

ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

«Διερεύνηση της Συμπεριφοράς Πλαισίων Ο.Σ. Ενισχυμένων με Εμφατνούμενα Τοιχώματα Ο.Σ.»

(Σεπτέμβριος 2012)

Φίλιππος Κ. Περδικάρης
Καθηγητής, Διευθυντής Εργαστηρίου «Τεχνολογίας και Κατασκευών Ο.Σ.»

Μαρίνα Μωρέττη
Επίκουρος Καθηγήτρια

Θεοχάρης Παπαθεοχάρης
Υποψήφιος Διδάκτωρ

(ΦΟΡΕΑΣ ΑΝΑΘΕΣΗΣ: **Ο.Α.Σ.Π.**)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι περισσότερες πειραματικές έρευνες εμφατνούμενων τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος (Ο.Σ.) σε πλαίσια Ο.Σ. διερευνούν την επιρροή του ανεπαρκούς μήκους αναμονών του διαμήκους οπλισμού των υποστυλωμάτων στην συνολική αντοχή του συστήματος πλαισίου-τοιχώματος. Έχουν μελετηθεί κατά κανόνα:

- Γυμνά πλαίσια, χωρίς εμφάνιση τοιχώματος, με ή χωρίς ανεπαρκείς αναμονές ([1] έως [6]).
- Πλάισια με εμφατνούμενο τοίχωμα και συνεχείς ράβδους διαμήκους οπλισμού στα υποστυλώματα.
- Πολυώροφα πλαίσια με εμφατνούμενα τοιχώματα, ανεπαρκείς αναμονές διαμήκων οπλισμών και διάφορες μεθόδους αναίρεσης των αρνητικών επιπτώσεων των ανεπαρκών αναμονών.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών χρησιμεύουν μόνον ενδεικτικά για την εξαγωγή συμπερασμάτων, καθώς η ύπαρξη ανεπαρκών αναμονών επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα (βλ. Πίν. 8.2, δοκίμια 2, 3, [1]). Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις τα φορτία που φέρουν στοιχεία των δοκιμών δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστούν με βεβαιότητα λόγω των διαφορετικών πειραματικών συνθηκών.

Επί πλέον, στις δημοσιεύσεις δεν παρέχονται επαρκή στοιχεία για τη μορφή αστοχίας των στοιχείων του πλαισίου και για τη συμπεριφορά των βλήτρων στις διεπιφάνειες, ώστε τα αποτελέσματα να χρησιμεύσουν για την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων. Μία γενική παρατήρηση στα πειραματικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται είναι ότι σε πολλές περιπτώσεις τα εμφατνούμενα τοιχώματα δεν ρηγματώνονται παράλληλα στη διεύθυνση των διαγωνίων, αλλά εμφανίζουν οριζόντια ρωγμή στο ύψος της απολήξεως των βλήτρων που συνδέουν το τοίχωμα με το στοιχείο πάκτωσης. Η

μορφή αυτή αστοχίας μετατρέπεται σε χιαστί κατά την διεύθυνση των διαγωνίων του τοιχώματος όταν κατασκευαστεί στο άκρο των τοιχωμάτων ένα είδος ενίσχυσης με δύο κατακόρυφες ράβδους διαμήκους οπλισμού και φουρκέτα (δοκίμιο B10, Πίν. 8.6, Σχ.8.6 [5]). Η παρουσία χιαστί ρηγματώσεων στο τοίχωμα είναι ένδειξη εντονότερης ενεργοποίησης του μηχανισμού διαγώνιου θλιπτήρα. Η αστοχία με οριζόντια ρηγμάτωση στην κορυφή των βλήτρων που συναντάται στα περισσότερα δοκίμια της αναφερόμενης βιβλιογραφίας πρέπει να αποδοθεί ίσως στο πολύ μεγάλο μήκος των βλήτρων συγκριτικά με το ύψος του τοιχώματος, με αποτέλεσμα οι δυνάμεις που εισάγονται στο σκυρόδεμα του τοιχώματος να επηρεάζουν τους αναπτυσσόμενους μηχανισμούς μεταφοράς δυνάμεων.

Στις διεπιφάνειες υποστυλωμάτων-τοιχώματος έχουν τοποθετηθεί βλήτρα σε όλα τα δοκίμια της βιβλιογραφίας πλην ενός (δοκίμιο 4, [1]). Όλα τα πειραματικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται αναφέρονται σε τοιχώματα με λόγο οριζόντιας πλευράς προς ύψος $l/h=1.73$, με εξαίρεση ορισμένα δοκίμια τα οποία είχαν $l/h=0.62$ ([4], [6]).

Το παρόν ερευνητικό πρόγραμμα είχε ως στόχο την διερεύνηση της αξιοπιστίας των σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας πλαισίων με εμφαννόμενα τοιχώματα Ο.Σ. σε οριζόντιο φορτίο. Επελέγησαν γεωμετρικά χαρακτηριστικά δοκιμίων παρόμοια με αυτά της βιβλιογραφίας για την ευκολότερη σύγκριση των αποτελεσμάτων: επτά (7) δοκίμια με $l/h=1.73$, και τρία (3) δοκίμια με $l/h=1.20$ σε κλίμακα 1/3. Εξετάστηκαν διαφορετικοί τρόποι σύνδεσης των εμφαννόμενων τοιχωμάτων με το περιβάλλον πλαίσιο για να διερευνηθούν οι επιπτώσεις της σύνδεσης στην συνολική συμπεριφορά του τοιχώματος. Οι διαμήκεις οπλισμοί των υποστυλωμάτων ήταν συνεχείς στην θεμελίωση ώστε η ελλιπής αγκύρωση να μην αποτελέσει επί πλέον αστάθμητο παράγοντα των παραμέτρων που εξετάστηκαν.

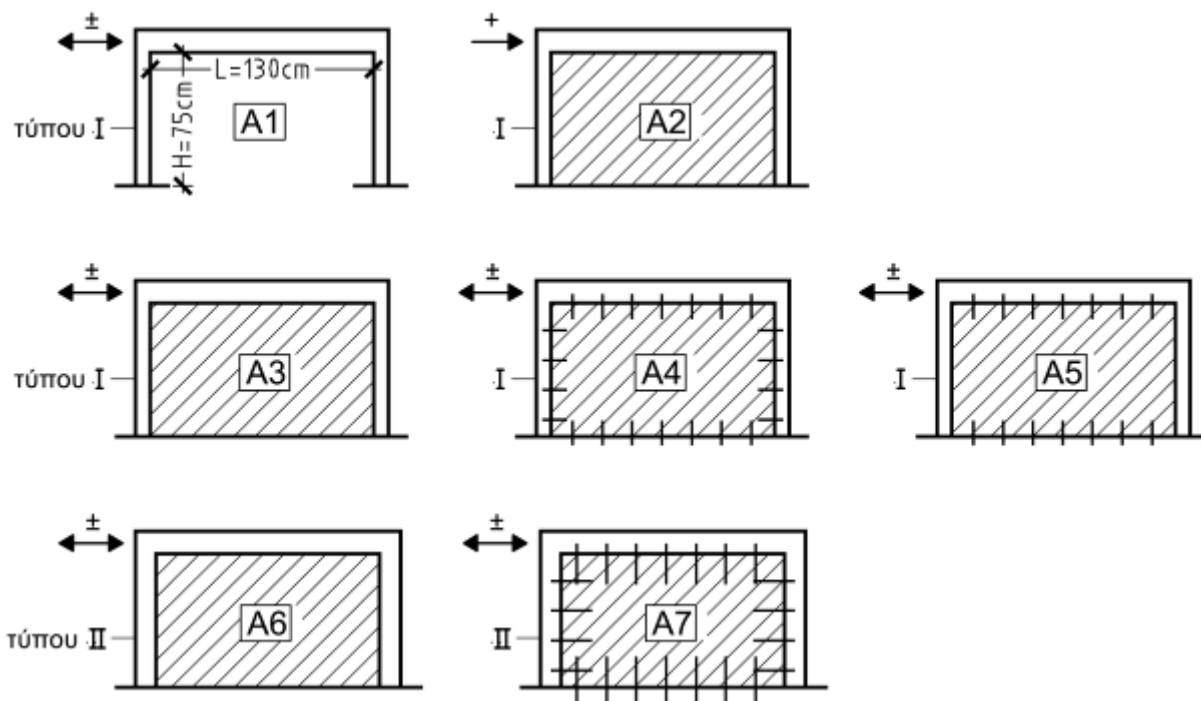
Στο Κεφάλαιο 6 εφαρμόζονται οι διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας των δοκιμίων της παρούσας έρευνας, καθώς και ορισμένων δοκιμίων από την βιβλιογραφία. Οι αναλυτικές προβλέψεις συγκρίνονται με τα πειραματικά αποτελέσματα.

