

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ, ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

3.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δοκιμίων υποστυλωμάτων

Στα πλαίσια του πειραματικού ελέγχου υποστυλωμάτων από ΟΣ επισκευασμένων και/ή ενισχυμένων με εφαρμογή ΙΝΟΠ, κατασκευάστηκαν επτά δοκίμια τετράγωνης και έξη παραλληλόγραμμης διατομής, εκτός συμβατικής υποχρέωσης. Ως εκ τούτου, μόνο τα επτά υποστυλώματα τετράγωνης διατομής ελέγχονται στην παρούσα Ερευνητική εργασία, υποβαλλόμενα σε ανακυκλιζόμενη εγκάρσια φόρτιση παρουσία σταθερής θλιπτικής αξονικής δύναμης, υπό συνθήκες διαξονικής καταπόνησης κατά τη διεύθυνση της διαγωνίου (παρθένα δοκίμια). Τα έξη από αυτά τα υποστυλώματα κατόπιν επισκευάζονται ή/και μερικά, ενισχύονται, χρησιμοποιώντας διαμήκη ΙΝΟΠ ινών άνθρακα και/ή εγκάρσια ΙΝΟΠ υάλου και επανελέγχονται για την ίδια, τουλάχιστον, εγκάρσια παραμόρφωση και παρόμοια αξονική, επεκτείνοντας περαιτέρω την εγκάρσια καταπόνηση ως την αστοχία.

Στο παρόν Κεφάλαιο δίνονται οι λεπτομέρειες όπλισης, η μόρφωση της κατασκευής και της διάταξης, καθώς και τα υλικά κατασκευής και ενίσχυσης. Τα αποτελέσματα του πειραματικού ελέγχου των παρθένων δοκιμίων περιγράφεται στο Κεφάλαιο 4, ενώ η διαδικασία αποκατάστασης, ενίσχυσης και πειραματικού επανελέγχου περιγράφονται στο Κεφάλαιο 5.

Όλα τα δοκίμια είναι αμφιέριστα, 3,40 m μήκους, με απόσταση των σημείων στήριξης 125 mm εκατέρωθεν των άκρων τους. Γενικά, το κάθε δοκίμιο οπλιστικά χωρίζεται σε δύο τμήματα διαφορετικού μήκους μεταξύ τους, εκ των οποίων το πρώτο τμήμα – το τμήμα ελέγχου - είναι κατά το ήμισυ οπλισμένο διαμήκως σε σχέση με το δεύτερο, οπότε και αναμένεται να αστοχήσει πρώτο, πολύ πριν το υπόλοιπο τμήμα εμφανίσει οποιαδήποτε βλάβη. Λόγω της ισοστατικότητας του φορέα, το τμήμα που θα διαρρεύσει πρώτο μεταμορφώνει το φορέα σε μηχανισμό. Σημειώνεται ότι αντίστοιχες κατακόρυφες διατάξεις ελέγχου

υποστυλωμάτων έχουν χρησιμοποιηθεί και παλαιότερα στο Εργ. ΟΣ ΕΜΠ για τον υπολογισμό της σεισμικής απόκρισης συμβατικών υποστυλωμάτων (Lu, Vintzileou, Zhang and Tassios, 1999), όμως, σε αντίθεση με αυτές, το ένα τμήμα του δοκιμίου υπεροπλίσθηκε, για αποφυγή φαινομένων ταυτόχρονης αστοχίας λόγω συμμετρίας των οπλισμών και των αντοχών εκατέρωθεν του φορτίου.

Πίνακας 3.1 Περιγραφή των χαρακτηριστικών των παρθένων δοκιμίων υποστυλωμάτων

	Διατάξεις όπλισης πρωτοτύπου	Διατομή δοκιμίου (cm/cm)	Μήκος δοκιμίου (m)	Καθαρό ύψος ορόφου πρω- τοτύπου (m)	Λόγος διάτμησης δοκιμίου
ΧΠ301	ΥΔΕ, 1959	30/30	1,95	3,90	7,80(5,50)
ΧΠ302	ΥΔΕ, 1959	30/30	1,95	3,90	7,80(5,50)
ΧΠ303	ΥΔΕ, 1959	30/30	1,20	2,40	4,80(3,40)
ΧΠ304	ΥΔΕ, 1959	30/30	1,20	2,40	4,80(3,40)
ΧΠ305	ΥΔΕ, 1959	30/30	1,95	3,90	7,80(5,50)
ΥΠ301	ΕΚΟΣ, 2000	30/30	1,95	3,90	7,80(5,50)
ΥΠ302	ΕΚΟΣ, 2000	30/30	1,20	2,40	4,80(3,40)
ΧΠ501	ΥΔΕ, 1959	25/50	1,95	3,90	4,30 / 9,75
ΧΠ502	ΥΔΕ, 1959	25/50	1,95	3,90	4,30 / 9,75
ΧΠ503	ΥΔΕ, 1959	25/50	1,20	2,40	2,70 / 6,00
ΧΠ504	ΥΔΕ, 1959	25/50	1,20	2,40	2,70 / 6,00
ΥΠ501	ΕΚΟΣ 2000	25/50	1,20	2,40	2,70 / 6,00
ΥΠ502	ΕΚΟΣ 2000	25/50	1,95	3,90	4,30 / 9,75

Τόσο τα τετράγωνα όσο και τα παραλληλόγραμμα δοκίμια χωρίζονται σε τρεις ομάδες (ανά ζεύγη δύο ομοίων δοκιμίων), όπως καθορίζονται στον Πίνακα 3.1 παρακάτω. Τα δοκίμια που φέρουν την ονομασία ΧΠ είναι τα δοκίμια αναμενόμενης χαμηλής πλαστιμότητας, τα οποία αντιπροσωπεύουν υφιστάμενα υποστυλώματα που έχουν οπλιστεί σύμφωνα με τις διατάξεις των Κανονισμών

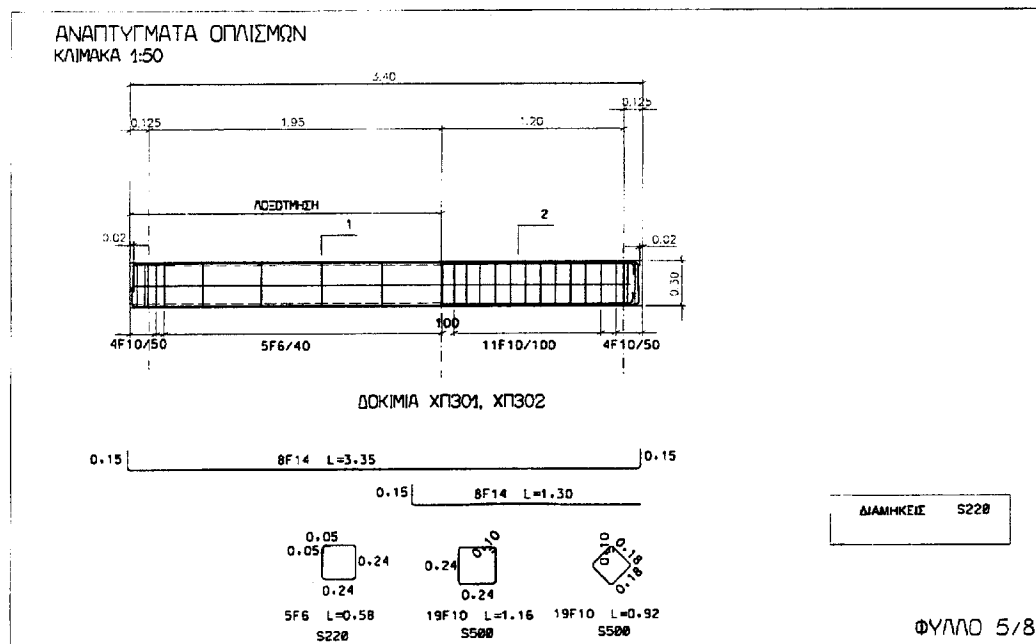
Μελέτης Έργων από Σκυρόδεμα και τον Αντισεισμικό Κανονισμό της δεκαετίας του 60 (ΥΔΕ, 1954, 1959). Τα στοιχεία φέρουν γενικά χαμηλό αξονικό φορτίο (λόγω μικρών ανοιγμάτων), οπλίζονται δε με λείο χάλυβα DIN Stahl I και αραιούς συνδετήρες μικρής διατομής (Φ6/40), χαμηλής αντοχής σε διαρροή, στην κρίσιμη ζώνη.

Η κατηγορία ΥΠ παραπέμπει στα δοκίμια αναμενόμενης υψηλότερης πλαστιμότητας, όπως αυτή υλοποιείται με τις ελάχιστες κατασκευαστικές απαιτήσεις εγκάρσιου οπλισμού των ΕΑΚ και ΕΚΟΣ (ΟΑΣΠ, 2000) σύμφωνα με τις οποίες αυτά και οπλίστηκαν. Τα δοκίμια κατηγορίας 30 είναι τετράγωνης διατομής 30/30 cm², ενώ τα δοκίμια 50 είναι παραλληλόγραμμης διατομής διαστάσεων 25/50 cm². Για την κατηγοριοποίηση των ενισχυμένων / επισκευασμένων υποστυλωμάτων, βλέπε τον Πίνακα 5.1.

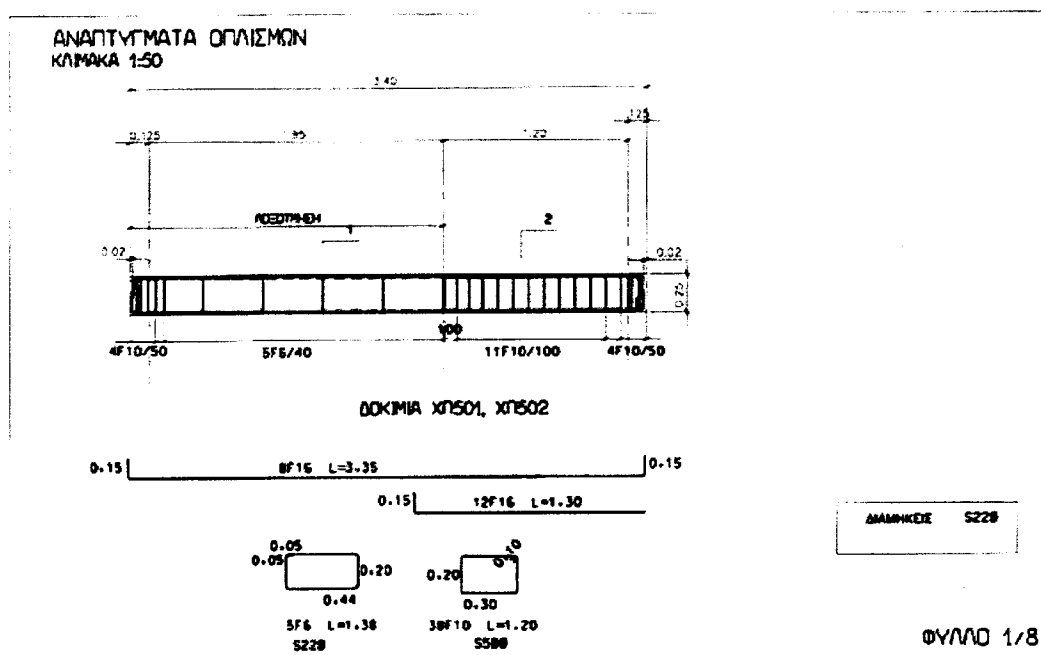
Εκτός από τις διαστάσεις των δοκιμίων (διατομή και καθαρό μήκος ελεγχόμενου τμήματος), στον Πίνακα 3.1 δίδονται: ι) το αντίστοιχο ύψος ισογείου της πρωτότυπης υφιστάμενης κατασκευής, της οποίας το εν λόγω υποστύλωμα εκπροσωπεί ένα τυπικό γωνιακό στύλο, ενώ επί πλέον, ιι) δίδεται και ο αντίστοιχος λόγος του διατμητικού μήκους προς το στατικό ύψος (M/Vd), όπως αυτός ορίζεται για κάμψη ως προς τον κύριο άξονα του δοκιμίου. Για τα ορθογώνια υποστυλώματα δίδονται δύο τιμές, για κάθε κύρια διεύθυνση του υποστυλώματος, ενώ για τα τετράγωνα υποστυλώματα 30/30 δίδεται σε παρένθεση και η πραγματική τιμή του λόγου αυτού, για κάμψη ως προς τη διαγώνιο όπως έγινε ο πειραματικός τους έλεγχος (ουσιαστικά ισούται με την μονοαξονική τιμή διαιρεμένη δια του $\sqrt{2}$).

