

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΓΕΦΥΡΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ -F.R.P.(FIBRE REINFORCED POLYMER)

ΑΣΚΟΥΝΗ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΜΠΑΡΚΑ ΑΓΑΘΗ

Περίληψη

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την εφαρμογή ινοπλισμένων πολυμερών στην ενίσχυση γεφυρών . Στις επόμενες παραγράφους γίνεται αναφορά στους λόγους και τους τρόπους ενίσχυσης καταστρωμάτων γεφυρών σύμφωνα με τις σημερινές μεθόδους καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε μεθόδου . Παράλληλα παρουσιάζεται μια σειρά από παραδείγματα όσον αφορά ήδη ενισχυμένες γέφυρες στην Ελβετία και τον Καναδά με αναλυτική περιγραφή του προβλήματος και του τρόπου ενίσχυσης που χρησιμοποιήθηκε , καθώς και σχηματική απλοποιημένη αναπαράσταση της τεχνικής διαδικασίας εφαρμογής των F.R.P. για ενίσχυση γεφυρών. Στο τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας.

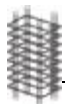
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι συχνά απαραίτητη η ενίσχυση γεφυρών ολόκληρων ή τμημάτων τους. Οι λόγοι αυτής της ανάγκης για ενίσχυση μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

- η απαίτηση αύξησης του φορτίου λειτουργίας της . Αυτό συμβαίνει γιατί από την εποχή κατασκευής της γέφυρας μέχρι σήμερα έχουν αλλάξει οι κατασκευαστικοί κανονισμοί , ή έχει αυξηθεί ο φόρτος κυκλοφορίας καθώς , ή και αρκετές φορές υπάρχει δυσμενέστερη χρήση της γέφυρας . Αυτοί οι παράγοντες μειώνουν της απόδοση της γέφυρας ,από την πλευρά της ποιότητας εξυπηρέτησης. [Meier-3 & Labossière e.t.c.-5]
- οι διάφορες ζημιές που μπορεί να πάθει μια γέφυρα λόγο διάβρωσης του κύριου οπλισμού και του οπλισμού προέντασης από διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες ή κακοτεχνίες κατά την κατασκευή της. Τα προβλήματα διάβρωσης είναι πιο αισθητά σε γέφυρες που διασχίζουν θάλασσες καθώς και σε βόρειες χώρες που κατά τους χειμερινούς μήνες είναι συχνή η χρήση αλατιού για το λιώσιμο των πάγων. [Labossière e.t.c.-5 & Meier-3]
- η απαίτηση εκμοντερνισμού της γέφυρας για αισθητικούς λόγους . Αυτό έχει ως συνέπεια την μετακίνηση ή κατασκευή τμημάτων π.χ. τοίχων, ασφιδών στο κατάστρωμα της γέφυρας με αποτέλεσμα την τοπική αύξηση του φορτίου σε σημεία που η υπάρχουσα κατασκευή δεν μπορεί να αντέξει. [Meier-3]
- Κακοτεχνίες κατά την κατασκευή της αρχικής γέφυρας, όπως για παράδειγμα όταν οι κατασκευασμένες διατομές είναι μικρότερες από αυτές που υπολογίζονται από την μελέτη της γέφυρας. [Meier-3]

ΤΡΟΠΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΓΕΦΥΡΩΝ

Ένας βασικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τόσο κατά την κατασκευή όσο και κατά την ενίσχυση μιας γέφυρας είναι ότι το κατάστρωμα πρέπει να έχει όσο το δυνατόν λιγότερο βάρος γιατί το κύριο φορτίο του είναι το ίδιο βάρος του. Ειδικά σε περιοχές με αυξημένη σεισμικότητα η αύξηση του ιδίου βάρους της ανωδομής έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των σεισμικών φορτίων , γεγονός που επιδρά δυσμενώς στην όλη



κατασκευή και καλύτερα να αποφεύγεται [Nitani-4]. Συνεπώς, και λαμβάνοντας υπόψη τις υπάρχουσες κατασκευαστικές και βιομηχανικές δυνατότητες υπάρχουν δυο κύριοι τρόποι ενίσχυσης μιας κατασκευής:

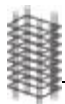
- η χρήση μεταλλικών στοιχείων

Η τεχνική κατασκευής αλλά και ενίσχυσης γεφυρών με μεταλλικά στοιχεία έχει αναπτυχθεί πολύ στις μέρες μας σαν μια έκφραση της τέχνης. Παρόλα αυτά η χρήση μεταλλικών στοιχείων στην ενίσχυση γεφυρών έχει αρκετά μειονεκτήματα. Έρευνες της EMPA (Ελβετικά Ομοσπονδιακά Εργαστήρια για Έλεγχο Υλικών και Έρευνα) έχουν δείξει πως ένα κύριο πρόβλημα αντοχής των κατασκευών στο χρόνο είναι οι περιβαλλοντικοί παράγοντες. Τα μεταλλικά στοιχεία επηρεάζονται πολύ από τις συνθήκες περιβάλλοντος με κύριο πρόβλημα τη διάβρωση και την ανάπτυξη σκουριάς στις συγκολλήσεις, που σύμφωνα με έρευνες της EMPA εμφανίζονται μικρά ίχνη σκουριάς μόλις τρία χρόνια μετά την συγκόλληση και γύρο στα δεκαπέντε χρόνια, σύμφωνα με την ίδια έρευνα, έχει αναπτυχθεί η σκουριά σε διάμετρο 10mm. Ένα άλλο μειονέκτημα των μεταλλικών στοιχείων είναι πως με τον καιρό λόγω ερπυσμού χάνουν τις περισσότερες μηχανικές τους ιδιότητες με αποτέλεσμα να χρειάζονται αντικατάσταση. Επίσης τα μεταλλικά στοιχεία είναι αρκετά βαριά με αποτέλεσμα να δημιουργούν προβλήματα στην τοποθέτηση κυρίως σε σημεία που δεν είναι δυνατή η χρήση μηχανημάτων και η τοποθέτηση γίνεται με τη βοήθεια του εργατικού δυναμικού, ενώ είναι απαραίτητη η συνεχής πίεσή τους πάνω στην κατασκευή κατά τη διάρκεια της τοποθέτησής τους. Τέλος τα μεταλλικά στοιχεία διατίθενται σε περιορισμένα μεγέθη, κυρίως ως προς το μήκος τους που είναι μέχρι 10 μέτρα, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η ενίσχυση σε καταστρώματα γεφυρών με μεγάλα ανοίγματα (μεγαλύτερα των 10 μέτρων). [Meier-2&3]