1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

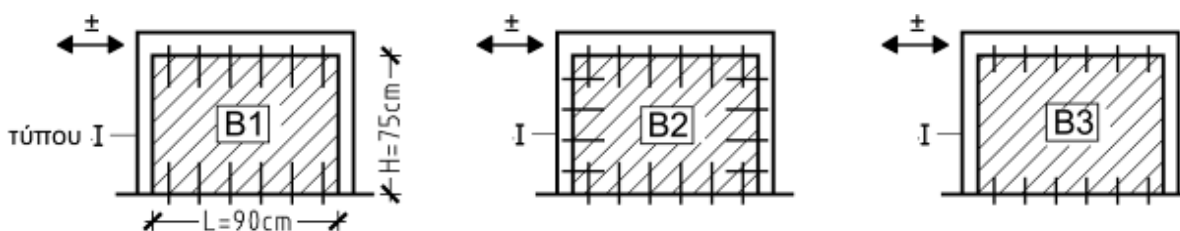
1.1. Οπλισμός-Διαστάσεις

Τα δοκίμια κατασκευάστηκαν σε κλίμακα 1:3 και έγινε προσπάθεια να τηρηθεί η κλίμακα 1:3 και στην σύνθεση του σκυροδέματος ώστε τα αποτελέσματα να είναι περισσότερο αξιόπιστα (βλ. 2^η Έκθεση Προόδου). Τα χαρακτηριστικά των δοκιμίων παρουσιάζονται στα Σχ. 1.1 έως 1.3. Καθόσον αφορά στο πειραματικό σκέλος του προγράμματος έγινε μία διαφοροποίηση σε σχέση με την αρχική πρόταση. Κρίθηκε σκόπιμο σε ορισμένα δοκίμια να τοποθετηθούν βλήτρα με μεγαλύτερο μήκος

αγκύρωσης («μακριά» βλήτρα) στην διεπιφάνεια τοιχώματος και κάτω δοκού, από το αρχικά προβλεπόμενο $8d_b$ («κοντά» βλήτρα), καθώς παρατηρήθηκε εξόλκευση των ακραίων βλήτρων του τοιχώματος του δοκιμίου A4 με την πρόοδο της ανακυκλιζόμενης φόρτισης.



(α) Σειρά Α ($l/h=1,73$): δοκίμια A1÷A5 (υπ/τα τύπου Ι, και δοκίμια A6, A7 (υπ/τα τύπου ΙΙ, Σχ.1.2).



(β) Σειρά Β ($l/h=1,20$): δοκίμια B1, B2, B3 (υπ/τα τύπου Ι, Σχ.1.2).

Σχήμα 1.1 - Σχηματική απεικόνιση δοκιμών (δοκίμια A7, B1, B2 με «μακριά» βλήτρα, λοιπά δοκίμια με «κοντά» βλήτρα).

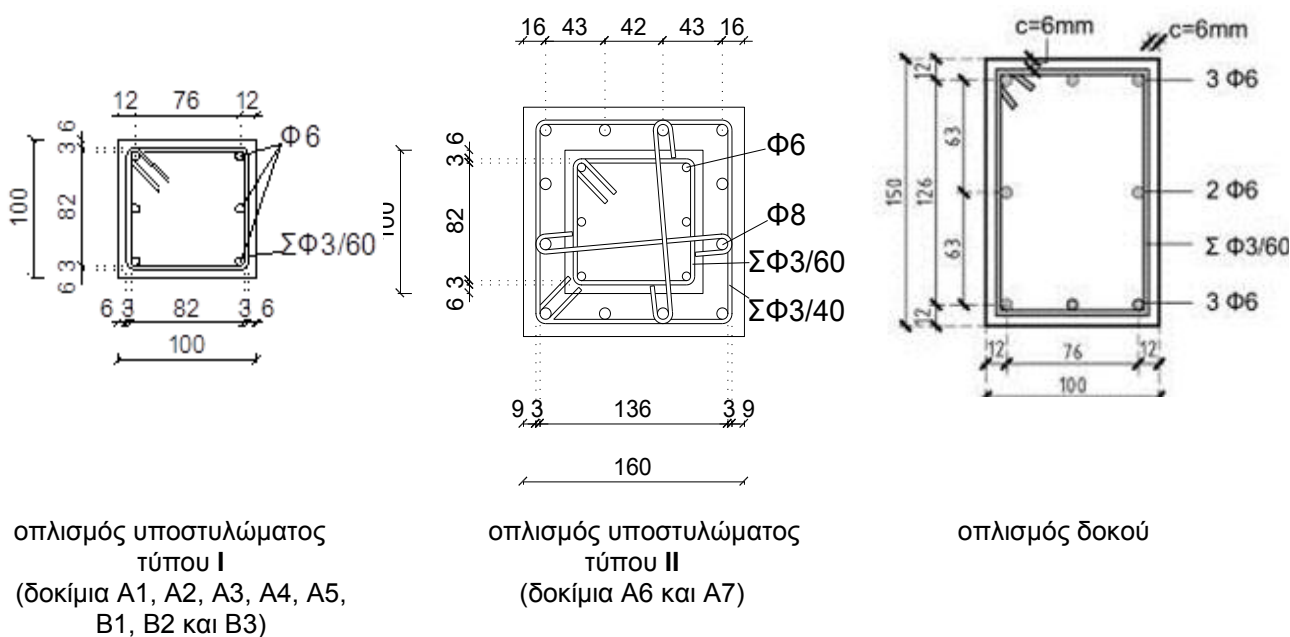
Επίσης, το αρχικό δοκίμιο B1 (απλή εμφάνιση τοιχώματος χωρίς σύνδεση με το περιβάλλον πλαίσιο) αντικαταστάθηκε με δοκίμιο στο οποίο το τοίχωμα συνδέθηκε με το πλαίσιο μέσω «μακριών» βλήτρων στην πάνω και κάτω δοκό. Στόχος ήταν η σύγκριση της συμπεριφοράς του δοκιμίου αυτού με το δοκίμιο B3 στο οποίο το τοίχωμα διασυνδεόταν με το πλαίσιο στο πάνω και κάτω τμήμα του μέσω «κοντών» βλήτρων. Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα των αντίστοιχων δοκιμών A2 και A3, θεωρήθηκε ότι εμφάνιση του τοιχώματος σε δοκίμιο της σειράς «Β» χωρίς σύνδεση με το πλαίσιο μέσω βλήτρων δεν θα πρόσφερε περαιτέρω στοιχεία για την κατανόηση της συμπεριφοράς των εμφατούμενων τοιχωμάτων της παρούσας έρευνας και ιδιαίτερα του διαγώνιου θλιπτήρα.

Οι λεπτομέρειες οπλισμού παρουσιάζονται στο Σχ. 1.2, 1.6 και 1.7. Για την αγκύρωση των βλήτρων ($\Phi 6$ με νευρώσεις) στα υποστυλώματα και την πάνω/κάτω δοκό, ανοίχτηκαν οπές διαμέτρου 8 mm.

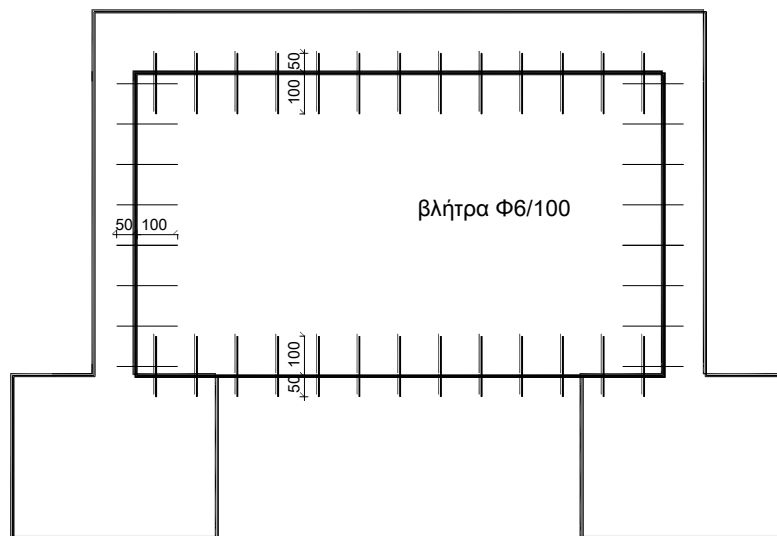
Συγκεκριμένα :

- τα «κοντά» βλήτρα (βλέπε Σχ. 1.3α) αντιστοιχούν σε μήκος έμπηξης 50 mm ($8d_b$) για αγκύρωση με ρητίνη στα υποστυλώματα, θεμέλιο (κάτω) και δοκό (πάνω) και μήκος αναμονής στο τοίχωμα 100 mm ($16d_b$), ενώ
- τα «μακριά» βλήτρα (βλέπε Σχ. 1.3β) αντιστοιχούν σε μήκος έμπηξης 120 mm ($20d_b$) για αγκύρωση με ρητίνη στο θεμέλιο (κάτω), 60 mm ($10d_b$) στα υποστυλώματα και δοκό (πάνω) και μήκος αναμονής στο τοίχωμα 200 mm ($33d_b$)

