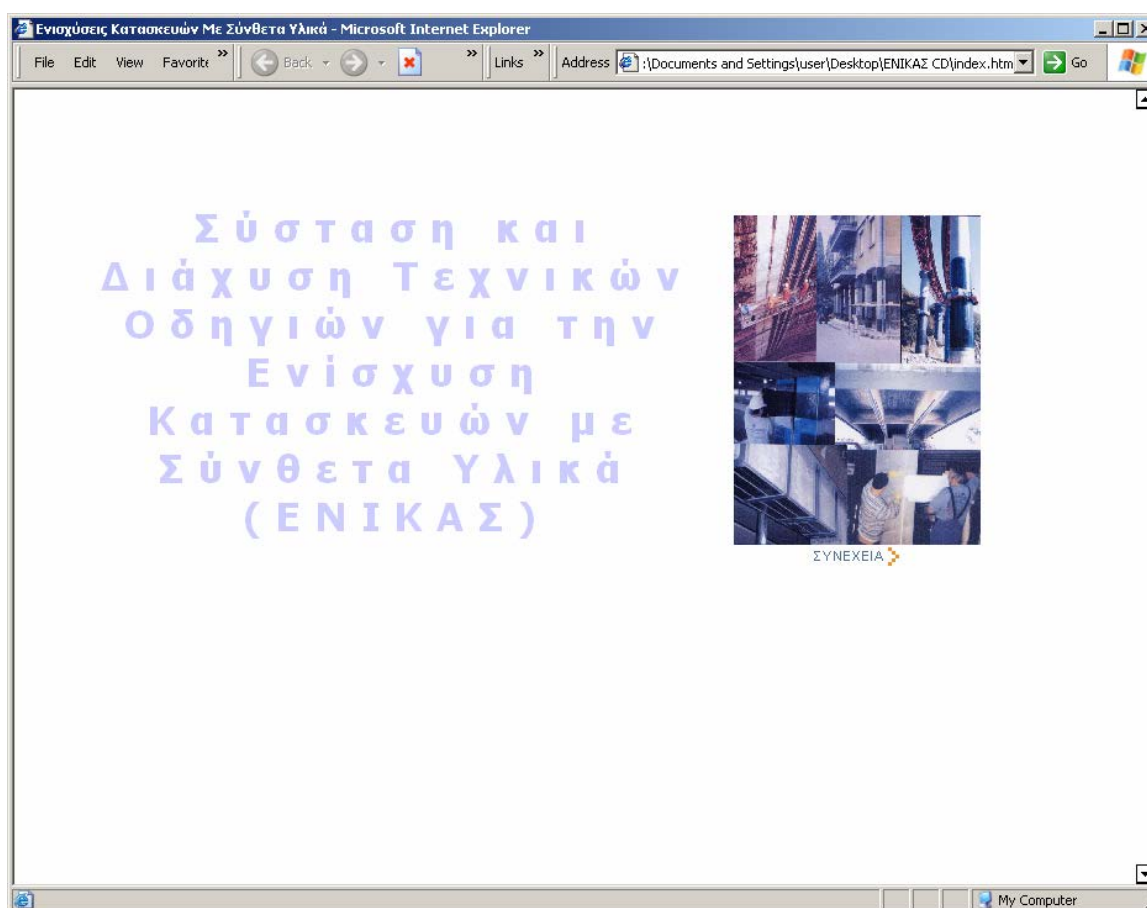


2.5 ΕΡΓΑΣΙΑ Γ1 – ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΒΟΗΘΗΜΑ (CD)

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής αναπτύχθηκε υλικό σε ψηφιακή μορφή (CD), το οποίο αποτελείται από δύο βασικά πακέτα. Το πρώτο περιλαμβάνει το Τεύχος Τεχνικών Οδηγιών για τη διαστασιολόγηση ενισχύσεων με σύνθετα υλικά σε **ηλεκτρονική πλατφόρμα** που βασίζεται στη διαχείριση αρχείων **.html**, ενώ το δεύτερο περιλαμβάνει πρόγραμμα αυτοματοποιημένης διαστασιολόγησης σε **Visual Basic**.

2.5.1 Χρήση του ηλεκτρονικού βοηθήματος

Το εισαγωγικό παράθυρο του ηλεκτρονικού βοηθήματος έχει την παρακάτω μορφή.



Κάνοντας “κλικ” στη φωτογραφία εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο, το οποίο περιλαμβάνει τέσσερα εικονίδια. Με “κλικ” στο καθένα από αυτά εμφανίζεται ένα αντίστοιχο παράθυρο, όπως περιγράφεται ακολούθως:



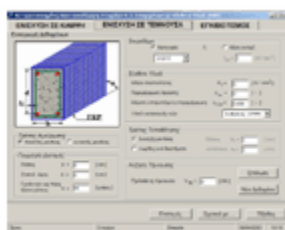
Εισαγωγή

Εμφανίζει εισαγωγικά σχόλια



Ευχαριστίες

Εμφανίζει τις ευχαριστίες στους συντελεστές του έργου



Εγκατάσταση Software

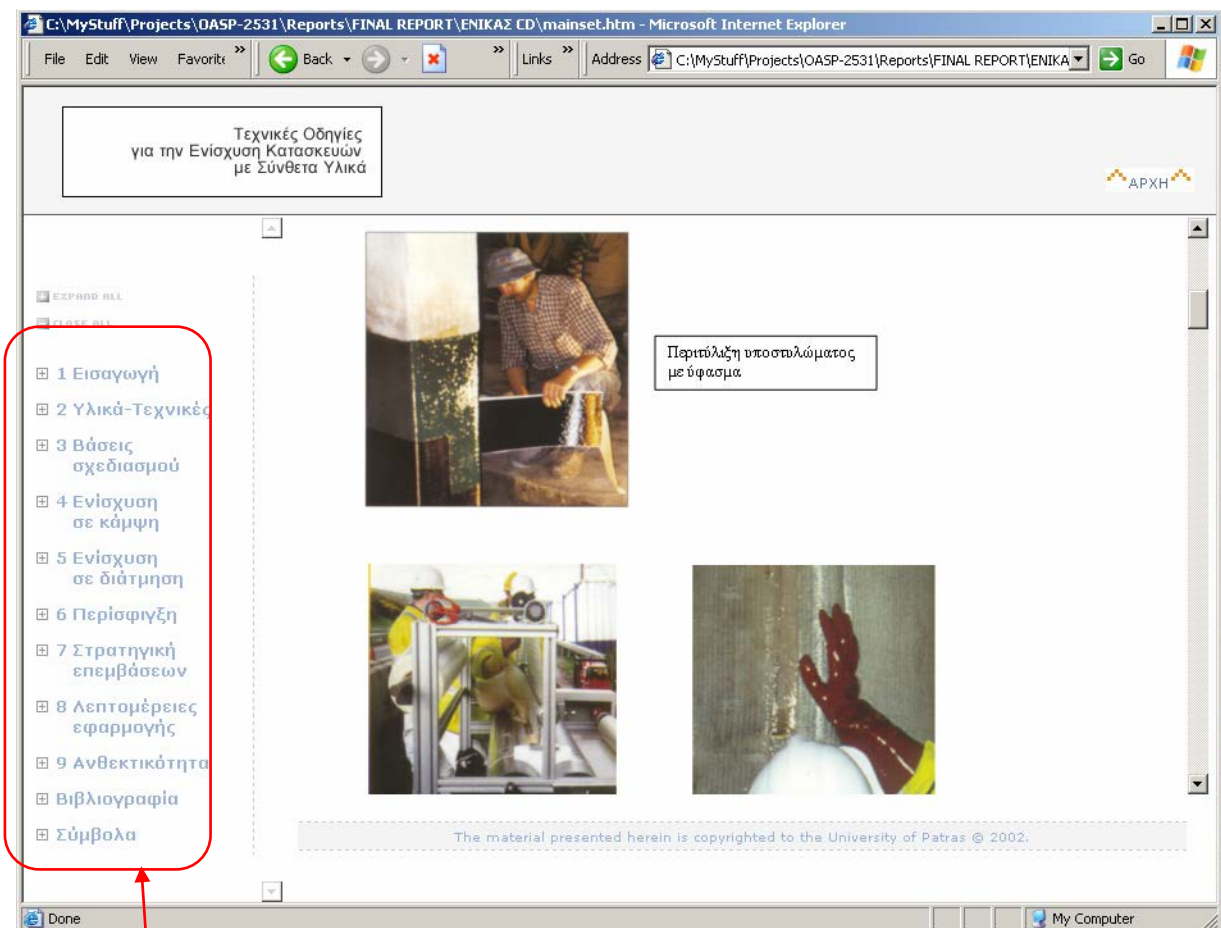
Εμφανίζει τις οδηγίες για την εγκατάσταση του λογισμικού αυτοματοποιημένης διαστασιολόγησης



Συστάσεις για Ενισχύσεις

Εμφανίζει το εισαγωγικό παράθυρο των
Τεχνικών Οδηγιών

Οι Τεχνικές Οδηγίες είναι ταξινομημένες σε Κεφάλαια, τα οποία αντιστοιχούν στα περιεχόμενα του Τεύχους που περιγράφεται στην Εργασία Β. Τα κεφάλαια αυτά δίνονται στην αριστερή στήλη, όπως φαίνεται παρακάτω.



Τα Κεφάλαια του ηλεκτρονικού Τεύχους Τεχνικών Οδηγιών για την ενίσχυση κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με σύνθετα υλικά.

Κάνοντας “κλικ” στο κάθε Κεφάλαιο εμφανίζονται οι αντίστοιχες Ενότητες (π.χ. για την “Περίσφιγξη” οι ενότητες δίνονται όπως φαίνεται στο παρακάτω παράθυρο) ενώ με “κλικ” σε

κάθε Ενότητα εμφανίζεται το κείμενο που της αντιστοιχεί, το οποίο ο χρήστης “κυλάει” στην οθόνη μέσω του “scroll bar” στα δεξιά του παραθύρου.

