

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ FRP (ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ)

ΖΩΣΙΜΑ ΕΛΕΝΗ – ΣΤΡΑΤΗΓΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

Περίληψη

Η παρακάτω εργασία είναι βιβλιογραφική ανασκόπηση (state of art) κυρίως μέσω διαδικτύου με θέμα την ενίσχυση κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με ινοπλισμένα πολυμερή (FRP). Αναφέρονται εκτενώς τα υλικά, οι ιδιότητες, τα συστήματα ενίσχυσης, οι τεχνικές εφαρμογής καθώς και προδιαγραφές/κανονισμοί που διέπουν την εφαρμογή τους. Γίνεται συγκριτική αναφορά με τη μέθοδο ενίσχυσης με χαλύβδινες ράβδους και ελάσματα τόσο κατασκευαστικά όσο και κοστολογικά.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενίσχυση – αποκατάσταση της φέρουσας ικανότητας κατασκευών από σκυρόδεμα μέχρι πρόσφατα αποτελούσε μείζον πρόβλημα, καθώς απαιτούσε σημαντικό χρόνο, χώρο και κόπο για να επιλυθεί. Κύριο μειονέκτημα των έως τώρα επεμβάσεων ήταν η δυσκολία εφαρμογής τους. Η επιστημονική έρευνα στο πεδίο αυτό κατέληξε στην ανάπτυξη μιας νέας τεχνικής ενίσχυσης με χρήση σύνθετων υλικών που αποτελούνται από το συνδυασμό ινών (π.χ. άνθρακα, γυαλιού, αραμιδίου) σε μήτρα εποξειδικής ρητίνης ή πλεγμένες σε ύφασμα ώστε να σχηματίζουν αντίστοιχα δύσκαμπτα ελάσματα ή εύκαμπτα υφάσματα μίας ή δύο διευθύνσεων (Ινοπλισμένα πολυμερή – Fiber Reinforced Polymers- FRP). Η ενίσχυση με FRP μπορεί να εφαρμοσθεί σε στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπως δοκοί, πλακοδοκοί πλάκες, υποστρώματα, τοιχία, κόμβοι, σε στοιχεία από φέρουσα τοιχοποιία καθώς και σε στοιχεία από ξύλο.^{[1],[7]} Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως τένοντες ή ως μέσο ενίσχυσης στο σκυρόδεμα, είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό με προεντεταμένο χάλυβα ή χάλυβα οπλισμού.^[9] Η εφαρμογή τους ως οπλισμός ενίσχυσης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος ή φέρουσας τοιχοποιίας συνίσταται στην μέσω εποξειδικών ρητινών επικόλληση τους σε εξωτερικές επιφάνειες δομικών μελών με προσανατολισμό ινών τέτοιο ώστε να παραλαμβάνουν εφελκυστικές δυνάμεις.

2. ΥΛΙΚΑ

Τα βασικά συστατικά των σύνθετων υλικών ως σύστημα ενίσχυσης είναι: οι ίνες (Σχ.1) σε πολυμερική μήτρα και η κόλλα εφαρμογής τους σε επιφάνειες σκυροδέματος ή τοιχοποιίας. Πιο αναλυτικά:^{[1],[20]}

Ίνες

Στον κλάδο των οικοδομικών και τεχνικών έργων οι πιο κοινές χρησιμοποιούμενες ίνες διαμέτρου 5-25μm είναι (Πιν.1):

α) Οι ίνες γυαλιού (με πυκνότητα 2300-2400 kg/m³). Υπάρχουν 4 τύποι υαλονημάτων: τύπου E με μειονέκτημα τη μείωση της αντοχής στο αλκαλικό περιβάλλον του σκυροδέματος, τύπου Z ή AR με μεγάλη αντοχή σε αλκαλικό περιβάλλον, τύπου S με υψηλή αντοχή και υψηλό μέτρο ελαστικότητας.

β) Οι ίνες άνθρακα(με πυκνότητα 1800-1900 kg/m³). Οι τύποι των ανθρακονημάτων διαφέρουν ανάλογα αν παρασκευάζονται από θερμική κατεργασία του πολυακρυλονιτριλίου (υψηλής εφελκυστικής αντοχής και μέτρου ελαστικότητας) είτε μέσω απόσταξης κάρβουνου.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωριστά ή από κοινού με τις ίνες γυαλιού ως υβρίδιο για να αυξηθεί η ακαμψία ενός δομικού μέλους.

γ) Οι ίνες αραμιδίου (με πυκνότητα 1450 kg/m³)- διακρίνονται ανάλογα αν προέρχονται από αρωματικό πολυαμίδιο (Κέβλαρ 29-χαμηλού μέτρου ελαστικότητας, Κέβλαρ 49-υψηλού μέτρου ελαστικότητας) ή αρωματικό πολυαιθεραμίδιο, με κύριο πλεονέκτημα την πολύ καλή συμπεριφορά σε κρουστικά φορτία.



Σχήμα 1: Συνήθεις ίνες άνθρακα και γυαλιού και ινοπλισμένα πολυμερή (FRP)

Μήτρα

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι πολυμερών που χρησιμοποιούνται ως μήτρες: θερμοσκληρυνόμενα και θερμοπλαστικά. Τα θερμοσκληρυνόμενα χρησιμοποιούνται στον κλάδο των οικοδομικών και τεχνικών έργων και είναι οι εποξειδικές ρητίνες και σπανιότερα ο πολυεστέρας ή βινυλεστέρας. Οι εποξειδικές ρητίνες υπερέρχουν των άλλων τύπων μήτρας λόγω των εξαιρετικών μηχανικών χαρακτηριστικών και της μεγάλης ανθεκτικότητας σε δυσμενείς περιβαλλοντικές επιδράσεις (Πιν.2). Προσφάτως έχουν γίνει προσπάθειες αντικατάστασης των πολυμερικών μητρών με υλικά βασισμένα στο τσιμέντο (τσιμεντοκονιάματα τροποποιημένα με πολυμερή, TRM).^[16]

Κόλλα

Κατά κανόνα χρησιμοποιείται ως κόλλα εποξειδική ρητίνη δυο συστατικών που εφαρμόζεται μεταξύ του υποστρώματος και του σύνθετου υλικού, εξασφαλίζοντας έτσι τη συνεργασία τους και τη μεταφορά τάσεων από το πρώτο στο δεύτερο. Η χρήση εποξειδικών ρητινών στις κατασκευές προϋποθέτει την κατανόηση τριών βασικών εννοιών: χρόνος εργασιμότητας (pot life), χρόνος εφαρμογής (open time), θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης T_g (glass transition temperature).

	Μέτρο ελαστικότητας(KN/mm ²)	Εφελκυστική αντοχή(N/mm ²)	Οριακή παραμόρφωση εφελκυστικής αστοχίας (%)
Άνθρακας			
Υψηλής αντοχής	215-235	3500-4800	1.4-2.0
Υπερ-υψηλής αντοχής	215-235	3500-6000	1.5-2.3
Υψηλού μέτρου ελαστικότητας	350-500	2500-3100	0.5-0.9
Υπερ-υψηλού μέτρου ελασ/τας	500-700	2100-2400	0.2-0.4
Γυαλί			
E	70-75	1900-3000	3.0-4.5
Z	70-75	1900-3000	3.0-4.5
S	85-90	3500-4800	4.5-5.5
Αραμίδιο			
Χαμηλού μέτρου ελαστικότητας(Κέβλαρ 29)	70-80	3500-4100	4.3-5.0
Υψηλού μέτρου ελαστικότητας(Κέβλαρ 49, Twaron)	115-130	3500-4000	2.5-3.5

Πίνακας 1: Ενδεικτικές ιδιότητες ινών^[1]

