

ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΑ ΕΛΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (FRP) ΓΙΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ ΕΛΛΗ-ANNA

Περίληψη

Η εισαγωγή σύνθετων υλικών και συγκεκριμένα ινοπλισμένων πολυμερών (Fibre Reinforced Polymers-FRP) στο πεδίο των κατασκευών είναι δεδομένη, κυρίως όσο αφορά στην επισκευή και ενίσχυσή αυτών. Αποτελεσματική τεχνική είναι αυτή κατά την οποία εφαρμόζονται ελάσματα από ινοπλισμένα πολυμερή στην επιφάνεια του πάσχοντος δομικού στοιχείου. Τα ελάσματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν πιο αποδοτικά προεντείνοντας τις ίνες τους και αυτή η τεχνική είναι το αντικείμενο μελέτης αυτής της εργασίας. Θα παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά των προεντεταμένων ελασμάτων από ινοπλισμένα πολυμερή, οι τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί και οι πρακτικές εφαρμογές τους.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση προεντεταμένων ελασμάτων από ινοπλισμένα πολυμερή είναι μια ειδική εφαρμογή που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα ενός παθητικού κατασκευαστικού συστήματος από ελάσματα FRP με τα πλεονεκτήματα της γενικής εξωτερικής προέντασης.

Τα προεντεταμένα ελάσματα από FRP χαρακτηρίζονται, όπως και τα μη προεντεταμένα, από πολύ χαμηλό βάρος (1/4 περίπου του χάλυβα), υλικά που δε διαβρώνονται, υψηλή εφελκυστική αντοχή και ευκολία και ταχύτητα εφαρμογής. Ασκώντας προένταση στο έλασμα, το υλικό χρησιμοποιείται πιο αποτελεσματικά, αφού ένα μεγαλύτερο ποσοστό της εφελκυστικής του αντοχής είναι διαθέσιμο.

Αρκετά συστήματα έχουν αναπτυχθεί έτσι ώστε να προεντείνουν τα ελάσματα για βελτίωση της ευκαμψίας και άλλα για διαμητική ενίσχυση και περίσφιξη. Αυτές οι τεχνικές προέντασης είναι το αντικείμενο αυτής της εργασίας.

2. ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΑ ΕΛΑΣΜΑΤΑ

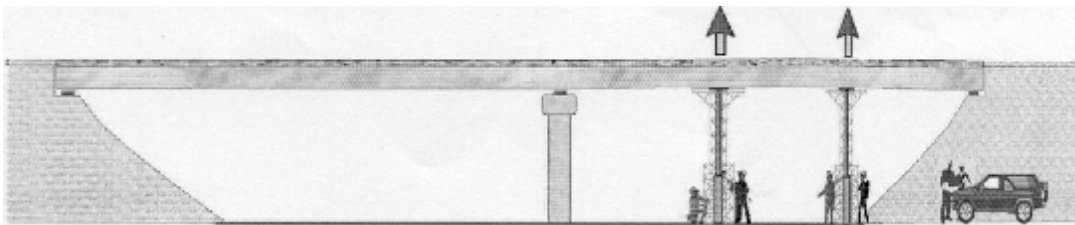
Η προένταση ενός συστήματος με εξωτερικά συνδεδεμένα ελάσματα FRP έχει ως πλεονεκτήματα άμση ανθεκτικότητα και βελτίωση της λειτουργικότητας και της φέρουσας ικανότητας. Τα προεντεταμένα ελάσματα, όταν εφαρμόζονται στην επιφάνεια μιας δοκού από σκυρόδεμα μπορούν να βελτιώσουν τη λειτουργικότητά της και να παρέχουν άριστο έλεγχο στις ρωγμές, κλείνοντας τελείως τις ήδη υπάρχουσες και καθυστερώντας την εμφάνιση νέων. Αυτό βοηθάει στη διατήρηση της ανθεκτικότητας της κατασκευής, αφού οι ρωγμές παρέχουν πρόσθετη πρόσβαση στην υγρασία στο εσωτερικό του σκυροδέματος.