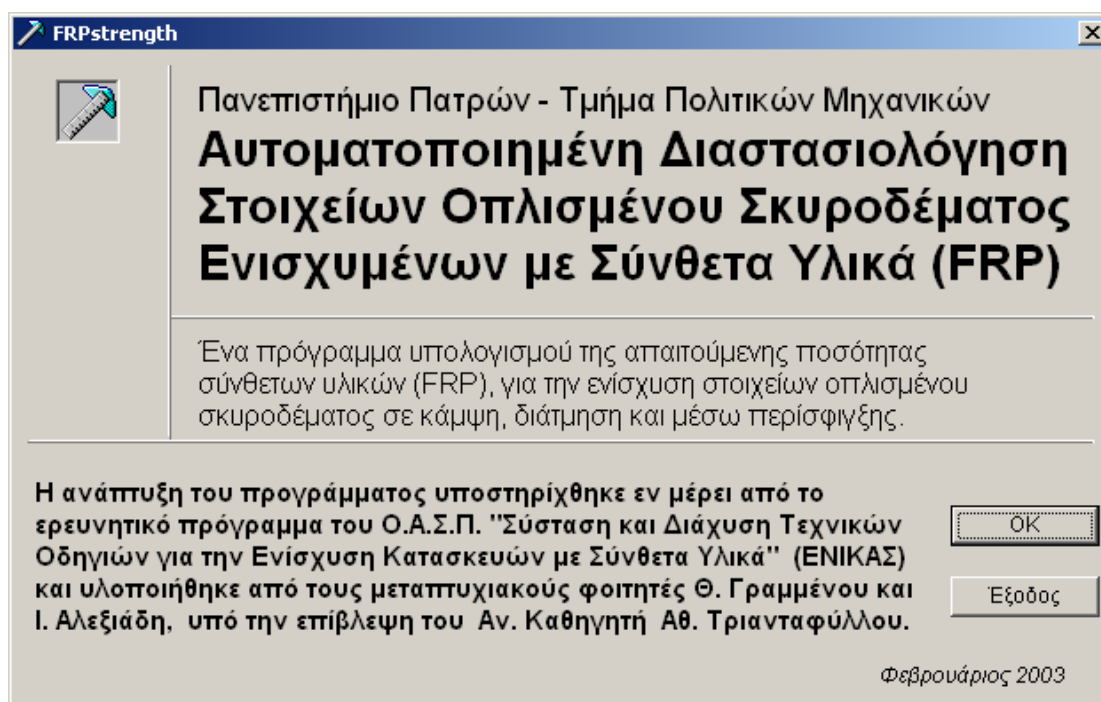
Οι Ενότητες της “Περίσφιγξης”. Με “κλικ” π.χ. στην Ενότητα “6.3 Πλασσιμότητα” εμφανίζεται το αντίστοιχο κείμενο.

2.5.2 Πρόγραμμα διαστασιολόγησης ενισχύσεων

Το έργο υποστήριξε σε σημαντικό βαθμό την ανάπτυξη του προγράμματος FRPstrength, το οποίο εγράφη στη γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic με στόχο την αυτοματοποιημένη διαστασιολόγηση ενισχύσεων στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος με σύνθετα υλικά. Βασικά στοιχεία του προγράμματος είναι:

- Επιλογή του τύπου ενίσχυσης (κάμψη, διάτμηση, περίσφιγξη)
- Εισαγωγή δεδομένων για τη γεωμετρία της διατομής
- Εισαγωγή δεδομένων για τις ιδιότητες των υλικών
- Για καμπτική ενίσχυση: εισαγωγή της ροπής αντοχής της ενισχυμένης διατομής, σε συνδυασμό με την αξονική δύναμη (αν πρόκειται για υποστυλώματα)
- Για διατμητική ενίσχυση: εισαγωγή της τέμνουσας σχεδιασμού για τον μανδύα συνθέτων υλικών
- Για την περίσφιγξη: εισαγωγή της επιθυμητής αντοχής ή/και οριακής παραμόρφωσης ή του δείκτη πλαστιμότητας μετατοπίσεων
- Το πρόγραμμα υπολογίζει τις απαιτούμενες διαστάσεις οπλισμού ενίσχυσης (π.χ. συνολικό εμβαδόν συνθέτων υλικών ή αριθμός ελασμάτων δεδομένης γεωμετρίας για καμπτική ενίσχυση, συνολικό πάχος μανδύα ή αριθμός στρώσεων δεδομένων ιδιοτήτων για τη διάτμηση ή τον εγκιβωτισμό).

Τα βήματα εγκατάστασης του προγράμματος (σε λειτουργικά συστήματα Windows 98, 2000, Me και XP) είναι τα εξής: (α) Διπλό “κλικ” στο αρχείο εγκατάστασης (setup), (β) “κλικ” στο πεδίο “OK” και (γ) “κλικ” στο εικονίδιο εγκατάστασης. Με την έναρξη του προγράμματος εμφανίζεται το παρακάτω εισαγωγικό παράθυρο:



Επιλέγοντας το πεδίο “ΟΚ” εμφανίζεται το ακόλουθο παράθυρο, όπου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει (κάνοντας “κλικ” στις αντίστοιχες λέξεις) μία από τις τρεις περιπτώσεις ενίσχυσης: **ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ, ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ, ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ**.

Αυτοματοποιημένη Διαστασιολόγηση Στοιχείων Ο. Σ. Ενισχυμένων με Σύνθετα Υλικά (FRP)

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ | ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ | ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ

Εισαγωγή Δεδομένων

Σκυρόδεμα
☒ Κατηγορία ή ☐ Αντοχή σχεδιασμού
 C16/20 $f_{cd} = 0$ [N/mm²]

Σύνθετα Υλικά
 Μέτρο ελαστικότητας $E_f = 180$ [kN/mm²]
 Μέγιστη επιτρεπόμενη παραμόρφωση $\varepsilon_{f,lim} = 0,004$ [-]

Οπλισμοί Διατομής
 Χαρακτηριστική αντοχή χάλυβα $f_{yk} = 400$ [N/mm²]
 Πάνω $A_{s2} = 300$ [mm²] σε απόσταση $d_2 = 0,05$ [m]
 Κάτω $A_{s12} = 0$ [mm²] σε απόσταση $d_{12} = 0$ [m]
 Κάτω $A_{s11} = 900$ [mm²] σε απόσταση $d_{11} = 0,05$ [m]

Τύπος Διατομής
☒ Δοκός ☐ Υποστύλωμα

Γεωμετρία Διατομής
 Πλάτος $b = 0,25$ [m]
 Συνεργίνο πλάτος $b_{eff} = 1,2$ [m]
 Ύψος $h = 0,50$ [m]
 Πάχος πλάκας $h_f = 0,15$ [m]

Εντατικά Μεγέθη
 Κατά την φάση ενίσχυσης
 $N_o = 0$ [kN] $M_o = 30$ [kNm] **Επίλυση**
 Μετά την φάση ενίσχυσης
 $N_{Rd} = 0$ [kN] $M_{Rd} = 200$ [kNm] **Νέα Δεδομένα**

Επιλογές | Σχετικά με ... | Εξοδος

Έργο: | Ονομ/μο: | Εταιρεία: | 8/4/2003 | 12:56 μμ

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

Αφού επιλεγεί ο τύπος στοιχείου (Δοκός ή Υποστύλωμα) εισάγεται η γεωμετρία της διατομής, επιλέγεται η κατηγορία σκυροδέματος ή η αντοχή σχεδιασμού, εισάγονται τα δεδομένα για τα σύνθετα υλικά (μέτρο ελαστικότητας και μέγιστη επιτρεπόμενη παραμόρφωση – πέραν της οποίας γίνεται αποκόλληση), εισάγονται τα δεδομένα για τον διαμήκη χάλυβα οπλισμού και ορίζονται τα εντατικά μεγέθη που ασκούνται στην κρίσιμη διατομή (α) κατά τη φάση ενίσχυσης (ροπή M_o και, στην περίπτωση υποστυλώματος, αξονική δύναμη N_o) και (β) μετά την ενίσχυση (ροπή αντοχής M_{Rd} της ενισχυμένης διατομής και, στην περίπτωση υποστυλώματος, αξονική δύναμη N_{Rd}).

Ακολούθως, κάνοντας “κλικ” στο πεδίο “Επίλυση” εμφανίζεται το παράθυρο των αποτελεσμάτων, στο οποίο δίνεται το απαιτούμενο εμβαδόν διατομής συνθέτων υλικών (A_f) για δεδομένη ροπή αντοχής, η ροπή αντοχής της διατομής πριν την ενίσχυση ($M_{Rd,o}$) και ο βαθμός ενίσχυσης.

Αποτελέσματα υπολογισμού απαιτούμενης διατομής σύνθετων υλικών

Ενίσχυση σε Κάμψη	
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 208,0 \text{ [mm}^2\text{]}$
Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 200,06 \text{ [kNm]}$
<hr/>	
Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,o} = 137,13 \text{ [kNm]}$
Βαθμός ενίσχυσης	$\frac{M_{Rd}}{M_{Rd,o}} = 1,459$
Παραμορφωσιακή κατάσταση διατομής	

Ενίσχυση σε Τέντωση	
Πάχος FRP	$t_f = 0 \text{ [mm]}$
Πρόσθετη τέντωση	$V_{fd} = 0 \text{ [kN]}$

Περίσφιγξη	
Αντοχή πριν την ενίσχυση	$f_{cc1d} = 0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$
Πάχος FRP	$t_f = 0 \text{ [mm]}$
Οριακή αξονική παραμ/ση μετά την ενίσχυση	$\epsilon_{ccd} = 0 \text{ [-]}$
Αντοχή μετά την ενίσχυση	$f_{ccd} = 0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

Εισαγωγή διαστάσεων FRP

Εκτύπωση Επιστροφή Έξοδος

Αν το επιθυμεί, ο χρήστης μπορεί, κάνοντας “κλικ” στην “Παραμορφωσιακή κατάσταση διατομής”, να “δει” την εικόνα των παραμορφώσεων στη διατομή τόσο κατά τη φάση ενίσχυσης (για ροπή M_o ή και αξονική N_o) όσο και μετά την εφαρμογή του οπλισμού ενίσχυσης (εμβαδού A_f), κατά την οριακή κατάσταση αστοχίας σε κάμψη (για ροπή M_{Rd} ή και αξονική N_{Rd}). Επιπλέον δίνεται και ο μηχανισμός αστοχίας.

