

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΩΝ ΙΝΩΝ SFRP ΖΩΓΡΑΦΟΥ ΕΥΤΥΧΙΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια παρουσίασης της μεθόδου των εκτοξευόμενων ινών SFRP(sprayed fiber reinforced polymers) για την ενίσχυση στοιχείων. Η μέθοδος βασίζεται στον ταυτόχρονο ψεκασμό ινών (άνθρακα ,γυαλιού ,αραμιδίου) και ρητίνης από ειδικό εκτοξευτήρα , με σκοπό την δημιουργία μανδύα με τις ίνες τοποθετημένες σε τυχαία διάταξη. Πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι ‘λειτουργεί’ καλύτερα σε τραχιά επιφάνεια, κοστίζει λιγότερο από την εφαρμογή των υφασμάτων (συμπεριλαμβανομένων των απωλειών λόγω overspray και ανακλώμενου υλικού) και δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε διάτμηση. Βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο και στην πράξη έχει εφαρμοστεί μόνο στη γέφυρα ‘Safe Bridge’ στο Vancouver.

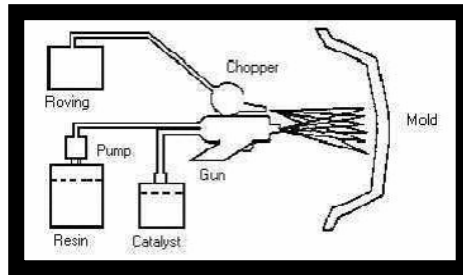
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τη πάροδο του χρόνου και εξαιτίας της δράσης του σεισμού αλλά και άλλων τυχαίων περιστατικών όλο και περισσότερες κατασκευές έχουν ανάγκη επισκευής. Μέχρι το 1960 περίπου , η πιο διαδεδομένη μέθοδος ήταν η χρήση των χαλύβδινων επικολητών ελασμάτων . Πρόκειται για λεπτά μεταλλικά ελάσματα που επικολώνται στην εξωτερική επιφάνεια των στοιχείων με την χρήση ειδικής κόλλας , βλήτρων και καρφιών (για αγκύρωση)και ενισχύουν το μέλος είτε σε κάμψη , είτε σε διάτμηση ή ακόμα και σε περίσφιξη ανάλογα την μορφή τους. Παρά τα πλεονεκτήματα της μεθόδου (χαμηλό κόστος και σχετική ευκολία εφαρμογής) τα επικολητά ελάσματα εμφανίζουν κάποια βασικά μειονεκτήματα όπως η γρήγορη διάβρωση του χάλυβα και η δυσκολία τοποθέτησής του λόγω του μεγάλου ιδίου βάρους .[5].Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται αρκετά τα ινοπλισμένα πολυμερή (FRP) ή αλλιώς σύνθετα υλικά με την μορφή ελασμάτων ή υφασμάτων .Τα πλεονεκτήματά τους αρκετά : είναι ανθεκτικά σε διάβρωση , έχουν χαμηλό βάρος σε σχέση με τον χάλυβα (1/4-1/5 της αντίστοιχης ποσότητας χάλυβα), έχουν πολύ μεγαλύτερη εφελκυστική αντοχή, διατίθενται σε μεγάλα μήκη και έχουν μεγάλη ευκαμψία και εδώ όμως παρουσιάζονται μειονεκτήματα. Εάν οι ίνες δεν τοποθετηθούν σωστά στη διεύθυνση που πρέπει , είναι σαν να μην υπάρχουν ,το κόστος είναι αρκετά μεγάλο (σε μικρές κατασκευές , που μπαίνει μικρή ποσότητα αυτό αντισταθμίζεται),υπάρχει ο κίνδυνος της αποκόλλησης ,το σωστό μήκος αγκύρωσης είναι απαραίτητο αλλά τις περισσότερες φορές όχι διαθέσιμο ,δεν αντέχουν τις υψηλές θερμοκρασίες και η εφαρμογή τους απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό .[8]. Σε μια προσπάθεια εξάλειψης κάποιων εκ των παραπάνω μειονεκτημάτων , αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο British Columbia μια καινούρια μέθοδος εφαρμογής των σύνθετων υλικών πιο οικονομική ,πιο γρήγορη και πιο εύκολη στην εφαρμογή . Η μέθοδος αυτή είναι η τοποθέτηση των ινών και της ρητίνης πάνω στην επιφάνεια προς ενίσχυση με την μέθοδο του ψεκασμού (SFRP sprayed fiber reinforced polymers) .[7]

ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Η τεχνική αυτή βασίζεται στον ταυτόχρονο ψεκασμό της ρητίνης και των ινών με την βοήθεια ειδικού πιστολιού με ακροφύσια. Η συσκευή αυτή είναι παρόμοια με αυτή που

χρησιμοποιούμε στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα . Έχει δύο ακροφύσια , ένα στο πάνω μέρος από το οποίο εκτοξεύονται κομματάκια ινών σε διάφορα μεγέθη και ένα στο κάτω μέρος από όπου εκτοξεύεται το μείγμα ρητίνης και καταλύτη(εικόνα.1,2). Η ταχύτητα εκτόξευσης μπορεί να φτάσει και τα 100 km/h .[7] Η ρητίνη με τον καταλύτη μπαίνουν ξεχωριστά μέσα στο πιστόλι ,εκεί αναμειγνύονται και μετά εκτοξεύονται .Οι ίνες από άνθρακα γυαλί ή αραμίδιο έρχονται με την μορφή νημάτων τυλιγμένα σε κουλούρες .Μπαίνουν ανά δυο νήματα στην ειδική συσκευή πάνω στο πιστόλι , η οποία έχει μέσα της αποσπώμενες λεπίδες σε ίσα διαστήματα . Οι λεπίδες κόβουν τις ίνες σε διάφορα μήκη από 8 έως 60 mm ανάλογα με τις αποστάσεις στις οποίες τις τοποθετούμε . [4]



Εικόνα1: Σχηματική απεικόνιση του συστήματος εκτόξευσης [2]



Εικόνα 2: Εκτοξευτήρας
(Scawolf Design,LLC Products and services)

Πριν την εκτόξευση μπαίνει μια πρώτη στρώση υλικού (primer) με μικρό πάχος για καλύτερη συνάφεια μεταξύ του μανδύα και του υποστρώματος και στη συνέχεια εκτοξεύονται οι ίνες ταυτόχρονα με την ρητίνη (εικόνα 3).[4] . Στο τέλος της διαδικασίας , ασκείται πίεση στην επιφάνεια με ένα αλουμινένιο ρολό για να φύγει ο αέρας που ίσως έχει εγκλωβιστεί μέσα. Τελειώνοντας την διαδικασία αυτή , έχουμε έναν σκληρό μανδύα με μεγάλη αντοχή που αποτελείται από τυχαία τοποθετημένες ίνες γερά δεμένες , τόσο μεταξύ τους όσο και με το υπόστρωμα . Το πάχος της στρώσης του μανδύα εξαρτάται από τον χειριστή.

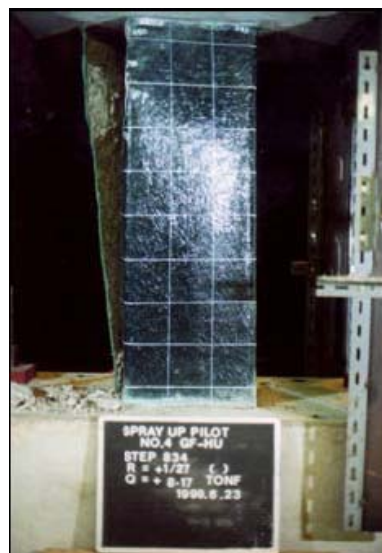


Εικόνα 3: Εφαρμογή της μεθόδου SFRP σε δοκό
[11]

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΛΑΒΗ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ ΔΥΝΑΜΗΣ

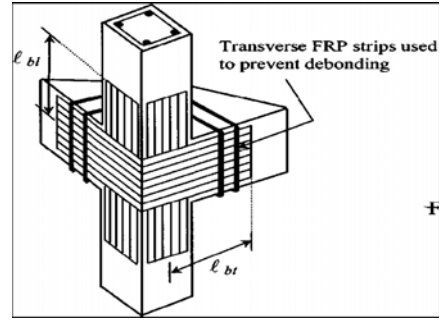
Η μέθοδος αυτή λόγω της τυχαίας διάταξης των ινών είναι αρκετά υποσχόμενη για ενίσχυση σε τέμνουσα. Γνωρίζουμε ότι οι ρωγμές σε διάτμηση είναι λοξές και επεκτείνονται βαθμιαία πληθαίνοντας ταυτόχρονα καθώς το φορτίο αυξάνεται μέχρι την αστοχία σε κάμψη ή σε διάτμηση (δράση δικτυώματος). Η κλίση των ρωγμών εξαρτάται από τον λόγο ροπή προς τέμνουσα δύναμη και από το μέγεθος του φορτίου (η εφελκυστική αξονική δύναμη αυξάνει την κλίση των ρωγμών ως προς τον διαμήκη άξονα ενώ η θλιπτική την μειώνει). Όπως και με τους συνδετήρες, έτσι και εδώ, όσες περισσότερες ίνες τέμνουν τις ρωγμές, τόσες περισσότερες ενεργοποιούνται και δουλεύουν όπως ακριβώς οι εσωτερικοί συνδετήρες. [7]

