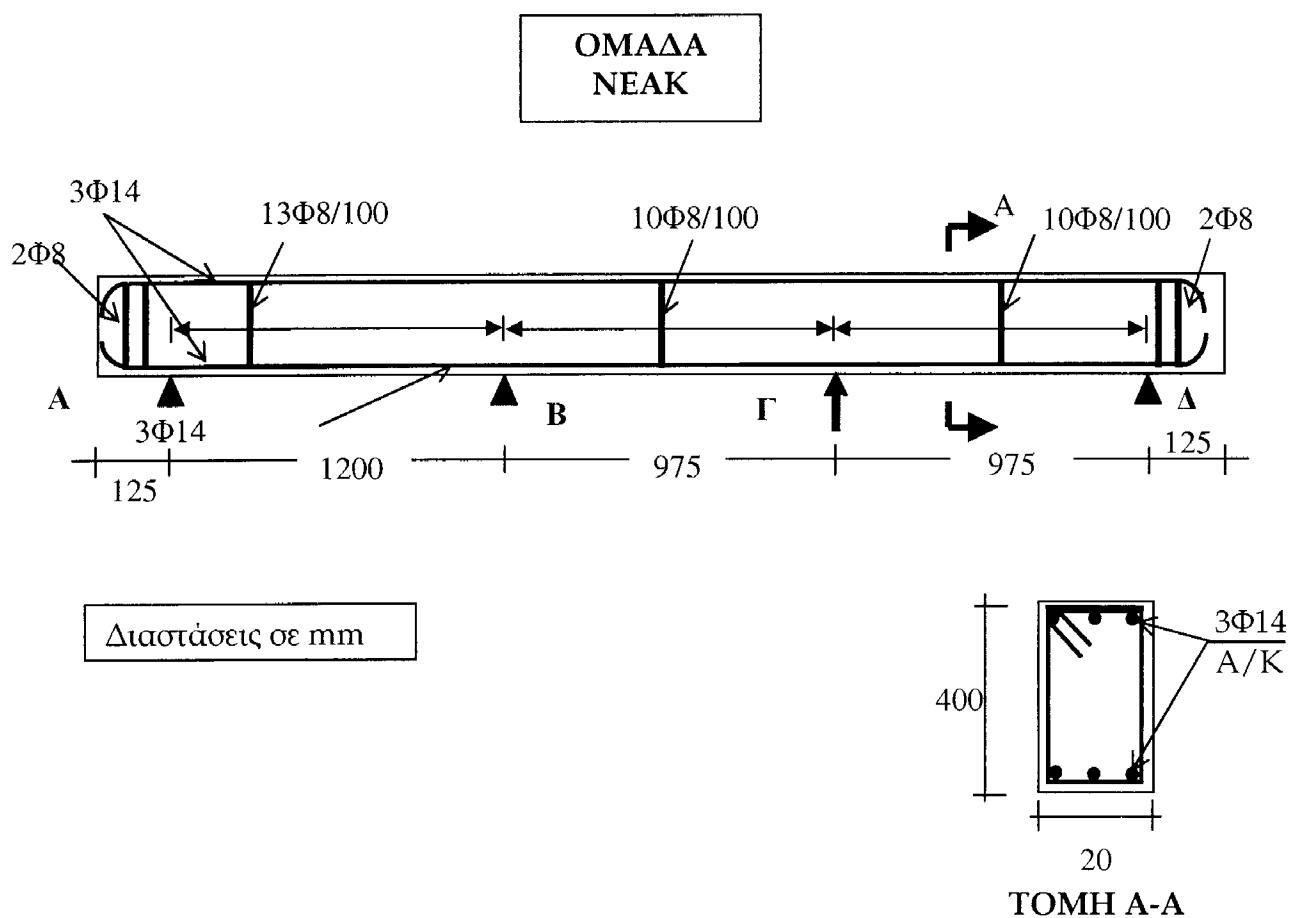


4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

4.1 Περιγραφή και συμβατική όπλιση των δοκιμίων

1) Τα πρώτα δύο δοκίμια που ελέγχθηκαν αναφέρονται σαν δοκίμια της ομάδας **NEAK**, που περιλαμβάνει τα **NEAK MONO** και **NEAK CYCLIC** που ελέγχονται σε μονοτονικώς αύξουσα και ανακυκλιζόμενη διέγερση αυξανόμενου εύρους, αντίστοιχα (Πίνακας 4.1). Και τα δύο δοκίμια είναι πανομοιότυπα, και δεν ενισχύθηκαν καθ' οιονδήποτε τρόπο, οπλίστηκαν δε σύμφωνα με τις διατάξεις του ΕΑΚ (ΟΑΣΠ, 2000) για πλαστική συμπεριφορά σε ανακυκλιζόμενη διέγερση.

Τα δοκίμια έχουν μήκος 340 cm με διατομή 20x40 cm² και είναι οπλισμένα και τα δύο με τον ίδιο τρόπο, όπως δείχνεται στο Σχήμα 4.1(α). Οι διαμήκεις οπλισμοί 3Ø14 συνεχείς άνω και κάτω (Α/Κ). είναι ποιότητας Stahl I (S220)

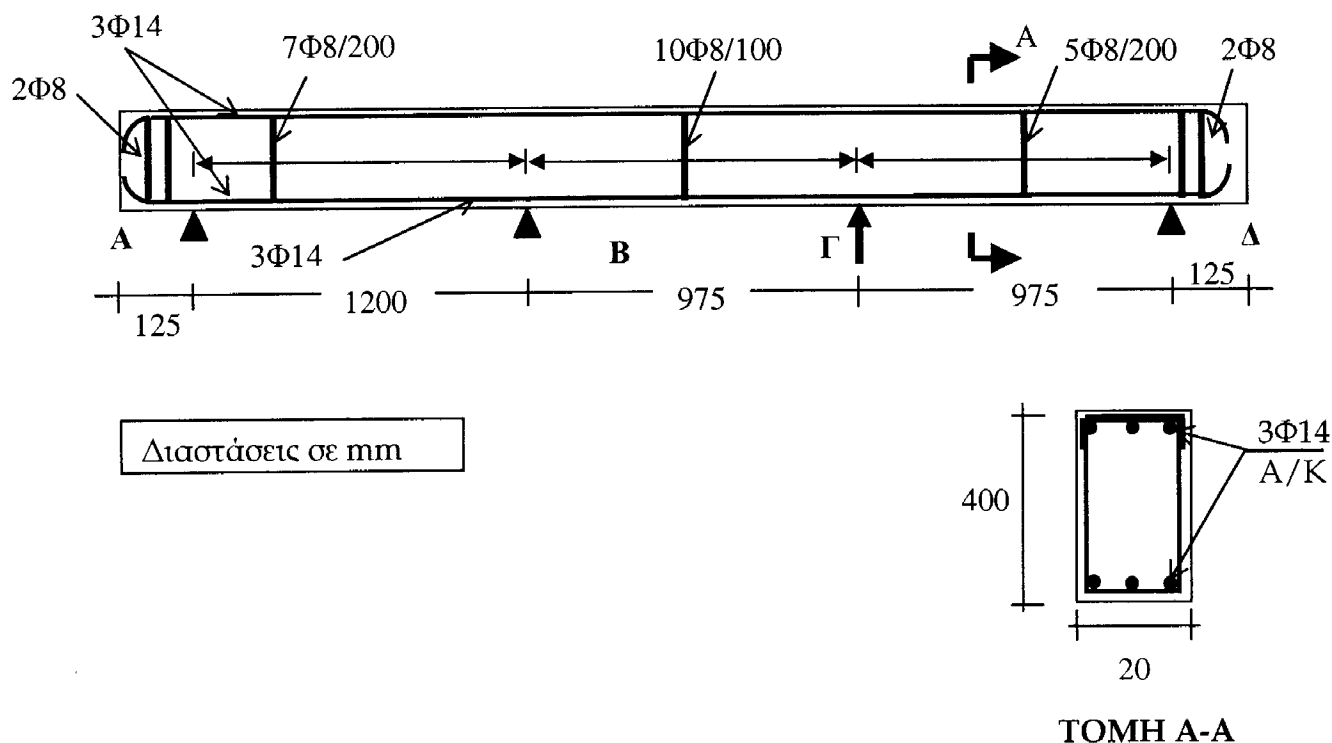


Σχήμα 4.1(α) Οπλισμοί δοκιμίων αρ. 1 και 2 : **NEAK MONO**, **NEAK CYCLIC**.

ίδιοι με των υπολοίπων έξη δοκιμίων, οι δε κλειστοί συνδετήρες είναι εφοδιασμένοι με την απαιτούμενη αγκύρωση προς το εσωτερικό της διατομής κατά 135° , είναι δε μορφωμένοι από μανδύα νευροχάλυβα ποιότητας S500, σε διάταξη $\varnothing 8/10\text{cm}$ σε όλο το μήκος του δοκιμίου. Για τοπική ενίσχυση στις στηρίξεις για την αποφυγή τοπικής αστοχίας του υλικού κοντά στη σημειακή έδραση, τοποθετήθηκαν δύο πρόσθετοι συνδετήρες στα σημεία στήριξης Α και Δ (Σχήμα 4.1(α)).