Αρκετά συστήματα έχουν αναπτυχθεί για να προκαλέσουν προένταση στα ελάσματα. Αυτά τα συστήματα συγκαταλέγονται βασικά σε τρεις κατηγορίες που εμπεριέχουν συστήματα κυρτωμένων δοκών, συστήματα προέντασης ελασμάτων σε μία ανεξάρτητη δοκό και συστήματα κατά τα οποία το έλασμα προεντείνεται πάνω στη δοκό προς ενίσχυση. Επίσης, έχει αναπτυχθεί σύστημα για διατμητική ενίσχυση και περίσφιξη του σκυροδέματος καθώς έχει διαχωριστεί η μέθοδος προέντασης ελασμάτων για ενίσχυση υποστρωμάτων.

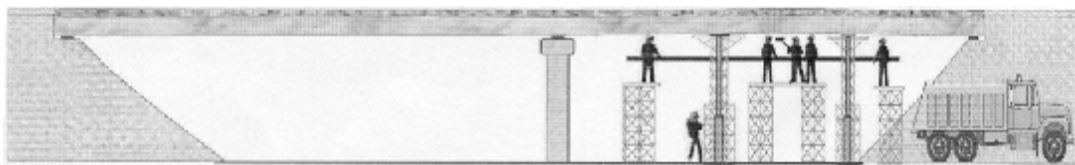
Τα ελάσματα που έχουν προενταθεί παρουσιάζουν μεγάλες τάσεις στα σημεία τερματισμού τους. Αυτές οι τάσεις είναι αρκετές για να προκαλέσουν αποκόλληση και για αυτό το λόγο πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην αγκύρωση των ελασμάτων.

2.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΥΡΤΩΜΕΝΩΝ ΔΟΚΩΝ

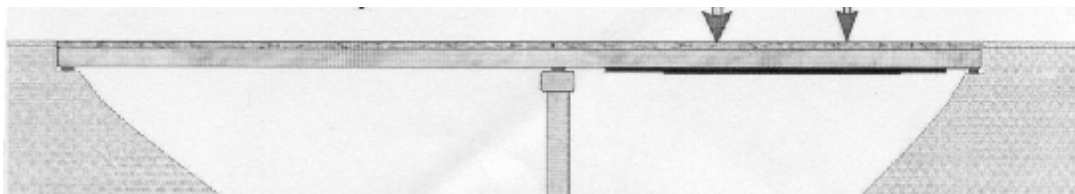
Στις κυρτωμένες δοκούς, τα ελάσματα από ινοπλισμένα πολυμερή προεντείνονται εμμέσως, ως εξής: η δοκός κυρτώνεται με φορά τόξου προς τα πάνω με τη βοήθεια υδραυλικών ανυψωτήρων στο μέσο του ανοίγματος, όπου και τοποθετείται ινοπλισμένο πολυμερές από γυαλί με εποξειδική ρητίνη. Η δοκός παραμένει σε αυτή τη θέση και το έλασμα στην κατώτερη εφελκυσόμενη επιφάνεια της δοκού κάμπτεται. Οι ανυψωτήρες αφαιρούνται όταν η εποξειδική ρητίνη, έχει ανακτήσει τελείως την αντοχή της.



α. Εφαρμογή κατακόρυφης δύναμης προς τα πάνω, χρησιμοποιώντας υδραυλικούς ανυψωτήρες[1]



β. Τοποθέτηση των FRP ελασμάτων.[1]



γ. Αποδέσμευση και απομάκρυνση των ανυψωτήρων.[1]

Μόνο ένα χαμηλό ποσοστό της προέντασης έχει επιδράσει στα ελάσματα κατά την αφαίρεση των ανυψωτήρων. Αυτή η μέθοδος αξιοποιεί πολύ ανεπαρκώς το υλικό και μπορεί να καταστρέψει και να υπερφορτίσει την ενισχυμένη δοκό. Στο πεδίο εφαρμογής, η προσπάθεια που πρέπει να καταβληθεί για την καμπύλωση της γέφυρας στο μέσο του ανοίγματος είναι αρκετά μεγάλη, σε σχέση με την μικρή δύναμη προέντασης που προκαλείται στο έλασμα.