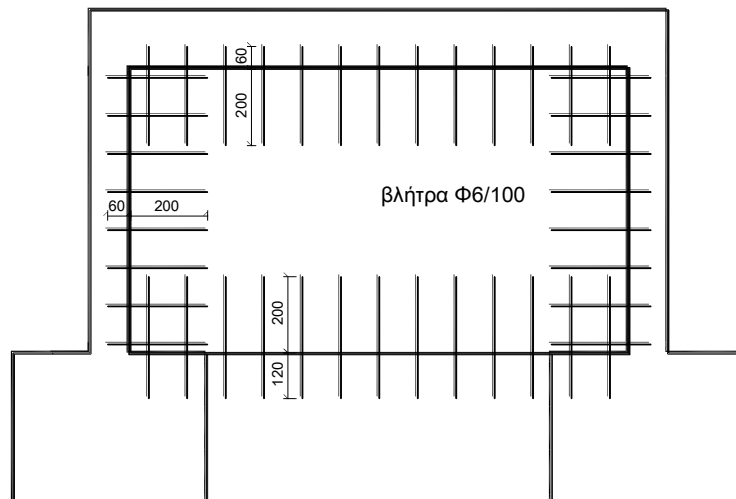
Το μήκος αγκύρωσης π.χ. ράβδου διαμέτρου d_b με νευρώσεις για σκυρόδεμα με θλιπτική αντοχή $f_{cc}=27,5$ MPa, για καλές συνθήκες συνάφειας, προκύπτει $\ell_b=27d_b$. Τα μήκη των βλήτρων που τοποθετήθηκαν στα δοκίμια φαίνονται στο Σχ. 1.3. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες των δοκιμών A6 και A7, στα οποία ενισχύθηκαν τα υποστυλώματα με μανδύα σκυροδέματος και σκυροδετήθηκε το τοίχωμα μονολιτικά με τους μανδύες των υποστυλωμάτων, παρουσιάζονται στα Σχ. 1.2 και 1.9 έως 1.11. Ο διαμήκης οπλισμός του μανδύα (ράβδοι $\Phi 8$) αγκυρώθηκε στην κάτω δοκό (θεμελίωση) με ρητίνη σε βάθος $20d_b$ (16 cm).



Σχήμα 1.2 - Χαρακτηριστικά οπλισμού των διατομών του πλαισίου.



(α) «κοντά» βλήτρα δοκιμίων A4 (περιμετρικά), A5 (πάνω/κάτω) και B3 (πάνω/κάτω).



(β) «μακριά» βλήτρα δοκιμίων A7 (περιμετρικά), B1 (πάνω/κάτω) και B2 (περιμετρικά).

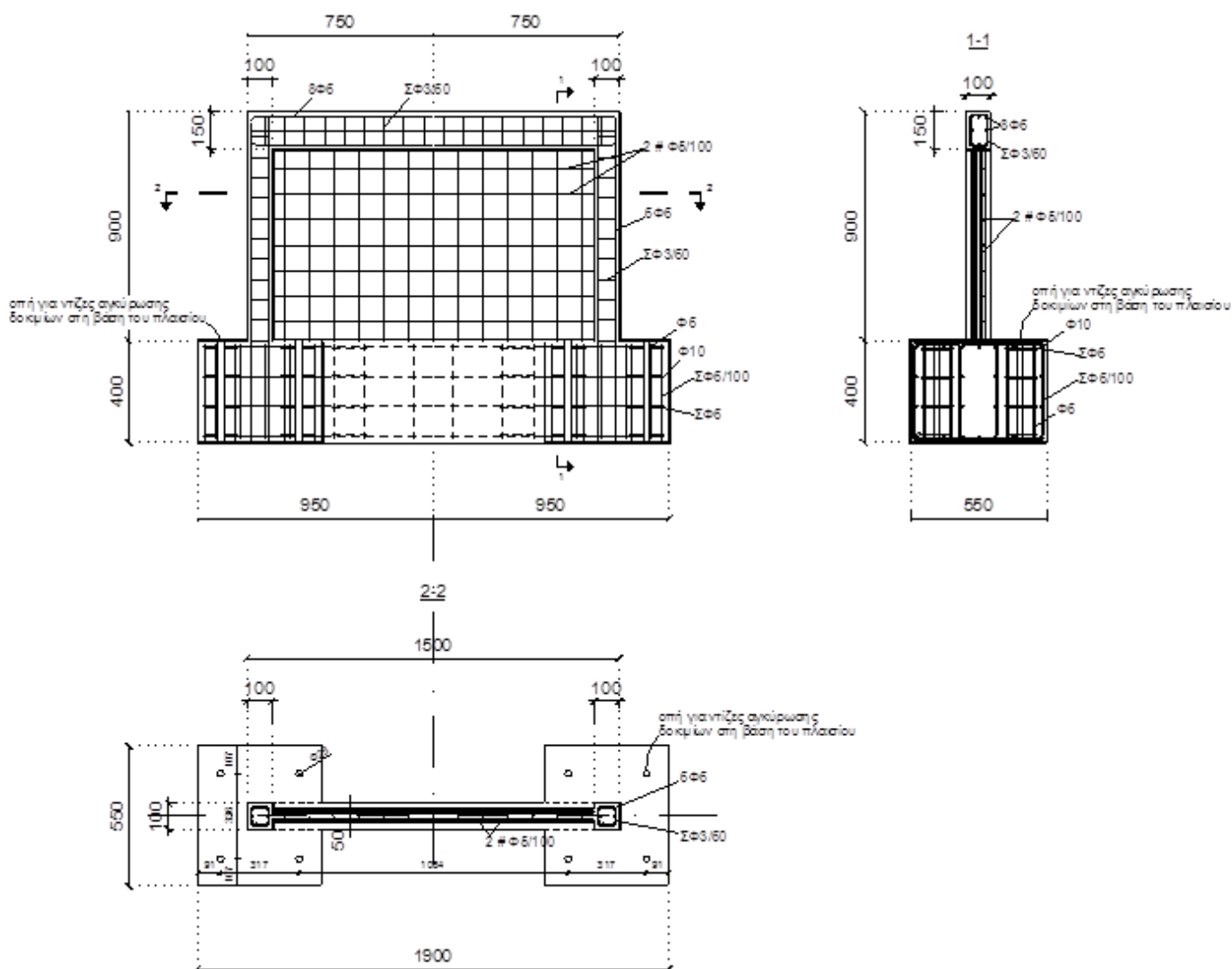
Σχήμα 1.3 - Χαρακτηριστικά βλήτρων δοκιμίων.



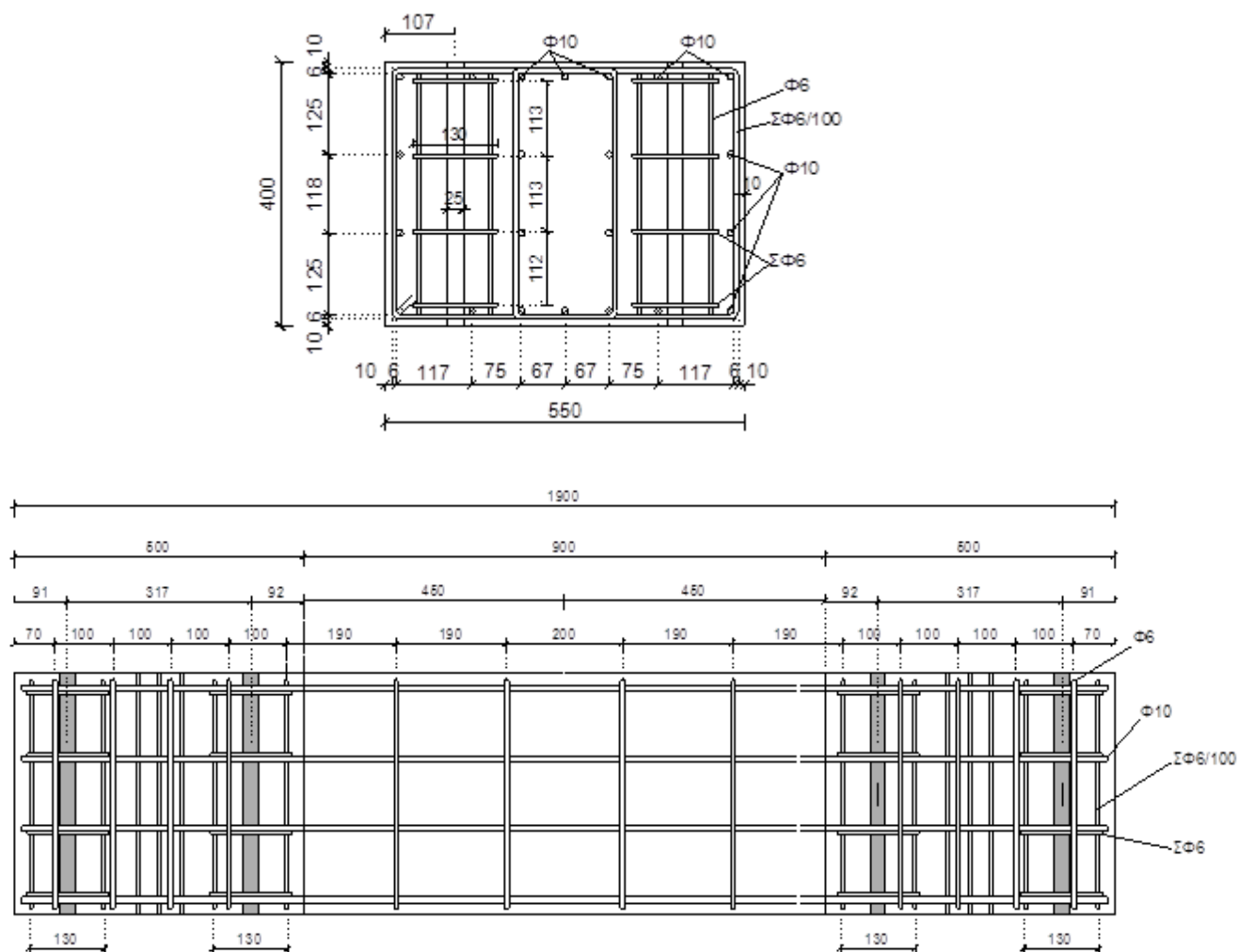
Σχήμα 1.4 - Έμπληξη των βλήτρων (Φ6) και τα 2 μεταλλικά πλέγματα οπλισμού του τοιχώματος.