- η ενίσχυση με ινοπλισμένα πολυμερή

Η τεχνική της ενίσχυσης υφιστάμενων κατασκευών με φύλλα ή λωρίδες ινοπλισμένων πολυμερών (F.R.P.) έχει αρχίσει να υπερισχύει της τεχνικής ενίσχυσης με μεταλλικά στοιχεία λόγω της συγκεντρωτικής μείωσης του κόστους από την απλότητα της μεθόδου, με κύρια πλεονεκτήματα των F.R.P. τα εξής:

1. δεν διαβρώνονται, με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται η αντικατάστασή τους
2. είναι εύκολα προς μεταφορά στην τοποθεσία της κατασκευής και μπορούν να ανυψωθούν πάνω στην κατασκευή με «ψαλιδωτό» γερανό-φορηγό ή παρόμοιο μηχάνημα χωρίς ακριβά ικρίωματα. Μπορούν να μεταφερθούν εύκολα με τα χέρια μέσα σε στενές κλειστές διαδοκίδες. Για παράδειγμα 1 κιλό από C. F.R.P. μπορεί να αντικαταστήσει τουλάχιστον 30 κιλά ατσάλινων δίσκων σε αντοχή.
3. δεν χρειάζεται να κρατιούνται διαρκώς σε πίεση πάνω στην κατασκευή κατά τη διάρκεια της επικόλλησης, γιατί ξεδιπλώνονται σαν «ταπετσαρία»
4. οι λωρίδες είναι διαθέσιμες σε συνεχή καρούλια, οπότε δεν είναι απαραίτητοι καθόλου σύνδεσμοι.
5. δεν χάνουν τις μηχανικές ιδιότητές τους με τον χρόνο
6. προκαλούν μηδενική όχληση στη λειτουργία της γέφυρας ούτε αλλοιώνουν την εξωτερική εμφάνιση της γέφυρας, οπότε δεν μεταβάλλονται το άνοιγμα και το ύψος της
7. απαιτούν λιγότερο χρόνο και κόπο να εγκατασταθούν
8. το συνολικό κόστος τους είναι χαμηλότερο άλλων μεθόδων όπως η εξωτερική ύστερη-προένταση [Meier-2&3]



ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ F.R.P.

Τα σύνθετα υλικά αποτελούνται από συνεχείς ίνες (συνήθως άνθρακα ή γυαλιού και σπανιότερα αραμιδίου) σε συνδυασμό με εποξειδική ρητίνη και διατίθενται σε μορφές σχετικά δύσκαμπτων λωρίδων (πάχους της τάξης του 1 χιλιοστού) κατά κανόνα με βάση τις ίνες άνθρακα ή εύκαμπτων υφασμάτων (πάχους της τάξης των 0.1 –0.8 χιλιοστών) με ίνες (παραδείγματος χάρη άνθρακα ή γυαλιού ή αραμιδίου) σε μια (συνήθως) ή περισσότερες διευθύνσεις.

Βασικά χαρακτηριστικά τους είναι η εξαιρετικά μεγάλη εφελκυστική αντοχή (σε συνδυασμό με μέτρο ελαστικότητας που μπορεί να είναι από 30-300 GPa ανάλογα με τις απαιτήσεις της μελέτης), το χαμηλό βάρος (περίπου ¼ του χάλυβα) και η ανθεκτικότητα σε διάρκεια. Η επιλογή του είδους , της μορφής και της διάταξης της ενίσχυσης με F.R.P. εξαρτάται από τις τεχνικές προδιαγραφές της μελέτης σε συνδυασμό με τις ιδιότητες των F.R.P. όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα : [*Τριανταφύλλου-7 & fib-1*]

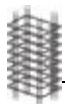
Πίνακας 1. Ποιοτική σύγκριση των ινών Γυαλιού, Αραμιδίου και Άνθρακα [*Meier-3*]

Κριτήριο	άνθρακας	αραμιδίο	Γυαλί
Εφελκυστική αντοχή	Πολύ καλή	Πολύ καλή	Πολύ καλή
Αντοχή σε σύνθλιψη	Πολύ καλή	ανεπαρκής	καλή
Μέτρο ελαστικότητας	Πολύ καλή	καλή	ικανοποιητική
Μακρόχρονη συμπεριφορά	Πολύ καλή	καλή	ικανοποιητική
Συμπεριφορά σε κόπωση	άριστη	καλή	ικανοποιητική
Πυκνότητα μάζας	καλή	ικανοποιητική	ικανοποιητική
Αντίσταση σε αλκαλικό περιβάλλον	Πολύ καλή	καλή	ανεπαρκής
τιμή	ικανοποιητική	ικανοποιητική	Πολύ καλή

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ ΜΕ F.R.P.

✓ Γέφυρα του Ibach (Ελβετία)