2.2 ΠΡΟΕΝΤΕΙΝΟΝΤΑΣ ΣΕ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.

Μια δεύτερη τεχνική για να προκληθεί προένταση σε ένα έλασμα από ινοπλισμένο πολυμερές, είναι να γίνει ανεξάρτητα από την κατασκευή. Οι άκρες των ελασμάτων συνδέονται με μεταλλικές λάμες και εντείνονται υπό εξωτερική δράση ενός μεταλλικού πλαισίου-εγκυστήρα σε τράπεζα προέντασης, ανεξάρτητα από τη δοκό προς ενίσχυση. Όταν τα ελάσματα ενταθούν, η κατώτερη επιφάνεια της δοκού προς ενίσχυση και η ανώτερη του ελάσματος έρχονται σε επαφή και ενώνονται μεταξύ τους με εποξειδική συγκολλητική ουσία. Μετά από την πάροδο του χρόνου ωρίμανσης του συγκολλητικού υλικού, το προεντεταμένο σύστημα αποδεσμεύεται, η προένταση μεταφέρεται στη δοκό σκυροδέματος και τα άκρα των ελασμάτων αφαιρούνται.

Το παραπάνω σύστημα έχει χρησιμοποιηθεί για δοκούς μικρής κλίμακας (μήκους 0,6 m) από σκυρόδεμα, όπου η αρχική προένταση δεν ήταν σταθερή. Η μέγιστη επιτευχθήσα προένταση μετά την αποδέσμευση του συστήματος και πριν την αστοχία αποκοπής του προεντεταμένου ελάσματος εμφανίζεται να κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 280 και 360 MPa, αντιπροσωπεύοντας το 20-27% της εφελκυστικής αντοχής του ελάσματος.

Ο Deuring χρησιμοποίησε ένα παρόμοιο σύστημα για να προεντείνει ελάσματα από CFRP και διεξήγαγε πειράματα σε πλακοδοκούς μήκους 6 m., ενισχυμένες με ελάσματα πάχους 1 mm. Τα ελάσματα αυτά προεντάθηκαν στα 1000 MPa, αντιπροσωπεύοντας το 50% της αντοχής τους. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν αύξηση 32% στην ευκαμψία των ενισχυμένων δοκών, σε σχέση με τις μη ενισχυμένες. Επίσης, έγινε τεστ κοπώσεως με προένταση των ελασμάτων στο 50% της αντοχής τους. Έγιναν τριάντα εκατομμύρια κύκλοι χωρίς να εμφανιστεί φθορά στο σκυρόδεμα ή στα ελάσματα. Πειράματα έγιναν και σε οπλισμένες δοκούς ορθογωνικής διατομής, ανοίγματος 2.4 m, ενισχυμένες με ελάσματα προεντεταμένα από 50% (765 MPa) ως 75% (1148 MPa) της εφελκυστικής αντοχής τους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, αυξάνοντας το μέγεθος της προέντασης των ελασμάτων από 50% σε 75%, μειώθηκε η αντοχή της δοκού, γιατί τα προεντεταμένα ελάσματα είχαν πολύ μικρή υπολείπουσα ικανότητα κόπωσης. Επίσης, τα ελάσματα διαρρήχθηκαν πρόωρα.

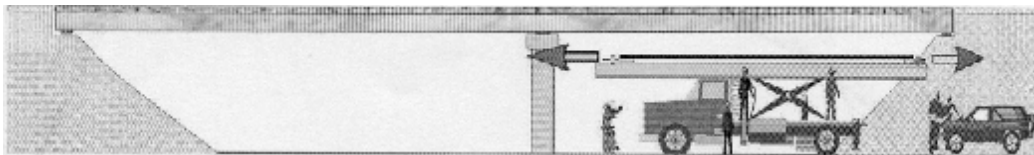
Οι Quantrill & Hollaway ενίσχυσαν δοκούς ανοίγματος μέχρι και 2,3 m και εφάρμοσαν προένταση της τάξης του 46% της ολικής αντοχής των ελασμάτων, παρόλο που το 30% της προέντασης χάθηκε κατά τη μεταφορά.