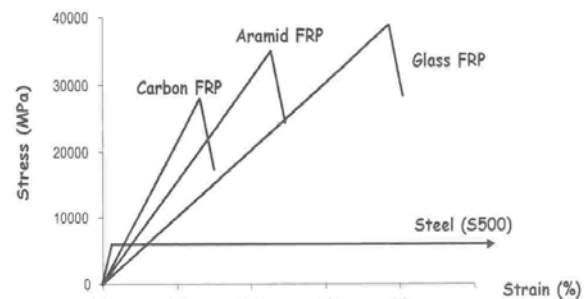
Ιδιότητα (σε 20°C)	Εποξειδική ρητίνη	Σκυρόδεμα	Χάλυβας
Πυκνότητα (kg/m ³)	1100-1700	2350	7800
Μέτρο ελαστικότητας (KN/mm ²)	0.5-20	20-50	205
Μέτρο διάτμησης (KN/mm ²)	0.2-8.0	8-21	80
Λόγος Poisson	0.3-0.4	0.2	0.3
Εφελκυστική αντοχή (N/mm ²)	9-30	1-4	200-600
Διατμητική αντοχή (N/mm ²)	10-30	2-5	150-400
Θλιπτική αντοχή (N/mm ²)	55-110	25-150	200-600
Οριακή παραμόρφωση σε εφελκυσμό(%)	0.5-5	0.015	20-25
Ενέργεια θραύσης (Jm ⁻²)-κατά προσέγγιση	200-1000	100	10 ⁵ -10 ⁶
Συντελεστής θερμικής διαστολής (10 ⁻⁶ /°C)	25-100	11-13	10-15
Υδατοαπορροφητικότητα: 7ημ.-25°C (%κ.β.)	0.1-3	5	0
Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης(°C)	50-80	/	/

Πίνακας 2: Ενδεικτικές ιδιότητες εποξειδικών ρητινών και σύγκριση με σκυρόδεμα και χάλυβα^[1]

3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Η μέθοδος εφαρμογής ενισχύσεων με σύνθετα υλικά πλεονεκτεί έναντι των συμβατικών μεθόδων (Σχ.2) διότι τα σύνθετα υλικά παρουσιάζουν:

- Εξαιρετικά μεγάλη εφελκυστική αντοχή, (πολλαπλάσια του χάλυβα)
- Μικρό βάρος(1/4-1/5 του βάρους του χάλυβα)
- Αύξηση αντοχής και παραμορφωσιμότητας της κατασκευής δίχως μεταβολή της γεωμετρίας ή της δυσκαμψίας της
- Ανθεκτικότητα σε διαβρωτικά περιβάλλοντα και μεγάλη διάρκεια ζωής, Διαθεσιμότητα σε πολύ μεγάλα μήκη και μεγάλη "ευκαμψία"
- Ιδιαίτερα ανταγωνιστικό κόστος επέμβασης.



Σχ.2 : Σχέσεις τάσης-παραμόρφωσης σε εφελκυσμό, για σύνθετα υλικά και χάλυβα^[2]

Με τη χρήση των σύνθετων υλικών σε κατασκευές είναι δυνατή η αύξηση της αντοχής σε κάμψη και διάτμηση καθώς και η περίσφιξη θλιβόμενων στοιχείων (αύξηση παραμορφωσιμότητας και αντοχής σκυροδέματος) (Σχ.3). Επίσης επιτυγχάνεται αύξηση της πλαστιμότητας περιοχών πλαστικών αρθρώσεων και ικανοποίηση των απαιτήσεων για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας(μείωση των βελών κάμψης και της αναμενόμενης ρηγματώσης).^[7] Η θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη δίνει αντοχή σε θερμότητα και υγρασία, ενώ η ενίσχυση με ίνες γυαλιού αυξάνει την αντοχή και έχει καλή επίδοση σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών.^[8]

Μετά από έρευνες 9 ετών της ISIS CANADA (2004-05)^[12] πάνω στα FRP από ίνες υάλου (GFRP), διαπίστωσαν την ανθεκτικότητά τους σε διάβρωση όταν χρησιμοποιούνται ως οπλισμός ενίσχυσης σε στοιχεία σκυροδέματος. Δείγματα πάρθηκαν από πέντε γέφυρες

στον Καναδά (κατασκευασμένες προ εφταετίας ή παλαιότερα) όπου διαπιστώθηκε πως δεν παρουσίασαν καθόλου διάβρωση, χημική φθορά, απώλεια υλικού ή ρωγμές. Το μέτρο ελαστικότητας των GFRP είναι τόσο κοντά στο μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος που τα καθιστά πολύ πιο συμβατά με το σκυρόδεμα συγκριτικά με άλλα υλικά ενίσχυσης ενώ δοκιμές των GFRP υπό συνθήκες κόπωσης απέδειξαν πως συμπεριφέρονται 20 φορές καλύτερα από το συμβατικό χάλυβα υπό τις ίδιες συνθήκες. Επίσης έχει αποδειχθεί ότι η αποκατάσταση και επανακατοίκηση κτιρίων συμφέρει να γίνεται με FRP κυρίως λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής που παρουσιάζουν και του ελάχιστου κόστους συντήρησης. Τέλος η ενίσχυση και συντήρηση των παλαιών μνημείων έχει αποδειχθεί πως συντελείτε αποτελεσματικά (πάντα με διατήρηση της αρχικής αισθητικής) με χρήση ράβδων και υφασμάτων από FRP κυρίως σε τοιχοποιίες.

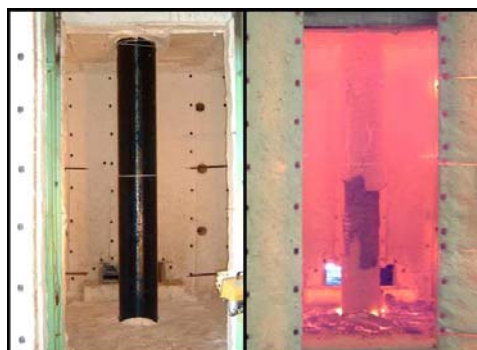
Επίσης έρευνες του JCI ^[10] για τη σύνθεση νέων ράβδων από FRP ανθεκτικές στη θερμότητα για εφαρμογή τους σε στοιχεία σκυροδέματος επέφεραν καινοτόμες εφαρμογές. Τα πειράματα διεξάχθηκαν σε ήδη διαθέσιμες στο εμπόριο ράβδους FRP και στις νέας τεχνολογίας ράβδους οι οποίες αποτελούνται από ίνες άνθρακα και αραμιδίου εμποτισμένες με φαινολικές PH (phenol) και πολυεστεραμιδικές CP(cross-linked polyesteramide resins) ρητίνες. Δοκιμές αντίστασης σε θερμότητα, ανθεκτικότητας σε αλκαλικό περιβάλλον, αντοχής σε εφελκυσμό των ράβδων και δοκιμές αντοχής σε κάμψη ενισχυμένων με FRP δοκών σκυροδέματος, διεξήχθησαν σε ποικίλες θερμοκρασίες.

Παρατηρήθηκε λοιπόν πως οι νέες ράβδοι εμποτισμένες με PH παρουσίασαν υψηλή ανθεκτικότητα σε σχέση με τις κοινές ράβδους. Ενώ δοκός σκυροδέματος ενισχυμένη με FRP από ίνες άνθρακα εμποτισμένες με PH έδειξε εξαιρετική συμπεριφορά σε υψηλές θερμοκρασίες συγκρίσιμη με αυτή των ενισχυμένων με συμβατικό χάλυβα δοκών.

