

## ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΓΕΦΥΡΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ FRP

Κορρές Πέτρος

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

*Η παρούσα εργασία έχει ως κύριο σκοπό την παρουσίαση και περιγραφή διαφορών τεχνικών επίσκεψης και ενίσχυσης γεφυρών με ινοπλισμένα πολυμερή. Στις επόμενες σελίδες θα παρουσιαστούν συγκεκριμένες μέθοδοι ενίσχυσης των διαφορών τμημάτων που αποτελούν μια γέφυρα καθώς και τα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα που μπορεί να εμφανίζουν. Επίσης περιλαμβάνεται φωτογραφικό υλικό με συγκεκριμένα παραδείγματα γεφυρών για την καλύτερη κατανόηση αυτών των μεθόδων. Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη τους.*

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ινοπλισμένα πολυμερή (FRP) έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην αεροναυπηγική, ναυσιπλοΐα και στην αυτοκινητοβιομηχανία.[1] Η επιστήμη του πολιτικού μηχανικού παρακολουθώντας τις εξελίξεις και στην προσπάθεια της να ανακαλύψει νέα υλικά, που θα βοηθήσουν να αντιμετωπιστούν ουσιαστικά τα μειονεκτήματα των καθιερωμένων υλικών (σκυρόδεμα, χάλυβας, ξύλο), στράφηκε στα ινοπλισμένα πολυμερή (FRP). Παρόλο που τα συγκεκριμένα υλικά δεν είχαν ξαναχρησιμοποιηθεί από τον πολιτικό μηχανικό, άρχισαν πλέον να κάνουν την εμφάνισή τους όλο και συχνότερα στα τεχνικά έργα και ειδικότερα στον τομέα των επισκευών και ενισχύσεων. Η ενίσχυση γεφυρών, κατασκευασμένων από οπλισμένο σκυρόδεμα, στην Αμερική αποτέλεσε μια από τις πρώτες εφαρμογές των FRP.[3] Οι λόγοι που καθιστούν αρκετές φορές απαραίτητη την επισκευή και ενίσχυση των γεφυρών είναι οι εξής:

- Πολλές από αυτές τις έχουν κατασκευαστεί με κανονισμούς που έχουν πάψει πλέον να ισχύουν. [2]
- Ο κυκλοφοριακός φόρτος, σαν άμεσο επακόλουθο της ανάπτυξης της τεχνολογίας, αυξάνεται συνεχώς. [3]
- Ο χρόνος, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και η κακή συντήρηση είναι υπεύθυνα για την εμφάνιση αρκετών φθορών.
- Πιθανές κακοτεχνίες που έχουν συμβεί κατά την διάρκεια της κατασκευής μιας γεφύρας (λανθασμένη τοποθέτηση οπλισμών, δημιουργία λανθασμένων διατομών κ.τ.λ.)
- Επίσης υπάρχουν και οι σοβαρές, τις περισσότερες φορές, φθορές από τους σεισμούς.

### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ FRP

Οι ίνες, οι οποίες αναλαμβάνουν κυρίως εφελκυστικές τάσεις παράλληλα στη διεύθυνση τους, παρασκευάζονται κυρίως από γυαλί, αραμίδιο και άνθρακα. Τα FRP αποτελούνται από ίνες εμποτισμένες με κάποιο θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές (εποξειδική ρητίνη, πολυεστέρας κ.α.). Στη περίπτωση ελασμάτων συνθετών υλικών οι ίνες καταλαμβάνουν το 50%-70% όπτι συνολικού όγκου του υλικού ενώ το αντίστοιχο ποσοστό, για μανδύες που κατασκευάζονται με επί τόπου εφαρμογή της ρητίνης, είναι 20%-35%. [1]

Τα πλεονεκτήματα των συνθετών υλικών είναι τα εξής:

