

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΩΝ ( ΡΗΤΙΝΕΝΕΣΕΙΣ, ΕΚΤΟΞΕΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ, ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΕΛΑΣΜΑ)

ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

### Περίληψη

*Η επισκευή δοκών οι οποίες έχουν αστοχήσει λόγω ανεπαρκούς σχεδιασμού για την κάμψη, είναι το θέμα αυτής της εργασίας. Μέσα από πειραματικά αποτελέσματα εξετάζονται τρεις τεχνικές επισκευής. Η ένεση ρητίνης, το εκτοξευμένο σκυρόδεμα και η επικόλληση μεταλλικού ελάσματος. Η αξιολόγηση των παραπάνω τεχνικών θα γίνει με σύγκριση τελικής αντοχής πλάτους ρωγμών, τύπου αστοχίας αρχικών με των αντίστοιχων επισκευασμένων.*

*Τα αποτελέσματα των πειραμάτων δίνονται υπό την μορφή καμπύλων οι οποίες και σχολιάζονται. Ακόμα όπου είναι χρήσιμο δίνονται λεπτομέρειες γύρω απ' τον τρόπο διεξαγωγής των δοκιμών, διαστάσεις δοκιμίων, συστήματα φόρτισης, ποιότητες υλικών.*

*Το τελικό συμπέρασμα της όλης διαδικασίας είναι ότι και οι 3 τεχνικές επισκευής αποδείχθηκαν επαρκείς ως προς την αποκατάσταση της αρχικής συνοχής των ζημιωμένων μελών και ότι μπορούμε να τις εμπιστευτούμε με ασφάλεια.*

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι κατασκευές από σκυρόδεμα συχνά εκτίθενται σε κατασκευαστική καθώς και μη κατασκευαστική ρηγμάτωση εξαιτίας μια ποικιλίας αιτιών στις οποίες συμπεριλαμβάνονται κρουστικές και κυκλικές φορτίσεις, στατικές υπερφορτίσεις, συστολή ξήρανσης, ερπυσμός κάτω από μόνιμα φορτία και θερμοκρασίες τάσεις και διάβρωση οπλισμού. Οι μεγαλύτερες ρωγμές είναι σημάδια έντονης καταπόνησης της κατασκευής και απαιτούν άμεση προσοχή – επισκευή. Οι δε μικρότερες είναι συχνά ανεκτές από την άποψη της αντοχής, αλλά σε περιοχές όπου υπάρχει τραχύτητα περιβάλλοντος, ρωγμές τέτοιου είδους μπορεί να οδηγήσουν σε επιταχυνόμενους ρυθμούς κατάρρευσης και διάβρωσης του οπλισμού.

Όσον αφορά την επισκευή δοκών θέμα άλλωστε που πραγματεύεται η παρούσα εργασία, μέχρι σήμερα δεν υπάρχει το πακέτο κανονισμών που θα καθόριζε όλες τις δραστηριότητες που συνδέονται με την οποιοδήποτε επισκευή. Και δεν είναι τυχαίο γιατί υπάρχει μια ιδιαιτερότητα των επισκευαστικών έργων σε σχέση με τις εξαρχής κατασκευές σκυροδέματος. Αυτή περιγράφεται από:

- το μεγάλο αριθμό υλικών
- το μεγάλο πλήθος των επισκευαστικών τεχνικών
- τις πολλές παραμέτρους της υπάρχουσας κατασκευής ( γεωμετρία, κατάσταση παραμορφώσεων )
- τις δυσχέρειες όχι μόνο ανάλυσης και διαστασιολόγησης του επισκευασμένου έργου αλλά και της εκτίμησης των χαρακτηριστικών της υπάρχουσας κατασκευής.

Στις επόμενες σελίδες θα επιχειρήσουμε την ανάλυση ορισμένων επισκευαστικών τεχνικών μέσω συμπερασμάτων πειραματικών δοκιμών.

