

ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΓΕΦΥΡΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

ΜΑΖΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ – ΒΡΟΥΒΑ ΑΝΤΙΓΟΝΗ

Περίληψη

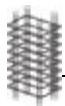
Στην παρούσα εργασία γίνεται μια απόπειρα να περιγραφούν ορισμένες από τις χρησιμοποιούμενες τεχνικές επισκευής και ενίσχυσης γεφυρών με ινοπλισμένα πολυμερή. Πραγματοποιείται προσπάθεια προσέγγισης των βασικών τεχνολογιών και των σημαντικότερων χαρακτηριστικών των , σχετικά νέων , σύνθετων υλικών. Αναφέρονται τρόποι ενίσχυσης και επισκευής σε επιμέρους στοιχεία γεφυρών με FRP και τονίζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τέτοιων επεμβάσεων. Στα πλαίσια της τεκμηρίωσης των θεωρητικών δεδομένων , παρατίθενται , ενδεικτικά , και πειραματικά αποτελέσματα , αντιπροσωπευτικών του είδους τους , εργασιών .

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τη βιβλιογραφική έρευνα που πραγματοποιήθηκε , με σκοπό την εκπόνηση της παρούσας εργασίας , διαπιστώθηκε ότι ένα μείζον πρόβλημα , που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι μηχανικοί της εποχής μας , είναι η αποκατάσταση γεφυρών που κατασκευάστηκαν πριν από τους νέους κανονισμούς και δεν είναι συμμορφωμένες με τα σύγχρονα επιστημονικά δεδομένα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η τεχνολογία και εφαρμογή των ινοπλισμένων πολυμερών. Η ευκολία της χρήσης τους , αλλά και η εμπειρία που αποκτήθηκε για αυτά τα τελευταία 15 χρόνια στον τομέα των πολιτικών μηχανικών , τα φέρνουν πρώτα σε προτίμηση για την ενίσχυση μεγάλων και ευπαθών κατασκευών , όπως είναι οι γέφυρες. Πρωτίστως κρίνεται απαραίτητο να γίνει αναφορά στα σύνθετα αυτά υλικά και τις ιδιότητες τους και στη συνέχεια να περιγραφούν και να αξιολογηθούν συγκεκριμένες εφαρμογές τους.

2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ [1] , [2]

Η χρήση των σύνθετων υλικών , που καλούνται ινοπλισμένα πολυμερή (FRP) , χρονολογείται περίπου από το 1930. Βρήκαν εφαρμογή στην αυτοκινητοβιομηχανία , στην κατασκευή ειδών ψυχαγωγίας και στη ναυπηγική. Η βιομηχανία αμυντικού εξοπλισμού , πρώτη , ανέπτυξε , στην σημερινή της έκταση , την τεχνολογία αυτών των υλικών κατασκευάζοντας αεροπλάνα Stealth , γεγονός που υπήρξε αφορμή και για τους πολιτικούς μηχανικούς να αποκτήσουν εμπιστοσύνη και εμπειρία στην εφαρμογή των FRP's σε δικές τους κατασκευές. Η τεχνογνωσία , πλέον , έχει αγγίξει τέτοιο επίπεδο , ώστε εκατοντάδες γέφυρες παγκοσμίως να έχουν , ήδη , ενισχυθεί με ινοπλισμένα πολυμερή. Μάλιστα , αυτήν τη στιγμή είμαστε στην πλεονεκτική θέση να έχουμε αρκετά στοιχεία , από τις ήδη ενισχυμένες αυτές κατασκευές , οι οποίες έχουν δοκιμαστεί από σεισμικές δράσεις και υποστεί τις περιβαλλοντικές συνθήκες για ικανό χρονικό διάστημα , ώστε να εξάγουμε με σχετική ασφάλεια πολύτιμα συμπεράσματα όσον αφορά στην αποτελεσματικότητα των πραγματοποιούμενων επεμβάσεων και στην αξιοπιστία τους. Ο νέος προσανατολισμός των μηχανικών είναι η κατασκευή έργων εξολοκλήρου από ινοπλισμένα πολυμερή εξαιτίας των ιδιοτήτων τους , οι οποίες φαίνεται να πλεονεκτούν σε σχέση με τα λοιπά χρησιμοποιούμενα παραδοσιακά υλικά.



Τα ινοπλισμένα πολυμερή αποτελούνται από ίνες γυαλιού , αραμιδίου ή άνθρακα σε μήτρα από πολυμερές. Το πολυμερές μπορεί να είναι εποξειδική ρητίνη , πολυεστέρας , βινυλεστέρας κ.α.. Συναντώνται σε μορφή ελασμάτων ή υφασμάτων. Στη μορφή των υφασμάτων , οι ίνες αυτές βρίσκονται σε μία χαλαρή συγκράτηση μεταξύ τους , διατρέχοντας μία , δύο ή και περισσότερες κατευθύνσεις. Στην περίπτωση του ελάσματος οι ίνες εμποτίζονται σε ρητίνη και περνώντας από ένα ειδικό έλαστρο παράγεται το τελικό προϊόν.

Οι ίνες συντελούν στην αύξηση της ακαμψίας και της εφελκυστικής αντοχής, οι ρητίνες με τη σκλήρυνσή τους δίνουν στο υλικό την τελική μορφή του και δένουν τις ίνες μεταξύ τους. Επίσης, στην κατασκευή των FRP χρησιμοποιούνται κάποια πρόσθετα (calcium carbonate , kaolin , alumina trihydrate) , τα οποία βελτιώνουν τις μηχανικές και φυσικές ιδιότητες και την εργασιμότητά τους. Άλλα πρόσμεικτα αυξάνουν ανθεκτικότητα σε φωτιά και χημικές ουσίες, άλλα αυξάνουν την αντοχή και άλλα επιδρούν στη συρρίκνωση , στη χαλάρωση και τον ερπυσμό.

Οι ίνες είναι το πιο σημαντικό συστατικό των σύνθετων υλικών και αποτελούν το 30 – 40% του όγκου του υλικού. Οι ίνες γυαλιού χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: E , S , C. Η πρώτη είναι και η περισσότερο κοινή σε χρήση σε εφαρμογές πολιτικού μηχανικού , ενώ η C χρησιμοποιείται σε περίπτωση που υπάρχουν προβλήματα σε διάβρωση. Η αντοχή και η ελαστικότητα των ινών γυαλιού μπορεί να εξασθενίσουν με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Οι ιδιότητες των ινών αυτών δίνονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1.

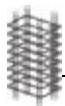
Χαρακτηριστικές ιδιότητες	E- GLASS	S-GLASS
Πυκνότητα (gr/cm ³)	2,60	2,50
Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	72	87
Εφελκυστική αντοχή (GPa)	1,72	2,53
Παραμόρφωση θραύσης	2,4%	2,9%

Οι ίνες αραμιδίου έχουν εξαιρετική ανθεκτικότητα σε χαλάρωση και ερπυσμό. Οι περισσότερο γνωστές και χρησιμοποιούμενες είναι οι kevlar 29 και kevlar 49. Αντίθετα με τις ίνες γυαλιού είναι ανισότροπα υλικά. Οι ιδιότητες αυτών δίνονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2.

Χαρακτηριστικές ιδιότητες	KEVLAR 29	KEVLAR 49
Πυκνότητα (gr/cm ³)	1,44	1,44
Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	83-100	124
Εφελκυστική αντοχή (GPa)	2,27	2,27
Παραμόρφωση θραύσης	2,8%	1,8%

Τέλος οι ίνες άνθρακα έχουν μικρότερο συντελεστή θερμικής διαστολής από τις άλλες δύο , είναι και αυτές ανισότροπα υλικά και έχουν επίσης ανθεκτικότητα σε χαλάρωση και ερπυσμό. Οι ίνες άνθρακα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες και οι ιδιότητές τους δίνονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακα 3).



Πίνακας 3.

