

ΑΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΥ
ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΤΡΕΨΗ ΜΕ
Η ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗ FRP's

Σπουδαστές: Αξιώτης Νικόλαος, Αποστολίδης Δημήτριος

Επιβλέπον: Καθηγητής Δημάκος Κωνσταντίνος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
2. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΣΤΡΕΨΗΣ	
2.1 Βασικές παραδοχές	4
2.2 Γενικά	5
2.3 Στρέψη Saint Venant.	6
2.3.1 Ροπή αντοχής σχεδιασμού σε στρέψη λόγω θλίψης των τοιχωμάτων.	7-8
2.3.2 Ροπή αντοχής σχεδιασμού σε στρέψη λόγω οπλισμού στρέψης	9
2.3.3 Σύνθετη καταπόνηση από στρέψη με κάμψη και/ή αξονικές δυνάμεις.	10
2.4 Στρέψη με παρεμποδιζόμενη στρεύλωση.	10-11
3. ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ	
3.1 Γενικά	11-13
3.2 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα σύνθετων υλικών	13-14
4. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	14
4.1 Αποτελέσματα εφελκυσμού χάλυβα Φ6 S220	15
4.2 Αποτελέσματα θραύσης δοκιμίων, υπολογισμός κατηγορίας σκυροδέματος	16-17
4.3 Ισοδύναμη διατομή (χαρακτηριστική)	18-19
4.4 Θεωρητική αντοχή της διατομής μας σε στρέψη χωρίς την χρήση frps	19-20
5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
5.1 Χαρακτηριστικά δοκιμίων	20-23
5.2 Μηχανικές ιδιότητες υλικών	23-24
5.3 Πειραματική διάταξη	24-25
5.4 Πειραματικά Αποτελέσματα και συγκρίσεις	26-27
5.5 Μορφές Αστοχίας	28-29
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	30
Ευχαριστίες	31
Βιβλιογραφία-Αναφορές	32

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάζεται πειραματικά η αύξηση της στρεπτικής αντοχής πλακοδοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα, που ενισχύονται με επικολλητά υφάσματα από ινοπλισμένα πολυμερή με ίνες άνθρακα (ανθρακουφάσματα ή FRP's) παράλληλα κολλημένα ως εξωτερικός διαμήκης οπλισμός. Γίνεται επίσης σύγκριση των πειραματικών με τις θεωρητικές τιμές. Συνολικά καταπονήθηκαν σε στρέψη τέσσερις δοκοί εκ των οποίων οι δύο χωρίς ενίσχυση και δύο με ενίσχυση.

Μετά την ενίσχυση των δύο δοκών είχαμε αύξηση της στρεπτικής ροπής για την δοκό BT-CFRP1 12.60% και για τη δοκό BT-CFRP2 6.30%, σε σχέση με αυτήν που αναπτύχθηκε σε παρθένες δοκούς.

2. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΣΤΡΕΨΗΣ

2.1 Βασικές παραδοχές

α) Η στρέψη μπορεί να διακριθεί σε

- i. Άμεση στρέψη: η στρεπτική ροπή είναι απαραίτητη για την ικανοποίηση των συνθηκών ισορροπίας (στρέψη ισορροποίας).
- ii. Έμμεση στρέψη: η στρεπτική ροπή οφείλεται αποκλειστικά στην παρεμπόδιση της στροφής που εισάγεται από παρακείμενα στοιχεία (πλάκες, πρόβολοι). Στην περίπτωση αυτή, οι στρεπτικές ροπές δεν είναι απαραίτητες για την ισορροπία και μπορούν να αγνοηθούν στους υπολογισμούς οριακών καταστάσεων αστοχίας.

β) Επίσης η στρέψη μπορεί να διακριθεί σε:

1. Στρέψη Saint Venant: η ισορροπία εξασφαλίζεται με μια κλειστή ροή διατμητικών τάσεων εκ στρέψεως
2. Στρέψη με στρέβλωση: λόγω της παρεμπόδισης της διαμήκου παραμορφώσεως, ο φορέας ανθίσταται στις επιβαλλόμενες στρεπτικές ροπές με την ανάπτυξη ορθών και πρόσθετων διατμητικών τάσεων.

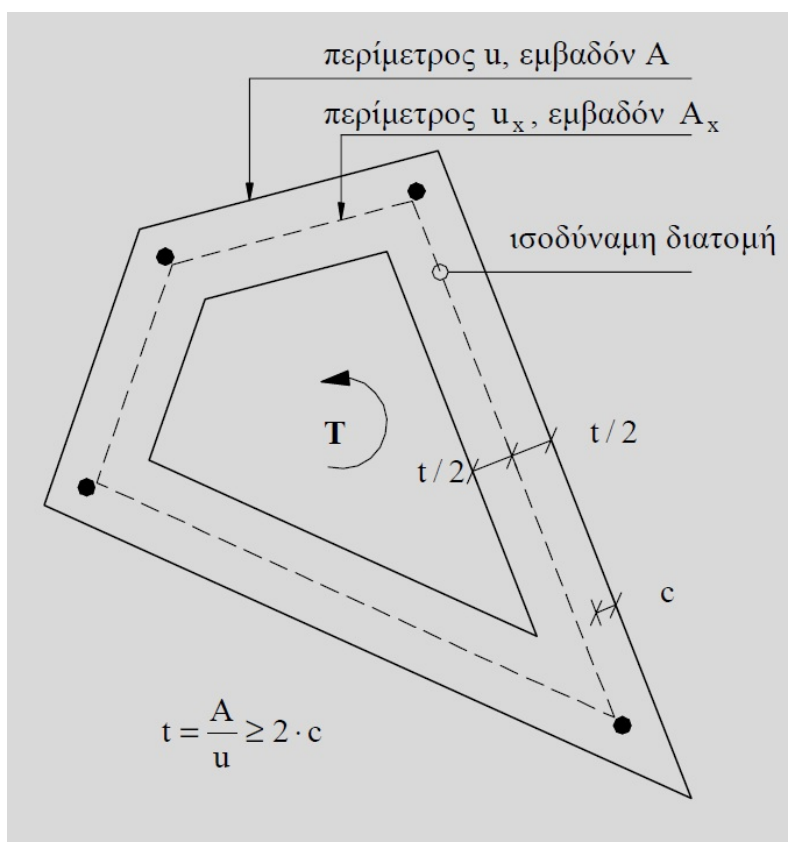
Δεν υπάρχει σαφής διάκριση μεταξύ των δύο αυτών ειδών στρέψης

- i. Το μεγαλύτερο τμήμα μιας κιβωτοειδούς διατομής ανθίσταται σε στρέψη μέσω μιας κλειστής ροής διατμητικών τάσεων (Saint Venant), κοντά όμως στα διαφράγματα αναπτύσσεται στρέψη με παρεμποδιζόμενη στρέβλωση.
- ii. Μία ανοικτή διατομή μορφής T ανθίσταται σε στρέψη κυρίως με παρεμποδιζόμενη στρέβλωση, στα επιμέρους όμως ορθογωνικά τμήματα της διατομής αναπτύσσεται και στρέψη Saint Venant.

2.2 Γενικά

Για πλήρεις διατομές μορφής T ή L, το σχήμα της ισοδύναμης κοίλης διατομής λαμβάνεται με εφαρμογή των κανόνων προσδιορισμού της ισοδύναμης κοίλης διατομής στα επιμέρους ορθογωνικά παραλληλόγραμμα απο τα οποία αποτελείται η διατομή (Σχ.2.1)

Σχήμα 2.1: Ισοδύναμη κοίλη διατομή



Αντοχή σε στρέψη ενός ρηγματωμένου στοιχείου απο οπλισμένο σκυρόδεμα, με πλήρη ή κοίλη διατομή, είναι ίση με την αντοχή ενός ιδεατού δικτυώματος στον χώρο (δικτύωμα Moersch). Το δικτύωμα αυτό αποτελείται από εφελκόμενες ράβδους χάλυβα (διαμήκειες ράβδοι και εγκάρσιοι κλειστοί συνδετήρες) και απο θλιβόμενες διαγωνίους σκυροδέματος. Η κλίση των διαγωνίων σκυροδέματος μπορεί να επηρεαστεί (εντός ορισμένων ορίων) από την διάταξη των διαμήκων και των εγκαρσίων οπλισμών.

2.3 ΣΤΡΕΨΗ ΚΑΤΑ SAINT VENANT

Ο υπολογισμός σε στρέψη γίνεται θεωρώντας μια κοίλη λεπτότοιχη κλειστή διατομή. Για τις πλήρεις (συμπαγείς) διατομές θεωρείται μία ισοδύναμη κοίλη λεπτότοιχη κλειστή διατομή. Η διατομή αυτή ορίζεται ως εξής

- η εξωτερική περίμετρός της συμπίπτει με αυτήν της πραγματικής διατομής.
- έχει ένα ισοδύναμο πάχος τοιχωμάτων $t = \max(A/u, 2c)$ (στην περίπτωση κοίλων διατομών, το πάχος t δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από το πραγματικό πάχος των τοιχωμάτων του).
όπου:

u είναι η περίμετρος της διατομής,

A η ολική επιφάνεια που περικλείεται από την εξωτερική περίμετρο (συμπεριλαμβανομένων και των εσωτερικών κενών στην περίπτωση κοίλων διατομών),

c η επικάλυψη των διαμηκών ράβδων.