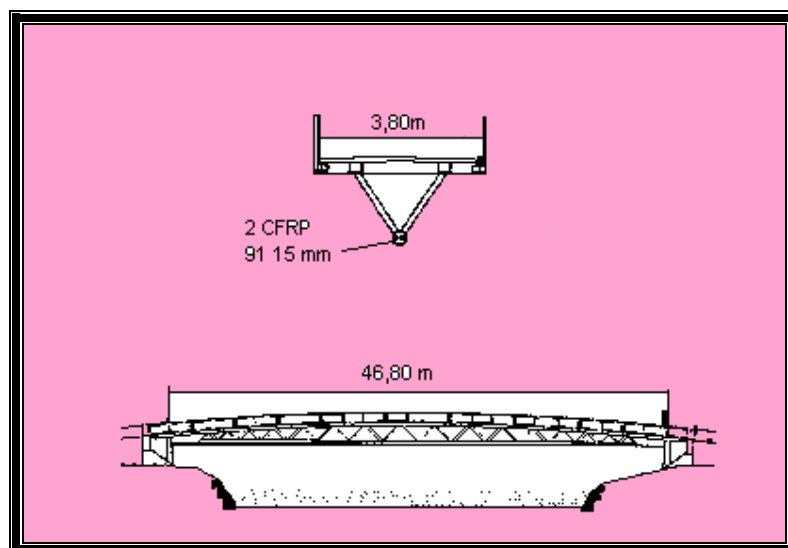
Αυτή η γέφυρα, βρίσκεται στο Καντόνι της Λουκέρνης, ολοκληρώθηκε στο 1969. Στο 1991, χρειαζόταν επισκευή. Η γέφυρα είχε σχεδιαστεί ως συνεχής κιβωτιοειδής δοκός πολλαπλών ανοιγμάτων με συνολικό μήκος 228 μ. Το βλαμμένο άνοιγμα της γέφυρας είχε μήκος 39 μ. Η κιβωτιοειδής διατομή είναι 16 μέτρα πλατειά , με έναν κεντρικό διαμήκη κορμό. Όταν εκτελέστηκαν τρύπες με πυρήνες για την εγκατάσταση νέων σηματοδοτών τροχαίας, βλάφτηκε απροσδόκητα ένας τένοντας ύστερης τάνυσης στον εξωτερικό κορμό και μάλιστα έσπασαν εντελώς αρκετά από τα καλώδιά του. Συνεπώς, απαγορεύτηκε προσωρινά από τις αρχές η διακίνηση μεγάλων φορτίων από τη γέφυρα μέχρι την ολοκλήρωση των εργασιών επισκευής. Επειδή το βλαμμένο άνοιγμα διασταυρώνεται με τον Ελβετικό Εθνικό Αυτοκινητόδρομο Α2, οι λωρίδες κυκλοφορίας στην κατεύθυνση της Λουκέρνης στον αυτοκινητόδρομο έπρεπε να κλείσουν κατά τη διάρκεια των εργασιών επισκευής. Για αυτό οι εργασίες μπορούσαν να γίνουν μόνο την νύχτα. Χρησιμοποιήθηκαν για την επισκευή ινοπλισμένα πολυμερή με ίνες άνθρακα (CFRP) τα οποία είναι σαράντα με πενήντα φορές πιο ακριβά ανά χιλιόγραμμο από τον χάλυβα που χρησιμοποιούσαν εκείνη την εποχή (Fe 360) για την ενίσχυση υφιστάμενων κατασκευών. Οι αναντίρρητες ιδιότητες των CFRP δικαιολογούν την υψηλή τιμή τους , αν υπολογιστεί ότι για την επισκευή της γέφυρας του Ibach 175 χγρ. Χάλυβα μπορούσαν να αντικατασταθούν από μόνο 6,2 χγρ



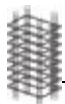
CFRP. Επιπλέον, όλες οι εργασίες μπορούσαν να εφαρμοστούν από μια κινητή πλατφόρμα, έτσι εξαλείφεται η ανάγκη για ακριβά κριώματα. Η γέφυρα επισκευάστηκε το 1991 με τρεις λωρίδες CFRP μήκους 5000 χιλιοστών. Οι ιδιότητες αυτών των λωρίδων δίνονται στον πίνακα 2, τύπος λωρίδων αρ. 3. Ένας έλεγχος φορτίου με όχημα 84 τόνων απέδειξε ότι η εργασία αποκατάστασης με λωρίδες CFRP ήταν μια ολοκληρωμένη επιτυχία. Οι ειδικοί που εργάστηκαν στην επισκευή της γέφυρας του Ibach ξαφνιάστηκαν ευχάριστα από την απλότητα της εφαρμογής των λωρίδων CFRP πάχους 2 χιλιοστών και πλάτους 150 χιλιοστών. Αυτή ήταν η πρώτη επισκευή γέφυρας στον κόσμο με εξωτερικά συναρμοσμένες λωρίδες CFRP. Από το 1991, αυτή η εφαρμογή έχει καρπωθεί επιτυχίες ξεπερνώντας όλες τις προσδοκίες. [Meier-3]

✓ Γέφυρα «Kleine Emme» (Ελβετία)

Αυτή η γέφυρα πεζών και ποδηλάτων πάνω από τον ποταμό «Kleine Emme» κοντά στην Λουκέρνη είχε μεταταχυθεί με 2 καλώδια CFRP τον Οκτώβρη του 1998. Η γέφυρα είναι 3.8μ πλατειά, 47 μ. μακριά και έχει σχεδιαστεί για το μέγιστο φορτίο οχημάτων έκτακτης ανάγκης. Η ανωδομή είναι ένα χωρικό δικτύωμα από χαλύβδινους σωλήνες σε σύνθετη δράση με το κατάστρωμα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Στη φλάντζα του κάτω άκρου, σωλήνα διαμέτρου 323 χιλιοστά, έγινε ύστερη τάνυση δύο καλωδίων CFRP μέσα στον σωλήνα. Κάθε καλώδιο κατασκευάστηκε από 91 «σύρματα» βιομηχανικά εμποτισμένων με ρητίνη διαμέτρου 5 χιλιοστών. Η δύναμη ύστερης τάνυσης του κάθε καλωδίου είναι 2.4 MN. Για αυτό, τα σύρματα CFRP είναι φορτισμένα με τάση υποστήριξης ίση με 1350 MPa. Κάθε καλώδιο είναι εφοδιασμένο με τρία σύρματα CFRP με ενσωματωμένους αισθητήρες οπτικών ινών τύπου Bragg grating, που ενσωματώνονται κατά την βιομηχανική κατασκευή των συρμάτων CFRP. Κατά τη φάση της ύστερης τάνυσης ήταν δυνατό να υπολογίζεται η δύναμη ύστερης τάνυσης συνέχεια από τα δεδομένα των συρμάτων με σταθμισμένους αισθητήρες. Η μηχανική παρακολούθηση συνεχίζεται από τότε μέχρι και σήμερα και δεν έχει παρατηρηθεί καμία χαλάρωση. [Meier-2]