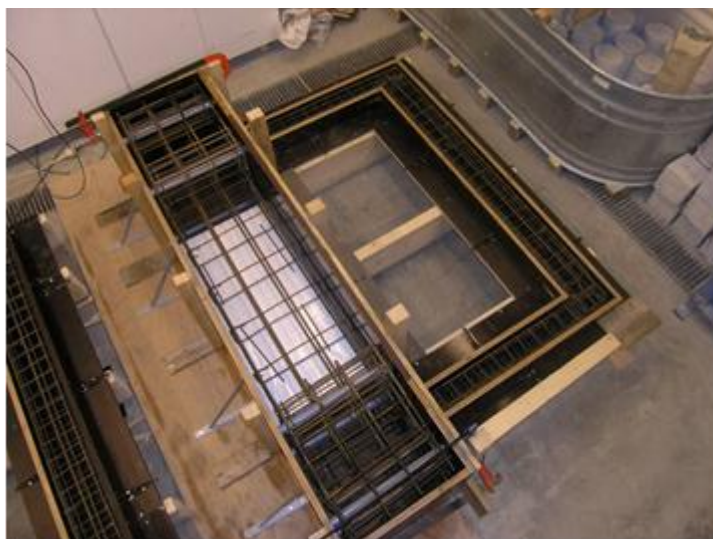
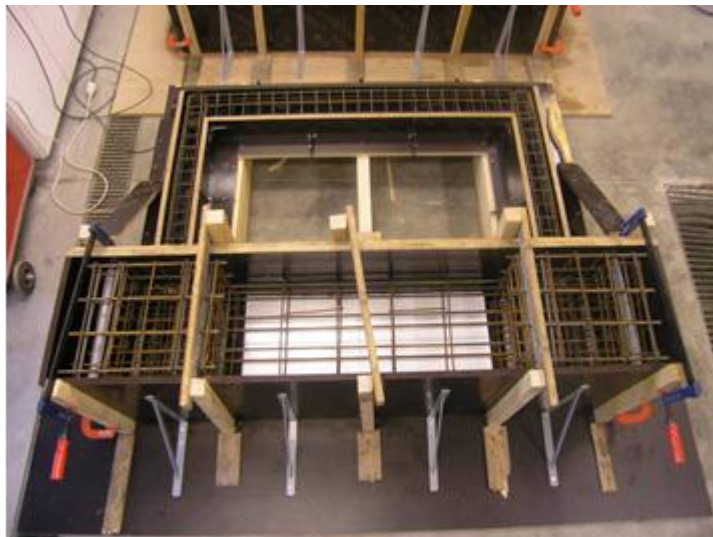
Σχήμα 1.5 - Πλαίσιο μετά την έμπληξη των βλήτρων περιμετρικά και την τοποθέτηση του διπλού μεταλλικού πλέγματος στο τοίχωμα.



Σχήμα 1.6 - Γενικά χαρακτηριστικά δοκιμίων A1 έως A5 (διαστάσεις σε mm).



Σχήμα 1.7 - Λεπτομέρειες όπλισης σώματος θεμελίωσης πλαισίων A1 έως A7 (διαστάσεις σε mm).



Σχήμα 1.8 - Ξυλότυπος και οπλισμός δοκιμίων Α1 έως Α5.



Σχήμα 1.9 - Οπλισμός και ξυλότυπος δοκιμίων Α6 και Α7 με ενισχυμένα υποστυλώματα.



(α)



(β)

Σχήμα 1.10 - (α) διαμήκεις οπλισμοί, συνδετήρες και εγκάρσιοι σύνδεσμοι δοκιμίου Α7 (φαίνονται οι οπές εμφύτευσης των βλήτρων στο υποστύλωμα), (β) αγκύρωση διαμήκων οπλισμών μανδύα στο πάνω κόμβο δοκιμίων Α6 και Α7.



Σχήμα 1.11- Λεπτομέρεια διαμόρφωσης διεπιφάνειας πλαισίου πριν την εμφύτευση των Βλήτρων και ενίσχυση των υποστυλωμάτων στο δοκίμιο Α7.

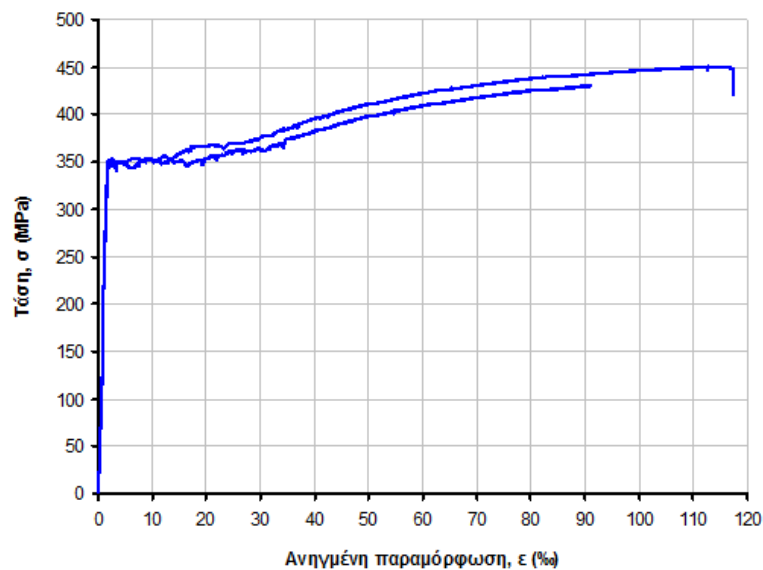
1.2. Αντοχή Υλικών

Τα χαρακτηριστικά των ράβδων οπλισμού παρουσιάζονται στον Πίν. 1.1. Η τάση διαρροής των ράβδων επελέγη ώστε να τηρούνται οι σχέσεις ομοιότητας για την αναλογία φυσικής κλίμακας 1:3 (βλέπε κεφ. 1.3). Η θλιπτική αντοχή σκυροδέματος προσδιορίστηκε από δοκιμές κυρίως σε κύβους $15 \times 15 \times 15$ cm, 28 ημέρες από την σκυροδέτηση και την ημέρα της δοκιμής (βλέπε Πίν. 1.2). Στον Πίν. 1.2, περιλαμβάνονται επίσης οι τιμές της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος κυλίνδρου για την ημέρα της δοκιμής, που εκτιμήθηκαν με βάση τη θλιπτική αντοχή κύβου. Στην περίπτωση που δεν έγινε δοκιμή θλίψης την ημέρα της δοκιμής, εκτιμήθηκε η θλιπτική αντοχή κυλίνδρου με βάση την αντοχή κύβου 28 ημ. λαμβάνοντας υπόψη τα σχετικά αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος κύβου όλων των δοκιμών. Επισημαίνεται ότι για την κοκκομετρία των αδρανών του μίγματος σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε, τηρήθηκε η σχέση ομοιότητας με βάση την κλίμακα 1:3.

1.2.1. Χάλυβας οπλισμού

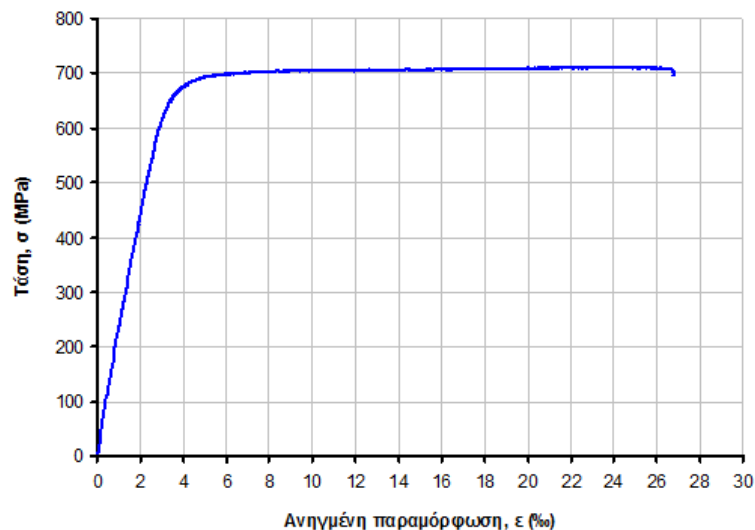
Για τους συνδετήρες των υποστυλωμάτων και της δοκού του πλαισίου επελέγη να χρησιμοποιηθεί σύρμα Φ3 που έχει υποστεί έλαση με μέση τάση διαρροής $f_{sy} \approx 560$ MPa, ώστε η διάμετρος να είναι συμβατή με την κλίμακα 1:3, καθόσον αντιστοιχεί σε διάμετρο συνδετήρα Φ8 στο πρωτότυπο.

