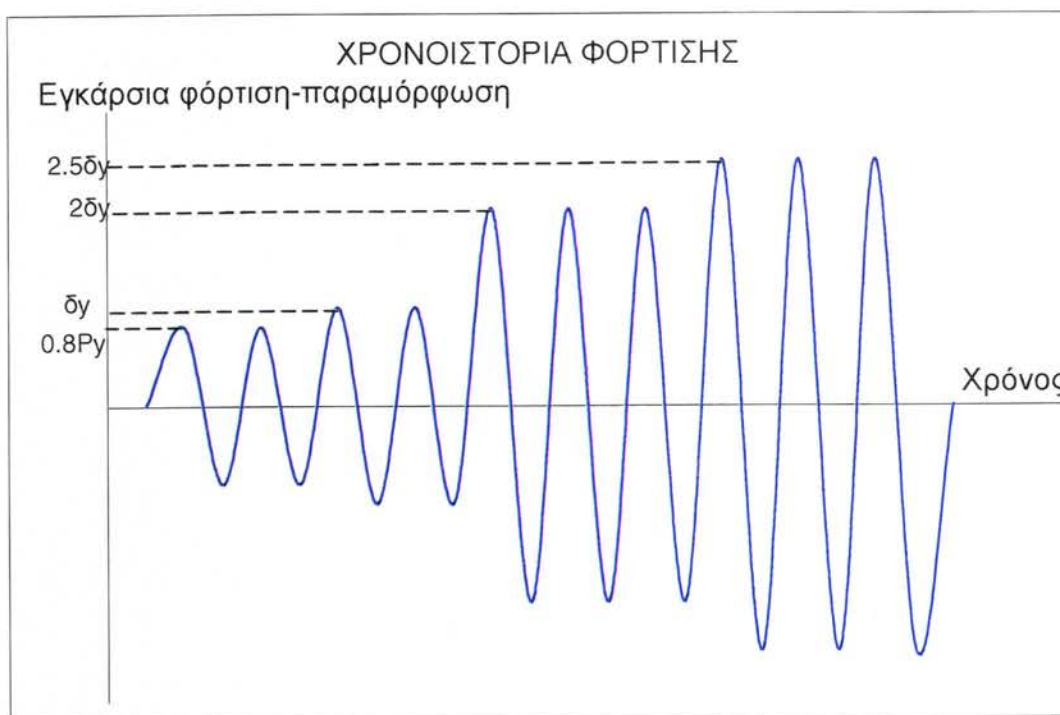


4. Α ΦΑΣΗ: ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΘΕΝΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Τα αποτελέσματα της Α Φάσης των πειραμάτων περιγράφηκαν εκτενώς στις Πρώτη και Δεύτερη Έκθεση Πρόοδου (Ζέρης, 2001, 2003) άρα επαναλαμβάνονται στην παρούσα πλέον περιληπτικά, κυρίως σε ότι αφορά τη σύγκρισή τους με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της Β Φάσης, που δεν είχε περιληφθεί στις παραπάνω Εκθέσεις. Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε επίσης και Δροσόπουλο (2002).

Η επιβαλλόμενη ιστορία εγκάρσιας παραμόρφωσης έχει τα τυπικά χαρακτηριστικά που δείχνονται στο Σχήμα 4.1, με μικρές διαφορές μεταξύ δοκιμίων. Αρχικά επιβάλλεται το αξονικό φορτίο $N=189,5$ kN, και ακολούθως η εγκάρσια παραμόρφωση, η οποία έχει αυξανόμενο εύρος με δύο κύκλους αρχικά σε 80% της παραμόρφωσης διαρροής, δύο στη διαρροή και ακολούθως δύο ή



Σχήμα 4.1 Ενδεικτική τυπική χρονοϊστορία της μονοτονικής φόρτισης μετά την επιβολή του αξονικού φορτίου N .

τρεις κύκλους αυξανόμενου εύρους σε διαστήματα $\frac{1}{2} \delta_y$. Σε κάθε περίπτωση, η μετατόπιση διαρροής λαμβάνεται πειραματικά από το διάγραμμα αντοχής - παραμόρφωσης ($P-\delta$), που καταγράφεται στη θέση του εμβόλου, άρα περιλαμβάνει και τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως στην μετρούμενη αντίσταση του δοκιμίου υπό μεγάλες παραμορφώσεις. Το πείραμα τερματίζεται όταν επιτευχθεί πλαστιμότητα μετατοπίσεων τουλάχιστον ίση με 3,50 ή όταν το δοκίμιο αστοχήσει συμβατικά: σαν κριτήριο συμβατικής αστοχίας θεωρείται η υπέρβαση προς τα κάτω του ορίου του 85% της μέγιστης καταγραφείσας πειραματικής αντοχής P_{max} , κατά τη διεύθυνση της αρχικής καταπόνησης – λόγω, ενίοτε, κάποιων ασυμμετριών που εμφανίστηκαν στη φάση ελέγχου των επισκευασμένων δοκιμίων.

Όλα τα δοκίμια ενοργανώνονται με εγκάρσια επαγωγικά βελόμετρα κατά μήκος του ανοίγματος, επάνω και κάτω από το σημείο εφαρμογής του φορτίου, και κατά την αξονική διεύθυνση. Τρία βελόμετρα τοποθετούνται στην ελεγχόμενη περιοχή, όπου ο οπλισμός του δοκιμίου είναι μειωμένος (κατά περίπτωση, πάνω ή κάτω από την θέση του εγκάρσιου εμβόλου) και δύο έξω από αυτήν (αντιδιαμετρικά ως προς το σημείο εφαρμογής του φορτίου). Κατά μήκος του δοκιμίου τοποθετούνται επί πλέον κατακόρυφα βελόμετρα στις κρίσιμες περιοχές. Δύο οριζόντια βελόμετρα είναι τοποθετημένα στο πάνω και κάτω μέρος του εγκάρσιου εμβόλου, όμοια για όλα τα δοκίμια, και χρησιμεύουν για την εύρεση της στροφής στην θέση άσκησης της εγκάρσιας δύναμης. Τέλος ένα βελόμετρο τοποθετείται πάντοτε στη βάση του δοκιμίου για τη μέτρηση της κατακόρυφης παραμόρφωσης.

4.2 Ανάλυση των πειραματικών μετρήσεων και αποτελεσμάτων

Στα παρακάτω υποκεφάλαια παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα των ελέγχων στα παρθένα δοκίμια. Γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των χαρακτηριστικών του πειράματος (διαστάσεις, φορτία, προβλεπόμενη συμπεριφορά) και αναλύεται ο τρόπος συμπεριφοράς και αστοχίας του.

Σε κάθε δοκίμιο δίνονται οι βρόγχοι υστέρησης (τα διαγράμματα $P-\delta$), καθώς και οι πειραματικές μετρήσεις αναλυτικά για κάθε κύκλο επιβαλλόμενης μετατόπισης, σε μορφή Πίνακα, ο οποίος περιλαμβάνει:

- τις μέγιστες /ελάχιστες τιμές της επιβαλλόμενης παραμόρφωσης ($\delta_{min}, \delta_{max}$),
- τις αντίστοιχες μέγιστες – ελάχιστες δυνάμεις (P_{min}, P_{max}) ανά κύκλο μετατόπισης,
- τη μέση παραμόρφωση δ_{mean} , που υπολογίζεται βάσει

$$\delta_{mean} = (\delta_{min} + \delta_{max}) / 2$$

- τις παραμορφώσεις που αντιστοιχούν στις μέγιστες και ελάχιστες αντοχές (δ/P_{min} και δ/P_{max}),
- τη μέση δυσκαμψία \bar{K} του δεδομένου βρόχου, που δίδεται από την εξίσωση

$$\bar{K} = \frac{P_{max} - P_{min}}{\delta / P_{max} - \delta / P_{min}} \cdot 1000 \text{ kN} / \text{m}$$

- την ενεργειακή απορρόφηση που περικλείεται από το υστερετικό διάγραμμα του κάθε κύκλου,
- τις αντίστοιχες πλαστιμότητες μέσης παραμόρφωσης μ_δ και
- υστερετικής ενέργειας μ_E , όπου E η απορροφώμενη υστερετική ενέργεια του βρόχου (σε εύρος δ_{mean}) και

$$\mu_\delta = \delta_{mean} / \delta_y$$

$$\mu_E = E / E_y, \quad E_y = P_y \delta_y / 2$$

και P_y, δ_y οι δύναμη και η παραμόρφωση διαρροής (πειραματικά μετρούμενη).

Αντίστοιχα αποτελέσματα έχουν καταγραφεί στους ελέγχους των δοκιμίων της Β' Φάσης και παρατίθενται προς σύγκριση στο Κεφάλαιο 5. Στο τέλος του Κεφαλαίου γίνεται μια συγκριτική παρουσίαση της απόκρισης των επτά δοκιμίων υποστυλωμάτων όπως ελέγχθηκαν στην παρθένα κατάσταση.

4.3 ΔΟΚΙΜΙΟ ΧΠ301

Περιγραφή του δοκιμίου_ Το δοκίμιο ΧΠ301 έχει σε μήκος 1,95 m συνδετήρες S220 αραιά τοποθετημένους (Φ6/40), καθώς και μειωμένο διαμήκη οπλισμό (8Φ14) σε σχέση με το υπόλοιπο τμήμα του που είναι οπλισμένο με 16Φ14. Το εγκάρσιο έμβολο τοποθετείται στο όριο διακοπής του πρόσθετου οπλισμού σε απόσταση 1,25 m από την ακραία κάτω διατομή του υποστυλώματος, από την πλευρά του εδάφους. Στο δοκίμιο επιβάλλονται δέκα συνολικά εναλλασσόμενοι κύκλοι φόρτισης, παρουσία αξονικής θλιπτικής δύναμης 192,5 kN.

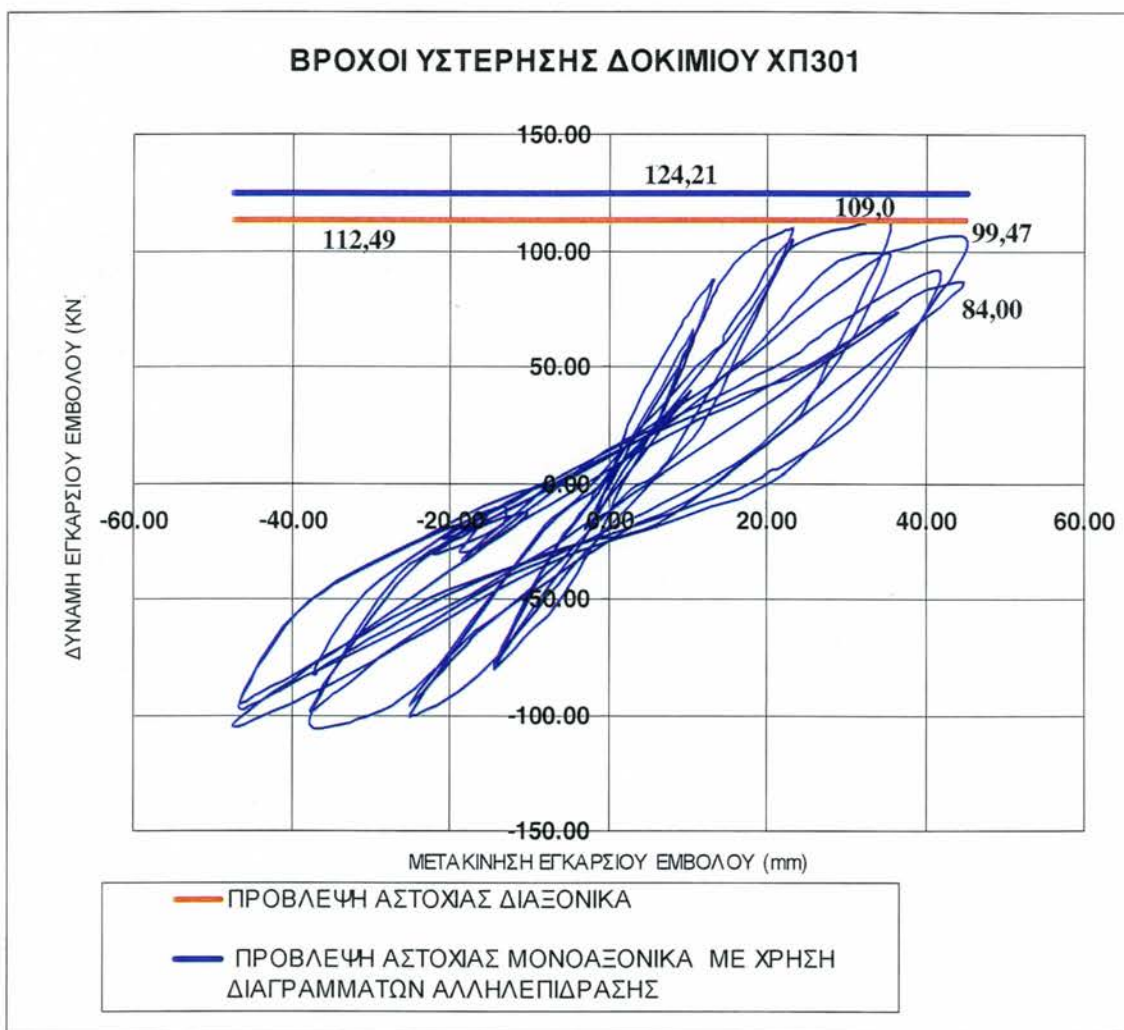
Μηχανικά χαρακτηριστικά του δοκιμίου_ Η απόκριση του υποστυλώματος ΧΠ301 φαίνεται στο Σχήμα 4.3.1 υπό μορφή διαγράμματος αντοχής και αντιστοιχης εφαρμοζόμενης εγκάρσιας παραμόρφωσης, από όπου και προκύπτουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς του στύλου. Στον Πίνακα 4.3.1 δίδονται τα πειραματικά αποτελέσματα της ολικής συμπεριφοράς του δοκιμίου.