Σε πειράματα που έγιναν [3] χρησιμοποιήθηκαν ως δοκίμια 8 κολώνες με διαστάσεις τέτοιες ώστε η κύρια μορφή καταπόνησής τους να είναι η διάτμηση. Τα μισά δοκίμια ενισχύθηκαν με υφάσματα από ίνες γυαλιού (2 δοκίμια με 4 στρώσεις το καθένα) και άνθρακα (2 δοκίμια με 1 στρώση το καθένα) και στα άλλα μισά χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος SFRP, εκτοξεύοντας ίνες γυαλιού και άνθρακα αντίστοιχα. Χρησιμοποιήθηκε βινυλεστερική ρητίνη. Τα πάχη των μανδύων ήταν τέτοια ώστε η δυσκαμψία τους ($E \cdot t$ με E το μέτρο ελαστικότητας και t το πάχος του μανδύα) να είναι ίδια για να μπορούν να είναι συγκρίσιμα. Τα δοκίμια υπεβλήθησαν σε δοκιμή ανακυκλιζόμενης φόρτισης και τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά. Στα δοκίμια με υφάσματα το μέγιστο φορτίο ήταν κατά μέσο όρο 275.7 KN για τον άνθρακα και 308.8 KN για το γυαλί ενώ στα δοκίμια με SFRP το μέγιστο φορτίο για τον άνθρακα ήταν 302 KN και για το γυαλί 293.8 KN. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι η αστοχία στα SFRP προήλθε λόγω θραύσης του μανδύα (εικόνα 4,5).



Εικόνα 4,5: Αστοχίες λόγω θραύσης των μανδύων από SFRP[3]

Με την ίδια λογική, η μέθοδος αυτή θα έδινε ικανοποιητικά αποτελέσματα και στην ενίσχυση κόμβων σε διάτμηση. Κάνοντας χρήση υφασμάτων, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια διάταξη όπως στη φωτογραφία δίπλα (εικόνα 6), δηλαδή ένα ύφασμα με ίνες παράλληλα στον άξονα της δοκού και -όπου είναι εφικτό- άλλο ένα με ίνες παράλληλα στον άξονα του υποστρώματος. Τέλος, για την αποφυγή αποκόλλησης θα πρέπει να τοποθετηθούν στα άκρα του υφάσματος προκατασκευασμένα ελάσματα τύπου 'U'.



Εικόνα 6: Ενίσχυση κόμβου με σύνθετα υλικά [12]

Χρησιμοποιώντας τα SFRP, γλυτώνουμε την χρήση των δύο υφασμάτων και βάζοντας και το κατάλληλο μήκος αγκύρωσης λόγω μεγαλύτερης συνάφειας με το υπόστρωμα είναι πιθανό να μην χρειάζεται και η χρήση των προκατασκευασμένων ελασμάτων.

ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ

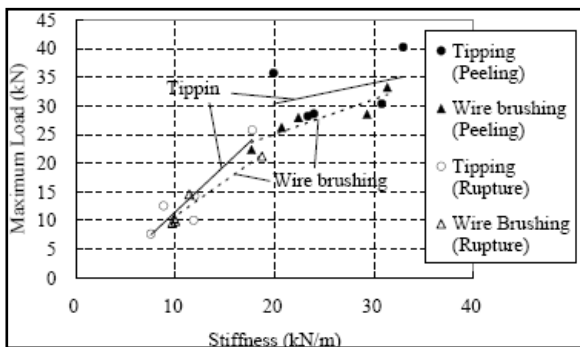
Σε πειράματα που έγιναν [2] χρησιμοποιήθηκαν δοκίμια με 2 διαφορετικά υποστρώματα. Τα δοκίμια φτιάχτηκαν από σκυρόδεμα με θλιπτική αντοχή 30MPa και οι μανδύες έγιναν με πολυεστερική ρητίνη και ίνες γυαλιού τύπου 'E' σε διάφορα μήκη (13, 26, 52mm) και δεν είχαν όλοι το ίδιο πάχος. Στα μισά δοκίμια, η επιφάνεια του σκυροδέματος εκτραχύνθηκε με συρματόβουρτσα (εικόνα 7, υπόστρωμα α), στα άλλα μισά σκαλίστηκε με ειδικό εργαλείο και απομακρύνθηκαν τα μικρά κομμάτια της (εικόνα 7, υπόστρωμα β).