3.2 Οπλισμοί των δοκιμίων υποστυλωμάτων

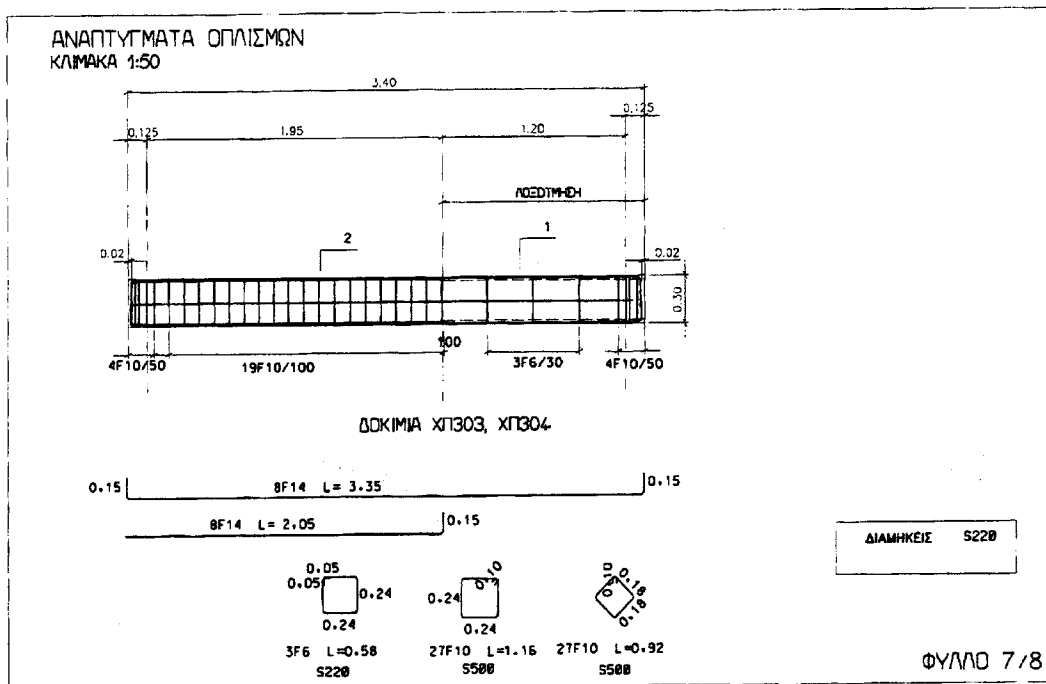
Οι ξυλότυποι και λεπτομέρειες όπλισης (αναπτύγματα και διατομές) των τετράγωνων δοκιμίων δίδονται στα Σχήματα 3.1(α) ως 3.4(β), σε ανάπτυγμα. Σε τομή, οι λεπτομέρειες όπλισης των διατομών δείχνονται στα Σχήματα 3.5 και 3.6.



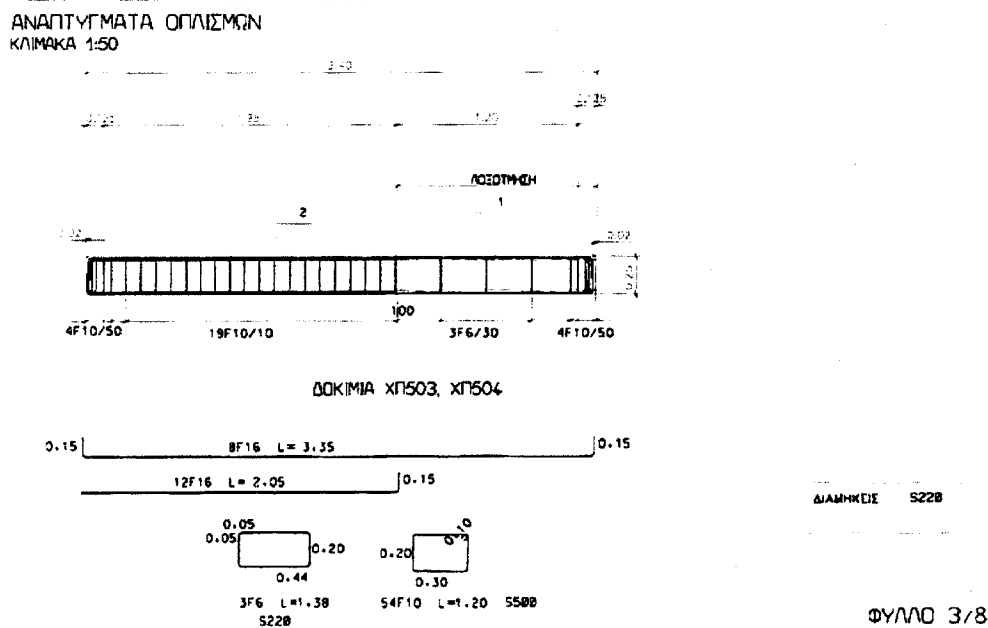
Σχήμα 3.1(α) Αναπτύγματα οπλισμών δοκιμών ΧΠ301, ΧΠ302.



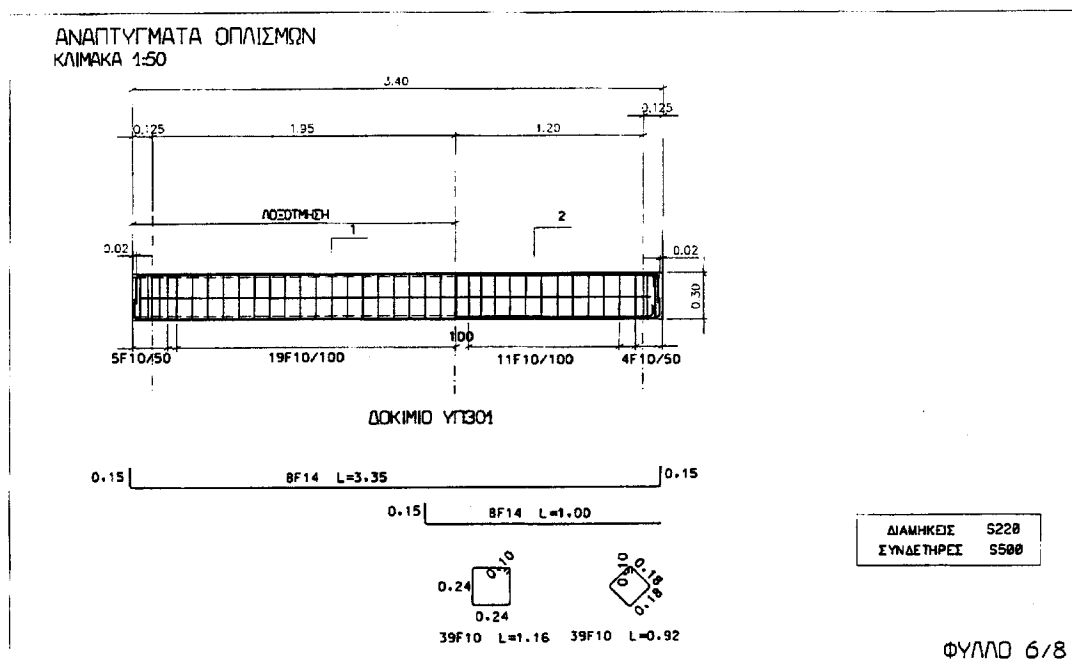
Σχήμα 3.1(β) Αναπτύγματα οπλισμών δοκιμών ΧΠ501, ΧΠ502.



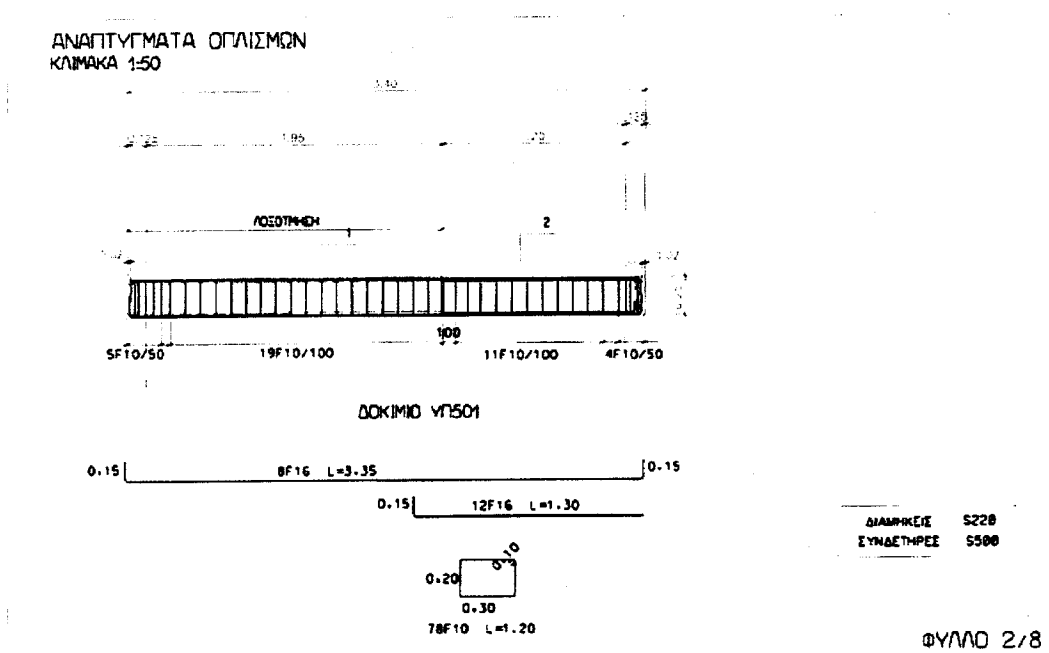
Σχήμα 3.2(α) Αναπτύγματα δοκιμών ΧΠ303, ΧΠ304 και ΧΠ305.



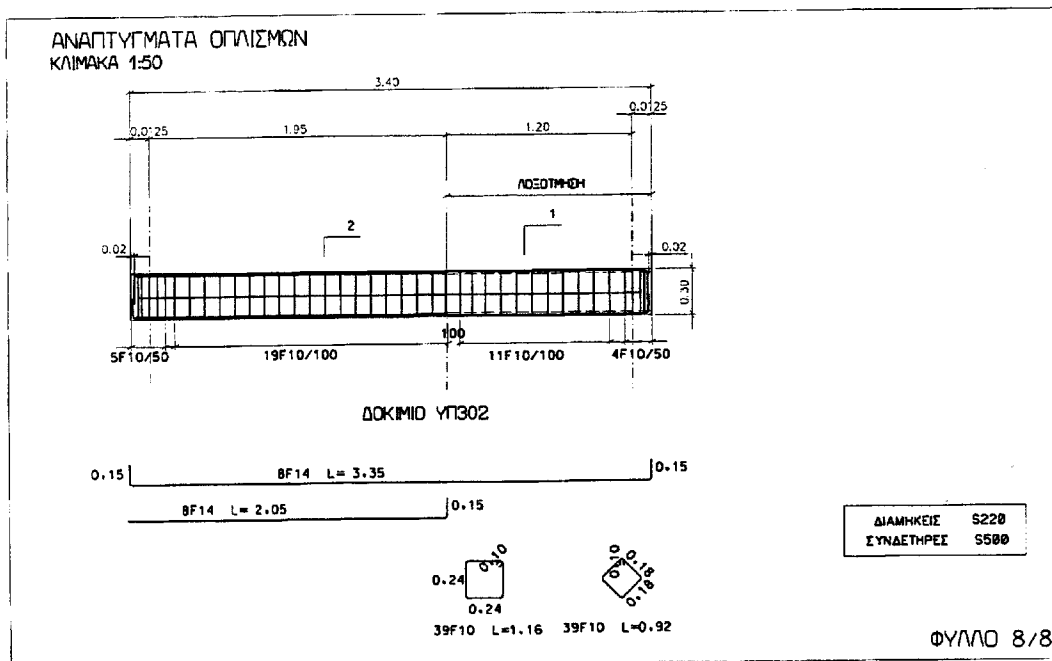
Σχήμα 3.2(β) Αναπτύγματα δοκιμών ΧΠ503, ΧΠ504.



