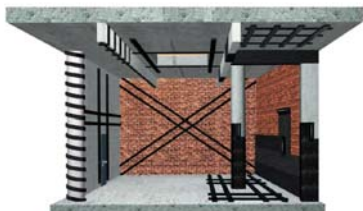




ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

Αρ. Μητρώου Σχολής : 22750

Τηλ. Επικοινωνίας 6973-244686

ΒΑΡΕΛΙΔΟΥ ΚΑΛΛΙΟΠΗ
Αρχιτέκτων Μηχανικός

ΒΑΡΕΛΙΔΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ
Αρχιτέκτων Μηχανικός

ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1: ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

1.1	Εισαγωγή.....	1
1.2	Στρατηγικές επεμβάσεων.....	1
1.2.1	Συστήματα επεμβάσεων.....	2
1.2.2	Επιλογή συστημάτων επεμβάσεων.....	2
1.2.3	Σχεδιαστικοί περιορισμοί.....	3

2: ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΛΑΒΩΝ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

2.1	Χρησιμότητα ελέγχων διάγνωσης βλαβών.....	3
2.2	Τυπικοί βαθμοί δομικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα.....	4
2.3	Μέθοδοι και όργανα διάγνωσης βλαβών.....	5

3: ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

3.1	Εισαγωγή.....	6
3.2	Επισκευή δοκών.....	6
3.2.1	Ελαφρές βλάβες.....	6
3.2.2	Τοπική αποδιοργάνωση.....	7
3.2.3	Πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος.....	7

4: ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΩΝ

4.1	Ενίσχυση σε κάμψη με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος.....	7
4.2	Ενίσχυση με προσθήκη νέων μεταλλικών μελών.....	9
4.3	Ενίσχυση με μείωση του ανοίγματος της δοκού.....	10
4.4	Ενίσχυση με προσθήκη κοχλιωμένου εφελκυσμένου οπλισμού.....	11
4.5	Ενίσχυση με προσθήκη επικολλητών χαλύβδινων ελασμάτων.....	11
4.6	Ενίσχυση δοκών σε διάτμηση.....	12
4.7	Ενίσχυση δοκών με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος.....	13

5: ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

5.1	Επισκευή υποστυλωμάτων.....	13
5.2	Ενίσχυση υποστυλωμάτων.....	14
5.2.1	Ενίσχυση υποστυλωμάτων με αύξηση της διατομής.....	14
5.2.2	Ενίσχυση υποστυλωμάτων με περίσφιγξη.....	15
5.2.3	Προσθήκη νέων υποστυλωμάτων.....	16

6: ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

6.1	Εισαγωγή.....	16
6.2	Κατηγορίες σύνθετων υλικών.....	19

Αντισεισμικές Ενισχύσεις με Σύνθετα Υλικά

6.3	Ιδιότητες σύνθετων υλικών από ινοπλισμένα πολυμερή.....	21
6.4	Υλικά ινών.....	22
6.4.1	Ίνες υάλου.....	23
6.4.2	Ίνες άνθρακα.....	23
6.4.3	Ίνες πολυαραμίδης.....	24
6.5	Μήτρες σύνθετων υλικών.....	25
6.6	Συμπεριφορά σύνθετων υλικών ινοπλισμένων πολυμερών.....	28
6.6.1	Ιστορική αναδρομή.....	28
6.6.2	Περιβαλλοντικές συνθήκες.....	29
6.6.3	Επίδραση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.....	30
6.6.4	Συμπεριφορά στο νερό.....	31
6.6.5	Υπεριώδης ακτινοβολία.....	33
6.6.6	Γαλβανική διάβρωση.....	33
6.6.7	Ερπυσμός.....	33
6.6.8	Θραύση και διάβρωση λόγω έντασης.....	34
6.6.9	Κόπωση.....	34
6.6.10	Κρούση.....	34

7: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

7.1	Σύμφυση και επαφή διεπιφανειών.....	35
7.2	Προετοιμασία επιφάνειας σκυροδέματος.....	36
7.3	Στάδια εφαρμογής σύνθετων υλικών.....	38
7.4	Αρχές σχεδιασμού συστημάτων επισκευής και ενίσχυσης με σύνθετα υλικά....	39
7.5	Επιβολή εξωτερικής περίσφιγξης με μανδύα σύνθετων υλικών.....	39
7.6	Αύξηση αντοχής σε τέμνουσα.....	43
7.7	Αύξηση αντοχής σε κάμψη.....	44

1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Εισαγωγή

Τα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα αποτελούν την πλειονότητα των κατασκευών που μελετήθηκαν και οικοδομήθηκαν στην Ελλάδα έως τα τέλη της δεκαετίας του 1970. Η φυσική φθορά που υφίσταται μια κατασκευή με το χρόνο, εφόσον δεν υπάρχει πρόνοια για κατάλληλη συντήρηση και ενίσχυση της, μειώνει την αντοχή της κατασκευής για την ανάληψη σεισμικών φορτίων.

Στρατηγικές επεμβάσεων

Η στρατηγική των επεμβάσεων είναι η βασική προσέγγιση που υιοθετείται για τη βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς μίας κατασκευής ή για τη μείωση της διακινδύνευσης σε αποδεκτά όρια. Για τη μείωση της σεισμικής διακινδύνευσης, μπορούν να εφαρμοστούν στρατηγικές είτε καθαρά τεχνικής είτε διαχειριστικής φύσης.

Στρατηγικές τεχνικής φύσης:

Η αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας του κτιρίου, η αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης και η μείωση της σεισμικής απαίτησης.

Στρατηγικές διαχειριστικής φύσης:

Η πιθανή αλλαγή χρήσης, η εφαρμογή των επεμβάσεων και η λήψη προσωρινών μέτρων ενίσχυσης.

Πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη και θέματα όπως:

- (1) Η απόφαση να υλοποιηθούν οι επεμβάσεις ενώ το κτίριο παραμένει σε χρήση ή να εκκενωθεί το κτίριο μέχρι να πραγματοποιηθούν οι εργασίες ενίσχυσης.
- (2) Να θεωρηθεί αποδεκτή η υπάρχουσα σεισμική διακινδύνευση της κατασκευής.
- (3) Να κατεδαφιστεί το υπάρχον κτίριο και να αντικατασταθεί με άλλο.

- (4) Να υλοποιηθούν οι προτεινόμενες επεμβάσεις μέσα σε μεγάλο χρονικό περιθώριο ή να ληφθούν προσωρινά μέτρα ενίσχυσης μέχρι να αντικατασταθεί η κατασκευή.
- (5) Αν οι επεμβάσεις θα γίνουν στο εξωτερικό του κτιρίου ή στο εσωτερικό του προκειμένου να μην αλλοιωθούν τα χαρακτηριστικά της εξωτερικής όψης.

Συστήματα Επεμβάσεων

Το σύστημα των επεμβάσεων είναι η συγκεκριμένη μέθοδος επεμβάσεων που χρησιμοποιείται για την επίτευξη της στρατηγικής που έχει επιλεγεί.

1. Βελτίωση του φορέα με τοπικές επεμβάσεις
2. Αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας του φορέα
3. Αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης
4. Μείωση της σεισμικής απαίτησης.

Επιλογή συστήματος επεμβάσεων

Μπορούμε να ταξινομήσουμε τις μεθόδους αντισεισμικής ενίσχυσης ανάλογα με τον επιδιωκόμενο στόχο ως εξής:

- Αν ο στόχος είναι η αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής της κατασκευής, τότε η πλέον αποτελεσματική μέθοδος είναι η προσθήκη τοιχωμάτων εντός των πλαισίων του φορέα. Ακολουθεί η μέθοδος της προσθήκης δικτυωτών συνδέσμων, η μέθοδος της προσθήκης τοιχωμάτων κατ'επέκταση υφιστάμενων υποστυλωμάτων και η χρήση σύνθετων υλικών.
- Αν ο στόχος είναι η αύξηση της πλαστιμότητας, τότε η μέθοδος που ενδείκνυται είναι η κατασκευή μανδύων σε ένα πλήθος επιλεγμένων υποστυλωμάτων, καθώς και η χρήση σύνθετων υλικών.
- Αν ο στόχος είναι η ταυτόχρονη αύξηση αντοχής, δυσκαμψίας και πλαστιμότητας της κατασκευής τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε από τις μεθόδους

αντισεισμικής ενίσχυσης λαμβάνοντας υπόψη τον επιθυμητό βαθμό αύξησης του μεγέθους καθενός από τα παρακάτω χαρακτηριστικά. Στην περίπτωση που οι απαιτούμενες αυξήσεις είναι ιδιαίτερα υψηλές και για τα τρία χαρακτηριστικά, είναι κατά κανόνα αναπόφευκτη η προσθήκη νέων κατακόρυφων στοιχείων.

Σχεδιαστικοί περιορισμοί

Οι σχεδιαστικοί περιορισμοί είναι οι παράγοντες εκείνοι, πέρα από τα χαρακτηριστικά του φέροντος οργανισμού της κατασκευής, που επηρεάζουν άμεσα τη δυνατότητα υλοποίησης μίας στρατηγικής ή ενός συστήματος επεμβάσεων. Μεταξύ των παραγόντων αυτών περιλαμβάνονται η επιλεγείσα στάθμη επιτελεστικότητας, περιορισμοί κόστους που αφορούν είτε στη μελέτη είτε στην κατασκευή, καθώς επίσης και χρονικοί περιορισμοί σχετικά με την αποπεράτωση του έργου. Περιορισμοί ακόμη μπορεί να επιβληθούν από πολεοδομικές διατάξεις, απαιτήσεις διατήρησης του ιστορικού χαρακτήρα της κατασκευής, καθώς και τις επιπτώσεις των εργασιών ανασχεδιασμού στη λειτουργικότητα και τη χρήση του κτιρίου τόσο κατά τη διάρκεια όσο και μετά την ολοκλήρωσή τους.

2. ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΛΑΒΩΝ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

2.1 Χρησιμότητα ελέγχων διάγνωσης βλαβών

Το σκυρόδεμα ως δομικό υλικό έχει μεγάλη διάρκεια ζωής. Αναπτύσσει αντοχή που αυξάνει με το χρόνο, αλλά ταυτόχρονα υπόκειται στους νόμους φθοράς που διέπουν και τα υπόλοιπα δομικά υλικά. Η δομική κατάσταση του σκυροδέματος πολύ δύσκολα μπορεί να προσδιοριστεί μόνο με οπτικό έλεγχο.

Για παράδειγμα, η αντοχή του σκυροδέματος μειώνεται λόγω διάβρωσης του οπλισμού, καθώς τα προϊόντα της οξειδωσίας επεκτείνονται στον όγκο του σκυροδέματος και προκαλούν αποφλοιώση και ρηγμάτωση.

2.2 Τυπικοί βαθμοί βλάβης δομικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα.

1. Απλή ρηγμάτωση (εικόνα 2.1)

Το στοιχείο παρουσιάζει είτε μεμονωμένες ρωγμές μικρού εύρους, είτε πολλές ρωγμές λόγω κάμψης ή μεμονωμένες λοξές ρωγμές λόγω διάτμησης μικρού εύρους.



Εικόνα 2.1 (πηγή: Σπυράκος, 2004)

2. Μερική αποδιοργάνωση (εικόνα 2.2)

Παρατηρείται έντονη ρηγμάτωση μεγάλου πλάτους καθώς και τοπική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος από θλίψη ή και διάτμηση.



Εικόνα 2.2 (πηγή: Σπυράκος, 2004)

3. Διακοπή συνέχειας από πλήρη αποδιοργάνωση σκυροδέματος (εικόνα 2.3)
Χαρακτηρίζονται βαριές βλάβες. Παρατηρείται θραύση του σκυροδέματος του στοιχείου, βλάβη των κυρίων οπλισμών και διακοπή της συνέχειας του στοιχείου.



Εικόνα 2.3 (πηγή: Λιόντος & Συνεργάτες, 2006)

2.3 Μέθοδοι και όργανα διάγνωσης βλαβών

Διακρίνονται 4 κατηγορίες ελέγχων.

1. Μη καταστροφικοί: Οπτικός έλεγχος, κρουσιμέτρηση, χρήση υπερήχων, μαγνητικές μέθοδοι, μέτρηση του ηλεκτρικού δυναμικού σιδηροπλισμού, ακτινογράφιση με ακτίνες Χ, θερμογράφιση με υπέρυθρη ακτινοβολία, μέτρηση του ποσοστού υγρασίας με εκπομπή νετρονίων.
2. Ημικαταστροφικοί: Λήψη πυρήνων, χρήση εξολκέα, έλεγχος ράβδων οπλισμού σε εφελκυσμό, μέθοδος της πετρογραφικής ανάλυσης.
3. Επιτόπου χημικοί οι οποίοι σχετίζονται με τη διάρκεια ζωής του σκυροδέματος όπως ο έλεγχος χλωριόντων.

4. Καθολική φόρτιση: Η καθολική φόρτιση είναι το έσχατο μέσο για την αξιολόγηση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, των οποίων τα αρχικά σχέδια δεν είναι διαθέσιμα και η φέρουσα ικανότητα είναι ασαφής. Στην κατασκευή ασκούνται διαφόρων ειδών δυναμικές φορτίσεις. Στη συνέχεια υπολογίζονται τα δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής τα οποία μπορούν να δώσουν σημαντικές πληροφορίες για το επίπεδο των βλαβών.

3. ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

3.1 Εισαγωγή

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται κυρίως για το σκοπό αυτό είναι το σκυρόδεμα και ο χάλυβας. Το κυριότερο πλεονέκτημα των υλικών αυτών, που συχνά χαρακτηρίζονται ως συμβατικά, σε σχέση με τα νέα υλικά όπως τα ινοπλισμένα πολυμερή είναι η πολύ καλή γνώση των ιδιοτήτων τους και η μακροχρόνια εφαρμογή τους στην πράξη.

Επιπλέον κατασκευές που είχαν υποστεί βλάβες λόγω σεισμικής δράσης και επισκευάστηκαν ή ενισχύθηκαν με κάποια από τις παραδοσιακές μεθόδους, κατά κανόνα επέδειξαν πολύ καλή συμπεριφορά σε μεταγενέστερους σεισμούς. Για τους λόγους αυτούς, οι παραδοσιακές μέθοδοι επισκευής και ενίσχυσης θεωρούνται σήμερα εξαιρετικά αξιόπιστες και αποτελούν συνήθη πρακτική επέμβασης σε υφιστάμενες κατασκευές.

3.2 Επισκευή δοκών

Η επισκευή μιας δοκού έχει ως στόχο την αποκατάσταση των χαρακτηριστικών που είχε πριν υποστεί βλάβες σε σχέση με την αντοχή της και τη δυσκαμψία της. Η επιλογή του τρόπου επισκευής εξαρτάται άμεσα από το βαθμό βλάβης που παρουσιάζει η δοκός.

3.2.1 Ελαφρές βλάβες

Στην περίπτωση ελαφρών βλαβών η επισκευή της δοκού γίνεται με συγκόλληση των ρωγμών με εποξική ρητίνη.

3.2.2 Τοπική αποδιοργάνωση

Αν η δοκός έχει υποστεί τοπική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος σε περιορισμένη έκταση πραγματοποιείται υποστύλωση της δοκού, καθαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος, τοποθέτηση στην εξωτερική παρειά της δοκού ελαφρού δομικού πλέγματος και διάστρωση εκτοξευόμενου ή έγχυτου σκυροδέματος.

Ένα πρόβλημα που αντιμετωπίζεται συνήθως στην κατασκευή του μανδύα, είναι η συστολή ξηράνσεως του νέου σκυροδέματος. Για το λόγο αυτό καλό είναι να χρησιμοποιείται σκυρόδεμα με κατάλληλα χημικά πρόσθετα ή να αντικαθίσταται το τσιμέντο από μη συρρικνούμενη κονία, ενώ οι κόκκοι του αδρανούς πρέπει να είναι μικρότεροι ή ίσοι με τους κόκκους του υπάρχοντος σκυροδέματος.

Πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος

Όταν εμφανίζεται πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος τμήματος της δοκού που συνοδεύεται από βλάβες τόσο του διαμήκους, όσο και του εγκάρσιου οπλισμού εφαρμόζεται η εξής τεχνική : Πραγματοποιείται υποστύλωση της δοκού, καθαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος και καθαρισμός της εναπομένουσας διατομής. Μετά γίνεται έλεγχος του υπάρχοντος διαμήκους οπλισμού και ενίσχυση αυτού, αν απαιτείται με ηλεκτροσυγκόλληση νέων ράβδων.

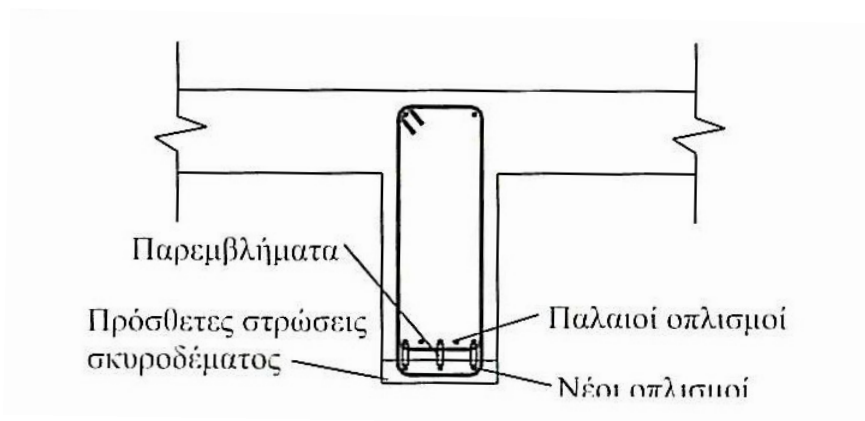
Αφού απομακρυνθούν οι διερρηγμένοι συνδετήρες, τοποθετούμε νέους πυκνούς συνδετήρες και γίνεται διαμόρφωση των παρειών του παλαιού σκυροδέματος. Τοποθετείται ο ξυλότυπος και σκυροδετείται το καθαιρεμένο τμήμα με έγχυτο σκυρόδεμα.

4. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΩΝ

4.1 Ενίσχυση σε Κάμψη με Πρόσθετες Στρώσεις Σκυροδέματος (Εικόνα 4.1)

Όταν η αντοχή μιας δοκού σε κάμψη δεν πληροί τα κριτήρια σχεδιασμού, είναι δυνατή η ενίσχυση του εφελκυσμένου πέλματος με νέους διαμήκεις οπλισμούς που καλύπτονται από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε όλο το πλάτος της δοκού. Το πάχος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι 7-10cm. Πριν την εφαρμογή της μεθόδου πρέπει να γίνεται

αποφόρτιση της ενισχυόμενης δοκού στο μέγιστο δυνατό βαθμό. Η σύνδεση του υπάρχοντος με το νέο οπλισμό γίνεται μέσω παρεμβλημάτων, τα οποία μπορεί να είναι καβίλες ή αναρτήρες.



Εικόνα 4.1 (πηγή: Σπυράκος, 2004)

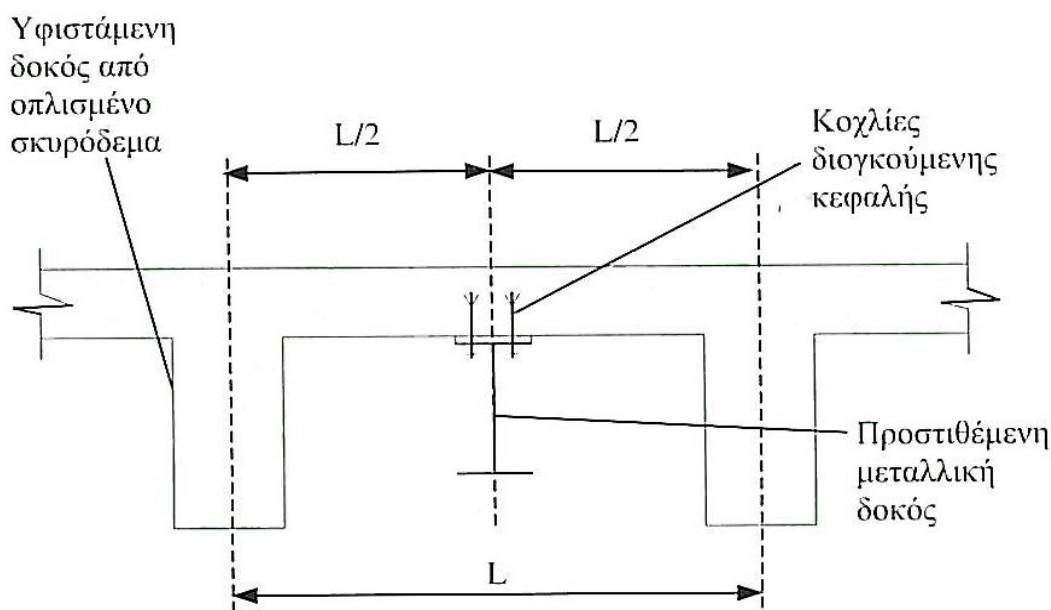
Παρόλο που η μέθοδος αυτή, της ενίσχυσης δοκών με προσθήκη στρώσεων σκυροδέματος έχει εξαιρετικά ευρεία εφαρμογή, εξακολουθεί να παρουσιάζει μειονεκτήματα. Το κυριότερο από αυτά είναι ότι το νέο σκυρόδεμα, είτε έγχυτο είτε εκτοξευόμενο, υπόκειται σε συστολή ξηράνσεως μέχρι να αναλάβει πλήρως την αντοχή του, ενώ αντίθετα οι διαστάσεις του αρχικού στοιχείου παραμένουν πρακτικά αμετάβλητες.

Επειδή όμως τα δύο στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους και συμπεριφέρονται ως ενιαία διατομή, η συστολή ξηράνσεως του νέου σκυροδέματος παρεμποδίζεται, οπότε αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις. Εάν οι τάσεις αυτές είναι σημαντικές μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα τη ρηγμάτωση του προστιθέμενου στοιχείου ή την αποκόλληση του από την υφιστάμενη διατομή.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος συνιστάται να χρησιμοποιείται σκυρόδεμα με κατάλληλα χημικά πρόσθετα. Άλλο ένα πρόβλημα είναι η διάβρωση του νέου οπλισμού και των βλήτρων που βρίσκονται σε επαφή με το παλιό σκυρόδεμα λόγω ηλεκτροχημικής διάβρωσης του σκυροδέματος αυτού.

4.2 Ενίσχυση με προσθήκη νέων μεταλλικών μελών (Εικόνα 4.2)

Η προσθήκη νέων μελών αποτελεί μια οικονομική αλλά και αποδοτική μέθοδο ενίσχυσης δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το πλεονέκτημα της τοποθέτησης των μελών στο μεσοδιάστημα μεταξύ των δοκών είναι η μείωση του ανοίγματος της πλάκας στο μισό, οπότε αυτόματα αυξάνεται σημαντικά η φέρουσα ικανότητα τόσο της πλάκας όσο και του συστήματος των δοκών.



Εικόνα 4.2 (πηγή: Σπυράκος, 2004)

Συνήθως είναι ευκολότερο και ταχύτερο τα πρόσθετα μέλη να είναι από δομικό χάλυβα αντί για σκυρόδεμα. Η χρήση νέων στοιχείων από δομικό χάλυβα παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα. Αντίθετα η κατασκευή νέων δοκών από σκυρόδεμα απαιτεί κατασκευή ξυλοτύπου και υποστύλωση, ενώ η σκυροδέτησή τους είναι δύσκολη λόγω της υφιστάμενης πλάκας.

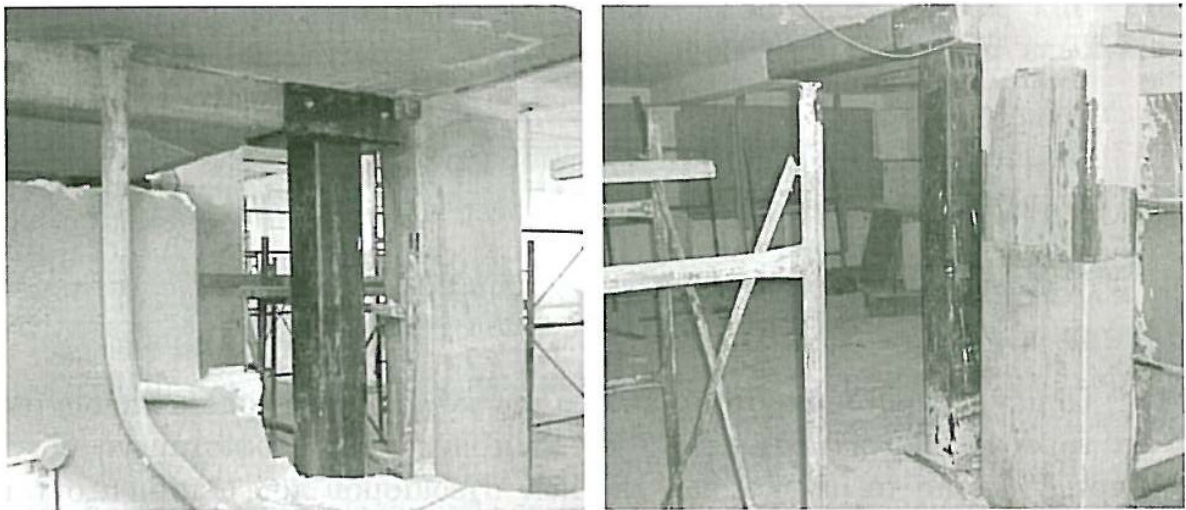
Οι μεταλλικές δοκοί ενώνονται με τις υπάρχουσες με κοχλίες ώστε να λειτουργούν μαζί. Μία ακόμα πρακτική λύση για την ενίσχυση των δοκών αποτελεί η προσθήκη μεταλλικών διατομών U σε κάθε πλευρά μιας υφιστάμενης δοκού. Βέβαια σε ορισμένες περιπτώσεις η προσθήκη νέων μεταλλικών δοκών δεν αποτελεί την καλύτερη λύση.

Όταν η ενισχυμένη δοκός έχει αυξημένες απαιτήσεις πυροπροστασίας, όταν λόγοι αισθητικής επιβάλλουν την παρουσία αποκλειστικά σκυροδέματος στην κατασκευή που θα

προκύψει ή όταν το κόστος της μεταφοράς των μελών από χάλυβα είναι μεγάλο σε σχέση με το κόστος της παραγωγής σκυροδέματος στη θέση του έργου επιλέγεται η αύξηση της διατομής με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος.