2) Τα υπόλοιπα έξη δοκίμια που κατασκευάστηκαν για να ελεγχθούν μετά από ενίσχυση, αναφέρονται στις τρεις ομάδες **G60**, **C1-30** και **MBAR**, οι οποίες περιλαμβάνουν τα δοκίμια **C1-30 MONO** και **C1-30 CYCLIC**, τα **G60 MONO** και **G60 CYCLIC** και τα **MBAR MONO** και **MBAR CYCLIC**, αντίστοιχα. Και τα έξη δοκίμια είναι πανομοιότυπα από πλευράς οπλισμών και διαστάσεων, και ενισχύθηκαν ευθύς μετά την κατασκευή τους ανάλογα

**ΟΜΑΔΕΣ
C1-30, G60, MBAR**



Σχήμα 4.1(β) Οπλισμοί δοκιμίων αρ. 3 έως 8 : C1-30 MONO, C1-30 CYCLIC, G60 MONO, G60 CYCLIC, MBAR MONO, MBAR CYCLIC.

με την περίπτωση, διαφορετικά για την κάθε ομάδα, όπως περιγράφεται στο επόμενο Κεφάλαιο.

Για την κάθε ομάδα από δύο δοκίμια του Πίνακα 4.1, το πρώτο δοκίμιο (**MONO**) ελέγχθηκε σε μονοτονική αύξουσα φόρτιση (τύπου ελεγχόμενης παραμόρφωσης του εμβόλου), ενώ το δεύτερο δοκίμιο, (**CYCLIC**) υποβλήθηκε σε αύξουσα ανακυκλιζόμενη φόρτιση.

Πίνακας 4.1 Σχεδιασμός και τεχνικές ενίσχυσης των δοκών

A/A	Ονομασία δοκιμίου	Διαστάσεις διατομής	Κανονισμός	Διαμήκης ενίσχυση	Εγκάρσια ενίσχυση
1	NEAK MONO	20/40	ΕΚΟΣ, 2000	-	-
2	NEAK CYCLIC	20/40	ΕΚΟΣ, 2000	-	-
3	C1-30 MONO	20/40	ΥΔΕ, 1959	Μία στρώση C1-30 A/Κ	Εγκάρσια Περιτύλιξη G60
4	C1-30 CYCLIC	20/40	ΥΔΕ, 1959	Μία στρώση C1-30 A/Κ	Εγκάρσια Περιτύλιξη G60
5	G60 MONO	20/40	ΥΔΕ, 1959	Τρεις στρώσεις G60 ΚΠ	Εγκάρσια Περιτύλιξη G60
6	G60 CYCLIC	20/40	ΥΔΕ, 1959	Τρεις στρώσεις G60 ΚΠ	Εγκάρσια Περιτύλιξη G60
7	MBAR MONO	20/40	ΥΔΕ, 1959	Τέσσερις ράβδοι Mbar ΚΠ	Εγκάρσια Περιτύλιξη G60
8	MBAR CYCLIC	20/40	ΥΔΕ, 1959	Τέσσερις ράβδοι Mbar ΚΠ	Εγκάρσια Περιτύλιξη G60

Όπως και τα πρώτα δύο δοκίμια, τα υπόλοιπα έξι δοκίμια είναι πανομοιότυπα και έχουν μήκος 340 cm με διατομή 40x20 cm² και είναι οπλισμένα όπως δείχνεται στο Σχήμα 4.1(β). Οι διαμήκεις οπλισμοί 3Ø14 άνω και κάτω είναι ποιότητας Stahl I (S220), οι δε κλειστοί συνδετήρες είναι και αυτοί ποιότητας Stahl I (S220), σε διάταξη Ø8/10cm στην περιοχή μεταξύ της μεσαίας στήριξης και του σημείου επιβολής του φορτίου, ΒΓ, και Ø8/20cm στο υπόλοιπο τμήμα του δοκιμίου, στις περιοχές με μεγαλύτερο λόγο διάτμησης, δεξιά του φορτίου, τμήμα ΑΒ, και στο αριστερό άνοιγμα ΓΔ. Για την τοπική ενίσχυση των στηρίξεων των δοκιμίων προς αποφυγή τοπικής

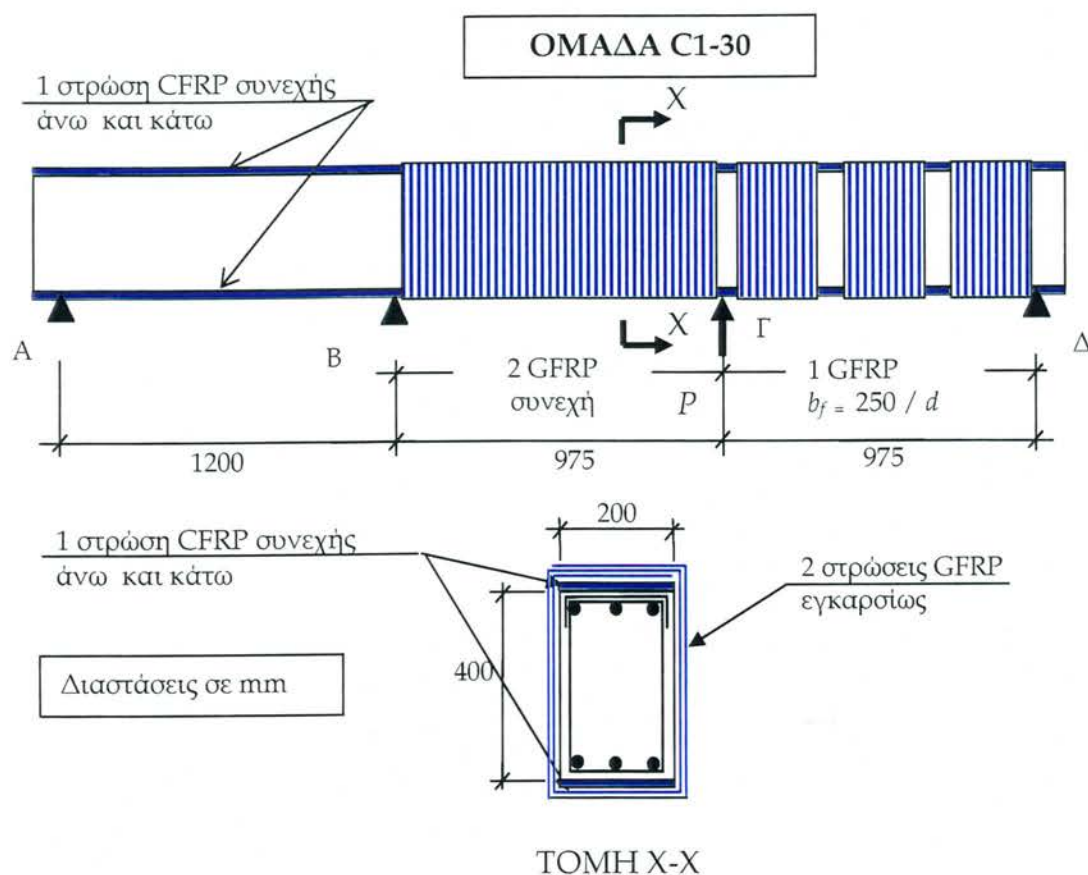
αστοχίας του υλικού κοντά στη σημειακή έδραση, τοποθετήθηκαν δύο πρόσθετοι συνδετήρες στα σημεία Α και Δ (Σχήμα 4.1(β)).

Μικρές τοπικά διαφορές στις διατομές από ΟΣ σημειώνονται για τα δοκίμια **MBAR**, τα οποία επρόκειτο να δεχθούν τις ράβδους Mbar, τα οποία είχαν εφοδιασθεί με προμορφωμένες χαραγές στη θέση τοποθέτησης των ράβδων ενίσχυσης στις πλαϊνές παρειές, στα 5 και 10 cm από τα πέλματα. Λόγω του θεωρητικού ύψους του ουδέτερου άξονα κατά την κάμψη, η ύπαρξη αυτών των εσοχών δεν επηρεάζει την αντοχή και ως εκ τούτου αγνοήθηκε.

4.2 Μέθοδος ενίσχυσης των δοκιμίων G60, C1-30 και MBAR

4.2.1 Ομάδα C1-30. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2, τα δύο δοκίμια **C1-30** ενισχύθηκαν εξωτερικά αρχικώς έναντι κάμψης, με την τοποθέτηση μιας στρώσης INOΠ ινών άνθρακα τύπου C1-30 κατά μήκος της άνω και κάτω (Α/Κ) παρειάς, με τη διεύθυνση των ινών παράλληλα προς το διαμήκη άξονα της δοκού. Ακολούθως, όπου απαιτήθηκε διατμητική ενίσχυση λόγω αύξησης της καμπτικής αντοχής, για να επιτευχθεί καμπτική αστοχία στην οριακή συμπεριφορά, επικολλήθηκαν εξωτερικές στρώσεις INOΠ ινών υάλου τύπου G60AR σε πλήρη περιτύλιξη, με διεύθυνση των ινών εγκάρσια προς το διαμήκη άξονα της δοκού.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που δίνονται στο Παράρτημα II, απαιτήθηκε διατμητική ενίσχυση ως εξής: μια στρώση INOΠ στο τμήμα ΓΔ του φορέα (πλάτος INOΠ 25cm σε απόσταση $d=37$ cm) και δύο στρώσεις INOΠ στο μεσαίο τμήμα μεταξύ της μεσαίας στήριξης και του σημείου φόρτισης, ΒΓ, όπου και αναμενόταν η μεγαλύτερη διατμητική καταπόνηση. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς δεν απαιτήθηκε προσθήκη διατμητικής ενίσχυσης στο τμήμα της δοκού ΑΒ (Σχήμα 4.2), λόγω επάρκειας των υφιστάμενων οπλισμών και της αντοχής του σκυροδέματος, μειωμένη στο 30% της κανονιστικής τιμής λόγω ανακύκλισης, κατά τις απαιτήσεις του ΕΑΚ (ΟΑΣΠ, 2000).