Πίνακας 4.3.1 Μετρήσεις πειραματικής απόκρισης του δοκιμίου ΧΠ301

Αρ. Κύκλου	δ_{min} mm	δ_{max} mm	δ_{mean} mm	P_{min} kN	δ/P_{min} mm	P_{max} kN	δ/P_{max} mm	K kN/m	E KNmm	μ_{δ}	μ_E
1	15	13	14	80	15	87	13	6032	485	0,8	0,6
2	14	10	12	78	14	66	9	6150	223	0,7	0,3
3	25	23	24	100	25	109	23	4333	1345	1,4	1,6
4	25	23	24	95	25	104	23	4138	693	1,4	0,8
5	38	36	37	102	38	109	30	3121	3118	2,2	3,7
6	37	36	36	97	37	98	36	2673	2141	2,1	2,5
7	47	45	46	102	47	99	45	2204	3809	2,7	4,5
8	37	42	40	82	37	90	42	2182	1625	2,3	1,9
9	47	36	42	97	47	73	36	2044	1421	2,4	1,7
10	46	45	46	94	46	84	45	1952	2179	2,7	2,6

Η τιμή της μέγιστης δύναμης αντοχής είναι 109 kN και καταγράφεται σε μετακίνηση εγκάρσιου εμβόλου 35,5 mm στον 5^ο κύκλο φόρτισης. Η παραπάνω τιμή συγκρίνεται με τη θεωρητική πρόβλεψη φέρουσας

ικανότητας που βασίζεται στα μονοαξονικά διαγράμματα αλληλεπίδρασης σχεδιασμού, ανηγμένα στη διαγώνιο (υπολογισμένα με μοναδιαίους συντελεστές ασφαλείας και τις μέσες πειραματικές αντοχές των υλικών όπως δόθηκαν στο Κεφάλαιο 2), η οποία είναι ίση με 124,2 kN, ή 14% μεγαλύτερη από την πειραματική. Επί πλέον, γίνεται σύγκριση και με τη θεωρητική πρόβλεψη που βασίζεται στα διαξονικά διαγράμματα σχεδιασμού (με τις ίδιες αναγωγές), τα οποία προβλέπουν αντοχή (μετά τη διόρθωση των φαινομένων Β τάξης) η οποία ισούται με 112,5 kN, ήτοι 3% μεγαλύτερη από την πειραματική.



Σχήμα 4.3.1 Βρόχοι υστέρησης δοκιμίου ΧΠ301.

Η πειραματικά εκτιμώμενη διαρροή του οπλισμού εμφανίζεται περίπου σε δύναμη 99 kN και μετακίνηση εγκάρσιου εμβόλου 17 mm. Θεωρώντας σαν κριτήριο αστοχίας την απομείωση της φέρουσας ικανότητας P_{max} στο 85%

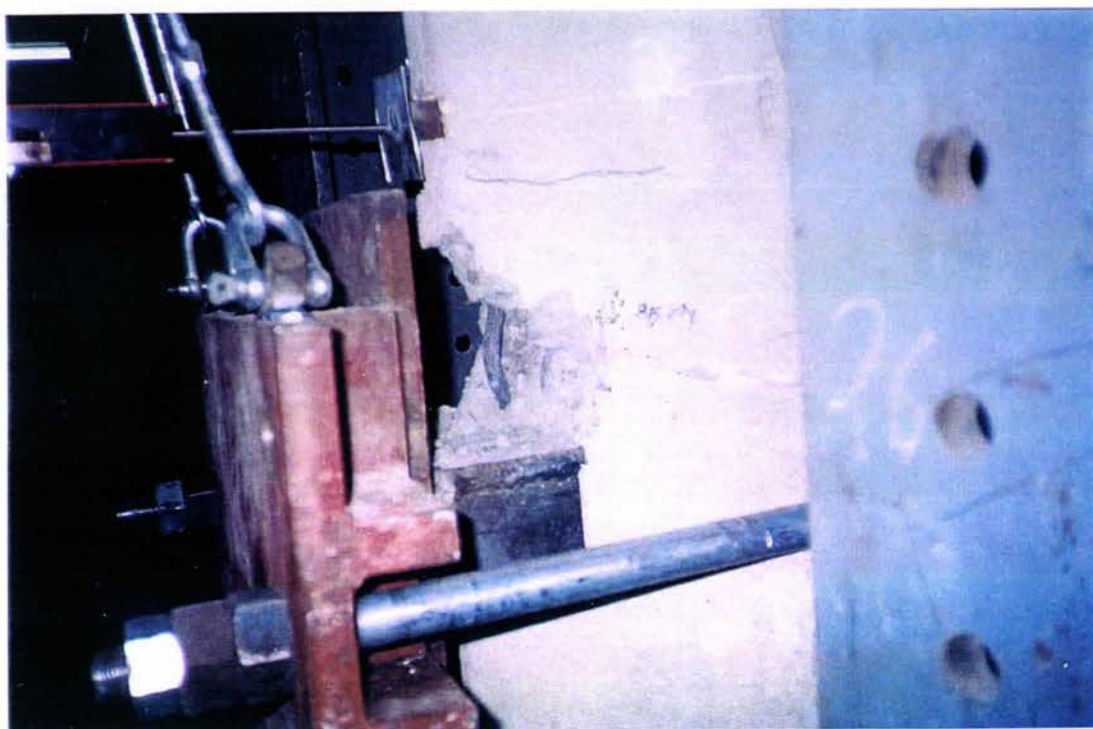
(=93 kN), αυτό ενεργοποιείται σε όρους ανακύκλισης και όχι λόγω πτώσης της π[περιβάλλουσας αντοχής, σε μετακίνηση 44,5 mm κατά τον τρίτο κύκλο υπό σταθερή παραμόρφωση, όταν η αντοχή του δοκιμίου μειώνεται στα 84 kN. Η αντίστοιχη τιμή πλαστιμότητας σε όρους μετακινήσεων, άρα, που απέδωσε το δοκίμιο, αποτιμάται σε 2,60.

Συμπεριφορά του δοκιμίου_ Κατά τη σταδιακή αύξηση της επιβαλλόμενης εγκάρσιας παραμόρφωσης, το δοκίμιο εμφανίζει αρχικά καμπτικές ρωγμές στο ελεγχόμενο τμήμα, οι οποίες σταδιακά διευρύνονται. Κατά τα πέρας της διαδικασίας, το θλιβόμενο σκυρόδεμα στις δύο γωνίες αποφλοιώνεται σε απόσταση $d/2$ από το σημείο εφαρμογής του P και τα τρία διαμήκη σίδερα πλησιέστερα στη γωνία αστοχούν σε περιορισμένο λυγισμό (Φωτογραφίες 4.3.1 και 4.3.2).

Από άποψη διατμητικής συμπεριφοράς, παρατηρείται ότι μέχρι την περάτωση του πειράματος δεν εμφανίστηκαν διατμητικές ρωγμές, παρά το γεγονός πως δεν τηρούνται οι απαιτήσεις ελάχιστου εγκάρσιου οπλισμού και οπλισμού περίσφιγξης με βάση τον ΕΑΚ (ΟΑΣΠ, 2000). Λόγω του μικρού ποσοστού διάτμησης V_w που παραλαμβάνει ο τοποθετημένος κλωβός των συνδετήρων (υπολογίζεται βάσει του δικτυώματος σε περίπου 7 kN σε πραγματικές τιμές και όχι τιμές σχεδιασμού, τιμή που είναι μικρό ποσοστό της απαιτούμενης διατμητικής δύναμης από το στοιχείο), συμπεραίνεται ότι η διάτμηση παραλαμβάνεται κατά κύριο λόγο από το σκυρόδεμα (V_c), η οποία αποτιμάται ότι παρέχει ένα ποσοστό 55% περίπου της τιμής που προβλέπεται από τα ισχύοντα προσομοιώματα του ΕΚΟΣ (ΟΑΣΠ, 2000), υπολογιζόμενα βάσει μέσων τιμών αντοχής υλικών. Το παραπάνω ποσοστό δεν ξεπερνά το προβλεπόμενο Κανονιστικό όριο σχεδιασμού υποστυλωμάτων σε ανακύκλιση ίσο με $0,9V_c$ που προβλέπει ο παραπάνω Κανονισμός, για δρώσα ανηγμένη θλιπτική δύναμη μεγαλύτερη του 10%, όπως συμβαίνει στην παρούσα.



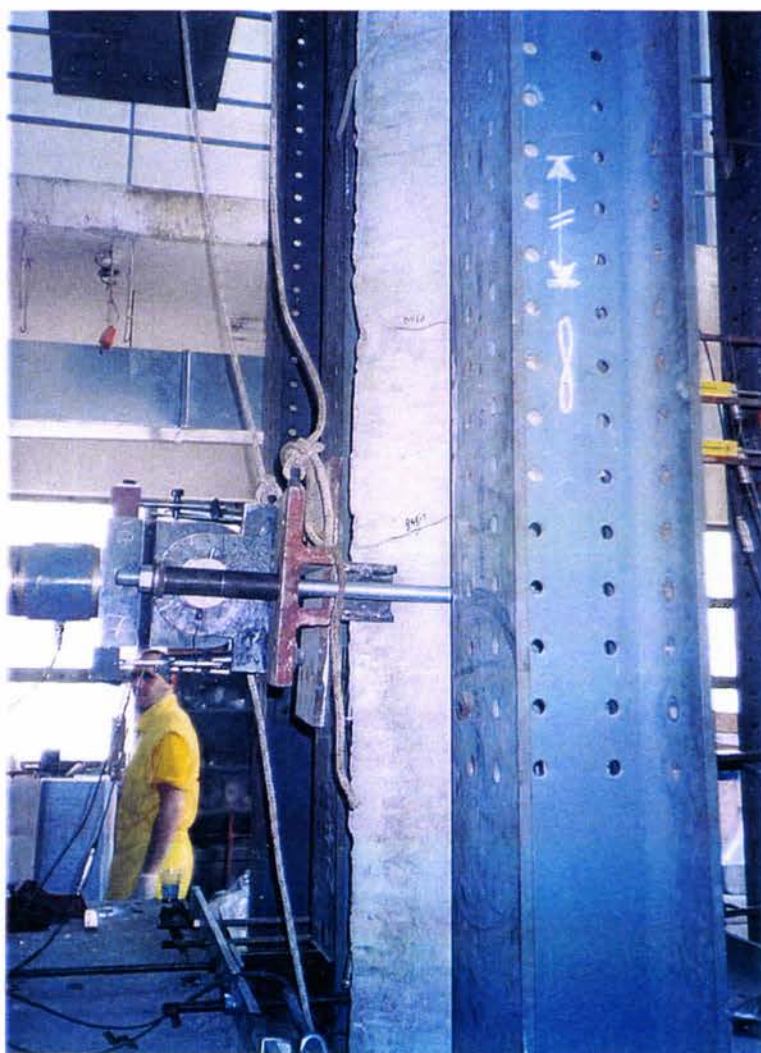
Φωτογραφία 4.3.1 Σταδιακή ρηγμάτωση του δοκιμίου ΧΠ301.



Φωτογραφία 4.3.2 Κατανομή βλαβών του ΧΠ301 στην κρίσιμη ζώνη μετά το πέρας του πειράματος.

4.4 ΔΟΚΙΜΙΟ ΧΠ302

Περιγραφή του δοκιμίου_ Το δοκίμιο ΧΠ302 (Φωτογραφία 4.4.1) είναι πανομοιότυπο με το ΧΠ301, και είναι οπλισμένο σε μήκος 1,90m με συνδετήρες S220 (Φ6/40), καθώς και με μειωμένο διαμήκη οπλισμό 8Φ14, σε αντίθεση με το υπόλοιπο τμήμα του που φέρει 16Φ14. Το εγκάρσιο έμβολο τοποθετείται στο όριο διακοπής του πρόσθετου οπλισμού σε απόσταση 1,25 m από την ακραία κάτω διατομή του υποστυλώματος, από την πλευρά του εδάφους. Στο δοκίμιο επιβάλλονται δέκα συνολικά εναλλασσόμενοι κύκλοι φόρτισης, παρουσία αξονικής θλιπτικής δύναμης 192,5 kN.



Φωτογραφία 4.4.1 Το δοκίμιο ΧΠ302 τοποθετημένο στη διάταξη.

Μηχανικά χαρακτηριστικά του δοκιμίου_ Η απόκριση του υποστυλώματος ΧΠ302 φαίνεται στο Σχήμα 4.4.1 υπό μορφή διαγράμματος αντοχής και

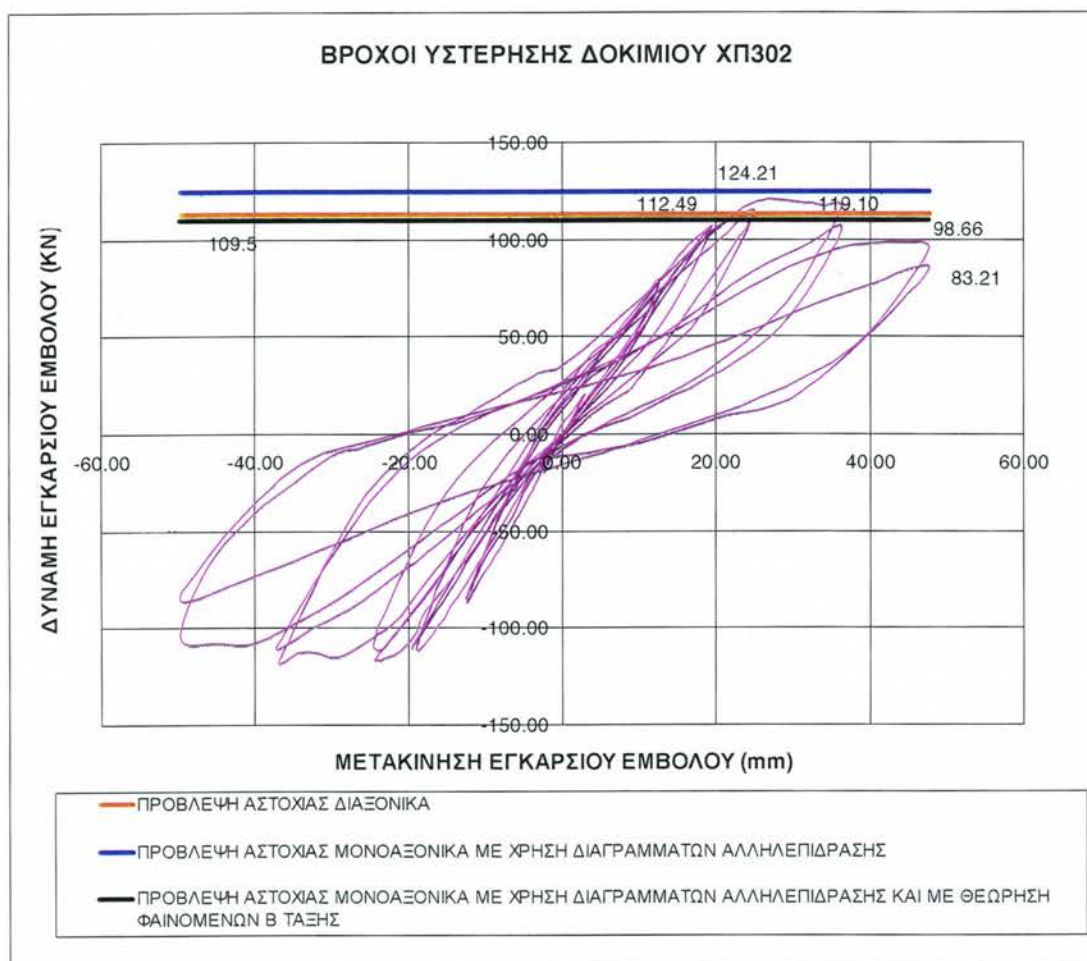
αντίστοιχης εφαρμοζόμενης εγκάρσιας παραμόρφωσης, από όπου και προκύπτουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς του στύλου. Στον Πίνακα 4.4.1 δίδονται τα πειραματικά αποτελέσματα της ολικής συμπεριφοράς του δοκιμίου όπως έχουν ορισθεί στο Κεφάλαιο 4.3.

