στις οποίες αυτό υποβλήθηκε καθώς και η αντίστοιχη ενέργεια που καταναλώθηκε σε κάθε μία από αυτές τις δοκιμές. Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως στην παράγραφο 2.2, για η κάθε δοκιμή του κάθε δοκιμίου αντιστοιχεί σε κάποια μετακίνηση στόχο, έως την αστοχία του δοκιμίου. Στον ίδιο πίνακα σημειώνεται επίσης η δοκιμή που αντιστοιχεί για το κάθε δοκίμιο στο μέγιστο φορτίο που παρατηρήθηκε.

Πίνακας 7.6. Κατανάλωση ενέργειας για κάθε δοκίμιο και για κάθε επιμέρους δοκιμή σε KNmm

Δοκίμιο							
Γυμνό-1	Δοκιμή1	Δοκιμή2*					
	159.7	1082.1					
Εμφατνωμένο-1	Δοκιμή3*	Δοκιμή4					
	14048.6	9748.9					
Μανδ.Γυμνό-1	Δοκιμή1	Δοκιμή2	Δοκιμή3*				
	1680.0	1104.2	4790.1				
Εμφατνωμένο-2	Δοκιμή3	Δοκιμή4	Δοκιμή4a	Δοκιμή4a	Δοκιμή5*		
	571.3	921.5	1625.4	1573.5	10336.6		
Μανδ.Γυμνό-1α	Δοκιμή1	Δοκιμή2	Δοκιμή3*				
	84.0	1266.1	4563.3				
Εμφατνωμένο-2α	Δοκιμή4	Δοκιμή5	Δοκιμή6	Δοκιμή12	Δοκιμή13	Δοκιμή23*	Δοκιμή25
	190.6	1635.8	4372.5	7005.8	14201.4	36191.8	7122.5
Μανδ.Γυμνό-1γ	Δοκιμή3	Δοκιμή4*					
	7479.3	3473.5					

* Η δοκιμή που σημειώθηκε το μέγιστο φορτίο

Στον επόμενο πίνακα 7.7. που ακολουθεί αναγράφεται για κάθε δοκίμιο (με ή χωρίς εμφάνωμα) η συνολική ενέργεια που καταναλώθηκε μέχρι τη δοκιμή (συμπεριλαμβανομένης αυτής) όπου σημειώθηκε το μέγιστο φορτίο. Στον ίδιο πίνακα 7.7. σημειώνονται οι τιμές του μέγιστου και ελάχιστου φορτίου καθώς και οι τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης ορόφου που αντιστοιχεί στο μέγιστο φορτίο. Για κάθε ζεύγος δοκιμών, ενός γυμνού και του αντίστοιχου εμφατνωμένου, γίνεται η σύγκριση της συνολικής καταναλωθείσας ενέργειας με ή χωρίς εμφάνωμα, και σημειώνεται η επαύξηση της κατανάλωσης ενέργειας λόγω της παρουσίας του εμφατνώματος. Αυτό γίνεται για τιμή της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης ορόφου (dH_{max}) που αντιστοιχεί στο μέγιστο φορτίο.

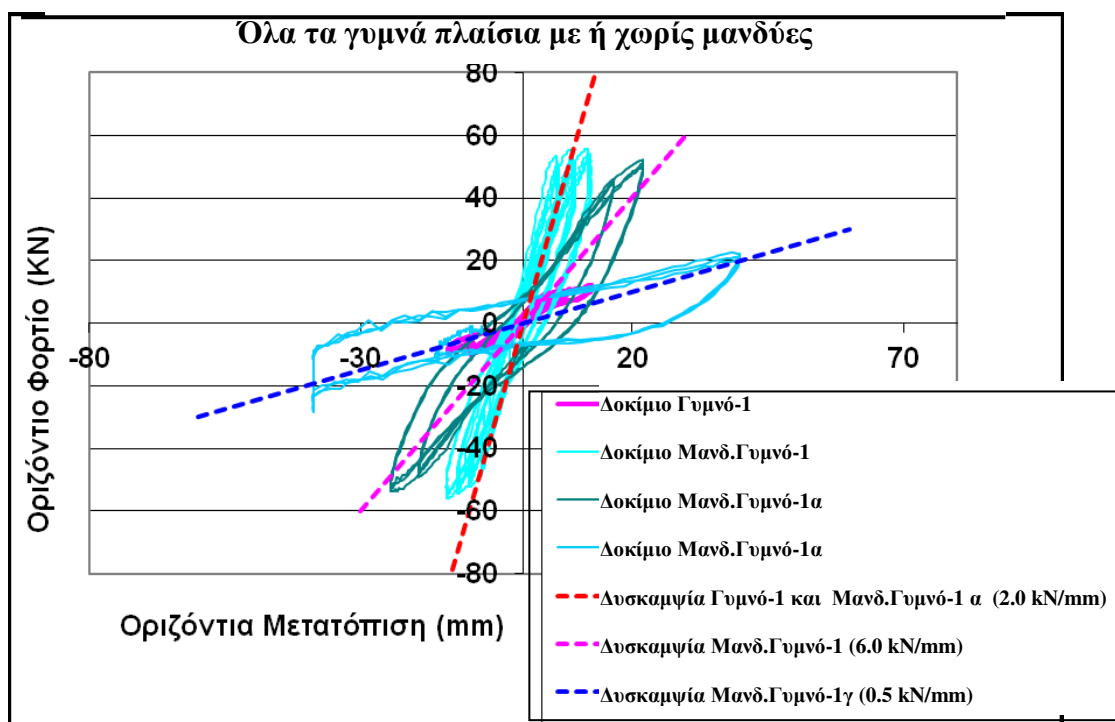
Όπως φαίνεται από τις σχετικές τιμές η μεγαλύτερη επαύξηση στην συνολική καταναλωθείσα ενέργεια λόγω της παρουσίας του εμφατνώματος είναι για το ζεύγος των δοκιμών **Γυμνό-1** και **Εμφατνωμένο-1**. Αυτό θα πρέπει να αποδοθεί, πέραν της συνεισφοράς του άοπλου εμφατνώματος χωρίς συνδέσεις με το περιβάλλον πλαίσιο, στο σχετικά χαμηλό επίπεδο καταναλωθείσας ενέργειας (1241.8 KNmm) από το αρχικό γυμνό πλαίσιο πριν μανδυνωθεί. Η κατασκευή του μανδύα στο αρχικό γυμνό πλαίσιο του προσδίδει άμεσα την δυνατότητα επαύξησης της κατανάλωσης ενέργειας σχετικά με το αρχικό γυμνό πλαίσιο (περίπου 6 φορές). Για τα μανδυνωμένα γυμνά πλαίσια η προσθήκη του οπλισμένου εμφατνώματος με σύνδεση με το περιβάλλον πλαίσιο (**Εμφατνωμένο-2α**) είχε σαν αποτέλεσμα την πολύ σημαντική επαύξηση της κατανάλωσης ενέργειας (10.75 φορές) σε σχέση με το αντίστοιχο γυμνό μανδυνωμένο πλαίσιο (**Μανδ.Γυμνό-1α**). Το εν λόγω εμφατνωμένο πλαίσιο (**Εμφατνωμένο-2α**) έχει την κατ' απόλυτο τιμή μέγιστη κατανάλωση ενέργειας (63597.9 KNmm) που συγκριτικά με το αρχικό γυμνό πλαίσιο χωρίς μανδύες (**Γυμνό-1**) αποτελεί μια επαύξηση κατά 51 φορές. Η σχετικά μικρή επαύξηση στην κατανάλωση ενέργειας που σημειώθηκε μεταξύ του γυμνού μανδυνωμένου δοκιμίου (**Μανδ.Γυμνό-1**) και του αντίστοιχου άοπλου εμφατνωμένου δοκιμίου με συνδέσεις (**Εμφατνωμένο-2**) θα πρέπει να αποδοθεί στο γεγονός ότι η απουσία εσωτερικού οπλισμού για αυτό το εμφάνωμα οδήγησε σε σχετικά μικρές τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης ορόφου για την οποία σημειώθηκε το μέγιστο φορτίο. Αντίθετα, ο συνδυασμός των συνδέσεων του εμφατνώματος με το περιβάλλον πλαίσιο με τον εσωτερικό οπλισμό του εμφατνώματος για το δοκίμιο (**Εμφατνωμένο-2α**) οδήγησε στην ανάπτυξη και διατήρηση του μέγιστου φορτίου για σχετικά μεγάλες τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης ορόφου ($dH_{max} = 2.86\%$) σχεδόν διπλάσιες αυτών του δοκιμίου **Εμφατνωμένο-2** ($dH_{max} = 1.48\%$)

Πίνακας 7.7. Συνολική ενέργεια που καταναλώθηκε μέχρι την δοκιμή (συμπεριλαμβανομένης αυτής) όπου σημειώθηκε το μέγιστο φορτίο

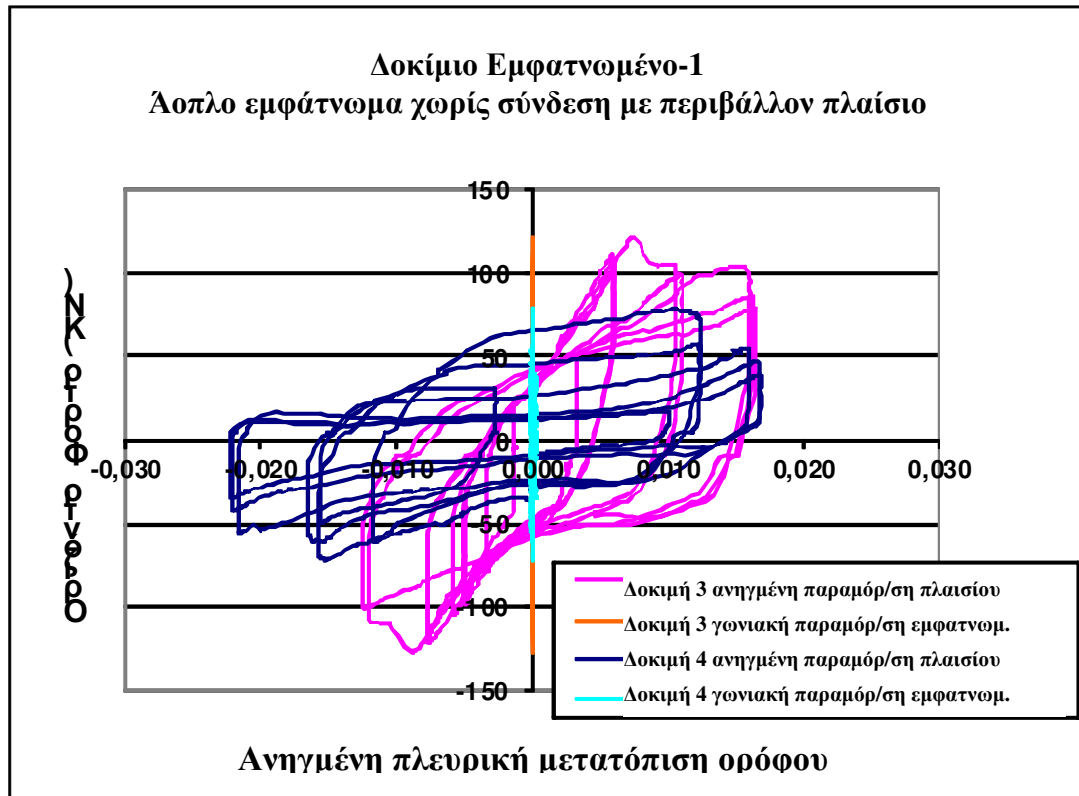
Δοκίμιο	Μέσος όρος οριζοντίου φορτίου (kN)	dH_{max}	Δοκιμή εμφάνισης ΔH_{max}	Συνολική ενέργεια (KNmm) που καταναλώθηκε μέχρι και δοκιμή για ΔH_{max}
Γυμνό-1	11.12	1.48%	Δοκιμή 2 *	1241.8
Εμφατνωμένο- 1	124.30	0.7%	Δοκιμή 3 *	14048.6
Επαύξηση της κατανάλωσης ενέργειας για ΔH_{max} λόγω του εμφατνώματος 11.3 φορές				
Μανδ.Γυμνό-1	55.81	1.48%	Δοκιμή 3 *	7574.3
Εμφατνωμένο-2	338.4	1.48%	Δοκιμή 5 *	15028.3
Επαύξηση της κατανάλωσης ενέργειας για ΔH_{max} λόγω του εμφατνώματος 1.98 φορές				
Μανδ.Γυμνό-1α	52.99	2.4%	Δοκιμή 3 *	5913.4
Εμφατνωμένο-2α	408.25	2.86%	Δοκιμή 23 *	63597.9
Επαύξηση της κατανάλωσης ενέργειας για ΔH_{max} λόγω του εμφατνώματος 10.75 φορές				
Μανδ.Γυμνό-1γ	23.05	4.2%	Δοκιμή 4 *	10952.8

dH_{max} = Ανηγγμένη πλευρική μετατόπιση ορόφου για μέγιστο φορτίο

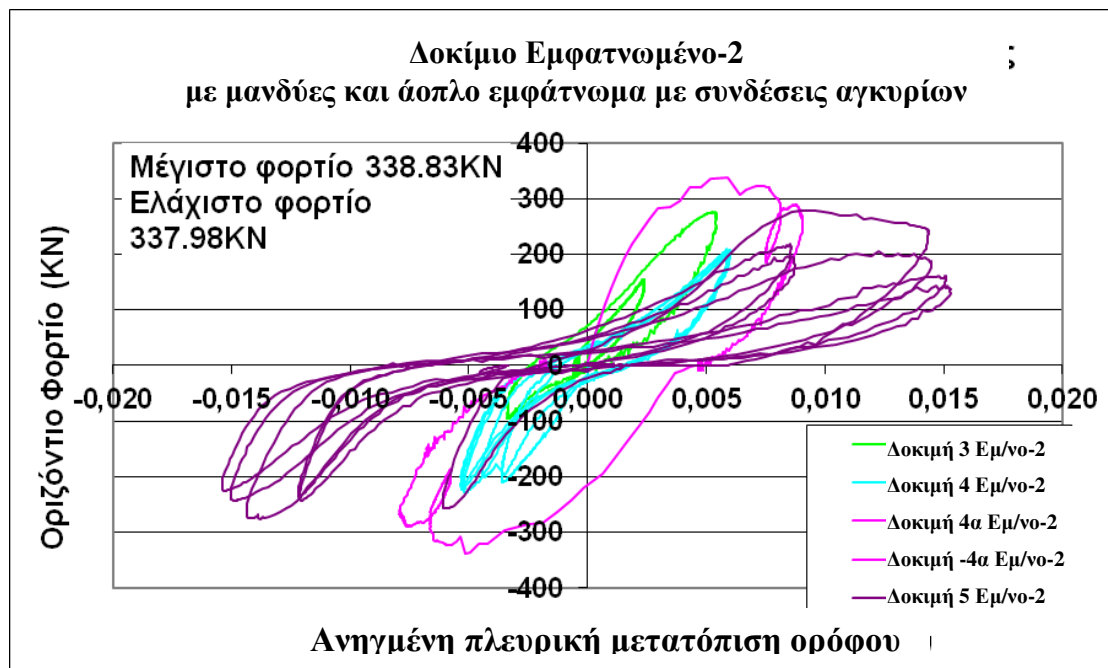
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα -διαγράμματα γυμνών πλαισίων με ή χωρίς μανδύες.



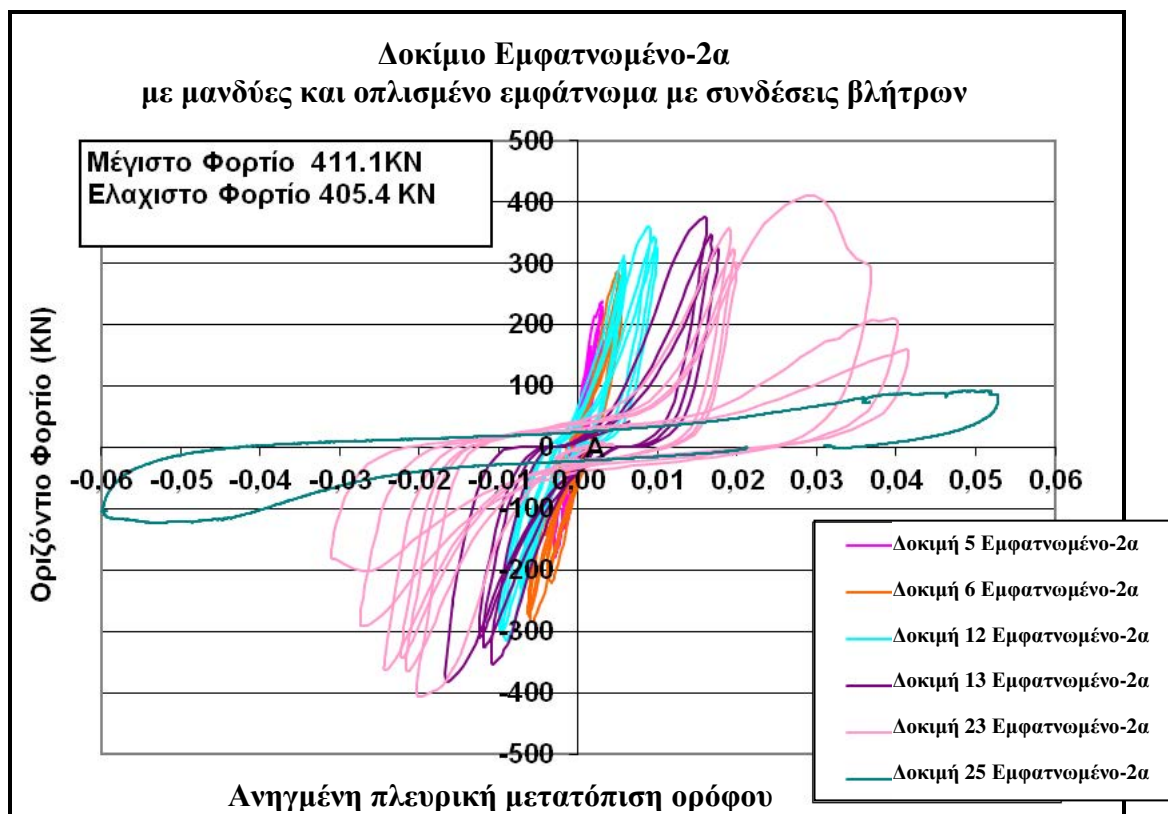
Σχήμα 7.44. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά όλων των γυμνών δοκιμών



Σχήμα 7.46. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά του εμφανωμένου δοκιμίου **Εμφανωμένο-1**



Σχήμα 7.47. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά του εμφανωμένου δοκιμίου **Εμφανωμένο-2**



Σχήμα 7.48. Ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά του εμφαντωμένου δοκιμίου **Εμφαντωμένο-2α**

7.4. Συμπερασματικές παρατηρήσεις αναφορικά με την παρατηρηθείσα συμπεριφορά των εμφαντωμένων δύστυλων μονόροφων πλαισίων όταν υποβάλλονται σε ανακυκλιζόμενη συνδυασμένη φόρτιση

1. Η κατασκευή μανδυνών στο δοκίμιο γυμνού πλαισίου που εξετάστηκε είχαν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της δυσκαμψίας από 2KN/mm σε 6.0KN/mm. Η δυσκαμψία των γυμνών πλαισίων με μανδύα επανέρχεται στα επίπεδα πριν από την μανδύωση στο τέλος της ανακυκλιζόμενης φορτιστικής ακολουθίας με μέγιστες τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου της τάξεως του 2%.
2. Η κατασκευή μανδυνών στο δοκίμιο γυμνού πλαισίου που εξετάστηκε είχαν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της φέρουσας ικανότητας από 11KN σε 55KN. Η φέρουσα ικανότητα των γυμνών πλαισίων με μανδύα διατηρήθηκε στα επίπεδα αυτά μετά από μια μεγάλη σειρά από ανακυκλιζόμενες φορτίσεις. Οι μέγιστες τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου ήταν της τάξεως του 3%. Οι βλάβες που αναπτύχθηκαν ήταν τυπικές βλάβες στις δοκούς και στους στύλους με την μορφή πλαστικών αρθρώσεων κοντά στους κόμβους.
3. Λόγω των σχετικά μικρών τιμών της δυσκαμψίας και της φέρουσας ικανότητας επιχειρήθηκε η αύξησή τους μέσω της επισκευαστικής τεχνικής της εμφάντωσης. Η εμφάντωση που επιχειρήθηκε ήταν αρχικά αυτή της απλής προσθήκης χωρίς σύνδεση του εμφαντώματος με το περιβάλλον πλαίσιο. Η προσθήκη του άοπλου εμφαντώματος πάχους 50mm, παρά την απουσία σύνδεσής του με το περιβάλλον πλαίσιο, είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση της δυσκαμψίας από 2.0KN/mm σε 12.0KN/mm και την αύξηση της φέρουσας ικανότητας από 11KN σε 124KN. Στην περίπτωση αυτή, το εμφαντωμένο αυτό πλαίσιο δεν παρουσίασε σημαντικές πτωτικές τάσεις της φέρουσας ικανότητάς του για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου της τάξεως του 1.4%. Για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου μεγαλύτερες του 1.4% η πτώση της φέρουσας ικανότητας ήταν πολύ σημαντική.

4. Επιπρόσθετα εμφανίστηκαν στην διεπιφάνεια εμφαννώματος - πλαισίου μεγάλες σχετικές μετακινήσεις-αποκολλήσεις που θέτουν το θέμα της συνολικής αποκόλλησης του εμφαννώματος από το περιβάλλον πλαίσιο.
5. Η προσθήκη του άοπλου εμφαννώματος πάχους 50mm, με την παρουσία σύνδεσής του με το περιβάλλον πλαίσιο μέσω χαλύβδινων συνδέσμων (αγκυρίων-βλήτρων), έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της δυσκαμψίας από 12.0KN/mm (χωρίς συνδέσμους) σε 70.0KN/mm και σε αύξηση της φέρουσας ικανότητας από 124KN (χωρίς συνδέσμους) σε 338KN. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου μεγαλύτερες του 0.7% παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη πτώση της φέρουσας ικανότητας και της δυσκαμψίας. Δηλαδή, για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου της τάξεως του 1.4% η πτώση της φέρουσας ικανότητας είναι περίπου 70% και της δυσκαμψίας είναι περίπου 400%. Αυτό οφείλεται αφενός στην σχετικά πρόωρη ρηγματώση του εμφαννώματος αφετέρου σε τοπικές αστοχίες στην περιοχή των χαλύβδινων συνδέσμων. Και οι δύο μορφές αστοχίας θα πρέπει να αποδοθούν στη απουσία κατανεμημένης όπλισης του εμφαννώματος.
6. Η παρουσία εμφαννώματος από μερικώς οπλισμένο σκυρόδεμα (σχάρα Φ4/85mm) συνδεδεμένο με χαλύβδινους συνδέσμους περιμετρικά είχε ως αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση τόσο της δυσκαμψίας όσο και της φέρουσας ικανότητας. Έτσι η δυσκαμψία από 6KN/mm (γυμνό με μανδύες) σχεδόν δεκαπλασιάστηκε σε 60KN/mm. Η φέρουσα ικανότητα από 55KN (γυμνό με μανδύες) σχεδόν οκταπλασιάστηκε σε 410KN. Αν οι συγκρίσεις γίνουν με τον αρχικό εύκαμπτο και σχετικά μικρής φέρουσας ικανότητας φορέα η αύξηση που επιτεύχθηκε είναι πολύ μεγάλη (30 φορές για την δυσκαμψία και 80 φορές για την φέρουσα ικανότητα). Γίνεται λοιπόν προφανής η αποτελεσματικότητα αυτού του τρόπου επισκευής.
7. Η ταυτόχρονη παρουσία χαλύβδινων συνδέσμων (του εμφαννώματος με το περιβάλλον πλαίσιο) και κατανεμημένου οπλισμού στο εμφάντωμα είχε ως αποτέλεσμα να διατηρηθεί αυτή η σημαντική αύξηση στην φέρουσα ικανότητα για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου της τάξεως του 3%. Συνεπώς, με τις ανωτέρω προϋποθέσεις, δηλαδή αφενός της κατάλληλης σύνδεσης του εμφαννώματος με το μανδουωμένο πλαίσιο και αφετέρου της αποφυγής πρόωρης αστοχίας του εμφαννώματος μέσω όπλισης, η συμπεριφορά του εμφαννωμένου μανδουωμένου πλαισίου σε σχέση με το αρχικό, όπως στοιχειοθετείται από τις πειραματικές μετρήσεις, μπορεί να εμφανίσει την επιθυμητή αύξηση δυσκαμψίας και φέρουσας ικανότητας συνοδευόμενη από κύκλους υστέρησης για τέτοιες τιμές ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου που να καταναλώνουν σημαντικές ποσότητες ενέργειας.
8. Οι βλάβες που εμφανίστηκαν στα δοκίμια εμφαννωμένων πλαισίων που εξετάστηκαν ήταν για μεν το περιβάλλον πλαίσιο παρόμοιες με αυτές των γυμνών πλαισίων. Δηλαδή, πλαστικές αρθρώσεις στη δοκό και στους στύλους στην περιοχή των κόμβων. Στην κατασκευή των μανδυνών ακολουθήθηκε τρόπος όπλισης για την αποφυγή διατμητικής αστοχίας στα δομικά στοιχεία των πλαισίων. Επιπρόσθετα, πρόσθετα μέτρα λήφθηκαν για την αποφυγή αστοχιών στους κόμβους.
9. Για το εμφάντωμα, η όπλιση με σχάρα Φ4/85mm συνετέλεσε στην αποφυγή της πρόωξης αστοχίας και στην δημιουργία ρηγματώσεων σχετικά μικρού εύρους. Η βλήτρωση που ακολουθήθηκε στάθηκε ικανή να συνδέσει μάλλον ικανοποιητικά το οπλισμένο εμφάντωμα με το περιβάλλον πλαίσιο. Παρόλα αυτά για σχετικά μεγάλες τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου της τάξεως του 5% οι βλάβες στο εμφάντωμα ήταν σημαντικές τόσο στο εσωτερικό του όσο και στην περιοχή των συνδέσεων ιδιαίτερα κοντά στους κόμβους του μανδουωμένου πλαισίου. Η πτώση της φέρουσας ικανότητας συνοδεύτηκε με διεύρυνση των ρηγματώσεων και με εμφάνιση θραύσης του σκυροδέματος στην περιοχή των βλήτρων. Στο τελικό στάδιο της μεγάλης ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου (της τάξεως το 5.0%), τόσο οι διαγώνιες ρηγματώσεις όσο και η θραύση του σκυροδέματος στην περιοχή των συνδέσεων διευρύνθηκαν και συνοδεύτηκαν με μερική θραύση των οπλισμών της σχάρας κοντά στις συνδέσεις και θραύση σχετικά ευρέων περιοχών του εμφαννώματος στις περιοχές σύνδεσης με το περιβάλλον πλαίσιο, ειδικά στις τέσσερις γωνίες.

10. Η κατασκευή του μανδύα στο αρχικό γυμνό πλαίσιο του προσδίδει άμεσα την δυνατότητα επαύξησης της κατανάλωσης ενέργειας σχετικά με το αρχικό γυμνό πλαίσιο (περίπου 6 φορές). Για τα μανδυνωμένα γυμνά πλαίσια η προσθήκη του οπλισμένου εμφαντώματος με σύνδεση με το περιβάλλον πλαίσιο είχε σαν αποτέλεσμα την πολύ σημαντική επαύξηση της κατανάλωσης ενέργειας (10.75 φορές) σε σχέση με το αντίστοιχο γυμνό πλαίσιο. Στο εν λόγω εμφαντώμενο πλαίσιο με μανδύες σημειώνεται μια επαύξηση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 51 φορές συγκριτικά με το αρχικό γυμνό πλαίσιο χωρίς μανδύες.
11. Παρά τις μεγάλες σχετικές μετακινήσεις του εμφαντώματος από το περιβάλλον πλαίσιο δεν δημιουργήθηκε σε καμιά περίπτωση κίνδυνος εκτός επιπέδου πτώσης του εμφαντώματος για σεισμικές δυνάμεις κάθετες προς το επίπεδό του λόγω της ύπαρξης των συνδέσεων και του οπλισμού του εμφαντώματος.

Συμπερασματικά μπορούν να διατυπωθούν τα εξής που συσχετίζονται με το σχετικό κείμενο της παραγράφου 8.5 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.:

Η σύνδεση του εμφαντώματος με το περιβάλλον πλαίσιο με τους κατάλληλους συνδέσμους με ταυτόχρονη κατάλληλη κατανεμημένη όπλιση του εμφαντώματος μπορεί να επιφέρει σημαντική αύξηση της δυσκαμψίας και της φέρουσα ικανότητας και ενός γυμνού πλαισίου για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου μέχρι και 3% με ταυτόχρονη κατανάλωση σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας πλαστικών παραμορφώσεων.

