

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ»

A.Σ.Τ.Ε. VII

Πειραματική Σεισμική Μηχανική

Υπεύθυνοι:
Μάνος, Γ.

Εργασία:
Θέμα εξαμήνου



Ονόματα φοιτητών:
Ευτυχίδης Σωκράτης
Μητούλης Στέργιος
Μουρελάτος Ηλίας
Οικονόμου Θεμιστοκλής
Παπαθεοδώρου Στέργιος

Τετάρτη, 28 Μαΐου 2003

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

6/2/2003

- Σελ. 1**..... 1^ο πείραμα. Χάλυβας σε εφελκυσμό.
Σελ. 7..... 2^ο πείραμα. Εφελκυσμός χάλυβα με ψηφιακή καταγραφή δυνάμεων–μετακινήσεων.
Σελ. 11..... 3^ο πείραμα. Έλεγχος αποτελεσματικότητας συγκόλλησης.

13/2/2003

- Σελ. 13**..... 4^ο πείραμα. Καθαρή θλίψη κυβικού δοκιμίου.
Σελ. 16..... 5^ο πείραμα. Καθαρή θλίψη κυλινδρικού δοκιμίου.
Σελ. 21..... 6^ο πείραμα. Δοκιμή Καθαρής Κάμψης Πρισματικού Δοκιμίου

20/2/2003

- Σελ. 30**..... 7^ο πείραμα. Καθαρή θλίψη περισφυγμένου με σπείρα κυλινδρικού δοκιμίου.
Σελ. 36..... 8^ο πείραμα. Καθαρή θλίψη κυλινδρικού δοκιμίου από EMACO.
Σελ. 39..... 9^ο πείραμα. Εφελκυσμός ινοϋφάσματος (F.R.P)

27/2/2003

- Σελ. 42**..... 10^ο πείραμα. Έλεγχος συγκόλλησης πρισματικού δοκιμίου άοπλου σκυροδέματος με λοξή τομή.
Σελ. 47..... 11^ο πείραμα. Δοκιμή διάρρηξης κυλινδρικών δοκιμίων σκυροδέματος–Splitting Test (Brazilian Test)–Εφελκυστική αντοχή σε διάρρηξη.
Σελ. 53..... 12^ο πείραμα. Πείραμα εξόλκευσης ράβδου οπλισμού από δοκίμιο σκυροδέματος.
Σελ. 57..... 13^ο πείραμα (α). Σύνθλιψη δοκιμίου ενισχυμένου με 1 στρώση FRP.

6/3/2003

- Σελ. 63**..... 13^ο πείραμα (β). Σύνθλιψη δοκιμίου ενισχυμένου με 2 στρώσεις FRP.
Σελ. 69..... 13^ο πείραμα (γ). Πείραμα εφελκυσμού FRP με υπολογισμό του μέτρου ελαστικότητας.
Σελ. 73..... 14^ο πείραμα. Κεντρική σύνθλιψη στύλου CBJ-3.

13/3/2003

- Σελ. 79**..... 15^ο πείραμα. Έλεγχος σύνθλιψης οπτόπλινθων με οπές.
Σελ. 91..... 16^ο πείραμα. Καθαρή θλίψη επισκευασμένου υποστυλώματος με FRP.

20/3/2003

- Σελ. 97**..... 17^ο πείραμα. Δυναμικά συστήματα με ιδιομορφές.
Σελ. 102..... 18^ο πείραμα. Κάμψη δοκού ενισχυμένη με FRP.

27/3/2003

- Σελ. 109**..... 19^ο πείραμα. Κάμψη επισκευασμένης δοκού και ενισχυμένης με FRP.

3/4/2003

- Σελ. 116**..... 20^ο πείραμα. Απόκριση διώροφου επίπεδου πλαισίου σε σεισμική τράπεζα.

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών
«Αντισεισμικός Σχεδιασμός Τεχνικών Έργων»

**Μάθημα: «Πειραματική Σεισμική Μηχανική»
(Α.Σ.Τ.Ε. 7)**

ΘΕΜΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ

Μεταπτυχιακοί Φοιτητές:

Ευτυχίδης Σωκράτης

Μητούλης Στέργιος

Μουρελάτος Ηλίας

Οικονόμου Θεμιστοκλής

Παπαθεοδώρου Στέργιος

ΠΕΙΡΑΜΑ 1^ο (6/2/2003)**ΧΑΛΥΒΑΣ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ****1.1 Σκοπός του πειράματος**

Σκοπός του πειράματος είναι η μελέτη της επιρροής του τρόπου επεξεργασίας του χάλυβα στα μηχανικά χαρακτηριστικά του.

1.2 Δοκίμια

Τα δοκίμια ελήφθησαν από την ίδια κουλούρα και υπέστησαν τις κάτωθι επεξεργασίες:

- 1^ο δοκίμιο:** Θερμική κατεργασία με τρεις ηλεκτροραφές μήκους **65 mm** στην περιφέρεια κατά το μήκος επεξεργασίας.
- 2^ο δοκίμιο:** Δεν υπέστη καμία κατεργασία.
- 3^ο δοκίμιο:** Θερμική κατεργασία με οξυγόνο σε μήκος **65~70 mm** στους **850~900 °C** (έγινε ερυθρό).

Τα ανωτέρω δοκίμια, μετά το πέρας της επεξεργασίας και επαναφορά στις κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος, λειάνθηκαν και απέκτησαν τις διαμέτρους που περιγράφονται παρακάτω:

1^ο δοκίμιο: **Φ9,95 mm.**

2^ο δοκίμιο: **Φ10,00 mm.**

3^ο δοκίμιο: **Φ9,40 mm.**

Επίσης, σε όλα τα δοκίμια έγινε επισήμανση σημείων συμμετρικά ως προς το μέσον για να βοηθήσουν στην ευκολότερη μέτρηση των παραμορφώσεων μετά τη θραύση. Τα ανωτέρω χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον κάτωθι πίνακα:

Δοκίμιο	Διάμετρος (mm)	Επεξεργασία	Δύναμη διαρροής (kg)	Δύναμη θραύσης (kg)	Πίνακας 1α
					Παραμόρφωση θραύσης (mm)
1	9,95	Θερμική με ραφές	2800	4600	62
2	10	Μη θερμική	4500	5260	64
3	9,4	Θέρμανση με οξυγόνο	2600	4060	64

1.3 Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε είναι η μηχανή εφελκυσμού του εργαστηρίου σιδηροπαγούς σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, φωτογραφία της οποίας φαίνεται παρακάτω:



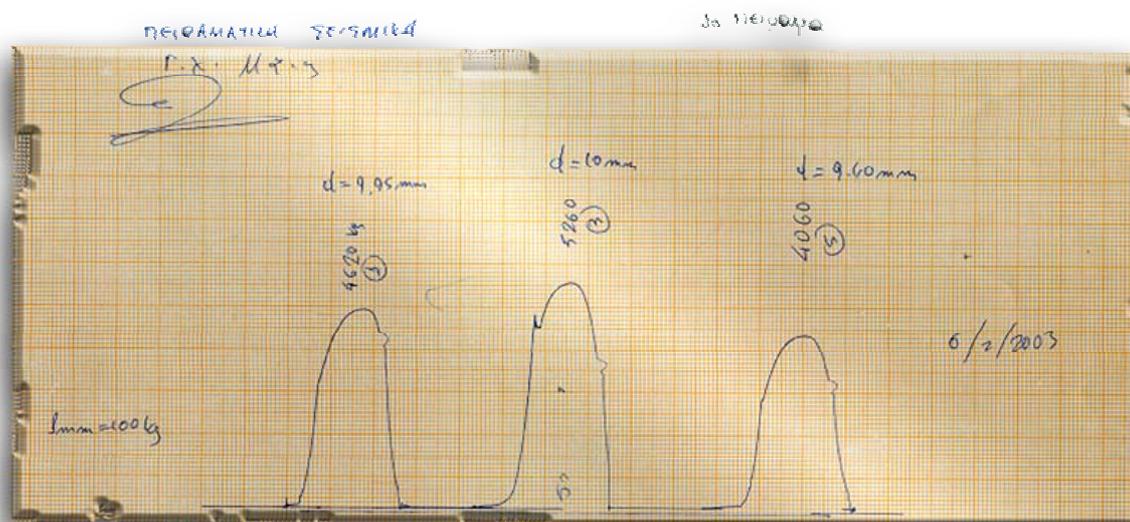
(Φωτογραφία 1α – Μηχανή εφελκυσμού Α.Π.Θ.)

Για τα όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα, οι κάτωθι συνθήκες πρέπει να ικανοποιούνται:

- Κατακόρυφη κατά το δυνατόν θέση των δοκιμίων για την επίτευξη καθαρού εφελκυσμού.
- Αργή επιβολή της φόρτισης αφενός μεν για να προσεγγίσουμε στατική φόρτιση, αφετέρου δε για να έχουμε τη δυνατότητα καταγραφής του διαγράμματος δύναμης–παραμόρφωσης.
- Επαρκής αγκύρωση των άκρων του δοκιμίου στις δαγκάνες της μηχανής για την αποφυγή ολίσθησης.

1.4 Αποτελέσματα

Ακολουθούν τα διαγράμματα δύναμης–παραμόρφωσης, όπως προέκυψαν από το σύστημα καταγραφής της μηχανής εφελκυσμού:



(Διάγραμμα 1α – Δύναμη-Παραμόρφωση)

Τάση 1^{ου} δοκιμίου: $\sigma_y = \frac{28000}{\pi \times \frac{9,95^2}{4}} \Rightarrow \sigma_y = 360 \text{ MPa.}$

$$\sigma_u = \frac{46200}{\pi \times \frac{9,95^2}{4}} \Rightarrow \sigma_u = 594 \text{ MPa.}$$

Τάση 2^{ου} δοκιμίου: $\sigma_y = \frac{45000}{\pi \times \frac{10,00^2}{4}} \Rightarrow \sigma_y = 573 \text{ MPa.}$

$$\sigma_u = \frac{52600}{\pi \times \frac{10,00^2}{4}} \Rightarrow \sigma_u = 670 \text{ MPa.}$$

$$\text{Τάση 3ου δοκιμίου: } \sigma_y = \frac{26000}{\pi \times \frac{9,40^2}{4}} \Rightarrow \sigma_y = \mathbf{375 \text{ MPa.}}$$

$$\sigma_u = \frac{40600}{\pi \times \frac{9,40^2}{4}} \Rightarrow \sigma_u = \mathbf{585 \text{ MPa.}}$$

Σημείωση: Στο 1^ο και στο 3^ο δοκίμιο, τα οποία έχουν υποστεί θερμική επεξεργασία, παρατηρούμε από το διάγραμμα δυνάμεων–παραμορφώσεων ότι εμφανίζονται δύο διαδοχικοί γραμμικοί κλάδοι χωρίς εμφανές όριο διαρροής, ούτε εμφάνιση πλατώ. Επιλέχθηκε το πρώτο όριο διαρροής ως το πραγματικό χαρακτηριστικό του υλικού, ωστόσο η πραγματική τιμή του ορίου διαρροής είναι κατά τι μεγαλύτερη από αυτό.

Ανηγμένες παραμορφώσεις θραύσης:

$$1^{\circ} \text{ δοκίμιο: } \varepsilon_{\theta} = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{62-50}{50} \Rightarrow \varepsilon_{\theta} = \mathbf{24\%}$$

$$2^{\circ} \text{ δοκίμιο: } \varepsilon_{\theta} = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{64-50}{50} \Rightarrow \varepsilon_{\theta} = \mathbf{28\%}$$

$$3^{\circ} \text{ δοκίμιο: } \varepsilon_{\theta} = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{64-50}{50} \Rightarrow \varepsilon_{\theta} = \mathbf{28\%}$$

Μέτρο κράτυνσης:

$$1^{\circ} \text{ δοκίμιο: } \frac{\sigma_u}{\sigma_y} = \frac{594}{360} = \mathbf{1,65}$$

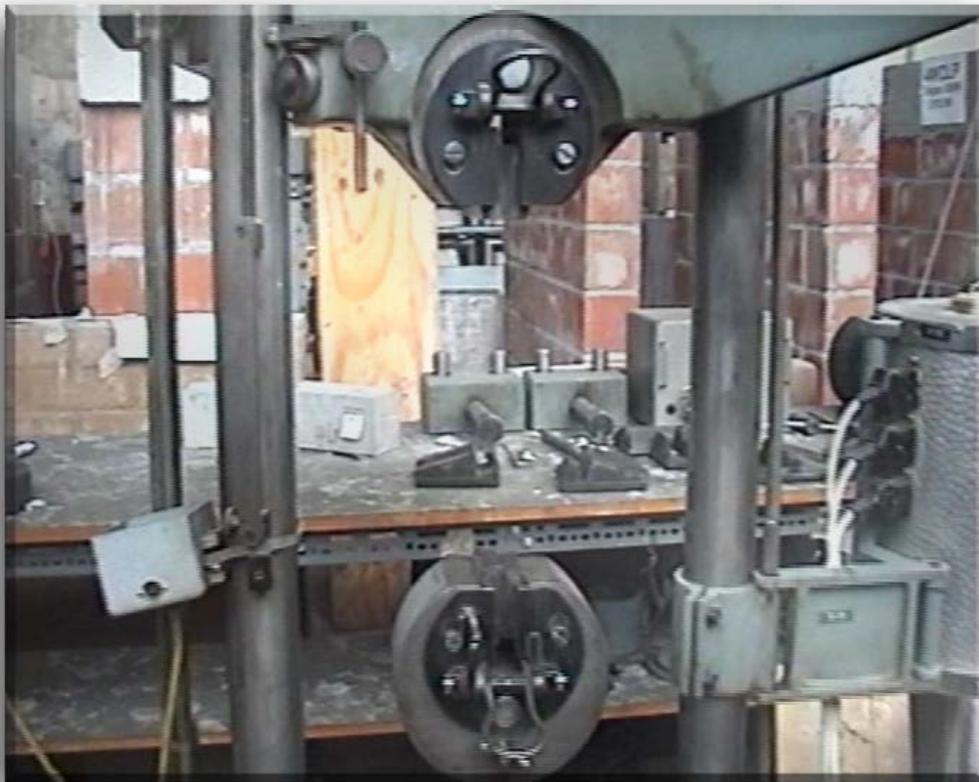
$$2^{\circ} \text{ δοκίμιο: } \frac{\sigma_u}{\sigma_y} = \frac{670}{573} = \mathbf{1,17}$$

$$3^{\circ} \text{ δοκίμιο: } \frac{\sigma_u}{\sigma_y} = \frac{585}{375} = \mathbf{1,56}$$

1.5 Παρατηρήσεις

- Το πρώτο και τρίτο δοκίμιο έχουν παραπλήσια μορφή του διαγράμματος δύναμης- παραμόρφωσης.
- Το πρώτο δοκίμιο έχει ψαθυρή μορφή αστοχίας με ανώμαλη χείλη.
- Το δεύτερο δοκίμιο παρουσίασε λαιμωση και η συμπεριφορά του ήταν αρκετά πλαστική και παρουσίασε άνω και κάτω όριο διαρροής και ένα περιορισμένο αλλά σαφές πλατώ. Επίσης, η επιφάνεια θραύσης ήταν λεία.
- Το τρίτο δοκίμιο παρουσίασε εικόνα αστοχίας παρόμοια με αυτή του δευτέρου.
- Η λείανση των δοκιμίων εξομάλυνε τις διαφορές μεταξύ των δοκιμίων, δηλαδή χωρίς αυτήν, οι παρατηρούμενες διαφορές θα ήταν αρκετά μεγαλύτερες.
- Η θερμική κατεργασία μείωσε τις αντοχές των αντίστοιχων δοκιμίων γύρω στο 13% μεταξύ 2^{ου} και 3^{ου} δοκιμίου ενώ μεταξύ 1^{ου} και 2^{ου} η αντίστοιχη διαφορά ήταν 11%.
- Και οι δύο τύποι κατεργασίας αύξησαν σημαντικά το μέτρο κράτνσης του χάλυβα (περίπου στο 60%) από 17% που είναι το μέτρο κράτνσης του ακατέργαστου χάλυβα.

1.6 Φωτογραφικό υλικό



(Φωτογραφία 1β – Μηχανή εφελκυσμού Α.Π.Θ.)



(Φωτογραφία 1γ – Αρπάγη μηχανής εφελκυσμού Α.Π.Θ.)

ΠΕΙΡΑΜΑ 2^ο (6/2/2003)**ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ ΧΑΛΥΒΑ ΜΕ ΨΗΦΙΑΚΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ–
ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ.****2.1 Σκοπός του πειράματος**

Σκοπός του πειράματος είναι η ακριβέστερη παρακολούθηση του πειράματος με διάταξη ψηφιακής καταγραφής δυνάμεων–μετακινήσεων, δεδομένου ότι σε αυτή την περίπτωση έχουμε αυξημένη αξιοπιστία και πλήθος αποτελεσμάτων.

2.2 Δοκίμια

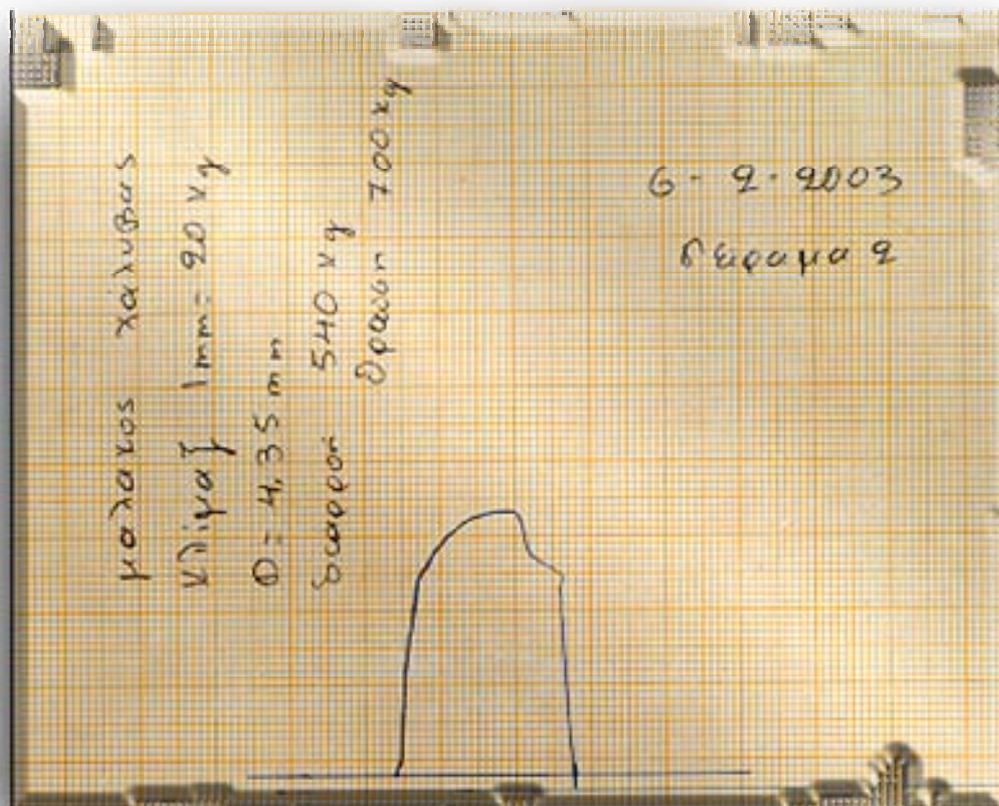
Ένα δοκίμιο από μαλακό χάλυβα διαμέτρου **4,2mm** που υποβλήθηκε σε εφελκυσμό.

2.3 Πειραματική διάταξη.

Το δοκίμιο υποβλήθηκε σε εφελκυσμό στην αντίστοιχη μηχανή του εργαστηρίου σιδηροπαγούς σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Χρησιμοποιήθηκαν ειδικοί αισθητήρες για τη μέτρηση της επιμήκυνσης εφελκυσμού του δοκιμίου. Ο αριθμός των αισθητήρων ήταν 2 για να λάβουμε υπόψη μας τυχόν έκκεντρο εφελκυσμό. Τοποθετήθηκαν εκατέρωθεν του δοκιμίου και λάβαμε υπόψη μας το μέσο όρο των τιμών που αυτοί έδωσαν. Η μέτρηση της επιμήκυνσης έγινε μεταξύ δύο θέσεων απόστασης **50mm** μεταξύ τους. Η καταγραφή των επιμηκύνσεων γίνεται αυτόματα από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Παράλληλα, έγινε καταγραφή της δύναμης διαρροής και θραύσης του δοκιμίου από την ένδειξη της ίδιας της μηχανής.

2.4 Αποτελέσματα

Η διαρροή του δοκιμίου παρουσιάστηκε για φορτίο $P_{\text{διαρ}} = 540 \text{ kg}$, η δε θραύση του επετεύχθη στα $P_{\text{θρ}} = 700 \text{ kg}$, σύμφωνα με την μέτρηση που έδωσε η μηχανή. Τα αποτελέσματα που έδωσε η μηχανή μέτρησης είναι τα εξής:



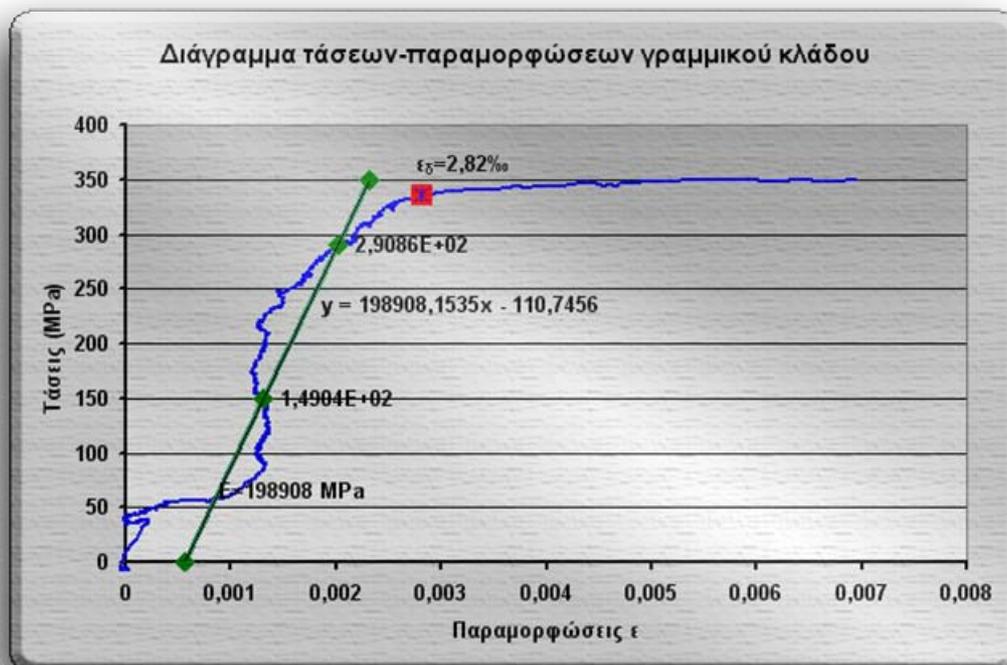
(Διάγραμμα 2α – Δύναμη-παραμόρφωση)

Τα αποτελέσματα που έδωσε η μέτρηση με τον υπολογιστή ακολουθούν σε διάγραμμα:



(Διάγραμμα 2β – Τάση-παραμόρφωση)

Μέτρο ελαστικότητας: Βάσει των αρχικών τιμών των αποτελεσμάτων έχουμε το κάτωθι διάγραμμα μέχρι τη διαρροή, από το οποίο μπορεί να εξαχθεί το μέτρο ελαστικότητας καθώς και η παραμόρφωση διαρροής του δοκιμίου:



(Διάγραμμα 2γ – Τάση-παραμόρφωση γραμμικού κλάδου)

Έτσι, λοιπόν:

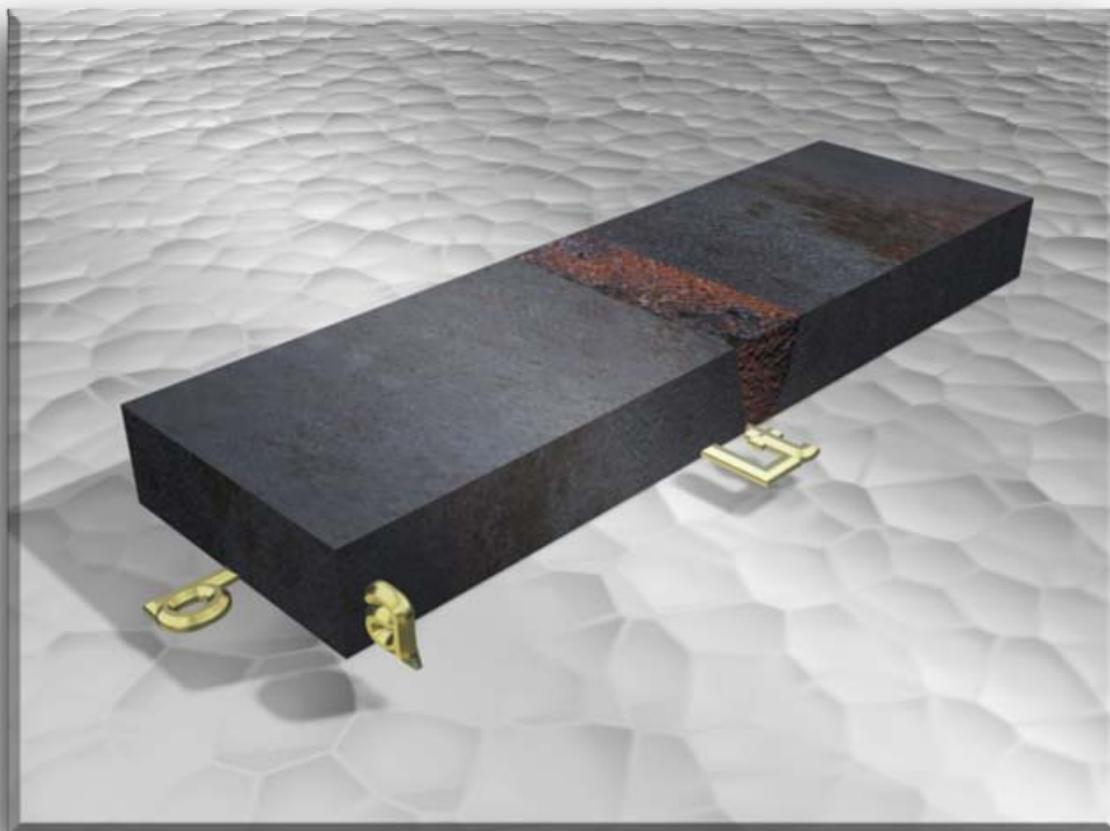
Μέτρο Ελαστικότητας: $E = 198908 \text{ MPa}$.

Παραμόρφωση Διαρροής: $\epsilon_s = 2,82 \text{ ‰}$

Τάση διαρροής: $f_y = 336,8 \text{ MPa}$.

2.5 Παρατηρήσεις

- Η χρησιμοποίηση δυναμόμετρου και αντίστοιχη σύνδεση με υπολογιστή μας επέτρεψε να μετρήσουμε σχετικά γρήγορη επιβολή δυνάμεων, πράγμα που θα ήταν αρκετά δύσκολο στις συνθήκες του προηγούμενου πειράματος.
- Η εύρεση του μέτρου ελαστικότητας, όπως και της παραμόρφωσης διαρροής είναι προσεγγιστική, αλλά η τιμή τους είναι αρκετά ικανοποιητική.
- Οι 2 αισθητήρες παραμόρφωσης έδωσαν δύο ομάδες τιμών, από τις οποίες χρησιμοποιήσαμε το μέσο όρο για τη δημιουργία των ανωτέρω διαγραμμάτων και την εξαγωγή των αντιστοίχων μεγεθών.
- Όπως φαίνεται από το διάγραμμα, η οιονεί ελαστική περιοχή δεν παρουσιάζει ευθύγραμμη μορφή. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε μικρομετακινήσεις οι οποίες είναι αμελητέες μακροσκοπικά.

ΠΕΙΡΑΜΑ 3^ο (6/2/2003)**ΈΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ.****3.1 Σκοπός του πειράματος**

Σκοπός του πειράματος είναι ο έλεγχος της επάρκειας της συγκόλλησης, βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων αποδοχής (*DIN 50120*).

3.2 Δοκίμια

Τα δοκίμια προήλθαν από τη συγκόλληση δύο χαλύβδινων σωλήνων μεταφοράς καυσίμων για στρατιωτική χρήση από το Στρυμόνα στο Λαγκαδά.

Ο αριθμός των δοκιμίων υπό έλεγχο ήταν 2 και ελέγχθηκαν σε αναδίπλωση. Στο πρώτο έγινε εφελκυσμός της εσωτερικής πλευράς της συγκόλλησης (δυσμενής περίπτωση) και στο δεύτερο εφελκυσμός της εξωτερικής πλευράς της συγκόλλησης.

Ο σωλήνας από τον οποίο προήλθαν τα δοκίμια έχει ονομαστικό πάχος $\alpha=4\text{mm}$, το δε μήκος και πλάτος του κάθε δοκιμίου είναι $L_1=300\text{mm}$ και $b=30\text{mm}$, αντίστοιχα.

3.3 Πειραματική Διάταξη

Η δοκιμή «οδηγούμενης κάμψεως» προσδιορίζει ότι δοκίμια τα οποία παρουσιάζουν ρήγματα ή άλλα ελαττώματα επί της κυρτής επιφάνειας μεγαλύτερα του $3,17\text{ mm}$ σε οποιαδήποτε διεύθυνση, θεωρούνταν ανεπιτυχή.

Έτσι, λοιπόν, τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε ειδική στήριξη μορφής πετάλου. Υπέστησαν κάμψη με εφαρμογή συγκεντρωμένης αξονικής δύναμης στη θέση της συγκόλλησης μέχρι κάθε δοκίμιο να αποκτήσει τη μορφή του πετάλου στο οποίο τοποθετήθηκε. Ακολούθησε οπτικός έλεγχος για την ύπαρξη ή μη ρωγμών στην επιφάνεια συγκόλλησης.

3.4 Αποτελέσματα

Οι προδιαγραφές πληρούνται στην περίπτωση και των δύο δοκιμίων, επειδή δεν εμφανίζονται ρωγμές μετά την αντίστοιχη δοκιμή, συνεπώς οι συγκολλήσεις κρίνονται επαρκείς, ενδεικτικό της εμπειρίας του ηλεκτροσυγκολλητή.

3.5 Φωτογραφικό υλικό



(Φωτογραφία 3α – Αποτέλεσμα του πειράματος)

ΠΕΙΡΑΜΑ 4^ο (13/2/2003)**ΚΑΘΑΡΗ ΘΛΙΨΗ ΚΥΒΙΚΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ****4.1 Σκοπός του πειράματος**

Σκοπός του πειράματος είναι η εύρεση της αντοχής θλίψης άοπλου κυβικού δοκιμίου σκυροδέματος. Οι παραμορφώσεις δεν εξετάστηκαν στο συγκεκριμένο πείραμα.

4.2 Δοκίμια

Το άοπλο κυβικό δοκίμιο σκυροδέματος έχει διαστάσεις **15x15x15 cm**. Η δε ηλικία του είναι **2 μήνες**. Από προηγούμενο πείραμα εξόλκευσης το συγκεκριμένο δοκίμιο είχε ήδη ενσωματωμένο οπλισμό, ο οποίος όμως θεωρείται ότι δεν επηρεάζει καθόλου τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου πειράματος.

4.3 Πειραματική διάταξη

Το δοκίμιο τοποθετήθηκε στη μηχανή σύνθλιψης του εργαστηρίου σιδηροπαγούς σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Υποβλήθηκε σε σύνθλιψη με τη βοήθεια εξαιρετικά άκαμπτων πλακών φόρτισης. Η κλίμακα της μηχανής ήταν κατάλληλα προσαρμοσμένη για τα αναμενόμενα αποτελέσματα.



(Φωτογραφία 4α – Πειραματική διάταξη)

4.4 Αποτελέσματα

Το κυβικό δοκίμιο είχε φορτίο θραύσης **105tn**, το οποίο αντιστοιχεί σε $\frac{1050000}{150^2} = 46,6\text{MPa}$.



(Φωτογραφία 4β – Αποτέλεσμα του πειράματος)

4.5 Παρατηρήσεις

- Η θλίψη δεν είναι ανεμπόδιστη επειδή αναπτύσσεται τριβή μεταξύ του δοκιμίου και των πλακών φόρτισης, κάτι που όμως αγνοούμε ως μη επηρεάζον το αποτέλεσμα. Στην πραγματικότητα προκύπτει μικρή επαύξηση της αντοχής λόγω παρεμπόδισης της εγκάρσιας διόγκωσης στις ακραίες περιοχές του δοκιμίου.
- Το πιθανότερο είναι το δοκίμιό μας να ανήκει σε κατηγορία σκυροδέματος **C30/37**. Αυτό συνάγεται από το γεγονός ότι η μέση θλιπτική αντοχή κυβικών δοκιμίων της κατηγορίας αυτής είναι $f_{cm} = f_{ck} + 8 \rightarrow f_{cm} = (37 + 8) = 45 \text{ MPa}$ για δοκίμια 28 ημερών.
- Το δοκίμιό μας ήταν **2 μηνών**, γεγονός το οποίο του προσδίδει αυξημένη αντοχή.
- Μετά την εμφάνιση ρωγμών παραλλήλων στη διεύθυνση φόρτισης, παρατηρήθηκε αποκόλληση τμημάτων, λόγω πλευρικής διόγκωσης (λόγος Poisson). Έτσι, προκλήθηκε απομείωση της διατομής του δοκιμίου μέχρι την πλήρη αποδιοργάνωσή του.