Πίνακας 4.4.1 Μετρήσεις πειραματικής απόκρισης του δοκιμίου ΧΠ302

Αρ. Κύκλου	δ_{min} mm	δ_{max} mm	δ_{mean} mm	P_{min} kN	δ/P_{min} mm	P_{max} kN	δ/P_{max} mm	K kN/m	E KNmm	μ_δ	μ_E
1	12	13	13	87	12	73	13	6369	352	0,7	0,4
2	13	13	13	84	13	79	13	6507	275	0,7	0,3
3	19	19	19	111	19	105	19	5625	720	1,1	0,8
4	19	19	19	108	19	105	19	5553	358	1,1	0,4
5	25	25	25	117	25	112	25	4647	534	1,5	1,0
6	25	25	25	111	23	114	25	4668	1342	1,5	1,5
7	37	36	37	118	37	119	25	3813	3866	2,2	4,4
8	37	36	37	109	37	104	36	2899	2450	2,2	2,8
9	50	47	49	108	45	99	44	2335	4824	2,9	5,5
10	50	47	49	84	50	83	47	1716	3470	2,9	4,0

Η μέγιστη καταγεγραμμένη αντοχή του δοκιμίου είναι 119 kN (κατά 10 kN μεγαλύτερη του ΧΠ301), καταγράφεται δε σε μετακίνηση εγκάρσιου εμβόλου 25 mm, κατά τον 7^ο κύκλο φόρτισης, σε μικρότερη δηλαδή παραμόρφωση από το προηγούμενο δοκίμιο. Η τιμή αυτή συγκρίνεται με την θεωρητική πρόβλεψη της φέρουσας ικανότητας που προκύπτει από τη χρήση των μονοαξονικών διαγράμμάτων αλληλεπίδρασης σχεδιασμού (ανηγμένη για απόκριση στη διαγώνιο), με θεώρηση μοναδιαίων συντελεστών, των πραγματικών χαρακτηριστικών των υλικών και διορθωμένες τιμές για τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως, η οποία είναι ίση με 124,2 kN, ήτοι 4% μεγαλύτερη από το πείραμα. Αντίστοιχα, η θεωρητική πρόβλεψη με χρήση των διαξονικών διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης σχεδιασμού (πάλι με τις παραπάνω αναγωγές πριν και μετά από τη διόρθωση β' τάξης) ισούται με 112,5 kN και 109 kN αντίστοιχα, είναι άρα η τελική πρόβλεψη κατά 9% μικρότερη από την πειραματική τιμή.

Η πειραματική διαρροή συμβαίνει περίπου σε δύναμη 103,7 kN και αντίστοιχη μετακίνηση του εγκάρσιου εμβόλου 16,8 mm. Το κριτήριο της πτώσης της φέρουσας ικανότητας του δοκιμίου στο 85% της μέγιστης



Σχήμα 4.4.1 – Βρόχοι υστέρησης δοκιμίου ΧΠ302.

πειραματικής αντοχής ($=101$ kN) ενεργοποιείται σε τιμή μετακίνησης 44 mm (σε όρους περιβάλλουσας $P-\delta$). Η αντίστοιχη τιμή πλαστιμότητας σε όρους μετακινήσεων που παρέσχε το δοκίμιο, άρα, είναι **2,60**, ίδια με το **ΧΠ301**, με τη διαφορά ότι αυτή επετεύχθη σε όρους ανακύκλισης (γεγονός λιγότερο δυσμενές). Από πλευράς διατμητικής συμπεριφοράς και ρωγμών στην αστοχία, δεν παρατηρήθηκε ουδεμία, ομοίως με το **ΧΠ301**.

Συμπεριφορά του δοκιμίου_ Κατά τη σταδιακή αύξηση της επιβαλλόμενης εγκάρσιας παραμόρφωσης, το δοκίμιο εμφανίζει αρχικά καμπτικές ρωγμές στο ελεγχόμενο τμήμα, οι οποίες σταδιακά διευρύνονται (Φωτογραφία 4.4.2), σε παρόμοιο σχετικά ενεργό μήκος ρηγμάτωσης όπως το **ΧΠ301**. Κατά τα

πέρασ της διαδικασίας, το θλιβόμενο σκυρόδεμα στις δύο γωνίες αποφλοιώνεται σε απόσταση μεγαλύτερη του $1,0 d$ από το σημείο εφαρμογής του P και η γωνιακή διαμήκης ράβδος οπλισμού αστοχεί σε εκτεταμένο λυγισμό (Φωτογραφία 4.3.3). Σε σχέση με το ΧΠ301, το δοκίμιο αυτό εμφανίζει σαφώς ταχύτερη απομείωση της υστερετικής απορρόφησης κατά την ανακύκλιση μετά από την έναρξη του λυγισμού της ράβδου (βλέπε και Σχήμα 4.4.1).



Φωτογραφία 4.4.2
Σταδιακή ρηγμάτωση
του δοκιμίου ΧΠ302.

Από άποψη διατμητικής συμπεριφοράς, παρατηρείται ότι μέχρι την περάτωση του πειράματος δεν εμφανίστηκαν διατμητικές ρωγμές (Φωτογραφία 4.4.2), παρά το γεγονός ότι δεν τηρούνται οι απαιτήσεις ελάχιστου εγκάρσιου οπλισμού και οπλισμού περίσφιγξης με βάση τον ΕΑΚ (ΟΑΣΠ, 2000): Η απαιτούμενη τέμνουσα που παραλαμβάνει στο μέγιστο φορτίο το δοκίμιο είναι 28 kN κατά τη διαγώνιο. Η αντοχή σε τέμνουσα του δοκιμίου ανέρχεται στα 70 kN , και επιμερίζεται σε $V_w = 7 \text{ kN}$ στη δύναμη του κλωβού του εγκάρσιου οπλισμού (για επέκταση του δικτυώματος κατά τη

διαγώνιο, η ρωγμή θεωρείται ότι διαπερνά ένα συνδετήρα) και, κατά το υπόλοιπο, στη παραλαμβανόμενη τέμνουσα από το σκυρόδεμα (V_c).



Φωτογραφία 4.4.3
Τελική κατανομή βλαβών
του ΧΠ302 στην κρίσιμη
ζώνη

Η V_c αποτιμάται άρα ότι παρέχει ένα ποσοστό 55% περίπου της τιμής που προβλέπεται από τα ισχύοντα προσομοιώματα του ΕΚΟΣ (ΟΑΣΠ, 2000), υπολογιζόμενα βάσει μέσων τιμών αντοχής υλικών. Το παραπάνω ποσοστό δεν ξεπερνά το προβλεπόμενο Κανονιστικό όριο σχεδιασμού υποστυλωμάτων σε ανακύκλιση ίσο με $0,9V_c$ για θλιπτική δύναμη μεγαλύτερη του $\nu = 10\%$, όπως συμβαίνει στην παρούσα.

4.5 ΔΟΚΙΜΙΟ ΧΠ303

Περιγραφή του δοκιμίου_ Το δοκίμιο ΧΠ303 (Φωτογραφία 4.5.1) έχει σε μήκος 1,20 m συνδετήρες S220 αραιά τοποθετημένους (δίτμητοι $\Phi 6/40$), καθώς και μειωμένο διαμήκη οπλισμό αποτελούμενο από 8 $\Phi 14$ ισοκατανεμημένοι, σε σχέση με το υπόλοιπο τμήμα του που είναι οπλισμένο με 16 $\Phi 14$. Το εγκάρσιο έμβολο τοποθετείται στο όριο διακοπής του πρόσθετου οπλισμού σε απόσταση 1,15 m από την ακραία κάτω διατομή του υποστυλώματος, από την πλευρά του ισχυρού δαπέδου. Στο δοκίμιο επιβάλλονται επτά συνολικά εναλλασσόμενοι κύκλοι φόρτισης, παρουσία αξονικής θλιπτικής δύναμης 192,5 kN. Όπως και τα ΧΠ403 και ΥΠ302, το δοκίμιο έχει μικρότερο λόγο διατμητικού μήκους προς στατικό ύψος, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα δοκίμια.



Φωτογραφία 4.5.1 Το δοκίμιο ΧΠ303 τοποθετημένο στη διάταξη.

Μηχανικά χαρακτηριστικά του δοκιμίου_ Η πειραματική καταγεγραμμένη απόκριση του υποστυλώματος ΧΠ303 φαίνεται στο Σχήμα 4.5.1 υπό μορφή του διαγράμματος αντοχής P και αντίστοιχης εφαρμοζόμενης εγκάρσιας παραμόρφωσης δ , από όπου και προκύπτουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά

της συμπεριφοράς του στύλου. Στον Πίνακα 4.5.1 παρακάτω δίδονται τα πειραματικά αποτελέσματα της ολικής συμπεριφοράς του δοκιμίου, για σύγκριση και με τα αντίστοιχα των άλλων δοκιμίων.

Πίνακας 4.5.1 Μετρήσεις πειραματικής απόκρισης του δοκιμίου ΧΠ303

Αρ. Κύκλου	δ_{min} mm	δ_{max} mm	δ_{mean} mm	P_{min} kN	δ/P_{min} mm	P_{max} kN	δ/P_{max} mm	K kN/m	E KNmm	μ_{δ}	μ_E
1	16	15	16	79	16	89	15	5325	706	0,9	0,8
2	16	15	16	74	16	90	15	5245	489	0,9	0,6
3	23	23	23	89	23	106	23	4266	1007	1,3	1,2
4	23	23	23	86	23	102	23	4095	727	1,3	0,9
5	46	45	46	100	40	114	35	2863	4992	2,6	5,9
6	46	45	46	85	46	97	45	1988	2941	2,6	3,5
7	46	45	46	78	46	80	45	1731	2606	2,6	3,1

Από τα στοιχεία των μετρήσεων προκύπτει ότι η τιμή της μέγιστης δύναμης αντοχής P_{max} είναι 114 kN και καταγράφεται σε μετακίνηση εγκάρσιου



Σχήμα 4.5.1 Βρόχοι υστέρησης δοκιμίου ΧΠ303.

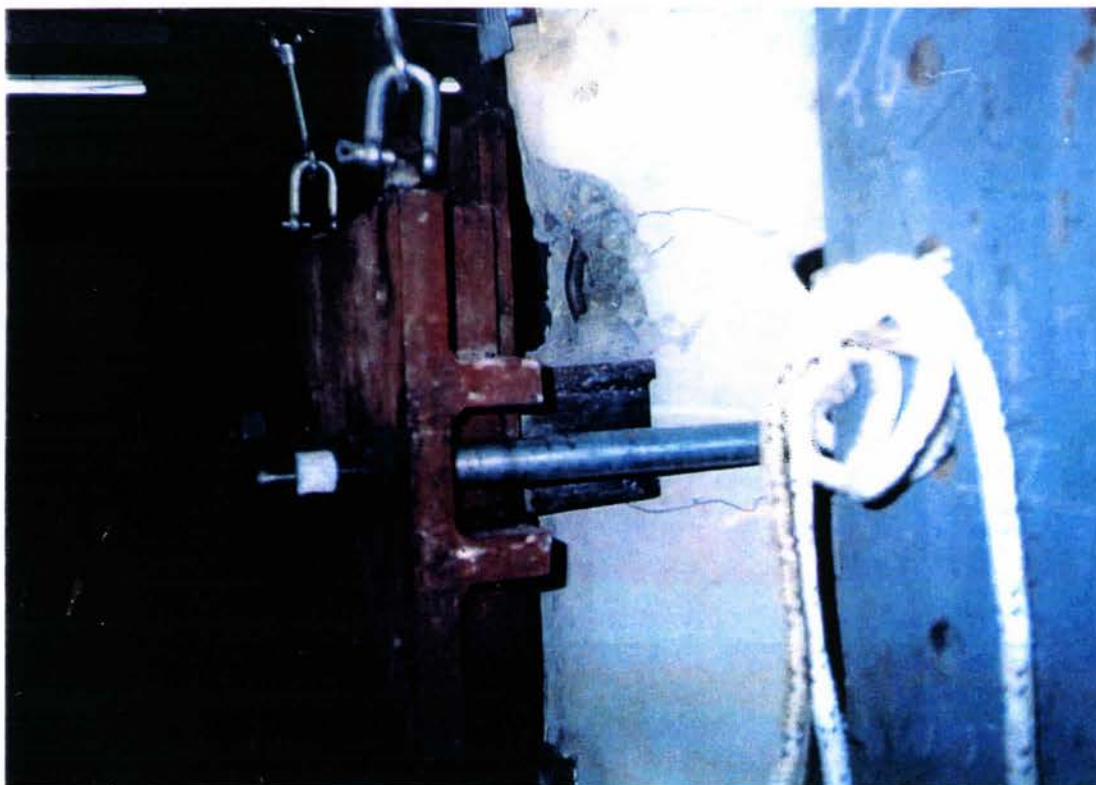
εμβόλου 35 mm, κατά τον 5^ο κύκλο φόρτισης (Σχήμα 4.5.1). Όπως αναμένονταν και από τα προηγούμενα δοκίμια, η πρόβλεψη της φέρουσας ικανότητας από τα μονοαξονικά διαγράμματα αλληλεπίδρασης (ανηγμένα στη διαγώνιο) με θεώρηση των πραγματικών χαρακτηριστικών των υλικών χωρίς συντελεστές, ξεπερνάει την παραπάνω τιμή και είναι ίση με 131,9 kN, ενώ, λαμβάνοντας υπόψη τα φαινόμενα β' τάξης, η θεωρητική τιμή (= 117,4 kN) προσεγγίζει περισσότερο την πειραματική φέρουσα ικανότητα.