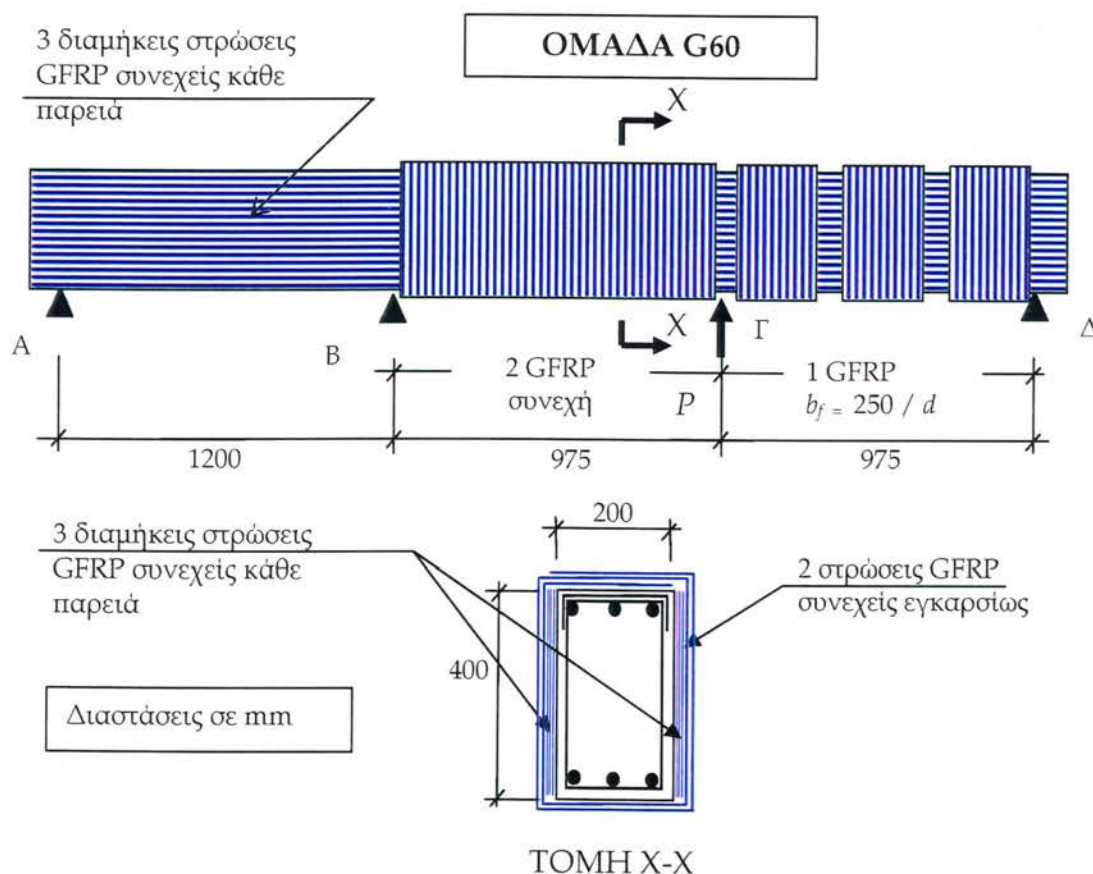


Σχήμα 4.2 Ενίσχυση δοκιμίων της ομάδας C1-30.

4.2.2 Ομάδα G60. Τα δύο δοκίμια της ομάδας G60 (Σχήμα 4.3) ενισχύθηκαν εξωτερικά αρχικώς έναντι κάμψης, με την τοποθέτηση τριών στρώσεων INOΠ ινών υάλου τύπου G60AR κατά μήκος, σε κάθε πλαϊνή παρειά (ΚΠ), με τη διεύθυνση των ινών παράλληλα προς το διαμήκη άξονα της δοκού. Λόγω της αύξησης της καμπτικής τους αντοχής, απαιτήθηκε διατμητική ενίσχυση σε τμήματα της συνεχούς δοκού, για να επιτευχθεί καμπτική αστοχία στην οριακή συμπεριφορά. Σε αυτά τα τμήματα επικολλήθηκαν στρώσεις INOΠ ινών υάλου τύπου G60AR σε πλήρη περιτύλιξη, με διεύθυνση των ινών εγκάρσια προς το διαμήκη άξονα της δοκού.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που δίνονται στο Παράρτημα II, απαιτήθηκε διατμητική ενίσχυση στα εξής τμήματα (Σχήμα 4.3): μια στρώση INOΠ στο τμήμα ΓΔ του φορέα (πλάτος INOΠ 25cm σε απόσταση $d=37$ cm) και δύο στρώσεις INOΠ στο μεσαίο τμήμα μεταξύ μεσαίας στήριξης και του

σημείου φόρτισης, ΒΓ, όπου και αναμενόταν η μεγαλύτερη διατμητική καταπόνηση. Επίσης, σύμφωνα με τους υπολογισμούς δεν απαιτήθηκε προσθήκη διατμητικής ενίσχυσης στο τμήμα ΑΒ της δοκού (Σχήμα 4.3), λόγω επάρκειας των υφιστάμενων οπλισμών (V_{sw}) σε συνεργασία με την αντοχή των δευτερευόντων μηχανισμών του σκυροδέματος (V_c), μειωμένη στο 30% λόγω ανακύκλισης σύμφωνα με τον ΕΑΚ (ΟΑΣΠ, 2000).

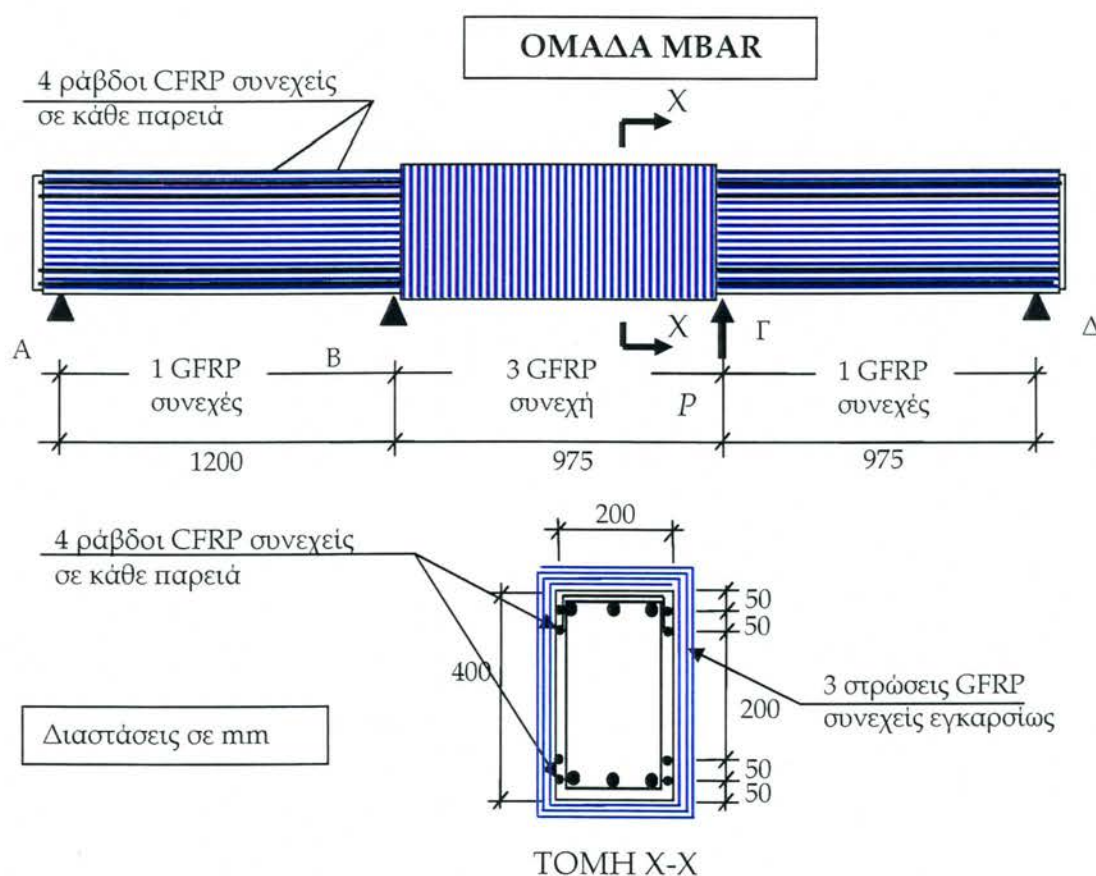


Σχήμα 4.3 Ενίσχυση δοκιμίων της ομάδας G60.

