

## ***ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4***



## **4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΣΧΕΣΕΩΝ ΚΑΝ.ΕΠΕ ΚΑΙ ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

### **4.1 Γενικά**

Στο Κεφάλαιο 3 που προηγήθηκε πραγματοποιήθηκε ανάλυση της σεισμικής απόκρισης όλων των δοκιμών υποστυλωμάτων που κατασκευάστηκαν και εξετάστηκαν στο παρόν Ερευνητικό πρόγραμμα. Σχεδιάστηκαν για κάθε δοκίμιο οι βρόχοι φορτίου – μετατόπισης και ακολούθως τα εξαγόμενα διαγράμματα, που σχετίζονται με τις αντισεισμικές του ιδιότητες (αντοχή, δυσκαμψία, ικανότητα απορρόφησης ενέργειας). Σημαντικές πληροφορίες για τη συμπεριφορά των δοκιμών υπό πλευρικό και αξονικό θλιπτικό φορτίο παρείχαν και τα διαγράμματα παραμορφώσεων των οπλισμών που εξήχθησαν βάσει μικρομετρήσεων, με τη βοήθεια ταινιών μέτρησης της παραμόρφωσης των διαμήκων ράβδων.

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται σύγκριση της συμπεριφοράς σε σεισμό των δοκιμών κάθε Σειράς. Στη Σειρά I εξετάζεται η αποτελεσματικότητα των χαλύβδινων μανδυνών (δύο διαφορετικά πάχη) ως μέσο περίσφιγξης για την αντιμετώπιση του ανεπαρκούς μήκους παράθεσης οπλισμών (δύο διαφορετικά μήκη). Η απόκριση σε σεισμό των ενισχυμένων στύλων της Σειράς δοκιμών I συγκρίνεται με εκείνη του δοκιμίου – στόχου,  $C_1$ , με τις συνεχείς διαμήκεις ράβδους οπλισμού χωρίς παραθέσεις. Στα υποστυλώματα της Σειράς δοκιμών II ελέγχεται η αποτελεσματικότητα της αποκατάστασης της συνέχειας των οπλισμών μέσω διαφόρων τύπων συγκολλήσεων ή με τη χρήση μηχανικών μέσων (αρμοκλείδες). Η συμπεριφορά που επέδειξαν τα δοκίμια της Σειράς αυτής αξιολογείται με δοκίμιο αναφοράς το  $C_1$  της Σειράς I. Αντίστοιχα πραγματοποιείται σύγκριση της σεισμικής απόκρισης των δοκιμών της Σειράς III με δοκίμιο αναφοράς το  $RC_2$ . Στην περίπτωση αυτή ελέγχεται η βελτίωση που επιτυγχάνεται με την ενίσχυση του στύλου κάθε δοκιμίου αφενός με την κατασκευή μανδύα Ο/Σ και αφετέρου με τη συγκόλληση ή περίσφιγξη των παρατιθέμενων ράβδων μέσω πρόσθετων συνδετήρων. Για το συγκριτικό έλεγχο της σεισμικής συμπεριφοράς των υποστυλωμάτων σχεδιάστηκαν οι περιβάλλουσες των βρόχων και τα αντίστοιχα διαγράμματα αντοχών, δυσκαμψιών, απορρόφησης ενέργειας, καθώς και τα διαγράμματα των λόγων αντοχής, δυσκαμψίας και απορρόφησης ενέργειας.

## 4.2 Σύγκριση σεισμικής συμπεριφοράς των δοκιμών της Σειράς Ι

### Αντοχή:

Στα σχήματα 122 και 123 δίνονται οι βρόχοι υστερητικής απόκρισης των δοκιμών της Σειράς Ι και οι περιβάλλουσες αυτών αντίστοιχα. Σε όλα τα δοκίμια της Σειράς Ι χρησιμοποιήθηκαν υλικά της αυτής ποιότητας για την κατασκευή τους (χάλυβας S220 και σκυρόδεμα C8/10), ενώ οι λεπτομέρειες όπλισής τους ήταν παρόμοιες, όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2. Ως συνέπεια των παραπάνω τα δοκίμια εμφάνισαν παραπλήσιες μέγιστες τιμές αντοχής κατά τον πρώτο κύκλο της πλευρικής φόρτισης με μικρές αποκλίσεις της τάξεως των 3 με 4kN το πολύ περίπου. Σε όλους τους στύλους παρατηρείται πτώση της αντοχής με την αύξηση της πλευρικής μετατόπισης, ο ρυθμός της οποίας διαφέρει σε κάθε δοκίμιο. Όπως φαίνεται στα σχήματα 123 και 124 το ενισχυμένο δοκίμιο  $S_2L_1$  εμφανίζει αντοχή ελαφρώς μεγαλύτερη από εκείνη του δοκιμίου - στόχου  $C_1$  για τιμές πλευρικής μετατόπισης μεγαλύτερες των 25mm στους άνω ημίκυκλους φόρτισης (push) και 30mm στους κάτω ημίκυκλους (pull). Επίσης η αντοχή του  $S_2L_2$  είναι μεγαλύτερη από την αντοχή των  $C_1$  και  $S_2L_1$  σε όλους τους κάτω ημίκυκλους φόρτισης και ελαφρώς χαμηλότερη εκείνης του  $C_1$  από τον πρώτο μέχρι τον έβδομο άνω ημίκυκλο, οπότε και γίνεται μεγαλύτερή της μέχρι το τέλος του πειράματος (drift 6,63%). Οι ενισχυμένοι με χαλύβδινο μανδύα πάχους 1mm στύλοι  $S_1L_1$  και  $S_1L_2$  εμφανίζουν χαμηλότερη αντοχή από όλα τα άλλα δοκίμια της Σειράς Ι. Αυτό γίνεται επίσης φανερό και από τα διαγράμματα των λόγων αντοχών (Σχ.125). Συγκεκριμένα το υποστύλωμα  $S_1L_2$  στους άνω ημίκυκλους (push) εμφανίζει μία μέση τιμή λόγου  $S_1L_2/C_1$  ίση περίπου με 0,73 και ο στύλος  $S_1L_1$  στους κάτω ημίκυκλους (pull) μία μέση τιμή λόγου  $S_1L_1/C_1$  ίση περίπου με 0,71. Τα δοκίμια  $S_2L_1$  και  $S_2L_2$ , με χαλύβδινο μανδύα πάχους 5mm και μήκη παράθεσης των οπλισμών τους  $20d_b$  και  $24d_b$ , αντίστοιχα, εμφάνισαν αντοχή πολύ κοντά ή και μεγαλύτερη από την αντοχή του δοκιμίου – στόχου της Σειράς Ι με τους συνεχείς οπλισμούς. Η τιμή του λόγου αντοχής  $S_2L_1/C_1$  αγγίζει το 1,44 στον ενδέκατο άνω ημίκυκλο φόρτισης και το 1,76 στον ενδέκατο κάτω ημίκυκλο, ενώ ο λόγος  $S_2L_2/C_1$  λαμβάνει τις τιμές 1,10 και 1,72 κατά τον ενδέκατο άνω και κάτω ημίκυκλο αντίστοιχα.

### Δυσκαμψία:

Στο διάγραμμα του σχήματος 126 πραγματοποιείται σύγκριση της δυσκαμψίας των δοκιμών της Σειράς Ι. Όλα τα δοκίμια παρουσιάζουν μείωση της δυσκαμψίας τους με τρόπο παρόμοιο καθώς αυξάνεται η επιβαλλόμενη πλευρική μετακίνηση των στύλων. Στο τέλος του ενδέκατου κύκλου φόρτισης (drift 6,63%) η δυσκαμψία των στύλων περιορίζεται σε ποσοστό επί της αρχικής της τιμής που κυμαίνεται από 7,29% (δοκίμιο  $S_1L_1$ ) έως 13,95% (δοκίμιο  $S_2L_1$ ). Τα δοκίμια που ενισχύθηκαν με χαλύβδινο μανδύα πάχους 5mm παρουσίασαν τιμές δυσκαμψίας πολύ κοντά ή και μεγαλύτερες από εκείνες του δοκιμίου – στόχου  $C_1$ . Συγκεκριμένα οι στύλοι  $S_2L_1$  και  $S_2L_2$  εμφανίζουν αυξημένη δυσκαμψία σε σχέση με τον  $C_1$  μετά τον τρίτο (μετακίνηση 25mm) και τον έκτο (μετακίνηση 40mm) κύκλο φόρτισης αντίστοιχα. Στο τέλος του πειράματος (ενδέκατος κύκλος) το υποστύλωμα  $S_2L_1$  παρουσιάζει αυξημένη

δυσκαμψία κατά 57% περίπου σε σχέση με το  $C_1$  και το  $S_2L_2$  κατά 34%, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα του σχήματος 127. Η δυσκαμψία των δοκιμών με χαλύβδινο μανδύα 1mm κυμάνθηκε σε μία μέση τιμή περίπου ίση με το 81% επί της δυσκαμψίας του δοκιμίου - στόχου  $C_1$  στην περίπτωση του  $S_1L_1$  και 69% στην περίπτωση του  $S_1L_2$ . Το γεγονός ότι τα ενισχυμένα με χαλύβδινο μανδύα περίσφιγξης δοκίμια της Σειράς Ι δεν παρουσιάζουν σημαντική βελτίωση της δυσκαμψίας τους σε σχέση με το απερίσφιχτο δοκίμιο αναφοράς  $C_1$  είναι αναμενόμενο, καθώς ο λεπτός μεταλλικός μανδύας που εφαρμόζεται (μέχρι 5mm) δεν μεταβάλλει τη γεωμετρία των στύλων, ενώ σταματά και 20mm πάνω από τη θέση πάκτωσης των υποστυλωμάτων στη βάση των δοκιμών. Παρόλα αυτά η συμπεριφορά των δοκιμών σε ό,τι αφορά στη μεταβολή της δυσκαμψίας τους είναι ανάλογη εκείνης που παρουσιάζει η αντοχή των δοκιμών.

#### Απορρόφηση ενέργειας:

Παρατηρώντας το ραβδόγραμμα σύγκρισης της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας των δοκιμών της πρώτης Σειράς (Σχ.128) φαίνεται ότι τα δοκίμια με 1mm πάχους χαλύβδινο μανδύα  $S_1L_1$  και  $S_1L_2$ , παρουσιάζουν χαμηλές -και πολύ κοντινές μεταξύ τους- τιμές απορρόφησης ενέργειας μέχρι και τον δέκατο κύκλο φόρτισης, ενώ τα δοκίμια  $S_2L_1$  και  $S_2L_2$  με χαλύβδινο μανδύα 5mm εμφανίζουν αυξημένη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας σε σύγκριση με τα  $S_1L_1$  και  $S_1L_2$ . Το  $S_2L_2$  συμπεριφέρεται καλύτερα από όλα τα υπόλοιπα ενισχυμένα δοκίμια της Σειράς Ι απορροφώντας ενέργεια ίση με το 90% περίπου εκείνης που απορροφά το δοκίμιο – στόχος  $C_1$  στον πρώτο κύκλο φόρτισης, ενώ στο τέλος του πειράματος (ενδέκατος κύκλος) απορροφά ποσό ενέργειας κατά 22% μεγαλύτερο εκείνου του δοκιμίου – στόχου (Σχ.129). Η ύπαρξη του χαλύβδινου μανδύα περίσφιγξης στο δοκίμιο  $S_2L_2$  εξηγεί την απορρόφηση περισσότερης κατά 22% ενέργειας από το στύλο του δοκιμίου  $S_2L_2$  σε σύγκριση με το  $C_1$  κατά τον ενδέκατο κύκλο καθώς δεν επιτρέπει να συμβεί αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στις θλιβόμενες ζώνες και λυγισμός των διαμήκων ράβδων οπλισμού του στύλου, όπως είχε συμβεί στο δοκίμιο  $C_1$ . Η μέση τιμή της ενέργειας που απορροφάται από τα ενισχυμένα δοκίμια της Σειράς Ι στους ένδεκα κύκλους της σεισμικής φόρτισης είναι, ως ποσοστό της ενέργειας που απορροφάται από το δοκίμιο – στόχο  $C_1$ , 50% στην περίπτωση του στύλου  $S_1L_1$ , 48,35% στο στύλο  $S_1L_2$ , 65,8% στο στύλο  $S_2L_1$  και 80% στην περίπτωση του  $S_2L_2$ . Η ενίσχυση επομένως των δοκιμών  $L_1$  και  $L_2$  της Σειράς Ι με χαλύβδινο μανδύα πάχους 1mm δεν κατάφερε να βελτιώσει το ίδιο καλά την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας των στύλων όπως στην περίπτωση των  $L_1$  και  $L_2$  της Σειράς Ι που ενισχύθηκαν με χαλύβδινο μανδύα πάχους 5mm.

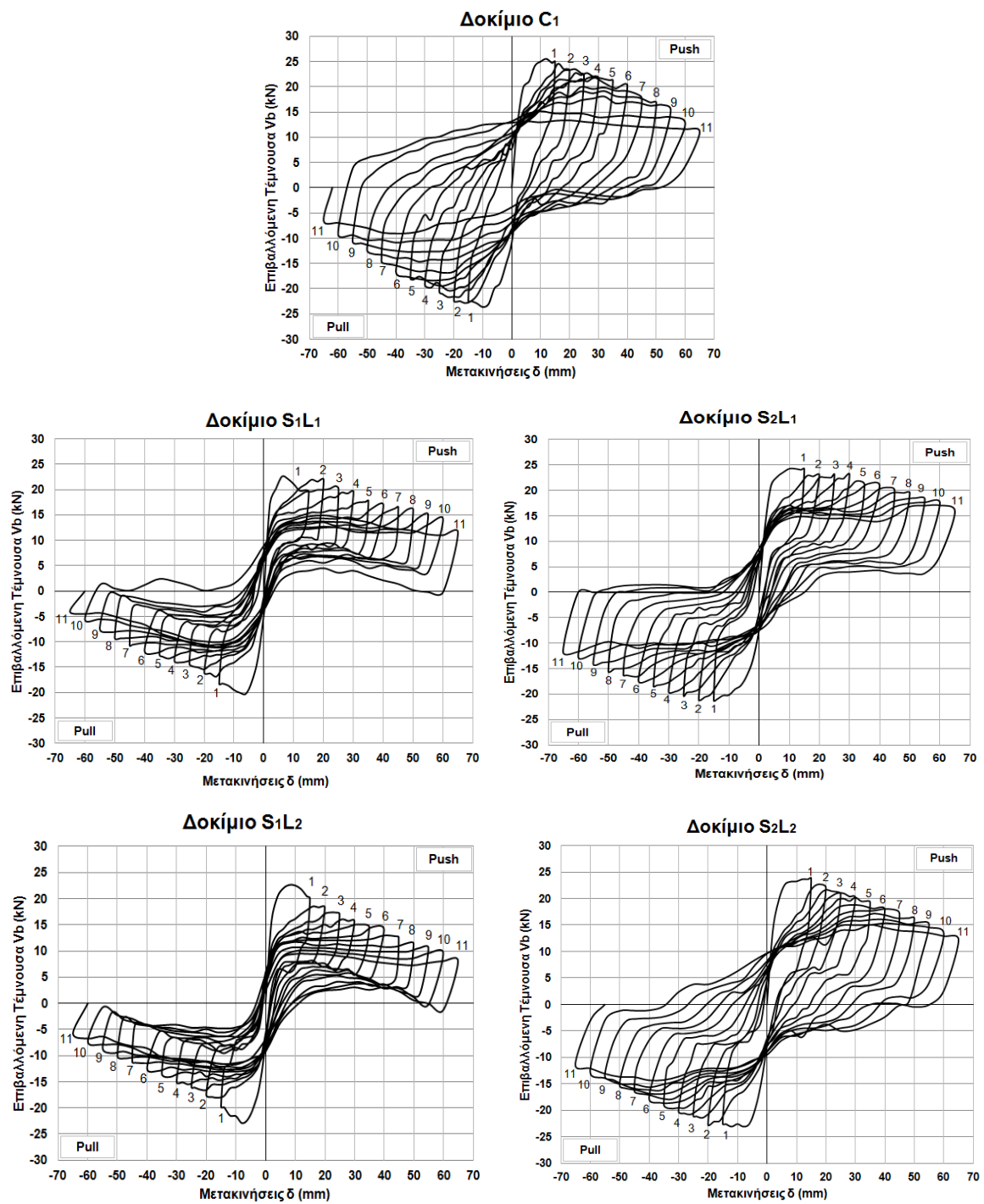
#### Εικόνα αστοχίας:

Παρατηρώντας τη μορφή των υστερητικών βρόχων των δοκιμών της Σειράς Ι (Σχ.122) γίνεται εύκολα αντιληπτή η επιρροή του φαινομένου P-δ στη σεισμική συμπεριφορά των στύλων. Στην περίπτωση του δοκιμίου  $C_1$ , με τους συνεχείς δίχως παραθέσεις και καλά αγκυρωμένους στη βάση πάκτωσης του στύλου διαμήκεις οπλισμούς, η επίδραση του φαινομένου δευτέρας τάξεως P-δ είναι σημαντικά μικρότερη απ' ό,τι στα ενισχυμένα με χαλύβδινο μανδύα δοκίμια με ανεπαρκή μήκη

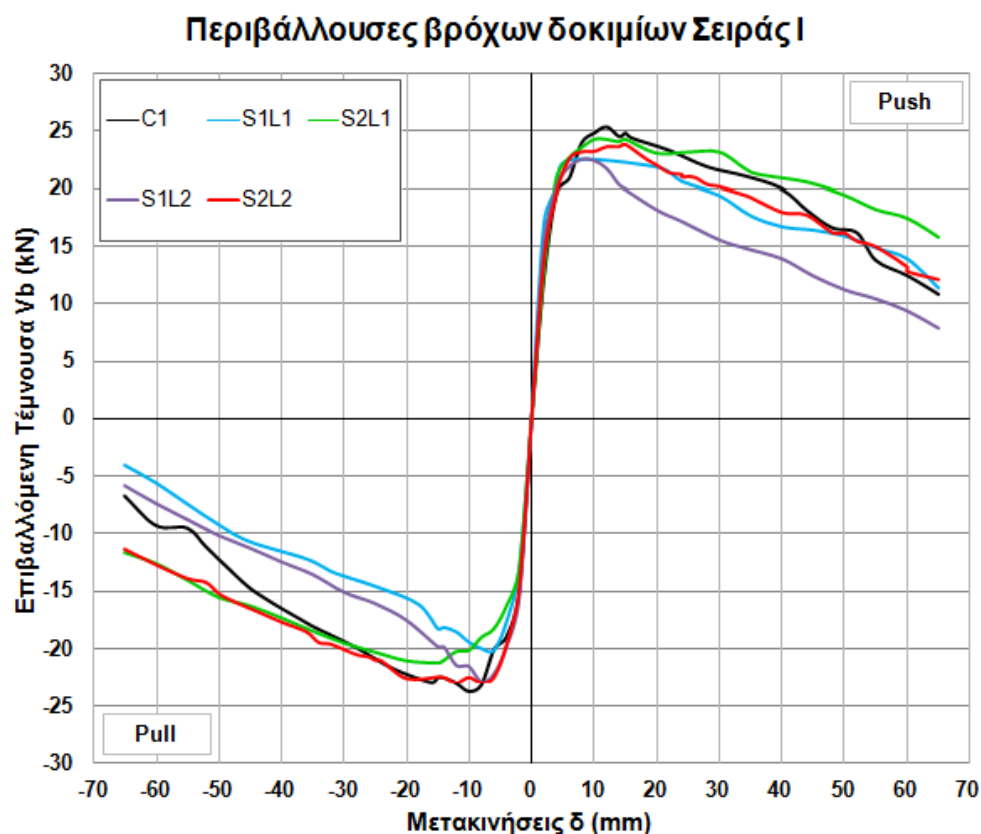
παράθεσης των διαμήκων ράβδων τους  $S_1L_1$ ,  $S_2L_1$ ,  $S_1L_2$  και  $S_2L_2$ . Στα τελευταία η μικρή καμπτική αντοχή των υποστυλωμάτων σε συνδυασμό με τις σημαντικές ολισθήσεις που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή της πλαστικής άρθρωσης, όπου συμβαίνει και η παράθεση των οπλισμών, έχουν ως συνέπεια την αύξηση της επίδρασης του αξονικού φορτίου στη σεισμική συμπεριφορά του υποστυλώματος κατά την πλευρική του μετατόπιση. Έτσι η έντονη επιρροή του P-δ προκαλεί το σχηματισμό βρόχων σχήματος “αυτιού” στις περιπτώσεις των δοκιμών με μήκη παράθεσης 20Φ και 24Φ  $S_1L_1$  και  $S_1L_2$  που ενισχύονται με χαλύβδινο μανδύα πάχους 1mm, αλλά σε μικρότερο βαθμό και στο υποστύλωμα  $S_2L_1$  με μήκος παράθεσης 20Φ και χαλύβδινο μανδύα πάχους 5mm. Η μορφή των βρόχων του  $S_2L_2$  (μήκος παραθέσεως 24Φ και χαλύβδινο μανδύα πάχους 5mm) προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό εκείνη των βρόχων του δοκιμίου – στόχου  $C_1$  και η επιρροή του P-δ είναι μικρότερη απ’ ό,τι στα άλλα ενισχυμένα δοκίμια. Η αστοχία του  $C_1$  οφείλεται στη σταδιακή αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στις θλιβόμενες ζώνες που σε συνδυασμό με τους πολύ αραιά διατεταγμένους εγκάρσιους οπλισμούς του στύλου (Φ6/200mm) και την επίδραση του αξονικού φορτίου οδηγούν στο λυγισμό των διαμήκων οπλισμών. Πρόκειται για πλάστιμου τύπου αστοχία που εξηγεί την ιδανική συμπεριφορά του δοκιμίου με τους συνεχείς διαμήκεις οπλισμούς. Στα δοκίμια  $S_1L_1$ ,  $S_2L_1$ ,  $S_1L_2$  και ιδίως στο  $S_1L_2$  που παρουσιάζει τη χειρότερη συμπεριφορά σε σεισμό η αστοχία οφείλεται εν πολλοίς στην επίδραση του φαινομένου P-δ το οποίο κυριαρχεί στη σεισμική απόκριση των δοκιμών αυτών. Ο στύλος  $S_2L_2$  συμπεριφέρεται σαφώς καλύτερα από τα υπόλοιπα ενισχυμένα δοκίμια της Σειράς Ι και η αστοχία του συμβαίνει με περισσότερο πλάστιμο τρόπο. Σε κάθε περίπτωση η εικόνα αστοχίας των δοκιμών που ενισχύθηκαν βάσει της Σχέσεως Σ6.14 του ΚΑΝ.ΕΠΕ είναι χειρότερη από εκείνη των δοκιμών στα οποία εφαρμόστηκε η σχέση Τάσιου (2009) που αναφέρεται στους μεταλλικούς μανδύες:

$$t_j = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{E_s \cdot f_{ctm}}{f_{sy}} \cdot w \quad (\text{Τάσιος 2009})$$