Ενίσχυση σε κάμψη - παραμορφώσεις

Παραμορφωσιακή Κατάσταση Διατομής

Κατά την Φάση Ενίσχυσης

Θέση ουδέτερου άξονα	$x_o = 0,082 \text{ [m]}$
Παραμόρφωση πάνω ίνας	$\epsilon_{co} = 0,00009 \text{ [-]}$
Παραμόρφωση κάτω ίνας	$\epsilon_o = 0,00045 \text{ [-]}$

Κατά την Οριακή Κατάσταση Αστοχίας

Θέση ουδέτερου άξονα	$x = 0,094 \text{ [m]}$
Παραμόρφωση πάνω ίνας	$\epsilon_c = 0,00103 \text{ [-]}$
Παραμόρφωση κάτω ίνας	$\epsilon_o + \epsilon_f = 0,00445 \text{ [-]}$
Παραμόρφωση FRP	$\epsilon_f = 0,00400 \text{ [-]}$

Τρόπος αστοχίας: Διαρροή χάλυβα και αποκόλληση FRP

Επιστροφή Έξοδος

Μετά την “Επιστροφή”, με διπλό “κλικ” στην “Εισαγωγή διαστάσεων FRP” εμφανίζεται το παράθυρο όπου εισάγεται το πλάτος b_f και το πάχος t_f των διαθέσιμων ελασμάτων (λωρίδων) συνθέτων υλικών, και ο “Υπολογισμός” δίνει τον απαιτούμενο αριθμό λωρίδων και το αντίστοιχο εμβαδόν.

Εισαγωγή διαστάσεων FRP

Ενίσχυση σε Κάμψη

Για ενίσχυση: $M_{Rd} = 200,06 \text{ [kNm]}$ $N_{Rd} = 0,00 \text{ [kN]}$

Απαιτούμενο εμβαδόν FRP για την ενίσχυση $A_f = 208,0 \text{ [mm}^2\text{]}$

Λωρίδες FRP πλάτους [mm] και πάχους [mm]

 Απαιτούμενος αριθμός λωρίδων: 3

Εφαρμοζόμενο εμβαδόν FRP $A_f = 234,0 \text{ [mm}^2\text{]}$

Επιστροφή χωρίς Επίλυση Επιστροφή με Επίλυση Έξοδος

Ακολούθως ο χρήστης έχει δύο επιλογές (πλέον της εξόδου από το πρόγραμμα): (α) “Επιστροφή χωρίς Επίλυση”, οπότε εμφανίζεται και πάλι το παράθυρο των αποτελεσμάτων, ή (β) “Επιστροφή με Επίλυση”, οπότε εμφανίζεται το ίδιο παράθυρο, αλλά με τις νέες τιμές A_f και M_{Rd} (αντίστοιχα και του βαθμού ενίσχυσης), αυτές δηλαδή που αντιστοιχούν στον υπολογισθέντα αριθμό λωρίδων.

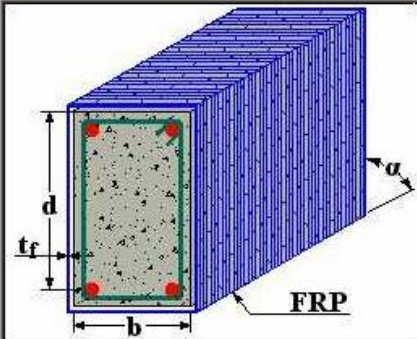
ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Αρχικά επιλέγεται ο τύπος μανδύα, ουσιαστικά δηλαδή ο τρόπος αγκύρωσης των συνθέτων υλικών. Ο “Κλειστός μανδύας” είναι η συνηθισμένη περίπτωση σε υποστυλώματα ή σε δοκούς με επαρκώς αγκυρωμένους οπλισμούς διάτμησης στη θλιβόμενη ζώνη, ενώ ο “Ανοικτός μανδύας” είναι η συνηθισμένη περίπτωση σε πλακοδοκούς. Ακολούθως εισάγονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής, επιλέγεται η κατηγορία σκυροδέματος ή η αντοχή σχεδιασμού, εισάγονται τα δεδομένα για τα σύνθετα υλικά (μέτρο ελαστικότητας, αντοχή σχεδιασμού, ενεργή αντοχή σχεδιασμού), επιλέγεται ο τρόπος τοποθέτησης του μανδύα (συνεχής κατά μήκος του μέλους ή λωρίδες πλάτους b_f ανά αποστάσεις s_f) και εισάγεται η τιμή της πρόσθετης τέμνουσας σχεδιασμού V_{fd} που θα πρέπει να παραλάβουν τα σύνθετα υλικά.

Αυτοματοποιημένη Διαστασιολόγηση Στοιχείων Ο. Σ. Ενισχυμένων με Σύνθετα Υλικά (FRP)

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ **ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ** **ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ**

Εισαγωγή Δεδομένων



Σκυρόδεμα
☒ Κατηγορία ή ☐ Αντοχή σχεδιασμού
 C16/20 $f_{cd} = 0$ [N/mm²]

Σύνθετα Υλικά
 Μέτρο ελαστικότητας $E_f = 230$ [kN/mm²]
 Αντοχή σχεδιασμού $f_{fd} = 2500$ [N/mm²]
 Ενεργή αντοχή σχεδιασμού $f_{fde} = 0,8 \times f_{fd}$

Τρόπος Τοποθέτησης
☒ Συνεχής μανδύας Πλάτος $b_f = 0$ [m]
☐ Λωρίδες ανά διαστήματα Απόσταση $s_f = 0$ [m]

Γεωμετρία Διατομής
 Πλάτος $b = 0,30$ [m]
 Στατικό ύψος $d = 0,35$ [m]
 Ύψος $d_f = 0$ [m]
 Γωνία ινών ως προς άξονα μέλους $\alpha = 90$ [μοίρες]

Αύξηση Τέμνουσας
 Πρόσθετη τέμνουσα $V_{fd} = 100$ [kN]

Έργο: Ονομ/μο: Εταιρεία: 8/4/2003 1:05 μμ

Με την επιλογή “Επίλυση” υπολογίζεται το απαιτούμενο πάχος μανδύα t_f .

Ακολουθώντας, με διπλό “κλικ” στην “Εισαγωγή διαστάσεων FRP” εμφανίζεται το παράθυρο όπου εισάγεται το πάχος t_{fib} του διαθέσιμου υφάσματος, και ο “Υπολογισμός” δίνει τον απαιτούμενο αριθμό στρώσεων και το αντίστοιχο συνολικό πάχος υφάσματος t_f .

Τέλος, ο χρήστης έχει δύο επιλογές (πλέον της εξόδου από το πρόγραμμα): (α) “Επιστροφή χωρίς Επίλυση”, οπότε εμφανίζεται και πάλι το παράθυρο των αποτελεσμάτων, ή (β) “Επιστροφή με Επίλυση”, οπότε εμφανίζεται το ίδιο παράθυρο, αλλά με τις νέες τιμές t_f και V_{fd} (αντίστοιχα και του βαθμού ενίσχυσης), αυτές δηλαδή που αντιστοιχούν στον υπολογισθέντα αριθμό στρώσεων.

ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ

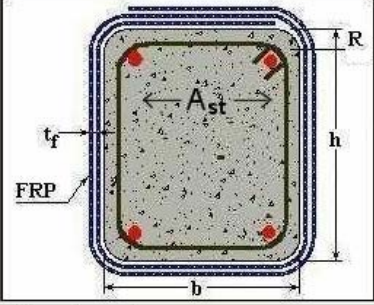
Αρχικά επιλέγεται ο τύπος διατομής (ορθογωνική ή κυκλική) και ορίζεται η γεωμετρία της. Ακολουθώντας επιλέγεται η κατηγορία σκυροδέματος ή η αντοχή σχεδιασμού, εισάγονται τα δεδομένα για τα σύνθετα υλικά (μέτρο ελαστικότητας, αντοχή σχεδιασμού, ενεργή αντοχή

σχεδιασμού), εισάγονται τα στοιχεία οπλισμού διάτμησης και ορίζονται τα ζητούμενα του προβλήματος, που μπορεί να είναι: (α) αύξηση της αντοχής σχεδιασμού και/ή της οριακής παραμόρφωσης (π.χ. για προεξέχουσα αξονική καταπόνηση του υποστυλώματος) ή (β) αύξηση του δείκτη πλαστιμότητας μετατοπίσεων μ_{Δ} (για προεξέχουσα σεισμική καταπόνηση, δηλαδή οριζόντια φόρτιση, παράλληλα είτε στη μικρή είτε στη μεγάλη πλευρά της διατομής).