4.6 Φωτογραφικό υλικό



(Φωτογραφία 4γ – Λίγο μετά τη θραύση)

ΠΕΙΡΑΜΑ 5^ο (13/2/2003)**ΚΑΘΑΡΗ ΘΛΙΨΗ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ****5.1 Σκοπός του πειράματος**

Σκοπός του πειράματος είναι η εύρεση της θλιπτικής αντοχής άοπλου κυλινδρικού δοκιμίου σκυροδέματος. Στο συγκεκριμένο πείραμα, οι παραμορφώσεις εξετάστηκαν.

5.2 Δοκίμια

Το άοπλο κυλινδρικό δοκίμιο σκυροδέματος έχει διαστάσεις **Φ15cm** και ύψος **30cm**. Η δε ηλικία του είναι **2 μήνες**. Από προηγούμενο πείραμα εξόλκευσης το συγκεκριμένο δοκίμιο είχε ήδη ενσωματωμένο οπλισμό, ο οποίος όμως θεωρείται ότι δεν επηρεάζει καθόλου τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου πειράματος.

5.3 Πειραματική Διάταξη

Το δοκίμιο τοποθετήθηκε στη μηχανή σύνθλιψης του εργαστηρίου σιδηροπαγούς σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Υποβλήθηκε σε σύνθλιψη με τη βοήθεια άκαμπτων πλακών φόρτισης. Η κλίμακα της μηχανής ήταν κατάλληλα προσαρμοσμένη για τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

Χρησιμοποιούνται δύο μεταλλικοί δακτύλιοι που οριζοντιώνονται και στερεώνονται πάνω στο δοκίμιο με τρεις βίδες ο καθένας. Σε αυτή τη διάταξη προσαρμόζεται ένα μηκυσιόμετρο ακλόνητα στερεωμένο στον επάνω δακτύλιο και σε απλή επαφή με τον κάτω ώστε να λαμβάνουμε τη διαμήκη βράχυνση του δοκιμίου μεταξύ δύο διατομών που απέχουν μεταξύ τους **20 cm** και βρίσκονται συμμετρικά ως προς το μέσον του δοκιμίου. Αντίστοιχη διάταξη εφαρμόζεται για την μέτρηση της εγκάρσιας διόγκωσης του δοκιμίου, με τη διαφορά ότι τα όργανα μέτρησης βρίσκονται σε ξύλινη διάταξη προσαρμοσμένη με κόλλα στην περίμετρο στο μέσον του δοκιμίου.



(Φωτογραφία 5α – Δοκίμιο με μετρητική διάταξη)

5.4 Αποτελέσματα

Το κυλινδρικό δοκίμιο είχε φορτίο θραύσης 53,5tn, το οποίο αντιστοιχεί σε $\sigma = \frac{535000}{\pi \times 150^2} \Rightarrow$
4

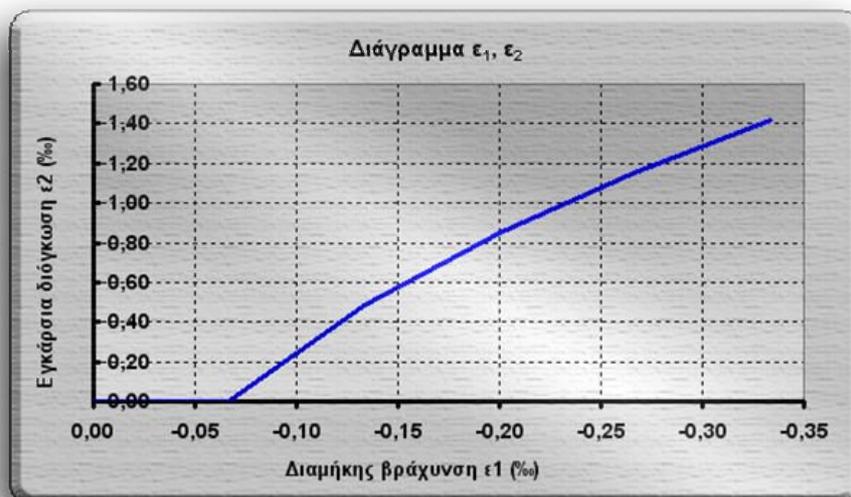
$\sigma = 30,3 \text{ MPa}$.

Ακολουθεί πίνακας και διάγραμμα με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του πειράματος:

				Πίνακας 5α
Φορτίο (t)	Τάση Φ15 (MPa)	Διόγκωση (m*10 ⁻⁵)	Σχετ. διόγκωση (m*10 ⁻⁵)	Εγκάρσια διόγκωση ε ₂ (‰)
0,0	0,0	34,5	0,0	0,00
10,0	5,7	34,5	0,0	0,00
20,0	11,3	34,5	0,0	0,00
30,0	17,0	49,0	14,5	0,48
40,0	22,6	60,0	25,5	0,85
50,0	28,3	69,0	34,5	1,15
53,0	30,0	77,0	42,5	1,42
53,5	30,3	89,0	54,5	1,82
Φορτίο (t)	Τάση Φ15 (MPa)	Κατακόρυφη βράχυνση (m*10 ⁻⁵)	Σχετ. κατακόρυφη βράχυνση (m*10 ⁻⁵)	Διαμήκης βράχυνση ε ₁ (‰)
0,0	0,0	72,5	0,0	0,00
10,0	5,7	72,5	0,0	0,00
20,0	11,3	71,5	-1,0	-0,07
30,0	17,0	70,5	-2,0	-0,13
40,0	22,6	69,5	-3,0	-0,20
50,0	28,3	68,5	-4,0	-0,27
53,0	30,0	67,5	-5,0	-0,33



(Πίνακας και διάγραμμα 5α – Εγκάρσια διόγκωση και διαμήκης βράχυνση)

(Διάγραμμα 5β – Παραμορφώσεις ϵ_1 - ϵ_2)

5.5 Παρατηρήσεις

- Η θλίψη δεν είναι ανεμπόδιση επειδή αναπτύσσεται τριβή μεταξύ του δοκιμίου και των πλακών φόρτισης, κάτι που όμως αγνοούμε ως μη επηρεάζον το αποτέλεσμα. Στην πραγματικότητα προκύπτει μικρή επαύξηση της αντοχής λόγω παρεμπόδισης της εγκάρσιας διόγκωσης στις ακραίες περιοχές του δοκιμίου.
- Το πιθανότερο είναι το δοκίμιό μας να ανήκει σε κατηγορία σκυροδέματος **C20/25** ή **C25/30**. Αυτό συνάγεται από το γεγονός ότι η μέση θλιπτική αντοχή κυβικών δοκιμίων της κατηγορίας αυτής είναι $f_{cm} = f_{ck} + 8 \rightarrow f_{cm} = (20 + 8) = \mathbf{28 \text{ MPa}}$ ή $f_{cm} = (25 + 8) = \mathbf{33 \text{ MPa}}$ για δοκίμια 28 ημερών.
- Το δοκίμιό μας ήταν **2 μηνών**, γεγονός το οποίο του προσδίδει αυξημένη αντοχή.
- Μετά την εμφάνιση ρωγμών παραλλήλων στη διεύθυνση φόρτισης, παρατηρήθηκε αποκόλληση ενός τμήματος της διατομής (που φανερώνει έκκεντρη έδραση, τοπική ανομοιομορφία του δοκιμίου ή συνδυασμός και των δύο). Αυτό αποδεικνύει και την περιορισμένη αξιοπιστία της παραδοχής ομοιογένειας και ισοτροπίας του υλικού. Ακολούθησε η απομείωση της διατομής του δοκιμίου και η πλήρης αποδιοργάνωσή του.

5.6 Παρατηρήσεις για τα τελευταία δύο πειράματα

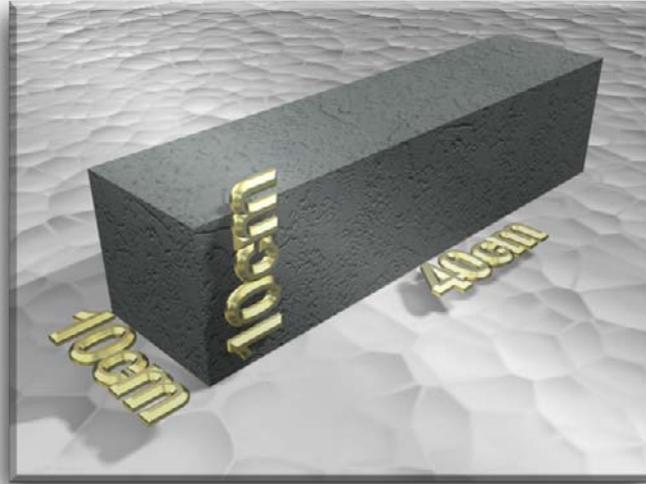
- Η διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων μεταξύ των δύο πειραμάτων οφείλεται στο διαφορετικό σχήμα των δοκιμίων.
- Επιπλέον, πιθανόν έχουμε διαφορετική κατηγορία σκυροδέματος μεταξύ των δύο δοκιμίων, εκτός αν βρισκόμαστε στην περίπτωση απόκλισης της αντοχής κάθε δοκιμίου από τη μέση αντοχή της κατηγορίας στην οποία ανήκει.
- Η μορφή αστοχίας του κυλινδρικού δοκιμίου, στην περίπτωση της ιδανικής αστοχίας θα ήταν παρόμοια με αυτή του κυβικού δοκιμίου, δεδομένης της έντονης εγκάρσιας διόγκωσης στο μέσο του ύψους.
- Αρχικά, και μέχρι φορτίου **20t**, η πλευρική διόγκωση εμφανίζεται μηδενική. Στην πραγματικότητα, όμως, υπήρχε πλευρική διόγκωση του δοκιμίου, η οποία όμως ήταν τόσο μικρή (περίπου 1/5 της διαμήκου βράχυνσης), ώστε ήταν αδύνατο να καταγραφεί από τη μετρητική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε.
- Η πρώτη τιμή της πλευρικής διόγκωσης εμφανίζεται σε φορτίο **30t** και είναι σχετικά μεγάλη, γεγονός που υποδηλώνει την εμφάνιση κατακόρυφης ρηγμάτωσης (βρισκόμαστε πλέον εκτός ελαστικής περιοχής).

ΠΕΙΡΑΜΑ 6^ο (13/2/2003)**ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΘΑΡΗΣ ΚΑΜΨΗΣ ΠΡΙΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ****6.1 Σκοπός του πειράματος**

Σκοπός του πειράματος είναι ο υπολογισμός της εφελκυστικής αντοχής σε κάμψη (*flexural tensile strength*), άοπλου πρισματικού δοκιμίου από σκυρόδεμα και η επιρροή της προσθήκης οπλισμού στη φέρουσα ικανότητα.

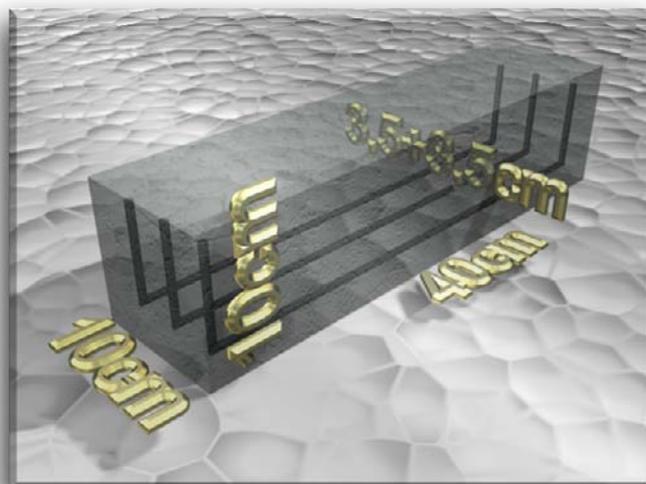
6.2 Δοκίμια

Έγινε παρασκευή 3 δοκιμίων σκυροδέματος τετραγωνικής διατομής διαστάσεων **40×10×10 cm**, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



(Σχέδιο 6α – Δοκίμιο)

Το πρώτο από τα δοκίμια ήταν άοπλο ενώ τα υπόλοιπα δύο ήταν οπλισμένα με διαμήκη οπλισμό στην εφελκόμενη ίνα των **2Φ6** και **3Φ6** λείου χάλυβα αντίστοιχα. Η πραγματική διάμετρος των διαμήκων οπλισμών ήταν **5,6 mm**. Η επικάλυψη των οπλισμών ήταν **1,5 cm** από το άκρο της διατομής και οι αντίστοιχες αποστάσεις μεταξύ των φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Ο οπλισμός διαμορφώθηκε κατάλληλα στα άκρα με άγκυστρα 90° ώστε να υπάρχει επαρκές μήκος αγκύρωσης.



(Σχέδιο 6β – Δοκίμιο οπλισμένο με 3Φ6 ανά 3,5cm)

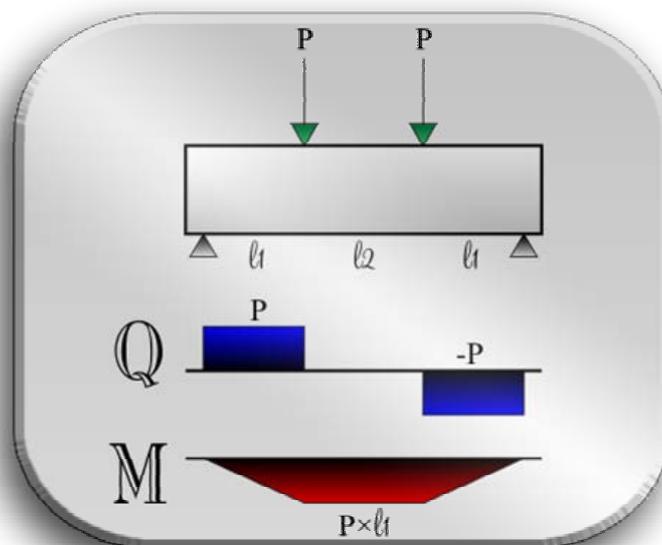
6.3 Πειραματική διάταξη

Τα δοκίμια τοποθετήθηκαν στην αντίστοιχη μηχανή του εργαστηρίου σιδηροπαγούς σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης:



(Φωτογραφία 6α – Πειραματική διάταξη)

Το αντίστοιχο στατικό σύστημα φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



(Σχέδιο 6γ – Στατικό σύστημα)

Χρησιμοποιήθηκε η συγκεκριμένη διάταξη για την επίτευξη καθαρής κάμψης του δοκιμίου. Δεδομένων των διαγραμμάτων των ροπών και τεμνουσών του στατικού συστήματος εξασφαλίζεται μηδενική τέμνουσα στο μεσαίο τρίτο του δοκιμίου. Αυτό συνεπάγεται μηδενική συμβολή της διατμητικής δύναμης κατά την αστοχία.

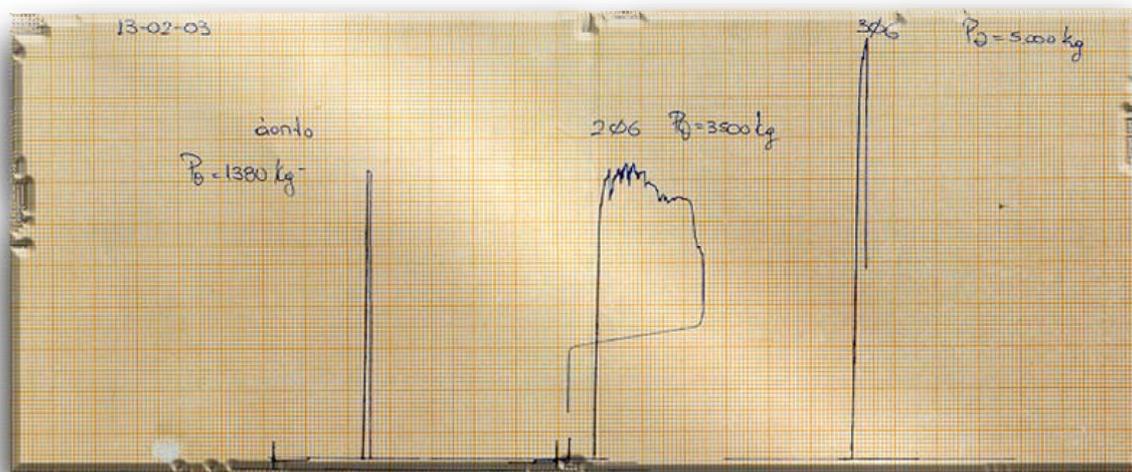


(Φωτογραφία 6β – Πειραματική διάταξη)

Κατά τη διάρκεια του πειράματος η κατακόρυφη βύθιση (βέλος) μετρήθηκε στο μέσο, με κατάλληλη μετρητική διάταξη (μηκυσιόμετρο).

6.4 Αποτελέσματα

Κατά τη διάρκεια του πειράματος λαμβάνονταν ταυτόχρονα ζεύγη τιμών δύναμης – μετατόπισης σε σταθερά διαστήματα (ανά 100 kg) για όλα τα δοκίμια. Τα αποτελέσματα που έδωσε η μηχανή μέτρησης είναι τα εξής:

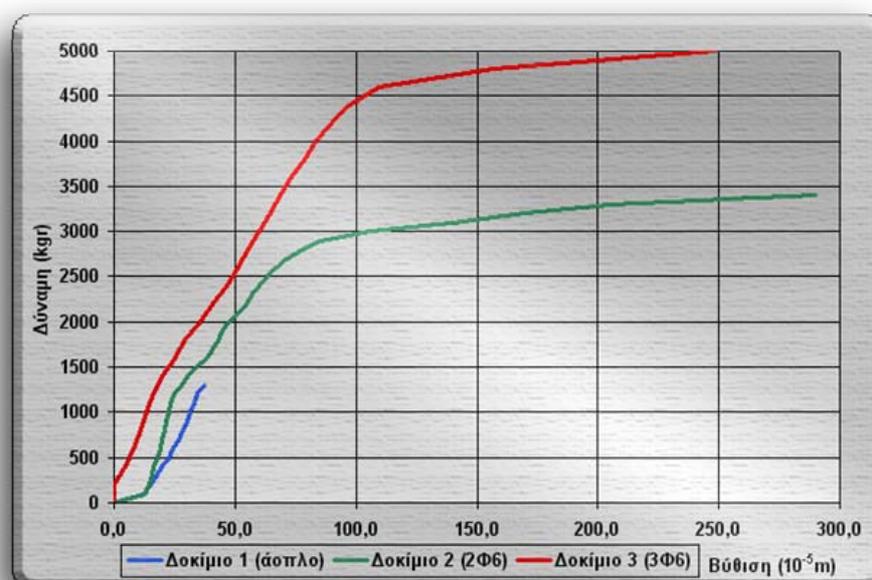


(Διάγραμμα 6α – Δύναμη-παραμόρφωση από τη μηχανή μέτρησης)

Τα ανωτέρω αποτελέσματα τοποθετούνται στους παρακάτω πίνακες από τους οποίους προκύπτουν και τα αντίστοιχα διαγράμματα δύναμης – μετατόπισης:

Πίνακας 6α		
Δοκίμιο 1 (άσπλο)		
Φορτίο (kgr)	Βύθιση (10 ⁻³ m)	Σχετική βύθιση
0	8,5	0,0
10	10,0	1,5
100	20,5	12,0
200	23,5	15,0
300	26,0	17,5
400	28,5	20,0
500	31,0	22,5
600	33,0	24,5
700	35,5	27,0
800	37,0	28,5
900	38,5	30,0
1000	40,0	31,5
1100	41,5	33,0
1200	43,0	34,5
1300	45,5	37,0
1380		

Πίνακας 6β			Πίνακας 6γ		
Δοκίμιο 2 (2Φ6)			Δοκίμιο 3 (3Φ6)		
Φορτίο (kgr)	Βύθιση (10^{-5} m)	Σχετική βύθιση	Φορτίο (kgr)	Βύθιση (10^{-5} m)	Σχετική βύθιση
0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
100	13,0	13,0	200	8,5	0,0
200	14,5	14,5	400	13,0	4,5
300	15,5	15,5	600	16,5	8,0
400	16,5	16,5	800	19,5	11,0
500	18,0	18,0	1000	22,0	13,5
600	19,0	19,0	1200	25,0	16,5
700	20,0	20,0	1400	28,5	20,0
800	21,0	21,0	1600	33,5	25,0
900	21,5	21,5	1800	37,5	29,0
1000	22,5	22,5	2000	44,0	35,5
1100	23,5	23,5	2200	49,5	41,0
1200	25,0	25,0	2400	55,0	46,5
1300	28,0	28,0	2600	59,5	51,0
1400	30,5	30,5	2800	64,0	55,5
1500	34,0	34,0	3000	68,5	60,0
1600	38,5	38,5	3200	73,0	64,5
1700	41,0	41,0	3400	77,5	69,0
1800	43,0	43,0	3600	82,0	73,5
1900	45,0	45,0	3800	87,0	78,5
2000	47,0	47,0	4000	92,0	83,5
2100	52,0	52,0	4200	98,0	89,5
2200	54,5	54,5	4400	105,5	97,0
2300	57,0	57,0	4600	118,0	109,5
2400	60,0	60,0	4800	165,0	156,5
2500	63,0	63,0	5000	257,0	248,5
2600	67,0	67,0			
2700	71,0	71,0			
2800	78,0	78,0			
2900	85,0	85,0			
3000	106,0	106,0			
3100	140,0	140,0			
3200	170,0	170,0			
3300	205,0	205,0			
3400	290,0	290,0			
3500					



(Διάγραμμα 6β – Δύναμη-παραμόρφωση)

Η τάση στην ακραία εφελκόμενη ίνα είναι:
$$\sigma = \frac{M}{I} \times y = \frac{\frac{P}{2} \times \frac{l}{3}}{b \times h^3} \times \frac{h}{2} = \frac{P \times l}{12 b \times h^2}$$

$P_{op} = 1380 \text{ Kg} = \mathbf{0,0138 \text{ MN}} \rightarrow f_{ct-fl} = \frac{0,0138 \times 0,36}{0,1 \times 0,1^2} = 4,968 \text{ MPa} \Rightarrow f_{ct-fl} = \mathbf{5 \text{ MPa}}$

Από τη σχέση 2.1α του ΕΚΟΣ παράγραφος 2.4

$f_{ct} = 0,5 \times f_{ct-fl} \rightarrow f_{ct} = f_{ctm} = 0,5 \times 5 = \mathbf{2,5 \text{ MPa}}$

και βάσει του πίνακα 2.1 του ΕΚΟΣ για $f_{ct} = 2,5$ έχουμε σκυρόδεμα C25/30

Πίνακας 2.2 για C25 $\rightarrow E_{cm} = \mathbf{30,5 \text{ GPa}}$



(Φωτογραφία 6γ – Ρωγή στο δοκίμιο με 3Φ6)

Έλεγχος ποσοστού οπλισμού:

Εμβαδομής = $10 \times 10 = \mathbf{100 \text{ cm}^2}$.

$f_{ctm} = \mathbf{2,5 \text{ MPa}}$.

Ο μαλακός χάλυβας από το προηγούμενο πείραμα (2^ο πείραμα) είναι $\sigma_y = \mathbf{336,8 \text{ MPa}}$.

$\rho_{min} = \frac{1}{2} \times \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = \frac{1}{2} \times \frac{2,5}{336,8} = 0,00371 \Rightarrow \rho_{min} = \mathbf{3,71\%}$ {ΕΚΟΣ §18.3.2}

$\rho_{max} = \mathbf{40\%}$ {ΕΚΟΣ §18.3.2}

- Τα 2Φ6 $\rightarrow \left. \begin{array}{l} E = 2 \times \frac{\pi \times 5,6^2}{4} = 49,26 \text{mm}^2 \\ E_{\text{διατ}} = 100 \times 100 = 10000 \text{mm}^2 \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = 4,926\%$
- Τα 3Φ6 $\rightarrow \left. \begin{array}{l} E = 3 \times \frac{\pi \times 5,6^2}{4} = 73,89 \text{mm}^2 \\ E_{\text{διατ}} = 100 \times 100 = 10000 \text{mm}^2 \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = 7,389\%$

συνεπώς, τα δοκίμια είναι κανονικώς οπλισμένα.

Φέρουσα ικανότητα σε κάμψη:

- Δοκίμιο 2 (2Φ6)

$$\omega = \frac{A_s}{b \times d} \times \frac{f_y}{f_{cm}} = \frac{49,26}{100 \times 85} \times \frac{336,8}{25} = 0,078 \text{ και από τον πίνακα 6.2 (Ζαράρης)} \rightarrow \mu_{sd} = 0,074$$

$$M_y = \mu_{sd} \times b \times d^2 \times f_{cm} \rightarrow M_y = 1,34 \text{ KNm.}$$

Η ροπή που άντεξε οριακά $\rightarrow M_u = 0,12 \text{m} \times 17,5 \text{ KN} \rightarrow M_u = 2,1 \text{ KNm. (57\% περισσότερο)}$

- Δοκίμιο 3 (3Φ6)

$$\omega = \frac{A_s}{b \times d} \times \frac{f_y}{f_{cm}} = \frac{73,89}{100 \times 85} \times \frac{336,8}{25} = 0,117 \text{ και από τον πίνακα 6.2 (Ζαράρης)} \rightarrow \mu_{sd} = 0,108$$

$$M_y = \mu_{sd} \times b \times d^2 \times f_{cm} \rightarrow M_y = 1,95 \text{ KNm.}$$

Η ροπή που άντεξε οριακά $\rightarrow M_u = 0,12 \text{m} \times 25 \text{ KN} \rightarrow M_u = 3,0 \text{ KNm. (54\% περισσότερο)}$

6.5 Παρατηρήσεις–Συμπεράσματα

- Το άοπλο δοκίμιο, όπως αναμενόταν, παρουσίασε ψαθυρή αστοχία χωρίς προειδοποίηση.
- Στα άλλα δύο δοκίμια, μετά τη ρηγμάτωση του εφελκυσμένου σκυροδέματος, διέρρευσαν οι χάλυβες και τελικά είχαμε αστοχία από συντριβή σκυροδέματος στη θλιβόμενη ζώνη.
- Η ρηγμάτωση στα 2 τελευταία δοκίμια δεν ήταν κατανεμημένη, αλλά συγκεντρώθηκε σε 1 μεγάλο ρήγμα εξαιτίας του λείου χάλυβα που χρησιμοποιήθηκε.
- Η αστοχία προήλθε από ένα εφελκυστικό ρήγμα μέσα στην περιοχή καθαρής κάμψης. Η ρωγμή, όπως φαίνεται και στη φωτογραφία 6γ, δεν ήταν κάθετη στον άξονα της δοκού αλλά παρουσίαζε κάποια κλίση. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι το υλικό δεν είναι ομογενές (ιδεατή περίπτωση) αλλά εμφανίζει τοπικές ανομοιογένειες (κενά) που διαφοροποιούν την επιφάνεια θραύσης. Επίσης η αστοχία θα μπορούσε να συμβεί σε οποιοδήποτε σημείο κατά μήκος της περιοχής καθαρής κάμψης. Το γεγονός ότι η θραύση προήλθε στη συγκεκριμένη διατομή είναι συνάρτηση πιθανών μικρορηγματώσεων που προϋπήρχαν από την παρασκευή του δοκιμίου.

6.6 Φωτογραφικό υλικό



(Φωτογραφία 6δ – Μηχανή κάμψης Α.Π.Θ.)

ΠΕΙΡΑΜΑ 7^ο (20/2/2003)**ΚΑΘΑΡΗ ΘΛΙΨΗ ΠΕΡΙΣΦΙΓΜΕΝΟΥ ΜΕ ΣΠΕΙΡΑ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΥ
ΔΟΚΙΜΙΟΥ****7.1 Σκοπός του πειράματος**

Σκοπός του πειράματος είναι η μελέτη της επιρροής και συγκεκριμένα η αύξηση της αντοχής και της πλαστιμότητας του σκυροδέματος υπό την επιρροή εγκάρσιας περισφιξης με σπείρα.

7.2 Δοκίμια

Αρχικά είχαμε ένα κυλινδρικό δοκίμιο διαμέτρου $d=10\text{cm}$ και ύψους $h=30\text{cm}$. Γύρω από αυτό περιβάλλαμε σπείρα από μαλακό λείο χάλυβα διαμέτρου $d_w=5,6\text{mm}$ και βήμα σπείρας $s=3,5\text{cm}$. Η διάμετρος της σπείρας ήταν $D_s=11\text{cm}$. Η σύνδεση του αρχικού δοκιμίου με τη σπείρα έγινε με έγχυση σκυροδέματος EMACO, μέσα σε καλούπι, έτσι ώστε τελικά να προκύψει κύλινδρος διαμέτρου $d=15\text{cm}$. Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος του αρχικού δοκιμίου λαμβάνεται από το πείραμα «Καθαρή θλίψη κυλινδρικού δοκιμίου» (Πείραμα 5^ο) $f_c'=30,2\text{MPa}$. Η τάση διαρροής του χάλυβα λαμβάνεται από το 2^ο πείραμα ίση με $f_y=336,8\text{MPa}$. Η αντοχή του EMACO

προσδιορίστηκε από το πείραμα που ακολουθεί του παρόντος, δηλαδή το 8^ο πείραμα και ευρέθηκε $f_{c,EMACO}=24,4\text{MPa}$.



(Φωτογραφία 7α – Δοκίμιο μετά τη θραύση)

7.3 Πειραματική διάταξη

Το δοκίμιο τοποθετήθηκε στη μηχανή σύνθλιψης του εργαστηρίου σιδηροπαγούς σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και η εισαγωγή του φορτίου γινόταν μέσω ενός *LOAD CELL* που τοποθετήθηκε στην κεφαλή του δοκιμίου. Ένα φύλλο χαρτιού τοποθετήθηκε στην διεπιφάνεια μηχανής θλίψης – *LOAD CELL* με σκοπό τον έλεγχο της απλής επαφής της μηχανής θλίψης με το *LOAD – CELL* χωρίς άσκηση φορτίου. Περιμετρικά της μηχανής τοποθετήθηκε προστατευτικό πλέγμα για την αποφυγή πιθανού τραυματισμού από την αναμενόμενη εκρηκτική αστοχία του δοκιμίου. Στη διάρκεια του πειράματος γινόταν καταγραφή της κατακόρυφης βράχυνσης και της εγκάρσιας διόγκωσης του δοκιμίου από Η/Υ, μέσω κατάλληλων αισθητήρων. Υποβλήθηκε σε σύνθλιψη με τη βοήθεια πλακών φόρτισης. Η κλίμακα της μηχανής ήταν κατάλληλα προσαρμοσμένη για τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

Ο χρόνος φόρτισης προσδιορίστηκε στα **15min**.



(Φωτογραφία 7β – Πειραματική διάταξη)

7.4 Αποτελέσματα

Το φορτίο θραύσης μετρήθηκε $P_{\max}=68\text{tn}$. Οπότε, η αντοχή σε καθαρή θλίψη είναι

$$f_{cc}' = \frac{680000}{\pi \times 150^2} \Rightarrow f_{cc}' = 38,5\text{MPa}$$

Αναλυτικός υπολογισμός:

Για εκτίμηση της αντοχής του περισφιγμένου με κυκλική σπείρα σκυροδέματος χρησιμοποιούμε τη σχέση

$$f_{cc}' = f_c' + 4,1 \times K_e \times f_l, \text{ όπου } f_l = \frac{2f_y \times A_{s,p}}{d_s \times s}, K_e = \text{συντελεστής αποτελεσματικότητας περισφιξης} = 0,95$$

για σπείρα. Αντικαθιστώντας έχουμε

$$f_{cc}' = 30,2 + 0,95 \times 8,2 \times \frac{336,8 \times \frac{\pi \times 0,0056^2}{4}}{0,11 \times 0,035} \Rightarrow f_{cc}' = 47,0\text{MPa}$$

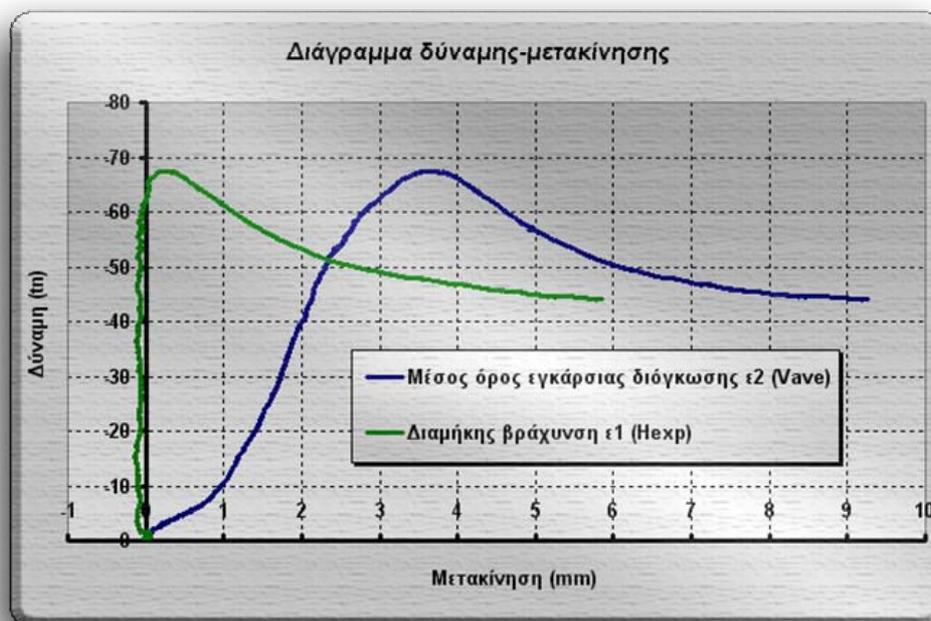


(Φωτογραφία 7γ – Θραύση του δοκμίου)



(Φωτογραφία 7δ – Κοντινή φωτογραφία της θραύσης)

Ακολουθεί πίνακας και διάγραμμα με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του πειράματος.