Ωστόσο βασικά μειονεκτήματα είναι η πτωχή συμπεριφορά σε υψηλές θερμοκρασίες, το σχετικά υψηλό κόστος(που μειώνεται δραματικά με το χρόνο) και η έλλειψη πλαστιμότητας (όχι όμως και παραμορφωσιμότητας η οποία συμβάλλει στην αύξηση της πλαστιμότητας των στοιχείων σκυροδέματος).Τέλος η έλλειψη παιδείας που διακρίνει τον τεχνικό κόσμο της χώρας, λόγω της σχετικά πρόσφατης και ραγδαίας ανάπτυξης της συγκεκριμένης τεχνικής είναι σημαντική.^{[11],[7]} Επίσης ένα από τα μεγαλύτερα εμπόδια στη χρήση των FRP είναι ο προβληματισμός σχετικά με την αντοχή και την ανθεκτικότητά τους σε φωτιά (Σχ.4). Μετά από τέσσερα χρόνια ερευνών από το ISIS CANADA είναι πλέον αποδεδειγμένο ότι τα νέα FRP είναι πολύ πιο ανθεκτικά σε συνθήκες πυρκαγιάς από ότι στο παρελθόν.^[12]



Σχήμα 3: Αστοχία υποστυλώματος ενισχυμένου με FRP ^[11]



Σχήμα 4: Συμπεριφορά ενισχυμένου υποστυλώματος με ανθρακουφάσματα σε συνθήκες φωτιάς ^[11]

4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

Τα συστήματα ενίσχυσης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος ή φέρουσας ικανότητας με σύνθετα υλικά είναι γενικά δύο τύπων; α. “υγρής εφαρμογής”(ή επί τόπου σκλήρυνση της μήτρας) και β. προκατασκευασμένα” (η σκλήρυνση τη μήτρας έχει προηγηθεί της εφαρμογής). Παρακάτω γίνεται συνοπτικά η παρουσίαση αυτών των συστημάτων.^[1]

Συστήματα υγρής εφαρμογής:

- Φύλλα (sheets) ή υφάσματα (fabrics) αποτελούμενα από συνεχείς ίνες μιας (κυρίως) διεύθυνσης, χωρίς μήτρα
- Υφάσματα (fabrics) αποτελούμενα από συνέχεις ίνες σε δύο τουλάχιστον διευθύνσεις, χωρίς μήτρα
- Φύλλα (sheets) ή υφάσματα (fabrics) αποτελούμενα από συνεχείς ίνες μίας διεύθυνσης προεμποτισμένα με ρητίνη σε μη σκληρυμένη μορφή.
- Φύλλα (sheets) ή υφάσματα (fabrics) αποτελούμενα από συνεχείς ίνες σε τουλάχιστον δύο διευθύνσεις, προεμποτισμένα με ρητίνη σε μη σκληρυμένη μορφή.
- Συνεχείς ίνες χωρίς μήτρα, συγκεντρωμένες σε μορφή νήματος, το οποίο εμποτίζεται με ρητίνη ενώ τυλίγεται στο υπό ενίσχυση δομικό μέλος.
- Προεμποτισμένες συνεχείς ίνες, συγκεντρωμένες σε μορφή νήματος (tow), το οποίο ενώ τυλίγεται στο υπό ενίσχυση δομικό μέλος, υφίσταται ενδεχομένως και πρόσθετο οπλισμό.

Προκατασκευασμένα Υλικά :

- Προκατασκευασμένα ευθύγραμμα ελάσματα (strips), τα οποία επικολούνται μέσω ρητίνης. Τα ελάσματα διατίθενται συνήθως σε μορφή ρολών “κουλούρες”, και παράγονται με τη μέθοδο εξελασης ή σπανιότερα της στρωμάτωσης.
- Προκατασκευασμένες ράβδοι (bars)κυκλικής ή συνήθως ορθογωνικής διατομής, οι οποίες τοποθετούνται σε επιφανειακές εγκοπές γεμισμένες με ρητίνη ή πολυμερή κονίαμα.
- Προκατασκευασμένα κελύφη (shells), μανδύες (jackets) ή γωνίες (angles), τα οποία επικολούνται μέσω ρητίνης

Σε γενικές γραμμές τα προκατασκευασμένα ελάσματα προτιμώνται έναντι των υφασμάτων (ή φύλλων) όταν η εφαρμογή γίνεται σε επίπεδες επιφάνειες (π.χ. καμπτική ενίσχυση δοκών ή πλακών, χιαστί ή οριζόντια διάταξη για τοιχοποιίες σε εντός επιπέδου τέμνουσα) και απαιτούνται σημαντικά πάχη, ενώ σε άλλες περιπτώσεις (π.χ. μανδύες υποστυλωμάτων, διατμητική ενίσχυση δοκών) η εφαρμογή υφασμάτων μέσω της υγρής μεθόδου είναι προτιμητέα.

5. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Η επιλογή του τύπου, της μορφής και της μεθόδου εφαρμογής των σύνθετων υλικών εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες όπως η γεωμετρία και οι διαστάσεις των ως προς ενίσχυση στοιχείων, το είδος της εντατικής τους καταπόνησης, οι περιβαλλοντικές συνθήκες, η εμπειρία του μηχανικού και του εργατικοτεχνικού προσωπικού καθώς και ο προϋπολογισμός της επέμβασης.^[1]

5.1 Βασική τεχνική:

Η βασική τεχνική, η οποία είναι και η πλέον συνηθισμένη (και εφαρμόζεται ουσιαστικά κατ’ αποκλειστικότητα στη χώρα μας), περιλαμβάνει την δια χειρός επικόλληση είτε υφασμάτων (προεμποτισμένων με ρητίνη ή μη προεμποτισμένων), είτε προκατασκευασμένων

στοιχείων(π.χ. ελάσματα) σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος ή τοιχοποιίας, μέσω εποξειδικών ρητινών.

5.2 Ειδικές τεχνικές:

- Αυτοματοποιημένη περιτύλιξη
- Εφαρμογή με προένταση
- Επιταχυμένη σκλήρυνση με θέρμανση
- Προκατασκευασμένα στοιχεία
- Εφαρμογή ράβδων εγκοπής
- Μηχανική στερέωση ελασμάτων με αγκύρια
- Πλέγματα συνεχών ινών σε ανόργανη μήτρα

6. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ – ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

6.1 ΕΠΙΚΟΛΛΗΣΗ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ/ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ ^{[5],[6]}

Αποδεκτά υλικά:

A. Για την εξομάλυνση της επιφάνειας του υποστρώματος, χρησιμοποιούνται μη συρικνούμενα τσιμεντοειδή κονιάματα ή εποξειδικές πάστες με συνάφεια και εφελκυστική αντοχή, τουλάχιστον κατά 50% μεγαλύτερη από την εφελκυστική αντοχή του υποστρώματος. Τα υλικά πρέπει να συνοδεύονται από αναλυτικά τεχνικά φυλλάδια του παραγωγού, υπόκειται σε έγκριση της Υπηρεσίας.

B. Η χρήση ελασμάτων από ανθρακονήματα υψηλού μέτρου ελαστικότητας δε συνίσταται, επειδή τα υλικά αυτά έχουν μικρή παραμορφωσιμότητα. Κρίσιμος παράγων είναι η θερμική αντοχή των ελασμάτων, η οποία ορίζεται ως η θερμοκρασία άνω της οποίας το πολυμερές και το συγκολλητικό υλικό αρχίζουν να αποδομούνται και να χάνουν τις μηχανικές τους ιδιότητες. Η κρίσιμη θερμοκρασία για τα ελάσματα CFRP κυμαίνεται μεταξύ 100°C - 300°C. Από θερμικής άποψης ασθενέστερο είναι το συγκολλητικό υλικό. Ο προσδιορισμός της θερμικής διαστολής των ελασμάτων γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο EN 1770:1998. Επισημαίνεται ότι η ενίσχυση με ινοπλισμένα πολυμερή δεν αίρει τυχόν άλλα προβλήματα του στοιχείου από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπως π.χ. διάβρωση του οπλισμού. Σύμφωνα με το πρότυπο EN 1542:1999 το σκυρόδεμα επί του οποίου θα συγκολληθούν τα ελάσματα πρέπει να διαθέτει αντοχή τουλάχιστον

Γ. Για την επικόλληση των ινοπλισμένων υφασμάτων θα χρησιμοποιούνται εποξειδικές κόλλες χωρίς ανενεργούς διαλύτες με τα εξής χαρακτηριστικά:

α) Εποξειδικές κόλλες δυο συστατικών (ρητίνη, σκληρυντής)

β) Η κατ' όγκον αναλογία ανάμειξης σκληρυντή προς ρητίνη θα υπερβαίνει το 1:3

γ) Το μέτρο ελαστικότητας του σκληρυμένου μίγματος δε θα είναι μικρότερο από το 1/30 του μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος.