4.2.3 Ομάδα MBAR. Τέλος, τα δύο δοκίμια της ομάδας **MBAR** (Σχήμα 4.4) ενισχύθηκαν εξωτερικά αρχικώς έναντι κάμψης, με την τοποθέτηση τεσσάρων ράβδων οπλισμού τύπου MBar αποτελούμενων από ΙΝΟΠ ινών άνθρακα, τοποθετούμενες σε συνεχή διάταξη από δύο σε κάθε παρειά, άνω και κάτω κατά το διαμήκη άξονα της δοκού. Οι ράβδοι τοποθετήθηκαν σε προσχηματισμένες αύλακες στο σκυρόδεμα, όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3. Όπου απαιτήθηκε ενίσχυση σε διάτμηση λόγω της αύξησης της καμπτικής

αντοχής, για να επιτευχθεί καμπτική αστοχία στην οριακή συμπεριφορά (Παράρτημα II), επικολλήθηκαν στρώσεις INOP ινών υάλου τύπου G60AR σε πλήρη περιτύλιξη, με διεύθυνση των ινών εγκάρσια προς το διαμήκη άξονα της δοκού.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που δίνονται στο Παράρτημα II, τοποθετήθηκε εγκάρσια διατμητική ενίσχυση με ύφασμα όπως δείχνεται στο Σχήμα 4.4. Τοποθετήθηκε μια στρώση INOP στο τμήμα AB και ΓΔ του φορέα (συνεχές INOP) και τρεις στρώσεις INOP στο μεσαίο τμήμα μεταξύ μεσαίας στήριξης και σημείου φόρτισης, ΒΓ, όπου η διάτμηση μεγιστοποιείται (Σχήμα 4.4). Σημειώνεται όμως ότι στο τμήμα AB, πάλι σύμφωνα με τους υπολογισμούς δεν ήταν αναγκαία η ενίσχυση με εγκάρσιο INOP. Τοποθετήθηκε όμως σε αυτό το τμήμα για τη συγκράτηση των επιδερμικών διαμήκων οπλισμών INOP της ενίσχυσης.



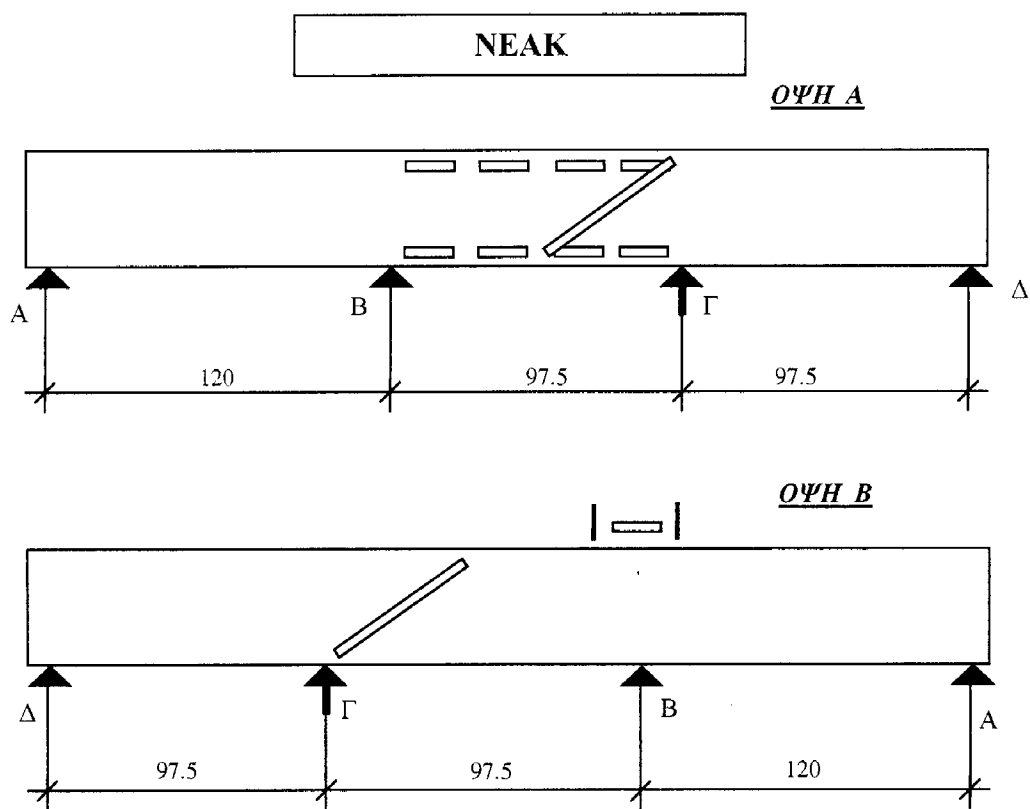
Σχήμα 4.4 Ενίσχυση δοκιμίων της ομάδας MBAR.

4.3 Ενοργάνωση των δοκιμών

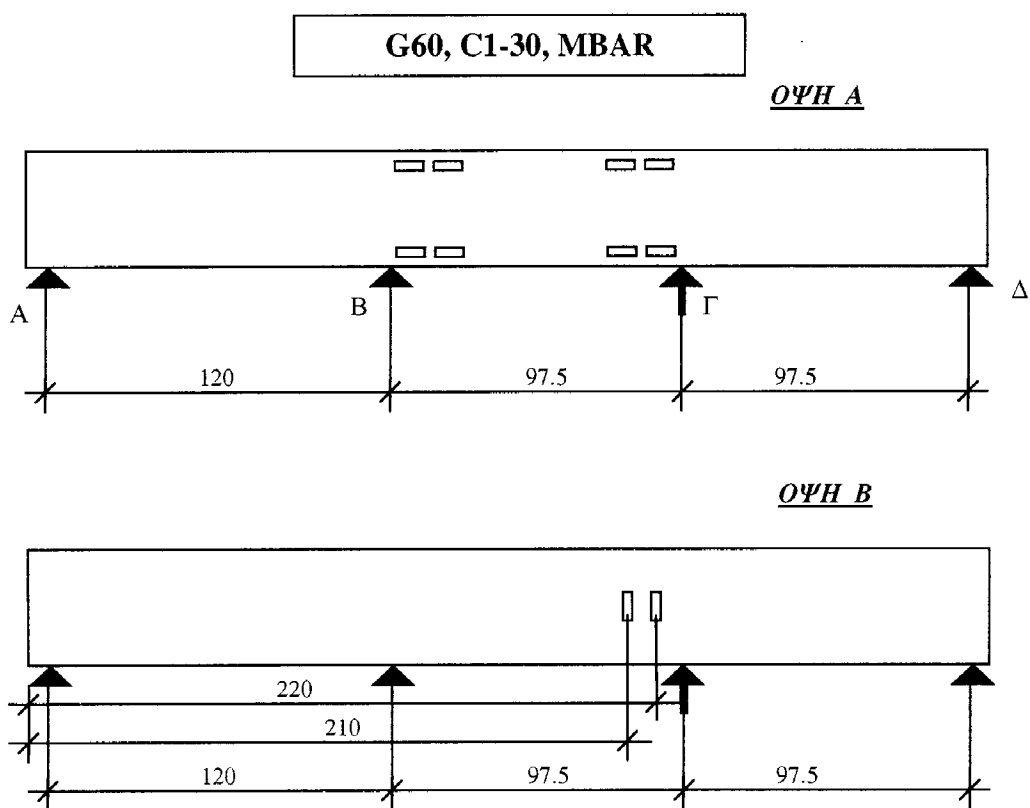
4.3.1 Δοκίμια NEAK_ Στα δύο αυτά δοκίμια τοποθετήθηκαν δώδεκα επαγωγικά βελομέτρα (*LVD*T) στις θέσεις που δείχνονται στο σκαρίφημα του Σχήματος 4.5. Ζεύγη βελομέτρων ανά δύο άνω και κάτω τοποθετήθηκαν στην ίδια απόσταση από το άκρο του εκάστοτε δοκιμίου και σε μια απόσταση καθ' ύψος μεταξύ τους ίση με 30 cm. Με τα ζεύγη των *LVD*T είναι δυνατόν να καταγραφεί η μέση καμπυλότητα σε κάθε μία από τις τέσσερις διατομές που αντιστοιχούν στις θέσεις αυτές. Δύο διαγώνια βελομέτρα τοποθετήθηκαν για να μετρηθούν οι διατμητικές παραμορφώσεις στο τμήμα της μέγιστης διάτμησης ενώ δύο βελομέτρα εκατέρωθεν της εσωτερικής στήριξης χρησιμοποιήθηκαν με σκοπό να αποδώσουν μετρήσεις της στροφής του δοκιμίου στη θέση αυτή (Σχήμα 4.5).

4.3.2 Δοκίμια G60, C1-30 και MBAR_ Στο κάθε ένα από τα δοκίμια αυτά τοποθετήθηκαν κατά τη διαμήκη διεύθυνση οκτώ ηλεκτρονικά μηχανοσκόπια (*strain gauges*) (SG) μήκους 3 και 5 cm, ανά δύο σε τέσσερις διαφορετικές διατομές (Σχήματα 6.5.4 και 6.5.5), με απόσταση μεταξύ τους 30cm καθ' ύψος, κοντά στις θέσεις των διαμήκων οπλισμών (ή και της πρώτης ράβδου του *Mbar*, ανάλογα με το δοκίμιο). Για μεν τα δοκίμια των ομάδων **C1-30** και **MBAR** τα μηχανοσκόπια κολλήθηκαν επάνω στο σκυρόδεμα, ενώ στα δοκίμια της ομάδας **G60** τα μηχανοσκόπια κολλήθηκαν στο διαμήκες ΙΝΟΠ. Σκοπός αυτών των μηχανοσκοπίων ήταν η καταγραφή της μέσης επιμήκυνσης στον άξονα (ε) και της και μέσης καμπυλότητας (φ) στην κάθε μία από τις εν λόγω διατομές.