Χαρακτηριστικές ιδιότητες	HIGH STRENGTH	HIGH MODULUS	ULTRA HIGH MODULUS
Πυκνότητα (gr/cm ³)	1,8	1,9	2,0-2,1
Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	230	370	520-620
Εφελκυστική αντοχή (GPa)	2,48	1,79	1,03-1,31
Παραμόρφωση θραύσης	1,1%	0,5%	0,2%

Οι ρητίνες είναι ακόμα ένα σημαντικό συστατικό των σύνθετων υλικών. Υπάρχουν δύο είδη ρητινών : οι θερμοπλαστικές και οι θερμοσκληρυνόμενες. Επειδή οι ιδιότητες των θερμοπλαστικών δεν παραμένουν σταθερές με την αύξηση της θερμοκρασίας η χρήση τους είναι πολύ περιορισμένη, αντίθετα, οι θερμοσκληρυνόμενες είναι αυτές που χρησιμοποιούνται , ακριβώς επειδή η πήξη τους δεν επηρεάζεται από τη θερμοκρασία. Οι πιο κοινές προς χρήση ρητίνες είναι : ακόρεστοι πολυεστέρες , εποξειδικές ρητίνες και βινυλεστέρες. Τα υλικά αυτά έχουν πυκνότητα 1000-1500 kg/m³ , μέτρο ελαστικότητας 2-6 MPa εφελκυστική αντοχή 100-250 MPa και παραμόρφωση θραύσης 1-6%.

Τελικά με τη σύνθεση των πολυμερών και των ινών το προϊόν που παράγεται έχει πολύ καλύτερη μηχανική συμπεριφορά από τα αρχικά υλικά από τα οποία προήλθε. Πειραματικές μελέτες απέδειξαν την άριστη ανθεκτικότητά τέτοιων σύνθετων συστημάτων σε περιβαλλοντικές και χημικές δράσεις.[3]

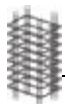
Οι μηχανικές ιδιότητες των ινοπλισμένων πολυμερών εξαρτώνται από ποικίλες παραμέτρους όπως: ο τύπος των ινών , ο προσανατολισμός τους , η δομή τους , η σύνθεση της ρητίνης , τα πρόσμεικτα και ο τρόπος εφαρμογής του προϊόντος. Τα υλικά αυτά είναι ανισότροπα με την αντοχή τους να εξαρτάται από την κατεύθυνση στην οποία την εξετάζουμε. Τα διαγράμματα τάσης παραμόρφωσης μας δείχνουν μια γραμμική συμπεριφορά , μέχρι το σημείο θραύσης τους. Εξαιτίας κυρίως των υλικών που χρησιμοποιούνται τα ινοπλισμένα πολυμερή συμπεριφέρονται βισκοελαστικά και έτσι αναμένεται υπό σταθερή φόρτιση να έχουν ερπυσμό και χαλάρωση. Παρόλα' αυτά , όμως, μπορεί να γίνει τέτοια σύνθεση , ώστε η χαλάρωση και ο ερπυσμός όχι μόνο να ελαττωθούν σημαντικά , αλλά και να εξαλειφθούν.

Συμπερασματικά , στις άριστες ιδιότητες των FRP συγκαταλέγονται η υψηλή αντοχή , η ακαμψία , η ανθεκτικότητα σε κόπωση , διάβρωση και χημικές ουσίες. Άλλα πλεονεκτήματα των υλικών αυτών είναι η ευκολία στην κατασκευή τους και εφαρμογής τους, αλλά και η αυξημένη διάρκεια ζωής τους . Επίσης έχουν άριστη αναλογία αντοχής και ίδιου βάρους. Ιδιαίτερη προσοχή , όσον αφορά στη χρήση των υλικών αυτών , χρειάζεται να δοθεί καθώς η σωστή εφαρμογή τους και η κατάλληλη τοποθέτησή τους είναι δύο από τους σημαντικότερους παράγοντες για την αποτελεσματική λειτουργία τους. Κάτι ακόμη που θα απασχολήσει τον πολιτικό μηχανικό , είναι το αυξημένο κόστος των υλικών αυτών άλλα και η ελλιπής βιβλιογραφία που υπάρχει σχετικά με την εφαρμογή των FRP στην ενίσχυση γεφυρών.

3. ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΓΕΦΥΡΩΝ

3.1. Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΗΣ ΜΕΤΑΣΚΕΥΗΣ [4]

Υπάρχουν δύο βασικές αποφάσεις που χρειάζεται να ληφθούν στην αρχή μιας μελέτης για την ενίσχυση μιας γέφυρας. Η πρώτη σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά της γέφυρας και έγκειται στον αν ο υπολογιζόμενος κίνδυνος ζημιάς η αστοχίας δικαιολογεί την επέμβαση.



Αυτή η απόφαση είναι σχετική, βασιζόμενη στην σύγκριση με άλλες γέφυρες που χρειάζονται μετασκευή και στους διαθέσιμους οικονομικούς πόρους. Ύστερα από μια καταφατική απόφαση για την επισκευή η δεύτερη απόφαση θα είναι το επίπεδο στο οποίο η γέφυρα θα μετασκευαστεί. Ιδανικά ,η απόφαση αυτή, θα στηριχτεί σε ανάλυση κόστους-ωφελειών. Βέβαια μια τέτοια ανάλυση αν και στατιστικά ορθή μπορεί να παραβλέπει την σημαντικότητα της μη κατάρρευσης μιας επισκευασμένης κατασκευής , παράμετρος πρωτεύουσας σημασίας για τον μηχανικό , η οποία δικαιολογεί την υιοθέτηση υψηλότερου συντελεστή ασφάλειας σε μια επισκευασμένη γέφυρα από αυτόν μια καινούργιας.

3.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΣΚΕΥΗΣ

Ανάλογα με την κατασκευή που εξετάζεται , αλλά και με τους σκοπούς που αυτή εξυπηρετεί, καθορίζεται η επέμβαση που θα της εφαρμοστεί. Συνήθως τα προβλήματα που αντιμετωπίζει μια κατασκευή που μελετάται για επισκευή είναι αλληλοσυνδεδεμένα και δεν είναι δυνατόν να ιδωθούν αποσπασματικά. Για παράδειγμα ένα βάθρο γέφυρας , το οποίο είναι κρίσιμο σε διάτμηση και έχει ενισχυθεί στην κρίσιμη περιοχή του, έστω με μανδύα από ινοπλισμένα πολυμερή αναμένεται να αναπτύξει καμπτικές πλαστικές περιοχές στα άκρα του, τα οποία στη συνέχεια πρέπει να επανασχεδιαστούν και να ενισχυθούν για τα επιθυμητά επίπεδα εγκιβωτισμού. Πάραυτα είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί μια πολύ γενική και συνοπτική κατηγοριοποίηση.[5]

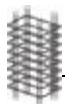
Ένα σύννηθες πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι υπάρχουσες γέφυρες είναι ότι κατά την αρχική τους μελέτη δεν είχε προβλεφθεί ως αναμενόμενος κυκλοφοριακός φόρτος αυτός που σήμερα καλούνται να αναλάβουν , με αποτέλεσμα να είναι ανεπαρκείς. Επίσης σε σεισμογενείς περιοχές είναι απαραίτητο να γίνει συμμόρφωση των υφιστάμενων κατασκευών σύμφωνα με τους νέους κανονισμούς, καθώς κρίνονται ευάλωτες σε σεισμικές δράσεις από την πρόσφατα αποκτηθείσα εμπειρία. Επιπλέον πολλές είναι εκείνες οι γέφυρες , οι οποίες έχουν υποστεί ζημιές λόγω σεισμών με αποτέλεσμα η ενίσχυσή τους να θεωρείται απαραίτητη.

Επιπρόσθετα , η διάβρωση και η κόπωση των γεφυρών δημιουργούν πολλά προβλήματα λειτουργικότητας. Τα FRP έχουν εξαιρετική ανθεκτικότητα σε χημικές ουσίες και σε δριμείες καιρικές συνθήκες , σημαντική αντοχή σε κόπωση και μεγάλη διάρκεια ζωής. Για το λόγο αυτό η ενίσχυση με τα σύνθετα αυτά υλικά έχει αποδειχθεί ικανοποιητική για την αναίρεση των δύο αυτών αρνητικών παραμέτρων και την αποκατάσταση της κατασκευής.