δ) Οι αντοχές της κόλλας σε θλίψη και εφελκυσμό θα είναι τουλάχιστον 50% μεγαλύτερες των αντίστοιχων αντοχών του σκυροδέματος.

Οι απαιτήσεις για τα συγκολλητικά υλικά πρέπει να είναι σύμφωνα με το πρότυπο του EN 1504-4:2004 και το Δελτίο της FIB (Federation International du Beton).^{[17],[19]}

6.2 ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ-ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ^{[5],[6]}

Το τεχνικό προσωπικό που θα ασχοληθεί με την εφαρμογή της μεθόδου πρέπει να έχει αποδεδειγμένη εμπειρία (βεβαιώσεις) εργοδοτών, σε έργα επισκευών και ενισχύσεων. Πριν την έναρξη των εργασιών να γίνεται δοκιμαστική εφαρμογή, προκειμένου η υπηρεσία να

διαπιστώσει την ικανότητα του συνεργείου, το οποίο πρέπει να είναι πλήρως εξοπλισμένο. Η επίβλεψη τέλος να γίνεται από μηχανικό 5ετούς τουλάχιστον εμπειρίας.

6.3 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ/ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ^[9]

Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίδεται στην αποθήκευση τους πριν την χρήση τους. Πρέπει να αποφεύγεται η άμεση τοποθέτησή τους σε έδαφος ή δάπεδο κυρίως σε εξωτερικό περιβάλλον ενώ ένα κατάλληλο κάλυμμα κρίνεται απαραίτητο. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες θα πρέπει να λαμβάνονται επίσης υπόψη (όπως υψηλές ή πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, ακτίνες, χημικές ουσίες κτλ) τόσο κατά την αποθήκευση όσο και κατά τη χρήση και εφαρμογή τους. Τα FRP είναι επιρρεπή σε επιφανειακές φθορές και τομές με αιχμηρά αντικείμενα καταστάσεις που μπορούν να μειώσουν την αντοχή τους.

7. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

7.1 ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ Ή ΠΛΑΚΑΣ ^{[5],[6],[7]}

Σχετικά υλικά:

- Ελάσματα από ίνες άνθρακα
- Εποξειδική πάστα επικόλλησης δύο συστατικών
- Ύφασμα από ίνες άνθρακα σε μία διεύθυνση
- Εποξειδική ρητίνη εμποτισμού δύο συστατικών
- Εποξειδική πάστα δύο συστατικών
- Ινοπλισμένο, επισκευαστικό τσιμεντοκονίαμα υψηλών αντοχών

7.1.1 ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ-ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

Η απαίτηση αύξησης της καμπτικής αντοχής δοκού ή πλάκας οπλισμένου σκυροδέματος, μπορεί να παρουσιαστεί στις εξής περιπτώσεις:

- Αύξηση των φορτίων ή αλλαγή χρήσης του χώρου.
- Ανάγκη προσαρμογής παλαιών κατασκευών σε νέους κανονισμούς.
- Γήρανση των δομικών υλικών, διάβρωση του οπλισμού ή/και κατασκευαστικών ελαττωμάτων.
- Ανάγκη αποκατάστασης μετά από σεισμό.

7.1.2 ΛΥΣΗ

Η ενίσχυση σε κάμψη στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα (δοκοί, πλάκες, τοιχία κλπ.) επιτυγχάνεται με την εξωτερική επικόλληση σύνθετων υλικών στο εφελκόμενο πέλμα των παραπάνω στοιχείων. Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται για τη χρήση αυτή βιομηχανικά ελάσματα από ίνες άνθρακα, καθώς επίσης και υφάσματα από ανθρακονήματα μίας διεύθυνσεως, τα οποία τοποθετούνται με τις ίνες τους κατά την διεύθυνση του οπλισμού του στοιχείου.

Με την εν λόγω ενίσχυση επιτυγχάνεται:

- Αύξηση της καμπτικής αντοχής.
- Αύξηση της καμπτικής ακαμψίας (μείωση των παραμορφώσεων).
- Μείωση της αναμενόμενης ρηγμάτωσης.
- Βελτίωση της συμπεριφοράς σε κόπωση.

Σε σχέση με τις συμβατικές επεμβάσεις ενίσχυσης, όπως είναι η επικόλληση χαλύβδινων ελασμάτων, τα ελάσματα ανθρακονημάτων παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Έχουν μικρό βάρος, διατίθενται σε ρολά και κόβονται επιτόπου στο επιθυμητό μήκος. Γενικά, η εφαρμογή τους είναι εύκολη, γρήγορη και οικονομική.
- Αντέχουν στο χρόνο, την κόπωση, την υγρασία και τη διάβρωση.
- Έχουν μικρό πάχος και καλύπτονται/βάφονται πολύ εύκολα.

7.1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Το υπόστρωμα καθαρίζεται επιμελώς από χαλαρά τμήματα, σοβάδες, χρώματα, λίπη κλπ. και στη συνέχεια τρίβεται καλά με σκληρή βούρτσα. Η επιφάνεια που θα γίνει η επικόλληση πρέπει να είναι επίπεδη. Τυχόν επιδιορθώσεις στην επιπεδότητα του υποστρώματος γίνονται με τη βοήθεια του ινοπλισμένου τσιμεντοκονιάματος ή της εποξειδικής πάστας. Κατόπιν αφαιρείται η ενσωματωμένη ταινία από τη μια επιφάνεια του υφάσματος και στην επιφάνεια αυτή εφαρμόζεται με σπάτουλα η εποξειδική πάστα. Η επάλειψη της πάστας στο έλασμα θα πρέπει να γίνεται έτσι ώστε περίσσεια υλικού να συγκεντρώνεται στον άξονα του ελάσματος και όχι στις άκρες. Στη συνέχεια το έλασμα τοποθετείται στην καθαρή και καθαρή επιφάνεια και πιέζεται σταθερά με πλαστικό ρολό έτσι ώστε να υπερχειλίσει η πάστα από τις άκρες και να μην μείνει εγκλωβισμένος αέρας μεταξύ της πάστας και του σκυροδέματος. Το συνολικό πάχος της εποξειδικής πάστας μετά την άσκηση πίεσης πρέπει να είναι 0,5-2 mm. Μετά την τοποθέτηση του ελάσματος στην επιφάνεια εφαρμογής γίνεται έλεγχος εντοπισμού τυχόν εγκλωβισμένου αέρα, με ελαφριά χτυπήματα πάνω στο έλασμα (ηχητικός έλεγχος). Σε περίπτωση που προβλέπεται βελτίωση της αγκύρωσης των ελασμάτων στα άκρα της δοκού, αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση λωρίδων από σύνθετα υλικά τα οποία λειτουργούν και ως οπλισμός διάτμησης (Σχ. α).

7.1.4 ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

Τα στοιχεία προς ενίσχυση θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν αποφορτισμένα δεδομένου ότι τα σύνθετα υλικά αρχίζουν να ενεργούν με την αύξηση της υπάρχουσας παραμόρφωσης.

Η βέλτιστη δυνατή συγκόλληση του ελάσματος (άριστη προετοιμασία υποστρώματος), καθώς και η επαρκής αγκύρωσή του (πέραν της περιοχής που απαιτείται καμπτική ενίσχυση), είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη μέγιστη δυνατή αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης.

Συνιστάται να αποφεύγονται οι ματίσεις, οι οποίες ούτως ή άλλως δεν είναι απαραίτητες λόγω της διαθεσιμότητας των υλικών σε μεγάλα μήκη, ενώ επιτρέπονται οι διασταυρώσεις ελασμάτων ή υφασμάτων (με επικόλληση στις επιφάνειες επαφής).

Εάν απαιτείται έλεγχος αντοχής του υποστρώματος, αυτός γίνεται με τη μέθοδο Pulloff.