(Διάγραμμα 7α – Αποτελέσματα της μετρητικής διάταξης)

Σημείωση:

Το παραπάνω διάγραμμα το οποίο προκύπτει από τα δεδομένα που καταγράφηκαν, είναι λανθασμένο, επειδή κατά τη διάρκεια του πειράματος, λόγω της αποφλοιώσης, χάσαμε τις μετρήσεις, γεγονός που φαίνεται από την αλλαγή προσήμου της ϵ_1 .

7.5 Παρατηρήσεις

- Οι τιμές της αντοχής που υπολογίσαμε με τους δύο τρόπους διαφέρουν σε ποσοστό $\frac{47,0}{38,5} - 1 = 22\%$
- Κατά τη διάρκεια της φόρτισης παρουσιάστηκε πρόωρη ρηγματώση περιμετρικά στο δοκίμιο η οποία πιθανόν να οφείλεται σε ολίσθηση της σπείρας κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης του δοκιμίου.
- Η μετρούμενη αντοχή βρέθηκε μικρότερη σε σχέση με την αναλυτικά υπολογιζόμενη, γεγονός που αποδίδεται στο ότι η κατασκευή του περισφιγμένου δοκιμίου δεν έγινε μονοκόμματα αλλά η σπείρα τοποθετήθηκε στον ήδη υπάρχοντα πυρήνα σκυροδέματος. Συνεπώς, δημιουργήθηκε μια διεπιφάνεια μεταβολής των μηχανικών χαρακτηριστικών, η οποία οδήγησε στη μείωση της αντοχής.
- Επιπλέον οι αντοχές για τον χάλυβα της σπείρας και το σκυρόδεμα ελήφθησαν από προηγούμενα πειράματα, γεγονός που αποτελεί έναν επιπλέον παράγοντα αβεβαιότητας.

- Τα διαδοχικά στάδια μέχρι την αστοχία ήταν τα εξής: Αρχικά παρουσιάστηκε αποφλοιώση του σκυροδέματος επικάλυψης, οπότε και τέθηκαν εκτός λειτουργίας οι μετρητές των παραμορφώσεων. Στη συνέχεια, και με περαιτέρω αύξηση του φορτίου είχαμε συνεχή διόγκωση του πυρήνα, λόγω της συντριβής του. Ακολούθησε η διαρροή και μετά η κράτυνση του χάλυβα της σπείρας με συνακόλουθη αύξηση του φορτίου. Σε κάποια στιγμή είχαμε μεταβολή του προσήμου της μεταβολής της φόρτισης (αποφόρτιση) όπου είναι και το θεωρητικό σημείο αστοχίας του δοκιμίου.

ΠΕΙΡΑΜΑ 8^ο (20/2/2003)**ΚΑΘΑΡΗ ΘΛΙΨΗ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΑΠΟ ΕΜΑCO****8.1 Σκοπός του πειράματος**

Σκοπός του πειράματος είναι η εύρεση της αντοχής σε θλίψη του ΕΜΑCO που χρησιμοποιήθηκε στο ακριβώς προηγούμενο πείραμα (7^ο πείραμα).

8.2 Δοκίμια

Ένα κυλινδρικό δοκίμιο διαστάσεων $d=7,5\text{cm}$ και $h=15,5\text{cm}$ (όχι πρότυπες διαστάσεις). Η ηλικία του δοκιμίου ήταν **2 εβδομάδες**.

8.3 Πειραματική διάταξη

Το δοκίμιο τοποθετήθηκε στη μηχανή σύνθλιψης του εργαστηρίου σιδηροπαγούς σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και υποβλήθηκε σε σύνθλιψη. Η κλίμακα της μηχανής ήταν κατάλληλα προσαρμοσμένη για τα αναμενόμενα αποτελέσματα.



(Φωτογραφία 8α – Πειραματική διάταξη και δοκίμιο)

8.4 Αποτελέσματα

Το κυλινδρικό δοκίμιο είχε φορτίο θραύσης $P_{\max}=10,8\text{tn}$, το οποίο αντιστοιχεί σε $f_u = \frac{108000}{\pi \times 75^2} \Rightarrow$

$$f_u = 24,4 \text{ MPa}$$



(Φωτογραφία 8β – Δοκίμιο μετά τη θραύση)

ΠΕΙΡΑΜΑ 9^ο (20/2/2003)**ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ ΙΝΟΥΪΦΑΣΜΑΤΟΣ (FRP)****9.1 Σκοπός του πειράματος**

Σκοπός του πειράματος είναι η εύρεση της εφελκυστικής αντοχής ινούφασματος.

9.2 Δοκίμια

Το δοκίμιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν κομμάτι ινούφασματος με επάλειψη ρητίνης στην μία πλευρά του δοκιμίου. Ο ρόλος της ρητίνης είναι να μεταφέρει τις εντάσεις ανάμεσα στους οπλισμούς από ίνες και στο περιβάλλον σκυρόδεμα και να προστατεύει τις ίνες από περιβαλλοντικές και μηχανικές καταστροφές. Το ύψος του χρησιμοποιηθέντος δοκιμίου ήταν **H=122,9mm** και το ονομαστικό πάχος του FRP (χωρίς τη ρητίνη που μπορεί να είναι και ανομοιομορφη) όπως δόθηκε από τον κατασκευαστή ήταν **0,16mm**. Το πλάτος του δοκιμίου ήταν μεταβλητό καθ' ύψος με τιμές **45,9/47,1/48,4 mm** στην κεφαλή, μέσον και πόδα αντίστοιχα του δοκιμίου.

9.3 Πειραματική διάταξη

Το δοκίμιο υποβλήθηκε σε εφελκυσμό στην αντίστοιχη μηχανή του εργαστηρίου σιδηροπαγούς σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, μέχρι την θραύση του. Ειδική φροντίδα δόθηκε για την κατακόρυφη διάταξη του δοκιμίου με στόχο τον καθαρό εφελκυσμό του.



(Φωτογραφία 9α – Φορτιστική διάταξη)

9.4 Αποτελέσματα

Λόγω της κακής σφήνωσης του δοκιμίου στις δαγκάνες της μηχανής εφελκυσμού παρατηρήθηκε πρόωρη θραύση του με κατακόρυφη ρωγμή στο μέσον του για φορτίο **P=980kgr**. Από τη στιγμή αυτή και μετά τα δύο τμήματα της αρχικά ενιαίας διατομής λειτουργούν ξεχωριστά. Για φορτίο **1250kgr** παρατηρήθηκε πλήρης θραύση του αριστερού μισού δοκιμίου και επακολούθησε θραύση και του ανέπαφου δεξιού κομματιού. Βάσει των ανωτέρω αποτελεσμάτων η αντοχή του ινοϋφάσματος σε εφελκυσμό προκύπτει: $\sigma_{\theta} = \frac{1250}{0,0471 \times 0,00016 \times 10^5} \Rightarrow \sigma_{\theta} = 1659 \text{MPa}$. Η αναμενόμενη αντοχή σε εφελκυσμό ανθρακονήματος είναι **3500MPa**.



(Φωτογραφία 9β – Δοκίμιο μετά τη θραύση)

9.5 Παρατηρήσεις

- Η μετρούμενη αντοχή είναι σχεδόν η μισή της αναμενόμενης γεγονός που μπορεί εν μέρει να εξηγηθεί από την πρόωρη αστοχία του δοκιμίου και τη μετέπειτα λειτουργία μόνο του μισού πλάτους του.
- Από πείραμα που ακολούθησε παρατηρήθηκε ότι η συμπεριφορά του FRP είναι ελαστική για μικρές παραμορφώσεις (18^ο πείραμα).

ΠΕΙΡΑΜΑ 10^ο (27/2/2003)

**ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΠΡΙΣΜΑΤΙΚΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΑΟΠΛΟΥ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΛΟΞΗ ΤΟΜΗ**

10.1 Σκοπός του πειράματος

Σκοπός του πειράματος είναι ο έλεγχος της αποτελεσματικότητας της συγκόλλησης με εποξειδική ρητίνη κομμένων τμημάτων δοκιμίων από άοπλο σκυρόδεμα.

10.2 Δοκίμια

Κατασκευάστηκαν 3 δοκίμια άοπλου σκυροδέματος, τα οποία φαίνονται στις κάτωθι φωτογραφίες: Με ειδικό πριόνι τα δοκίμια κόπηκαν σε συγκεκριμένη επίπεδη επιφάνεια αστοχίας, με κλίση ως προς τη διεύθυνση φόρτισης που επακολούθησε. Στη συνέχεια, επανακολλήθηκαν τα δοκίμια με τη βοήθεια εποξειδικής ρητίνης. Τα χαρακτηριστικά των επιφανειών αστοχίας των δοκιμίων ήταν τα παρακάτω:

<u>1ο δοκίμιο:</u>	Μήκος: 13,5 cm,	Πλάτος: 10 cm,	κλίση ως προς την οριζόντια: 57°.
<u>2ο δοκίμιο:</u>	Μήκος: 17,0 cm,	Πλάτος: 10 cm,	κλίση ως προς την οριζόντια: 57°.
<u>3ο δοκίμιο:</u>	Μήκος: 30,5 cm,	Πλάτος: 10 cm,	κλίση ως προς την οριζόντια: 70°.



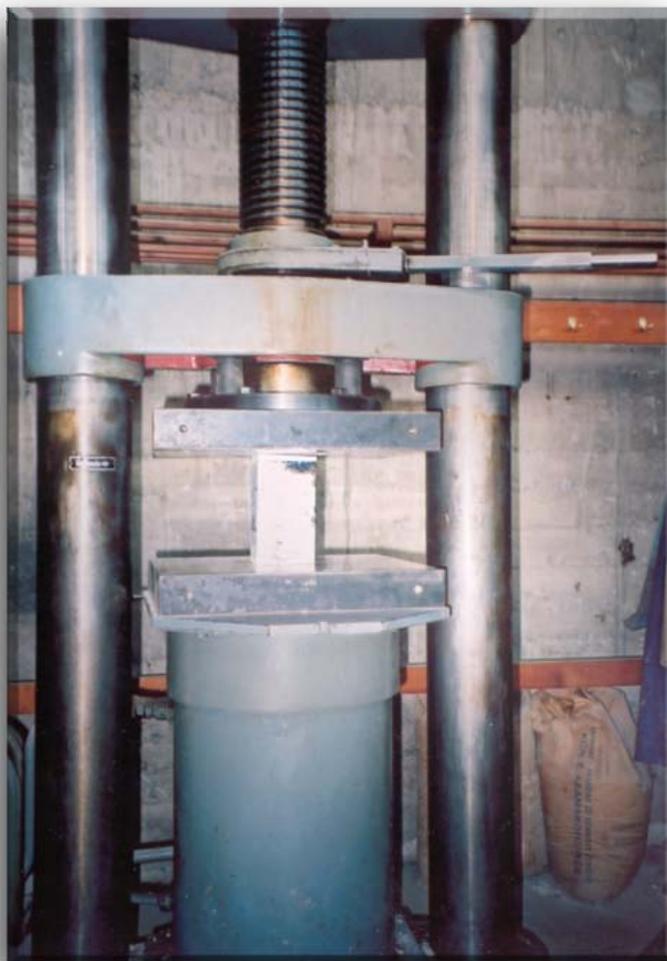
(Φωτογραφία 10α – Τα τρία δοκίμια)



(Φωτογραφία 10β – Το ένα από τα τρία δοκίμια)

10.3 Πειραματική διάταξη

Τα δοκίμια τοποθετήθηκαν στη μηχανή θλίψης του εργαστηρίου σιδηροπαγούς σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, στο κέντρο των πλακών επιβολής φόρτισης με τον διαμήκη άξονά τους κατά την κατακόρυφη έννοια. Στη συνέχεια, έγινε επιβολή φόρτισης, χωρίς να μετρώνται οι παραμορφώσεις.



(Φωτογραφία 10γ – Πειραματική διάταξη)

10.4 Αποτελέσματα

Και τα τρία δοκίμια δεν αστόχησαν από διατμητική αστοχία της συγκολλημένης επιφάνειας, όπως ίσως ήταν επιθυμητό. Αυτό φανερώνει την αποτελεσματικότητα της συγκόλλησης με εποξειδική ρητίνη στα συγκεκριμένα δοκίμια.

Μόνο το τρίτο δοκίμιο εμφανίζει ίχνη επιρροής της συγκόλλησης στη μορφή αστοχίας, ενώ τα υπόλοιπα δύο εμφάνισαν πολύπλοκη μορφή αστοχίας σε τρισδιάστατο επίπεδο σαν να επρόκειτο για ομογενές υλικό χωρίς προϋπάρχουσα επιφάνεια αστοχίας.

Τα φορτία αστοχίας είναι τα εξής:

1^ο δοκίμιο:

19,0 t $\rightarrow \sigma_u = 25,85$ MPa.

$$\text{Κατά AASHTO: } \begin{cases} \sigma_{\lambda\omicron\zeta\delta} = \sigma_{u1} \times \cos 57^\circ = 14,08 \text{ MPa} \\ \tau_{\lambda\omicron\zeta\delta} = \sigma_{u1} \times \sin 57^\circ = 21,67 \text{ MPa} \end{cases}$$

2^ο δοκίμιο:

37,5 t $\rightarrow \sigma_u = 40,50$ MPa.

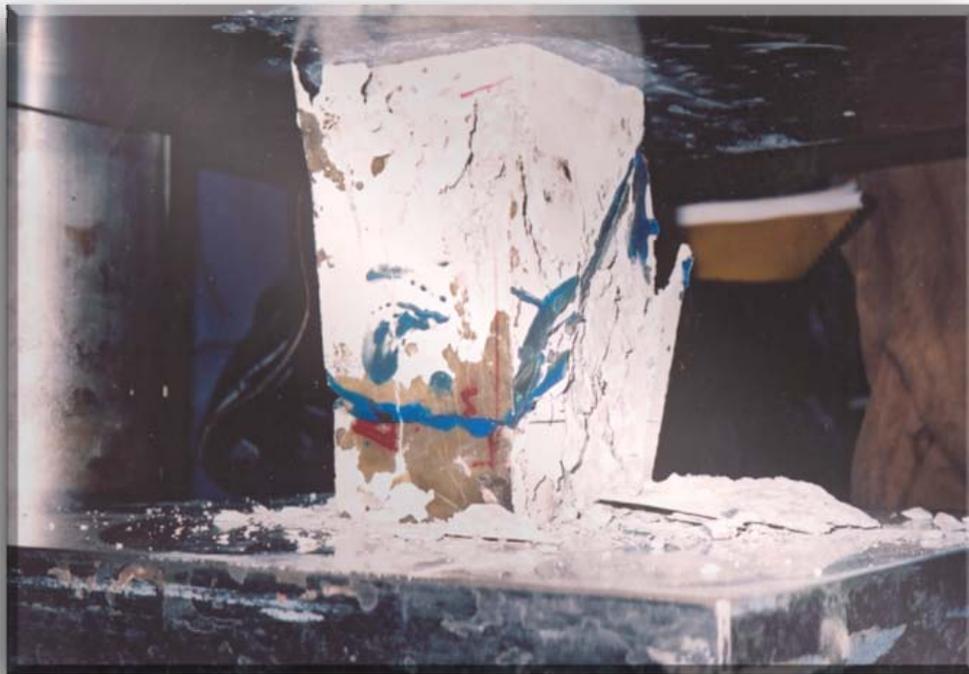
$$\text{Κατά AASHTO: } \begin{cases} \sigma_{\lambda\omicron\zeta\delta} = \sigma_{u2} \times \cos 57^\circ = 22,06 \text{ MPa} \\ \tau_{\lambda\omicron\zeta\delta} = \sigma_{u2} \times \sin 57^\circ = 33,97 \text{ MPa} \end{cases}$$

3^ο δοκίμιο:

28,5 t $\rightarrow \sigma_u = 27,33$ MPa.

$$\text{Κατά AASHTO: } \begin{cases} \sigma_{\lambda\omicron\zeta\delta} = \sigma_{u3} \times \cos 70^\circ = 9,35 \text{ MPa} \\ \tau_{\lambda\omicron\zeta\delta} = \sigma_{u3} \times \sin 70^\circ = 25,68 \text{ MPa} \end{cases}$$

Η μέση τάση (από τα $\tau_{\lambda\omicron\zeta\delta}$) ήταν **27,1 MPa**.



(Φωτογραφία 10δ – Θραύση δοκμίου)



(Φωτογραφία 10ε – Θραύση δοκμίου)

10.5 Παρατηρήσεις

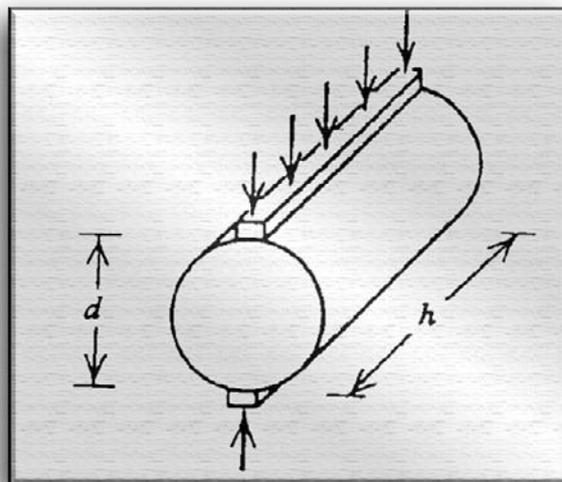
- Η επιφάνεια έδρασης του πρώτου δοκμίου δεν ήταν ομοιόμορφη, αλλά παρουσίαζε μια κλίση ως προς την πάνω πλάκα φόρτισης, σε αντίθεση με το τρίτο δοκίμιο, το οποίο είχε μια αρκετά καλή και ομοιόμορφη επιφάνεια επαφής.
- Τελικά, η διδιάστατη επιφάνεια αστοχίας που προκαλέσαμε, δεν επηρέασε τη μορφή αστοχίας.

ΠΕΙΡΑΜΑ 11^ο (27/2/2003)**ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
SPLITTING TEST (BRAZILIAN TEST) – ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ
ΔΙΑΡΡΗΞΗ****11.1 Σκοπός του πειράματος**

Σκοπός είναι η εύρεση της εφελκυστικής αντοχής σκυροδέματος λόγω διάρρηξης και η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της συγκόλλησης διερρηγμένου δοκιμίου, επανακολλημένου με εποξειδική ρητίνη.

11.2 Δοκίμια

Παρασκευάστηκαν 2 κυλινδρικά δοκίμια από άοπλο σκυρόδεμα διαστάσεων **d=15cm** και **h=30cm** όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:

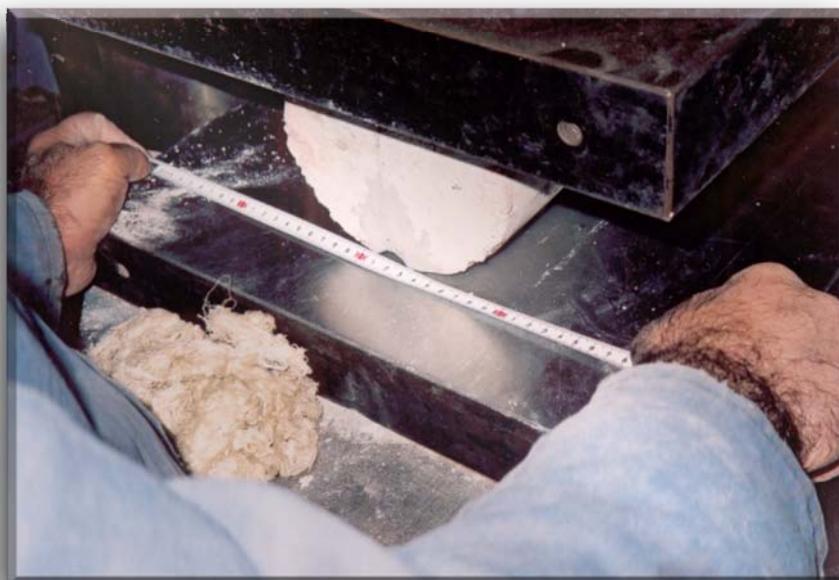


(Σχήμα 11a – Δοκίμια)

Το ένα από τα δύο δοκίμια έχει ήδη υποστεί διάρρηξη κατά την έννοια του διαμήκους άξονα και έχει επανακολληθεί με εποξειδική ρητίνη στην επιφάνεια αστοχίας. Η ρητίνη που χρησιμοποιήθηκε είχε τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτήν που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα εξόλκευσης.

11.3 Πειραματική διάταξη

Χρησιμοποιήθηκε η αντίστοιχη μηχανή του εργαστηρίου σιδηροπαγούς σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, όπως φαίνεται και στην φωτογραφία. Τα δοκίμια εδράστηκαν κατά την παράπλευρη επιφάνεια του κυλίνδρου και η φόρτιση εφαρμόστηκε κατά μήκος της γενέτειρας του κυλίνδρου, ενώ το δοκίμιο δεν διαμορφώθηκε κατάλληλα στη θέση έδρασης του στη μηχανή.



(Φωτογραφία 11a – Πειραματική διάταξη)

11.4 Αποτελέσματα

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα φορτία αστοχίας των 2 δοκιμών από διάρρηξη:

Πίνακας 11γ	
Φορτίο αστοχίας P	
Δοκίμιο 1 (νέο)	21,5 t
Δοκίμιο 2 (επανακολλημένο)	8,6 t

Παρακάτω υπολογίζεται η εφελκυστική αντοχή σε διάρρηξη των 2 δοκιμών, όπως αυτή προκύπτει πειραματικά και γίνεται σύγκριση με την τιμή που δίνει μια προσεγγιστική σχέση υπολογισμού της.

Εφελκυστική αντοχή σε διάρρηξη – Πειραματικός Προσδιορισμός:

Βάσει της θεωρίας ελαστικότητας ισχύει ότι:

$$f_{ct,sp} = \frac{2 \times P_{\theta\rho}}{\pi \times h \times d}$$

όπου:

$P_{\theta\rho}$: φορτίο θραύσης [MPa]

h: ύψος δοκιμίου [m]

d: διάμετρος δοκιμίου [m]

$$\text{Δοκίμιο 1: } f_{ct,sp} = \frac{2 \times 215 \times 10^{-3}}{\pi \times 0,30 \times 0,15} = 3,042 \text{ MPa}$$

$$\text{Δοκίμιο 2: } f_{ct,sp} = \frac{2 \times 86 \times 10^{-3}}{\pi \times 0,30 \times 0,15} = 1,217 \text{ MPa}$$

Εφελκυστική αντοχή σε διάρρηξη – Προσεγγιστικός Προσδιορισμός:

Η κυλινδρική εφελκυστική αντοχή σε διάρρηξη $f_{ct,sp}$ συνήθως κυμαίνεται στο **50%-75%** της μέσης εφελκυστικής αντοχής σε κάμψη $f_{ct,fl}$. Η διαφορά αυτή οφείλεται κυρίως στην μη γραμμική κατανομή των τάσεων του καμπτόμενου δοκιμίου κατά την επερχόμενη κάμψη. Η σχέση που δίνει την εφελκυστική αντοχή λόγω κάμψης είναι:

$$f_{ct,fl} = K \times \sqrt{f'_c}$$

όπου:

f_c : η αντοχή σε θλίψη κυλινδρικού δοκιμίου σε psi ($1 \text{ psi} = 0,00689 \text{ N/mm}^2$)

K: συντελεστής που κυμαίνεται μεταξύ 7~13.

Η περιοχή διακύμανσης του $f_{ct,sp}$ είναι :

$$f_{ct,sp,min} = 0,5 \times 7 \sqrt{\frac{25}{0,00689}} \times 0,00689 = 1,453 \text{ MPa}$$

$$f_{ct,sp,max} = 0,75 \times 13 \sqrt{\frac{25}{0,00689}} \times 0,00689 = 4,047 \text{ MPa}$$



(Φωτογραφία 11β – Θράυση του δοκιμίου)

11.5 Παρατηρήσεις

- Κατά τη σταδιακή φόρτιση των δοκιμίων η θραύση επέρχεται απροειδοποίητα, γεγονός που επιβεβαιώνει την ψαθυρή συμπεριφορά του σκυροδέματος σε διάρρηξη-εφελκυσμό.
- Η προκύπτουσα αντοχή διάρρηξης από εφελκυσμό του πρώτου δοκιμίου βρίσκεται μέσα στην περιοχή τιμών που δίνει η προσεγγιστική σχέση υπολογισμού.
- Είναι αξιοσημείωτη η πτώση της αντοχής του δεύτερου δοκιμίου (επανακολλημένου). Η ποσοστιαία μεταβολή της αντοχής είναι:

$$\frac{3,042 - 1,217}{3,042} = 60\%$$

- Και στις 2 περιπτώσεις η επιφάνεια αστοχίας ταυτίζεται σχεδόν με το επίπεδο φόρτισης των δοκιμίων. Ειδικότερα στην περίπτωση του δεύτερου δοκιμίου (επανακολλημένου) η νέα επιφάνεια αστοχίας δεν ταυτίζεται απόλυτα με την αρχική. Όπως φαίνεται και στις φωτογραφίες η επιφάνεια θραύσης διέρχεται τόσο από την εποξειδική ρητίνη όσο και από τα 2 τμήματα του δοκιμίου που αρχικά συγκολλήθηκαν, γεγονός που φανερώνει την επιτυχή εφαρμογή της ρητίνης.
- Η πτώση της αντοχής στο επικολλημένο δοκίμιο, ενδεχομένως να προήλθε από ήδη υπάρχοντα μικρορήγματα που δημιουργήθηκαν κατά την αρχική διάρρηξη του δοκιμίου στη γειτονιά της επιφάνειας θραύσης. Τα ρήγματα αυτά δεν έκλεισαν μετά την εφαρμογή της ρητίνης και αποτέλεσαν ασθενείς ζώνες, από τις οποίες πιθανόν να ξεκίνησε η τελική διάρρηξη.
- Ο ΕΚΟΣ στην §2.4 καθορίζει ότι η αντοχή σε εφελκυσμό f_{ct} καθορίζεται από τις αντοχές σε διάρρηξη και σε κάμψη με τις παρακάτω σχέσεις:

$$f_{ct} = 0.50 \cdot f_{ct,fl}$$

$$\text{ή } f_{ct} = 0.90 f_{ct,sp}$$

11.6 Φωτογραφικό Υλικό



(Φωτογραφία 11β – Θραύση του δοκιμίου)

ΠΕΙΡΑΜΑ 12^ο (27/2/2003)

**ΠΕΙΡΑΜΑ ΕΞΟΛΚΕΥΣΗΣ ΡΑΒΔΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΑΠΟ ΔΟΚΙΜΙΟ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

12.1 Σκοπός του πειράματος

Σκοπός του πειράματος είναι ο προσδιορισμός της αποτελεσματικότητας της συγκόλλησης ράβδου οπλισμού σε υπάρχουσα οπή συγκεκριμένου βάθους σε δοκίμια σκυροδέματος. Η συγκόλληση έγινε με ρητίνη.

Τα πιθανά σενάρια αστοχίας που μπορούν να εμφανιστούν είναι τα εξής:

- Θραύση του οπλισμού από εφελκυσμό, οπότε η εφελκυστική αντοχή του οπλισμού είναι μικρότερη από την αντοχή συνάφειας. Με τον τρόπο αυτό θα έχουμε ένα κάτω όριο αντοχής αλλά δεν προσδιορίζεται η οριακή τάση συνάφειας.
- Ολίσθηση σε μία από τις παρακάτω διεπιφάνειες :
 Διεπιφάνεια μεταξύ οπλισμού και ρητίνης
 Διεπιφάνεια μεταξύ ρητίνης και σκυροδέματος.
 Επειδή οι διεπιφάνειες είναι κοντά η μία στην άλλη λόγω του μικρού μεγέθους της οπής είναι πιθανό να μην έχουμε ξεκάθαρη επιφάνεια αστοχίας, αλλά μία σύνθετη εικόνα αστοχίας.
- Επιφάνεια αστοχίας μορφής κώνου μέσα στο δοκίμιο σκυροδέματος και μακριά από τον οπλισμό, μορφή που δεν έχει σχέση με την συνάφεια που εξετάζουμε.

12.2 Δοκίμια

Χρησιμοποιήθηκαν 3 δοκίμια με διάμετρο οπής **10mm** και επιπλέον είχαν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

1^ο δοκίμιο: Το δοκίμιο ήταν κυλινδρικό με διαστάσεις **H=30cm** και **d=15cm**. Ο χάλυβας ήταν διαμέτρου **6mm** με νευρώσεις. Το μήκος αγκύρωσης ήταν **170mm**.

2^ο δοκίμιο: Το δοκίμιο ήταν κυλινδρικό με διαστάσεις **H=30cm** και **d=15cm**. Ο χάλυβας ήταν λείος διαμέτρου **5,6mm**. Το μήκος αγκύρωσης ήταν **200mm**.

3^ο δοκίμιο: Το δοκίμιο ήταν κυβικό ακμής **15cm**. Ο χάλυβας ήταν διαμέτρου **6mm** με νευρώσεις. Το μήκος αγκύρωσης ήταν **140mm**.



(Φωτογραφία 12a – Δοκίμιο)

12.3 Πειραματική διάταξη

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκε η κατάλληλη μηχανή του εργαστηρίου σιδηροπαγούς σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, φωτογραφία της οποίας φαίνεται παρακάτω:



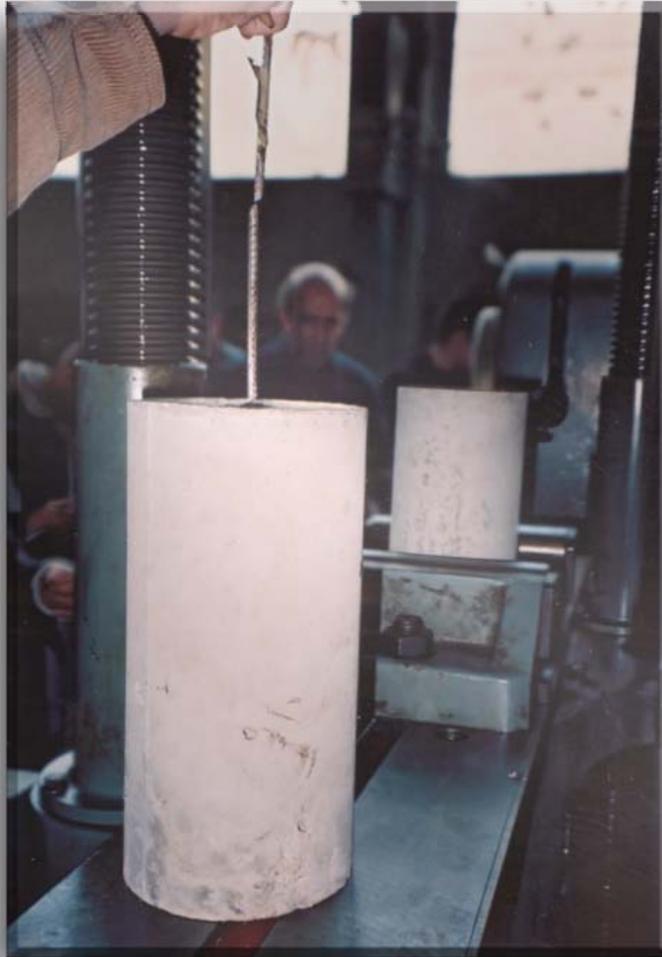
(Φωτογραφία 12β – Πειραματική διάταξη εξόλκευσης)

12.4 Αποτελέσματα

1^ο δοκίμιο: Παρουσιάστηκε θραύση του χάλυβα από εφελκυσμό. Το φορτίο θραύσης ήταν **$R_{θρ}=2100\text{kgf}$** οπότε **$\sigma_{θρ}=742,7\text{MPa}$** . (1^ο σενάριο αστοχίας)

2^ο δοκίμιο: Παρουσιάστηκε εξόλκευση της ράβδου. Η ολίσθηση μετρήθηκε **16cm**. Το μέγιστο φορτίο μετρήθηκε **1650kgf** ενώ μετά την αρχική ολίσθηση ακολούθησε πτώση του φορτίου (φθίνων κλάδος) με αυξανόμενη ολίσθηση. Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν μέχρι το φορτίο των **800kgf** λόγω αδυναμίας της μηχανής για περαιτέρω αύξηση της μετακίνησης. (2^ο σενάριο αστοχίας)

3^ο δοκίμιο: Παρουσιάστηκε θραύση του χάλυβα από εφελκυσμό. Το φορτίο θραύσης ήταν $P_{\theta\rho}=2200\text{kgr}$ οπότε $\sigma_{\theta\rho}=778,1\text{MPa}$. (1^ο σενάριο αστοχίας)



(Φωτογραφία 12γ – Αστοχία της ράβδου)

12.5 Παρατηρήσεις

- Λόγω των παρατηρούμενων μορφών αστοχίας δεν κατέστη δυνατό να προσδιορίσουμε την οριακή τάση συνάφειας για το 1^ο και 3^ο δοκίμιο.
- Στο 2^ο δοκίμιο κάνοντας την παραδοχή ομοιόμορφης κατανομής των τάσεων συνάφειας μεταξύ χάλυβα και ρητίνης υπολογίζουμε μία οριακή τάση συνάφειας ως εξής:

$$\tau_{op} = \frac{16500}{(\pi \times 5,6 \times 200)} \Rightarrow \tau_{op} = 4,69\text{MPa}$$

ΠΕΙΡΑΜΑ 13α (27/2/2003)**ΣΥΝΘΛΙΨΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΜΕ 1 ΣΤΡΩΣΗ FRP****13α.1 Σκοπός του πειράματος**

Σκοπός του πειράματος είναι ο προσδιορισμός της αντοχής σε **καθαρή θλίψη** παρόμοιου δοκιμίου με αυτό του πειράματος 13β, αλλά με 1 μόνο στρώση FRP. Το πείραμα 13α προηγήθηκε χρονικά του πειράματος 13β.