Σημαντικές παράμετροι στον σχεδιασμό μιας τέτοιας λύσης επισκευής είναι:

- Η διατήρηση της αποτελεσματικότητας των χαλύβδινων συνδέσμων και η αποτροπή σεναρίων εξόλκευσής τους ή τοπικής θραύσης του σκυροδέματος που τους περιβάλλει, μέσω των κατασκευαστικών διατάξεων που περιλαμβάνονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. [45] παράγραφος 6.1.2.2β, σχήμα 6.6).
- Είναι επιθυμητή η απόκριση αυτών των χαλύβδινων συνδέσμων σε δράσεις βλήτρου με ικανή μετελαστική συμπεριφορά σε ανακυκλιζόμενες φορτίσεις, όπως εξετάστηκε στα κεφάλαια 1-6.
- Η κατασκευή του εμφαντώματος με σκυρόδεμα ικανής θλιπτικής αντοχής και κατανεμημένο οπλισμό ώστε να αποτραπούν σενάρια πρόωρης διατμητικής αστοχίας ή σύνθλιψης των περιοχών κοντά στους κόμβους.
- Με την βοήθεια των κατάλληλων κατασκευαστικών λεπτομερειών να γίνει η αποτροπή τοπικών αστοχιών στις θέσεις μεταφοράς δυνάμεων μεταξύ του εμφαντώματος και του περιβάλλοντος πλαισίου και ειδικότερα στην περιοχή των χαλύβδινων συνδέσμων.
- Η εκτίμηση των ανωτέρω μπορεί να γίνει μέσω προσομοιώσεων που περιλαμβάνουν την αλληλεπίδραση εμφαντώματος πλαισίου, όπως αυτή που επιχειρείται στο επόμενο κεφάλαιο 8.
- Η λύση της απλής προσθήκης-εμφάντωσης (χωρίς σύνδεση με το περιβάλλον πλαίσιο) δεν ενδείκνυται αφενός γιατί η αύξηση της φέρουσας ικανότητας και δυσκαμψίας που επιτυγχάνεται μπορεί να διατηρηθεί για μικρές τιμές της ανηγμένης πλευρικής παραμόρφωσης του ορόφου αφετέρου δημιουργεί στενές ζώνες μονόπλευρης επαφής εμφαντώματος – περιβάλλοντος πλαισίου με την δημιουργία περιοχών μεγάλης έντασης τόσο στο τοίχωμα όσο και στο περιβάλλον πλαίσιο με κίνδυνο πρόωρων τοπικών αστοχιών.
- Η απουσία χαλύβδινων συνδέσμων μεταξύ περιβάλλοντος πλαισίου και εμφαντώματος ενέχει επιπρόσθετα τον κίνδυνο συνολικής αποκόλλησης του εμφαντώματος, ειδικότερα με την θεώρηση της σεισμικής κίνησης με δύο οριζόντιες συνιστώσες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8°

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει προσπάθεια αριθμητικής προσομοίωσης των εμφανωμένων πλαισίων της πειραματικής ακολουθίας του κεφαλαίου 7. Αυτός ο τρόπος της αριθμητικής προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκε από τους Β. Σούλη και Γ. Μάνο σε ένα παραπλήσιο πρόβλημα δηλαδή αυτό της συμπεριφοράς τοιχοπληρωμένων πλαισίων κάτω από ανακυκλιζόμενες οριζόντιες φορτίσεις στο ζύγωμά τους [18-22,32,35,57]. Όπως διαπιστώθηκε από την σύγκριση αριθμητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων, εφαρμόζοντας την προτεινόμενη και εδώ αριθμητική προσομοίωση σε ικανό αριθμό δοκιμών τοιχοπληρωμένων πλαισίων που ελέγχθηκαν πειραματικά, τα αποτελέσματα αυτής της αριθμητικής προσομοίωσης είχαν αποδεκτό βαθμό συμφωνίας με τα πειραματικά αποτελέσματα.. Το σχετικό σκεπτικό αυτού του τρόπου προσομοίωσης διατυπώνεται συνοπτικά με τα εξής βήματα:

- α) Προσομοιώνονται με ικανοποιητικό τρόπο επιμέρους φορείς ή τμήματά τους μαζί με τους ανελαστικούς μηχανισμούς που αυτοί αναπτύσσουν.
- β) Τεκμηριώνεται η ακρίβεια της αριθμητικής προσομοίωσης για κάθε επί μέρους φορέα ή τμήματα φορέων, ως προς την ικανοποιητική προσέγγιση της φέρουσας ικανότητας τους και της εκδήλωσης των κυρίαρχων ανελαστικών μηχανισμών που επηρεάζουν την συμπεριφορά του χρησιμοποιώντας συγκρίσεις με αντίστοιχα πειραματικά αποτελέσματα.
- γ) Με τον ίδιο τρόπο αριθμητικής προσομοίωσης των επί μέρους φορέων και των τμημάτων τους αντιμετωπίζεται και η συμπεριφορά του σύνθετου φορέα που περιλαμβάνει την αριθμητική προσομοίωση όλων των επί μέρους φορέων και των τμημάτων τους καθώς και την προσομοίωση των αντίστοιχων κυρίαρχων ανελαστικών μηχανισμών που αυτοί αναπτύσσουν.
- δ) Ελέγχεται και πάλι η επιτυχής δυνατότητα της προτεινόμενης αριθμητικής προσομοίωσης της συμπεριφοράς του σύνθετου φορέα μέσω της σύγκρισης των αντίστοιχων αριθμητικών αποτελεσμάτων με πειραματικά αποτελέσματα.

Οι επί μέρους φορείς ή τμήματά τους για το πρόβλημα των εμφανωμένων πλαισίων και οι αντίστοιχοι κυρίαρχοι ανελαστικοί μηχανισμοί είναι οι ακόλουθοι:

α1. Το εμφάνωμα με την δυνατότητα εμφάνισης διατμητικού τύπου αστοχίας ή θλιπτικού τύπου αστοχίας. Θα γίνει χρήση εδώ των αποτελεσμάτων του διαγωνίου εφελκυσμού που παρουσιάζονται στην παράγραφο 8.1. μαζί με τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης της συμπεριφοράς ενός τμήματος εμφανώματος όταν υποβάλλεται σε αυτήν την φορτιστική διαδικασία.

β1. Η αριθμητική προσομοίωση της ανελαστικής συμπεριφοράς της διεπιφάνειας σύνδεσης του εμφανώματος με το περιβάλλον πλαίσιο (παράγραφος 8.2). Σύνθετη μετελαστική συμπεριφορά στην διεπιφάνεια σύνδεση με ή χωρίς την ύπαρξη των χαλύβδινων συνδέσμων (βλήτρων αγκυρίων) που συνδέουν το εμφάνωμα με το περιβάλλον πλαίσιο. Θα γίνει χρήση των πειραματικών αποτελεσμάτων του κεφαλαίου 3 όπου εξετάσθηκε διεξοδικά, μέσω απλών δοκιμών των συνδέσεων των εμφανωμάτων με τα δομικά στοιχεία των πλαισίων Ο/Σ ενισχυμένα με μανδύα έγχυτου σκυροδέματος, η πειραματική συμπεριφορά της διεπιφάνειας σύνδεσης με ή χωρίς χαλύβδινους συνδέσμους.

γ1. Αριθμητική προσομοίωση της ανελαστικής συμπεριφοράς του γυμνού περιβάλλοντος πλαισίου με την δυνατότητα ανάπτυξης πλαστικών αρθρώσεων στις θέσεις κεφαλή / πόδας στύλων και παρειές δοκών στους κόμβους δοκού-στύλου (παράγραφος 8.3). Γίνεται η παραδοχή ότι η μανδύωση του περιβάλλοντος πλαισίου θα αποκλείσει το σενάριο της διατμητικής αστοχίας. Θα γίνει χρήση των πειραματικών αποτελεσμάτων των πλαισίων με την κωδική ονομασία Γυμνό-1, Μανδ.Γυμνό-1, Μανδ.Γυμνό-1α, Μανδ.Γυμνό-1β, Μανδ.Γυμνό-1γ (κεφάλαιο 7).

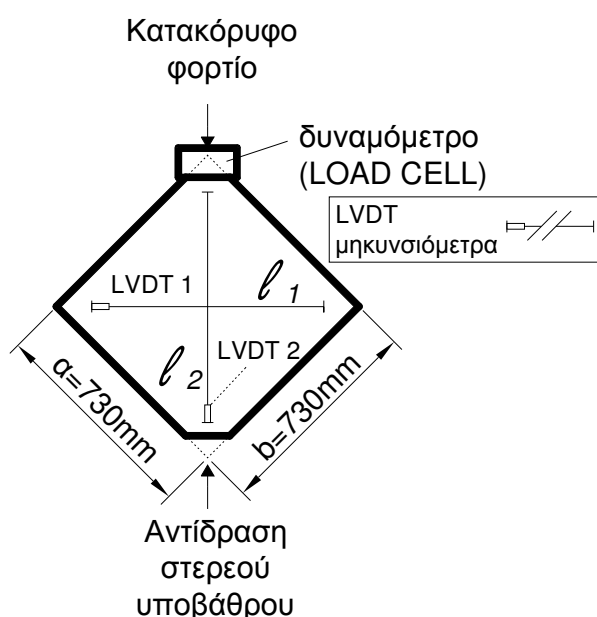
δ1. Τέλος, αφού πρώτα τεκμηριωθεί η δυνατότητα της προτεινόμενης αριθμητικής προσομοίωσης να προσεγγίσει ικανοποιητικά την συμπεριφορά των επιμέρους φορέων ή τμημάτων τους μέσω των α1, β1, και γ1, η εν λόγω αριθμητική προσομοίωση επεκτείνεται στα εμφανωμένα δοκίμια (παράγραφος 8.4), τα οποία συντίθενται από όλα τα ανωτέρω, ώστε να τεκμηριωθεί μέσω τελικών συγκρίσεων με σχετικά πειραματικά αποτελέσματα η επιτυχής αριθμητική προσέγγιση της συμπεριφοράς των εμφανωμένων πλαισίων που εξετάσθηκαν στο κεφάλαιο 7, δηλαδή των δοκιμών Εμφανωμένο-1, Εμφανωμένο-2 και Εμφανωμένο-2α (κεφάλαιο 7).

Με βάση τα τελικά αποτελέσματα όλων αυτών των συγκρίσεων επιχειρείται να τεκμηριωθεί η δυνατότητα εφαρμογής αυτού του τρόπου της αριθμητικής προσομοίωσης σε πρωτότυπα εμφαντνωμένα πλαίσια που αντιστοιχούν στις παραδοχές που διέπουν όλα τα στοιχεία του παρόντος ερευνητικού προγράμματος.

8.1. Η συμπεριφορά τμήματος εμφαντνωματος σε διαγώνιο εφελκυσμό.

Ως συμπλήρωμα της εξέτασης για την αριθμητική προσομοίωση του εμφαντνωματος ακολουθήθηκε η εξής προσέγγιση. Υποβλήθηκαν σε διαγώνιο εφελκυσμό (δες σχήματα 8.1 και 8.2α) τμήματα από εμφαντνωματα τετραγωνικού σχήματος με διαστάσεις πλευρών 730mm και πάχος 50mm. Τα τμήματα αυτά είναι κατασκευασμένα ταυτόχρονα με τα αντίστοιχα εμφαντνωματα που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 7 και συνεπώς έχουν τα ίδια μηχανικά χαρακτηριστικά ως προς τα υλικά τους, δηλαδή τις ράβδους χάλυβα και το σκυρόδεμα με αυτά των εμφαντνωμάτων (δες εισαγωγή κεφαλαίου 7).

Η ποιότητα του σκυροδέματος έχει μέση τιμή θλιπτικής αντοχής 22MPa. Στο οπλισμένο εμφάντνωμα του δοκιμίου Εμφαντνωμένο-2α χρησιμοποιήθηκε απλή σχάρα Φ4/85mm οπλισμών με νευρώσεις διαμέτρου 4mm, που αντιστοιχεί σε ποσοστό οπλισμού 0.3%. Η τάση διαρροής αυτών των οπλισμών, όπως μπορεί να εκτιμηθεί από σχετικά πειράματα εφελκυσμού (δες σχήμα 7.1) είναι της τάξεως των 700MPa.



Σχήμα 8.1. Πειραματική διάταξη για τον διαγώνιο εφελκυσμό των τμημάτων των εμφαντνωμάτων.

Στο σχήμα 8.1 φαίνεται η μια όψη του δοκιμίου με τα αισθητήρια που μετρούν την μεταβολή του μήκους των διαγωνίων του δοκιμίου με αρχικά μήκη l_1 (οριζόντια διαγώνιος) l_2 (κατακόρυφη διαγώνιος). Αντίστοιχα αισθητήρια ήταν τοποθετημένα και στην άλλη όψη του δοκιμίου στις αντίστοιχες θέσεις. Η μεταβολή του μήκους είτε της οριζόντιας διαγωνίου (δ_{d1}) είτε της κατακόρυφης διαγωνίου (δ_{d2}) υπολογίστηκε από τους μέσους όρους των αντίστοιχων μετρήσεων. Μέσω αυτών υπολογίστηκε η σχετική διατμητική παραμόρφωση γ . Με τον ίδιο τρόπο υπολογίστηκε η γωνιακή παραμόρφωση και στα εμφαντνωματα (δες παράγραφο 7.2.2.).

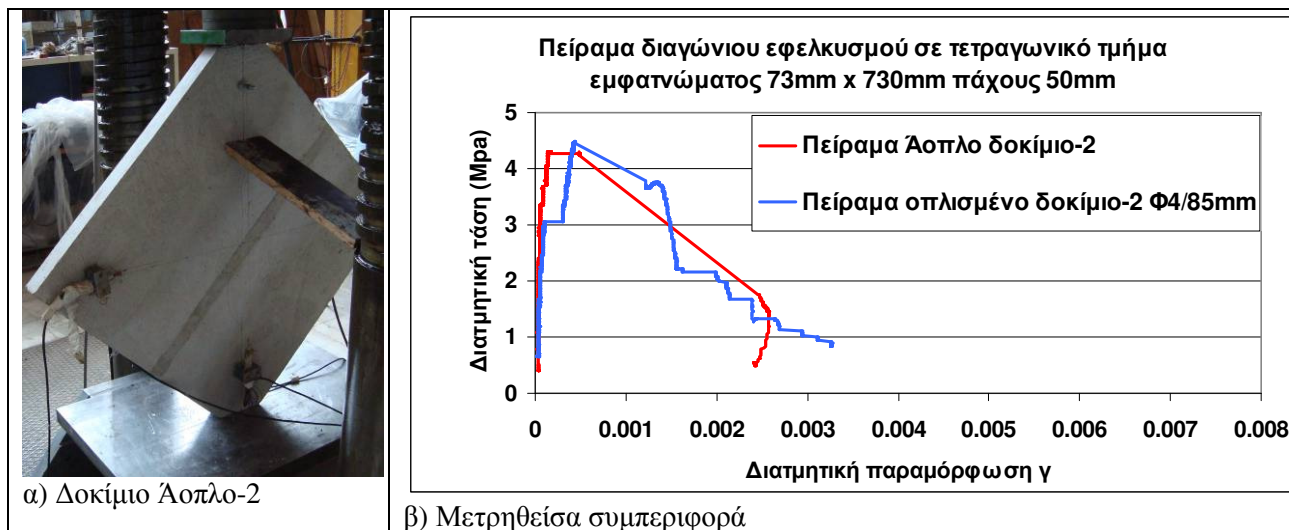
$$\gamma = \frac{\delta_{d1} + \delta_{d2}}{\frac{l_1 + l_2}{2}} \quad (8.1)$$

Με βάση το μετρημένο κατακόρυφο φορτίο (V), το μήκος της πλευράς του τετραγωνικού δοκιμίου (a) και το πάχος του δοκιμίου (t) υπολογίστηκε η τιμή της μέσης διατμητικής τάσης (τ) από την σχέση:

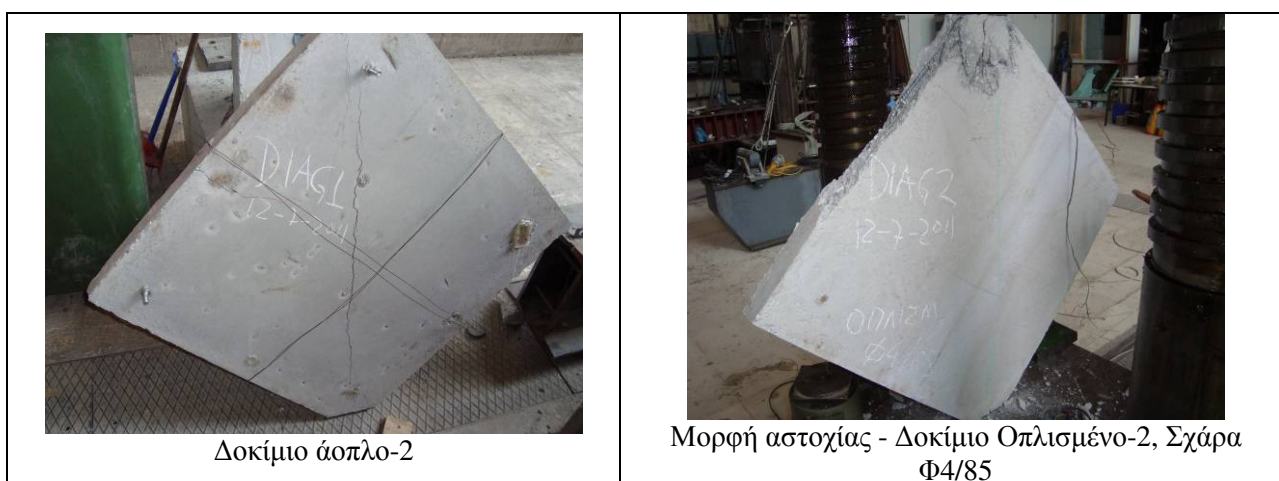
$$\tau = \frac{0.707 V}{a t} \quad (8.2)$$

Στο σχήμα 8.2α απεικονίζεται το δοκίμιο άοπλο-2 στην φορτιστική διάταξη κατά την προετοιμασία για την δοκιμή του διαγωνίου εφελκυσμού. Στο σχήμα 8.2β απεικονίζεται η μετρηθείσα συμπεριφορά σε όρους

διατμητικής τάσης (τ) διατμητικής παραμόρφωσης (γ), που υπολογίσθηκαν μέσω των σχέσεων 8.1 και 8.2, όπως περιγράφηκε προηγουμένως. Στο σχήμα 8.3. απεικονίζεται το δοκίμιο άοπλο-2 καθώς και το δοκίμιο οπλισμένο-2 με τις αντίστοιχες μορφές αστοχίας που εμφανίσθηκαν κατά το πείραμα του διαγώνιου εφελκυσμού. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι ενώ για το δοκίμιο άοπλο-2 η μορφή αστοχίας ήταν η αναμενόμενη διαγώνια ρηγμάτωση κατά την κατακόρυφη διαγώνιο, η αντίστοιχη μορφή αστοχίας για το δοκίμιο οπλισμένο -2 η σχετική διαγώνια ρηγμάτωση συνοδεύτηκε επίσης από σύνθλιψη της περιοχής κοντά στο σημείο εφαρμογής του φορτίου στην άνω γωνία του δοκιμίου αυτού.



Σχήμα 8.2. Φορτιστική διάταξη και πειραματικά αποτελέσματα



Σχήμα 8.3. Μορφές αστοχίας από τα πειράματα διαγώνιου εφελκυσμού.

Όπως φαίνεται από την μετρηθείσα συμπεριφορά του σχήματος 8.2β, η μέγιστη διατμητική τάση για το οπλισμένο δοκίμιο είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από αυτή του άοπλου. Η σχετική αύξηση της φέρουσα ικανότητάς του οπλισμένου δοκιμίου περιορίστηκε από την εκδήλωση ταυτόχρονα της θλιπτικής αστοχίας στην περιοχή του δοκιμίου όπου εφαρμόστηκε η φόρτιση. Ως οριακή διατμητική παραμόρφωση για τα δοκίμια αυτά μπορεί να θεωρηθεί μια τιμή κατά προσέγγιση της τάξεως του 0.001.

Στην συνέχεια θα γίνει η αριθμητική προσομοίωση του εν λόγω πειράματος του διαγώνιου εφελκυσμού που περιγράφηκε προηγουμένως. Ο στόχος αυτής της προσομοίωσης είναι να ελεγχθεί ο βαθμός προσέγγισης της μετρηθείσης συμπεριφορά που προσφέρει αυτή η αριθμητική προσομοίωση μέσα από τα αποτελέσματα ενός τέτοιου πειράματος, όπου η μέτρηση της παραμόρφωσης και της εντατικής κατάστασης έχουν σχετικά μικρές αβεβαιότητες ώστε να αποκτηθεί εμπιστοσύνη στα αποτελέσματα της αριθμητικής αυτής προσομοίωσης. Στην συνέχεια θα εφαρμοσθεί ο ίδιος τρόπος αριθμητικής προσομοίωσης και στο εμφανώμα που είναι εγκαθιστημένο εντός του περιβάλλοντος πλαισίου των δοκιμίων Εμφανώμενο-1, Εμφανώμενο-2 και Εμφανώμενο-2^α, που γίνεται στην παράγραφο 8.4.

Για την προσομοίωση του τμήματος του εμφανώματος σε διαγώνιο εφελκυσμό χρησιμοποιούνται επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία επίπεδης έντασης. Η προσομοίωση του εμφανώματος που υιοθετείται

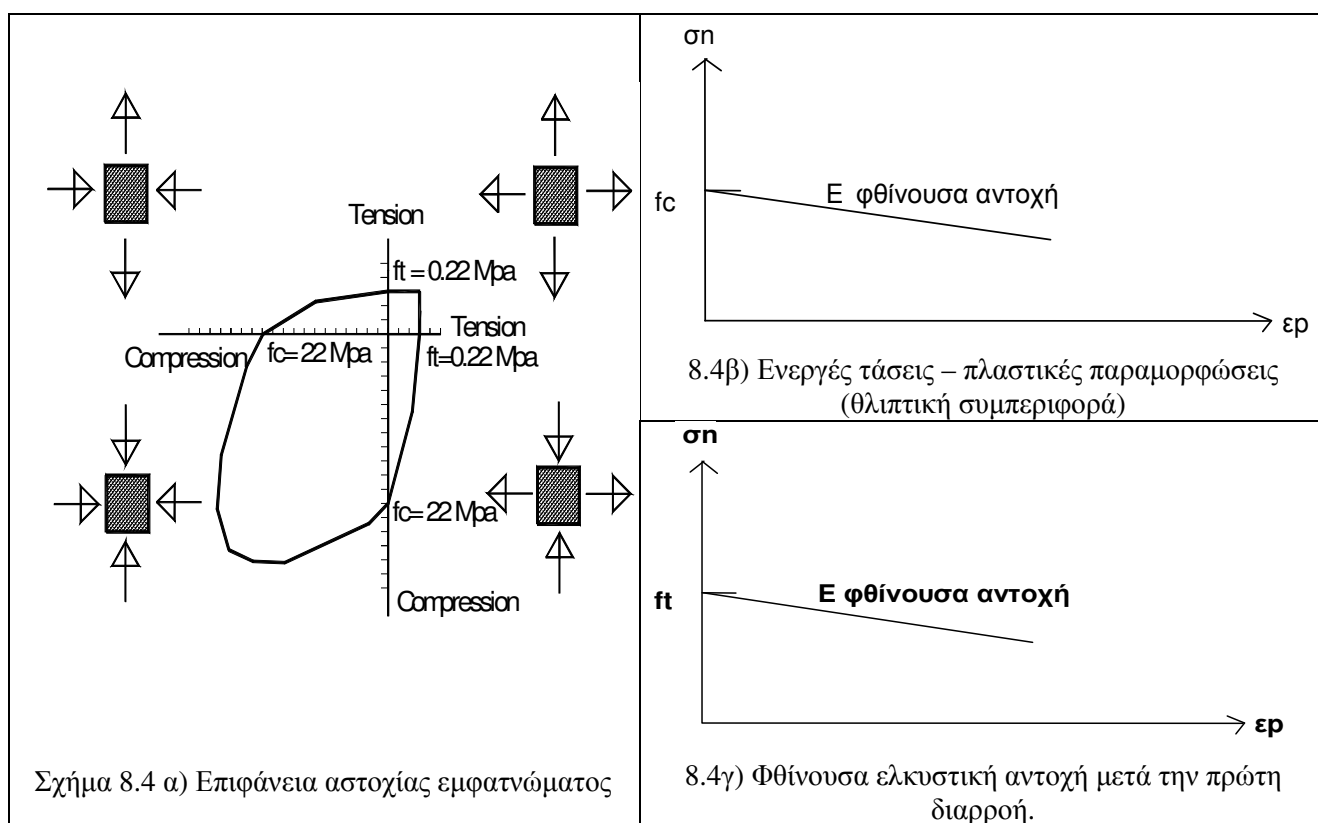
στην παρούσα διερεύνηση θεωρεί ότι το εμφάντωμα συμπεριφέρεται με έναν καταστατικό νόμο υλικού που περιλαμβάνει το κριτήριο διαρροής του τροποποιημένου Von Mises που είναι ενσωματωμένο στο εμπορικό λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων LUSAS [49]. Ισχύουν οι ακόλουθες παραδοχές ως προς το κριτήριο αστοχίας, οι οποίες υιοθετήθηκαν επί τη βάση των πειραματικών αντοχών των υλικών που ελέγχθηκαν εργαστηριακά για το εμφάντωμα:

- Υιοθετήθηκε το ίδιο κριτήριο αστοχίας τόσο για το άοπλο όσο και για το οπλισμένο δοκίμιο. Η διαφοροποίηση στο κριτήριο αστοχίας μεταξύ του άοπλου και του οπλισμένου δοκιμίου είναι μόνον ποσοτική ως προς τις τιμές των διαφόρων ορίων.

- Η αρχική επιφάνεια διαρροής παρουσιάζεται στο σχήμα 8.4α. Το θλιπτικό όριο διαρροής του εμφαντώματος για το άοπλο δοκίμιο λαμβάνεται ίσο με 22 MPa, ενώ το αντίστοιχο ελκυστικό λαμβάνεται ίσο με 0,22MPa. Τα αντίστοιχα όρια είναι αυξημένα κατά 20% για το οπλισμένο δοκίμιο.

- Η θλιπτική συμπεριφορά προσομοιώνεται από μία σχέση τάσεων-παραμορφώσεων όπου περιλαμβάνει έναν κλάδο φθίνουσας αντοχής που προσομοιώνει την συμπεριφορά του εμφαντώματος μετά την αρχική αστοχία (Σχήμα 8.4β).

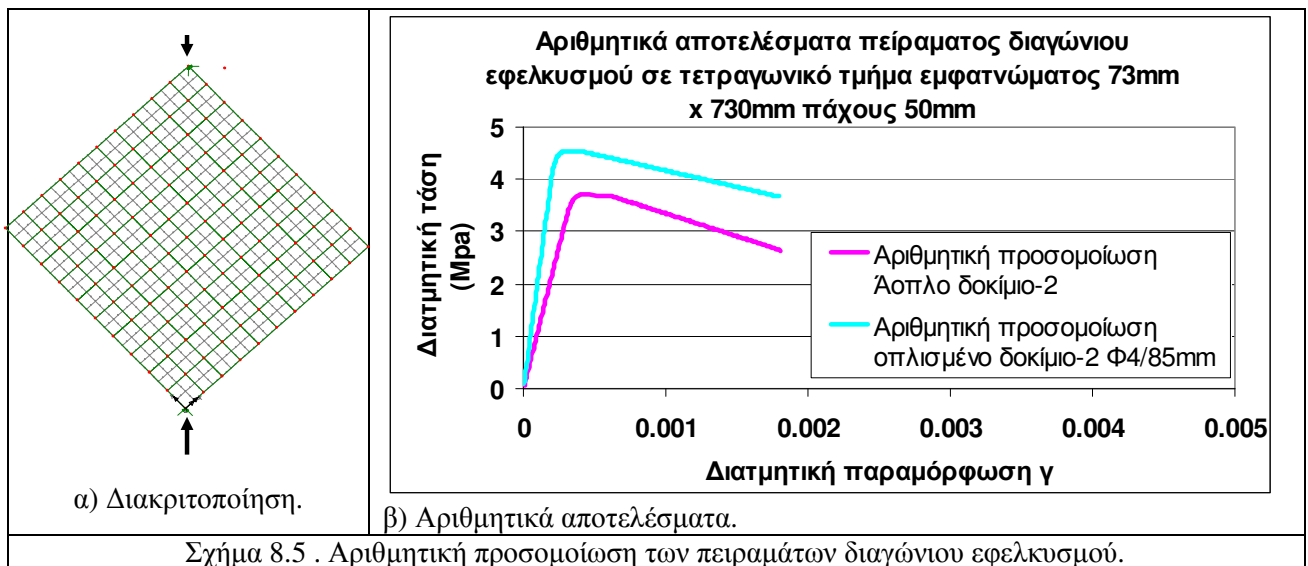
- Η ελκυστική συμπεριφορά προσομοιώνεται επίσης από μία σχέση τάσεων –παραμορφώσεων όπου επίσης ένας κλάδος φθίνουσας αντοχής υιοθετείται για το εμφάντωμα μετά την αρχική αστοχία (Σχήμα 8.4γ).



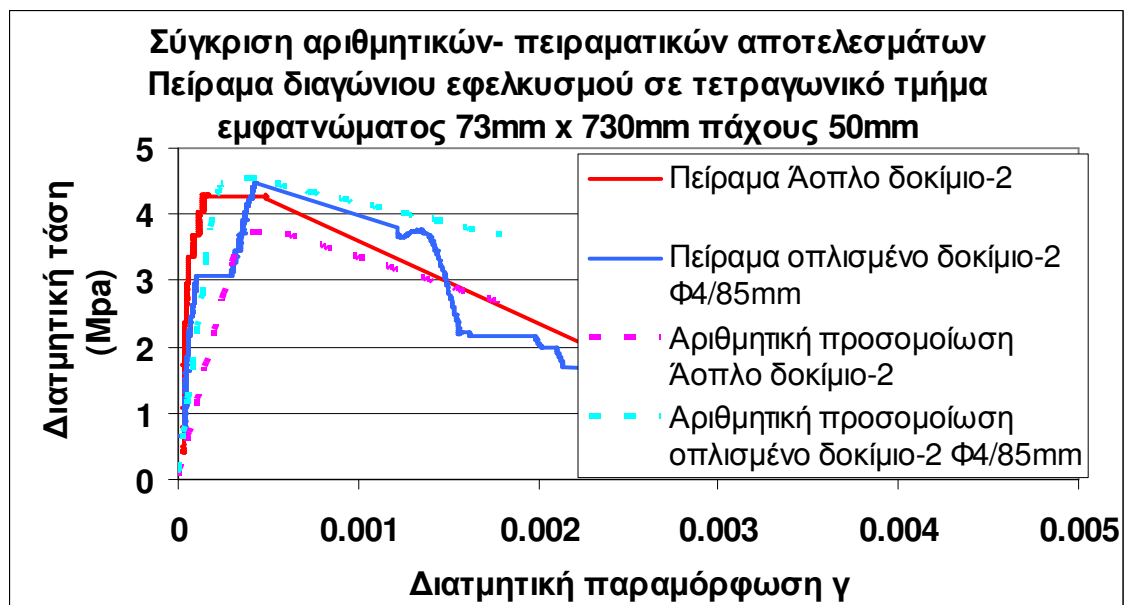
Στον πίνακα 1, περιλαμβάνονται τα ανωτέρω μηχανικά χαρακτηριστικά των αριθμητικών προσομοιώσεων του άοπλου και του οπλισμένου δοκιμίου μαζί με τις τιμές των υπολοίπων μηχανικών χαρακτηριστικών.