Για τον διαμήκη οπλισμό επελέγη να χρησιμοποιηθούν ως διαμήκης οπλισμός λείες ράβδοι Φ6 με μέση τάση διαρροής 350 MPa (βλέπε Σχ. 1.12), ώστε να ικανοποιούνται όσον το δυνατόν καλύτερα οι σχέσεις ομοιότητας για την κλίμακα 1:3 σε σχέση με τις λείες ράβδους Φ18 ή Φ20 του διαμήκη οπλισμού στο πρωτότυπο για παλιές οικοδομές προ του 1980.

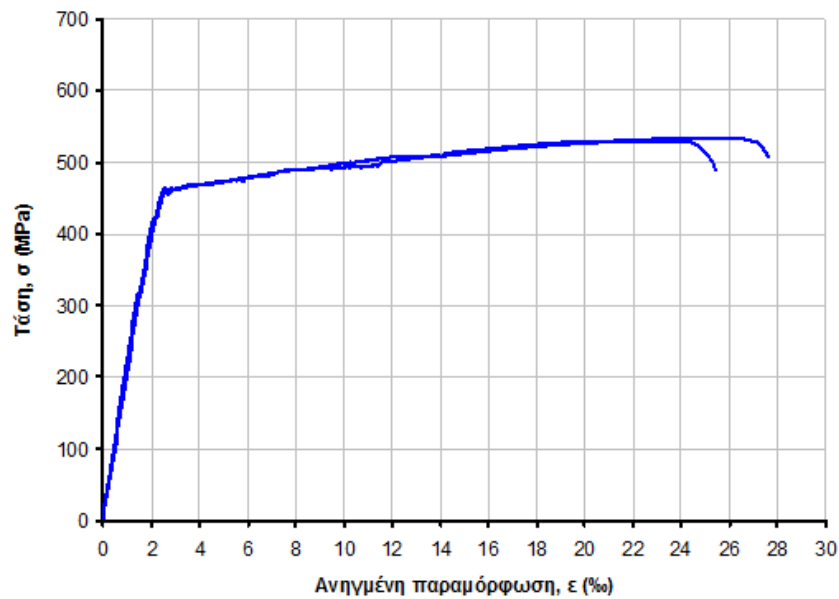


Σχήμα 1.12 - Διάγραμμα σ-ε σε εφελκυσμό λείων ράβδων χάλυβα Φ6 που χρησιμοποιήθηκαν ως διαμήκης οπλισμός στα δοκίμια.

Για τα βλήτρα επελέγη χάλυβας Φ6 με νευρώσεις από κουλούρα. Ο χάλυβας αυτός ευθυγραμμίστηκε και υποβλήθηκε σε διαδικασία ανόπτησης (650°C για 2 ώρες) ώστε να μειωθεί η τάση διαρροής του από 665 σε 470 MPa και να αυξηθεί η ολκιμότητά του στα επιθυμητά επίπεδα με βάση τις σχέσεις ομοιότητας (βλέπε 1.3). Το διάγραμμα σ-ε σε εφελκυσμό ράβδων χάλυβα Φ6 με νευρώσεις πριν και μετά την ανόπτηση παρουσιάζεται στα Σχ. 1.13α και 1.13β, αντίστοιχα.



Σχήμα 1.13α - Διάγραμμα σ-ε σε εφελκυσμό ράβδων χάλυβα Φ6 (με νευρώσεις) μετά την ευθυγράμμιση από την κουλούρα (χωρίς ανόπτηση).



Σχήμα 1.13β - Διάγραμμα σ - ϵ σε εφελκυσμό ράβδων χάλυβα Φ6 (με νευρώσεις) μετά από ανόπτηση (650°C/2 ώρες) που χρησιμοποιήθηκαν ως βλήτρα.

Για το διαμήκη οπλισμό του μανδύα ενίσχυσης των υποστυλωμάτων στα δοκίμια A6 και A7 χρησιμοποιήθηκαν ράβδοι χάλυβα B450 σε αντιστοιχία ράβδων χάλυβα B500 στο πρωτότυπο.

Πίνακας 1.1 - Χαρακτηριστικά ράβδων οπλισμού.

ράβδοι οπλισμού	διάμετρος	είδος χάλυβα	περιγραφή	f_{sy} (MPa)	ϵ_{sy} (‰)
Διαμήκεις:					
δοκοί πλαισίου	Φ6	λείος	8Φ6	350	1,75
υπ/τα πλαισίου	Φ6	λείος	6Φ6	350	1,75
μανδύας	Φ8	με νευρώσεις	12Φ8	450	2,25
Συνδετήρες:					
δοκοί	Φ3	σύρμα	Σ Φ3/60	560	-
υπ/τα πλαισίου	Φ3	σύρμα	Σ Φ3/60	560	-
μανδύας	Φ3	σύρμα	Σ Φ3/40	560	-
Βλήτρα:					
γενικά	Φ6	με νευρώσεις	Φ6/100	470	2,35

Πίνακας 1.2 - Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος πλαισίου και τοιχώματος για όλα τα δοκίμια.

δοκίμιο	ημερομηνία σκυροδέτησης πλαισίου	f_c κύβου (κυλίνδρου) 28 ημ. πλαισίου (MPa)	f_c κύβου (κυλίνδρου) πλαισίου την ημέρα δοκιμής (MPa)	ημερομηνία σκυροδέτησης τοιχώματος- μανδύα	f_c κύβου (κυλίνδρου) 28 ημ. τοιχώματος- μανδύα (MPa)	f_c κύβου (κυλίνδρου) τοιχώματος – μανδύα την ημέρα δοκιμής (MPa)	ημερομηνία δοκιμής
A1	23/3/11	35,8 (28,6)	41,1 (32,9)	-	-	-	12/7/11
A2	23/3/11	35,8 (28,6)	41,1 (32,9)	16/5/11	27,9 (22,3)	34,9 (27,9)	12/8/11
A3	16/5/11	27,9 (22,3)	34,9 (27,9)	1/6/11	34,8 (27,8)	40,0 (32,0)	5/9/11
A4	16/5/11	27,9 (22,3)	34,9 (27,9)	1/6/11	34,8 (27,8)	40,0 (32,0)	15/9/11
A5	15/7/11	27,5 (22,0)	34,4 (27,5)	5/8/11	33,5 (26,8)	38,5 (30,8)	17/2/12
A6	4/11/11	30,2 (24,2)	36,9 (29,5)	27/12/11	25,8 (20,6)	35,0 (28,0)	8/6/12
A7	15/7/11	27,5 (22,0)	35,6 (28,5)	7/1/12	28,4 (22,7)	37,4 (29,9)	5/7/12
B1	9/3/12	28,3 (22,6)	36,9 (29,5)	9/4/12	30,8 (24,6)	36,7 (29,4)	22/6/12
B2	4/11/11	30,2 (24,2)	36,9(29,5)	27/12/11	25,8 (20,6)	33,6 (26,9)	25/2/12
B3	20/2/12	29,2 (23,4)	36,6 (29,3)	9/4/12	30,8 (24,6)	36,7 (29,4)	1/6/12

1.2.2. Μίγμα σκυροδέματος

Εξετάστηκαν δύο δοκιμαστικά μίγματα σκυροδέματος για την κατασκευή των δοκιμών σε κλίμακα 1:3. Στις συνθέσεις του σκυροδέματος που δοκιμάστηκαν έγινε προσπάθεια να τηρηθεί η υιοθετηθείσα κλίμακα 1:3 στο μέγεθος των κόκκων των αδρανών και της άμμου. Με βάση μία κοκκομετρική διαβάθμιση που θεωρήθηκε καταλληλότερη προέκυψε γαρμπίλι και άμμος με διάσταση μέγιστου κόκκου 10 και 4 mm, αντίστοιχα. Στη συνέχεια τα υλικά κοσκινίστηκαν ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη κοκκομετρική διαβάθμιση. Επισημαίνεται ότι δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στο ποσοστό της παιπάλης ώστε να μην υπερβαίνει το 10% του μίγματος. Η ανηγμένη θλιπτική παραμόρφωση του σκυροδέματος που αντιστοιχεί στη θλιπτική αντοχή μετρήθηκε μέσω ηλεκτρομηκυνσιομέτρων (strain-gages) και ειδικό πλαίσιο με 2 μηχανοσκόπια σε κυλίνδρους διαμέτρου 15 cm και ύψους 30 cm (βλέπε Σχ. 1.14).