13α.2 Δοκίμια

Αρχικά είχαμε ένα κυλινδρικό δοκίμιο διαμέτρου **d=15cm** και ύψους **h=30cm** γύρω από το οποίο περιβάλλαμε ινοϋφασμα σε **μία στρώση** πάχους **0,16mm**. Η διεύθυνση των ινών του ινοϋφάσματος ήταν κατά την περίμετρο του δοκιμίου, προκειμένου να αναπτυχθεί η ζητούμενη περίσφιξη. Προκειμένου να επικολληθεί το ινοϋφασμα στο δοκίμιο έγινε επάλειψη με εποξειδική ρητίνη στο ινοϋφασμα και στη συνέχεια εφαρμογή του περιμετρικά και σε όλο το ύψος του δοκιμίου με εφαρμογή εξωτερικής πίεσης.



(Φωτογραφία 13α.α – Δοκίμιο μετά τη θραύση)

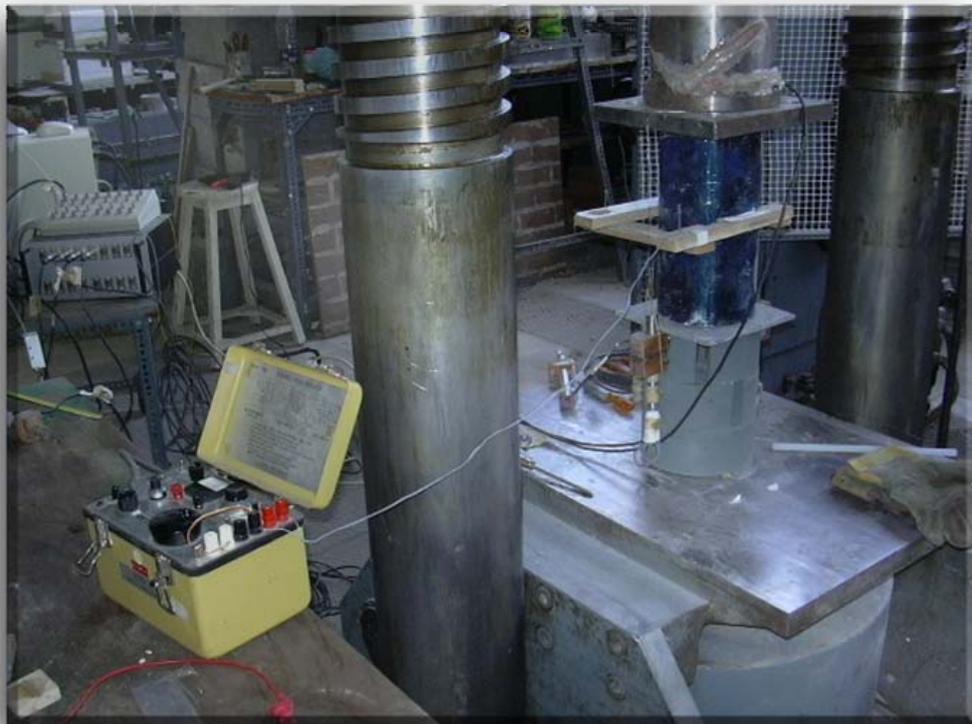
13α.3 Πειραματική διάταξη

Το δοκίμιο τοποθετήθηκε στη μηχανή σύνθλιψης του εργαστηρίου σιδηροπαγούς σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και η εισαγωγή του φορτίου γινόταν μέσω ενός LOAD CELL που τοποθετήθηκε στην κεφαλή του δοκιμίου. Περιμετρικά της μηχανής τοποθετήθηκε προστατευτικό πλέγμα για την αποφυγή πιθανού τραυματισμού από την αναμενόμενη εκρηκτική αστοχία του δοκιμίου. Στη διάρκεια του πειράματος γινόταν καταγραφή της κατακόρυφης βράχυνσης και της εγκάρσιας διόγκωσης του δοκιμίου από Η/Υ, μέσω κατάλληλων αισθητήρων. Παράλληλα μετρούσαμε και την περιμετρική επιμήκυνση στην εξωτερική στρώση του FRP μέσω ταινίας επιμήκυνσης. Υποβλήθηκε σε σύνθλιψη με τη βοήθεια πλακών φόρτισης. Η κλίμακα της μηχανής ήταν κατάλληλα προσαρμοσμένη για τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

Ο χρόνος φόρτισης προσδιορίστηκε στα 15min.



(Φωτογραφία 13α.β – Πειραματική διάταξη & ηλεκτρονικός υπολογιστής)



(Φωτογραφία 13α.γ – Πειραματική διάταξη)



(Φωτογραφία 13α.δ – Λεπτομέρεια πειραματικής διάταξης)

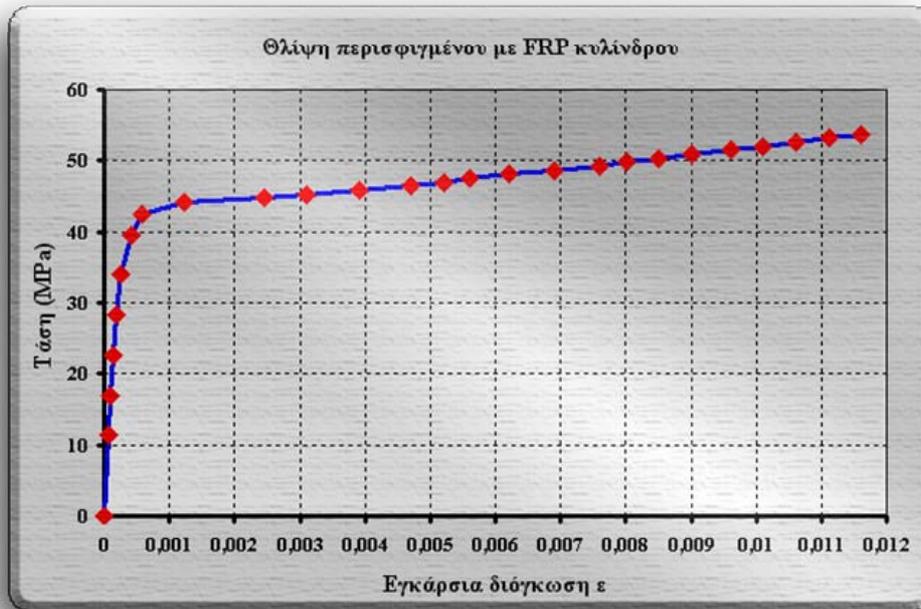
13α.4 Αποτελέσματα

Το δοκίμιο, που υποβλήθηκε σε καθαρή θλίψη, έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα, τα οποία παρουσιάζουμε για λόγους σύγκρισης με τα αντίστοιχα του πειράματος 13β, που θα ακολουθήσει:

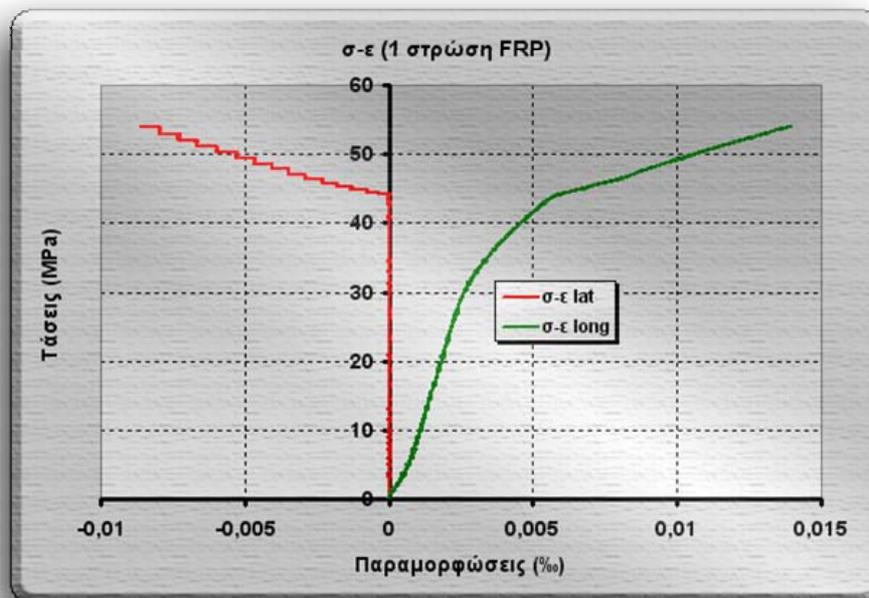
$R_{\theta\rho}$ = 95,5 ton

$\sigma_{\theta\rho}$ = 54MPa.

$\epsilon_{\theta\rho}$ = $11,6 \times 10^{-3}$ (περιμετρική επιμήκυνση)



(Διάγραμμα 13α.α – Τάση–παραμόρφωση περισφιγμένου με FRP κυλίνδρου)



(Διάγραμμα 13α.β – Διάγραμμα τάσης–παραμόρφωσης)



(Φωτογραφία 13α.ε – Λεπτομέρεια θραύσης)

ΠΕΙΡΑΜΑ 13β (6/3/2003)**ΣΥΝΘΛΙΨΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΜΕ 2 ΣΤΡΩΣΕΙΣ FRP****13β.1 Σκοπός του πειράματος**

Σκοπός του πειράματος είναι η μελέτη της επιρροής στη φέρουσα ικανότητα και στη μορφή αστοχίας κυλινδρικού δοκιμίου σκυροδέματος στο οποίο εφαρμόζουμε 2 στρώσεις ινοϋφάσματος (FRP).

13β.2 Δοκίμια

Αρχικά είχαμε ένα κυλινδρικό δοκίμιο διαμέτρου $d=15\text{cm}$ και ύψους $h=30\text{cm}$ γύρω από το οποίο περιβάλλαμε ινοϋφασμα σε **δύο στρώσεις**. Η κάθε μία από τις στρώσεις έχει πάχος $0,16\text{mm}$. Η διεύθυνση των ινών του ινοϋφάσματος ήταν κατά την περίμετρο του δοκιμίου, προκειμένου να αναπτυχθεί η ζητούμενη περίσφιξη. Προκειμένου να επικολληθεί το ινοϋφασμα στο δοκίμιο έγινε

επάλειψη με εποξειδική ρητίνη στο ινοϋφασμα και στη συνέχεια εφαρμογή του περιμετρικά και σε όλο το ύψος του δοκιμίου με εφαρμογή εξωτερικής πίεσης.



(Φωτογραφία 13β.α – Δοκίμιο μετά τη θραύση)

13β.3 Πειραματική διάταξη

Το δοκίμιο τοποθετήθηκε στη μηχανή σύνθλιψης του εργαστηρίου σιδηροπαγούς σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και η εισαγωγή του φορτίου γινόταν μέσω ενός LOAD CELL που τοποθετήθηκε στην κεφαλή του δοκιμίου. Περιμετρικά της μηχανής τοποθετήθηκε προστατευτικό πλέγμα για την αποφυγή πιθανού τραυματισμού από την αναμενόμενη εκρηκτική αστοχία του δοκιμίου. Στη διάρκεια του πειράματος γινόταν καταγραφή της κατακόρυφης βράχυνσης και της εγκάρσιας διόγκωσης του δοκιμίου από Η/Υ, μέσω κατάλληλων αισθητήρων. Παράλληλα μετρούσαμε και την περιμετρική επιμήκυνση στην εξωτερική στρώση του FRP μέσω ταινίας επιμήκυνσης. Υποβλήθηκε σε σύνθλιψη με τη βοήθεια πλακών φόρτισης. Η κλίμακα της μηχανής ήταν κατάλληλα προσαρμοσμένη για τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

Ο χρόνος φόρτισης προσδιορίστηκε στα 15min.



(Φωτογραφία 13β.β – Φορτιστική διάταξη)

13β.4 Αποτελέσματα

Το φορτίο θραύσης μετρήθηκε $P_{max}=155tn$. Οπότε, η αντοχή σε καθαρή θλίψη είναι

$$f_{cc}' = \frac{1550000}{\pi \times 150^2} \Rightarrow f_{cc}' = 87,7MPa$$

4

Αναλυτικός υπολογισμός:

Για εκτίμηση της αντοχής του περισφιγμένου με ινοϋφασμα σκυροδέματος χρησιμοποιούμε τη σχέση:

$$f_{cc}' = f_c' + \lambda \times \sigma_{lat} = f_c' + 3 \times \frac{2 \times t_{FRP} \times E_{FRP} \times \varepsilon_{lat} \times n}{D}$$

$f_c' = 25 \text{MPa}$ (για σκυρόδεμα C25/30 όπως προέκυψε από το 5^ο πείραμα)

$t_{\text{FRP}} = 0,16 \text{mm}$

$E_{\text{FRP}} = 285 \text{GPa}$, όπως προέκυψε από το πείραμα εφελκυσμού FRP (Μία γρήγορη παρουσίαση του πειράματος αυτού γίνεται στο πείραμα 13γ, μετά το τέλος του παρόντος).

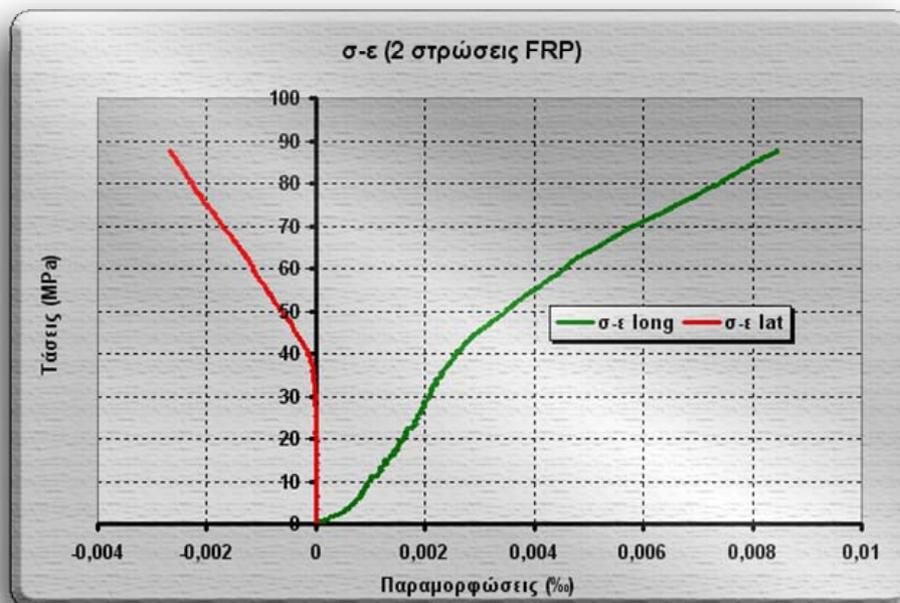
$\epsilon_{\text{lat}} = 18010 \times 10^{-6} \text{ m}$

$n = 2$ στρώσεις FRP

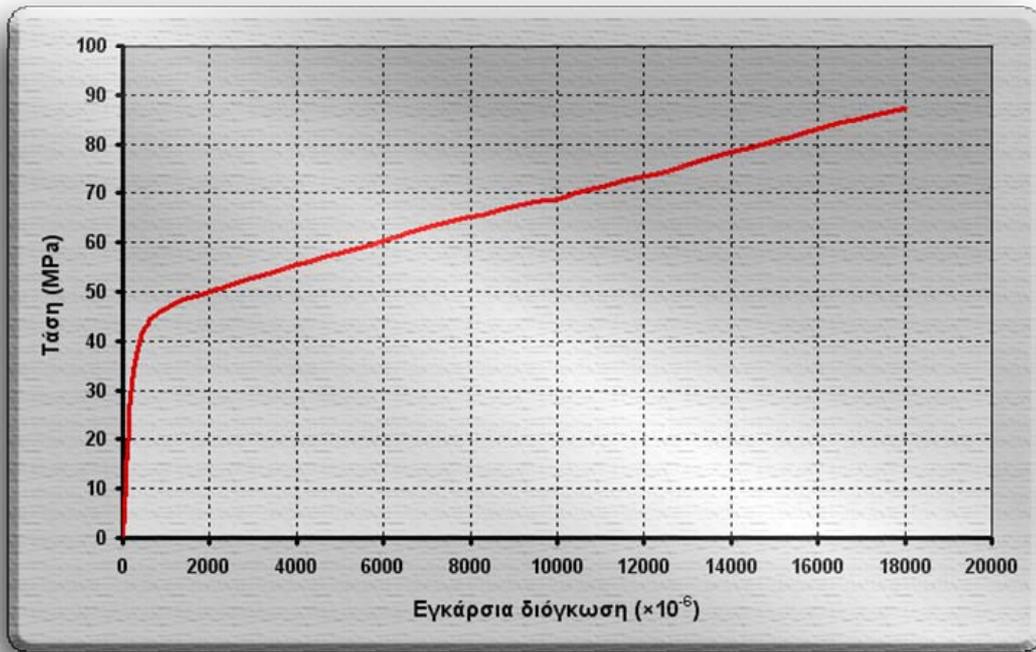
$D = 15 \text{cm}$

$f_{cc}' = 25 + 65,7 = 90,7 \text{MPa}$.

Ακολουθούν διαγράμματα με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του πειράματος.



(Διάγραμμα 13β.α – Διάγραμμα τάσης–παραμόρφωσης)



(Διάγραμμα 13β.β – Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης)



(Φωτογραφία 13β.γ – Δοκίμιο μετά τη θραύση)

13.5α+β Παρατηρήσεις για τα πειράματα 13α και 13β.

- Η επαύξηση της αντοχής του σκυροδέματος λόγω της περίσφιξης με FRP υπολογίστηκε με ικανοποιητική ακρίβεια αναλυτικά και παρουσίασε απόκλιση **3,5%** σε σχέση με την πειραματικά προσδιοριζόμενη τιμή. Συνάγουμε το συμπέρασμα ότι το αναλυτικό μοντέλο υπολογισμού της περισφιγμένης αντοχής δίνει ρεαλιστικά αποτελέσματα.
- Από το διάγραμμα σ - ϵ του δοκιμίου με τη διπλή στρώση ινοϋφάσματος είναι σαφής η ύπαρξη 2 κλάδων συμπεριφοράς, παρά την γνωστή καθαρά ελαστική συμπεριφορά του FRP μέχρι τη θραύση του. Η διγραμμικότητα αυτή του διαγράμματος πιθανόν να οφείλεται στο ότι αρχίζει η ρηγμάτωση του σκυροδέματος.
- Η καμπύλη σ - ϵ παρουσιάζει σημείο καμπής σε τάση **$\sigma=45\text{MPa}$** περίπου και συνεχίζει με μικρότερη κλίση σε σχέση με τον 1^ο κλάδο μέχρι την τάση θραύσης **$\sigma=87,7\text{MPa}$** . Η ίδια μορφή εμφανίζεται και στο αντίστοιχο διάγραμμα του δοκιμίου με τη μία στρώση FRP, και μάλιστα το σημείο καμπής εμφανίζεται στην ίδια τάση **$\sigma=45\text{MPa}$** και στην ίδια περιμετρική επιμήκυνση **500×10^{-6}** .
- Παρατηρήθηκε αστοχία εκρηκτικού τύπου με διάρρηξη των στρώσεων του FRP κατακορύφως από πάνω μέχρι κάτω. Η εκρηκτικότητα της αστοχίας οφείλεται στην απότομη-μετά το σπάσιμο του FRP- μεταφορά της δύναμης στο άοπλο και απερίσφικτο δοκίμιο σκυροδέματος. Να σημειώσουμε ότι στα άκρα του δοκιμίου δεν σημειώθηκε σπάσιμο του ινοϋφάσματος λόγω της αναπτυσσόμενης τριβής μεταξύ δοκιμίου και πλακών φόρτισης που παρεμπόδιζε την εγκάρσια διόγκωσή του.
- Στο δοκίμιο με τη μία στρώση FRP η αστοχία προήλθε από ολίσθηση στο μήκος αγκύρωσης. Αντίθετα στην περίπτωση της διπλής στρώσης FRP είχαμε αστοχία από διάρρηξη του ινοϋφάσματος.
- Στο δοκίμιο με τη μία στρώση FRP είχαμε αύξηση της θλιπτικής αντοχής κατά **29MPa** . Η αύξηση της αντοχής στο 2^ο δοκίμιο με τη διπλή στρώση ινοϋφάσματος ήταν **$65,7\text{MPa}$** δηλαδή κάτι παραπάνω από τη διπλάσια της προηγούμενης αύξησης. Παρατηρούμε ότι η επαύξηση της αντοχής ήταν σχεδόν ανάλογη του αριθμού των στρώσεων του FRP.
- Η εικόνα αστοχίας που εμφάνισε το δοκίμιο με τις 2 στρώσεις FRP ήταν πολύ ικανοποιητική (σχεδόν ιδεατή), με συμμετρική μορφή και τελικά απέμειναν μόνο δύο κώνοι σκυροδέματος πάνω και κάτω.
- Η καμπύλη σ - ϵ του δοκιμίου με τις 2 στρώσεις FRP παρουσιάζει το σημείο καμπής στα **$\sigma=30\text{MPa}$** , δηλαδή κοντά στην θλιπτική αντοχή του άοπλου δοκιμίου, γεγονός που ανταποκρίνεται στην ιδεατή περίπτωση **$f_c/f_c' = 1$** .

ΠΕΙΡΑΜΑ 13γ (6/3/2003)**ΠΕΙΡΑΜΑ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ FRP ΜΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ
ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ****13γ.1 Σκοπός του πειράματος**

Σκοπός του πειράματος είναι η εύρεση του E του ινοϋφάσματος.

13γ.2 Δοκίμια

Το δοκίμιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν κομμάτι ινοϋφάσματος με επάλειψη ρητίνης στην μία πλευρά του δοκιμίου. Ο ρόλος της ρητίνης είναι να μεταφέρει τις εντάσεις ανάμεσα στους οπλισμούς από ίνες και στο περιβάλλον σκυρόδεμα και να προστατεύει τις ίνες από περιβαλλοντικές και μηχανικές καταστροφές. Το ύψος του χρησιμοποιηθέντος δοκιμίου ήταν $H=122,9\text{mm}$ και το ονομαστικό πάχος του FRP (χωρίς τη ρητίνη που μπορεί να είναι και ανομοιόμορφη) όπως δόθηκε από τον κατασκευαστή ήταν $0,16\text{mm}$.

13γ.3 Πειραματική διάταξη

Στο δοκίμιο εφαρμόσαμε ταινία επιμήκυνσης μέτρησης των διαμήκων παραμορφώσεων. Η διάταξη αυτή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα μαζί με την ηλεκτρονική συσκευή καταγραφής των παραμορφώσεων.



(Φωτογραφία 13γ.α – Ταινία επιμήκυνσης επί του δοκίμιου)

Το δοκίμιο υποβλήθηκε σε εφελκυσμό στην αντίστοιχη μηχανή του εργαστηρίου σιδηροπαγούς σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



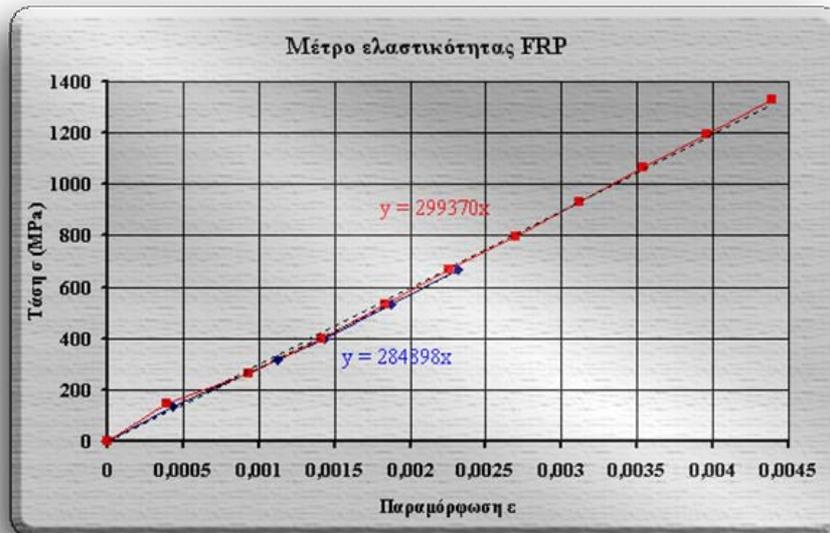
(Φωτογραφία 13γ.β – Δοκίμιο στη φορτιστική διάταξη)

Σημειώνεται ότι έγιναν διαδοχικά δύο φορτίσεις του δοκιμίου με μεσολάβηση πλήρους αποφόρτισης.

13γ.4 Αποτελέσματα

Από το παρακάτω διάγραμμα είναι σαφές ότι η συμπεριφορά του FRP είναι τέλεια ελαστική.

Το μέτρο ελαστικότητας προσδιορίστηκε από την κλίση της μέσης ευθείας που χαράχθηκε και βρέθηκε προσεγγιστικά ότι $E=285\text{GPa}$.



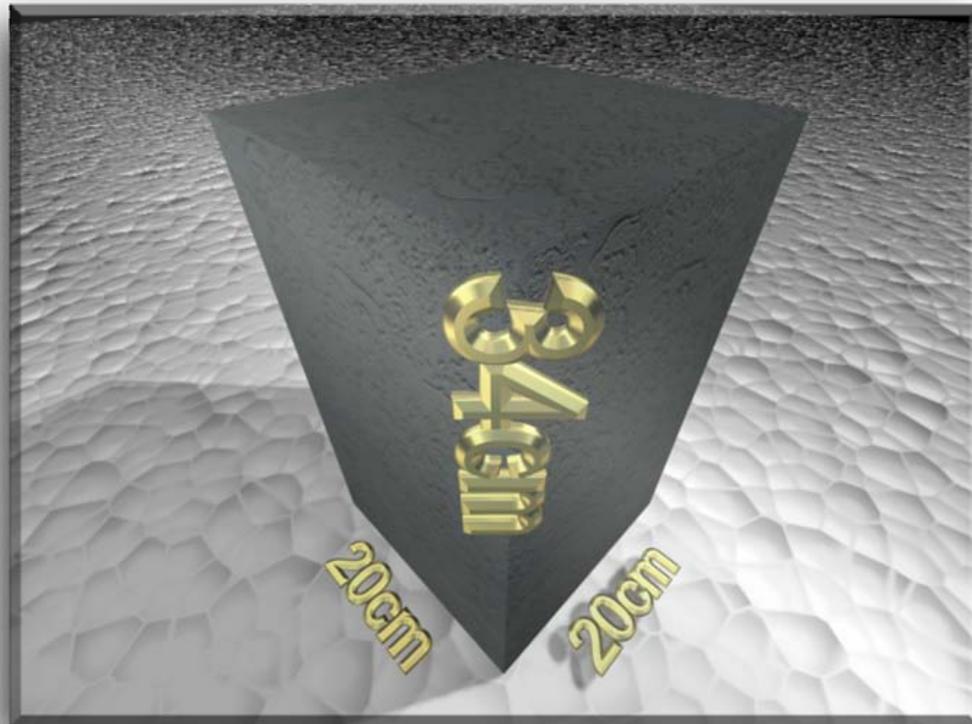
(Διάγραμμα 13γ.α – Υπολογισμός μέτρου ελαστικότητας του FRP)

ΠΕΙΡΑΜΑ 14^ο (6/3/2003)**ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΣΥΝΘΛΙΨΗ ΣΤΥΛΟΥ CBJ-3****14.1 Σκοπός του πειράματος**

Σκοπός του πειράματος είναι ο υπολογισμός της θλιπτικής αντοχής πρισματικού δοκιμίου από οπλισμένο σκυρόδεμα.

14.2 Δοκίμια

Ο έλεγχος έγινε σε δοκίμιο πρισματικού σχήματος από οπλισμένο σκυρόδεμα διαστάσεων **20×20×34 cm**, όπως φαίνεται στο σχήμα :



(Σχέδιο 14α – Δοκίμιο CBJ3)

Το δοκίμιο είχε ταυτότητα **CBJ3**. Από τις σημειώσεις του μαθήματος, δίνονται παρακάτω οι επεξηγήσεις των συμβόλων:

- C: column – στύλος
- B: 8Φ14 διαμήκης οπλισμός
- J: μηχανοποίητος εγκάρσιος οπλισμός

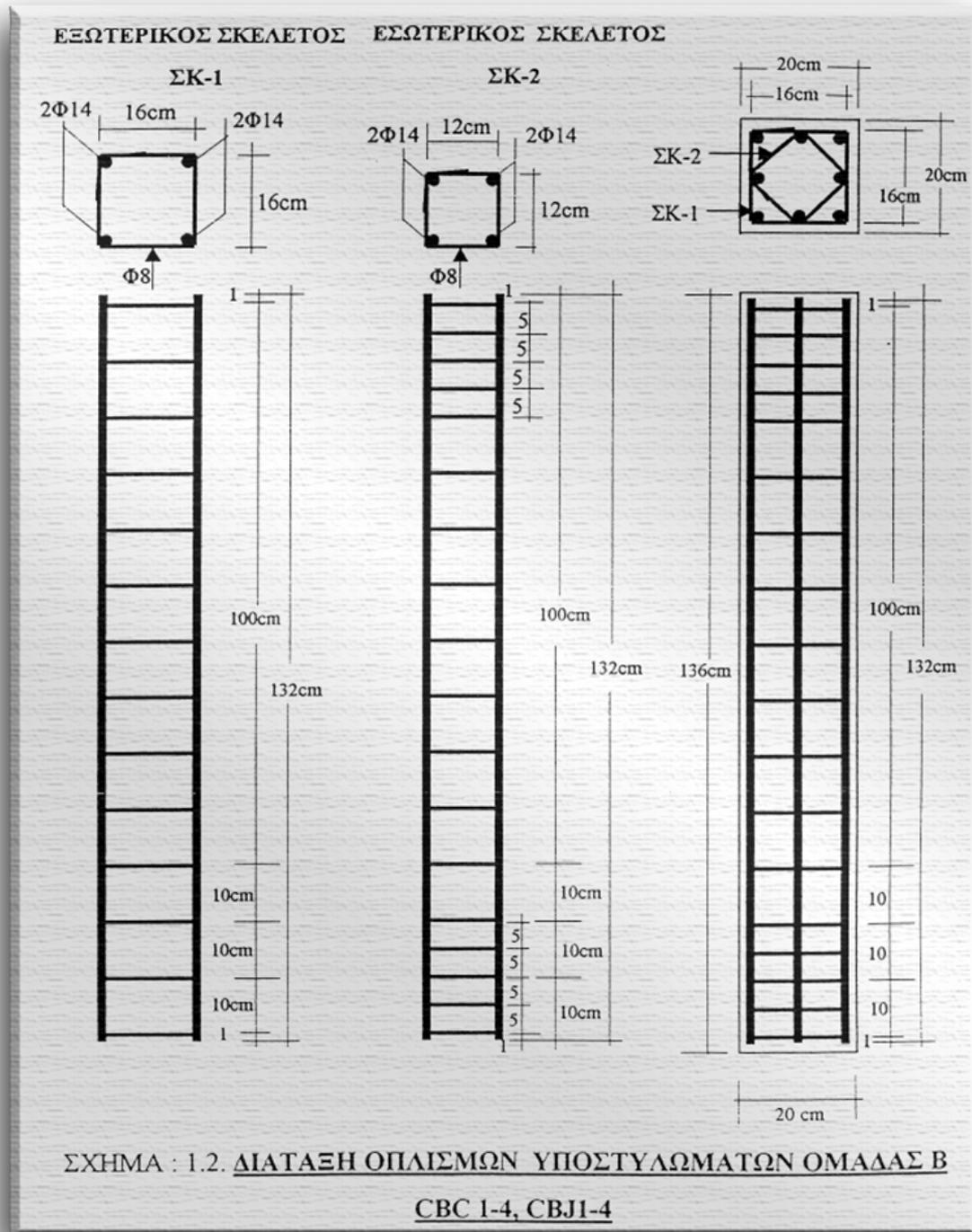
Επιπλέον, δίνονται τα εξής χαρακτηριστικά:

$$A_{s,tot} = 12,32 \text{ cm}^2.$$

Εγκάρσιος οπλισμός **Φ8/100**

Ημερομηνία σκυροδέτησης: **28/11/2000**

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η διάταξη των οπλισμών :



(Διάγραμμα 14β – Σχήμα 1.2 από σημειώσεις Μάνου)

14.3 Πειραματική διάταξη

Το δοκίμιο τοποθετήθηκε στη μηχανή θλίψης του εργαστηρίου σιδηροπλεγούς σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία:



(Φωτογραφία 14α – Πειραματική διάταξη)

Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος λήφθηκαν τιμές της κατακόρυφης βράχυνσης με κατάλληλη μετρητική διάταξη και με τη βοήθεια Η/Υ. Για το σκοπό αυτό, τοποθετήθηκαν αισθητήρες μέτρησης της παραμόρφωσης, ανά 2 αντιδιαμετρικά σε κάθε πλευρά του δοκιμίου. Με τη συγκεκριμένη διάταξη υπάρχει δυνατότητα καταγραφής τυχούσας παρασιτικής κάμψης και διόρθωσης των αποτελεσμάτων.