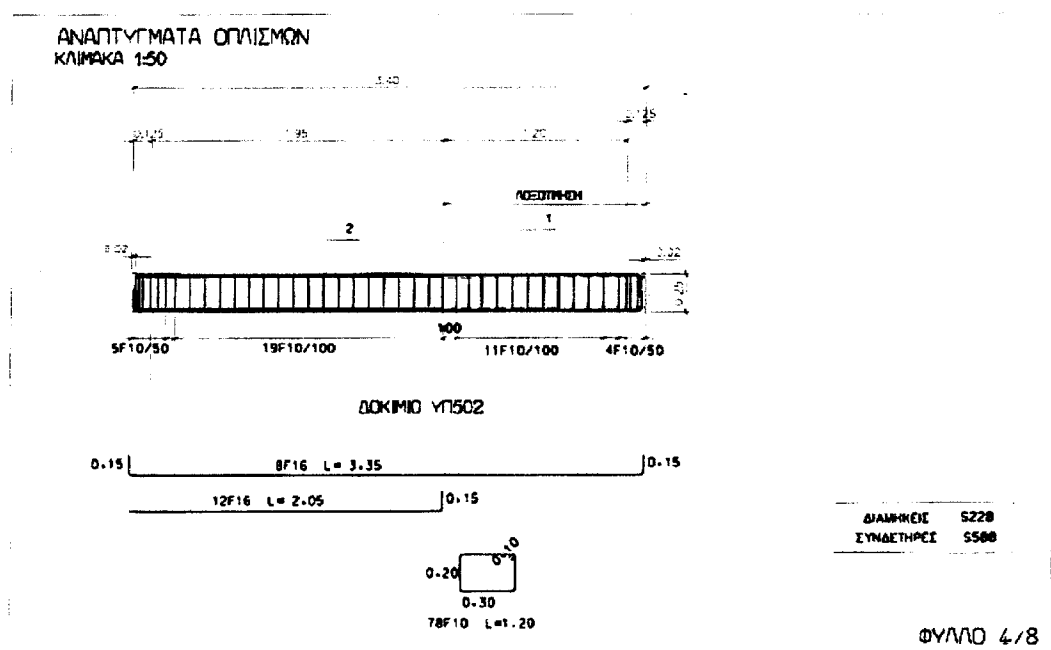
Σχήμα 3.3(α) Αναπτύγματα οπλισμών δοκιμίου ΥΠ301.



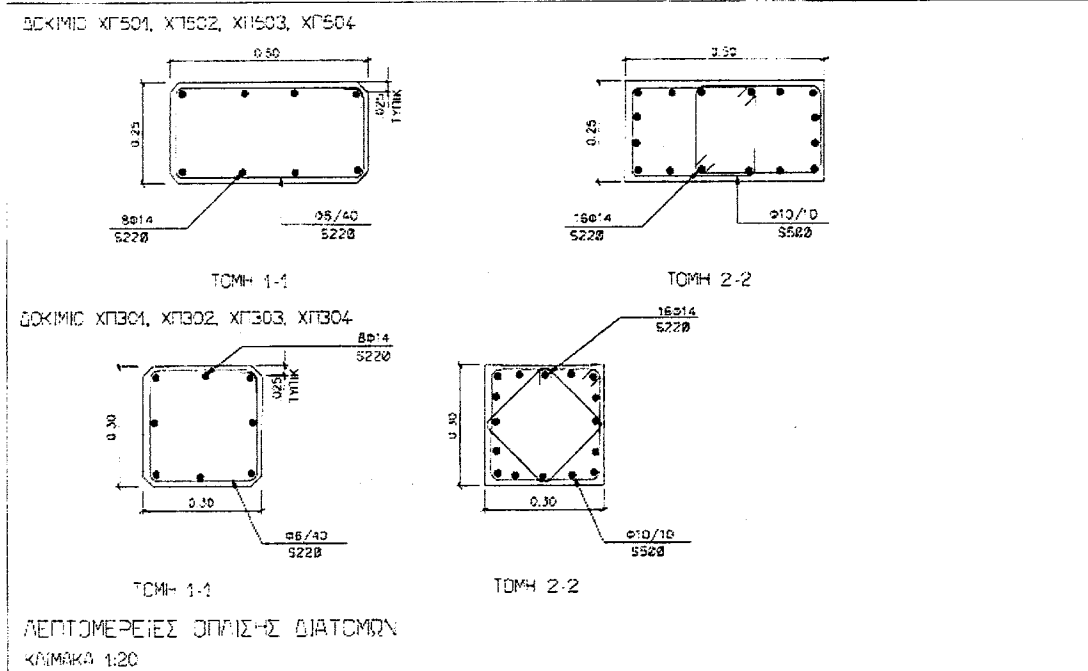
Σχήμα 3.3(β) Αναπτύγματα οπλισμών δοκιμίου ΥΠ501.



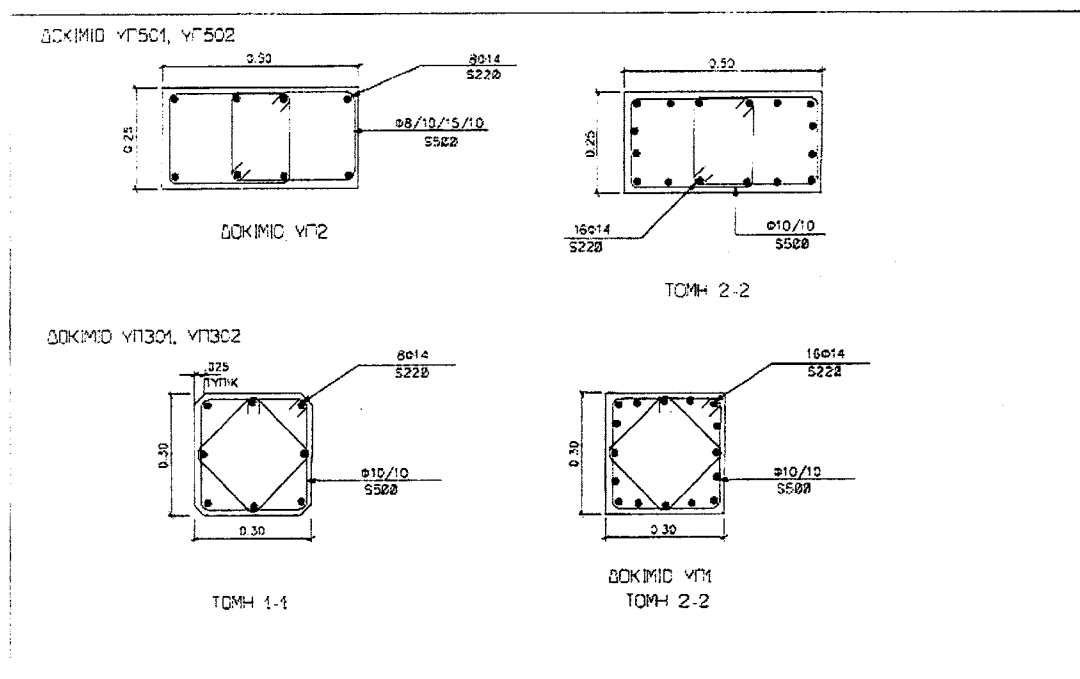
Σχήμα 3.4(α) Αναπτύγματα οπλισμών δοκιμίου ΥΠ302.



Σχήμα 3.4(β) Αναπτύγματα οπλισμών δοκιμίου ΥΠ502.



Σχήμα 3.5. Λεπτομέρειες όπλισης διατομών δοκιμίων ΧΠ301, ΧΠ302, ΧΠ303, ΧΠ304.



Σχήμα 3.6. Λεπτομέρειες όπλισης διατομών δοκιμίων ΥΠ301, ΥΠ302.

Όπως φαίνεται στα παραπάνω Σχήματα, στα δοκίμια Χαμηλής Πλαστιμότητας ΧΠ301, ΧΠ501 και ΧΠ302, ΧΠ502 τοποθετείται συνεχής διαμήκης οπλισμός 8Φ14 σε μήκος 1,95m, ο οποίος αυξάνεται σε 16Φ14 στο επόμενο μη ελεγχόμενο τμήμα των δοκιμών μήκους 1,20 m με την τοποθέτηση πρόσθετων διαμήκων οπλισμών μεταξύ των υφισταμένων. Όλοι οι διαμήκεις χάλυβες είναι λείοι, κατηγορίας S220. Στο μήκος των 1,95m, που είναι και το τμήμα του δοκιμίου που ελέγχεται, ο εγκάρσιος οπλισμός είναι Φ6/400 κατηγορίας S220, δίτητος στα ΧΠ301 και ΧΠ302 και δίτητος / τετράτητος στα ΧΠ501 και ΧΠ502 – κάμπτεται δε χωρίς την κλασική λεπτομέρεια αγκύρωσης 135° κατά ΕΑΚ (ΟΑΣΠ, 2000). Ο εγκάρσιος οπλισμός πυκνώνει σε Φ10/100 στο μη ελεγχόμενο μήκος των 1,20m, σε διάταξη τετράτητου με ρόμβο στα ΧΠ301 και ΧΠ302 και δίτητου / τετράτητου στα ΧΠ501 και ΧΠ502 κατηγορίας S500, για λόγους υπερενίσχυσης του μη ελεγχόμενου τμήματος και σε διάτμηση (Σχήματα 3.1(α),(β) και 3.5).

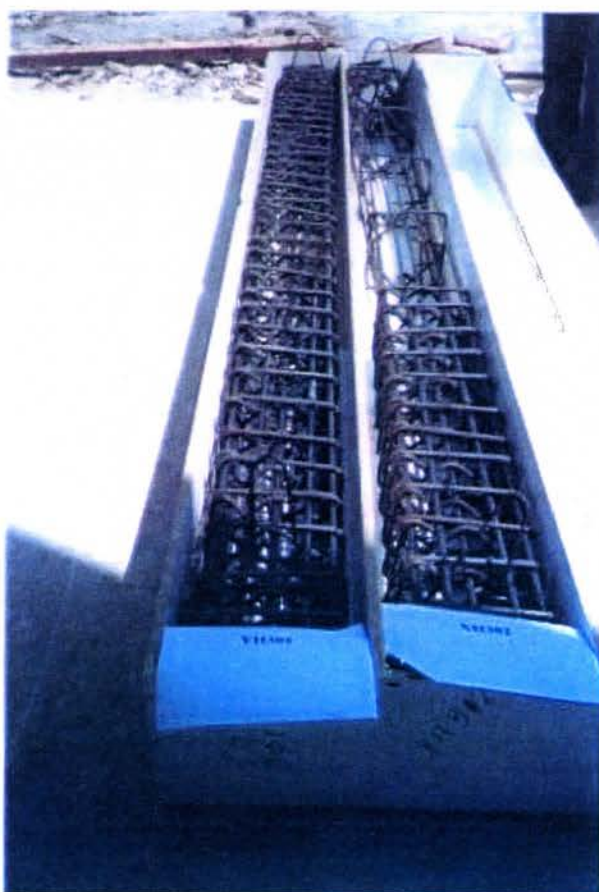
Αντιθέτως, στα τρία όμοια δοκίμια ΧΠ303, ΧΠ304 και ΧΠ305¹ και ΧΠ503, ΧΠ504, ο διαμήκης οπλισμός των 8Φ14 είναι τοποθετημένος στο ελεγχόμενο μήκος των 1,20m, ενώ ο αντίστοιχος των 16Φ14 στο μήκος των 1,95m. Κατ' αντιστοιχία, ο εγκάρσιος οπλισμός στο τμήμα των 1,20m είναι λείος Φ6/400 κατηγορίας S220, δίτητος στα ΧΠ303, ΧΠ304 και ΧΠ305 και δίτητος / τετράτητος στα ΧΠ503 και ΧΠ504, στο μήκος των 1,20m, πάλι χωρίς την αγκύρωση 145° στο εσωτερικό της διατομής. Όπως και στα προηγούμενα δοκίμια, στα μη ελεγχόμενα υπεροπλισμένα τμήματα οι συνδετήρες αυξάνονται χρησιμοποιώντας νευροχάλυβα Φ10/100 S500 στο υπερενισχυμένο μήκος 1,95m, σε διάταξη τετράτητου συνδετήρα με ρόμβο για τα δοκίμια ΧΠ303, ΧΠ304 και ΧΠ305 και δίτητου / τετράτητου κλειστού συνδετήρα στα ΧΠ503 και ΧΠ504 (Σχήματα 3.2(α), (β) και 3.5).

¹ Λόγω του ότι το δοκίμιο ΧΠ304 κατά τη διάρκεια της επισκευής του στο ύπαιθρο δεν έγινε εφικτό να επισκευασθεί για λόγους διαδικαστικούς, κατασκευάστηκε νέο δοκίμιο, το ΧΠ305 μαζί με τις δοκούς του δεύτερου Μέρους των πειραμάτων, για να επαναληφθεί η Α φάση ελέγχου και να συμπληρωθεί η συμβατική διαδικασία.