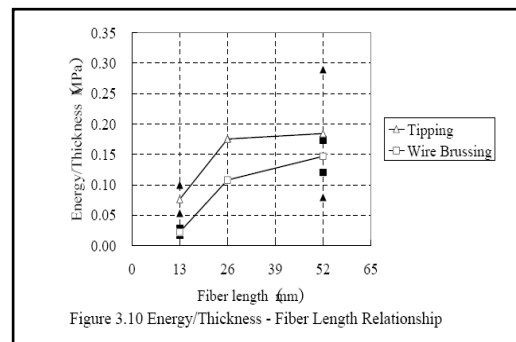
Εικόνα 7:

Υπόστρωμα(α) || Υπόστρωμα(β)

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων (shear bond test) έδειξαν ότι το φορτίο αυξανόταν γραμμικά με την αύξηση της δυσκαμψίας ($E * t$ με E το μέτρο ελαστικότητας και t το πάχος του μανδύα) και μάλιστα στην πιο τραχεία επιφάνεια για το ίδιο $E * t$ το φορτίο ήταν μεγαλύτερο (διάγραμμα 1). Παρόμοιο αποτέλεσμα παρουσιάστηκε και στην ενέργεια απορρόφησης (διάγραμμα 2).



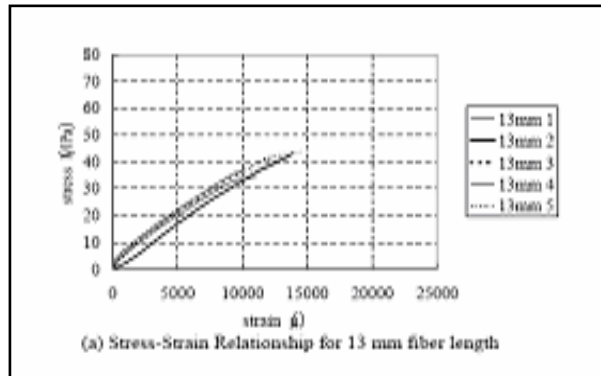
Διάγραμμα 1: max φορτίο – δυσκαμψία [2]



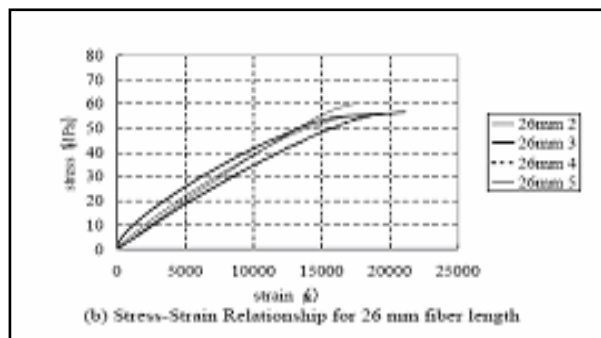
Διάγραμμα 2: ενέργεια – δυσκαμψία [2]

ΜΗΚΟΣ ΙΝΩΝ

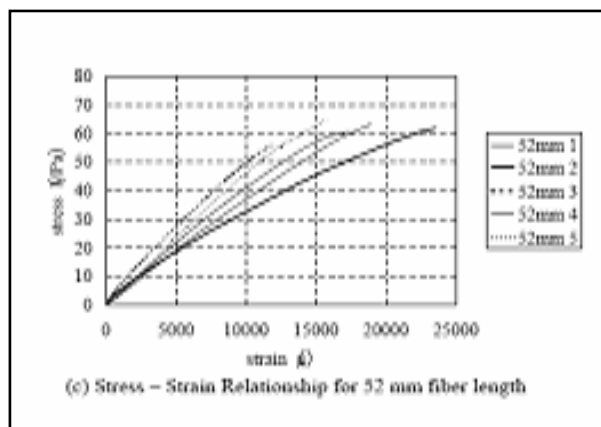
Ενδιαφέρον είχαν και τα αποτελέσματα λόγω της διαφοράς του μήκους των ινών .Τα δοκίμια με ίνες 13, 26mm παρουσίασαν παρόμοια συμπεριφορά όπως φαίνεται και στα διαγράμματα 3 και 4 . Τα δοκίμια με ίνες 52mm είχαν αποκλίσεις (διάγραμμα 5)και αυτό διότι οι ίνες δεν διασκορπίστηκαν ομοιόμορφα λόγω του μεγαλύτερου μήκους τους και επειδή η αναλογία του όγκου τους στον μανδύα έπρεπε να είναι σταθερή , είχαμε λιγότερες εκτοξευόμενες ίνες.