### 2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΡΗΤΙΝΕΝΕΣΕΩΝ

Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου της ρητινένεσης στην αποκατάσταση της δομικής συνοχής σε ρηγματωμένα μέλη από σκυρόδεμα, δοκιμάστηκε. Δοκάρια τα οποία είχαν δοκιμαστεί προηγουμένως κάτω από στατική φόρτιση για τη μελέτη υλικών μπαλώματος ψεκάστηκαν με ρητίνη. Τα δοκάρια εκτιμήθηκαν κάτω από 3

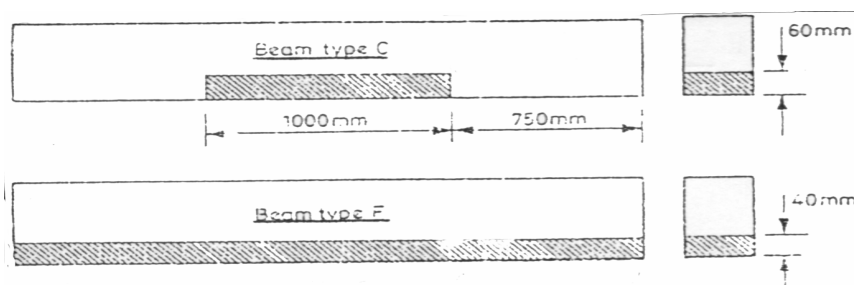
συστήματα φόρτισης, ένα στατικό και δύο κυκλικά ( service 30 – 60% του τελικού στατικού φορτίου, near unlimited 40 – 90% αντίστοιχα ). Δύο τύποι ρητίνης χρησιμοποιήθηκαν, C 1380 [ EPOXY A ] C 1503 [EPOXY B ] με ιξώδες στους 25° C 3,52 και 1,6 αντίστοιχα.

Λεπτομέρειες γύρω απ'τους τύπους δοκών ρητινών και συστημάτων φόρτισης υπάρχουν στο πίνακα 1 και στο σχήμα 1

Beam No.	Beam type	Patch repair material	Type of injected resin	Loading system
RC01	Control		Type A	Static
RC02	Control		Type A	Service <sup>3</sup> & near ultimate <sup>4</sup>
RC03	Control		Type A	Service & static
RC04	Control		Type B	Service & static
RC05	Control		Type B	Static
RC06	Control		Type B	Static
RC07	Control		Type B	Near ultimate <sup>4</sup>
RCE1	Type C	LWER <sup>4</sup>	Type B	Static
RCE2	Type C	LWER	Type B	Static
RCE3	Type C	LWER	Type B	Static
RFC1	Type F	CMAM <sup>2</sup>	Type B	Static
RFC2	Type F	CMAM	Type B	Near ultimate
RFE1	Type F	LWER	Type B	Near ultimate
RFE2	Type F	LWER	Type B	Static

Υπόμνημα:

Πιν.1. – Λεπτομέρειες των τύπων των δοκών, ρητινών και συστημάτων φόρτισης.