Σχήμα 1. Η γέφυρα πάνω από τον ποταμό «Kleine Emme» κοντά στην Λουκέρνη είχε ύστερα ταχυθεί με δύο τένοντες CFRP. Η δύναμη ύστερης τάνυσης κάθε καλωδίου είναι 2.4 MN. Σε κάθε τένοντα υπάρχουν τρία καλώδια CFRP με ενσωματωμένους αισθητήρες τύπου Bragg grating. [Meier-2]



✓ Γέφυρα «Verdasio» (Ελβετία)

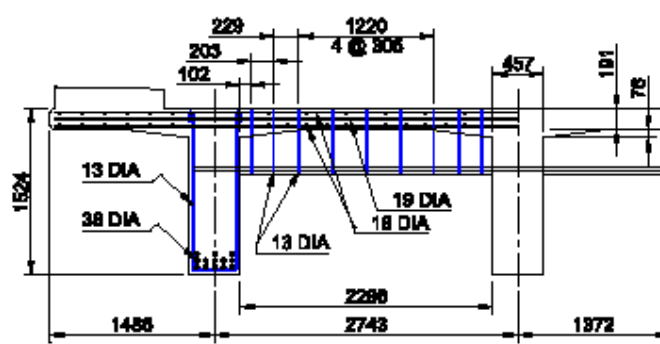
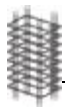
Η Γέφυρα «Verdasio» είναι μια γέφυρα δύο λωρίδων αυτοκινητοδρόμου και κατασκευάστηκε στη δεκαετία του εβδομήντα. Το μήκος της συνεχούς (σιδερένιας) δοκού δύο ανοιγμάτων είναι 69 μ. Ένα μακρύ εσωτερικό προεντεταμένο χαλύβδινο καλώδιο με θέση στον κορμό από σκυρόδεμα διαβρώθηκε ως αποτέλεσμα της χρήσης αλατιού για τον εμποδισμό του σχηματισμού πάγου. Αντικαταστάθηκε τον Δεκέμβριο του 1998 από τέσσερις εξωτερικούς τένοντες CFRP τοποθετημένοι σε πολυγωνικό σχέδιο στην εσωτερική επιφάνεια του προσβεβλημένου κορμού μέσα στο κιβώτιο. Κάθε καλώδιο φτιάχτηκε από 19 «σύρματα» βιομηχανικά εμποτισμένων με ρητίνη διαμέτρου 5 χιλιοστών. Και εδώ τα καλώδια είναι εφοδιασμένα με αισθητήρες για τη μέτρηση της δύναμης ύστερης τάνυσης. [Meier-2]

✓ Γέφυρα «Sainte-Émélie-de-l'Énergie» (Καναδάς)

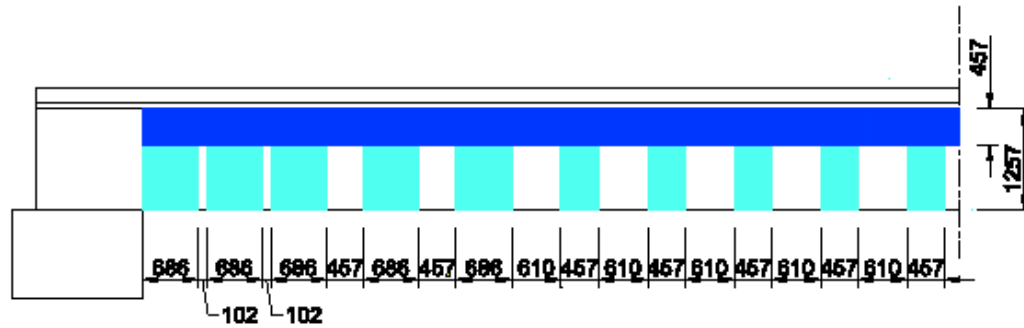
Το πανεπιστήμιο του Sherbrooke ανέλαβε ένα πειραματικό ερευνητικό έργο για την εκτίμηση της ανάγκης για ενίσχυση υφιστάμενων γεφυρών από οπλισμένο σκυρόδεμα από το Υπουργείο Μεταφορών του Québec. Αναγνωρίστηκε μια τυπική γέφυρα πάνω από τον ποταμό Noire κοντά στο χωριό του Sainte-Émélie-de-l'Énergie περίπου 130 χιλιόμετρα βορειοανατολικά του Montréal. Η γέφυρα αποτελείται από ένα άνοιγμα μήκους 21.3 μέτρων με τέσσερις παράλληλες δοκούς οπλισμένου σκυροδέματος και με διατομές σχήματος T συνολικού πλάτους της γέφυρας 11.1 μέτρων. Η γέφυρα κατασκευάστηκε αρχικά το 1951 για κυκλοφοριακό φορτίο σχεδιασμού 20 τόννων (H20). Αξιολόγηση της γέφυρας έδειξε ότι μια αύξηση στην καμπτική αντοχή κατά 35% και στην διατμητική αντοχή κατά 20% θα ήταν απαραίτητη για να ικανοποιούνται οι τωρινές συνθήκες φόρτισης και οι απαιτήσεις των κανονισμών, επειδή η γέφυρα θα έπρεπε να αντέχει βαριά φορτία που προκαλούνται από μεγάλα φορτηγά που μεταφέρουν ξυλεία. Η αύξηση στην καμπτική αντοχή αποκτήθηκε με συναρμογή ινοπλισμένων πολυμερών με ίνες άνθρακα (CFRP) στην κάτω επιφάνεια των δοκών με τις ίνες στην διαμήκη κατεύθυνση. Τοποθετήθηκαν εξωτερικοί αναβολείς σχήματος U στις εξωτερικές επιφάνειες των δοκών για να αυξηθεί η διατμητική αντοχή τους. Έγινε χρήση συμβατικών επιστημονικών οργάνων και ενσωματώθηκαν αισθητήρες οπτικών ινών στις εργασίες επισκευής για να εκτιμηθεί η συμπεριφορά της γέφυρας πριν και μετά την ενίσχυση. Οι εργασίες ενίσχυσης έγιναν το φθινόπωρο του 1998 και κράτησαν μόλις 21 εργάσιμες ημέρες. Επιπλέον έγιναν και πειραματικές δοκιμές μοντέλων των δοκών της γέφυρας σε κλίμακα 1:3 που έδωσαν καμπύλες τάσης-παραμόρφωσης με μεγάλες παραμορφώσεις πριν την θραύση, όπως είναι και η γενική αναμενόμενη συμπεριφορά των F.R.P. Έγιναν και δοκιμές στην πραγματική ενισχυμένη γέφυρα με τετραξονικό φορτηγό 33 τόννων που κρίθηκαν επιτυχείς. [Labossière e.t.c.-5]