Μετά από την τοποθέτηση του υαλονήματος G60AR για τη διατμητική ενίσχυση, επικολλήθηκαν επάνω στο εγκάρσιο ΙΝΟΠ δύο πρόσθετα SG, μήκους 10 cm, στο μεσαίο τμήμα (ΒΓ) του δοκιμίου. Λόγω του μεγαλύτερου σχετικά μήκους τους τα SG αυτά έχουν μεγαλύτερη δυνατότητα να συλλάβουν κάποια διαγώνια ρωγμή, άρα είναι σε θέση να μετρήσουν την παραμόρφωση του ΙΝΟΠ πριν και μετά τη ρηγμάτωση της υπόβασης. Τα μηχανοσκόπια τοποθετήθηκαν σε απόσταση 10 cm (περίπου $d/4$) μεταξύ τους



Σχήμα 4.5 Δοκίμιο NEAK: Διάταξη και αρίθμηση των επαγωγικών βελομέτρων.

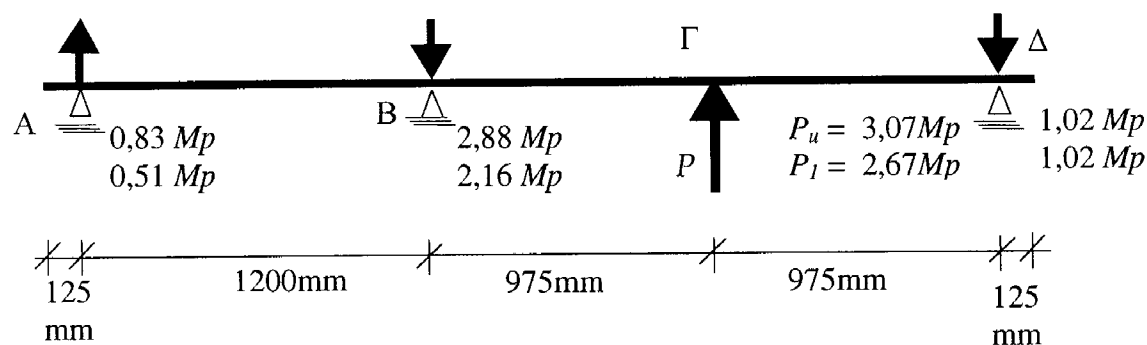


Σχήμα 4.6 Δοκίμια G60, C1-30 και MBAR: Διάταξη και αρίθμηση των ηλεκτρονικών μηκυνσιομέτρων.

και από το σημείο εφαρμογής του φορτίου P , ώστε να μετρηθούν οι παραμορφώσεις του ΙΝΟΠ στην εγκάρσια διεύθυνση εφαρμογής της διατμητικής ενίσχυσης. Σκοπός της μέτρησης αυτής είναι η ποσοτικοποίηση της συμμετοχής του ΙΝΟΠ στην παραλαβή διάτμησης έως την αστοχία. Το κόστος αγοράς των παραπάνω SG (κατασκευής KYOWA Ιαπωνίας) βάρυναν τον προϋπολογισμό του Ερευνητικού Προγράμματος.

4.4 Στατικό προσομοίωμα του πειράματος

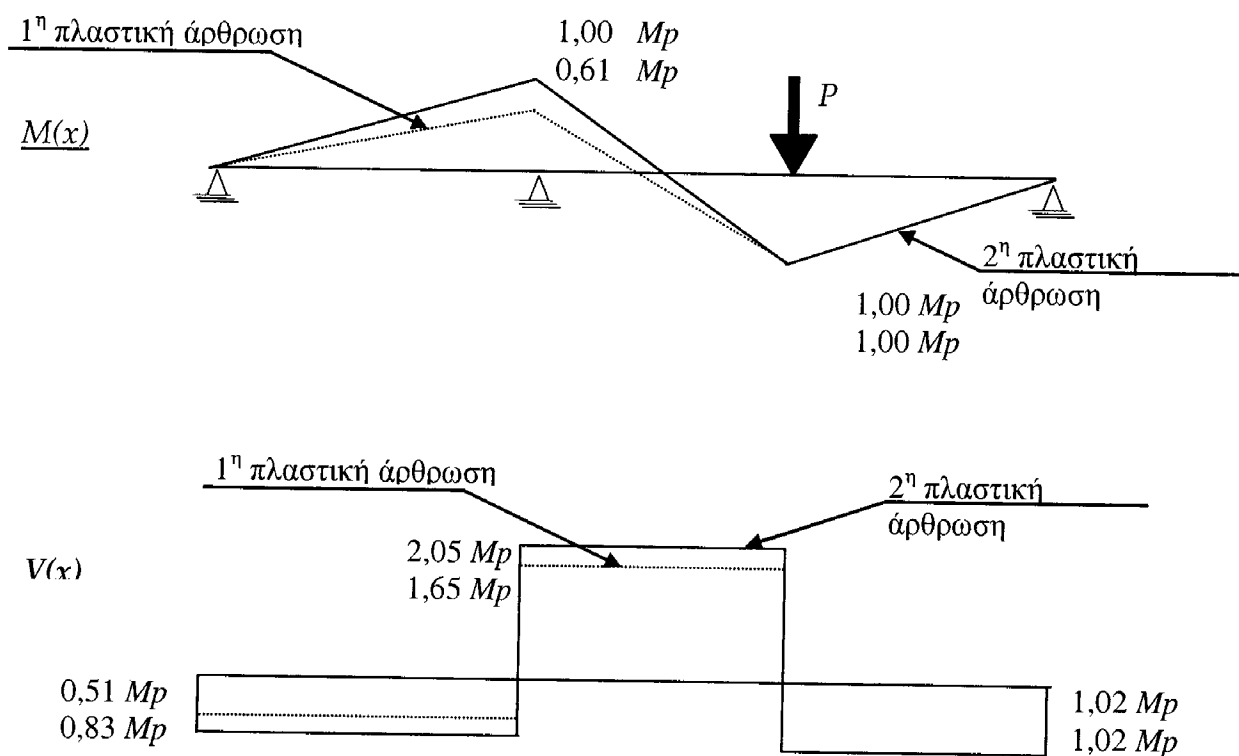
Το στατικό προσομοίωμα συνεχούς δοκού δύο ανοιγμάτων που υλοποιείται στην πειραματική διάταξη δείχνεται στο Σχήμα 4.7, με τα αντίστοιχα διαγράμματα εσωτερικών ροπών και διατμήσεων που ισορροπούν το εξωτερικό φορτίο να δείχνονται στο Σχήμα 4.8. Τα διαγράμματα υπολογίζονται κατά την ελαστική κατάσταση του δοκιμίου, μέχρις ότου δηλαδή εμφανιστεί η πρώτη πλαστική άρθρωση λόγω κάμψης, όταν η μέγιστη καμπτική ροπή της κρίσιμης διατομής κάτω από το σημείο εφαρμογής του φορτίου P λάβει την μέγιστη τιμή της στο σημείο αυτό (συνθήκη $M_r = M_p$).



Σχήμα 4.7 Στατικό προσομοίωμα της συνεχούς δοκού της πειραματικής διάταξης που υλοποιήθηκε: Δίδονται οι διαστάσεις, το εξωτερικό φορτίο και οι αντιδράσεις συναρτήσει της M_p (κατά την πρώτη πλαστική άρθρωση και, κατόπιν, στη δεύτερη άρθρωση, όπου δημιουργείται μηχανισμός).

Με βάση την ελαστοπλαστική ανάλυση ενός ιδεατού συστήματος με ιδεατά διγραμμικά καμπτικά χαρακτηριστικά, σε αυτό το σημείο, το οποίο αντιστοιχεί σε εξωτερική φόρτιση $P_l = 2,67 M_p$, δημιουργείται η πρώτη πλαστική άρθρωση στο δοκίμιο. Από το σημείο αυτό και εξής το φορτίο

εξακολουθεί να αυξάνεται, ανακατανέμοντας την πρόσθετη δύναμη στην εσωτερική στήριξη, στο σημείο Β. Σαν αποτέλεσμα, η ροπή στο Β αυξάνεται, η δε ροπή στο Γ παραμένει σταθερή (άρα και η αντίδραση στο Δ). Στην οριακή φόρτιση που η ροπή $M_B = M_p$ δημιουργείται η δεύτερη πλαστική άρθρωση στο φορέα, ο οποίος πλέον μετατρέπεται σε μηχανισμό: σύμφωνα με την ελαστοπλαστική παραδοχή, η συνεχής δοκός δεν είναι σε θέση να παραλάβει μεγαλύτερο φορτίο, η δε παραμόρφωση στο Γ αυξάνεται επ' αόριστον όσο το επιτρέπει η στρωφική ικανότητα (*rotational capacity*) της κατασκευής στις περι-



Σχήμα 4.8 Στατικό προσομοίωμα της συνεχούς δοκού της παρούσας πειραματικής διάταξης: Διαγράμματα ροπής $M(x)$ και διατμητικής δύναμης $V(x)$ (συναρτήσει της μέγιστης καμπτικής αντοχής M_p).