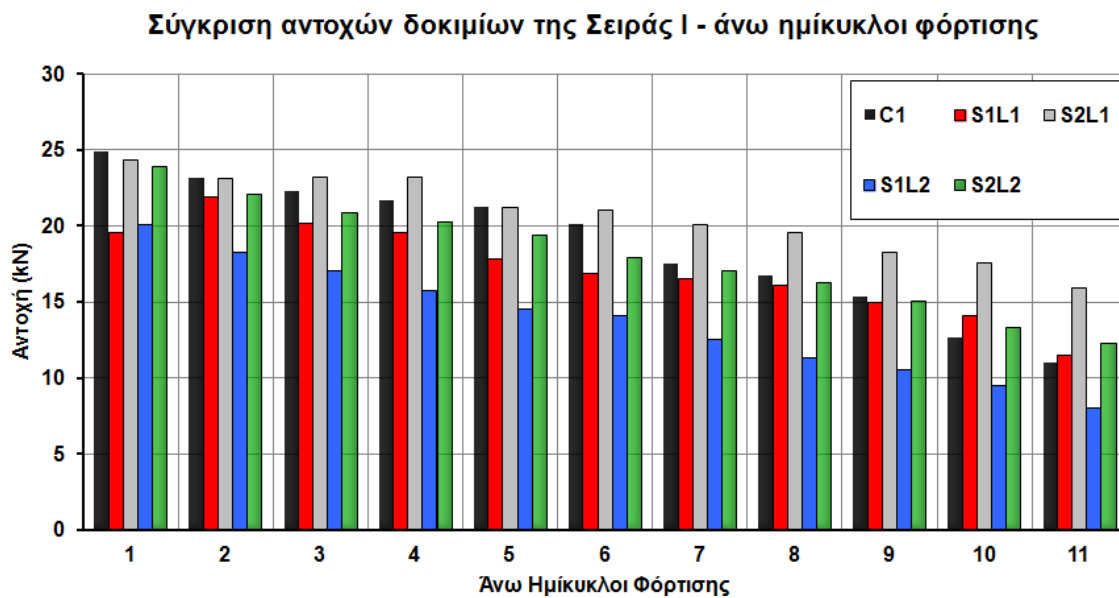
Τα δοκίμια  $S_2L_1$  και  $S_2L_2$  που ενισχύθηκαν βάσει της τελευταίας σχέσεως εμφανίζουν σημαντικά βελτιωμένη απόκριση σε σχέση με τα  $S_1L_1$  και  $S_1L_2$  και προσεγγίζουν, ιδιαίτερα στην περίπτωση του δοκιμίου  $S_2L_2$ , σημαντικά τη μορφή αστοχίας του δοκιμίου  $C_1$  με τους συνεχείς οπλισμούς χωρίς παραθέσεις.



Σχ. 122: Βρόχοι υστερητικής απόκρισης των δοκιμών της Σειράς Ι

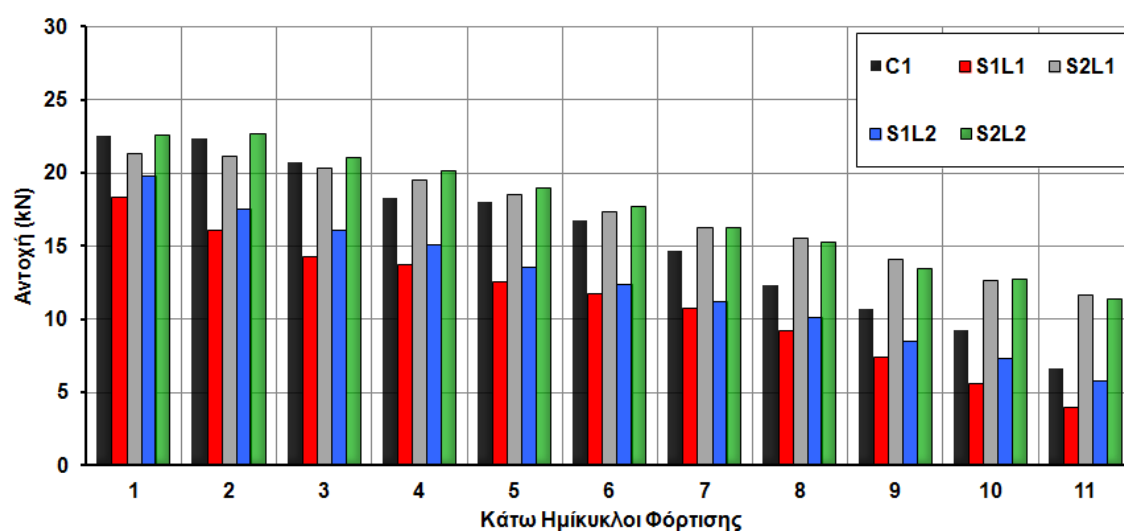


Σχ. 123 : Περιβάλλουσες βρόχων δοκιμών της Σειράς Ι



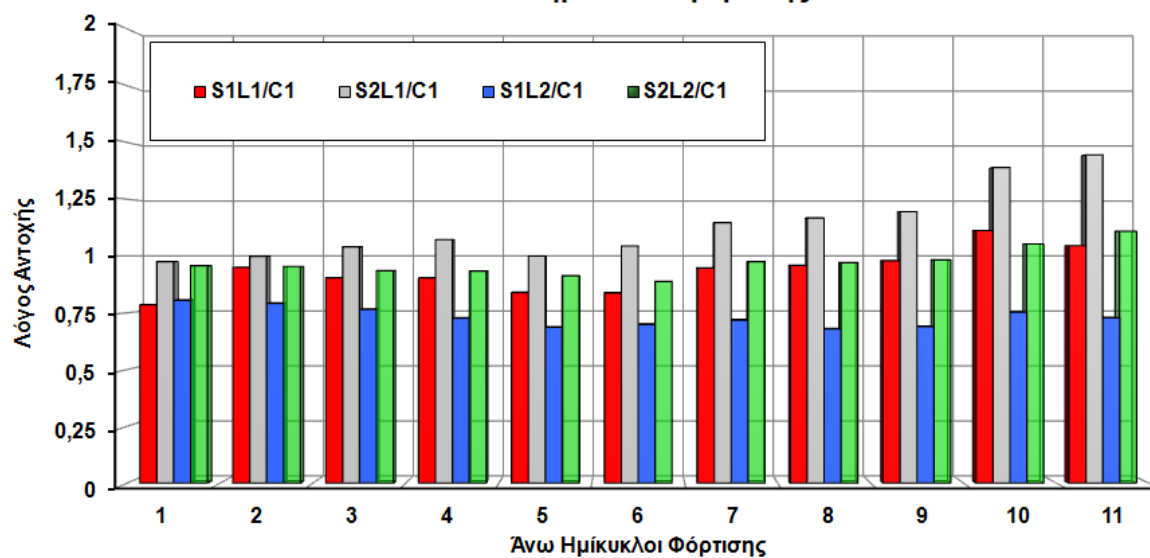


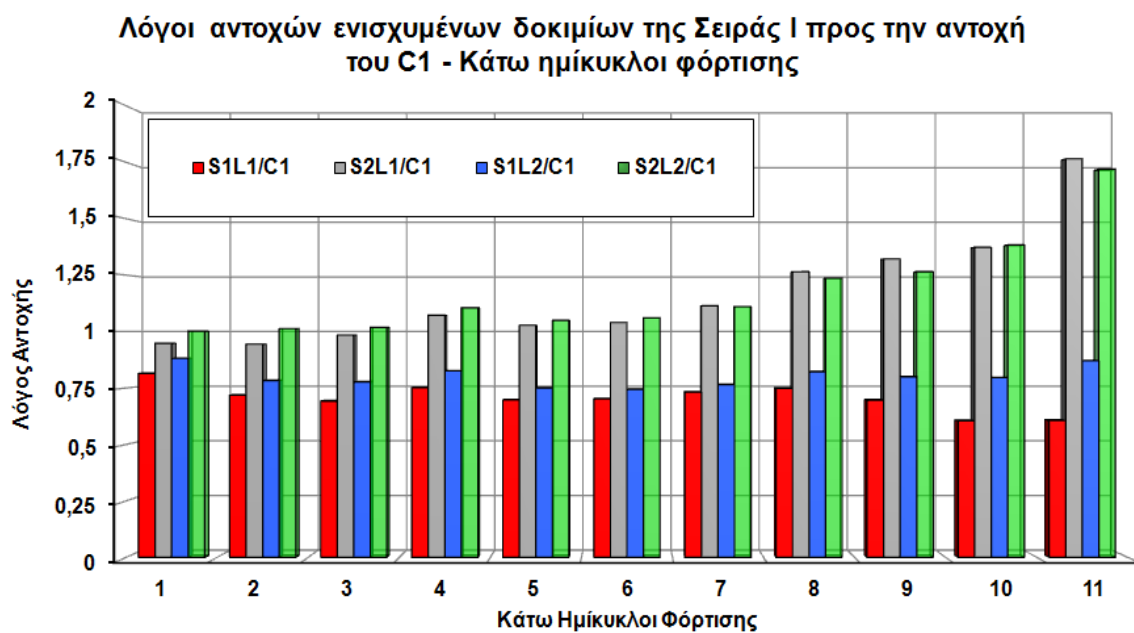
### Σύγκριση αντοχών δοκιμών της Σειράς Ι - κάτω ημίκυκλοι φόρτισης



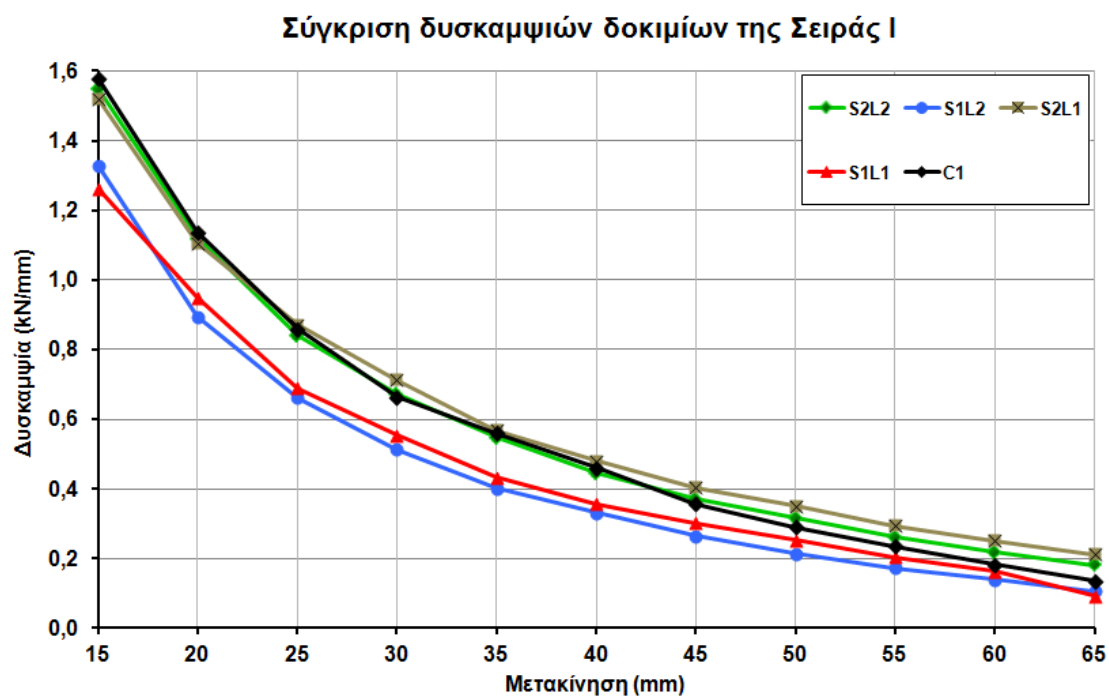
Σχ. 124: Διαγράμματα σύγκρισης των αντοχών των δοκιμών της Σειράς Ι. Άνω και κάτω ημίκυκλοι φόρτισης

### Λόγοι αντοχών ενισχυμένων δοκιμών της Σειράς Ι προς την αντοχή του C1 - Άνω ημίκυκλοι φόρτισης



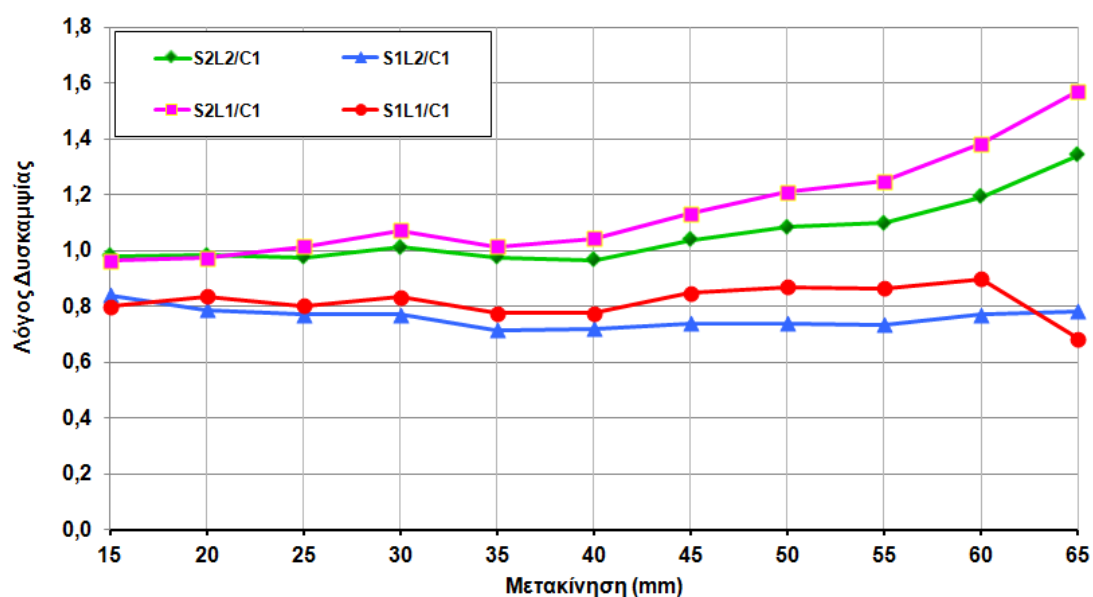


Σχ. 125: Διαγράμματα λόγων αντοχών των δοκιμών της Σειράς Ι. Άνω και κάτω ημίκυκλοι φόρτισης



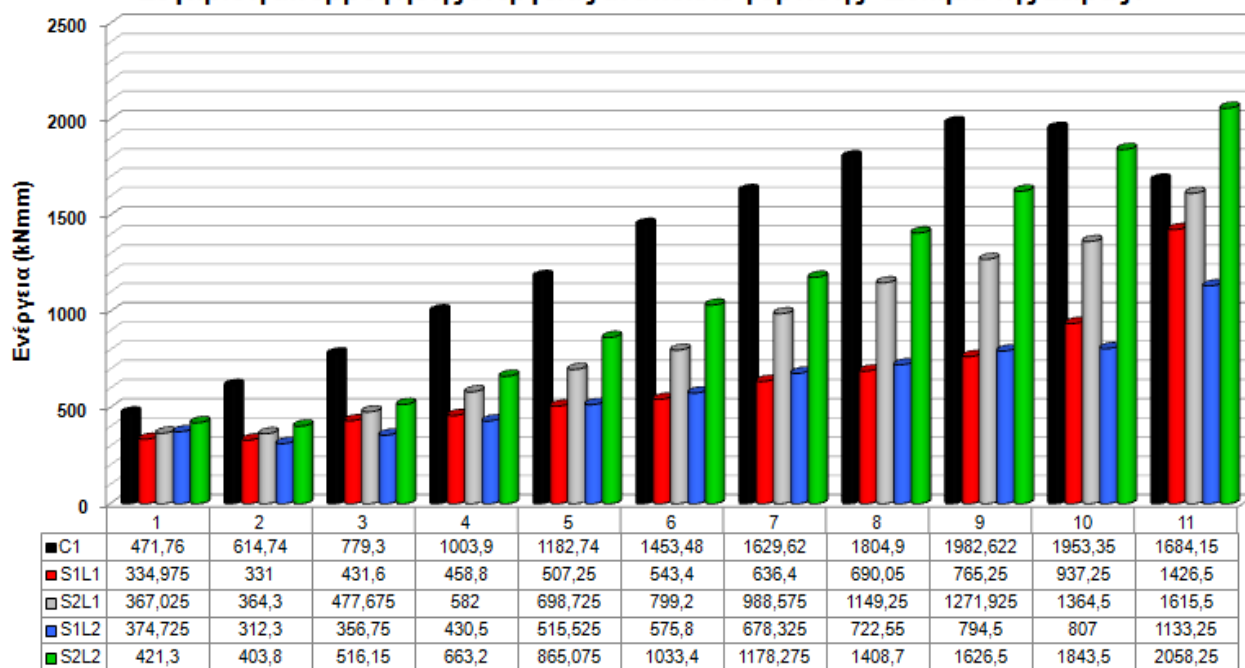
Σχ. 126 : Διάγραμμα σύγκρισης της δυσκαμψίας των δοκιμών της Σειράς Ι.