Αυτοματοποιημένη Διαστασιολόγηση Στοιχείων Ο. Σ. Ενισχυμένων με Σύνθετα Υλικά (FRP)

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ

Εισαγωγή Δεδομένων



Τύπος Διατομής
☒ Ορθογωνικό υποστύλμα ☐ Κυκλικό υποστύλμα

Γεωμετρία Διατομής
 Πλάτος $b = 0,30$ [m]
 Ύψος $h = 0,40$ [m]
 Ακτίνα καμπύλης γωνίας $R = 0,03$ [m]
 Διάμετρος $D = 0$ [m]

Σκυρόδεμα
☐ Κατηγορία ή ☒ Αντοχή σχεδιασμού
 $f_{cd} = 20$ [N/mm²]

Σύνθετα Υλικά
 Μέτρο ελαστικότητας $E_f = 230$ [kN/mm²]
 Αντοχή σχεδιασμού $f_{fd} = 2800$ [N/mm²]
 Ενεργή αντοχή σχεδιασμού $f_{fde} = 0,8 \times f_{fd}$

Οπλισμοί Διατομής
 Χαρακτηριστική αντοχή χάλυβα $f_{yk} = 220$ [N/mm²]
 Απόσταση συνδετήρων $s = 0,25$ [m]
 Εμβαδόν συνδετήρων ανά διεύθυνση $A_{st} = 200$ [mm²]
 Επικάλυψη οπλισμών $c = 0,02$ [m]

Ζητούμενα Προβλήματος
☒ **Αξονική καταπόνηση**
☒ Αύξηση αντοχής $f_{cod} = 25$ [N/mm²]
☐ Αύξηση οριακής αξονικής παρ/σης $\epsilon_{cod} = 0$ [-]
☐ **Οριζόντια καταπόνηση παράλληλα στην:**
☐ μικρή πλευρά
☐ μεγάλη πλευρά
 Αύξηση δείκτη πλαστιμότητας $\mu_{\Delta} = 0$ [-]

Επίλυση Νέα Δεδομένα

Εξοδος

2003 1:15 μμ

Επιλογές Σχετικά με ... Εξοδος

Έργο: Ονομα: Εταιρεία: 8/4/2003 1:15 μμ

Στη συνέχεια, με την επιλογή “Επίλυση” υπολογίζεται το απαιτούμενο συνολικό πάχος υφάσματος t_f .

Για ζητούμενη αύξηση αντοχής ή και οριακής παραμόρφωσης:

Πλέον του πάχους t_f , στην παραπάνω περίπτωση υπολογίζεται και η αντοχή του περισιφινγμένου με τους συνδετήρες μόνο σκυροδέματος, f_{cc1d} . Επίσης υπολογίζονται: (α) Για ζητούμενη αύξηση αντοχής η αντίστοιχη οριακή παραμόρφωση, (β) για ζητούμενη αύξηση της οριακής παραμόρφωσης η αντίστοιχη αντοχή. Σημειώνεται δε ότι αν το ζητούμενο είναι η αύξηση αντοχής και οριακής παραμόρφωσης, το υπολογιζόμενο πάχος t_f είναι το μέγιστο εκ των παχών που αντιστοιχούν στις δύο αυτές περιπτώσεις (οπότε και οι τιμές οριακής παραμόρφωσης και αντοχής που δίνονται στο παράθυρο του προγράμματος αντιστοιχούν στο πάχος αυτό).

Για ζητούμενη αύξηση του δείκτη πλαστιμότητας μετατοπίσεων:

Ακολουθώντας, όπως ακριβώς και στην περίπτωση ενίσχυσης σε διάτμηση, με διπλό “κλικ” στην “Εισαγωγή διαστάσεων FRP” εμφανίζεται το παράθυρο όπου εισάγεται το πάχος του διαθέσιμου υφάσματος, και ο “Υπολογισμός” δίνει τον απαιτούμενο αριθμό στρώσεων και το αντίστοιχο συνολικό πάχος υφάσματος t_f . Τέλος, ο χρήστης έχει δύο επιλογές (πλέον της εξόδου από το πρόγραμμα): (α) “Επιστροφή χωρίς Επίλυση”, οπότε εμφανίζεται και πάλι το παράθυρο των αποτελεσμάτων, ή (β) “Επιστροφή με Επίλυση”, οπότε εμφανίζεται το ίδιο παράθυρο, αλλά με τις νέες τιμές t_f και μ_Δ (ή ε_{ccud} , f_{ccd} , ανάλογα με το ζητούμενο), αυτές δηλαδή που αντιστοιχούν στον υπολογισθέντα αριθμό στρώσεων.

ΑΛΛΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

Κάνοντας “κλικ” στο πεδίο “Επιλογές” μπορούν να ορισθούν τα στοιχεία του χρήστη, οι λεπτομέρειες της εκτύπωσης, η ταχύτητα των υπολογισμών (που καθορίζει και την ακρίβεια δεκαδικών στοιχείων) και για την “Ενίσχυση σε κάμψη”, κατά πόσον στην επίλυση μπορεί να θεωρηθεί αποδεκτός ο μηχανισμός αστοχίας σύμφωνα με τον οποίο ο εφελκόμενος χάλυβας μπορεί και να μην έχει διαρρεύσει.

Τέλος, επιλέγοντας το πεδίο “Εκτύπωση”, ο χρήστης μπορεί να εκτυπώσει όλα τα δεδομένα και αποτελέσματα των υπολογισμών.





2.6 ΕΡΓΑΣΙΑ Γ2 – ΣΕΜΙΝΑΡΙΑ - ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ

Μέχρι σήμερα τα μέλη της ερευνητικής ομάδας έχουν παρουσιάσει αποτελέσματα του προγράμματος υπό μορφή διαλέξεων – σεμιναρίων σε μηχανικούς όπως περιγράφεται παρακάτω:

- Τετράημερο σεμινάριο στην Πάτρα (11-14 Ιουνίου 2003) με υποστήριξη διοργάνωσης από το ΤΕΕ – Τμήμα Δυτικής Ελλάδος, με θέμα “Ενίσχυση Κατασκευών με Σύνθετα Υλικά”. Τις διαλέξεις έδωσε ο **Αθ. Τριανταφύλλου**.
- Διημερίδα “Σεισμική Διακινδύνευση και Αντισεισμική Ενίσχυση των Κατασκευών”, σεμινάριο **Αθ. Τριανταφύλλου** με τίτλο “Ενίσχυση Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος με Σύνθετα Υλικά”, Αγρίνιο 22-23 Φεβρουαρίου 2003, συνδιοργανωτές ΤΕΕ, ΟΑΣΠ, ΠΤΑ-ΠΔΕ και Πανεπιστήμιο Πατρών υπό την αιγίδα του ΥΠΕΧΩΔΕ.
- Ημερίδα “Σεισμική Διακινδύνευση των Κατασκευών”, σεμινάριο **Σ. Πανταζοπούλου** με τίτλο “Εφαρμογές από την Διαδικασία Ενισχύσεων Στοιχείων Σκυροδέματος από Σύνθετα Υλικά”, Καβάλα 21-22 Σεπτεμβρίου 2002, συνδιοργανωτές ΤΕΕ, ΟΑΣΠ και ΔΠΘ υπό την αιγίδα του ΥΠΕΧΩΔΕ.
- Σεμινάριο στη Θεσσαλονίκη (ΙΤΣΑΚ), **Αθ. Τριανταφύλλου**, Οκτ. 2001, με τίτλο “Ενίσχυση Δομικών Στοιχείων Οπλισμένου Σκυροδέματος Έναντι Σεισμού με Σύνθετα Υλικά”.

Επίσης προγραμματίζεται ένα ακόμα σεμινάριο, το οποίο θα δοθεί από τους **Ε. Βιντζηλαίου**, **Σ. Πανταζοπούλου** και **Αθ. Τριανταφύλλου** στην Αθήνα, περί τα τέλη του 2003 (μετά την συμβατική προθεσμία λήξης του προγράμματος).

Συνολικά έχουν αναπτυχθεί (και χρησιμοποιηθεί) δύο παρουσιάσεις Powerpoint, τα εισαγωγικά slides των οποίων δίνονται ακολούθως. Σε πλήρη μορφή, οι παρουσιάσεις δίνονται στο Παράρτημα Β.

Σύσταση & Διάχυση Τεχνικών Οδηγιών για την Ενίσχυση Κατασκευών με Σύνθετα Υλικά (ΕΝΙΚΑΣ)

Α. Τριανταφύλλου
Αναπλ. Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπ. Πατρών (Ανάδοχος Φορέας)

Ε. Βιντζηλαίου
Επικ. Καθηγήτρια, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π. (Συνεργαζόμενος Φορέας)

Σ. Πανταζοπούλου
Καθηγήτρια, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δ.Π.Θ. (Συνεργαζόμενος Φορέας)

Εισαγωγικό “slide” παρουσίασης Α (45 slides).



ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ



ΑΘ. Χ. ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ
 ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
 ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
 ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Εισαγωγικό “slide” παρουσίασης Β (93 slides).

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα προαναφερθέντα, οι συγγραφείς της παρούσας έκθεσης πιστεύουν ότι ο **βαθμός επιτυχίας του προγράμματος** είναι εξαιρετικά υψηλός, δεδομένου ότι επετεύχθησαν οι στόχοι του προγράμματος, ήτοι:

- Εντάθηκε η έρευνα σε περιοχές που άπτονται της εφαρμογής των συνθέτων υλικών στο πεδίο των ενισχύσεων και στις οποίες εκκρεμούσαν απαντήσεις σε κρίσιμους τομείς.
- Υλοποιήθηκε η συγγραφή Τεύχους Τεχνικών Οδηγιών, βάσει του οποίου ο μηχανικός είναι σε θέση να κατανοήσει τη συμπεριφορά ενισχυμένων (με σύνθετα υλικά) στοιχείων και κατασκευών, να προβεί στη διαστασιολόγηση ενισχύσεων αλλά και να γνωρίζει πρακτικούς κανόνες εφαρμογής.
- Αναπτύχθηκε λογισμικό αυτοματοποιημένης διαστασιολόγησης ενισχύσεων με σύνθετα υλικά, το οποίο επιτρέπει, με τρόπο φιλικό προς το χρήστη, τον υπολογισμό των απαιτούμενων διαστάσεων μανδύα ή μεμονωμένων οπλισμών συνθέτων υλικών, με στόχο την αύξηση αντοχής και/ή πλαστιμότητας για τις βασικές περιπτώσεις δράσεων.
- Παρουσιάσθηκαν τα αποτελέσματα του προγράμματος (κυρίως αυτά που αφορούν στη διαστασιολόγηση ενισχύσεων δομικών στοιχείων και στη στρατηγική επεμβάσεων) σε σεμινάρια – διαλέξεις, και μέσω του ηλεκτρονικού υλικού που αναπτύχθηκε (παρουσιάσεις “powerpoint”) αναμένεται ότι θα αξιοποιηθούν σε αντίστοιχες δραστηριότητες και στο άμεσο μέλλον.