Τα ελάσματα έχουν ενσωματωμένη ειδική ταινία και στις δύο επιφάνειές τους, που αφαιρείται λίγο πριν την εφαρμογή και διασφαλίζει χωρίς καθάρισμα και τρίψιμο, μια αδρή και απόλυτα καθαρή επιφάνεια, για καλύτερη πρόσφυση τόσο της ρητίνης, όσο και της τελικής τσιμεντοειδούς επικάλυψης.

Για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας της εφαρμογής θα μπορούσαν να τοποθετηθούν 1-2 επιπλέον της στατικής μελέτης ελάσματα τα οποία θα ελεγχθούν με τη μέθοδο Pulloff αμέσως μετά την σκλήρυνση του συστήματος ή περιοδικά στη διάρκεια ζωής της ενίσχυσης.

Ο χρόνος κατεργασίας των εποξειδικών συστημάτων μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.

Επειδή κατά την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών στην κατασκευή (π.χ. περιπτώσεις πυρκαγιάς), μειώνεται σημαντικά η αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης, είναι απαραίτητη η εξωτερική προστασία του μανδύα σύνθετων υλικών (ειδικά επιχρίσματα, γυψοσανίδες κλπ.).

Η προστασία είναι απαραίτητη και σε περιπτώσεις έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία. Η θερμοκρασία της επιφάνειας του σκυροδέματος κατά την ενίσχυση με σύνθετα υλικά δεν πρέπει να είναι μικρότερη των +5οC.

7.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ ^{[5],[6],[7]}

Σχετικά υλικά:

- Ύφασμα από ίνες άνθρακα σε μία διεύθυνση
- Εποξειδική ρητίνη εμποτισμού 2 συστατικών
- Εποξειδική πάστα 2 συστατικών
- Ινοπλισμένο, επισκευαστικό τσιμεντοκονίαμα υψηλών αντοχών

7.2.1 ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ-ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

Η απαίτηση αύξησης της αντοχής δοκών οπλισμένου σκυροδέματος σε τέμνουσα, μπορεί να παρουσιαστεί στις εξής περιπτώσεις:

- Αύξηση των φορτίων ή αλλαγή χρήσης του χώρου.
- Ανάγκη προσαρμογής παλαιών κατασκευών σε νέους κανονισμούς.
- Γήρανση των δομικών υλικών, διάβρωση του οπλισμού ή/και κατασκευαστικών ελαττωμάτων.
- Ανάγκη αποκατάστασης μετά από σεισμό.

7.2.2 ΛΥΣΗ

Μέσω της επικόλλησης του υφάσματος σε διεύθυνση κάθετη προς αυτή των δοκών, επιτυγχάνεται:

- Αύξηση της διατμητικής αντοχής.
- Δραστική μείωση της πιθανότητας ψαθυρής αστοχίας.
- Σημαντική βελτίωση της συμπεριφοράς των δοκών σε ανακυκλιζόμενες φορτίσεις (σεισμούς) και αύξηση της πλαστιμότητας.

Η ενίσχυση μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη μορφή:

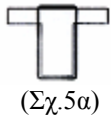
- Συνεχών μανδυών (Σχ. 5γ) ή λωρίδων ανά διαστήματα (Σχ. 5δ).
- Κλειστών μανδυών (περιβάλλουν εντελώς τη δοκό) ή μανδυών ανοιχτού τύπου (λωρίδες με αγκύρωση στα άκρα τους, κατά προτίμηση στη θλιβόμενη ζώνη της δοκού).

Αν και οι κλειστοί μανδύες αποτελούν τη βέλτιστη λύση από άποψη μηχανικής συμπεριφοράς (Σχ. 5α), αυτό δεν είναι εφικτό στις περισσότερες περιπτώσεις δοκών, λόγω της ύπαρξης πλακών και άλλων στοιχείων στηριζόμενων σε αυτές που δεν επιτρέπουν το τύλιγμα του υφάσματος γύρω από την άνω παρεία της δοκού.

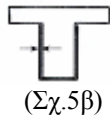
Έτσι, σε περίπτωση πλακοδοκών, ο συνήθης τρόπος ενίσχυσης είναι με το σύνθετο υλικό σε σχήμα U στις πλευρές και στην κάτω παρεία του στοιχείου (Σχ. 5β).

Σε σχέση με τις συμβατικές επεμβάσεις ενίσχυσης, όπως είναι οι μεταλλικοί μανδύες ή οι μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα, οι μανδύες παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Ευκολία και ταχύτητα εφαρμογή.
- Αύξηση της αντοχής των δομικών στοιχείων χωρίς μεταβολή της γεωμετρίας ή αύξηση της δυσκαμψίας τους.
- Ανθεκτικότητα στο χρόνο και προστασία του οπλισμού από την υγρασία και τη διάβρωση.



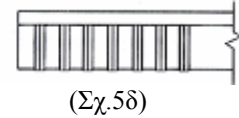
(Σχ.5α)



(Σχ.5β)



(Σχ.5γ)



(Σχ.5δ)

7.2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Το υπόστρωμα καθαρίζεται επιμελώς από χαλαρά τμήματα, σοβάδες, χρώματα, λίπη κλπ. και στη συνέχεια τρίβεται καλά με σκληρή βούρτσα. Υφιστάμενες ρηγματώσεις αποκαθίστανται με τη βοήθεια ρητινενέσεων. Οι επιφάνειες εφαρμογής πρέπει να είναι απόλυτα επίπεδες. Τυχόν επιδιορθώσεις στην επιπεδότητα του υποστρώματος πραγματοποιούνται με τη βοήθεια του ινοπλισμένου τσιμεντοκονιάματος ή της εποξειδικής πάστας. Η σωστά προετοιμασμένη επιφάνεια επαλείφεται με την εποξειδική ρητίνη. Το ύφασμα ανθρακονημάτων κόβεται με ψαλίδι στις απαιτούμενες διαστάσεις, τοποθετείται προσεκτικά (Σχ.6), καλά τεντωμένο στη νωπή επίστρωση και πατιέται σχολαστικά με πλαστικό ρολό, για καλύτερη επαφή με το υπόστρωμα, πλήρη εμποτισμό του και απομάκρυνση των φυσαλίδων αέρα. Εάν παρά το σχολαστικό πάτημα, παραμένουν στεγνά σημεία στο ύφασμα, τα σημεία αυτά επαλείφονται και εξωτερικά με εποξειδική ρητίνη (ώστε ολόκληρο το ύφασμα να είναι τέλεια εμποτισμένο). Εφόσον η μελέτη προβλέπει περισσότερες στρώσεις, η παραπάνω διαδικασία εφαρμογής επαναλαμβάνεται. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει η προηγούμενη επίστρωση με εποξειδική ρητίνη να μην έχει στεγνώσει εντελώς, ειδάλλως απαιτείται καλό τρίψιμο της επιφάνειας πριν τη νέα εφαρμογή. Η τελευταία στρώση επαλείφεται επίσης με εποξειδική ρητίνη και στη νωπή ακόμα τελική επάλειψη γίνεται επίταση χαλαζιακής άμμου προκειμένου να ακολουθήσει αργότερα προστατευτική τσιμεντοειδής επικάλυψη.



Σχ.6: Τοποθέτηση υφάσματος

7.2.4 ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

Σε κάθε περίπτωση, η βέλτιστη δυνατή συγκόλληση του μανδύα (άριστη προετοιμασία υποστρώματος), καθώς και η επαρκής αγκύρωση (στα άκρα του) είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της ενίσχυσης.

Εάν απαιτείται έλεγχος αντοχής του υποστρώματος, αυτός γίνεται με τη συσκευή Pulloff.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται κατά την κοπή του υφάσματος ώστε να μη δημιουργηθούν διπλώσεις και τσακίσεις στο ύφασμα, ενώ η επιφάνεια του υφάσματος πρέπει να είναι καθαρή κατά την τοποθέτησή του.