**Λόγοι δυσκαμψιών ενισχυμένων δοκιμών της Σειράς Ι προς τη  
δυσκαμψία του C1 σε κάθε κύκλο φόρτισης**

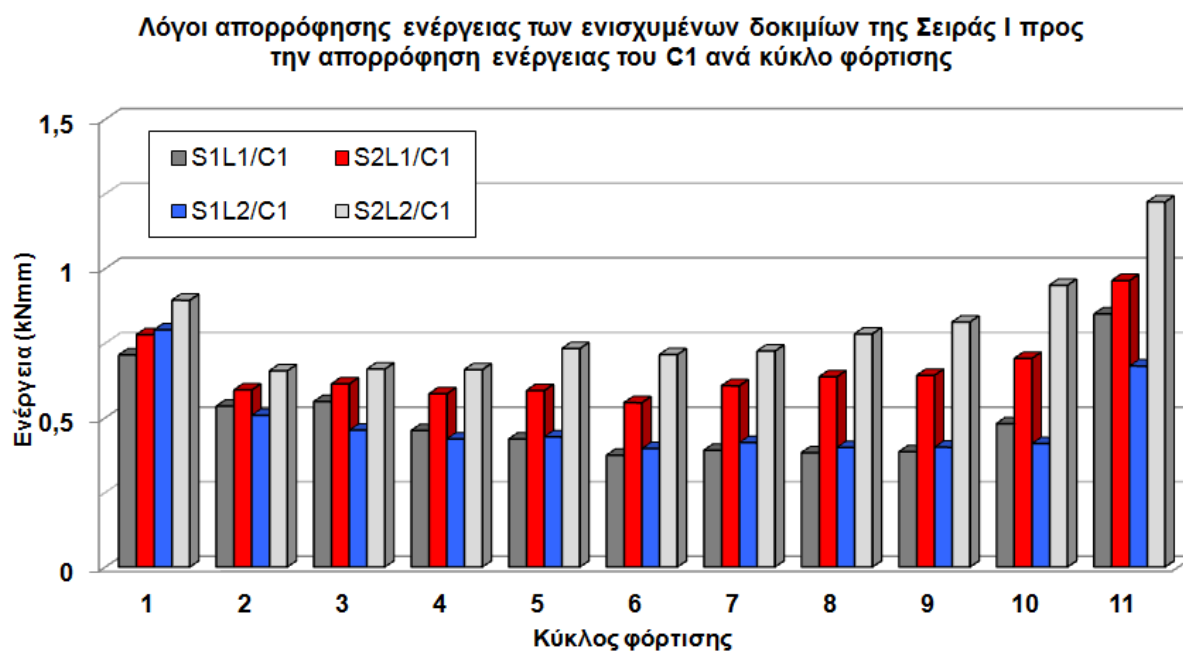


Σχ. 127 : Διάγραμμα λόγων δυσκαμψιών των δοκιμών της Σειράς Ι

**Σύγκριση απορρόφησης ενέργειας ανά κύκλο φόρτισης - Δοκίμια της Σειράς Ι**



Σχ. 128: Σύγκριση της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας των δοκιμών της Σειράς Ι



Σχ. 129 : Λόγοι απορρόφησης ενέργειας των ενισχυμένων δοκιμών της Σειράς Ι ως προς εκείνη του C<sub>1</sub>

### 4.3 Σύγκριση σεισμικής συμπεριφοράς δοκιμών Σειράς II

#### Αντοχή:

Στα σχήματα 130 και 131 φαίνονται οι βρόχοι υστερητικής απόκρισης και οι περιβάλλουσες των δοκιμών υποστυλωμάτων της Σειράς II. Από τη μορφή των βρόχων γίνεται φανερό πως η αντοχή σε όλα τα δοκίμια της Σειράς II μειώνεται με παρόμοιο ρυθμό τόσο στους άνω (push) όσο και στους κάτω (pull) ημίκυκλους φόρτισης. Οι τιμές αντοχής των στύλων με τις συγκολλημένες διαμήκεις ράβδους W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub>, και W<sub>3</sub> παρουσιάζουν σε όλους τους κύκλους μικρές διαφορές μεταξύ τους της τάξεως του 1 με 2 kN. Στους κάτω ημίκυκλους η περιβάλλουσα του δοκιμίου M<sub>1</sub> με τις μηχανικές αγκυρώσεις σχεδόν ταυτίζεται με τις περιβάλλουσες των υπολοίπων δοκιμών της Σειράς II καθώς και με εκείνη του δοκιμίου – στόχου της Σειράς I, C<sub>1</sub>. Στους άνω ημίκυκλους φόρτισης ωστόσο το M<sub>1</sub> εμφανίζει μειωμένη αντοχή σε σύγκριση με τα W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub>, W<sub>3</sub>, και C<sub>1</sub>, η οποία ελαττώνεται με την αύξηση της πλευρικής μετατόπισης κατά τρόπο αντίστοιχο με των υπολοίπων δοκιμών. Η μειωμένη αντοχή του M<sub>1</sub> στους άνω ημίκυκλους (push) οφείλεται σε ολισθήσεις των συνδεόμενων με τις αρμοκλείδες διαμήκων ράβδων στην εφελκούμενη πλευρά του υποστυλώματος κατά τις μετακινήσεις στη διεύθυνση push. Στο τέλος του ενδέκατου κύκλου (drift 6,63%) οι λόγοι αντοχών W<sub>1</sub>/C<sub>1</sub>, W<sub>2</sub>/C<sub>1</sub>, W<sub>3</sub>/C<sub>1</sub> και M<sub>1</sub>/C<sub>1</sub> είναι ίσοι με 1,41, 1,42, 1,24 και 0,94 στον άνω ημίκυκλο και με 1,56, 1,68, 1,36 και 0,98 στον κάτω ημίκυκλο αντίστοιχα (Σχ.133). Η αντοχή που εμφανίζουν τα δοκίμια με τις συγκολλημένες κατά

παράθεση ( $W_1$ ), κατά μέτωπο ( $W_2$ ) και κατά λωρίδες ( $W_3$ ) διαμήκεις ράβδους στη βάση των στύλων είναι όπως φαίνεται στο σχήμα Σχ. 132 αντίστοιχη με την αντοχή του δοκιμίου  $C_1$  και μάλιστα ελαφρώς αυξημένη. Σε αυτό συνέβαλε σημαντικά η επιτυχής κατασκευή των συγκολλήσεων (δεν αστόχησαν κατά τη σεισμική φόρτιση), οι οποίες εξασφάλισαν τη συνέχεια των ράβδων αποκαθιστώντας ταυτόχρονα το μηχανισμό μεταφοράς δυνάμεων. Συγχρόνως, η πυκνή διάταξη των συνδετήρων στην κρίσιμη περιοχή των δοκιμίων της Σειράς II ( $\Phi 8/80\text{mm}$ ) δεν επέτρεψε να συμβεί λυγισμός των διαμήκων οπλισμών στη βάση των στύλων μετά την απώλεια του σκυροδέματος επικάλυψης στις θλιβόμενες ζώνες. Αντίθετα στο δοκίμιο  $C_1$ , που είχε συνδετήρες  $\Phi 6/200\text{mm}$ , οι συνεχείς διαμήκεις ράβδοι παρουσίασαν μετά την απώλεια της επικάλυψης έντονο λυγισμό. Από την ανάλυση που προηγήθηκε προκύπτει ότι οι τιμές της αντοχής όλων των δοκιμίων της Σειράς II -τόσο των  $W_1$ ,  $W_2$  και  $W_3$  με τις συγκολλημένες διαμήκεις ράβδους όσο και του  $M_1$  με τις συνδεόμενες ράβδους με τη βοήθεια μηχανικών μέσων- είναι πολύ κοντά στις τιμές του δοκιμίου  $C_1$  με τις συνεχείς ράβδους.

#### Δυσκαμψία:

Στο διάγραμμα του σχήματος Σχ.134 πραγματοποιείται σύγκριση της δυσκαμψίας των δοκιμίων της Σειράς II και του δοκιμίου – στόχου  $C_1$  της Σειράς I. Όλα τα δοκίμια παρουσιάζουν μείωση της δυσκαμψίας τους με τρόπο παρόμοιο καθώς αυξάνεται η επιβαλλόμενη πλευρική μετακίνηση των στύλων. Οι τιμές της δυσκαμψίας όλων των συγκρινόμενων δοκιμίων είναι παραπλήσιες σε όλη τη διάρκεια των ένδεκα κύκλων της σεισμικής φόρτισης στην οποία υποβλήθηκαν. Συγκεκριμένα στην περίπτωση των  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$  είναι ελαφρώς αυξημένες σε σχέση με του στύλου  $C_1$  και σχεδόν ταυτίζονται μεταξύ τους (ειδικά στην περίπτωση των  $W_1$  και  $W_3$ ). Το  $M_1$  παρουσίασε ελαφρώς μικρότερη δυσκαμψία από τα δοκίμια στα οποία εξετάστηκε η αποτελεσματικότητα των συγκολλήσεων αλλά και από το  $C_1$ . Στο τέλος του ενδέκατου κύκλου φόρτισης (drift 6,63%) η δυσκαμψία των στύλων περιορίζεται σε ποσοστό επί της αρχικής της τιμής που κυμαίνεται από 8,55% (δοκίμιο  $C_1$ ) έως 12,72% (δοκίμιο  $W_2$ ) ενώ οι λόγοι δυσκαμψίας  $W_1/C_1$ ,  $W_2/C_1$ ,  $W_3/C_1$  και  $M_1/C_1$  λαμβάνουν τιμές ίσες με 1,47, 1,53, 1,29 και 0,96 αντίστοιχα (Σχ. 135).

#### Απορρόφηση ενέργειας:

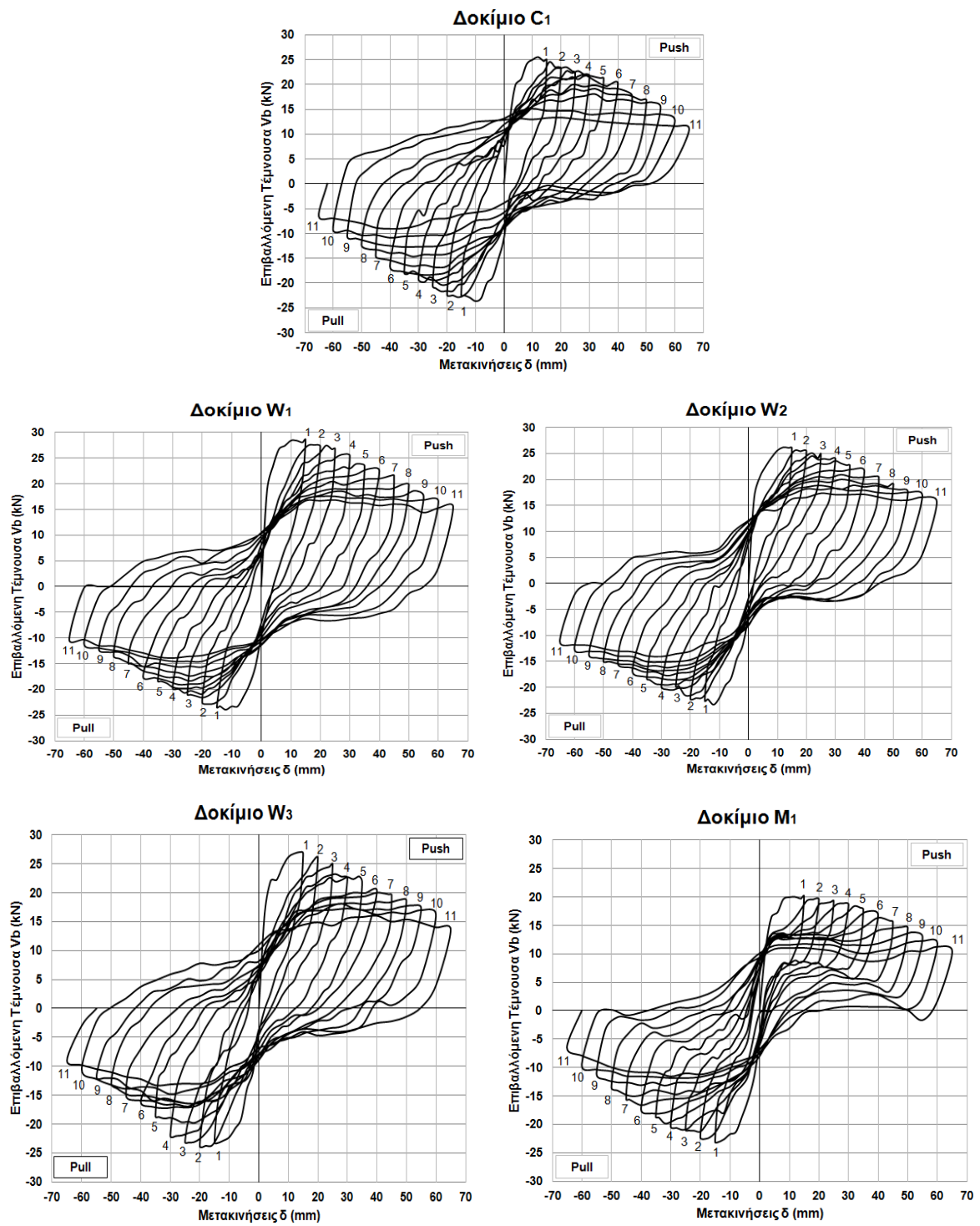
Παρατηρώντας το ραβδόγραμμα σύγκρισης της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας των δοκιμίων της δεύτερης Σειράς (Σχ.136) προκύπτει ότι τα δοκίμια με τις συγκολλημένες ράβδους  $W_1$ ,  $W_2$  και  $W_3$  παρουσιάζουν υψηλές τιμές απορρόφησης ενέργειας, που διαρκώς αυξάνονται με την αύξηση της πλευρικής μετατόπισης και βρίσκονται πολύ κοντά στις αντίστοιχες τιμές του δοκιμίου – στόχου της Σειράς I,  $C_1$ , τις οποίες μάλιστα υπερβαίνουν κατά τον δέκατο και ενδέκατο κύκλο φόρτισης. Το δοκίμιο  $M_1$ , με τις συνδεόμενες διαμήκεις ράβδους του υποστρώματος μέσω αρμοκλείδων, εμφανίζει και αυτό διαρκώς αυξανόμενη σε κάθε επόμενο κύκλο φόρτισης ικανότητα απορρόφησης ενέργειας, που είναι ωστόσο σημαντικά μειωμένη σε σύγκριση τόσο με εκείνη των  $W_1$ ,  $W_2$  και  $W_3$  όσο και με εκείνη του στύλου  $C_1$ .

(Σχ.136 και Σχ. 137. Πιο συγκεκριμένα οι τιμές των λόγων απορρόφησης ενέργειας  $W_1/C_1$ ,  $W_2/C_1$ ,  $W_3/C_1$  και  $M_1/C_1$  είναι κατά τον πρώτο κύκλο της σεισμικής φόρτισης ίσες με 0,99, 0,77, 0,82 και 0,615 αντίστοιχα και στο τέλος του ενδέκατου κύκλου ίσες με 1,38, 1,29, 1,24 και 0,94. Η μέση τιμή των λόγων αυτών κατά τους ένδεκα κύκλους της σεισμικής φόρτισης είναι 1,025 στην περίπτωση του  $W_1$ , 0,92 στο  $W_2$ , 0,88 στο  $W_3$  και 0,62 στο υποστυλωμα του δοκιμίου  $M_1$ .

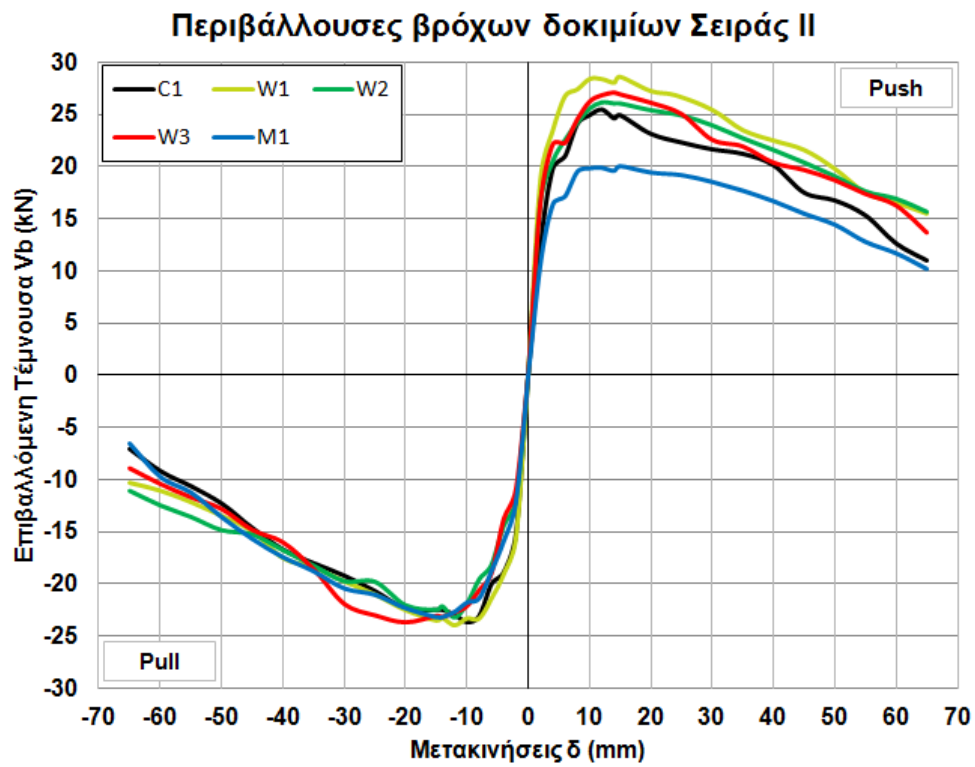
Βάσει των παραπάνω τιμών καθίσταται προφανές ότι στα δοκίμια  $W_1$ ,  $W_2$  και  $W_3$  επετεύχθη απορρόφηση σημαντικού ποσού σεισμικής ενέργειας, πολύ κοντά στα επίπεδα του δοκιμίου  $C_1$  με τις συνεχείς διαμήκεις ράβδους οπλισμού. Στην περίπτωση του υποστυλώματος  $M_1$  η μερική αστοχία που εμφανίστηκε σε κάποιες από τις συνδέσεις των ράβδων μέσω αρμοκλειδών οδήγησε στην ανάπτυξη ολισθήσεων με συνέπεια την εντονότερη επίδραση του φαινομένου P-δ και το σχηματισμό βρόχων μικρότερης επιφάνειας.

#### Εικόνα αστοχίας:

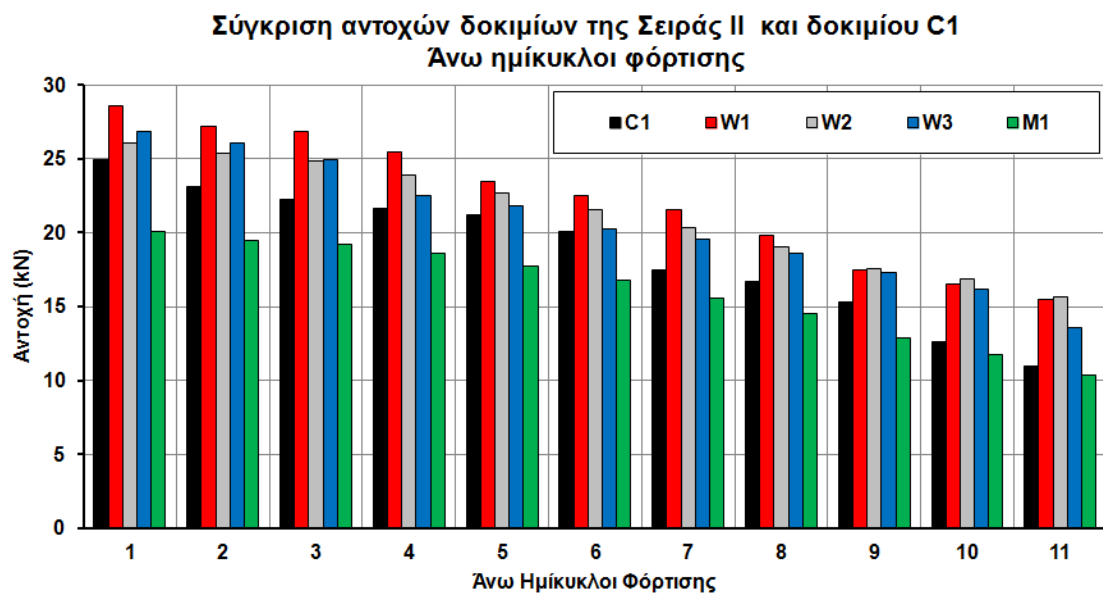
Από τη μορφή των υστερητικών βρόχων των δοκιμίων της Σειράς II (Σχ.130) γίνεται αντιληπτή η επιρροή του φαινομένου P-δ στη σεισμική συμπεριφορά όλων των δομικών υποσυνόλων της Σειράς II. Η επιρροή αυτή είναι πιο έντονη στην περίπτωση του δοκιμίου  $M_1$ , στο οποίο παρουσιάστηκαν σημαντικές ολισθήσεις των συνδεόμενων μέσω αρμοκλειδών διαμήκων οπλισμών στη θέση της πλαστικής άρθρωσης. Λόγω της επιρροής του φαινομένου P-δ οι βρόχοι των δοκιμίων της Σειράς II εμφανίζουν στενώσεις γύρω από την αρχή των αξόνων που ωστόσο δεν είναι υπερβολικές, ούτε ακόμα και στην περίπτωση του δοκιμίου  $M_1$  με τις μεγαλύτερες ολισθήσεις. Η μεγάλη επιφάνεια των υστερητικών βρόχων φανερώνει την αυξημένη ικανότητα απορρόφησης σεισμικής ενέργειας των δοκιμίων που στην περίπτωση των  $W_1$ ,  $W_2$  και  $W_3$  είναι ιδιαίτερα υψηλή, εφάμιλλη σχεδόν με του στύλου  $C_1$  με τις συνεχείς διαμήκεις ράβδους. Η εμφάνιση οριζόντιων κλάδων στους βρόχους των δοκιμίων  $W_1$ ,  $W_2$  και  $W_3$  μετά τον έβδομο κύκλο οφείλεται σε μικρές ολισθήσεις των ράβδων στη θέση της πλαστικής άρθρωσης και στο κλείσιμο ρωγμών. Στο δοκίμιο  $M_1$  εμφανίστηκαν από τον τρίτο και έως τον ενδέκατο άνω ημίκυκλο φόρτισης (push) αυξημένες ολισθήσεις των συνδεόμενων μέσω αρμοκλειδών ράβδων του στύλου που οφείλονται σε μερική αστοχία της μηχανικής αγκύρωσης στις ράβδους της πλευράς του στύλου που εφελκύεται κατά τη διεύθυνση των θετικών μετατοπίσεων (push). Στην άλλη πλευρά του υποστυλώματος  $M_1$  (πλευρά των αρνητικών μετατοπίσεων pull) οι μηχανικές αγκυρώσεις λειτούργησαν καλύτερα και οι ολισθήσεις παρατηρούνται μετά τον έβδομο κάτω ημίκυκλο. Λόγω της ύπαρξης πυκνά διατεταγμένου οπλισμού περίσφιγξης (συνδετήρων ποιότητας B500C  $\Phi 8/80\text{mm}$ ) δεν προκλήθηκε κατά τη σεισμική φόρτιση απώλεια της επικάλυψης και λυγισμός των διαμήκων ράβδων των υποστυλωμάτων. Η σεισμική συμπεριφορά των δοκιμίων  $W_1$ ,  $W_2$  και  $W_3$  είναι ιδιαίτερα καλή, γεγονός που φανερώνει την επιτυχία των τριών τύπων συγκολλήσεως στην αποκατάσταση της συνέχειας των διαμήκων οπλισμών των στύλων καθώς και του μηχανισμού μεταφοράς δυνάμεων μεταξύ των συγκολλημένων ράβδων.