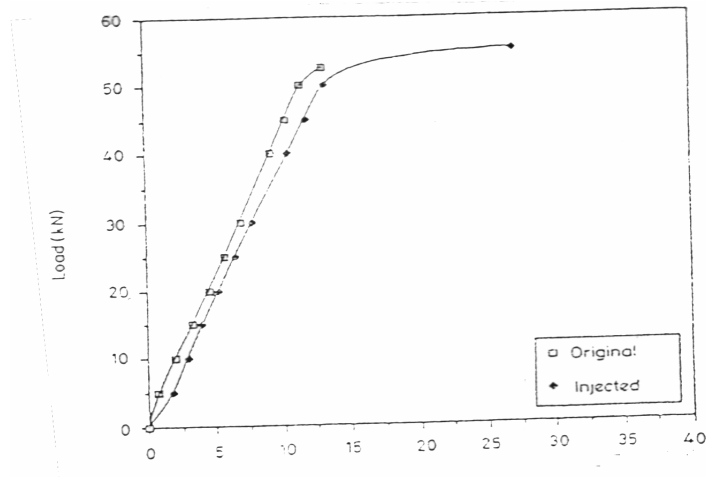
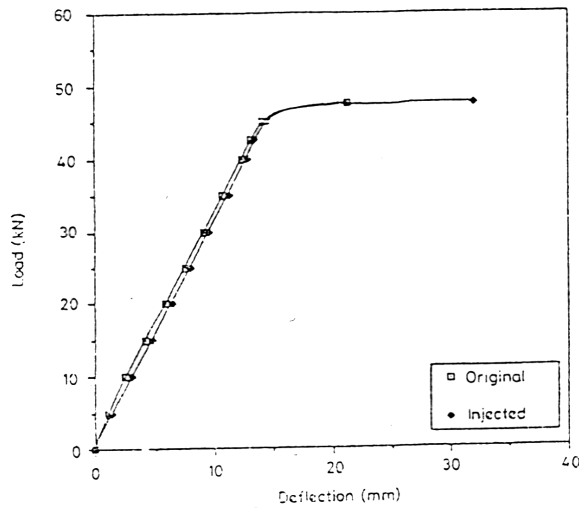
Σχ. 1 – Τύποι δοκών

**2.1 ΣΤΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

Τα βέλη κάμψης στα κέντρα των δοκιμών καταγράφηκαν για κάθε αύξηση φορτίου. Ενδεικτικά παραθέτονται παρακάτω μερικές συγκριτικές καμπύλες μεταβολής βέλους κάμψης – φορτίου για δοκάρια που έχουν αστοχήσει σε στατική φόρτιση. Παρατηρούμε λοιπόν ότι η ακαμψία παραμένει η ίδια για τα ψεκασμένα δοκάρια μ’

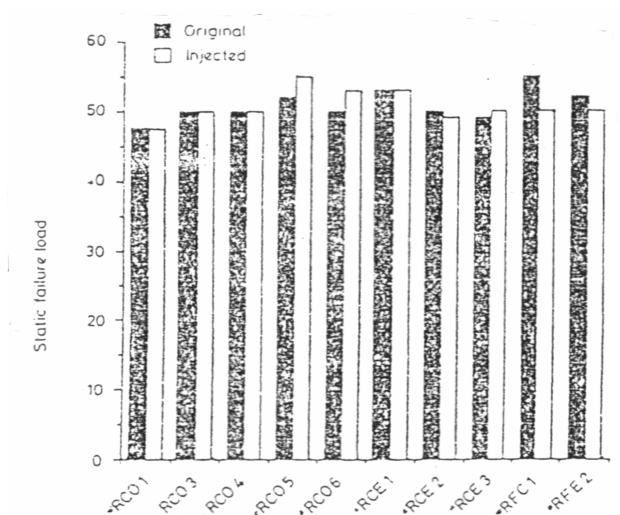
αυτήν που παρουσίασαν κάτω απ' τα αρχικά φορτία. Για φορτία κοντά σ' αυτά της αστοχίας οι ψεκασμένοι δοκοί παρουσιάζονται να είναι πιο πλαστικοί απ' τους αρχικούς. Το συμπέρασμα αυτό είναι λανθασμένο διότι κατά τη δοκιμή των αρχικών δοκαριών το φορτίο απελευθερώθηκε γρήγορα έτσι ώστε να δημιουργηθούν μικρές, ψεκάσιμες ρωγμές.