Διάγραμμα 3: τάση-παραμόρφωση ινών 13mm [2]

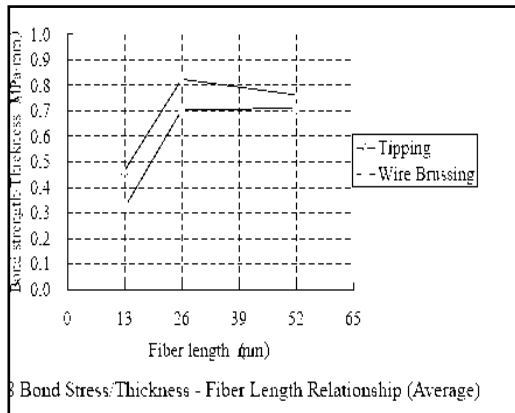


Διάγραμμα 4: τάση-παραμόρφωση ινών 26mm [2]



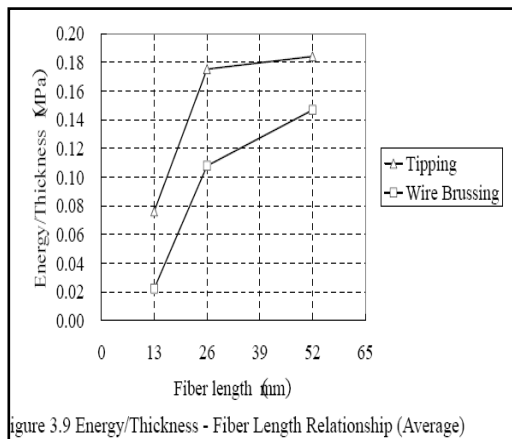
Διάγραμμα 5: τάση-παραμόρφωση ινών 52mm [2]

Το μήκος των ινών δεν επηρέασε τα αποτελέσματα της αντοχής σε μεγάλο βαθμό. Από το διάγραμμα 6 βλέπουμε ότι η τάση συνάφειας διαιρεμένη με το πάχος του μανδύα είναι μεγαλύτερη στα δοκίμια με την πιο τραχιά επιφάνεια σκυροδέματος (αυτό έγινε γιατί δεν είχαν όλοι οι μανδύες το ίδιο πάχος) .



Διάγραμμα 6: τάση - συνάφεια προς πάχος μανδύα συναρτήσει του μήκους των ινών στα διαφορετικά υποστρώματα [2].

Παρόμοια αποτελέσματα βλέπουμε και στο διάγραμμα της ενέργειας διαιρεμένης με το πάχος του μανδύα (διάγραμμα 7).



Διάγραμμα 7: απορροφημένη ενέργεια προς πάχος μανδύα συναρτήσει του μήκους των ινών στα διαφορετικά υποστρώματα [2].

ΕΦΑΡΜΟΓΗ



Εικόνα 8: Safe Bridge[1]

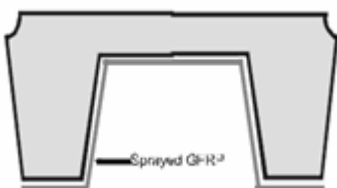
Πρώτη περίπτωση μη εργαστηριακής εφαρμογής της μεθόδου αυτής ήταν στη γέφυρα Safe Bridge στο Vancouver από τον N. Banthia [1]. Η γέφυρα χτίστηκε το 1955, είναι ενός ανοίγματος και έχει μήκος 7.2 m. Αποτελείται από προκατασκευασμένες δοκούς ύψους 0.35m φτιαγμένες από ελαφροσκυρόδεμα, με θλιπτική αντοχή 35MPa και ο οπλισμός της έχει όριο διαρροής 356 MPa (εικόνα 8).