14.4 Αποτελέσματα

Το φορτίο αστοχίας μετρήθηκε ίσο με $P_{\theta} = 238,3t$. Βάσει των καταγραφών του Η/Υ προέκυψε το διάγραμμα δύναμης–παραμόρφωσης του δοκιμίου, το οποίο και παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



(Διάγραμμα 14γ – Διάγραμμα δύναμης–παραμόρφωσης)

14.5 Παρατηρήσεις

- Με την αύξηση του επιβαλλόμενου φορτίου, εμφανίσθηκαν αρχικά στην επιφάνεια του δοκιμίου ρήγματα κατά τη διεύθυνση φόρτισης, τα οποία και οδήγησαν τελικά σε αποφλοιώση του σκυροδέματος επικαλύψεως των οπλισμών, καθιστώντας έτσι ορατό τον εσωτερικό περισφιγμένο πυρήνα. Παρόλα αυτά η αντοχή του δοκιμίου εξακολουθούσε να αυξάνει. Παράλληλα, η διαρκώς αυξανόμενη διόγκωση του δοκιμίου προκάλεσε αρχικά διαρροή των συνδετήρων και τελικά θραύση τους από ελκυσμό. Το φαινόμενο αυτό συνοδεύτηκε από λυγισμό των, μέχρι πρότινος συγκρατούμενων από τους συνδετήρες, διαμήκων ράβδων. Η τελική εικόνα του δοκιμίου παρουσίαζε έντονη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος του πυρήνα στο μέσο του. Απομακρυνόμενοι όμως από αυτό, σχηματίζονταν εκατέρωθεν δυο κώνοι μη αποδιοργανωμένου σκυροδέματος.
- Ο φθίνων κλάδος του διαγράμματος P-δ δεν παρουσιάζει έντονο φθίνον χαρακτήρα, όπως συμβαίνει στην περίπτωση απερίσφικτου δοκιμίου σκυροδέματος σε θλίψη. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει την βελτίωση της πλαστιμότητας του σκυροδέματος λόγω περίσφιξης.



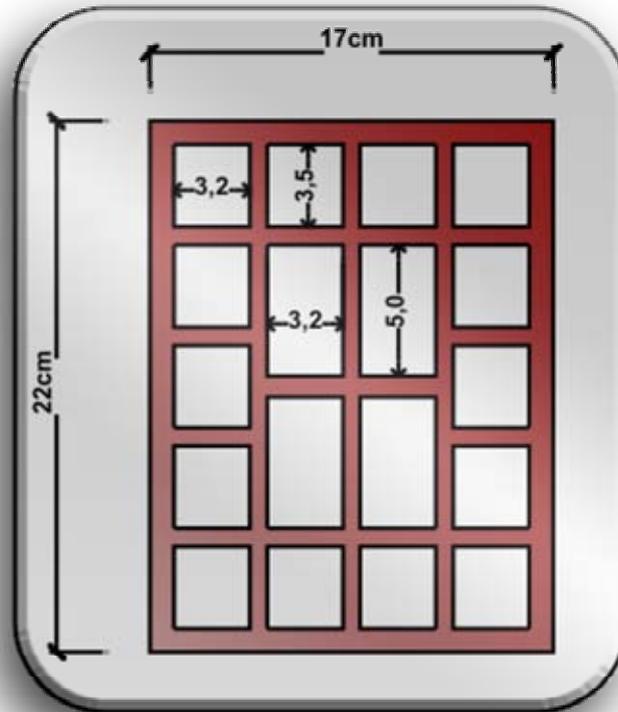
(Φωτογραφία 14β – Δοκίμιο μετά τη θραύση)

ΠΕΙΡΑΜΑ 15° (13/3/2003)**ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΣΥΝΘΛΙΨΗ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΩΝ ΜΕ ΟΠΕΣ****15.1 Σκοπός του πειράματος**

Σκοπός του πειράματος είναι ο έλεγχος θλιπτικής αντοχής οπτόπλινθου με οπές.

15.2 Δοκίμια

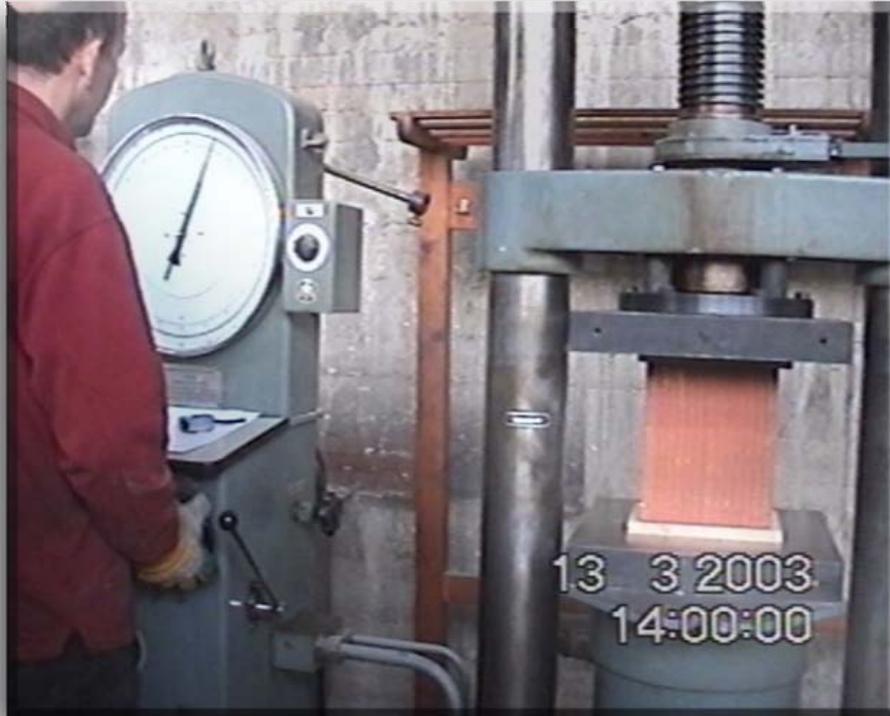
Ελέγχθηκαν 3 ίδιες οπτόπλινθοι με οπές. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οπτόπλινθων μετρήθηκαν επιτόπου στο εργαστήριο και παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα. Επίσης το ύψος των πλινθων μετρήθηκε ίσο με **$h=25\text{cm}$** .



(Διάγραμμα 15α – Σχεδιάγραμμα δοκιμίου)

15.3 Πειραματική διάταξη

Οι οπτόπλινθοι τοποθετήθηκαν ένας ένας στη μηχανή θλίψης του εργαστηρίου σιδηροπαγούς σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης όπως φαίνεται και στην παρακάτω φωτογραφία:



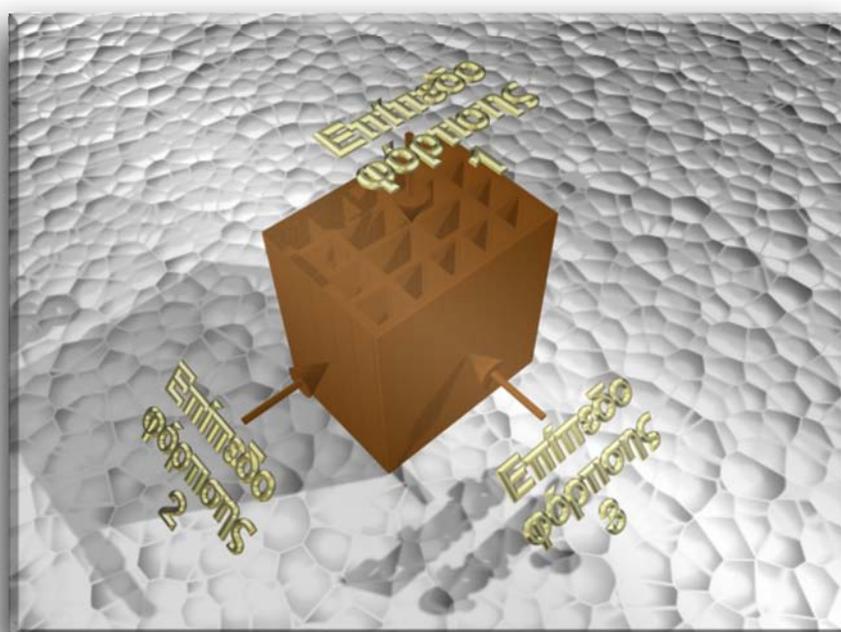
(Φωτογραφία 15α – Πειραματική διάταξη)

Κατά την διεξαγωγή του πειράματος μεγάλη σημασία έχει και η ομοιομορφοποίηση της τάσης που εφαρμόζεται στην επιφάνεια εφαρμογής της δύναμης. Για τον σκοπό αυτό τοποθετήθηκε στην επιφάνεια έδρασης κάθε πλίνθου ένα ξύλινο «καπέλο», όπως φαίνεται και από την παρακάτω φωτογραφία:

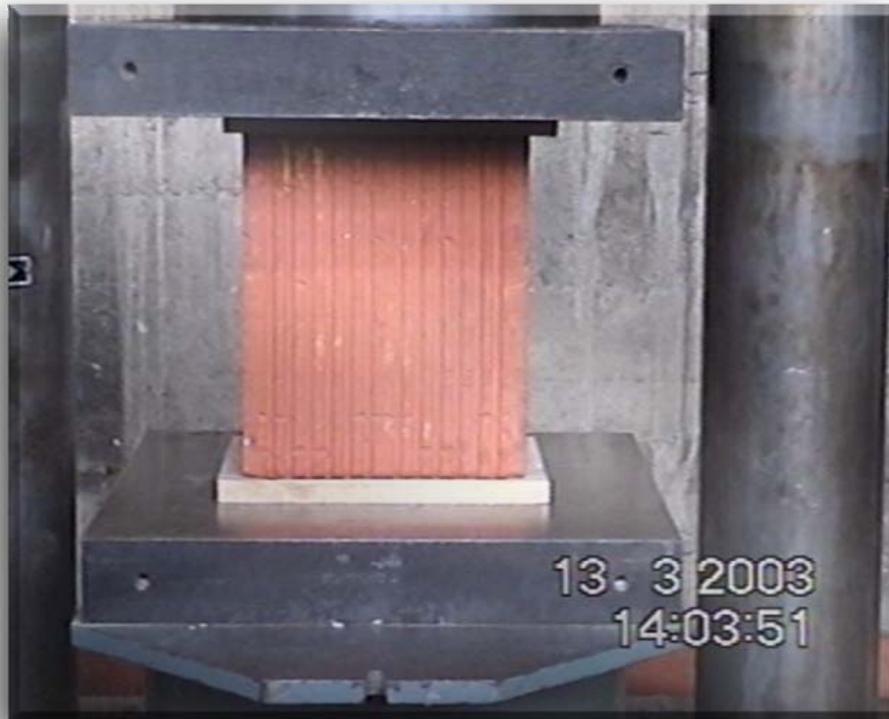


(Φωτογραφία 15β – Ξύλινο καπέλο)

Δεδομένου ότι οι πλίνθοι κατά την κατασκευή της τοιχοποιίας δύνανται να τοποθετηθούν με τρεις διαφορετικούς τρόπους (ανάλογα με την επιφάνεια έδρασής τους), ο έλεγχος σε θλίψη θα γίνει και στις τρεις αυτές επιφάνειες, οι οποίες και παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.



(Φωτογραφία 15γ – Επίπεδα φόρτισης)



(Φωτογραφία 15δ – Φόρτιση 1)



(Φωτογραφία 15ε – Φόρτιση 2)



(Φωτογραφία 15στ – Φόρτιση 3)

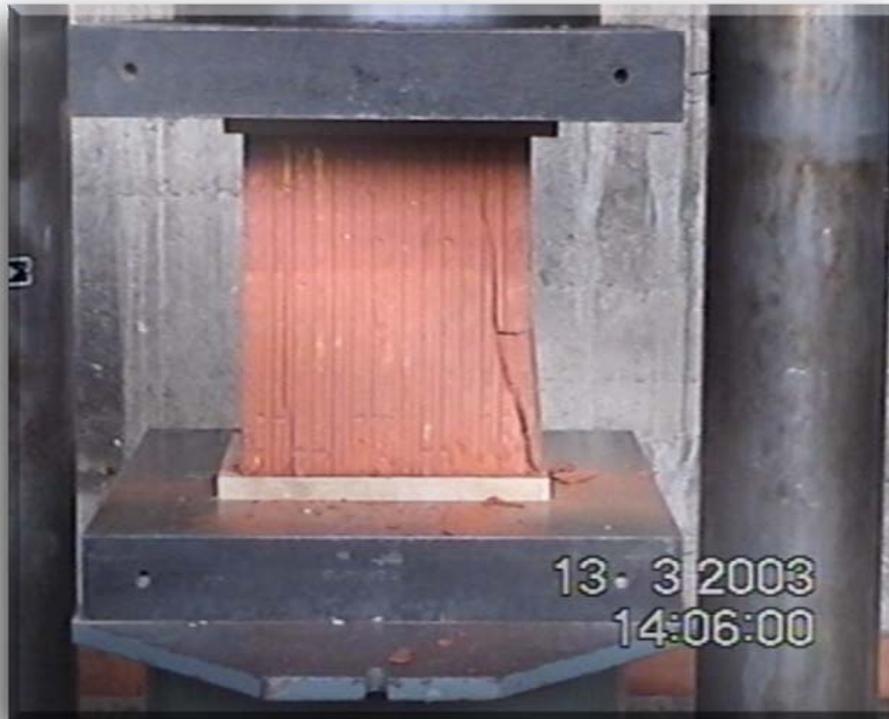
15.4 Αποτελέσματα

Στον επόμενο πίνακα εμφανίζονται τα φορτία θραύσης των οπτόπλινθων.

Πίνακας 15α	
Επιφάνεια φόρτισης	Φορτίο θραύσης (tn)
1	27
2	6
3	10

15.5 Παρατηρήσεις

Καθώς η φόρτιση πλησιάζει το φορτίο αστοχίας, χωρίς κάποια εξωτερική ένδειξη, οι εσωτερικές νευρώσεις της πλίνθου αστοχούν διαδοχικά προκαλώντας χαρακτηριστικό ήχο. Αξιοσημείωτο είναι ότι κατά το χρονικό διάστημα αυτό δεν εμφανίστηκε μείωση της φέρουσας ικανότητας του πλίνθου (αύξων κλάδος του διαγράμματος σ - ϵ). Οι αστοχίες σε κάθε περίπτωση φόρτισης φαίνονται στις παρακάτω φωτογραφίες :



(Φωτογραφία 15ζ – Δοκίμιο 1: 1^η φάση αστοχίας)



(Φωτογραφία 15η – Δοκίμιο 1: Τελική φάση αστοχίας)



(Φωτογραφία 15θ – Δοκίμο 1: Άλλη όψη τελικής φάσης αστοχίας)



(Φωτογραφία 15ι – Δοκίμο 2: 1^η φάση αστοχίας)



(Φωτογραφία 15κ – Δοκίμο 2: 2^η φάση αστοχίας)



(Φωτογραφία 15λ – Δοκίμο 2: Τελική φάση αστοχίας)



(Φωτογραφία 15μ – Δοκίμιο 3: Τελική φάση αστοχίας)

Η αστοχία επέρχεται απότομα και είναι εκρηκτικού τύπου, γεγονός που φανερώνει την ψαθυρή συμπεριφορά των οπτόπλινθων και καθιστά την συγκεκριμένη μορφή αστοχίας για την τοιχοποιία ανεπιθύμητη (σύνθλιψη πλίνθων, περιοχή III διαγράμματος σ-τ τοιχοποιίας)

Θλιπτική αντοχή λιθοσώματος

Τα λιθοσώματα χαρακτηρίζονται από μεγάλη ποικιλία, οπότε από τον EC6 η θλιπτική αντοχή τους ορίζεται έμμεσα, μέσω της κανονικοποιημένης θλιπτικής αντοχής f_b . Η τελευταία αντιστοιχεί στην εν ξηρώ θλιπτική αντοχή ενός πλήρους κυβικού δοκιμίου που προέρχεται από το υλικό του λιθοσώματος διαστάσεων 100mm.

Κατηγορία λιθοσωμάτων

Τα λιθοσώματα ταξινομούνται σε τέσσερις ομάδες, ανάλογα με την έκταση των κενών ή διατρήσεων.

Ομάδα 1 → Λιθοσώματα με κενά λιγότερο από 25%

Ομάδα 2^α → Λιθοσώματα με κενά λιγότερο από 45% και περισσότερο από 25%

Ομάδα 2^β → Λιθοσώματα με κενά λιγότερο από 55% και περισσότερο από 45%

Ομάδα 3 → Λιθοσώματα με κενά λιγότερο από 70% και περισσότερο από 55%

Όγκος κενών: $3,2 \times 3,5 \times 25 \times 14 + 3,2 \times 5 \times 25 \times 4 = 5520 \text{ cm}^3$

Όγκος λιθοσώματος: $17 \times 22 \times 25 = 9350 \text{ cm}^3$

% όγκος κενών / όγκος μικτός: **59%** → Κατηγορία 3

Σύμφωνα με τον EC6 η θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας δίνεται από τη σχέση:

$$f_k = k \times f_b^{0,65} \times f_m^{0,25}$$

όπου

f_b : η κανονικοποιημένη θλιπτική αντοχή του λιθοσώματος

f_m : η θλιπτική αντοχή του κονιάματος σε N/mm^2

k : σταθερά που δίνεται στον πίνακα 3, κεφ.4, EC6.

Σύμφωνα με τον EC6 §3.1.2.1 [2], η κανονικοποιημένη θλιπτική αντοχή f_b της πλίνθου προκύπτει από την μετρούμενη πειραματικά θλιπτική αντοχή πολ/μένη με το συντελεστή δ του πίνακα 3.2 του EC6.

Εύρεση k:

Δεδομένου ότι τα λιθοσώματα είναι κατηγορίας 3, από τον πίνακα 3 του EC6 §4.3.1 είναι $k=0,4$ σε κάθε περίπτωση.

Εύρεση f_b :

- Επιφάνεια φόρτισης 1

Ύψος λιθοσώματος: **250mm**

Ελάχιστη οριζόντια διάσταση: **170mm**

Πίνακας 3.2 EC6 $\delta=1,29$

Επιφάνεια φόρτισης: $170 \times 220 = 3,74 \times 10^4 \text{ mm}^2$

$P_{\theta\rho} = 37t = 370000\text{N}$

$$\sigma_{\theta\rho} = \frac{P_{\theta\rho}}{A} = \frac{370000}{3740000} = 9,89\text{N/mm}^2$$

Τελικά $f_b = 1,29 \times 9,89 = 12,76\text{N/mm}^2$

$$f_k = 0,4 \times 12,76^{0,65} f_m^{0,25} = 2,09 f_m \text{N/mm}^2$$

- Επιφάνεια φόρτισης 2

Ύψος λιθοσώματος: **220mm**

Ελάχιστη οριζόντια διάσταση: **170mm**

Πίνακας 3.2 EC6 $\delta=1,20$

Επιφάνεια φόρτισης: $170 \times 250 = 4,25 \times 10^4 \text{ mm}^2$

$$\sigma_{\theta\rho} = \frac{P_{\theta\rho}}{A} = \frac{60000}{42500} = 1,41\text{N/mm}^2$$

$$P_{\theta\rho} = 6t = 60000\text{N}$$

$$\text{Τελικά } f_b = 1,20 \times 1,41 = 1,69\text{N/mm}^2$$

$$f_k = 0,4 \times 1,69^{0,65} f_m^{0,25} = 0,56 f_m \text{N/mm}^2$$

- Επιφάνεια φόρτισης 3

Ύψος λιθοσώματος: **170mm**

Ελάχιστη οριζόντια διάσταση: **220mm**

Πίνακας 3.2 EC6 $\delta = 1,05$

Επιφάνεια φόρτισης: $220 \times 250 = 5,5 \times 10^4 \text{ mm}^2$

$P_{\theta\rho} = 10t = 100000\text{N}$

$$\sigma_{\theta\rho} = \frac{P_{\theta\rho}}{A} = \frac{100000}{55000} = 1,82\text{N/mm}^2$$

$$\text{Τελικά } f_b = 1,05 \times 1,82 = 1,91\text{N/mm}^2$$

$$f_k = 0,4 \times 1,91^{0,65} f_m^{0,25} = 0,61 f_m \text{N/mm}^2$$

Από τα παραπάνω επιβεβαιώνεται πειραματικά η ανισότροπη συμπεριφορά των οπτόπλινθων με οπές. Το γεγονός αυτό από μόνο του αποτελεί έναν ακόμα παράγοντα ανισοτροπίας στην συμπεριφορά της τοιχοποιίας ως δομικού υλικού. Παρατηρείται ιδιαίτερα αυξημένη αντοχή κατά την επιφάνεια φόρτισης 1 (περίπου τετραπλάσια των υπολοίπων). Όμως η συγκεκριμένη αντοχή δεν μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα, αφού στην καθημερινή πρακτική ο συγκεκριμένος τρόπος τοποθέτησης οπτόπλινθων δεν χρησιμοποιείται. Επίσης οι αντοχές στα επίπεδα φόρτισης 2 και 3 δεν διαφέρουν πολύ (10% περίπου). Η διαφορά αυτές οφείλονται κατά πάσα πιθανότητα στην γεωμετρία και στη διάταξη των οπών στη διατομή.

ΠΕΙΡΑΜΑ 16^ο (13/3/2003)**ΚΑΘΑΡΗ ΘΛΙΨΗ ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ FRP****16.1 Σκοπός του πειράματος**

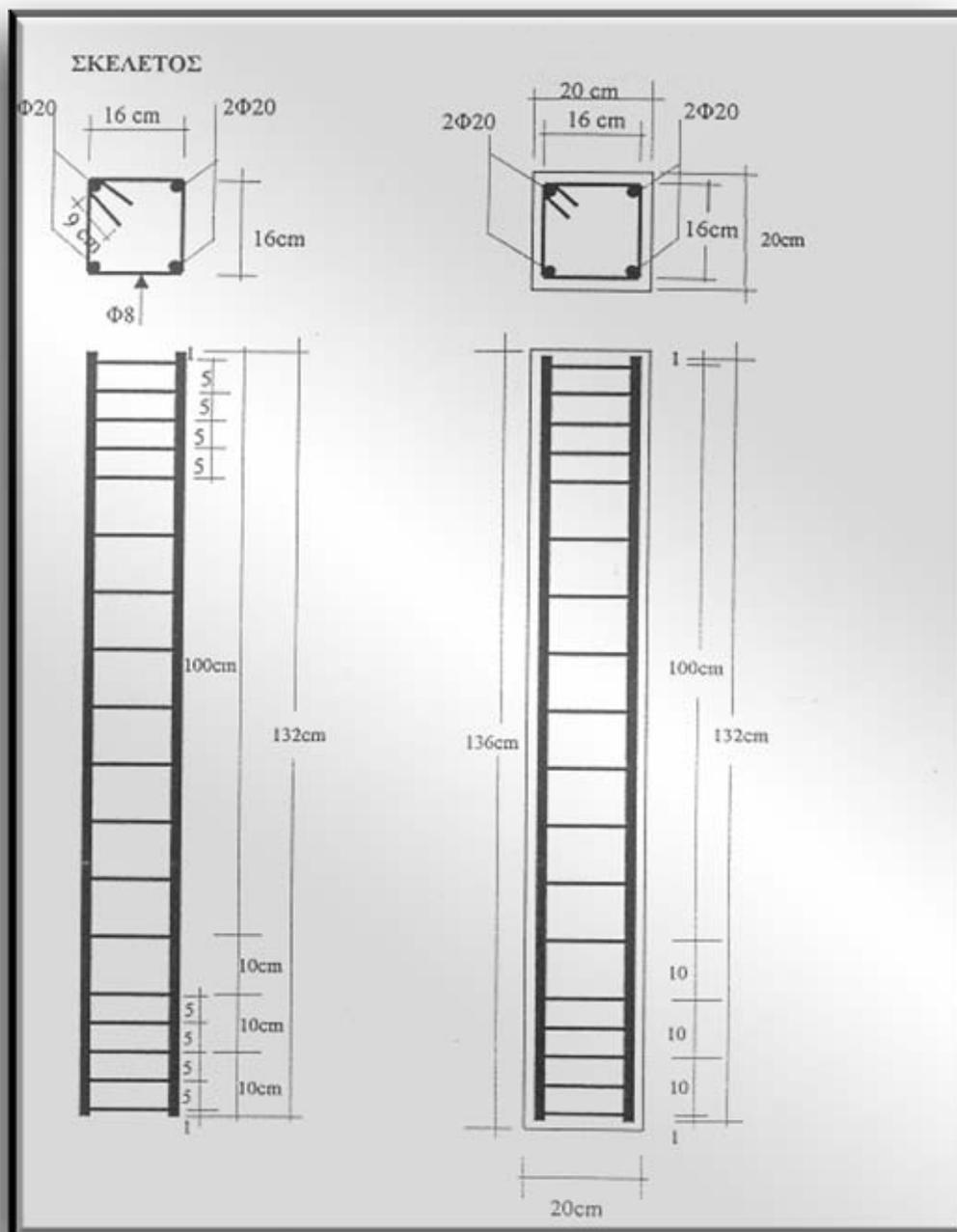
Σκοπός του πειράματος είναι η μελέτη της συμπεριφοράς επισκευασμένου υποστυλώματος με EMACO και FRP το οποίο είχε χρησιμοποιηθεί και αστοχήσει σε δοκιμή καθαρής θλίψης.

16.2 Δοκίμια

Το δοκίμιο ήταν ένα υποστυλωμα τετραγωνικής διατομής **20×20×34cm**. Ο διαμήκης οπλισμός του ήταν **4Φ20** και ο εγκάρσιος **Φ8/100** (χειροποίητος). Το δοκίμιο μετά την πλήρη αστοχία του στους **195,7tn** επισκευάστηκε ως εξής: Απομακρύνθηκαν τα σπασμένα κομμάτια σκυροδέματος και καθαρίστηκε εσωτερικά. Η διαδικασία αυτή έχει ως στόχο την καλύτερη πρόσφυση του

EMACO, το οποίο αποκατέστησε την πλήρη αρχική διατομή του στύλου. Σημειωτέον ότι δεν έγινε καμία αποκατάσταση των διαμήκων και εγκάρσιων οπλισμών του δοκιμίου οι οποίοι αφέθηκαν παραμορφωμένοι. Επιπλέον το δοκίμιο εμφανίζει απόκλιση από την κατακόρυφο **37** και **53mm** στις πλευρές A και B αντίστοιχα. Η μορφή δηλαδή του δοκιμίου ήταν ανάλογη με αυτή που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Μετά την πήξη του EMACO εφαρμόστηκαν 2 στρώσεις ινοϋφάσματος (FRP) για την περίσφιξη της περιοχής που αποκαταστάθηκε.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η διάταξη των οπλισμών :





(Φωτογραφία 16α – Δοκίμιο)

16.3 Πειραματική διάταξη

Το δοκίμιο υποβλήθηκε σε θλίψη στην αντίστοιχη μηχανή του εργαστηρίου σιδηροπλεγούς σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Η πειραματική διάταξη φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

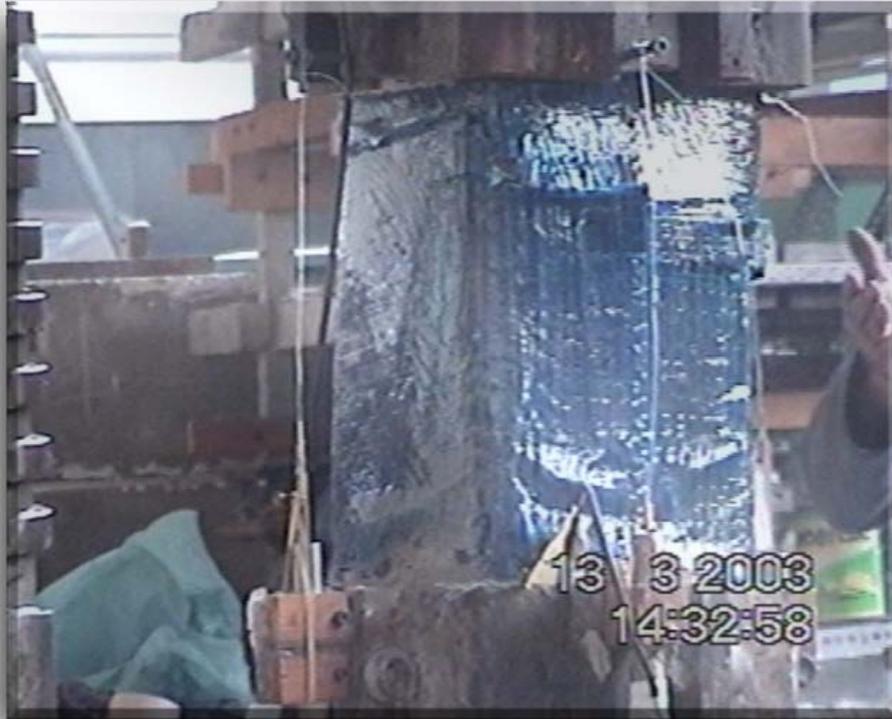


(Φωτογραφία 16β – Πειραματική διάταξη)

Με τη βοήθεια κατάλληλα στερεωμένων μηχανοσυστημάτων (ανωτέρω εικόνα) γινόταν καταγραφή και παρακολούθηση των βραχύνσεων του δοκιμίου στις 4 πλευρές του. Από την παρατήρηση των αποτελεσμάτων προκύπτει η τυχόν έκκεντρη θλίψη του. Δεδομένης της απόκλισής του από την κατακόρυφο δεν έχουμε καθαρή θλίψη αλλά αναπτύσσεται και κάμψη στην κεντρική περιοχή που εξετάζουμε. Οι ακραίες περιοχές του στύλου αποκλείστηκαν από πιθανή αστοχία μέσω κατάλληλων διατάξεων.

16.4 Αποτελέσματα

Τα διαδοχικά στάδια μέχρι την αστοχία του δοκιμίου ήταν τα εξής: το δοκίμιο εμφάνισε αρχικά πλευρική διόγκωση, εμφανής στην εξωτερική στρώση του FRP. Στη συνέχεια είχαμε θραύση ενός τμήματος του ινοϋφάσματος σε μία από τις γωνίες του δοκιμίου, που οδήγησε σε αποκόλληση τμήματος του FRP από το δοκίμιο. Η πλήρης αποδιοργάνωση επήλθε με σύνθλιψη του σκυροδέματος πυρήνα οπότε και έπαψε το δοκίμιο να παραλαμβάνει πλέον φορτίο.



(Φωτογραφία 16γ – Διόγκωση του δοκιμίου λίγο πριν τη θραύση του FRP)



(Φωτογραφία 16δ –Αποκάλυψη του οπλισμού το δοκίμιο)

Το φορτίο θραύσης μετρήθηκε $P_{\theta\rho}=154\text{tn}$, ίσο δηλαδή με το 78,7% της αντοχής του μητρικού δοκιμίου. Η απόκλιση από την αρχική αντοχή ήταν αναμενόμενη δεδομένης της παραμένουσας παραμόρφωσης που εμφάνιζε το δοκίμιο μετά την επισκευή του και στην μικτή επιτόνησή του με θλίψη και κάμψη.