Ο οπλισμός στρέψεως αποτελείται από κλειστούς συνδετήρες κάθετους προς τον άξονα της δοκού και από διαμήκειες ράβδους κατανομημένες περίπου ομοιόμορφα κατά μήκος της περιμέτρου της διατομής. Διαμήκειες ράβδοι πρέπει να υπάρχουν σε όλες τις γωνίες της διατομής, ενώ παράλληλα πρέπει να προβλέπεται ένας ελάχιστος οπλισμός.

Η οριακή κατάσταση αστοχίας διέπεται:

- είτε από την ροπή στρέψεως $Trd1$ και την τέμνουσα $Vrd2$ που αντιστοιχούν στην αστοχία από λοξή θλίψη του σκυροδέματος των τοιχωμάτων της ισοδύναμης διατομής,
- είτε από την ροπή στρέψεως $Trd2$ που αντιστοιχεί στην αστοχία των συνδετήρων,
- είτε από την ροπή στρέψεως $Trd3$ που αντιστοιχεί στην αστοχία των διαμηκών οπλισμών.

Οι τιμές σχεδιασμού των στρεπτικών αντοχών $Trd1$, $Trd2$ και $Trd3$ καθορίζουν τις διαστάσεις των τοιχωμάτων της ισοδύναμης διατομής (άρα και της πραγματικής διατομής) καθώς επίσης και τους απαιτούμενους οπλισμούς (διαμήκειες και εγκάρσιους).

2.3.1 Ροπή αντοχής σχεδιασμού σε στρέψη λόγω θλίψης των τοιχωμάτων

Επειδή ο κινηματικός μηχανισμός βάσει της πλαστικής θεωρίας (η οποία αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο της προτεινόμενης μεθόδου) απαιτεί την σύγχρονη αστοχία των δύο συνιστώντων οπλισμών, μία προσεγγιστική τιμή της γωνίας θραύσεως θ , μπορεί να ληφθεί από την έκφραση:

$$(\tan\theta)^2[(Asw/s) \cdot fywd]/[(Asl/uk) \cdot fyld]$$

Στις συνήθεις περιπτώσεις η γωνία θ εκλέγεται $\theta=45^\circ$ ($\tan\theta=1$) διότι έτσι, αφενός μεν μεγιστοποιείται η $Trd1$, αφετέρου δε ελαχιστοποιείται ο συνολικός οπλισμός. Ο μόνος λόγος για την εκλογή $\theta \neq 45^\circ$ είναι η περίπτωση όπου είναι επιθυμητή η μείωση των συνδετήρων με αντίστοιχη αύξηση των διαμηκών οπλισμών (ή και το αντίστροφο).

Η δρώσα ροπή στρέψεως Tsd και η αντίστοιχη δρώσα τέμνουσα δύναμη Vsd πρέπει να ικανοποιούν ταυτοχρόνως τις παρακάτω συνθήκες:

- στις κοίλες διατομές:

$$(Tsd/Trd1)+(Vsd/Vrd2) \leq 1,00$$

- στις άλλες διατομές

$$(Tsd/Trd1)^2 + (Vsd/Vrd2)^2 \leq 1,00$$

$$Tsd \leq Trd2$$

$$Tsd \leq Trd3$$

Οι παραπάνω έλεγχοι πρέπει να γίνονται στην παρειά μιας άμεσης στήριξης. Οι υπολογισμοί των αντοχών $Trd1$, $Trd2$ και $Trd3$ στηρίζονται στο πρότυπο ενός ιδεατού χωροδικτύωματος.

$$Trd1=2 \cdot v \cdot fcd \cdot t \cdot Ak / (\cot\theta + \tan\theta)$$

όπου:

t το πάχος της ισοδύναμης διατομής

Ak η επιφάνεια που περικλείεται από την πολυγωνική γραμμή που διέρχεται από το μέσον των τοιχωμάτων (κατά την έννοια του πάχους) της ισοδύναμης λεπτότοιχης διατομής (συμπεριλαμβανομένων και των εσωτερικών κενών στην περίπτωση κοίλης διατομής),

v = $0.70(0.70 - fck/200) \geq 0.35$ (fck σε MPa). Η τιμή αυτή ισχύει στην περίπτωση όπου οι συνδετήρες βρίσκονται μόνον στην εξώτερη περίμετρο της ισοδύναμης διατομής. Αν όμως προβλέπονται κλειστοί συνδετήρες και στις δύο παρειές κάθε τοιχώματος της ισοδύναμης κοίλης διατομής ή στα τοιχώματα μιας κιβωτοειδούς διατομής, τότε μπορεί να ληφθεί

$$v = 0.70 - fck / 200 \geq 0.50,$$

θ η γωνία των λοξών θλιπτήρων σκυροδέματος με τον διαμήκη άξονα του στοιχείου. Η γωνία θ πρέπει να εκλεγεί έτσι ώστε: $0.40 \leq \cot\theta \leq 2.50$.

Διαμήκεις οπλισμοί

Η συνισταμένη των εφελκυστικών δυνάμεων $F = \sigma_{yd} \cdot A_{s1}$, διέρχεται από το κέντρο βάρους της ισοδύναμης κοίλης διατομής.

Σύνθετη καταπόνηση από στρέψη με κάμψη και/ή αξονικές δυνάμεις

Όταν συνδυάζονται στρέψη και υψηλή καμπτική ροπή μπορούν να αναπτυχθούν κρίσιμες κύριες τάσεις στη θλιβόμενη ζώνη, ειδικά σε κιβωτοειδείς διατομές. Στις περιπτώσεις αυτές η κύρια θλιπτική τάση μπορεί να υπολογισθεί από τη μέση διαμήκη θλιπτική τάση λόγω κάμψης και από την διατμητική τάση λόγω στρέψης που μπορεί να ληφθεί ίση με $T_{sd} / (2 \cdot A_k)$. Η κύρια θλιπτική τάση δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή $0.85fcd$.

2.3.2 Ροπή αντοχής σχεδιασμού σε στρέψη λόγω οπλισμού στρέψης

Γενικά

Οι οριακές τιμές των χαρακτηριστικών αντοχών για τον χάλυβα ισχύουν επίσης και για τους οπλισμούς στρέψης.

Κλειστοί συνδετήρες

Οι υπολογισμοί των συνδετήρων μπορούν να γίνουν, με την ίδια γωνία θ , χωριστά για στρέψη και για τέμνουσα.

Οι αντίστοιχες διατομές συνδετήρων προστίθενται.

Η ροπή αντοχής σε στρέψη λόγω συνδετήρων δίνεται από τη σχέση:

$$Trd2=2 \cdot Ak \cdot (fywd \cdot Asw/s) \cot \theta$$

όπου:

Asw το εμβαδόν της διατομής των ράβδων που χρησιμοποιούνται ως συνδετήρες στρέψεως (το εμβαδόν του ενός σκέλους).

s η απόσταση των συνδετήρων

Διαμήκεις οπλισμοί

Η ροπή αντοχής λόγω διαμήκους οπλισμού είναι:

$$Trd3=2 \cdot Ak(fyld \cdot Asl/uk) \tan \theta$$

όπου:

Asl το άθροισμα των διατομών των διαμηκών ράβδων για την ανάληψη της στρέψεως. Οι διαμήκεις ράβδοι πρέπει να έχουν κατά το δυνατόν ίσες διατομές και να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες κατά μήκος της περιμέτρου u

θ η γωνία που έχει ληφθεί υπόψη για τον υπολογισμό των συνδετήρων.

2.3.3 Σύνθετη καταπόνηση από στρέψη με κάμψη και/ή αξονικές δυνάμεις

Ο διαμήκης οπλισμός θα προσδιορισθεί χωριστά για στρέψη

- Στην λόγω κάμψης εφελκυόμενη ζώνη, οι οπλισμοί στρέψης προστίθενται στους οπλισμούς έναντι κάμψης και/ή αξονικής δύναμης,
- Στην λόγω κάμψης θλιβόμενη ζώνη οι οπλισμοί μπορούν να ελαττωθούν. Η μείωση αυτή εξαρτάται από το μέγεθος των θλιπτικών τάσεων λόγω κάμψης.

2.4 ΣΤΡΕΨΗ ΜΕ ΠΑΡΕΜΠΟΔΙΖΟΜΕΝΗ ΣΤΡΕΒΛΩΣΗ

Σε ανοικτές ή κλειστές λεπτότοιχες διατομές πυρήνων, λόγω παρεμπόδισης της στρέβλωσης αναπτύσσονται πρόσθετες ορθές τάσεις των οποίων η συνισταμένη ισούται με τη διρροπή. Η επιρροή της στρέβλωσης λόγω στρέψης λαμβάνεται άμεσα υπόψη εισάγοντας έναν πρόσθετο βαθμό ελευθερίας στους ήδη γνωστούς έξι βαθμούς ελευθερίας (τρεις μετατοπίσεις και τρεις στροφές) της κλασσικής θεωρίας δοκού (τεχνική θεωρία). Ο πρόσθετος αυτός βαθμός ελευθερίας είναι η συστροφή και το αντίστοιχο εντατικό μέγεθος η διρροπή. Η συνολική ροπή στρέψης T αναλύεται σε δύο συνιστώσες. Στην ροπή Saint Venant T_1 και στην ροπή στρέβλωσης T_2 , η οποία οφείλεται στην μεταβολή της διρροπής κατά μήκος του άξονα της ράβδου, οπότε:

$$T = T_1 + T_2$$

Μετά τον υπολογισμό των ορθών και διατμητικών τάσεων στις κορυφές της διατομής σύμφωνα με την ελαστική θεωρία, λαμβάνοντας υπόψη ακαμψίες σταδίου II, η διαστασιολόγηση γίνεται ανεξάρτητα για κάθε πλευρά της διατομής ως εξής:

Η διαστασιολόγηση κάθε πλευράς έναντι ορθών τάσεων γίνεται για την συνισταμένη αξονική δύναμη και ροπή κάμψης που υπολογίζονται από τις ορθές τάσεις των ακραίων ινών.