Πίνακας 8.1. Μηχανικά χαρακτηριστικά αριθμητικής προσομοίωσης εμφαντώματος

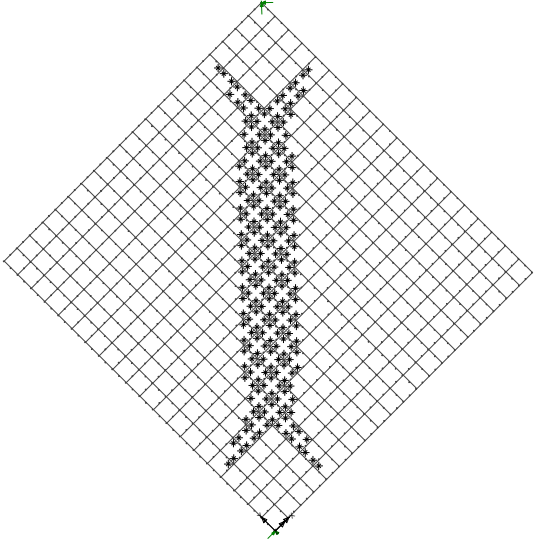
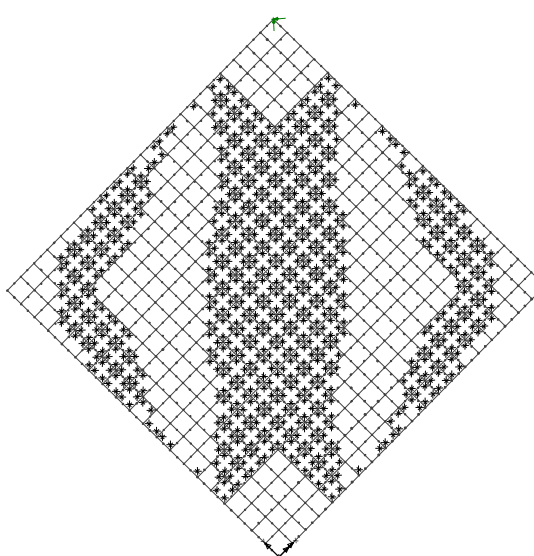
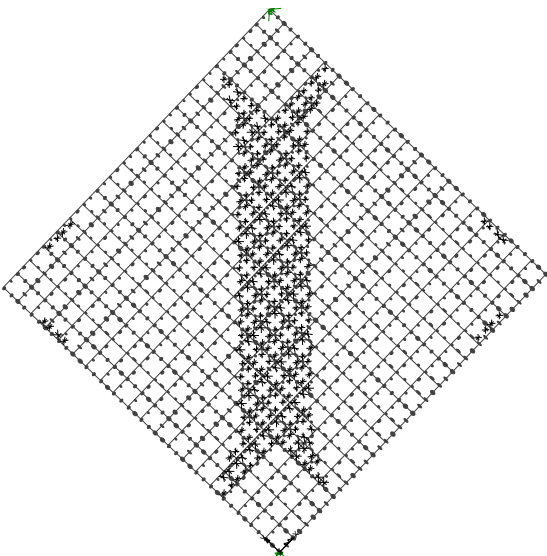
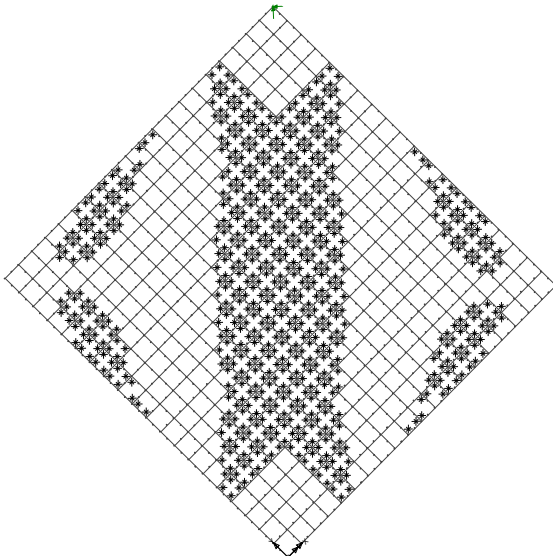
Δοκίμιο Διαγώνιου Εφελκυσμού	Ελαστικά μηχανικά χαρακτηριστικά		Ανελαστικά μηχανικά χαρακτηριστικά			
			Ελκυστική μονοαξονική αντοχή(N/mm ²)	Μέτρο φθίνουσας ελκυστικής αντοχής (N/mm ²)	Θλιπτική μονοαξονική αντοχή (N/mm ²)	Μέτρο φθίνουσας θλιπτικής αντοχής (N/mm ²)
Άοπλο	E=24000 N/mm ²	v=0,20	0,22	-200	22,0	-200
Οπλισμένο	E=28800 N/mm ²	v=0,20	0,26	-200	26,0	-200



Στο σχήμα 8.5α απεικονίζεται η διακριτοποίηση που χρησιμοποιήθηκε ενώ στο σχήμα 8.5β οι αριθμητική πρόβλεψη της απόκρισης τ - γ τόσο για το άοπλο όσο και για το οπλισμένο δοκίμιο. Στο σχήμα 8.6 γίνεται η σύγκριση μεταξύ των αριθμητικών προβλέψεων και της μετρηθείσας απόκρισης. Τέλος, στα σχήματα 8.7α έως 8.7δ απεικονίζονται οι μορφές αστοχίας που προβλέπονται από την αριθμητική προσομοίωση. Οι εικόνες της αστοχίας απεικονίζονται για δύο διαφορετικά επίπεδα γωνιακών παραμορφώσεων $\gamma_1=0,0003\%$ και $\gamma_2=0,0005\%$ τόσο για το άοπλο όσο και για το οπλισμένο δοκίμιο.



Σχήμα 8.6. Σύγκριση αριθμητικών προβλέψεων και μετρηθείσας απόκρισης τ - γ

	
<p>Σχήμα 8.7α. Εικόνα αστοχίας άοπλου δοκιμίου σε διαγώνιο ελκυσμό για διατμητική παραμόρφωση $\gamma_1=0,0003$ mm/mm</p>	<p>Σχήμα 8.7β. Εικόνα αστοχίας άοπλου δοκιμίου σε διαγώνιο ελκυσμό για διατμητική παραμόρφωση $\gamma_2=0,0005$ mm/mm</p>
	
<p>Σχήμα 8.7γ. Εικόνα αστοχίας οπλισμένου δοκιμίου σε διαγώνιο ελκυσμό $\gamma_1=0,0003$ mm/mm</p>	<p>Σχήμα 8.7δ. Εικόνα αστοχίας οπλισμένου δοκιμίου σε διαγώνιο ελκυσμό για διατμητική παραμόρφωση $\gamma_2=0,0005$ mm/mm</p>

Από την σύγκριση των αριθμητικών προβλέψεων και της πειραματικής συμπεριφοράς των δοκιμίων που υποβλήθηκαν σε διαγώνιο εφελκυσμό παρατηρείται μια αρκετά ικανοποιητική συμφωνία τόσο σε όρους απόκρισης τ - γ όσο και στις μορφές αστοχίας. Η περαιτέρω βελτίωση θα επιχειρηθεί στο μέλλον μέσω μεγαλύτερου αριθμού δοκιμίων ώστε να τεκμηριωθεί η επιρροή διαφόρων σημαντικών παραμέτρων, όπως της επιρροής του ποσοστού των καταναμημένων οπλισμών και των μηχανικών χαρακτηριστικών του οπλισμένου σκυροδέματος, που χρησιμοποιούνται στις εργαστηριακές εμφαντώσεις πλαισίων.

Με βάση αυτές τις συγκρίσεις και για τις ανάγκες του παρόντος έργου τεκμαίρεται ότι αυτός ο σχετικά απλός τρόπος αριθμητικής προσομοίωσης της ανελαστικής συμπεριφοράς του τμήματος του άοπλου ή οπλισμένου εμφαντώματος μπορεί να επεκταθεί και στην προσομοίωση του εμφαντώματος για την αριθμητική προσέγγιση της συμπεριφοράς των εμφαντωμένων πλαισίων Εμφαντωμένο-1, 2, 2α που γίνεται στην παράγραφο 8.4 .

8.2. Αριθμητική προσομοίωση της συμπεριφοράς των συνδέσεων τμήματος εμφαντώματος – τμήματος περιβάλλοντος πλαισίου με ή χωρίς χαλύβδινους συνδέσμους.

Στην παρούσα παράγραφο θα γίνει η επέκταση της αριθμητικής διερεύνησης του κεφαλαίου 1 με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα του κεφαλαίου 3.

<p>Τμήμα Εμφαντώματος</p> <p>Τμήμα Μανδουωμένου Στύλου</p> <p>Αξονική Δύναμη</p> <p>Διεπιφάνεια Σύνδεσης</p> <p>Εγκάρσια Δύναμη</p> <p>20mm Εκκεντρότητα</p> <p>x</p> <p>z</p>	<p>Μη-γραμμικά ελατήρια που προσομοιώνουν τους χαλύβδινους συνδέσμους</p> <p>Ελαστο-πλαστικά ελατήρια Και ελατήρια Τριβής</p> <p>Αξονική Δύναμη</p> <p>Ελαστική συμπεριφορά του σκυροδέματος του εμφαντώματος και του στύλου</p> <p>Εφαρμογή Εγκάρσιας Ανακύκλησης δ</p> <p>Λεπτομέρεια της προσομοίωσης της ανελαστικής συμπεριφοράς στην διεπιφάνεια σύνδεσης</p>
<p>Σχήμα 8.8.α Διακριτοποίηση των δοκιμών του κεφαλαίου 3.</p>	<p>Σχήμα 8.8.β Λεπτομέρεια της διακριτοποίησης της διεπιφάνειας τμήματος εμφαντώματος-τμήματος περιβάλλοντος πλαισίου</p>

Πρόκειται για μια διδιάστατη αριθμητική προσομοίωση του προβλήματος των συνδέσεων μανδουωμένου στύλου/δοκού με εμφάντωμα (με ή χωρίς βλήτρα/αγκύρια) που εξετάστηκαν με τα απλά δοκίμια συνδέσεων του κεφαλαίου 3. Η γεωμετρία της διακριτοποίησης φαίνεται στο σχήμα 8.8^α και απεικονίζει αυτήν των δοκιμών του κεφαλαίου 3 (δες επίσης κεφάλαιο 1). Το σχήμα 8.8β απεικονίζει την λεπτομέρεια της διεπιφάνειας σύνδεσης του τμήματος του εμφαντώματος με το τμήμα του μανδουωμένου στύλου/δοκού των δοκιμών του κεφαλαίου 3.

Γίνεται η παραδοχή στην δι-διάστατη αυτή προσομοίωση ότι όλοι οι ανελαστικοί μηχανισμοί στα δοκίμια αυτά θα αναπτυχθούν σε αυτήν την διεπιφάνεια και θα προσεγγιστούν με την κατάλληλη προσομοίωση ειδικών ανελαστικών αριθμητικών συνδέσμων που τοποθετούνται στην διεπιφάνεια αυτή του αριθμητικού προσομοιώματος. Η ανελαστική συμπεριφορά αυτών των συνδέσμων περιγράφεται στην συνέχεια. Η παραδοχή αυτή θα πρέπει να θεωρηθεί ρεαλιστική επί τη βάση της παρατηρηθείσας συμπεριφοράς των περισσότερων δοκιμών του κεφαλαίου 3, εκτός αυτών με τον κωδικό αριθμό 5 και 6 που απορρίφθηκαν ως τρόπος σύνδεσης λόγω των βλαβών που αναπτύχθηκαν στην περιοχή του μανδουωμένου τμήματος.

Γίνεται επίσης η συμπληρωματική παραδοχή ότι όλα τα υπόλοιπα τμήματα του προσομοιώματος πλην των ανωτέρω ανελαστικών αριθμητικών συνδέσμων παραμένουν ελαστικά. Η ισχύς αυτή της παραδοχής εμπεριέχει έναν βαθμό προσέγγισης. Όπως αποδείχθηκε στο κεφάλαιο 5, όπου εξετάζεται το ίδιο πρόβλημα χωρίς τους εν λόγω περιορισμούς, οι πλαστικές παραμορφώσεις των συνδέσμων και του σκυροδέματος που τους περιβάλλει μόνον κατά προσέγγιση μπορούν να συγκεντρωθούν στην νοητή γραμμή της διεπιφάνειας σύνδεσης ενώ έχουν μια διασπορά τόσο στον όγκο του σκυροδέματος όσο και στο μήκος των χαλύβδινων συνδέσμων.

Παρόλα αυτά η συγκέντρωση της ανελαστικής συμπεριφοράς που επιχειρείται εδώ μαζί με την υιοθέτηση της δι-διάστατης προσομοίωσης του προβλήματος έχουν το μεγάλο πλεονέκτημα της σχηματικής απλοποίησης της αριθμητικής επίλυσης του προβλήματος που την καθιστά πρακτικά εφικτή αρχικά για το πρόβλημα της συμπεριφοράς των δοκιμών του σχήματος 8.8^α (κεφάλαιο 3) αλλά ποιο σημαντικό για την προσομοίωση και αριθμητική επίλυση του μεγαλύτερου και ποιο εκτεταμένου προβλήματος ολόκληρου του εμφαντώματος πλαισίου.

8.2.1. Μηχανικές ιδιότητες των ανελαστικών αριθμητικών συνδέσμων στην διεπιφάνεια χωρίς χαλύβδινους συνδέσμους.

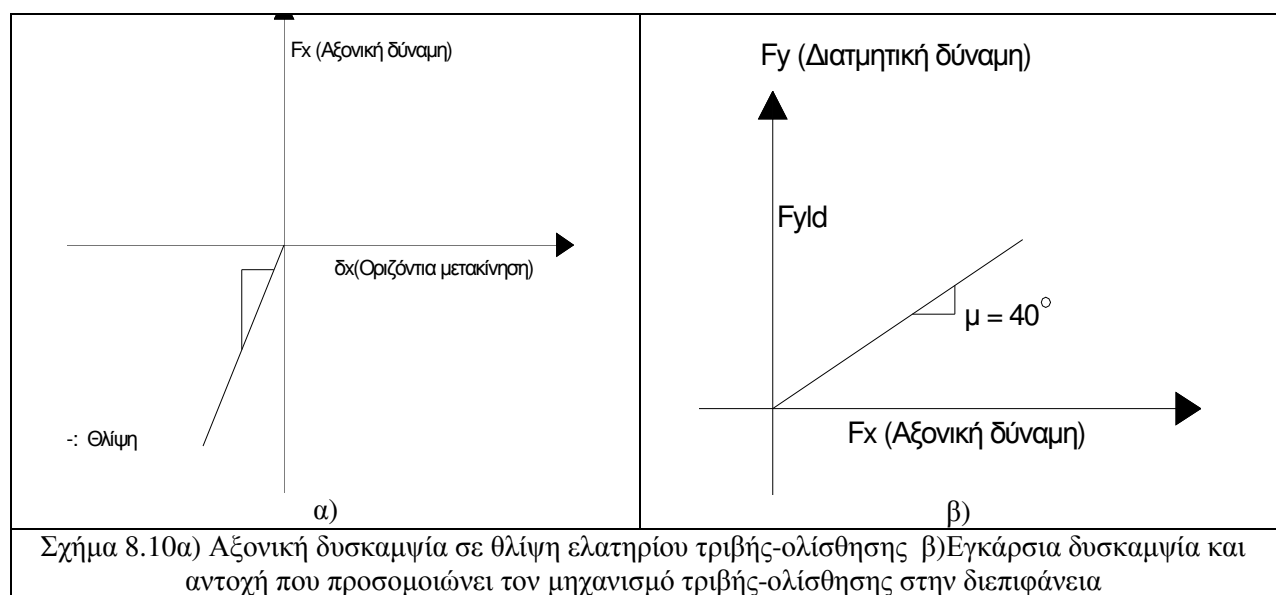
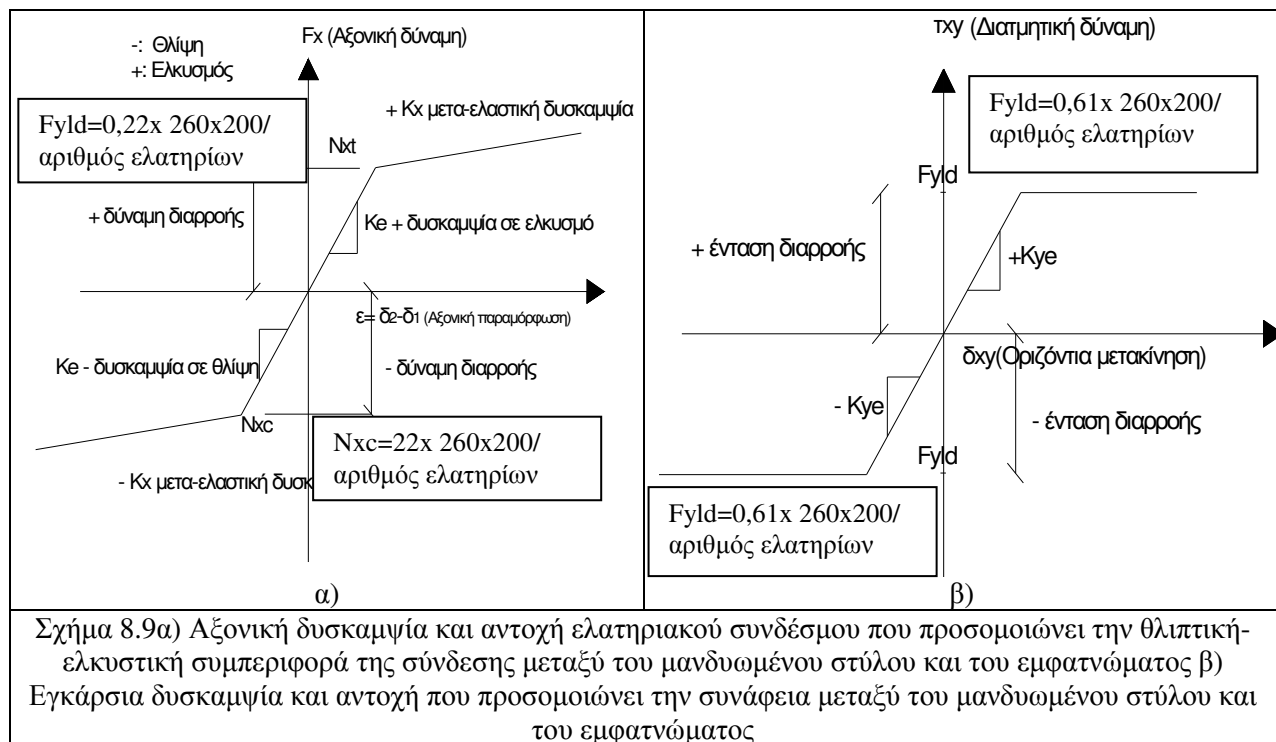
Ως οριακή συμπεριφορά της διεπιφάνειας σύνδεσης θεωρείται αυτή που περιγράφεται από ένα κριτήριο αστοχίας τύπου Mohr-Coulomb. Για σκυρόδεμα που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή των πειραματικών δοκιμών υιοθετείται το κατωτέρω κριτήριο αστοχίας:

$$\tau = c_o + \mu \sigma_n$$

όπου $c_o = 0.61$ ο όρος της συνάφειας του σκυροδέματος θλιπτικής αντοχής 22MPa

σ_n η θλιπτική τάση που επιβάλλεται κάθετα στην διεπιφάνεια

όπου $\mu = 0.839$ η τιμή του συντελεστή τριβής (στην προσομοίωση που ακολουθεί η συμφωνία αριθμητικών και πειραματικών μετρήσεων προέκυψε για τιμή του $\mu=0.839$)

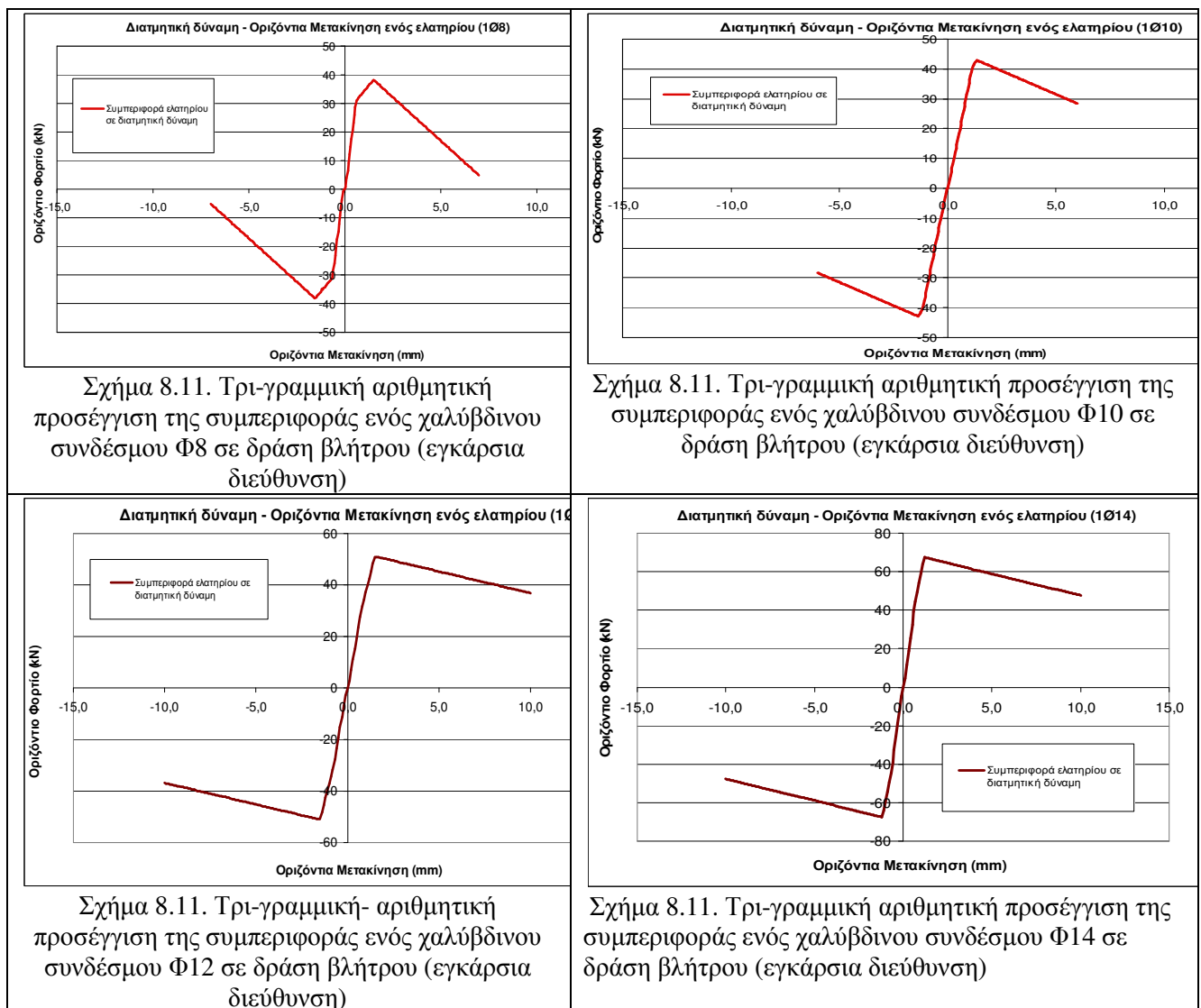


Η οριακή αυτή συμπεριφορά προσεγγίζεται μέσω δύο σειρών ανελαστικών ελατηρίων που συνδέουν τα δύο τμήματα στην διεπιφάνεια. Τα ελατήρια αυτά είναι διαξονικά και ορίζεται η συμπεριφορά τους τόσο

στην αξονική όσο και στην εγκάρσια διεύθυνση. Η αξονική συμπεριφορά για την πρώτη σειρά ορίζεται σύμφωνα με την θλιπτική / εφελκυστική συμπεριφορά του σκυροδέματος εμφαντώματος-μανδύα (Σχήμα 8.9α). Ορίζοντας την εγκάρσια συμπεριφορά της πρώτης σειράς των ελαστοπλαστικών ελατηρίων γίνεται η προσομοίωση της συνάφειας μεταξύ του μανδουωμένου στύλου και του εμφαντώματος (Σχήμα 8.9β). Με την δεύτερη σειρά ελατηρίων προσομοιώνεται μόνον ο μηχανισμός τριβής-ολίσθησης στην διεπιφάνεια, δηλαδή η επιρροή του όρου $\mu \sigma_n$ (Σχήμα 8.10α , 8.10β). Τα ως άνω ανελαστικά ελατήρια διατίθενται στο εμπορικό λογισμικό LUSAS [49]. Στα σχήματα 8.2 αναγράφεται και ο τρόπος που οι εν λόγω ιδιότητες εξαρτώνται από τον αριθμό των ελατηρίων που χρησιμοποιούνται και είναι διεσπαρμένα σε όλο το μήκος της διεπιφάνειας. Ο αριθμός αυτός συνήθως ταυτίζεται με τον αριθμό των κορυφών των ορθογωνικών πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στην διακριτοποίηση.

8.2.2. Μηχανικές ιδιότητες των ανελαστικών αριθμητικών συνδέσμων στην διεπιφάνεια με χαλύβδινους συνδέσμους.

Στην περίπτωση αυτή η ανελαστική συμπεριφορά στην διεπιφάνεια προσομοιώνεται αριθμητικά αφενός από αριθμό ανελαστικά ελατήρια της παραγράφου 8.2.1 που είναι και πάλι διεσπαρμένα σε όλο το μήκος της διεπιφάνειας αφετέρου από ανελαστικά ελατήρια που περιγράφουν μόνον την συμπεριφορά των χαλύβδινων συνδέσμων και η θέση τους στο αριθμητικό προσομοίωμα ταυτίζεται με την θέση των συνδέσμων στο φυσικό πρόβλημα. Υιοθετήθηκε ένα τρι-γραμμικό μοντέλο για να περιγράψει αριθμητικά την συμπεριφοράς των χαλύβδινων συνδέσμων στην εγκάρσια έννοια.



Στα σχήματα 8.11α., 8.11β., 8.11γ., 8.11δ, απεικονίζεται ένα τέτοιο τρι-γραμμικό μοντέλο για τους χαλύβδινους συνδέσμους Φ8, Φ10, Φ12 και Φ14, αντίστοιχα. Ο ποσοτικός καθορισμός των ορίων

βασίστηκε στα πειραματικά αποτελέσματα του κεφαλαίου 3 και στην επεξεργασία τους με την μορφή των περιβαλλουσών καμπυλών. Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι υιοθετήθηκε, για την αριθμητική προσομοίωση της συμπεριφοράς των συγκεκριμένων δοκιμίων του κεφαλαίου 3 που θα ακολουθήσει, το τρι-γραμμικό αυτό μοντέλο να προσεγγίζει την συμπεριφορά του άνω ορίου των περιβαλλουσών καμπυλών του σχήματος 3.56. Δεν έγινε καμιά προσπάθεια ώστε το εν λόγω τρι-γραμμικό μοντέλο να μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά του ώστε να προσεγγίζει και το κάτω όριο των περιβαλλουσών καμπυλών του σχήματος 3.56 εξαρτώμενο από τον αριθμό των κύκλων της ανακυκλιζόμενης φόρτισης. Συνεπώς, αναμένεται ότι η πτωτική αυτή πορεία της φέρουσας ικανότητας των δοκιμίων του κεφαλαίου 3, λόγω των επάλληλων κύκλων της ανακυκλιζόμενης φόρτισης δεν θα προσομοιωθεί αριθμητικά. Η ανελαστική συμπεριφορά των χαλύβδινων συνδέσμων στην αξονική τους διεύθυνση (δράση αγκυρίου) προσεγγίστηκε με έναν ελαστοπλαστικό νόμο με βάση το όριο διαρροής του χάλυβα και την διάμετρο των συνδέσμων. Έγινε και εδώ η παραδοχή, όπως και στη σχετική πειραματική ακολουθία, ότι οι άλλες μορφές αστοχίας (π.χ. εξόλκευση χαλύβδινων συνδέσμων, θραύση σκυροδέματος) αποτράπηκαν μέσω των κατάλληλων κατασκευαστικών διατάξεων.