Ο χρόνος κατεργασίας των εποξειδικών συστημάτων μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.

Η θερμοκρασία της επιφάνειας του σκυροδέματος κατά την ενίσχυση με σύνθετα υλικά δεν πρέπει να είναι μικρότερη των +5οC.

Για λόγους "αναπνοής" των δομικών στοιχείων (ώστε να διευκολύνεται η έξοδος τυχόν εγκλωβισμένης υγρασίας) καλό είναι να διακόπτεται η κατά μήκος του στοιχείου συνέχεια του μανδύα περίπου κάθε 600 mm.

Επειδή κατά την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών στην κατασκευή (π.χ. περιπτώσεις πυρκαγιάς), μειώνεται σημαντικά η αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης, είναι πάντα απαραίτητη η εξωτερική προστασία του μανδύα σύνθετων υλικών (ειδικά επιχρίσματα, γυψοσανίδες κλπ.). Η προστασία είναι απαραίτητη και σε περιπτώσεις έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία. Κατά την εφαρμογή είναι απαραίτητη η χρήση προστατευτικού εξοπλισμού (γάντια, γυαλιά κλπ.).

7.3 ΠΕΡΙΣΦΙΞΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ [5],[6],[7]

Σχετικά υλικά:

- Ύφασμα από ίνες άνθρακα σε μία διεύθυνση
- Εποξειδική ρητίνη εμποτισμού 2 συστατικών
- Εποξειδική πάστα 2 συστατικών
- Ινοπλισμένο, επισκευαστικό τσιμεντοκονίαμα υψηλών αντοχών

7.3.1 ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ-ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

Τα υποστυλώματα μίας κατασκευής είναι πιθανό υπό κάποιες συνθήκες να παρουσιάσουν ανεπάρκεια αντοχής ή/και πλαστιμότητας (δυνατότητα να δεχτούν αυξημένες παραμορφώσεις σε περιπτώσεις σεισμών και άλλων έκτακτων φορτίων), με αποτέλεσμα να γίνεται επιτακτική η ανάγκη ενίσχυσής τους.

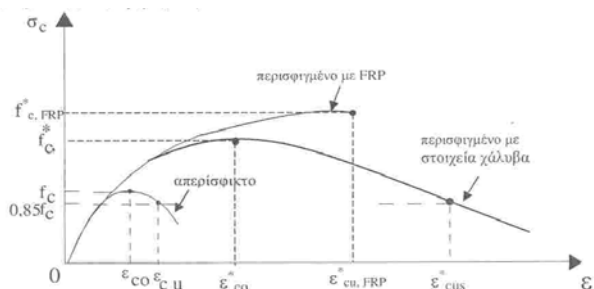
Ενίσχυση των υποστυλωμάτων γίνεται στις εξής περιπτώσεις:

- Προσαρμογής παλαιών κατασκευών σε νέους κανονισμούς.
- Γήρανσης των δομικών υλικών και διάβρωσης του οπλισμού.
- Κατασκευαστικών ελαττωμάτων (π.χ. ανεπαρκής αριθμός, κατανομή και τοποθέτηση των συνδετήρων).
- Αύξησης των φορτίων ή αλλαγής χρήσης του χώρου.
- Αποκατάστασης μετά από σεισμό.

7.3.2 ΛΥΣΗ

Ο εγκιβωτισμός του σκυροδέματος μέσω μανδύα επιφέρει:

- Αύξηση της παραμορφωσιμότητας (π.χ. σε περιοχές πλαστικών αρθρώσεων).
- Αύξηση της θλιπτικής αντοχής.
- Μείωση της πιθανότητας τοπικού λυγισμού των οπλισμών.
- Βελτίωση της συνάφειας σε κρίσιμες περιοχές ενώσεων οπλισμών με μάτιση.



Σχ.7: Διάγραμμα σ-ε για σκυρόδεμα περισιφισμένο με FRP ή χαλύβδινα στοιχεία [2]

Σε σχέση με τις συμβατικές επεμβάσεις ενίσχυσης (Σχ.7), όπως είναι οι χαλύβδινοι μανδύες ή οι μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα, οι μανδύες παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Ευκολία και ταχύτητα εφαρμογής.
- Αύξηση της αντοχής και της πλαστιμότητας, χωρίς μεταβολή της γεωμετρίας ή αύξηση της δυσκαμψίας τους.
- Ανθεκτικότητα στο χρόνο και προστασία του οπλισμού από την υγρασία και τη διάβρωση.

7.3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Το υπόστρωμα καθαρίζεται επιμελώς από χαλαρά τμήματα, σοβάδες, χρώματα, λίπη κλπ. και στη συνέχεια τρίβεται καλά με σκληρή βούρτσα. Υφιστάμενες ρηγματώσεις αποκαθίστανται με τη βοήθεια ρητινένεσεων. Οι εξωτερικές γωνίες στρογγυλεύονται σε

ακτίνα 10-30 mm. Οι επιφάνειες εφαρμογής πρέπει να είναι επίπεδες. Τυχόν επιδιορθώσεις στην επιπεδότητα του υποστρώματος γίνονται με τη βοήθεια του ινοπλισμένου τσιμεντοκονιάματος ή της εποξειδικής πάστας. Η σωστά προετοιμασμένη επιφάνεια επαλείφεται με την εποξειδική ρητίνη. Το ύφασμα κόβεται με ψαλίδι στις απαιτούμενες διαστάσεις, τοποθετείται προσεκτικά, καλά τεντωμένο στη νωπή επίστρωση και πατιέται σχολαστικά με πλαστικό ρολό, για καλύτερη επαφή με το υπόστρωμα, πλήρη εμποτισμό του και απομάκρυνση των φυσαλίδων αέρα. Εάν παρά το σχολαστικό πάτημα, παραμένουν στεγνά σημεία στο ύφασμα, τα σημεία αυτά επαλείφονται και εξωτερικά με εποξειδική ρητίνη (ώστε ολόκληρο το ύφασμα να είναι τέλεια εμποτισμένο). Κατά την περιτύλιξη υποστρωμάτων απαιτείται επικάλυψη των δύο άκρων της λωρίδας κατά 15-20 cm. Εφόσον η μελέτη προβλέπει περισσότερες στρώσεις, η παραπάνω διαδικασία εφαρμογής επαναλαμβάνεται. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει η προηγούμενη επίστρωση με εποξειδική ρητίνη να μην έχει στεγνώσει εντελώς, ειδάλλως απαιτείται καλό τρίψιμο της επιφάνειας πριν τη νέα εφαρμογή. Η τελευταία στρώση επαλείφεται επίσης με εποξειδική ρητίνη και στη νωπή ακόμα τελική επάλειψη γίνεται επίταση χαλαζιακής άμμου, προκειμένου να ακολουθήσει αργότερα προστατευτική τσιμεντοειδής επικάλυψη.

7.3.4. ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

Η αποδοτικότητα της περίσφιξης καθορίζεται από το λόγο πλευρών της διατομής του υποστρώματος (μεγαλύτερος λόγος πλευρών συνεπάγεται μικρότερο συντελεστή απόδοσης), καθώς και την ακτίνα καμπυλότητας στις γωνίες (μεγαλύτερη καμπυλότητα συνεπάγεται καλύτερη απόδοση της περίσφιξης).

Εάν απαιτείται έλεγχος αντοχής του υποστρώματος, αυτός γίνεται με τη συσκευή Pulloff.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται κατά την κοπή του υφάσματος ώστε να μη δημιουργηθούν διπλώσεις και τσακίσεις στο ύφασμα. Επίσης, η επιφάνεια των υφασμάτων πρέπει να είναι καθαρή κατά την τοποθέτησή τους χωρίς σκόνη, γράσα κλπ.

Κατά την περιτύλιξη των υποστηλωμάτων δεν απαιτείται αλληλοεπικάλυψη μεταξύ δύο διαδοχικών καθ' ύψος λωρίδων. Η απόστασή τους ωστόσο δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 10 mm.