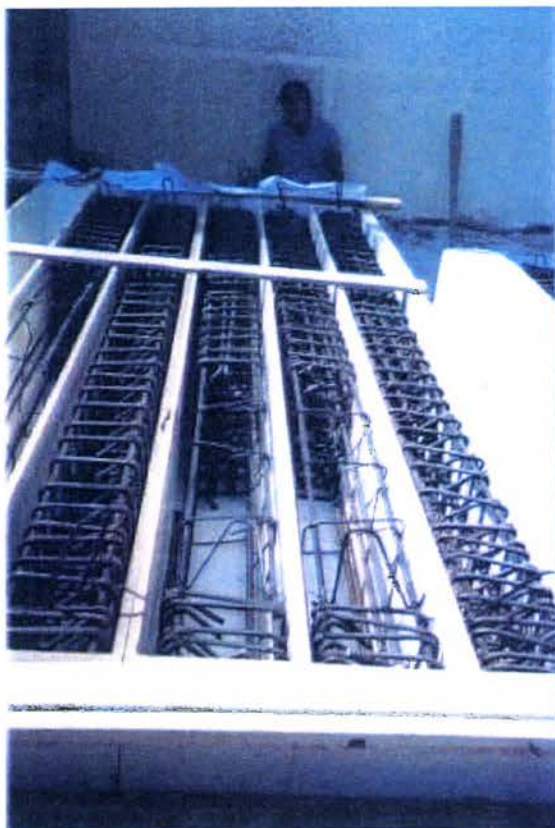
Τα δοκίμια **ΥΠ301** και **ΥΠ501** οπλίζονται σύμφωνα με τα Σχήματα 3.3(α), (β) και 3.6. Το δοκίμιο αυτό έχει παντού συνδετήρες Φ10/100 υπό μορφή μανδύα του εμπορίου, από νευροχάλυβα κατηγορίας S500. Ο διαμήκης οπλισμός 8Φ14 αναπτύσσεται σε μήκος 1,95 m, που αντιπροσωπεύει και το ελεγχόμενο τμήμα, ενώ σε μήκος 1,20 m ο οπλισμός διπλασιάζεται σε 16Φ14, τοποθετώντας πρόσθετες ράβδους στα μεσοδιαστήματα όπως στα **ΧΠ301** και **ΧΠ302**. Τέλος τα δοκίμια **ΥΠ302** και **ΥΠ502** (Σχήματα 3.4(α), (β) και 3.6) έχουν επίσης σε όλο το μήκος τους συνδετήρες Φ10/100 και διαμήκη οπλισμό 8Φ14 σε μήκος 1,20 m, αυξανόμενο στο υπόλοιπο μη ελεγχόμενο τμήμα μήκους 1,95 m σε 16Φ14.



Φωτογραφία 3.1 Κατασκευή μεταλλικών κλωβών του υποστυλώματος ΧΠ305 και των δοκών στο Εργαστήριο ΟΣ ΕΜΠ.



Φωτογραφία 3.2 Ξυλότυποι και οπλισμός δοκιμίων υποστυλωμάτων, πριν τη σκυροδέτηση. Διακρίνονται τα ελεγχόμενα και μη τμήματα των υποστυλωμάτων ΧΠ301 και ΧΠ302.



Φωτογραφία 3.3 Ξυλότυποι και οπλισμός δοκιμίων υποστυλωμάτων, πριν τη σκυροδέτηση. Διακρίνονται τα ελεγχόμενα και μη τμήματα των υποστυλωμάτων ΧΠ501 και ΧΠ502 καθώς και τα ΥΠ501 και ΥΠ502.

Φωτογραφία 3.4 Ξυλότυποι και οπλισμός δοκιμίων υποστυλωμάτων, πριν τη σκυροδέτηση. Διακρίνονται τα ελεγχόμενα και μη τμήματα των υποστυλωμάτων ΧΠ304 και ΥΠ302 και η πυκνωση συνδετήρων στη στήριξη.





Φωτογραφία 3.5 Σκυροδέτηση των δοκιμών υποστυλωμάτων.

Σε όλα τα δοκίμια, τοποθετούνται δύο πρόσθετοι συνδετήρες σε πυκνότερη κατανομή στα άκρα για ενίσχυση λόγω της τοπικής συγκέντρωσης τάσεων. Τα δοκίμια κατασκευάστηκαν στο Εργαστήριο ΟΣ του ΕΜΠ από το προσωπικό του Εργαστηρίου και τους φοιτητές επί πτυχίω. Η υλοποίηση των παραπάνω λεπτομερειών όπλισης δείχνεται στη Φωτογραφία 3.1, ενώ στις Φωτογραφίες 3.2 έως 3.4 δείχνονται οι κλωβοί των υποστυλωμάτων τοποθετημένοι, έτοιμοι στους ξυλοτύπους, λίγο πριν τη σκυροδέτηση (Φωτογραφία 3.5). Η σκυροδέτηση έγινε με έτοιμο σκυρόδεμα, παραδοτέο στο Εργαστήριο σε μία παρτίδα.

3.3 Περιγραφή της κατακόρυφης διάταξης

Το στατικό προσομοίωμα το οποίο υλοποιείται στο ισχυρό δάπεδο του Εργαστηρίου ΟΣ ΕΜΠ περιλαμβάνει το δοκίμιο υπό μορφή αμφιέριστου φορέα, στον οποίο ασκείται σταθερή θλιπτική αξονική δύναμη N μέσω ενός κατακόρυφου αξονικού εμβόλου στη βάση του στύλου, το οποίο εδράζει στο δάπεδο. Στο δοκίμιο ασκείται εγκάρσια ανακυκλιζόμενη δύναμη P , μέσω εμβόλου επενεργητή, ο οποίος σταθεροποιείται με το δοκίμιο στο σημείο



(α)

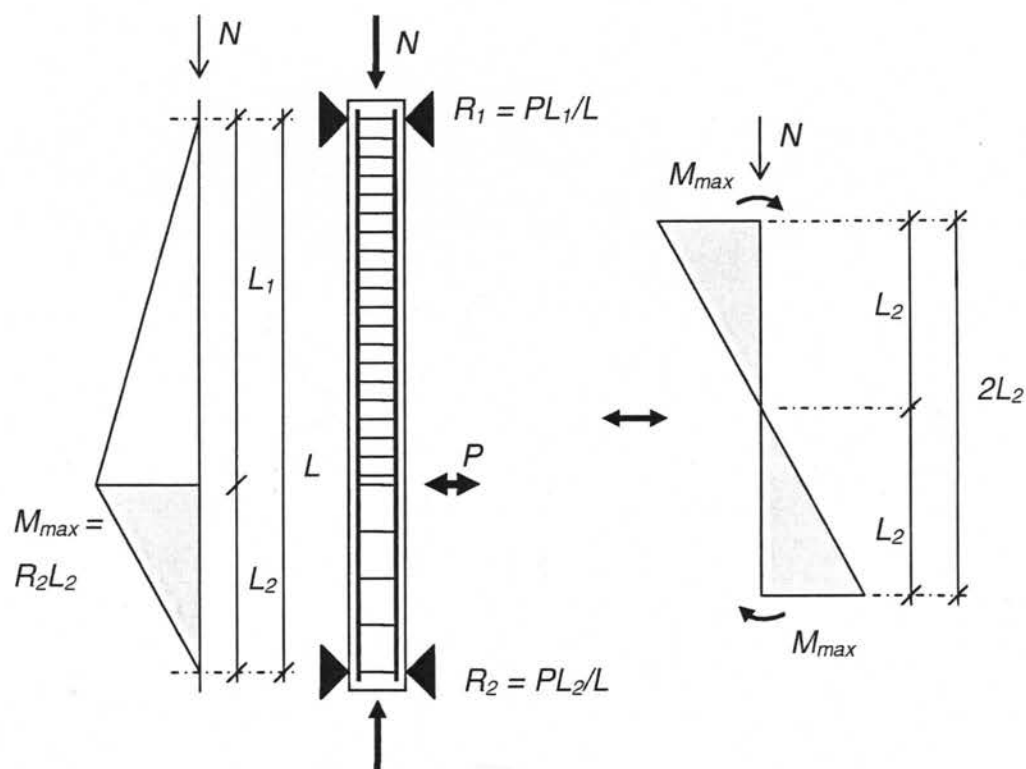


(β)

Φωτογραφία 3.7. Αποψη της κατακόρυφης διάταξης και του δοκιμίου υποστυλώματος, (α) Άνωθεν και (β) από εμπρός. Το δοκίμιο αναρτάται από τη γερανογέφυρα και ακολούθως σφηνώνεται στη θέση του με τη βοήθεια του αξονικού εμβόλου που φαίνεται εμπρός του.

επάνω από τη διατομή η οποία χωρίζει το εκάστοτε δοκίμιο στα δύο τμήματα, το ασθενώς ελεγχόμενο και το ισχυρά υπεροπλισμένο. Ανάλογα με τη θέση σταθεροποίησης του επενεργητή καθ' ύψος, το ελεγχόμενο τμήμα βρίσκεται κάτω από την διατομή επιβολής της εγκάρσιας φόρτισης στα δοκίμια ΧΠ303, ΧΠ304, ΧΠ305 και ΥΠ302 και πάνω από αυτήν στα δοκίμια ΧΠ301, ΧΠ302, και ΥΠ301. Η διαδικασία της τοποθέτησης του κάθε ενός δοκιμίου στην πειραματική διάταξη γίνεται με τη βοήθεια της γερανογέφυρας του Εργαστηρίου ΟΣ ΕΜΠ ικανότητας 10 τόνων. Η τελική τοποθέτηση του δοκιμίου με την γενική άποψη της διάταξης δείχνεται στις Φωτογραφίες 3.7 (α) και (β).

Σε αυτή την θέση, το καταπονούμενο σκιασμένο τμήμα του Σχήματος 3.7 μήκους L_2 είναι το υπό μελέτη τμήμα του δοκιμίου, το οποίο αντιστοιχεί στο ένα από τα δύο τμήματα ενός γωνιακού αμφίπακτου υποστυλώματος υφιστάμενου κτιρίου από ΟΣ, σε σεισμική καταπόνηση, όπως δείχνεται στο σκαρίφημα.



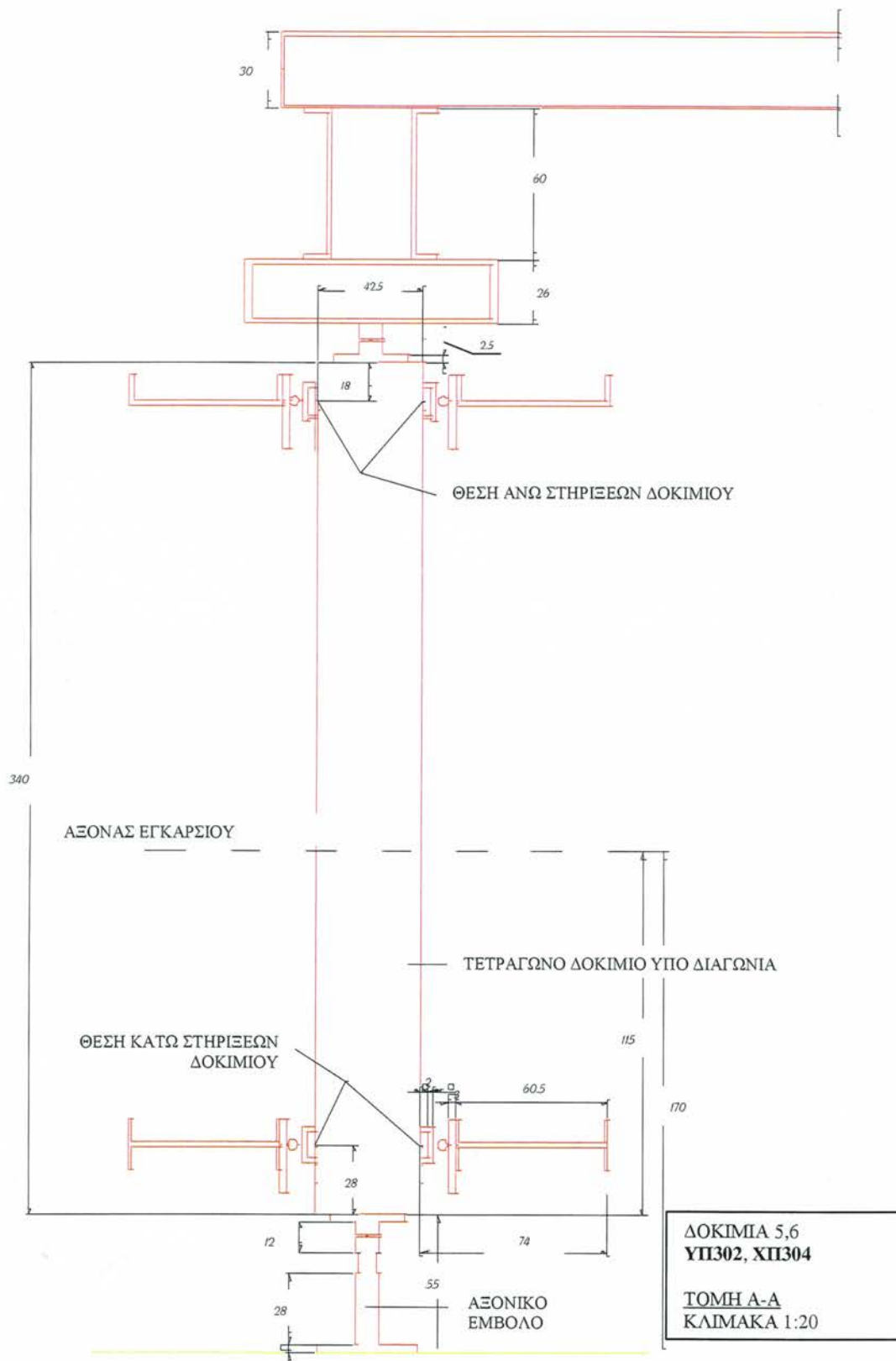
Σχήμα 3.7 Ισοδύναμο στατικό προσομοίωμα δοκιμίου υποστυλώματος από ΟΣ.