Ενίσχυση με Μείωση του Ανοιγματος της Δοκού (Εικόνα 4.3)

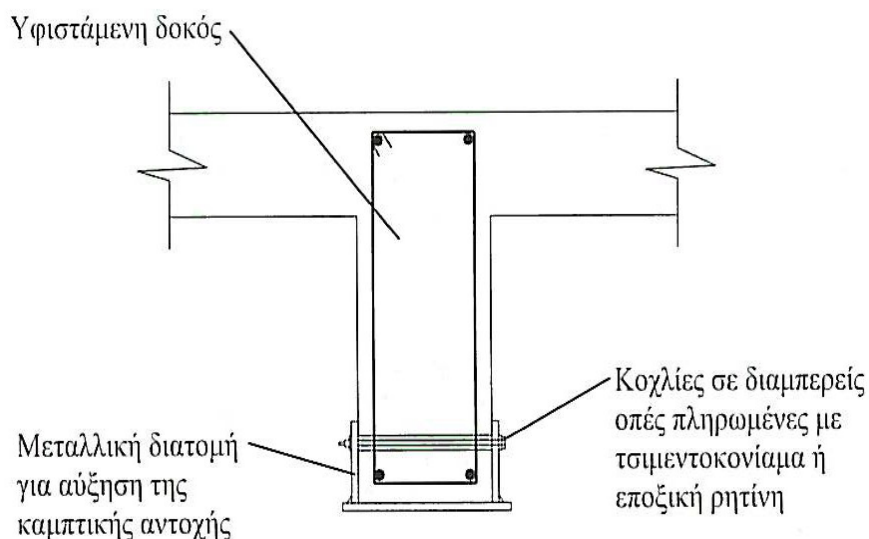
Ορισμένες φορές, όταν τα αποτελέσματα της ανάλυσης υποδεικνύουν ότι η καμπτική αντοχή μιας δοκού είναι ανεπαρκής, η υπόψη δοκός, υπό την προϋπόθεση ότι βρίσκεται στο ισόγειο της κατασκευής, είναι δυνατό να ενισχυθεί με απλό τρόπο μειώνοντας το άνοιγμά της. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατασκευή νέων πρόσθετων υποστυλωμάτων. Τα νέα υποστυλώματα απαιτούν θεμέλια, η κατασκευή των οποίων καθιστά αναγκαία την απομάκρυνση τμήματος πλάκας του δαπέδου. Το κόστος μιας τέτοιας επέμβασης ενδέχεται να είναι απαγορευτικό. Το κυριότερο μειονέκτημα των δύο παραπάνω μεθόδων είναι ότι θυσιάζουν μέρος του ωφέλιμου χώρου κάτω από τις ενισχυόμενες δοκούς.



Εικόνα 4.3 (πηγή: Σπυράκος, 2004)

Ενίσχυση με Προσθήκη Κοχλιωμένου Εφελκυσμένου Οπλισμού (Εικόνα 4.4)

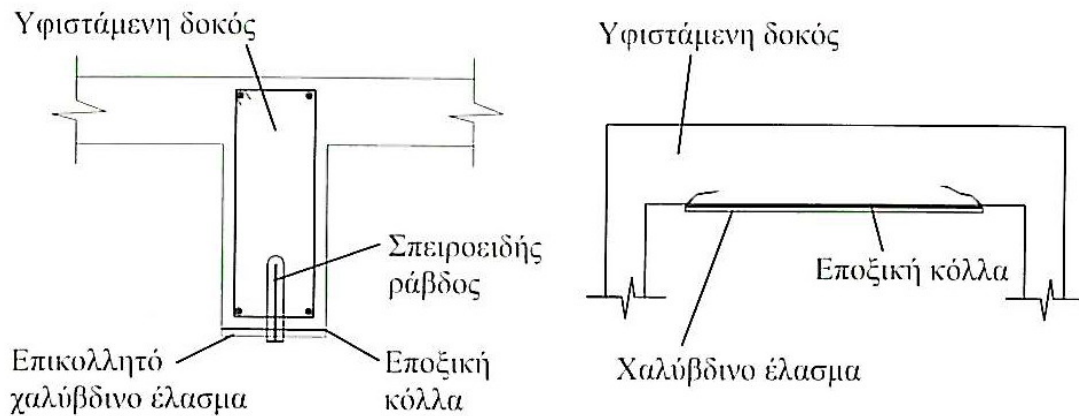
Όταν η καμπτική αντοχή της υφιστάμενης δοκού δεν επαρκεί, μπορεί να ενισχυθεί επιτόπου με την προσθήκη χαλύβδινων ελασμάτων ή ακόμα και συγκολλητών μεταλλικών διατομών που κοχλιώνονται στη δοκό.



Εικόνα 4.4 (πηγή: Σπυράκος, 2004)

Ενίσχυση με Προσθήκη Επικολλητών Χαλύβδινων Ελασμάτων (Εικόνα 4.5)

Αντί να συνδέονται με κοχλίες, τα χαλύβδινα ελάσματα μπορούν να επικολληθούν στην επιφάνεια του σκυροδέματος με χρήση εποξικής κόλλας προκειμένου να αυξήσουν την καμπτική αντοχή της δοκού. Η επικόλληση των ελασμάτων είναι σαφώς ευκολότερη από τη διάνοιξη οπών και την κοχλίωση τους στο σκυρόδεμα.

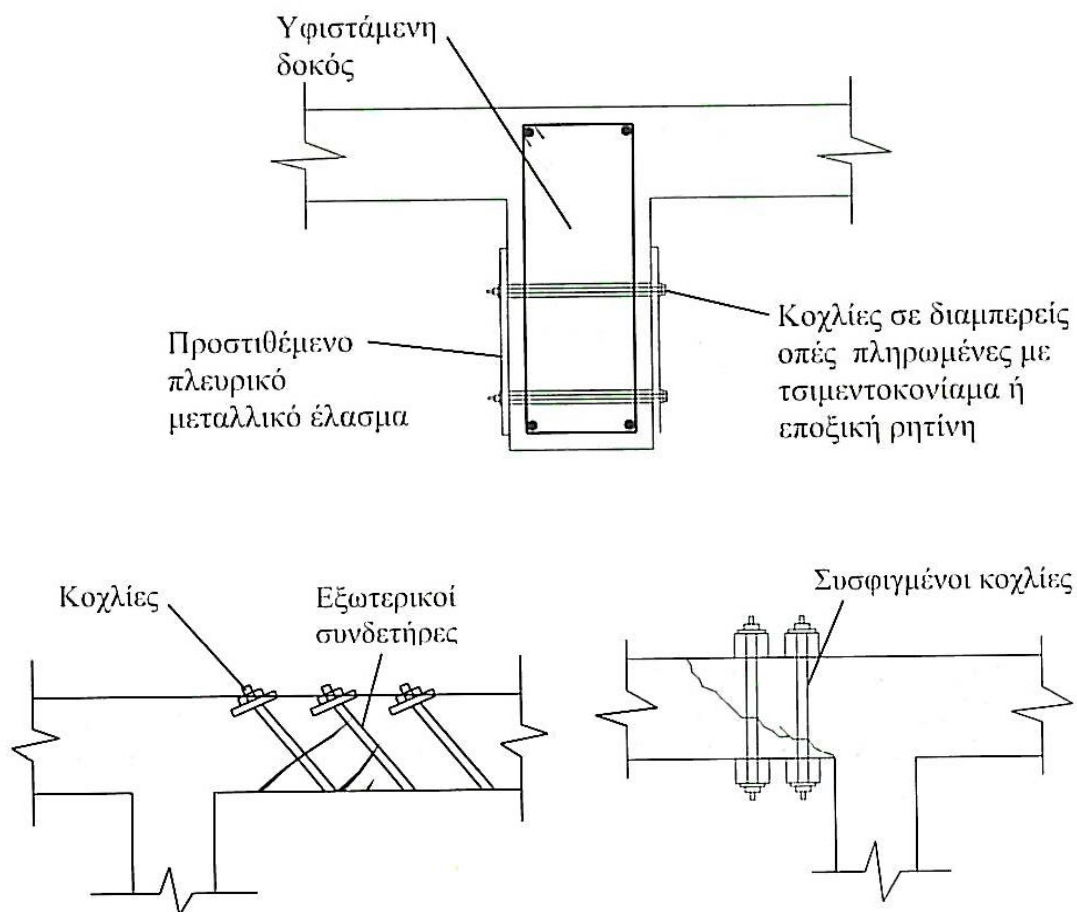


Εικόνα 4.5 (πηγή: Σπυράκος, 2004)

Το μειονέκτημα του συστήματος ενίσχυσης δοκών με επικολητά χαλυβδόφυλλα είναι ο κίνδυνος διάβρωσης του χάλυβα στην περιοχή της διεπιφάνειας με το σκυρόδεμα. Η επικάλυψη του ελάσματος με ειδική αντιδιαβρωτική βαφή δεν αποτελεί την καλύτερη λύση λόγω της πιθανής αλληλεπίδρασης της με την εποξική κόλλα. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η προσθήκη εξωτερικού οπλισμού με μορφή ελασμάτων δεν πρέπει να αποτελεί μακροπρόθεσμη λύση στην περίπτωση που η κατασκευή αντιμετωπίζει πρόβλημα διάβρωσης.

Ενίσχυση Δοκών σε Διάτμηση (Εικόνα 4.6)

Μία άλλη μέθοδος για την αύξηση της διατμητικής αντοχής της δοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι η προσθήκη νέων χαλύβδινων συνδετήρων που περισφίγγουν εξωτερικά τη δοκό. Οι συνδετήρες μπορούν να είναι είτε κατακόρυφοι είτε υπό γωνία 45°.



Εικόνα 4.6 (πηγή: Σπυράκος, 2004)

Ενίσχυση Δοκών με Μανδύες Οπλισμένου Σκυροδέματος

Πέρα από τη χρήση της για την επισκευή δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα που έχουν υποστεί βλάβες, η τεχνική της κατασκευής μανδύων αποτελεί τη συνηθέστερη και αποτελεσματικότερη μέθοδο ενίσχυσης δοκών όταν απαιτείται αύξηση τόσο της καμπτικής όσο και της διατμητικής τους αντοχής.

Πριν τη σκυροδέτηση του μανδύα τοποθετούνται νέοι διαμήκεις οπλισμοί στην εφελκόμενη παρειά και νέοι συνδετήρες περιμετρικά του στοιχείου. Για τη δημιουργία του μανδύα μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε έγχυτο είτε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, αν και συνήθως προτιμάται η χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος για λόγους κατασκευαστικής ευκολίας.

5. ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

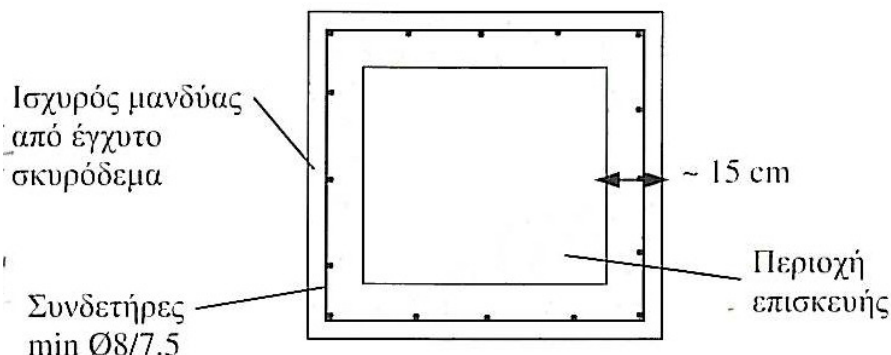
Τα υποστυλώματα, λόγω της ιδιαίτερης σημασίας που έχουν για τον αντισεισμικό σχεδιασμό μίας υφιστάμενης κατασκευής, αποτελούν τα στοιχεία στα οποία κατά κανόνα επικεντρώνονται οι επεμβάσεις σε μία μελέτη αποτίμησης και ανασχεδιασμού. Τα υποστυλώματα, αλλά και τα κατακόρυφα στοιχεία γενικότερα, είναι τα μέλη που συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ποσοστό βλαβών λόγω σεισμού, εξαιτίας κυρίως των μεγάλων επιβαλλόμενων παραμορφώσεων και των αυξημένων απαιτήσεων πλαστιμότητας.

5.1 Επισκευή Υποστυλωμάτων (Εικόνα 5.1)

Η μέθοδος επισκευής ενός υποστυλώματος αφορά στη διαδικασία αποκατάστασης των αρχικών χαρακτηριστικών της διατομής του στοιχείου και είναι συνάρτηση του βαθμού της βλάβης που έχει υποστεί.

- Απλή Ρηγμάτωση. Στην περίπτωση που η βλάβη περιορίζεται σε απλή ρηγμάτωση ή επιφανειακή αποφλοιώση του σκυροδέματος, χωρίς να παρατηρείται αποδιοργάνωση του περισιφισμένου πυρήνα της διατομής και λυγισμός των κατακόρυφων ράβδων του διαμήκου οπλισμού, ή συγκόλληση των ρωγμών επιτυγχάνεται με την βοήθεια εποξικής ρητίνης, ενώ για την αποκατάσταση του φλοιού χρησιμοποιείται συνήθως επισκευαστικό κονίαμα.
- Τοπική Βλάβη με Μερική Αποδιοργάνωση του Σκυροδέματος. Εάν η βλάβη είναι μεν τοπική αλλά εκδηλώνεται με μερική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος του υποστυλώματος η διαδικασία περιλαμβάνει τα εξής βήματα: Υποσύλωση των δοκών που συντρέχουν στο βλαμμένο στοιχείο, καθαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέμα-

τος, αποκάλυψη οπλισμών, συγκόλληση νέου οπλισμού και πυκνών κλειστών συνδετήρων και τέλος διάστρωση έγχυτου ή εκτοξευόμενου σκυροδέματος για τη δημιουργία μανδύα.