Ο Wu ερεύνησε τρία συστήματα αγκύρωσης, συμπεριλαμβάνοντας εγκάρσια ελάσματα από CFRP και βλήτρα, ώστε να αποφευχθεί αστοχία αποκόλλησης κοντά στα άκρα κατά την αποδέσμευση της δύναμης προέντασης σε οπλισμένες δοκούς από σκυρόδεμα, ανοίγματος 2.1 m. Το μέγεθος προέντασης ήταν της τάξης του 25% της εφελκυστικής αντοχής του ελάσματος. Αποτελέσματα έδειξαν ότι υπήρξε αύξηση της τάξης 25% στη μέγιστη φόρτιση και περίπου 100% στο φορτίο ρηγμάτωσης. Υψηλότερα μεγέθη φορτίων παρατηρήθηκαν με επέκταση της περιοχής αγκύρωσης και με αύξηση του αριθμού των βλήτρων.

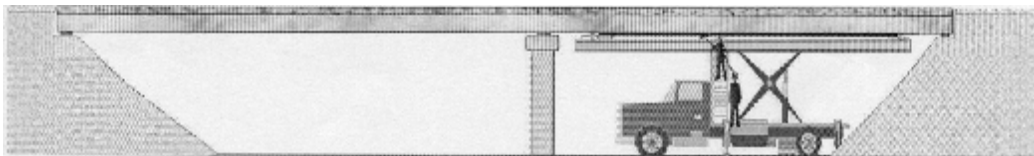
Ο Huang χρησιμοποίησε ελάσματα από οπλισμένα πολυμερή με ίνες γυαλιού (GFRP) για να μειώσει την πιθανότητα της αστοχίας από αποκόλληση κατά την αποδέσμευση του φορτίου και για να μεταφέρει την προένταση στο σκυρόδεμα.

Μια νέα μέθοδος για προένταση ελασμάτων CFRP υποδείχθηκε από τον Meier. Το έλασμα προεντείνεται σε μια εξωτερική δοκό, τοποθετείται εποξειδική ρητίνη και το προεντεταμένο FRP έρχεται σε επαφή με τη δοκό από σκυρόδεμα που πρόκειται να ενισχυθεί. Στο μέσο του ανοίγματος, θερμαινόμενα στοιχεία χρησιμοποιούνται για να προκαλέσουν την ωρίμανση της αντοχής της συγκολλητικής ουσίας στην κεντρική περιοχή του προεντεταμένου ελάσματος. Τα θερμαινόμενα στοιχεία μετακινούνται προς τα άκρα του ελάσματος και το μέγεθος της προέντασης στο έλασμα ελαττώνεται. Για ακόμη μια φορά, το FRP έποξυ ωριμάζει και το FRP είναι πλήρως συγκολλημένο για ένα μικρού μήκους τμήμα του ελάσματος. Αυτό επαναλαμβάνεται σε αρκετά στάδια μέχρι να συγκολληθεί ολόκληρο το FRP και το μέγεθος της προέντασης στα άκρα του ελάσματος μειώνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

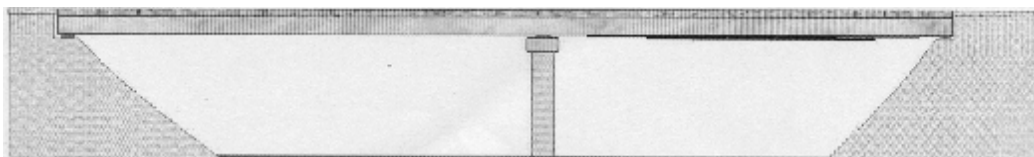
Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, μπορεί να σχεδιαστεί το προφίλ της προέντασης στη συγκεκριμένη ράβδο. Το μέγιστο της προέντασης θα βρίσκεται στο μέσο του ελάσματος και προς τα άκρα θα ελαττώνεται. Τα διατμητικά εντατικά μεγέθη στην επικάλυψη του σκυροδέματος στα άκρα του ελάσματος παρουσιάζουν μείωση και δεν απαιτείται αγκύρωση στα άκρα του προεντεταμένου ελάσματος.



α. Σύνδεση του FRP ελάσματος με αγκύρια. Προένταση του FRP ελάσματος σε τράπεζα[1]
προέντασης.