- Δεν διαβρώνονται ηλεκτροχημικά και έχουν υποδείξει εξαιρετική αντοχή σε δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. [4]
- Έχουν υψηλή αναλογία αντοχής προς βάρος. Επίσης ζυγίζουν σχεδόν 80% λιγότερο από το χάλυβα με αντοχές που εμπόρου να ξεπεράσουν αυτές του χάλυβα από 8-10 φορές. [4]
- Η εφαρμογή τους είναι εύκολη και γρήγορη, με τη προϋπόθεση ότι το συνεργείο είναι εξειδικευμένο. [4]
- Τα FRP είναι ηλεκτρομαγνητικά αδρανή. Δηλαδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εξειδικευμένες κατασκευές όπου υπάρχει εξοπλισμός επικοινωνίας κ.τ.λ. [4]

Τα μειονεκτήματα των συνθετών υλικών είναι τα εξής :

- Η αστοχία τους είναι ψαθυρή.
- Έχουν μεγάλη ευαισθησία στις υψηλές θερμοκρασίες.
- Το κόστος αγοράς τους είναι αρκετά υψηλό.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας (Πίνακας 1) με τα κύρια χαρακτηριστικά του χάλυβα και των FRP.

Type	Tensile Strength (MPa)	Tensile Modulus (GPa)	Elongation (mm/mm)	Coefficient of thermal expansion	Specific gravity
Glass FRP	517-1207	41-62	0.035-0.05	9.9	2.4
Carbon FRP	1650-2410	150-165	0.01-0.015	0	1.5
Aramid FRP	1200-2000	50-74	0.02-0.026	-1	1.25
Steel	483-1862	186-200	>0.04-0.1	11.7	7.9

Πίνακας 1:Ιδιότητες υλικών [5]

### ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΒΑΘΡΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Το νερό της θάλασσας σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες και τις υψηλές τιμές της υγρασίας μπορούν να γίνουν καταστροφικές για τις γέφυρες κατασκευασμένες από σκυρόδεμα καθώς αυτό επιτρέπει την διόδο των χλωριόντων τα οποία μέσα από ηλεκτροχημικές αντιδράσεις διαβρώνουν τον χάλυβα . Η επισκευή των βόθρων με μανδύα FRP αποτελεί πλέον μια αρκετά αποτελεσματική λύση .

Ένα παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής είναι η γέφυρα Friendship Trails .Η παραπάνω γέφυρα κατασκευάστηκε το 1956 . Το 1997 άρχισε η επισκευή της και το 1999 επαναλειτούργησε κανονικά . Έχει μήκος 4,2km και 275 ανοίγματα τα οποία στηρίζονται σε 254 κολώνες από οπλισμένο σκυρόδεμα . Το 70% από τις 254 κολώνες χρειάστηκε επισκευή.

Τελικώς ενισχυθήκαν όλες οι κολώνες (διαστάσεις 50,8cm x 50.6cm ) από 15 cm κάτω από την επιφάνεια του νερού μέχρι το κάτω πέλαμα των δοκών της γεφύρας . Επειδή τα νερά είχαν βάθος 4,9m χρειάστηκε να φτιαχτεί και να σχεδιαστεί ένα νέο σύστημα σκαλωσιάς (σχήμα 1). Αυτό έπρεπε να είναι ελαφρύ και διαμορφωμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχει το βάρος 6 ανθρώπων . Αυτή η σκαλωσιά κρεμάστηκε από τις δοκούς και εκτεινόταν 3 m πιο χαμηλά από αυτές . [6]

Στη γέφυρα Friendship Trails χρησιμοποιήθηκαν δυο μέθοδοι εφαρμογής των FRP . Στη πρώτη μέθοδο (σχήμα 2) η διαδικασία κοπής και εμποτισμού των FRP με ρητίνη η οποία ενεργοποιείται όταν έρχεται σε επαφή με το νερό , γίνονται στο εργοστάσιο και εν συνεχεία μεταφέρονται στο εργοτάξιο σε ειδικά θερμομονωτικά πακέτα ( pre-preg system [7]). Στη δεύτερη μέθοδο (σχήμα 3) εφαρμόζεται επιτόπου εμποτισμός του FRP ( wet lay-up system [7]) με αδιάβροχη ρητίνη . Για κάθε μια από τις παραπάνω μεθόδους χρησιμοποιήθηκαν FRP φτιαγμένα από γυαλί και από άνθρακα . Επίσης εφαρμόστηκαν , ξεχωριστά σε κάθε μέθοδο και για κάθε υλικό (CERP , GERP ) φύλλα FRP μιας και δυο διευθύνσεων . [6]