Προτάσεις για αξιοποίηση των αποτελεσμάτων αποτελούν οι εξής:

- Δημοσίευση των ερευνητικών αποτελεσμάτων του έργου από τα μέλη της ερευνητικής ομάδας σε Επιστημονικά Περιοδικά και Πρακτικά Συνεδρίων.
- Παραγωγή και ευρεία διανομή Ενημερωτικού Δελτίου εκ μέρους του ΟΑΣΠ αλλά και ενημέρωση της ιστοσελίδας του ΟΑΣΠ σχετικά με τα αποτελέσματα του προγράμματος.
- Εισαγωγή των αρχείων του ηλεκτρονικού βοηθήματος στην ιστοσελίδα του ΟΑΣΠ σε μορφή “downloadable”, ώστε να γίνουν εύκολα και άμεσα προσβάσιμα από μηχανικούς που εμπλέκονται στο πεδίο των ενισχύσεων.
- Διοργάνωση (από τον ΟΑΣΠ) ημερίδας, όπου θα παρουσιαστούν στο κοινό τα αποτελέσματα όλων των ερευνητικών προγραμμάτων σχετικά με τη χρήση των συνθέτων υλικών στο πεδίο των ενισχύσεων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Ταξινόμηση εργασιών (μέχρι τις αρχές του 2002, οπότε έληξε η σχετική εργασία του προγράμματος) σχετικών με την εφαρμογή των συνθέτων υλικών στο πεδίο των ενισχύσεων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος.

Ενίσχυση σε κάμψη - γενικά

Οι παρακάτω εργασίες αναφέρονται κυρίως σε μονοτονική βραχυχρόνια συμπεριφορά, με έμφαση σε μηχανισμούς αστοχίας, σε υπολογισμούς καμπτικής αντοχής και στη μελέτη αποκολλήσεων.

Arduini, M. Di Tommaso, A. and Nanni, A. (1997), Brittle failure in FRP plate and sheet bonded beams. *ACI Structural Journal*, **94**, 363-370.

Blaschko, M. (1997), *Strengthening with CFRP*. Münchner Massivbau Seminar, TU München (In German).

Blaschko, M., Niedermeier, R. and Zilch, K. (1998), Bond failure modes of flexural members strengthened with FRP. *2nd International Conference on Composites in Infrastructure (ICCI)*, Tucson, 5-7. January.

Buyukozturk, O. and Hearing, B. (1998), Failure behavior of precracked concrete beams retrofitted with FRP. *ASCE Journal of Composites for Construction*, **1**, 63-70.

Deuring, M. (1993), *Verstärken von Stahlbeton mit gespannten Faserverbundwerkstoffen*. EMPA Report No. 224, Dübendorf, (in German).

Heffernan, P. J. and Erki, M.-A. (1996), Equivalent capacity and efficiency of reinforced concrete beams strengthened with carbon fibre reinforced plastics. *Canadian Journal of Civil Engineering*, **23**, 21-29.

Holzenkämpfer, P. (1994), *Ingenieurmodelle des Verbundes geklebter Bewehrung für Betonbauteile*. Dissertation, TU Braunschweig (In German).

Jansze, W. (1997), *Strengthening of reinforced concrete members in bending by externally bonded steel plates*. PhD dissertation, TU Delft, The Netherlands.

Kaiser H. (1989), *Strengthening of reinforced concrete with epoxy-bonded carbon fibre plastics*. Dissertation, ETH, Switzerland (In German).

Malek, A. M., Saadatmanesh, H. and Krishnamoorthy, M. R. (1998), Prediction of failure load of R/C beams strengthened with FRP plate due to stress concentration at the plate end. *ACI Structural Journal*, **95**(2), 142-152.

Matthys, S. (2000), *Structural behaviour and design of concrete members strengthened with externally bonded FRP reinforcement*. Doctoral thesis, Ghent University.

Meier, U. (1995), Strengthening of structures using carbon fibre/epoxy composites. *Construction and Building Materials*, **9**(6), 341-351.

Meier, U., Deuring, M., Meier, H. and Schwegler, G. (1993), CFRP bonded sheets. *Fiber-reinforced-plastic (FRP) reinforcement for concrete structures: properties and applications*, Ed. A. Nanni, Elsevier Science Publishers, 423-434.

Neubauer, U. and Rostásy, F. S. (1997), Design aspects of concrete structures strengthened with externally bonded CFRP-plates. *Concrete+Composites, Proceedings of the 7th International Conference on Structural Faults and Repair*, **2**, 109-118.

Neubauer, U. and Rostásy, F. S. (1999), Bond failure of concrete fibre reinforced polymer at inclined cracks – experiments and fracture mechanics model. *International Symposium on Fibre Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures*, ACI, 369-382.

Niedermeier, R. (2000), *Zugkraftdeckung bei klebarmierten Biegeträgern (Envelope line of tensile forces while using externally bonded reinforcement)*. 38. Forschungskolloquium des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, 02.-03.03.2000, TU München, 2000, 161-168 (In German).

Nitereka, C. and Neale, K. W. (1999), Analysis of reinforced concrete beams strengthened in flexure with composite laminates. *Canadian Journal of Civil Engineering*, **26**(5), 646-654.

Oehlers, D. J. and Moran, J. P. (1990), Premature failure of externally plated reinforced concrete beams. *ASCE Journal of Structural Engineering*, **116**(4), 978-995.

Pichler, D. (1993), *Die Wirkung von Anpressdrücken auf die Verankerung von Klebelamellen*. Dissertation, Universität Innsbruck (In German).

Plevris, N., Triantafillou, T. C. and Veneziano, D. (1995), Reliability of RC members strengthened with CFRP laminates. *ASCE Journal of Structural Engineering*, **121**(7), 1037-1044.

Sharif, A., Al-Sulaimani, G. J., Basunbul, I. A. et al. (1994), Strengthening of initially loaded reinforced concrete beams using FRP plates. *ACI Structural Journal*, **91**, 160-168.

Spadea, G., Bencardino, F. and Swamy, R. N. (2000), Optimizing the performance characteristics of beams strengthened with bonded CFRP laminates. *RILEM Materials and Structures*, **33**, 119-126.

Täljsten, B. (1994), *Strengthening of existing concrete structures with epoxy bonded plates of steel or fibre reinforced plastics*. Doctoral thesis, Lulea University of Technology.

Täljsten, B. (1997), Strengthening of beams by plate bonding. *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, **9**(4), 206-212.

Triantafillou, T. C. and Plevris, N. (1992), Strengthening of RC beams with epoxy-bonded fibre-composite materials. *RILEM Materials and Structures*, **25**, 201-211.

Triantafillou, T. C. (1997), Strengthening of structures with advanced FRPs. *Progress in Structural Engineering and Materials*, **1**(2), 126-134.

Varastehpour, H. and Hamelin, P. (1997), Strengthening of concrete beams using fiber-reinforced plastics. *RILEM Materials and Structures*, **30**, 160-166.

Zilch, K., Niedermeier, R. and Blaschko, M. (1998), *Bericht über Versuche zum Verstärken von Betonbauteilen mit CFK (Test report on retrofitting concrete members with CFRP)*. Versuchsbericht Nr. 1310, Technische Universität München, Lehrstuhl für Massivbau (In German).

Ενίσχυση σε κάμψη - **ερπυσμός**

Στις παρακάτω εργασίες μελετάται η επίδραση του ερπυσμού στις περιπτώσεις καμπτικών ενισχύσεων.

Ferrier, E. and Hamelin, P. (1999), Influence of time-temperature-loading on carbon epoxy reinforcement for concrete structures. *Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures*. Eds. C. W. Dolan, S. H. Rizkalla and A. Nanni, ACI Report SP-188. Detroit, Michigan, 491-499.

Plevris, N. and Triantafillou, T. C. (1994), Time-dependent behavior of RC members strengthened with FRP laminates. *ASCE Journal of Structural Engineering*, **120**(3), 1016-1042.

Ενίσχυση σε κάμψη – **προεντεταμένα στοιχεία**

Οι παρακάτω εργασίες αναφέρονται στη συμπεριφορά προεντεταμένων στοιχείων με καμπτική ενίσχυση.

Barboni, M., Benedetti, A. and Nanni, A. (1997), Carbon FRP strengthening of doubly curved precast PC shell. *ASCE Journal of Composites for Construction*, **1**(4), 168-174.

Hassan, T., Horeczy, G., Svecova, D., Rizkalla, S., Shehata, E. and Stewart, D. (2000), Flexural strengthening of post-tensioned bridge slab using FRP. *Advanced Composite Materials in Bridges and Structures*. Montreal, The Canadian Society for Civil Engineering, Eds. J. Humar and A. G. Razaqpur, 291-298.

Manfroni, O., Di Tommaso, A. and Bergmeister, K. (2000), Full scale bending tests up to collapse of PC beams strengthened with bonded FRP. *Advanced Composite Materials in Bridges and Structures*. Montreal, The Canadian Society for Civil Engineering, Eds. J. Humar and A. G. Razaqpur, 233-240.

Shahawy, M. A. and Beitelman, T. (1996), Experimental investigation on structural repair and strengthening of damaged prestressed concrete slabs utilizing externally bonded carbon laminates. *Composites: Part B*, **27B**, 217-224.

Ενίσχυση σε κάμψη – κόπωση

Το φαινόμενο της κόπωσης σε καμπτικώς ενισχυμένα στοιχεία αποτελεί το θέμα των παρακάτω εργασιών.

Barnes, R. A. and Mays, G. C. (1999), Fatigue performance of concrete beams strengthened with CFRP plates. *ASCE Journal of Composites for Construction*, **3**(2), 63-72.

Deuring, M. (1993), *Strengthening of reinforced concrete with tensioned fibre composites*. EMPA Research Report 224, Dübendorf, Switzerland (in German).