Πάντως , αν και φαίνεται ότι η ενίσχυση με FRP αποτελεί λύση οποιουδήποτε προβλήματος , το κόστος τους και η πολυπλοκότητα της μελέτης ενίσχυσης ενδέχεται να καθιστούν απαγορευτική την χρήση τους και να ενδείκνυται δημιουργία εξολοκλήρου νέας κατασκευής. Στη περίπτωση αυτή , ο μόνος λόγος να προτιμηθεί η ενίσχυση είναι η ιστορικότητα της κατασκευής , η οποία επιβάλλει την διατήρησή της. [4]

3.3. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ

Ανάλογα με τη βλάβη ή ανεπάρκεια που παρουσιάζει μία γέφυρα επιλέγονται τα στοιχεία που χρειάζονται επισκευή ή ενίσχυση και ο τρόπος που αυτή θα πραγματοποιηθεί.. Τα στοιχεία αυτά είναι τα πέδιλα, τα βάθρα , οι δοκοί και το κατάστρωμα. Παρόλο που έχουν διαχωριστεί οι τεχνικές ενίσχυσης τους είναι απαραίτητο η γέφυρα κατά την μετασκευή της να αντιμετωπίζεται ως ένας ενιαίος φορέας. Διαφορετικά ενδέχεται να δημιουργηθούν προβλήματα υπεραντοχής μελών και να οδηγηθεί η κατασκευή συνολικά σε μη επιθυμητό τρόπο αστοχίας.



3.3.1. ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΒΑΘΡΩΝ

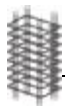
Η επισκευή και ενίσχυση των βάθρων γεφυρών κατασκευασμένων από οπλισμένο σκυρόδεμα συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για δύο κυρίως λόγους. Καταρχήν τα βάθρα είναι τα τρατότερα σημεία της γέφυρας σε σεισμική δράση, δεδομένου ότι παραλαμβάνουν τις σεισμικά φορτία, διαθέτουν ανεπαρκή διατμητικό οπλισμό και συγκεντρώνουν κατασκευαστικές ατέλειες, όπως είναι οι περιοχές των ματίσεων των ράβδων του διαμήκους οπλισμού τους. Επιπλέον, η επέμβαση σε αυτά είναι ευκολότερη επειδή συνήθως είναι περιμετρικά προσβάσιμα και μπορεί να εκταθεί σε όλη την επιφάνεια του στοιχείου. Συνήθως δεν παρατηρείται ελλιπής αξονική αντοχή αυτών των στοιχείων και η βιβλιογραφία επικεντρώνεται στην επισκευή και ενίσχυση τους υπό δυναμική φόρτιση.

Τρεις είναι οι διαφορετικοί τύποι αστοχίας των βάθρων οπλισμένου σκυροδέματος που παρατηρούνται όταν αυτά υπόκεινται σε σεισμική καταπόνηση. Ο πρώτος και κρίσιμότερος είναι η διατμητική αστοχία, κατά την οποία οι διαγώνιες ρωγμές, η αποκόλληση της επικάλυψης και το άνοιγμα του διατμητικού οπλισμού μπορούν να οδηγήσουν σε ψαθυρή ή ακόμη και εκρηκτική αστοχία. Ο δεύτερος τρόπος αστοχίας αποτελείται από αστοχία λόγω συμπίεσης της πλαστικής άρθρωσης, όπου ως συνέπεια των καμπτικών ρωγμών και της σύνθλιψης της επικάλυψης των ράβδων, διαρρέει ο διαμήκης οπλισμός ή λόγω θλίψης του πυρήνα εκκινείται πλαστικοποίηση της κρίσιμης περιοχής. Αυτός ο τρόπος αστοχίας είναι λιγότερο καταστρεπτικός και εξαιτίας των μεγάλων ανελαστικών καμπτικών παραμορφώσεων είναι περισσότερο επιθυμητός από την ψαθυρή διατμητική αστοχία ολόκληρου του βάθρου. Ο τελευταίος τρόπος αστοχίας σχετίζεται με τη συνηθισμένη πρακτική να υπάρχουν ματίσεις στον διαμήκη οπλισμό του βάθρου και του υποκειμένου θεμελίου, δηλαδή στην κρίσιμη περιοχή του βάθρου και παρατηρείται απόσχιση του οπλισμού, γεγονός που εμποδίζει την ανάπτυξη και διατήρηση της καμπτικής αντοχής του βάθρου.

Η τεχνική της χρήσης μεταλλικών μανδύων που χρησιμοποιούνταν στο παρελθόν κατά κόρον για την επισκευή και ενίσχυση των υποστυλωμάτων των γεφυρών από οπλισμένο σκυρόδεμα, τείνει στις μέρες να αντικατασταθεί από αυτή των μανδύων ινοπλισμένων πολυμερών, εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που ανακύπτουν από αυτή. Σε σύγκριση με το χάλυβα τα ινοπλισμένα πολυμερή διαθέτουν αναμφίβολα μεγαλύτερη τιμή εφελκυστικής αντοχής, και σαφώς καλύτερη συμπεριφορά υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση, εξαιτίας της γραμμικής ελαστικής απόκρισής τους, ενώ παράλληλα η αυξημένη ανθεκτικότητά τους σε διάβρωση τα καθιστά λιγότερο επισφαλή. [5]

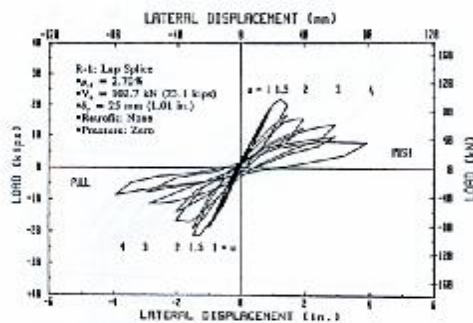
Με τη χρήση μανδύων ινοπλισμένων πολυμερών προσδίδεται σε ένα βάθρο αυξημένος εγκιβωτισμός με αποτέλεσμα δυνατότητα μεγαλύτερων καμπτικών παραμορφώσεων και ενίσχυση της καμπτικής και διατμητικής αντοχής του. Όταν οι μανδύες αυτοί είναι και προεντεταμένοι αναιρούν την ανεπάρκεια των περιοχών με προβλήματα μάτισης και ελέγχεται αποτελεσματικά το φαινόμενο απόσχισης των ράβδων του διαμήκους οπλισμού, που προκαλεί πρόωρη αστοχία του στοιχείου. [6]

Εξαιτίας της στατικής λειτουργίας των βάθρων αναμένεται συγκέντρωση των ανελαστικών παραμορφώσεων στις κρίσιμες περιοχές τους, όπου και πάσχουν. Για τον παραπάνω λόγο στη βιβλιογραφία παρατηρείται πλειάδα εργασιών που ως αντικείμενο μελέτης τους έχουν την εξακρίβωση της αποτελεσματικότητας της ενίσχυσης των περιοχών αυτών με FRP. Οι διατομές των βάθρων μπορεί να είναι ορθογωνικές, κυκλικές ή και ελλειπτικές, έτσι τα πειραματικά δεδομένα μπορούν να διαχωριστούν στις τρεις αυτές κατηγορίες. Πολύ νωρίς διαπιστώθηκε ότι η ενίσχυση σε κυκλικές διατομές ήταν αποτελεσματικότερη από εκείνη που εφαρμόστηκε σε ορθογωνικές. Για το λόγο αυτό υιοθετήθηκε αρχικά η ενίσχυση των ορθογωνικών βάθρων με μανδύες ελλειπτικών

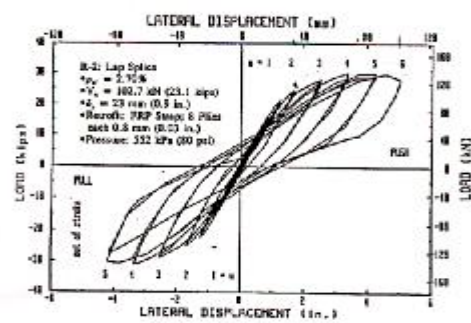


διατομών. Η επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων απέδειξε ότι οι μανδύες ορθογωνικής διατομής παρέχουν μικρότερο εγκιβωτισμό στα μεσοπλευρικά διαστήματα του πυρήνα του στοιχείου και ταυτόχρονα προκαλείται συγκέντρωση τάσεων στις γωνίες τους. Ως συνέπεια η καμπτική αντοχή δεν αξιοποιείται σε ικανοποιητικό βαθμό, παρόλο που η διαμητική αντοχή αυξάνεται σε επιθυμητά επίπεδα. Οι πλέον πρόσφατες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν με θέμα την αποτελεσματικότητα εφαρμογής μανδύων ορθογωνικής διατομής σε αντιπαράθεση με αυτήν μανδύων ελλειπτικής διατομής τεκμηριώνουν την παρόμοια δυνατότητα αύξησης τόσο της ενδοτικότητας, όσο και της μέγιστης παραλαμβανόμενης τέμνουσας. Καθίσταται πλέον εφικτή η επέμβαση στο υπό μετασκευή στοιχείο με μικρή σχετικά αλλαγή των διαστάσεων του και ελάχιστη αισθητική επέμβαση σε αυτό, αφού ο μανδύας συμμορφώνεται σε κάθε περίπτωση με την αρχική μορφή του.