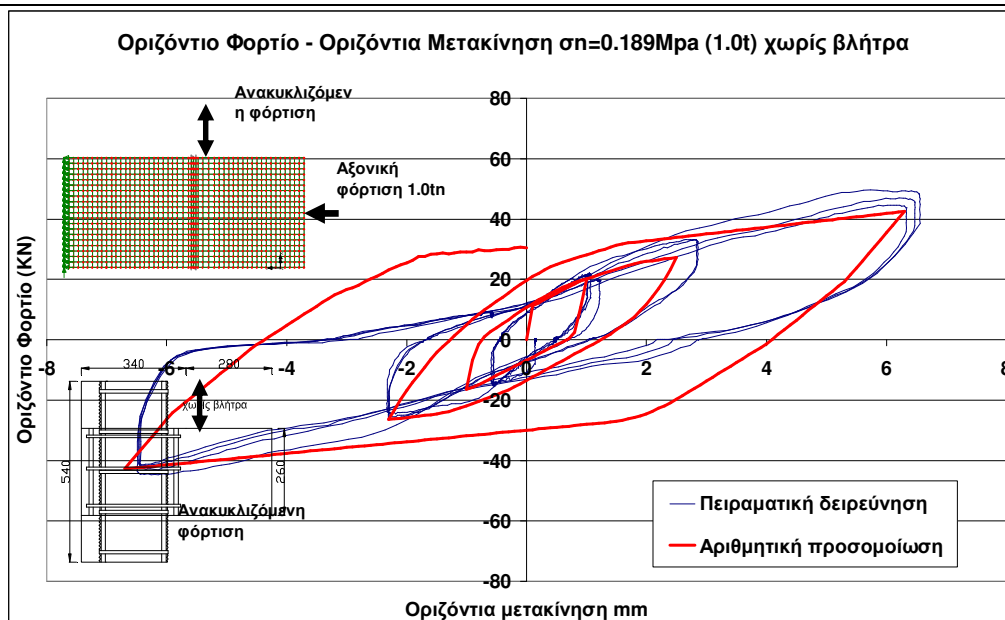
Ο ανωτέρω τρόπος αριθμητικής προσομοίωσης θα εφαρμοσθεί στη συνέχεια για να προσεγγισθεί η πειραματική συμπεριφορά συγκεκριμένων δοκιμίων του κεφαλαίου 3. Για τα εν λόγω δοκίμια θα εφαρμοσθεί ταυτόχρονα με την εγκάρσια και αξονικό φορτίο που αντιστοιχεί σε επίπεδο θλιπτικών τάσεων σε είτε 0,189Μpa. Η εκκεντρότητα εφαρμογής της εγκάρσιας δύναμης (δ) είναι 20mm, όπως και στην πειραματική ακολουθία. Για την σύγκριση της αριθμητικών αποτελεσμάτων θα γίνει χρήση των εξής δοκιμίων:

Πίνακας. 8.2. Δοκίμια του κεφαλαίου 3 που χρησιμοποιήθηκαν στις αριθμητικές προσομοιώσεις

Bare-1	Χωρίς χαλύβδινους συνδέσμους	Αξονικό φορτίο που αντιστοιχεί σε επίπεδο θλιπτικών τάσεων σε είτε 0,189Μpa είτε 0.378ΜPa
Bare-11	Με χαλύβδινους συνδέσμους 4 Φ8	Αξονικό φορτίο που αντιστοιχεί σε επίπεδο θλιπτικών τάσεων σε είτε 0,189Μpa εκκεντρότητα
Bare-10	Με χαλύβδινους συνδέσμους 4 Φ10	Αξονικό φορτίο που αντιστοιχεί σε επίπεδο θλιπτικών τάσεων σε είτε 0,189Μpa εκκεντρότητα
Bare-21	Με χαλύβδινους συνδέσμους 4 Φ12	Αξονικό φορτίο που αντιστοιχεί σε επίπεδο θλιπτικών τάσεων σε είτε 0,189Μpa εκκεντρότητα
Bare-22	Με χαλύβδινους συνδέσμους 4 Φ14	Αξονικό φορτίο που αντιστοιχεί σε επίπεδο θλιπτικών τάσεων σε είτε 0,189Μpa εκκεντρότητα

Δοκίμιο (Bare-1) : Πειραματικό δοκίμιο χωρίς χαλύβδινους συνδέσμους (βλήτρα-αγκύρια).

Στο σχήμα 8.12 που ακολουθεί απεικονίζεται η ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά του 1^{ου} δοκιμίου (Bare-1) όπως προβλέφθηκε αριθμητικά σε σύγκριση με την αντίστοιχη μετρημένη συμπεριφορά. Στο σχήμα 8.12α αυτό γίνεται για αξονικό φορτίο του εμφαντώματος που αντιστοιχεί σε επίπεδο θλιπτικής τάσης 0,189MPa, ενώ στο σχήμα 8.12β για επίπεδο θλιπτικής τάσης 0.378MPa. Όπως φαίνεται στο εν λόγω σχήμα η σύγκριση αυτή είναι ικανοποιητική.



8.12α) υπό αρχική θλιπτική τάση 0,189 MPa

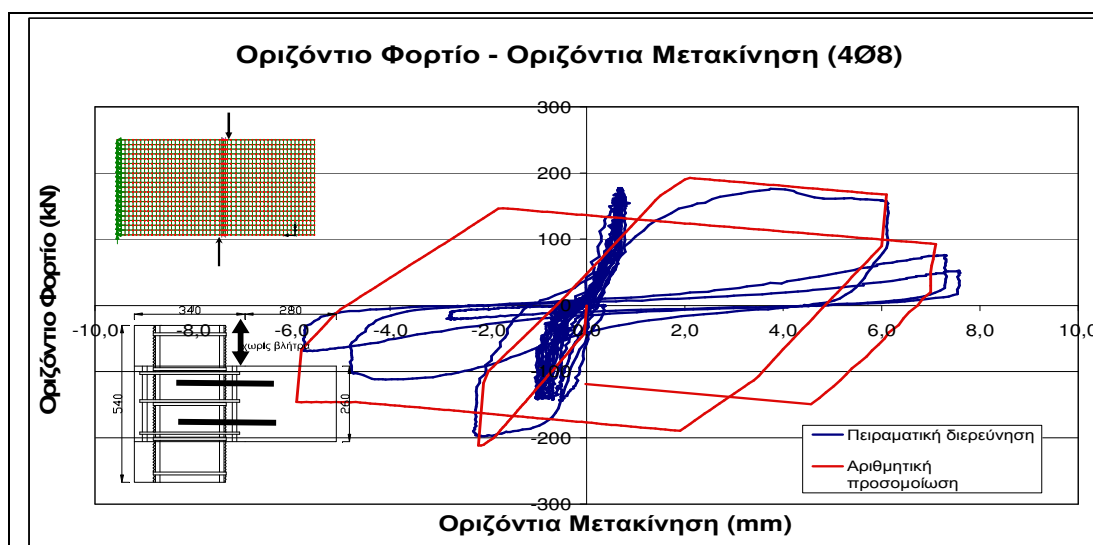


8.12β) υπό αρχική θλιπτική τάση 0,378 MPa.

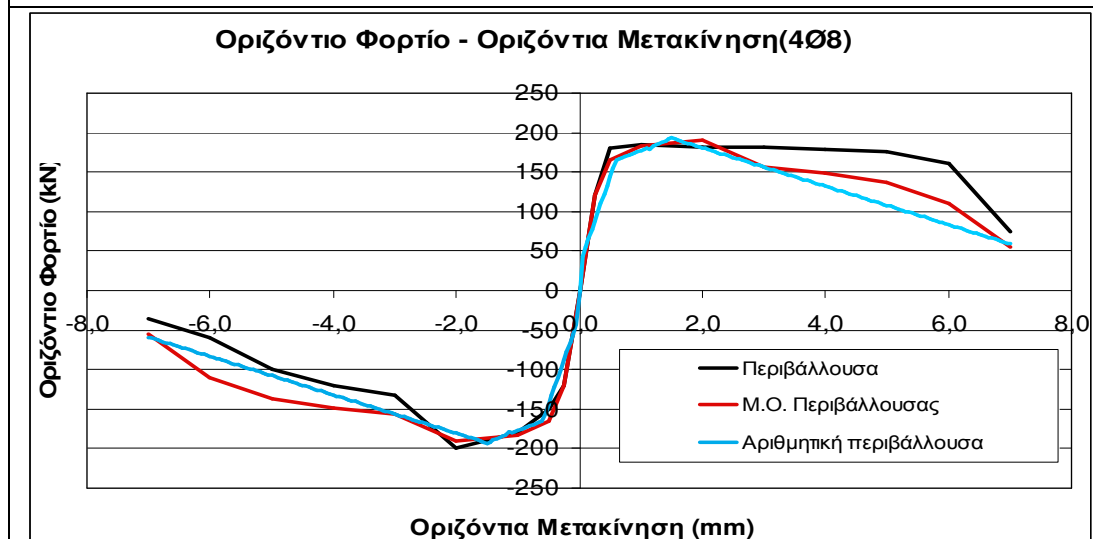
Σχήμα 8.12. Σύγκριση πειραματικής –αριθμητικής συμπεριφοράς για το δοκίμιο Bare-1

Δοκίμιο (Bare-11) : Πειραματικό δοκίμιο με 4 χαλύβδινους συνδέσμους Φ8 (βλήτρα-αγκύρια).

Στο σχήμα 8.13α η σύγκριση αυτή γίνεται για αξονικό φορτίο του εμφαντώματος που αντιστοιχεί σε επίπεδο θλιπτικής τάσης 0,189MPa. Όπως φαίνεται στο εν λόγω σχήμα η σύγκριση αυτή είναι ικανοποιητική αναφορικά με την μέγιστη φέρουσα ικανότητα καθώς και την πτωτική πορεία της διατμητικής δύναμης ως προς την εγκάρσια μετακίνηση. Αντίθετα, η εν λόγω αριθμητική προσομοίωση υπερεκτιμά μέσω των σχετικά διευρυμένων κύκλων την αναλωθείσα πλαστική ενέργεια κατά την ανακύκλιση, όπως αυτή έχει καταγραφεί από την σχετική πειραματική ακολουθία. Συνεπώς, ως προς τον τελευταίο αυτόν παράγοντα η επιχειρηθείσα αριθμητική προσομοίωση χρειάζεται περαιτέρω βελτίωση. Στο σχήμα 8.13β γίνεται η σύγκριση της προβλεφθείσας με αριθμητικό τρόπο συμπεριφοράς του εν λόγω δοκιμίου με την αντίστοιχη μετρηθείσα συμπεριφορά σε όρους περιβάλλουσας όλων των κύκλων. Πέραν από την καμπύλη της περιβάλλουσας για θετική και αρνητική εγκάρσια δύναμη (αλλαγή της διεύθυνσης της εγκάρσιας φόρτισης) στο ίδιο σχήμα απεικονίζεται επίσης η περιβάλλουσα καμπύλη που έχει προκύψει με στάθμιση του μέσου όρου των θετικών και αρνητικών τιμών της εγκάρσιας δύναμης. Όπως φαίνεται στο σχήμα αυτό η μετρηθείσα συμπεριφορά προσεγγίζεται αριθμητικά με ικανοποιητικό τρόπο.

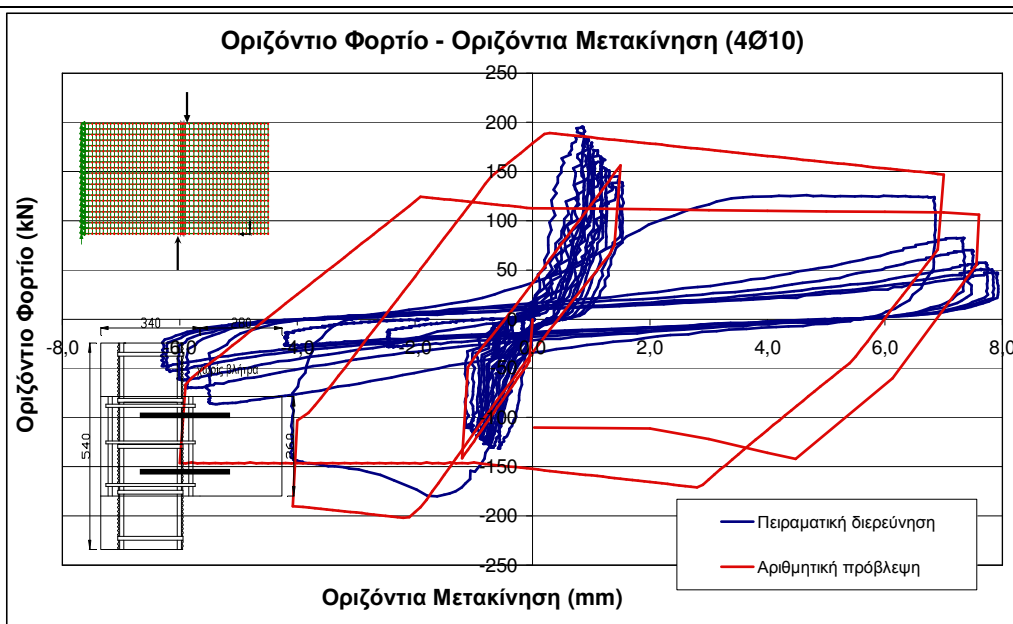


Σχήμα 8.13α. Σύγκριση πειραματικής –αριθμητικής συμπεριφοράς για το δοκίμιο Bare-11 υπό αρχική θλιπτική τάση 0,189 MPa.

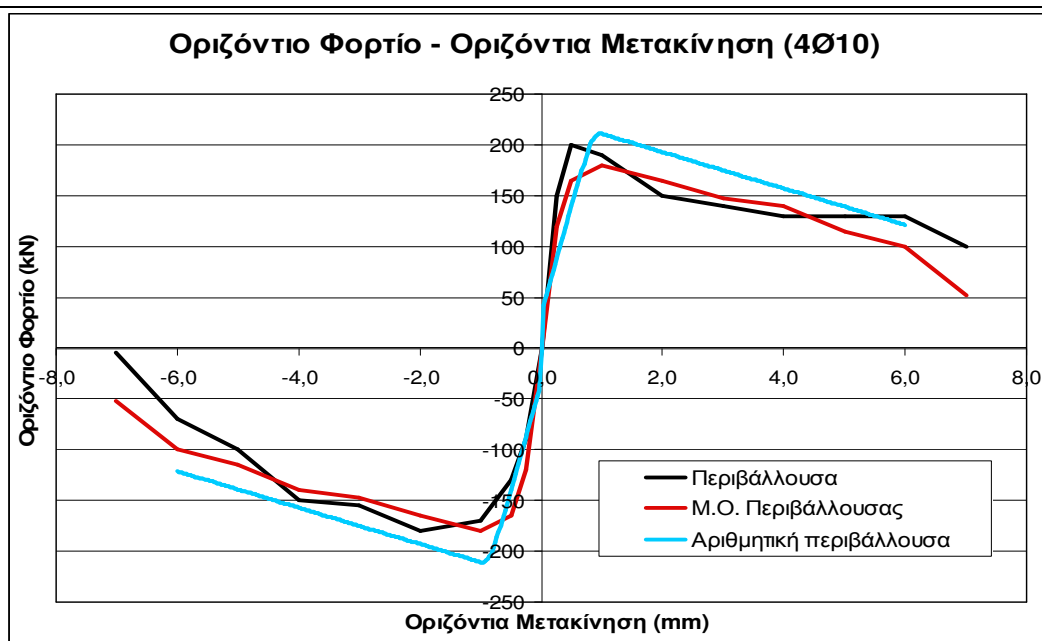


Σχήμα 8.13β. Σύγκριση πειραματικής –αριθμητικής περιβάλλουσας για το δοκίμιο Bare-11 υπό αρχική θλιπτική τάση 0,189 MPa.

Δοκίμιο (Bare-10) : Πειραματικό δοκίμιο με 4 χαλύβδινους συνδέσμους Φ10 (βλήτρα-αγκύρια).

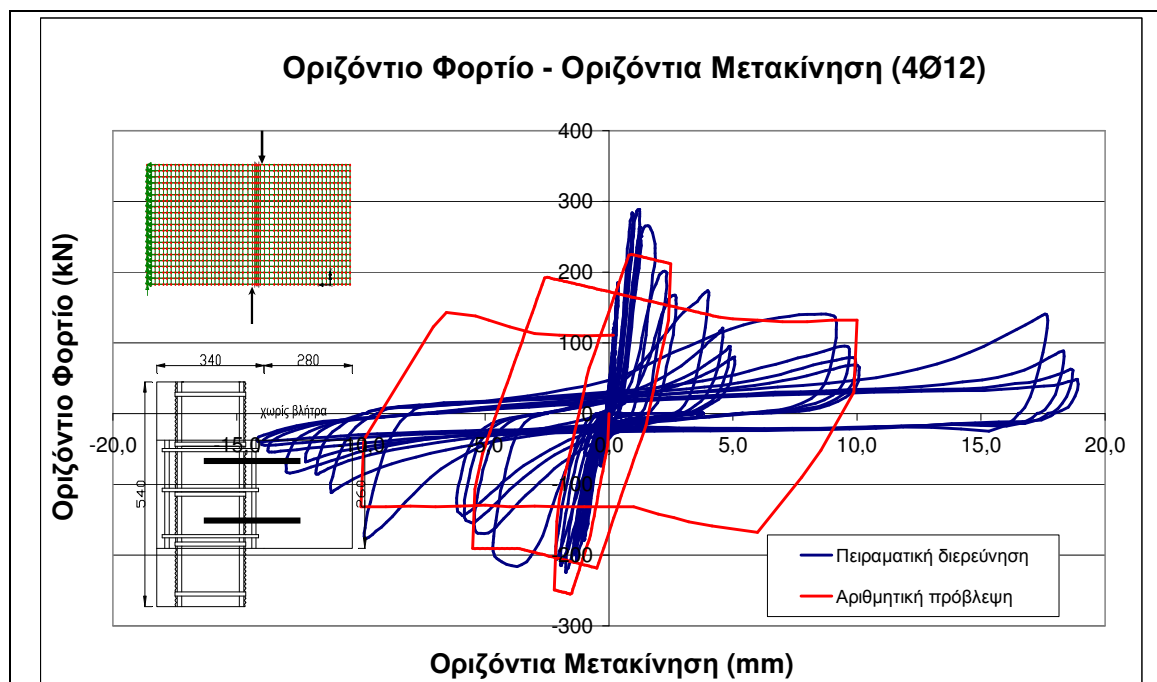


Σχήμα 8.14α. Σύγκριση πειραματικής –αριθμητικής συμπεριφοράς για το δοκίμιο Bare-10 υπό αρχική θλιπτική τάση 0,189 MPa.

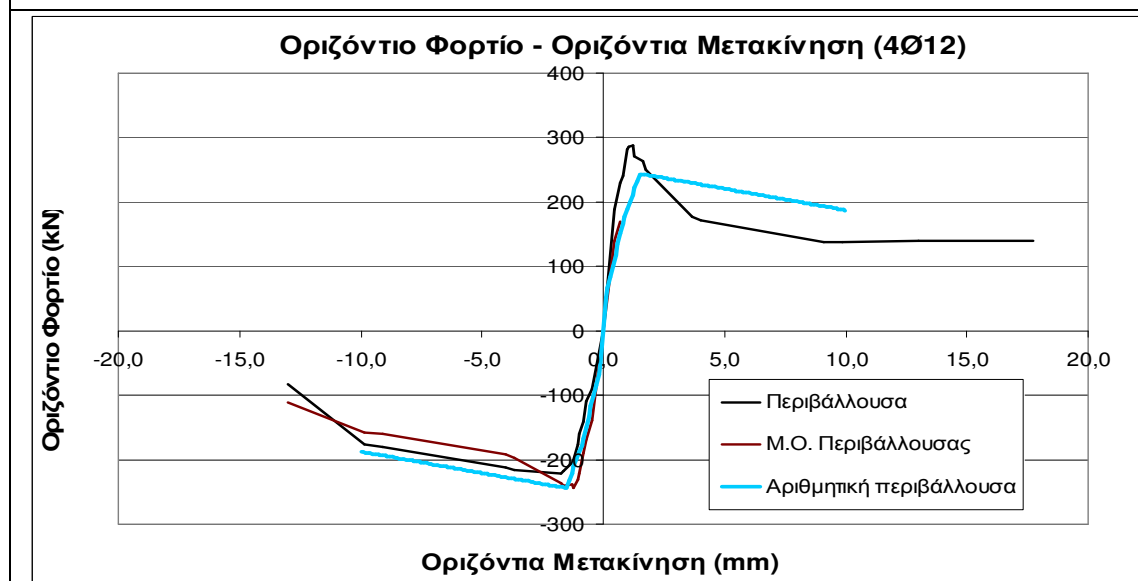


Σχήμα 8.14β. Σύγκριση πειραματικής –αριθμητικής περιβάλλουσας για το δοκίμιο Bare-10 υπό αρχική θλιπτική τάση 0,189 MPa.

Δοκίμιο (Bare-21) : Πειραματικό δοκίμιο με 4 χαλύβδινους συνδέσμους Φ12 (βλήτρα-αγκύρια)

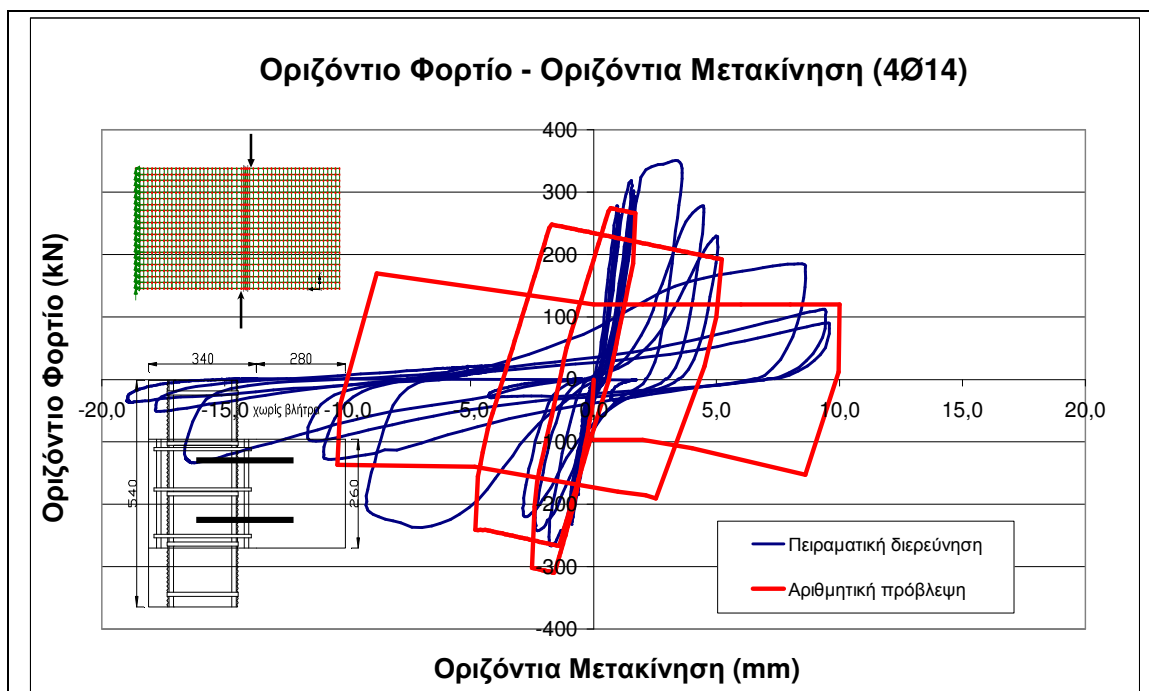


Σχήμα 8.15α. Σύγκριση πειραματικής –αριθμητικής συμπεριφοράς για το δοκίμιο Bare-21 υπό αρχική θλιπτική τάση 0,189 MPa.

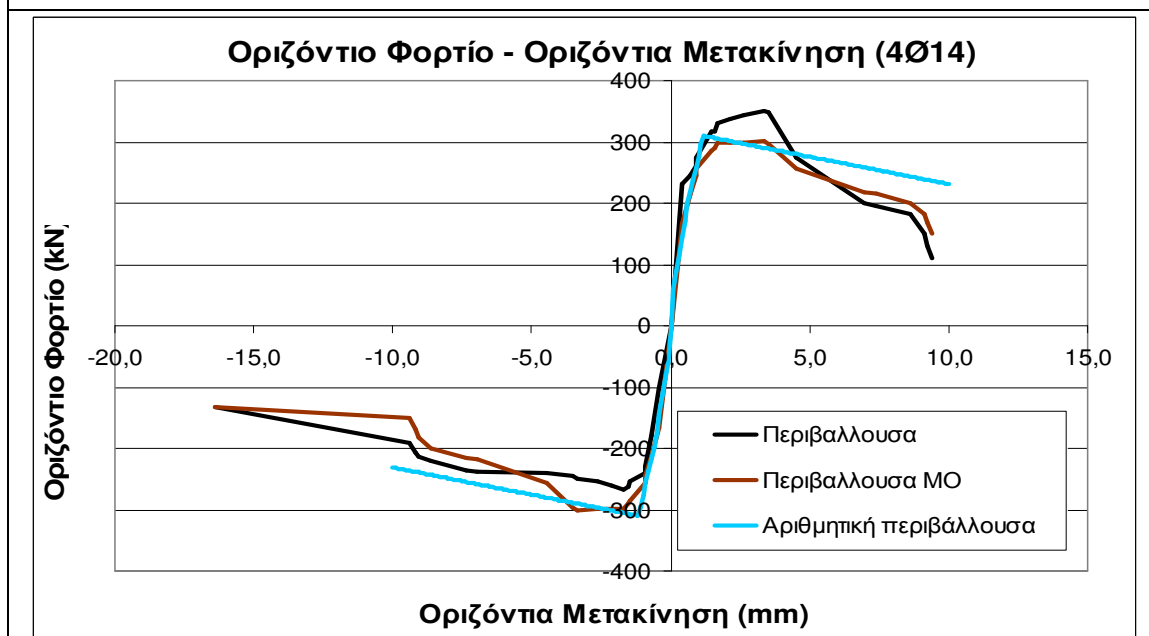


Σχήμα 8.15β. Σύγκριση πειραματικής –αριθμητικής περιβάλλουσας για το δοκίμιο Bare-21 υπό αρχική θλιπτική τάση 0,189 MPa

Δοκίμιο (Bare-22) : Πειραματικό δοκίμιο με 4 χαλύβδινους συνδέσμους Φ14 (βλήτρα-αγκύρια).



Σχήμα 8.16α. Σύγκριση πειραματικής –αριθμητικής συμπεριφοράς για το δοκίμιο Bare-22 υπό αρχική θλιπτική τάση 0,189 MPa.



Σχήμα 8.16β. Σύγκριση πειραματικής –αριθμητικής περιβάλλουσας για το δοκίμιο Bare-22 υπό αρχική θλιπτική τάση 0,189 MPa.

Όπως φαίνεται από τις συγκρίσεις των σχημάτων 8.12 έως 8.16 η αριθμητική προσέγγιση της μετρηθείσας διατμητικής συμπεριφοράς της σύνδεσης των δοκιμών μανδρωμένου στύλου με εμφάνωμα μέσω βλήτρων διαμέτρου Φ8, Φ10, Φ12, Φ14, που αποτυπώθηκε πειραματικά (δες κεφάλαιο 3), είναι ικανοποιητική αναφορικά με την μέγιστη φέρουσα ικανότητα καθώς και την πτωτική πορεία της διατμητικής δύναμης ως προς την εγκάρσια μετακίνηση. Αντίθετα, η εν λόγω αριθμητική προσομοίωση υπερεκτιμά μέσω των σχετικά διευρυμένων κύκλων την αναλωθείσα υστερητική ενέργεια κατά την ανακύκλιση, όπως αυτή έχει καταγραφεί από την σχετική πειραματική ακολουθία. Συνεπώς, ως προς τον τελευταίο αυτόν παράγοντα η επιχειρηθείσα αριθμητική προσομοίωση χρειάζεται περαιτέρω βελτίωση. Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι υιοθετήθηκε, για την αριθμητική προσομοίωση της συμπεριφοράς των

συγκεκριμένων δοκιμίων του κεφαλαίου 3, το τρι-γραμμικό αυτό μοντέλο που καθορίζει την συμπεριφορά των χαλύβδινων συνδέσμων να προσεγγίζει την συμπεριφορά του άνω ορίου των περιβαλλουσών καμπύλων του σχήματος 3.56. Δεν έγινε καμιά προσπάθεια ώστε το εν λόγω τρι-γραμμικό μοντέλο να μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά του ώστε να προσεγγίζει και το κάτω όριο των περιβαλλουσών καμπύλων του σχήματος 3.56 εξαρτώμενο από τον αριθμό των κύκλων της ανακυκλιζόμενης φόρτισης. Συνεπώς, η πτωτική αυτή πορεία της φέρουσας ικανότητας των δοκιμίων του κεφαλαίου 3, λόγω των επάλληλων κύκλων της ανακυκλιζόμενης φόρτισης δεν προσομοιώνεται αριθμητικά με πολύ ικανοποιητική προσέγγιση.

8.2.3. Συμπεράσματα αναφορικά με την αριθμητική προσομοίωση της διατμητικής συμπεριφοράς των συνδέσεων τμήματος εμφαντώματος και μανδουωμένου στύλου :

- 1) Η αριθμητική προσομοίωση της συμπεριφοράς της σύνδεσης μεταξύ τμήματος εμφαντώματος και τμήματος μανδουωμένου στύλου/δοκού χωρίς χαλύβδινους συνδέσμους προβλέπει επιτυχώς την αρχική δυσκαμψία, την μέγιστη φέρουσα ικανότητα, και εν μέρη την υστερητική συμπεριφορά που παρατηρείται πειραματικά.
- 2) Επιτυχής είναι και η αριθμητική προσέγγιση της αρχικής δυσκαμψίας και της φέρουσας ικανότητας για την σύνδεση μεταξύ τμήματος εμφαντώματος και τμήματος μανδουωμένου στύλου/δοκού με τέσσερεις χαλύβδινους συνδέσμους διαμέτρων Φ8, Φ10, Φ12, Φ14
- 3) Η επιχειρηθείσα αριθμητική προσομοίωση υπερεκτιμά μέσω των σχετικά διευρυμένων κύκλων την αναλωθείσα ενέργεια κατά την ανακύκλιση, όπως αυτή έχει καταγραφεί από την σχετική πειραματική ακολουθία. Συνεπώς, ως προς τον τελευταίο αυτόν παράγοντα η επιχειρηθείσα αριθμητική προσομοίωση χρειάζεται περαιτέρω βελτίωση εάν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση όλου του ιστορικού της ανακυκλιζόμενης συμπεριφοράς..
- 4) Η επιχειρηθείσα αριθμητική προσομοίωση της συμπεριφοράς της διεπιφάνειας σύνδεσης (με ή χωρίς χαλύβδινους συνδέσμους) με τον βαθμό επιτυχίας που αποδείχθηκε ότι μπορεί να αναμένεται από αυτήν στην προσέγγιση της συμπεριφοράς των συνδέσεων μανδουωμένου στύλου και εμφαντώματος κάτω από ανακυκλιζόμενες συνδυασμένες εγκάρσιες και αξονικές φορτίσεις θα επεκταθεί στην συνέχεια (παράγραφος 8.4) και στην αριθμητική προσομοίωση της ανακυκλιζόμενης συμπεριφοράς των δοκιμίων των εμφαντωμένων δίστυλων-μονώροφων πλαισίων (Εμφαντωμένο-1, 2, 3) που εξετάστηκαν διεξοδικά στο κεφάλαιο 7.