β. Τοποθέτηση του FRP ελάσματος. Τοποθέτηση συγκολλητικής εποξειδικής ουσίας.[1]



γ. Αφαίρεση αγκυρίων και μεταφορά της προέντασης στη δοκό.[1]

2.3 ΠΡΟΕΝΤΕΙΝΟΝΤΑΣ ΠΑΝΩ ΣΤΗ ΔΟΚΟ ΠΡΟΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗ

Γενικά, στη μέθοδο αυτή, το κατασκευαστικό σύστημα αποτελείται από ελάσματα FRP που συνδέονται με αγκύρωση στα άκρα. Ξεχωριστά αγκύρια προσαρμίζονται κατά μήκος της δοκού. Τα ελάσματα εντείνονται άμεσα, με εφελκυσμό των αγκυρίων τους, τα οποία αντιδρούν με τις εξωτερικές αγκυρώσεις πάνω στην ενισχυμένη δοκό.

Ο Izimo ερευνήσε τη συμπεριφορά δοκών διατομής T, ανοίγματος 3 m, ενισχυμένων με προεντεταμένα φύλλα από οπλισμένα πολυμερή, με ίνες άνθρακα. Με αυτά τα ελάσματα, επιτεύχθηκαν επίπεδα προέντασης που αντιπροσωπεύουν το 23% της εφελκυστικής αντοχής. Η ευκαμψία των δοκών, ενισχυμένων με προεντεταμένα ελάσματα από ινοπλισμένα πολυμερή αυξήθηκε κατά 11%, σε σχέση με τη μη ενισχυμένη δοκό. Οι δοκοί αυτές αστόχησαν με διατμητική αποκόλληση.

Ο Wight ανέπτυξε ένα τέτοιο σύστημα σε οπλισμένες και προεντεταμένες δοκούς από σκυρόδεμα, ανοίγματος 5m. Τα CFRP ελάσματα αρχικά προεντάθηκαν σε τάσεις μεγέθους μεταξύ 500 και 600 MPa. Ενεργός προένταση μεγέθους 250 MPa, που αντιπροσωπεύει το 20% της εγγυημένης αντοχής, ήταν εμφανής στα ελάσματα κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Το σύστημα αποτελούνταν από κυκλικού σχήματος ράβδους, που αγκυρώνονταν στα ελάσματα και τα οποία συνδέονταν με τα βλήτρα που υπήρχαν στα άκρα της δοκού. Η λειτουργικότητα των δοκών βελτιώθηκε και παρατηρήθηκε μικρή αύξηση στην αντοχή των μη προεντεταμένων ελασμάτων.

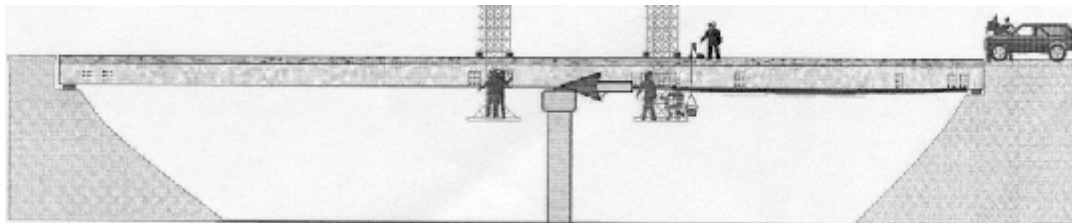
Ο El-Handa, βασιζόμενος στην παραπάνω μέθοδο, εφήρμοσε ένα βελτιωμένο σύστημα αγκύρωσης και προέντασης σε δοκούς από σκυρόδεμα που είχαν υποστεί βλάβη και πρόιμη μορφή ρηγμάτωσης. Το σύστημα αγκύρωσης σχεδιάστηκε, χρησιμοποιώντας επίπεδα φύλλα για την προένταση των CFRP ελασμάτων. Τα ελάσματα αυτά αρχικά προεντάθηκαν σε τάση 650 MPa, αντιπροσωπεύοντας το 50% της συνολικής εφελκυστικής τους αντοχής.