Σχ. 2. – RC01, φορτίο συναρτήσει απόκλισης πριν και μετά την ρητινένεση



Σχ. 3 – Rc05 φορτίο συναρτήσει απόκλισης πριν και μετά την ρητινένεση

Το ίδιο ικανοποιητικά ήταν τα αποτελέσματα και για τα άλλα δύο κυκλικά είδη φόρτισης. Αρκετά διαφωτιστικό είναι το παρακάτω ιστόγραμμα της αντοχής των δοκιμών όπου συγκρίνεται το αρχικό φορτίο αστοχίας με εκείνο που αντιστοιχεί μετά τον ψεκασμό.



Ιστόγραμμα

## 2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΡΗΤΙΝΕΝΕΣΗΣ

Και οι δύο τύποι ρητίνης αποδείχθηκαν αρκετά αποτελεσματικές στην αποκατάσταση της δοκιμής συνοχής των διαφόρων τύπων δοκαριών.

Οι ρωγμές παρέμειναν κλειστές εκτός μίας σε σύνολο 97. Η επιβεβαίωση έγινε μέσω μικροσκοπικής μελέτης 25 πυρήνων παρμένων από ψεκασμένες περιοχές. Η μελέτη έδειξε την ικανότητα της ρητίνης να σφραγίζει μικρορωγμές τις τάξεως των 0,02mm

Τέλος ερευνήθηκε η πιθανή τάση της ρητίνης να απορροφά νερό με πιθανή επιζήμια επίδραση στην ανθεκτικότητα και απόδοση. Γι' αυτό το λόγο τρία δοκάρια (RCO2, RCO5, RCE2) παρέμειναν μέσα σε νερό, σε θερμοκρασία 38° C για μια περίοδο τεσσάρων μηνών. Η συμπεριφορά τους κατά τη δοκιμή φόρτισης ήταν ακριβώς η ίδια μ' αυτή των άλλων δοκαριών του ίδιου τύπου για το ίδιο σύστημα φόρτισης.

## 3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΤΟΞΕΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

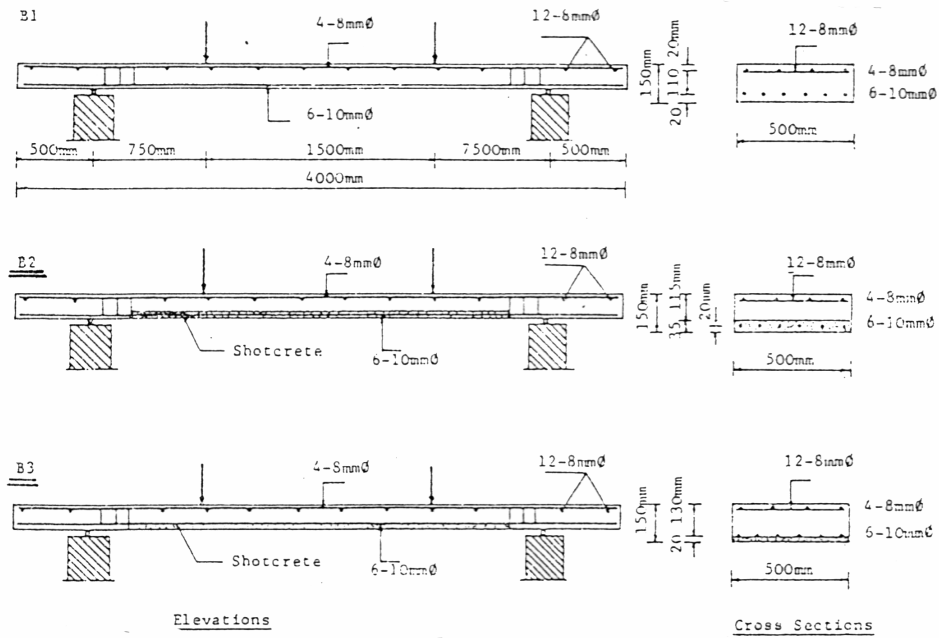
Ο σκοπός αυτής της έρευνας είναι η μελέτη της συνολικής συμπεριφοράς των, με εκτοξευμένο σκυρόδεμα, επισκευασμένων δοκών και ο καθορισμός της ικανότητας του δεσμού μεταξύ του παλαιού και του εκτοξευμένου σκυροδέματος να αναπτύξει πλήρη και σύνθετη συμπεριφορά κάτω απ' τα εφαρμοζόμενα φορτία.