Οι αναλογίες 1 m^3 του μίγματος σκυροδέματος, που τελικά χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των υπό κλίμακα δοκιμών και του μανδύα ενίσχυσης των υποστυλωμάτων για τα δοκίμια A6 και A7, έχουν ως εξής:

- Τσιμέντο (T): 300 kg
- Νερό (N): $N/T = 0.70$
- Αδρανή (A): $A/T = 5,63$

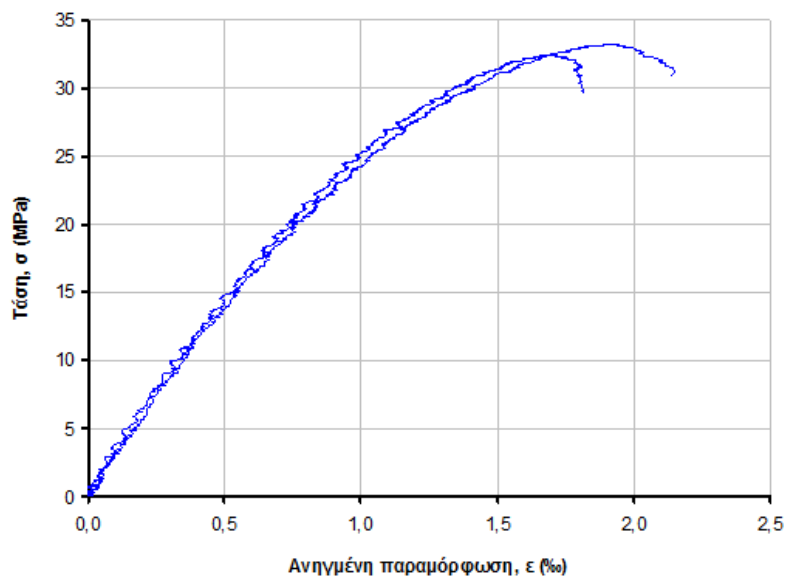
Τα αδρανή αποτελούνται κατά 20% από γαρμπίλι ($4 \leq D_a \leq 10 \text{ mm}$), και κατά 80% από άμμο (25% με $2 \leq D_a \leq 4 \text{ mm}$, 20% με $1 \leq D_a \leq 2 \text{ mm}$, 15% με $0,5 \leq D_a \leq 1 \text{ mm}$, και 20% με $D_a \leq 0,5 \text{ mm}$).

Η μέση θλιπτική αντοχή κυλίνδρου του σκυροδέματος όλων των δοκιμών σε 28 ημέρες και την ημέρα της δοκιμής είναι 24 και 30 MPa, αντίστοιχα. Το ίδιο μίγμα σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκε και για τον μανδύα ενίσχυσης των υποστυλωμάτων για τα δοκίμια A6 και A7.

1.3. Παράμετροι Δοκιμών

Κατά την επιλογή των τελικών παραμέτρων των οπλισμών των δοκιμών συνεκτιμήθηκαν οι ακόλουθοι παράγοντες:

- Ικανοποίηση των σχέσεων ομοιότητας με βάση την κλίμακα 1:3
- Διατάξεις των κανονισμών του 1954, ΕΚΩΣ και ΕΑΚ
- Ο οπλισμός των υποστυλωμάτων να είναι εύλογος για ένα τυπικό κτήριο σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς προ του 1985.
- Η δοκός του πλαισίου να είναι ισχυρότερη από τα υποστυλώματα ώστε να αποκλειστεί η αστοχία του ζυγώματος.
- Τα υποστυλώματα να αστοχήσουν σε κάμψη και όχι σε τέμνουσα.

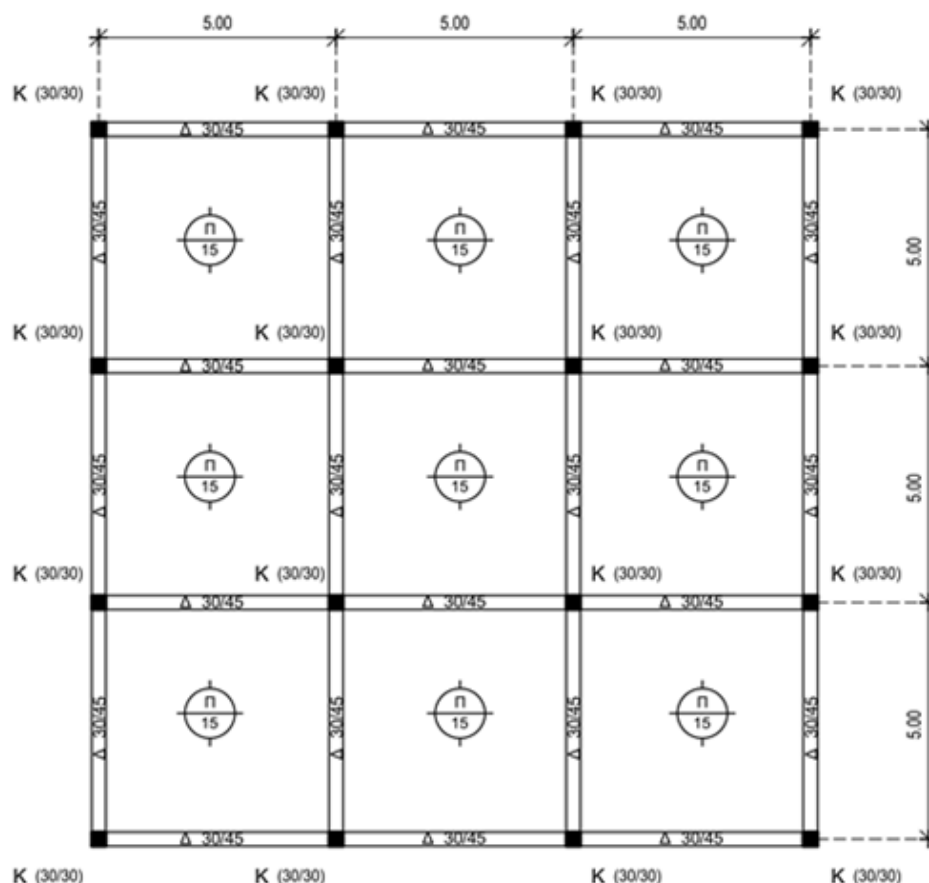


Σχήμα 1.14 - Διάγραμμα σ-ε σε θλίψη κυλινδρικών δοκιμίων (15x30 cm) για το σκυρόδεμα των πλαισίων δοκιμίου A1 και A2 την ημέρα δοκιμής δοκιμίου A1 ($\epsilon_{cp} \approx 1.8\%$).

1.3.1. Διαμήκης οπλισμός υποστυλωμάτων πλαισίου

Για τα υποστυλώματα των δοκιμίων (10×10 cm) επελέγη λείος χάλυβας Φ6 με μέση τάση διαρροής, $f_{sy}=350$ MPa και τοποθετήθηκαν 6Φ6 ($\rho_s=1,70\%$). Ο οπλισμός αυτός αντιστοιχεί σε οπλισμό 4Φ18 ($\rho=1,13\%$) στο πρωτότυπο υποστύλωμα διατομής 30×30 cm, όπως υπολογίζεται αναλυτικά στη συνέχεια. Για τον υπολογισμό ενός τυπικού ποσοστού διαμήκη οπλισμού υποστυλώματος επιλύθηκε ένα τριώροφο κτήριο με τυπική κάτοψη 15×15 m, δοκούς διατομής 30/45 και υποστυλώματα διατομής 30/30 (Σχ. 1.15). Η επίλυση έγινε με βάση τους προ του 1985 ισχύοντες κανονισμούς για συνήθη φορτία χρήσης και για σεισμικό συντελεστή $\epsilon=0,06$. Για τα υποστυλώματα 30×30 cm προέκυψαν ποσοστά διαμήκη οπλισμού, $\rho_s=0,01\div0,029$. Τα επιτρεπόμενα ποσοστά οπλισμού διαμήκη οπλισμού σε υποστύλωμα είναι:

- Κανονισμός 1954: $0,008 \leq \rho_s \leq 0,06$
- ΕΚΩΣ: $0,01 \leq \rho_s \leq 0,04$



Σχήμα 1.15 - Τυπική κάτοψη τριώροφου κτηρίου.

Για την αντιστοιχία του διαμήκη οπλισμού φυσικού προσομοιώματος και πρωτοτύπου με βάση τις σχέσεις ομοιότητας, αναφέρονται οι αναλογίες των μεγεθών ανηγμένης παραμόρφωσης και της θλιπτικής αντοχής του πρωτοτύπου (p) προς το προσομοίωμα (m) σύμφωνα με την κλίμακα 1:3. Με βάση τη μέση θλιπτική αντοχή 28 ημερών για το σκυρόδεμα των δοκιμών, $\sigma_{cm} = 24 \text{ MPa}$ ($\epsilon_{cm} \approx 1,8 \text{ ‰}$) και εάν το σκυρόδεμα της παλαιάς κατασκευής (πρωτότυπο, p) είναι C20/25 με $\epsilon_{cp} \approx 2,0 \text{ ‰}$ (βλέπε Σχ. 1.16), ο συντελεστής ομοιότητας για τη θλιπτική αντοχή σκυροδέματος κυλίνδρου είναι:

$$S_{\sigma_c} = \sigma_{cp} / \sigma_{cm} = 20 / 24 = 0,83 \quad (1)$$

Επειδή το υλικό οπλισμού για τα δοκίμια υπό κλίμακα (m) και για την πρωτότυπη κατασκευή (p) αναγκαστικά είναι χάλυβας, για τον συντελεστή ομοιότητας της τάσης διαρροής του χάλυβα οπλισμού, $S_{\sigma_s} = \sigma_{sp} / \sigma_{sm}$, ισχύει ότι,

$$S_{\sigma_s} = S_{\epsilon_s} \quad , \quad (2)$$

όπου $S_{\epsilon_s} = \epsilon_{sp} / \epsilon_{sm}$ είναι ο συντελεστής ομοιότητας της ανηγμένης παραμόρφωσης διαρροής του χάλυβα.