Επίσης, εξετάστηκε η επίδραση της μακρόχρονης και βραχύχρονης έκθεσης των ελασμάτων σε θερμοκρασία δωματίου και σε χαμηλή θερμοκρασία (-28°C). Κατά τη διάρκεια του πειράματος, το επίπεδο της ενεργού προέντασης εκτιμήθηκε περίπου στο 30% της ολικής αντοχής των ελασμάτων. Οι απώλειες προέντασης οφειλόμενες στην επίδραση της θερμοκρασίας ήταν αμελητέες (παρατηρήθηκε 4% διακύμανση στο επίπεδο της προέντασης λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των βραχύχρονων πειραμάτων, εμφανίστηκε αύξηση της αντοχής των ενισχυμένων δοκών κατά 17% με έκθεση σε θερμοκρασία δωματίου και κατά 32% σε χαμηλή θερμοκρασία, ενώ τα αποτελέσματα των μακρόχρονων πειραμάτων έδειξαν αύξηση κατά 16 και 30%, αντίστοιχα.

Αντιθέτως, η ευκαμψία των ενισχυμένων δοκών δεν επηρεάστηκε από τη μείωση της θερμοκρασίας και δεν παρατηρήθηκε καμία βλάβη στη σύνδεση μεταξύ σκυροδέματος και ελασμάτων.

Τα αποτελέσματα αυτά υποδεικνύουν ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν προεντεταμένα CFRP ελάσματα για αύξηση της αντοχής προεντεταμένων δοκών από σκυρόδεμα που έχουν υποστεί βλάβη κάτω από ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Οι Wight & Erki ερεύνησαν την επίδραση της προφόρτισης σε πλάκες από σκυρόδεμα με οπλισμό μιας διεύθυνσης και σε πλάκες που έχουν υποστεί βλάβη από κρούση. Τα ελάσματα προεντάθηκαν στο 50% της ολικής εφελκυστικής τους αντοχής με σύστημα αγκύρωσης ανάλογο αυτού που αναπτύχθηκε για δοκούς από τον EI-Hacha. Οι πλάκες, ενισχυμένες με προεντεταμένα CFRP ελάσματα, παρουσίασαν μεγαλύτερη φέρουσα από αυτές με τα μη προεντεταμένα.



α. Τοποθέτηση αγκύρωσης.[1]

β. Τοποθέτηση FRP ελασμάτων.[1]

2.4 ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ

Ο Lees εφήρμοσε εξωτερικώς προεντεταμένες CFRP λωρίδες για να ενισχύσει τη διατμητική αντοχή των οπλισμένων δοκών από σκυρόδεμα. Η τεχνική αυτή αποδείχθηκε αποδοτική στη διατμητική ενίσχυση δοκών και είχε ως αποτέλεσμα τη μετάβαση από ψαθυρή αστοχία σε όλκιμη. Η ενεργός περίσφιξη του σκυροδέματος καθυστέρησε την εμφάνιση ρωγμών λόγω διάτμησης, ενίσχυσε την ανθεκτικότητα με τη συμπλοκή των αδρανών και βελτίωσε τη θλιπτική αντοχή το σκυροδέματος.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΕΔΙΟΥ

Τα πειράματα που εξετάστηκαν παραπάνω, πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο, κυρίως σε σχετικά μικρής κλίμακας δοκούς.

Η πρώτη πρακτική εφαρμογή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος ROBUST (strengthening of bridges using polymeric composite materials) σε δύο βλαμμένες δοκούς, ανοίγματος 18m, από μία κατασκευή γέφυρας σε κακή κατάσταση. Οι δοκοί ενισχύθηκαν με ελάσματα CFRP, που προεντάθηκαν με ελκυστήρα πάνω στην ίδια τη δοκό στο 30% της ολικής αντοχής τους. Η αντοχή της ενισχυμένης δοκού προέκυψε 60% υψηλότερη από αυτή της μη ενισχυμένης δοκού.

Ο Darby απέδειξε ότι δύο προεντεταμένα ελάσματα CFRP αυξάνουν τη φέρουσα ικανότητα κατά 46% συγκριτικά με μία αύξηση 24% που προκαλούν τρία όμοια μη προεντεταμένα CFRP ελάσματα.