Η διαστασιολόγηση έναντι τέμνουσας γίνεται με την συνισταμένη των διατμητικών τάσεων που οφείλονται στην συνολική τέμνουσα της διατομής και στην ροπή από στρέβλωση T_2 .

Η διαστασιολόγηση σε στρέψη γίνεται για την συνισταμένη ροπή των διατμητικών τάσεων που οφείλονται στην ροπή Saint Venant.

Οι τάσεις που προκαλούνται από την παρεμποδιζόμενη στρέβλωση ενδέχεται να είναι σημαντικές και να πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Γενικώς όμως οι τάσεις από παρεμποδιζόμενη στρέβλωση μπορούν να αγνοηθούν στην οριακή κατάσταση αστοχίας.

3. ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

Η χρήση υλικών από σύνθετα ινοπλισμένα πολυμερή (Fibre Reinforced Polymers – FRP) ως εξωτερικός οπλισμός αποτελεί μία σχετικά νέα τεχνική για την ενίσχυση δομικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η ευκολία στην εφαρμογή, η έλλειψη μερεμετιών και οι βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες που παρουσιάζουν τα υλικά αυτά αποτελούν τα βασικά πλεονεκτήματα της.

Λείανση πλαϊνής επιφάνειας πλακοδοκών



Πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι η χρήση εποξειδικά επικολλημένων ελασμάτων ή υφασμάτων από ινοπλισμένα πολυμερή για την καμπτική ενίσχυση και επισκευή δομικών στοιχείων είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική, εφόσον ληφθεί υπ' όψη η μικρή παραμόρφωση αστοχίας, η έλλειψη πλαστιμότητας, οι δυσκολίες αγκύρωσης και η απότομη αστοχία των συνθέτων υλικών (Καραμπίνης & Πανταζοπούλου 2000, Καραγιάννης & Σιρκελής 2001, Τσώνος 2003, Vougioukas et al 2005, Li et al 2006).

Ανάμιξη και επάλειψη κόλλας για τα ανθρακουφάσματα



Επικολητά υφάσματα από ινοπλισμένα πολυμερή υπό μορφή ολόσωμων κλειστών μανδυνών ή μεμονωμένων λωρίδων έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την αύξηση της διατμητικής αντοχής δοκών με ορθογωνική διατομή (Kalifa et al 1998, Chaallal et al 1998, Li et al 2001, Τριανταφύλλου 2003, Chaliotis 2003). Σε πλακοδοκούς, όμως, που δεν είναι κατασκευαστικά εφικτή η εφαρμογή των συνθέτων υφασμάτων περιμετρικά της διατομής, η επικόλληση των υφασμάτων περιορίζεται στον κορμό της διατομής (μορφή U). Σε αυτές τις περιπτώσεις, η αύξηση της διατμητικής αντοχής λόγω ενίσχυσης είναι σαφώς μικρότερη και τα ινοπλισμένα πολυμερή δεν εξαντλούν τις υψηλές εφελκυστικές αντοχές τους δεδομένου ότι η αστοχία προέρχεται από την πρόωρη αποκόλληση των υφασμάτων στη διεπιφάνεια σκυροδέματος – εποξειδικής κόλλας – υφάσματος (Micelli et al 2002, Τριανταφύλλου 2003, Karayannis & Chaliotis 2003).

Τα τοποθετημένα ανθρακουφάσματα με αγκύρωση στα άκρα



Επιπλέον, δομικά υποσυστήματα ακραίων κόμβων δοκού - υποστυλωμάτων έχουν εξ αρχής ενισχυθεί (προσεισμική ενίσχυση) ή επισκευασθεί και εν συνεχεία ενισχυθεί (μετασεισμική ενίσχυση) με επικολλημένα υφάσματα από ινοπλισμένα πολυμερή (Τσώνος & Στυλιανίδης 2001, Δρίτσος 2001, Karayannis & Sirkelis 2002, Τριανταφύλλου 2003). Τα πειραματικά αποτελέσματα υπέδειξαν ότι η εφαρμογή και η επαρκής αγκύρωση των σύνθετων υφασμάτων στην περιοχή του κόμβου έχει ιδιαίτερη σημασία για την επιτυχία της μεθόδου ενίσχυσης.

Όσον αφορά τη στρέψη δομικών στοιχείων από σκυρόδεμα, η στρεπτική συμπεριφορά του απλού, του συμβατικά οπλισμένου και του προεντεταμένου σκυροδέματος (Hsu 1984, Zararis & Penelis 1986, Karayannis 2000a, Karayannis & Chalioris 2000a, b, Chalioris 2006) καθώς και του ινοπλισμένου σκυροδέματος με χαλύβδινες ίνες (Tegos 1989, Καραγιάννης & Χαλιορής 1996, 2000, Karayannis 2000b) έχει μελετηθεί εκτενώς τόσο πειραματικά όσο και αναλυτικά. Παρ' όλα αυτά, το αντικείμενο της ενίσχυσης δοκών υπό στρέψη δεν έχει ουσιαστικά διερευνηθεί. Ειδικότερα, η αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης στρεπτικών δοκών με τη χρήση συνθέτων υλικών από ινοπλισμένα πολυμερή έχει μόλις αρχίσει να εξετάζεται πειραματικά και βρίσκεται σε προκαταρκτικά στάδια έρευνας (Ghobarah et al 2002, Salom et al 2004, Meng et al 2006).

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης πλακοδοκών οπλισμένου σκυροδέματος υπό στρέψη με τη χρήση επικολλητών υφασμάτων από ινοπλισμένα πολυμερή με ίνες άνθρακα ως πρόσθετος εξωτερικός διαμήκης οπλισμός. Η πειραματική στρεπτική συμπεριφορά δύο ενισχυμένων πλακοδοκών συγκρίνεται με την αντίστοιχη απόκριση δύο πλακοδοκών ελέγχου με χαλύβδινους συνδετήρες από λείο χάλυβα S220 στις κρίσιμες περιοχές στα άκρα της πλακοδοκού έτσι ώστε να αποφευχθεί η διάτμηση και η διάτρηση στις περιοχές αυτές και να εξεταστεί η μεσαία περιοχή της πλακοδοκού μας που περιείχε μόνο διαμήκη οπλισμό. Έτσι θα μελετηθεί η παρακάτω διάταξη ενίσχυσης με ανθρακούφασματα:

Συνεχή φύλλα περιμετρικά επικολλημένα στα πλαινά στη διατομή της πλακοδοκού ως διαμήκης οπλισμός. Για την καλύτερη αγκύρωση των φύλλων των FRP's χρησιμοποιήθηκαν στα άκρα της δοκού δύο επιπλέον φύλλα σε μορφή U τα οποία με τη σειρά τους αγκυρώθηκαν εκ νέου.

3.1 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα σύνθετων υλικών

Τα σύνθετα υλικά τυγχάνουν ευρείας χρήσης λόγω των πολύ ελκυστικών ιδιοτήτων τους. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των συνθέτων υλικών είναι η ανθεκτικότητα σε διάβρωση και η εξαιρετικά υψηλή εφελκυστική αντοχή τους (πολλαπλάσια του κοινού χάλυβα) που συνδυάζεται με το χαμηλό τους βάρος. Συν τοις άλλοις η εκτεταμένη βιομηχανική παραγωγή των συνθέτων υλικών εξασφαλίζει τη διαθεσιμότητά τους σε πολύ μεγάλα μήκη και σε εύκαμπτη μορφή. Έτσι διασφαλίζεται η διάρκεια της ενίσχυσης, η ευκολία και η ταχύτητα στην εφαρμογή της καθώς και η ανάπτυξη πλήρους αντοχής σε μικρό χρονικό διάστημα. Επίσης σημαντικό πλεονέκτημα της τεχνικής είναι η εφαρμογή της σε δυσπρόσιτα τμήματα των κατασκευών επιφέροντας σχετικά μικρή όχληση. Το πιο σημαντικό είναι ότι η εφαρμογή της μεθόδου είναι πολύ φιλική προς το περιβάλλον και τον χρήστη.

Επιπλέον, τα σύνθετα υλικά που χρησιμοποιούνται στην ενίσχυση δομικών

στοιχείων έχουν πολύ μικρό πάχος με αποτέλεσμα να μην υπάρχει αύξηση στην διατομή του ενισχυμένου στοιχείου και να μη δημιουργούνται αντιαισθητικές προσθήκες στη αρχιτεκτονική του κτηρίου, όπως συμβαίνει στην περίπτωση ενίσχυσης με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος.