Στο σχ. 4 δίδονται λεπτομέρειες γύρω απ' τους τύπους δοκών ( B1, B2, B3 ).

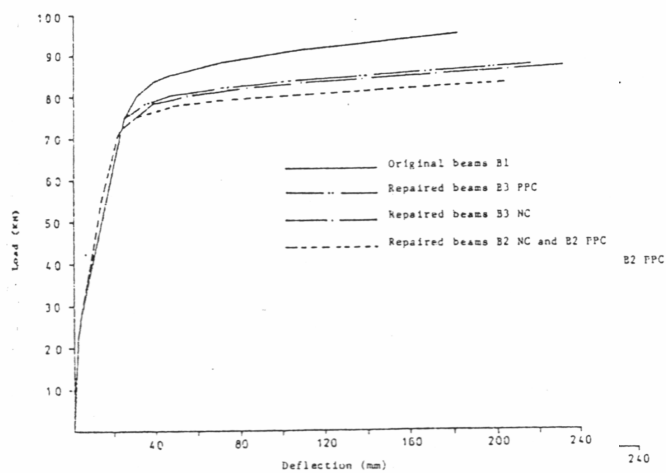
### 3.1 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ

Οι καμπύλες μεταβολής φορτίου – βέλους κάμψης αρχικών και επισκευασμένων δοκών δείχνονται στο σχ.5, όπου φαίνεται ότι οι αποκλίσεις, για τα δύο είδη δοκών είναι σχεδόν ίδιες μέχρι την πρώτη διαρροή των αποτελεσμάτων. Για μεγαλύτερα επίπεδα φόρτισης οι επισκευασμένοι δοκοί παραμορφώθηκαν περισσότερο απ' τους αρχικούς. Οι δύο τύποι

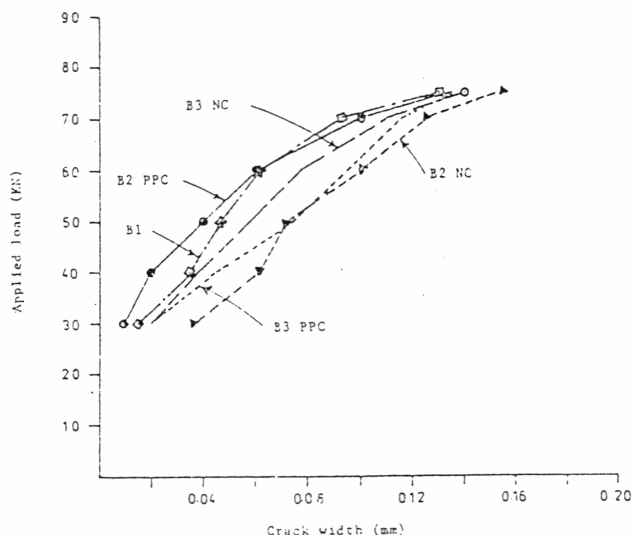
εκτοξευμένου σκυροδέματος (κανονικό και πολυμερές τύπου Portland) αποδείχθηκαν το ίδιο αποτελεσματικοί.



σχ. 4 – Λεπτομέρειες των τεστ δοκών



σχ. 5 – φορτίο συναρτήσει απόκλισης για όλα τα δοκάρια



σχ. 6 – πλάτος ρωγμών

### 3.2 ΤΕΛΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

Τα επισκευασμένα δοκίμια αστόχησαν σε χαμηλότερα φορτία απ' αυτά των αρχικών. Το ποσοστό μείωσης κυμαίνονται από 8% για τα δοκάρια β3 και 12,5% για τα β2.