Ο Adra χρησιμοποίησε ένα σύστημα από προεντεταμένες λωρίδες CFRP. Η πρώτη πρακτική εφαρμογή αυτού του συστήματος έλαβε μέρος με επιτυχία τον Οκτώβριο του 1998, στη βόρεια Γερμανία για την αποκατάσταση της Lauter Bridge στο Gomadingen. Το σύστημα αυτό παρείχε μία μέγιστη προένταση της τάξης των 1000 MPa για καταπόνηση 0.6% για κάθε έλασμα και επέτρεψε άμεση αγκύρωση στην επιφάνεια του προς ενίσχυση μέλους.

Άλλη μία εφαρμογή ήταν αυτή της ενίσχυσης της Hythe Bridge της Οξφόρδης, μιας μεταλλικής κατασκευής από χυτοσίδηρο, με δύο ανοίγματα 7.8 m το καθένα. Η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής αυξήθηκε από 7.5t σε 40 t. Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα ελάσματα CFRP ανά δοκό, τα οποία προεντάθηκαν στους 18 t. Αυτή ήταν η πρώτη μεταλλική κατασκευή στον κόσμο όπου χρησιμοποιήθηκαν προεντεταμένα ελάσματα CFRP.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

Ο εξοπλισμός που απαιτεί η μέθοδος των κυρτωμένων δοκών είναι οι σχετικά μεγάλοι υδραυλικοί ανυψωτήρες. Τα εργατικά είναι περιορισμένα, αλλά απαιτείται ειδική τεχνογνωσία για αποτελεσματική εφαρμογή. Επίσης, μπορεί να εφαρμοστεί σε δοκό οποιουδήποτε μήκους. Η προένταση η οποία επιτυγχάνεται είναι σχετικά χαμηλή και η αγκύρωση δεν είναι απαραίτητη.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου προέντασης πάνω στη δοκό προς ενίσχυση είναι ότι απαιτείται μόνο ελαφρύς εξοπλισμός (συγκεκριμένα, απαιτείται μέσο για μεταφορά της τράπεζας προέντασης) και μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλές περιπτώσεις, ακόμα και στην περίπτωση που η πρόσβαση στην τοποθεσία της κατασκευής είναι δύσκολη. Η ευελιξία της μεθόδου αυτής εξαρτάται από την εκάστοτε κατασκευή. Η προένταση που επιτυγχάνεται είναι υψηλή, το προφίλ της μπορεί να υπολογιστεί και εξαρτάται από την αγκύρωση.

Τα πλεονεκτήματα της προέντασης πάνω σε εξωτερική δοκό είναι ότι η αγκύρωση δεν τοποθετείται πάνω στην κύρια δοκό, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση στα εργατικά έξοδα. Η εξοικονόμηση αυτή μειώνεται, εάν εφαρμοστεί εγκάρσια ένταση για περίσφιξη του σκυροδέματος εκεί που τερματίζουν τα ελάσματα. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι σχετικά ελαφρύς και η πρόσβαση στο σημείο εργασίας μπορεί να γίνει και μέσω του φορέα της ίδιας της γέφυρας. Η επίτευξη υψηλής προέντασης είναι και σε αυτή τη μέθοδο εφικτή, με πολύ σημαντικό παράγοντα την αγκύρωση.

Τέλος, από άποψη κόστους, όλες οι παραπάνω μέθοδοι απαιτούν περισσότερα εργατικά από αυτές της εφαρμογής μη προεντεταμένων ελασμάτων και επομένως, τα πλεονεκτήματα που σχετίζονται με την προένταση πρέπει να εξισορροπούν τα επιπλέον έξοδα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1. Prestressed fibre-reinforced polymer laminates for strengthening structures.** R. El Hacha, R. G. Wight and M. F. Green.
- 2. Durability of FRP reinforcements for concrete.** HR Hamilton and CW Dolan.
- 3. FRPs for structural rehabilitation: a survey of recent progress.** KW Neale.
- 4. Προηγμένες τεχνολογίες υλικών και κατασκευών.** Θ.Χ. Τριανταφύλλου.