οχές των αρθρώσεων Β και Γ. Στην περίπτωση αυτή και εξής, με βάση την ελαστοπλαστική θεώρηση, το διάγραμμα εσωτερικών διατμήσεων και ροπών σε ισορροπία με τα εξωτερικά φορτία δίνεται από τη συνεχή γραμμή του Σχήματος 4.8, με τη ροπή στο σημείο αυτό να λαμβάνει την τιμή της μέγιστης καμπτικής ικανότητας (M_p) στα σημεία Β και Γ.

Η ελαστοπλαστική αυτή ανάλυση παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού της αντοχής του δοκιμίου στις παραπάνω οριακές συνθήκες που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια του πειράματος. Τα μεγέθη όμως συναρτήσει της M_p , που δείχνονται στο Σχήμα 4.8 (εσωτερικές δυνάμεις και ροπές, αντιδράσεις και φορτίο P), ισχύουν μόνο με την προϋπόθεση ότι ι) δεν έχει επέλθει οιαδήποτε διατμητική αστοχία και ιι) οι κρατύνσεις στις κρίσιμες διατομές των πλαστικών αρθρώσεων είναι αμελητέες.

Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι ειδικά για την περίπτωση των δοκών 'που έχουν ενισχυθεί με ΙΝΟΠ κυρίως στις παρειές, όπως δείχνουν και οι επιλύσεις διατομών στα Κεφάλαια 6 και 7, οι ενισχύσεις δημιουργούν σημαντική δυσκαμψία κράτυνσης μετά την διαρροή του συμβατικού οπλισμού. Σαν αποτέλεσμα αυτής της τοπικής απόκρισης είναι ότι η καμπτική συμπεριφορά έχει μία σημαντικά κρατυνόμενη διγραμμική συμπεριφορά, οπότε οι προβλέψεις συναρτήσει της αντοχής M_p (με βάση οποιαδήποτε οριακή θεώρηση πλέον) να αντιστοιχούν στις παραπάνω τιμές μόνο κατά μέσον όρο, βάσει της εξίσωσης

$$M_p = P_u / 2,67$$

υπό την προϋπόθεση δε ότι δημιουργήθηκε και η δεύτερη πλαστική άρθρωση στη στήριξη Β, βάσει της :

$$M_p = P_u / 3,07$$

Η ακριβέστερη συσχέτιση της P με την εσωτερική καμπτική ροπή στις αρθρώσεις περιγράφεται ακριβέστερα μόνο με βήμα προς βήμα ανελαστική ανάλυση όπως παρατίθεται στο Κεφάλαιο 7.

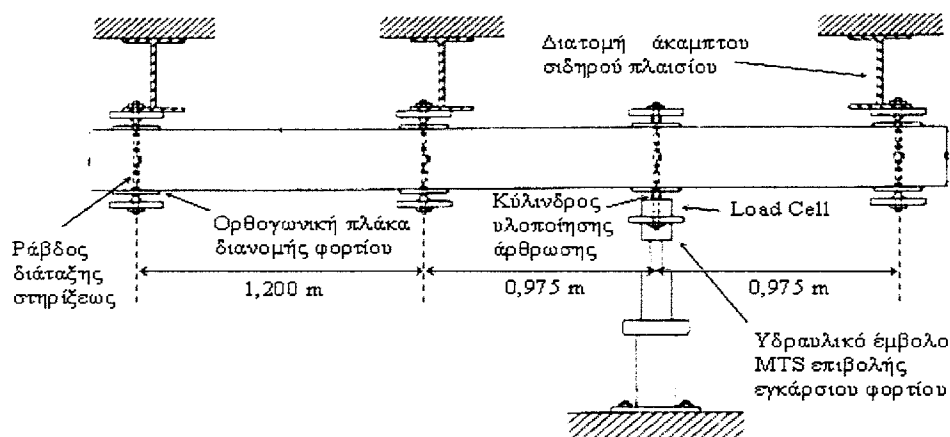
4.5 Περιγραφή της πειραματικής διάταξης

Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για όλα τα πειράματα των δοκών της παρούσης Εργασίας, έχει αναπτυχθεί στο Εργ ΟΣ ΕΜΠ για τον έλεγχο υπερστατικών ραβδωτών φορέων με ή χωρίς αξονική δύναμη, τοποθετημένων σε οριζόντια θέση. Η διάταξη έχει χρησιμοποιηθεί στο πρόσφατο παρελθόν για την πειραματική αποτίμηση της συμπεριφοράς

υποστυλωμάτων από ΟΣ σε ανακυκλιζόμενη καταπόνηση με ή χωρίς επισκευή και ενίσχυση, σε μικρότερες σχετικά διαστάσεις διατομών (Kotsonos, Zeris και Pavlovic, 2005, και Vougioukas, Zeris και Kotsonos, 2005).

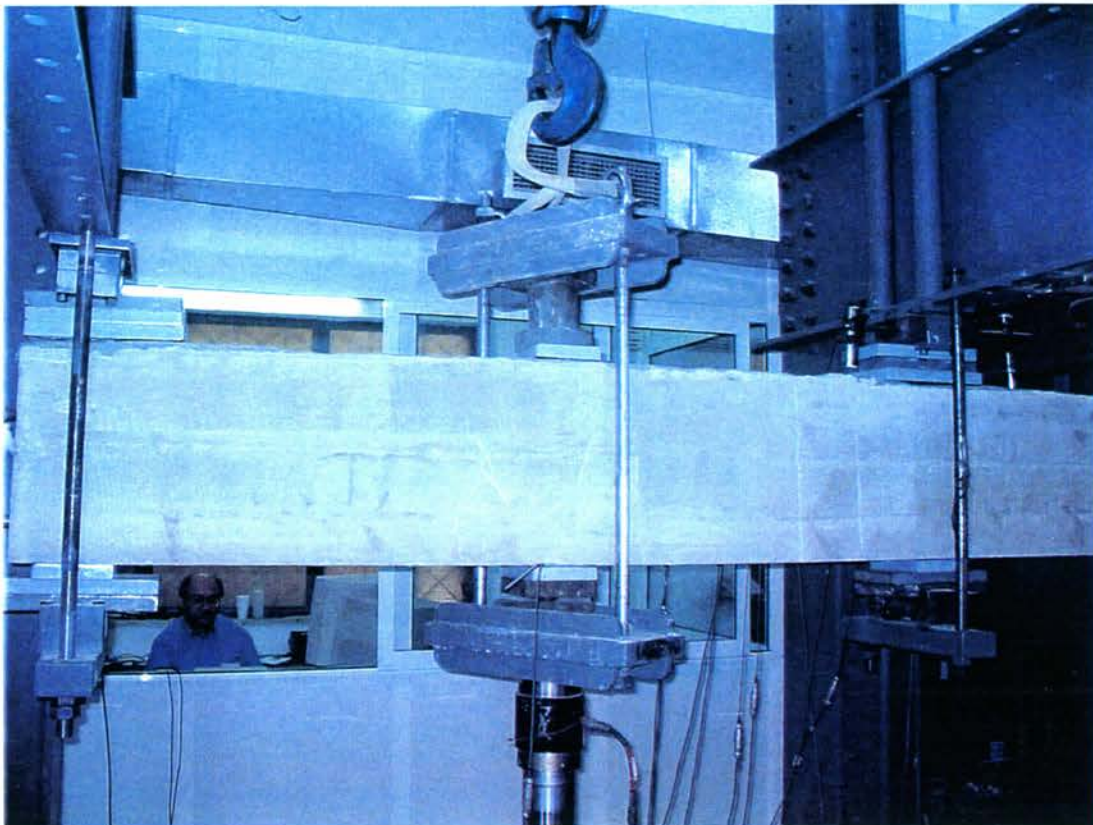
Η διάταξη αποτελείται από τρία ίδια χαλύβδινα πλαίσια μορφοποιημένα από χαλύβδινες διατομές Η του εμπορίου, με κοχλιωτές ενώσεις. Το κάθε πλαίσιο τοποθετείται εν παραλλήλω με τα διπλανά και αγκυρώνεται με τέσσερις κοχλιωτές ντίζες υψηλής αντοχής Φ50 στο ισχυρό δάπεδο του Εργαστηρίου ΟΣ ΕΜΠ, σε αποστάσεις περίπου ίσες με τα ανοίγματα της συνεχούς δοκού. Οι προεγκατεστημένες θέσεις κοχλίωσης του δαπέδου κατανέμονται σε ένα κάναβο 1,20m επί 1,20m αξονικά, που καθορίζει τη θέση των στηρίξεων (αλλά όχι απόλυτα δεσμευτικά).