Το μέγιστο βέλος κάμψης των επισκευασμένων δοκών ήταν μεγαλύτερο από αυτό των αρχικών. Το ποσοστό αύξησης 4% για τα Β2 και 23% για τα Β3.

### 3.3 ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ

Η διάταξη των ρωγμών για την περίπτωση των επισκευασμένων δοκών ήταν η ίδια με των αρχικών. Οι καμπύλες μεταβολής πλάτους ρωγμών σε σχέση με το φορτίο φαίνονται στο σχ.6. Παρατηρούμε ότι οι ρωγμές στα επισκευασμένα δοκίμια ήταν μεγαλύτερες απ' αυτές των αρχικών σ' όλα τα στάδια φόρτισης.

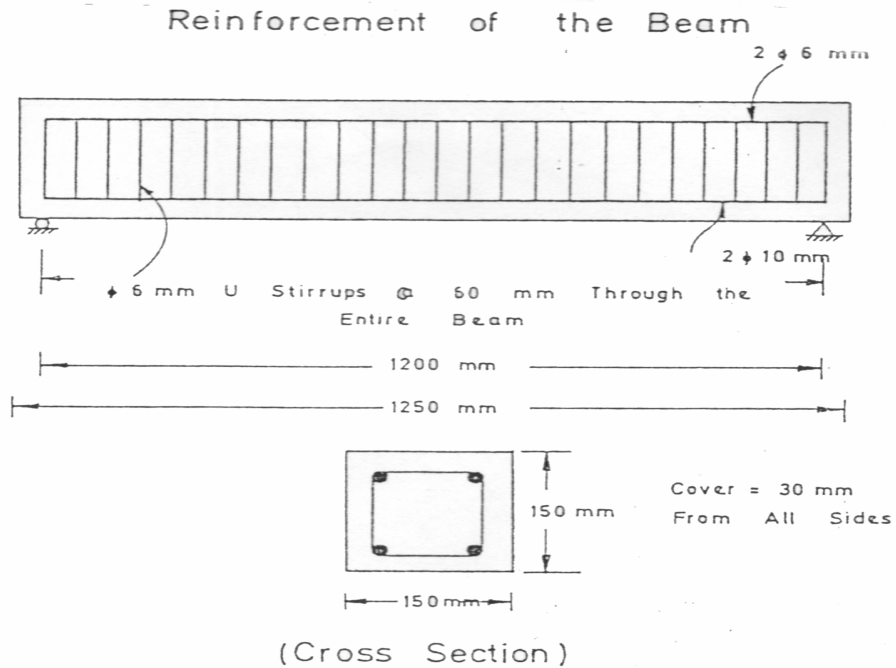
Τέλος πρέπει να επισημανθεί το γεγονός ότι τα στρώματα εκτοξευμένου σκυροδέματος παρέμειναν ενωμένα με το παλαιό σκυροδέμα καθ' όλη τη διάρκεια φόρτισης μέχρι την τελική αστοχία.

## 4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ

Ζημιωμένα δοκάρια, οι διαστάσεις και οπλισμός των ατόμων φαίνονται στο σχ.7, επισκευάστηκαν με επικόλληση χαλύβδινου ελάσματος στην εφελκυόμενη πλευρά.