Κρίνεται σκόπιμο στο σημείο αυτό να παρατεθούν πειραματικά αποτελέσματα εργασιών που επιβεβαιώνουν τα θεωρητικά δεδομένα. Τα διαγράμματα που παρουσιάζονται παρακάτω αποκτήθηκαν στα πλαίσια μιας εργασίας για την αποτελεσματικότητα των ενισχύσεων με χρήση μανδύων ινοπλισμένων πολυμερών σε ορθογωνικά υποστυλώματα.[7] Κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων κατασκευάστηκαν πέντε δοκίμια με πρακτικές που χρησιμοποιούνταν πριν την υιοθέτηση των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών σε κλίμακα 1:5. Δύο από τα δοκίμια αυτά κατασκευάστηκαν όμοια με ματίσεις του διαμήκουσ οπλισμού στην κρίσιμη περιοχή ένα εκ των οποίων ενισχύθηκε με μανδύα από ινοπλισμένα πολυμερή ορθογωνικής διατομής. Στα δοκίμια αυτά εφαρμόστηκε ανακυκλιζόμενη φόρτιση και προέκυψαν τα δύο διαγράμματα τάσεων παραμορφώσεων που παρουσιάζονται παρακάτω.



Διάγραμμα 1

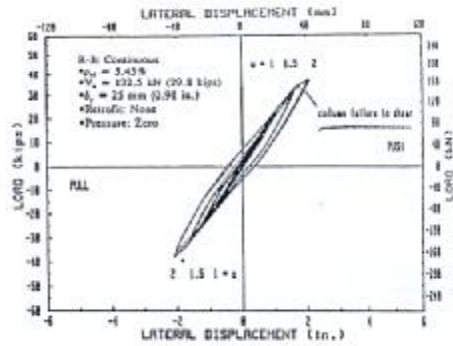
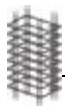


Διάγραμμα 2

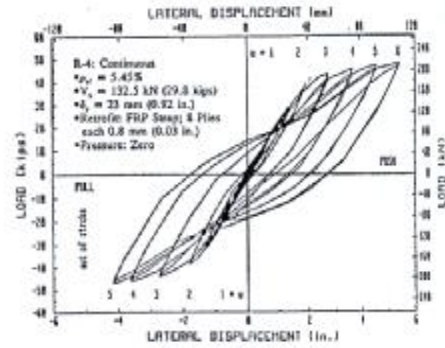
Το διάγραμμα 1 αντιστοιχεί στο μη ενισχυμένο στοιχείο, ενώ το διάγραμμα 2 στο ενισχυμένο.

Από τη σύγκριση των διαγραμμάτων 1 και 2 μπορούμε να διακρίνουμε ότι η ενίσχυση συντέλεσε αποφασιστικά στην αύξηση της ενδοτικότητας (ο δείκτης συμπεριφοράς έφτασε το 5), στην αποφυγή πρώιμης αστοχίας, στην ικανότητα παραμόρφωσης και παραλαβής οριζόντιας δύναμης. Σημειώνεται ότι το δοκίμιο αστοχεί στην περιοχή του ματίσματος πρώιμα και δεν καταφέρνει να αναπτύξει πλήρως την αντοχή του.

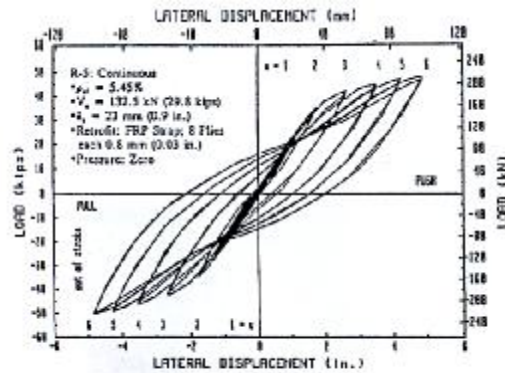
Τα υπόλοιπα δοκίμια κατασκευάστηκαν και αυτά όμοια μεταξύ τους και η διαφορά τους με τα προηγούμενα ήταν η ύπαρξη συνεχούς και μεγαλύτερου ποσοστού διαμήκουσ οπλισμού. Δύο από τα τρία αυτά δοκίμια ενισχύθηκαν, το ένα με μανδύα από ινοπλισμένα πολυμερή ορθογωνικής διατομής και το άλλο με μανδύα ελλειπτικής διατομής. Ο έλεγχος των δοκιμών αυτών έδωσε τα παρακάτω διαγράμματα συμπεριφοράς υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση.



Διάγραμμα 3



Διάγραμμα 4



Διάγραμμα 5

Το διάγραμμα 3 αντιστοιχεί στο μη ενισχυμένο στοιχείο, το διάγραμμα 4 αντιστοιχεί στο ενισχυμένο με ορθογωνικό μανδύα και το διάγραμμα 5 στην ενίσχυση με ελλειπτικό μανδύα.

Το διάγραμμα 3 καθιστά εμφανές το γεγονός ότι το μη ενισχυμένο δοκίμιο υπήρξε πολύ ασθενές σε διατμητική αντοχή, αφού δεν κατάφερε να ξεπεράσει ενδοτικότητα 2. Σε μεγαλύτερες μετατοπίσεις παρουσίασε διατμητικές ρωγμές εντός και εκτός κρίσιμης περιοχής. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην υιοθέτηση ενίσχυσης καθ' όλο το μήκος των όμοιων με αυτό δοκιμίων. Η ενίσχυση, όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα 4 και 5 βελτίωσε την ενδοτικότητα του στοιχείου από 2 σε 6 περίπου και την ικανότητα παραλαβής πλευρικής φόρτισης, ενώ παράλληλα οι βλάβες ήταν συγκριτικά μικρής έκτασης. Από τη μελέτη των δύο τελευταίων διαγραμμάτων διαπιστώνουμε ότι αν και η ενίσχυση με ελλειπτική μορφή μανδύα υπερτερεί ελαφρώς σε σχέση με την ορθογωνική η διαφορά δεν είναι τέτοια που να καθιστά απαγορευτική τη χρήση της δεύτερης.

Σημειώνεται ότι για την περίπτωση την ενίσχυσης των βάθρων γίνονται οι εξής συστάσεις:

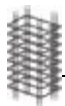
1) Για βάθρα τα οποία έχουν υψηλό ποσοστό διαμήκους οπλισμού κρίνεται σκόπιμη η ενίσχυση και εκτός κρίσιμων περιοχών, επειδή το ενδεχόμενο διατμητικής αστοχίας τους είναι αυξημένο.