Ο χρόνος επισκευής αντιστοιχεί σε 2 κολώνες ανά ώρα για το σύστημα "pre-preg". Με πειράματα αποδείχτηκε πως τα φύλλα FRP δυο διευθύνσεων λειτουργούσαν καλύτερα από αυτά της μιας διεύθυνσης . Το σύστημα "pre-preg" ήταν ευκολότερο στην εφαρμογή ενώ το "wet-lay-up " εμφάνισε προβλήματα .Επίσης το εγκάρσιο, στον άξονα της υποστυλώματος, τύλιγμα αποδείχτηκε ευκολότερο και γρηγορότερο . [6]



Σχήμα 1: Σύστημα σκαλωσιάς. [6]



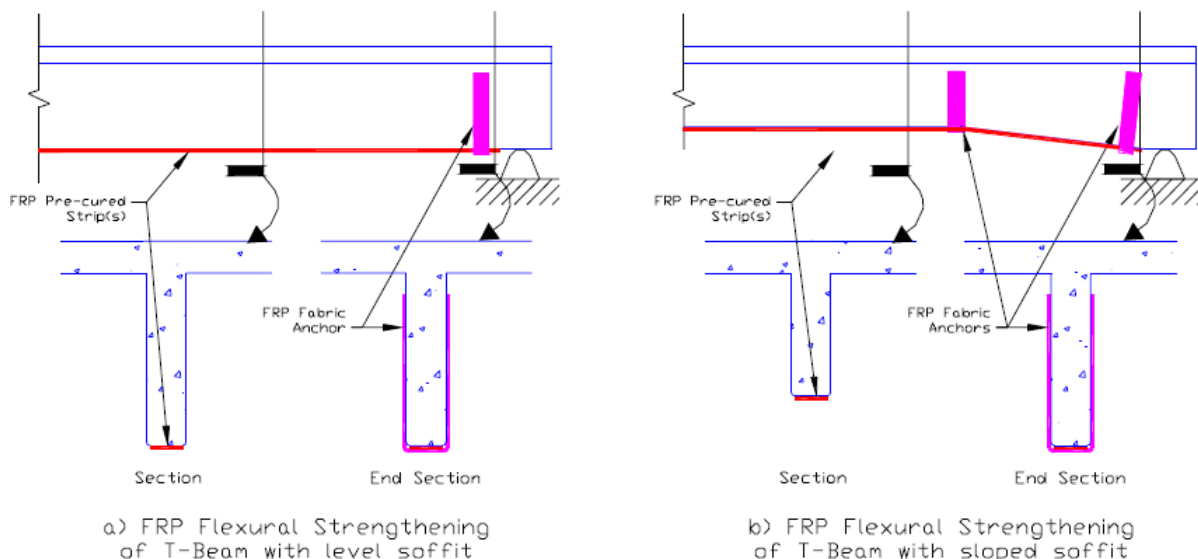
Σχήμα 2: Εφαρμογή και τοποθέτηση FRP κατά το σύστημα pre-preg. [6]



Σχήμα 3: Εφαρμογή και τοποθέτηση FRP κατά το σύστημα wet lay-up. [6]