8.3. Αριθμητική προσομοίωση του γυμνού περιβάλλοντος πλαισίου Ο/Σ

8.3.1. Αριθμητική προσομοίωση της ανελαστικής συμπεριφοράς των πλαστικών αρθρώσεων.

Δύο είναι τα χαρακτηριστικά γυμνά πλαίσια που προσομοιώθηκαν αριθμητικά, το Γυμνό-1 και το Μανδ.Γυμνό-1α, (θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει και την συμπεριφορά του Μανδ.Γυμνό-1β). Το μεν πρώτο αποτελεί το περιβάλλον πλαίσιο για το δοκίμιο Εμφατνωμένο-1 το δε δεύτερο των δοκιμίων Εμφατνωμένο-2 και εμφατνωμένο-2α.

Στην αριθμητική προσομοίωση της συμπεριφοράς τόσο του γυμνού αρχικού όσο και του γυμνού μανδουωμένου πλαισίου χωρίς εμφάνισμα το ζύγωμα και τα δύο υποστυλώματα προσομοιώνονται με γραμμικά στοιχεία, θεωρώντας θέσεις πιθανών πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα τους (κεφαλή πόδα των στύλων και παρειές δοκού στην σύνδεσή της στον κόμβο). Τα γραμμικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση του ζυγώματος και των υποστυλωμάτων μπορούν να παραμορφώνονται και να στρέφονται στο επίπεδο. Όλα τα μη γραμμικά φαινόμενα στο πλαίσιο θεωρείται ότι συμβαίνουν σε προκαθορισμένες θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων. Η παραδοχή αυτή πραγματοποιήθηκε στην πειραματική ακολουθία του παρόντος προγράμματος. Τυχόν άλλη μορφή αστοχίας του περιβάλλοντος πλαισίου δεν καλύπτεται από αυτή την αριθμητική προσομοίωση. Πιστεύεται όμως, ότι θα ληφθεί μέριμνα με τα κατάλληλα μέτρα επισκευής και ενίσχυσης να αποτραπεί και στην εφαρμογή των εμφατνώσεων σε πρωτότυπη κλίμακα. Η προσομοίωση της πιθανής πλαστικής άρθρωσης στο υποστυλώμα πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας μία σειρά από μη γραμμικά ελατήρια που προσομοιώνουν την σχέση ροπών-ελαστικών/πλαστικών καμπυλοτήτων που αναπτύσσονται στην επιλεγμένη θέση. Η προσομοίωση της πιθανής πλαστικής άρθρωσης στο ζύγωμα πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ένα μη-γραμμικό ελατήριο που προσομοιώνει την υπολογισμένη σχέση ροπών καμπυλοτήτων για την διατομή του ζυγώματος βασιζόμενη στα μηχανικά χαρακτηριστικά και στις λεπτομέρειες όπλισης της. Η αναλυτική αριθμητική προσομοίωση ολόκληρου του γυμνού πλαισίου φαίνεται στο σχήμα 8.17. Οι μηχανικές ιδιότητες τόσο του σκυροδέματος όσο και του οπλισμού του αρχικού γυμνού πλαισίου, όσο του εξωτερικού μανδύα που τοποθετήθηκε περιμετρικά του αρχικού πλαισίου, όπως προέκυψαν πειραματικά, χρησιμοποιούνται για τον ορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων των μη-γραμμικών ελατηρίων της αριθμητικής ανάλυσης και αναγράφονται στους πίνακες 8.3 και 8.4. Οι τιμές αυτές βασίστηκαν στις ιδιότητες των υλικών που μετρήθηκαν πειραματικά (δες κεφάλαιο 7)

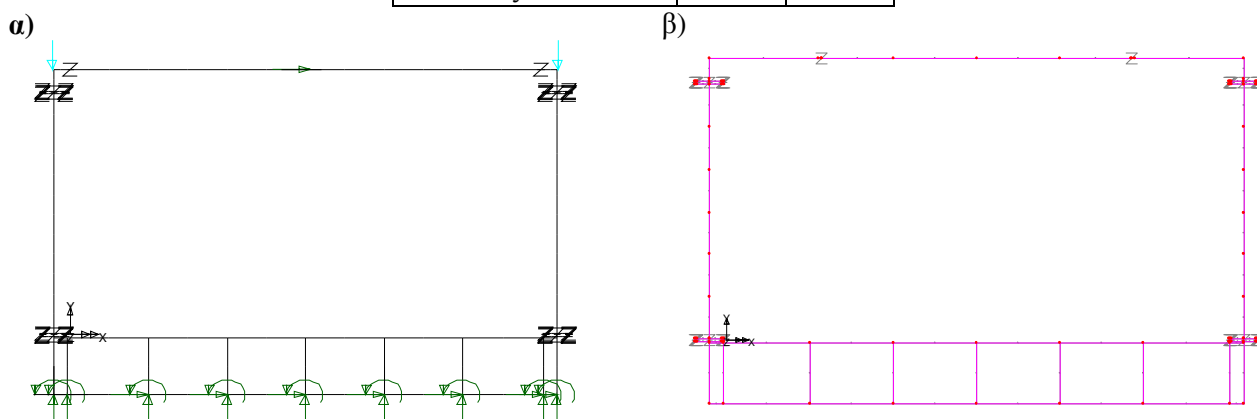
Στην αριθμητική προσομοίωση του δοκιμίου Γυμνό-1, και πιο συγκεκριμένα στην προσομοίωση των πλαστικών αρθρώσεων των υποστυλωμάτων λαμβάνεται προφανώς υπόψη η διατομή και ο οπλισμός του αρχικού πλαισίου ενώ για την αριθμητική προσομοίωση του δοκιμίου Μανδ.Γυμνό-1^α, λαμβάνεται υπόψη η συνολική διατομή (αρχική + μανδύας) μαζί με τους οπλισμούς τόσο της αρχικής διατομής όσο και του μανδύα. Αναλυτικά η αριθμητική προσομοίωση της πλαστικής άρθρωσης του αρχικού γυμνού πλαισίου χωρίς μανδύα εμφανίζεται στο σχήμα 8.18α ενώ του γυμνού ενισχυμένου πλαισίου εμφανίζεται στο σχήμα 8.18β. Μία ακόμα διαφορά αφορά την θέση τους πιθανής πλαστικής άρθρωσης του ζυγώματος που στην περίπτωση του δοκιμίου Μανδ.Γυμνό-1α, είναι μετατοπισμένη στην θέση που τελειώνει ο μανδύας του ενισχυμένου κόμβου του πλαισίου (σχήμα 8.19^α και 8.19β). Από αυτήν την αριθμητική προσομοίωση της ανελαστικής συμπεριφοράς των γυμνών πλαισίων χωρίς εμφάνισμα (Γυμνό-1 Μανδ.Γυμνό-1α) με την χρήση πεπερασμένων στοιχείων προέκυψαν τα αριθμητικά αποτελέσματα που απεικονίζονται στα σχήματα (Σχήμα 8.20 και 8.21). Όλα τα πλαίσια ελέγχθηκαν για κατακόρυφο φορτίο 49KN τους κορυφές των υποστυλωμάτων τους.

Πίνακας 8.3. Μηχανικά χαρακτηριστικά του χάλυβα του αρχικού και του ενισχυμένου γυμνού πλαισίου

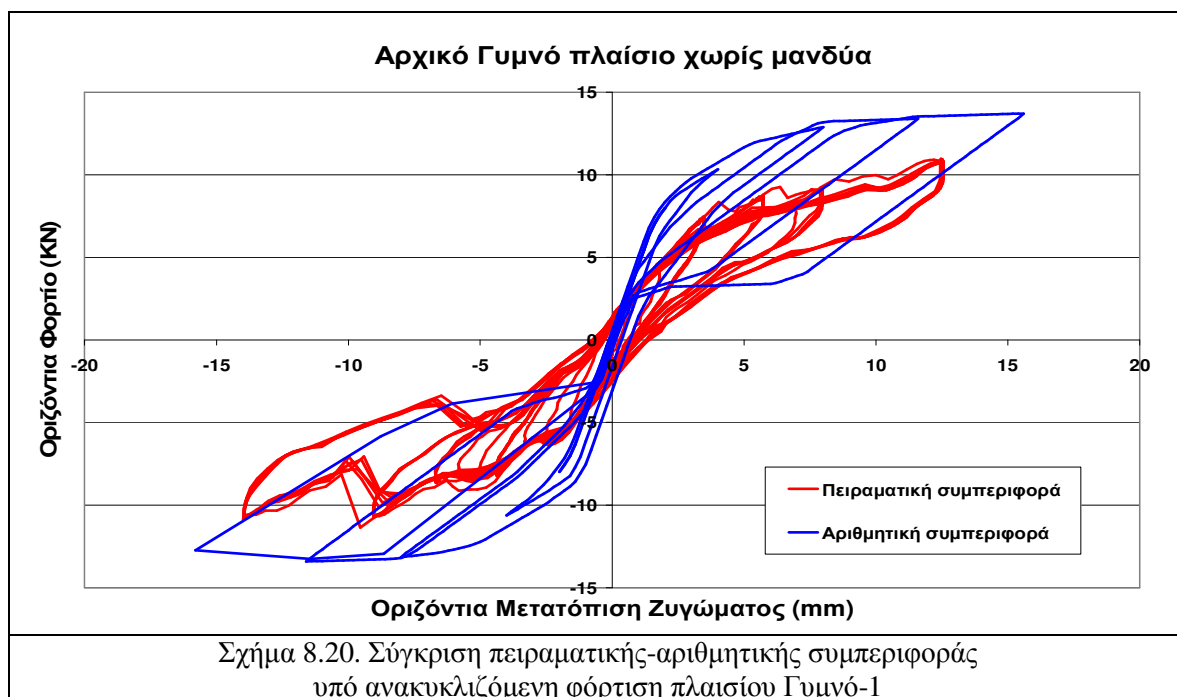
A/α	f_{sy}	f_{su}	E
	(MPa)	(MPa)	(MPa)
Φ5.5	311	425	6.5×10^4
Φ5.5 (Συνδ.)	360	542	6.5×10^4
Φ8	500	700	209000
Φ5.5 (Συνδ.)	360	542	6.5×10^4

Πίνακας 8.4. Μηχανικά χαρακτηριστικά του σκυροδέματος του αρχικού και του ενισχυμένου γυμνού πλαισίου

A/α	f_{su}	E
	(MPa)	(MPa)
Αρχικό πλαίσιο Ο/Σ	22	12000
Μανδύας από Emaco	50	35000



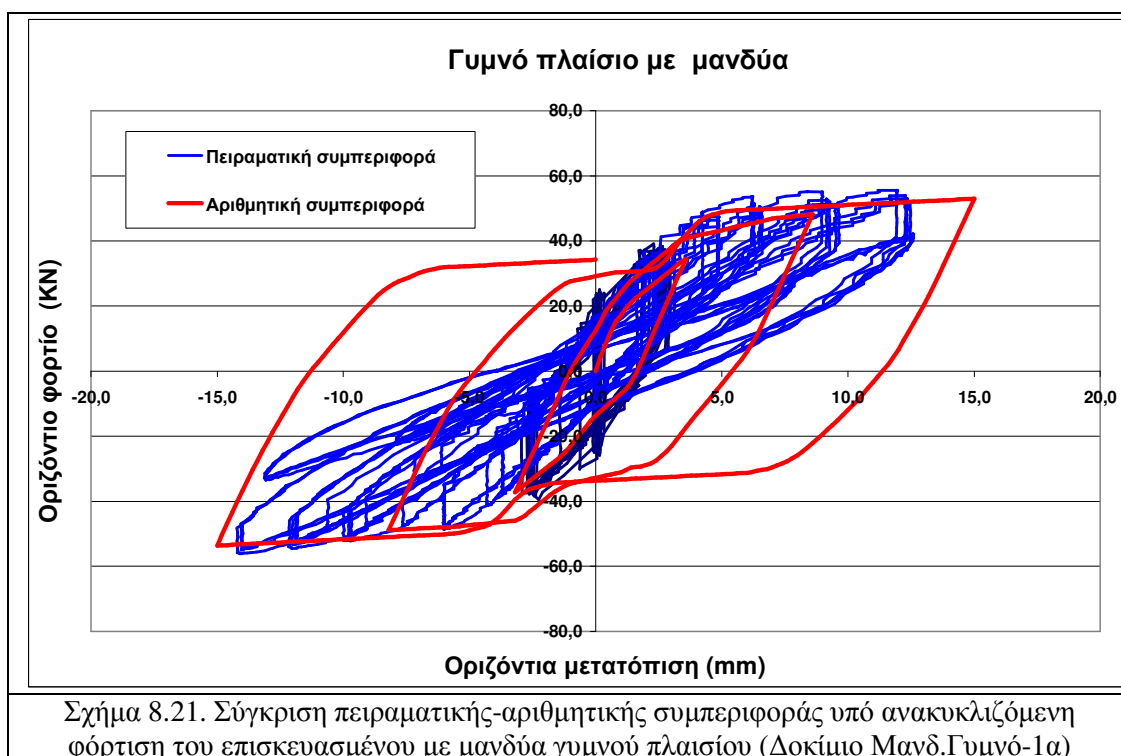
Σχήμα 8.19 α) Αριθμητική προσομοίωση του πλαισίου Γυμνό-1 β) Αριθμητική προσομοίωση μανδωμένου πλαισίου Μανδ.Γυμνό-1α (το σύμβολο z υποδεικνύει την θέση της πλαστικής άρθρωσης του ζυγώματος)



8.3.2. Αρχικό πλαίσιο (Δοκίμιο Γυμνό-1) χωρίς μανδύα

Στο σχήμα 8.20. απεικονίζεται η ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά του γυμνού πλαισίου χωρίς μανδύα (Δοκίμιο Γυμνό-1) όπως προβλέφθηκε αριθμητικά σε σύγκριση με την αντίστοιχη μετρημένη συμπεριφορά. Όπως φαίνεται από την σύγκριση των αριθμητικών προβλέψεων με τα αντίστοιχα πειραματικές μετρήσεις στο ανωτέρω σχήμα η αριθμητική προσομοίωση της ανακυκλιζόμενης συμπεριφοράς του αρχικού γυμνού πλαισίου είναι αρκετά ικανοποιητική, αν και προβλέπεται με το αριθμητικό προσομοίωμα μια υπερεκτιμημένη κατά περίπου 20% φέρουσα ικανότητα σε σύγκριση με την φέρουσα ικανότητα του εν λόγω δοκιμίου που μετρήθηκε πειραματικά. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι όλες οι αριθμητικές προβλέψεις που επιχειρήθηκαν έγιναν με «τυφλό» τρόπο, δηλαδή με βάσει μετρημένες ιδιότητες των υλικών και μετρημένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των φορέων και των διατομών χωρίς καμιά προσπάθεια επί-μέρους αλλαγών μετά την πρώτη σύγκριση που να συντελέσουν στην καλύτερη δυνατή σύγκριση πειραματικών και αριθμητικών αποτελεσμάτων.

8.3.3. Γυμνό πλαίσιο με μανδύα (Δοκίμιο Μανδ.Γυμνό-1^α)



Στο σχήμα 8.21 απεικονίζεται η ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά του δοκιμίου **Μανδ.Γυμνό-1α**, όπως προβλέφθηκε αριθμητικά σε σύγκριση με την αντίστοιχη μετρημένη συμπεριφορά. Όπως φαίνεται από την σύγκριση των αριθμητικών προβλέψεων με τα αντίστοιχα πειραματικές μετρήσεις στο ανωτέρω σχήμα η αριθμητική προσομοίωση της ανακυκλιζόμενης συμπεριφοράς του αρχικού γυμνού πλαισίου είναι αρκετά ικανοποιητική. Προβλέπεται με το αριθμητικό προσομοίωμα μια αρκετά καλή προσέγγιση της φέρουσα ικανότητα σε σύγκριση με την φέρουσα ικανότητα του εν λόγω δοκιμίου που μετρήθηκε πειραματικά. Επίσης, με την σχετικά καλή συμφωνία μεταξύ της αριθμητικής και της μετρηθείσας συμπεριφοράς στους αρχικούς κύκλους γίνεται μια καλή πρόβλεψη της δυσκαμψίας του εμφανιζόμενου φορέα και της μεταβολής της στους αρχικούς κύκλους. Οι κύκλοι υστέρησης της συμπεριφοράς που προβλέπεται από την αριθμητική προσομοίωση είναι αρκετά πιο διευρυμένοι από τους αντίστοιχους κύκλους της συμπεριφοράς που μετρήθηκε πειραματικά.

Με την επιχειρηθείσα αριθμητική προσομοίωση της ανελαστικής συμπεριφοράς του γυμνού πλαισίου (αρχικού ή μανδυσμένου) αποδείχθηκε ότι και αυτή η συμπεριφορά μπορεί να αναμένεται να προσεγγισθεί ικανοποιητικά και στο πρόβλημα του εμφανιζόμενου πλαισίου για τον φορέα του περιβάλλοντος πλαισίου με τον τρόπο που περιγράφηκε. Όλα τα μη γραμμικά φαινόμενα στο πλαίσιο θεωρείται ότι συμβαίνουν σε προκαθορισμένες θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων. Η παραδοχή αυτή πραγματοποιήθηκε στην πειραματική ακολουθία του παρόντος προγράμματος. Τυχόν άλλη μορφή αστοχίας του περιβάλλοντος

πλαisiού δεν καλύπτεται από αυτή την αριθμητική προσομοίωση. Πιστεύεται όμως, ότι θα ληφθεί μέριμνα με τα κατάλληλα μέτρα επισκευής και ενίσχυσης να αποτραπεί και στην εφαρμογή των εμφαντώσεων σε πρωτότυπη κλίμακα.

8.4. Αριθμητική προσομοίωση της συμπεριφοράς των εμφαντωμένων πλαisiών

Στις προηγούμενες παραγράφους στοιχειοθετήθηκε στο μέτρο του δυνατού ο βαθμός προσέγγισης της προτεινόμενης αριθμητικής προσομοίωσης για τους ανελαστικούς μηχανισμούς που μπορεί να αναπτυχθούν είτε στο εσωτερικό του εμφαντώματος είτε στην διεπιφάνεια εμφαντώματος-περιβάλλοντος πλαisiού είτε στα δομικά στοιχεία του περιβάλλοντος πλαisiού. Από όλους τους εν δυνάμει ανελαστικούς μηχανισμούς ελέγχθηκαν μέσω της αριθμητικής προσομοίωσης αυτοί που είναι πιθανόν και επιθυμητό να αναπτυχθούν ενώ θεωρήθηκε ότι οι υπόλοιποι θα αποτραπούν κατά την εφαρμογή της εμφάντωσης μέσα από τι κατάλληλες κατασκευαστικές λεπτομέρειες που θα καλύπτονται από τις αντίστοιχες κανονιστικές διατάξεις των μέτρων επισκευής-ενίσχυσης.

Με βάση όσα παρουσιάστηκαν στις παραγράφους 8.1, 8.2 και 8.3 η αριθμητική προσομοίωση της ανελαστικής συμπεριφοράς του εμφαντωμένου πλαisiού καλύπτει τους εξής ανελαστικούς μηχανισμούς.

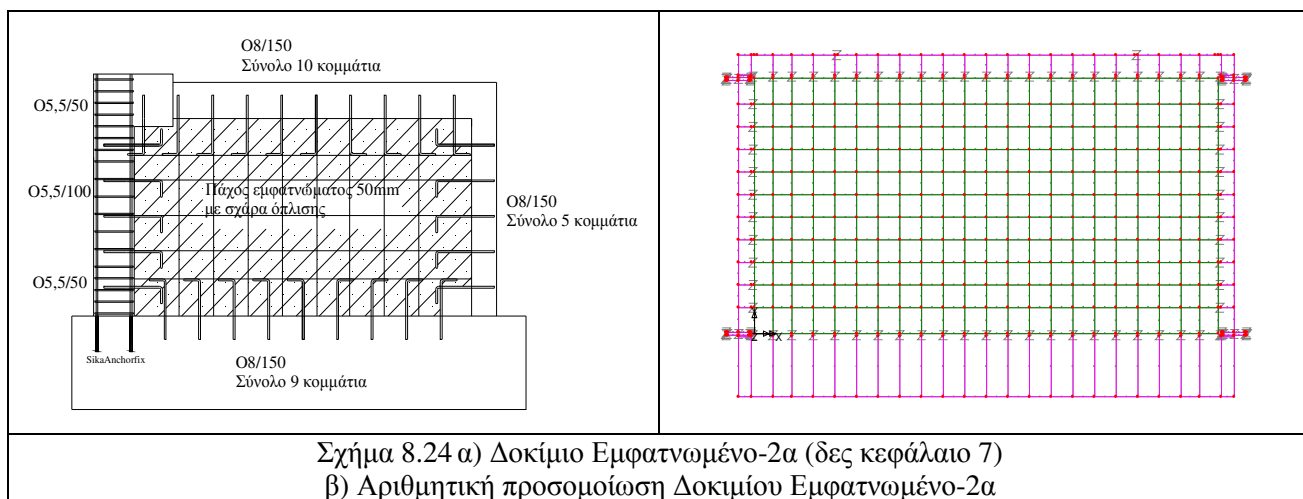
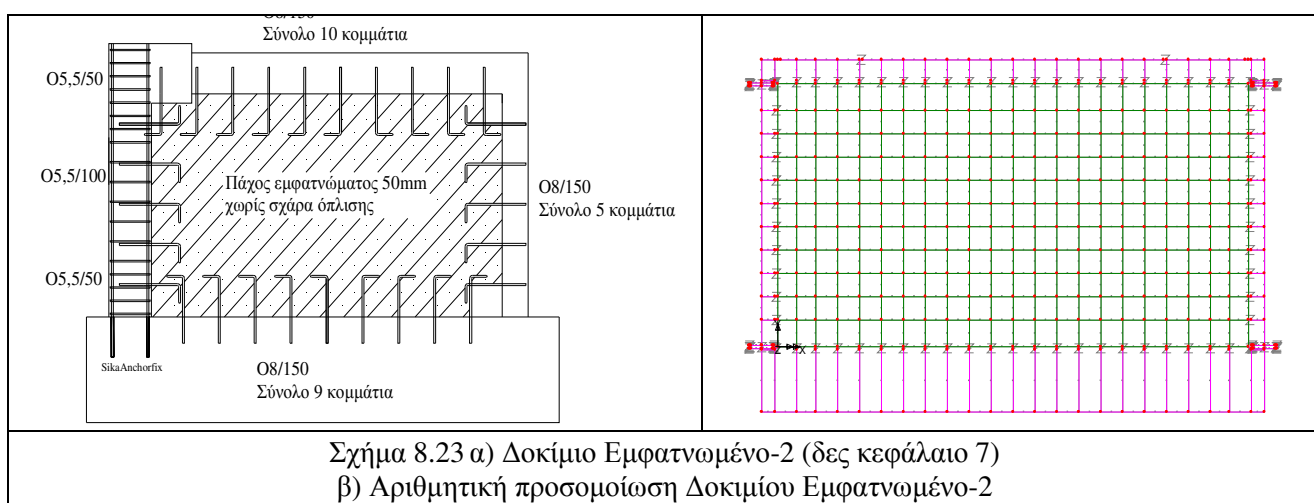
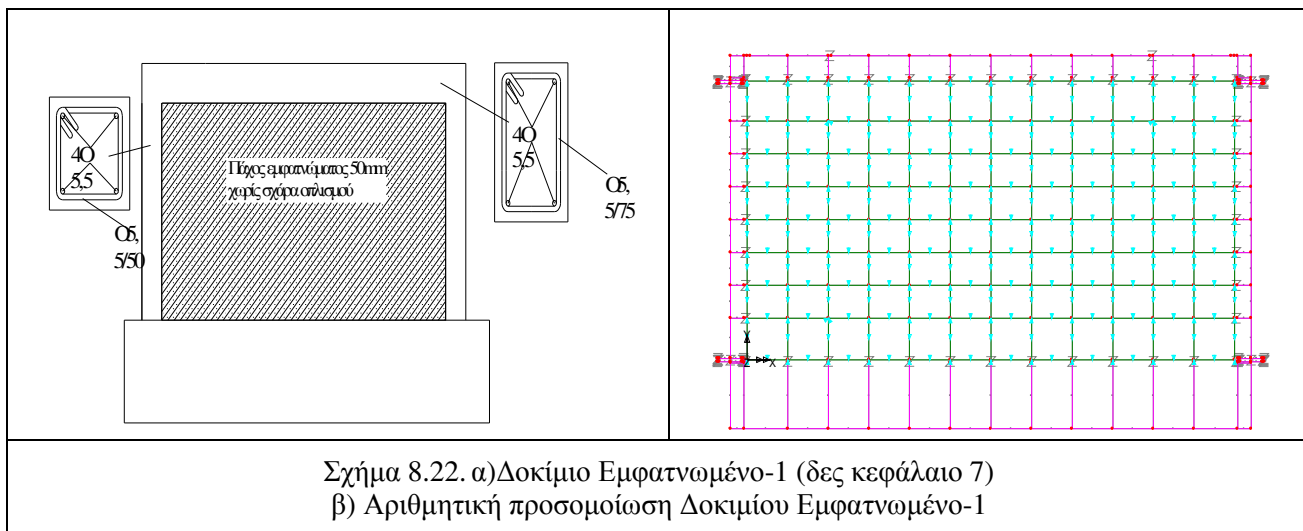
α1. Το εμφάντωμα έχει την δυνατότητα εμφάνισης διατμητικού τύπου αστοχίας ή θλιπτικού τύπου αστοχίας (παράγραφος 8.1).

β1. Η διεπιφάνεια σύνδεσης του εμφαντώματος με το περιβάλλον πλαίσιο με ή χωρίς την ύπαρξη των χαλύβδινων συνδέσμων (βλήτρων αγκυρίων) έχει την δυνατότητα σύνθετης μετελαστικής συμπεριφοράς τριβής-ολίσθησης, αποκόλλησης και ανελαστικής συμπεριφοράς των συνδέσμων σε δράση βλήτρου ή αγκυρίου (παράγραφος 8.2). Δεν συμπεριλαμβάνονται σενάρια εξόλκευσης των συνδέσμων ή θραύση του σκυροδέματος στην περιοχή των συνδέσμων.

γ1. Αριθμητική προσομοίωση της ανελαστικής συμπεριφοράς του γυμνού περιβάλλοντος πλαisiού με την δυνατότητα ανάπτυξης πλαστικών αρθρώσεων στις θέσεις κεφαλή / πόδας στύλων και παρειές δοκών στους κόμβους δοκού-στύλου (παράγραφος 8.3). Γίνεται η παραδοχή ότι η μανδύωση του περιβάλλοντος πλαisiού θα αποκλείσει το σενάριο της διατμητικής αστοχίας των δομικών στοιχείων του περιβάλλοντος πλαisiού

Στην παρούσα παράγραφο, θεωρώντας ότι έχει επιτευχθεί ικανοποιητικός βαθμός με τις προηγηθείσες αριθμητικές προσομοιώσεις, θα επιχειρηθεί η σύνθεση όλων των στοιχείων των αριθμητικών προσομοιώσεων των παραγράφων 8.1, 8.2 και 8.3. στην αριθμητική προσομοίωση της συμπεριφοράς του εμφαντωμένου πλαisiού (αρχικού και μανδυωμένου).

Μέσω αυτών θα μορφωθούν αριθμητικά προσομοιώματα για να γίνει η αριθμητική προσέγγιση της συμπεριφοράς των εμφαντωμένων πλαisiών που εξετάστηκαν στο κεφάλαιο 7, δηλαδή των δοκιμών Εμφαντωμένο-1, Εμφαντωμένο-2 και Εμφαντωμένο-2α (κεφάλαιο 7). Στα σχήματα 8.22, 8.23 και 8.24 απεικονίζονται τα σκαριφήματα των εν λόγω δοκιμών μαζί με την διακριτοποίηση της αντίστοιχης αριθμητικής προσομοίωσης.

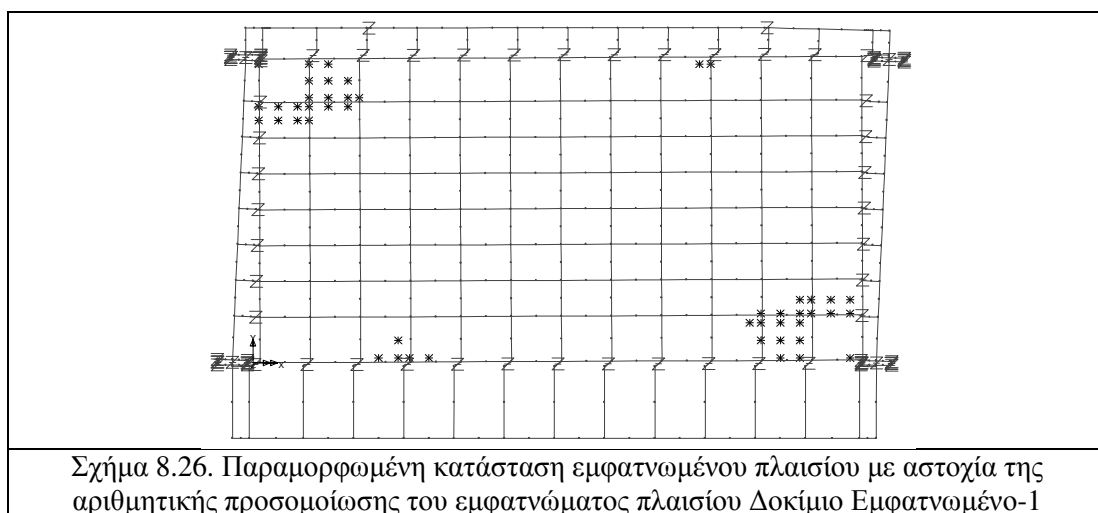


8.4.1. Αριθμητική προσομοίωση του δοκιμίου Εμφατνωμένο-1.