16.5 Παρατηρήσεις

- Οι διαμήκεις σπλισμοί δεν είναι τελείως ανενεργοί παρόλο που είναι λυγισμένοι.
- Το υποστύλωμα παρά το γεγονός ότι είχε αρχικές παραμορφώσεις, εντούτοις παρέμεινε σταθερό, χωρίς απότομη πτώση του διαγράμματος σ-ε. Μετά, λόγω των εκκεντροτήτων, το ινοϋφασμα εμφάνισε αστοχία από εφελκυσμό στη βάση του δοκιμίου, η οποία εξαπλώθηκε περιμετρικά.
- Η οριακή τάση του δοκιμίου εμφανίζεται για αξονική παραμόρφωση 12%.



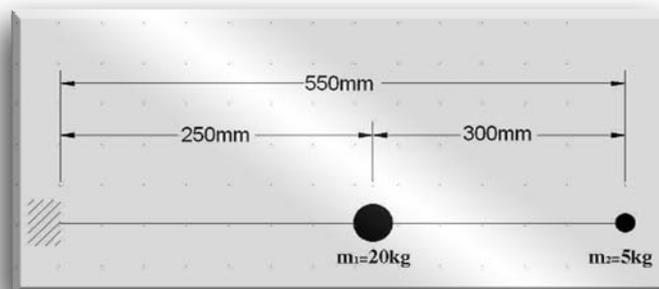
(Διάγραμμα 16α – Διάγραμμα τάσης–διαμήκους βράχυνσης)

ΠΕΙΡΑΜΑ 17^ο (20/3/2003)**ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ****17.1 Σκοπός του πειράματος**

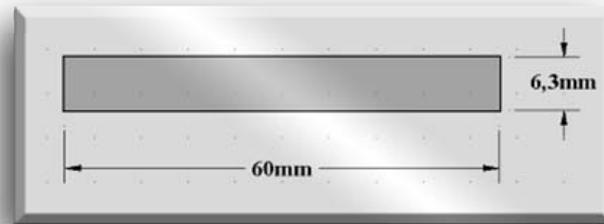
Σκοπός του πειράματος είναι ο προσδιορισμός των δυναμικών χαρακτηριστικών του μοντέλου και η απόσβεση ζ υλικού.

17.2 Δοκίμια

Ο προσδιορισμός των δυναμικών χαρακτηριστικών έγινε σε μοντέλο πλατύπελης χαλύβδινης δοκού διατομής 6,3mm x 60mm που λειτουργεί ως πρόβολος, στον οποίο προσαρτήθηκαν δυο συγκεντρωμένες μάζες 5kg και 20kg όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα:



(Σχέδιο 17α – Σύστημα με μάζες)



(Σχέδιο 17β – Κάτοψη συστήματος)

17.3 Πειραματική διάταξη

Στα πλαίσια των μαθημάτων της πειραματικής μηχανικής έγινε παρουσίαση και χρήση ειδικής μηχανής καταγραφής δυναμικών σημάτων. Το μοντέλο τοποθετήθηκε σε τραπέζι που θεωρήθηκε ακλόνητο ώστε τα μετρούμενα μεγέθη απόκρισης να αναφέρονται αποκλειστικά στη δοκό. Στο σημείο εφαρμογής των μαζών τοποθετήθηκαν αισθητήρες καταγραφής της κίνησης.

17.4 Αποτελέσματα

Μετά από αρχικό καταναγκασμό στο ελεύθερο άκρο της δοκού πήραμε τις μέγιστες τιμές των αποκρίσεων σε έναν από τους δυο αισθητήρες καθώς και τους αντίστοιχους χρόνους εμφάνισης τους. Τα αποτελέσματα παρατίθενται παρακάτω:

Πίνακας 17α	
Χρόνος [sec]	Επιτάχυνση [mg]
1,6328	-88,1
1,8085	81,3
1,9804	-70,3
2,1992	60,8
2,3789	-58,7
2,5742	62,8
2,7578	-67,5

(Πίνακας 17α – Αποτελέσματα)



(Διάγραμμα 17α – Αποτελέσματα)

Από το παραπάνω διάγραμμα υπολογίζεται μια μέση (προσεγγιστική) περίοδος της κίνησης ίση με $T = 0,378 \text{ sec}$. Επιπρόσθετα μπορεί να υπολογιστεί η απόσβεση του πλάτους της επιτάχυνσης από τον

$$\text{τύπο } \zeta \approx \frac{\Delta}{2\pi} \text{ όπου } \Delta = \ln \frac{\dot{y}(t)}{\dot{y}(t+T)}.$$

Η απόσβεση του υλικού κατά μέσο όρο υπολογίζεται ίση με $\zeta = 0,04$.

Η μηχανή καταγραφής έδινε δυνατότητα απεικόνισης του φάσματος Fourier. Από αυτό βρέθηκαν οι ιδιοσυχνότητες της ταλάντωσης καθώς και οι ιδιομορφικές επιταχύνσεις. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται πιο κάτω.

17.5 Παρατηρήσεις

Το σύστημα επιλύθηκε και με τη βοήθεια του προγράμματος SAP2000 με σκοπό την επαλήθευση των αποτελεσμάτων. Στον παρακάτω πίνακα συγκρίνονται τα δυναμικά χαρακτηριστικά πειραματικών και αναλυτικών αποτελεσμάτων.

Πίνακας 17β		
	Ιδιομορφή	Ιδιοσυχνότητα [Hz]
Πείραμα	1	2,75
	2	18,875
SAP	1	4,05
	2	16,86

(Πίνακας 17β – Αποτελέσματα)

Οι διαφορές μεταξύ των 2 μεθόδων εκτιμούνται ότι οφείλονται:

- Στη μη γνωστή θέση και βαθμό της πάκτωσης του άκρου της δοκού.
- Στην προσεγγιστική εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών και των διαστάσεων της δοκού.
- Στο ότι στην πραγματικότητα το πρόβλημα είναι συνεχές και όχι διακριτό.

Όπως είναι εμφανές τα πειραματικά αποτελέσματα διαφέρουν αρκετά σε σχέση με τα αναλυτικά, ειδικά για την πρώτη ιδιομορφή η αναλυτική τιμή είναι μόλις το 68% της τιμής που μετρήθηκε. Αυτό όμως δικαιολογείται αν λάβουμε υπόψη της προαναφερθέντες ανακρίβειες.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τιμές των ιδιομορφικών τιμών που προέκυψαν πειραματικά και αναλυτικά. Επίσης γίνεται σύγκριση των λόγων των ιδιομορφικών τιμών των δύο μεθόδων:

Πίνακας 17γ					
Ιδιομορφή	Θέση	Ιδιομορφικές τιμές		Σχετικές Ιδιομορφικές τιμές B/A	
		Πείραμα [mg]	SAP [m]	Πείραμα	SAP ₂₀₀₀
1	μέση	8,63	3,364	0,27	0,28
	άκρη	32,4	11,849		
2	μέση	-0,708*	-6,06	-1,23	-1,09
	άκρη	0,874	6,5774		

(Πίνακας 17γ – Αποτελέσματα)

* Σημείωση : Η καταγραφή 0,708 από το φάσμα πάτους FOURIER λήφθηκε με θετική τιμή. Όμως από το φάσμα φάσης FOURIER βρέθηκε ότι οι αποκρίσεις των δύο σημείων βρίσκονται σε πλήρη διαφορά φάσης (-171°) γι' αυτό και δόθηκε αρνητικό πρόσημο στην τιμή 0,708.

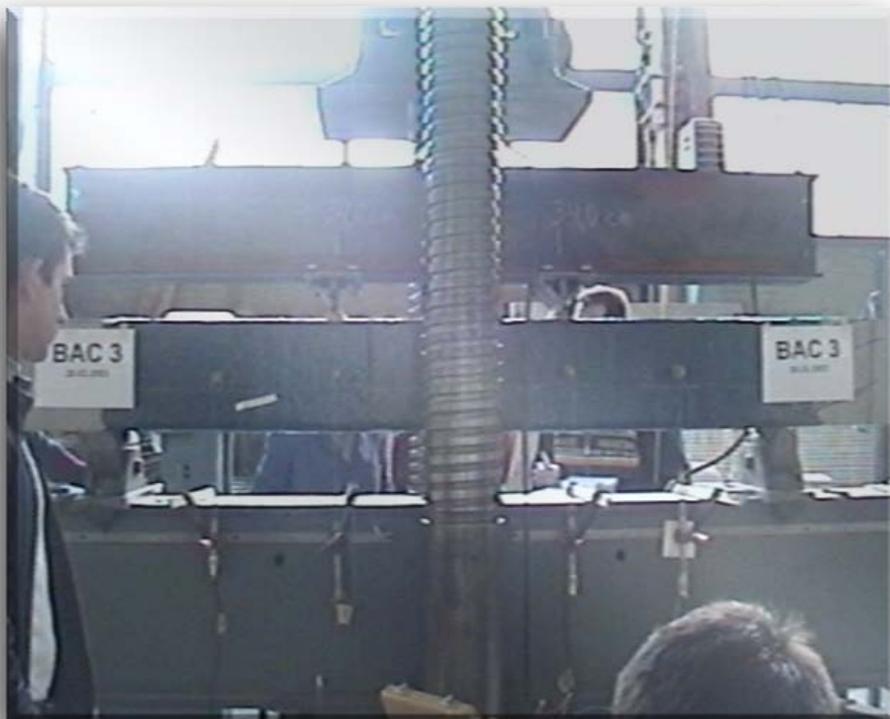
Από τον πίνακα προκύπτει ότι οι δύο μέθοδοι δίνουν σχετικά όμοια αποτελέσματα.

Παρακάτω φαίνονται οι δύο ιδιομορφές του φορέα όπως αυτές προέκυψαν από την επίλυση με το SAP2000:



(Διάγραμμα 17β – 1^η Ιδιομορφή)

(Διάγραμμα 17γ – 2^η Ιδιομορφή)

ΠΕΙΡΑΜΑ 18^ο (20/3/2003)**ΚΑΜΨΗ ΔΟΚΟΥ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΜΕ FRP****18.1 Σκοπός του πειράματος**

Σκοπός του πειράματος είναι ο προσδιορισμός της καμπτικής αντοχής δοκού ενισχυμένης με FRP.

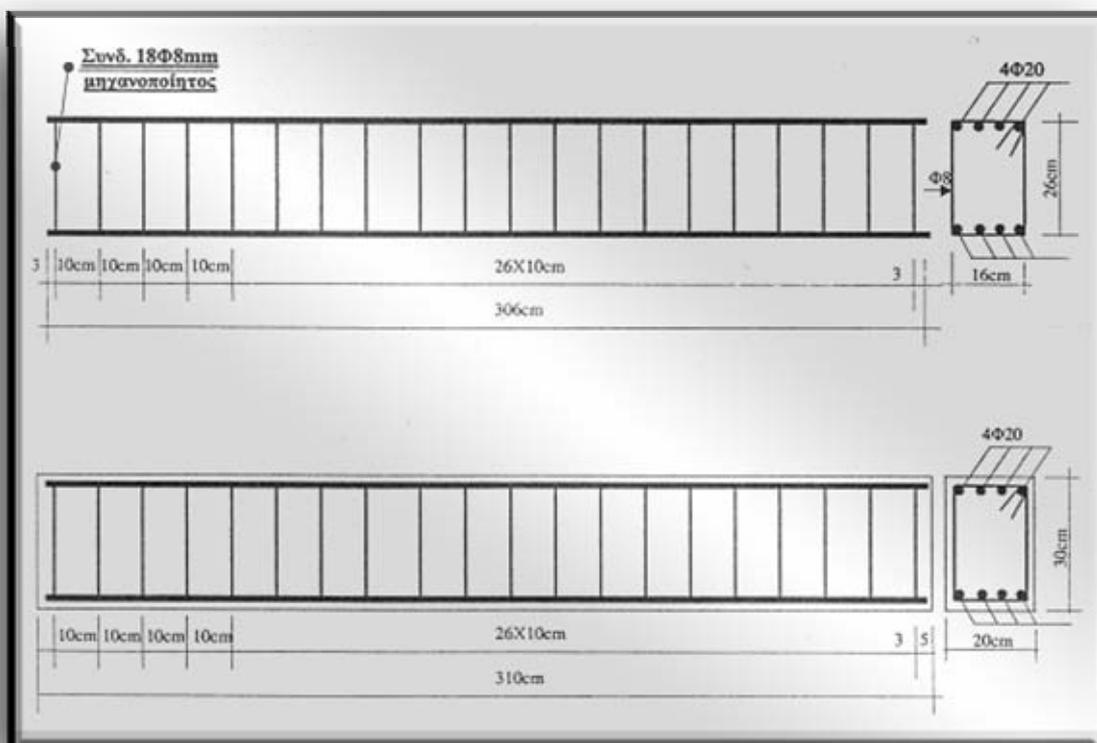
18.2 Δοκίμια

Χρησιμοποιήθηκε δοκός διατομής **20×30cm** και μήκους μεταξύ των στηρίξεων **2m**. Η δοκός είναι μητρική, δηλαδή δεν έχει υποστεί καμιά προηγούμενη επιπόνηση και είναι οπλισμένη με **4Φ20** διαμήκη οπλισμό άνω και κάτω. Η δοκός ενισχύθηκε διατμητικά στις δύο ακραίες περιοχές και σε μήκος **77cm** από τις στηρίξεις με μία στρώση FRP (κατακόρυφη φορά των ινών). Η αγκύρωση του ινοϋφάσματος έγινε σε μήκος **150mm**, όσο δηλαδή το μισό του ύψους της δοκού. Στη μεσαία περιοχή, στην κάτω παρειά της δοκού και σε μήκος **550mm** εκατέρωθεν του μέσου της δοκού τοποθετήθηκε λωρίδα FRP πλάτους **200mm**. Το συνολικό μήκος της λωρίδας είναι **1,10m**. Η λωρίδα αυτή καλύφθηκε από τα FRP των ακραίων περιοχών σε μήκος **32cm** σε κάθε ακραία περιοχή και αυξάνει την καμπτική αντοχή της δοκού (διαμήκης κατεύθυνση των ινών). Το δοκίμιο της ενισχυμένης δοκού φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



(Φωτογραφία 18α – Δοκίμο)

Η διάταξη των οπλισμών φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Για την εύρεση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος υποβάλλαμε σε δοκιμή καθαρής θλίψης τρία κυβικά δοκίμια ακμής **10cm** άοπλου σκυροδέματος τα οποία προήλθαν από το ίδιο υλικό. Τα φορτία θραύσης των δοκιμίων ήταν:

$$P_1 = 32100\text{kg} \rightarrow \sigma_u = 32,1\text{MPa}$$

$$P_2 = 16500\text{kg} \rightarrow \sigma_u = 16,5\text{MPa}$$

$$P_3 = 33000\text{kg} \rightarrow \sigma_u = 33,0\text{MPa}$$

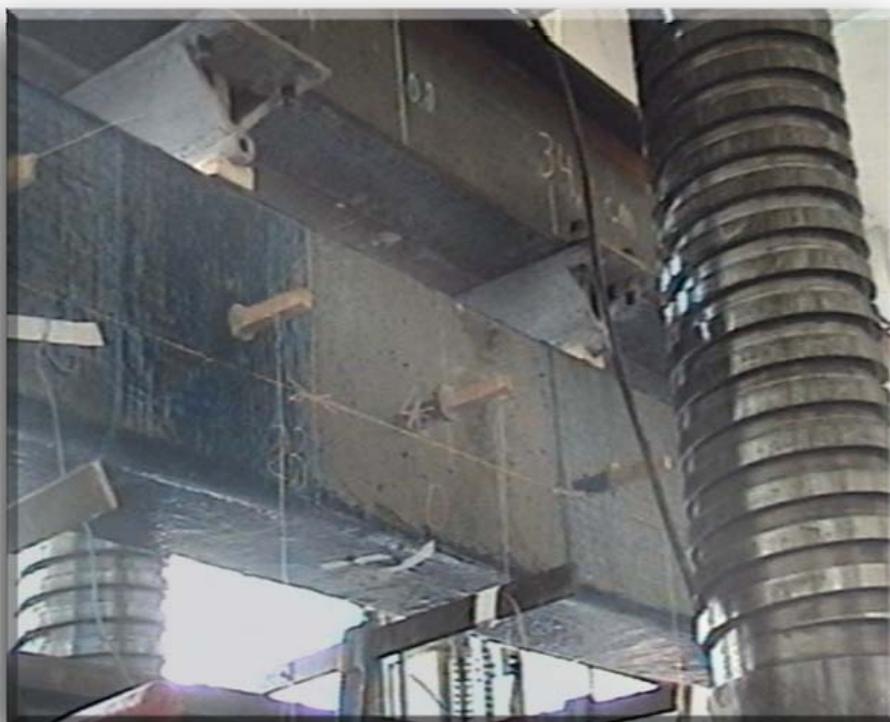
Το 2^ο δοκίμιο προφανώς δεν δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα και γι' αυτό αγνοείται. Θεωρούμε λοιπόν

$$\text{ότι έχουμε αντοχή σκυροδέματος } \frac{33,0 + 32,1}{2} = 32,55\text{MPa}$$

18.3 Πειραματική διάταξη

Το δοκίμιο τοποθετήθηκε όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα στην αντίστοιχη μηχανή φόρτισης του εργαστηρίου σιδηροπαγούς σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Έγινε ενοργάνωση της δοκού με 5 αισθητήρες μέτρησης της κατακόρυφης βύθισης και 2 ταινίες επιμήκυνσης για την διατμητική και την εφελκυστική παραμόρφωση των FRP στην ακραία και στην μεσαία περιοχή αντίστοιχα.

Οι ταινίες επιμήκυνσης και οι αισθητήρες φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



(Φωτογραφία 18β – Αισθητήρες και ταινίες επιμήκυνσης)

18.4 Αποτελέσματα

Το πείραμα ολοκληρώθηκε σε τρεις φάσεις φόρτισης με ενδιάμεση πλήρη αποφόρτιση. Αρχικά φτάσαμε σε φορτίο **52tn** όπου και σπάσανε απότομα τα ξύλα επιβολής των μοναχικών δυνάμεων της φόρτισης.



(Φωτογραφία 18γ – Ένα εκ των ξύλων επιβολής μοναχικών δυνάμεων φόρτισης)

Στον 1^ο αυτό κύκλο η συμπεριφορά του δοκιμίου υπήρξε οιονεί ελαστική.

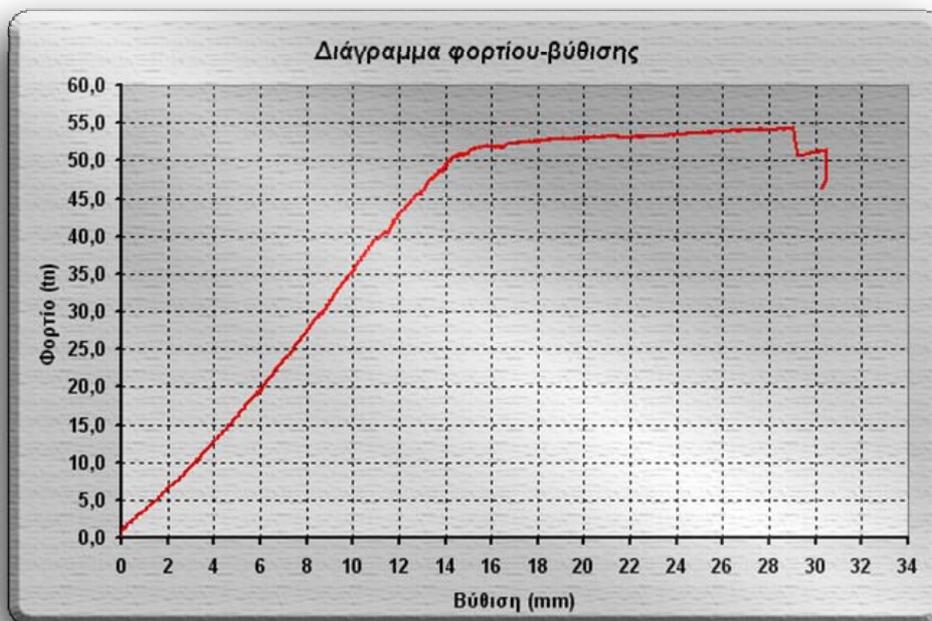
Στον 2^ο κύκλο φόρτισης αντικαταστάθηκαν τα ξύλινα στηρίγματα με αντίστοιχα αλουμινίου για αποφυγή του ίδιου φαινομένου. Φορτίσαμε μέχρι τους **51 tn** και αποφορτίσαμε. Το βέλος στο τέλος της αποφόρτισης μετρήθηκε **7mm** στο μέσο της δοκού.

Στον 3^ο κύκλο φόρτισης προχωρήσαμε μέχρι την αστοχία. Η αστοχία προήλθε από την μη επιδιωκόμενη ολίσθηση του καμπτικού FRP στο ένα του άκρο. Το φορτίο αστοχίας ήταν **54.4tn** και το βέλος στο μέσο της δοκού μετά την αποφόρτιση της ήταν **16 mm**. Επίσης στη μεσαία περιοχή της δοκού ήταν εμφανή καμπτικά ρήγματα.

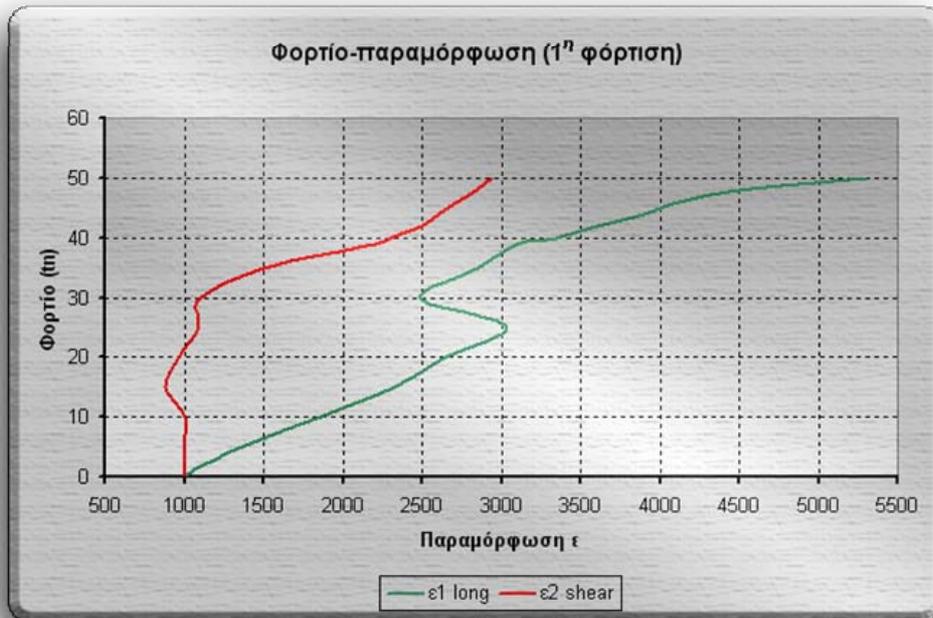


(Φωτογραφία 18δ – Καμπτικά ρήγματα στο μέσον της δοκού)

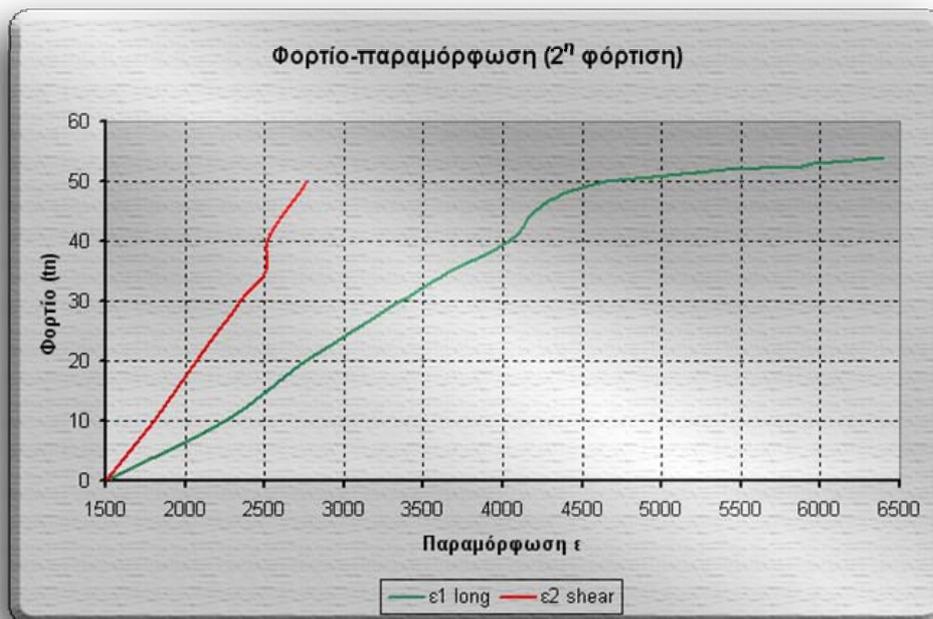
Το παρακάτω διάγραμμα δίνει τη σχέση φορτίου-βέλους στο μέσο της δοκού.



(Διάγραμμα 18α – Διάγραμμα φορτίου-βύθισης στο μέσο της δοκού)



(Διάγραμμα 18β – Διάγραμμα φορτίου-παραμόρφωσης για την 1^η φόρτιση)



(Διάγραμμα 18γ – Διάγραμμα φορτίου-παραμόρφωσης για τη 2^η φόρτιση)

18.5 Παρατηρήσεις

- Το δοκίμιο τελικά αστόχησε από ολίσθηση του FRP στο ένα του άκρο. Η τάση τη στιγμή της αστοχίας στο FRP της κάτω παρειάς της δοκού υπολογίστηκε :

$$\sigma = E \times \epsilon_1 = 285000 \times (6400 - 1500) \times 10^{-6} = \mathbf{1397 \text{ MPa}}$$

- Συνεπώς η δύναμη που αναλαμβάνει το FRP είναι:

$$P = \sigma \times A = 1397 \times 0,00016 \times 0,20 \times 1000 = \mathbf{44,7 \text{ KN}}$$

- Η δύναμη αυτή παραλαμβάνεται από το τμήμα του FRP που βρίσκεται μεταξύ του μοναχικού φορτίου και του άκρου του διαμήκους FRP δεδομένου ότι στη μεσαία περιοχή μεταξύ των μοναχικών δυνάμεων η ροπή είναι σταθερή οπότε και δεν αναπτύσσονται διατμητικές διαμήκεις τάσεις. Συνεπώς διατμητικές τάσεις αναπτύσσονται σε μήκος

$$\Delta L = 55 - 34 = \mathbf{21 \text{ cm}}$$

(όπου **34cm** είναι η απόσταση του σημείου εφαρμογής της μοναχικής δύναμης από το μέσον της δοκού και **55 cm** το μισό μήκος της κάτω λωρίδας FRP)

- Συνεπώς η οριακή διατμητική τάση που αναπτύσσεται στο FRP είναι :

$$\tau = \frac{44,7}{0,2 \times 0,21} = 1064 \text{ KPa} = \mathbf{1,064 \text{ MPa}}$$

- Από το σημείο καμπής που εμφανίζεται στο διάγραμμα της διαμήκους επιμήκυνσης (ϵ_1) φαίνεται η έναρξη της ολίσθησης του FRP.
- Από το διάγραμμα της διατμητικής παραμόρφωσης παρατηρούμε γραμμική συμπεριφορά στην περιοχή προέχουσας διάτμησης.

ΠΕΙΡΑΜΑ 19^ο (27/3/2003)**ΚΑΜΨΗ ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΜΕΝΗΣ ΔΟΚΟΥ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗΣ ΜΕ FRP****19.1 Σκοπός του πειράματος**

Σκοπός του πειράματος είναι ο προσδιορισμός της καμπτικής αντοχής επισκευασμένης δοκού ενισχυμένης με FRP.

19.2 Δοκίμια

Χρησιμοποιήθηκε η δοκός του πειράματος 18, η οποία επιδιορθώθηκε και τοποθετήθηκε ανάποδα (η θλιβόμενη ίνα έγινε εφελκυστική και ανάποδα). Με αυτή τη διάταξη οι παραμένουσες παραμορφώσεις του πειράματος 18 (16 mm) δίνουν στη δοκό τοξωτό σχήμα. Η δοκός ενισχύθηκε διατμητικά σε όλο το μήκος της με μία στρώση FRP (κατακόρυφη φορά των ινών). Η αγκύρωση του ινοϋφάσματος έγινε σε μήκος 150mm, όσο δηλαδή το μισό του ύψους της δοκού. Στην κάτω ίνα της δοκού και σε όλο το μήκος της, τοποθετήθηκε λωρίδα FRP πλάτους 200mm. Η τοποθέτηση των FRP έγινε με τρόπο ώστε το εγκάρσιο να μη περιβάλλει το διαμήκες. Το δοκίμιο της ενισχυμένης δοκού φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



(Φωτογραφία 19α – Δοκίμιο και πειραματική διάταξη)

19.3 Πειραματική διάταξη

Το δοκίμιο τοποθετήθηκε όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα στην αντίστοιχη μηχανή φόρτισης του εργαστηρίου σιδηροπαγούς σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Έγινε ενοργάνωση της δοκού με 5 αισθητήρες μέτρησης της κατακόρυφης βύθισης και 4 ταινίες επιμήκυνσης. Οι δύο από αυτές ήταν στα ίδια σημεία με αυτά του πειράματος 18, ενώ από τις άλλες δύο η μια μετρούσε τη διαμητική παραμόρφωση στη θέση επιβολής του φορτίου, ενώ η άλλη μετρούσε τη διαμήκη παραμόρφωση της εφελκόμενης ίνας στο κέντρο της δοκού. Οι ταινίες επιμήκυνσης και οι αισθητήρες φαίνονται στην παρακάτω φωτογραφία:



(Φωτογραφία 19β – Αισθητήρες και ταινίες επιμήκυνσης)

19.4 Αποτελέσματα

Η δοκός αστόχησε υπό φορτίο 58 tn από αστοχία του διαμήκους ινοϋφάσματος σε εφελκυσμό.



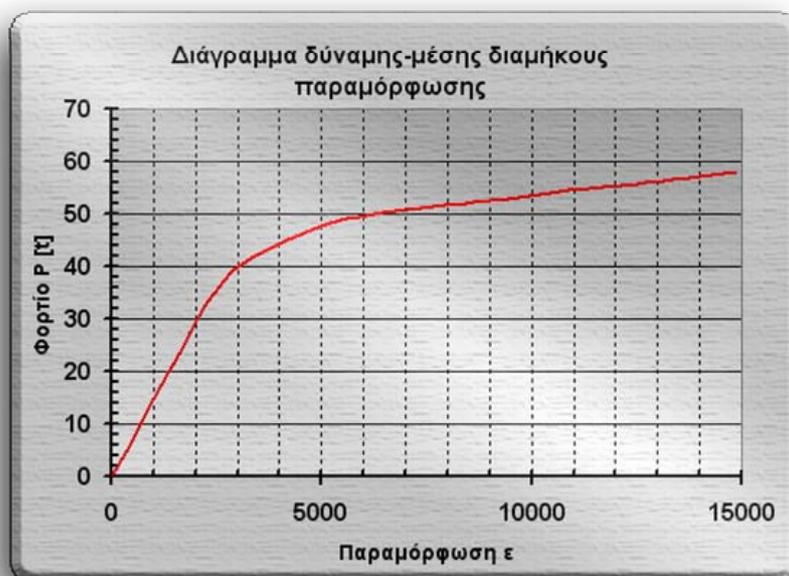
(Φωτογραφία 19γ – Εικόνα αστοχίας)

Το παρακάτω διάγραμμα δίνει τη σχέση φορτίου-βέλους στο μέσο της δοκού.



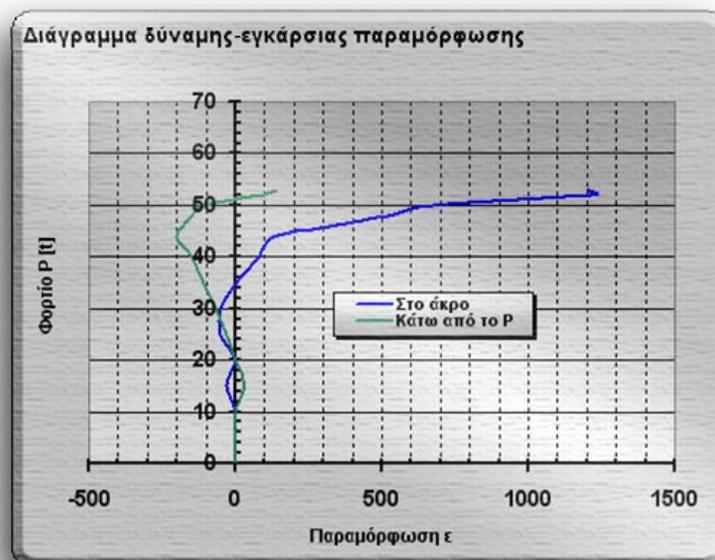
(Διάγραμμα 19α – Φορτίο–βύθιση στο μέσο της δοκού)

Το παρακάτω διάγραμμα δίνει τη σχέση φορτίου–μέσης διαμήκου παραμόρφωσης στο μέσο της δοκού.