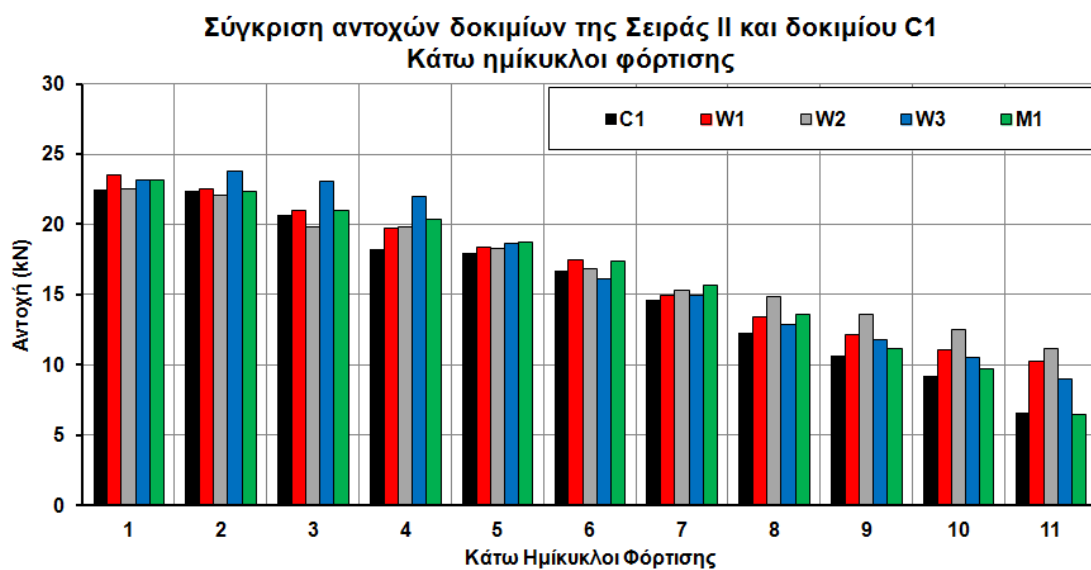
Σχ. 130: Βρόχοι υστερητικής απόκρισης των δοκιμών της Σειράς II



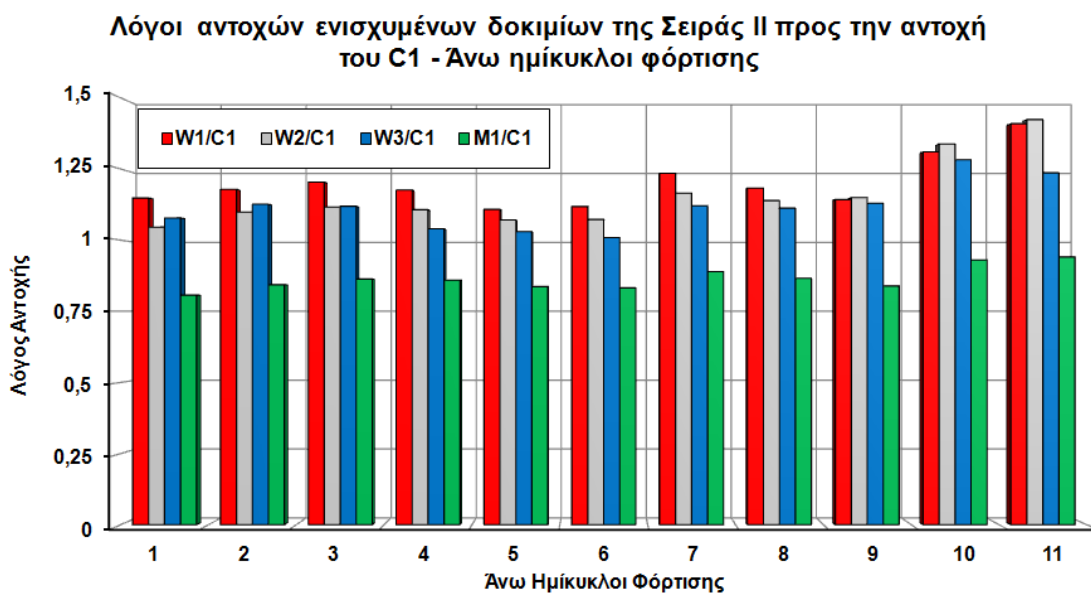
Σχ. 131 : Περιβάλλουσες βρόχων δοκιμών της Σειράς II

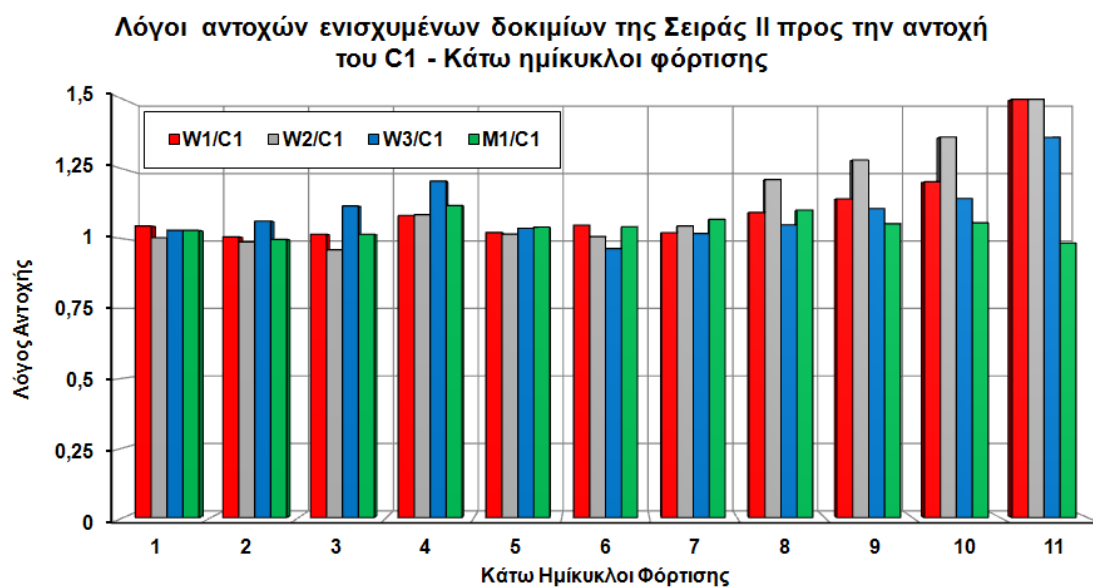




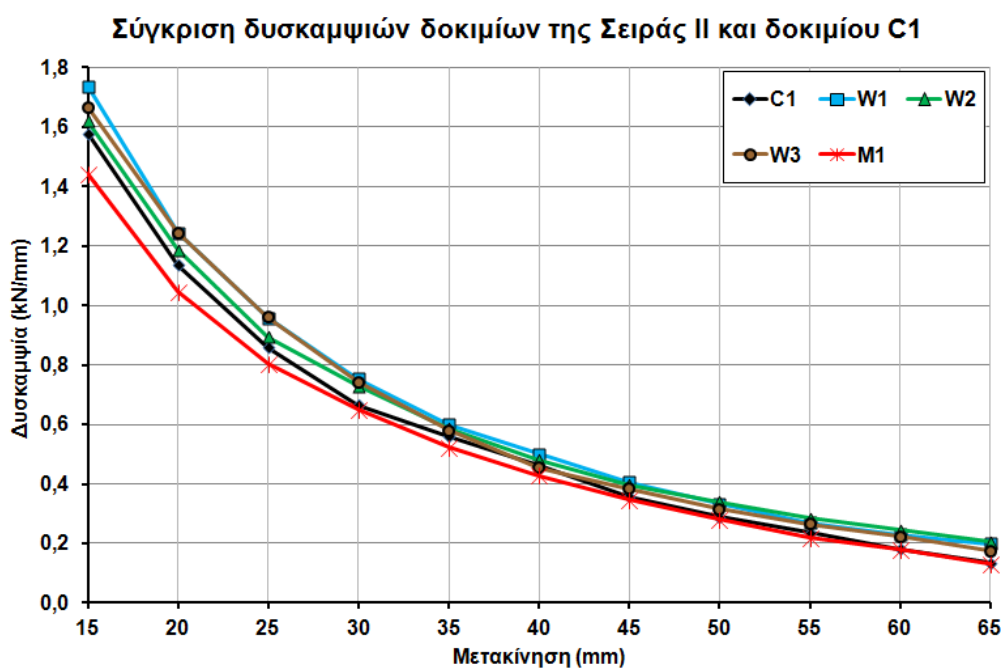


Σχ. 132 : Διαγράμματα σύγκρισης των αντοχών των δοκιμών της Σειράς II. Άνω και κάτω ημίκυκλοι φόρτισης



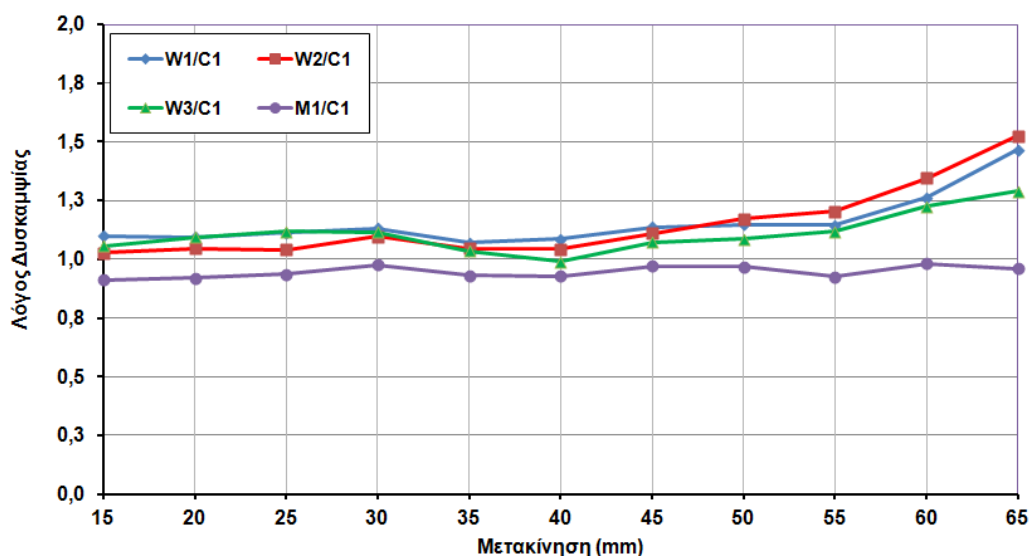


Σχ. 133: Διαγράμματα λόγων αντοχών των δοκιμών της Σειράς II. Άνω και κάτω ημίκυκλοι φόρτισης



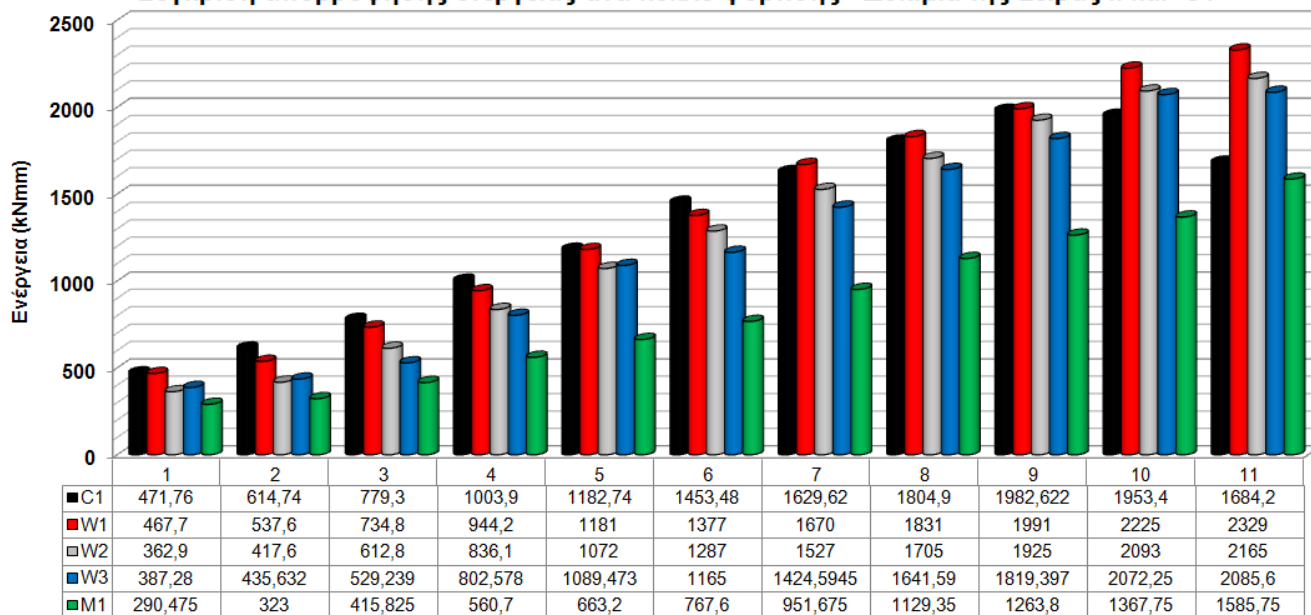
Σχ. 134 : Διάγραμμα σύγκρισης της δυσκαμψίας των δοκιμών της Σειράς II

Λόγοι δυσκαμψιών δοκιμών της Σειράς II προς τη δυσκαμψία του C1 σε κάθε κύκλο φόρτισης

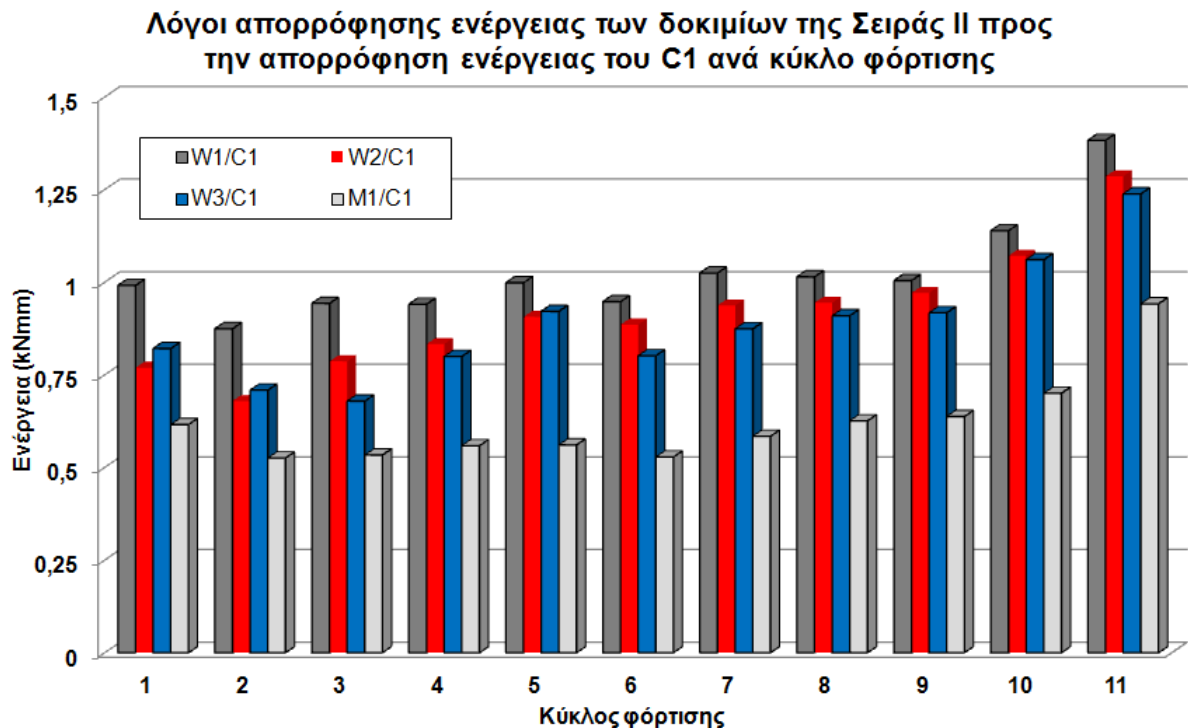


Σχ. 135 : Διάγραμμα λόγων δυσκαμψιών των δοκιμών της Σειράς II

Σύγκριση απορρόφησης ενέργειας ανά κύκλο φόρτισης - Δοκίμια της Σειράς II και C1



Σχ. 136 : Σύγκριση της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας των δοκιμών της Σειράς II και του C<sub>1</sub>



Σχ.137 : Λόγοι απορρόφησης ενέργειας των δοκιμών της Σειράς II ως προς εκείνη του C<sub>1</sub>

#### 4.4 Σύγκριση σεισμικής συμπεριφοράς δοκιμών Σειράς III

##### Αντοχή:

Στα σχήματα 138 και 139 φαίνονται οι βρόχοι υστερητικής απόκρισης των δοκιμών της Σειράς III και οι περιβάλλουσες αυτών αντίστοιχα. Από τη μορφή των βρόχων προκύπτει ότι η αντοχή των δοκιμών RC<sub>2</sub> και RHL<sub>2</sub> παρουσιάζει αύξηση καθ' όλη τη διάρκεια της σεισμικής φόρτισης (με εξαίρεση τον δεύτερο άνω ημίκυκλο φόρτισης) ενώ εκείνη των υπολοίπων δοκιμών της Σειράς III (RHL<sub>1</sub>, RWL<sub>1</sub> και RWL<sub>2</sub>) μειώνεται ομαλά με την αύξηση της πλευρικής μετατόπισης. Τα δοκίμια RWL<sub>1</sub> και RWL<sub>2</sub>, στα οποία πραγματοποιήθηκε συγκόλληση των ράβδων του παλαιού υποστυλώματος και κατασκευή μανδύα Ο/Σ, εμφανίζουν ελαφρώς υψηλότερη αντοχή σε σύγκριση με το δοκίμιο – στόχο RC<sub>2</sub> από τον πρώτο έως τον έβδομο κάτω ημίκυκλο φόρτισης (45mm μετατόπιση) και παραπλήσιες τιμές αντοχής με εκείνες του RC<sub>2</sub> κατά τους πρώτους τρεις άνω ημίκυκλους φόρτισης (25mm μετατόπιση). Μετά τον έβδομο κάτω και τρίτο άνω ημίκυκλο η αντοχή των RWL<sub>1</sub> και RWL<sub>2</sub> μειώνεται ομαλά. Όπως φαίνεται τόσο από τις περιβάλλουσες των δοκιμών (Σχ.139) όσο και από τα ραβδογράμματα μεταβολής της αντοχής του σχήματος 140 η αντοχή του RWL<sub>1</sub> έχει παραπλήσιες τιμές με εκείνη του RWL<sub>2</sub>. Στο τέλος του ενδέκατου κύκλου φόρτισης (drift 6,63%) η αντοχή του RWL<sub>1</sub> ως ποσοστό εκείνης του δοκιμίου - στόχου RC<sub>2</sub> κυμαίνεται στο 57,45% και στο 66% στον άνω και κάτω ημίκυκλο αντίστοιχα. Οι αντίστοιχες τιμές για το δοκίμιο RWL<sub>2</sub> είναι 62,8% και 88,76%, όπως φαίνεται και στα

ραβδογράμματα λόγω αντοχής του σχήματος Σχ. 141. Η αντοχή του δοκιμίου  $RHL_1$  -με μήκος παράθεσης των διαμήκων οπλισμών  $20d_b$ , μανδύα Ο/Σ και επιπλέον συνδετήρες τοποθετημένους εν επαφή με τον παλαιό στύλο- εμφανίζεται ελαφρώς μειωμένη σε σχέση με εκείνη των υπολοίπων δοκιμίων της Σειράς III, διατηρείται ωστόσο σε υψηλά επίπεδα μέχρι το τέλος της πλευρικής φόρτισης (λόγος αντοχής  $RHL_1/RC_2$  ίσος με 0,656 και 0,832 στον ενδέκατο άνω και κάτω ημίκυκλο αντίστοιχα). Από την περιβάλλουσα των βρόχων του  $RHL_2$  -με μήκος παράθεσης των διαμήκων οπλισμών  $24d_b$ , μανδύα Ο/Σ και επιπλέον συνδετήρες τοποθετημένους εν επαφή με τον παλαιό στύλο- είναι εμφανής ο παρόμοιος τρόπος μεταβολής της αντοχής του δοκιμίου με εκείνον του δοκιμίου – στόχου της Σειράς III,  $RC_2$ . Στο τέλος του ενδέκατου κύκλου της σεισμικής φόρτισης ο λόγος αντοχών  $RHL_2/RC_2$  λαμβάνει τις τιμές 0,834 και 0,991 (άνω και κάτω ημίκυκλος αντίστοιχα) όπως φαίνεται στο σχήμα 141.