Τα ελάσματα έχουν διαστάσεις 1100 x 100mm με 1,5 πάχος και αντοχή 450 Μpa

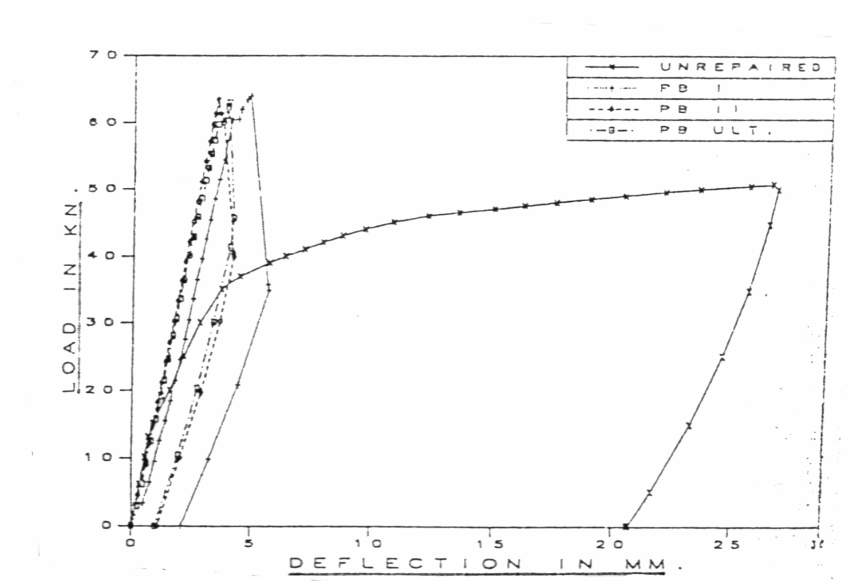
Τα δοκάρια χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες. Κατηγορίες Α και Β στις οποίες περιλαμβάνονται αυτά που υποβλήθηκαν σε επίπεδα ζημιών της τάξης των 10 και 15 mm κεντρικής απόκλισης αντίστοιχα πριν την επισκευή. Στην κατηγορία C τα δοκίμια έφτασαν στην αστοχία.



σχ. 7 – Λεπτομέρειες διαστάσεων και οπλισμών των δοκαριών

#### 4.1 ΦΟΡΤΙΟ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΛΙΚΟ

Το σχ. 8 απεικονίζει το φορτίο συναρτήσει του κεντρικού βέλους κάμψης όπως καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος.



σχ. 8 – Φορτίο συναρτήσει κεντρικής απόκλισης για δοκάρια επισκευασμένα με χαλύβδινα ελάσματα

Φορτίο ρηγματώσης δε φαίνεται να υπάρχει ενώ το τελικό παρουσιάζεται αυξημένο εξαιτίας της αύξησης της δυνατότητας κάμψης η οποία προέρχεται απ' την επιπλέον ενίσχυση στην εφελκυστική πλευρά. Οι εν λόγω αυξήσεις είναι κατα προσέγγιση ίσες για όλα τα επίπεδα ζημιών.

#### 4.2 ΤΕΛΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ

Δοκάρια τα οποία επισκευάστηκαν με συγκόλληση ελασμάτων φαίνεται να παρουσιάζουν πολύ υψηλές μειώσεις στην τελική απόκλιση της τάξης περίπου του 85% για όλα τα επίπεδα ζημιάς. Η αύξηση οπλισμού προκάλεσε την αύξηση της ακαμψίας. Η αστοχία των δοκών έγινε ξαφνικά, εξαιτίας της αποσυγκόλλησης του πλάσματος και διατμητικής αστοχίας της στήριξης.

Τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω συνοψίζονται στον πίνακα 2.

Damage Level	$P_{c1}$ , KN		$P_u$ , KN		$\Delta u_k$ , mm	
	Unrepaired	Repaired	Unrepaired	Repaired	Unrepaired	Repaired
10mm	13,14	-	-	65,34	-	4,13
15mm	15,12	-	-	65,44	-	4,04
Unlimate	13,76	-	50,77	62,06	26,80	3,62

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Mohamed A.H. Abdel – Halim και Schorn “Strength Evaluation of Shotcrete – Repaired Beams”.
2. A.I. Adu – Tair, S.R. Rigden, E. Burley “The effectiveness of the resin injection repair method for cracked RC beams”.
3. I.A. Basunbul, A. Gubati, G.J.Al – Sulaimani, M.H. Baluch “Repaired Reingorced Concrete Beams”.