Ferrier, E. and Hamelin, P. (2000), Evolution of bending stiffness of RC beam strengthened by FRP under fatigue loading. *Advanced Composite Materials in Bridges and Structures*. Montreal, The Canadian Society for Civil Engineering, Eds. J. Humar and A. G. Razaqpur, 703-710.

Inoue, S., Nishibayashi, S., Yoshino, A. and Omata, F. (1996), Deformation characteristics, static and fatigue strengths of reinforced concrete beams strengthened with carbon fiber – reinforced plastic plate. *Transactions of the Japan Concrete Institute*, **18**, 143-150.

Kaiser, H. (1989), *Strengthening of reinforced concrete with CFRP plates*. Ph.D. Thesis, ETH Zürich (in German).

Masoud, S. G. and Soudki, K. A. (2000), Behaviour of corroded reinforced beams strengthened with CFRP sheets under fatigue loading. *Advanced Composite Materials in Bridges and Structures*. Montreal, The Canadian Society for Civil Engineering, Eds. J. Humar and A. G. Razaqpur, 767-774.

Shahawy, M. and Beitelman, T. E. (1998), Fatigue performance of RC beams strengthened with CFRP laminates. *Durability of Fibre Reinforced Polymer (FRP) Composites for Construction*, Eds. B. Benmokrane and H. Rahman, University of Sherbrooke, Canada, 169-178.

Ενίσχυση (καμπτικού τύπου στοιχείων) σε διάτμηση

Οι παρακάτω εργασίες εστιάζονται σε διατμητικές ενισχύσεις. Καλύπτουν θέματα μηχανικής συμπεριφοράς και υπολογισμού της συνεισφοράς των συνθέτων υλικών στην ανάληψη τέμνουσας δύναμης.

Al-Sulaimani, G. J., Sharif, A., Basunbul, I. A., Baluch, M. H., and Ghaleb, B. N. (1994), Shear repair for reinforced concrete by fiberglass plate bonding. *ACI Structural Journal*, **91**(3), July-August, 458-464.

Araki, N., Matsuzaki, Y., Nakano, K., Kataoka, T., and Fukuyama, H. (1997), Shear capacity of retrofitted rc members with continuous fiber sheets. *Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures*, Japan Concrete Institute, 1, 515-522.

Berset, J.-D., (1992), *Strengthening of Reinforced Concrete Beams for Shear using FRP Composites*. MSc thesis, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology.

Chaalal, O., Nollet, M. -J. and Perraton, D. (1998), Shear strengthening of RC beams by externally bonded side CFRP strips. *ASCE Journal of Composites for Construction*, **2**(2), 111-114.

Chajes, M. J., Januska, T. F., Mertz, D. R., Thomson, T. A., and Finch, W. W. (1995), Shear strengthening of reinforced concrete beams using externally applied composite fabrics. *ACI Structural Journal*, **92**(3), May-June, 295-303.

Funakawa, I., Shimono, K., Watanabe, T., Asada, S., and Ushijima, S. (1997), Experimental study on shear strengthening with continuous fiber reinforcement sheet and methyl methacrylate resin. *Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures*, Japan Concrete Institute, 1, 475-482.

Gendron, G., Picard, A. and Guerin, M.-C. (1999), A theoretical study on shear strengthening of reinforced concrete beams using composite plates. *Composite Structures*, **45**, 303-309.

Hagio, H., Katsumata, H. and Kimura, K. (2000), The beam retrofitted by carbon fiber – experiment and designs. *12th Conference in Earthquake Engineering*, 451.

Izumo, K., Asamizu, T., Saeki, N. and Shimura, K. (1997), Shear strengthening of PRC members by fiber sheets, *Transactions of the Japan Concrete Institute*, **19**, 105-112.

Izumo, K., Saeki, N., Horiguchi, T. and Shimura, K. (1998), Study on shear strengthening of RC beams by prestressed fiber sheets. *Transactions of the Japan Concrete Institute*, **20**, 279-286.

Japan Concrete Institute (1998), *Technical Report on Continuous Fiber Reinforced Concrete*. Japan Concrete Institute.

Kamiharako, A., Maruyama, K. and Shimomura, T. (1999), Evaluation systems of shear capacity of reinforced concrete members retrofitted with carbon fiber reinforced polymer sheets in consideration of bond-peeling characteristics. *Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures*. Eds. C. W. Dolan, S. H. Rizkalla and A. Nanni, ACI Report SP-188. Detroit, Michigan, 973-983.

Khalifa, A., Gold, W. J., Nanni, A., and Aziz, A. M. I. (1998), Contribution of externally bonded FRP to shear capacity of rc flexural members. *ASCE Journal of Composites for Construction*, **2**(4), 195-202.

Lees, J. M., Winistoerfer, A. U. and Meier, U. (2000), Behavior of concrete beams confined with prestressed carbon fiber reinforced plastic straps. *Advanced Composite Materials in Bridges and Structures*. Montreal, The Canadian Society for Civil Engineering, Eds. J. Humar and A. G. Razaqpur, 185-192.

Malek, A. M. and Saadatmanesh, H. (1998), Analytical study of reinforced concrete beams strengthened with web-bonded fiber reinforced plastic plates or fabrics. *ACI Structural Journal*, **95**(3), 343-352.

Malek, A. M. and Saadatmanesh, H. (1998), Ultimate shear capacity of reinforced concrete beams strengthened with web-bonded fiber reinforced plastic plates. *ACI Structural Journal*, **95**(4), 391-399.

Miyauchi, K., Inoue, S., Nishibayashi, S., and Tanaka, Y. (1997), Shear behavior of reinforced concrete beam strengthened with CFRP sheet. *Transactions of the Japan Concrete Institute*, **19**, 97-104.

Norris, T., Saadatmanesh, H. and Ehsani, M. R. (1997), Shear and flexural strengthening of R/C beams with carbon fiber sheets. *ASCE Journal of Structural engineering*, **123**(7), 903-911.

Ohuchi, H., Ohno, S., Katsumata, H., Kobatake, Y., Meta, T., Yamagata, K., Inokuma, Y., and Ogata, N. (1994), Seismic strengthening design technique for existing bridge columns with CFRP. *Seismic Design and Retrofitting of Reinforced Concrete Bridges*, Ed. R. Park, 495-514.

Ono, K., Matsumura, M., Sakanishi, S., and Miyata, K. (1997). Strength improvement of rc bridge piers by carbon fiber sheet, *Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures*, Japan Concrete Institute, 1, 563-570.

Priestley, M. J. N. and Seible, F. (1995), Design of seismic retrofit measures for concrete and masonry structures. *Construction and Building Materials*, **9**(6), 365-377.

Sato, Y., Ueda, T., Kakuta, Y., and Tanaka, T. (1996), Shear reinforcing effect of carbon fiber sheet attached to side of reinforced concrete beams. *Advanced Composite Materials in Bridges and Structures*, Ed. M. M. El-Badry, 621-627.

Sato, Y., Ueda, T., Kakuta, Y., and Ono, S. (1997), Ultimate shear capacity of reinforced concrete beams with carbon fiber sheet. *Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures*, Japan Concrete Institute, 1, 499-506.

Taerwe, L., Khalil, H., and Matthys, S. (1997), Behaviour of rc beams strengthened in shear by external CFRP sheets. *Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures*, Japan Concrete Institute, 1, 483-490.

Taljsten, B. (1997), Strengthening of concrete structures for shear with bonded CFRP fabrics. *Recent Advances in Bridge Engineering*, Eds. U. Meier and R. Betti, 67-74.

Triantafillou, T. C. (1998), Shear strengthening of reinforced concrete beams using epoxy-bonded FRP composites. *ACI Structural Journal*, **95**(2), March-April, 107-115.

Triantafillou, T. C. and Antonopoulos, C. P. (2000), Design of concrete flexural members strengthened in shear with FRP. *ASCE Journal of Composites for Construction*, **4**(4), 198-205.

Uji, K., (1992), Improving the shear capacity of existing reinforced concrete members by applying carbon fiber sheets. *Transactions of the Japan Concrete Institute*, **14**, 253-266.

Umezu, K., Fujita, M., Nakai, H., and Tamaki, K. (1997), Shear behavior of rc beams with aramid fiber sheet. *Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures*, Japan Concrete Institute, 1, 491-498.

Ενίσχυση με προεντεταμένα σύνθετα υλικά

Καμπτικού και διατμητικού τύπου ενισχύσεις μέσω προεντεταμένων συνθέτων υλικών καλύπτονται στις ακόλουθες εργασίες. Κύρια έμφαση δίνεται στην αναγνώριση των μηχανισμών αστοχίας και στον υπολογισμό των αντιστοίχων φορτίων.

Deuring, M. (1993), *Verstärken von Stahlbeton mit gespannten Faserverbundwerkstoffen*. EMPA Report No. 224, Dübendorf, (in German).

El-Hacha, R., Green, M. and Wight, G. (2000), Retrofitting of severely damaged concrete beams using prestressed CFRP sheets. *Advanced Composite Materials in Bridges and Structures*. Montreal, The Canadian Society for Civil Engineering, Eds. J. Humar and A. G. Razaqpur, 529-536.

Garden, H. N., Hollaway, L. C. and Thorne, A. M. (1998), The strengthening and deformation behaviour of reinforced concrete beams upgraded using prestressed composite plates. *RILEM Materials and Structures*, **31**, 247-258.

Izumo, K., Saeki, N., Horiguchi, T. and Shimura, K. (1998), Study on shear strengthening of RC beams by prestressed fiber sheets. *Transactions of the Japan Concrete Institute*, **20**, 279-286.

Lees, J. M., Winistoerfer, A. U. and Meier, U. (2000), Behavior of concrete beams confined with prestressed carbon fiber reinforced plastic straps. *Advanced Composite Materials in Bridges and Structures*. Montreal, The Canadian Society for Civil Engineering, Eds. J. Humar and A. G. Razaqpur, 185-192.