#### Δυσκαμψία:

Στο διάγραμμα του σχήματος 142 πραγματοποιείται σύγκριση της δυσκαμψίας των δοκιμίων της Σειράς III. Όλα τα δοκίμια με εξαίρεση το  $RHL_2$  παρουσιάζουν μείωση της δυσκαμψίας τους με τρόπο παρόμοιο καθώς αυξάνεται η επιβαλλόμενη πλευρική μετακίνηση των στύλων. Στο  $RHL_2$  μετά τον τρίτο κύκλο φόρτισης η δυσκαμψία μειώνεται με σημαντικά μικρότερο ρυθμό σε σύγκριση με τα άλλα δοκίμια της Σειράς III προσεγγίζοντας σε πολύ μεγάλο βαθμό την καμπύλη μεταβολής της δυσκαμψίας του δοκιμίου – στόχου  $RC_2$ . Στο τέλος του ενδέκατου κύκλου φόρτισης (drift 6,63%) η δυσκαμψία των στύλων περιορίζεται σε ποσοστό επί της αρχικής της τιμής που κυμαίνεται από 15,7% (δοκίμιο  $RWL_1$ ) έως 26,49% (δοκίμιο  $RC_2$ ). Τα ενισχυμένα δοκίμια  $RWL_1$  και  $RWL_2$  παρουσίασαν παραπλήσιες μεταξύ τους τιμές δυσκαμψίας σε όλη τη διάρκεια της πλευρικής φόρτισης. Μέχρι τον τέταρτο κύκλο (drift 3,06%) η δυσκαμψία του  $RWL_2$  σχεδόν ταυτίζεται με εκείνη του δοκιμίου – στόχου  $RC_2$  ενώ εκείνη του δοκιμίου  $RWL_1$  την υπερβαίνει ελαφρώς. Μετά τον τέταρτο κύκλο φόρτισης η δυσκαμψία των  $RWL_1$  και  $RWL_2$  μειώνεται πιο έντονα απ' ό,τι στο  $RC_2$  και στο τέλος του ενδέκατου κύκλου οι λόγοι δυσκαμψίας  $RWL_1/RC_2$  και  $RWL_2/RC_2$  λαμβάνουν τιμές ίσες με 0,613 και 0,746 αντίστοιχα (Σχ. 143). Τα ενισχυμένα δοκίμια  $RHL_1$  και  $RHL_2$  εμφάνισαν χαμηλότερη δυσκαμψία σε σχέση με τα υπόλοιπα δοκίμια της Σειράς III κατά τους πρώτους τέσσερις κύκλους της πλευρικής φόρτισης (μετατόπιση 30mm). Μετά τον τέταρτο κύκλο η δυσκαμψία του  $RHL_1$  συνεχίζει να μειώνεται (Σχ.142) και στο τέλος του πειράματος η τιμή της σχεδόν ταυτίζεται με την τιμή δυσκαμψίας του δοκιμίου  $RWL_2$  ( $k_{(RHL1)}=0,812$  και  $k_{(RWL2)}=0,82$ ). Όπως ήδη αναφέρθηκε, στο δοκίμιο  $RHL_2$  ο ρυθμός μείωσης της δυσκαμψίας είναι σημαντικά μικρότερος μετά τον τρίτο κύκλο φόρτισης συγκριτικά με εκείνον του  $RHL_1$  και στο τέλος του ενδέκατου κύκλου ο λόγος  $RHL_2/RC_2$  είναι ίσος με 0,905.

### Απορρόφηση ενέργειας:

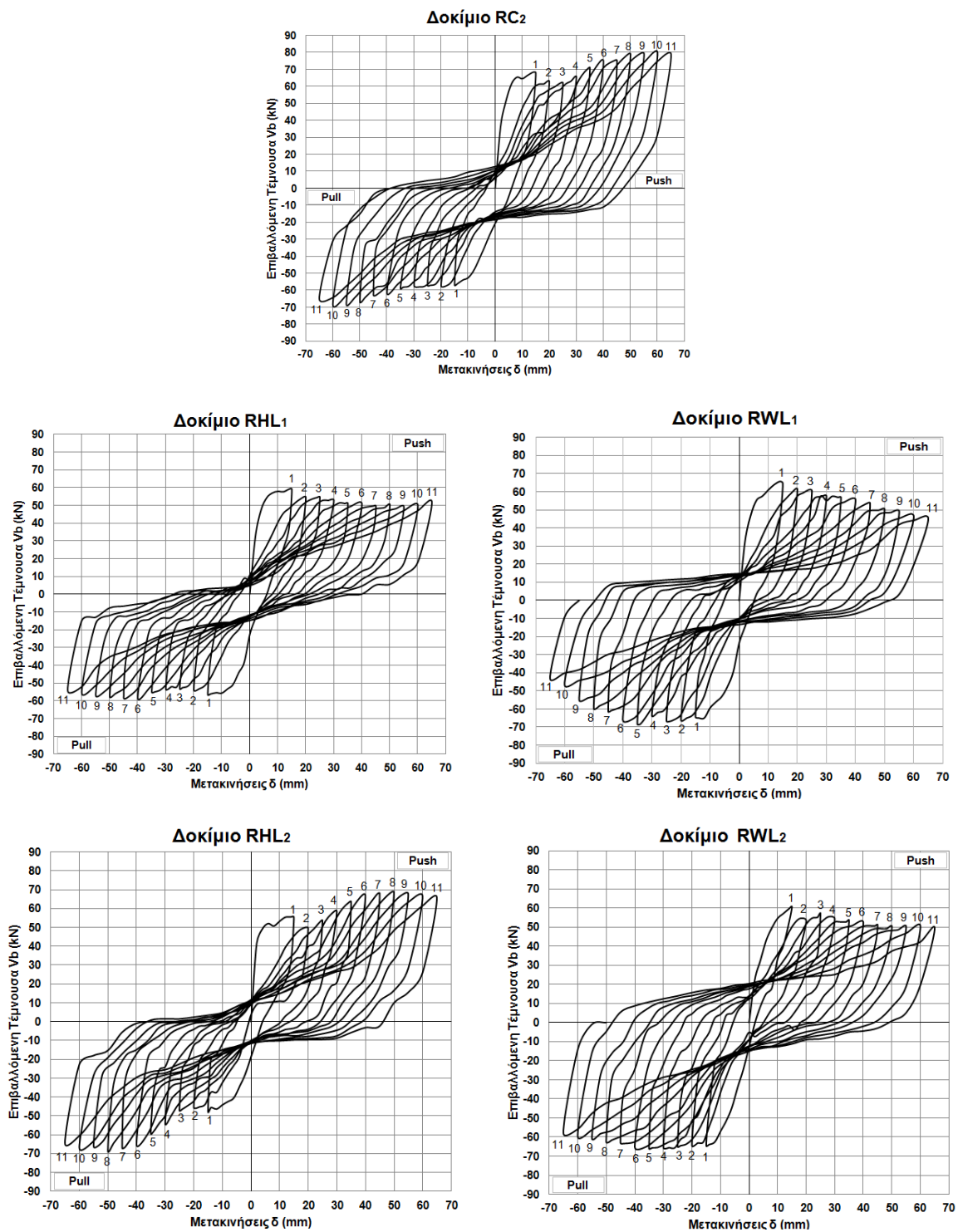
Παρατηρώντας το ραβδόγραμμα σύγκρισης της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας των δοκιμών της τρίτης Σειράς (Σχ.144) προκύπτει ότι όλα τα ενισχυμένα δοκίμια παρουσιάζουν υψηλές τιμές απορρόφησης ενέργειας, που βρίσκονται αρκετά κοντά στις αντίστοιχες τιμές του δοκιμίου – στόχου της Σειράς III, RC<sub>2</sub>. Τα δομικά υποσύνολα RWL<sub>1</sub> και RWL<sub>2</sub> -στα οποία πραγματοποιήθηκε κατά την ενίσχυσή τους εκτός από την κατασκευή μανδύα Ο/Σ και συγκόλληση των παρατιθέμενων ράβδων του παλαιού στύλου- απορροφούν σε κάθε κύκλο φόρτισης ποσό ενέργειας σχεδόν εφάμιλλο ή και μεγαλύτερο από εκείνο που απορροφά το δοκίμιο – στόχος RC<sub>2</sub>. Πιο συγκεκριμένα, το RWL<sub>1</sub> κατά τους πρώτους πέντε κύκλους φόρτισης (με εξαίρεση τον τέταρτο κύκλο) απορροφά ενέργεια περισσότερη σε σύγκριση με το RC<sub>2</sub> κατά 6,74%, 9,08%, 7,79% και 2,76% στον πρώτο, δεύτερο, τρίτο και πέμπτο κύκλο αντίστοιχα (Σχ.145). Μετά τον έκτο κύκλο φόρτισης (drift 4,08%) το RWL<sub>1</sub> εξακολουθεί να απορροφά πολύ υψηλά ποσά σεισμικής ενέργειας και στο τέλος του ενδέκατου κύκλου ο λόγος απορρόφησης ενέργειας RWL<sub>1</sub>/RC<sub>2</sub> λαμβάνει τιμή ίση με 0,786. Το υποστυλώμα του δοκιμίου RWL<sub>2</sub> παρουσιάζει τιμές του λόγου απορρόφησης ενέργειας RWL<sub>2</sub>/RC<sub>2</sub> που ξεκινούν από 0,719 (κατά τον πρώτο κύκλο φόρτισης) ενώ στη συνέχεια αυξάνονται και υπερβαίνουν τη μονάδα από τον πέμπτο έως το δέκατο κύκλο (Σχ.145). Στο τέλος του πειράματος το RWL<sub>2</sub> απορροφά ενέργεια ίση με το 93,9% εκείνης που απορροφά το δοκίμιο – στόχος της Σειράς III, RC<sub>2</sub>. Οι στύλοι RHL<sub>1</sub> και RHL<sub>2</sub> -στους οποίους κατά την ενίσχυσή τους χρησιμοποιήθηκαν εκτός από το μανδύα Ο/Σ και επιπλέον συνδετήρες για τη θεραπεία του προβλήματος ανεπαρκούς μήκους παράθεσης των διαμήκων ράβδων τους- απορρόφησαν χαμηλότερα ποσά ενέργειας κατά τη σεισμική τους φόρτιση σε σύγκριση με τα δοκίμια RWL<sub>1</sub>, RWL<sub>2</sub> και RC<sub>2</sub>. Μέχρι τον τρίτο κύκλο φόρτισης το RHL<sub>1</sub> απορροφά περισσότερη ενέργεια σε σχέση με το RHL<sub>2</sub> ενώ από τον τέταρτο κύκλο και μετά έως το τέλος του πειράματος οι τιμές απορρόφησης ενέργειας των δύο δοκιμών είναι παραπλήσιες. Στο τέλος του ενδέκατου κύκλου οι λόγοι απορρόφησης ενέργειας RHL<sub>1</sub>/RC<sub>2</sub> και RHL<sub>2</sub>/RC<sub>2</sub> λαμβάνουν τιμές ίσες με 0,673 και 0,785 αντίστοιχα. Από την ανάλυση που προηγήθηκε καθίσταται προφανές ότι οι πραγματοποιηθείσες επεμβάσεις και ενισχύσεις στα δοκίμια της Σειράς III εξασφάλισαν σε όλους τους στύλους ικανότητα απορρόφησης σημαντικού ποσού σεισμικής ενέργειας, που είναι μάλιστα πολύ κοντά σε εκείνο που απορροφά το δοκίμιο – στόχος RC<sub>2</sub> της Σειράς III (ιδιαίτερα στις περιπτώσεις των RWL<sub>1</sub> και RWL<sub>2</sub>).

### Εικόνα αστοχίας:

Από τη μορφή των υστερητικών βρόχων των δοκιμών της Σειράς III (Σχ.138) γίνεται εύκολα αντιληπτή η μικρή -λόγω της αυξημένης αντοχής των στύλων- επιρροή του φαινομένου P-δ στη σεισμική συμπεριφορά των ενισχυμένων δομικών υποσυνόλων. Όλα τα δοκίμια εμφανίζουν βρόχους με μεγάλη επιφάνεια, δίχως στενώσεις γύρω από την αρχή των αξόνων, γεγονός που αποτυπώνει την αυξημένη ικανότητα των ενισχυμένων υποστυλωμάτων να απορροφούν σημαντικά ποσά ενέργειας κατά τη διάρκεια της σεισμικής φόρτισης. Επιπλέον, οι βρόχοι δεν εμφανίζουν οριζόντιους κλάδους ολισθήσεων των οπλισμών ενώ η αντοχή των στύλων αυξάνεται σημαντικά

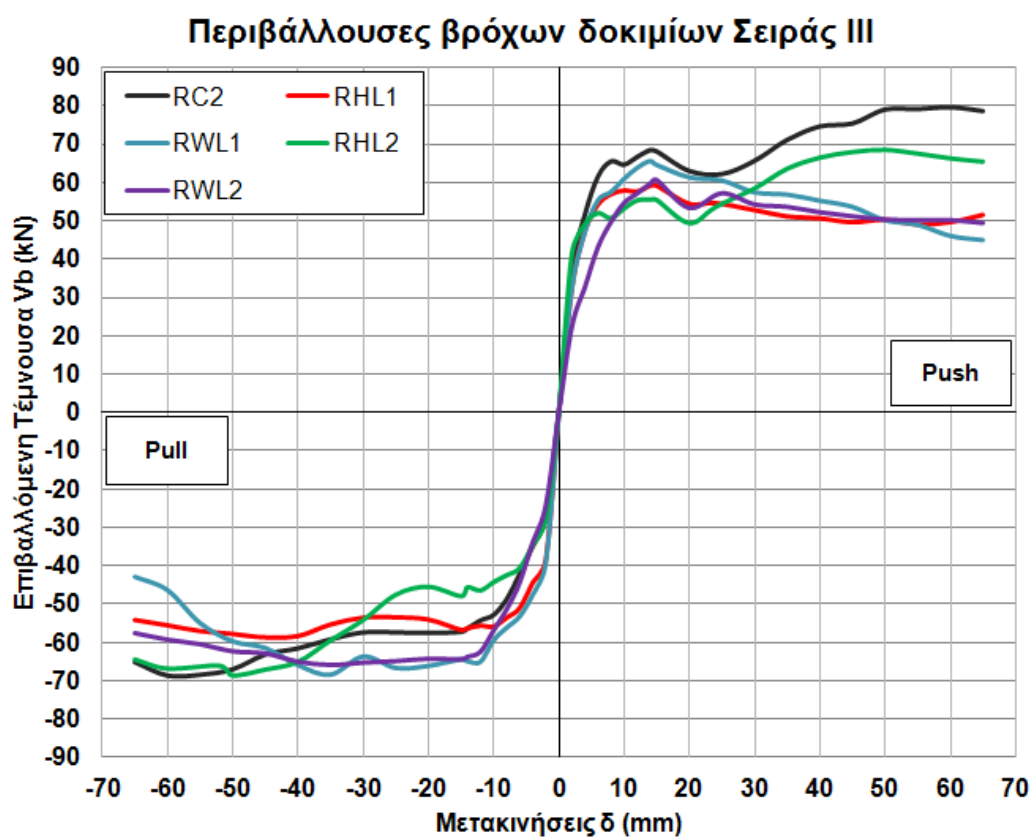
με την αύξηση της πλευρικής μετατόπισης στην περίπτωση των δοκιμίων RC<sub>2</sub> και RHL<sub>2</sub>, σε μικρότερο βαθμό στο RHL<sub>1</sub>, και μειώνεται ελαφρώς με μικρό ρυθμό στους στύλους RWL<sub>1</sub> και RWL<sub>2</sub>. Από τη μορφή των βρόχων των υποστυλωμάτων της Σειράς III (Σχ.138) γίνεται επίσης εμφανής η υπεροχή της σεισμικής απόκρισης των δοκιμίων με μήκος παράθεσης των διαμήκων οπλισμών τους ίσο με 24d<sub>b</sub>, RHL<sub>2</sub> και RWL<sub>2</sub>, σε σύγκριση με τα αντίστοιχα RHL<sub>1</sub> και RWL<sub>1</sub> με μήκος παράθεσης 20d<sub>b</sub>, κυρίως σε ό,τι αφορά στην ικανότητά τους να απορροφούν και να αποσβένουν τη σεισμική ενέργεια. Λόγω της ιδιαίτερα υψηλής αντοχής του σκυροδέματος του μανδύα (EMACO S66) δεν προκλήθηκε κατά τη σεισμική φόρτιση απώλεια της επικάλυψης και λυγισμός των διαμήκων ράβδων του μανδύα. Η περίσφιγξη την οποία επέφερε ο μανδύας σε κάθε στύλο οδήγησε στη διαρροή των διαμήκων ράβδων και την ανάπτυξη σε αυτές πολύ μεγάλων ανελαστικών παραμορφώσεων. Η αστοχία και στα πέντε ενισχυμένα δοκίμια της Σειράς III έχει ιδιαίτερα πλάστιμο χαρακτήρα, γεγονός που φανερώνει την επιτυχία των πραγματοποιηθέντων επεμβάσεων τόσο στη θεραπεία του προβλήματος ανεπαρκούς μήκους παραθέσεων των διαμήκων οπλισμών των στύλων όσο και στη γενικότερη βελτίωση της απόκρισής τους σε μεγάλες ανελαστικές παραμορφώσεις που προκαλεί ένας σεισμός. Από τα δοκίμια RHL<sub>1</sub> και RHL<sub>2</sub> -που ενισχύθηκαν με την κατασκευή ολόπλευρου μανδύα Ο/Σ και με την προσθήκη επιπλέον συνδετήρων εν επαφή με το παλαιό υποστύλωμα για τη θεραπεία των ανεπαρκών παραθέσεων- το RHL<sub>2</sub> (με μήκος παραθέσεων ίσο με 24d<sub>b</sub>) παρουσίασε την πλησιέστερη στο δοκίμιο – στόχο, RC<sub>2</sub>, συμπεριφορά σε σεισμό (Σχ.139) σε σύγκριση με τα υπόλοιπα δοκίμια της Σειράς III. Επομένως η Σχέση 8.3 του ΚΑΝ.ΕΠΕ που χρησιμοποιήθηκε για τις επεμβάσεις στο RHL<sub>2</sub> οδήγησε στην επιτυχή ενίσχυσή του. Στην περίπτωση του RHL<sub>1</sub> τα αποτελέσματα δείχνουν ότι συμπεριφορά του δοκιμίου είναι παρόμοια με εκείνη των στύλων RWL<sub>1</sub> και RWL<sub>2</sub> με το μανδύα Ο/Σ και τις συγκολλημένες παρατιθέμενες ράβδους.

$$\frac{A_j}{s} = t_j = \gamma_{Rd} \frac{(1-\lambda_s)}{\beta} \frac{1}{\mu} \frac{f_{yk}}{\sigma_{jd}} \frac{A_b}{l_s} \quad (\text{Σχέση 8.3 ΚΑΝ.ΕΠΕ})$$