Οι συνδετήρες της βρίσκονταν σε διάφορες αποστάσεις .Στα άκρα ήταν ανά 120mm ενώ στο μέσον έφταναν σε μέγιστη απόσταση τα 760mm με αποτέλεσμα την μειωμένη αντοχή σε διάτμηση και την ανάγκη για ενίσχυση της κατασκευής .Η ομάδα του N.Banithia θέλοντας να δείξει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου πήρε 3 δοκούς που σώθηκαν από μια άλλη γέφυρα που είχε αντικατασταθεί και με αυτές έκαναν πειράματα στο εργαστήριο (εικόνα 9). Οι δοκοί είχαν ίδιες διαστάσεις ,ίδιο οπλισμό και ίδια αντοχή σκυροδέματος με τις δοκούς της γέφυρας προς επισκευή.

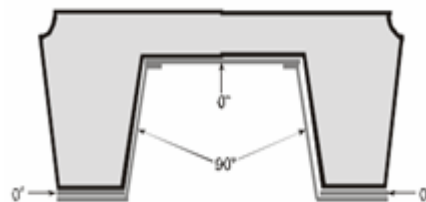


Εικόνα 9: Δοκοί στο εργαστήριο[1]

Πριν ξεκινήσουν τα πειράματα επισκεύασαν με μη συρρικνούμενο κονίαμα τα τμήματα του σκυροδέματος που είχαν πρόβλημα . Για 24h κρατήθηκαν υγρές οι επιφάνειες και μετά έγινε αμμοβολή για να αποκτήσουν ένα ομοιόμορφο υπόστρωμα . Η πρώτη δοκός έμεινε όπως ήταν (control), η δεύτερη ενισχύθηκε με ύφασμα του εμπορίου από FRP (γι’ αυτό και έγινε η αμμοβολή)με ίνες από γυαλί τύπου ‘E’(η επιφάνεια περάστηκε πρώτα με primer και μετά από 24h μπήκαν τα υφάσματα ,όπως φαίνεται στην εικόνα 10-οι 0° δείχνουν ότι οι ίνες είναι παράλληλα στον άξονα της δοκού και οι 90° ότι είναι κάθετα-) και η τρίτη δοκός ενισχύθηκε με την μέθοδο SFRP (ίνες από γυαλί GFRP , μήκος 48mm, 3400MPa θλιπτική αντοχή και $E=81$ GPa και πολυεστερική ρητίνη με 75MPa θλιπτική αντοχή και $E = 6$ GPa)(εικόνα 11). Τα πάχη φτιάχτηκαν έτσι ώστε οι μανδύες να έχουν την ίδια δυσκαμψία ($E * t$, $t =$ πάχος μανδύα , $E=$ μέτρο ελαστικότητας) και να είναι συγκρίσιμα τα δύο συστήματα . Οι 3 δοκοί δοκιμάστηκαν σε κάμψη τριών σημείων.



Εικόνα 11: Διάταξη SFRP [1]



Εικόνα 10: Διάταξη υφασμάτων [1]

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων έδειξαν ότι και τα δύο συστήματα ενίσχυσης αύξησαν την αντοχή και την δυσκαμψία των δοκών . Πιο συγκεκριμένα το μέγιστο φορτίο αυξήθηκε κατά 33% στην ενίσχυση με το ύφασμα και κατά 96% στα SFRP. Η ενέργεια που απορροφήθηκε ήταν 174% και 195% μεγαλύτερη στο ύφασμα και στα SFRP αντίστοιχα (πίνακας 1).

Results of Laboratory Tests on Full-Scale Bridge Girders

Retrofit Type	Initial Stiffness (kN/mm)	Peak Load	Ultimate Moment Capacity (kNm)	Absorbed Energy To Peak Load (N·m)
None	6.69	214	237	11559
Wrap	7.67	284	323	31644
Spray	9.00	419	470	34095

Πίνακας 1: αποτελέσματα μέγιστου φορτίου και ενέργειας που απορροφήθηκε[1]

Πριν γίνει η ενίσχυση της γέφυρας, είχαν τοποθετηθεί στο κάτω πέλμα των δοκών όργανα για την μέτρηση των παραμορφώσεων. Τοποθετώντας ένα φορτηγό 28tons σε διάφορα σημεία της γέφυρας είτε σταματημένο είτε εν κινήσει, πριν και μετά την ενίσχυση μέτρησαν τις παραμορφώσεις (πίνακας 2) και είδαν ότι η μείωση τους, σε σχέση με τις αρχικές στη δοκό, ήταν αρκετή. Τα αποτελέσματα αυτά είναι ενδεικτικά της λειτουργίας της μεθόδου.