Ο χρόνος εφαρμογής των εποξειδικών συστημάτων μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.

Η θερμοκρασία της επιφάνειας του σκυροδέματος κατά την ενίσχυση με σύνθετα υλικά δεν πρέπει να είναι μικρότερη των +5°C.

Επειδή κατά την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών στην κατασκευή (π.χ. περιπτώσεις πυρκαγιάς), μειώνεται σημαντικά η αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης, είναι απαραίτητη η εξωτερική προστασία του μανδύα σύνθετων υλικών (ειδικά επιχρίσματα, γυψοσανίδες κλπ.).

Επίσης προστατευμένη πρέπει να είναι η τελική επισκευασμένη επιφάνεια και σε περιπτώσεις έκθεσης αυτής σε ηλιακή ακτινοβολία.

Κατά την εφαρμογή είναι απαραίτητη η χρήση προστατευτικού εξοπλισμού (γάντια, γυαλιά κλπ.).

7.4 ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ ^[15]

7.4.1 Τυπικοί βαθμοί βλάβης που επισκευάζονται με εφαρμογές FRP είναι:

- Απλή ρηγματώση (πάχος ρωγμής: για δοκούς 2-5 mm, για υποστρώματα 0.5-3 mm). Οι βλάβες σε αυτό το βαθμό αποκαθίστανται με χρήση εποξειδικών ρητινών και επικόλληση ελασμάτων ή σύνθετων υλικών στο σκυρόδεμα.

- Μερική Αποδιοργάνωση.

Οι βλάβες αυτού του βαθμού αποκαθίστανται με μερική καθαίρεση του βλαμμένου σκυροδέματος και αντικατάσταση αυτού με νέο σκυρόδεμα, ενίσχυση με νέους οπλισμούς ή επικόλληση χαλύβδινων ελασμάτων ή σύνθετων υλικών ή προσθήκη εξωτερικού μανδύα σκυροδέματος.

7.4.2 Μέθοδοι επισκευών με FRP

- Επικόλληση Ελασμάτων σε Σκυρόδεμα (beton plaque)

Η επικόλληση γίνεται με εποξειδική ρητίνη στο εφελκυσμένο πέλμα των δοκών, στις κατακόρυφες παρειές των δοκών ή στους κόμβους. Τα ελάσματα πρέπει να είναι λεπτά (συνήθως 1 έως 1.5 mm) για να περιορισθεί η τάση αποκολλήσεως και επίσης για να είναι εύκαμπτα ώστε να κολλήσουν καλά και να συνεργαστούν με την παλαιά δοκό.

- Επισκευή με Σύνθετα Υλικά από Ίνες Υάλου Υψηλής Αντοχής.

Τα σύνθετα υλικά αποτελούνται από ίνες υάλου υψηλής αντοχής «συραμμένες ή πλεγμένες» σε μορφή «υφάσματος». Τα «υφάσματα» ινών, αφού εμποτιστούν με ειδικές εποξειδικές ρητίνες, σχηματίζουν ένα σύνθετο υλικό υψηλής αντοχής το οποίο επικολλάται στις κατάλληλα προετοιμασμένες επιφάνειες του δομικού στοιχείου αποτελώντας μόνιμη επένδυση επισκευής και ενίσχυσής του. Η χρήση των σύνθετων υλικών μπορεί να θεωρηθεί ως εξέλιξη των ενισχύσεων με μεταλλικά ελάσματα

- Σύνθετα υλικά ινών υάλου υψηλής αντοχής εμποτισμένων με κατάλληλες εποξειδικές ρητίνες.

Τα σύνθετα υλικά εφαρμόζονται σε δομικά στοιχεία των οποίων οι ρηγματώσεις έχουν προετοιμασθεί με τσιμεντενέσεις, τσιμεντοκονιάματα, εποξειδικές ρητίνες ή εποξειδικά κονιάματα. Η εφελκυστική αντοχή των σύνθετων υλικών πρέπει να είναι τουλάχιστον 500 Μπα στην κύρια διεύθυνση των ινών υάλου. Λόγω του μικρού τους πάχους (περίπου 1.3 mm ανά στρώση) οι διαστάσεις του δομικού στοιχείου παραμένουν πρακτικά αμετάβλητες, και το πρόσθετο βάρος στην κατασκευή είναι ουσιαστικά αμελητέο.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Ο μελετητής πρέπει να έχει υπόψη του ότι η επισκευή ενός κτιρίου με βλάβες από σεισμό που επηρεάζουν γενικότερα την ασφάλειά του αποτελεί ειδικό πρόβλημα που χρειάζεται βαθιά και εμπειριστατωμένη μελέτη για να καταλήξει σε λύση επιστημονικά, τεχνικά αλλά και οικονομικά αποδεκτή. Ιδιαίτερη σημασία έχει η συστηματική επίβλεψη καθώς και αυστηροί ποιοτικοί έλεγχοι τόσο για τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν όσο και για τις τεχνικές που θα εφαρμοστούν.

8. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΛΑΒΗ

Για την διαπίστωση της ορθής εφαρμογής των ινοπλισμένων πολυμερών πρέπει να διεξάγονται οι ακόλουθοι έλεγχοι: ^{[5],[6]}

8.1 ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Ο οπτικός έλεγχος αποσκοπεί στον εντοπισμό κακοτεχνιών (π.χ. ύπαρξη πτυχώσεων, φθορών ή τραυματισμών εγκλωβισμός αέρα μεταξύ υφάσματος και υποστρώματος ή μεταξύ υφασμάτων, ο ελλιπής εμποτισμός των υφασμάτων, η

ανομοιομορφία της κατεύθυνσης των ινών, η δημιουργία πτυχώσεων, ο ελλιπής πολυμερισμός της εποξειδικής κόλλας, η μειωμένη συγκολλητική ικανότητα της εποξειδικής κόλλας, το ανεπαρκές μήκος αλληλοκάλυψης των υφασμάτων κλπ).

Κατά την διάρκεια της επικόλλησης, θα ελέγχεται η εφαρμογή των κανόνων έντεχνης εκτέλεσης της υγρασίας ώστε τυχών κακοτεχνίες να εντοπίζονται έγκαιρα και να αίρονται πριν από την ολοκλήρωση της εργασίας.

8.2 ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ (ΚΡΟΥΣΤΙΚΟΣ) ΕΛΕΓΧΟΣ

Ο μηχανικός έλεγχος γίνεται στο τέλος ή και σε ενδιάμεσα στάδια εκτέλεσης της εργασίας για την διαπίστωση της στερεότητας και της συνοχής της επέμβασης με ελαφριές κρούσεις με σφυρί πλαστικής ή ελαστικής επαφής με στρογγυλεμένα άκρα, με προσοχή ώστε να μην τραυματιστεί το ύφασμα. Υπόκωφος ήχος συνεπάγεται πλημμελή συγκόλληση, εγκλωβισμό αέρα, μη τήρηση των χρονικών ορίων εφαρμογής της κόλλας.

8.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΡΟΣΦΥΣΗΣ

Η πρόσφυση των υφασμάτων επί του σκυροδέματος πρέπει να ελέγχεται με δοκιμή αποκόλλησης δείγματος. Η δοκιμή θεωρείται επιτυχής όταν κάθε δοκίμιο που ελέγχεται δεν εμφανίζει αστοχία στην επιφάνεια υφάσματος και υποστρώματος ή την διεπιφάνεια μεταξύ των υφασμάτων.

9. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΜΕ FRP ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Παράδειγμα 1

Η γέφυρα Sierrita de la Cruz Creek Bridge in Potter Country, στο Τέξας έχει αντικατασταθεί επειδή κρίθηκε κατασκευαστικά ανεπαρκής και λειτουργικά απαρχαιωμένη. Η καινούρια γέφυρα έχει μήκος 168,6 m και αποτελείται από 7 ανοίγματα στα οποία χρησιμοποιείται προεντεταμένο σκυρόδεμα. Η χρήση FRP εφαρμόστηκε στο πάνω μέρος του νοτίου άκρου της γέφυρας ενώ στο κάτω μέρος εφαρμόστηκε συμβατικός χάλυβας. Εκτός από την αντοχή και τα επιτρεπόμενα όρια τάσεων, το πάχος των ρωγμών είναι ο κύριος παράγοντας σχεδιασμού και καθορισμού του μεγέθους και του ανοίγματος των FRP στο κατάστρωμα της γέφυρας.^[3]

Παράδειγμα 2

Η έρευνα από το πανεπιστήμιο του WISCONSIN-MADISON με τη συνεργασία της Innovative Bridge Research and Construction Program (IBRC) USA, ξεκίνησε αναζητώντας μη διαβρώσιμα υλικά για την ενίσχυση καταστρωμάτων γεφυρών εθνικών οδών, καθώς η διάβρωση του συμβατικού χάλυβα οπλισμού(κυρίως εξ' αιτίας των εναλλαγών θερμοκρασίας) είναι η βασική αιτία καταστροφής των καταστρωμάτων από σκυρόδεμα. Έτσι κατέληξαν στην ενίσχυση με FRP αντικαθιστώντας το συμβατικό χάλυβα οπλισμού.

Συγκεκριμένα αναφέρεται η κατασκευή υπερυψωμένης(υπέργειας) διάβασης, μέρος της US Highway 151 στο Wisconsin. Τρία είδη FRP συνδυάστηκαν για την ενίσχυση του κατασκευασμένου από σκυρόδεμα καταστρώματος: FRP stay in place SIP (panels), ράβδοι FRP (διαμέτρου #4, #6, #8) και προκατασκευασμένες εσχάρες FRP (δύο διευθύνσεων).

Τα FRP χρησιμοποιούνται εκτενέστερα τα τελευταία χρόνια .Ωστόσο ο συγκεκριμένος συνδυασμός που έγινε είναι αυτό που κάνει τη γέφυρα αυτή μοναδική. Ο σχεδιασμός του έργου έγινε σύμφωνα με τις προδιαγραφές του American Concrete Institute (ACI).^[14]

Η κατασκευή της γέφυρας ξεκίνησε στις αρχές του 2003 και δόθηκε στην κυκλοφορία το καλοκαίρι του 2004.Κατα τη διάρκεια των εργασιών έγιναν εργαστηριακές δοκιμές του συστήματος ενίσχυσης καθώς και δοκιμές διάτμησης ,κάμψης, κόπωσης, για να διαπιστευτεί η ικανότητα του συστήματος καταστρώματος για την παραλαβή των φορτίων κυκλοφορίας. Τέλος έγιναν δοκιμές για την εναλλαγή θερμοκρασιών .Οι δοκιμές απέδειξαν πως το σύστημα ενίσχυσης με FRP μπορούσε αξιόπιστα να αναλάβει τα φορτία σχεδιασμού και ήταν ανθεκτικό στις εναλλαγές θερμοκρασίας.

Συγκριτικά με την κατασκευή πανομοιότυπης γέφυρας ενισχυμένη με συμβατικό χάλυβα που έλαβε χώρα την ίδια περίοδο, στην ίδια εθνική οδό (με διαφορά το πάχος του σκυροδετημένου καταστρώματος το οποίο αυξήθηκε από 200mm σε 215,9mm στη γέφυρα με FRP διότι στο κέντρο της υπήρξε πρόβλημα κάλυψης των εσχάρων), διαπιστώθηκαν τα εξής: Το κόστος την ενισχυμένης με FRP γέφυρας ήταν 60% αυξημένο σε σχέση με τη συμβατική γέφυρα. Ωστόσο η χρήση των FRP είχε ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση έως 57% σε εργατικά έξοδα και κατασκευαστικό χρόνο. Βασίζόμενοι στην εξοικονόμηση χρόνου κατασκευής και εργατικών εξόδων καθώς και στην υποτιθέμενη μακροπρόθεσμη ανθεκτικότητα και στα οφέλη διατήρησης /συντήρησης , φαίνεται πως η ενίσχυση με FRP των καταστρωμάτων είναι αποτελεσματική και εντυπωσιακή παρά το αρχικό υψηλό κόστος συγκριτικά με το συμβατικό χάλυβα.^{[4],[13]}

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ακόμα και αν υπάρχουν κάποια άλυτα θέματα, που πρέπει να έχουν προτεραιότητα στις μελλοντικές έρευνες, καταλήγουμε ότι η δυνατότητα σχεδιασμού και εφαρμογής ενισχύσεων με τη χρήση FRP, παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων μεθόδων ενίσχυσης επέμβασης παρόλο το υψηλό κόστος που όμως μειώνεται δραματικά με το χρόνο. Τα υλικά και οι μέθοδοι εφαρμογής εξελίσσονται ταχύτατα δίνοντας προηγμένες ιδιότητες και χαρακτηριστικά. Ωστόσο, δεν παύει να θεωρείται ως μια ακόμα τεχνική ενίσχυσης η οποία συμπληρώνει τις υφιστάμενες. Κυρίως στη χώρα μας, υπάρχει έλλειψη βασικών γνώσεων και παιδείας η οποία πρέπει να καλυφθεί με περαιτέρω έρευνα και ενημέρωση ώστε η συγκεκριμένη τεχνική ενίσχυσης να δίνει ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Τριανταφύλλου Αθ., **“Ενισχύσεις Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος και Φέρουσας Τοιχοποιίας με Σύνθετα Υλικά”**, Πάτρα, 2006.
- [2] Δρίτσος Σ.Η., **“Ενισχύσεις / Επισκευές Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα”**, Πάτρα, 2006.
- [3] Nanni, A., Faza,S., **“Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars: An Emerging Technology”**, (2001), www.campus.umar.edu/rb2c/publications/journal/2002
- [4] Berg, Adam, C., Bank, Lawrence, C., Oliva, Michael, G., Russell, Jeffrey, S., **“Construction and Cost Analysis of an FRP Reinforced Concrete Bridge Deck”**, Construction and Building Materials 20 (2006) 515-526
- [5] Υ.Π.Ε.ΧΩ.ΔΕ., Ινστιτούτο Οικονομίας Κατασκευών (Ι.Ο.Κ.), ΠΕΤΕΠ, 14-01-08-01: **“Strengthening of Concrete Structures Using Externally Bonded Preformed FRP”**

Fabrics

Επικόλληση Υφασμάτων”, Έκδοση 1^η, www.iok.gr

- [6] Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε., Ινστιτούτο Οικονομίας Κατασκευών (Ι.Ο.Κ.), ΠΕΤΕΠ, 14-01-08-02:
“**Strengthening of Concrete Structures Using Externally Bonded Preformed FRP Laminates, Επικόλληση Ελασμάτων**”, Έκδοση 1^η, www.iok.gr
- [7] www.isomat.eu
- [8] www.kemlite.com
- [9] Japan Society of Civil Engineers www.jsce-int.org.jp
- [10] Japan Concrete Institute www.jci.net.or.jp
- [11] www.iifc-hq.org/photocompetition05/album.htm
- [12] www.isiscanada.com
- [13] American Concrete Institute www.aci-int.org
- [14] American Society of Civil Engineers www.asce.org
- [15] Αφιερώματα ΤΕΕ, Τεύχος 2072, “**Συνοπτικές Διαδικασίες για την Επισκευή του Φέροντος Οργανισμού Κτιρίων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με Βλάβες από Σεισμό**” www.tee.gr
- [16] Τριανταφύλλου, Αθ. Χ., Παπανικολάου, Αικ. Γ., Μπουρνάς, Δ., Λόντου, Π., “**Νέα γενιά συνθέτων υλικών ανόργανης μήτρας (TRM) για την ενίσχυση κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος**” 15^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, 25-27 Οκτ., Αλεξανδρούπολη, 2006
- [17] www.fib.org
- [18] www.fhwa.dot.gov/bridge/ibrc/
- [19] www.iso.org
- [20] www.projects.bre.co.uk