2) Για ενισχύσεις με ορθογωνικούς μανδύες πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο αξονικό φορτίο που καταπονεί το βάθρο, στο ποσοστό του διαμήκους οπλισμού του και στις αναλογίες των πλευρών του. Προτείνεται να τηρούνται οι παρακάτω σχέσεις:

$$\rho \leq 0,15f_c' a A_y,$$

$$\rho_c \leq 0.03,$$

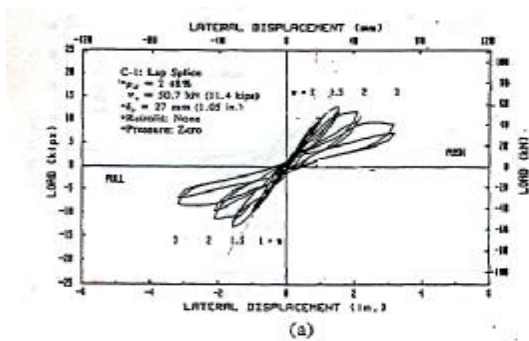
$$M/Vh \leq 3 [4].$$



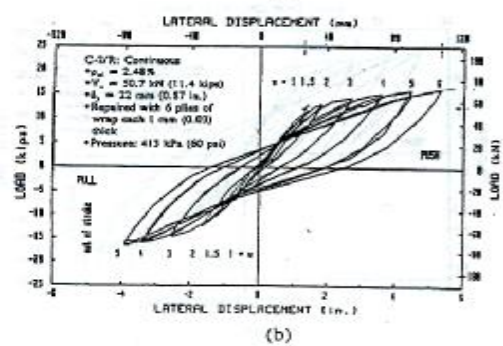
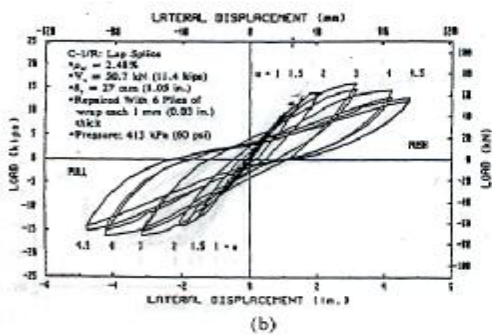
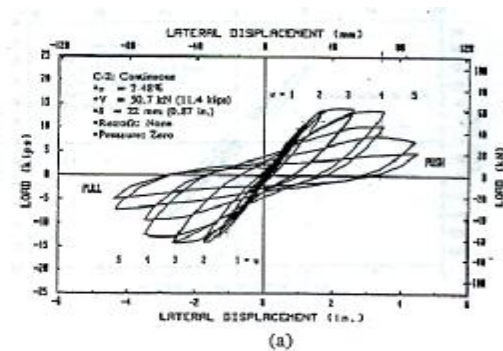
Οι μανδύες σύνθετων υλικών χρησιμοποιούνται και για την αποκατάσταση βλαβών σε βάρθρα, ύστερα από καταστρεπτικές δράσεις, όπως του σεισμού, της κόπωσης και της διάβρωσης. Η τεκμηρίωση της συνεισφοράς μιας τέτοιας επισκευής αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας πολλών επιστημονικών μελετών, μία από τις οποίες είχε ως στόχο να επιδείξει ότι η επισκευή με FRP βάρθρων που αστόχησαν υπό σεισμική δράση προσδίδει σε αυτά καμπτική συμπεριφορά όταν καταπονηθούν ξανά με όμοιο δυναμικό φορτίο. [8]

Για το σκοπό αυτό τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αντιπροσωπευτικά πραγματικών υποστυλωμάτων γέφυρας που δεν ήταν συμμορφωμένα με τους σύγχρονους κανονισμούς κατασκευής γεφυρών. Δύο δοκίμια ήταν ορθογωνικά (R), ενώ δύο ήταν κυκλικά (C). Αντίστοιχα δύο δοκίμια ένα ορθογωνικό (R1) και ένα κυκλικό (C1) είχαν συνεχόμενο οπλισμό, ενώ τα άλλα δύο είχαν ματίσεις σε μήκος δύο φορές τη διάμετρο οπλισμού τους (αντίστοιχα R2, C2). Τα τέσσερα δοκίμια δοκιμάστηκαν σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Μετά το πέρας των δοκιμών τα υπό έλεγχο στοιχεία είχαν πάθει σημαντικές βλάβες, όπως: αποκόλληση της επικάλυψης, αποσύνδεση των οπλισμών, αστοχία του σκυροδέματος και τοπική διαρροή των οπλισμών. Έπειτα ενισχύθηκαν και υποβλήθηκαν ξανά σε αντίστοιχη φόρτιση. Τα επισκευασμένα δοκίμια ονομάστηκαν κατ' αντιστοιχία R1R, C1R, R2R, C2R. Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα τάσεις παραμόρφωσης των τεσσάρων δοκιμών πριν και μετά την επισκευή τους.

Διάγραμμα 6

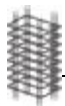


Διάγραμμα 7

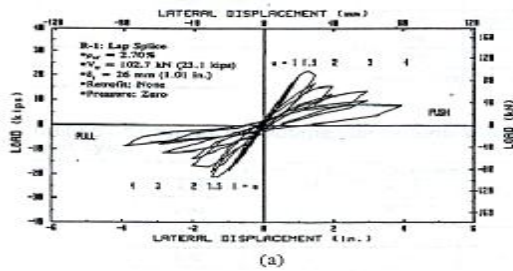


Διάγραμμα 8

Διάγραμμα 9

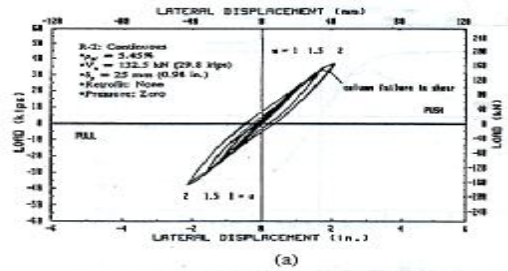


Διάγραμμα 10

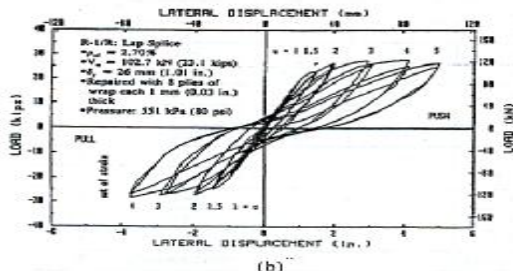


(a)

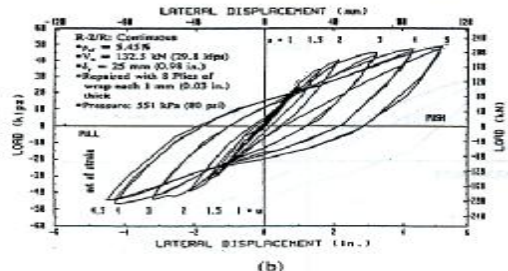
Διάγραμμα 11



(a)



(b)



(b)

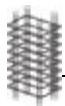
Διάγραμμα 12

Διάγραμμα 13

Τα υποστύλωματα C1, R1 αστόχησαν, στην περιοχή των ματίσεων, λόγω απόσχισης του διαμήκου οπλισμού, το C2 αστόχησε λόγω διαρροής του διαμήκου οπλισμού, ενώ το υποστύλωμα R2, το οποίο διέθετε μεγάλο ποσοστό διαμήκου οπλισμού αστόχησε διατμητικά. Μετά την επισκευή τους, όλα τα υποστύλωματα συμπεριφέρθηκαν άριστα στην ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Από τα διαγράμματα φαίνεται ότι οι μετατοπίσεις των επισκευασμένων δοκιμών είναι μεγαλύτερες σε σχέση με των μη σε χαμηλά επίπεδα φορτίου, οι οποίες οφείλονται στις προϋπάρχουσες βλάβες των αρχικών στοιχείων. Τελικά η ικανότητα παραλαβής πλευρικής φόρτισης αυξήθηκε με την επισκευή και παρατηρείται σημαντική βελτίωση των καμπυλών συμπεριφοράς μετά την επισκευή. Τα δοκίμια C1R, R1R, που ήταν αυτά με τις ελλειπείς ματίσεις ανέπτυξαν σταθερούς υστερητικούς βρόγχους μέχρι ενδοτικότητα 4, ενώ για τα άλλα δύο με το συνεχόμενο οπλισμό οι καμπύλες ήταν πολύ καλύτερες και δείχνουν ακόμη και ενδοτικότητα 6. Αξιοσημείωτη είναι η αύξηση της διατμητικής αντοχής του δεύτερου δοκιμίου, το οποίο είχε αστοχήσει αρχικά διατμητικά. Οι δοκιμές έδειξαν επίσης ότι επισκευή με FRP επιβραδύνει σημαντικά το ρυθμό μείωσης της δυσκαμψίας του μέλους. Ειδικά για τα στοιχεία R1 και C1, τα οποία παρουσίασαν 85% μείωση της ακαμψίας τους μετά το τέλος αρχικού κύκλου δοκιμών η ενίσχυσή τους οδήγησε στη διατήρηση της διπλάσιας ακαμψίας ύστερα από την ολοκλήρωση του πειράματος. Συμπερασματικά τα σύνθετα υλικά είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά για την αποκατάσταση της καμπτικής αντοχής και της ικανότητας ενδοτικής συμπεριφοράς βάρων που υπέστησαν βλάβες λόγω σεισμού.