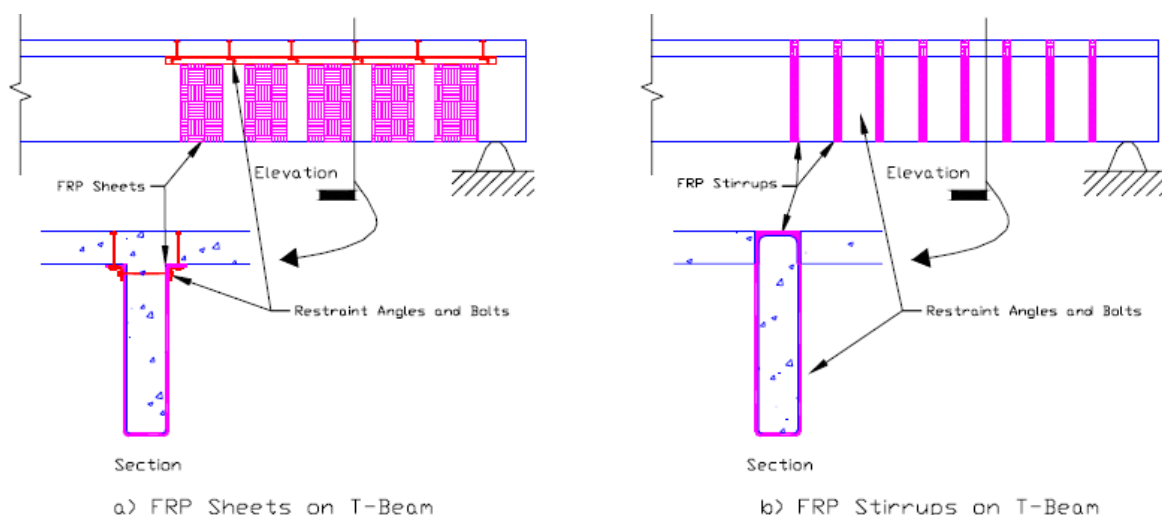
### ΤΡΟΠΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΔΟΚΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΚΑΙ ΚΑΜΨΗ

Ενίσχυση δοκού γέφυρας διατομής T σταθερής (σχήμα 4) αλλά και μεταβλητής διατομής (σχήμα 4) κελύφους έναντι κάμψης με επικόλληση ελασμάτων στο κάτω πέλαμα και αγκύρωση αυτών στα άκρα με υφάσματα FRP. [2]



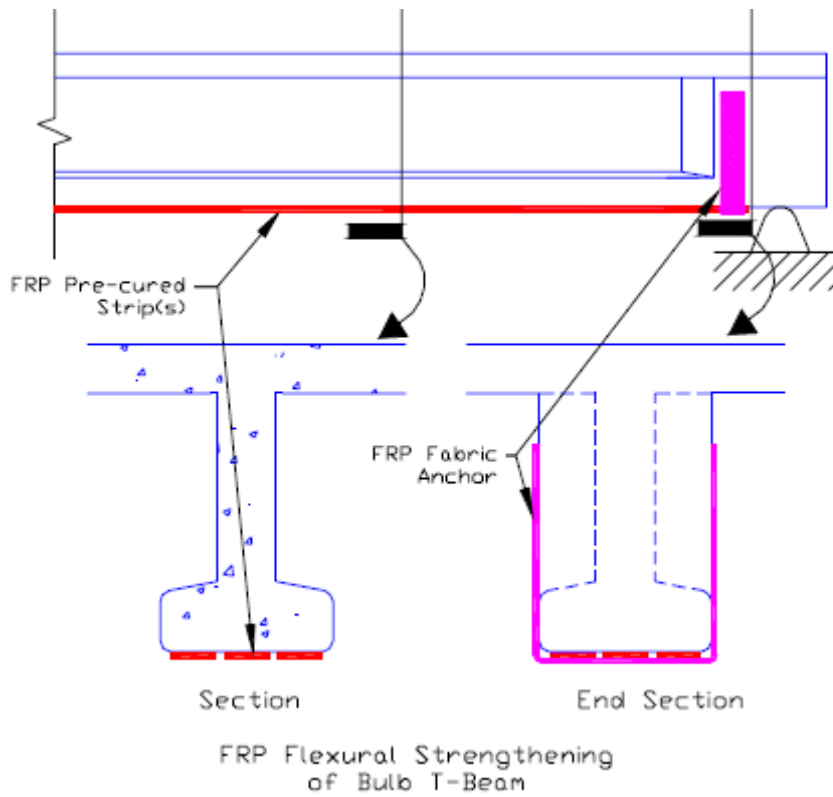
Σχήμα 4: Καμπτική ενίσχυση δοκού γέφυρας διατομής T .[2]