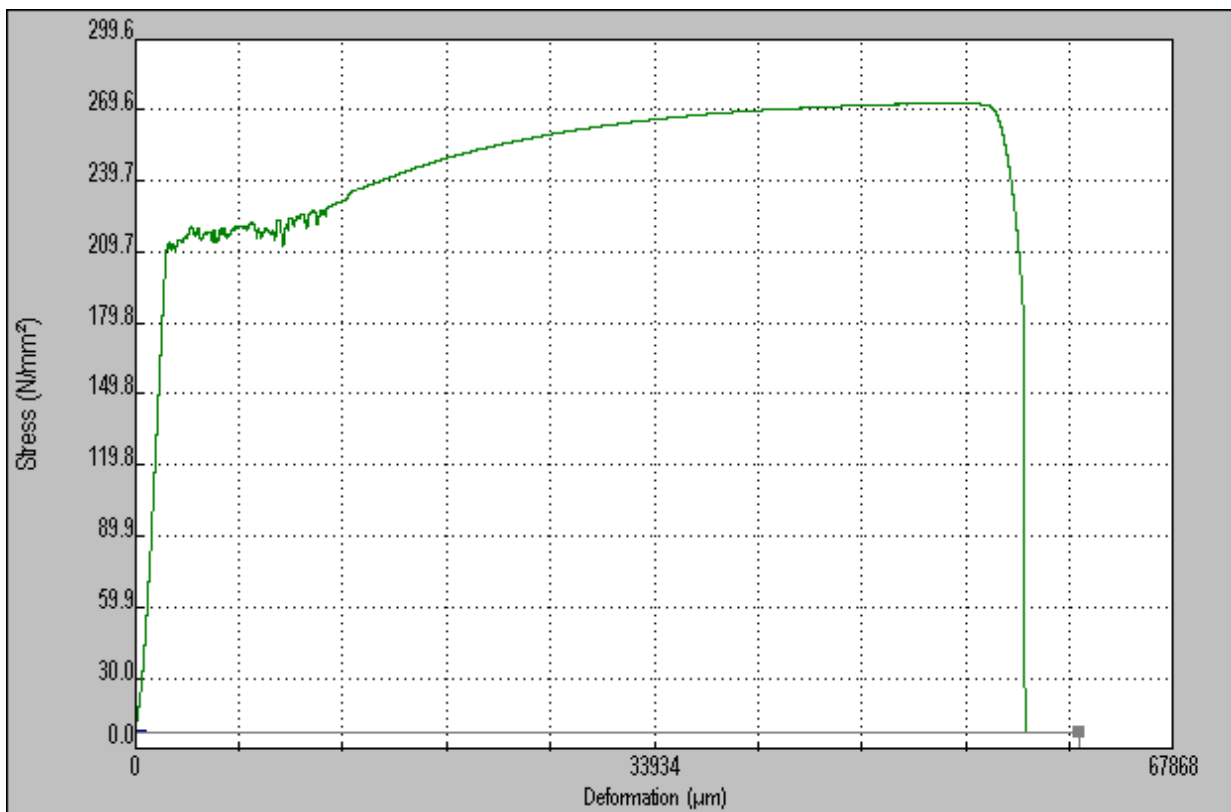
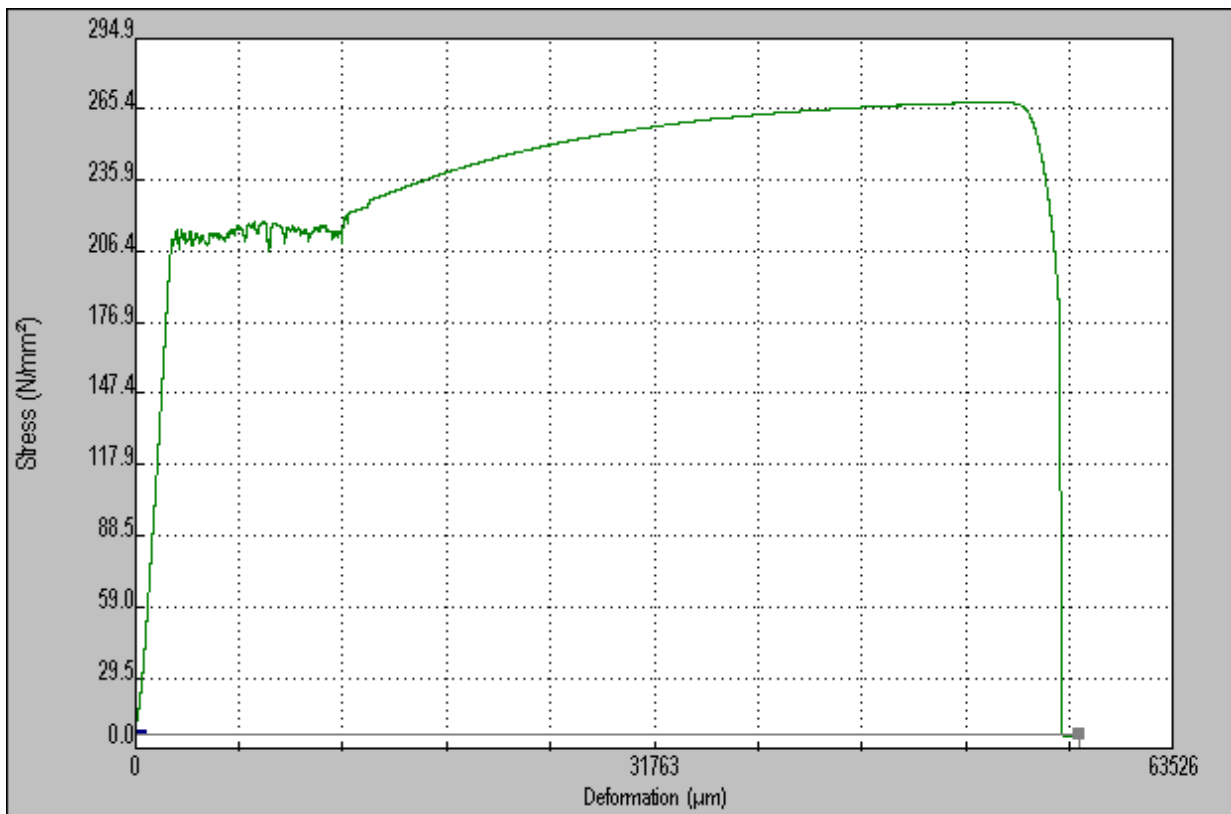
Ωστόσο η χρήση των συνθέτων υλικών στον τομέα των ενισχύσεων/επισκευών παρουσιάζει κάποια σημαντικά μειονεκτήματα. Το σημαντικότερο μειονέκτημά τους είναι η πτωχή συμπεριφορά τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Ένα ακόμη μειονέκτημα των συνθέτων υλικών συνίσταται στην έλλειψη πλαστιμότητας σε αντίθεση με το χάλυβα. Όμως το γεγονός ότι παρέχουν υψηλή παραμορφωσιμότητα μπορεί να συνεισφέρει στην αύξηση της πλαστιμότητας ενός δομικού στοιχείου σε πολλές περιπτώσεις. Τέλος, το υψηλό κόστος στην παραγωγή των συνθέτων υλικών θεωρείται ένας ανασταλτικός παράγοντας στη χρήση των συνθέτων υλικών, ο οποίος όμως μετριάζεται λόγω της ταχύτητας και της ευκολίας στην εφαρμογή τους.

4. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ

Πειραματική διάταξη εφέλκυσμού χάλυβα Φ6 (S220)



1.Αποτελέσματα θραύσης δύο ράβδων χάλυβα S220 σε εφελκυσμό



2.Αποτελέσματα θραύσης κυβικών δοκιμίων 20x20cm σκυροδέματος

1^ο δοκίμιο : F 1100 (KN) , $\sigma = 48.9$ (N/mm²)

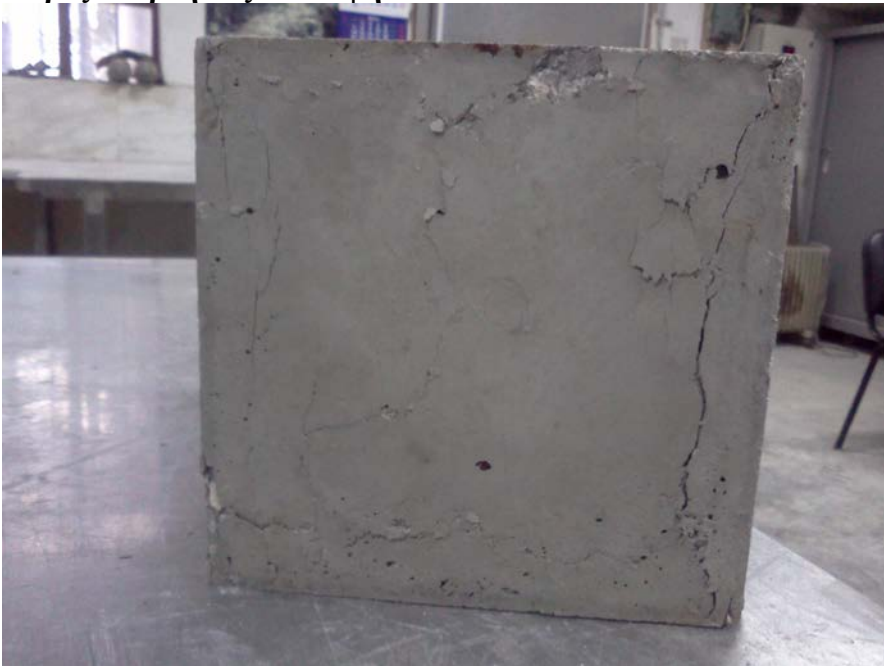
2^ο δοκίμιο : F 1258 (KN) , $\sigma = 55.9$ (N/mm²)