3.3.2. ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΩΝ

Στις επισκευές και ενισχύσεις των δοκών των γεφυρών υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες στις οποίες βρίσκουν εφαρμογή τα ινοπλισμένα πολυμερή. Η πρώτη κατηγορία είναι οι διαμήκεις δοκοί καταστρώματος γεφυρών, στις οποίες τοποθετούνται FRP με τη μορφή ελασμάτων για να βελτιώσουν την αντοχή τους. Η δεύτερη κατηγορία είναι δοκοί μεταλλικών γεφυρών, όπου συναντώνται ηλώσεις, στα σημεία των οποίων παρατηρούνται



ρηγματώσεις ανασταλτικές για την καλή λειτουργικότητα της γέφυρας. Τα FRP χρησιμοποιούνται με τη μορφή προεντεταμένων ή χαλαρών ελασμάτων για την αποφυγή της διεύρυνσης των πραγματοποιούμενων ρωγμών.

Αναλυτικότερα , οι διαμήκεις δοκοί υποστηρίζουν το κατάστρωμα και αποτελούν βασικό δομικό στοιχείο της γέφυρας. Οι τιμές των καμπτικών διατμητικών και στρεπτικών τάσεων τους είναι μεγάλες , συγκριτικά με κοινές κατασκευές , δεδομένων των κυκλοφοριακών φορτίων και του μήκους τους. Κατασκευάζονται από χάλυβα , οπλισμένο ή προεντεταμένο σκυρόδεμα και τα FRP επιστρατεύονται για ενίσχυση είτε αποκατάσταση της πλαστιμότητάς τους και της ικανότητάς τους να παραλαμβάνουν κατακόρυφα φορτία.

Η ενίσχυση των δοκών γίνεται με επικόλληση στο κάτω πέλμα τους (προκειμένου για καμπτική ενίσχυση) ή στις τρεις ελεύθερες πλευρές τους (για ενίσχυση σε διάτμηση) ελασμάτων κατασκευασμένων από ινοπλισμένα πολυμερή , τα οποία επιφέρουν σημαντική αντοχή και ευκαμψία με μικρή προσαύξηση του βάρους.

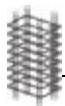
Διεξαγόμενα πειράματα τόσο από πανεπιστημιακούς φορείς , όσο και από κατασκευαστικές εταιρίες συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι η τεχνική της χρήσης ελασμάτων FRP ακόμα και σε ρηγματωμένες δοκούς συντελεί καθοριστικά στην αύξηση της αντοχής τους σε κατακόρυφη φόρτιση , στην πλαστιμότερη απόκρισή τους και στην ικανοποιητική συμπεριφορά τους σε διατμητικές δράσεις. Σε περιστάσεις , καθόλου σπάνιες για τα σημερινά δεδομένα , όπου αναμένεται ο κυκλοφοριακός φόρτος να ξεπεράσει τον μέγιστο σχεδιασμού μιας γέφυρας , τέτοιες επεμβάσεις συντείνουν στην παράταση της περιόδου ζωής του έργου με την ελάχιστη διατάραξη των συνθηκών μετακίνησης , οι οποίες είναι ζωτικής σημασίας για τις αστικές κυρίως πόλεις. [9]

Η μέθοδος, παρά την αποτελεσματικότητά της , φαίνεται να παρουσιάζει , κατά την εφαρμογή της στην πράξη ή στη διάρκεια πειραμάτων , πρόβλημα αποκόλλησης του ελάσματος από το ενισχυόμενο μέλος. Ο κίνδυνος αυτός αυξάνεται σε περιπτώσεις που δεν ακολουθούνται επακριβώς οι διατάξεις των κατασκευαστών των πολυμερών υλικών και σχετίζονται με την προετοιμασία της επιφάνειας επικόλλησης , την παρασκευή και την τοποθέτηση της ρητίνης. Δεδομένης της μικρής εμπειρίας σε θέματα που άπτονται της χρήσης των FRP σε παγκόσμια κλίμακα δεν υφίσταται ακόμη πλήρως εμπειριστατωμένη θεωρία για τη συμπεριφορά των ενισχύσεων αυτών στην πάροδο του χρόνου. Στη χώρα μας, περισσότερο , όπου η εμπειρία εφαρμογής των σύνθετων υλικών δεν ξεπερνά τα δέκα χρόνια, οι ελάχιστοι κανονισμοί που υπάρχουν πρέπει να τηρούνται αυστηρά.

Αξιοσημείωτη είναι η προσπάθεια των τελευταίων ετών για δημιουργία υπολογιστικών μοντέλων με προγράμματα μη γραμμικής ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία , τα οποία αποπειρώνται να προσομοιάσουν την επίδραση των ενισχύσεων με ινοπλισμένα πολυμερή. Το γεγονός ότι τα θεωρητικά αποτελέσματα συμπίπτουν με τα αντίστοιχα πειραματικά είναι ενδεικτικό της συμβατότητάς τους με τα εμπειρικά δεδομένα , όμως χρειάζεται συγκέντρωση περισσότερων στοιχείων για να τεκμηριωθεί η αξιοπιστία τους. [10]

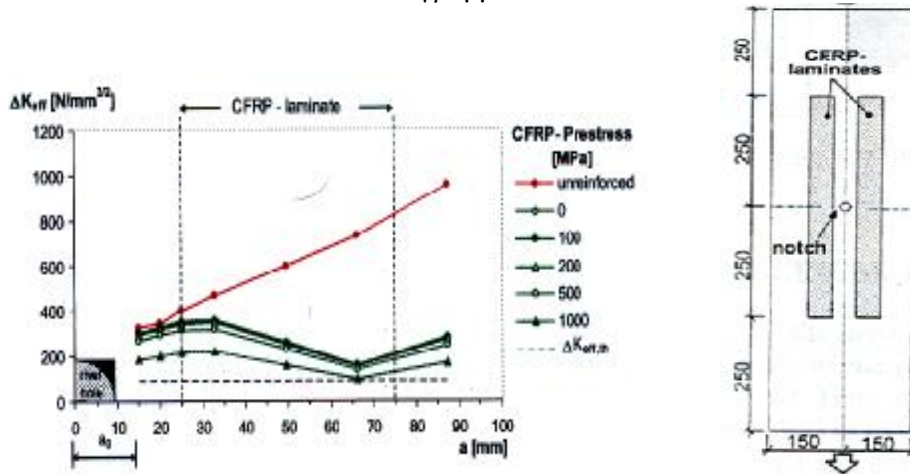
Οι μεταλλικές γέφυρες παρουσιάζουν ξεχωριστό ενδιαφέρον λόγω των κατασκευαστικών ιδιαιτεροτήτων τους και παρέχουν διαφορετικό πεδίο εφαρμογών για τα ινοπλισμένα πολυμερή. Συνήθης πρακτική είναι η χρήση μεταλλικών δικτυωμάτων για τη μεταφορά των φορτίων του καταστρώματος στα υποστυλώματα. Λόγω κόπωσης στις δοκούς των δικτυωμάτων αυτών αναπτύσσονται ρωγμές στις οπές των ηλώσεων , η περαιτέρω εξέλιξη των οποίων , μπορεί να αποβεί καταστροφική , καθώς συντελούν στη δραστική μείωση της αντοχής της κατασκευής. Αποτελεσματική τεχνική για το κλείσιμο τους κρίθηκε η χρήση προεντεταμένων ελασμάτων με ανθρακονήματα. [11]

Προεντεταμένα ελάσματα από ανθρακονήματα , τα οποία χρησιμοποιούνται για να κλείσουν τέτοιες ρωγμές , έχουν εξεταστεί και έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικά. Μια πρόσφατη εργασία ασχολήθηκε με το θέμα αυτό και χρησιμοποίησε αντιπροσωπευτικά μεταλλικά ελάσματα , τα οποία είχαν οπές διαμέτρου 20 εκατοστών , οι οποίες ενισχύθηκαν