Με αυτόν τον τρόπο εφαρμόζονται στα υπό δοκιμή υποστυλώματα οι συνθήκες φόρτισης ενός στύλου φυσικής κλίμακας ισογείου πολυόροφου κτιρίου, ο σχεδιασμός του οποίου περιγράφηκε στην Πρώτη Έκθεση Πρόοδου (Ζέρης, 2001).

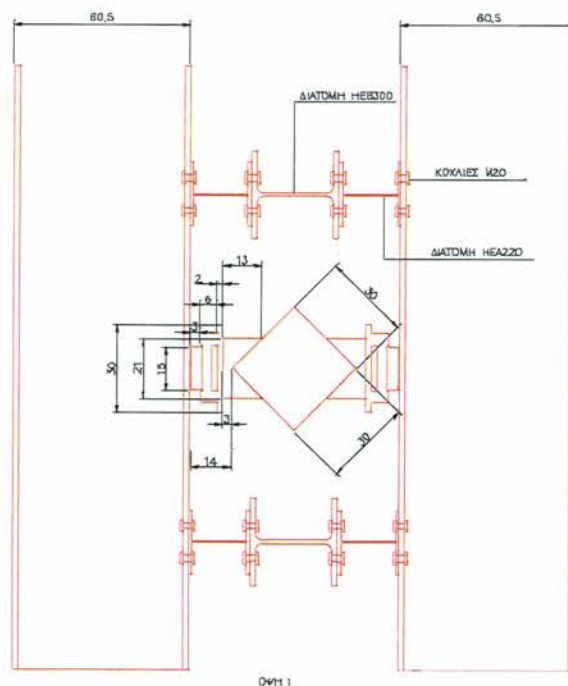
Η διεύθυνση της δύναμης που ασκεί το εγκάρσιο έμβολο είναι κατά την υποτεινούσα των δύο καθέτων πλευρών της διατομής του δοκιμίου, με σκοπό την υλοποίηση διαξονικής καταπόνησης κατά τη διεύθυνση της διαγωνίου της διατομής. Η επιλογή αυτή προσομοιώνει την μετακίνηση τυπικού γωνιακού υποστυλώματος κατά τη διαγώνιο, μία καταπόνηση η οποία έχει αποδειχθεί ότι είναι πλέον επίπονη για τις γωνιακές (και όχι μόνον) ράβδους και το θλιβόμενο σκυρόδεμα του πυρήνα (Zeris and Mahin, 1988), άρα και του ΙΝΟΠ που εφαρμόζεται κατά την ενίσχυση, χωρίς αυτή να έχει διερευνηθεί επαρκώς.

Τα σχέδια της κατακόρυφης πλαισιωτής διάταξης στήριξης του κάθε δοκιμίου δείχνονται στα Σχήματα 3.8 ως 3.11. Το κάθε δοκίμιο τοποθετείται κατακόρυφα, μεταξύ δύο μεταλλικών υποστυλωμάτων διατομής HEB300 τα οποία πακτώνονται στο δάπεδο του Εργαστηρίου (Σχήμα 3.11) με δύο βίδες υψηλής αντοχής Φ500 το κάθε ένα. Κάτω από το δοκίμιο τοποθετείται το αξονικό έμβολο, κατασκευής ENERPAK™ και μέγιστης ικανότητας έως 500 kN, το οποίο ασκεί στο δοκίμιο σταθερή αξονική θλιπτική δύναμη $N = 192,5$ kN.

Παρόμοιου τύπου μεταλλική κατασκευή χρησιμοποιείται για την υλοποίηση και των στηρίξεων, οι οποίες θεωρούνται και υλοποιούνται σαν αρθρωτές. Συγκεκριμένα, πίσω από την μεταλλική πλάκα επάνω στην οποία εδράζεται το μεταλλικό παρέμβλημα (Σχήματα 3.9 και 3.10), τοποθετείται με ηλεκτροσυγκόλληση μεταλλικό κυλινδρικό κύλιστρο κάθετα στον άξονα της στήριξης. Τα μεταλλικά παρεμβλήματα αυτά, μαζί με την κύλιση, στις στηρίξεις τοποθετούνται μεταξύ του δοκιμίου και οριζόντιας χαλύβδινης δοκού διατομής IPE 600, η οποία στερεώνεται κατά την ισχυρή της διεύθυνση, κάθετα στον άξονα του δοκιμίου.

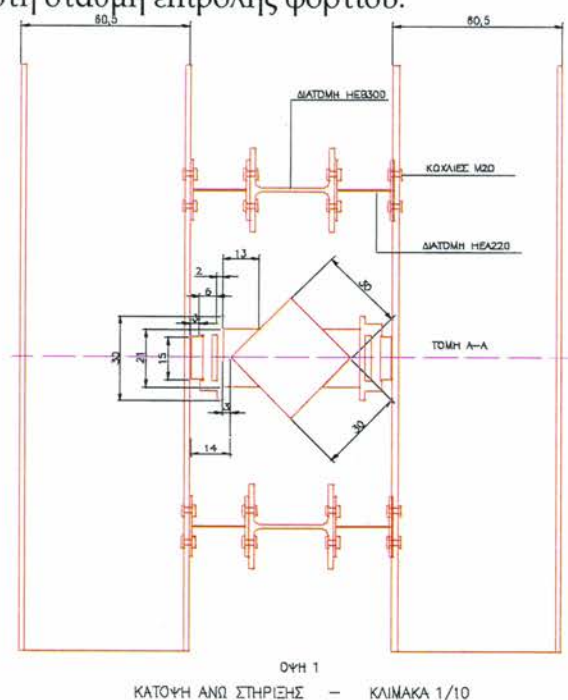


Σχήμα 3.8 Όψη κατακόρυφης διάταξης ελέγχου υποστλωμάτων.



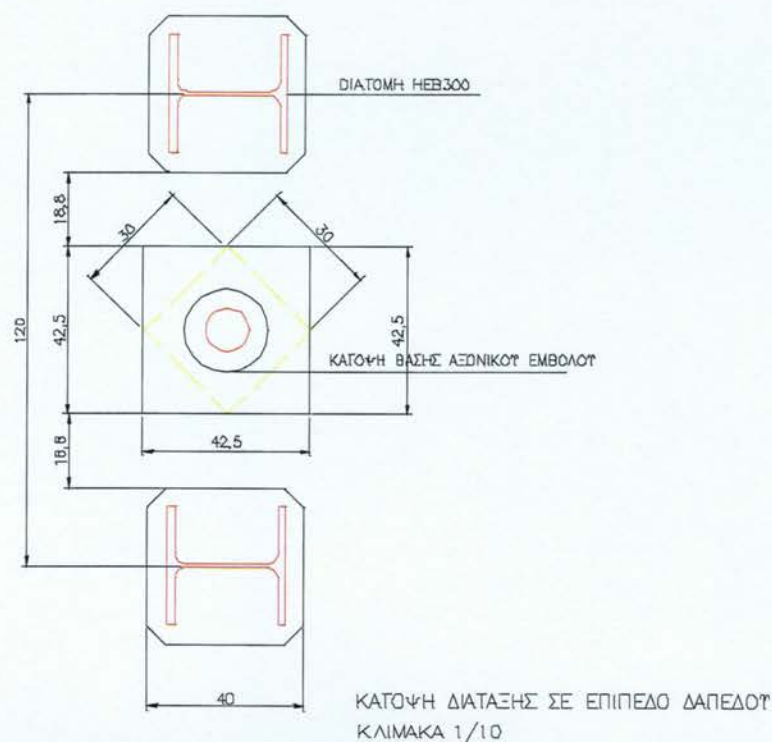
ΚΑΤΟΨΗ ΚΑΤΩ ΣΤΗΡΙΞΗΣ — ΚΛΙΜΑΚΑ 1/10

Σχήμα 3.9 Οριζόντια τομή της κατακόρυφης διάταξης ελέγχου υποστυλωμάτων στη στάθμη επιβολής φορτίου.



ΚΑΤΟΨΗ ΑΝΩ ΣΤΗΡΙΞΗΣ — ΚΛΙΜΑΚΑ 1/10

Σχήμα 3.10 Οριζόντια τομή της κατακόρυφης διάταξης ελέγχου υποστυλωμάτων στις στάθμες άνω και κάτω στήριξης.



Σχήμα 3.11 Οριζόντια τομή της κατακόρυφης διάταξης ελέγχου υποστυλωμάτων στην κάτω στάθμη.

Χρησιμοποιούνται έτσι τέσσερις δοκοί, οι οποίες συνδέονται με τα κατακόρυφα χαλύβδινα υποστυλώματα ΗΕΒ300 μέσω οκτώ επεκτάσεων από τυποποιημένη διατομή ΗΕΑ220 (Σχήμα 3.8), ώστε να αυξηθεί η καθαρή απόσταση μεταξύ των δοκών στις στηρίξεις. Η σύνδεση γίνεται με οκτώ μεταλλικούς κοχλίες Μ20 στις προδιατυπωμένες οπές κοχλίωσης των ΗΕΒ300.

Η εγκάρσια παραμόρφωση των ΗΕΒ300 παρεμποδίζεται από διαγώνια στοιχεία ΗΕΑ 120 που πακτώνονται στο δάπεδο σε απόσταση 2,40m από τα κατακόρυφα. Για την ελαχιστοποίηση οιονδήποτε σφαλμάτων στις μετρήσεις όταν η εγκάρσια φόρτιση και άρα οι αντιδράσεις τείνουν να μεγιστοποιηθούν, π.χ. λόγω ελαστικού βέλους των δοκών στηρίξεως, οι εγκάρσιες δοκοί που βρίσκονται στο ίδιο ύψος συνδέονται και πακτώνονται ανά δύο μεταξύ τους με ικανό αριθμό διαμπερών κοχλιωτών ράβδων Φ18, υψηλής αντοχής, αφού το δοκίμιο έχει

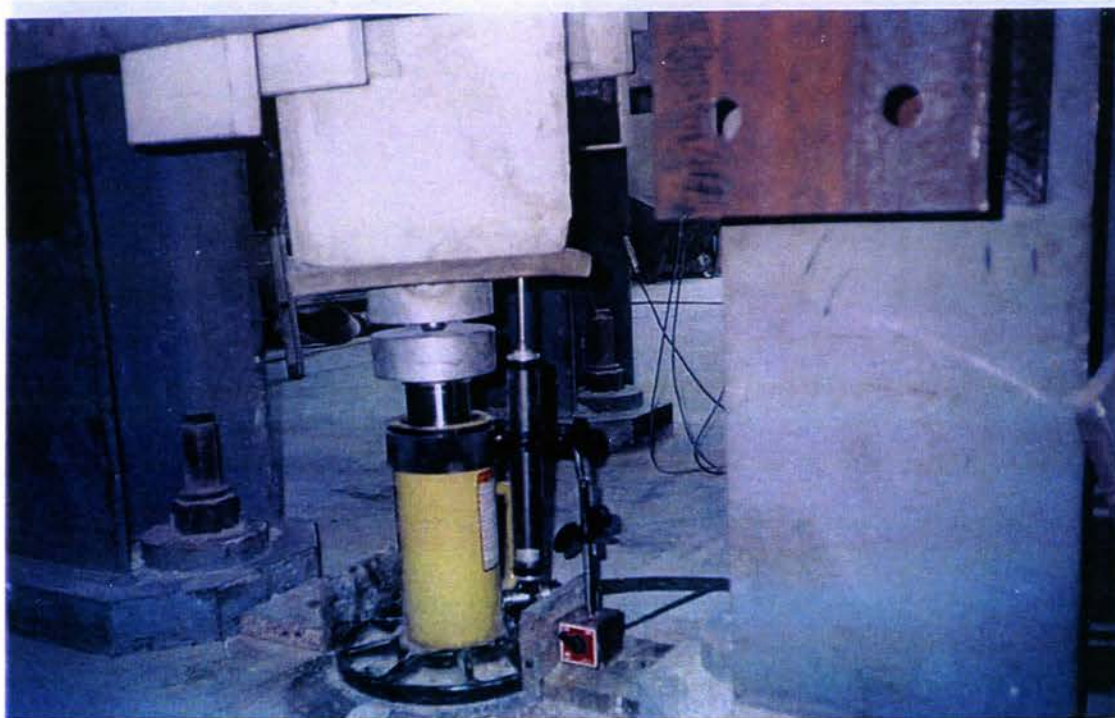
τοποθετηθεί στη θέση του και η μόρφωση της κατασκευής στήριξης έχει ολοκληρωθεί.. Με αυτή τη διάταξη, η διαδικασία απομάκρυνσης του δοκιμίου μετά το πέρας των πειραμάτων περιλαμβάνει το λύσιμο της μίας εκ των άνω δοκών (συν τις κοχλιωτές ντίζες), λόγω του μεγάλου ύψους του.