Η πρόβλεψη με βάση τα διαξονικά διαγράμματα σχεδιασμού (με αντίστοιχες αναγωγές) είναι επίσης αρκετά κοντά στην τιμή του πειράματος και ισούται με 119,4 kN. Η πειραματική διαρροή συμβαίνει σε δύναμη 96,1 kN και μετακίνηση εγκάρσιου εμβόλου 17,7 mm. Η πτώση της φέρουσας ικανότητας στο 85% της P_{max} (= 97 kN) αντιστοιχεί σε τιμή μετακίνησης 45,3 mm, κατά την ανακύκλιση στον 6^ο κύκλο, με σημαντική πτώση στον επόμενο κύκλο της τάξης του 70% P_{max} , οπότε και τερματίστηκε το πείραμα. Η αντίστοιχη τιμή πλαστιμότητας σε όρους μετακινήσεων που παρέχεται είναι άρα 2,60.

Συμπεριφορά του δοκιμίου_ Το δοκίμιο αυτό απετέλεσε το πρώτο και πιλοτικό δοκίμιο στη Φάση Α. Κατά τη σταδιακή αύξηση της επιβαλλόμενης εγκάρσιας παραμόρφωσης, το δοκίμιο εμφάνισε καμπτικές ρωγμές εκατέρωθεν του σημείου επιβολής του φορτίου P , λόγω του ότι, από ελλιπή σήμανση, το εγκάρσιο έμβολο δεν τοποθετήθηκε στο όριο διακοπής του πρόσθετου οπλισμού ενίσχυσης αλλά 15 cm περίπου προς το μέρος της μειωμένης όπλισης, με αποτέλεσμα η άρθρωση να εμφανιστεί επάνω από το έμβολο. Το σφάλμα αυτό δεν επηρέασε τη θέση σχηματισμού της άρθρωσης, ούτε και την προς ενίσχυση περιοχή επέμβασης του δοκιμίου στη Β' Φάση. Από την ομοιότητα των διαγραμμάτων δύναμης – παραμόρφωσης με το αδελφό δοκίμιο **ΧΠ304**, δεν φαίνεται ότι επηρέασε ούτε και το μήκος λυγισμού του βλιβόμενου γωνιακού οπλισμού.



Φωτογραφία 4.5.2 Ρηγμάτωση δοκιμίου ΧΠ303.



Φωτογραφία 4.5.3 Τελική κατανομή βλαβών του ΧΠ303 στην κρίσιμη ζώνη.

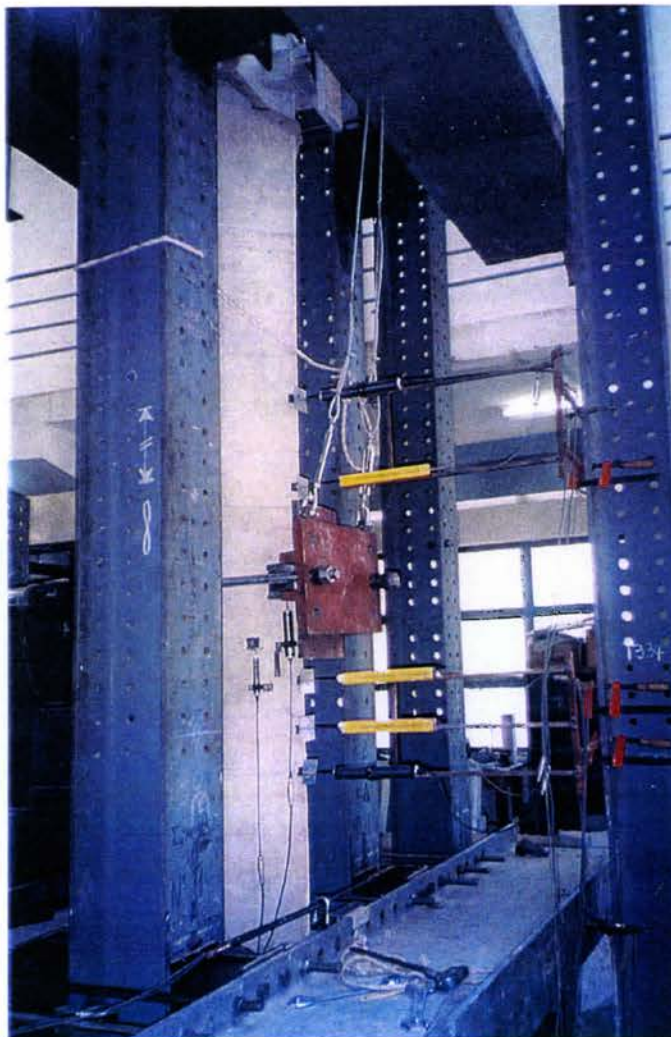
Κατά τα πέρας της διαδικασίας, το θλιβόμενο σκυρόδεμα στις δύο γωνίες αποφλοιώνεται σε απόσταση $d/4$ από το σημείο εφαρμογής του P και το

διαμήκες γωνιακό σίδερο αστοχεί σε περιορισμένο λυγισμό (Φωτογραφίες 4.5.2 και 4.5.3).

Όπως και με τα προηγούμενα δοκίμια, το δοκίμιο δεν εμφάνισε κανένα σημείο που να υποδηλώνει ότι υπήρξε έντονη διατμητική καταπόνηση. Τα περιθώρια παραλαβής της απαιτούμενης τέμνουσας κατά τη μέγιστη εγκάρσια δύναμη P ($= 57 \text{ kN}$), υπερκαλύφθηκαν από τη φέρουσα ικανότητα του σκυροδέματος, παρά τον αραιό εγκάρσιο οπλισμό του στοιχείου.

4.6 ΔΟΚΙΜΙΟ ΧΠ304

Περιγραφή του δοκιμίου_ Το δοκίμιο ΧΠ304 (Φωτογραφία 4.6.1) έχει σε μήκος 1,20 m συνδετήρες S220 αραιά τοποθετημένους (δίτμητοι $\Phi 6/40$), καθώς και μειωμένο διαμήκη οπλισμό αποτελούμενο από 8 $\Phi 14$ ισοκατανεμημένοι, σε σχέση με το υπόλοιπο τμήμα του που είναι οπλισμένο με 16 $\Phi 14$. Το εγκάρσιο έμβολο τοποθετείται στο όριο διακοπής του πρόσθετου οπλισμού σε απόσταση 1,45 m από την ακραία κάτω διατομή του



Φωτογραφία 4.6.1 Το δοκίμιο ΧΠ304 τοποθετημένο στη διάταξη.

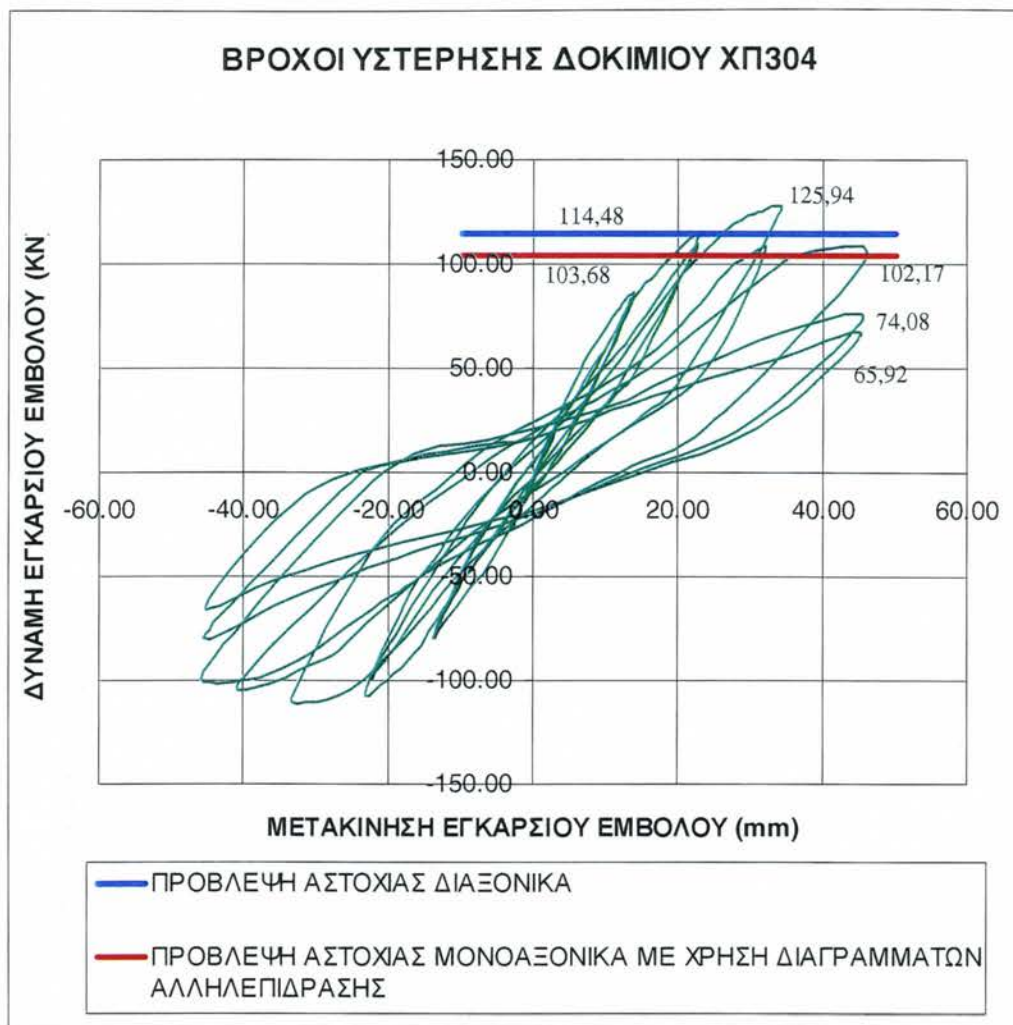
υποστυλώματος, από την πλευρά του ισχυρού δαπέδου. Στο δοκίμιο επιβάλλονται δέκα συνολικά εναλλασσόμενοι κύκλοι φόρτισης, παρουσία αξονικής θλιπτικής δύναμης 192,5 kN. Όπως και τα ΧΠ303 και ΥΠ302, το δοκίμιο έχει μικρότερο λόγο διατμητικού μήκους προς στατικό ύψος, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα δοκίμια.

Μηχανικά χαρακτηριστικά του δοκιμίου_ Η απόκριση του υποστυλώματος ΧΠ304 φαίνεται στο Σχήμα 4.6.1 υπό μορφή διαγράμματος αντοχής και αντίστοιχης εφαρμοζόμενης εγκάρσιας παραμόρφωσης, από όπου και προκύπτουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς του στύλου. Στον Πίνακα 4.6.1 δίδονται τα πειραματικά αποτελέσματα της ολικής συμπεριφοράς του δοκιμίου όπως έχουν ορισθεί στο Κεφάλαιο 4.3.

Πίνακας 4.6.1 Μετρήσεις πειραματικής απόκρισης του δοκιμίου ΧΠ304

Αρ. Κύκλου	δ_{min} mm	δ_{max} mm	δ_{mean} mm	P_{min} kN	δ/P_{min} mm	P_{max} kN	δ/P_{max} mm	K kN/m	E KNmm	μ_δ	μ_E
1	3	3	3	26	3	25	3	8273	8	0,2	0,0
2	14	14	14	80	14	86	14	5990	384	1,0	0,7
3	14	13	14	76	14	83	13	5874	177	1,0	0,3
4	23	23	23	106	23	114	23	4786	1103	1,7	2,0
5	23	23	23	100	23	109	23	4598	481	1,7	0,9
6	34	34	34	111	31	126	34	3629	2639	2,5	4,8
7	41	32	37	103	41	107	32	2868	1995	2,7	3,6
8	45	46	46	100	40	105	37	2674	3597	3,4	6,5
9	45	46	45	78	45	74	46	1668	3178	3,4	5,8
10	45	45	45	64	45	66	45	1434	2575	3,4	4,7

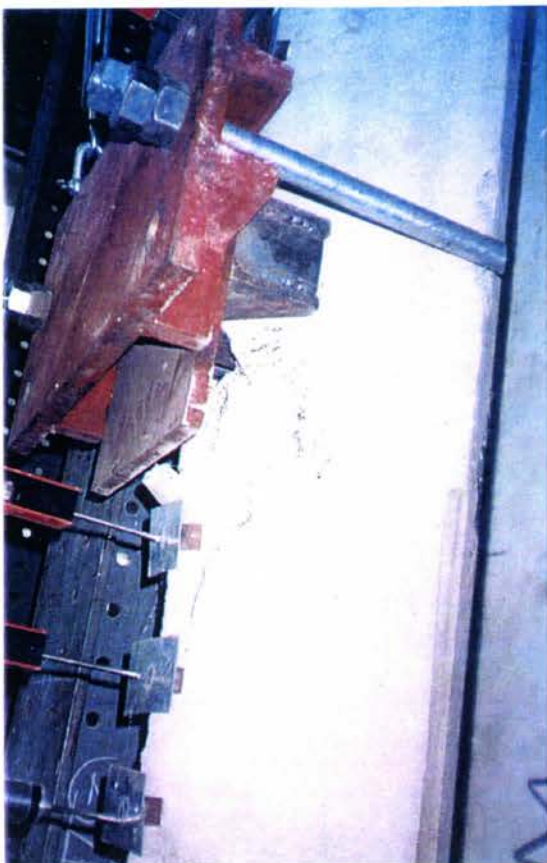
Η τιμή της μέγιστης καταγεγραμμένης αντοχής είναι 126 kN (κατά 12 kN μεγαλύτερη του ΧΠ303) και εμφανίζεται σε εγκάρσια μετακίνηση 34 mm κατά τον 5^ο κύκλο φόρτισης. Η τιμή αυτή συγκρίνεται με την θεωρητική πρόβλεψη της φέρουσας ικανότητας που προκύπτει από τη χρήση των μονοαξονικών διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης σχεδιασμού (ανηγμένη για απόκριση στη διαγώνιο), με θεώρηση μοναδιαίων συντελεστών, των πραγματικών χαρακτηριστικών των υλικών, η οποία είναι ίση με 114,5 kN και 103 kN αντίστοιχα (χωρίς ή με τα φαινόμενα β τάξης), ήτοι 18% μικρότερη από την πειραματική, αντίθετα με τα προηγούμενα δοκίμια όπου οι μονοαξονικές προβλέψεις ξεπέρασαν τις πειραματικές. Αντίστοιχα, η θεωρητική πρόβλεψη με χρήση των διαξονικών διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης σχεδιασμού (πάλι με τις παραπάνω αναγωγές πριν και μετά από τη διόρθωση β' τάξης) ισούται με 103,7 kN, κατά 18% μικρότερη από την πειραματική τιμή.