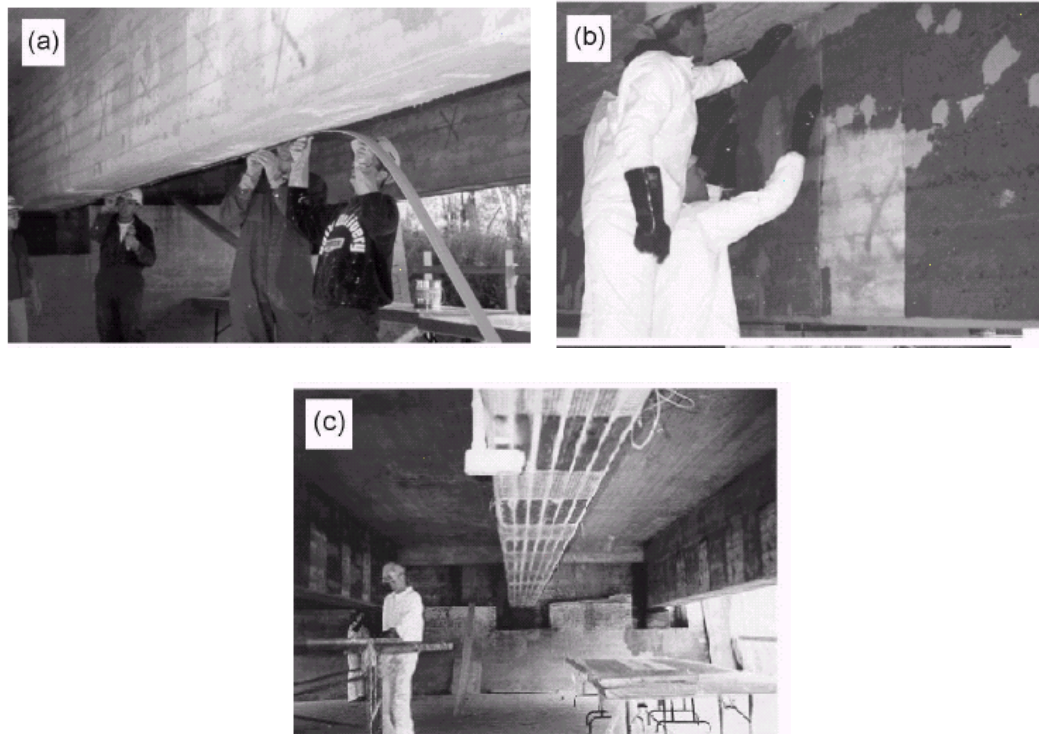
Σχήμα 2. Άποψη της Γέφυρας Sainte-Émélie-de-l'Énergie



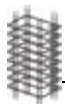
Σχήμα 3. Διατομή της Γέφυρας Sainte-Émélie-de-l' Énergie



Σχήμα 4. Ενίσχυση με F.R.P. Γέφυρας Sainte-Émélie-de-l' Énergie



Σχήμα 5. Διαδικασία της τοποθέτησης των F.R.P. Γέφυρας Sainte-Émélie-de-l' Énergie [Labossière e.t.c.-5]

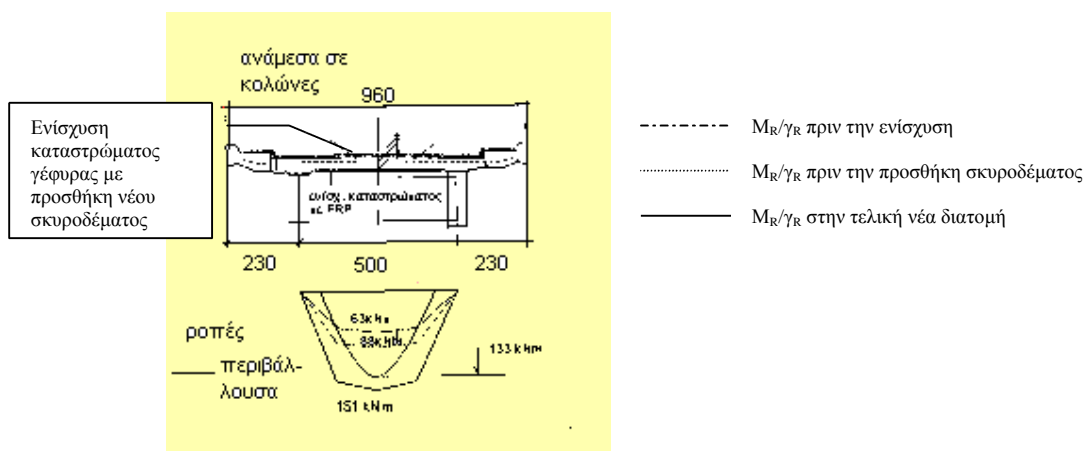


✓ Γέφυρα Oberriet (Ελβετίας)

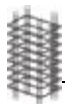
Η αποκατάσταση της γέφυρας Oberriet-Meiningen σχεδιάστηκε στα τέλη του 1996 .Η γέφυρα κατασκευάστηκε το 1963 ,εκτείνεται στα σύνορα Ελβετίας – Αυστρίας συνδέοντας το Oberriet με το Meiningen .Διασχίζει τον Ρήνο ποταμό με τρία ανοίγματα (35-45-35 μέτρα) ως συνεχής σύμμικτη δοκός . Λόγω της αυξημένης κίνησης χρειάστηκε ενίσχυση του καταστρώματος .Η προσθήκη συνολικά 640 μέτρων λωρίδων CFRP αποδείχθηκε ιδιαίτερα επιτυχής . Προσεκτική ερευνά έδειξε ότι εκτός από την συνηθισμένη συντήρηση το κατάστρωμα χρειαζόταν και εγκάρσια ενίσχυση . Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το κατάστρωμα σχεδιάστηκε το 1963 για τα τότε δεδομένα φορτία φορτηγών των 14 τόνων . Σήμερα τα καθορισμένα φορτία για γέφυρες αυτού του είδους είναι 28 τόνοι . Διάφορες λύσεις υπήρχαν για να εγγυηθούν την ασφάλεια της κατασκευής στο μέλλον για τον σημερινό όγκο κυκλοφορίας :