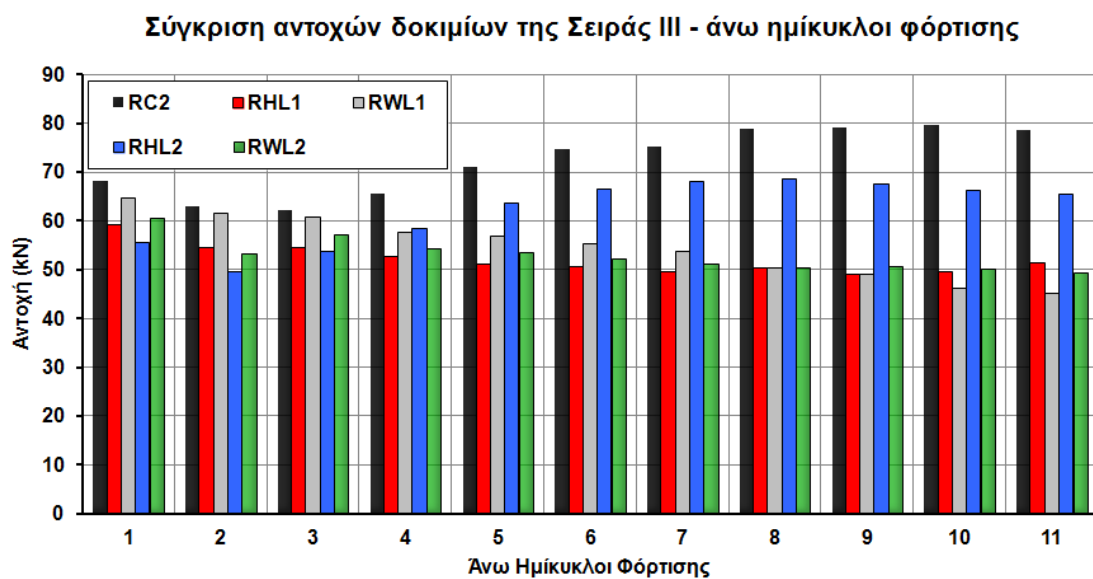


Σχ. 138: Βρόχοι υστερητικής απόκρισης των δοκιμών της Σειράς III

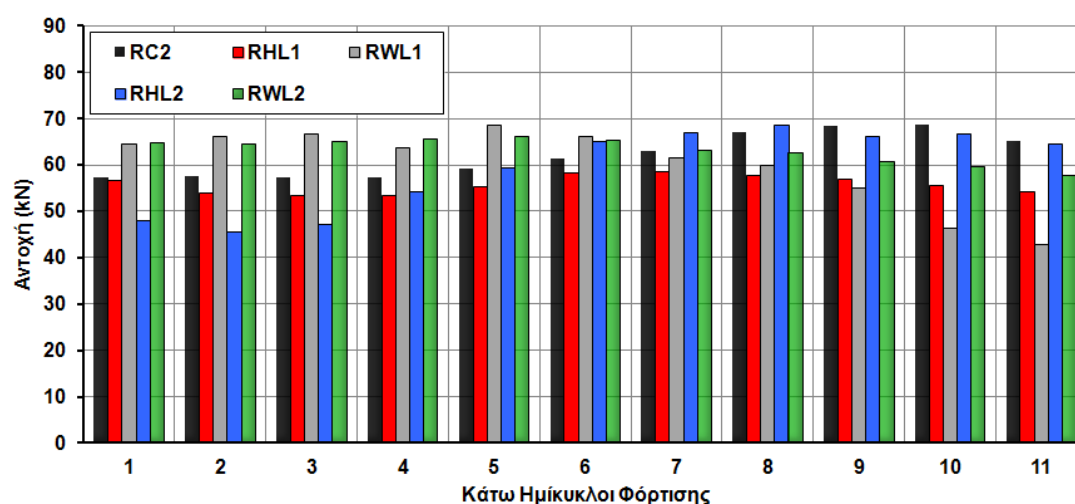




Σχ. 139 : Περιβάλλουσες βρόχων δοκιμών της Σειράς III

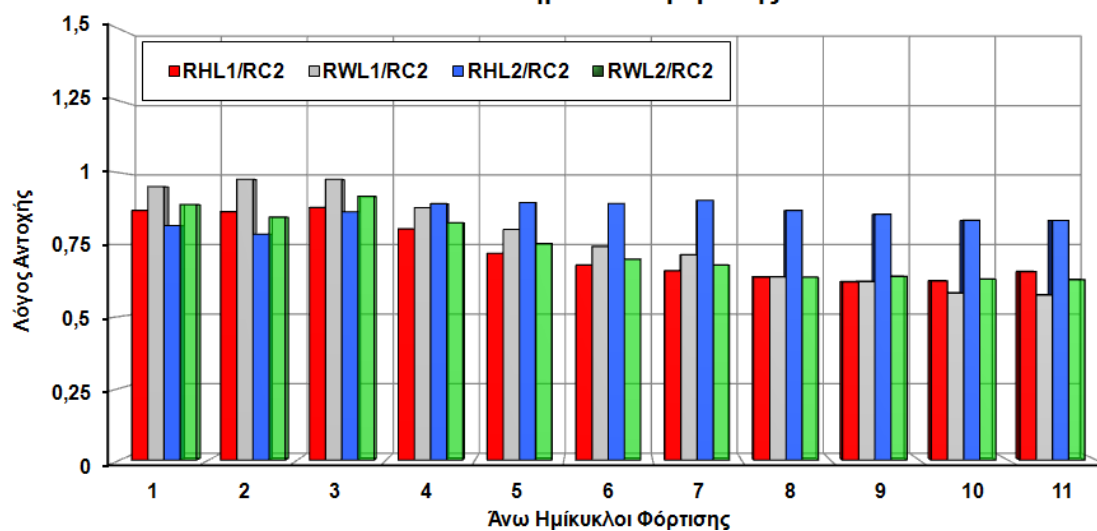


### Σύγκριση αντοχών δοκιμών της Σειράς III - κάτω ημίκυκλοι φόρτισης

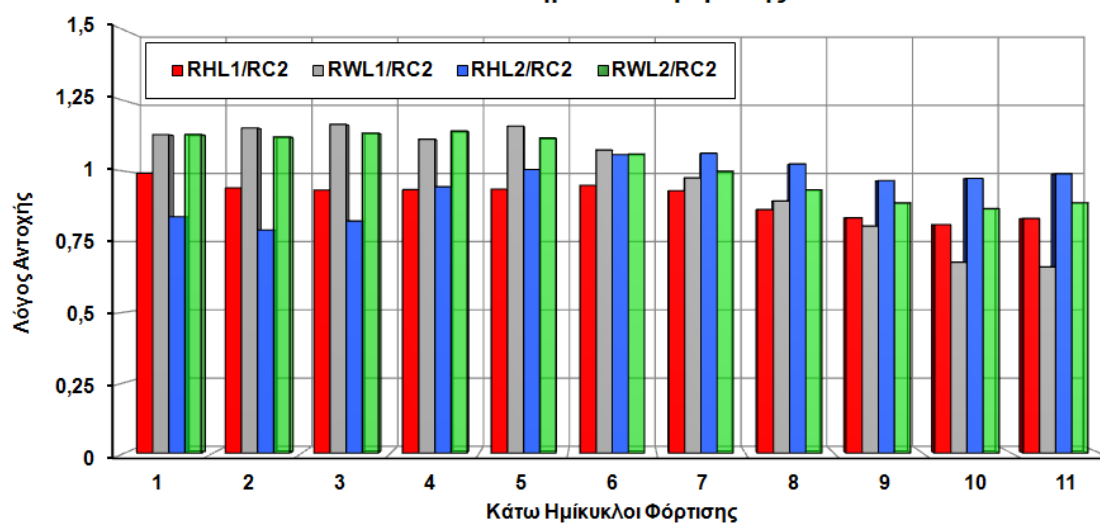


Σχ. 140 : Διαγράμματα σύγκρισης των αντοχών των δοκιμών της Σειράς III. Άνω και κάτω ημίκυκλοι φόρτισης

### Λόγοι αντοχών ενισχυμένων δοκιμών της Σειράς III προς την αντοχή του RC2 - Άνω ημίκυκλοι φόρτισης

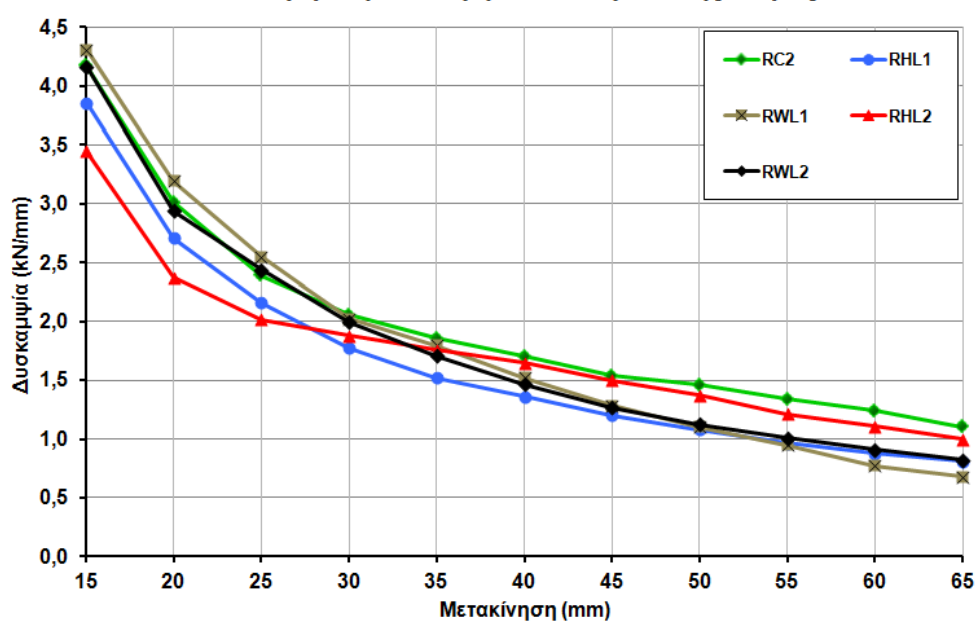


**Λόγοι αντοχών ενισχυμένων δοκιμίων της Σειράς III προς την αντοχή του RC2 - Κάτω ημίκυκλοι φόρτισης**



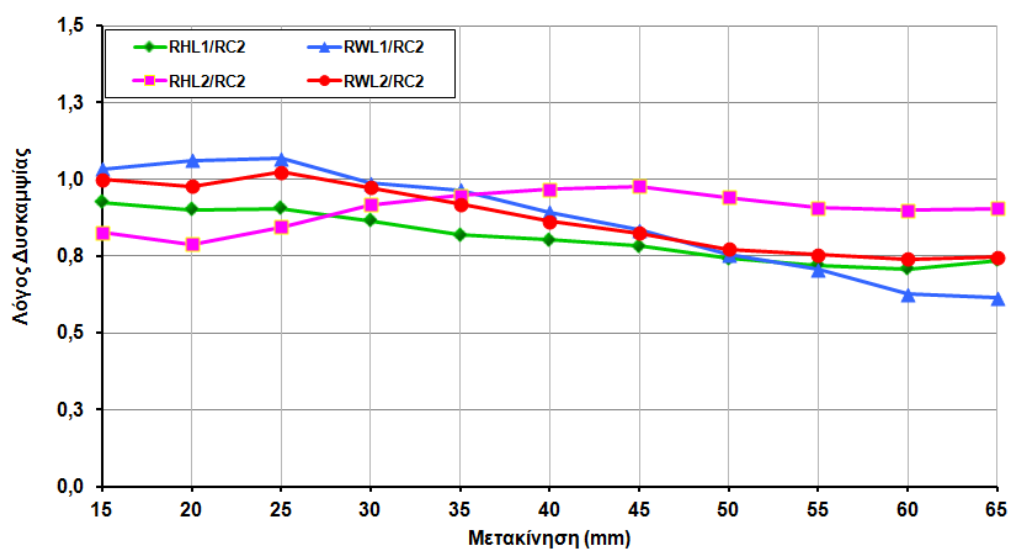
Σχ. 141 : Διαγράμματα λόγων αντοχών των δοκιμίων της Σειράς III. Άνω και κάτω ημίκυκλοι φόρτισης

**Σύγκριση δυσκαμψιών δοκιμίων της Σειράς III**

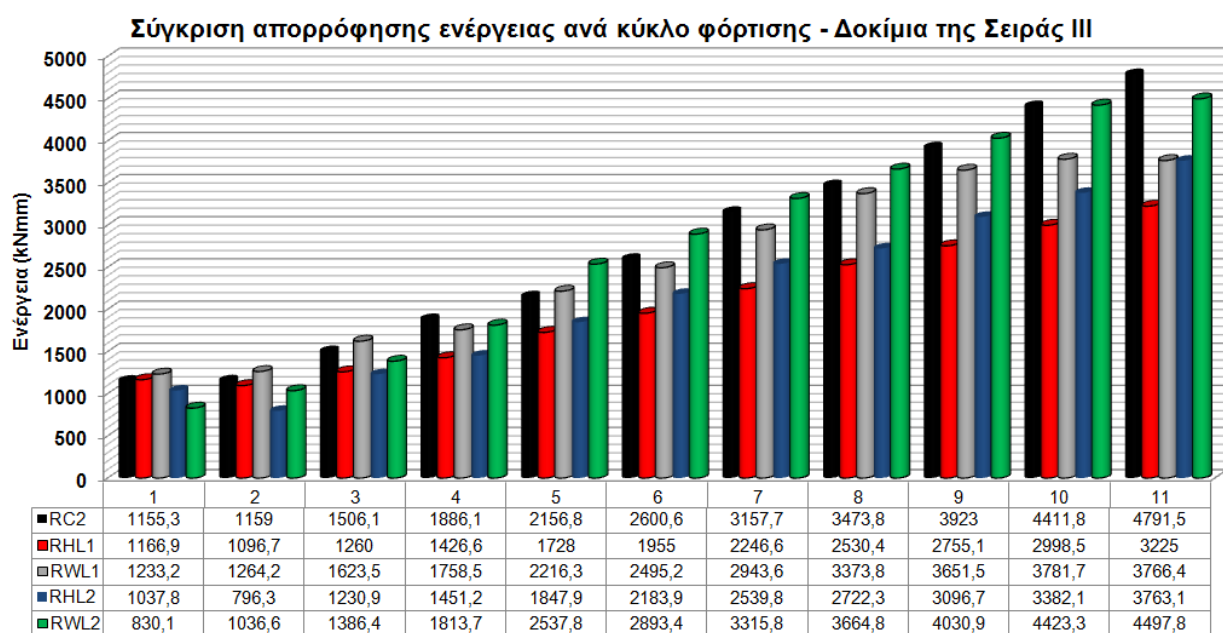


Σχ. 142 : Διάγραμμα σύγκρισης της δυσκαμψίας των δοκιμίων της Σειράς III.

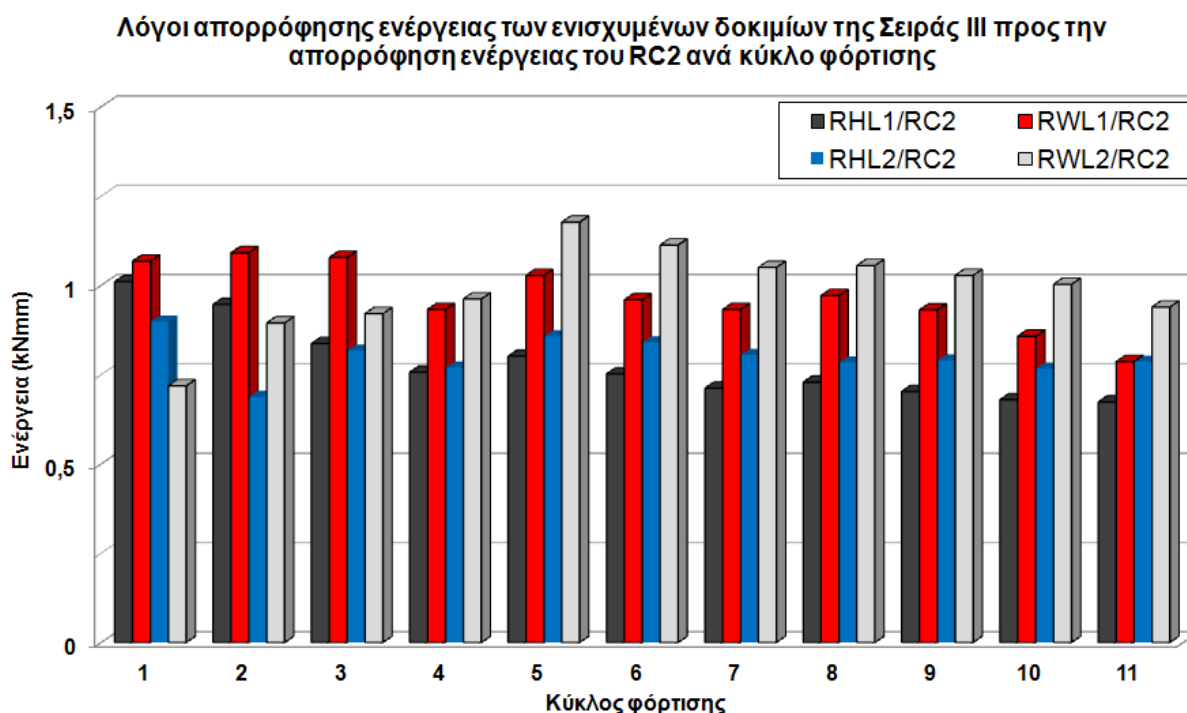
**Λόγοι δυσκαμψιών ενισχυμένων δοκιμών της Σειράς III προς τη  
δυσκαμψία του RC2 σε κάθε κύκλο φόρτισης**



Σχ. 143 : Διάγραμμα λόγων δυσκαμψιών των δοκιμών της Σειράς III



Σχ. 144 : Σύγκριση της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας των δοκιμών της Σειράς III



Σχ. 145 : Λόγοι απορρόφησης ενέργειας των ενισχυμένων δοκιμών της Σειράς III ως προς εκείνη του RC<sub>2</sub>

#### 4.5 Βαθμονόμηση των σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ

Στο παρόν Ερευνητικό Πρόγραμμα κατασκευάστηκαν δομικά υποσύνολα που αντιπροσώπευαν υποστυλώματα παλαιών κατασκευών με ανεπαρκή μήκη παραθέσεων των διαμήκων ράβδων οπλισμού τους και εξετάστηκαν διαφορετικές παράμετροι, όπως μεταξύ άλλων το πάχος μεταλλικών μανδυνών (Σειρά δοκιμών I) και ο οπλισμός συνδετήρων (Σειρά δοκιμών III) που απαιτείται για τη θεραπεία του προβλήματος. Ελέγχθηκαν οι περιπτώσεις δύο διαφορετικών μηκών παράθεσης των διαμήκων οπλισμών υποστυλωμάτων (20d<sub>b</sub> και 24d<sub>b</sub>) και όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2 χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις Σ6.14 και 8.3 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Στην περίπτωση των μεταλλικών μανδυνών που εφαρμόστηκαν για την επιβολή περίσφιγξης στα υποστυλώματα της Σειράς δοκιμών I εκτός από τη σχέση Σ6.14, την οποία ο ΚΑΝ.ΕΠΕ προτείνει για τον υπολογισμό του απαιτούμενου πάχους των μανδυνών από χάλυβα ή ΙΟΠ, χρησιμοποιήθηκε και η σχέση του Τάσιου (Τάσιος 2009) διαμορφωμένη ειδικά για την περίπτωση λεπτών χαλύβδινων μανδυνών (Κεφ.2 §2.5.1). Η σχέση Σ6.14 έδωσε για τα δύο διαφορετικά μήκη παράθεσης ίδιο απαιτούμενο πάχος μεταλλικού μανδύα ίσο με 1mm, ενώ η σχέση του Τάσιου, η διαμορφωμένη αποκλειστικά για μεταλλικούς μανδύες, έδωσε απαιτούμενο πάχος και για τις δύο περιπτώσεις ίσο με 5mm. Από τα πειραματικά αποτελέσματα των ενισχυμένων με τους χαλύβδινους μανδύες δοκιμών της Σειράς I αποδεικνύεται ότι

με τη σχέση Σ6.14 που προτείνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ δεν επιτυγχάνεται περίσφιγξη ικανή να βελτιώσει σημαντικά τη σεισμική απόκριση των υποστυλωμάτων με ανεπαρκή μήκη παράθεσης, καθώς κανένα από τα δύο δοκίμια (με μήκη παράθεσης  $20d_b$  και  $24d_b$ ) δεν κατάφερε να προσεγγίσει σε ικανοποιητικό βαθμό τη σεισμική συμπεριφορά του δοκιμίου  $C_1$  με τις συνεχείς διαμήκεις ράβδους. Κυρίως όμως, δεν κατέστη δυνατή -με τη χρήση της σχέσεως Σ6.14- η αποτροπή σε μεγάλο βαθμό των ολισθήσεων των διαμήκων ράβδων οπλισμού των στύλων στη θέση της πλαστικής άρθρωσης. Η σχέση υπολογισμού του απαιτούμενου πάχους που προτείνει ο Τάσιος ειδικά για λεπτούς χαλύβδινους μανδύες οδήγησε σε καλύτερα αποτελέσματα σε ό,τι αφορά στη συμπεριφορά των υποστυλωμάτων με μήκος παράθεσης  $20d_b$  και  $24d_b$  σε σεισμό και ειδικά στην περίπτωση του δεύτερου η απόκριση του δοκιμίου  $S_2L_2$  προσεγγίζει σε ικανοποιητικό βαθμό εκείνη του δοκιμίου – στόχου της Σειράς Ι,  $C_1$ , επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα σημαντική μείωση των ολισθήσεων των παρατιθέμενων ράβδων.

Η συμπεριφορά σε σεισμό των υποστυλωμάτων  $RHL_1$  και  $RHL_2$  της Σειράς ΙΙΙ, στα οποία χρησιμοποιήθηκε για την ενίσχυσή τους εκτός από μανδύα Ο/Σ και επιπλέον οπλισμός περίσφιγξης για τη θεραπεία των ανεπαρκών παραθέσεων, ήταν ιδιαίτερα καλή προσεγγίζοντας σε πολύ μεγάλο βαθμό (ειδικά στην περίπτωση του  $RHL_2$ ) τη συμπεριφορά του δοκιμίου – στόχου της Σειράς ΙΙΙ,  $RC_2$ , όπως αναφέρθηκε και στην ανάλυση της παραγράφου §4.4. Η σχέση 8.3 του ΚΑΝ.ΕΠΕ απεδείχθη βάσει των πειραματικών αποτελεσμάτων των δοκιμών  $RHL_1$  και  $RHL_2$  αποτελεσματική.

Στα δοκίμια της Σειράς ΙΙΙ πέραν της θεραπείας του προβλήματος της ανεπαρκούς παράθεσης πραγματοποιείται, λόγω του ολόπλευρου μανδύα Ο/Σ που κατασκευάζεται γύρω από τους στύλους, μία συνολική αναβάθμιση όλων των μηχανικών αντισεισμικών ιδιοτήτων τους (αντοχής, δυσκαμψίας, ικανότητας απορρόφησης ενέργειας). Δεν συμβαίνει το ίδιο όμως και με τους στύλους των δοκιμών της Σειράς Ι στους οποίους η ενίσχυση με τους χαλύβδινους μανδύες αποσκοπεί στην αντιμετώπιση του προβλήματος της ανεπαρκούς παράθεσης. Έτσι μία αξιολόγηση των δύο σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ (Σ6.14 και 8.3) που μελετήθηκαν στο παρόν ερευνητικό πρόγραμμα βάσει του συνόλου των αποτελεσμάτων των δοκιμών και από τις δύο Σειρές (Ι και ΙΙΙ) δεν θα ήταν ακριβής.