Στο σχήμα 8.25 απεικονίζεται η ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά του δοκιμίου Εμφατνωμένο-1, που περιλαμβάνει το αρχικό γυμνό πλαίσιο (Γυμνό-1) χωρίς μανδύα. Στο σχήμα 8.25, γίνεται η σύγκριση της απόκρισης όπως προβλέφθηκε αριθμητικά με την αντίστοιχη μετρημένη συμπεριφορά. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει σύνδεση εμφαντώματος-πλαisiού πέραν της συνάφειας/τριβής-ολίσθησης. Στο σχήμα 8.26 εμφανίζεται ο τρόπος αστοχίας του εμφαντώματος στις γωνίες του που προβλέπεται από την αριθμητική προσομοίωση με περιορισμένες βλάβες θλιπτικού τύπου συγκεντρωμένες

στις γωνίες του εμφαντώματος που όμως δεν παρατηρήθηκαν στο δοκίμιο που ελέγχθηκε το εργαστήριο. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στην κατασκευαστική λεπτομέρεια που υιοθετήθηκε στο πειραματικό δοκίμιο που δεν προσομοιώθηκε αριθμητικά.

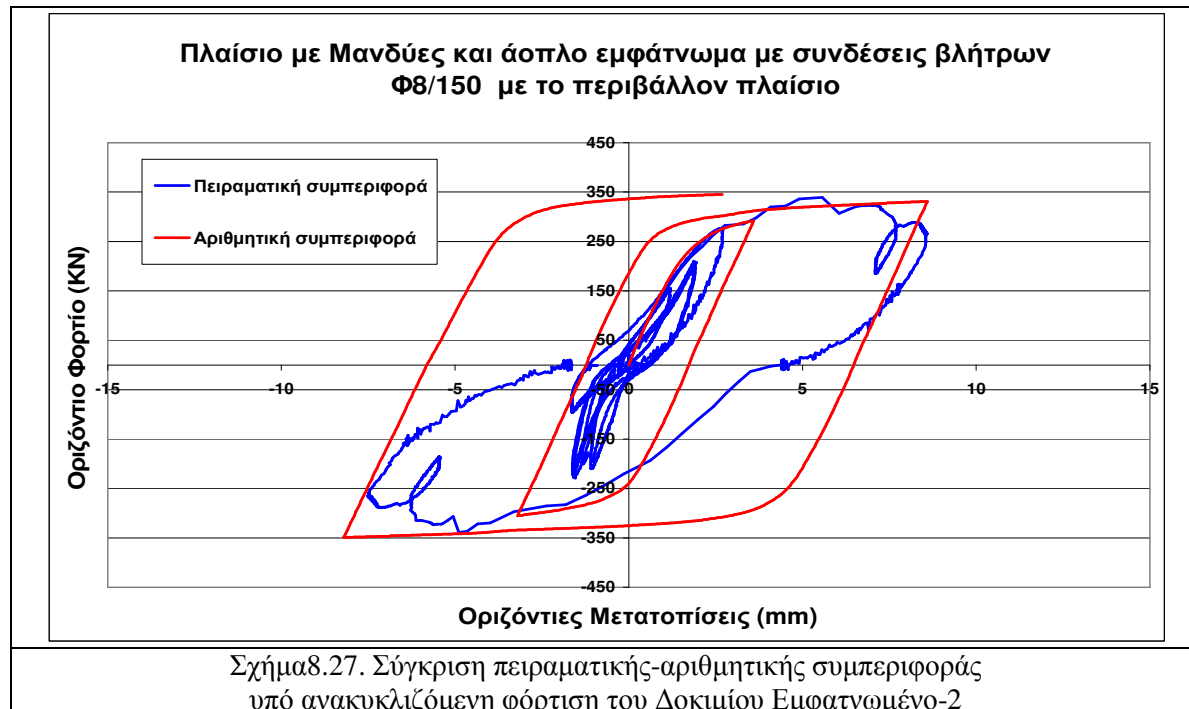
Όπως φαίνεται από την σύγκριση των αριθμητικών προβλέψεων με τα αντίστοιχα πειραματικές μετρήσεις στο σχήμα 8.25 η αριθμητική προσομοίωση της ανακυκλιζόμενης συμπεριφοράς του αυτού του εμφαντώμενου πλαισίου είναι αρκετά ικανοποιητική. Προβλέπεται με το αριθμητικό προσομοίωμα μια υπερεκτιμημένη κατά περίπου 10% φέρουσα ικανότητα σε σύγκριση με την φέρουσα ικανότητα του εν λόγω δοκίμιου που μετρήθηκε πειραματικά. Επίσης, με την σχετικά καλή συμφωνία μεταξύ της αριθμητικής και της μετρηθείσας συμπεριφοράς στους αρχικούς κύκλους γίνεται μια καλή πρόβλεψη της δυσκαμψίας του εμφαντώμενου φορέα και της μεταβολής της στους αρχικούς κύκλους. Οι κύκλοι υστέρησης της συμπεριφοράς που προβλέπεται από την αριθμητική προσομοίωση προσεγγίζουν αρκετά ικανοποιητικά τους αντίστοιχους κύκλους της συμπεριφοράς που μετρήθηκε πειραματικά.



8.4.2. Αριθμητική προσομοίωση του δοκιμίου Εμφανωμένο-2.

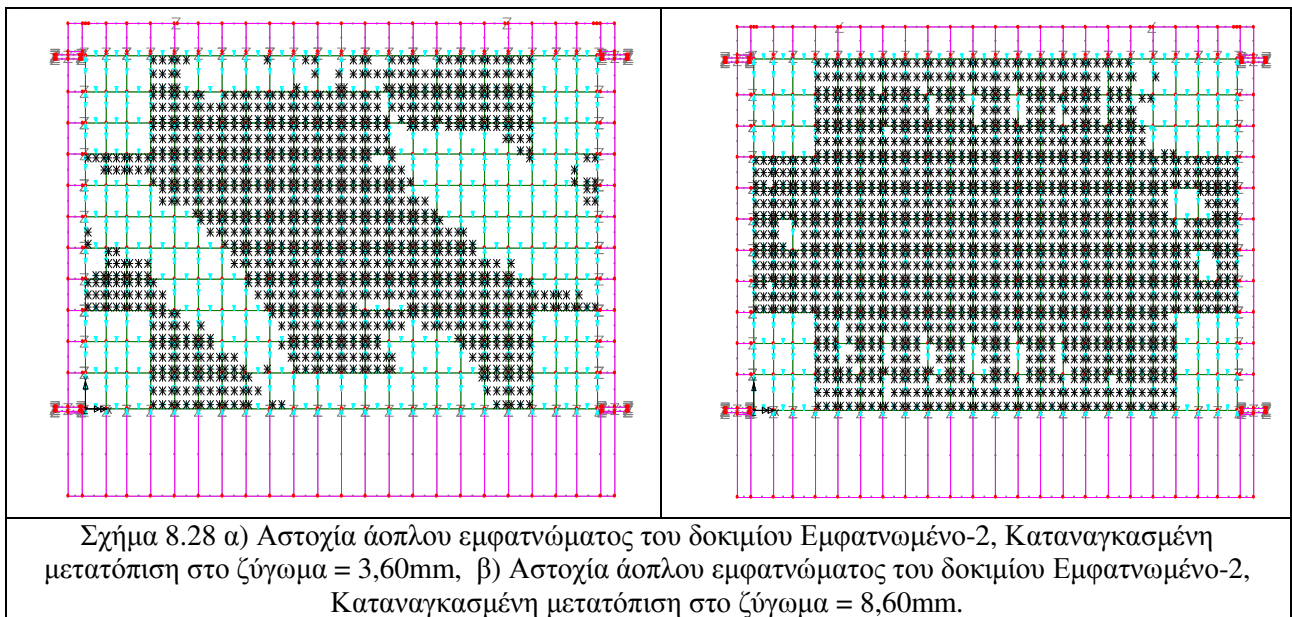
Στο σχήμα 8.27 απεικονίζεται η ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά του εμφαντωμένου πλαισίου «δοκίμιο Εμφανωμένο-2», όπως προβλέφθηκε αριθμητικά σε σύγκριση με την αντίστοιχη μετρημένη συμπεριφορά. Στην περίπτωση αυτή το άοπλο εμφάντωμα είναι συνδεδεμένο με το περιβάλλον πλαίσιο με χαλύβδινους συνδέσμους Φ8/150mm.

Όπως φαίνεται από την σύγκριση των αριθμητικών προβλέψεων με τα αντίστοιχα πειραματικές μετρήσεις στο σχήμα 8.27 η αριθμητική προσομοίωση της ανακυκλιζόμενης συμπεριφοράς του αυτού του εμφαντωμένου πλαισίου είναι αρκετά ικανοποιητική. Προβλέπεται με το αριθμητικό προσομοίωμα μια φέρουσα ικανότητα σε καλή σύγκριση με την φέρουσα ικανότητα του εν λόγω δοκιμίου που μετρήθηκε πειραματικά. Επίσης, με την σχετικά καλή συμφωνία μεταξύ της αριθμητικής και της μετρηθείσας συμπεριφοράς στους αρχικούς κύκλους γίνεται μια καλή πρόβλεψη της δυσκαμψίας του εμφαντωμένου φορέα και της μεταβολής της στους αρχικούς κύκλους. Οι κύκλοι υστέρησης της συμπεριφοράς που προβλέπεται από την αριθμητική προσομοίωση είναι αρκετά ποιο διευρυνμένοι από τους αντίστοιχους κύκλους της συμπεριφοράς που μετρήθηκε πειραματικά. Η εν λόγω υπερεκτίμηση της αναλωθείσας ενέργειας κατά την ανακύκλιση από την αριθμητική προσομοίωση, μέσω των σχετικά διευρυνμένων κύκλων, παρατηρήθηκε και σχολιάσθηκε στην προσπάθεια αριθμητικής προσομοίωσης της διατμητικής συμπεριφοράς των δοκιμίων των συνδέσεων εμφαντωμάτων μανδουωμένων στύλων που παρουσιάζεται στην παράγραφο 8.2. Για αυτό τον λόγο η επιχειρηθείσα αριθμητική προσομοίωση χρειάζεται περαιτέρω βελτίωση. Θα πρέπει να σημειωθεί και εδώ ότι υιοθετήθηκε, για την αριθμητική προσομοίωση της συμπεριφοράς των συγκεκριμένων δοκιμίων του κεφαλαίου 3, το τρι-γραμμικό μοντέλο που καθορίζει την συμπεριφορά των χαλύβδινων συνδέσμων να προσεγγίζει την συμπεριφορά του άνω ορίου των περιβαλλουσών καμπύλων του σχήματος 3.56. Δεν έγινε καμιά προσπάθεια ώστε το εν λόγω τρι-γραμμικό μοντέλο να μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά του ώστε να προσεγγίζει και το κάτω όριο των περιβαλλουσών καμπύλων του σχήματος 3.56 εξαρτώμενο από τον αριθμό των κύκλων της ανακυκλιζόμενης φόρτισης. Συνεπώς, η πτωτική αυτή πορεία της φέρουσας ικανότητας των δοκιμίων του κεφαλαίου 3, λόγω των επάλληλων κύκλων της ανακυκλιζόμενης φόρτισης δεν προσομοιώνεται αριθμητικά με πολύ ικανοποιητική προσέγγιση.



Η μορφή αστοχίας του Δοκιμίου Εμφανωμένο-2, έτσι όπως προβλέπεται από την αριθμητική προσομοίωση για δύο διαφορετικά επίπεδα καταναγκασμένης οριζόντιας μετατόπισης-φορτίου εμφανίζεται στα σχήματα 8.28α,β. Στο σχήμα 8.28α είναι εμφανής η διαγώνια κατεύθυνση της αστοχίας του εμφαντώματος που συμφωνεί με την παρατηρηθείσα μορφή αστοχίας του εν λόγω δοκιμίου. Ενώ στο σχήμα 8.28β φαίνεται η διασπορά της αστοχίας σε πολύ ευρεία έκταση του άοπλου εμφαντώματος.

Συγκρίνοντας αυτές τις μορφές αστοχίας που προβλέφθηκαν αριθμητικά μπορεί να λεχθεί ότι είναι συγκρίσιμες με αυτές που παρατηρήθηκαν στην πειραματική ακολουθία (δες σχήματα 7.24 και 7.24α).



8.4.3. Αριθμητική προσομοίωση του δοκιμίου Εμφαντωμένο-2α.

Στα σχήματα 8.19^α, 8.29β και 8.29γ απεικονίζεται η ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά του δοκιμίου Εμφαντωμένο-2α, όπως προβλέφθηκε αριθμητικά σε σύγκριση με την αντίστοιχη μετρημένη συμπεριφορά. Η αριθμητική προσομοίωση έγινε για τιμές της οριζόντιας μετατόπισης της τάξεως των 10mm ενώ η πειραματική ακολουθία εξελίχθηκε μέχρι τα 55mm.





Σχήμα 8.29β. Σύγκριση πειραματικής-αριθμητικής συμπεριφοράς υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση Δοκίμιο Εμφαντωμένο-2α για οριζόντιες καταναγκασμένες μετακινήσεις μέχρι $\pm 8\text{mm}$



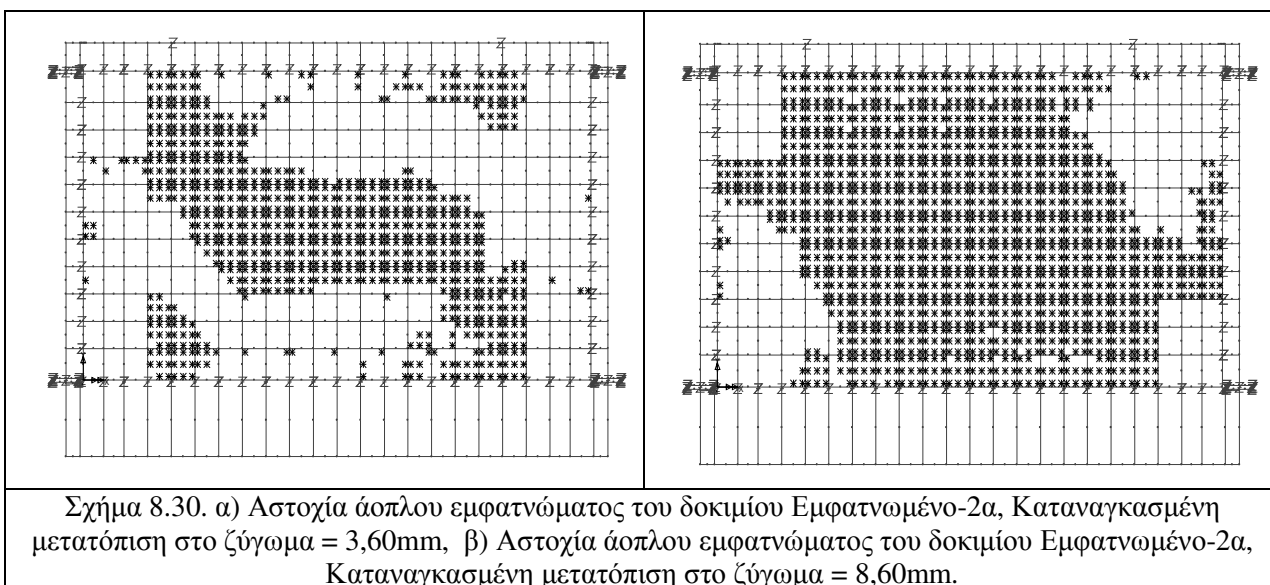
Σχήμα 8.29γ. Σύγκριση πειραματικής-αριθμητικής συμπεριφοράς υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση Δοκίμιο Εμφαντωμένο-2α για οριζόντιες καταναγκασμένες μετακινήσεις μέχρι $\pm 8\text{mm}$

Από την σύγκριση των αριθμητικών προβλέψεων με τα αντίστοιχα πειραματικές μετρήσεις στα σχήματα η αριθμητική προσομοίωση της ανακυκλιζόμενης συμπεριφοράς του αυτού του εμφαντωμένου πλαισίου μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική, ειδικότερα για μετακινήσεις μικρότερες των 20mm. Προβλέπεται με το αριθμητικό προσομοίωμα μια φέρουσα ικανότητα σε καλή σύγκριση με την φέρουσα ικανότητα του εν λόγω δοκιμίου που μετρήθηκε πειραματικά. Επίσης, με την σχετικά καλή συμφωνία μεταξύ της αριθμητικής και της μετρηθείσας συμπεριφοράς στους αρχικούς κύκλους γίνεται μια καλή πρόβλεψη της

δυσκαμψίας του εμφανιζόμενου φορέα και της μεταβολής της στους αρχικούς κύκλους. Όπως και για το δοκίμιο Εμφαντωμένο-2α, οι κύκλοι υστέρησης της συμπεριφοράς που προβλέπεται από την αριθμητική προσομοίωση για το δοκίμιο Εμφαντωμένο-2α είναι αρκετά πιο διευρυμένοι από τους αντίστοιχους κύκλους της συμπεριφοράς που μετρήθηκε πειραματικά. Επιπρόσθετα, το αριθμητικό προσομοίωμα αποτυγχάνει να προσεγγίσει την φθίνουσα απόκριση που παρατηρήθηκε πειραματικά για μετατοπίσεις μεγαλύτερες του επιπέδου των 20mm. Για αυτό τον λόγο η επιχειρηθείσα αριθμητική προσομοίωση χρειάζεται περαιτέρω βελτίωση.

Η εν λόγω υπερεκτίμηση της αναλωθείσας ενέργειας κατά την ανακύκλιση από την αριθμητική προσομοίωση, μέσω των σχετικά διευρυμένων κύκλων, παρατηρήθηκε και σχολιάστηκε στην προσπάθεια αριθμητικής προσομοίωσης της διατμητικής συμπεριφοράς των δοκιμίων των συνδέσεων εμφαντώματος μανδυνωμένων στύλων που παρουσιάζεται στην παράγραφο 8.2. Για αυτό τον λόγο η επιχειρηθείσα αριθμητική προσομοίωση χρειάζεται περαιτέρω βελτίωση. Θα πρέπει να σημειωθεί και εδώ ότι υιοθετήθηκε, για την αριθμητική προσομοίωση της συμπεριφοράς των συγκεκριμένων δοκιμίων του κεφαλαίου 3, το τρι-γραμμικό μοντέλο που καθορίζει την συμπεριφορά των χαλύβδινων συνδέσμων να προσεγγίζει την συμπεριφορά του άνω ορίου των περιβαλλουσών καμπύλων του σχήματος 3.56. Δεν έγινε καμιά προσπάθεια ώστε το εν λόγω τρι-γραμμικό μοντέλο να μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά του ώστε να προσεγγίζει και το κάτω όριο των περιβαλλουσών καμπύλων του σχήματος 3.56 εξαρτώμενο από τον αριθμό των κύκλων της ανακυκλιζόμενης φόρτισης. Συνεπώς, η πτωτική αυτή πορεία της φέρουσας ικανότητας των δοκιμίων του κεφαλαίου 3, λόγω των ετάλληλων κύκλων της ανακυκλιζόμενης φόρτισης δεν προσομοιώνεται αριθμητικά με πολύ ικανοποιητική προσέγγιση.

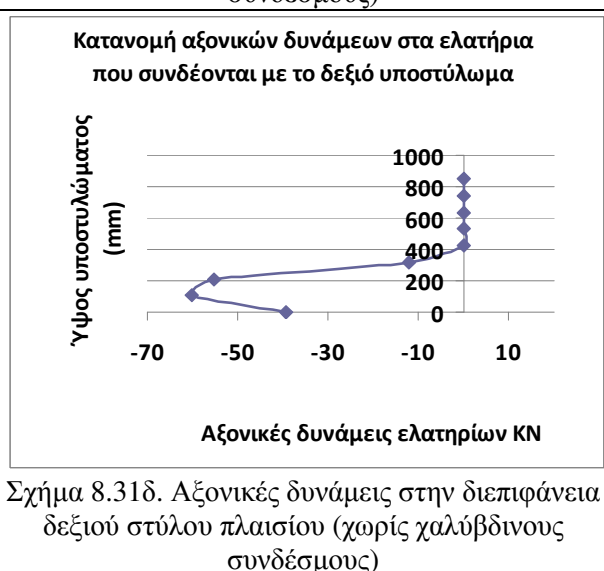
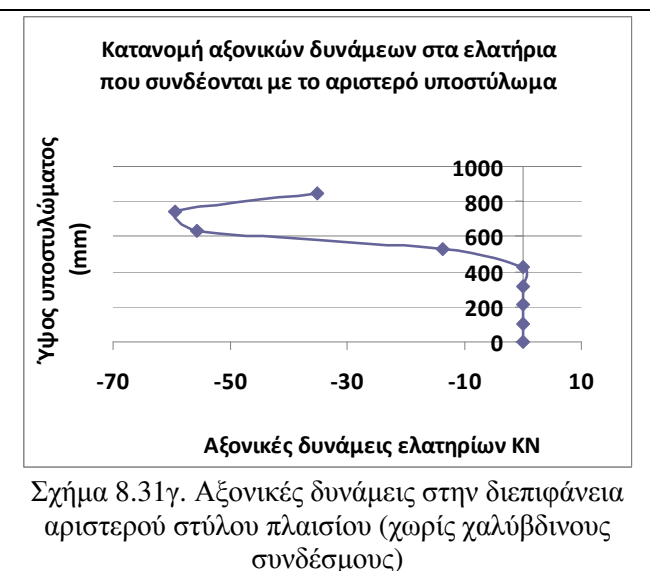
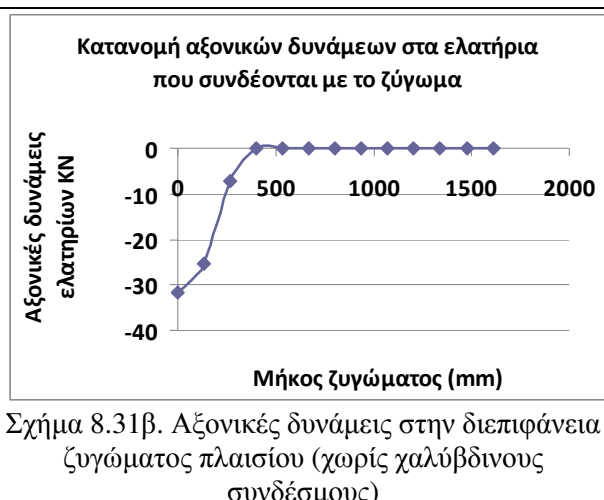
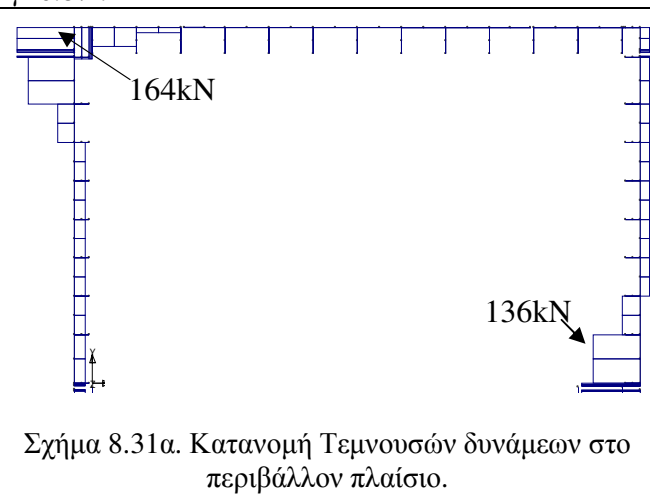
Η μορφή αστοχίας της αριθμητικής προσομοίωσης του εμφαντώματος του πλαισίου Εμφαντωμένο-2α για δύο διαφορετικά επίπεδα οριζόντιου φορτίου εμφανίζεται στα σχήματα 8.30 α, β. Στο σχήμα 8.30α είναι εμφανής η διαγώνια κατεύθυνση της αστοχίας του εμφαντώματος που συμφωνεί με την παρατηρηθείσα μορφή αστοχίας του εν λόγω δοκιμίου. Ενώ στο σχήμα 8.30β φαίνεται η διασπορά της αστοχίας σε πολύ ευρεία έκταση του άοπλου εμφαντώματος. Συγκρίνοντας αυτές τις μορφές αστοχίας που προβλέφθηκαν αριθμητικά μπορεί να λεχθεί ότι είναι συγκρίσιμες με αυτές που παρατηρήθηκαν στην πειραματική ακολουθία (δες σχήματα 7.37 και 7.37α).



8.4.4. Αριθμητικά αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης εμφαντώματος – περιβάλλοντος πλαισίου.

8.4.4.1. Το δοκίμιο Εμφαντώμενο-1 (δες παράγραφο 7.2.2., απλή προσθήκη άοπλου εμφαντώματος).

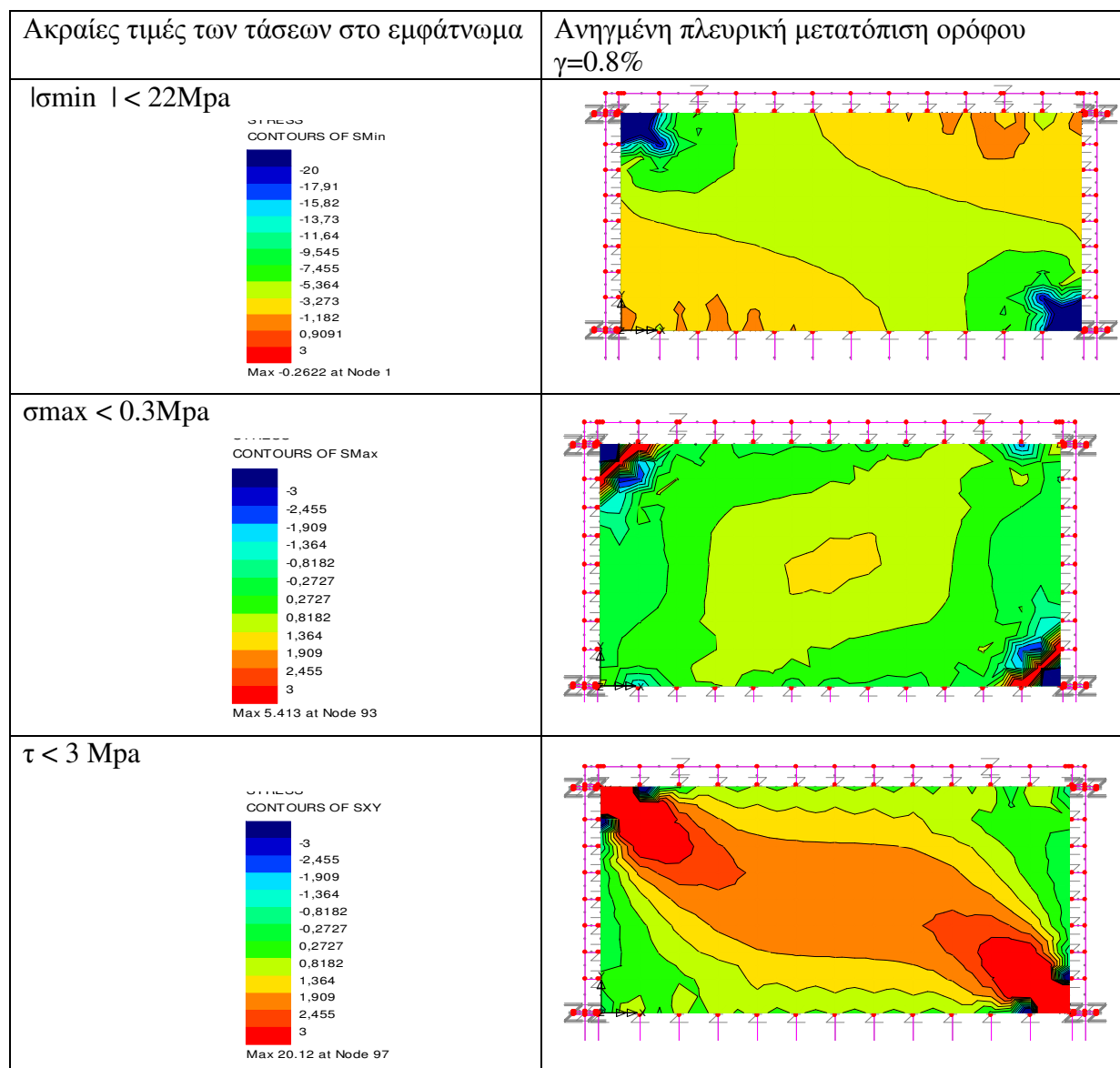
Εμφαντώμενο πλαίσιο που προέκυψε από το αρχικό γυμνό πλαίσιο Ο/Σ (Γυμνό-1) με εσωτερικό άοπλο εμφάντωμα από Ο/Σ πάχους 50mm χωρίς καμιά σύνδεση με το περιβάλλον πλαίσιο. Τα διαγράμματα που δίδονται αντιστοιχούν σε οριζόντιο φορτίο της τάξεως των 140kN και σε ανηγμένη πλευρική μετατόπιση ορόφου $\gamma=0.8\%$. Στο σχήμα 8.31^α απεικονίζεται η κατανομή των τεμνουσών δυνάμεων στο περιβάλλον πλαίσιο που προκύπτει από την αριθμητική προσομοίωση της αλληλεπίδρασης άοπλου εμφαντώματος με το αρχικό περιβάλλον πλαίσιο χωρίς χαλύβδινους συνδέσμους στην διεπιφάνεια σύνδεσης. Στα σχήματα 8.31β, 8.31γ, και 8.31δ απεικονίζονται οι αξονικές (θλιπτικές) δυνάμεις που προβλέπεται από την αριθμητική προσομοίωση ότι αναπτύσσονται σε αυτήν την διεπιφάνεια σύνδεσης λόγω της αλληλεπίδρασης εμφαντώματος – περιβάλλοντος πλαισίου για ανηγμένη πλευρική μετατόπιση ορόφου $\gamma=0.8\%$.