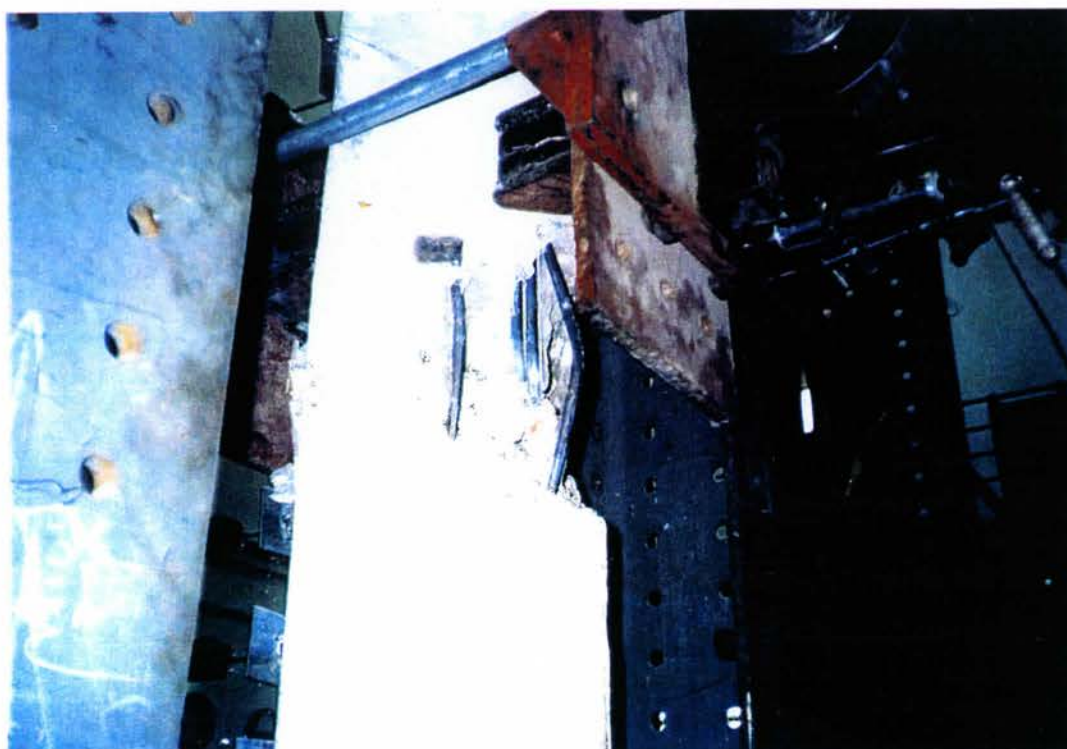
Σχήμα 4.6.1 Βρόχοι υστέρησης δοκιμίου ΧΠ304.

Η πειραματική διαρροή καταγράφεται περίπου σε δύναμη 93 kN και μετακίνηση εγκάρσιου εμβόλου 16 mm. Η πτώση της φέρουσας ικανότητας στο 85% της μέγιστης (=107 kN) καταγράφεται σε τιμή μετακίνησης 45,85 mm κατά την ανακύκλιση, και η αντίστοιχη τιμή πλαστιμότητας σε όρους μετακινήσεων είναι **2,80**. Από πλευράς διατμητικής συμπεριφοράς και ρωγμών στην αστοχία, το δοκίμιο συμπεριφέρεται παρόμοια με το **ΧΠ303**.

Συμπεριφορά του δοκιμίου_ Κατά τη σταδιακή αύξηση της επιβαλλόμενης εγκάρσιας παραμόρφωσης, το δοκίμιο εμφανίζει καμπτική ρηγματώση με έντονη αποδιοργάνωση του γωνιακού σκυροδέματος σε μήκος 1,0s (η απόσταση των εγκάρσιων συνδετήρων) στο ελεγχόμενο τμήμα (Φωτογραφία 4.6.2). Το δοκίμιο χαρακτηρίζεται από σημαντικό λυγισμό των γωνιακών και αμέσως διαμήκων εσωτερικών ράβδων του, χωρίς όμως να παρατηρηθεί



Φωτογραφία 4.6.2
Τελική κατάσταση
δοκιμίου ΧΠ304 κατά
την αστοχία.



Φωτογραφία 4.6.3 Λεπτομέρεια τελικής βλάβης των οπλισμών, δοκίμιο ΧΠ304 μετά το πέρας του πειράματος.

θραύση του πλησιέστερου συνδετήρα συγκράτησης, ο οποίος, σημειωτέον, έτυχε να μην κλείνει στη συγκεκριμένη γωνία. Αυτό το γεγονός αντικατοπτρίζεται και στην ουσιαστική μείωση της φέρουσας ικανότητάς του στον 10^ο κύκλο στο 52% της μέγιστης πειραματικής. Σε σχέση με το ΧΠ303, το δοκίμιο αυτό εμφανίζει σαφώς ταχύτερη απομείωση της υστερετικής απορρόφησης αλλά και σημαντική πτώση της αντοχής του κατά την ανακύκλιση μετά από την έναρξη του λυγισμού των ράβδων, ο οποίος παρατηρήθηκε – μετά την απομάκρυνση του σαθρού υλικού – ότι είχε δημιουργηθεί στους τρεις ακραίους οπλισμούς (βλέπε και Φωτογραφία 4.6.3 και Σχήμα 4.6.1) που λύγισαν σε σχήμα πρώτης ιδιομορφής λυγισμού, μεταξύ δύο διαδοχικών συνδετήρων.

Παρά τη σημαντική καταπόνηση στη θλιβόμενη παρειά και την έντονη αποδιοργάνωση που παρατηρήθηκε, πάλι, από άποψη διατμητικής συμπεριφοράς, παρατηρείται ότι μέχρι την περάτωση του πειράματος δεν εμφανίστηκαν διατμητικές ρωγμές παρά το γεγονός ότι δεν τηρούνται οι απαιτήσεις ελάχιστου εγκάρσιου οπλισμού και οπλισμού περίσφιγξης με βάση τον ΕΑΚ (ΟΑΣΠ, 2000). Αν και σημαντικό μέρος της κρίσιμης περιοχής του σκυροδέματος πίσω από τους διαμήκεις οπλισμούς είχε απομακρυνθεί, το δοκίμιο δεν παρουσίασε διαγώνια αστοχία ή ολίσθηση.

Η απαιτούμενη τέμνουσα που παραλαμβάνει στο μέγιστο φορτίο το δοκίμιο είναι 54 kN κατά τη διαγώνιο. Όπως και στα προηγούμενα δοκίμια, η αντοχή σε τέμνουσα ανέρχεται στα 70 kN, και παραλαμβάνεται εξολοκλήρου από το σκυρόδεμα, κάτω από την ευμενή δράση της θλιπτικής αξονικής δύναμης (V_c).

4.7 ΔΟΚΙΜΙΟ ΧΠ305

Περιγραφή του δοκιμίου_ Το δοκίμιο ΧΠ305 (Φωτογραφία 4.7.1) είναι πανομοιότυπο με τα ΧΠ301 και ΧΠ302 και σκυροδετήθηκε με το σκυρόδεμα των δοκών (βλέπε και Τόμο 2) για να αντικαταστήσει το ΧΠ301. Όπως αυτά, είναι οπλισμένο σε μήκος 1,90 m με συνδετήρες S220 ($\Phi 6/40$), καθώς και με



**Φωτογραφία
4.7.1** Το δοκίμιο ΧΠ305 τοποθετημένο στην κατακόρυφη διάταξη.

μειωμένο διαμήκη οπλισμό 8 $\Phi 14$, σε αντίθεση με το υπόλοιπο τμήμα του που φέρει 16 $\Phi 14$. Το εγκάρσιο έμβολο τοποθετείται στο όριο διακοπής του πρόσθετου οπλισμού σε απόσταση 1,25 m από την ακραία κάτω διατομή του υποστυλώματος, από την πλευρά του εδάφους. Στο δοκίμιο επιβάλλονται δέκα συνολικά εναλλασσόμενοι κύκλοι φόρτισης, σε αυτή τη περίπτωση, υπό αξονική θλιπτική δύναμη 190,5 kN. Όπως και τα ΧΠ301, ΧΠ302 και ΥΠ301,

το δοκίμιο έχει μεγαλύτερο λόγο διατμητικού μήκους προς στατικό ύψος, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα δοκίμια.

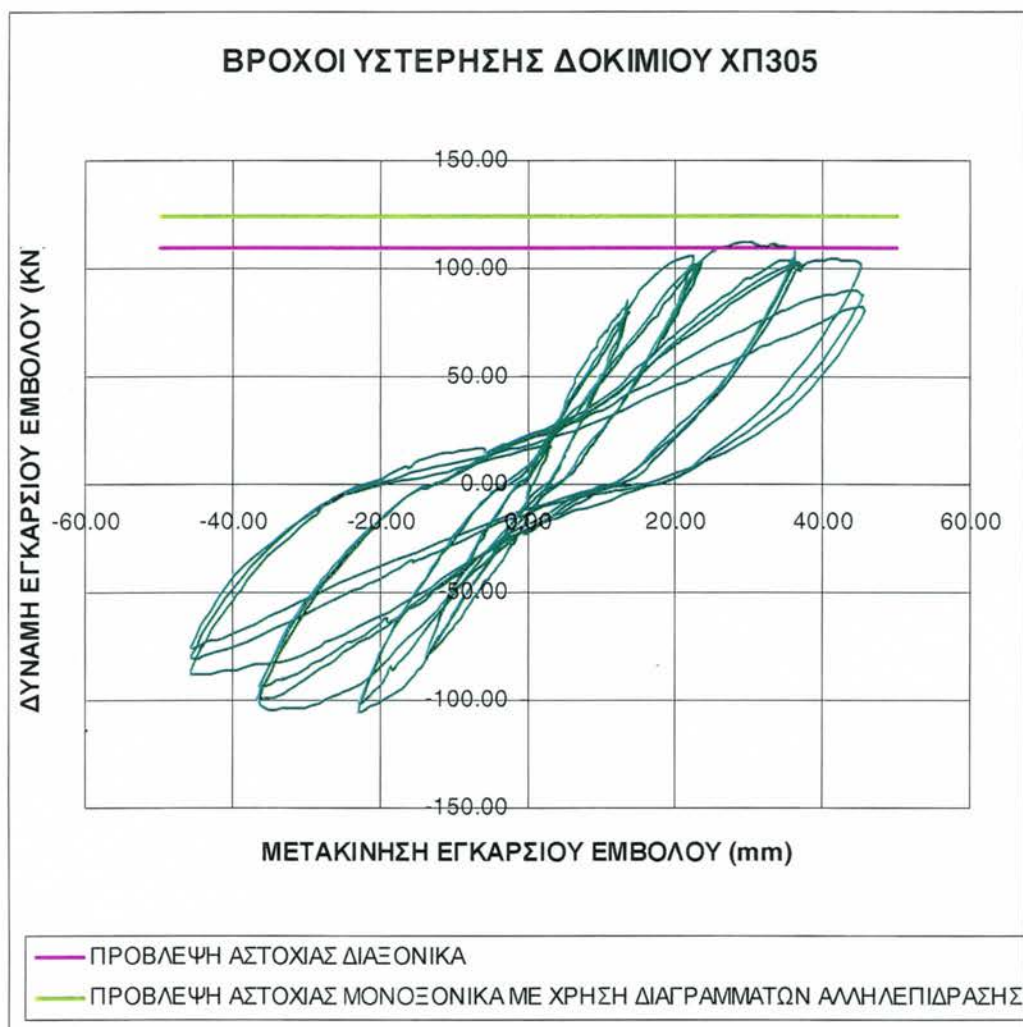
Μηχανικά χαρακτηριστικά του δοκιμίου_ Η απόκριση του υποστυλώματος ΧΠ305 φαίνεται στο Σχήμα 4.7.1 υπό μορφή του διαγράμματος αντοχής και αντίστοιχης εφαρμοζόμενης εγκάρσιας παραμόρφωσης, από όπου και προκύπτουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς του στύλου. Στον Πίνακα 4.7.1 δίδονται τα πειραματικά αποτελέσματα της ολικής συμπεριφοράς του δοκιμίου όπως έχουν ορισθεί στο Κεφάλαιο 4.3.