Ενίσχυση δοκού γεφύρας διατομής T έναντι διατομής με δυο τρόπους .Ο πρώτος τρόπος είναι με κλειστούς συνδετήρες από FRP οπού θα χρειαστεί να τρυπηθεί η πλάκα καταστρώματος με αποτέλεσμα την διακοπή της κυκλοφορίας (σχήμα 5).Αν αυτό δεν είναι εφικτό τότε χρησιμοποιούμε ανοιχτούς συνδετήρες ή υφάσματα FRP τα οποία αγκυρώνονται με στοιχεία από χάλυβα ή FRP και βλήτρα τα οποία αγκυρώνονται στην πλακά καταστρώματος αλλά και στον κορμό της δοκού(σχήμα 5) .[2]

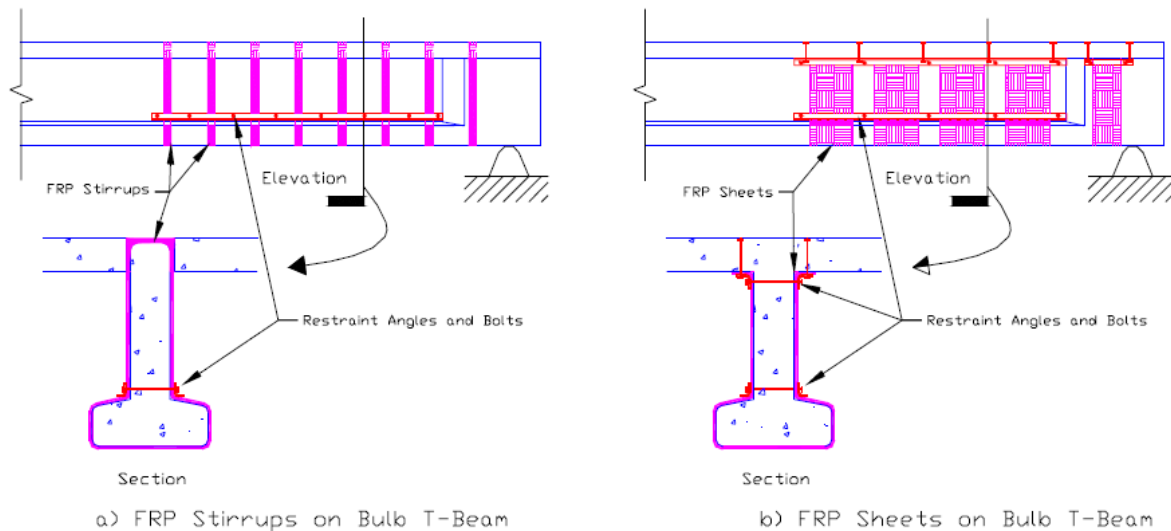


Σχήμα 5: Ενίσχυση σε διάτμηση δοκού γέφυρας διατομής T [2]

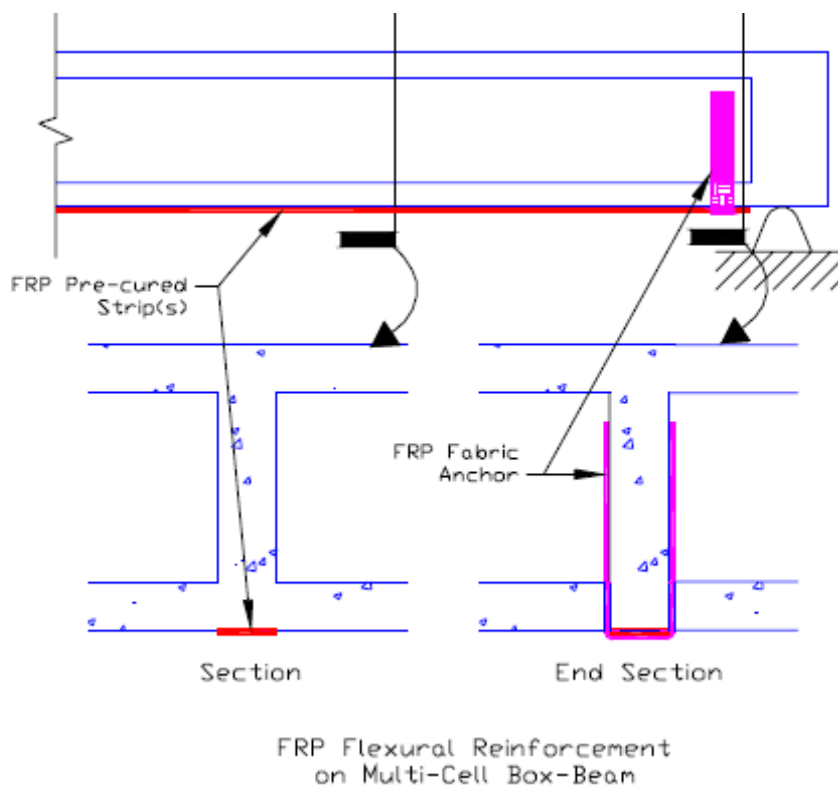
Παρόμοιες εφαρμογές για καμπτική και διατμητική ενίσχυση εφαρμόζεται και για δοκού διατομής T (σχήμα 6 & 7) με διαπλατυσμένο το κάτω πέλμα (AASHTO-type girder) καθώς επίσης και για ορθογωνικές πολυκυβελικές διατομές(σχήμα 8 & 9). [2]