#### 4.6 Συμπεράσματα

Εξετάζοντας τη σεισμική συμπεριφορά (Κεφάλαιο 3 και Κεφάλαιο 4 §4.1 έως 4.5) των δομικών υποσυνόλων υποστυλωμάτων παλαιών οικοδομών που κατασκευάστηκαν για τις ανάγκες του παρόντος Ερευνητικού Προγράμματος, προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Η χρήση της σχέσεως Σ.6.14 του ΚΑΝ.ΕΠΕ για τον υπολογισμό του απαιτούμενου πάχους λεπτού χαλύβδινου μανδύα περίσφιγξης των υποστυλωμάτων δεν οδήγησε σε επιτυχή αντιμετώπιση του προβλήματος της

ανεπαρκούς παράθεσης των διαμήκων οπλισμών των δοκιμίων  $S_1L_1$  (μήκος παράθεσης 20d<sub>b</sub>) και  $S_1L_2$  (μήκος παράθεσης 24d<sub>b</sub>). Τα δοκίμια αυτά εμφάνισαν ιδιαίτερα μεγάλες ολισθήσεις των διαμήκων ράβδων τους και η συμπεριφορά τους σε σεισμό απέχει σημαντικά από κείνη του δοκιμίου – στόχου της Σειράς Ι,  $C_1$ , με τις συνεχείς ράβδους χωρίς παραθέσεις. Η αστοχία των  $S_1L_1$  και  $S_1L_2$  προκαλείται εξαιτίας των εντονότατων ολισθήσεων των διαμήκων ράβδων των στύλων και η παρουσία φαινομένου P-δ στους βρόχους των δοκιμίων είναι ιδιαίτερα εμφανής.

2. Υπολογίζοντας το απαιτούμενο πάχος του λεπτού χαλύβδινου μανδύα υποστυλώματος βάσει της σχέσεως Τάσιου (Τάσιος 2009) που αποτελεί τροποποίηση της Σ6.14 του ΚΑΝ.ΕΠΕ αποκλειστικά για μανδύα από χάλυβα προέκυψε σημαντική βελτίωση στη σεισμική συμπεριφορά των στύλων  $S_2L_1$  και  $S_2L_2$  σε σύγκριση με των  $S_1L_1$  και  $S_1L_2$ , η οποία μάλιστα στην περίπτωση του δοκιμίου  $S_2L_2$  προσεγγίζει σε ικανοποιητικό βαθμό εκείνη του δοκιμίου  $C_1$ .
3. Η συγκόλληση κατά παράθεση, κατά μέτωπο και κατά λωρίδες των αναμονών (λείος χάλυβας) και των νέων διαμήκων οπλισμών (νευροχάλυβας) κατά την καθ' ύψος επέκταση των στύλων στα δοκίμια  $W_1$ ,  $W_2$  και  $W_3$  αντίστοιχα αποκατέστησε επιτυχώς τη συνέχεια των οπλισμών των υποστυλωμάτων και εξασφάλισε το μηχανισμό μεταφοράς δυνάμεων στις ράβδους αυτές. Ο τρόπος αστοχίας των  $W_1$ ,  $W_2$  και  $W_3$  είναι ιδιαίτερα πλάστιμος και τα υποστυλώματα απορροφούν σημαντικά ποσά ενέργειας σε κάθε κύκλο της πλευρικής φόρτισης, εφάμιλλα σχεδόν με εκείνα του δοκιμίου – στόχου  $C_1$  της Σειράς δοκιμίων Ι με τις συνεχείς διαμήκεις ράβδους. Οι συγκολλήσεις δεν παρουσίασαν αστοχία κατά τη διάρκεια της σεισμικής φόρτισης σε κανένα από τα τρία δοκίμια.
4. Το δοκίμιο  $M_1$  -στο οποίο για τη σύνδεση των πολύ μικρού μήκους αναμονών (λείος χάλυβας) με τις νέες διαμήκεις ράβδους (νευροχάλυβας) του στύλου κατά την καθ' ύψος επέκτασή του χρησιμοποιήθηκαν αρμοκλείδες- παρουσίασε ολισθήσεις, που ήταν πιο αυξημένες στη μία πλευρά του υποστυλώματος λόγω μερικής αστοχίας σε κάποιες από τις συνδέσεις των οπλισμών. Η συμπεριφορά του  $M_1$  σε σεισμό είναι πτωχότερη σε σύγκριση με εκείνη των  $W_1$ ,  $W_2$  και  $W_3$  αλλά και του δοκιμίου  $C_1$ . Λόγω των ολισθήσεων που παρουσιάστηκαν στο στύλο η παρουσία του φαινομένου P-δ στους βρόχους του  $M_1$  είναι πιο εμφανής. Παρότι πάντως η αντοχή, η δυσκαμψία και η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας του  $M_1$  είναι χαμηλότερες εκείνων του δοκιμίου – στόχου  $C_1$  το  $M_1$  συμπεριφέρθηκε γενικώς ικανοποιητικά σε σεισμό.
5. Τα δοκίμια  $RWL_1$  και  $RWL_2$ , που ενισχύθηκαν με την κατασκευή ολόπλευρου μανδύα Ο/Σ μετά τη συγκόλληση μεταξύ τους των παρατιθέμενων ράβδων του παλαιού υποστυλώματος, συμπεριφέρθηκαν με πλάστιμο τρόπο σε σεισμό παρά τη μικρή, σταδιακή μείωση της αντοχής τους με την αύξηση της πλευρικής μετατόπισης. Οι βρόχοι των δοκιμίων είχαν μεγάλη επιφάνεια (που δηλώνει υψηλή ικανότητα απορρόφησης ενέργειας) και χαρακτηρίζονται από απουσία στενώσεων γύρω από την αρχή των αξόνων καθώς και πολύ μικρή επιρροή του φαινομένου P-δ.
6. Η κατασκευή ολόπλευρου μανδύα Ο/Σ μετά την τοποθέτηση πρόσθετων συνδετήρων εν επαφή με το παλαιό υποστυλωμα για την αντιμετώπιση του προβλήματος ανεπαρκούς μήκους παράθεσης των διαμήκων ράβδων στα

δοκίμια  $RHL_1$  και  $RHL_2$  συνέβαλλε στην ιδιαιτέρως πλάσιμη απόκρισή τους κατά τη σεισμική φόρτιση στην οποία υποβλήθηκαν. Τα δύο δοκίμια προσεγγίζουν σημαντικά τη συμπεριφορά του δοκιμίου – στόχου της Σειράς III,  $RC_2$ , ειδικά μάλιστα στην περίπτωση του  $RHL_2$  οι ομοιότητες των αντισεισμικών ιδιοτήτων του οποίου με του  $RC_2$  είναι πολύ μεγάλη.

7. Βάσει των πειραματικών αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας απεδείχθη ότι η σχέση Σ6.14 που αναφέρει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ θα έπρεπε, για την περίπτωση των λεπτών χαλύβδινων μανδυνών, να αντικατασταθεί από τη σχέση Τάσιου (2009), που αποτελεί τροποποίηση της Σ6.14 ειδικά για την περίπτωση των λεπτών χαλύβδινων μανδυνών.



## ***ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ***



## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Aboutaha, S. R., Engelhardt, D. M., Jirsa, O. J., and Kreger, E. M., "Retrofit of Concrete Columns with Inadequate Lap Splices by the Use of Rectangular Steel Jackets", *Earthquake Spectra*, Vol. 12, No.4, November 1996, pp.693-714

Aboutaha, S. R., Engelhardt, D. M., Jirsa, O. J., and Kreger, E. M., "Rehabilitation of Shear Critical Concrete Columns by Use of Rectangular Steel Jackets", *ACI Structural Journal*, Vol.96, No1, January-February 1999, pp.68-78

Bertero, V. V., and Popov, E.P., "Seismic Behavior of Ductile Moment-Resisting Reinforced Concrete Frames", *American Concrete Institute*, SP-53: Reinforced Concrete Structures in Seismic Zones, Detroit, Michigan, 1977, pp. 247-291

Bertero, V. V., "Seismic Behavior of Structural Concrete Linear Elements (Beams, Columns and their Connections)", *Bulletin d' Information C.E.B.*, 131, Paris 1979, pp. 125-199

Chai,Y.-H., Priestley, M. J. N., and Seible, F., "Seismic Retrofit of Circular Bridge Columns for Enhanced Flexural Performance", *ACI Structural Journal*, Vol.88, No.5, September-October 1991, pp.572-584

Cho, J.-Y., and Pincheira, A. J., "Inelastic Analysis of Reinforced Concrete Columns with Short Lap Splices Subjected to Reversed Cyclic Loads", *ACI Structural Journal*, Vol.103, No.2, March-April 2006, pp.280-290

Ehsani, M.R., and Wight, J.K., "Exterior Reinforced Concrete Beam-to-Column Connections Subjected to Earthquake – Type Loading", *ACI Journal*, Proceedings, Vol.82, No.4, July – August 1985, pp. 492-499

Gaynor, P. J., "Effect of Openings on the Cyclic Behavior of Reinforced Concrete Infilled Shear Walls", MS thesis, University of Texas at Austin, August 1988, 245 pp.

Lynn, C. A., Moehle, P. J., Mahin, A. S., and Holmes, T. W., "Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Building Columns" *Earthquake Spectra*, Vol.12, No.4, November 1996, pp.715-739

Melek, M., and Wallace, W. J., "Cyclic Behavior of Columns with Short Lap Splices", *ACI Structural Journal*, Vol.101, No.6, November-December 2004, pp.802-811

Paulay, T., "Lapped Splices in Earthquake-Resisting Columns", *ACI Structural Journal*, November-December 1982, pp.458-469

Pincheira, A. J., Dotiwala S. F., and D'Souza T. J., "Seismic Analysis of Older Reinforced Concrete Columns", *Earthquake Spectra*, Vol.15, No.2, May 1999, pp. 245-272

Priestley, M.J.N., Seible, F., and Calvi, G. M., "Seismic Design and Retrofit of Bridges", John Wiley and Sons, 1996

Soleimani, D., Popov, E.P. and Bertero V.V., "Hysteretic Behavior of Reinforced Concrete Beam – Column Subassemblages", *ACI J. Proc.*, 76(11), 1979, pp. 1179-1195

Tsonos, G. A., "Improvement of the Earthquake Resistance of R/C Beam-Column Joints under the Influence of P-Δ Effect and Axial Force Variations Using Inclined Bars", *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 18, No.4, 2004, pp. 389-410

Uzumeri, S.M., "Strength and Ductility of Cast-in-Place Beam-Column Joints", *ACI, SP-53 (Reinforced Concrete in Seismic Zones)*, Detroit, 293-350

Valluvan, R., Kreger, E. M., and Jirsa O. J., "Strengthening of Column Splices for Seismic Retrofit of Nonductile Reinforced Concrete Frames", *ACI Structural Journal*, Vol. 90, No.4, July-August 1993, pp.432-440

Δρίτσος, Η. Σ., "Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών", Έκδοση Πέμπτη, Πάτρα, Νοέμβριος 2005

Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος, Ε.Κ.Ω.Σ., 2000

Κανονισμός Επεμβάσεων ΚΑΝ.ΕΠΕ, Ο.Α.Σ.Π. Σεπτέμβριος 2010

Τάσιος, Π. Θ., "Θεωρία Σχεδιασμού Επισκευών και Ενισχύσεων", Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 2009

Τριανταφύλλου, Χ. Α., "Ενισχύσεις Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος με Σύνθετα Υλικά", Έκδοση δεύτερη, Πάτρα, 2004