Όπως δείχνεται και στο Σχήμα 4.9, κάθε τυπικό δοκίμιο – στοιχείο δοκού – εδράζεται στα κάτω πέλματα των διατομών από διπλό U, που αποτελούν το οριζόντιο στοιχείο του κάθε πλαισίου. Οι δύο από τις στηρίξεις υλοποιούνται

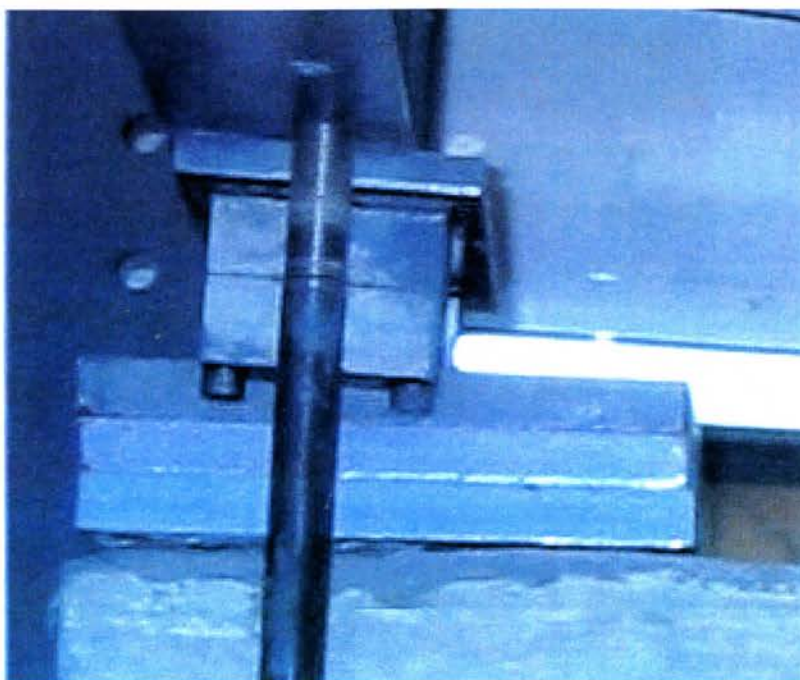


Σχήμα 4.9 Σκαρίφημα της διάταξης φόρτισης υπερστατικών φορέων με ή χωρίς αξονική.

σαν κυλίσσεις (με χρήση κυλινδρικών κυλίστρων) και η τρίτη σαν απλή άρθρωση (με χρήση γραμμικής σφήνας), ενώ η σύνδεση με το έμβολο είναι ουσιαστικά μονολιθική, λόγω τριβών, κατά τη διαμήκη διεύθυνση. Μία γενική άποψη της διάταξης φαίνεται στην Φωτογραφία 4.1.



Φωτογραφία 4.1 Άποψη πειραματικής διάταξης- Εργαστήριο ΟΣ ΕΜΠ.

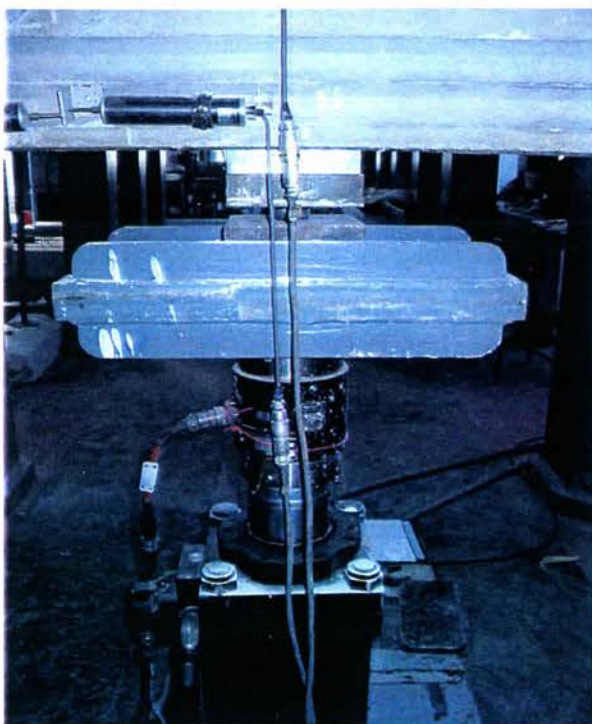


Φωτογραφία 4.2
Στοιχεία
υλοποίησης
στηρίξεων.

Η κάθε έδραση υλοποιείται τόσο στο άνω όσο και στο κάτω τμήμα του δοκιμίου με ελάσματα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους και με το κάθε ισχυρό πλαίσιο με δύο κοχλιωτές ντίζες υψηλής αντοχής (Φωτογραφία 4.2).

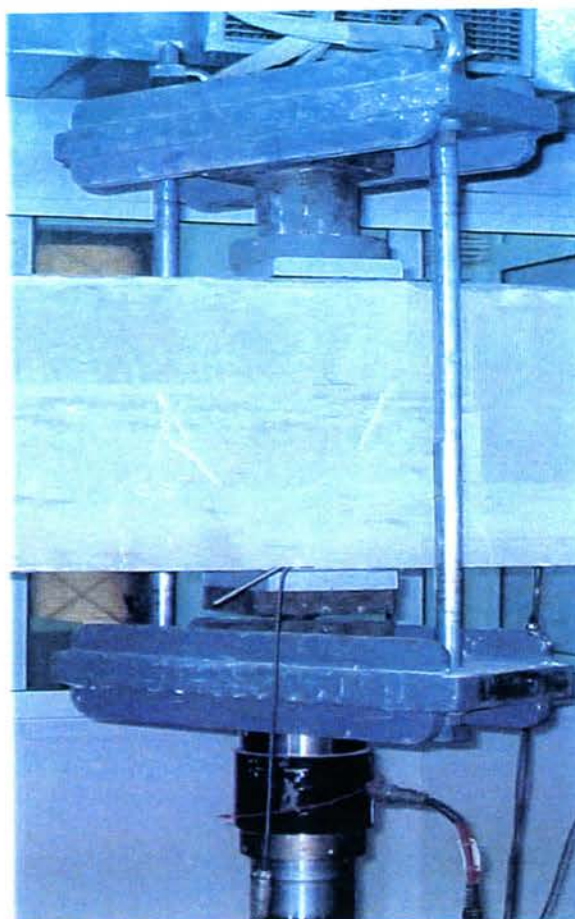
Με αυτό τον τρόπο, η στήριξη καθίσταται ενεργή τόσο σε θλιπτική όσο και σε εφελκυστική φόρτιση, λόγω αντίδρασης στο εναλλασσόμενο φορτίο P . Το παραπάνω φορτίο P εφαρμόζεται μέσω του εναλλασσόμενου επενεργητή MTS™, ικανότητας 500 kN, διπλής δράσεως. Για αποφυγή τοπικών αστοχιών του σκυροδέματος της δοκού στο σημείο επαφής του κυλινδρικού κυλίστρου, η τοπική αντίδραση κατανέμεται με χρήση δύο ως τριών πλακών πάχους 25 mm (Φωτογραφία 4.2).

Τα πειράματα διεξάγονται σε ελεγχόμενη μετατόπιση από τον επενεργητή MTS™, ο οποίος ελέγχεται από το σύστημα TestStar I της ίδιας εταιρείας. Η αντίδραση από το δοκίμιο στο σημείο επαφής καταγράφεται από την κυψέλη φορτίου στην κεφαλή του επενεργητή εν σειρά με το υδραυλικό έμβολο, κάτω από τη θέση εφαρμογής του. Όπως και οι στηρίξεις, έτσι και το έμβολο μεταφέρει την εναλλασσόμενη κίνησή του μέσω διπλών ελασμάτων άνω και κάτω, καθώς και με τη βοήθεια δύο ντιζών (Φωτογραφίες 4.3 και 4.4), ώστε να λειτουργεί η εξαναγκασμένη μετατόπιση σε διπλή δράση (θλίψη και εφελκυσμό).

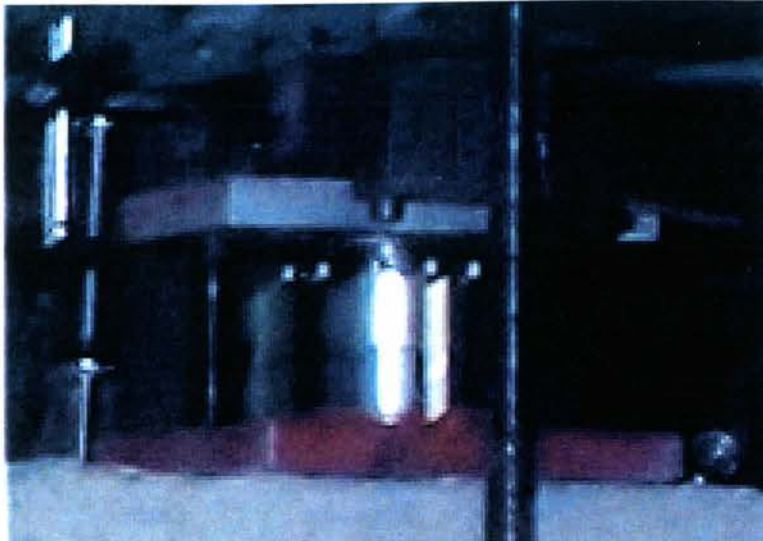


Φωτογραφία 4.3 Κεφαλή υδραυλικού εμβόλου του επενεργητή επιβολής εγκάρσιου φορτίου ή μετατόπισης.

Φωτογραφία 4.4 Διάταξη επιβολής της ανακυκλιζόμενης φόρτισης στο σημείο επαφής με το υδραυλικό έμβολο του επενεργητή MTS™.