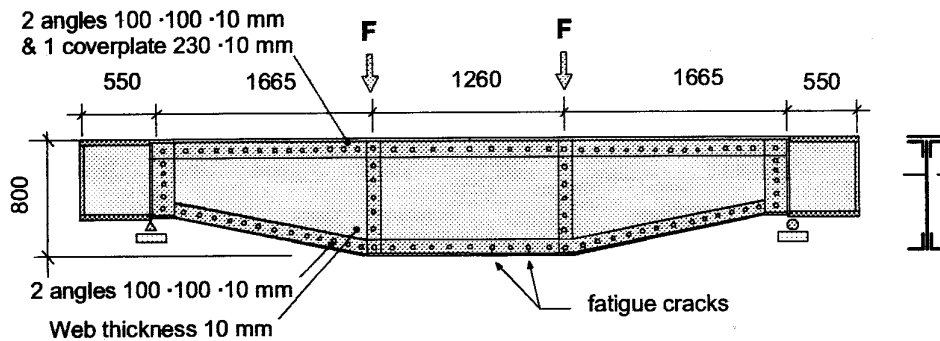
και από τις δύο πλευρές με απλά και προεντεταμένα ελάσματα ανθρακονήματα. Όλα τα δοκίμια εξετάστηκαν σε κόπωση μέχρι την αστοχία τους. Το διάγραμμα 14 δείχνει το μήκος των ρωγμών και την εξέλιξή τους σε σχέση με τους κύκλους φόρτισης. Τα ελάσματα είχαν πάχος 1,2 χιλιοστά και μέτρο ελαστικότητας 155 GPa. Τα απλά ελάσματα τριπλασίασαν την διάρκεια ζωής σε κόπωση των δοκιμών, ενώ τα προεντεταμένα εξαπλασίασαν ή και εικοσαπλασίασαν τη διάρκεια ζωής τους.

Διάγραμμα 14

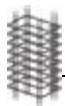


Εκτός από αυτά τα μικρής κλίμακας πειράματα πραγματοποιήθηκαν και άλλα σε πραγματική κλίμακα. Αντιπροσωπευτικό δείγμα αποτελεί η ενίσχυση ενός μεταλλικού δικτύματος από μια μεταλλική γέφυρα, η οποία κατασκευάστηκε πριν από 91 χρόνια. Οι διαστάσεις των δοκών φαίνονται στο σχήμα 1 και οι διατομές τους ήταν I.

Σχήμα 1

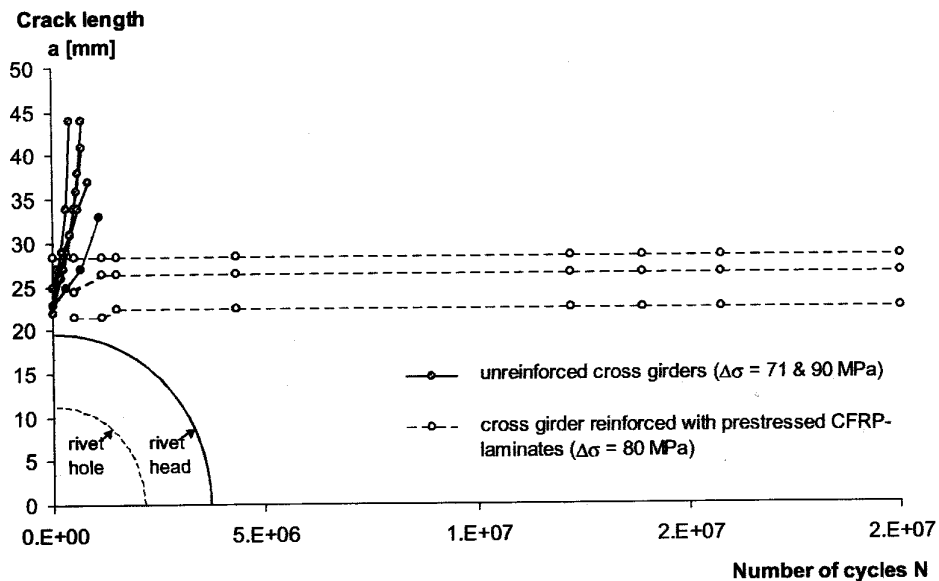


Το δικτύωμα υποβλήθηκε σε κατακόρυφη φόρτιση και στους 3500 κύκλους παρατηρήθηκε ρηγματώση σε τέσσερα σημεία. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ενίσχυση με προεντεταμένα ελάσματα ινοπλισμένων με άνθρακα πολυμερών και συνεχίστηκε η φόρτιση του δοκιμίου. Στο τέλος του πειράματος διαπιστώθηκε ότι η ανάπτυξη των ρωγμών ύστερα από την ενίσχυση σταμάτησε. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με αυτά προηγούμενης εργασίας σε όμοιο μέλος της ίδιας γέφυρας που έκανε τους ίδιους ελέγχους χωρίς να ενισχυθεί το στοιχείο.



Σχηματικά η συσχέτιση των πειραματικών αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στο διάγραμμα 15.

Διάγραμμα 15



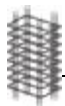
Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι μηχανικές ιδιότητες των ινοπλισμενων πολυμερών καθιστούν τα υλικά αυτά ιδιαίτερα χρήσιμα στην επισκευή και ενίσχυση παλαιών μεταλλικών γεφυρών. Η μεγάλη ανθεκτικότητα των ινών σε κόπωση επιτρέπει την χρήση των FRP για το κλείσιμο ή την σταθεροποίηση ρωγμών σε μεταλλικά μέλη. Η χρήση ινοπλισμένων ελασμάτων με διεύθυνση κάθετη σε αυτή της ρωγμής έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της έντασης στο σημείο εκείνο με αποτέλεσμα την μείωση του ρυθμού ανάπτυξης της ή ακόμη και το κλείσιμο αυτής.

3.3.3. ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Η πλειονότητα των γεφυρών έχει κατασκευαστεί αρκετά παλιά με αποτέλεσμα να παρουσιάζει στις μέρες μας προβλήματα κόπωσης και διάβρωσης. Οι πλάκες των καταστρώματων, εξαιτίας της μακροχρόνιας έκθεσής τους σε διαβρωτικό περιβάλλον και της καταπόνησής τους από μεγάλα φορτία, αναπτύσσουν εκτεταμένες ρωγμές και διαβρώνονται με αποτέλεσμα τη μείωση της αντοχής τους. Παράλληλα οι νέοι κανονισμοί, που λαμβάνουν υπόψη το επίπεδο εξυπηρέτησης, επιβάλλουν στα υπάρχοντα αυτά καταστρώματα να φέρουν μεγαλύτερα φορτία, υποβάλλοντάς τα σε μεγαλύτερη καταπόνηση.

Ενισχύσεις και επισκευές τέτοιων πλακών γίνονται συχνά, στις μέρες μας, με χρήση ινοπλισμένων πολυμερών. Μια τέτοια διαδικασία αν και απαιτεί επισταμένη προσοχή είναι ιδιαίτερα εύκολη και γρήγορη. Η ενίσχυση γίνεται συνήθως με ελάσματα πολυμερών με ανθρακονήματα, τα οποία τοποθετούνται στο πάνω ή στο κάτω μέρος της πλάκας. Η διαδικασία περιλαμβάνει:

- εύρεση των σημείων που έχουν υποστεί ζημιές και διάβρωση
- καθαρισμό της περιοχής αυτής



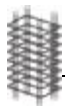
γ) εφαρμογή ρητίνης και ινών σε μία ή δύο διευθύνσεις.

Εναλλακτική μέθοδος ενίσχυσης είναι τα μεταλλικά ελάσματα, τα οποία χάνουν έδαφος έναντι των ινοπλισμένων πολυμερών, επειδή τα τελευταία είναι αποτελεσματικότερα, ευκολότερα στην εφαρμογή τους, διαθέτουν χαμηλότερο βάρος, ανθεκτικότητα σε διάβρωση και χαλάρωση, απαιτούν μικρότερο χρόνο για την περάτωση της επέμβασης και κόστος συντήρησης στη διάρκεια ζωής του έργου.