Εικόνα 5.1 (πηγή: Σπυράκος, 2004)

- Σοβαρή Βλάβη με Πλήρη Αποδιοργάνωση του Σκυροδέματος. Όταν η βλάβη είναι σοβαρή, όταν δηλαδή εμφανίζεται πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος του υποστυλώματος που συνοδεύεται από διάρρηξη των συνδετήρων και λυγισμό των θλιβόμενων ράβδων του διαμήκου οπλισμού, η επισκευή του βλαμμένου υποστυλώματος γίνεται ως εξής: Υποστύλωση των δοκών που συντρέχουν στο υποστύλωμα, πλήρης καθαίρεση του αποδιοργανωμένου τμήματος του υποστυλώματος σε ύψος τουλάχιστον 30 cm, έλεγχος και ενίσχυση του διαμήκου οπλισμού, προσθήκη πυκνών συνδετήρων, τοποθέτηση ξυλοτύπου και διάστρωση έγχυτου σκυροδέματος.

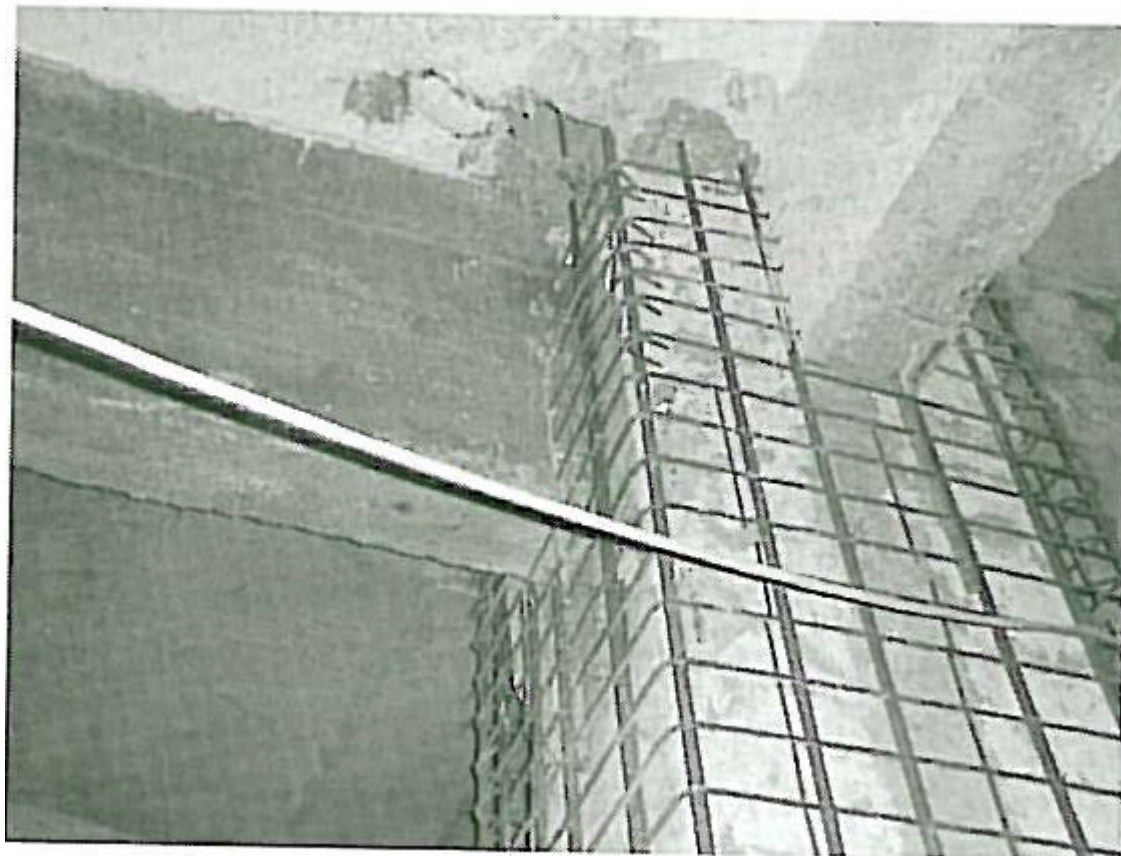
5.2 Ενίσχυση Υποστυλωμάτων

Η ανάγκη για ενίσχυση υφιστάμενων υποστυλωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα προκύπτει όταν τα στοιχεία καλούνται να παραλάβουν φορτία τα οποία υπερβαίνουν τη διαθέσιμη αντοχή τους. Τυπικό παράδειγμα ενίσχυσης υποστυλωμάτων αποτελεί η καθ' ύψος προσθήκη ορόφων σε υπάρχουσα κατασκευή.

5.2.1 Ενίσχυση Υποστυλωμάτων με Αύξηση της Διατομής (Εικόνα 5.2.1)

Η τεχνική της αύξησης των διαστάσεων της διατομής με κατασκευή μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα αποτελεί τη συνηθέστερη μέθοδο ενίσχυσης υφιστάμενων υποστυλωμάτων που εμφανίζουν ανεπάρκεια όσον αφορά στην αντοχή, τη δυσκαμψία και την πλαστι-

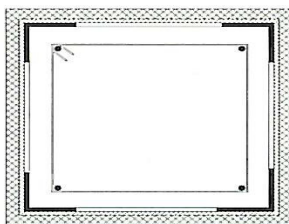
μότητα τους. Ανάλογα με το είδος του σκυροδέματος που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του μανδύα, τα πλέον διαδεδομένα είδη μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος που κατασκευάζονται στην πράξη είναι τα εξής: Μανδύες από έγχυτο σκυρόδεμα, μανδύες από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, μανδύες από σκυροτσιμεντόπηγμα, μανδύες από ειδικά σκυροδέματα.



Εικόνα 5.2.1

5.2.2 Ενίσχυση Υποστυλωμάτων με Περίσφιγξη (Εικόνα 5.2.2)

Ο συνηθέστερος τρόπος επιβολής εξωτερικής περίσφιγξης χωρίς αύξηση της διατομής του υποστυλώματος είναι με χρήση επικολλητών χαλύβδινων διατομών. Η πλέον διαδεδομένη τεχνική είναι η χρήση μεταλλικού κλωβού, ο οποίος υλοποιείται με την προσαρμογή τεσσάρων μεταλλικών γωνιακών στις κορυφές του υποστυλώματος, τα οποία συσφίγγονται με ειδικά κλειδιά έτσι ώστε να επιβληθεί περίσφιγξη.



Εικόνα 5.2.2

5.2.3 Προσθήκη Νέων Υποστυλωμάτων

Ένα υποστύλωμα από οπλισμένο σκυρόδεμα μπορεί επίσης να ενισχυθεί με την κατασκευή ενός νέου υποστυλώματος. Τα δύο υποστυλώματα μπορούν είτε να είναι τελείως ανεξάρτητα είτε να συνδέονται μεταξύ τους μέσω βλήτρων ή άλλων μηχανικών μεσών. Η προσθήκη ενός νέου υποστυλώματος έχει εξαιρετικά επωφελή αποτελέσματα όταν το υφιστάμενο υποστύλωμα λαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου του κυρίως από μία μόνο δοκό.

Το κυριότερο μειονέκτημα της προσθήκης γειτονικού υποστυλώματος κοντά σε υπάρχον, είναι ο τρόπος θεμελίωσης του νέου στοιχείου. Συνήθως οι διαστάσεις του υπάρχοντος θεμελίου δεν επαρκούν για να θεμελιωθεί σε αυτό και το νέο υποστύλωμα, αλλά ενδεχομένως να μην υπάρχει και επαρκής χώρος για την κατασκευή νέου θεμελίου.

6. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

6.1 Εισαγωγή

Η ραγδαία πρόοδος που έχει σημειωθεί στον τομέα της τεχνολογίας των δομικών υλικών τα τελευταία χρόνια, είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη πολλών νέων προϊόντων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές εφαρμογές της επιστήμης του Πολιτικού Μηχανικού, όπου η αποκλειστική χρήση συμβατικών υλικών αποτυγχάνει να παρέχει μία ικανοποιητική λύση. Μεταξύ των προϊόντων αυτών σημαντική θέση κατέχουν τα σύνθετα υλικά από ινοπλισμένα πολυμερή, τα οποία αποτελούνται από 'υφάσματα' από ινώδη οπλισμένα πολυμερή εμποτισμένα με ειδικές εποξικές ρητίνες.



Στην παραπάνω εικόνα φαίνονται 'υφάσματα από ινοπλισμένα πολυμερή (υαλονήματα, ανθρακονήματα) και ρητίνες

Τα 'υφάσματα' αυτά τοποθετούνται στις επιφάνειες των δομικών στοιχείων, αποτελώντας εξωτερικό οπλισμό και μόνιμη ενίσχυσή τους. Λόγω κυρίως της ανθεκτικότητας τους σε ηλεκτροχημική διάβρωση και του υψηλού λόγου αντοχής προς βάρος, αποτελούν μία πολύ καλή εναλλακτική επιλογή για την επίλυση προβλημάτων που σχετίζονται με την επισκευή και ενίσχυση κατασκευών.

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαεταετίας, ερευνητές από διάφορα μέρη του κόσμου έχουν αναπτύξει πολλές εφαρμογές σύνθετων υλικών από ινοπλισμένα πολυμερή για την όπλιση και προένταση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, τη σεισμική ενίσχυση κατασκευών τόσο από οπλισμένο σκυρόδεμα όσο και από άοπλη τοιχοποιία, την ενίσχυση γεφυρών και κτιριακών κατασκευών και άλλα.

Η πρώτη ευρείας κλίμακας εφαρμογή σύνθετων υλικών αφορά στην ενίσχυση δύο χιλιάδων βάθρων γεφυρών στην περιοχή Yolo δυτικά του Sacramento στα μέσα της προηγούμενης δεκαετίας. Γρήγορα η χρήση τους επεκτάθηκε στην ενίσχυση πάσης φύσεως τεχνικών έργων τόσο στις ΗΠΑ όσο και σε πολλά άλλα κράτη της Αμερικής και της Ασίας. Στην Ιαπωνία, χώρα με ιδιαίτερα υψηλή σεισμική επικινδυνότητα, η χρήση σύνθετων υλικών από ινοπλισμένα πολυμερή αυξήθηκε την περίοδο 1992-1995 και κυρίως μετά το σεισμό του Hyogo-ken-Nangu το 1995 κατά 500%. Στην Ελλάδα εφαρμογές πολιτικού μηχανικού αναφέρονται στις αρχές της δεκαετίας του 1990 στην Χαλκίδα.

Σε σύγκριση με τη χρήση μεταλλικών ελασμάτων για την ενίσχυση δομικών στοιχείων, η εναλλακτική εφαρμογή ινοπλισμένων πολυμερών παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως οι εξαιρετικές ιδιότητες βάρους προς αντοχή, η διαθεσιμότητα του υλικού

σε σχετικά απεριόριστο μήκος, η συγκριτικά ευκολότερη εγκατάσταση και η ανθεκτικότητα σε διάβρωση.

Γενικά, η εφαρμογή των υλικών αυτών έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση ή ορθότερα την τροποποίηση της καμπτικής, διατμητικής και αξονικής αντοχής του μέλους στο οποίο εφαρμόζεται. Η εξωτερική ενίσχυση με μανδύα από ινοπλισμένα πολυμερή είναι κατάλληλη για πληθώρα εφαρμογών. Αντιπροσωπευτικές χρήσεις είναι οι ακόλουθες:

1. Ενίσχυση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής. Σαν παράδειγμα αναφέρεται η ενίσχυση κτιρίων στάθμευσης αυτοκινήτων στο Μόναχο της Γερμανίας.
2. Παθητική περίσφιξη για βελτιστοποίηση της ικανότητας ανάληψης φορτίων. Χαρακτηριστικές εφαρμογές αποτελούν η ενίσχυση της γέφυρας Osaky στη Νότια Κορέα.
3. Έλεγχος ρηγματώσεως και συρραφή ρωγμών. Τα σύνθετα υλικά έχουν χρησιμοποιηθεί και για την επισκευή και ενίσχυση διατηρητέων κτιρίων, μνημείων και ιστορικών και αρχαιολογικών κτισμάτων που έχουν υποστεί ρηγματώσεις και άλλου είδους βλάβες.