Η καταγραφή των δεδομένων φορτίου-μετατόπισης στη θέση εφαρμογής του φορτίου γίνεται ηλεκτρονικά ανά μικρά χρονικά διαστήματα. Επί πλέον, στο πείραμα της δοκού χωρίς ενίσχυση (δοκός **NEAK MONO**), όπου το μέγεθος των αντιδράσεων καθιστούσε τη μέτρηση αυτή εφικτή, παρεμβλήθηκαν μεταξύ των ελασμάτων μεταφοράς φορτίου και των ελασμάτων έδρασης επάνω στο δοκίμιο και κυψέλες φορτίου δυνατότητας μέτρησης 300 kN στην ακραία και εσωτερική στήριξη εκατέρωθεν του σημείου επιβολής του φορτίου P , για τη μέτρηση των εσωτερικών αντιδράσεων και έτσι έλεγχο της διάταξης (Φωτογραφία 4.5). Η ύπαρξη της κυψέλης φορτίου στην ακραία στήριξη, όμως, κατέστησε τη στήριξη ασταθή όταν, λόγω μεγάλης στροφής της δοκού στο αριστερό άκρο και, κατά συνέπεια, αξονικής σμίκρυνσης του δοκιμίου, δημιουργήθηκε σταδιακά μια εκκεντρότητα μεταξύ της ακίδας μέτρησης της κυψέλης και του άξονα του κυλίστρου, με αποτέλεσμα να σταματήσει το πείραμα σε παραμόρφωση μικρότερη της πραγματικής παραμόρφωσης αστοχίας του δοκιμίου (βλ. και Κεφάλαιο 6.1).



Φωτογραφία 4.5
Κυψέλη καταγραφής φορτίου (*Load cell*) της διάταξης του δοκιμίου NEAK.

Για την καταγραφή των μετατοπίσεων και των ανηγμένων παραμορφώσεων, τοποθετούνται δια συγκόλλησης, σε επιλεγμένες θέσεις επάνω στα δοκίμια ηλεκτρονικά μηκυνσιόμετρα (*strain gauges*), όπως περιγράφονται κατά περίπτωση για το κάθε δοκίμιο στο Κεφάλαιο 6. Επί πλέον, για καταγραφή των σχετικών μετατοπίσεων, στερεώνονται στο δοκίμιο με σιλικόνη επαγωγικά βελόμετρα (*linear voltage displacement transducers - LVDT*).

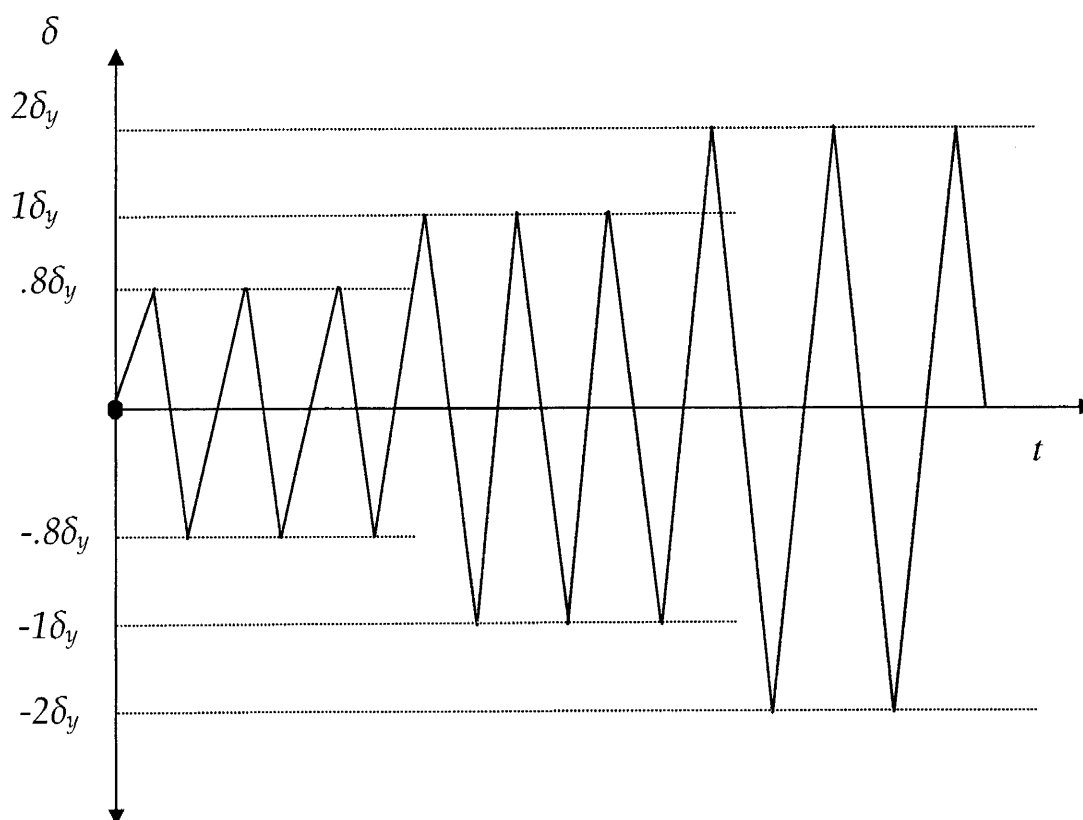
Όλα τα παραπάνω όργανα μέτρησης, μαζί με τις κυψέλες φορτίου, συνδέονται με το ηλεκτρονικό καταγραφικό χαρτοταινίας δυναμικότητας 64 καναλιών της TOKYO – SOKKI το οποίο επικοινωνεί σε πραγματικό χρόνο με την κάρτα καταγραφής του ηλεκτρονικού υπολογιστή ελέγχου, κατασκευής COMPAQ™ με επεξεργαστή Pentium™ και λειτουργικό Windows 98™ του Εργ.ΟΣ ΕΜΠ, στον οποίο καταγράφονται οι αντίστοιχες ψηφιακές ενδείξεις. Οι μετρήσεις από το καταγραφικό έγιναν με ακρίβεια φορτίου $\pm 0,1 \text{ kN}$ και παραμόρφωσης $\pm 0,01 \text{ mm}$.

4.6 Περιγραφή της φόρτισης

Το φορτίο εφαρμόζεται εγκάρσια στο διαμήκη άξονα του δοκιμίου σε συγκεκριμένη θέση. Στην περίπτωση μονοτονικής επιβολής, γίνεται σταδιακή αύξηση της τιμής της δύναμης με σταθερό ρυθμό μέχρι την αστοχία του δοκιμίου και κατόπιν, περαιτέρω αύξηση της παραμόρφωσης, μέχρι τα όρια

της πειραματικής διάταξης, ώστε να καταγραφεί και η συμπεριφορά της δοκού πέραν της αστοχίας.

Κατά την ανακυκλιζόμενη φόρτιση, εναλλάσσεται η φορά της επιβαλλόμενης παραμόρφωσης κάθε φορά που φτάνει η μετατόπιση του σημείου εφαρμογής του φορτίου στις επιθυμητές τιμές πλαστιμότητας μετατοπίσεων, όπως δείχνεται ενδεικτικά στο Σχήμα 4.10. Αν και, ανάλογα με τις απαιτήσεις του πειράματος, εκτιμώνται αναλυτικά εκ των προτέρων οι προβλεπόμενες τιμές φορτίου για τις οποίες γίνεται εναλλαγή της φοράς, βάσει μίας θεωρητικής φόρτισης διαρροής (P_y), η πραγματική παραμόρφωση διαρροής (δ_y - όπου δ_y είναι η παραμόρφωση της πρώτης διαρροής του χάλυβα) που χρησιμοποιείται στο πείραμα ορίσθηκε από την καταγραφή κατά τη διάρκεια του πειράματος, βάσει της μέτρησης της αντίστασης του δοκιμίου.



Σχήμα 4.10 Χρονική ιστορία επιβαλλόμενων παραμορφώσεων δ στο σημείο εφαρμογής του φορτίου (συναρτήσει της παραμόρφωσης διαρροής δ_y).

Στην παρούσα Ερευνητική εργασία, όσον αφορά την μονοτονική φόρτιση, ως κριτήριο συμβατικής αστοχίας του δοκιμίου θεωρήθηκε η μείωση της αντοχής του στο 85% της μέγιστης αντοχής (P_{max}) που επιτεύχθη κατά τη διάρκεια του πειράματος. Βάσει αυτής της τιμής υπολογίστηκε και η διαθέσιμη πλαστιμότητα του δοκιμίου. Σε πολλές περιπτώσεις, το πείραμα εξελίχθηκε και για μεγαλύτερες παραμορφώσεις για την πληρέστερη εικόνα της συμπεριφοράς και της αστοχίας μετά την P_{max} .

Σε ότι αφορά την ανακυκλιζόμενη φόρτιση αντιστοίχως τέθηκε σαν στόχος η επανάληψη δύο κύκλων για μέγιστη μετατόπιση $0.8 \delta_y$, δύο κύκλους για δ_y , δύο κύκλους για $2\delta_y$ κ.ο.κ. μέχρις ότου η αντοχή του δοκιμίου πέσει κάτω από το 80% της μέγιστης. Στα σημεία εναλλαγής φοράς της επιβαλλόμενης παραμόρφωσης, ο επενεργητής παρέμενε σταθερός (μηδενική παραμόρφωση) για λίγα λεπτά ώστε να μαρκαριστούν οι ρωγμές και να φωτογραφηθεί το δοκίμιο. Επί πλέον, σε όλα τα ανακυκλιζόμενα πειράματα μεσολάβησε αρχικά ένας πολύ μικρός κύκλος παραμόρφωσης ώστε να τοποθετηθεί το δοκίμιο στη θέση του και να συσφιγχθούν οι ντίζες των στηρίξεων για λειτουργία σε εφελκυσμό και θλίψη.