Quantrill, R. J. and Hollaway, L. C. (1998), The flexural rehabilitation of reinforced concrete beams by the use of prestressed advanced composite plates. *Composites Science and Technology*, **58**, 1259-1275.

Triantafillou, T. C. and Deskovic, N. (1991), Innovative Prestressing with FRP Sheets: Mechanics of Short-Term Behavior. *Journal of Engineering Mechanics, ASCE*, **117**(7), 1652-1672.

Triantafillou, T. C., Deskovic, N. and Deuring, M. (1992), Strengthening of Concrete Structures with Prestressed FRP Sheets. *ACI Structural Journal*, **89**(3), 235-244.

Wight, R. G., Green, M. F. and Erki, M.-A. (1996), Post-strengthening prestressed concrete beams with prestressed FRP sheets. *Advanced composite materials in bridges and structures*, Ed. M. El-Badry, The Canadian Society for Civil Engineering, 449-456.

Wu, Z., Matsuzaki, T., Yokoyama, K. and Kanda, T. (1999), Retrofitting method for reinforced concrete structures with externally prestressed carbon fiber sheets. *Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures*. Eds. C. W. Dolan, S. H. Rizkalla and A. Nanni, ACI Report SP-188. Detroit, Michigan, 751-765.

Ενίσχυση τοιχωμάτων

Καλύπτονται μόνο οι περιπτώσεις τοιχωμάτων με περυγότοιχους.

Iso, M., Matsuzaki, Y., Sonobe, Y., Nakamura, H. and Watanabe, M. (2000), Experimental study on reinforced concrete columns having wing walls retrofitted with continuous fiber sheets. *12th World Conference on Earthquake Engineering*, New Zealand, 1865-1871.

Lombard, J. C., Lau, D. T., Humar, J. L., Cheung, M. S. and Foo, S. (2000), Seismic repair and strengthening of reinforced concrete shear walls for flexure and shear using carbon fibre sheets. *Advanced Composite Materials in Bridges and Structures*. Montreal, The Canadian Society for Civil Engineering, Eds. J. Humar and A. G. Razaqpur, 645-652.

Masuo K (1999), Seismic retrofitting of reinforced concrete columns with wing walls using carbon fiber reinforced plastic walls. *Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures*. Eds. C. W. Dolan, S. H. Rizkalla and A. Nanni, ACI Report SP-188. Detroit, Michigan, 193-204.

Αναλυτικά προσομοιώματα εγκιβωτισμού σκυροδέματος με σύνθετα υλικά

Fardis, M. N. and Khalili, H. H. (1981), Concrete encased in fiberglass-reinforced plastic. *ACI Journal*, **78**(6), 440-446.

Harmon, T. G., Gould, P. L., Wang, E. and Ramakrishnan, S. (1998), Behavior of confined concrete under cyclic loading. *Second International Conference on Composites in Infrastructure, ICCI '98*, Eds. H. Saadatmanesh and M. R. Ehsani, Tucson, AZ (Vol 1), 398-410.

Hosotani, M., Kawashima, K. and Hoshikuma, J. (1997), A study on confinement effect of concrete cylinders by carbon fiber sheets. *Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures* (Vol 1), Japan Concrete Institute, 209-216.

Karbhari, V. M. and Gao, Y. (1997), Composite jacketed concrete under uniaxial compression – verification of simple design equations. *Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE)*, **9**(4), 185-193.

La Tegola, A. and Manni, O. (1999), Experimental investigation on concrete confined by fiber reinforced polymer and comparison with theoretical model. *Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures*, Eds. C. W. Dolan, S. H. Rizkalla and A. Nanni, ACI Report SP-188. Detroit, Michigan, 243-253.

Miyauchi, K., Nishibayashi, S. and Inoue, S. (1997), Estimation of strengthening effects with carbon fiber sheet for concrete column. *Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures* (Vol 1). Japan Concrete Institute, 217-224.

Priestley, M. J. N. and Seible, F. (1995), Design of seismic retrofit measures for concrete and masonry structures. *Construction and Building Materials*, **9**(6), 365-377.

Saafi, M., Toutanji, H. A. and Li, Z. (1999), Behavior of concrete columns confined with fiber reinforced polymer tubes. *ACI Materials Journal*, **96**(4), 500-509.

Samaan, M., Mirmiran, A. and Shahawy, M. (1998), Model of concrete confined by fiber composites. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, **124**(9), 1025-1031.

Spoelstra, M. R. and Monti, G. (1999), FRP-confined concrete model. *Journal of Composites for Construction (ASCE)*, **3**(3), 143-150.

Xiao, Y. and Wu, H. (2000), Compressive behavior of concrete confined by carbon fiber composite jackets. *Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE)*, **12**(2), 139-146.

Wang, Y. C., Restrepo, J. I. and Park, R. (2000), Retrofit of reinforced concrete members using advanced composite materials. *University of Canterbury Department of Civil Engineering Research Report 2000-3*. New Zealand.

Watanabe, K., Nakamura, H., Honda, Y., Toyoshima, M., Iso, M., Fujimaki, T., Kaneto, M. and Shirai, N. (1997), Confinement effect of FRP sheet on strength and ductility of concrete cylinders under uniaxial compression. *Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures* (Vol 1). Japan Concrete Institute, 233-240.

Βελτίωση της συμπεριφοράς πλαστικών αρθρώσεων (αύξηση πλαστιμότητας)

Feng, M. Q. and Bahng, E. Y. (1999), Damage assessment of jacketed RC columns using vibration tests. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, **125**(3), 265-271.

Fujii, S., Matsuzaki, K., Nakano, K. and Fukuyama, H. (1999), Japanese state of the art on seismic retrofit by fiber wrapping for building structures: Evaluations. *Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures*. Eds. C. W. Dolan, S. H. Rizkalla and A. Nanni, ACI Report SP-188. Detroit, Michigan, 895-906.

Fukuyama, H., Suzuki, H. and Nakamura, H. (1999), Seismic retrofit of reinforced concrete columns by fiber sheet wrapping without removal of finishing mortar and side wall

concrete. *Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures*. Eds. C. W. Dolan, S. H. Rizkalla and A. Nanni, ACI Report SP-188. Detroit, Michigan, 205-216.

Kobatake, Y., Kimura, K. and Katsumata, H. (1993), A retrofitting method for reinforced concrete structures using carbon fiber. *Fiber-Reinforced-Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures: Properties and Applications*, Ed. A. Nanni Elsevier Science Publishers, 435-450.

Masukawa, J., Akiyama, H. and Saito, H. (1997), Retrofit of existing reinforced concrete piers by using carbon fiber sheet and aramid fiber sheet. *Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures* (Vol 1). Japan Concrete Institute, 411-418.

Matsuzaki, Y., Nakano, K., Fujii, S. and Fukuyama, H. (1999), Japanese state of the art on seismic retrofit by fiber wrapping for building structures: Research. *Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures*. Eds. C. W. Dolan, S. H. Rizkalla and A. Nanni, ACI Report SP-188. Detroit, Michigan, 879-893.

Monti, G., Nistico, N. and Santini, S. (2001), Design of FRP jackets for upgrade of circular bridge piers. *Journal of Composites for Construction*, in press.

Mutsuyoshi, H., Ishibashi, T., Okano, M. and Katsuki, F. (1999), New design method for seismic retrofit of bridge columns with continuous fiber sheet – Performance-based design. *Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures*, Eds. C. W. Dolan, S. H. Rizkalla and A. Nanni, ACI Report SP-188. Detroit, Michigan, 229-241.

Priestley, M. J. N. and Seible, F. (1995), Design of seismic retrofit measures for concrete and masonry structures. *Construction and Building Materials*, **9**(6), 365-377.

Saiidi, S., Sanders, D. H., Gordaninejad, F., Martinovic, F. M. and McElhaney, B. A. (2000), Seismic retrofit of non-prismatic RC bridge columns with fibrous composites. *12th World Conference on Earthquake Engineering*, New Zealand. 143-150.

Seible, F., Priestley, M. J. N., Hegemier, G. A. and Innamorato, D. (1997), Seismic retrofit of RC columns with continuous carbon fiber jackets. *Journal of Composites for Construction (ASCE)*, **1**(2), 52-62.

Seible, F., Innamorato, D., Baumgartner, J., Karbhari, V. and Sheng, L. H. (1999), Seismic retrofit of flexural bridge spandrel columns using fiber reinforced polymer composite jackets. *Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures*. Eds. C. W. Dolan, S. H. Rizkalla and A. Nanni, ACI Report SP-188. Detroit, Michigan, 919-931.

Sexsmith, R., Anderson, D. and English, D. (1997), Cyclic behavior of concrete bridge bents. *ACI Structural Journal*, **94**(2), 103-113.

Sheikh, S. A., Iacobucci, R. and Bayrak, O. (2000), Seismic upgrade of concrete columns with fibre reinforced polymers. *Advanced Composite Materials in Bridges and Structures*, Eds. J. Humar and A. G. Razaqpur, Montreal, The Canadian Society for Civil Engineering, 267-274.

Zhang, A., Yamakawa, T., Zhong, P. and Oka, T. (1999), Experimental study on seismic performance of reinforced concrete columns retrofitted with composite materials jackets. *Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures*. Eds. C. W. Dolan, S. H. Rizkalla and A. Nanni, ACI Report SP-188. Detroit, Michigan, 269-278.

Βελτίωση συνάφειας σε περιοχές ενώσεων οπλισμών με επικάλυψη (ματίσματα)

Ma, R. and Xiao, Y. (1997), Seismic retrofit and repair of circular bridge columns with advanced composite materials. *Earthquake Spectra*, **15**(4), 747-764.

Osada, K., Yamaguchi, T. and Ikeda, S. (1999), Seismic performance and the retrofit of hollow circular reinforced concrete piers having reinforcement cut-off planes and variable wall thickness. *Transactions of the Japan Concrete Institute*, **21**, 263-274.