Πίνακας 4.7.1 Μετρήσεις πειραματικής απόκρισης του δοκιμίου ΧΠ305

Αρ. Κύκλου	δ_{min} mm	δ_{max} mm	δ_{mean} mm	P_{min} kN	δ/P_{min} mm	P_{max} kN	δ/P_{max} mm	K kN/m	E KNmm	μ_δ	μ_E
1	14	13	14	82	14	85	13	6113	501	0,8	0,6
2	14	14	14	81	-14	80	14	5832	384	0,8	0,5
3	23	22	23	106	23	106	22	4653	1323	1,3	1,6
4	23	23	23	102	23	102	23	4493	925	1,3	1,1
5	37	36	36	104	35	112	30	3374	3722	2,2	4,6
6	37	36	36	99	36	105	36	2828	2831	2,2	3,5
7	36	37	37	94	36	102	37	2700	2771	2,2	3,4
8	46	45	45	88	43	105	41	2285	4539	2,7	5,6
9	46	45	45	81	45	89	44	1924	3465	2,7	4,3
10	46	46	46	75	46	83	45	1735	2937	2,7	3,6

Η τιμή της μέγιστης καταγεγραμμένης αντοχής είναι 112 kN και εμφανίζεται σε εγκάρσια μετακίνηση 30 mm κατά τον 5^ο κύκλο φόρτισης. Η τιμή αυτή συγκρίνεται με την θεωρητική πρόβλεψη της φέρουσας ικανότητας που προκύπτει από τη χρήση των μονοαξονικών διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης σχεδιασμού (ανηγμένη για απόκριση στη διαγώνιο), με θεώρηση μοναδιαίων συντελεστών, των πραγματικών χαρακτηριστικών των υλικών και διορθωμένες τιμές για τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως, η οποία είναι ίση με 124,2 kN. Αντίστοιχα, η θεωρητική πρόβλεψη με χρήση των διαξονικών διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης σχεδιασμού (πάλι με τις παραπάνω αναγωγές πριν και μετά από τη διόρθωση β' τάξης) ισούται με 112,5 kN και 109 kN αντίστοιχα, είναι άρα η τελική πρόβλεψη κατά 3% μικρότερη από την πειραματική τιμή. Κατά τη μέγιστη καταγραφή

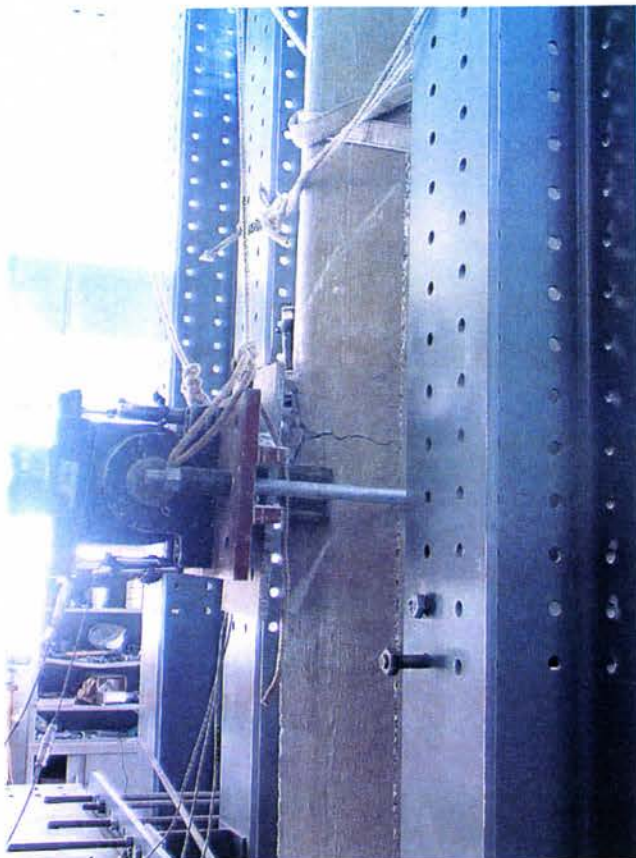
παραμόρφωσης, η μέγιστη πλαστική στροφή στην οποία υπόκειται η πλαστική άρθρωση είναι 0,032 rad, η δε πλαστική στροφή στη μέγιστη αντοχή είναι 0,022 rad.



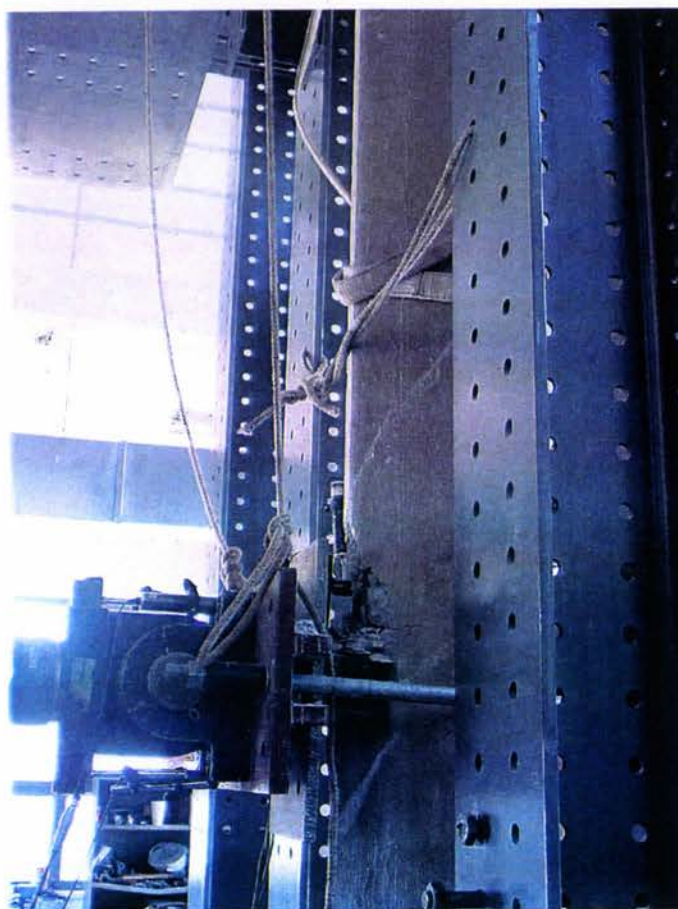
Σχήμα 4.7.1 Βρόχοι υστέρησης δοκιμίου ΧΠ305.

Η πειραματική διαρροή καταγράφεται περίπου σε δύναμη 96 kN και μετακίνηση εγκάρσιου εμβόλου 16,9 mm. Η πτώση της φέρουσας ικανότητας στο 85% της μέγιστης (=95,2 kN) καταγράφεται κατά τη δεύτερη ανακύκλιση σε παραμόρφωση 44 mm (9^{ος} κύκλος), οπότε και η αντίστοιχη τιμή πλαστιμότητας που παρέχει το δοκίμιο σε όρους μετακινήσεων είναι **2,60**.

Συμπεριφορά του δοκιμίου_ Κατά τη σταδιακή αύξηση της επιβαλλόμενης εγκάρσιας παραμόρφωσης, το δοκίμιο εμφανίζει μια διακριτή καμπυτική ρωγμή κοντά στο σημείο επιβολής του φορτίου επάνω από το έμβολο, στο



Φωτογραφία 4.7.2
 Αρχική ρηγμάτωση του
 δοκιμίου ΧΠ305 στην
 ελεγχόμενη ζώνη.

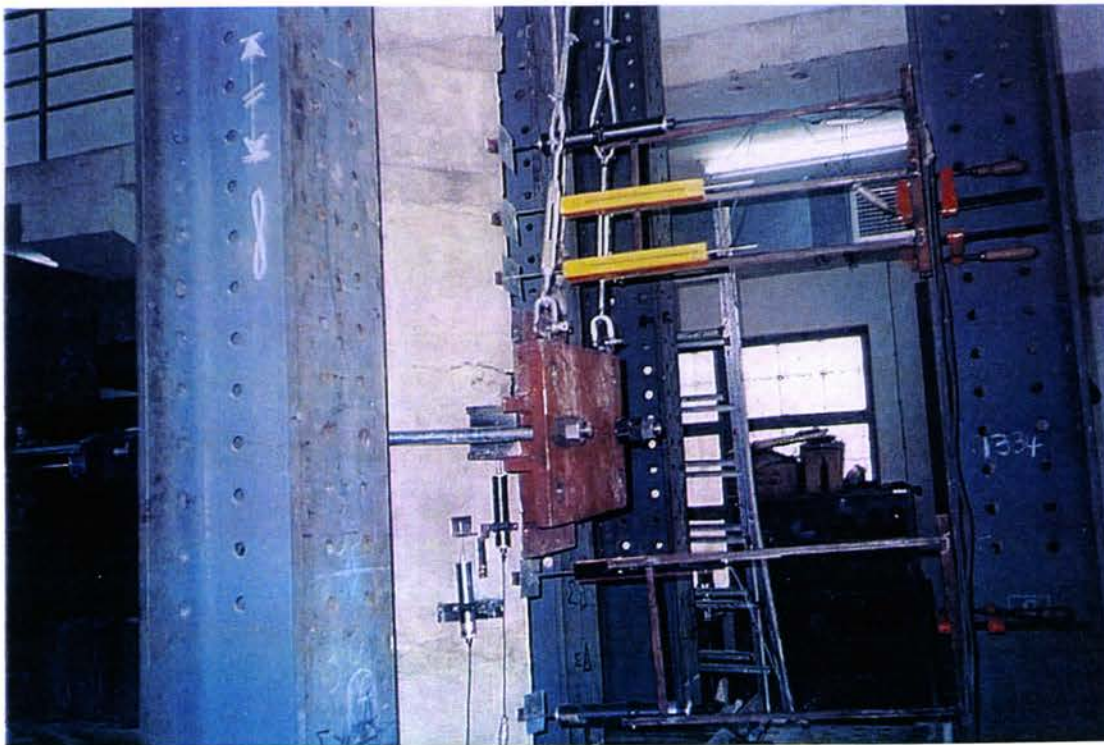


Φωτογραφία 4.7.3
 Τελική κατανομή
 βλαβών κατά την
 αστοχία, δοκίμιο
 ΧΠ305.

ελεγχόμενο τμήμα (Φωτογραφία 4.7.2). Σταδιακά, και σε μικρή απόσταση από το σημείο εφαρμογής του P , αποφλοιώνεται η γωνία του υποστυλώματος στα δύο άκρα με εμφάνιση τοπικού λυγισμού της γωνιακής ράβδου (Φωτογραφία 4.7.3), γεγονός που δημιουργεί σταδιακή απομείωση της αντοχής του δοκιμίου κατά την ανακύκλιση. Δεν παρατηρήθηκαν διαγώνιες ρωγμές, λόγω του σχετικά μεγάλου περιθωρίου ασφαλείας έναντι αστοχίας σε τέμνουσα (δρώσα τέμνουσα ίση προς 56 kN στη μέγιστη δύναμη P σε σχέση με την αντοχή του στύλου που είναι 70 kN).

4.8 ΔΟΚΙΜΙΟ ΥΠ301

Περιγραφή του δοκιμίου_ Το δοκίμιο ΥΠ301 (Φωτογραφία 4.8.1) είναι πανομοιότυπο με τα ΧΠ301, ΧΠ302 και ΧΠ305, όσον αφορά τη διαμήκη όπλιση, φέροντας μειωμένο διαμήκη οπλισμό 8Φ14 σε μήκος 1,95m, σε αντίθεση με το υπόλοιπο τμήμα του που φέρει 16Φ14. Σε αντίθεση με τα δοκίμια αυτά είναι εγκαρσίως οπλισμένο σε όλο το μήκος του, με συνδετήρες S500 Φ10/100, σε διάταξη δίτμητου – ρόμβου. Για τον έλεγχο του δοκιμίου το εγκάρσιο έμβολο τοποθετείται στο όριο διακοπής του πρόσθετου διαμήκους οπλισμού, σε απόσταση 1,25 m από την ακραία κάτω διατομή του υποστυλώματος, από την πλευρά του εδάφους. Για λόγους ελέγχου του δοκιμίου λόγω της συνέχειας του εγκάρσιου οπλισμού, οι μετρήσεις διαμήκων παραμορφώσεων επεκτείνονται και στο μη ελεγχόμενο τμήμα. Στο δοκίμιο επιβάλλονται εννέα συνολικά εναλλασσόμενοι κύκλοι φόρτισης, παρουσία αξονικής θλιπτικής δύναμης 192,5 kN.



Φωτογραφία 4.8.1 Το δοκίμιο ΥΠ301 τοποθετημένο στη διάταξη κατά την έναρξη του πειράματος.