- Ø Αντικατάσταση ολόκληρου του καταστρώματος
- Ø Βελτιώνοντας τη διατομή δίνοντας επιπρόσθετο πάχος και / ή
- Ø Μετέπειτα αύξηση της αντοχής μέσω επιπρόσθετης ενίσχυσης στο υπάρχον κατάστρωμα

Επειδή το υπάρχον σκυρόδεμα ήταν σε καλή κατάσταση και η συγκέντρωση χλωρίου υπερέβαινε τις κρίσιμες τιμές μόνο 10mm εξωτερικά ,αποφασίστηκε να μην αντικατασταθεί το κατάστρωμα .Απλά η ένταση του καταστρώματος από το πρόσθετο σκυρόδεμα για την αύξηση της καμπτικής ικανότητας (μέσω αύξησης του βάρους του καταστρώματος) αποτελεί αφορμή για ανεπίτρεπτη διαμήκη ένταση για την ανωδομή .Η κόλληση της επιπλέον ενίσχυσης απομένει η μόνη λύση . Κατασκευαστικά η επιπλέον ενίσχυση με φύλλα και ταινίες σύνθετων υλικών ήταν η μόνη εναπομένουσα λύση , για να υπάρχει συνολικός τελικός συντελεστής ασφαλείας 1.2 μετά από αστοχία των φύλλων και των ταινιών .Το γεγονός ότι ο απαιτούμενος συντελεστής ενίσχυσης ήταν 2.15 σήμαινε ότι η τοπική περιοχή της πλάκας του καταστρώματος έπρεπε να αυξηθεί παραπάνω . Κολλώντας εγκάρσια CFRP ταινίες στη βάση της πλάκας και πρόσθετα 8cm σκυροδέματος στη κορυφή της πλάκας έκανε δυνατή την ικανοποίηση όλων των απαιτήσεων . Επίσης το νέο σκυρόδεμα επιτρέπει την αφαίρεση της πάνω στρώσης του σκυροδέματος με την αυξημένη περιεκτικότητα σε χλώριο με εκτόξευση νερού . Οι ταινίες CFRP είχαν πλάτος 80 mm και πάχος 1.2 mm (70 % κατά όγκο T700 ίνες ,δύναμη 3000 MPa) επιλέχθηκαν για την επιπλέον ενίσχυση . Σύνολο από 160 ταινίες 4 μέτρα μήκος η κάθε μια ήταν πλευρικά κολλημένες στο κατάστρωμα της γέφυρας κάθε 75 cm . [Meier-2]



Σχήμα 6. Διατομή της Γέφυρας του Oberriet με πλευρικές ενισχύσεις [Meier-2]

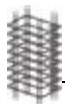


✓ Γέφυρα Furstenland (Ελβετία)

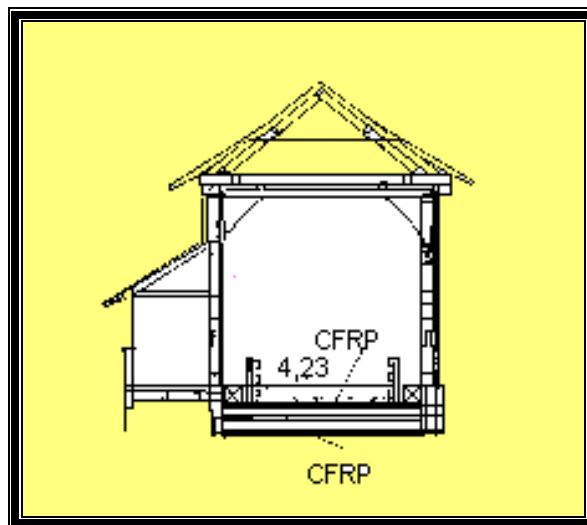
Αυτή η 60χρονη γέφυρα από οπλισμένο σκυρόδεμα με μορφή κιβωτιοειδούς δοκού στηρίζεται σε μια αψίδα και βρίσκεται κοντά στο St.Gallen .Η επιθεώρηση που έγινε αποκάλυψε υψηλή περιεκτικότητα χλωρίου στο σκυρόδεμα (λόγω της υγρασίας που δεν κατάφερε να βγει από την κιβωτιοειδή διατομή) και σημαντική διάβρωση στον οπλισμό σε κομμάτια της διατομής . Αν και άλλαξαν το κάτω πέλμα της διατομής η δύναμη αντίστασης της διατομής μειώθηκε . Τώρα ενισχύθηκε με ταινίες CFRP-όμοιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στη γέφυρα Oberriet . Δύο λωρίδες CFRP κολλήθηκαν στο κάτω μέρος των εσωτερικών τοίχων του πέλματος της διατομής . Αυτή η μέθοδος ενίσχυσης χρησιμοποιήθηκε κατά την κατασκευή για να δοθεί δυσκαμψία στα καταστρώματα χωρίς να σταματήσει η κυκλοφορία οχημάτων στη γέφυρα και για να αυξηθεί το επιτρεπόμενο φορτίο των φορτηγών από 28 σε 40 τόνους. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 8000 μέτρα λωρίδων CFRP . [Meier-2]

✓ Σκεπαστή γέφυρα κοντά στο Sins (Ελβετία)