Για την υλοποίηση της αξονικής φόρτισης, τοποθετείται στο πάνω μέρος της διάταξης εγκάρσια οριζόντια χαλύβδινη κοιλοδοκός με νευρώσεις, μεγάλης δυσκαμψίας, η οποία παραλαμβάνει την αντίδραση του αξονικού φορτίου που εφαρμόζεται στην στέψη του δοκιμίου. Η δύναμη μεταφέρεται υπό μορφή εφελκυσμού στα εγκάρσια πλαίσια στήριξης των στύλων HEB300 που προαναφέρθηκαν, και από εκεί στο ισχυρό δάπεδο του Εργαστηρίου ΟΣ, μέσω τεσσάρων κοχλιωτών πύρων στη βάση του κάθε στύλου, οι οποίοι βιδώνονται στο δάπεδο σε τακτό κάνναβο 1,20 επί 1,20 m.



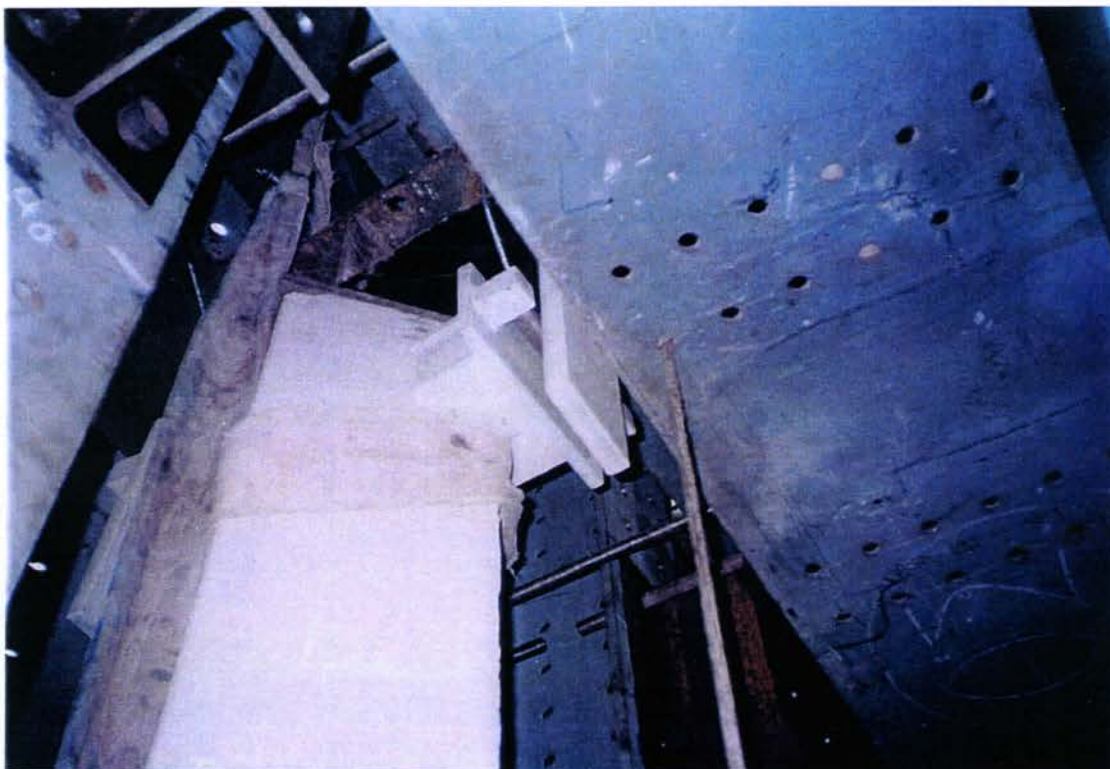
Φωτογραφία 3.8 Μεταφορά της αξονικής στη στήριξη στη στέψη του δοκιμίου.

Το αξονικό φορτίο και η αντίδρασή του εφαρμόζονται μέσω ζεύγους κεντρωμένων χαλύβδινων πλακών στην άνω και κάτω στέψη του δοκιμίου (Φωτογραφία 3.8). Οι πλάκες φέρουν κοίλωμα στο κέντρο, στο οποίο παρεμβάλλεται λείο σφαιρικό στοιχείο μεταφοράς του αξονικού φορτίου, ώστε να μην παρεμποδίζεται η στροφή της πλάκας έδρασης εν επαφή με την παρειά του υποστυλώματος όταν αυτό παραμορφώνεται εγκάρσιως. Αφού το δοκίμιο τοποθετηθεί και αλφαδιαστεί κατακόρυφα στη διάταξη, εφαρμόζεται αρχικά το αξονικό φορτίο N και ουσιαστικά το υποστυλώμα κυλάει κατά μήκος των κυλίσεων και τελικά σφηνώνεται στην άνω εγκάρσια δοκό, παραλαμβάνοντας πλέον το σταθερό αξονικό. Από αυτό το σημείο και εξής, οιαδήποτε αξονική παραμόρφωση κατά τη διάρκεια του πειράματος μετράται στη βάση, δίπλα στο αξονικό έμβολο, με ένα επαγωγικό βελόμετρο στερεωμένο στο δάπεδο (Φωτογραφία 3.9).



Φωτογραφία 3.9 Εφαρμογή της αξονικής δύναμης στη βάση του δοκιμίου και μέτρηση της αξονικής παραμόρφωσης.

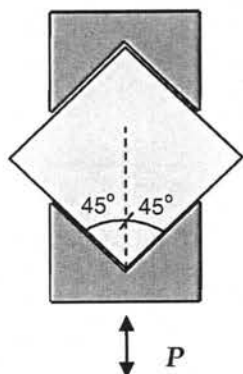
Το κύλιστρο αυτό σε συνδυασμό με τη μικρή μεταλλική σφαίρα που τοποθετείται στα άνω και κάτω άκρα του υποστυλώματος, όπου και το δοκίμιο σφηνώνεται, επιτρέπουν στο δοκίμιο να συμπεριφέρεται ως καθαρά αρθρωτό στα άκρα και αμφιέρειστο στοιχείο, με μηδενικές παρασιτικές ροπές πάκτωσης στα όρια, είτε από τα εγκάρσια παρεμβλήματα στήριξης είτε από τα άνω και κάτω σημεία εφαρμογής του αξονικού φορτίου N .



Φωτογραφία 3.10 Παρέμβλημα και κύλιση στήριξης του δοκιμίου.

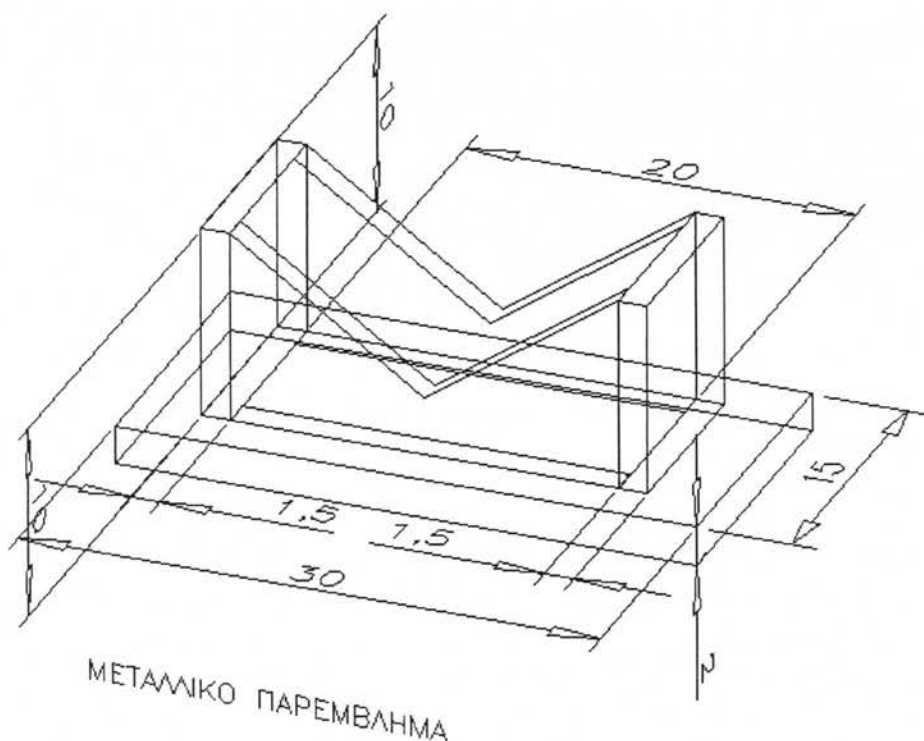
Επίσης, και το έμβολο του επενεργητού εφαρμογής του εγκάρσιου φορτίου P είναι εφοδιασμένο με στροφική άρθρωση, ως προς άξονα κάθετα στον άξονα του εμβόλου στο οριζόντιο επίπεδο, έτσι ώστε το έμβολο να κινείται πάντοτε ανεμπόδιστα οριζοντίως ανεξάρτητα από την τοπική (αν)ελαστική στροφή του υποστυλώματος στο σημείο επιβολής του φορτίου, χωρίς να δημιουργούνται εγκάρσιες δυνάμεις στον επενεργητή. Η στροφή αυτή καταγράφεται κατά τη διάρκεια του πειράματος με τη βοήθεια δύο επαγωγικών βελομέτρων, όπως

περιγράφεται στα επόμενα Κεφάλαια. Για τον ίδιο λόγο, ο επενεργητής στερεώνεται στο δοκίμιο αφού αυτό παραλάβει το αξονικό φορτίο.



Σχήμα 3.12 Εφαρμογή εγκάρσιας δύναμης κατά τη διεύθυνση της διαγωνίου στο δοκίμιο τετράγωνης διατομής.

Η δύναμη του εγκάρσιου εμβόλου ασκείται στην διεύθυνση της υποτεινουσας των δύο καθέτων πλευρών της διατομής του δοκιμίου, όπως δείχνεται στο Σχήμα 3.12. Για την υλοποίηση της φόρτισης αυτής στο Εργαστήριο, τοποθετείται ένα μεταλλικό παρεμβλήμα μεταξύ εγκάρσιου εμβόλου – δοκιμίου, όπως φαίνεται στα Σχήματα 3.9 και 3.10 και στη Φωτογραφία 3.10. Ο σχεδιασμός του παρεμβλήματος αυτού, η μορφή και οι διαστάσεις του οποίου φαίνονται στο



Σχήμα 3.13 Λεπτομέρεια του μεταλλικού παρεμβλήματος στις άνω και κάτω

στηρίξεις και στο σημείο εφαρμογής του επενεργητή.

Σχήμα 3.13, περιγράφηκε στην Α Έκθεση Προόδου (Ζέρης 2001). Το κόστος κατασκευής των έξι ειδικών αυτών τεμαχίων (από δύο σε κάθε στήριξη και στο σημείο επιβολής του φορτίου) βάρυναν το ερευνητικό Πρόγραμμα.