3^ο δοκίμιο : F 1136 (KN) , $\sigma = 50.5$ (N/mm²)

Μηχανή κεντρικής θλίψης



Κύβος υποβληθείς σε θλίψη



Προσδιορισμός κατηγορίας σκυροδέματος

Κριτήριο Ε

3 δοκίμια από μια βαρέλα για σκυρόδεμα έως 20m³

Έχουμε $X_{\text{average}} = 51.7 \text{ Mpa}$

1^ο Κριτήριο

Για σκυρόδεμα C35/45 έχουμε:

$$X_{\text{average}} \geq f_{ck} + 3.7 \text{ Mpa}$$

$$51.7 \geq 48.7 \text{ Mpa} \quad \text{Ισχύει.}$$

2^ο Κριτήριο

$$X_i \geq f_{ck}$$

$$48.9 \geq 45$$

$$55.9 \geq 45$$

$$50.9 \geq 45 \quad \text{Ισχύουν}$$

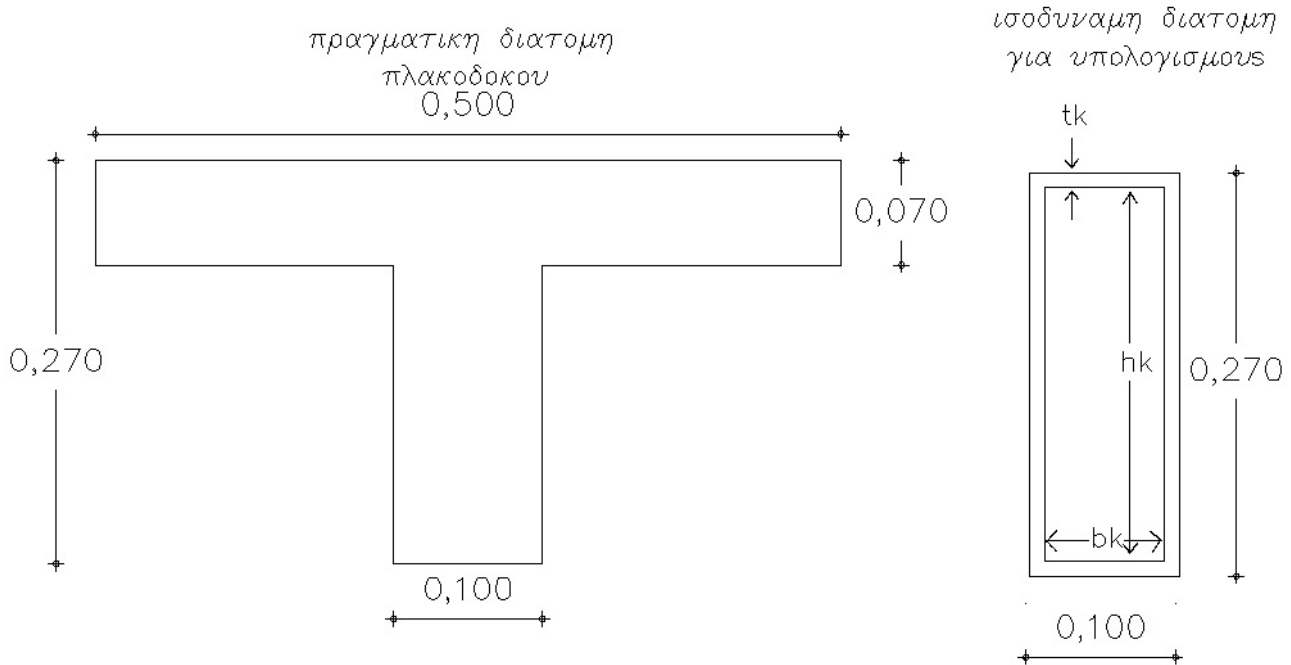
Για σκυρόδεμα C40/50 έχουμε : $X_{\text{average}} \geq f_{ck} + 3.7 \text{ Mpa}$

$$51.77 \geq 53.7 \quad \text{Δεν ισχύει}$$

Άρα το σκυρόδεμα μας είναι κατηγορίας **C35/45**

3.Ισοδύναμη διατομή – χαρακτηριστική

Ισοδύναμη διατομή του κορμού της πλακοδοκού που λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς.



$$u = 2(b+h) = 0.74\text{m}$$

$$A = 0.10 \cdot 0.27 = 0.027\text{m}^2$$

$$\text{Επικάλυψη } \text{nom}C = 1.5\text{cm}$$

$$T_k = A/u = \frac{0.027\text{m}^2}{0.74\text{m}} = 0.036\text{m}$$

$$2\text{nom}C \leq T_k \leq A/u$$

$$0.03 \leq t_k \leq 0.036 \quad \text{διαλέγω } T_k = 0.03\text{m}$$

$$2\text{nom}C = 2 \cdot 0.015 = 0.03\text{m}$$

$$b_k = b - t_k = 0.10 - 0.03 = 0.07\text{m}$$

$$h_k = h - t_k = 0.27 - 0.03 = 0.24\text{m}$$

$$A_k = b_k \cdot h_k = 0.0168\text{m}^2 = 168\text{cm}^2$$

$$u_k = 2 \cdot (b_k + h_k) = 0.62\text{m} \text{ ή } 62\text{cm}$$

1) Διαμήκης οπλισμός (στρέψη) ΕΚΟΣ κεφ.12.2.3.3 (S220)

$$\text{Trd3} = 2A_k \cdot (f_{yd} \cdot A_s l / u_k) \Rightarrow \text{Trd3} = 2 \cdot 168 \text{cm}^2 \cdot (27 \text{KN/cm}^2 \cdot 1.13 \text{cm}^2 / 62 \text{cm}) \Rightarrow$$

$$\text{Trd3} = 165.35 \text{ KNcm}$$

$$\text{Μολ} = P_{\max} \cdot e \Rightarrow P_{\max} = \text{Μολ} / e = 165.35 / 20 = 8.27 \text{ KN}$$

Συνδετήρες δεν χρησιμοποιούμε παρα μόνο στις κρίσιμες διατομές για να μην έχουμε αστοχία σε διάτμηση.

2) Απαιτούμενοι συνδετήρες για διάτμηση στις κρίσιμες περιοχές. (B500C)

$$\text{Error! Bookmark not defined. } Q_{\text{συνδ. απαιτούμενο}} = \frac{P_{\max}}{z \cdot f_{yd}} = \frac{8.27 \text{KN}}{24 \text{cm} \cdot 55 \text{KN/cm}^2} = 0.0063 \text{cm}$$

Εμείς έχουμε από Ø8/6 (B500C)

$$Q_{\text{συνδ.}} = \frac{A_{sw}}{S_w} = \frac{0.5024 \text{cm}^2}{6 \text{cm}} = 0.0837 \text{cm} \gg 0.0063 \text{cm}$$

Άρα επαρκούν οι υπάρχοντες συνδετήρες

4. Θεωρητικός υπολογισμός αντοχής της διατομής μας σε στρέψη Error! Bookmark not defined.

Αναλαμβανόμενη στρεπτική ροπή Trd1 λόγω θλίψης των τοιχωμάτων

$$\begin{aligned} \text{Trd1} &= 2 \cdot A_k \cdot E_k \cdot 0.7(0.5v \cdot f_{cd}) \text{ όπου } v = 0.7(0.7 - f_{ck}/200) \geq 0.35 \\ & \quad v = 0.7(0.7 - 35/200) \geq 0.35 \\ & \quad v = 0.3675 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Trd1} &= 2 \cdot 168 \cdot 3 \cdot 0.7 \cdot 0.5 \cdot 0.3675 \cdot 35 \cdot 10^{-3} \\ \text{Trd1} &= 4.538 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Στρεπτική αντοχή του διαμήκους οπλισμού:

Error! Bookmark not defined.**Error! Bookmark not defined.****Error! Bookmark**

$$\text{not defined. } Trd3 = \frac{Asl}{uk} \cdot 2Ak \cdot fyld \quad \text{όπου } Asl :$$

η συνολική διατομή των διαμήκων ράβδων

$$Asl = 4\phi 6 = 4 \cdot 0.2826 = 1.13 \text{ c m}^2$$

$$Trd3 = \frac{4 \cdot 0.02826}{62} \cdot 2 \cdot 168 \cdot 270 \cdot 10^{-3} \Rightarrow Trd3 = 1.654 \text{ KNm}$$

Συνολική αντοχή (Θεωρητική)

$$Trd1 + Trd3 = 4.538 + 1.654 = \mathbf{6.192 \text{ KNm}}$$

5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ

5.1 Χαρακτηριστικά δοκιμίων

Κατασκευάστηκαν τέσσερις πλακοδοκοί από σκυρόδεμα μήκους 1.10 m, με διαστάσεις: $b/h/bf/hf = 100/270/500/70$ mm(σχήμα). Όλες οι πλακοδοκοί είχαν διαμήκη οπλισμό $8\phi 6$ και οι ενισχυμένες πλακοδοκοί ενισχύθηκαν με επικολλητά ανθρακούφασματα από ινοπλισμένα πολυμερή ως εξωτερικό διαμήκη οπλισμό. Τέλος, οι πλακοδοκοί BT-CFRP-1 και BT-CFRP-2 ενισχύθηκαν με μία στρώση ($n_f = 1$) υφάσματος, με τη μορφή συνεχών επικολλημένων φύλλων στα πλαϊνά του κορμού της διατομής T σε όλο το μήκος της δοκού.