Table 10. Results of Load Test on Safe Bridge

Test		Before Application of Spray	After Application of Spray	Percent Reduction
Static Tests	Max. Rebar Strain (micro strain)	101.76	65.55	36%
	Girder # 6 Max. Deflection (mm)	1.55	1.08	30%
	Girder # 6 Max. % of Yield Capacity Reached	8.0	5.2	36%
Roll Tests	Max. Rebar Strain (micro strain)	72.12	54.94	24%
	Girder # 6 Max. Deflection (mm)	1.34	0.89	34%
	Girder # 6 Max. % of Yield Capacity Reached	5.8	4.4	24%

Πίνακας 2: παραμορφώσεις πριν και μετά την εφαρμογή της ενίσχυσης [1]

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι η επισκευή έγινε σε λιγότερο από μια εβδομάδα και στοίχισε το μισό από όσο θα στοίχιζε μια επισκευή με μεταλλικούς μανδύες και κατά 1/3 λιγότερο εάν η επισκευή γινόταν με μανδύες από υφάσματα σύνθετων υλικών.

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

Σχετικοί κανονισμοί δεν υπάρχουν διότι ότι η μέθοδος αυτή βρίσκεται ακόμα σε πειραματικά στάδια. Υπάρχουν όμως κάποια βασικά πράγματα που πρέπει να ισχύουν για να γίνεται σωστά η διαδικασία της εκτόξευσης. Ο εκτοξευτήρας πρέπει να προσαρμόζεται σε κάθε περίπτωση έτσι ώστε τα ακροφύσια του να έχουν την κατάλληλη διάμετρο και τα υλικά να εκτοξεύονται με την σωστή πίεση. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να εξασφαλίζεται η μικρότερη δυνατή πίεση για να δώσει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Όσο πιο μεγάλη είναι η πίεση τόσο πιο μικρά σταγονίδια ρητίνης εκτοξεύονται με αποτέλεσμα να υπάρχει περισσότερο overspray, άρα

περισσότερες απώλειες .Ο εκτοξευτήρας θα πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση 0.3 - 0.5m για να εξασφαλίζεται η μικρότερη ποσότητα overspray, η εκτόξευση θα πρέπει να γίνεται κάθετα στην επιφάνεια για να μειώνεται το ανακλώμενο υλικό και τέλος η εκτόξευση θα πρέπει να ξεκινάει από την περίμετρο και να συνεχίζεται προς τα μέσα. Στο τέλος της διαδικασίας το ανακλώμενο υλικό και το overspray πρέπει να απομακρύνονται με χρήση ακετόνης ή κάποιου άλλου υλικού που διαλύει τη ρητίνη ,πριν αυτή σκληρύνει .[10],[5].

ΜΕΤΡΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Απαραίτητη είναι η χρήση μάσκας, προστατευτικών γυαλιών και γαντιών από τους χειριστές των μηχανημάτων λόγω του πολύ μικρού μεγέθους των ινών και των σταγονιδίων ρητίνης που εκτοξεύονται [10]. Επίσης για την ορθή λειτουργία του εκτοξευτήρα είναι απαραίτητος ο σχολαστικός καθαρισμός του μετά το πέρας της εργασίας [9] .

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα SFRP είναι μια νέα μέθοδος που αναπτύχθηκε τον τελευταίο καιρό και βασίζεται στην ενίσχυση των στοιχείων με χρήση εκτοξευόμενων ινών και ρητίνης .