Η χρήση ινοπλισμένων πολυμερών πρέπει γενικά να αποφεύγεται στις παρακάτω περιπτώσεις:

1. Όταν η κατάσταση της υπόστρωσης πάνω στην οποία θα εφαρμοστούν τα σύνθετα υλικά είναι άγνωστη ή έχει υποστεί σημαντική απομείωση της αντοχής της.
2. Όταν υπάρχει σε εξέλιξη σημαντική διάβρωση του σιδηροπλισμού.
3. Όταν δεν υπάρχει σιδηροπλισμός που να εξασφαλίζει την πλάστιμη συμπεριφορά του μέλους που πρόκειται να ενισχυθεί.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της χρήσης σύνθετων υλικών για την επισκευή και ενίσχυση κατασκευών σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους επισκευής και ενίσχυσης με χρήση συμβατικών υλικών είναι τα εξής:

1. Απαιτείται μικρή προετοιμασία στο εργοτάξιο. Η εκκένωση του χώρου δεν είναι αναγκαία και η όχληση στους χρήστες είναι ελάχιστη. Η προετοιμασία των προς ενίσχυση στοιχείων είναι μικρή και σύντομη.
2. Η εφαρμογή των σύνθετων υλικών είναι απλή.
3. Οι διαστάσεις του ενισχυόμενου δομικού στοιχείου παραμένουν ουσιαστικά αμετάβλητες, λόγω του μικρού πάχους του σύνθετου υλικού.
4. Η τοποθέτηση των σύνθετων υλικών είναι δυνατή ακόμα και σε περιπτώσεις που υπάρχει περιορισμός του χώρου εργασίας
5. Το βάρος των σύνθετων υλικών είναι μικρό και για την τοποθέτησή τους δεν απαιτείται βαρύς ή ειδικός εξοπλισμός.
6. Τα σύνθετα υλικά μπορούν να επιχριστούν και να χρωματιστούν σύμφωνα με τις αισθητικές απαιτήσεις του έργου.
7. Τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά των κατασκευών παραμένουν πρακτικά αμετάβλητα.
8. Το κόστος εφαρμογής των σύνθετων υλικών είναι ανάλογο των παραδοσιακών μεθόδων επισκευής και ενίσχυσης.

6.2 Κατηγορίες σύνθετων υλικών

Ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων υλικών συνιστά ένα δομικό στοιχείο από σύνθετο υλικό. Τα σύνθετα υλικά από ινοπλισμένα πολυμερή έχουν ως συστατικά τους στοιχεία ίνες υψηλής αντοχής και υψηλού μέτρου ελαστικότητας σε παχύρρευστη σκληρυμένη μήτρα. Σε αυτή τη μορφή, τόσο οι ίνες όσο και η μήτρα διατηρούν τις φυσικές και χημικές τους ιδιότητες ενώ ταυτόχρονα παράγουν ένα συνδυασμό ιδιοτήτων που δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί με κανένα από τα συστατικά στοιχεία όταν δρα μόνο του.

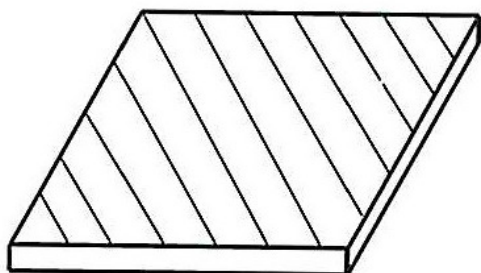
Η συγκόλληση των προσανατολισμένων ινών πάνω στο μαλακότερο υλικό της μήτρας έχει ως αποτέλεσμα ένα σύνθετο υλικό ινοπλισμένου πολυμερούς με σαφώς καλύ-

τερες ιδιότητες στη διεύθυνση των ινών. Ανάλογα με το συνδυασμό των υλικών, τα σύνθετα υλικά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

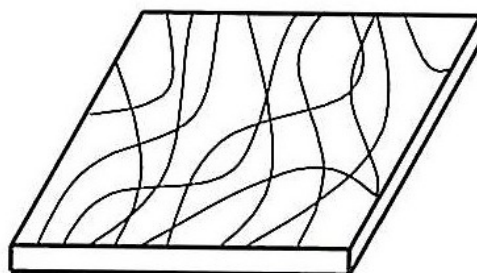
1. Σύνθετα υλικά ινών αποτελούμενα από ίνες εμποτισμένες σε ρητίνη ή μη.
2. Σύνθετα υλικά στρωμάτων αποτελούμενα από επίπεδα διαφόρων υλικών
3. Σύνθετα υλικά σωματιδίων αποτελούμενα από σωματίδια διαφόρων υλικών σε ένα σώμα.

Σύμφωνα με τον προσανατολισμό των ινών υπάρχουν δύο κατηγορίες σύνθετων υλικών ινών.

1. Προσανατολισμένα, των οποίων οι ίνες είναι συνεχείς και έχουν όλες την ίδια διεύθυνση.
2. Μη προσανατολισμένα, των οποίων οι ίνες είναι τυχαία τοποθετημένες στο συνδετικό υλικό.



1. Προσανατολισμένο σύνθετο υλικό

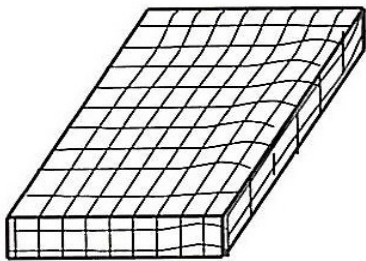


2. Μη προσανατολισμένο σύνθετο υλικό

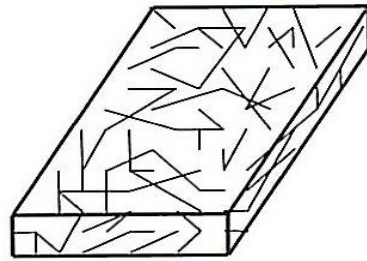
Οι ίνες των σύνθετων υλικών τοποθετούνται με διάφορους τρόπους ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε εφαρμογής. Σύμφωνα με τον τρόπο τοποθέτησης και το συνδυασμό των ινών στο συνδετικό υλικό, τα σύνθετα υλικά ινών κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες:

1. Πλεκτών ινών, τα οποία αποτελούν συνεχές σώμα χωρίς επιμέρους στρώματα, οπότε και δεν παρουσιάζουν πιθανότητες αποκόλλησης. Η αντοχή τους όμως, είναι μειωμένη εξαιτίας της μεγάλης συγκέντρωσης τάσεων, αλλά και της χρήσης υψηλού ποσοστού ρητίνης.

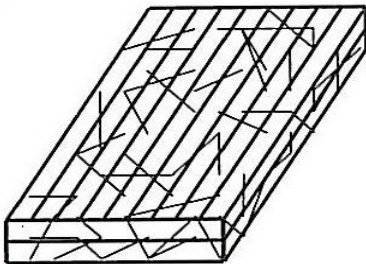
2. Ασυνεχών ινών, τα οποία έχουν κοντές ίνες διάσπαρτες μέσα στο συνδετικό τους υλικό. Οι μηχανικές τους αντοχές είναι κατά κανόνα κατώτερες των αντίστοιχων με συνεχείς ίνες.
3. Υβριδικά, τα οποία αποτελούνται είτε από συνεχείς και ασυνεχείς ίνες είτε από περισσότερους του ενός τύπους ινών. Χρησιμοποιούνται όταν το σύνθετο υλικό ινών μόνο του δεν έχει τις επιθυμητές ιδιότητες.
4. Συνεχών ινών, όπου στρώματα συνεχών ινών-ρητίνης τοποθετούνται στην επιθυμητή διεύθυνση και συνδέονται αποτελώντας ένα σώμα. Παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή, αλλά αποκόλληση μεταξύ των στρωμάτων είναι πιθανή.



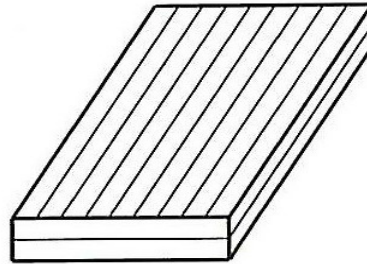
1. Σύνθετο υλικό πλεκτών ινών



2. Σύνθετο υλικό ασυνεχών ινών



3. Υβριδικό σύνθετο υλικό



4. Σύνθετο υλικό συνεχών ινών

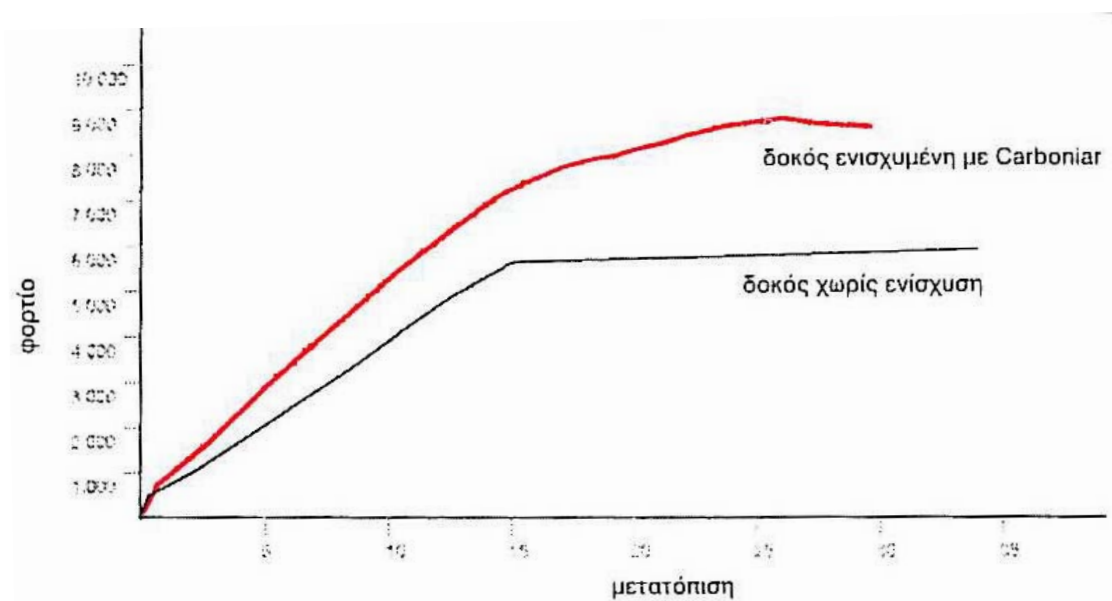
6.3 Ιδιότητες σύνθετων υλικών από ινοπλισμένα πολυμερή

Οι τυπικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών περιλαμβάνουν το χαμηλό ειδικό βάρος, τον υψηλό λόγο αντοχής προς το βάρος και τον υψηλό λόγο μέτρου ελαστικότητας προς

βάρος. Επίσης τα περισσότερα σύνθετα υλικά από ινοπλισμένα πολυμερή είναι εξαιρετικά ανθεκτικά σε ηλεκτροχημική διάβρωση.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό των σύνθετων υλικών από ινοπλισμένα πολυμερή είναι η σχεδόν γραμμική καμπύλη έντασης-παραμόρφωσης έως την αστοχία τους. Παρόλο που τα υλικά που συνθέτουν τις μήτρες επιδέχονται πλαστική παραμόρφωση, οι ίνες γενικά συμπεριφέρονται μόνο ελαστικά. Καθώς όμως η συμπεριφορά του σύνθετου υλικού καθορίζεται κυρίως από τη συμπεριφορά των ινών, οι οποίες αποτελούν και τον κύριο φορέα μεταφοράς του φορτίου, πολύ σπάνια τα ινοπλισμένα πολυμερή που χρησιμοποιούνται για την επισκευή και ενίσχυση κατασκευών παρουσιάζουν πλαστική παραμόρφωση ή έστω και διαρροή.

Αντίθετα η θραύση είναι η τυπική μορφή αστοχίας ενός σύνθετου υλικού που καταπονείται από οριακή τιμή τάσης



Τυπικό διαγράμμα φορτίου/παραμόρφωσης για οπλισμένο σκυρόδεμα στο επίπεδο και ενίσχυση με ανθρακόνημα Carboniar.

6.4 Υλικά ινών

Οι τρεις συνηθέστεροι τύποι ινών που χρησιμοποιούνται σε σύνθετα υλικά ινοπλισμένων πολυμερών είναι τα υαλονήματα, τα ανθρακονήματα και οι ίνες πολυαραμιδής.

6.5 Ίνες Υάλου (Εικόνα 6.4.1)

Τα υαλονήματα εμφανίστηκαν για πρώτη φορά στο εμπόριο το 1939. Παράγονται με μηχανικό τρόπο από ύαλο που τίκτεται. Το κύριο χαρακτηριστικό του υάλου είναι ότι δεν παρουσιάζει ούτε πλήρως κρυσταλλική δομή αλλά ούτε και ιδιότητες ρευστού. Ανάλογα με το είδος της εφαρμογής για το οποίο αναπτύχθηκαν, υπάρχουν έξι διαφορετικοί τύποι υαλονημάτων.

Από αυτούς, οι δύο τύποι που χρησιμοποιούνται για την επισκευή και ενίσχυση κατασκευών είναι ο ύαλος-E και ο ύαλος-S. Ο ύαλος παρέχει εξαιρετική θερμική και ηλεκτρική μόνωση. Τα φύλλα υάλου έχουν μικρότερη αντοχή σε κόπωση από τα φύλλα άνθρακα ή πολυαραμιδής, αλλά μεγαλύτερη από τα περισσότερα μέταλλα.