Αλλά, λόγω συνάφειας,

$$S_{\epsilon_s} = S_{\epsilon_c} = 2 / 1,8 = 1,11 \quad , \quad (3)$$

όπου $S_{\varepsilon_c} = \varepsilon_{cp} / \varepsilon_{cm}$, και επομένως θα πρέπει

$$S_{\sigma_s} = S_{\varepsilon_s} = 1.11 \quad (2)$$

Άρα, εάν γίνει η υπόθεση ότι η τάση διαρροής του χάλυβα οπλισμού της πρωτότυπης (p) παλαιάς κατασκευής (λείος οπλισμός) είναι $\sigma_{yp} = 400$ MPa, ο χάλυβας οπλισμού στα δοκίμια υπό κλίμακα 1:3 ($S_l=3$) θα πρέπει να είναι λείος και να έχει μέση τάση διαρροής

$$\sigma_{ym} = \sigma_{yp} / S_{\sigma_s} = 400 / 1.11 = 360 \text{ MPa}$$

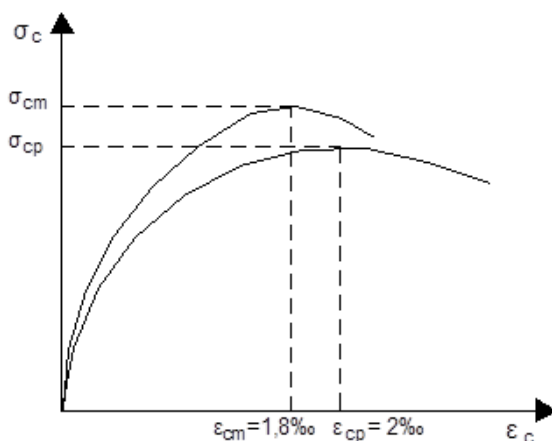
Άρα, με βάση τους νόμους ομοιότητας, ο συντελεστής ομοιότητας της διατομής του χάλυβα οπλισμού θα πρέπει να είναι:

$$S_{A_s} = S_l^2 S_{\sigma_c} / S_{\sigma_s} = S_l^2 S_{\sigma_c} / S_{\varepsilon_s} = 9 \times 0.83 / 1.11 \approx 6.7 \quad (4)$$

και όχι $S_l^2 = 9$.

Παρατηρούμε ότι με βάση τη σχέση ομοιότητας (4) για κλίμακα 1:3, για ένα πρωτότυπο υποστύλωμα (30 x 30 cm) με S400 διαμήκη λείο οπλισμό 4Φ18 ($A_{sp} = 10.17 \text{ cm}^2$) με μέση τάση διαρροής περίπου 400 MPa, ο διαμήκης οπλισμός στα υποστυλώματα των δοκιμών υπό κλίμακα θα πρέπει να είναι λείες ράβδοι με μέση τάση διαρροής περίπου 360 MPa και διατομής συνολικού εμβαδόν ίσο με $A_{sm} = A_{sp} / 6.7 = 10.17 / 6.7 \approx 1.50 \text{ cm}^2$.

Άρα, για τα πλαίσια των δοκιμών υπό κλίμακα (προσομοίωμα, m), με βάση τα παραπάνω, ο διαμήκης οπλισμός στα υποστυλώματα επιλέγεται ως **6Φ6** ($=1.70 \text{ cm}^2$). Για το διαμήκη οπλισμό του μανδύα ενίσχυσης των υποστυλωμάτων στα δοκίμια A6 και A7 επιλέχθηκαν ράβδοι με νευρώσεις B450 σε αντιστοιχία με το διαμήκη B500 στη πρωτότυπη κατασκευή ($\sigma_{ym} = \sigma_{yp} / S_{\varepsilon_s} = 500 / 1.11 \approx 450 \text{ MPa}$).



Σχήμα 1.16- Σχηματικό διάγραμμα σ-ε σε θλίψη σκυροδέματος πρωτοτύπου (p) και προσομοιώματος (m).

1.3.2. Συνδετήρες υποστυλωμάτων πλαισίου

Με βάση τον κανονισμό του 1954 η κατά μήκος απόσταση των συνδετήρων, e , θα έπρεπε να είναι:

- (α) $e \leq$ μικρότερης διάστασης υποστυλώματος
- (β) $e \leq 12\Phi_{\min}$ (Φ_{\min} =ελάχιστη διάμετρος διαμήκη οπλισμού)

Η εφαρμογή των περιορισμών αυτών στα υποστυλώματα των δοκιμών δίνει:

- (α) $e \leq 100$ mm, και
- (β) $e \leq 12 \times 6 = 72$ mm

Με βάση τον ΕΚΩΣ, η κατά μήκος απόσταση μεταξύ των συνδετήρων εντός H_{kr} , s , πρέπει να είναι:

- (α) $s \leq 0,50(d, b)$ (μικρότερη διάσταση υποστυλώματος)
- (β) $s \leq 8 \Phi_{\min}$ (ελάχιστη διάμετρος διαμήκη οπλισμού)
- (γ) $s \leq 100$ mm

Η εφαρμογή των περιορισμών αυτών στα υποστυλώματα των δοκιμών συνεπάγεται:

- (α) $s \leq 50$ mm, (β) $s \leq 8 \times 6 = 48$ mm, και (γ) $s \leq 100$ mm

Τελικά, επελέγη να τοποθετηθούν στα υποστυλώματα και στις δοκούς των πλαισίων συνδετήρες **ΣΦ3/60** από χάλυβα (σύρμα **Φ3**) με τάση διαρροής $f_{sy} \approx 560$ MPa. Κριτήριο επιλογής ήταν η τήρηση της κλίμακας 1:3, αλλά κυρίως η επιδίωξη αστοχίας σε κάμψη και αποφυγή αστοχίας σε τέμνουσα.

1.3.3. Οπλισμός δοκού πλαισίου

Η δοκός των πλαισίων σχεδιάστηκε να έχει υψηλότερη αντοχή από τα υποστυλώματα ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος αστοχίας της. Αυτό είναι συμβατό με την πρακτική κατασκευής κτηρίων πριν τις πρόσθετες διατάξεις του 1985. Τοποθετήθηκαν στη δοκό συνδετήρες ΣΦ3/60 ($f_{sy} \approx 560$ MPa), όπως και στα υποστυλώματα, και διαμήκης οπλισμός 8Φ6 (βλέπε Σχ. 2.6). Για τον διαμήκη οπλισμό επελέγη λείος χάλυβας 8Φ6 (Σχ. 2.6) με τάση διαρροής, $f_{sy} = 350$ MPa.

1.3.4. Οπλισμός εμφαννόμενου τοιχώματος

Στα εμφαννόμενα τοιχώματα τοποθετήθηκαν 2 μεταλλικά πλέγματα Φ5/100 (χάλυβας B500), ένα σε κάθε παρειά με επικάλυψη 6 mm. Το ποσοστό του οριζόντιου και κατακόρυφου οπλισμού για το κάθε πλέγμα είναι:

$$\rho_v = \rho_h = \frac{0,196}{5 \times 10} = 0,39\%$$

Τα πλέγματα δεν αγκυρώθηκαν στο περιβάλλον πλαίσιο.

1.3.5. Βλήτρα

Ως βάση των υπολογισμών των σχέσεων ομοιότητας λαμβάνεται η σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (εξ. 6.9) με μείωση της αντοχής των βλήτρων λόγω ανακυκλιζόμενης φόρτισης:

$$F_{ud} = 0.65 d_b^2 \sqrt{f_{cd} f_{yd}} \quad (5)$$

Για την επιλογή σπλισμού των βλήτρων στα υπό κλίμακα δοκίμια, λαμβάνονται υπόψη οι νόμοι ομοιότητας που θα πρέπει να ικανοποιούν τα χαρακτηριστικά σκυροδέματος και χάλυβα του πρωτότυπου και τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος και χάλυβα που θα χρησιμοποιηθούν στα δοκίμια.