3.4. Μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών

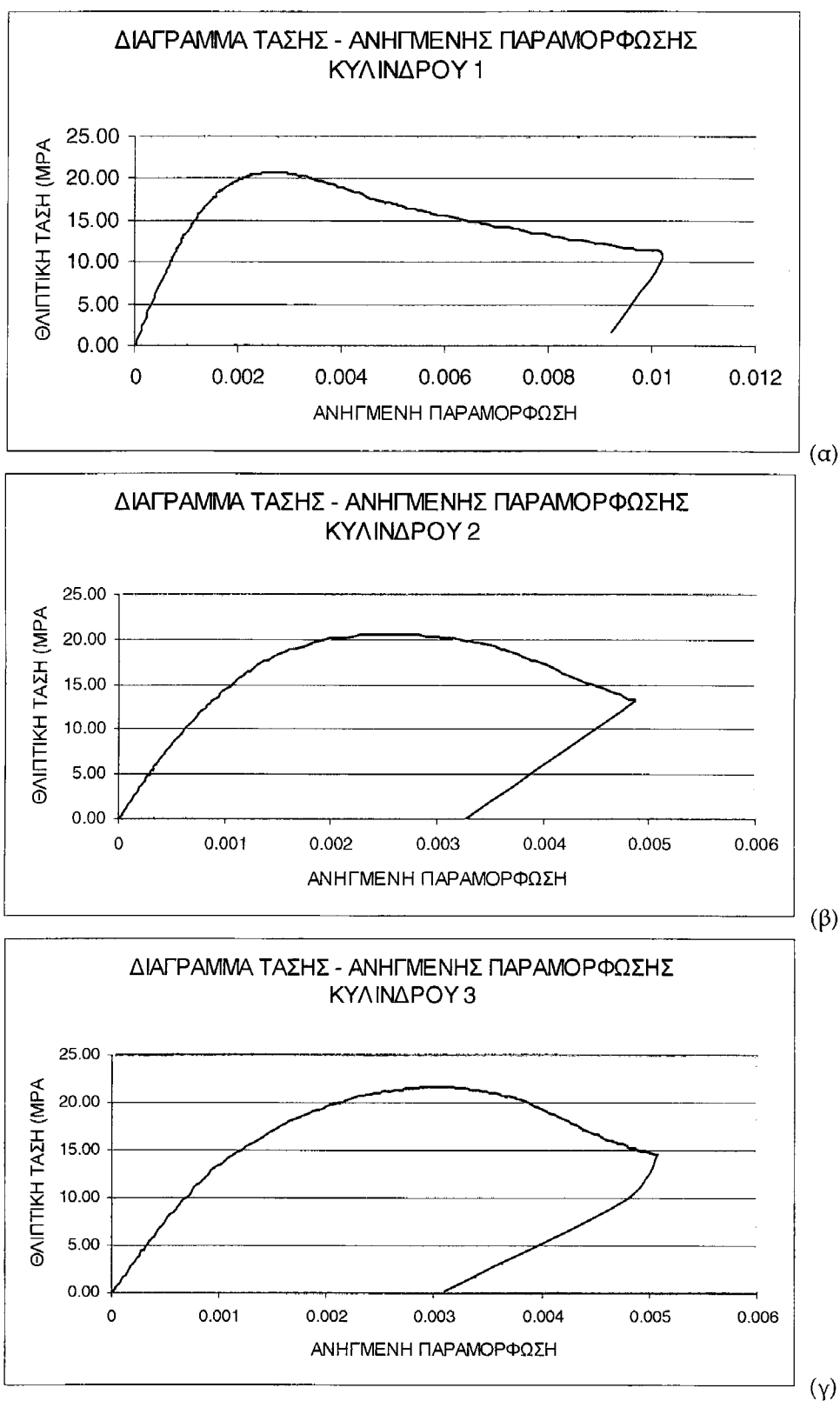
3.4.1 Σκυρόδεμα

Για την αποτίμηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος f_c' , χρησιμοποιήθηκαν τρία κυβικά δοκίμια ακμής 15cm καθώς και έξι τυποποιημένοι κύλινδροι διαμέτρου 15cm και ύψους 30cm που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα από τους εργαστηριακούς ελέγχους που έγιναν στο Εργαστήριο ΟΣ ΕΜΠ, φαίνονται στους Πίνακες 3.2 και 3.3. Τα αντίστοιχα διαγράμματα τάσεων των μέσων ανηγμένων παραμορφώσεων τριών εκ των κυλινδρικών δοκιμίων που ήταν κατάλληλα ενωργανωμένοι, δίνονται στα Σχήματα 3.14(α) – (γ).

Πίνακας 3.2 Χαρακτηριστικά δοκιμίων σκυροδέματος

<u>Κυλινδρικά δοκίμια</u>			
Χαρακτηρισμός δοκιμίου	1	2	3
Δύναμη θραύσης (kN)	365,14	363,00	381,45
Τάση θραύσης (MPa)	20,66	20,55	21,60
Μέσος όρος τάσεων (MPa)	20,94		
Κατακόρυφη παραμόρφωση κατά την αστοχία των δοκιμίων (mm)	0,40	0,39	0,45
Ανηγμένη παραμόρφωση	0,0027	0,0026	0,0030

<u>Κυβικά δοκίμια</u>			
Χαρακτηρισμός δοκιμίου	1	2	3
Δύναμη θραύσης (kN)	550,00	513,00	520,00
Τάση θραύσης (MPa)	24,44	22,8	23,11
Μέσος όρος τάσεων (MPa)	23,45		



Σχήμα 3.14 Διαγράμματα $f - \varepsilon$ κυλίνδρων σκυροδέματος υποστυλωμάτων.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά, η μέση αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος κυμαίνεται μεταξύ 21 και 23,5 MPa. Το σκυρόδεμα είναι ποιότητας χαρακτηριστικής αντοχής C16/20, γεγονός που επαληθεύεται και από τα πειραματικά δεδομένα.

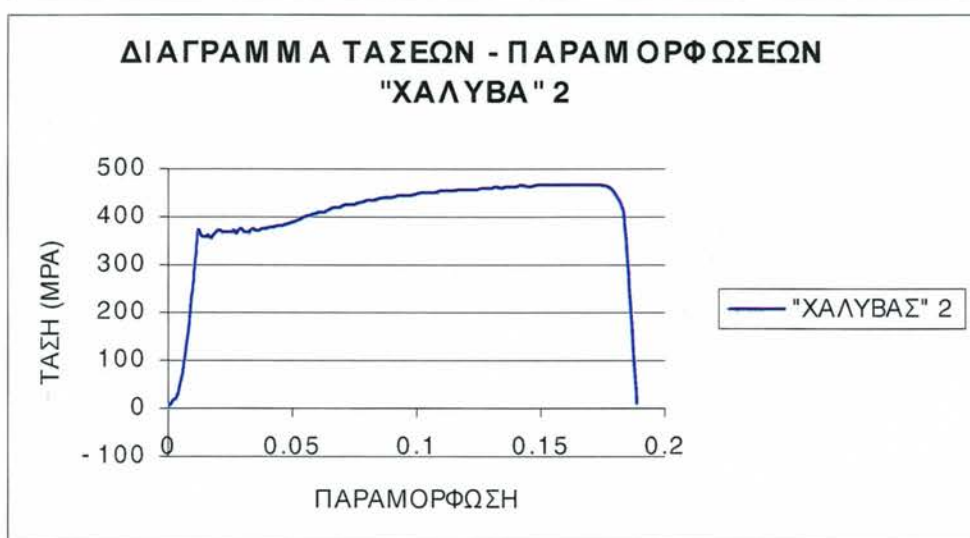
Σημειώνεται ότι κατά τους υπολογισμούς των αναλυτικών προβλέψεων, για λόγους διαστασιολόγησης της διάταξης, είχε προεκτιμηθεί η τιμή των 20 MPa σαν αναμενόμενη μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος στα δοκίμια ΧΠ. Για τα δοκίμια ΥΠ θεωρήθηκε η περισφιγμένη τιμή θλιπτικής αντοχής f_c^* , (ίση προς 30,85 MPa), υπολογιζόμενη βάσει της απερίσφικτης θλιπτικής αντοχής των κυλινδρικών δοκιμίων, λαμβάνοντας όμως υπόψη της αύξηση λόγω περισφιγξης που προσφέρουν οι συνδετήρες Φ10/100 κατηγορίας S500 στην κρίσιμη περιοχή του ελεγχόμενου τμήματος. Στον υπολογισμό των αντοχών των δοκιμίων για σύγκριση με τα πειραματικά αποτελέσματα που δίνονται παρακάτω, χρησιμοποιούνται οι μέσες τιμές του Πίνακα 3.2 με μοναδιαίους συντελεστές γ_m .

3.4.2 Χάλυβας

Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται οι τιμές διαρροής και οι αντίστοιχες μέσες ανηγμένες παραμορφώσεις κατά τον πρότυπο πειραματικό έλεγχο σε εφελκυσμό έξι δειγμάτων λείου χάλυβα Φ14 που ελήφθησαν από διάφορες ράβδους οπλισμού των υποστυλωμάτων. Τα αντίστοιχα διαγράμματα μέσων τάσεων - παραμορφώσεων δίνονται στα Σχήματα 3.15. Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει μία μέση τιμή διαρροής 373,8 MPa, σημαντικά υψηλότερη από την ονομαστική χαρακτηριστική τιμή σχεδιασμού των 220 MPa (S220) του χάλυβα κατηγορίας Stahl-I με τον οποίο αντιστοιχείται σήμερα, και βάση της οποίας έγινε ο αρχικός σχεδιασμός του διαμήκους οπλισμού των δοκιμίων. Για τον λόγο αυτό, κατά τον υπολογισμό των αντοχών των δοκιμίων για σύγκριση με τα πειραματικά αποτελέσματα που δίνονται παρακάτω, χρησιμοποιούνται και οι δύο τιμές (ονομαστική και μέση).

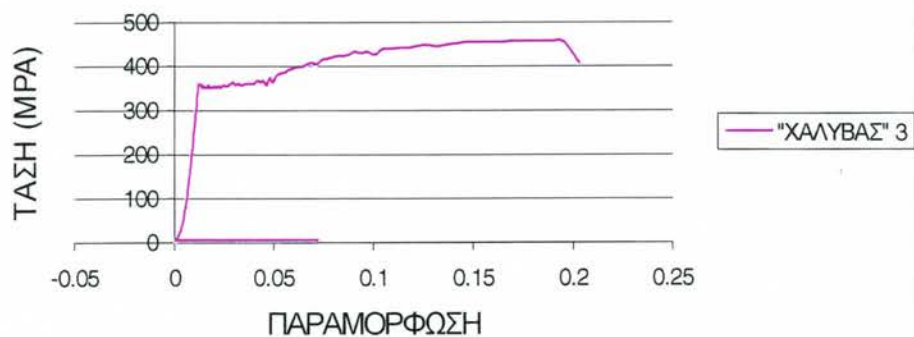
Πίνακας 3.3 Χαρακτηριστικά δοκιμών διαμήκους χάλυβα Φ14

Δείγματα χάλυβα υποστυλωμάτων						
Αριθμός δείγματος	1	2	3	4	5	6
Τάση διαρροής f_y (MPa)	0,0126	370,47	354,86	358,12	427,01	380,22
Παραμόρφωση διαρροής	0,0126	0,0119	0,0133	0,0149	0,0089	0,0142
Μέση τιμή τάσεως διαρροής (MPa)	373,83					



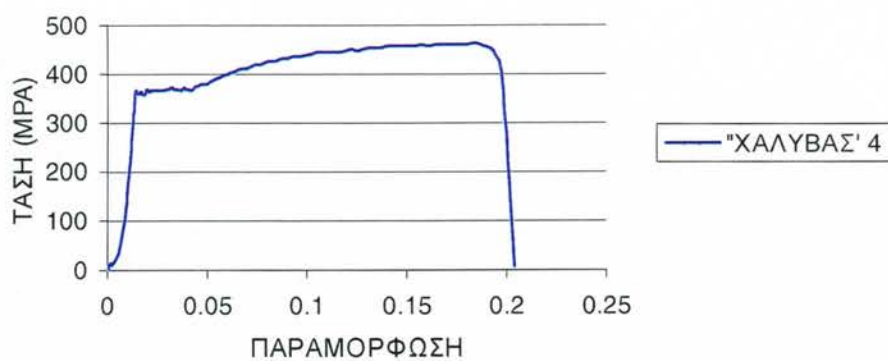
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΕΩΝ - ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ "ΧΑΛΥΒΑ"