Μηχανικά χαρακτηριστικά του δοκιμίου_ Η απόκριση του υποστυλώματος ΥΠ301 φαίνεται στο Σχήμα 4.8.1 υπό μορφή διαγράμματος αντοχής και

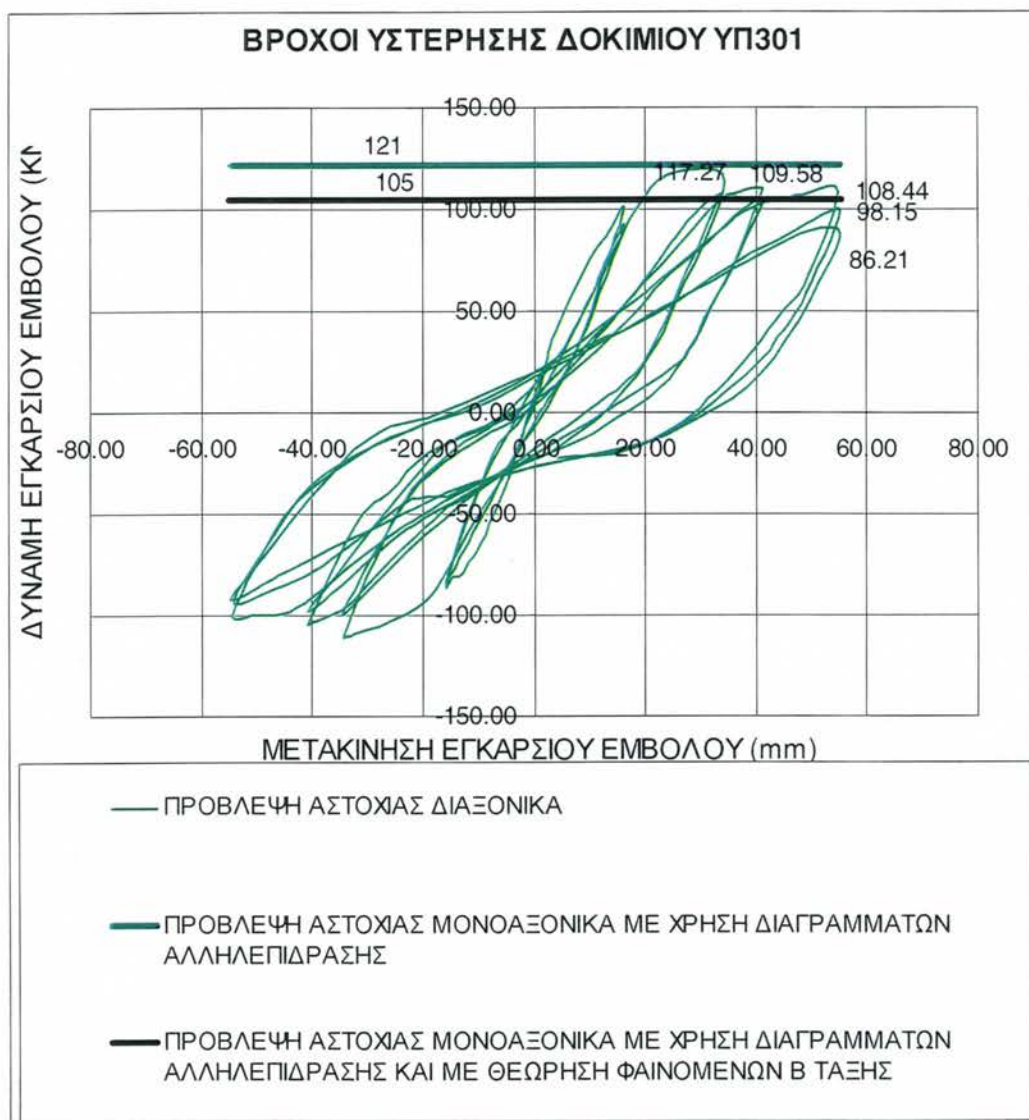
αντίστοιχης εφαρμοζόμενης εγκάρσιας παραμόρφωσης, από όπου και προκύπτουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς του στύλου. Στον Πίνακα 4.8.1 δίδονται τα πειραματικά αποτελέσματα της ολικής συμπεριφοράς του δοκιμίου όπως έχουν ορισθεί στο Κεφάλαιο 4.3.

Πίνακας 4.8.1 Μετρήσεις πειραματικής απόκρισης του δοκιμίου ΥΠ301

Αρ. Κύκλου	δ_{min} mm	δ_{max} mm	δ_{mean} mm	P_{min} kN	δ/P_{min} mm	P_{max} kN	δ/P_{max} mm	K kN/m	E KNmm	μ_δ	μ_E
1	16	16	16	86	16	100	16	5799	657	1,0	0,8
2	16	16	16	83	16	92	16	5469	345	1,0	0,4
3	34	34	34	110	34	117	24	3891	3142	2,1	3,9
4	34	34	34	98	34	107	34	3026	2037	2,1	2,5
5	41	41	41	105	41	110	40	2659	2756	2,5	3,4
6	41	41	41	98	41	103	41	2454	1946	2,5	2,4
7	54	55	55	100	51	108	55	1977	6087	3,4	7,5
8	54	55	55	92	54	98	55	1745	4132	3,4	5,1
9	55	55	55	90	55	89	50	1715	4767	3,4	5,9

Η μέγιστη αντοχή που απέδωσε από τις μετρήσεις είναι 117 kN, εμφανίζεται δε σε μετακίνηση του εγκάρσιου εμβόλου 24 mm, κατά τον 3ο κύκλο φόρτισης. Η πρόβλεψη φέρουσας ικανότητας από τα μονοαξονικά διαγράμματα αλληλεπίδρασης ανηγμένα στη διαγώνιο, με θεώρηση των πραγματικών χαρακτηριστικών των υλικών είναι ίση με 121 kN, ενώ έχοντας λάβει υπ' όψιν την αναπτυσσόμενη ροπή δευτέρας τάξεως η πρόβλεψη είναι μικρότερη από την πειραματική φέρουσα ικανότητα, φθάνοντας στην τιμή 105 kN. Παράλληλα, η πρόβλεψη με χρήση των διαξονικών διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης με τις αντίστοιχες αναγωγές ισούται με 121 kN.

Η πειραματική διαρροή συμβαίνει περίπου σε δύναμη 100,2 kN και μετακίνηση εγκάρσιου εμβόλου 16,1 mm. Η πτώση της φέρουσας ικανότητας στο 85% (=99,5 kN) οριοθετείται σε μετακίνηση 55 mm (στον 8ο κύκλο), σε όρους περιβάλλουσας της ανακυκλιζόμενης απόκρισης, οπότε ο αντίστοιχος δείκτης πλαστιμότητας σε όρους μετακινήσεων του δοκιμίου αυτού είναι 3,42, ξεπερνώντας έτσι την τιμή του 2,60 που απέδωσαν τα δοκίμια ΧΠ.



Σχήμα 4.8.1 Βρόχοι υστέρησης του δοκιμίου ΥΠ301.

Συγκρίνοντας με τα δοκίμια ΧΠ301, ΧΠ302, τα οποία έχουν παρόμοιο διαμήκη αλλά κατά πολύ ελαφρύτερο διατμητικό οπλισμό, φαίνεται πως η πειραματική αντοχή του παρόντος δοκιμίου (117 kN) είναι περίπου ίδια με αυτή του ΧΠ302 (119 kN) και λίγο μεγαλύτερη από αυτές των ΧΠ301 (109 kN) και ΧΠ305 (112 kN), γεγονός που αποδεικνύει την μικρή συνεισφορά τόσο της διάτμησης (αρνητική συνεισφορά) όσο και του ποσοστού περισφιγξης (θετική συνεισφορά) στην καμπτική αντοχή, για το σχετικά χαμηλό αξονικό φορτίο που μελετήθηκε στην παρούσα Πειραματική Εργασία.



Φωτογραφία 4.8.2 Αρχική ρηγματώση του δοκιμίου ΥΠ301 επάνω από το σημείο εφαρμογής του φορτίου.

Συμπεριφορά του δοκιμίου_ Κατά τη σταδιακή αύξηση της επιβαλλόμενης εγκάρσιας παραμόρφωσης, το δοκίμιο εμφανίζει αρχικά καμπτικές ρωγμές στο ελεγχόμενο τμήμα, επάνω από το φορτίο (Φωτογραφία 4.8.2). Οι ρωγμές εκτείνονται σε μεγαλύτερο σχετικά τμήμα του στύλου απότι στα δοκίμια ΧΠ, γεγονός που υποδηλώνει μεγαλύτερο μήκος πλαστικής άρθρωσης απότι τα υφιστάμενα υποστυλώματα (Φωτογραφία 4.8.3).

Αποτέλεσμα των μεγάλων παραμορφώσεων είναι η σταδιακή αποδιοργάνωση της επικάλυψης η οποία σταδιακά επεκτείνεται στο τμήμα της διατομής που περιλαμβάνεται μεταξύ των τριών ακραίων οπλισμών, σε μήκος περίπου $1.0d$ (Φωτογραφίες 4.8.3 και 4.8.4). Αξίζει να σημειωθεί πάντως ότι και σε αυτό το δοκίμιο παρατηρείται λυγισμός της γωνιακής ράβδου στους τελευταίους κύκλους (Φωτογραφία 4.8.5 – λεπτομέρεια) παρά



Φωτογραφία 4.8.3
Επέκταση των καμπτικών ρωγμών κατά μήκος του δοκιμίου ΥΠ301 και αποδιοργάνωση της γωνίας στο σημείο εφαρμογής του φορτίου.



Φωτογραφία 4.8.4 Αστοχία του σκυροδέματος στο διαγώνια θλιβόμενο τμήμα της κρίσιμης περιοχής μετά το πέρας του πειράματος, δοκίμιο ΥΠ301.

το σημαντικά αυξημένο ογκομετρικό ποσοστό συνδετήρων σε σχέση με τα ΧΠ. Το αποτέλεσμα του λυγισμού αυτού φαίνεται και στην σταδιακή απομείωση της καμπτικής αντοχής του στόλου με την ανακύκληση, στις μεγάλες πλαστιμότητες, που, όμως, δεν ακολουθεί τον ίδιο ρυθμό απομείωσης όπως τα δοκίμια ΧΠ προηγούμενως.

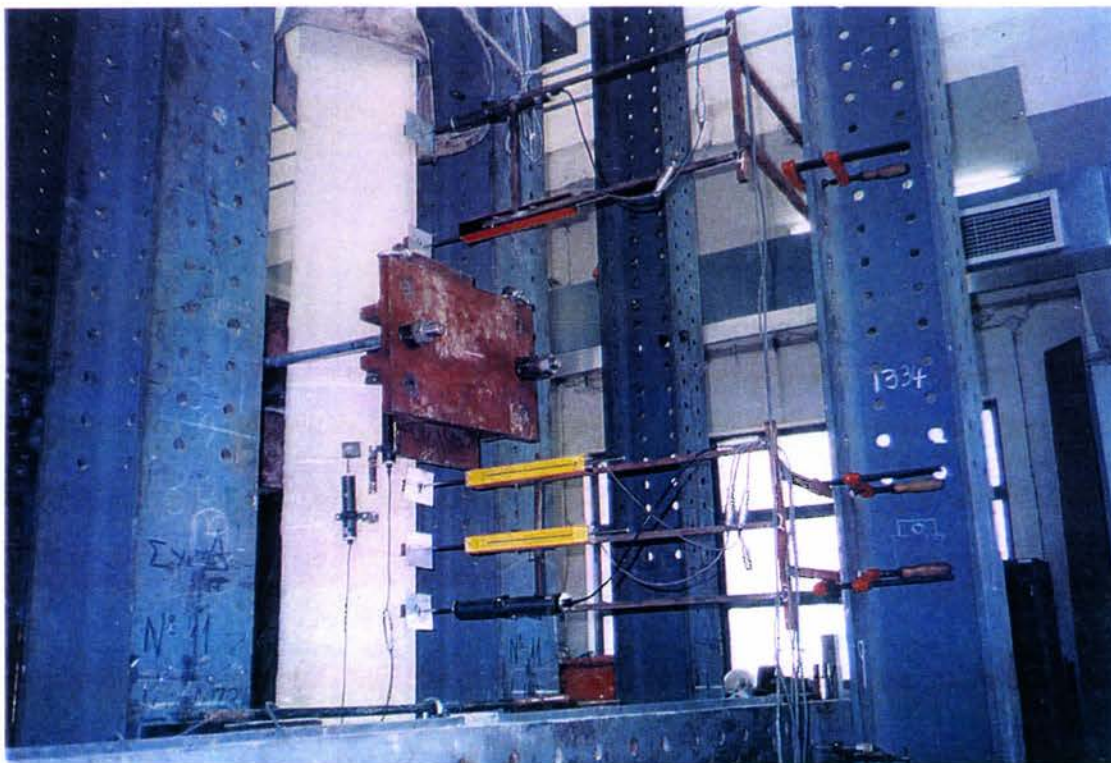


Φωτογραφία 4.8.5 Τελική κατανομή βλαβών κατά την αστοχία, δοκίμιο ΥΠ301.

Από άποψη διατμητικής συμπεριφοράς, παρατηρείται ότι μέχρι την περάτωση του πειράματος δεν εμφανίστηκαν διατμητικές ρωγμές. Η απαιτούμενη τέμνουσα που παραλαμβάνει στο μέγιστο φορτίο το δοκίμιο είναι 27 kN, κατά τη διαγώνιο. Η αντοχή σε τέμνουσα του δοκιμίου ανέρχεται στα 409 kN, και υπολογίζεται σε $V_w = 389$ kN (αντοχή του κλωβού του εγκάρσιου οπλισμού) και, κατά το υπόλοιπο, στη παραλαμβανόμενη τέμνουσα από το σκυρόδεμα (V_c).

4.9 ΔΟΚΙΜΙΟ ΥΠ302

Περιγραφή του δοκιμίου_ Το δοκίμιο ΥΠ302 (Φωτογραφία 4.9.1) είναι πανομοιότυπο με τα ΧΠ303 και ΧΠ304, όσον αφορά τη διαμήκη όπλιση, φέροντας μειωμένο διαμήκη οπλισμό 8Φ14 σε μήκος 1,20m, σε αντίθεση με το υπόλοιπο τμήμα του που φέρει 16Φ14. Όπως και το ΥΠ301 το δοκίμιο είναι εγκαρσίως οπλισμένο σε όλο το μήκος του, με συνδετήρες S500 Φ10/100, σε διάταξη δίτμητου – ρόμβου. Για τον έλεγχο του δοκιμίου το εγκάρσιο έμβολο τοποθετείται στο όριο διακοπής του πρόσθετου διαμήκους οπλισμού, σε απόσταση 1,15 m από την ακραία κάτω διατομή του υποστυλώματος, από την πλευρά του εδάφους. Στο δοκίμιο επιβάλλονται ένδεκα συνολικά εναλλασσόμενοι κύκλοι φόρτισης, παρουσία αξονικής θλιπτικής δύναμης 192,5 kN.