Για το σκυρόδεμα ισχύει:

Πρωτότυπο (p): $\sigma_{cp} = 20 \text{ MPa}$, $\varepsilon_{cp} \approx 2,0 \text{ ‰}$

Προσομοίωμα (m): $\sigma_{cm} = 24 \text{ MPa}$, $\varepsilon_{cm} \approx 1,8 \text{ ‰}$

Εάν για τα βλήτρα στο πρωτότυπο (p) χρησιμοποιηθεί χάλυβας με νευρώσεις B500 με μέση τάση διαρροής $\sigma_{sp} = 500 \text{ MPa}$, θα πρέπει στα δοκίμια (m) με $S_\ell = 3$ να τοποθετηθούν βλήτρα από χάλυβα με νευρώσεις με μέση τάση διαρροής (βλέπε σχέση 2)

$$\sigma_{ym} = \sigma_{yp} / S_{\sigma_s} = \sigma_{yp} / S_{\varepsilon_s} = 500 / 1.11 \approx 450 \text{ MPa} \quad (2a)$$

Εάν ο συντελεστής κλίμακας της διατμητικής αντοχής των βλήτρων σε τέμνουσα, S_{F_s} , που με βάση τη σχέση (5) ισούται με

$$S_{F_s} = S_{A_s} \sqrt{S_{\sigma_s} S_{\sigma_c}} \quad , \quad (6)$$

εξισωθεί με το συντελεστή κλίμακας της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, S_{F_c} , που ευρίσκεται σε επαφή με τα βλήτρα, δηλαδή

$$S_{F_s} = S_{A_s} \sqrt{S_{\sigma_s} S_{\sigma_c}} = S_{F_c} = S_{A_c} S_{\sigma_c} = S_\ell^2 S_{\sigma_c} \quad , \quad (7)$$

με βάση τη σχέση (7) εκτιμάται ο συντελεστής κλίμακας της διατομής των βλήτρων, S_{A_s} , ως:

$$S_{A_s} = S_\ell^2 S_{\sigma_c} / \sqrt{S_{\sigma_s} S_{\sigma_c}} = S_\ell^2 \sqrt{\frac{S_{\sigma_c}}{S_{\sigma_s}}} \quad (8)$$

Επομένως, για $S_{\sigma_c} = 0,83$ και $S_{\sigma_s} \approx 1,11$,

$$S_{A_s} = A_{sp} / A_{sm} = 9 \sqrt{\frac{0,83}{1,11}} \approx 7,8 \quad (9)$$

Άρα, για βλήτρα **Φ18** στο πρωτότυπο ($A_{sp} = 2,54 \text{ cm}^2$) αντιστοιχούν στο προσομοίωμα βλήτρα διατομής $A_{sm} = A_{sp} / S_{A_s} \approx 0,32 \text{ cm}^2$, δηλαδή διαμέτρου περίπου 6,4 mm, και επιλέγεται ράβδος **Φ6** ($A_{sm} = 0,28 \text{ cm}^2$).

Ως βλήτρα στα δοκίμια χρησιμοποιήθηκαν ράβδοι χάλυβα Φ6 με νευρώσεις από κουλούρα. Ο χάλυβας αυτός ευθυγραμμίστηκε και, με βάση τις σχέσεις ομοιότητας καθόσον αφορά στην επιθυμητή τάση διαρροής και ολκιμότητα, υποβλήθηκε σε διαδικασία ανόπτησης (650°C για 2 ώρες) ώστε να μειωθεί η τάση διαρροής του από περίπου 665 MPa σε $f_{sy}=470$ MPa και να αυξηθεί η πλαστιμότητα. Το διάγραμμα $\sigma-\epsilon$ για τη δοκιμή εφελκυσμού για τις ράβδους Φ6 πριν την ανόπτηση και των ράβδων Φ6 μετά την ανόπτηση που χρησιμοποιήθηκαν ως βλήτρα στα δοκίμια, παρουσιάζεται στο Σχ. 1.13α και 1.13β, αντίστοιχα.

Με βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (παρ. 8.2.1.3), το ελάχιστο ποσοστό βλήτρων σε μία διεπιφάνεια είναι, $\rho_{\delta} \geq 0,18 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,18 \frac{2,60}{471} = 0,1\%$. Για πάχος τοιχώματος 5 cm και βλήτρα Φ6/100, προκύπτει

$$\text{ποσοστό: } \rho_{\delta} = \frac{A_{sd}}{A_{cd}} = \frac{0,283 \text{ cm}^2}{10 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}} = 0,57\% > 0,1\%$$

Το βάθος έμπηξης των βλήτρων εντός των στοιχείων του πλαισίου (δοκός, υποστυλώματα) ελήφθη ίσο με 5 cm (8Φ=8x0.6=4.8 cm). Εντός του τοιχώματος προβλέφθηκε μήκος βλήτρου 10 cm.

Η φέρουσα ικανότητα ενός βλήτρου σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση για τα βλήτρα Φ6/100 που τοποθετήθηκαν στα δοκίμια υπό κλίμακα εκτιμάται ως:

$$F_{udm} = 0,65 d_b^2 \sqrt{f_{cd} f_{yd}} = 0,65 \times 0,006^2 \sqrt{25 \times 470} = 2,54 \text{ kN}$$

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη τις ελάχιστες απαιτήσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ., καθώς και την τήρηση της κλίμακας 1:3, για τα δοκίμια υπό κλίμακα επελέγησαν βλήτρα **Φ6/100** (ράβδοι χάλυβα με νευρώσεις και $f_{sy}=470$ MPa), που αντιστοιχούν στο πρωτότυπο σε βλήτρα περίπου **Φ18/300** (ράβδοι χάλυβα B500 με νευρώσεις).

1.3.6. Οπλισμός στοιχείου θεμελίωσης

Τα στοιχεία θεμελίωσης οπλίστηκαν με ράβδους χάλυβα ποιότητας B500C (βλέπε Σχ. 1.7). Η βάση των δοκιμών πακτώθηκε στο μεταλλικό πλαίσιο της πειραματικής διάταξης μέσω 8 αγκυρίων Dywidag. Κατά τη σκυροδέτηση εγκιβωτίστηκαν εντός του σκυροδέματος πλαστικοί σωλήνες Φ25 στις προβλεπόμενες θέσεις για τη χρήση των αγκυρίων. Τοποθετήθηκαν επίσης πρόσθετοι συνδετήρες γύρω από τα αγκύρια για την ανάληψη τυχόν δυνάμεων διάρρηξης. Η σκυροδέτηση τόσο του πλαισίου όσο και του εμφατνούμενου τοιχώματος έγιναν σε οριζόντια διάταξη των δοκιμών στο δάπεδο του εργαστηρίου. Για τη βάση (θεμελίωση) των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε έτοιμο σκυρόδεμα (γαρμπιλομπετό) ονομαστικής αντοχής C25/30.

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Για τις ανάγκες εκτέλεσης των δοκιμών της παρούσας έρευνας απαιτήθηκε η ενίσχυση του υφιστάμενου μεταλλικού πλαισίου του Εργαστηρίου «Τεχνολογίας και Κατασκευών Ο.Σ.» ώστε να γίνει δυνατή η επιβολή της προβλεπόμενης φόρτισης στα δοκίμια. Η τελική μορφή της πειραματικής διάταξης φαίνεται στα Σχήματα 2.1 και 2.2.

Για τις δοκιμές, τα δοκίμια πακτώθηκαν στη βάση τους στο μεταλλικό πλαίσιο του εργαστηρίου μέσω οκτώ (8) αγκυρίων Dywidag διαμέτρου Φ18, και επιβλήθηκε οριζόντια φόρτιση στον άξονα της πάνω δοκού μέσω υδραυλικού εμβόλου MTS ± 500 kN ελεγχόμενου από ψηφιακό σερβοϋδραυλικό σύστημα λειτουργίας. Εκτός των μεταλλικών στοιχείων που απαιτήθηκαν για την έδραση του δοκιμίου και την αγκύρωσή του για την αποφυγή οριζόντιων ολισθήσεων και την ασφαλή εφαρμογή των ανακυκλιζόμενων οριζόντιων μετακινήσεων, τοποθετήθηκαν βοηθητικά μεταλλικά πλαίσια που πακτώθηκαν στη βάση του δοκιμίου. Στα πλαίσια αυτά στηρίχτηκαν μετρητικά όργανα και το σύστημα που εξασφάλισε το αμετάθετο του δοκιμίου εκτός του επιπέδου του (βλ. Σχ. 2.3).

Κατά τον σχεδιασμό της πειραματικής διάταξης δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην εξασφάλιση των ακόλουθων παραγόντων:

(α) Παρεμπόδιση μετακίνησης πλαισίου εκτός επιπέδου

Κατασκευάστηκε ειδικό σύστημα κύλισης το οποίο εμποδίζει μετακινήσεις του πλαισίου εκτός του επιπέδου του και επέτρεπε την ελεύθερη μετακίνησή του δοκιμίου στο επίπεδό του (βλ. Σχ. 2.3).

(β) Εφαρμογή οριζοντίου φορτίου και μετακινήσεων

Η φόρτιση του δοκιμίου έγινε μέσω ειδικής διάταξης μεταλλικής πλάκας/πείρου, ώστε αφενός μεν να εξασφαλίζεται η πλήρης και συνεχής επαφή του εμβόλου με το δοκίμιο, αφετέρου δε να επιτρέπεται ανεμπόδιστα τυχόν στροφή του δοκιμίου γύρω από τον οριζόντιο άξονα (κάθετο στο επίπεδο το δοκιμίου) κατά την επιβολή της φόρτισης.

Επισημαίνεται ότι στις περισσότερες δοκιμές που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία δεν έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην τήρηση των δύο ανωτέρω παραγόντων.