Μια νέα προσέγγιση στην επισκευή καταστρώματος, που ήδη έχει εφαρμοστεί, είναι η πλήρης αντικατάσταση αυτού από άλλο κατασκευασμένο εξ' ολοκλήρου από σύνθετα υλικά. Τέτοια καταστρώματα μπορεί να ζυγίζουν μέχρι και 80% λιγότερο απ' ό,τι το αρχικό κατάστρωμα. Ταυτόχρονα κατασκευάζονται και τοποθετούνται πολύ εύκολα και γρήγορα. Η αντοχή τους είναι αναμφισβήτητα υψηλή, όπως και η ανθεκτικότητά τους σε κόπωση και διαβρωτικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Η τάση αυτή υιοθετείται σε περιπτώσεις όπου το κατάστρωμα έχει υποστεί εκτενέστερες βλάβες και η λύση της κατεδάφισης της γέφυρας κρίνεται οικονομικά επιζήμια, εξαιτίας της αποτελεσματικότητάς και του χαμηλού συγκριτικά κόστους της. Επιπλέον, λαμβάνεται υπόψη ότι η μείωση των νεκρών φορτίων δημιουργεί συνθήκες ανάληψης πρόσθετων κινητών φορτίων και αναβάθμισης της κατασκευής. [12]

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

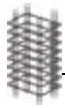
- 1) Ανάμεσα στις ιδιότητες των FRP ξεχωρίζουν: η υψηλή αντοχή, η ακαμψία, η ανθεκτικότητα σε κόπωση, διάβρωση και χημικές ουσίες, η ευκολία στην κατασκευή τους και εφαρμογής τους, αλλά και η αυξημένη διάρκεια ζωής τους, η αναλογία αντοχής και ίδιου βάρους.
- 2) Η σωστή εφαρμογή των ινοπλισμένων πολυμερών και η κατάλληλη τοποθέτησή τους είναι δύο από τους σημαντικότερους παράγοντες για την αποτελεσματική λειτουργία τους.
- 3) Τα προβλήματα που αντιμετωπίζει μια κατασκευή που μελετάται για επισκευή είναι αλληλοσυνδεδεμένα και δεν είναι δυνατόν να ιδωθούν αποσπασματικά.
- 4) Οι πλέον πρόσφατες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν με θέμα την αποτελεσματικότητα εφαρμογής μανδύων ορθογωνικής διατομής σε αντιπαράθεση με αυτήν μανδύων ελλειπτικής διατομής τεκμηριώνουν την παρόμοια δυνατότητα αύξησης τόσο της ενδοτικότητας, όσο και της μέγιστης παραλαμβανόμενης τέμνουσας.
- 5) Για βάρη τα οποία έχουν υψηλό ποσοστό διαμήκους οπλισμού κρίνεται σκόπιμη η ενίσχυση και εκτός κρίσιμων περιοχών, επειδή το ενδεχόμενο διατμητικής αστοχίας τους είναι αυξημένο.
- 6) Τα σύνθετα υλικά είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά για την αποκατάσταση της καμπτικής αντοχής και της ικανότητας ενδοτικής συμπεριφοράς βάρων που υπέστησαν βλάβες λόγω σεισμού.
- 7) Η τεχνική της χρήσης ελασμάτων FRP ακόμα και σε ρηγματωμένες δοκούς συντελεί καθοριστικά στην αύξηση της αντοχής τους σε κατακόρυφη φόρτιση, στην πλαστικότερη απόκρισή τους και στην ικανοποιητική συμπεριφορά τους σε διατμητικές δράσεις.
- 8) Κατά την ενίσχυση δοκών γεφυρών με ελάσματα ινοπλισμένων πολυμερών ενδέχεται να παρουσιαστεί πρόβλημα αποκόλλησης του ελάσματος από το ενισχυόμενο μέλος. Ο κίνδυνος αυτός αυξάνεται σε περιπτώσεις που δεν ακολουθούνται επακριβώς οι διατάξεις των κατασκευαστών των πολυμερών υλικών και σχετίζονται με την προετοιμασία της επιφάνειας επικόλλησης, την παρασκευή και την τοποθέτηση της ρητίνης.



- 9) Η χρήση ινοπλισμένων ελασμάτων με διεύθυνση κάθετη σε αυτή της ρωγμής έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της έντασης στο σημείο εκείνο με αποτέλεσμα την μείωση του ρυθμού ανάπτυξης της ή ακόμη και το κλείσιμο αυτής.
- 10) Ενισχύσεις και επισκευές πλακών καταστρωμάτων γεφυρών γίνονται συχνά , στις μέρες μας , με χρήση ινοπλισμένων πολυμερών. Μια τέτοια διαδικασία αν και απαιτεί επισταμένη προσοχή είναι ιδιαίτερα εύκολη , γρήγορη και αποτελεσματική.
- 11) Μια νέα προσέγγιση στην επισκευή καταστρώματος είναι η πλήρης αντικατάσταση αυτού από άλλο κατασκευασμένο εξ' ολοκλήρου από σύνθετα υλικά.. Η αντοχή τους είναι αναμφισβήτητα υψηλή , όπως και η ανθεκτικότητά τους σε κόπωση και διαβρωτικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Η μείωση των νεκρών φορτίων δημιουργεί συνθήκες ανάληψης πρόσθετων κινητών φορτίων και αναβάθμισης της κατασκευής.
- 12) Η βιβλιογραφία παρουσιάζει σοβαρές ελλείψεις πάνω σε θέματα επισκευών και ενισχύσεων γεφυρών με ινοπλισμένα πολυμερή. Στην Ελλάδα η έλλειψη επίσημων κανονισμών ή συστάσεων κάνει τα πράγματα ακόμη πιο δύσκολα.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) **FIBER REINFORCED POLYMER COMPOSITES APPLICATION IN USA**, DOT-Federal Highway Administration
Benjamin Tang, PE
- 2) **A SUCCESSFUL BEGINNING FOR FIBER REINFORCED POLYMER COMPOSITE MATERIALS IN BRIDGE APPLICATIONS** B. Tang , P. E. & W. Poldony (FHWA PROCEEDINGS , INTERNATIONAL CONFERENCE ON CORROSION AND REHABILITATION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES)
- 3) **ENVIRONMENTAL DURABILITY OF COMPOSITES FOR SEISMIC RETROFIT OF BRIDGE COLUMNS** Gary I. Steckel, Gary F. Hawkins and Jerome L. Bauer, Jr , Center for Advanced Structural Applications
- 4) **SEISMIC DESIGN AND RETROFIT OF BRIDGES** M. J. N. Priestley , F. Seible , G. M. Calvi
- 5) **SEISMIC RETROFIT AND REPAIR OF CIRCULAR BRIDGE COLUMNS WITH ADVANCED COMPOSITE MATERIALS** R. Ma , Yan Xiao , M. Eeri (EARTHQUAKE SPECTRA, VOLUME 15 No 4)
- 6) **EARTHQUAKE RETROFIT OF BRIDGE COLUMNS WITH CONTINUOUS CARBON FIBER JACKET – VOLUME II , DESIGN GUIDELINES** – Frieder Seible , M. J. Nigel Priestley , Donato Innamorato (ADVANCED COMPOSITES TECHNOLOGY TRANSFER CONSORTIUM , NIST WORKSHOP ON STANDARDS DEVELOPMENT FOR THE USE OF FIBER REINFORCED POLYMERS FOR THE REHABILITATION OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES)
- 7) **SEISMIC RETROFITTING OF RECTANGULAR BRIDGE COLUMNS WITH COMPOSITE STRAPS** Hamid Saadatmanesh , Mohammad R. Ehsani , M. Eeri , Limin Jin
- 8) **REPAIR OF EARTHQUAKE - DAMAGED RC COLUMNS WITH FRP WRAPS** Hamid Saadatmanesh , Mohammad R. Ehsani , Limin Jin (ACI STRUCTURAL JOURNAL)
- 9) **ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΓΕΦΥΡΑΣ** Γιώργος Καραντώνης (ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ , ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2001)
- 10) **ANALYSIS OF REPAIRED REINFORCED CONCRETE STRUCTURE** F.J. Vecchio , F. Bucci



- 11) **REPAIR OF RIVETED BRIDGE MEMBERS DAMAGED BY FATIGUE USING CFRP MATERIALS** Andrea Bassetti , Alain Nussbaumer , Pierluigi Colombi (ADVANCED FRP MATERIALS FOR CIVIL STRUCTURES , BOLOGNA , ITALY , 19TH OCTOBER 2000)
- 12) **LOAD TESTING OF AN FRP BRIDGE DECK ON A TRUSS BRIDGE** Sreenivas Alampalli , Jonathan Kunin (TRANSPORTATION RESEARCH AND DEVELOPMENT BUREAU NEW YORK STATE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION)