Εικόνα 6.4.1 (πηγή: SIKA HELLAS, 2004)

6.5.1 Ίνες Άνθρακα (Εικόνα 6.4.2)

Οι ίνες άνθρακα διατίθενται στο εμπόριο από τα τέλη της δεκαετίας του 1950. Ο άνθρακας παράγεται από πολυακρυλονιτρίλιο, πίσσα ή ρεγιόν με πυρόλυση σε πολύ υψηλή θερμοκρασία (συχνά έως 3000 βαθμούς Κελσίου). Μέσω της πυρόλυσης απομακρύνονται από το πολυμερές του άνθρακα διάφορες ενώσεις κυανίου και άτομα υδρογόνου.

Τα κρυσταλλικά φύλλα άνθρακα που σχηματίζονται εκτείνονται έτσι ώστε να προσανατολιστούν παράλληλα προς τον άξονα της ίνας. Με τον τρόπο αυτό οι κρύσταλλοι στερεοποιούνται σε μία βέλτιστη διάταξη. Οι ίνες άνθρακα που διατίθενται στο εμπόριο έχουν εφελκυστική αντοχή που κυμαίνεται από 2100 MPa έως 6800MPa με συνήθη για τις εφαρμογές τιμή της τάξης των 3500 MPa και μέτρο ελαστικότητας από 21 GPa έως 700 GPa.

Λόγω της δράσης του ως ευγενές μέταλλο, ο άνθρακας έχει υψηλή αγωγιμότητα και μπορεί να προκαλέσει γαλβανική διάβρωση των μετάλλων που έρχονται σε επαφή μαζί του. Γι'αυτό πρέπει να αποφεύγεται η απευθείας επαφή του χάλυβα ή του αλουμινίου με τις ίνες άνθρακα. Αξίζει να σημειωθεί ότι το κόστος των ανθρακονημάτων, παρότι παραμένει αρκετά υψηλό σε σχέση με τα άλλα είδη ινών, ωστόσο έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια.



Εικόνα 6.4.2 (πηγή: SIKA HELLAS, 2004)

6.5.2 Ίνες Πολυαραμίδης.

Η εμπορική ονομασία των πρώτων ινών πολυαραμίδης που κυκλοφόρησαν στην αγορά στις αρχές της δεκαετίας του 1970 είναι KEVLAR. Η χρήση των σύνθετων υλικών από ίνες πολυαραμίδης σε δομικά έργα είναι περιορισμένη σε σχέση με τα υαλονήματα και τα ανθρακονήματα. Κύρια εφαρμογή τους αποτελεί η θωράκιση κατασκευών από κρουστικά φορτία.

Λόγω της χημικής δομής του πολυμερούς από το οποίο παράγονται, οι ίνες πολυαραμίδης έχουν μεγάλο μέτρο ελαστικότητας και υψηλή πυκνότητα. Παρόλο που ορισμένες από τις ίνες της κατηγορίας αυτής παρουσιάζουν εφελκυστική αντοχή από 3500 MPa έως 4100 MPa και μέτρο ελαστικότητας της τάξης των 175 GPa, που σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να φτάσει έως τα 210 GPa, η τιμή της εφελκυστικής αντοχής είναι 3800 MPa, ενώ το μέτρο ελαστικότητας κυμαίνεται από 70 έως 130 GPa. Επιπλέον έχουν μεγάλη αντοχή σε κόπωση και τριβή και είναι ανθεκτικές στους διαλυτές, με εξαίρεση τα ισχυρά οξέα και τις βάσεις.

Επειδή είναι υδρόφιλες, παρουσιάζουν μερική απώλεια αντοχής σε θερμό περιβάλλον με υψηλό ποσοστό υγρασίας. Η θλιπτική τους αντοχή είναι σημαντικά μικρότερη από την αντίστοιχη εφελκυστική (περίπου το 20%), ενώ υπό δεδομένη τάση παρουσιάζουν ερπυστικές παραμορφώσεις.

Εκτός από τις παραπάνω τρεις κύριες κατηγορίες, άλλοι τύποι ινών που χρησιμοποιούνται σε ορισμένες εφαρμογές πολιτικού μηχανικού είναι οι εξής:

- Ίνες γραφίτη: παράγονται όπως και οι ίνες άνθρακα με πυρόλυση. Οι ίνες γραφίτη περιέχουν κατά τουλάχιστον 90% άνθρακα, ενώ το ποσοστό άνθρακα των ανθρακονημάτων είναι λιγότερο από 95%.
- Ίνες βορίου: έχουν τη μεγαλύτερη διάμετρο (0.05-0.2mm) σε σχέση με τις άλλες ίνες. Η αντοχή και η ακαμψία τους είναι μεγαλύτερες από αυτές των ινών γραφίτη.
- Ίνες από καρβίδιο του πυριτίου: έχουν υψηλή αντοχή σε οξείδωση και ανθεκτικότητα στις υψηλές θερμοκρασίες.

6.6 Μήτρες Σύνθετων Υλικών

Ρητίνες χρησιμοποιούνται συνήθως ως μήτρες για την παραγωγή σύνθετων υλικών ινών. Η ρητίνη αποτελεί τη συνδετική ύλη μεταξύ των ινών και, ταυτόχρονα, συνεισφέρει στην ανθεκτικότητα και στην ηλεκτρική μόνωση του σύνθετου υλικού.

Προκειμένου να αναπτυχθεί ισχυρή μηχανική και χημική σύνδεση μεταξύ ινών και ρητίνης, είναι απαραίτητη η ύπαρξη συνάφειας μεταξύ τους. Επιπλέον πρέπει να υπάρχει χημική συμβατότητα έτσι ώστε να μη λάβουν χώρα ανεπιθύμητες αντιδράσεις κατά τη σύνδεσή τους. Οι ρητίνες είναι περισσότερο ευπαθείς στη θερμότητα και την πυρκαγιά και γενικά εμφανίζουν μεγαλύτερη ευαισθησία στους χημικούς διαλύτες, τα οξέα, τις βάσεις και το νερό σε σχέση με τις ίνες. Όλα τα είδη των ρητινών παρουσιάζουν επίσης σημαντικές ερπυστικές παραμορφώσεις σε σχέση με τα παραδοσιακά δομικά υλικά.

Παρόλ'αυτά, τα σύνθετα υλικά ινοπλισμένων πολυμερών δε θα μπορούσαν να υπάρξουν χωρίς τις ρητίνες, καθώς αυτές είναι που μεταφέρουν τα φορτία και κατανέμουν τις τάσεις στις ίνες κάθε στρώσης του πολυμερούς. Με τον τρόπο αυτό επιτρέπουν στο ινοπλισμένο πολυμερές να συμπεριφέρεται σχεδόν σαν ομογενές υλικό. Η μεγάλη διάρκεια ζωής που χαρακτηρίζει τις μήτρες πολυμερών σχετίζεται με την προοδευτική αλλαγή των φυσικών τους ιδιοτήτων, η οποία λαμβάνει χώρα με την πάροδο του χρόνου και τη φόρτιση.

Η προένταση των σύνθετων υλικών μπορεί να έχει εξαιρετικά σημαντική επίδραση στη διάρκεια ζωής της μήτρας πολυμερούς. Η διάρρηξη λόγω ερπυσμού που αποτελεί τυπική μορφή αστοχίας των ινοπλισμένων πολυμερών οφείλεται στην ιξωδοπλαστική συμπεριφορά της μήτρας από πολυμερές και όχι στις ίνες.

Οι ρητίνες που χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή σύνθετων υλικών για την επισκευή και ενίσχυση κατασκευών είναι οι εποξικές, οι πολυεστερικές και οι βινυλεστερικές. Οι σημαντικότερες μηχανικές ιδιότητες των τριών αυτών κατηγοριών ρητινών είναι:

- Εποξικές ρητίνες. Οι εποξικές ρητίνες θεωρούνται γενικά οι καλύτερες μήτρες για χρήση σε ινοπλισμένα πολυμερή λόγω της μεγάλης αντοχής, συγκολλητικής ικανότητας, ανθεκτικότητας σε κόπωση και χημική διάβρωση, καθώς και της χαμηλής συστολής ξηράνσεως που παρουσιάζουν.
- Πολυεστερικές ρητίνες. Οι ρητίνες αυτές αποτελούν τον κύριο όγκο των πολυμερών που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία παραγωγής σύνθετων υλικών. Πρόκειται για ακόρεστους πολυεστέρες που παράγονται από την αντίδραση γλυκόλης, είτε με διβασικά οξέα είτε με ανυδρίτες. Λόγω της μεγάλης ποικιλίας των συστατικών τους στοιχείων, οι ιδιότητες των πολυεστερικών ρητινών μπορούν να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Ωστόσο, το κυριότερο μειονέκτημα των πολυεστερικών ρητινών για χρήση τους σε κατασκευές που κατοικούνται είναι η δυσάρεστη οσμή λόγω της χημικής τους σύστασης.
- Βινυλεστερικές ρητίνες. Πρόκειται για υβριδικές ρητίνες που παράγονται με αλυσιδωτές αντιδράσεις ενός εποξικού πολυμερούς με ακρυλικές ή μεθακρυλικές ενώσεις. Λόγω της παρουσίας του εποξικού πολυμερούς, οι βινυλεστερικές ρητίνες είναι περισσότερο εύκαμπτες, σκληρότερες, πιο ανθεκτικές σε κόπωση και λιγότερο χημικά ενεργές σε σχέση με τις πολυεστερικές.

Οι ιδιότητες του σύνθετου υλικού προκύπτουν ως συνδυασμός των ιδιοτήτων των διακριτών συστατικών του υλικών, δηλαδή των ινών και της μήτρας. Οι δύο συνηθέστεροι τύποι ινοπλισμένων πολυμερών υγρής μορφής που χρησιμοποιούνται για ενίσχυση δομικών στοιχείων προκύπτουν με συνδυασμό είτε υαλονημάτων και εποξικής ρητίνης, είτε ανθρακονημάτων και εποξικής ρητίνης.

Επίσης στη διάθεση του μηχανικού βρίσκονται με τη μορφή ελασμάτων (εικόνα 6.5) μικρού πλάτους (60-100 mm) και πάχους της τάξης του 1.5 mm προκατασκευασμένα σύνθετα υλικά με ίνες άνθρακα τα οποία επικολλούνται στο σκυρόδεμα μέσω ρητίνης. Εφαρμόζονται κυρίως για την ενίσχυση πλακών και δοκών.



Εικόνα 6.5 (πηγή: SIKA HELLAS, 2004)

6.6 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

6.6.1 Ιστορική Αναδρομή

Τα πρώτα σύνθετα υλικά χρονολογούνται από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα και είχαν ως συστατικά στοιχεία φυσικές ρητίνες και ίνες, όπως πίσσα και ίνες ξύλου. Η μαζική παραγωγή υαλονημάτων ξεκίνησε στο τέλος της δεκαετίας του 1930 και ουσιαστικά σηματοδοτεί τη γέννηση των σύνθετων υλικών προηγμένης τεχνολογίας.

Τα σύγχρονα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών από υπόγειες δεξαμενές καυσίμων έως ύφαλα πλοίων και πολεμικά αεροσκάφη. Αρχικά, λόγω του υπερβολικού κόστους και των περιορισμένων πειραματικών αποτελεσμάτων, οι εφαρμογές των σύνθετων υλικών περιορίστηκαν στην αεροναυπηγική, τη χημική βιομηχανία και τη ναυπηγική. Η επικόλληση στρώσεων ινοπλισμένων πολυμερών από ανθρακονήματα σε δομικά στοιχεία κατασκευών με σκοπό την επισκευή και ενίσχυσή τους πρωτοεμφανίστηκε στην Ελβετία το 1984.

Το Υπουργείο Συγκοινωνιών της Καλιφόρνια πρωτοπόρησε με τη χρήση υφασμάτων ινοπλισμένων πολυμερών για τη σεισμική ενίσχυση βάθρων γεφυρών στην Καλιφόρνια πριν από μία δεκαετία. Η συμπεριφορά των συστημάτων επισκευής και ενίσχυσης κατασκευών με σύνθετα υλικά σε μεγάλο εύρος εφαρμογών κατά την τελευταία εικοσαετία έχει δοκιμαστεί με εξαιρετική επιτυχία και ιδιαίτερα σε χώρες με δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες, όπως είναι οι ΗΠΑ, ο Καναδάς, η Ιαπωνία, η Ελβετία.

Τα μόνα στοιχεία που διαθέτουμε για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των ινοπλισμένων πολυμερών που έχουν εγκατασταθεί σήμερα σε εφαρμογές Πολιτικού Μηχανικού προέρχονται από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ερευνητικών προγραμμάτων, καθώς και από την προβολή στο χρόνο συμπερασμάτων που αφορούν στην τρέχουσα κατάσταση των υλικών αυτών.

Τα τελευταία χρόνια, η ταχεία πρόοδος που έχει σημειωθεί στην τεχνολογία των σύνθετων υλικών, όσον αφορά τόσο στις ιδιότητες όσο και στη διαδικασία παραγωγής τους, έχει επιφέρει σημαντικές βελτιώσεις στη διάρκεια ζωής των ινοπλισμένων πολυμερών και δραματική αύξηση εφαρμογής τους σε τεχνικά έργα.

Σήμερα το ¼ της παραγωγής σύνθετων υλικών χρησιμοποιείται σε εφαρμογές Πολιτικού Μηχανικού. Στη χώρα μας οι πρώτες εφαρμογές πραγματοποιήθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και εξαπλώθηκαν ιδιαίτερα μετά το σεισμό της Πάρνηθας το 1999.