Κλωβοί οπλισμού για πλακοδοκούς Ο/Σ



Σκυροδέτηση πλακοδοκών από εταιρεία Lafarge



Σκυροδετηθείσες πλακοδοκοί



Διαδικασία ξεκαλουπόματος

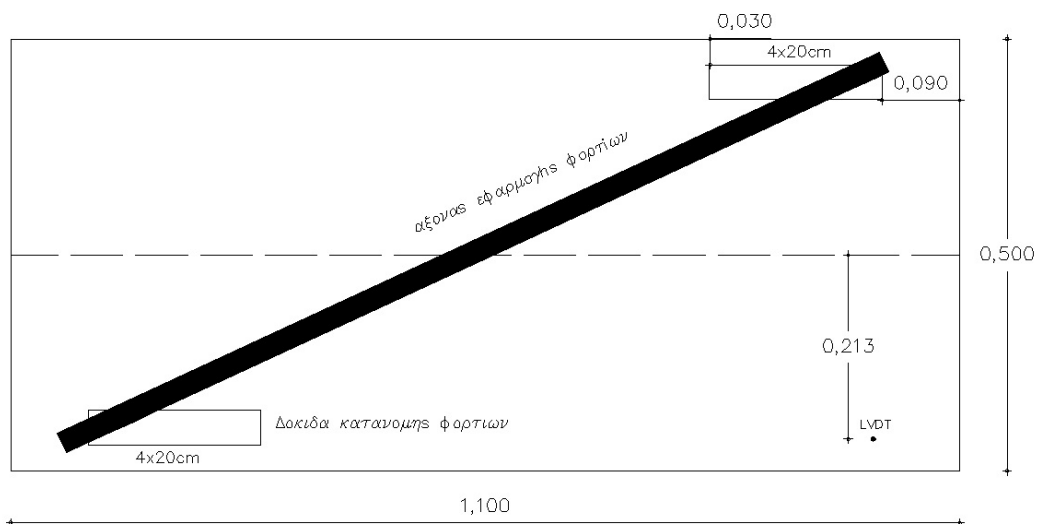


Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και οι οπλισμοί των δοκών του πειραματικού προγράμματος παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα και αναφέρονται συνοπτικά στον Πίνακα 1. Επίσης, στον Πίνακα 1 δίδονται οι τιμές των ποσοστών του διαμήκους χαλύβδινου οπλισμού ($\rho_s = A_s l \cdot 100\% / E_{\text{διατομής T}}$) και του εγκάρσιου σύνθετου εξωτερικού οπλισμού ($\rho_{ft} = E_{\text{διατομής ανθρ/τος}} \cdot 100\% / E_{\text{διατομής T}}$)

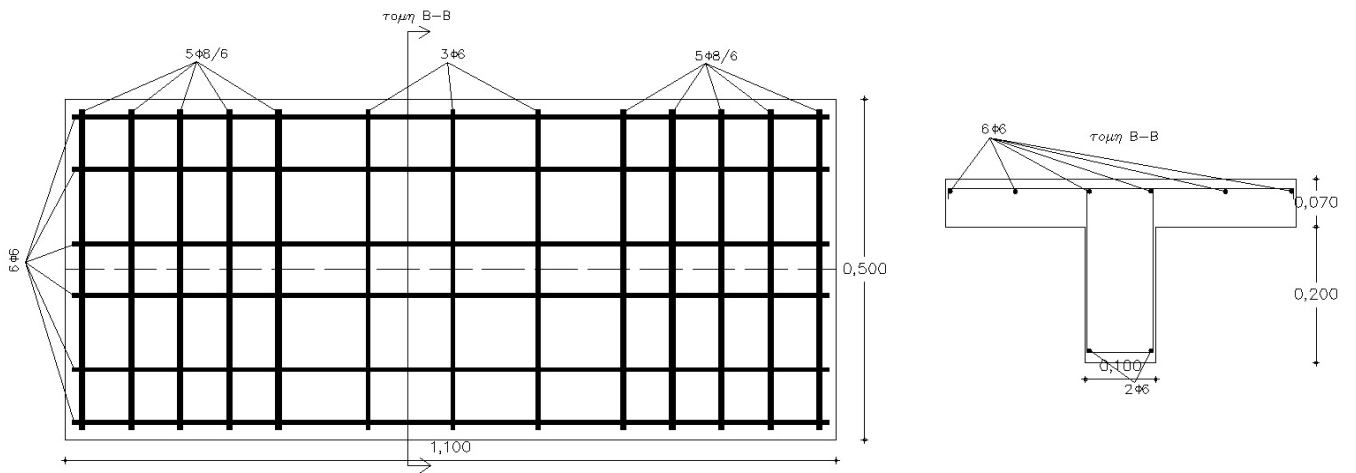
Πίνακας 1. Οπλισμοί δοκών πειραματικού προγράμματος

Δοκοί	Διαμήκεις ράβδοι (B500C)	Συνδετήρες στο μεσαίο τμήμα της διατομής	Επικολλητά ανθρακουφάσματα (ως εξωτερικός διαμήκης οπλισμός)	nf	ρ _s (%)	P _{ft} (%)
BT-V3	8Ø6	-	-	-	0.411	-
BT-V5	8Ø6	-	-	-	0.411	-
BT-CFRP 11	8Ø6	-	Φύλλα στον κορμό της διατομής	1	0.411	0.003
BT-CFRP 2	8Ø6	-	Φύλλα στον κορμό της διατομής Ως διαμήκης οπλισμός	1	0.411	0.003

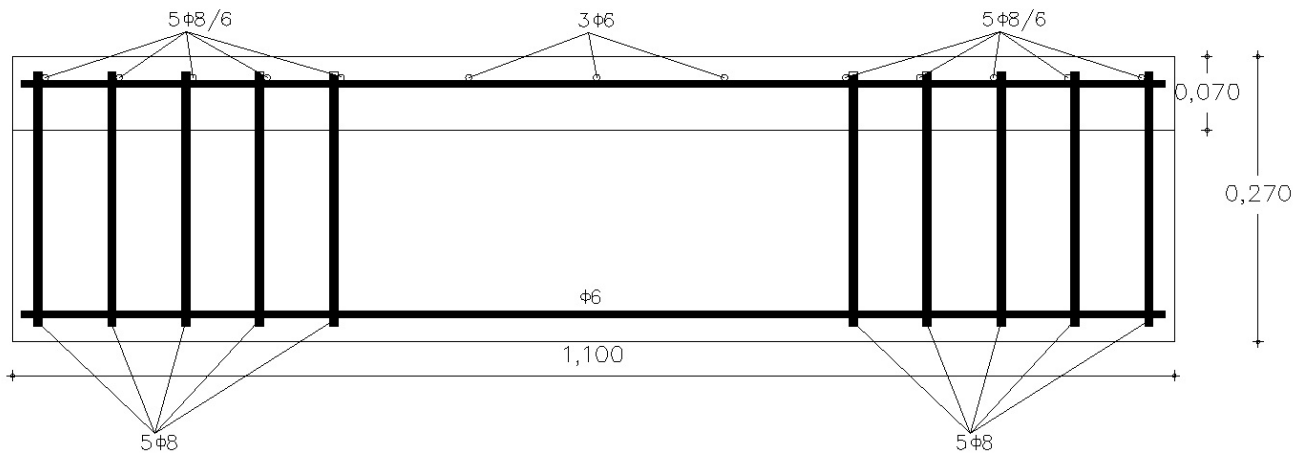
Κάτοψη πλακοδοκού.