Priestley, M. J. N. and Seible, F. (1995), Design of seismic retrofit measures for concrete and masonry structures. *Construction and Building Materials*, **9**(6), 365-377.

Restrepo, J. I., Wang, Y. C., Irwin, R. W. and DeVino, B. (1998), Fibreglass/epoxy composites for the seismic upgrading of reinforced concrete beams with shear and bar curtailment deficiencies. *Proceedings 8th European Conference on Composite Materials*, Naples, Italy. 59-66.

Saadatmanesh, H., Ehsani, M. R. and Jin, L. (1997), Repair of earthquake-damaged RC columns with FRP wraps. *ACI Structural Journal*, **94**(2), 206-215.

Seible, F., Priestley, M. J. N., Hegemier, G. A. and Innamorato, D. (1997), Seismic retrofit of RC columns with continuous carbon fiber jackets. *Journal of Composites for Construction (ASCE)*, **1**(2), 52-62.

Ενίσχυση κόμβων οπλισμένου σκυροδέματος

Antonopoulos, C. P. and Triantafillou, T. C. (2003), Experimental investigation of FRP-strengthened RC beam-column joints. *ASCE Journal of Composites for Construction*, **7**(1), 39-49.

Antonopoulos, C. P. and Triantafillou, T. C. (2002), Analysis of FRP-strengthened RC beam-column joints. *ASCE Journal of Composites for Construction*, **6**(1), 41-51.

Castellani, A., Negro, P., Colombo, A., Grandi, A., Ghisalberti, G. and Castellani, M. (1999), Carbon fiber reinforced polymers (CFRP) for strengthening and repairing under seismic actions. Special Publication No. I.99.41, European Laboratory for Structural Assessment, Joint Research Centre, Ispra, Italy.

Gergely, J., Pantelides, C. P., Nuismer, R. J. and Reaveley, L. D. (1998), Bridge pier retrofit using fiber-reinforced plastic composites. *ASCE Journal of Composites for Construction*, **2**(4), 165-174.

Gergely, J., Pantelides, C. P. and Reaveley, L. D. (2000), Shear strengthening of RC T-Joints using CFRP composites, *ASCE Journal of Composites for Construction*, **4**(2), 56-64.

Mosallam, A. (1999), Seismic repair and upgrade of structural capacity of reinforced concrete connections: another opportunity for polymer composites. *Proceedings of International Composites Expo '99, Cincinnati*, Session 4-E, 1-8.

Ενίσχυση στοιχείων σκυροδέματος με διαβρωμένους οπλισμούς

Blaschko, M. and Zilch, K. (1997), Rehabilitation of corrosion damaged columns with CFRP. *Proceedings of 8th European Conference on Composite Materials*, Naples, 371-375.

Bonacci, J. F. and Maalej (2000), Externally bonded fiber-reinforced polymer for rehabilitation of corrosion damaged concrete beams. *ACI Structural Journal*, **97**(5), 703-711.

Bousias, S. N., Triantafillou, T. C., Fardis, M. N., Spathis, L. and O'Regan, B. (2003), FRP Retrofitting of Rectangular RC Columns with or without Corrosion. *ACI Structural Journal*, υπεβλήθη.

Lee, C., Bonacci, J. F., Thomas, M. D. A., Maalej, M., Khajehpour, S., Hearn, N., Pantazopoulou, S. and Sheikh, S. (2000). *Canadian Journal of Civil Engineering*, **27**, 941-948.

Masoud, S. G. and K. A. Soudki, Behaviour of corroded reinforced beams strengthened with CFRP sheets under fatigue loading. *Advanced Composite Materials in Bridges and*

Structures. Montreal, The Canadian Society for Civil Engineering, Eds. J. Humar and A. G. Razaqpur, 767-774.

Sherwood, E. G. and Soudki, K. A. (1999), Confinement of corrosion cracking in reinforced concrete beams using carbon fiber reinforced polymer laminates. *Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures*. Eds. C. W. Dolan, S. H. Rizkalla and A. Nanni, ACI Report SP-188. Detroit, Michigan, 591-603.

Ανθεκτικότητα ενισχύσεων με σύνθετα υλικά

Alsayed, S. H., Almusallam, T. H., Al-Salloum, Y. A. and Ahmed, M. Z. (2000), Durability of concrete beams strengthened with GFRP sheets under hot-dry and wet-dry environmental conditions. *Advanced Composite Materials in Bridges and Structures*. Montreal, The Canadian Society for Civil Engineering, Eds. J. Humar and A. G. Razaqpur, 687-694.

Beaudoin, Y., Labossiere, P. and Neale, K. W. (1998), Wet-dry action on the bond between composite materials and reinforced concrete beams. *Durability of Fibre Reinforced Polymer (FRP) Composites for Construction*, Eds. B. Benmokrane and H. Rahman, University of Sherbrooke, Canada, 537-546.

Callery, K., Green, M. F. and Archibald, J. F. (2000), Environmental effects on the behaviour of wrapped concrete cylinders. *Advanced Composite Materials in Bridges and Structures*. Montreal, The Canadian Society for Civil Engineering, Eds. J. Humar and A. G. Razaqpur, 759-766.

Chajes, M. J., Thomson, T. A. and Farschman, C. A. (1995), Durability of concrete beams externally reinforced with composite fabrics. *Construction and Building Materials*, **9**(3), 141-148.

Chong, K. P. (1998), Durability of composite materials and structures. *Durability of Fibre Reinforced Polymer (FRP) Composites for Construction*, Eds. B. Benmokrane and H. Rahman, University of Sherbrooke, Canada, 1-12.

Collins, P. and Pemica, G. (2000), Effect of accelerated exposures on wrap-concrete bond. *Advanced Composite Materials in Bridges and Structures*. Montreal, The Canadian Society for Civil Engineering, Eds. J. Humar and A. G. Razaqpur, 479-486.

Hamilton, H. R. and Dolan, C. W. (2000), Durability of FRP reinforcements for concrete. *Progress in Structural Engineering and Materials*, **2**, 139-145.

Homam, S. M., Sheikh, S. A., Collins, P., Pernica, G. and Daoud, J. (2000), Durability of fibre reinforced polymers used in concrete structures. *Advanced Composite Materials in Bridges and Structures*. Montreal, The Canadian Society for Civil Engineering, Eds. J. Humar and A. G. Razaqpur, 751-758.

Karbhari, V. M., Rivera, J. and Dutta, P. K. (2000), Effect of short-term freeze-thaw cycling on composite confined concrete. *ASCE Journal of Composites for Construction*, **4**(4), 191-197.

Liao, K., Altkorn, R. I., Milkovich, S. M. et al. (1997), Long-term durability of glass-fiber reinforced composites in infrastructure applications. *Journal of Advanced Materials*, **28**(3), 54-63.

Mar Lopez, M., Naaman, A. E. and Till, R. D. (1999), Bending behavior of reinforced concrete beams strengthened with carbon fiber reinforced polymer laminates and subjected to freeze-thaw cycles. *Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures*. Eds. C. W. Dolan, S. H. Rizkalla and A. Nanni, ACI Report SP-188. Detroit, Michigan, 559-575.

Sen, R., Shahawy, M., Mullins, G. and Spain, J. (1999), Durability of carbon fiber-reinforced polymer/epoxy/concrete bond in marine environment. *ACI Structural Journal*, **96**(6), 906-914.

Soudki, K. A. and Green, M. F. (1997), Freeze-thaw response of CFRP wrapped concrete. *Concrete International*, **19**(8), 64-67.

Toutanji, H. and Balaguru, P. (1998), Durability characteristics of concrete columns wrapped with FRP tow sheets. *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, **10**, 52-57.

Toutanji, H. and Gomez, W. (1997), Durability characteristics of concrete beams externally bonded with FRP composite beams. *Cement and Concrete Composites*, **19**, 351-358.

Tysl, S. R., Imbrogno, M. and Miller, B. (1998), Effect of surface delamination on the freeze/thaw durability of CFRP-reinforced concrete beams. *Durability of Fibre Reinforced Polymer (FRP) Composites for Construction CDCC '98*, Sherbrooke, Canada, 317-324.

Yagi, K., Tanaka, T., Sakai, H. and Otaguro, H. (1997), Durability of carbon fiber sheet for repair and retrofitting. *Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures* (Vol 2). Japan Concrete Institute, 259-266.

Συμπεριφορά ενισχυμένων στοιχείων σε υψηλές θερμοκρασίες

Apicella, F. and Imbrogno, M. (1999), Fire performance of CFRP-composites used for repairing and strengthening concrete. *Proceedings of 5th ASCE Materials Congress*, Cincinnati, Ohio, 260-266.

Blontrock, H., Taerwe, L. and Matthys, S. (1999), Properties of fiber reinforced plastics at elevated temperatures with regard to fire resistance of reinforced concrete members. *Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures*. Eds. C. W. Dolan, S. H. Rizkalla and A. Nanni, ACI Report SP-188. Detroit, Michigan, 43-54.

Κανονισμοί και οδηγίες διαστασιολόγησης ενισχύσεων με σύνθετα υλικά

ACI 440 (2001), *Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures*. American Concrete Institute, Final draft.

CSA (2000), *CSA-S806-00 – Design and construction of building components with fiber reinforced polymers*. Canadian Standards Association, first edition.

fib (2001), *Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures*. Technical Report of Working Party EBR of fib Task Group 9.3, in press.

ICBO (1997), *Acceptance criteria for concrete and reinforced and unreinforced masonry strengthening using fiber-reinforced, composite systems*. AC125, International Conference of Building Officials, California.

NIST (1999), *Standards development for the use of fiber reinforced polymers for the rehabilitation of concrete and masonry structures*. Proceedings of NIST Workshop, Ed. D. Duthinh, Tucson, Arizona.

The Concrete Society (2000), *Design Guidance for Strengthening Concrete Structures using Fibre Composite Materials*.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΕΙΣ “POWERPOINT”

ΓΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΑ ΣΕΜΙΝΑΡΙΑ - ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