6.6.2 Περιβαλλοντικές συνθήκες

Γενικά τα σύνθετα υλικά ινοπλισμένων πολυμερών σχεδιάζονται και παρασκευάζονται έτσι ώστε να είναι ανθεκτικά υπό φυσιολογικές συνθήκες περιβάλλοντος για μακρές χρονικές περιόδους. Τα σύνθετα υλικά ινοπλισμένων πολυμερών παρουσιάζουν μεγάλη διάρκεια ζωής για ένα λογικό εύρος περιβαλλοντικών συνθηκών, οι οποίες περιλαμβάνουν:

- Θερμοκρασία: από -30°C έως 60°C για μακρά έκθεση και 650°C έως 1100°C για βραχεία έκθεση (μικρότερη από 2 ώρες) σε φωτιά.
- Υγρασία: πλήρης βύθιση σε γλυκό ή αλμυρό νερό για έκθεση μακράς διάρκειας από 0°C έως 40°C .
- pH: από 3,0 έως 10,0 για μακρά χρήση.
- Υπεριώδης ακτινοβολία: δείκτης υπεριώδους ακτινοβολίας ίσος με 10,0 για μακρά έκθεση.

- Υδρογονάνθρακες: απορρόφηση συγκεκριμένης ποσότητας για μακρές χρονικές περιόδους.

Σε εφαρμογές σε έντονα αλκαλικό περιβάλλον, π.χ. ενίσχυσης πασσάλων στη θάλασσα, απαιτείται χρήση ειδικών ρητινών με ίνες άνθρακα ή υάλου. Αξίζει να τονιστεί ότι οι προδιαγραφές ενός καλά σχεδιασμένου συστήματος ινοπλισμένων πολυμερών πρέπει να περιέχουν στοιχεία για έκθεση του συστήματος σε κάθε μία από τις παραπάνω συνθήκες για περιόδους έως 1000 ώρες.

6.6.3 Επίδραση της Θερμοκρασίας του Περιβάλλοντος

Για το φυσιολογικό εύρος των θερμοκρασιών στις οποίες χρησιμοποιούνται τα περισσότερα συστήματα ινοπλισμένων πολυμερών, δεν αναμένονται σημαντικές αλλαγές στη συμπεριφορά τους, με την προϋπόθεση ότι τόσο η επιλογή όσο και η εφαρμογή του συστήματος έχει γίνει με τον ενδεδειγμένο τρόπο. Η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης υάλου (T_g) είναι το σημείο πέρα από το οποίο η συμπεριφορά του ινοπλισμένου πολυμερούς αλλοιώνεται δραματικά παρουσιάζοντας σημαντική μείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του.

Η παρεχόμενη θερμική ενέργεια για αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από την T_g επιτρέπει στις χημικές αλυσίδες της ρητίνης να μετακινηθούν και να γίνουν πιο εύκαμπτες. Ως εκ τούτου μειώνεται η συμμετοχή της ρητίνης στην ανάληψη φορτίου αλλά και η ικανότητά της να μεταφέρει τα φορτία ισομερώς στις ίνες, προκαλώντας περαιτέρω φόρτιση μεμονωμένων ινών, κυρίως των κοντύτερων από αυτές.

Κατά συνέπεια, είναι πιθανό να υπάρξει υπέρβαση της αντοχής και ενδεχόμενη αστοχία. Η διαδικασία είναι εξελικτική και έχει ως αποτέλεσμα την απομείωση της φέρουσας ικανότητας του ινοπλισμένου πολυμερούς κατά 30 με 40% σε ακραίες περιπτώσεις.

Κατά το σχεδιασμό συστημάτων ινοπλισμένων πολυμερών πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η πιθανή επιβλαβής επίδραση θερμοκρασιών μεγαλύτερων από 80°C . Σκούρες επιφάνειες που εκτίθενται άμεσα στο ηλιακό φως, έχουν καταγράψει θερμοκρασίες της τά-

ξης των 70°C. Σύνθετα υλικά έχουν επίσης δοκιμαστεί σε ακραίες αρνητικές θερμοκρασίες της τάξης των -40°C και δεν έχουν διαπιστωθεί δυσμενείς επιπτώσεις στη συμπεριφορά τους.

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε θερμοκρασίες μεταξύ -10 και -30°C αυξάνεται σημαντικά η δυσκαμψιά του υλικού με συνέπεια μία εξαιρετικά ψαθυρή μορφή αστοχίας, άλλα και μείωση της αντοχής σε κρούση. Πειράματα που έχουν γίνει σε μεμονωμένες στρώσεις ινοπλισμένου πολυμερούς, δεν έχουν δείξει απομείωση της αντοχής των ινών λόγω επαναλαμβανόμενης εναλλαγής ψύξης-απόψυξης.

Επίσης ανακυκλιζόμενες ψύξεις και αποψύξεις είχαν μικρή ή καθόλου επίδραση σε σύνθετα υλικά ινοπλισμένων πολυμερών όταν για την παρασκευή τους είχαν χρησιμοποιηθεί υλικά υψηλής ποιότητας και αντοχής σε υγρασία.

Όσον αφορά στη συμπεριφορά των σύνθετων υλικών σε περίπτωση πυρκαγιάς, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται, τα σύνθετα υλικά που έρχονται σε άμεση επαφή με τη φωτιά αναφλέγονται, εκτός εάν επιχριστούν ή επαλειφθούν με ειδική ρητίνη. Για το λόγο αυτό τα σύνθετα υλικά που δε διαθέτουν πυροπροστασία θεωρούνται ανενεργά σε περίπτωση πυρκαγιάς.

Πυροπροστασία επιτυγχάνεται με ειδικά επιχρίσματα ή κοινά επιχρίσματα μεγάλου πάχους (40-50 mm). Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ειδικά προστατευτικά όπως γυψοσανίδες. Το επίχρισμα προστατεύει τα υλικά και ιδιαίτερα τη ρητίνη όχι μόνο από τη φωτιά και γενικά τις υψηλές θερμοκρασίες, αλλά και από τη γήρανση λόγω της υπερϊώδους ακτινοβολίας.

Επίσης, η τοποθέτηση επιχρίσματος αποτελεί οικονομικότερη λύση και επιπλέον δίνει τη δυνατότητα βαφής και διακοσμητικής επέμβασης στο δομικό στοιχείο που ενισχύεται.

6.6.4 Συμπεριφορά στο Νερό

Το νερό αποτελεί εν γένει εξαιρετικά δυσμενές περιβάλλον για όλα τα δομικά υλικά. Ο χάλυβας οξειδώνεται, το σκυρόδεμα ενανθρακώνεται, το ξύλο σαπίζει, οι ρητίνες μπορούν να αποσχιστούν λόγω σκλήρυνσης της αλυσίδας του πολυμερούς και ο ύαλος μπορεί να χάσει την εφελκυστική του αντοχή. Κατά συνέπεια, η κύρια μέριμνα όσον αφορά στα σύνθετα υλικά ινοπλισμένων πολυμερών είναι η αντοχή της μήτρας από ρητίνη σε παρατεταμένη έκθεση σε νερό.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι στη διάρκεια των εξήντα περίπου χρόνων που ινοπλισμένα πολυμερή υαλονημάτων χρησιμοποιούνται για την επένδυση υφάλων πλοίων, δεν έχει παρατηρηθεί απομείωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων λόγω σήψης ή διάβρωσης, με αποτέλεσμα, όταν τα πλοία αυτά εγκαταλείπονται, να μην υπάρχει εύκολος τρόπος αποσύνθεσής τους.

Η μήτρα από ρητίνη απορροφά το νερό. Η ποσότητα του νερού που απορροφάται εξαρτάται από το είδος της ρητίνης και τη θερμοκρασία του νερού. Οι άμεσες συνέπειες της απορρόφησης νερού από τη μήτρα είναι συνήθως οι ακόλουθες: 1) Η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης υάλου (T_g) μειώνεται και 2) Η ρητίνη χάνει τη δυσκαμψία της.

Σύμφωνα με τα παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο ταχύτερες και δυσμενέστερες είναι οι μόνιμες επιπτώσεις της διείσδυσης υγρασίας. Προσεγγιστικά, η ταχύτητα των χημικών αντιδράσεων διπλασιάζεται για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Η υγρασία αποκτά πρόσβαση στο ινοπλισμένο πολυμερές μέσω τριών διαφορετικών οδών:

- Μέσω της τριχοειδούς δράσης κατά μήκος του διαμήκους άξονα της ίνας στη διεπιφάνεια ρητίνης και ίνας
- Μέσω ρωγμών και κενών στη δομή του σύνθετου υλικού.
- Μέσω διάχυσης διαμέσου της μήτρας

Τα ανθρακονήματα είναι αδρανή στο νερό ενώ οι ίνες υάλου παρουσιάζουν μικρή μείωση αντοχής. Επομένως η επίδραση της υγρασίας σε αυτού του είδους τα σύνθετα υλικά περιορίζεται στην επίδραση που έχει στη ρητίνη της μήτρας.

Πλήρης στεγάνωση στοιχείων σκυροδέματος με σύνθετα υλικά δημιουργεί στεγανές εξωτερικές επιφάνειες σε νερό με αποτέλεσμα την προστασία τους από περιβαλλοντικούς παράγοντες. Πρέπει όμως να επισημανθεί ότι σε στοιχεία τα οποία πρέπει να 'αναπνέουν', π.χ. πλάκες, συνίσταται να αποφεύγεται η τοποθέτηση καθολικού μανδύα σύνθετου υλικού.

Με την επιλογή της κατάλληλης ρητίνης, ινοπλισμένα πολυμερή ανθρακονημάτων μπορούν να εφαρμοστούν σε κατασκευές που είναι μέσα στο νερό. Στις περιπτώσεις αυτές μπορεί κανείς να αξιοποιήσει τη δυνατότητα που έχουν τα σύνθετα υλικά να αυξάνουν την πλαστιμότητα, την αντοχή και τη δυσκαμψία των στοιχείων στα οποία εφαρμόζονται, αλλά και να τα χρησιμοποιήσει ως στεγανωτική μόνωση.

Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι η θεμελίωση κατασκευών στη θάλασσα, η ενίσχυση λιμενικών εγκαταστάσεων, η ενίσχυση και στεγάνωση σηράγγων και αγωγών μεγάλων διαστάσεων.

6.6.5 Υπεριώδης Ακτινοβολία

Η υπεριώδης ακτινοβολία του ήλιου (UV) προκαλεί μείωση της αντοχής των σύνθετων υλικών. Ένδειξη αποτελεί σε εκτεθειμένες επιφάνειες η μικρορηγματώση και η χρωματική αλλοίωση. Για την προστασία προτείνεται η εφαρμογή επιχρισμάτων ή ειδικών βαφών.

6.6.6 Γαλβανική Διάβρωση

Πρέπει να αποφεύγεται η επαφή ινών άνθρακα με χάλυβα. Η επαφή των δύο υλικών προκαλεί γαλβανική διάβρωση του χάλυβα. Το πρόβλημα δεν υφίσταται όταν χρησιμοποιούνται σύνθετα υλικά με ίνες υάλου ή πολυαραμιδής.

6.6.7 Ερπυσμός

Μεταξύ όλων των συστατικών στοιχείων ινοπλισμένων πολυμερών που έχουν αναφερθεί στις προηγούμενες ενότητες, μόνο τα ανθρακονήματα και τα υαλονήματα δεν υπόκεινται σε ερπυσμό. Εάν πρόκειται για ίνες υάλου ή άνθρακα, οι οποίες δε στρεβλώνονται αλλά παραμένουν αμετακίνητες στα άκρα τους, δεν παρατηρείται ερπυσμός και το σύνθετο υλικό συμπεριφέρεται σχεδόν πλήρως ελαστικά. Στην περίπτωση που ο άξονας των ινών, βρίσκεται εκτός του επιπέδου της φόρτισης ή οι ίνες είναι από πολυαραμιδίδη, μπορεί να είναι σημαντική η παραμόρφωση λόγω ερπυσμού του σύνθετου υλικού.

Σε εφαρμογές σύνθετων υλικών για την ενίσχυση κατασκευών σε σεισμό ο ερπυσμός σπάνια αποτελεί φαινόμενο προεξέτασης διότι τα σύνθετα υλικά θα αναπτύξουν τάσεις μόνο για τα πρόσθετα φορτία επιπλέον του ίδιου βάρους και επίσης το υφιστάμενο σκυρόδεμα έχει αναπτύξει το μεγαλύτερο τμήμα των φαινομενικών παραμορφώσεών του.

6.6.8 Θραύση και Διάβρωση λόγω Έντασης

Στα περισσότερα ινοπλισμένα πολυμερή παρατηρείται το φαινόμενο της θραύσης λόγω έντασης υπό διατηρούμενη φόρτιση. Η διάβρωση λόγω έντασης συμβαίνει όταν η ατμόσφαιρα που περιβάλλει το σύνθετο υλικό περιέχει διαβρωτικά στοιχεία, αλλά όχι επαρκή ώστε να προκαλέσουν διάβρωση του υλικού χωρίς την ταυτόχρονη δράση διατηρούμενης φόρτισης.

Και τα δύο φαινόμενα σχετίζονται με το χρόνο έκθεσης, το επίπεδο της έντασης, τον περιβάλλοντα χώρο, τη μήτρα και τις ίνες του σύνθετου υλικού. Όσον αφορά στις ίνες, τα σύνθετα υλικά με ίνες άνθρακα παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά όταν χρησιμοποιούνται για την ανάληψη μόνιμων φορτίων.