## ***ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α***



## Φωτογραφίες των δοκιμών από ενδιάμεσα στάδια των πειραμάτων

### Δοκίμιο C<sub>1</sub>

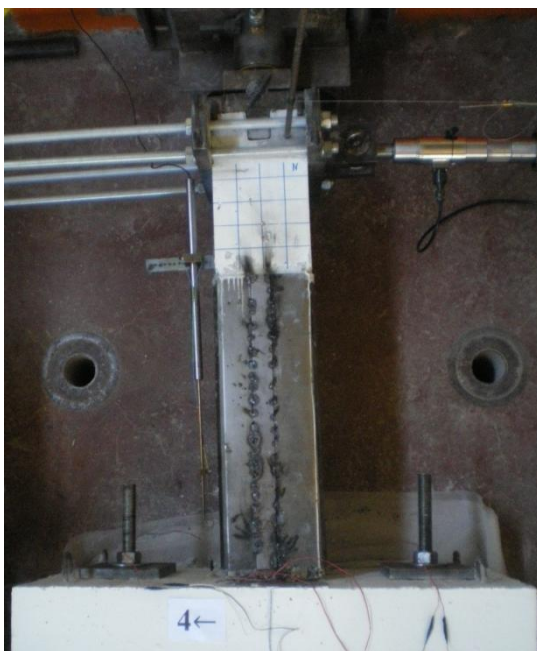


5<sup>ος</sup> ημίκυκλος push



10<sup>ος</sup> ημίκυκλος pull

### Δοκίμιο S<sub>1</sub>L<sub>1</sub>

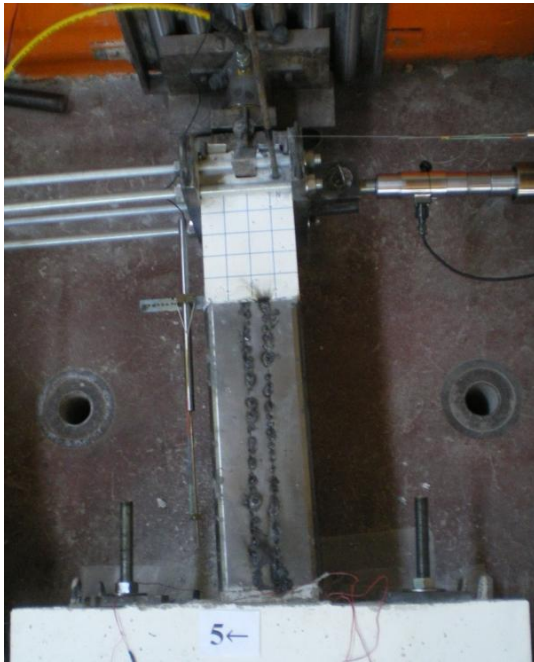


4<sup>ος</sup> ημίκυκλος push

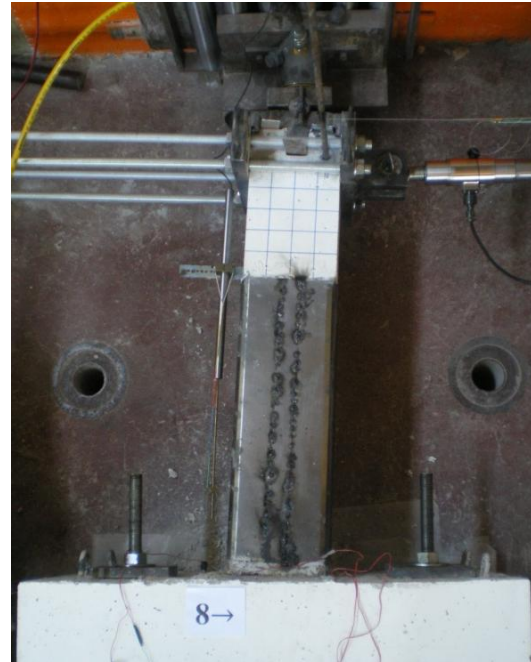


9<sup>ος</sup> ημίκυκλος pull

**Δοκίμιο  $S_1L_2$**

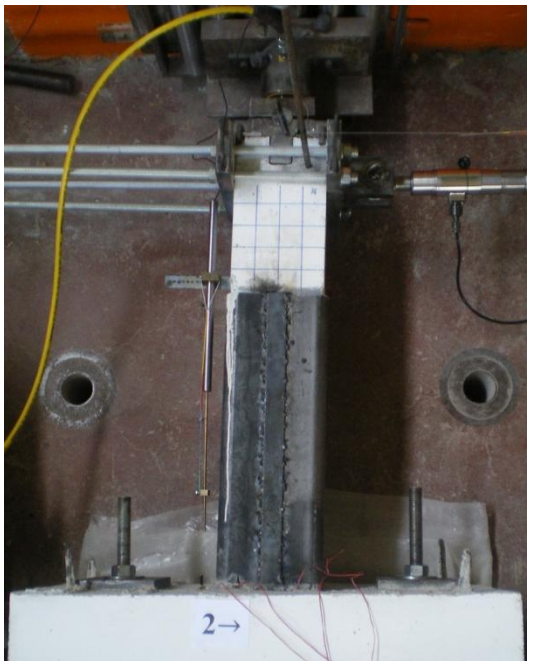


5<sup>ος</sup> ημίκυκλος push

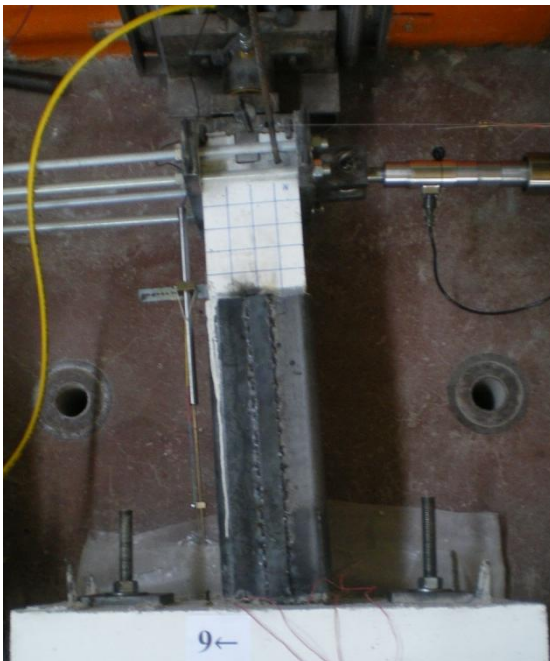


8<sup>ος</sup> ημίκυκλος pull

**Δοκίμιο  $S_2L_1$**



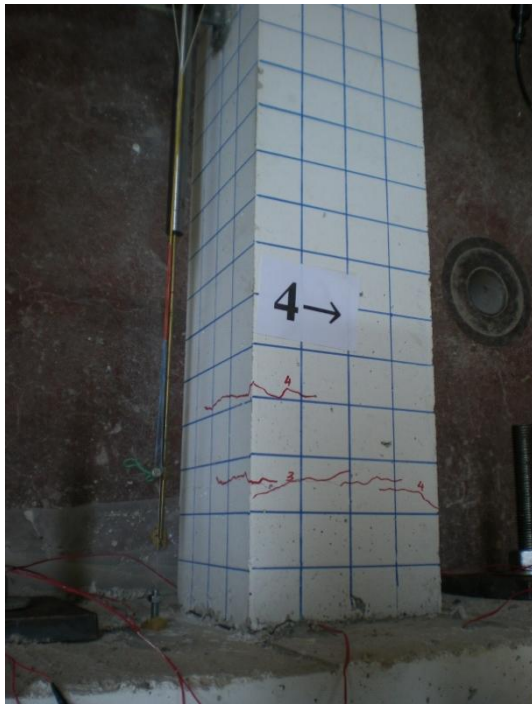
2<sup>ος</sup> ημίκυκλος pull



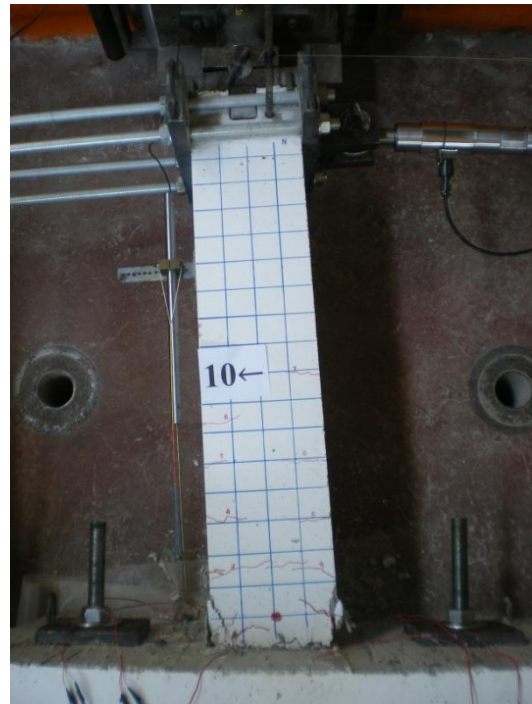
9<sup>ος</sup> ημίκυκλος push



### Δοκίμιο $M_1$

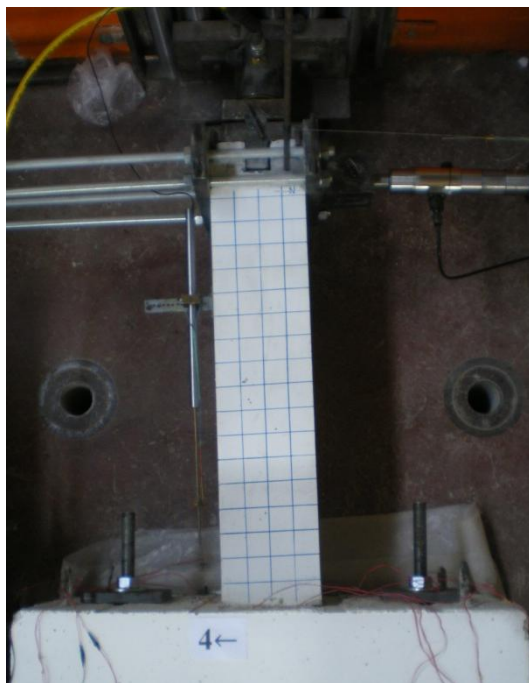


4<sup>ος</sup> ημίκυκλος pull



10<sup>ος</sup> ημίκυκλος push

### Δοκίμιο $W_1$

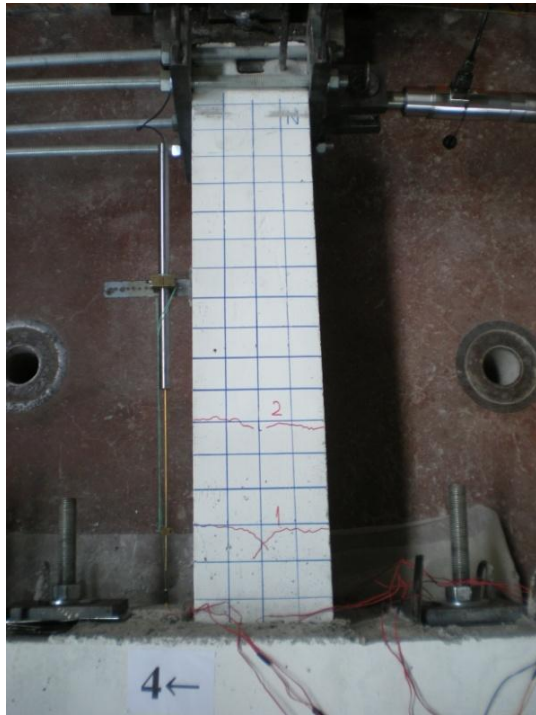


4<sup>ος</sup> ημίκυκλος push

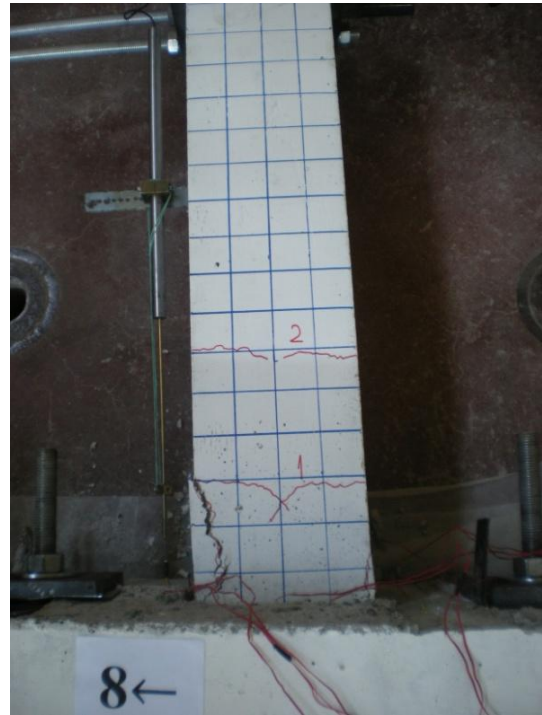


9<sup>ος</sup> ημίκυκλος pull

### Δοκίμιο $W_2$

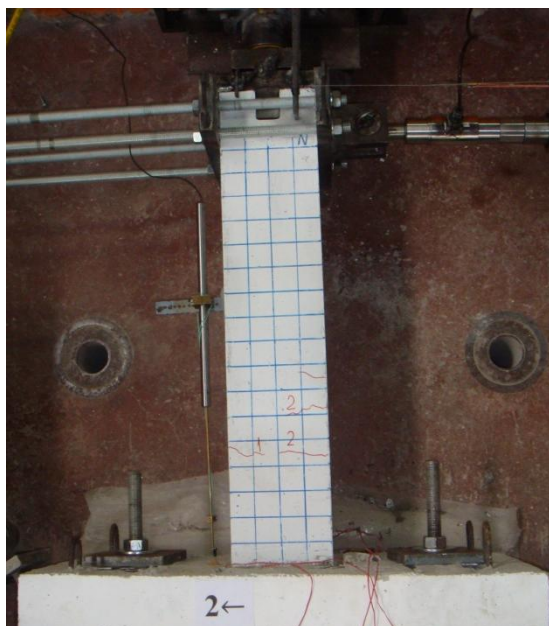


4<sup>ος</sup> ημίκυκλος push



8<sup>ος</sup> ημίκυκλος push

### Δοκίμιο $W_3$



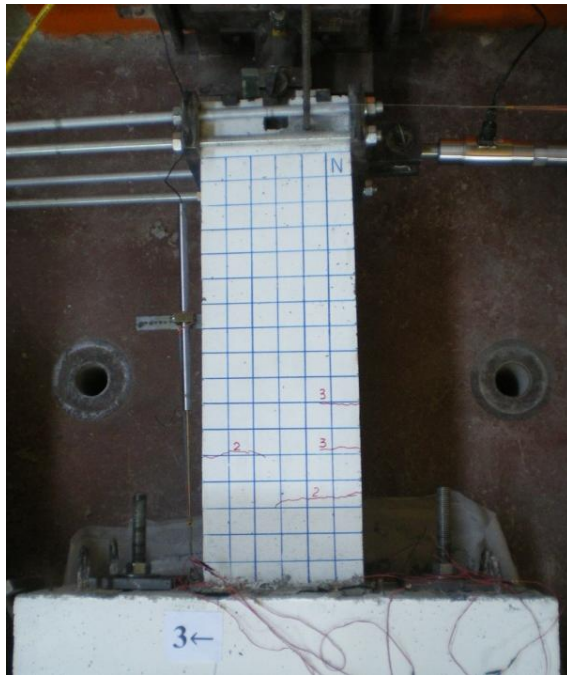
2<sup>ος</sup> ημίκυκλος push



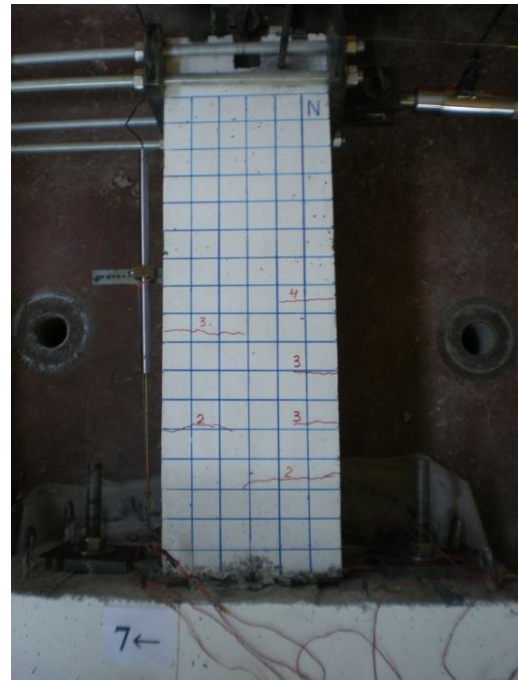
9<sup>ος</sup> ημίκυκλος push



### Δοκίμιο RC<sub>2</sub>

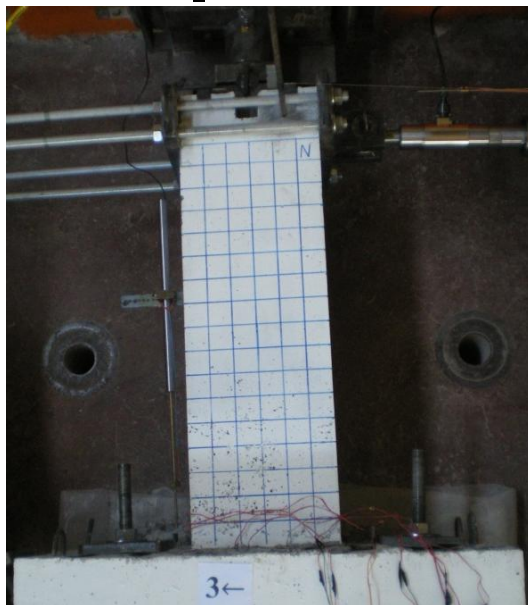


3<sup>ος</sup> ημίκυκλος push

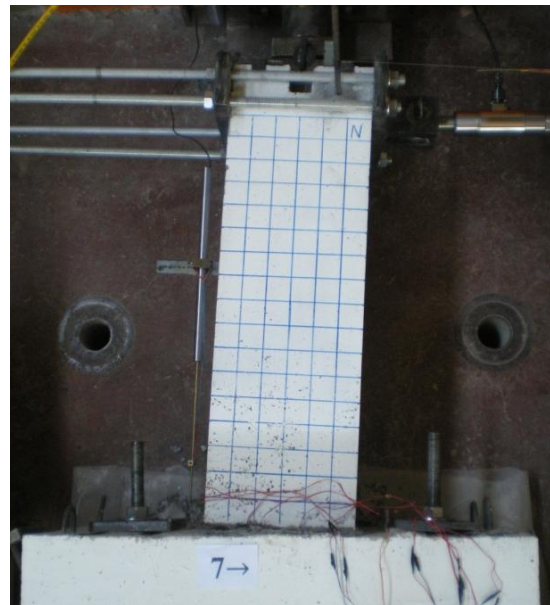


7<sup>ος</sup> ημίκυκλος push

### Δοκίμιο RHL<sub>1</sub>

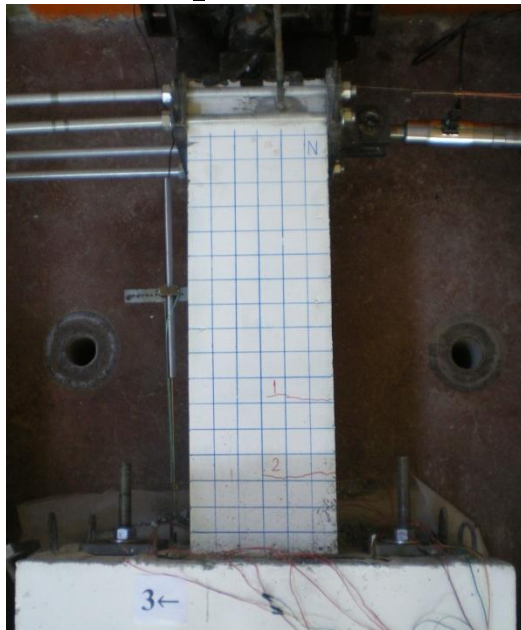


3<sup>ος</sup> ημίκυκλος push

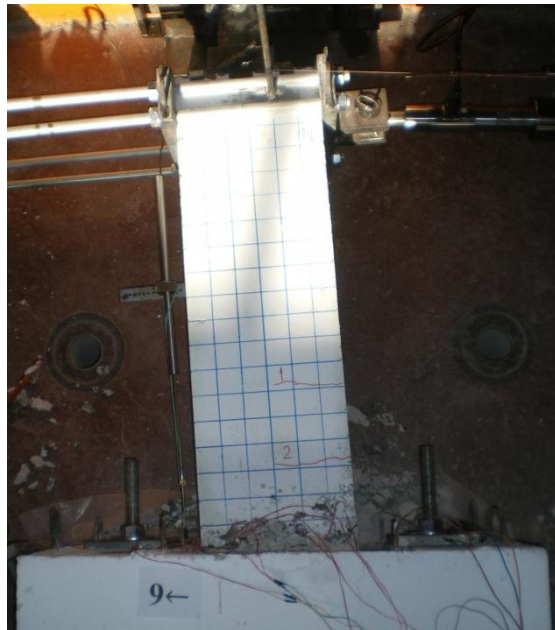


7<sup>ος</sup> ημίκυκλος pull

Δοκίμιο  $RHL_2$

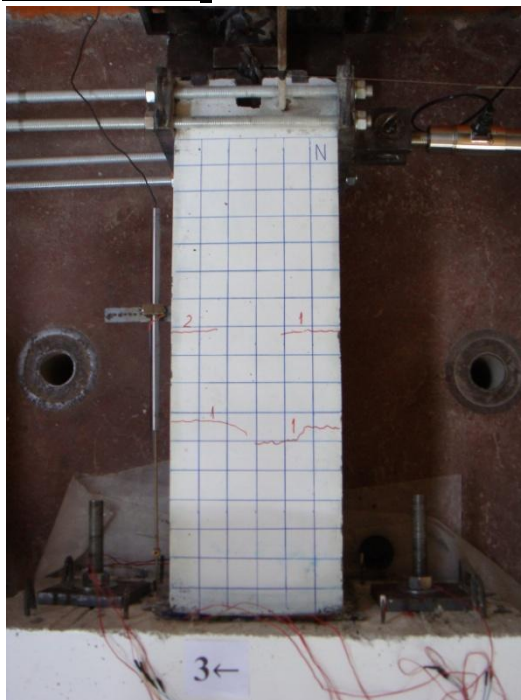


3<sup>ος</sup> ημίκυκλος push

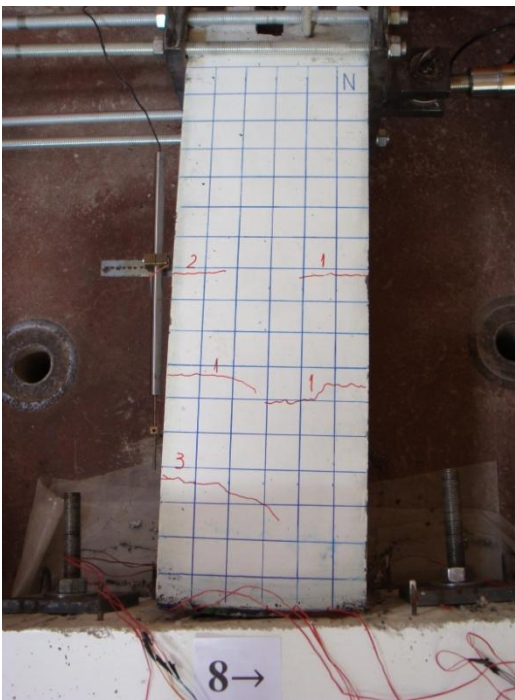


9<sup>ος</sup> ημίκυκλος push

Δοκίμιο  $RWL_2$



3<sup>ος</sup> ημίκυκλος push



8<sup>ος</sup> ημίκυκλος pull

## ***ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β***







# EBETAM (MIRTEC)

19.

Εργαστήριο Χημικών Αναλύσεων	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	Ταυτότητα Αναγνώρισης Δοκιμίου 52652
------------------------------------	----------------------------------	---

Υλικό : Χάλυβας

No	C %	Mn %	P %	S %	Cr %
1	0,118	0,58	0,025	0,033	0,13

No	Ni %	Mo %	V %	Cu %	N %	Ceq %
1	0,15	0,02	0,00	0,30	0,009	0,276

## 20. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- No 1: Δοκίμιο Χ.Ο.Σ. Φ12 λείος
- Ceq : Ισοδύναμο άνθρακα (μέγιστο αποδεκτό κατά ΕΛΟΤ EN 10080 : 0,52)

Ο Υπεύθυνος Εργαστηρίου  
Χημικών Αναλύσεων

Δρ. Π. Τσολάκης  
Χημικός



Ελέγχθηκε

Π. Πολατίδης  
Μεταλλουργός Μηχανικός



## ΕΚΘΕΣΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Σχετικά πρότυπα για σύνταξη Έκθεσης ΕΛΟΤ EN ISO/ IEC 17025

01.	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	:	ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ
02.	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ	:	Α' ΒΙ.ΠΕ. - 385 00 ΒΟΛΟΣ
03.	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	:	18-11-2010
04.	ΟΝΟΜΑ ΠΕΛΑΤΗ	:	ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΡΕΥΝΩΝ Α.Π.Θ.
05.	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΕΛΑΤΗ	:	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥΠΟΛΗ, 546 45 ΘΕΣ/ΝΙΚΗ
06.	ΚΩΔΙΚΟΣ ΕΡΓΟΥ	:	39262
07.	ΚΩΔΙΚΟΣ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ	:	5519

### ΔΗΛΩΣΗ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΔΟΚΙΜΗΣ

Τα αποτελέσματα της παρούσας δοκιμής αφορούν αποκλειστικά και ΜΟΝΟΝ τα δείγματα που υποβλήθηκαν σε αυτήν την δοκιμή.

### ΔΗΛΩΣΗ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

Η παρούσα έκθεση επιτρέπεται να αναπαραχθεί ΜΟΝΟΝ στο σύνολο των σελίδων της, χωρίς την έγκριση του εργαστηρίου. Επιμέρους αναπαραγωγή του παρόντος ενιαίου εγγράφου δεν έχει την ισχύ έγκυρης έκθεσης.

08.	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΚΘΕΣΗΣ	:	3310
09.	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΚΔΟΣΗΣ	:	23/11/2010
10.	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ	:	23-11-2010
10.	ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	:	52652
11.	ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	:	Πελάτης
	ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	:	---
12.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΥ	:	Εργαστηριακές δοκιμές
13.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ	:	Δοκίμιο Χ.Ο.Σ. Φ12 λείος
	ΥΛΙΚΟ	:	Χάλυβας
14.	ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	:	Θ. Θεοχάρης
15.	ΕΙΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ / ΔΟΚΙΜΗΣ	:	Φασματοσκοπική Ανάλυση
	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	:	Πεπλατυσμένο δοκίμιο
16.	ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ	:	Η χημική ανάλυση έγινε στην συσκευή οπτικής εκπομπής σπινθηρισμού SPECTROLAB M8
17.	ΠΡΟΤΥΠΑ / ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ	:	ASTM E 415-08 ΕΛΟΤ EN 10080-05
18.	ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΜΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ	:	Η χημική ανάλυση πραγματοποιήθηκε βάσει της οδηγίας εργασίας W.I./labche-01/1

GP - LAB / EN01 (4.1 / 2.4.08)

Σελίδα 1 από 2

Chem-3310-ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΡΕΥΝΩΝ ΑΠΘ.doc

Γραφείο Αθηνών : Μ. Μερκούρη 76, Αγ. Δημήτριος, 173 42 Αθήνα  
Athens office : 76, M. Merkouri, Ag. Dimitrios, GR - 173 42 Athens  
Tel : +30 210 9961408, Fax: +30 210 9969850  
E-mail : athens.office@ebetam.gr

Κεντρικό : Α. Βουλγαρική Περιοχή, 385 00 Βόλος  
Head office: A. Industrial Area, GR - 385 00 Volos  
Tel.: +302421095340/1/2, Fax: +302421095364  
E-mail: volos.office@ebetam.gr  
web site: http://www.ebetam.gr

Γραφείο Θεσσαλονίκης : Βουλγαρική Περιοχή, 570 22 Σίνδος  
Thessaloniki office : Industrial Area, GR - 570 22 Sindos  
Tel : +30 2310797 867, Fax: +30 2310 723117  
E-mail : thess.office@ebetam.gr





**ΕΒΕΤΑΜ****(MIRTEC)**

ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ &amp; ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ Α.Ε. / METALLURGICAL INDUSTRIAL RESEARCH &amp; TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT CENTRE S.A.

Προς  
**ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΡΕΥΝΩΝ Α.Π.Θ**  
**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥΠΟΛΗ**  
**54645 ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ**

Βόλος, 29 Νοεμβρίου 2010  
ΠΠ/νκ - 2814/10

Υπόψη κ. Καλογερόπουλου

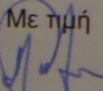
Κύριοι,

Σας διαβιβάζουμε τις υπ' αριθ. 392/18.11.10 και 3310/23.11.10 Εκθέσεις Εργαστηριακών Δοκιμών που αφορούν αποτελέσματα χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος.

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα ο χάλυβας είναι ποιότητας S220 κατά ΕΛΟΤ 959 και είναι συγκολλησίμος.

Είμαστε πρόθυμοι για οποιαδήποτε πληροφορία ή διευκρίνιση.

Με τιμή

  
**Π. Πολατίδης**  
Μεταλλουργός Μηχανικός  
Δ/ντής

Γραφείο Αθηνών : Μ. Μικραδίου 76, Αγ. Δημήτριος, 115 42 Αθήνα  
Athens office : 76, M. Mikradou, Ag. Dimitrios, GR - 115 42 Athens  
Tel : +30 210 9961428, Fax: +30 210 9969850  
E-mail : [athens.office@ebetam.gr](mailto:athens.office@ebetam.gr)

Κεντρικό Α. Βιομηχανική Περιοχή, 580 00 Βόλος  
Head office: A. Industrial Area, GR - 580 00 Volos  
Tel.: +302021195243/112, Fax: +302021195364  
E-mail: [volos.office@ebetam.gr](mailto:volos.office@ebetam.gr)  
web site: <http://www.ebetam.gr>

Γραφείο Θεσσαλονίκης : Βιομηχανική Περιοχή, 5570 22 Σίνδος  
Thessaloniki office : Industrial Area, GR - 5570 22 Sindos  
Tel : +30 2010797 867, Fax: +30 2010 728117  
E-mail : [thess.office@ebetam.gr](mailto:thess.office@ebetam.gr)