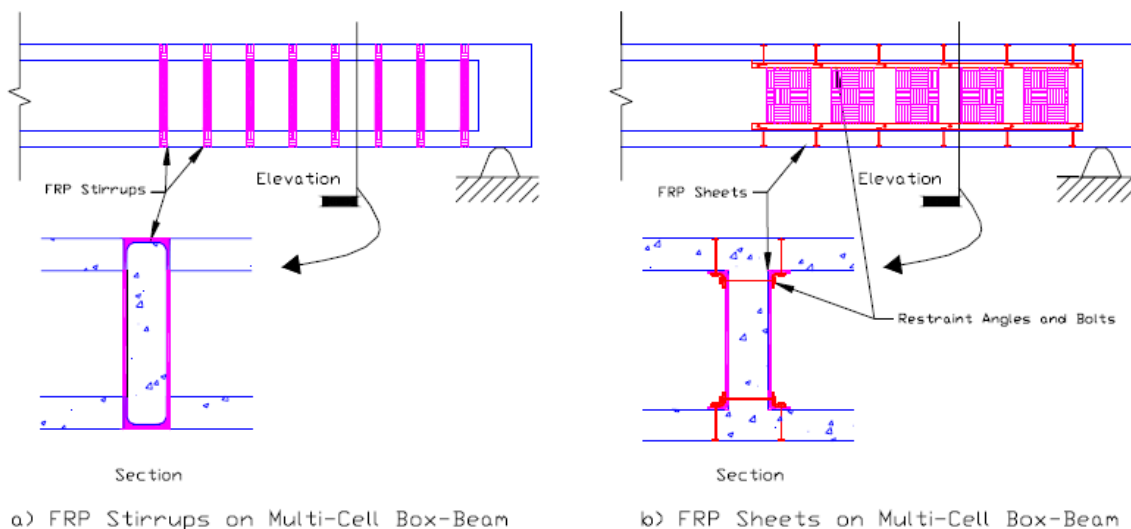
Σχήμα 6: Καμπτική ενίσχυση δοκού γέφυρας διατομής T με διαπλατυσμένο κάτω πέλμα. [2]



Σχήμα 7: Ενίσχυση σε διάτμηση δοκού γέφυρας διατομής T με διαπλατυσμένο κάτω πέλμα. [2]



Σχήμα 8: Καμπτική ενίσχυση δοκού γέφυρας πολυκυψελικής διατομής. [2]



Σχήμα 9: Ενίσχυση σε διάτμηση δοκού γέφυρας πολυκυψελικής διατομής. [2]

### ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Ένα από κύρια προβλήματα των γεφυρών από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι οι βλάβες που παρουσιάζονται με το πέρασμα του χρόνου στο κατάρωμά τους σαν αποτέλεσμα της διάβρωσης, του ερυσμού, της αύξησης των φορτίων, των κατασκευαστικών ατελειών κ.α. Η επισκευή και η ενίσχυσή τους με ελάσματα FRP αποτελεί πλέον μια αρκετά αποτελεσματική λύση.