Η σκεπαστή γέφυρα κοντά στο Sins της Ελβετίας κατασκευάστηκε το 1807 σχεδιασμένη από τον Josef Ritter από τη Lucerne .Η αρχική δομή του δυτικού τμήματος διασώζεται μέχρι σήμερα .Το ανατολικό τμήμα καταστράφηκε από έκρηξη για στρατηγικούς λόγους στις 10 Νοεμβρίου του 1847 κατά τη διάρκεια πολιτικού πολέμου .Το 1852 το κατεστραμμένο μισό της γέφυρας ανακατασκευάστηκε με τροποποιημένη κατασκευή στήριξης . Στο δυτικό τμήμα η κατασκευή στήριξης αποτελείται από τόξα ενισχυμένα με αναρτημένα και δικτυωτά μέλη . Στην ανατολική πλευρά η κατασκευή στήριξης κατασκευάστηκε από συνδυασμό αναρτημένων και δικτυωτών μελών με συμπλεκόμενα ανώφλια υπό τάση . Αρχικά η γέφυρα είχε σχεδιαστεί για άμαξες. Μέχρι τη δεκαετία του 30 επιτρέπονταν οχήματα με φορτίο 20 τόνους .Το 1992 η ξύλινη γέφυρα χρειαζόταν επείγοντως επισκευή .Αποφασίστηκε να αντικατασταθεί το παλιό ξύλινο πεζοδρόμιο με δυο ενωμένες ξύλινες σανίδες ,εγκάρσια προεντεταμένες , πάχους 20 cm . Οι πιο πολύ φορτισμένες εγκάρσιες δοκοί ενισχύθηκαν κυρίως από την EMPA με χρήση ταινιών CFRP . Κάθε μια από αυτές τις δοκούς κατασκευάστηκε από δυο συμπαγείς δοκούς βελανιδιάς η μια πάνω στην άλλη . Η διατομή της γέφυρας με τις ενισχυτικές ταινίες φαίνεται στο σχήμα .Για να αυξηθεί το βάθος μπλοκ ξύλου μήκαν μεταξύ των δοκών . Οι χαμηλότερες δοκοί είχαν πάχος 37 cm και πλάτος 30 cm ενώ οι άνω πάχος 30 cm και πλάτος 30 cm . Οι εγκάρσιες δοκοί ενισχύθηκαν ή με ταινίες CFRP πάχους 1 mm κατασκευασμένες από ίνες με υψηλό μέτρο M46J ή με ταινίες CFRP κατασκευασμένες από ίνες υψηλής αντοχής T700 .Οι ταινίες Toray M46J είχαν πλάτος στο πάνω πέλμα 250 mm ενώ στο κάτω 200 mm .Είναι ταινίες τύπου Νο5 και οι ιδιότητες του φαίνονται στο πίνακα 2.Εκείνες με ίνες υψηλής αντοχής Toray T700 είναι επίσης στο πίνακα 2,ταινίες τύπου Νο4 .Πριν κολληθούν οι ταινίες η επιφάνεια έγινε επίπεδη . Επιλεγμένες εγκάρσιες δοκοί εφοδιάστηκαν με μηχανήμα μέτρησης της έντασης ,το οποίο επιτρέπει μακροχρόνια παρακολούθηση .Μέχρι τώρα τα αποτελέσματα είναι πολύ ικανοποιητικά .Μετά την εφαρμογή των ταινιών CFRP ο έλεγχος βλαβών με θερμογράφηση ,για την ποιότητα ασφάλειας της κόλλησης ,αποδείχθηκε επιτυχής από την πρώτη στιγμή .Η ιστορική ξύλινη γέφυρα στο Sins είναι σημαντικής κατασκευής και από αισθητική αλλά και από τεχνική άποψης .Λόγω της ιστορικής της αξίας προστατεύεται σαν εθνικό μνημείο .Η τεχνική χρήσης CFRP ιδιαίτερα κατάλληλη για προεντεταμένες κατασκευές όπως αυτή , αφού οι λεπτές αλλά άκαμπτες και ισχυρές ταινίες είναι πολύ



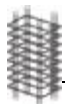
ανθεκτικές και επιπλέον δεν αλλάζουν το σχέδιο της κατασκευής. Από το 1992, οι ενισχυμένες με CFRP εγκάρσιες δοκοί, βοήθησαν στο να εξασφαλιστούν πρακτικές εμπειρίες κάτω από αρκετά υψηλά φορτία για την ανακατασκευή διατηρητέων ιστορικών γεφυρών. [Meier-3]



Σχήμα 7. Διατομή της καλυμμένης ξύλινης γέφυρας κοντά στο Sins /Ελβετία. Οι υψηλά φορτισμένες διαδοκίδες ενισχύθηκαν με λωρίδες CFRP. Η διαστασιολόγηση σε μέτρα [Meier-3]