(Διάγραμμα 19β – Φορτίο–μέση διαμήκης παραμόρφωση $\cdot 10^{-6}$ στο μέσο της δοκού)

Το παρακάτω διάγραμμα δίνει τη σχέση φορτίου–εγκάρσιας παραμόρφωσης κοντά στο άκρο και κάτω από το φορτίο P της δοκού

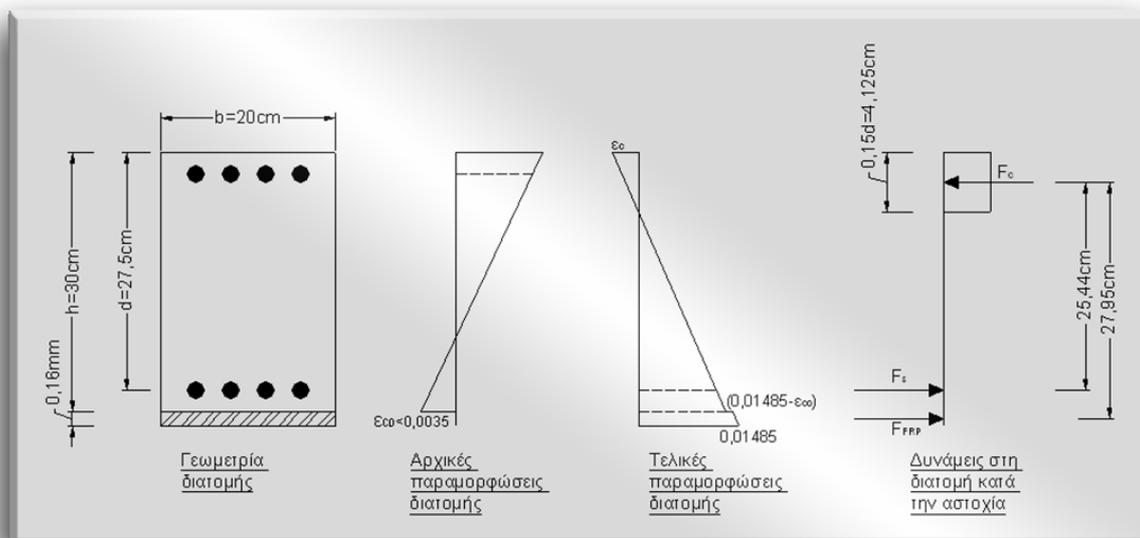


(Διάγραμμα 19γ – Δύναμη–εγκάρσια παραμόρφωση $\cdot 10^{-6}$)

19.5 Παρατηρήσεις

- Το δοκίμιο τελικά αστόχησε από θραύση του διαμήκουσ ινοϋφάσματος σε εφελκυσμό.
- Όπως φαίνεται από το διάγραμμα των διατμητικών παραμορφώσεων, οι τιμές τους κάτω από τη θέση επιβολής του φορτίου, ήταν ουσιαστικά μηδενικές. Αυτό οφείλεται στο ότι δεν υπήρχαν διατμητικές τάσεις στην συγκεκριμένη περιοχή εξαιτίας της μορφής φόρτισης. Αντίθετα οι τιμές των διατμητικών παραμορφώσεων στο άκρο της δοκού μετά από συγκεκριμένη τιμή του φορτίου (44tn), αυξάνουν απότομα γεγονός που μάλλον οφείλεται σε ρηγματώση του σκυροδέματος.
- Η αρχική παραμένουσα παραμόρφωση της νέας εφελκόμενης ζώνης του σκυροδέματος εξαιτίας του πειράματος 18 είναι μικρότερη του 0,0035 (θλιβόμενη ζώνη σκυροδέματος). Μετά το πέρας του πειράματος η τελική παραμόρφωση του ινοϋφάσματος (FRP) μετρήθηκε $14850 \cdot 10^{-6}$. Συνεπώς η τελική παραμόρφωση της εφελκόμενης ίνας του σκυροδέματος $(14850 \cdot 10^{-6} - \epsilon_{co}) > 0,0025 = \epsilon_y$. Προφανώς λοιπόν ο χάλυβας της νέας εφελκόμενης ίνας διαρρέει.

Παρακάτω φαίνεται η παραμόρφωση της διατομής καθώς και οι δυνάμεις που ασκούνται σε αυτή κατά την αστοχία:



(Σχέδιο 19α – Παραμόρφωση–Δυνάμεις διατομής)

Παρατήρηση : Η συνεισφορά του οπλισμού στην θλιβόμενη ίνα θεωρείται αμελητέα, ενώ η παραμόρφωση του χάλυβα της εφελκόμενης ίνας θεωρήθηκε ίση με την παραμόρφωση της ακραίας εφελκόμενης ίνας του σκυροδέματος, δεδομένου ότι η πραγματική της τιμή εξαρτάται από την παραμόρφωση της ακραίας θλιβόμενης ίνας του σκυροδέματος, η οποία όμως δεν μετρήθηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος. Επίσης θεωρήθηκε ότι το ύψος της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος κατά την αστοχία ήταν ίσο με $0,15d$, όπου d ο μοχλοβραχίονας του διαμήκους οπλισμού. Η κατανομή της τάσης του σκυροδέματος στη θλιβόμενη ζώνη θεωρήθηκε ομοιόμορφη.

Είναι

$$F_s = A_s \times (E_s \times \varepsilon_{sy}) = 12,57 \times 10^{-4} \times 200 \times 10^6 \times 0,0025 = 628,5 \text{KN}$$

όπου

$$A_s = 4\Phi 20 = 12,57 \times 10^{-4} \text{m}^2$$

$$E_s = 200 \times 10^6 \text{KPa}$$

$$\varepsilon_y = 0,0025 \text{ για } S500$$

$$\text{Επίσης } F_{FRP} = A_{FRP} \times (E_{FRP} \times \varepsilon_{FRP}) = 0,00016 \times 0,20 \times 285 \times 10^6 \times 14850 \times 10^{-6} = 135,432 \text{KN}$$

Υπολογίζοντας την συνολική ροπή που παραλαμβάνει η διατομή ως προς το σημείο εφαρμογής της δύναμης της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος έχουμε ότι:

$$M_u = F_{FRP} \times d_{FRP} + F_s \times d_s = (135,432 \times 27,95 + 628,5 \times 25,44) \times 10^{-2} = 37,85 + 160,85 = 197,7 \text{KNm}$$

- Πιο κάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της φέρουσας ικανότητας της διατομής της δοκού σε κάμψη όπως αυτά προέκυψαν από την ανάλυση που έγινε με το πρόγραμμα που διανεμήθηκε στους φοιτητές του ΑΣΤΕ από τον καθηγητή κ. Μάνο. Βρέθηκε ότι

$$M_u = 199,6 \text{ KNm}$$

- Επιπλέον μπορούμε να υπολογίσουμε τη φέρουσα ικανότητα της δοκού από την ροπή που αυτή φέρει τη στιγμή της αστοχίας και ισούται με:

$$M_u = \frac{P_u}{2} \times l = \frac{58 \times 9,81}{2} \times 0,66 = 187,76 \text{ KNm}$$

- Όπως είναι εμφανές τα αποτελέσματα που βρέθηκαν από τις 3 παραπάνω μεθόδους βρίσκονται σε συμφωνία μεταξύ τους.
- Η συμπεριφορά της δοκού κρίνεται ικανοποιητική αφού η αστοχία προήλθε από κάμψη.

```

***   input   parameters   ***

Axial Force of the Cross Section (Positive Compr) Knt  0

***   cross section properties   ***
area of tension rebars   mm2  1257
area of compression rebars   mm2  1257
thickness of FRP   mm  .16
width of FRP   mm  200
number of FRP layers  1
section height mm  300
section width mm  200
top rebar (centroid) cover mm  25
distance of bottom rebar (centroid) cover mm  25
area of tension rebars   mm2  1257
area of compression rebars   mm2  1257
thickness of FRP   mm  .16
width of FRP   mm  200
number of FRP layers  1

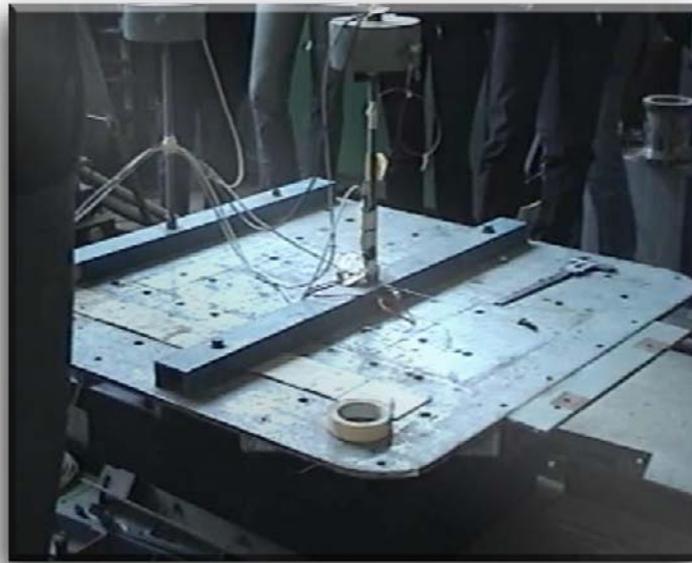
***   steel mechanical properties   ***
steel yield stress   Mpa  500
steel Young's Modulus   Mpa  200000
stress at initiation of hardening   Mpa  500
strain at initiation of hardening   .003
hardening modulus   Mpa  20000
ultimum stress   Mpa  575
ultimum strain   .025

***   FRP Mechanical Properties   ***
FRP Young's Modulus   Mpa  285000

***   Concrete Mechanical Properties   ***
concrete cylinder strength   Mpa  25
concrete limit strain (unconfined)   Mpa  .0035
concrete Young's Modulus   Mpa  31000

****   R e s u l t s   ****   R e s u l t s   ***
tension steel stress   Mpa  542.5322
tension steel strain   1.052499E-02
compression steel stress   Mpa  445.0002
compression steel strain   2.225001E-03
FRP tensile strain   1.179999E-02
Bending Moment   Kntm  199.649328
Tension Resultant Force   Knt  789.5789
Compression Resultant Force   Knt  792.6987
Axial Force   Knt  -3.119875

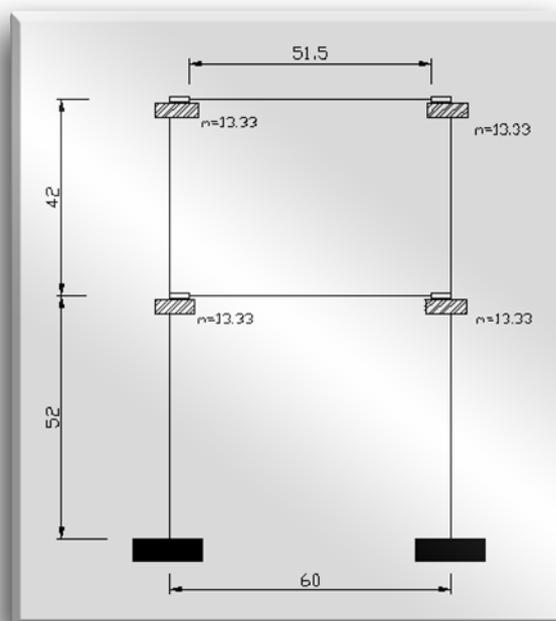
```

ΠΕΙΡΑΜΑ 20^ο (3/4/2003)**ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΔΙΩΡΟΦΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ
ΤΡΑΠΕΖΑ****20.1 Σκοπός του πειράματος**

Σκοπός του πειράματος είναι η μελέτη της απόκρισης και των δυναμικών χαρακτηριστικών ενός διώροφου επίπεδου πλαισίου σε διάφορες διεγέρσεις στις οποίες υποβλήθηκε στην σεισμική τράπεζα.

20.2 Δοκίμια

Χρησιμοποιήθηκε ένα δίστυλο, διώροφο, επίπεδο πλαίσιο του οποίου η μάζα ήταν συγκεντρωμένη στους τέσσερις κόμβους του. Τα φέροντα στοιχεία του δοκιμίου ήταν χαλύβδινα. Οι στύλοι είχαν μορφή σπείρας με $d=18/15$ εξωτερική και εσωτερική διάμετρο αντίστοιχα, θεωρούνται δε πακτωμένοι με διάταξη σφήνωσης κοχλιωτή πάνω στη σεισμική τράπεζα. Τα οριζόντια στοιχεία του ζυγώματος ήταν χαλύβδινες λάμες διαστάσεων $t=5,5\text{mm}$ και $b=21\text{mm}$. Το ζύγωμα είχε στερεή ζώνη $4,25\text{cm}$ στα άκρα του. Στην κάτω παρειά των τεσσάρων κόμβων δοκού-υποστυλώματος τοποθετήθηκαν και σφηνώθηκαν μάζες $m=13,33\text{ kg}$ η κάθε μία. Για να έχουμε γνώση της γεωμετρίας του δοκιμίου και εποπτεία αυτό σχεδιάστηκε παρακάτω:



(Σχέδιο 20α – Δίστυλο διώροφο πλαίσιο)

20.3 Πειραματική διάταξη

Το δοκίμιο τοποθετήθηκε στην σεισμική τράπεζα του Εργαστηρίου Σιδηροπαγούς σκυροδέματος Α.Π.Θ. Η πειραματική διάταξη της σεισμικής τράπεζας φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία. Οι διαστάσεις της σεισμικής τράπεζας του εργαστηρίου $b \times h = 1,20 \times 1,20 \text{ m}$ και είναι στερεωμένη πάνω σε ακλόνητη βάση. Η κίνηση επιβαλλόταν μέσω της σεισμικής τράπεζας, ενώ παράλληλα γινόταν καταγραφή της απόκρισης του διωρόφου πλαισίου με μέτρηση των επιταχύνσεων και μετακινήσεών του. Οι τοποθετούμενοι αισθητήρες στο πλαίσιο κατέγραφαν τα παρακάτω μεγέθη απόκρισης στα αντίστοιχα κανάλια:

Channel 0: Μετακίνηση βάσης

Channel 1: Μετακίνηση 1^{ου} ορόφου

Channel 2: Μετακίνηση 2^{ου} ορόφου

Channel 3: Επιτάχυνση βάσης

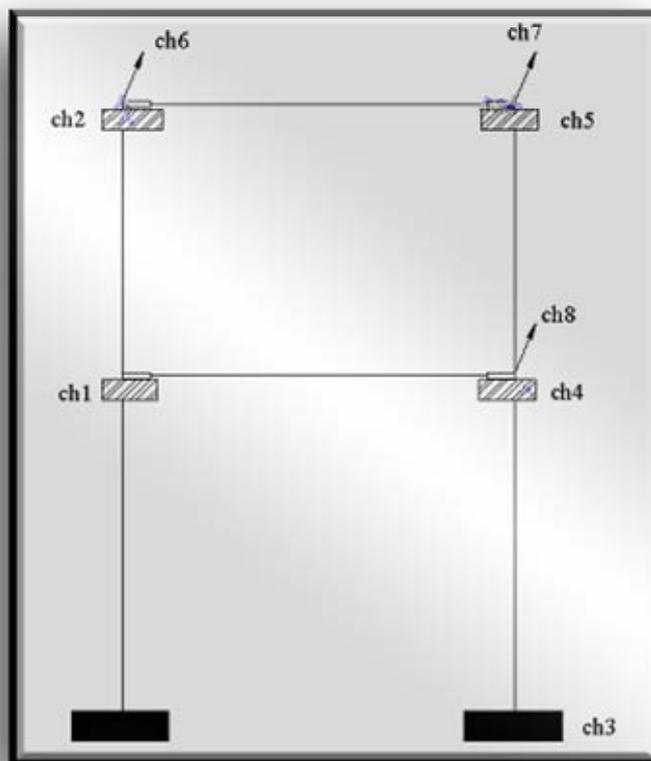
Channel 4: Επιτάχυνση 1^{ου} ορόφου

Channel 5: Επιτάχυνση 2^{ου} ορόφου

Channel 6: Εγκάρσια επιτάχυνση 2^{ου} ορόφου

Channel 7: Εγκάρσια επιτάχυνση 2^{ου} ορόφου

Channel 8: Εγκάρσια επιτάχυνση 1^{ου} ορόφου



(Σχέδιο 20β – Σχέδιο αισθητηρίων)

Οι φορτίσεις που επιβλήθηκαν στο πλαίσιο ήταν οι παρακάτω με χρονολογική σειρά:

- Pullo1 Καταναγκασμένη μετατόπιση 1^{ου} ορόφου και ελεύθερη ταλάντωση μετά την αφαίρεση του φορτίου
- Pullo2 Καταναγκασμένη μετατόπιση 2^{ου} ορόφου και ελεύθερη ταλάντωση μετά την αφαίρεση του φορτίου
- Pullo3 (roul.002) Ελεύθερη ταλάντωση με αρχική μετατόπιση 2^{ου} ορόφου εκτός επιπέδου (για προσέγγιση 1^{ης} ιδιομορφής εκτός επιπέδου)
- Pullo4 (roul.1-2) Ελεύθερη ταλάντωση με κατάλληλη αρχική μετατόπιση 1^{ου} & 2^{ου} ορόφου εκτός επιπέδου (για προσέγγιση 2^{ης} ιδιομορφής εκτός επιπέδου)
- Pullo5 (roul.tor) Ελεύθερη ταλάντωση με αρχική μετατόπιση στύλων εκατέρωθεν εκτός επιπέδου (για προσέγγιση στρεπτικής ιδιομορφής)

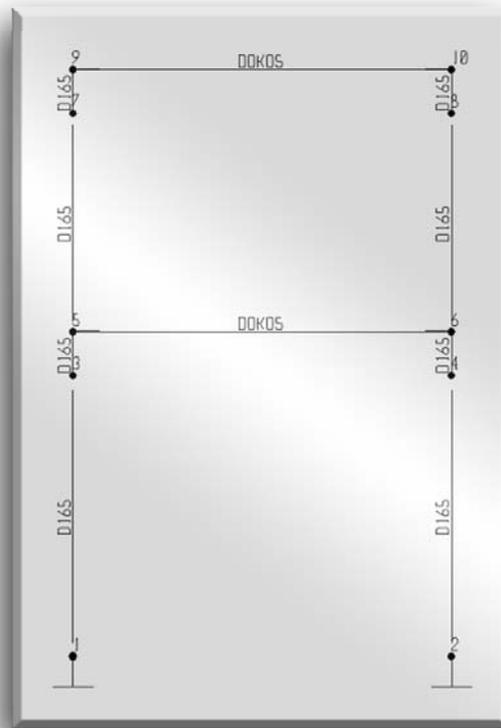


(Φωτογραφία 20α – Πειραματική διάταξη)

20.4 Προσδιορισμός δυναμικών χαρακτηριστικών του δοκιμίου με αναλυτικό μοντέλο.

Προσομοίωμα πλαισίου στο SAP 2000

Το πλαίσιο προσομοιώθηκε με βάση τα δεδομένα που διαθέταμε στο πρόγραμμα SAP 2000 rel. 7.44 και επιλύθηκε. Οι επιμέρους παραδοχές και η γεωμετρία του πλαισίου φαίνονται στο αρχείο δεδομένων του προγράμματος. Προκειμένου να έχουμε εποπτεία στα δεδομένα και τα αποτελέσματά μας παραθέτουμε το παρακάτω σχήμα με την αρίθμηση των κόμβων και την ονομασία των δομικών στοιχείων. Η ανάλυση του πλαισίου έγινε στο χώρο (Χωρικό πλαίσιο) με συνολικά 8 βαθμούς ελευθερίας, προκειμένου να προσδιοριστεί και η εκτός επιπέδου κίνηση του πλαισίου κατά την επιβολή της διέγερσης.

Ελαστική Διακριτοποίηση

(Σχέδιο 20γ – Ελαστική Διακριτοποίηση)

Υλικά

Χρησιμοποιήθηκε το υλικό του χάλυβα με κατανεμημένη μάζα προκειμένου να λάβουμε υπόψη την επιρροή της κατανεμημένης μάζας στο δυναμικό φαινόμενο.

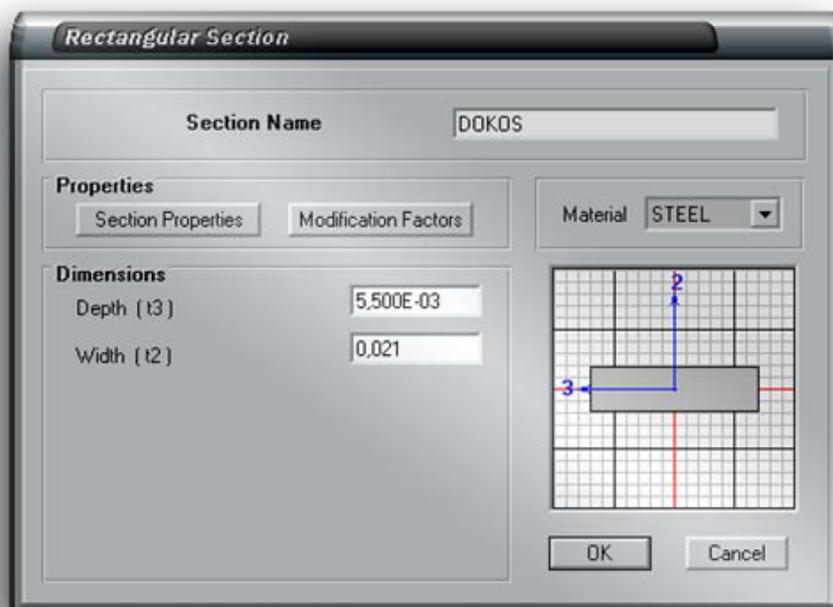
(Εικόνα 20α – Ιδιότητες υλικού)

Διατομές

Ο στύλος προσομοιώθηκε με κυκλική διατομή διαμέτρου $d = \frac{18 + 15}{2} = 16,5 \text{ mm}$.

(Εικόνα 20β – Ιδιότητες στύλου)

Η δοκός προσομοιώθηκε με μία ορθογωνική χαλύβδινη διατομή :



(Εικόνα 20γ – Ιδιότητες δοκού)

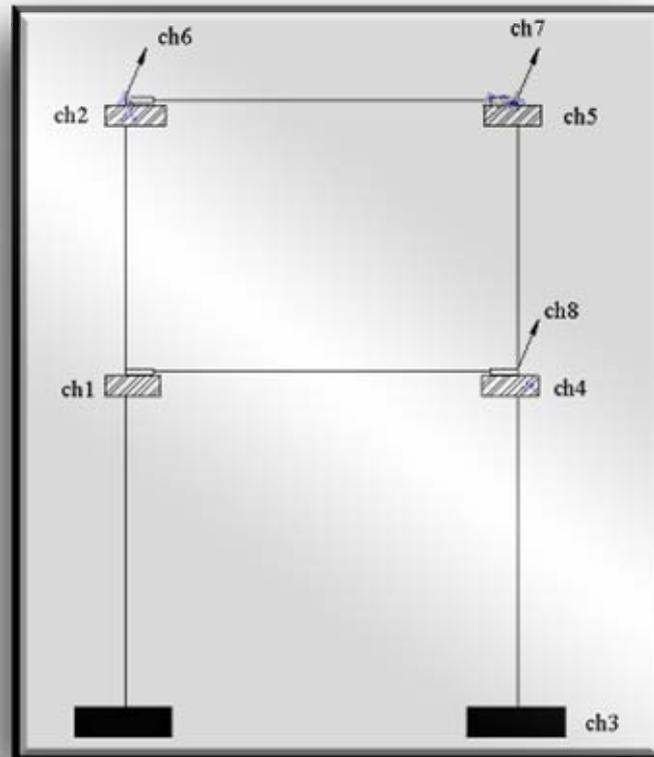
Στα άκρα των δοκών τοποθετήθηκαν άκαμπτοι βραχίονες μήκους 4,5cm χρησιμοποιώντας την εντολή *End Offset* που έχει ενσωματωμένη το πρόγραμμα.

Στηρίξεις

Η θεωρητική θέση πάκτωσης δίδεται επί της έδρασης στην σεισμική τράπεζα. Ωστόσο κρίνεται ότι υπήρχε σχετική στροφή στη στήριξη του κάθε στύλου, γεγονός που δεν ήταν δυνατό να προσομοιωθεί λόγω ελλειπών δεδομένων. Αναμένουμε λοιπόν το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στην παρακάτω επίλυση να είναι και πιο δύσκαμπτο και άρα με μικρότερη ιδιοπερίοδο.

Δυναμική Διακριτοποίηση

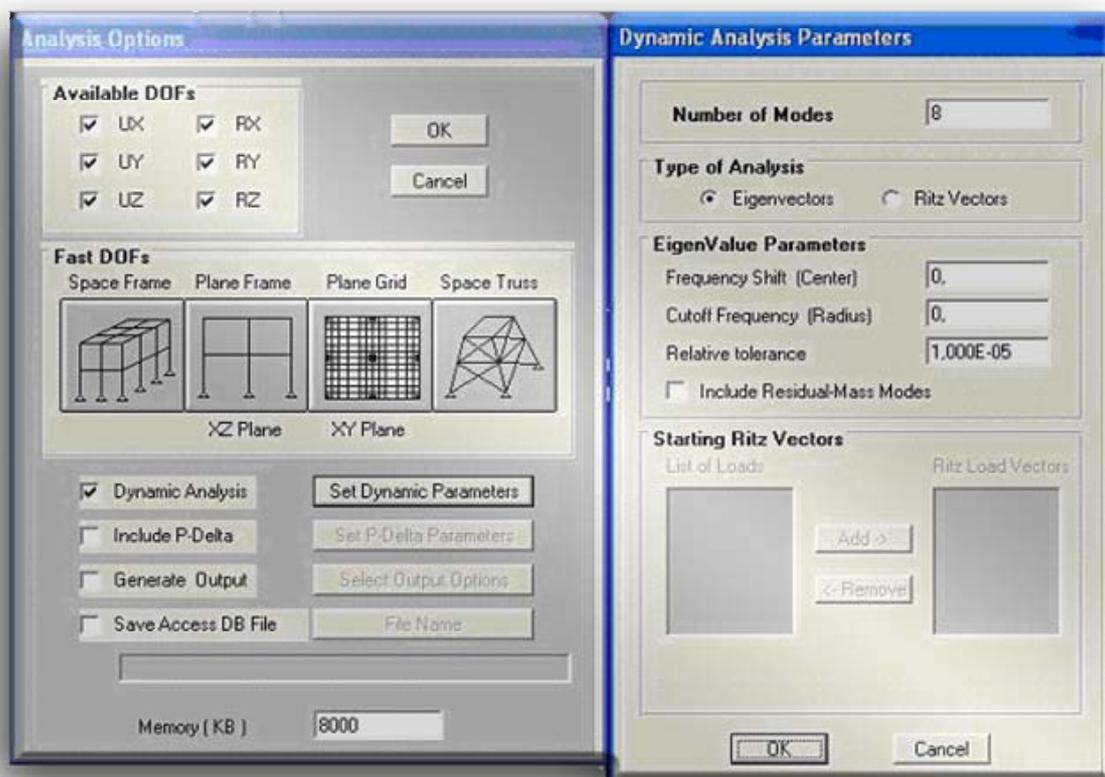
Οι μάζες τοποθετήθηκαν 7cm κάτω από τους κόμβους, εκεί που βρισκόταν στο δοκίμιο προκειμένου να έχουμε πιο ρεαλιστική προσομοίωση του πλαισίου:



(Σχέδιο 20δ – Δυναμική Διακριτοποίηση)

Επιλογή αριθμού ιδιομορφών

Επιλέχθηκε να γίνει ιδιομορφική ανάλυση του επίπεδου πλαισίου προκειμένου να λάβουμε ιδιοπερίόδους και ιδιομορφές:

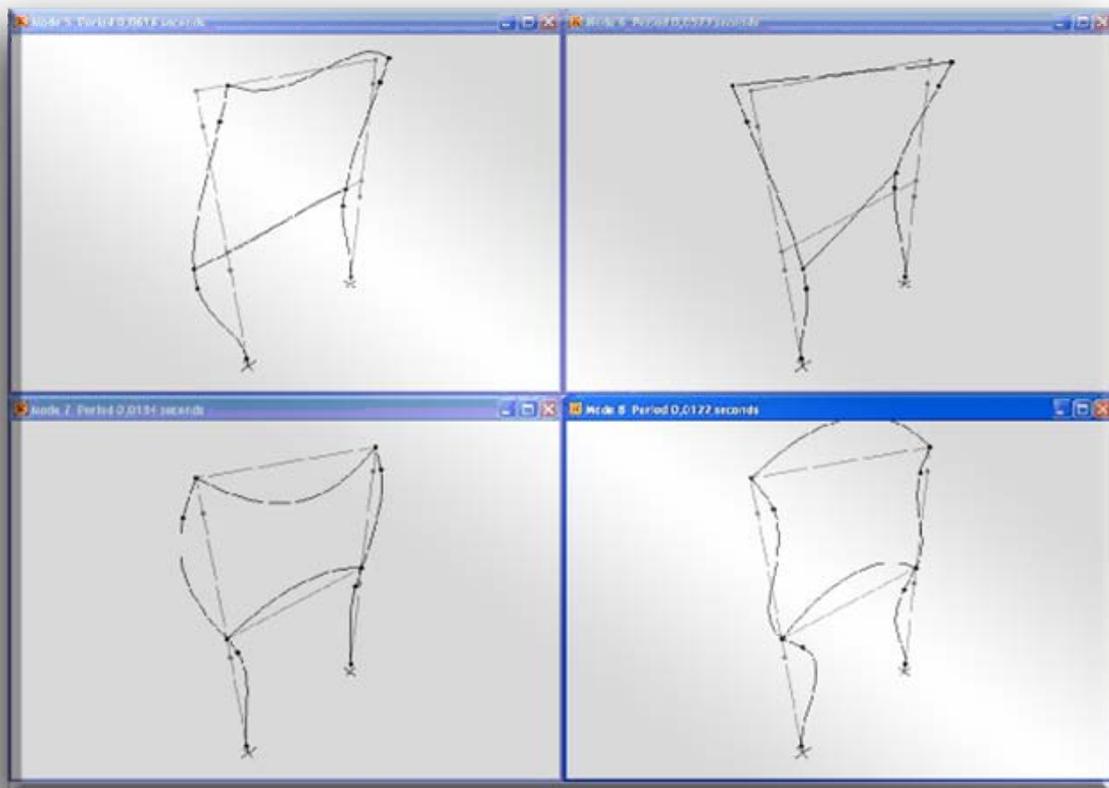
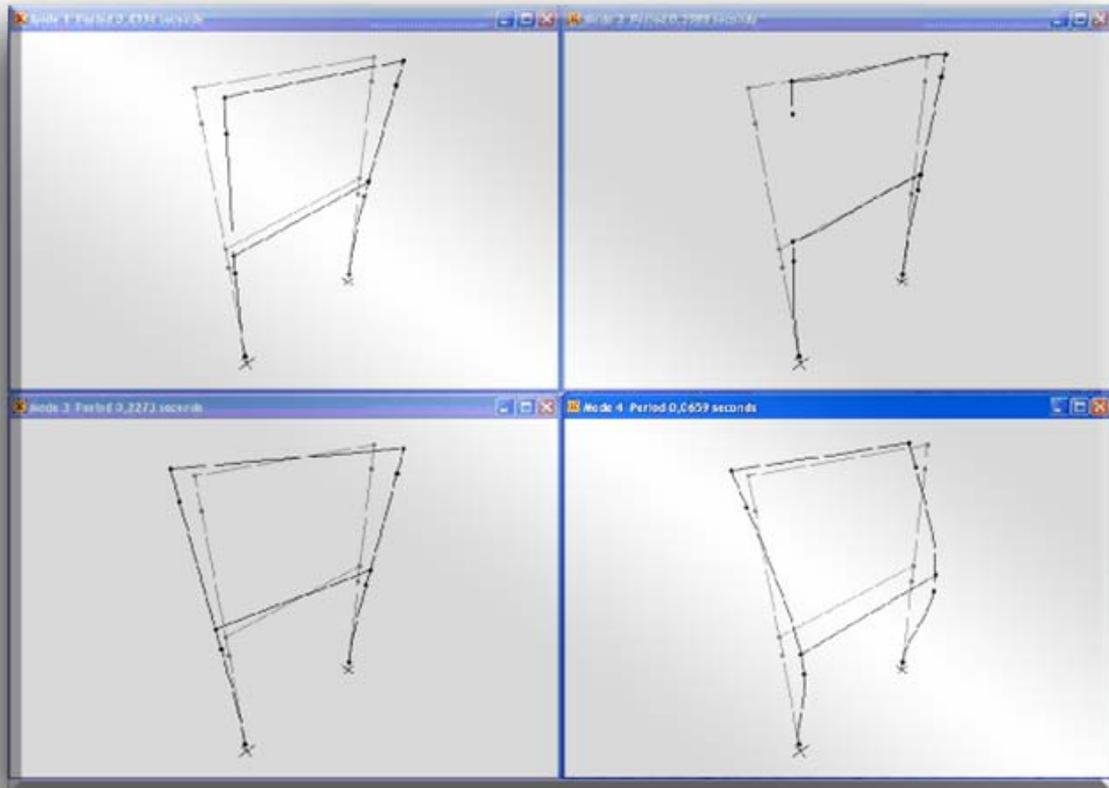


(Εικόνα 20γ – Ρυθμίσεις ιδιομορφικής ανάλυσης)

20.5 Αποτελέσματα ανάλυσης

MODE	PERIOD (TIME)	FREQUENCY (CYC/TIME)	FREQUENCY (RAD/TIME)	EIGENVALUE (RAD/TIME) **2
1	0.433438	2.307135	14.496158	210.138610
2	0.298818	3.346515	21.026777	442.125345
3	0.227348	4.398540	27.636841	763.794968
4	0.065897	15.175267	95.349014	9091.435
5	0.061600	16.233752	101.999674	10403.933
6	0.057252	17.466614	109.745972	12044.178
7	0.018406	54.330009	341.365512	116530.413
8	0.012182	82.090021	515.786816	266036.040

Ακολουθεί η σχεδίαση των ιδιομορφών.