Ένα παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής είναι η γέφυρα Country Hills Boulevard.[4] Ένα από τα βασικά προβλήματά της ήταν ο κίνδυνος αστοχίας, του λεπτού καταστρώματος, σε κάμψη στη εγκάρσια διεύθυνση λόγω των κλίσεων των βάθρων και των σημαντικών φορτίσεων από

τα φορτηγά. Η συμβατική ενίσχυση με ράβδους χάλυβα θα απαιτούσε μερικό σπάσιμο του καταστρώματος για τη δημιουργία λωρίδων όπου θα έμπαιναν αυτές οι ράβδοι και μετά ακολουθούσε επανασκυροδέτηση. Ήταν όμως απαραίτητο να συνεχιστεί η κυκλοφορία σε ένα από τα δυο ρεύματα. Για να επιτευχθεί αυτό επιλέχθηκε ο μη καταστροφικός τρόπος ενίσχυσης με FRP. Τελικά χρησιμοποιήθηκαν ελάσματα FRP από άνθρακα τα οποία τοποθετήθηκαν στο πάνω μέρος του καταστρώματος για την πρόσθετη ανάληψη αρνητικών ροπών (σχήμα 10). Η επιλογή ελασμάτων FRP από άνθρακα ήταν μια αρκετά καλή λύση καθώς η επίστρωση της ασφάλτου πάνω από τα αυτά ήταν πλέον εύκολη υπόθεση λόγω του μικρού τους πάχους.[4]



Σχήμα 10: Ενίσχυση καταστρώματος της γέφυρας Country Hills Boulevard.[4]

Ένα ακόμα παράδειγμα ενίσχυσης καταστρώματος είναι η γέφυρα Martin Springs.[8] Στη περίπτωση αυτή είχαν παρουσιαστεί διαμήκεις ρωγμές στην κάτω επιφάνεια του καταστρώματος (σχήμα 11), οι οποίες αφού σφραγίστηκαν εξωτερικά με ρητινόστοκο (σχήμα 12a), στη συνέχεια γέμισαν με ενέσεις ρητίνης υπό υγρή μορφή (σχήμα 12b). Αφού επισκευάστηκαν οι ρωγμές ακολούθησε η ενίσχυση σε κάμψη η οποία έγινε με δυο τρόπους: i) επικόλληση ελασμάτων FRP από άνθρακα (σχήμα 13) και ii) τοποθέτηση ράβδων FRP από άνθρακα σε εγκοπές που έχουν δημιουργηθεί στην κάτω επιφάνεια του καταστρώματος αφού αυτές γεμιστούν με ρητινόστοκο (σχήμα 14). Ως αποτέλεσμα της παραπάνω ενίσχυσης ήταν η μείωση του βέλους έως και 20%.[8]



Σχήμα 11: Διαμηκής ρωγμή στην κάτω επιφάνεια του καταστρώματος της γέφυρας Martin Springs.[8]





a) Crack Sealed Previous to Injection



b) Crack Injection under the Bridge

Σχήμα 12: Επιδιόρθωση ρωγμών του καταστρώματος της γεφύρας Martin Springs με εμποτισμό ρητίνης.[8]



a) Surface Preparation with Primer and Putty



b) Application of Saturant



c) Application of CFRP Laminates



d) Application Completed

Σχήμα 13: Διαδικασία ενίσχυσης καταστρώματος της γεφύρας Martin Springs με ελάσματα FRP.[8]





a) Grooves Prepared as per Design Geometry



b) Inserting Epoxy Paste into the Groove



c) Insertion of NSM Bar into the Groove



d) Application Completed

Σχήμα 14: Διαδικασία ενίσχυσης καταστρώματος της γεφύρας Martin Springs με ράβδους FRP.[8]