- Πρόκειται για μια μέθοδο που ‘δουλεύει’ καλά σε διάτμηση αφού λόγω της τυχαίας διάταξης των ινών καλύπτονται περισσότερες ρωγμές , αντικαθιστώντας επαρκώς τη λειτουργία των συνδετήρων. Αντίθετα σε κάμψη και περίσφιξη θα ήταν πολύ λιγότερο αποτελεσματική αφού εκεί είναι απαραίτητη η χρήση ινών σε μια και μόνο διεύθυνση. Από την άλλη τα υφάσματα είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά σε κάμψη , περίσφιξη και διάτμηση.
- Τα SFRP δουλεύουν καλά ακόμα και όταν λείπουν κομμάτια επικάλυψης .Γενικά όσο πιο τραχιά είναι η επιφάνεια του υποστρώματος τόσο το καλύτερο. Αντίθετα , πριν την εφαρμογή των υφασμάτων ,είναι απαραίτητη η προετοιμασία του υποστρώματος .Μια ομοιόμορφη επιφάνεια είναι βασική για την σωστή λειτουργία τους . Γίνεται αμμοβολή και καθαρισμός με πεπιεσμένο αέρα , με σκοπό να φύγουν τα χαλαρά υλικά και να υπάρξει μια ομοιόμορφη επιφάνεια. Επίσης καμπυλώνονται οι γωνίες των στοιχείων γιατί αλλιώς θα υπάρχουν τοπικά συγκεντρωμένες τάσεις που θα οδηγήσουν σε θραύση των ινών στα σημεία αυτά .
- Πρόκειται για μια μέθοδο, που η εφαρμογή της απαιτεί λιγότερο χρόνο από ότι η εφαρμογή των υφασμάτων και είναι και πιο οικονομική. Παρά τις απώλειες που έχει (overspray,ανακλώμενο υλικό) οι ίνες και η ρητίνη κοστίζουν λιγότερο από ότι τα υφάσματα. Χρειάζονται περισσότερα υλικά για να γίνει αλλά τα υλικά της κοστίζουν λιγότερο.
- Με την εκτόξευση ,οι ίνες διασκορπίζονται σε όλες τις διευθύνσεις και αυτό θα μπορούσε να είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην ενίσχυση κόμβων .
- Οι ίνες με μικρό μήκος παρουσιάζουν πιο ομοιόμορφη κατανομή καθώς εκτοξεύονται.

- Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι αρχικά το υψηλό κόστος για την αγορά του εξοπλισμού. Επιπλέον, η εμπειρία του χειριστή είναι απαραίτητη για την σωστή εφαρμογή της ενίσχυσης (καθορισμός πάχους μανδύα) και μέχρι στιγμής γνωρίζουμε ότι προσφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα μόνο σε διάτμηση.
- Τα προβλήματα λόγω χρήσης της ρητίνης (μικρή αντοχή της σε υψηλές θερμοκρασίες και απαραίτητος χρόνος μέχρι να σκληρύνει) δεν αντιμετωπίζονται.

Πρόκειται για μια μέθοδο που βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο ακόμα. Σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να αντικαταστήσει την χρήση υφασμάτων από σύνθετα υλικά. Παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα αλλά πρέπει να γίνουν αρκετές έρευνες ακόμα σχετικά με την εφαρμογή της.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Banthia N. **Fiber Reinforced Polymers in Concrete Constructions and Advanced Repair Technologies.**
www.geosynthetica.net/tech_docs/NBanthia15Dec.pdf
2. Richie Ma., Caibal J., Odera I., Murata H., Prof. Niwa J. **Bond Behaviour Between Sprayed Fibre Reinforced Plastic (SFRP) and Concrete.**
www.cv.titech.ac.jp/~jsps/activity_report/2002/9.Caibal_Report_.pdf
3. Kanakubo T., Futura T., Takahashi K., Nemoto T. **Sprayed fibre-reinforced polymers for strengthening of concrete structures.**
www.kz.tsukuba.ac.jp/~kanakubo/c_kanakubo_final.pdf
4. **Sprayed Fibre –reinforced polymers: coming to a structure near you.** Canadian civil engineer, Winter 2005-2006
www.ieindia.org/news/200609/sep06newsp05.pdf
5. Δρίτσος Σ.,(2006) **Ενισχύσεις / επισκευές κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα διαδικασίες –τεχνικές και διαστασιολόγηση.**, 78-79, Πάτρα
6. **Sprayed frps for rehabilitation of concrete.** ACI British Columbia Chapter, chapter newsletter April 2004
www.concrete.org/tempComDocs/-49073/aci_2004_apr_newsletter.pdf
7. Φαρδής Μ.,(2005) **Μαθήματα οπλισμένου σκυροδέματος Μέρος Ι,** 277-279, Πάτρα
8. Τριανταφύλλου Αθ.,(2006) **Ενισχύσεις κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος και φέρουσας τοιχοποιίας με σύνθετα υλικά .,** 4-5, Πάτρα
9. **Source Reduction and recycling opportunities for a fiberglass reinforced Plastics shop.**
www.p2pays.org/ref/03/02708.pdf
10. **Controlled spraying handbook. version 3.2c March 2004**
www.acmanet.org/ga/Controlled_Spray_Handbook.pdf
11. Boyd,A, Liang N., Green P., Lammert Kimb. **Sprayed FRP repair of simulated impact in prestressed concrete girders.** [www.science](http://www.sciencedirect.com)direct.com
12. Antonopoulos C., Triantafyllou Ath. **Analysis of FRP-strengthened RC beam-column joints** eclass.upatras.gr/CIV1507/document/PAPERS