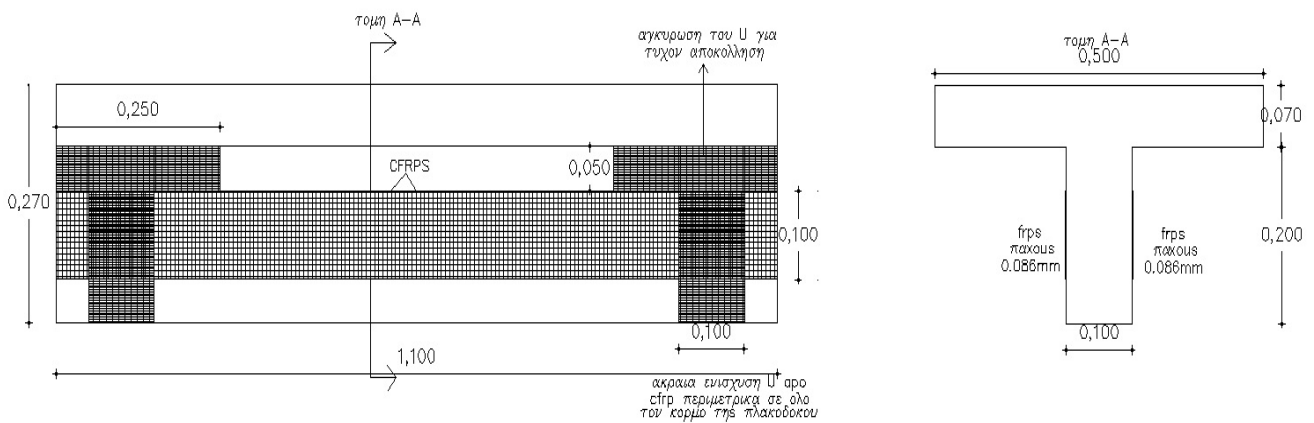
Κάτοψη πλακοδοκού με τους οπλισμούς και τομή Β-Β



Πλάγια όψη με τους οπλισμούς



Πλάγια όψη με την ενίσχυση FRP's και τομή Α-Α



5.2 Μηχανικές ιδιότητες υλικών

Η μέση θλιπτική και η μέση εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος προσδιορίστηκε με δοκιμές 3 κυβικών δοκιμίων ακμής 150 mm σε αξονική θλίψη. Οι μέσες τιμές αντοχών για τις πλακοδοκούς του πειραματικού προγράμματος δίδονται στον Πίνακα 2.

Η αντοχή διαρροής του χάλυβα των διαμήκων ράβδων ήταν ίση με 267.5 και 272.5 MPa (M.O 270 MPa) (λείος χάλυβας ονομαστικής ποιότητας S220).

Το ύφασμα από ινοπλισμένο πολυμερές που χρησιμοποιήθηκε ως πρόσθετος εξωτερικός εγκάρσιος οπλισμός είχε ίνες άνθρακα κατά την αξονική διεύθυνση με πάχος ίσο με $t_f = 0.086$ mm ανά φύλλο (SikaWrap-150 C/30). Επικολλήθηκε στα δοκίμια ως διαμήκης οπλισμός έτσι ώστε η διεύθυνση των ινών να είναι παράλληλη στον διαμήκη άξονα της δοκού. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του προμηθευτή, το μέτρο ελαστικότητας, η μέγιστη εφελκυστική αντοχή και η μέγιστη παραμόρφωση θραύσης των ινών είναι: $E_f = 242$ GPa, $f_{fu} = 3800$ MPa και $\epsilon_{fu} = 1.55\%$ mm/mm, αντίστοιχα.

Για την επικόλληση των φύλλων του σύνθετου υλικού χρησιμοποιήθηκε ειδική εποξειδική κόλλα δυο συστατικών (sikadur 330) με πυκνότητα 1310 kg/m³, μέτρο ελαστικότητας 3800 MPa και εφελκυστική αντοχή 30 MPa.

Πίνακας 2. Αντοχές σκυροδέματος

Δοκίμια σκυροδέματος	Μέση θλιπτική αντοχή	Κατηγορία
Πλακοδοκοί	51,77 MPa	C 35/45

5.3 Πειραματική διάταξη

Όλες οι πλακοδοκοί στηρίχθηκαν αμφιέριστα κοντά στα άκρα τους σε στηρίξεις οι οποίες επέτρεπαν την ελεύθερη στροφή της δοκού περί τον διαμήκη άξονά της καθώς και την ελεύθερη διαμήκη επιμήκυνσή της. Η καταπόνηση των πλακοδοκών σε καθαρή στρέψη πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την πειραματική διάταξη που φαίνεται στο Σχήμα 1.

Σχήμα 1. Πειραματική διάταξη πλακοδοκού πάνω στη μηχανή θλίψης



Η φόρτιση επιβλήθηκε με υδραυλικό έμβολο στα δύο διαγώνια άκρα της πλακοδοκού μέσω της λοξά τοποθετημένης ως προς τον άξονα της δοκού χαλύβδινης δοκίδας. Τα άκρα των πλακοδοκών είχαν υψηλό ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού (πυκνούς συνδετήρες $5\text{Ø}8/6$) ώστε να μην αστοχήσουν σε διάτμηση. Κατ' αυτόν τον τρόπο, το μεσαίο τμήμα της δοκού, μήκους 0,5 m περίπου, ήταν η υπό εξέταση περιοχή, η οποία καταπονήθηκε και τελικώς αστόχησε σε καθαρή στρέψη Σχήμα 2.

Σχήμα 2. Αστοχία πλακοδοκού σε στρέψη



Για τη μέτρηση του επιβαλλόμενου φορτίου χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικό δυναμόμετρο (load cell) μέγιστου φορτίου 150 kN και ακρίβειας 0.05 kN. Η

γωνία στροφής στο ακραίο τμήμα των πλακοδοκών υπολογίσθηκε με βάση τις κατακόρυφες μετατοπίσεις του δοκιμίου, καθώς αυτό στρεφόταν. Οι μετατοπίσεις αυτές μετρήθηκαν με τη χρήση ενός ηλεκτρονικού γραμμικού μηχανομετρώ (LVDT) μέγιστης διαδρομής 100 mm και ακρίβειας 0.01 mm, το οποίο τοποθετήθηκε όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.

Σχήμα 3. LVDT



Οι δοκοί δοκιμάσθηκαν σε σταθερά αυξανόμενη μονότονη στρεπτική καταπόνηση έως την τιμή της μέγιστης ροπής στρέψης και εν συνεχεία με σταθερά αυξανόμενη στροφή έως την τελική αστοχία του δοκιμίου.

5.4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι τιμές του φορτίου και των μετατοπίσεων που κατεγράφησαν κατά τις πειραματικές δοκιμές των πλακοδοκών μετετράπησαν σε τιμές ροπής στρέψης T (KN.m) και γωνίας στροφής θ (rad). Η πραγματική στρεπτική συμπεριφορά των πλακοδοκών παρουσιάζεται στο διάγραμμα του Σχήματος 3, υπό τη μορφή πειραματικής καμπύλης T

Επί πλέον, στον Πίνακα 3 δίδονται οι μετρηθείσες τιμές της στρεπτικής ροπής (T) και της αντίστοιχης γωνίας στροφής (θ) για όλες τις πλακοδοκούς του πειραματικού προγράμματος.

Ακόμα, στον Πίνακα 3 δίδεται η τιμή της στρεπτικής ροπής T_f των ενισχυμένων πλακοδοκών, η οποία αντιπροσωπεύει την αύξηση της στρεπτικής αντοχής που οφείλεται στην υπό εξέταση ενίσχυση με εξωτερικά επικολλημένα ινοπλισμένα πολυμερή. Η τιμή αυτή θεωρείται ότι είναι ίση με τη διαφορά των μέγιστων ροπών στρέψης (T_{max}) των ενισχυμένων πλακοδοκών (πλακοδοκοί BT-CFRP1, BT-CFRP2) και των αντίστοιχων πλακοδοκών ελέγχου (πλακοδοκοί BT-V3 ΚΑΙ BT-V5 αντίστοιχα).