Όπως φαίνεται στα σχήματα 8.31α έως 8.31δ, η μερική αποκόλληση του άοπλου εμφαντώματος από το περιβάλλον πλαίσιο (δες παράγραφο 7.2.2.) έχει σαν αποτέλεσμα η μεταφορά των δυνάμεων να γίνεται σε περιορισμένες περιοχές των στύλων και του ζυγώματος. Ο μηχανισμός αυτός προκαλεί την ανάπτυξη μεγάλων τεμνουσών δυνάμεων κυρίως στις περιοχές αυτές των στύλων, που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον σχεδιασμό.

Στο ακόλουθο σχήμα 8.32 δίδονται τα διαγράμματα της εντατικής κατάστασης που προβλέπεται από την αριθμητική προσομοίωση ότι αναπτύσσεται στο εμφάντωμα λόγω της αλληλεπίδρασης εμφαντώματος – περιβάλλοντος πλαισίου για ανηγμένη πλευρική μετατόπιση ορόφου $\gamma=0.8\%$. Η εντατική αυτή

κατάσταση δίδεται μέσω των διαγραμμάτων κατανομής των ελάχιστων / μέγιστων ορθών τάσεων (σ_{min} , σ_{max}) καθώς και του διαγράμματος κατανομής των διατμητικών τάσεων (τ).



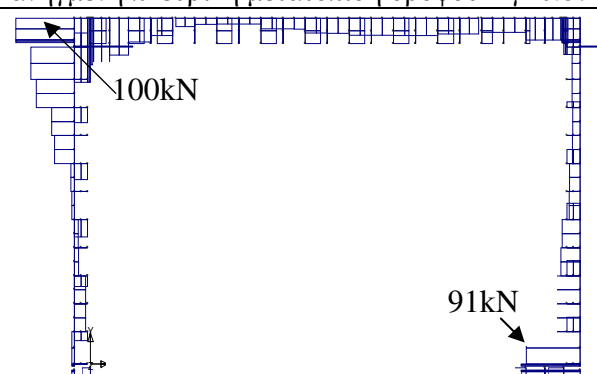
Σχήμα 8.32. Κατανομές των τάσεων εντός του εμφαντώματος για το δοκίμιο Εμφαντωμένο-1

Από τα διαγράμματα των τάσεων του εμφαντώματος γίνεται φανερό ότι δημιουργείται το εντατικό πεδίο του διαγώνιου εφελκυσμού (πάνω αριστερά προς κάτω δεξιά γωνία) σε μια σχετική στενή ζώνη του άοπλου εμφαντώματος. Η συνθήκες της μονόπλευρης επαφής του άοπλου εμφαντώματος (χωρίς σύνδεση με χαλύβδινους συνδέσμους με το περιβάλλον πλαίσιο) έχουν ως αποτέλεσμα αυτή την συγκέντρωση μεγάλης έντασης σε αυτή την σχετικά στενή ζώνη του εμφαντώματος για αυτό το σχετικά χαμηλό επίπεδο οριζόντιου φορτίου στο ζυγόμα. Στην περίπτωση που εξετάζεται αυτό οδηγεί σε σύνθλιψη των περιοχών του εμφαντώματος στην πάνω αριστερά και κάτω δεξιά του γωνία

- Δυνάμεις στους τριβής-ολίσθησης

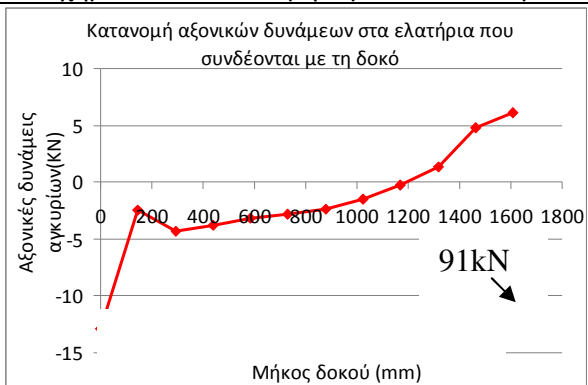
8.4.4.2. Το δοκίμιο Εμφανωμένο-2, (δες παράγραφο 7.2.4., Μανδρωμένα υποστυλώματα, άοπλο εμφάνωμα συνδεδεμένο με χαλύβδινους συνδέσμους με το περιβάλλον πλαίσιο).

Εμφανωμένο πλαίσιο Ο/Σ με μανδύες σε στύλους και κόμβους (Μανδ.Γυμνό-1) με εσωτερικό άοπλο εμφάνωμα από Ο/Σ πάχους 50mm έχοντας σύνδεση με το περιβάλλον πλαίσιο χαλύβδινα βλήτρα B500C, μήκους 150mm (εντός του εμφανώματος και 100 (εντός των διατομών του επισκευασμένου πλαισίου), διαμέτρου 8mm σε αποστάσεις 150mm τοποθετημένα σε μια σειρά στη μέση του πάχους των στύλων (5 βλήτρα ανά στύλο) και της δοκού του ζυγώματος (10 βλήτρα) και της θεμελίωσης (9 βλήτρα). Τα διαγράμματα που δίδονται αντιστοιχούν σε οριζόντιο φορτίο της τάξεως των 350KN και σε ανηγμένη πλευρική μετατόπιση ορόφου $\gamma=0.8\%$. Στο σχήμα 8.33^α απεικονίζεται η κατανομή των τεμνουσών δυνάμεων στο περιβάλλον πλαίσιο που προκύπτει από την αριθμητική προσομοίωση της αλληλεπίδρασης άοπλου εμφανώματος με το αρχικό περιβάλλον πλαίσιο χωρίς χαλύβδινους συνδέσμους στην διεπιφάνεια σύνδεσης. Στα σχήματα 8.33β έως 8.33ζ απεικονίζονται οι αξονικές καθώς και οι εγκάρσιες δυνάμεις που προβλέπονται από την αριθμητική προσομοίωση ότι αναπτύσσονται στους χαλύβδινους συνδέσμους σε αυτήν την διεπιφάνεια σύνδεσης λόγω της αλληλεπίδρασης εμφανώματος – περιβάλλοντος πλαισίου για ανηγμένη πλευρική μετατόπιση ορόφου $\gamma=0.8\%$.

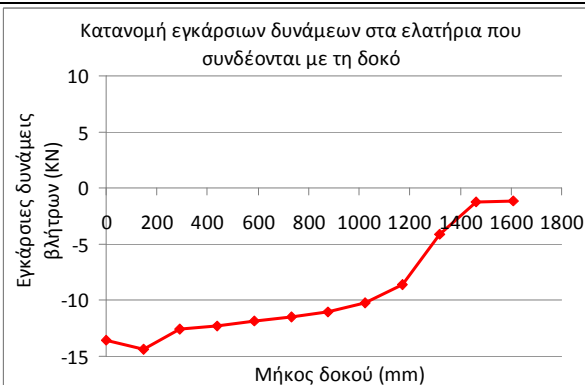


Δοκίμιο Εμφανωμένο-2.

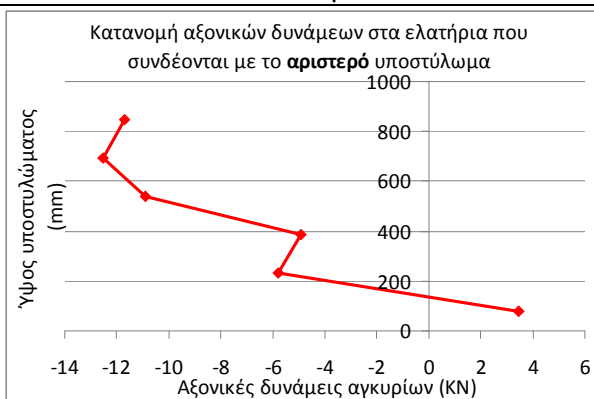
Σχήμα 8.33^α Κατανομή τεμνουσών δυνάμεων



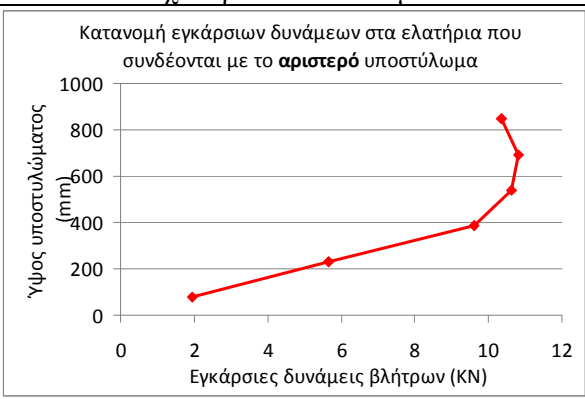
Σχήμα 8.33β. Δοκός-Αξονικές δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων



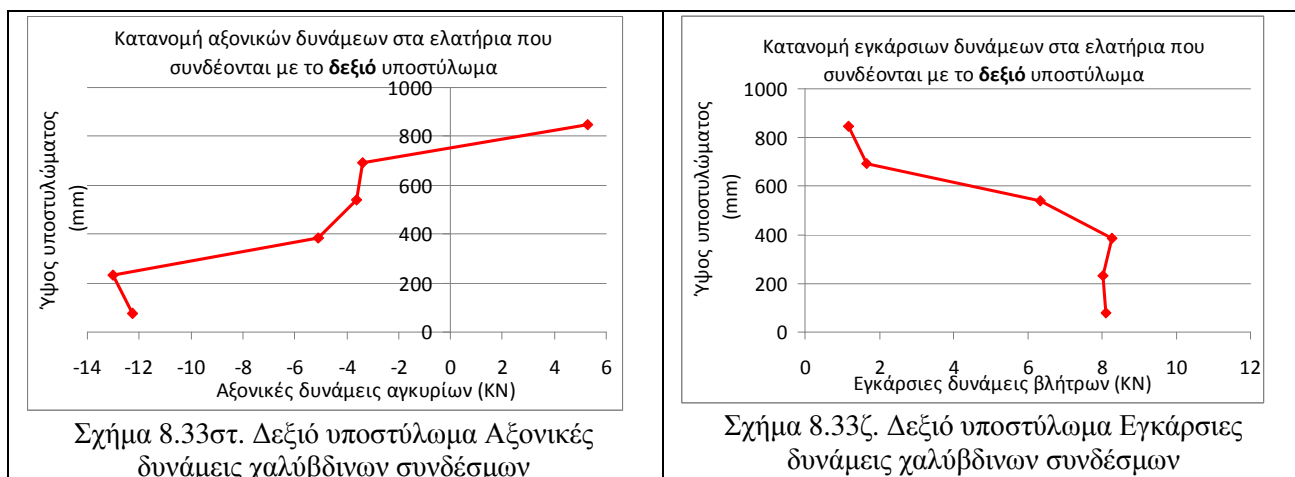
Σχήμα 8.33γ. Δοκός-Εγκάρσιες δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων



Σχήμα 8.33δ. Αριστερό υποστύλωμα Αξονικές δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων

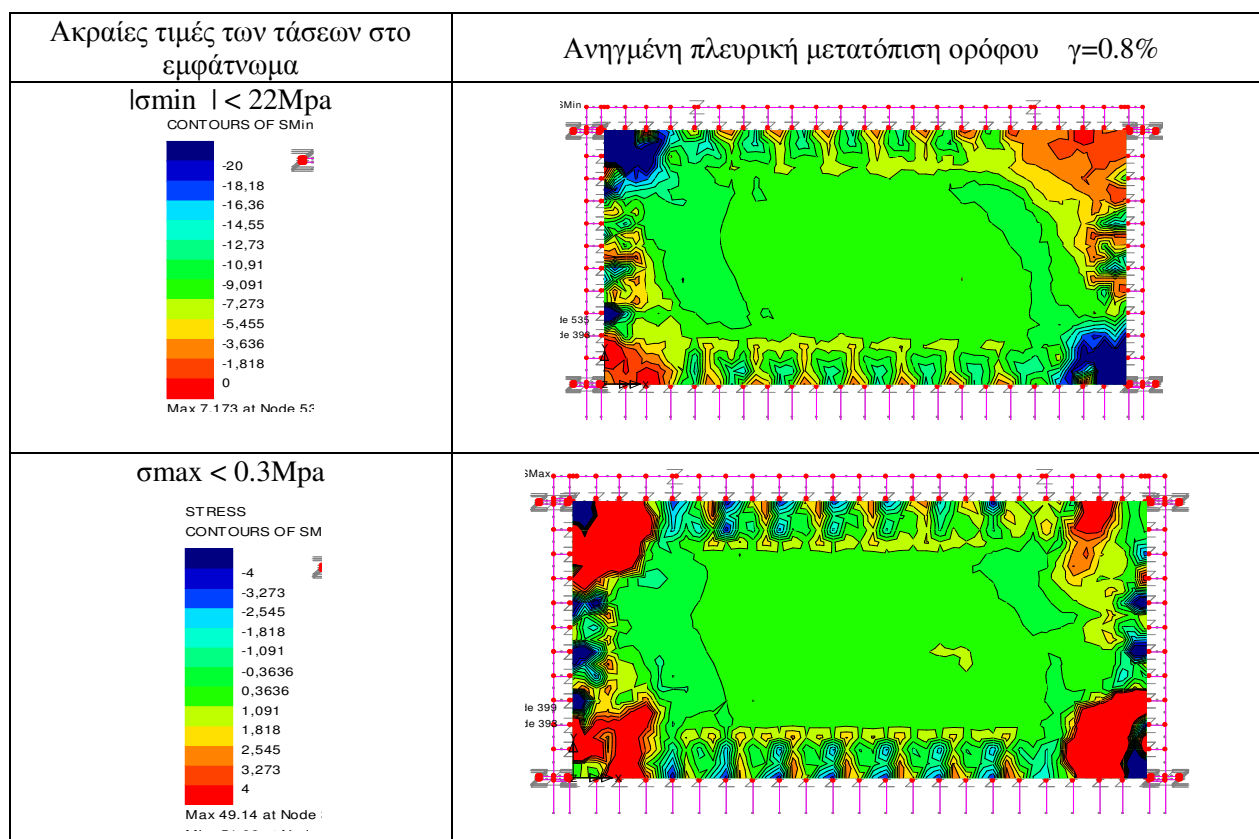


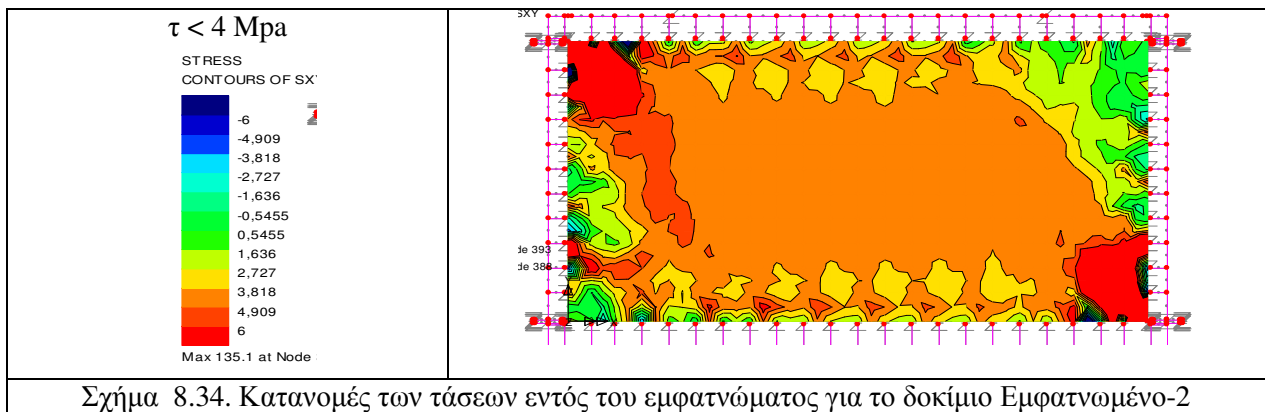
Σχήμα 8.33ε. Αριστερό υποστύλωμα Εγκάρσιες δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων



Όπως φαίνεται στα σχήματα 8.33α έως 8.33ζ, η παρουσία των χαλύβδινων συνδέσμων αποτρέπει την πρόωγη μερική αποκόλληση του άοπλου εμφαντώματος από το περιβάλλον πλαίσιο (δες παράγραφο 7.2.4.). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η μεταφορά των δυνάμεων να γίνεται σε ευρύτερες περιοχές των στύλων και του ζυγώματος από ότι προβλέπεται όταν απουσιάζουν οι χαλύβδinhoι σύνδεσμοι. Ο μηχανισμός αυτός περιορίζει την ανάπτυξη μεγάλων τεμνουσών δυνάμεων στις περιοχές των στύλων αφού στην μεταφορά των δυνάμεων μεταξύ εμφαντώματος και πλαισίου είναι ενεργοί οι χαλύβδinhoι σύνδεσμοι.. Οι τέμνουσες δυνάμεις που αναπτύσσονται στο πλαίσιο έχουν μέγιστη τιμή μικρότερη από αυτήν της περιπτώσεως δοκίμιο «Εμφαντωμένο-1», παρά το γεγονός ότι η αντίστοιχη οριζόντια δύναμη που επιβάλλεται στο ζύγωμα για την περίπτωση του δοκιμίου «Εμφαντωμα-2» είναι 350KN έναντι 140KN για την περίπτωση του δοκιμίου «Εμφαντωμένο-2»

Στο ακόλουθο σχήμα 8.34 δίδονται τα διαγράμματα της εντατικής κατάστασης που προβλέπεται από την αριθμητική προσομοίωση ότι αναπτύσσεται στο εμφάντωμα λόγω της αλληλεπίδρασης εμφαντώματος – περιβάλλοντος πλαισίου για ανηγμένη πλευρική μετατόπιση ορόφου $\gamma=0.8\%$. Η εντατική αυτή κατάσταση δίδεται μέσω των διαγραμμάτων κατανομής των ελάχιστων / μέγιστων ορθών τάσεων (σ_{\min} , σ_{\max}) καθώς και του διαγράμματος κατανομής των διατμητικών τάσεων (τ).



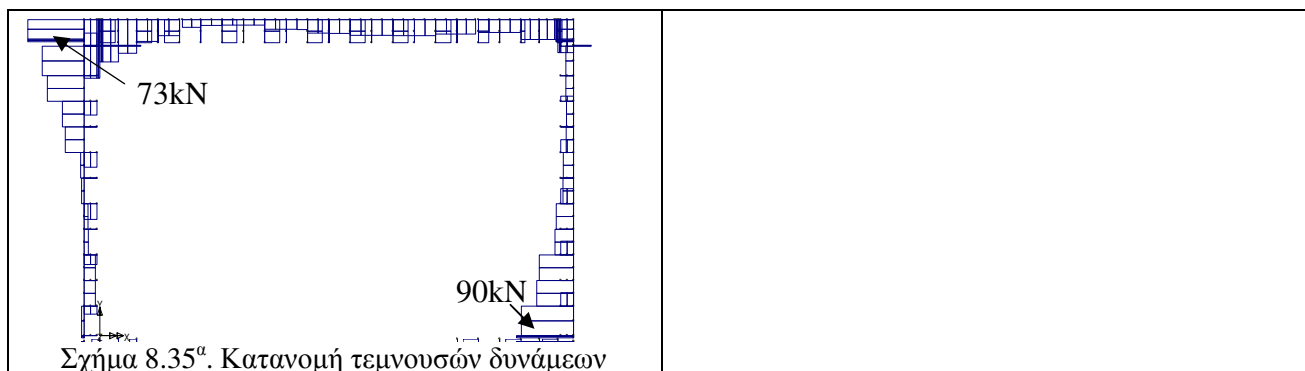


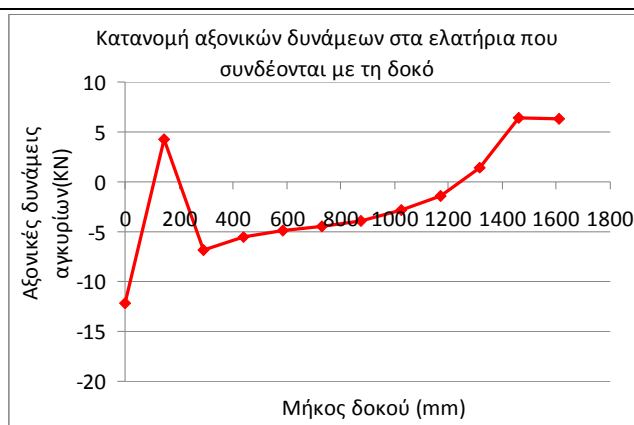
Από τα διαγράμματα των τάσεων του εμφαντώματος γίνεται φανερό ότι η παρουσία χαλύβδινων συνδέσμων μεταξύ του εμφαντώματος και του περιβάλλοντος πλαισίου δημιουργεί ένα εντατικό πεδίο που δεν έχει την μορφή της στενής λωρίδας του διαγώνιου εφελκυσμού (πάνω αριστερά προς κάτω δεξιά γωνία) που παρατηρήθηκε στο δοκίμιο Εμφαντωμένο-1. Η παρουσία των χαλύβδινων συνδέσμων σε όλη την περίμετρο της διεπιφάνειας σύνδεσης εμφαντώματος – πλαισίου δημιουργεί ένα διευρυμένο θλιπτικό πεδίο στην επιφάνεια του εμφαντώματος και αποτρέπει με τον τρόπο αυτόν την πρόωρη σύνθλιψη των περιοχών του εμφαντώματος στην πάνω αριστερά και κάτω δεξιά του γωνία. Στο δοκίμιο αυτό η αστοχία (διαγώνιος εφελκυσμός) εκδηλώνεται για αρκετά μεγαλύτερο επίπεδο οριζόντιας φόρτισης (350KN).

8.4.4.3. Το δοκίμιο Εμφαντωμένο-2^α (δες παράγραφο 7.2.6., Μανδουμένα υποστυλώματα, μερικώς οπλισμένο εμφάντωμα συνδεδεμένο με χαλύβδινους συνδέσμους με το περιβάλλον πλαίσιο).

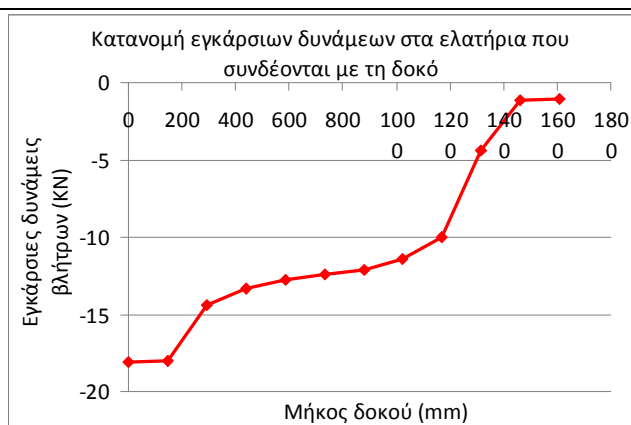
Εμφαντωμένο πλαίσιο που προέκυψε από το γυμνό πλαίσιο Μανδ.Γυμνό-1α με την κατασκευή εμφαντώματος Ο/Σ οπλισμένου με σχάρα Ø4/85mm πάχους 50mm που ήταν συνδεδεμένο με το περιβάλλον πλαίσιο με χαλύβδινα βλήτρα B500C, μήκους 150mm (εντός του εμφαντώματος και 100 (εντός των διατομών του επισκευασμένου πλαισίου), διαμέτρου 8mm σε αποστάσεις 150mm τοποθετημένα σε μια σειρά στη μέση του πάχους των στύλων (5 βλήτρα ανά στύλο) και της δοκού του ζυγώματος (10 βλήτρα) και της θεμελίωσης (9 βλήτρα). Τα διαγράμματα που δίδονται αντιστοιχούν σε οριζόντιο φορτίο της τάξεως των 370KN και σε ανηγμένη πλευρική μετατόπιση ορόφου $\gamma=0.8\%$. Στο σχήμα 8.35^α απεικονίζεται η κατανομή των τεμνουσών δυνάμεων στο περιβάλλον πλαίσιο που προκύπτει από την αριθμητική προσομοίωση της αλληλεπίδρασης άοπλου εμφαντώματος με το αρχικό περιβάλλον πλαίσιο χωρίς χαλύβδινους συνδέσμους στην διεπιφάνεια σύνδεσης. Στα σχήματα 8.35β έως 8.35ζ απεικονίζονται οι αξονικές καθώς και οι εγκάρσιες δυνάμεις που προβλέπονται από την αριθμητική προσομοίωση ότι αναπτύσσονται στους χαλύβδινους συνδέσμους σε αυτήν την διεπιφάνεια σύνδεσης λόγω της αλληλεπίδρασης εμφαντώματος – περιβάλλοντος πλαισίου.

Δοκίμιο Εμφαντωμένο-2^α. (ανηγμένη πλευρική μετατόπιση ορόφου $\gamma=0.8\%$.)

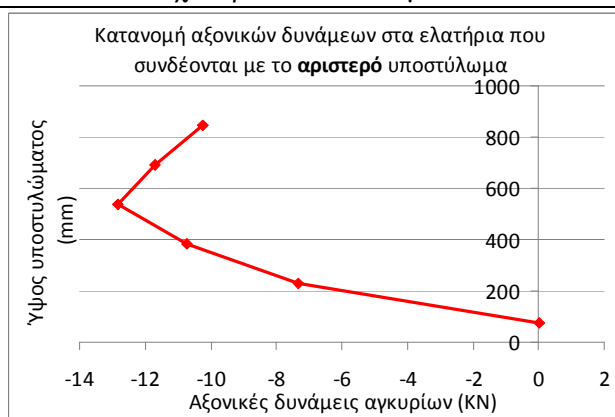




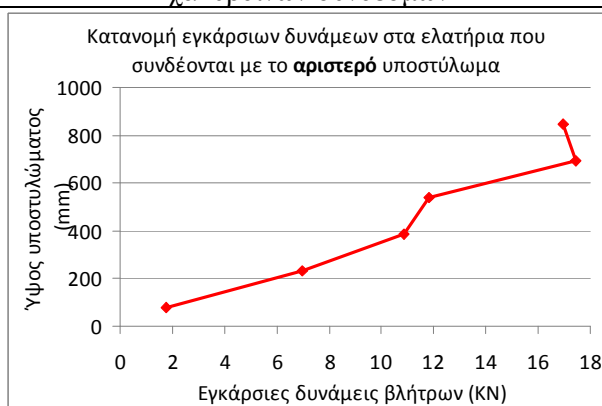
Σχήμα 8.35β. Δοκός-Αξονικές δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων



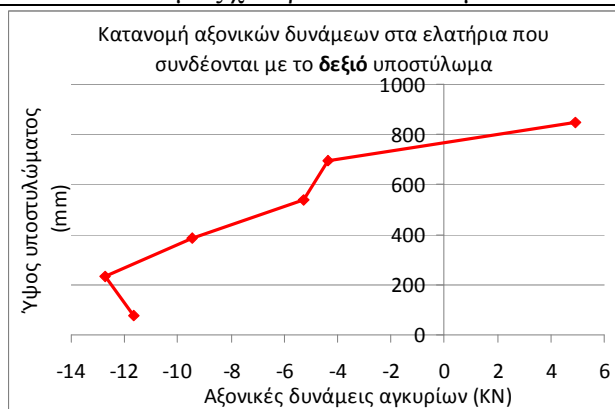
Σχήμα 8.35γ. Δοκός-Εγκάρσιες δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων



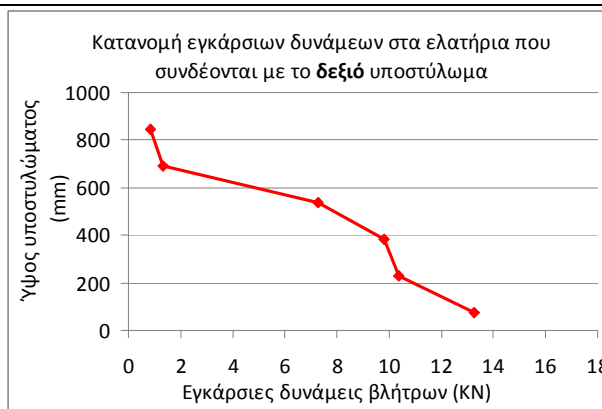
Σχήμα 8.35δ. Αριστερό υποστυλώμα Αξονικές δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων



Σχήμα 8.35ε. Αριστερό υποστυλώμα Εγκάρσιες δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων



Σχήμα 8.35στ. Δεξιό υποστυλώμα Αξονικές δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων

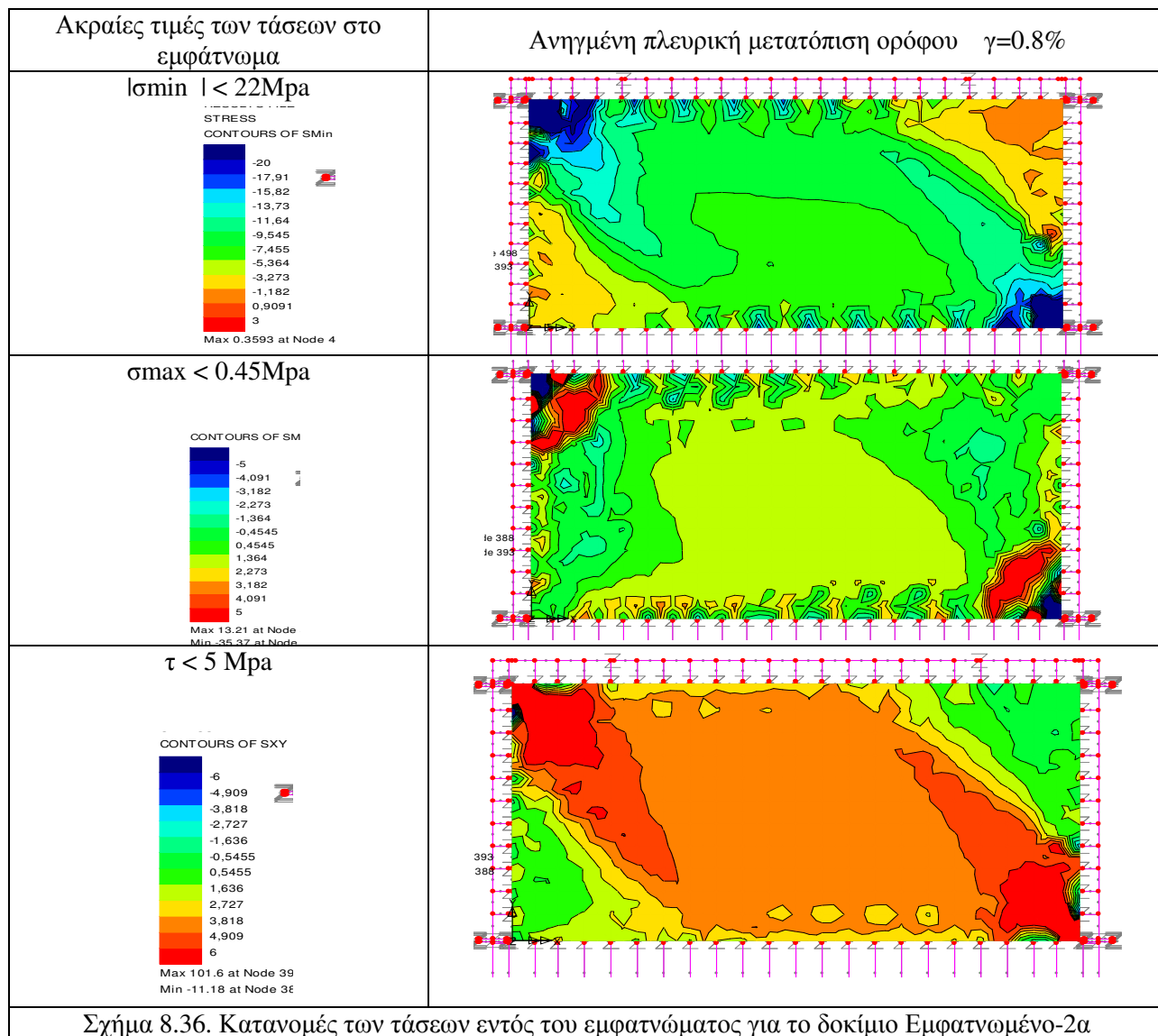


Σχήμα 8.35ζ. Δεξιό υποστυλώμα Εγκάρσιες δυνάμεις χαλύβδινων συνδέσμων

Όπως φαίνεται στα σχήματα 8.35α έως 8.35ζ, η παρουσία των χαλύβδινων συνδέσμων αποτρέπει την πρόωγη μερική αποκόλληση του όπλου εμφαννώματος από το περιβάλλον πλαίσιο (δες παράγραφο 7.2.6.). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η μεταφορά των δυνάμεων να γίνεται σε ευρύτερες περιοχές των στύλων και του ζυγώματος από ότι προβλέπεται όταν απουσιάζουν οι χαλύβδini σύνδεσμοι. Ο μηχανισμός αυτός περιορίζει την ανάπτυξη μεγάλων τεμνουσών δυνάμεων στις περιοχές των στύλων αφού στην μεταφορά των δυνάμεων μεταξύ εμφαννώματος και πλαισίου είναι ενεργοί οι χαλύβδini σύνδεσμοι.. Οι τέμνουσες δυνάμεις που αναπτύσσονται στο πλαίσιο έχουν μέγιστη τιμή μικρότερη από αυτήν της περιπτώσεως δοκίμιο «Εμφαντώμα-1», παρά το γεγονός ότι η αντίστοιχη οριζόντια δύναμη που επιβάλλεται στο ζύγωμα για την περίπτωση του δοκιμίου «Εμφαντώμα-2α» είναι 370KN έναντι 140KN για την περίπτωση του δοκιμίου «Εμφαντώμα-2»

Στο ακόλουθο σχήμα 8.36 δίδονται τα διαγράμματα της εντατικής κατάστασης που προβλέπεται από την αριθμητική προσομοίωση ότι αναπτύσσεται στο εμφάντωμα λόγω της αλληλεπίδρασης εμφαννώματος –

περιβάλλοντος πλαισίου για ανηγμένη πλευρική μετατόπιση ορόφου $\gamma=0.8\%$. Η εντατική αυτή κατάσταση δίδεται μέσω των διαγραμμάτων κατανομής των ελάχιστων / μέγιστων ορθών τάσεων (σ_{\min} , σ_{\max}) καθώς και του διαγράμματος κατανομής των διατμητικών τάσεων (τ).