3



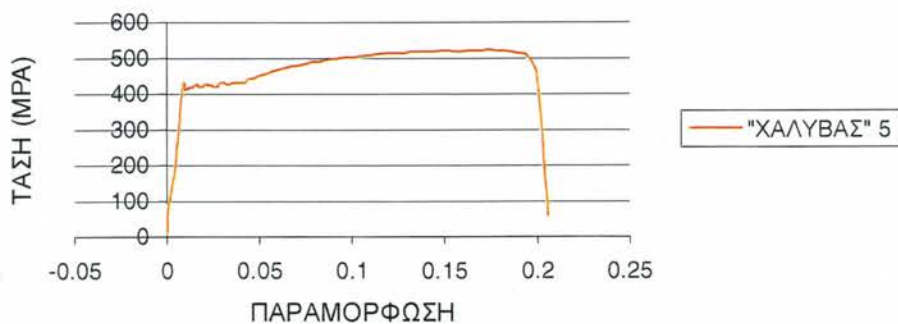
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΕΩΝ - ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

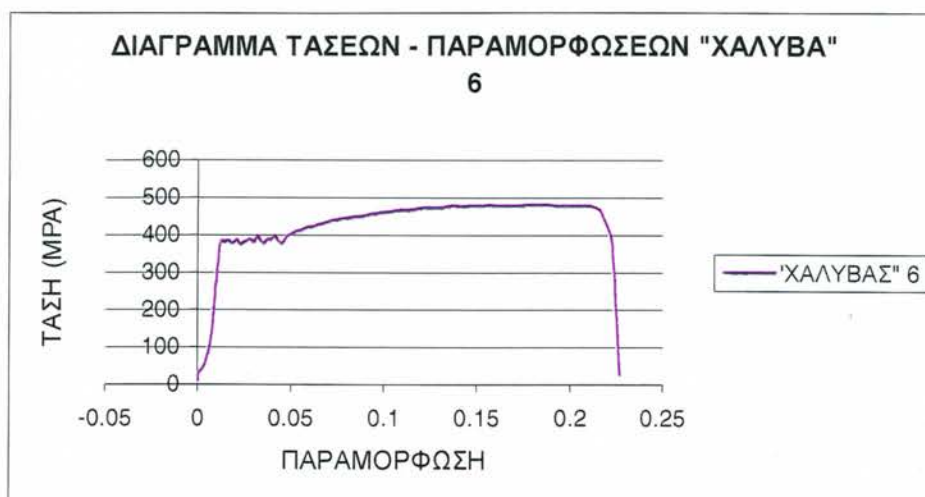
"ΧΑΛΥΒΑ" 4



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΕΩΝ - ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

"ΧΑΛΥΒΑΣ" 5





Σχήμα 3.15 Πειραματικά διαγράμματα τάσεων παραμορφώσεων δειγμάτων διαμήκους λείου χάλυβα Φ14, ποιότητας S220.

3.4.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά ΙΝΟΠ ινών υάλου και άνθρακα ενίσχυσης

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ΙΝΟΠ ινών υάλου και άνθρακα που χρησιμοποιήθηκαν στην ενίσχυση των δοκιμών προμηθεύτηκαν από την MAC BETON / DEGUSSA Hellas AE. Για τη διαμήκη ενίσχυση των ΧΠ302ΕΝ και ΧΠ303ΕΝ χρησιμοποιήθηκαν τα ΙΝΟΠ ινών άνθρακα MBrace Fiber C1-30 ενώ για την εγκάρσια ενίσχυση αυτών και των ΧΠ301ΕΠ και ΧΠ305ΕΠ χρησιμοποιήθηκαν τα ΙΝΟΠ ινών υάλου MBrace Fiber G-60 AR. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή, η επικόλληση των ΙΝΟΠ έγινε με τη ρητίνη δύο συστατικών MBrace Saturant επάνω σε ασταρωμένες επιφάνειες με χρήση του ασταριού MBrace Primer. Η αποκατάσταση των βλαβών έγινε με μη συρρικνούμενο γαρμπιλόδεμα υψηλής αντοχής EMACO S66.

3.4.3.1 Ανθρακόνημα MBrace Fiber C1-30

Το ΙΝΟΠ C1-30, αποτελείται από ίνες άνθρακα υψηλής αντοχής, πλεγμένες ως προς μια διεύθυνση και εφαρμόζεται στο δοκίμιο – όπως και το ΙΝΟΠ ινών υάλου – με τη μέθοδο υγρής στρώσης (*wet layup method*). Το υλικό παραλαμβάνεται σε ρολό πλάτους 50 εκ. και μήκος 50 μέτρων και έχει μαύρο

χρώμα. Σύμφωνα με την Τεχνική Περιγραφή του υλικού που δίδεται από τον Προμηθευτή, τα χαρακτηριστικά του υλικού, όπως δείχνονται στον Πίνακα 3.3, έχουν ως εξής:

Πίνακας 3.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά ΙΝΟΠ από ίνες άνθρακα MBrace Fiber C1-30 (MacBeton, 2002)

Ειδικά Χαρακτηριστικά	
Τύπος Ίνας	Άνθρακας υψηλής αντοχής
Επιφανειακή Πυκνότητα (Ds)	0,300 kg*m ⁻²
Πυκνότητα (ρ)	1.820 kg*m ⁻³
Πάχος Ξηράς Ίνας (s)	0,165 mm
Πραγματική Επιφάνεια ανά μονάδα πλάτους (A _{eff})	1.65 mm ² * cm ⁻¹
Μέτρο ελαστικότητας (E)	230.000 MPa
Μέγιστη εφελκυστική αντοχή (f _t)	3.430 MPa
Μέγιστη παραμόρφωση (ε _u)	1,5 %
Συντελεστής θερμικής διαστολής (α)	10 ⁻⁷ K ⁻¹
Θερμική αγωγιμότητα (J*m ⁻¹ *s ⁻¹ *α)	17

3.4.3.2 ΙΝΟΠ ινών υάλου τύπου MBrace Fiber G-60 AR

Για την εγκάρσια ενίσχυση χρησιμοποιήθηκε ύφασμα ΙΝΟΠ ενισχυμένο με ίνες υάλου, κατηγορίας G-60AR, της εταιρίας Master Builders. Το ύφασμα είναι λευκό και παραδίδεται σε μορφή ρολού μήκους 50m, αποτελείται δε από ίνες υάλου πλεγμένες σε μια διεύθυνση. Σύμφωνα με την Τεχνική Περιγραφή του υλικού που δίδεται από τον Προμηθευτή, τα χαρακτηριστικά του έχουν ως εξής (Πίνακας 3.4):

Πίνακας 3.4. Τεχνικά χαρακτηριστικά ΙΝΟΠ από ίνες υάλου MBrace Fiber G-60 AR (MacBeton, 2002)

Ειδικά Χαρακτηριστικά	
Τύπος Ίνας	Γυαλί ανθεκτικό σε αλκάλια
Μέτρο ελαστικότητας (E)	65.000 MPa

Επιφανειακή Πυκνότητα (D_s)	0,600 kg*m ⁻²
Πυκνότητα (ρ)	2.600 kg*m ⁻³
Πάχος Ξηράς Ίνας (s)	0,230 mm
Πραγματική Επιφάνεια ανά μονάδα πλάτους (A_{eff})	2,30 mm ² * cm ⁻¹
Μέγιστη εφελκυστική αντοχή (f_t)	1.700 MPa
Μέγιστη παραμόρφωση (ε_u)	2,8 %
Συντελεστής θερμικής διαστολής (α)	5*10 ⁻⁶ K ⁻¹
Θερμική αγωγιμότητα (J*m ⁻¹ *s ⁻¹ *α)	Μονωτικό

Όπως και για το C1-30, η αντίστοιχη μέγιστη εφελκυστική ανηγμένη παραμόρφωση σχεδιασμού για συμμετοχή του ΙΝΟΠ σε κάμψη δεν ξεπερνά το 0.6÷0.8%.

3.4.3.3 Εποξειδική ρητίνη συγκόλλησης MBrace Saturant

Για την συγκόλληση των υφασμάτων πάνω στο τελειωμένο σκυρόδεμα και την εξασφάλιση της πλήρους συνάφειας ΙΝΟΠ σκυροδέματος, χρησιμοποιείται η εποξειδική ρητίνη MBrace Saturant δύο συστατικών. Σύμφωνα με την Τεχνική Περιγραφή του υλικού που δίδεται από τον Προμηθευτή, τα χαρακτηριστικά του υλικού, όπως δείχνονται στον Πίνακα 3.5, έχουν ως εξής:

Πίνακας 3.5. Τεχνικά χαρακτηριστικά της ρητίνης συγκόλλησης δύο συστατικών MBrace Saturant

Μηχανικά χαρακτηριστικά	Πρότυπη μέθοδος	Αντοχή
Πρόσφυση στο σκυρόδεμα	Σκυρόδεμα, pr.EN 1542	>Διατμητική τάση αντοχής σκυροδέματος
Μέγιστη επιμήκυνση	ASTM D638	2,5%
Εφελκυστική αντοχή	Άμεση, ASTM D638	>50 MPa
	Απο κάμψη, ASTM D790	>120 MPa

Θλιπτική Αντοχή	ASTMA D695	>80 MPa
Μέτρο ελαστικότητας	Εφελκυστικό, ASTM D638	>3.000 MPa
	Κάμψης, ASTM D790	>3.500 MPa

Η εφαρμογή της ρητίνης γίνεται αρχικά με επάλειψη της επιφάνειας (ή του κάτω στρώματος ΙΝΟΠ, εφόσον υπάρχει) με μαλακό ρολάκι χειρός και ακολούθως, μετά από την τοποθέτηση του ΙΝΟΠ, γίνονται πολλαπλά περάσματα της επιφάνειας με σιδερένιο ρόλο εφοδιασμένο με χαρακώσεις, για την πλήρη εξαγωγή των φυσαλίδων κάτω από το ΙΝΟΠ.

3.4.3.4 Αστάρι MBrace Primer

Το εποξειδικό αστάρι Mbrace Primer της εταιρίας Master Builders είναι ένα εποξυλαμινικό προϊόν δύο συστατικών με χαμηλό ιξώδες, 100% στερεό που σκοπό έχει την εξασφάλιση της κατάλληλης πρόσφυσης μεταξύ των υφασμάτων και του σκυροδέματος. Το υλικό έχει διάρκεια εφαρμογής που επηρεάζεται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και έχει διάρκεια εργάσιμης εφαρμογής μιας το πολύ ώρας. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δίνονται στον Πίνακα 3.6.

Πίνακας 3.6. Τεχνικά χαρακτηριστικά του ασταριού MBrace Primer

Μηχανικά Χαρακτηριστικά	Πρότυπη Μέθοδος	Αντοχή
Πρόσφυση στο σκυρόδεμα	Σκυρόδεμα, pr.EN 1542	>Διατμητική τάση αντοχής σκυροδέματος
Μέγιστη Επιμήκυνση	ASTM D638	3%
Εφελκυστική Αντοχή	Άμεση, ASTM D638	>12 MPa
	Από κάμψη, ASTM D790	>24 MPa
Μέτρο Ελαστικότητας	Εφελκυστικό, ASTM D638	>700 MPa
	Κάμψης, ASTM D790	>580 MPa

3.4.3.5 Επισκευαστική τσιμεντοκονία υψηλής αντοχής EMACO S66

Προϊόν της εταιρίας Master Builders / Degussa Hellas CC AE που χρησιμοποιείται για εργασίες συντήρησης ή/και επισκευής στοιχείων ΟΣ. Το συγκεκριμένο υλικό ενδείκνυται για πλήρωση κενών πάχους μεταξύ 4-10 cm. Μερικές από τις ιδιότητες που προδιαγράφονται από την κατασκευάστρια εταιρία για το υλικό αυτό δίνονται στον Πίνακα 3.7.

Πίνακας 3.7. Τεχνικά χαρακτηριστικά επισκευαστικής τσιμεντοκονίας υψηλής αντοχής EMACO S66

Ιδιότητα	Αριθμός ημερών από την παρασκευή	
	7 ημέρες	28 ημέρες
Μέτρο Ελαστικότητας	20.000 MPa	25.000 MPa
Συνάφεια με σκυρόδεμα	(δεν αναφέρεται)	6 MPa
Συνάφεια με χάλυβα		
• Λείες ράβδοι	2 MPa	3 MPa
• Ράβδοι με νευρώσεις	15 MPa	20 MPa