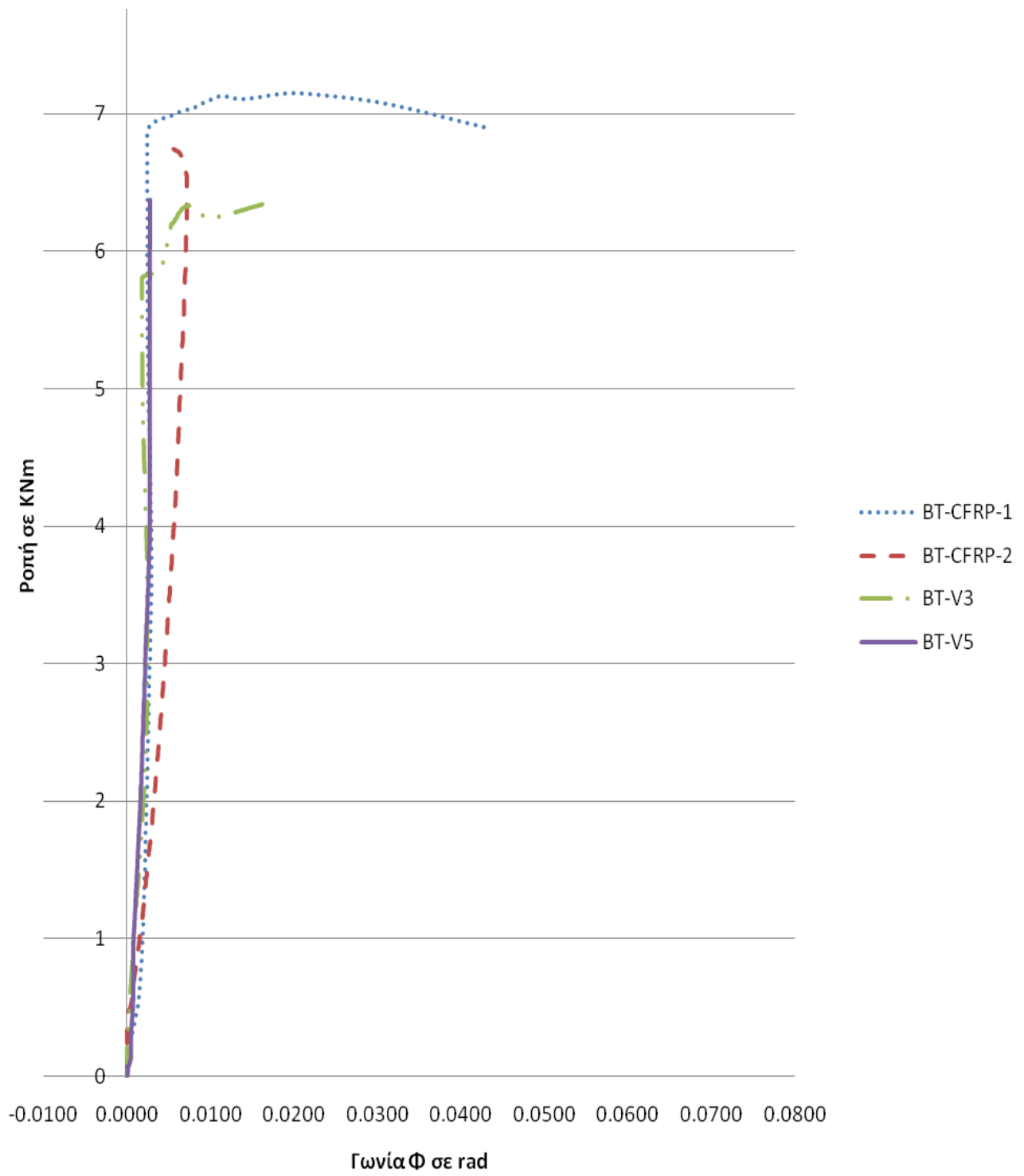
Κατ' αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται και η ποσοστιαία αύξηση της αντοχής σε

στρέψη των ενισχυμένων πλακοδοκών λόγω της χρήσης υφασμάτων από ινωπλισμένα πολυμερή. Η αύξηση αυτή είναι για τις πλακοδοκούς (υπό μορφή διαμήκους οπλισμού) είναι 12.6 % και 6.3 %

Πίνακας 3. Πειραματικά αποτελέσματα

Δοκός	Tmax (KN.m)	Θmax (rad)	Tf (KN.m)	Αύξηση της Tmax λόγω των frps
BT-V3	6.341	0.016	-	
BT-V5	6.361	0.0024	-	
BT-CFRP1	7.148	0.0189	0.797	12.60%
BT-CFRP2	6.751	0.004	0.400	6.30%

Σχήμα 3. Μεταβολή ροπής στρέψης (T) συναρτήσει της γωνίας (θ)



5.5 Μορφές Αστοχίας

α. Θραύση δοκού BT-V5



β. Θραύση δοκού BT-CFRP2



γ. Θραύση δοκού BT-CFRP1



δ. Θραύση δοκού BT-V3



Οι παρθένες δοκοί Ο/Σ (BT-V3 ΚΑΙ BT-V4) αστόχησαν ψαθυρά εμφανίζοντας τυπικές διαγώνιες στρεπτικές ρηγματώσεις δοκών με διαμήκη μόνο οπλισμό.

Οι ενισχυμένες πλακοδοκοί (BT-CFRP1 ΚΑΙ BT-CFRP2) αστόχησαν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο σε αυξημένη μέγιστη ροπή στρέψης και μία από αυτές (BT-CFRP-1) παρουσίασε αυξημένη πλαστιμότητα.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία παρουσιάζεται πειραματική διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της ενίσχυσης έναντι στρεπτικής καταπόνησης πλακοδοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα με χρήση εποξειδικά επικολλημένων ανθρακούφασμάτων ως πρόσθετος εξωτερικός διαμήκης οπλισμός. Από τις προκαταρτικές περιπτώσεις που εξετάστηκαν προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Οι ενισχυμένες πλακοδοκοί με συνεχή ινοπλισμένα φύλλα που επικολλήθηκαν στον κορμό της διατομής σε όλο το μήκος της δοκού (ως διαμήκης οπλισμός) αύξησαν ικανοποιητικά την αντοχή της πλακοδοκού κατά 12,60% και 6,30% παρόλο που χρησιμοποιήσαμε μόνο μία στρώση ανθρακουφάσματος πλάτους 10 cm. Η δεύτερη ενισχυμένη πλακοδοκός αστόχησε γρηγορότερα λόγω πρόωρης αποκόλλησης του ανθρακουφάσματος από την διεπιφάνεια σκυροδέματος-εποξειδικής κόλλας-ανθρακουφάσματος ενώ η άλλη παρουσίασε αυξημένη ροπή στρέψης με ικανοποιητική πλαστιμότητα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι αποτέλεσμα μιας πολύμηνης προσπάθειας που έλαβε χώρο στο εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος, στο τμήμα των Πολιτικών Δομικών Έργων, του ΑΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ. Εμπεριέχει τόσο θεωρητικό όσο και πειραματικό μέρος, για τα οποία διενεργήθηκε εκτενές πρόγραμμα μελέτης συμπεριφοράς δοκών σε ενισχυμένη ή μη ενισχυμένη κατάσταση.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθούν και να δοθούν ιδιαίτερες ευχαριστίες στις εταιρείες Lafarge, Sika και Καρφής για την ουσιαστική βοήθεια τους στην διεκπεραίωση του πειραματικού μέρους της εργασίας, καθώς η ανιδιοτελής χορήγηση νωπού συμπυκνωμένου σκυροδέματος, σύνθετων υλικών και χάλυβα οπλισμού, αντίστοιχα, συνέβαλε σε ένα πολύ σημαντικό βαθμό στην ολοκλήρωση της μελέτης. Επίσης, αξίζει να δοθούν ευχαριστίες στους εργαστηριακούς συνεργάτες, Δρίβα Δημήτρη, Δημητράκη Γιώργο και Μπαλακίτσα Γιώργο, καθώς και στον εργαστηριακό βοηθό Καρτάλη Γεώργιο για την αμέριστη βοήθεια του στο κάθε βήμα προς ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος, οι πιο θερμές ευχαριστίες πρέπει να αποδοθούν στον καθηγητή, κ. Κωνσταντίνο Δημάκο, ο οποίος είναι ο εμπνευστής του θέματος και ο επιβλέπων των εργασιών καθ' όλη την πορεία της παρούσας πτυχιακής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Chaallal, O., Nollet, M.J. & Perraton, D. 1998. Shear strengthening of RC beams by externally bonded side CFRP strips. *Journal of Composites for Construction, ASCE*, Vol. 2, No. 2: 111-113.
- Chalioris, C.E. 2003. Shear performance of RC beams using FRP sheets covering part of the shear span. *Proceedings of the 1st International Conference on Concrete Repair*, St-Malo, France, Vol. 2: 809-816.
- Chalioris, C.E. 2006. Experimental study of the torsion of reinforced concrete members. *Journal of Structural Engineering and Mechanics*, in press.
- Δρίτσος, Σ.Η. 2001. Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Πάτρα.
- Ghobarah, A., Ghorbel, M.N. & Chidiac, S.É. 2002. Upgrading torsional resistance of reinforced concrete beams using fiber-reinforced polymer. *Journal of Composites for Construction, ASCE*, Vol. 6, No. 4: 257-263.
- Hsu, T.T.C. 1984. Torsion of reinforced concrete. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Kalifa, A., Gold, W.J., Nanni, A. & Aziz, A.M. 1998. Contribution of externally bonded FRP to shear capacity of RC flexural members. *Journal of Composites for Construction, ASCE*, Vol. 2, No. 4: 195-202.
- Karayannis, C.G. 2000a. Smearred crack analysis for plain concrete in torsion. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 126, No. 6: 638-645.
- Karayannis, C.G. 2000b. Nonlinear analysis and tests of steel-fiber concrete beams in torsion. *Journal of Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 9, No. 4: 323-338.
- Karayannis, C.G. & Chalioris, C.E. 2000a. Experimental validation of smeared analysis for plain concrete in torsion. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 126, No. 6: 646-653.
- Karayannis, C.G. & Chalioris, C.E. 2000b. Strength of prestressed concrete beams in torsion. *Journal of Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 10, No. 2: 165-180.
- Karayannis, C.G. & Chalioris, C.E. 2003. Strengthening of shear T-beams using carbon FRP. *Proceedings of the 1st International Conference on Concrete Repair*, St-Malo, France, Vol. 2: 775-782.
- Karayannis, C.G. & Sirkelis, G.M. 2002. Effectiveness of RC beam-column connections strengthening using carbon-FRP jackets. *Proceedings of the 12th European Conference on Earthquake Engineering*, London, PR 549.
- Καραγιάννης, Χ.Γ. & Σirkελής, Γ.Μ. 2001. Πειραματική διερεύνηση συμπεριφοράς σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση καμπτικών στοιχείων Ο/Σ ενισχυμένων με C-FRP. *Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας*, Θεσσαλονίκη, Τόμος Β: 417-424.
- EAK 2000
- EΚΩΣ 2000