Από τα διαγράμματα των τάσεων του εμφαντώματος γίνεται φανερό ότι και εδώ, όπως και στο δοκίμιο Εμφαντωμένο-2, η παρουσία χαλύβδινων συνδέσμων μεταξύ του εμφαντώματος και του περιβάλλοντος πλαισίου δημιουργεί ένα εντατικό πεδίο που δεν έχει την μορφή της στενής λωρίδας του διαγώνιου εφελκυσμού (πάνω αριστερά προς κάτω δεξιά γωνία) που παρατηρήθηκε στο δοκίμιο Εμφαντωμένο-1. Η παρουσία των χαλύβδινων συνδέσμων σε όλη την περίμετρο της διεπιφάνειας σύνδεσης εμφαντώματος – πλαισίου δημιουργεί ένα διευρυμένο θλιπτικό πεδίο στην επιφάνεια του εμφαντώματος και αποτρέπει με τον τρόπο αυτόν την πρόωγη σύνθλιψη των περιοχών του εμφαντώματος στην πάνω αριστερά και κάτω δεξιά του γωνία. Στο δοκίμιο αυτό η αστοχία (διαγώνιος εφελκυσμός) εκδηλώνεται για αρκετά μεγαλύτερο επίπεδο οριζόντιας φόρτισης (370KN). Αυτό οφείλεται εν μέρει και στην παρουσία του κατανεμημένου οπλισμού εντός του εμφαντώματος, (απλή σχάρα $\Phi 4/85\text{mm}$ οπλισμών με νευρώσεις διαμέτρου 4mm, που αντιστοιχεί σε ποσοστό οπλισμού 0.3%). Η επιρροή για την συμπεριφορά του εμφαντώματος μεγαλύτερου ποσοστού κατανεμημένου οπλισμού από το 0.3% δεν διερευνήθηκε προς το παρόν.

Συμπερασματικά, με βάσει τα αποτελέσματα της αριθμητική προσομοίωση των εμφαντωμένων πλαισίων σε κλίμακα 1:3, που διερευνήθηκε στην παράγραφο 8.4 και που παρουσιάστηκαν αφενός με συγκρίσεις με τα αντίστοιχα πειραματικά αποτελέσματα αφετέρου με την παρουσίαση της έντασης που προβλέπεται, υποδεικνύουν τον ρεαλισμό αυτής της αριθμητικής προσέγγισης. Συνεπώς, η αριθμητική αυτή προσομοίωση μπορεί να υιοθετηθεί για την ρεαλιστική εκτίμηση της αλληλεπίδρασης περιβάλλοντος

πλαίσιου - εμφαντώματος ώστε να χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό των μεγεθών έντασης για τον σχεδιασμό μιας τέτοιας μορφής επέμβασης, όπως προτείνεται στην παράγραφο 8.5 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Τα μεγέθη αυτά είναι οι δυνάμεις των χαλύβδινων συνδέσμων, τα εντατικά μεγέθη των μανδουμένων δομικών στοιχείων του περιβάλλοντος πλαισίου και τα εντατικά μεγέθη του εμφαντώματος.

8.5. Συμπεράσματα αναφορικά με την αριθμητική προσομοίωση της συμπεριφοράς των εμφαντωμένων πλαισίων:

1) Η αριθμητική προσομοίωση του εμφαντωμένου γυμνού πλαισίου με άοπλο εμφάντωμα χωρίς συνδέσεις με το περιβάλλον πλαίσιο (Εμφαντωμένο-1) προβλέπει επιτυχώς την φέρουσα ικανότητα και τον μηχανισμό αστοχίας που παρατηρείται πειραματικά.

2) Η αριθμητική προσομοίωση των εμφαντωμένων πλαισίων Εμφαντωμένο-2 (άοπλο εμφάντωμα με συνδέσεις) και Εμφαντωμένο-2^α (οπλισμένο εμφάντωμα με συνδέσεις) προβλέπει ικανοποιητικά την φέρουσα ικανότητα που παρατηρείται πειραματικά. Με τον τρόπο αυτό η αριθμητική προσομοίωση που επιχειρήθηκε προσεγγίζει με ρεαλιστικό τρόπο την επιρροή του εμφαντώματος και των συνδέσεων στην μεταβολή της φέρουσας ικανότητας αυτής της μορφής των εμφαντωμένων πλαισίων. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι όλες οι αριθμητικές προβλέψεις που επιχειρήθηκαν έγιναν με «τυφλό» τρόπο, δηλαδή με βάσει μετρημένες ιδιότητες των υλικών και μετρημένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των φορέων και των διατομών χωρίς καμιά προσπάθεια επί-μέρους αλλαγών μετά την πρώτη σύγκριση που να συντελέσουν στην καλύτερη δυνατή σύγκριση πειραματικών και αριθμητικών αποτελεσμάτων.

3) Ομοίως, για όλα τα εμφαντωμένα δοκίμια που προσομοιώθηκαν αριθμητικά και μελετήθηκαν πειραματικά, μέσω της σχετικά καλής συμφωνία μεταξύ της αριθμητικής και της μετρηθείσας συμπεριφοράς στους αρχικούς κύκλους, γίνεται μια καλή πρόβλεψη της δυσκαμψίας του εμφαντωμένου φορέα και της μεταβολής της στους αρχικούς κύκλους.

4) Η επιχειρηθείσα αριθμητική προσομοίωση των εμφαντωμένων πλαισίων με προσομοίωση των συνδέσεων με βλήτρα του εμφαντώματος με το περιβάλλον πλαίσιο υπερεκτιμά την αναλωθείσα ενέργεια κατά την ανακύκλιση από την αριθμητική μέσω των σχετικά διευρυμένων κύκλων υστέρησης. Αυτό παρατηρήθηκε επίσης και στην προσπάθεια αριθμητικής προσομοίωσης της διατμητικής συμπεριφοράς των δοκιμίων των συνδέσεων εμφαντώματος μανδουμένων στύλων. Για αυτό τον λόγο η επιχειρηθείσα αριθμητική προσομοίωση κυρίως των συνδέσεων χρειάζεται περαιτέρω βελτίωση ως προς αυτό το αποτέλεσμα. Θα πρέπει να σημειωθεί και εδώ ότι υιοθετήθηκε, για την αριθμητική προσομοίωση της συμπεριφοράς των συγκεκριμένων δοκιμίων του κεφαλαίου 3, το τρι-γραμμικό μοντέλο που καθορίζει την συμπεριφορά των χαλύβδινων συνδέσμων να προσεγγίζει την συμπεριφορά του άνω ορίου των περιβαλλουσών καμπύλων του σχήματος 3.56. Δεν έγινε καμιά προσπάθεια ώστε το εν λόγω τρι-γραμμικό μοντέλο να μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά του ώστε να προσεγγίζει και το κάτω όριο των περιβαλλουσών καμπύλων του σχήματος 3.56 εξαρτώμενο από τον αριθμό των κύκλων της ανακυκλιζόμενης φόρτισης. Συνεπώς, η πτωτική αυτή πορεία της φέρουσας ικανότητας των δοκιμίων του κεφαλαίου 3, λόγω των επάλληλων κύκλων της ανακυκλιζόμενης φόρτισης δεν προσομοιώνεται αριθμητικά με πολύ ικανοποιητική προσέγγιση.

5) Η αριθμητική προσομοίωση που διερευνήθηκε περιλαμβάνει τους εξής βασικούς ανελαστικούς μηχανισμούς. Το εμφάντωμα έχει την δυνατότητα εμφάνισης διατμητικού τύπου αστοχίας ή θλιπτικού τύπου αστοχίας. Η διεπιφάνεια σύνδεσης του εμφαντώματος με το περιβάλλον πλαίσιο με ή χωρίς την ύπαρξη των χαλύβδινων συνδέσμων (βλήτρων αγκυρίων) έχει την δυνατότητα σύνθετης μετελαστικής συμπεριφοράς τριβής-ολίσθησης, αποκόλλησης και ανελαστικής συμπεριφοράς των συνδέσμων σε δράση βλήτρου ή αγκυρίου. Προβλέπει την ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων στις θέσεις κεφαλή / πόδας στύλων και παρειές δοκών στους κόμβους δοκού-στύλου. Οι εν λόγω μορφές αστοχίας που παρατηρήθηκαν κατά την διάρκεια της πειραματικής ακολουθίας προσεγγίστηκαν αριθμητικά αρκετά ικανοποιητικά.

6) Τα συμπεράσματα 1, 2, 3 και 5 συνηγορούν στο ότι η αριθμητική προσομοίωση που διερευνήθηκε μπορεί να υιοθετηθεί για την ρεαλιστική εκτίμηση της αλληλεπίδρασης περιβάλλοντος πλαισίου - εμφαντώματος ώστε να χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό των μεγεθών έντασης για τον σχεδιασμό μιας τέτοιας μορφής επέμβασης, όπως προτείνεται στην παράγραφο 8.5 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.. Τα μεγέθη αυτά είναι

οι δυνάμεις των χαλύβδινων συνδέσμων, τα εντατικά μεγέθη των μανδυωμένων δομικών στοιχείων του περιβάλλοντος πλαισίου και τα εντατικά μεγέθη του εμφατνώματος.

7) Δεν συμπεριλαμβάνονται στην αριθμητική προσομοίωση σενάρια εξόλκευσης των χαλύβδινων συνδέσμων ή θραύση του σκυροδέματος στην περιοχή των συνδέσμων. Τέτοια ανεπιθύμητα σενάρια θα πρέπει να αποκλεισθούν μέσα από σχετικές κανονιστικές και κατασκευαστικές διατάξεις, όπως αυτές που περιλαμβάνονται ήδη στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. [45] παράγραφος 6.1.2.2β, σχήμα 6.6).. Γίνεται επίσης η παραδοχή ότι η μανδύωση του περιβάλλοντος πλαισίου θα αποκλείσει το σενάριο της διατμητικής αστοχίας των δομικών στοιχείων του περιβάλλοντος πλαισίου, που δεν περιλαμβάνεται στην αριθμητική προσομοίωση που διερευνήθηκε.

8) Η προσομοίωση που επιχειρήθηκε επί τη βάση του σκεπτικού που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 8 ([57]), χρησιμοποίησε ένα συγκεκριμένο εμπορικό λογισμικό. Τα αριθμητικά εργαλεία που ενεργοποιήθηκαν στην εν λόγω αριθμητική προσομοίωση είναι διαθέσιμα σε πολλά αντίστοιχα λογισμικά.

9) Η ποσοτικοποίηση των επί μέρους ανελαστικών μηχανισμών για το περιβάλλον πλαίσιο και το εμφάτνωμα μπορεί να ακολουθήσει υπάρχοντα αποτελέσματα και συμπεράσματα οριακής συμπεριφοράς για τέτοιου είδους δομικά στοιχεία που υπάρχουν δημοσιευμένα στην βιβλιογραφία. Το πρωτογενές υλικό του κεφαλαίου 3, 4, και 5 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ποσοτικοποίηση των ανελαστικών μηχανισμών των χαλύβδινων συνδέσμων στην διεπιφάνεια σύνδεσης εμφατνώματος – μεναδωμένου περιβάλλοντος πλαισίου.

ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

- Αποτέλεσμα των συγκρίσεων των πειραματικών αποτελεσμάτων με τις προβλέψεις των σχετικών διατάξεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. παράγραφος 6.1.2), είναι ότι υπάρχει μεγάλος βαθμός συντηρητισμού στις προτεινόμενες από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. τιμές της φέρουσας ικανότητας σε δράση βλήτρου, για την σύνδεση εμφατνώματος και τμήματος μανδυνώμενου υποστυλώματος / δοκού του περιβάλλοντος πλαισίου (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. παράγραφος 6.1.2, σχέση 6.8). Ο συντηρητισμός αυτός είναι ιδιαίτερα αυξημένος στην περίπτωση συνυπολογισμού μειωτικών συντελεστών για την εκκεντρότητα εφαρμογής της εγκάρσιας φόρτισης (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. παράγραφος 6.1.2, σχέση 6.7). και της ανακυκλιζόμενης φύσης της φόρτισης (δες ΚΑΝ.ΕΠΕ. παράγραφος 6.1.2, σχέση 6.9).
- Οι προβλέψεις της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης θα πρέπει να θεωρούνται ως ασφαλείς για την περιγραφή της ανακυκλιζόμενης συμπεριφοράς χαλύβδινων συνδέσμων σε δράση βλήτρου με τον όρο ότι καλύπτονται όλες οι προϋποθέσεις αναφορικά με την αποτροπή άλλων μορφών αστοχίας που θα επέφεραν δραστική πτώση της φέρουσας ικανότητας. Επιπρόσθετα, όπως ήδη αναφέρθηκε, το πεδίο ισχύος της προτεινόμενης εμπειρικής σχέσης είναι το περιβάλλον που αντιστοιχεί στις συνθήκες που εκτελέσθηκε η πειραματική ακολουθία.
- Συμπερασματικά μπορούν να διατυπωθούν τα εξής που συσχετίζονται με το σχετικό κείμενο της παραγράφου 8.5 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.: Η σύνδεση του εμφατνώματος με το περιβάλλον πλαίσιο με τους κατάλληλους συνδέσμους με ταυτόχρονη κατάλληλη κατανεμημένη όπλιση του εμφατνώματος μπορεί να επιφέρει σημαντική αύξηση της δυσκαμψίας και της φέρουσα ικανότητας και ενός γυμνού πλαισίου για τιμές της ανηγμένης πλευρικής μετατόπισης του ορόφου μέχρι και 3% με ταυτόχρονη κατανάλωση σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας πλαστικών παραμορφώσεων. Η κατάλληλη σύνδεση του εμφατνώματος με το μανδυνώμενο περιβάλλον πλαίσιο μπορεί να έχει πολύ θετική συνεισφορά στην συμπεριφορά. Αντίθετα, η κατασκευή ενός εμφατνώματος-απλής προσθήκης μπορεί να συντελέσει στο να αναπτυχθούν ανεπιθύμητες συγκεντρώσεις έντασης τόσο στο εμφατνώμα όσο και στο περιβάλλον πλαίσιο.
- Η αριθμητική προσομοίωση που διερευνήθηκε μπορεί να υιοθετηθεί για την ρεαλιστική εκτίμηση της αλληλεπίδρασης περιβάλλοντος πλαισίου - εμφατνώματος ώστε να χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό των μεγεθών έντασης για τον σχεδιασμό μιας τέτοιας μορφής επέμβασης, όπως προτείνεται στην παράγραφο 8.5 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.. Τα μεγέθη αυτά είναι οι δυνάμεις των χαλύβδινων συνδέσμων, τα εντατικά μεγέθη των μανδυνώμενων δομικών στοιχείων του περιβάλλοντος πλαισίου και τα εντατικά μεγέθη του εμφατνώματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. T. Akiyama, et.al. , "Experimental Study on Performance of Bonded Anchors in the Low-strength Reinforced Concrete", 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 1-6, 2004, Paper No. 748
2. Βαλιάσης Θωμάς Ν., "Πειραματική έρευνα της συμπεριφοράς τοιχοπληρωμένων πλαισίων Ο.Σ. σε ανακυκλιζόμενη οριζόντια φόρτιση - αναλυτικό μοντέλο του τοίχου πλήρωσης" διδακτορική διατριβή 1989, Α.Π.Θ.
3. D.E. Biskinis, M.N. Fardis, "Cyclic Deformation Capacity, Resistance and Effective Stiffness of R/C Members with or without Retrofitting", 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China Article No 153
4. B.Binici and K. Kobayashi, "Economical seismic retrofit schemes for vulnerable RC buildings with infill-brick wall using new FRP technologies" The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China Article No45
5. S. Bousias, A. Spathis, M. Fardis, "Seismic Retrofitting of columns with lap-splices via R.C Jackets" 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 1-6, 2004, Paper No. 1937
6. S. Brzev1, M. Greene, C.V.R. Murty, "Non-Ductile R/C Frames and Alternative Improved Construction Technologies", 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China Article No S23-004
7. Buonopane SG, White RN. "Pseudodynamic testing of masonry infilled reinforced concrete frame." Journal of Structural Engineering 1999; 125(6): 578-89.
8. Al-Chaar G, Issa M, Sweeney S. "Behavior of masonry-infilled nonductile reinforced concrete frames." Journal of Structural Engineering 2002; 128(8): 1055-63.
9. Colangelo F. "Experimental evaluation of member-by-member models and damage indices for infilled frames." Journal of Earthquake Engineering 2003; 7(1): 25-50.
10. R. A. Cook, Bonded Anchors in the US, 'Testing of Bonded Anchors', SCFT Workshop, Shaan, Principality of Liechtenstein, 1999
11. FEMA-356. (2000). "Pre-Standard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings." Federal Emergency Management Agency., Washington, D.C.
12. FEMA-547. (2006). "Techniques for the seismic rehabilitation of existing buildings." Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
13. FIB. (2003). "Seismic Assessment and Retrofit of Reinforced Concrete Buildings: State-of-the-art report." International Federation for Structural Concrete (fib), Lausanne, Switzerland.
14. K. Galal1, H. El-Sokkary, "Analytical Study of Upgrading the Seismic Performance of Nominally Ductile R/C Frame Structures Using Different Rehabilitation Techniques", 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China Article No 87
15. Klingner R. E. and Bertero V.V." Infilled Frames in Earthquake-Resistance Construction", EERC Report No.76-32, Dec. 1976.
16. Klingner R. E. and Bertero V.V. " Earthquake Resistance of Infilled Frames", ASCE Journal of Structural Engineering. Vol 116, pp. 973-989, 1978.
17. Y. Lu, J.W. Wei, "Seismic Behavior of Gravity – Designed R/C Frame Retrofitted by FRP", 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China Article No 05-03-75
18. G. C. Manos, M. Yasin, Thawabteh, V. Kourtides, "The Performance of Partially Reinforced Masonry Subjected to Horizontal Cyclic and Compressive Loads", 9th North American Masonry Conference, Clemson Univ., North Carolina, USA, 2003.
19. G.C. Manos, V.J. Soulis, J. Thauampth, "Evaluation of the numerical simulation of masonry-infilled RC frames under cyclic loading" , 7th International Masonry Conference, London, Oct. 30 – Nov. 1, 2006
20. Γ. Χ. Μάνος Βασίλειος Ι. Σούλης, Τζαφάρ Θαουάμπτα, «Αποτίμηση της αριθμητικής προσομοίωσης τοιχοπληρωμένων πλαισίων Ο/Σ υπό οριζόντιο ανακυκλιζόμενο φορτίο- Διερεύνηση της επιρροής του περιμετρικού αρμού», 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, 2008, Άρθρο 1840
21. Γ. Μάνος, Ελευθέριος Παπαναούμ, «Μελέτη της Σεισμικής Απόκρισης 3-όροφου Κτιρίου Ο/Σ Κατασκευής προ του 1993 πριν και μετά την Επισκευή του», 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, 2008, Άρθρο 1926

22. Masuo, K., Jinno, Y. "Improving effects on ultimate strength and ductility of R/C columns with wing walls by wrapping of CFRP sheets around column" Journal of structural and construction engineering (Transaction Architectural Institute of Japan), No536, Oct 2000: 121-128
23. Mehrabi AB, Shing PB, Schuller MP, Noland JL. "Experimental evaluation of masonry-infilled RC frames." Journal of Structural Engineering 1996; 122(3): 228-37.
24. Murty C.V.R. and Jain S.K. (2000) "Beneficial Influence of Masonry Infill Walls on Seismic Performance of R.C. Frame Buildings", Proc. 12thWCEE, Auckland, New Zealand.
25. Okubo, "Experimental study on the behavior of Reinforced beam with spandrels (part 2)" Transactions of the Architectural Institute of Japan, No.207, May 1973: 9-17
26. Paulay T, Priestley MJN. "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings." J.Wiley & Sons, New York, 1992
27. Pinto A, Varum H, Molina J. "Experimental Assessment and Retrofit of Full-scale Models of Existing RC Frames." Proceedings of the 12th European Conference on Earthquake Engineering, London, UK. Paper no. 855. Amsterdam: Elsevier, 2002.
28. P. Riva, A. Meda, E. Giurani, "Experimental Test on a Full-Scale Repaired R/C Structural Wall", 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 1-6, 2004, Paper No. 456
29. Riva P, Meda A, Giuriani E. "Full Scale Test on R/C Structural Wall under Cyclic Transverse Loads." Proceedings of the fib 2003 Symposium, Concrete Structures in Seismic Regions, May 6-9, 2003, Athens
30. Σαρηγιάννης Δ., "Πειραματική έρευνα επισκευασμένων πλαισίων σκυροδέματος με διάφορες τεχνικές τοιχοπληρώσεως υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση", διδακτορική διατριβή 1989, Α.Π.Θ.
31. Στυλιανίδης Κ., "Πειραματική συμπεριφορά τοιχοπληρωμένων μονώροφων πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος υπό ανακυκλιζόμενη ψευδοστατική οριζόντια φόρτιση - παραμετρική μελέτη" διδακτορική διατριβή 1985, Α.Π.Θ.
32. Σούλης Βασίλειος, «Διερεύνηση της Αριθμητικής Προσομοίωσης Τοιχοπληρωμένων Πλαισιακών Φορέων Ο/Σ υπό Σεισμικού Τύπου Φορτίσεις», διδακτορική διατριβή που υποβλήθηκε προς κρίση στο Τμήμα Πολ. Μηχανικών του Α.Π.Θ., 2009, επιβλέπων καθηγητής Γ.Χ. Μάνος.
33. Sugiyama, T., Uemura, M., Fukuyama, H., Nakano, H., Matsuzaki, Y. "Experimental study on the performance of the RC frame infilled cast-in-place non-structural RC walls retrofitted by using carbon fiber sheets" Proceedings of the 12th WCEE, Paper no.2153,2000
34. T. Sugiyama, Y. Matsuzaki, K. Nakano, "Design for Structural Performances of R/C Frame with Cast in Place Non-Structural R/C Walls", 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 1-6, 2004, Paper No. 1277
35. Τζαφάρ Αλ' Θαουάμπτα «Πειραματική Μελέτη της Απόκρισης Μονώροφων-δίστυλων πλαισίων Ο/Σ με τοιχοπληρώσεις, Αρχικών και Επισκευασμένων, υπό Ανακυκλιζόμενη Οριζόντια Φόρτιση» διδακτορική διατριβή που υποβλήθηκε προς κρίση στο Τμήμα Πολ. Μηχανικών του Α.Π.Θ., 2009, επιβλέπων καθηγητής Γ.Χ. Μάνος.
36. T. Taguchi, et.al. "Dynamic Loading Test on R/C Frame Retrofitted by outer CES Frame", 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China Article No 75
37. S. Takara, T. Yamakawa, K. Yamashiro, "Experimental and Analytical Investigation of Seismic Retrofit for R/C Framed Shear Walls", 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China Article No31
38. Yamamoto Y. et al, 'Load Carrying Capacity of Bonded Anchor at Low Strength Concrete Members', Proceedings of Japan Concrete Institute..
39. Paolo Riva, Alberto Meda and Ezio Giuriani, "Experimental test on a full-scale repaired R.C. structural wall", 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada August 1-6, 2004, Paper No. 456
40. Konstantinos G. Vандoros, Stephanos E. Dritsos, Concrete jacket construction detail effectiveness when strengthening RC columns, Construction and Building Materials (2008) p.264–276
41. Stathis Bousias, Alexis-Loukas Spathis, Michael N. Fardis, "Seismic retrofitting of columns with lap-splices via RC jackets", 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, Paper No. 1937
42. Mihail Garevski et.al., "Experimental investigations of 1/3 scale R/C frame with infill walls building structures", 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, Paper No. 772

43. Tomoaki Akiyama, Yasutoshi Yamamoto, Shigekatsu Ichihashi & Katsuyoshi Aiki, “Experimental study on performance of bonded anchors in the low strength reinforced concrete”, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, Paper No. 748
44. F. Delhomme *, G. Debicki, Numerical modelling of anchor bolts under pullout and relaxation tests, *Construction and Building Materials* (2010), p.1232–1238
45. Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) τελικό κείμενο 2010
46. Δρίτσος Στέφανος Η., 2000, «Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα», 287 σελ, Πάτρα.
47. Σπυράκος Κωνσταντίνος, «Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία», Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Αθήνα 2004
48. ABAQUS. (2010), ABAQUS/Standard user’s manual volumes I-V and ABAQUS CAE manual. Version 6.10.1 (Pawtucket, USA): Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc.
49. LUSAS 11, LUSAS finite element analysis software, Finite Element Analysis Ltd., Copyright © 1982-2010, Last modified: January 31, 2012
50. Elfgrén L. (1989). *Fracture Mechanics of Concrete Structures – From theory to applications*. RILEM REPORT. Chapman and Hall.
51. EN 1992-1-1 (2004). Eurocode 2: Design of Concrete structures-Part 1.1: General rules and rules for buildings. CEN.
52. Harding J. (1989). The development of constitutive relationships for material behaviour at high rates of strain. In: Harding J, editor. *Proceedings of 4th International Conference on the Mechanical Properties of Materials at High Rates of Strain*, Series No. 102, March. 1989, p. 189–203.
53. Malm R. (2009). Predicting shear type crack initiation and growth in concrete with non-linear finite element method. PhD thesis, Department of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology (KTH) Stockholm.
54. Malvern LE. (1984). Experimental and theoretical approaches to characterisation of material behaviour at high rates of deformation. *Proceedings of the 3rd Conference on the Mechanical Properties of Materials at High Rates of Strain*. Oxford: Institute of Physics Conference; 1984, p. 1–20.
55. Mercan B., Schultz A.E. and Stolarski H.K. (2010). Finite element modeling of prestressed concrete spandrel beams. *Engineering Structures* 32 (9), 2804-2813.
56. Qureshi, J., Lam, D. and Ye, J. (2011). The influence of profiled sheeting thickness and shear connector’s position, on strength and ductility of headed shear connector. *Engineering Structures* 33(5), 1643-1656.
57. G.C. Manos, V. J. Soulis, J. Thauampthep “The behavior of masonry assemblages and masonry-infilled R/C frames subjected to combined vertical and cyclic horizontal seismic-type loading”, *J. Advances in Engineering Software*, 45 (2012) 213-231.