20.6 Πειραματικός προσδιορισμός δυναμικών και ελαστικών χαρακτηριστικών του πλαισίου

20.6.1 Φορτίσεις pull.001 pull.002 και προσδιορισμός μητρώου δυσκαμψίας, ιδιοσυχνοτήτων και απόσβεσης.

Προκειμένου να προσδιορίσουμε τα δυναμικά χαρακτηριστικά του συστήματος με επιτόπου μετρήσεις έγιναν διαδοχικά τέσσερις κύκλοι δοκιμών με επιβολή μετατοπίσεων στον 2^ο και 1^ο όροφο του δοκιμίου διαδοχικά. Παράλληλα γινόταν μέτρηση της φόρτισης. Στους παρακάτω πίνακες δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών:

Πίνακας 20α					
Φορτίο στη στάθμη 2					
Φορτίο (kg)	Φορτίο (Nt)	ux,1 (mm)	ux,2 (mm)	f _{1,2}	f _{2,2}
1 ^{ος} Κύκλος μετρήσεων					
4	39,24	-1,97	-4,95	0,050204	0,126147
5	49,05	-2,62	-6,62	0,053415	0,134964
7	68,67	-3,94	-10,16	0,057376	0,147954
8	78,48	-4,62	-11,97	0,058869	0,152523
10	98,10	-5,85	-15,11	0,059633	0,154027
15	147,15	-8,55	-21,61	0,058104	0,146857
20	196,20	-11,32	-28,15	0,057696	0,143476
3 ^{ος} Κύκλος μετρήσεων					
5	49,05	-2,62	-6,78	0,053415	0,138226
10,05	98,59	-5,40	-13,53	0,054772	0,137234
15,05	147,64	-8,16	-20,06	0,055269	0,135871

Πίνακας 20β					
Φορτίο στη στάθμη 1					
Φορτίο (kg)	Φορτίο (Nt)	ux,1 (mm)	ux,2 (mm)	f _{1,1}	f _{2,1}
2 ^{ος} Κύκλος μετρήσεων					
10	98,10	-2,97	-5,60	0,030275	0,057085
15	147,15	-4,23	-7,96	0,028746	0,054094
20	196,20	-6,25	-12,42	0,031855	0,063303
25	245,25	-7,73	-15,32	0,031519	0,062467
30	294,30	-12,18	-23,20	0,041386	0,078831
4 ^{ος} Κύκλος μετρήσεων					
10,5	103,01	-2,96	-5,66	0,028736	0,054949
20,85	204,54	-6,31	-12,55	0,030850	0,061358
25,63	251,43	-7,87	-15,50	0,031301	0,061647

(Πίνακες 20α και 20β – Φορτία στις στάθμες)

Οι παραπάνω μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογιστούν οι συντελεστές ευκαμψίας $f_{i,j}$ του μητρώου ευκαμψίας. Κρίθηκε ότι κάποιες από τις μετρήσεις έδιναν αποκλίσεις από την γραμμική απόκριση σε στατική φόρτιση – κυρίως οι μετρήσεις σε μεγάλες μετατοπίσεις οπότε και είναι πιο έντονα τα φαινόμενα 2^{ης} τάξης με δεδομένη την συγκεντρωμένη μάζα πάνω στους κόμβους. Επίσης

σε μεγάλες μετατοπίσεις έχουμε εμφάνιση και ανελαστικών φαινομένων. Για τους παραπάνω λόγους θεωρήσαμε τις 6 πρώτες μετρήσεις αξιόπιστες και λάβαμε τους συντελεστές ευκαμψίας ως μέσο όρο αυτών. Προέκυψε έτσι το παρακάτω μητρώο ευκαμψίας :

$$F = \begin{pmatrix} 0,0306 & 0,0592 \\ 0,0592 & 0,1437 \end{pmatrix} \text{ (m/KN)}$$

Με αντιστροφή του παραπάνω μητρώου βρίσκουμε το μητρώο δυσκαμψίας του φορέα.

$$K = F^{-1} = \begin{pmatrix} 160,994 & -66,325 \\ -66,325 & 34,283 \end{pmatrix} \text{ (KN/m)}$$

Το μητρώο μάζας του φορέα είναι το παρακάτω:

$$M = \begin{pmatrix} 0,013333 & 0 \\ 0 & 0,013333 \end{pmatrix} \text{ (tn)}$$

Λύνοντας την κάτωθι χαρακτηριστική εξίσωση της δυναμικής βρίσκουμε τις κυκλικές ιδιοσυχνότητες του συστήματος:

$$|K - \omega^2 \times M| = 0$$

Η λύση του παραπάνω ομογενούς συστήματος είναι:

$$\omega_1 = 14,90 \text{ rad/s}$$

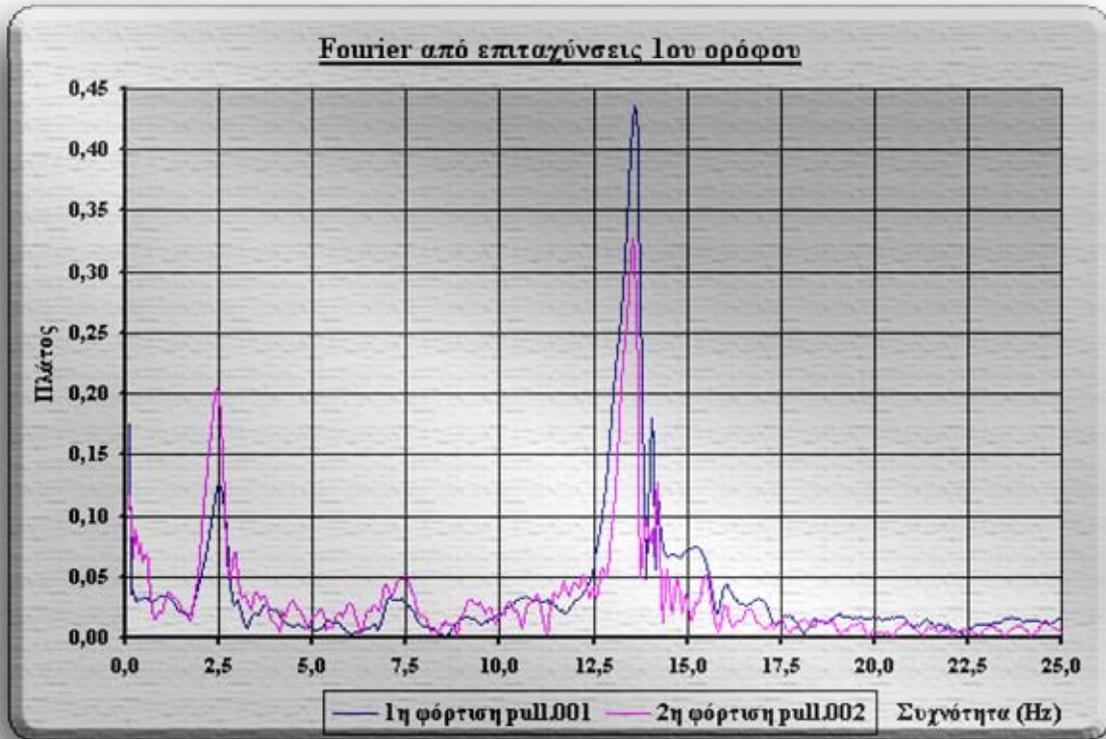
$$\omega_2 = 84,27 \text{ rad/s}$$

Οι παραπάνω ιδιοσυχνότητες αντιστοιχούν στις παρακάτω ιδιοπεριόδους:

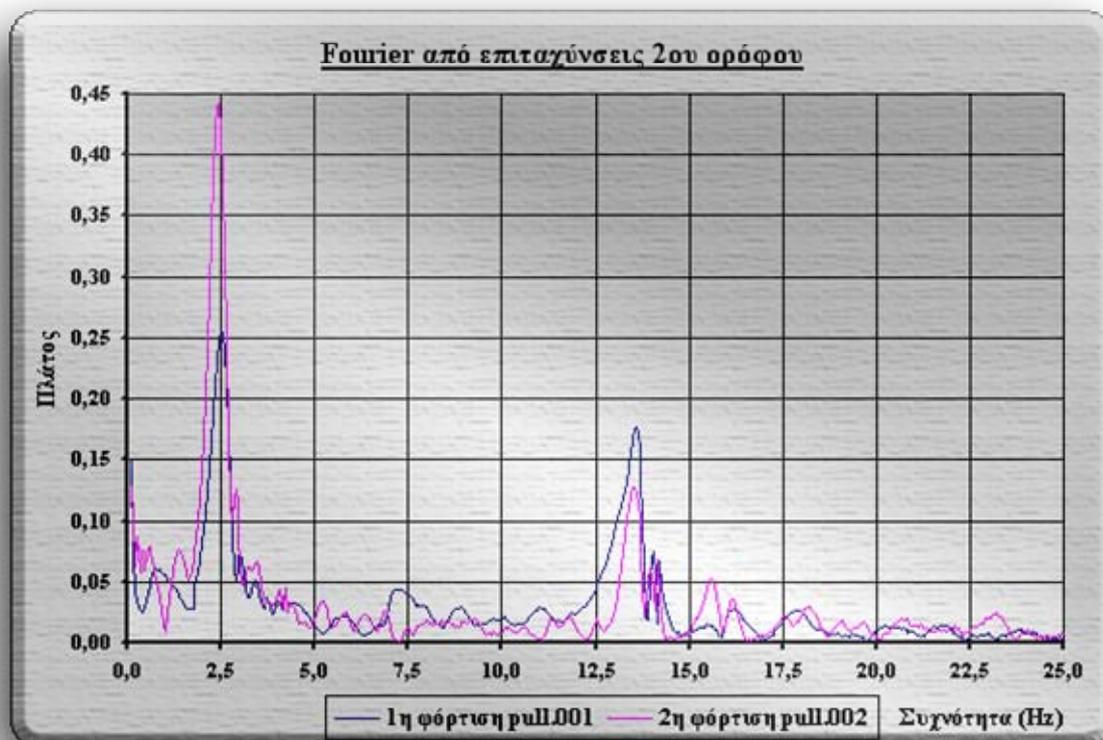
$$T_1 = 0,4218 \text{ s}$$

$$T_2 = 0,0746 \text{ s}$$

Ακολουθεί προσδιορισμός των ιδιοσυχνοτήτων του πλαισίου από τις σειρές Fourier των επιταχυνσιογραφημάτων που μας έδωσαν οι αισθητήρες.



Ch4 (pull.001)		Ch4 (pull.002)	
f(Hz)	T(sec)	f(Hz)	T(sec)
2,4902	0,4016	2,4414	0,4096
13,5742	0,0737	13,5254	0,0739

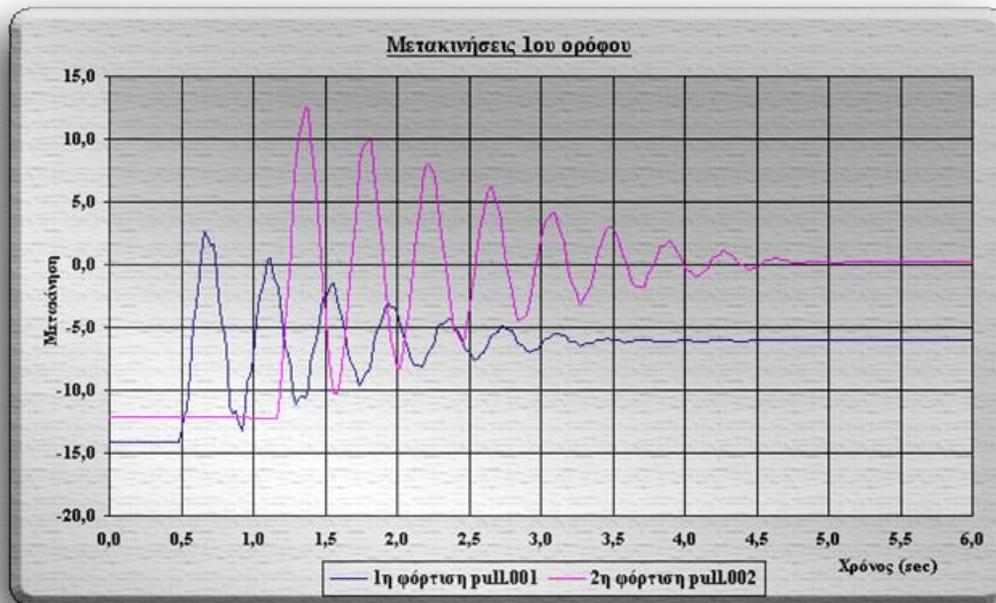


Ch5 (pull001)		Ch5 (pull002)	
f (Hz)	T (sec)	f (Hz)	T (sec)
2,4902	0,4016	2,4414	0,4096
13,5742	0,0737	13,4766	0,0742

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν τα **ποσοστά απόσβεσης ζ%** από τη λογαριθμική μείωση του πλάτους των μετακινήσεων του 1^{ου} και 2^{ου} ορόφου του πλαισίου. Σε κάθε περίπτωση αφαιρούσαμε την παραμένουσα μετατόπιση του αισθητηρίου (yem) από την απόλυτη μετακίνηση (yabs) ώστε να προκύψουν οι σχετικές (yrel) μετακινήσεις.

$$\zeta = \frac{1}{2\pi} * \ln\left(\frac{y_{rel,i}}{y_{rel,i+1}}\right)$$

Ο παραπάνω υπολογισμός έγινε τόσο για τα θετικά όσο και για τα αρνητικά σχετικά μέγιστα των μετατοπίσεων (yrel).



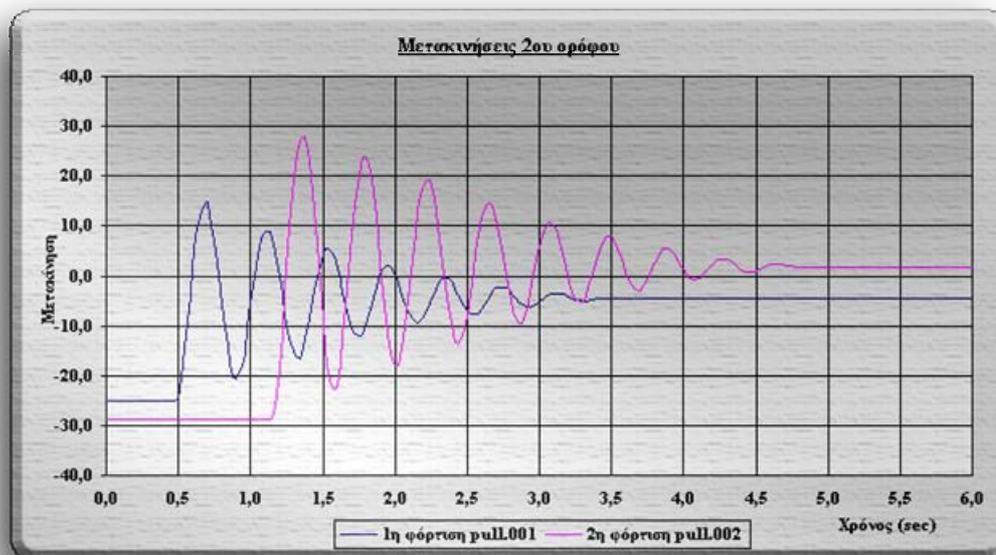
1η φόρτιση pull.001		γ _{rem} =	-6,063		
t	Td	y _{abs}	y _{rel}	ζ	
0,66		2,656	8,719		
1,12	0,46	0,498	6,561	0,045	
1,56	0,44	-1,532	4,531	0,059	
1,94	0,38	-3,089	2,974	0,067	
2,36	0,42	-4,209	1,854	0,075	
2,74	0,38	-4,827	1,236	0,065	
Μέσος όρος				0,062	

t	Td	y _{abs}	y _{rel}	ζ	
0,92		-13,233	-7,170		
1,30	0,38	-11,068	-5,005	0,057	
1,74	0,44	-9,673	-3,610	0,052	
2,18	0,44	-8,174	-2,111	0,085	
2,54	0,36	-7,601	-1,538	0,050	
2,92	0,38	-7,004	-0,941	0,078	
Μέσος όρος				0,065	

2η φόρτιση pull.001		γ _{rem} =	0,186		
t	Td	y _{abs}	y _{rel}	ζ	
1,36		12,511	12,325		
1,80	0,44	9,911	9,725	0,038	
2,22	0,42	7,957	7,771	0,036	
2,66	0,44	6,141	5,955	0,042	
3,08	0,42	4,175	3,989	0,064	
3,48	0,40	2,943	2,757	0,059	
Μέσος όρος				0,048	

t	Td	y _{abs}	y _{rel}	ζ	
1,58		-10,300	-10,486		
2,00	0,42	-8,304	-8,490	0,034	
2,46	0,46	-6,204	-6,390	0,045	
2,84	0,38	-4,365	-4,551	0,054	
3,28	0,44	-3,119	-3,305	0,051	
3,72	0,44	-1,722	-1,908	0,087	
Μέσος όρος				0,054	

Γενικός μέσος όρος ζ = 0,057



1η φόρτιση pull.001				
		γrem=	-4,455	
t	Td	yabs	yrel	ζ
0,70		14,818	19,273	
1,12	0,42	8,965	13,420	0,058
1,54	0,42	5,559	10,014	0,047
1,96	0,42	2,088	6,543	0,068
2,34	0,38	-0,541	3,914	0,082
2,76	0,42	-2,271	2,184	0,093
Μέσος όρος				0,069

t	Td	yabs	yrel	ζ
0,90		-20,823	-16,368	
1,34	0,44	-16,532	-12,077	0,048
1,76	0,42	-12,054	-7,599	0,074
2,16	0,40	-9,372	-4,917	0,069
2,54	0,38	-7,540	-3,085	0,074
2,94	0,40	-6,235	-1,780	0,088
Μέσος όρος				0,071

2η φόρτιση pull.002				
		γrem=	1,756	
t	Td	yabs	yrel	ζ
1,38		27,877	26,121	
1,80	0,42	23,935	22,179	0,026
2,22	0,42	19,297	17,541	0,037
2,66	0,44	14,480	12,724	0,051
3,08	0,42	10,891	9,135	0,053
3,50	0,42	7,859	6,103	0,064
Μέσος όρος				0,046

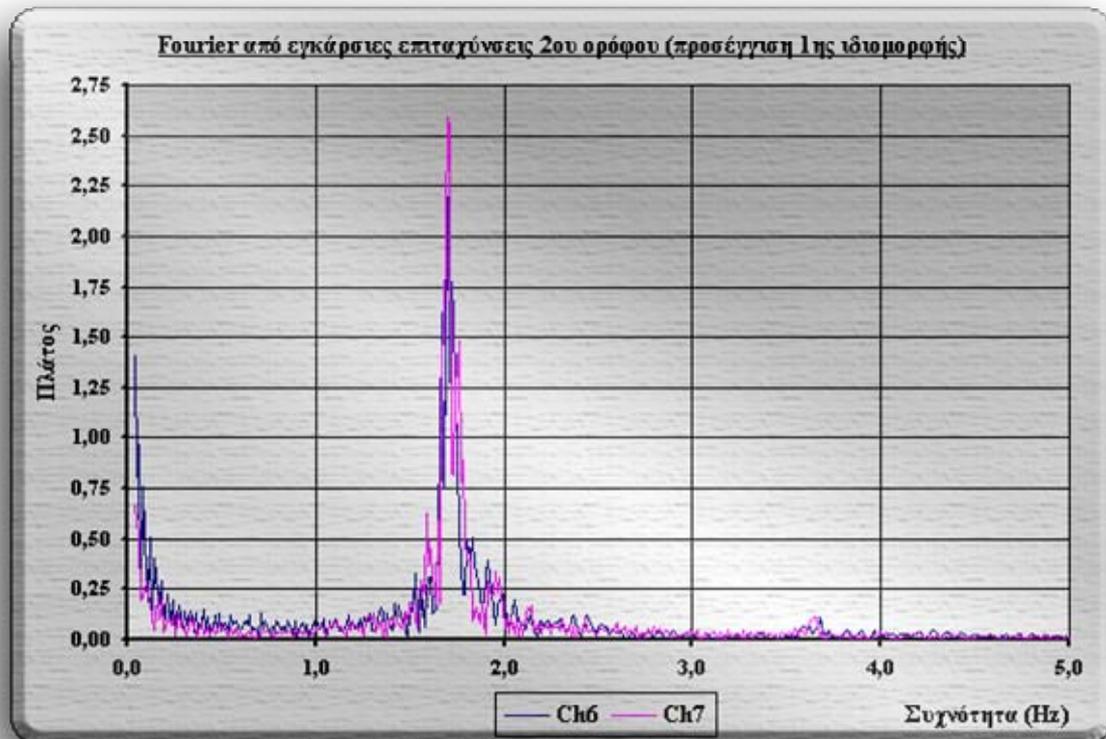
t	Td	yabs	yrel	ζ
1,58		-22,754	-24,510	
2,02	0,44	-17,827	-19,583	0,036
2,44	0,42	-13,563	-15,319	0,039
2,86	0,42	-9,431	-11,187	0,050
3,28	0,42	-5,119	-6,875	0,077
3,68	0,40	-2,878	-4,634	0,063
Μέσος όρος				0,053

Γενικός μέσος όρος ζ = 0,060

Τελικά προέκυψε ποσοστό απόσβεσης ζ=5,85%.

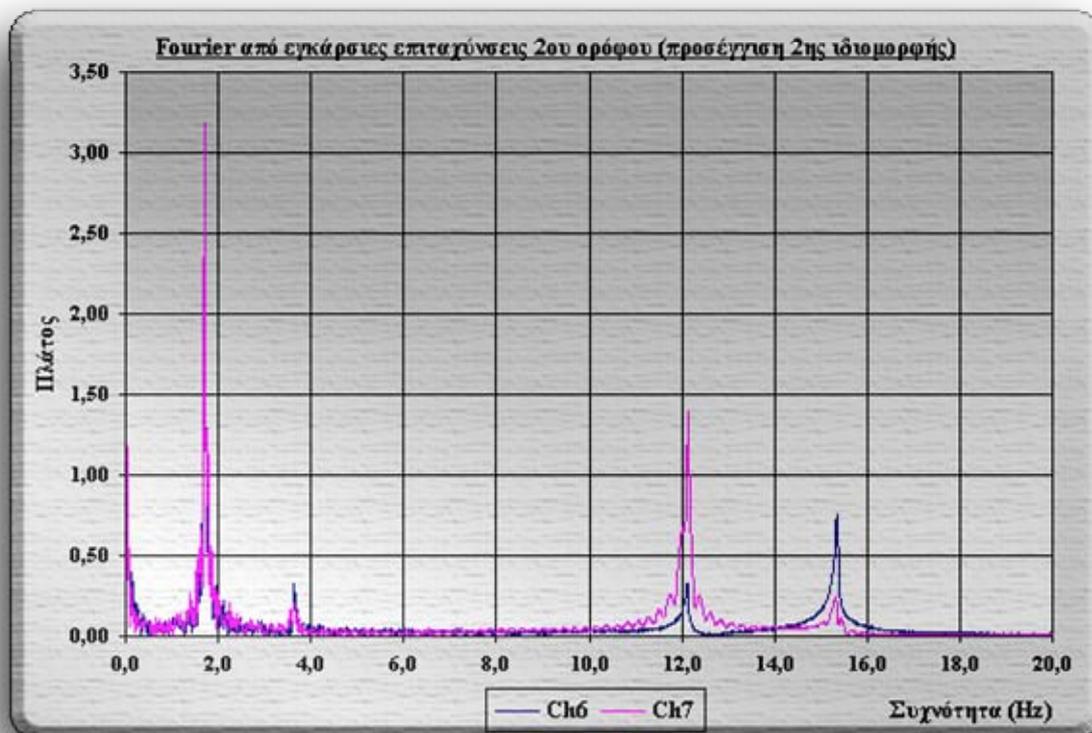
20.6.2 Φορτίσεις rout.002 rout.1-2 rout.tor και προσδιορισμός ιδιοσυχνοτήτων πλαισίου.

Μελετήθηκε η εκτός επιπέδου απόκριση του πλαισίου με αρχικές επιβαλλόμενες μετατοπίσεις στις μάζες του πλαισίου. Με ανάλυση των επιταχυνσιογραφημάτων με σειρές Fourier προέκυψαν οι ιδιοπερίοδοι και οι ιδιοσυχνότητες για την εκτός επιπέδου ταλάντωση.



Ch6	
f1 (Hz)	T1 (sec)
1,6968	0,5893

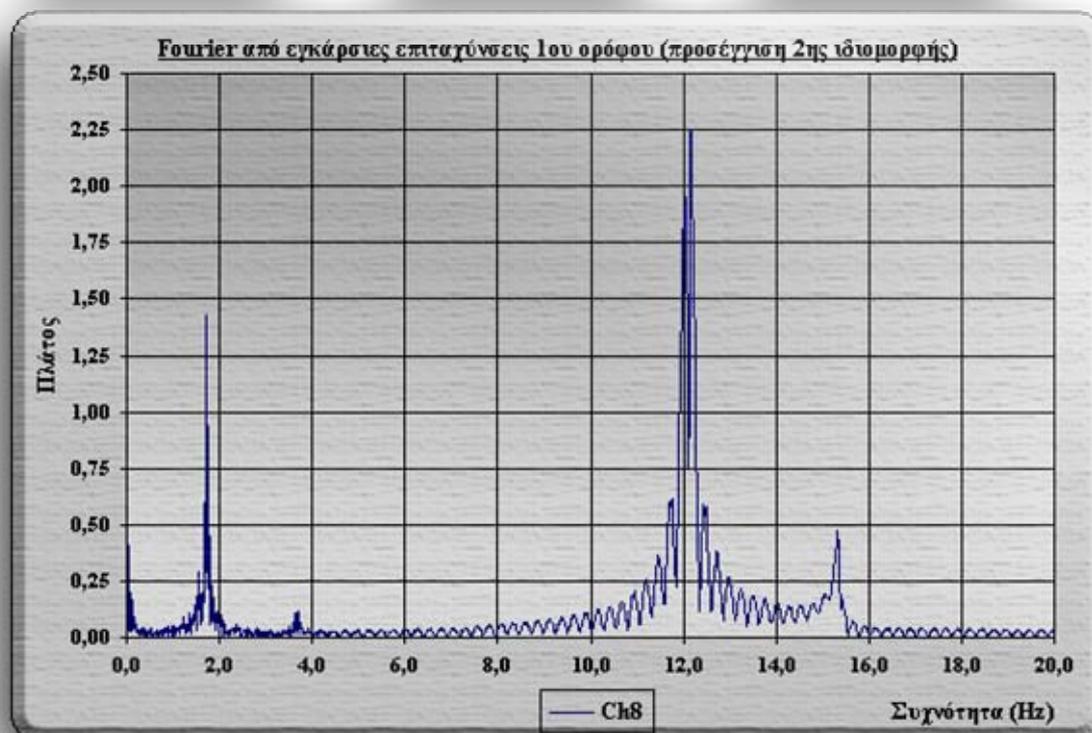
Ch7	
f1 (Hz)	T1 (sec)
1,6968	0,5893

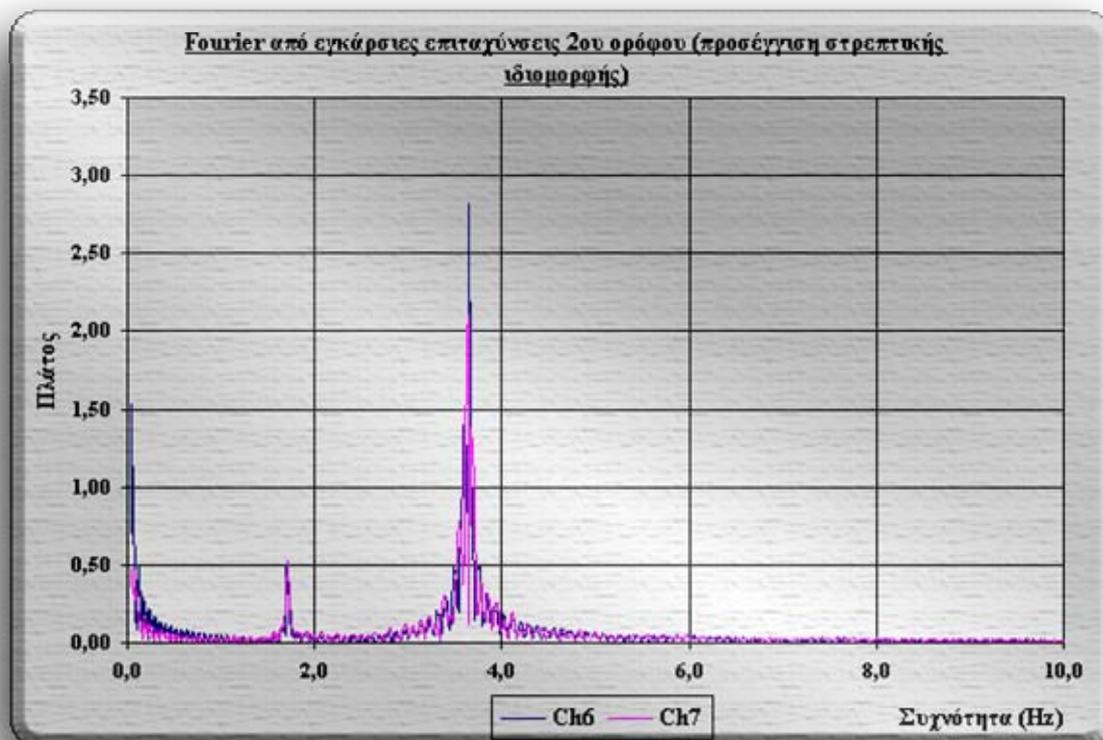


Ch6	
f(Hz)	T(sec)
1,7090	0,5851
3,6255	0,2758
12,1216	0,0825
15,3442	0,0652

Ch7	
f(Hz)	T(sec)
1,6968	0,5893
3,6255	0,2758
12,1338	0,0824
15,3198	0,0653

Ch8	
f(Hz)	T(sec)
1,7212	0,5810
3,6865	0,2713
12,1704	0,0822
15,3198	0,0653





Ch6	
f(Hz)	T(sec)
1,7090	0,5851
3,6499	0,2740

Ch7	
f(Hz)	T(sec)
1,7090	0,5851
3,6377	0,2749

20.7 Σύγκριση αποτελεσμάτων.

ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ	ΑΠΟ SAP 2000	ΑΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑ	
		ΜΗΤΡΩΟ Κ	FOURIER
		ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΣ (sec)	
1η ΕΝΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ	0,2988	0,4218	0,4056
2η ΕΝΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ	0,0616	0,0746	0,0739
1η ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ	0,4334	-	0,5893
2η ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ	0,0659	-	0,0824
ΣΤΡΕΠΤΙΚΗ	0,2273	-	0,2744

Ο πραγματικός φορέας όπως διαφαίνεται και από τα ανωτέρω αποτελέσματα είναι πιο εύκαμπτος από αυτόν που υποθέσαμε στην ανάλυση με το SAP 2000 και προκύπτουν αυξημένες ιδιοπεριόδοι (ποσοστό 27% περίπου κατά μέσο όρο).

20.8 Τέστ «σκούπας» (sweep test)

Με το τεστ αυτό υποβάλλουμε το πλαίσιο σε διέγερση της βάσης του με αυξανόμενη συχνότητα με σκοπό να προσδιορίσουμε τις συχνότητες συντονισμού του, παρατηρώντας την απόκρισή του.

Τα αποτελέσματα του ελέγχου δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

ν (Hz)	γ_A	γ_B
2,125	8,03	10,90
2,187	9,86	17,40
2,250	12,40	22,70
2,312	16,70	32,30
2,375	24,40	52,00
2,437	71,00	201,00
2,500	46,60	105,00
2,625	23,90	71,40
2,750	13,60	42,70

Από τον τελευταίο πίνακα φαίνεται ότι η συχνότητα συντονισμού του πλαισίου είναι η $\nu=2,437\text{Hz}$.

Ακολούθησε ακόμη ένα πείραμα «σκούπας» για τον εντοπισμό και της 2^{ης} ιδιοσυχνότητας του πλαισίου:

ν (Hz)	γ_A	γ_B
9	31,7	11,1
10	49,1	24,8
11	80,7	38
12	153	69
13	ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ	

Οπότε βρέθηκε ότι η 2^η ιδιοσυχνότητα του πλαισίου είναι περίπου 13 Hz όπου και παρατηρήθηκε συντονισμός με μεγάλες μετακινήσεις στον 1^ο όροφο. Το πείραμα διακόπηκε για να αποφύγουμε τυχόν βλάβη του πλαισίου αλλά και της σεισμικής τράπεζας.