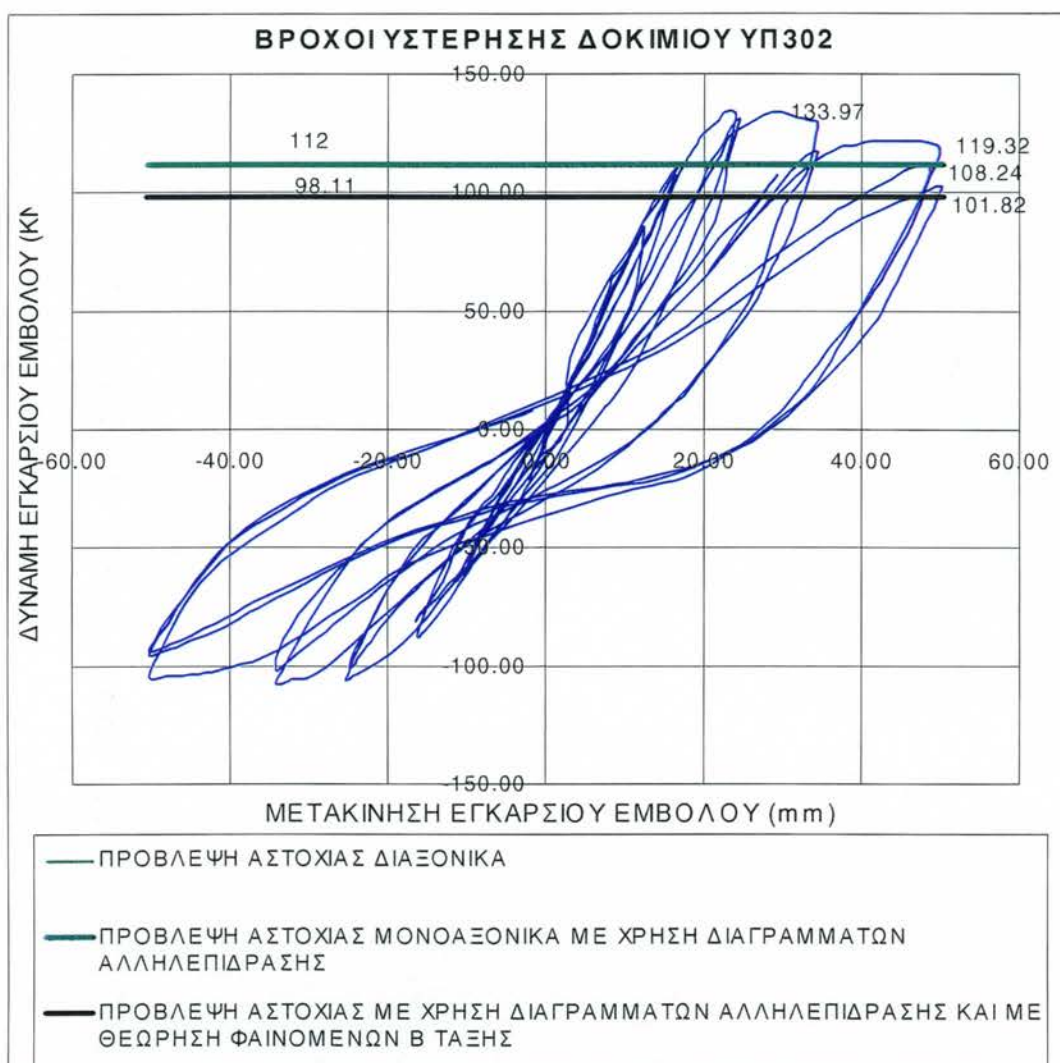
Φωτογραφία 4.9.1 Το δοκίμιο ΥΠ302 τοποθετημένο στη διάταξη κατά την έναρξη του πειράματος.

Μηχανικά χαρακτηριστικά του δοκιμίου_ Η απόκριση του υποστυλώματος ΥΠ302 φαίνεται στο Σχήμα 4.9.1 υπό μορφή διαγράμματος αντοχής και αντίστοιχης εφαρμοζόμενης εγκάρσιας παραμόρφωσης, από όπου και προκύπτουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς του στόλου. Στον Πίνακα 4.9.1 δίδονται τα πειραματικά αποτελέσματα της ολικής συμπεριφοράς του δοκιμίου όπως έχουν ορισθεί στο Κεφάλαιο 4.3.

Πίνακας 4.9.1 Μετρήσεις πειραματικής απόκρισης του δοκιμίου ΥΠ302

Αρ. Κύκλου	δ_{min} mm	δ_{max} mm	δ_{mean} mm	P_{min} kN	δ/P_{min} mm	P_{max} kN	δ/P_{max} mm	K kN/m	E KNmm	μ_δ	μ_E
1	11	12	12	64	11	84	12	6272	363	0,7	0,4
2	11	12	12	63	11	81	12	6264	24	0,7	0,0
3	16	16	16	81	16	110	16	5812	151	1,0	0,2
4	16	16	16	87	16	107	16	5931	456	1,0	0,5
5	25	24	25	106	25	134	23	5000	1408	1,5	1,6
6	25	24	25	101	25	130	24	4676	869	1,6	1,0
7	34	34	34	107	34	134	29	3823	2796	2,2	3,3
8	34	34	34	102	34	116	34	3179	1992	2,2	2,3
9	50	50	50	105	50	122	42	2448	5496	3,1	6,4
10	50	49	49	96	50	108	49	2058	4196	3,1	4,9
11	50	50	50	93	50	102	50	1940	4020	3,2	4,7

Η τιμή της μέγιστης δύναμης αντοχής είναι 134 kN και εμφανίζεται σε μετακίνηση εγκάρσιου εμβόλου 29 mm στον 5^ο κύκλο φόρτισης. Η πρόβλεψη φέρουσας ικανότητας από τα μονοαξονικά διαγράμματα αλληλεπίδρασης ανηγμένα στη διαγώνιο, με θεώρηση των πραγματικών χαρακτηριστικών των υλικών είναι μικρότερη από την αντίστοιχη πειραματική και είναι ίση με 112 kN, μειούμενη στην τιμή των 98 kN λόγω φαινομένων 2ας τάξης. Παράλληλα, η πρόβλεψη με χρησιμοποίηση των διαξονικών διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης με μοναδιαίους συντελεστές και μέσες τιμές αντοχής ισούται με 112 kN.



Σχήμα 4.9.1 Βρόχοι υστέρησης δοκιμίου ΥΠ302.

Η πειραματική διαρροή καταγράφεται σε δύναμη 108 kN και μετακίνηση εγκάρσιου εμβόλου 15,9 mm. Η πτώση της φέρουσας ικανότητας στο 85% (ίση με 113,9 kN) τοποθετείται σε τιμή μετακίνησης 48,5 mm κατά την ανακύκλιση, στον 10^ο κύκλο. Η αντίστοιχη τιμή πλαστιμότητας σε όρους μετακινήσεων του δοκιμίου άρα είναι 3,06.

Σε σύγκριση με τα αποτελέσματα από τα δοκίμια **ΧΠ303**, **ΧΠ304**, με τα οποία οπλίζεται παρομοίως (πλην του συνεχούς εγκάρσιου οπλισμού στην ελεγχόμενη περιοχή σε όλο της το μήκος), το παρόν δοκίμιο απέδωσε μεγαλύτερη αντοχή (134 kN) έναντι των άλλων δύο (114 και 126 kN). Παράλληλα, η πλαστιμότητά

του σε όρους μετακινήσεων (3,06) ξεπέρασε αυτές των δοκιμίων ΧΠ303, ΧΠ304 (2,60 και 2,80). Όπως και το ΥΠ301, έτσι και το παρόν δοκίμιο αστόχησε σε καμπτική μορφή αστοχίας.

Συμπεριφορά του δοκιμίου_ Κατά τη σταδιακή αύξηση της επιβαλλόμενης εγκάρσιας παραμόρφωσης, το δοκίμιο εμφανίζει καμπτικές ρωγμές στο ελεγχόμενο τμήμα, κάτω από το φορτίο με σταδιακή αποδιοργάνωση του γωνιακού τμήματος της κρίσιμης διατομής – σε μικρότερο μήκος του δοκιμίου σε σχέση με το ΥΠ301 – και λυγισμό της γωνιακής ράβδου (Φωτογραφία 4.9.2).



Φωτογραφία 4.9.2 Τελική κατανομή βλαβών κατά την αστοχία, δοκίμιο ΥΠ302.

Το αποτέλεσμα του λυγισμού αυτού φαίνεται και στην σταδιακή απομείωση της καμπτικής αντοχής του στύλου με την ανακύκληση, στις μεγάλες πλαστιμότητες, που, όμως, δεν ακολουθεί τον ίδιο ρυθμό απομείωσης όπως τα δοκίμια ΧΠ προηγουμένως.

Από άποψη διατμητικής συμπεριφοράς, παρατηρείται ότι μέχρι την περάτωση του πειράματος δεν εμφανίστηκαν διατμητικές ρωγμές. Η απαιτούμενη τέμνουσα που παραλαμβάνει στο μέγιστο φορτίο το δοκίμιο είναι 58 kN, κατά τη διαγώνιο, κατά πολύ μικρότερη της παρεχόμενης αντίστασης σε τέμνουσες του δοκιμίου. Σύμφωνα με τον ΕΚΟΣ (ΟΑΣΠ, 2000), η αντοχή σε τέμνουσα του δοκιμίου ανέρχεται στα 409 kN, και επιμερίζεται σε $V_w = 389$ kN – τέμνουσα δύναμη του κλωβού του εγκάρσιου οπλισμού - και, κατά το υπόλοιπο, στη παραλαμβανόμενη τέμνουσα από το σκυρόδεμα (V_c).

4.10 Συγκριτικά αποτελέσματα της συμπεριφοράς και του τρόπου αστοχίας των δοκιμίων

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα που περιγράφηκαν, συμπεραίνονται τα εξής:

Με εξαίρεση τα ΥΠ υποστυλώματα, παρατηρείται ότι τα ΧΠ δεν είναι σε θέση να παράσχουν παραμορφώσεις στο σημείο επιβολής του φορτίου μεγαλύτερες των 45mm, λόγω του γεγονότος ότι η ανακυκλιζόμενη αντοχή των δοκιμίων εμφανίζει πτώση σε σχέση με την μέγιστη P_{max} , σε κάθε περίπτωση, μεγαλύτερη του 85%, ποσοστό που θεωρήθηκε σαν κριτήριο αστοχίας του εκάστοτε στοιχείου. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η μέση παραμόρφωση διαρροής (εκτιμώμενη από τα διαγράμματα δύναμης – παραμόρφωσης που μετρήθηκαν γραφικά στο αναλογικό καταγραφικό την ώρα του πειράματος) συμβαίνει στα 15 έως 17mm βέλους, η παραπάνω μέγιστη τιμή παραμόρφωσης αντιστοιχεί σε μία παρεχόμενη πλαστιμότητα από μέρους των στύλων ΧΠ περίπου 2,50 έως 2,70. Σύμφωνα με το ίδιο κριτήριο, η αντίστοιχη πλαστιμότητα παραμορφώσεων για τα ΥΠ30_ είναι 3,40.

Η παρατηρούμενη αυτή απομείωση της αντοχής σε ανακύκληση των ΧΠ παρατηρείται σε όλα τα δοκίμια, σε μικρότερο όμως βαθμό για τα ΧΠ301, ΧΠ302 και ΧΠ305 απότι στα ΧΠ303 και ΧΠ304, που έχουν μικρότερο λόγο διάτμησης από αυτά (αν και σημαντικά μεγαλύτερο σε κάθε περίπτωση των τιμών που η διάτμηση δημιουργεί σημαντικά προβλήματα, όπως αναλύθηκε στο κάθε πείραμα). Από πλευρά αστοχίας, σε κανένα από τα πέντε δοκίμια, πλην του ΧΠ304, δεν παρατηρήθηκαν λοξές ρωγμές στην κρίσιμη ζώνη του ελεγχόμενου τμήματος, με την συμπεριφορά να χαρακτηρίζεται πάντοτε από καμπτικές ρωγμές σε αποστάσεις από 1,0d έως 1,5d από το σημείο επιβολής του φορτίου. Στην περίπτωση του ΧΠ304, παρατηρήθηκε μία μικρού εύρους διαγώνια ρωγή η οποία όμως δεν αυξήθηκε σε μέγεθος έως την αστοχία. Τέλος, ελάχιστες έως καθόλου ρωγμές δεν παρατηρήθηκαν, όπως αναμενόταν άλλωστε, στο μη

ελεγχόμενο τμήμα, πράγμα που αποδεικνύει την ορθή λειτουργία της διάταξης (πλην του πρώτου δοκιμίου **ΧΠ303**).

Η απομείωση αντοχής συσχετίζεται άμεσα με την απώλεια του αποφλοιούμενου σκυροδέματος στην θλιβόμενη γωνία μετά από τις ανακυκλήσεις, σε πλαστιμότητα 1,50, που έχει σαν αποτέλεσμα την απώλεια εγκάρσιας στήριξης της γωνιακής ράβδου σε αυτή τη φάση και την κατοπινή αστοχία της σε λυγισμό με τη σταδιακή ανακύκλιση του δοκιμίου.

Ο λυγισμός των γωνιακών και ενίοτε και των δύο όμορων ράβδων στο μέσον των παρειών, έχει σαν αποτέλεσμα την σταδιακή μείωση της φέρουσας καμπτικής ικανότητας του εκάστοτε δοκιμίου (σε σταθερό αξονικό ν_d ίσο με 20%) σε κάθε κύκλο υπό σταθερή μέγιστη παραμόρφωση εύρους πλαστιμότητας 2,60, που κυμαίνεται από 80% (**ΧΠ301,2,5**) έως και 50% (**ΧΠ303,4**) της μέγιστης πειραματικής καταγραφής. Η αντίστοιχη παραμόρφωση της ράβδου (και στην περίπτωση του **ΧΠ304** και των δύο εσωτερικών γειτονικών ράβδων) είναι της τάξης των 5 ως 15cm, όπως δείχνεται στις Φωτογραφίες της τελικής αστοχίας.

Ο λυγισμός των γωνιακών αυτών ράβδων λαμβάνει μεν χώρα και στα δοκίμια υψηλής πυκνότητας συνδετήρων κατά ΕΚΟΣ (ΟΑΣΠ, 2000) **ΥΠ301,ΥΠ302**, εκεί όμως, σε αντίθεση με τα παραπάνω υποστυλώματα, η εγκάρσια παραμόρφωση της γωνιακής ράβδου είναι πολύ μικρότερου μεγέθους λόγω της καλύτερης συγκράτησης που υφίσταται από τον πυκνό κλωβό που προβλέπεται από του ισχύοντες Κανονισμούς. Αυτό το γεγονός έχει σαν αποτέλεσμα την σημαντικά μικρότερη απομείωση της φέρουσας ικανότητας των υποστυλωμάτων **ΥΠ30_** στην συνεχή ανακύκλιση και την επίτευξη ενός σταθερού υστερετικού βρόγχου, παρά το γεγονός ότι αυτά οδηγήθηκαν, ηθελημένα, σε μεγαλύτερες εγκάρσιες παραμορφώσεις (50 έως 55 mm) για να σημειωθεί η επιθυμητή απομείωση του 85% της μέγιστης και σε αυτά.