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από το περιεχόμενο της παραπάνω εργασίας προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Παρόλο που το κόστος των FRP είναι υψηλό, οι ξεχωριστές ιδιότητες τους και η ευκολία εφαρμογής τους κάνουν, πολλές φορές, αναγκαία την χρήση τους.
- Ανάλογα με τις ανάγκες (π.χ. διατήρηση κυκλοφορίας) και τις συνθήκες (μικρό ή μεγάλο βάθος ποταμού, θαλάσσης κ.α.) που επικρατούν, διαμορφώνουμε και τον τρόπο ενίσχυσης.
- Το εγκάρσιο, στον άξονα του υποστρώματος, τύλιγμα αποδείχτηκε ευκολότερο και γρηγορότερο από το διαμήκες.
- Το σύστημα pre-preg αποδείχτηκε ευκολότερο, γρηγορότερο και πιο αξιόπιστο από το σύστημα wet lay-up.
- Η διαδικασία προετοιμασίας της επιφάνειας επικόλλησης της ρητίνης και εμποτισμού των φύλλων FRP πρέπει να ακολουθούν επακριβώς τις διατάξεις των κατασκευαστών.
- Τα υφάσματα δύο διευθύνσεων λειτουργούν καλύτερα από τα υφάσματα μίας διεύθυνσης.
- Στη περίπτωση που τα υποστρώματα είναι βυθισμένα κρίνεται απαραίτητη η δημιουργία ειδικών σκαλωσιών καθώς με αυτό τον τρόπο η επισκευή και η ενίσχυση γίνονται ευκολότερα και ασφαλέστερα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Α. Χ. Τριανταφύλλου, (2006)

“**Ενισχύσεις Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος και Φέρουσας τοιχοποιίας με Σύνθετα Υλικά**”, σελ.5-8, Πάτρα

[2] Si-Hawn Park, Ian N.Robertson, H.Ronald Riggs, (2002)

“**A Primer for FRP Strengthening of Structurally Deficient Bridges**”, σελ.31-38, Hawaii, ([cee.hawaii.edu/reports/UHM-CEE-02-03.pdf](http://cee.hawaii.edu/reports/UHM-CEE-02-03.pdf))

[3] T.J.Wipf, F.W.klaider, J.D.Rhodes, B.J.Kempers, (2004)

“**Effective Structural Concrete Repair Volume 1 of 3: Repair of Impact Damaged Prestressed Concrete Beams with CFRP**”, σελ.147-149, Iowa, ([publications.iowa.gov/archive/00002490/](http://publications.iowa.gov/archive/00002490/))

[4] B.K.williams, (2004)

“**ISIS Educational Module 4: An Introduction to FRP Strengthening of Concrete Structures**”, σελ1-5, Canada,

([www.ctn.etsmtl.ca/mnollet/mgc830a05/Document/ISIS%20EC%20Module%204%20-%20Notes.pdf](http://www.ctn.etsmtl.ca/mnollet/mgc830a05/Document/ISIS%20EC%20Module%204%20-%20Notes.pdf))

[5] Khaled A.Soudki

“**Concrete Problems and Repair Techniques**”, σελ.17-19, Waterloo, ([vgn.dm.gov.ae/DMEGOV/images/RCrepair.pdf](http://vgn.dm.gov.ae/DMEGOV/images/RCrepair.pdf))

[6] R.Sen, G.Mullins, K.Suh, D.Winters, (2005)

“**FRP Application in Underwater Repair of corroded Piles**”, Proc. of the 7<sup>th</sup> International Symposium on Fiber Reinforced Polymer (F.R.P.) Reinforcement for Concrete Structures, ([quakewrap.com/papers/DURABILITY/230-64.pdf](http://quakewrap.com/papers/DURABILITY/230-64.pdf))

[7] Pizhong Qiao, Ph.D., P.E.

“**CE 433 Reinforced Concrete Design: Chapter 10. FRP Reinforcement for Concrete Structures**”, Washigton, ([pas.ce.wsu.edu/CE433/ce433-10.pdf](http://pas.ce.wsu.edu/CE433/ce433-10.pdf))

[8]N.Galati, P.Casadei, A.Nanni, (2004)

“**Strengthening of Martin Springs Outer Road Bridge, Phelps Country**”, Missouri, (168.166.12422/RDT/reports/Ri02007/RDT04001.pdf)