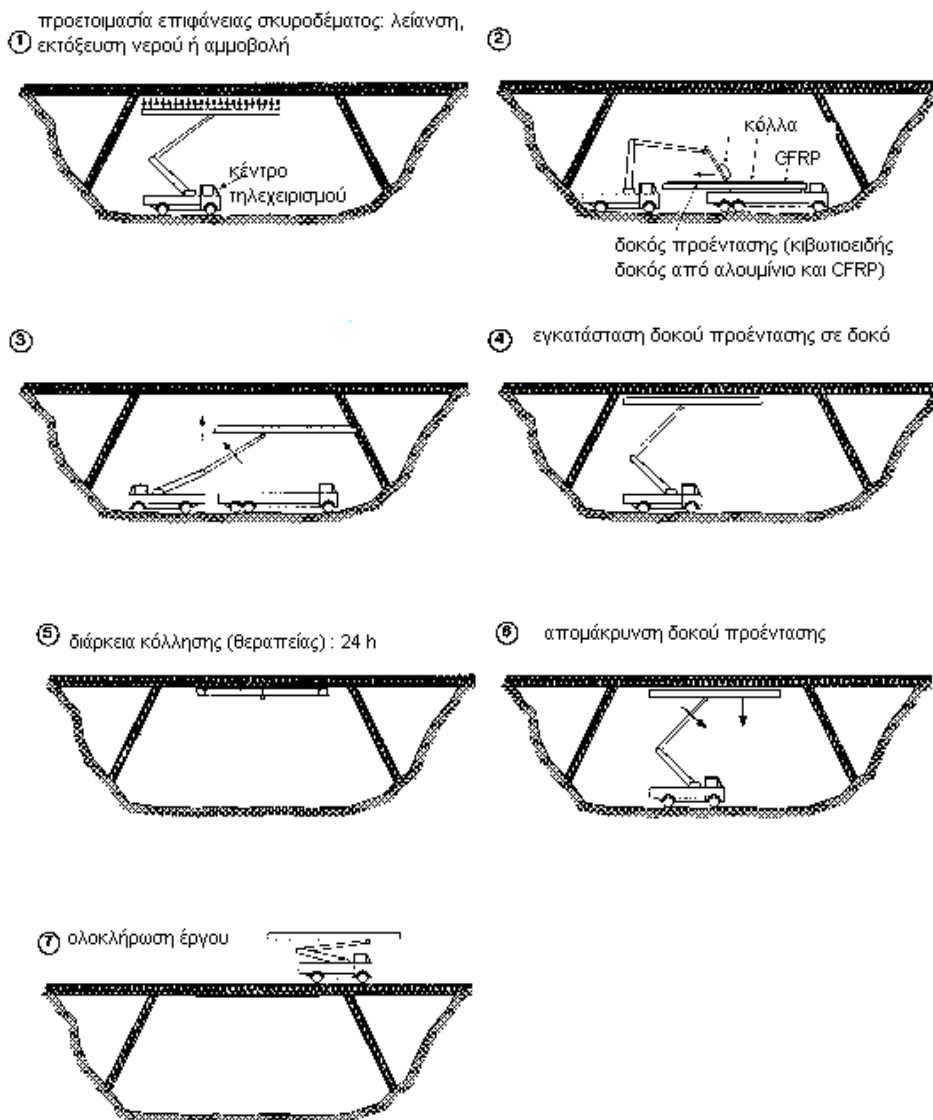
Πίνακας 2. Ιδιότητες των λωρίδων CFRP [Meier-2]

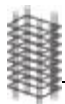
ιδιότητα	Αρ. λωρίδας				
	1	2	3	4	5
Τύπος ίνας	66% T300 34% γυαλί	Άνθρακας T300	Άνθρακας	Άνθρακας T700	Άνθρακας M46J
Ποσοστό ίνας κατ' όγκο	-	70	51	50	70
Διαμήκης αντοχή (MPa)	960	2000	1900	2100	2600
Μέτρο ελαστικότητας κατά την διεύθυνση των ινών	80	147,5	129	130	305
Παραμόρφωση θραύσης (%)	1,15	1,36	1,47	1,62	0,85
Πυκνότητα (g/cm ³)	-	1,58	1,46	-	-



Σχηματική διαδικασία τεχνικών αυτοματοποιημένης εγκατάστασης των FRP για ενίσχυση γεφυρών.

Για να υπάρχει σωστή λειτουργία των F.R.P. πρέπει να προηγηθεί σωστή εγκατάστασή τους και σωστή προετοιμασία της επιφάνειας εφαρμογής. Αρχικά γίνεται καθαρισμός της επιφάνειας εφαρμογής με απομάκρυνση των αδύναμων περιοχών και η λείανσή της με εκτόξευση νερού ή αμμοβολή, και στρογγύλεμα των γωνιών και μετά ακολουθεί η εφαρμογή της ρητίνης και μετά γίνεται η τοποθέτηση φύλλων ή λωρίδων (ή και καλωδίων ανάλογα με την περίπτωση) των F.R.P. [fib-6]. Σχηματικά αποδίδεται η όλη διαδικασία ως εξής:[Meier-3]





ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα προαναφερθέντα παραδείγματα ενίσχυσης γεφυρών με F.R.P. έχουν κριθεί επιτυχή με δεδομένη την συνεχή αποδοτική λειτουργία των ενισχυμένων γεφυρών στο χρόνο από την ενίσχυσή τους και αντιπροσωπεύουν μια γενικότερη τάση χρήσης των F.R.P. για ενίσχυση όχι μόνο γεφυρών αλλά και γενικών υπάρχουσων κατασκευών, όπως πυρηνικό εργοστάσιο στο Leibstadt, πολυώροφος χώρος στάθμευσης αυτοκινήτων στο Flims , υψηλές καμινάδες κ.λ.π. Στον Ελλαδικό χώρο αντιπροσωπευτική είναι η ενίσχυση του καταστρώματος της γέφυρας της Χαλκίδας με λωρίδες F.R.P. Αξίζει να σημειωθεί ότι αν και η ενίσχυση του καταστρώματος γεφυρών είναι η πιο συνηθισμένη , πραγματοποιούνται και ενισχύσεις στα βάθρα (συνήθως με τύλιγμα με φύλλα ή καλώδια από F.R.P.) και στα εφέδρανα γεφυρών (συνήθως με τύλιγμα με υφάσματα F.R.P.) ανάλογα με το εκάστοτε πρόβλημα και την μορφολογία της γέφυρας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. *fib* «Design and Use of Externally Bonded FRP Reinforcement (FRP EBR) for Reinforced Concrete Structures»
2. Meier Urs «Composite Materials in Bridge Repair» (Applied Composite Materials 7: 75-94,2000 –2000 Kluwer Academic Publishers)
3. Meier Urs «Strengthening of structures using carbon fibre/epoxy composites» (Construction and Building Materials 1995, vol.9 Number 6)
4. Nitani K. , Yoshioka T., Abe H. & Gossila U. (FRPRCS-5, Thomas Telford, London 2001)
5. Labossière P., Neale K.W., Rochette P. , Demers M., Lamothe P., Lapierre P., & Desgagné G. « Fibre reinforced polymer strengthening of the Sainte-Émélie-de-l'Énergie» Canadian Journal of Civil Engineering 27:916-927 (2000)
6. Τριανταφύλλου Χ. Αθ. «Προηγμένες Τεχνολογίες Υλικών & Κατασκευών»

(Τα κείμενα της βιβλιογραφίας που αντιστοιχούν σε κάθε παράγραφο της παρούσας εργασίας έχουν αριθμηθεί μέσα στην εργασία με το όνομα του συγγραφέα και δίπλα τον αύξοντα αριθμό της βιβλιογραφικής αναφοράς)