6.6.9 Κόπωση

Γενικά τα ινοπλισμένα πολυμερή συμπεριφέρονται καλύτερα από το σκυρόδεμα ή το χάλυβα υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Τα ανθρακονήματα είναι καλύτερα από τις ίνες πολυαραμιδής, οι οποίες είναι με τη σειρά τους καλύτερες από τα υαλονήματα. Ειδικά για σύνθετα υλικά με ίνες από άνθρακα η αντοχή σε κόπωση είναι μεγαλύτερη από αυτή του χάλυβα οπλισμού.

6.6.10 Κρούση

Όσον αφορά στην επίδραση της κρούσης την καλύτερη συμπεριφορά παρουσιάζουν κατά σειρά τα σύνθετα υλικά με ίνες πολυαραμιδής (είναι χαρακτηριστικό ότι χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αλεξίσφαιρων γιλέκων), ακολουθούν αυτά με ίνες υάλου και τέλος αυτά με ίνες άνθρακα.

7. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η διαδικασία εφαρμογής σύνθετων υλικών για την επισκευή και ενίσχυση κατασκευών περιλαμβάνει δύο βασικά στάδια, την προετοιμασία της επιφάνειας του δομικού στοιχείου στο οποίο γίνεται η επέμβαση και την επικόλληση των στρώσεων του ινοπλισμένου πολυμερούς στην επιφάνεια αυτή (εικόνα 7).

Πρέπει να τονιστεί ότι η προετοιμασία της επιφάνειας του δομικού στοιχείου στην οποία θα επικολληθεί το σύνθετο υλικό αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την επίτευξη

της επιδιωκόμενης συμπεριφοράς του ενισχυμένου στοιχείου, καθώς από αυτήν εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό η συνεργασία παλαιού και νέου υλικού.



Προετοιμασία επιφάνειας του σκυροδέματος για την εφαρμογή ανθρακονημάτων.

Εικόνα 7 (πηγή: SIKA HELLAS, 2004)

7.1 Σύμφυση και Επαφή Διεπιφανειών

Τα σύνθετα υλικά επικολλούνται στα δομικά στοιχεία με χρήση διαφόρων συγκολλητικών ουσιών, όπως είναι οι εποξικές κόλλες, οι πολυεστερικές κόλλες κ.τ.λ. Οι ουσίες αυτές εξασφαλίζουν τη διαρκή σύνδεση και από κοινού λειτουργία του ινοπλισμένου πολυμερούς με το σκυρόδεμα του στοιχείου μέσω της διατμητικής τάσης που μεταφέρεται στη διεπιφάνεια επαφής τους.

Οι κυριότερες απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιεί η συγκολλητική ουσία είναι οι ακόλουθες:

- Επαρκής αντοχή σε υγρασία και ερπυσμό
- Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης υάλου (T_g) τουλάχιστον ίση με 45°C .
- Ελάχιστη διατμητική αντοχή στους 20°C ίση με 18MPa .
- Ικανότητα πλήρωσης κενών και εφαρμογής σε κατακόρυφες και ανεστραμμένες επιφάνειες
- Ανθεκτικότητα στην αλκαλική φύση του σκυροδέματος

Οι συγκολλητικές ουσίες συνδέουν δύο υλικά επικολλώντας στις επιφάνειες τους μία στρώση απειροελάχιστων διαστάσεων, της τάξης των 0,1-0,5 mm. Ο όρος σύμφυση αναφέρεται στις εφελκυστικές μοριακές δυνάμεις που δρουν κατά μήκος της διεπιφάνειας μεταξύ των δύο υλικών. Λόγω της υγρής τους φύσης, οι συγκολλητικές ουσίες ρέουν πάνω και ανάμεσα στις ανωμαλίες της στερεάς επιφάνειας και, καθώς έρχονται σε επαφή με αυτή, αλληλεπιδρούν μέσω των μοριακών τους δυνάμεων.

Στη συνέχεια, η ουσία στερεοποιείται και έτσι επιτυγχάνεται η σύνδεση των δύο υλικών. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επίτευξη ικανοποιητικής σύμφυσης, είναι η άμεση επαφή μεταξύ της συγκολλητικής ουσίας και των δύο υποστρωμάτων, καθώς και η απουσία αδύναμων και ενανθρακωμένων στρώσεων ή σκόνης από την επιφάνεια του σκυροδέματος.

Η ποιότητα της συγκόλλησης εξαρτάται από την ομοιόμορφη διάστρωση της συγκολλητικής ουσίας, η οποία πρέπει να σχηματίζει μία πολύ λεπτή στρώση χωρίς να διαιρείται σε επιμέρους σταγονίδια.

7.2 Προετοιμασία Επιφάνειας Σκυροδέματος

Λόγω της σύνθετης σύστασης του σκυροδέματος, η επιφάνειά του μπορεί να περιέχει εκτεθειμένα αδρανή, άμμο άνυδρα σωματίδια τσιμέντου και τσιμεντοκονίας, καθώς επίσης ρωγμές και κενά. Σκοπός της προετοιμασίας της επιφάνειας του σκυροδέματος είναι η απομάκρυνση τυχόν αδύναμων ή ενανθρακωμένων στρώσεων, καθώς και η εξομάλυνσή της, έτσι ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή συγκόλληση των στρώσεων του σύνθετου υλικού σε αυτή.

Η προετοιμασία της επιφάνειας έχει γενικά πολύ μεγαλύτερη επίδραση στη μακρόχρονη παρά βραχύχρονη αντοχή της σύνδεσης. Για το λόγο αυτό, η προσεκτική προετοιμασία της επιφάνειας του δομικού στοιχείου συνδέεται άμεσα με τη συμπεριφορά του ενισχυμένου στοιχείου με την πάροδο του χρόνου.

Σε πολλές εφαρμογές επισκευής και ενίσχυσης, οι εργασίες στην επιφάνεια του σκυροδέματος εκτελούνται επιτόπου υπό αντίξοες συνθήκες. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου

δου προετοιμασίας είναι άμεση συνάρτηση του προσανατολισμού της επιφάνειας του σκυροδέματος (οριζόντια, κατακόρυφη, ανεστραμμένη), αλλά και διαφόρων άλλων παραμέτρων, όπως είναι το κόστος, η εύκολη πρόσβαση στα υλικά και τον εξοπλισμό, καθώς και απαιτήσεις που σχετίζονται με την ασφάλεια και την υγιεινή του προσωπικού.

Ουσιαστικά, ο αντικειμενικός σκοπός της προεργασίας που γίνεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος, είναι η απομάκρυνση της εξωτερικής, μειωμένης αντοχής και ενδεχομένως ενανθρακωμένης, επιφανειακής στρώσης, με ταυτόχρονη έκθεση αδρανών μικρού έως μεσαίου μεγέθους. Ο σκοπός αυτός πρέπει να επιτευχθεί χωρίς να προκληθούν μικρορωγμές ή άλλες βλάβες στην υποκείμενη στρώση που θα μειώσουν την αντοχή της. Τυχόν μεγάλα κενά, οπές και ρωγμές μεγάλου εύρους πρέπει να πληρωθούν με κατάλληλα κονιάματα ή ρητινένσεις πριν την εφαρμογή της συγκολλητικής ουσίας. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η δημιουργία μίας στρώσης σχετικά ομοιόμορφου πάχους και μεγιστοποιείται η ικανότητα μεταφοράς διατμητικής τάσης.

Η διαδικασία προετοιμασίας της επιφάνειας του δομικού στοιχείου συνίσταται να περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Απομάκρυνση βλαμμένου σκυροδέματος ή σκυροδέματος που δεν πληροί τις προδιαγραφές και αντικατάσταση με υλικό καλής ποιότητας.
- Απομάκρυνση σκυροδέματος υψηλής περιεκτικότητας σε τσιμέντο κατά πρό-τίμηση με αμμοβολή
- Απομάκρυνση σκόνης και θραυσμάτων με χρήση πεπιεσμένου αέρα.

Μετά την προεργασία, συνίσταται η καταλληλότητα της επιφάνειας να ελεγχθεί με τη μέθοδο του εξολκέα, όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο των μεθόδων διάγνωσης βλαβών. Το χρονικό κενό μεταξύ προετοιμασίας της επιφάνειας και επικόλλησης των στρώσεων του σύνθετου υλικού καλό είναι να διατηρείται όσον το δυνατόν μικρότερο, ώστε να προλαμβάνεται περαιτέρω ενανθράκωση του σκυροδέματος.



Έλεγχος της επιφάνειας του σκυροδέματος με τη μέθοδο του εξολκέα όπως φαίνεται στη φωτογραφία

7.3 Στάδια Εφαρμογής Σύνθετων Υλικών

Συνοπτικά, η διαδικασία εφαρμογής σύνθετων υλικών περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- Καθαίρεση του επιχρίσματος.
- Αποκατάσταση των ενδεχόμενων βλαβών με χρήση κατάλληλης μεθόδου
- Προετοιμασία της επιφάνειας του δομικού στοιχείου (εξομάλυνση της επιφάνειας, λάξευση γωνιών)
- Επάλειψη της επιφάνειας του δομικού στοιχείου με εποξική ρητίνη ή άλλη κατάλληλη συγκολλητική ουσία.
- Τοποθέτηση της πρώτης στρώσης του ινοπλισμένου πολυμερούς στην επιφάνεια του δομικού στοιχείου. Συνίσταται η πλήρης επαφή του σύνθετου υλικού με την επιφάνεια του δομικού στοιχείου. Στην περίπτωση χρήσης υλικών τύπου ελάσματος χρησιμοποιείται μόνο μία στρώση
- Τοποθέτηση ειδικών αγκυρίων όπου απαιτείται (τοιχεία, άνω παρειές δοκών, κ.τ.λ.)
- Τοποθέτηση επιπλέον στρώσεων σύνθετου υλικού σύμφωνα με τη μελέτη επισκευής-ενίσχυσης.
- Μετά τη σκλήρυνση του συστήματος (περίπου μετά από 24 ώρες), πραγματοποιείται εφαρμογή επιχρίσματος και βαφή της επιφάνειας του δομικού στοιχείου με βάση αρχιτεκτονικές και αισθητικές απαιτήσεις.

7.4 Αρχές Σχεδιασμού Συστημάτων Επισκευής και Ενίσχυσης με Σύνθετα Υλικά

Τα σύνθετα υλικά ινοπλισμένων πολυμερών χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό της ενίσχυσης τόσο γραμμικών στοιχείων – υποστυλωμάτων, τοιχωμάτων και δοκών όσο και επιφανειακών στοιχείων – πλακών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Με την εφαρμογή των σύνθετων υλικών μπορεί να επιτευχθεί σημαντική αύξηση της καμπτικής και διατμητικής αντοχής των ενισχυόμενων στοιχείων με πρακτικά μηδενική επιβάρυνση του βάρους τους. Ειδικά για την περίπτωση γραμμικών στοιχείων, τα ινοπλισμένα πολυμερή χρησιμοποιούνται επιπλέον για την επιβολή εξωτερικής περίσφιξης στο στοιχείο μέσω της οποίας επιτυγχάνεται αύξηση τόσο της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος όσο και της πλαστιμότητας του στοιχείου.

Η διαστασιολόγηση βασίζεται στην ικανοποίηση της συνθήκης συμβιβαστού των παραμορφώσεων μεταξύ σκυροδέματος, υπάρχοντος σιδηροπλισμού και σύνθετου υλικού. Πρέπει να τονιστεί ότι απαραίτητη προϋπόθεση του σχεδιασμού ενίσχυσης με χρήση σύνθετων υλικών είναι ο αποκλεισμός της αποκόλλησης του ινοπλισμένου πολυμερούς από την επιφάνεια του στοιχείου που ενισχύεται κατά την επιβολή των φορτίων.

7.5 Επιβολή Εξωτερικής Περίσφιξης με Μανδύα Σύνθετων Υλικών

Η τεχνική της επιβολής εξωτερικής περίσφιξης με τοποθέτηση μανδύων από σύνθετα υλικά εφαρμόζεται κυρίως σε υποστυλώματα κτιρίων και βάθρα γεφυρών. Η ενίσχυση με ινοπλισμένα πολυμερή είναι αποδοτικότερη για στοιχεία κυκλικής και τετραγωνικής διατομής. Για υποστυλώματα με ορθογωνική διατομή, η απόδοση της εφαρμογής περιορίζεται όσο αυξάνεται ο λόγος των πλευρών της διατομής του υποστυλώματος.

Προκειμένου να επιτευχθεί πλήρης περίσφιξη ορθογωνικής διατομής, απαιτείται η τροποποίηση του σχήματος της διατομής, είτε με λάξευση των γωνιών της είτε με τοποθέτηση πρόσθετου σκυροδέματος, έτσι ώστε να δημιουργηθεί μία συνεχής καμπύλη επιφάνεια πάνω στην οποία θα τοποθετηθεί ο μανδύας.

Τα σύνθετα υλικά που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της περίσφιγξης μπορεί να έχουν μία από τις ακόλουθες μορφές:

- Ολόσωμοι μανδύες που αποτελούνται από στρώσεις ινοπλισμένων πολυμερών, οι οποίοι επικολλούνται εξωτερικά σε όλο το ύψος του προς ενίσχυση στοιχείου.



Εικόνα 7.5.1 (πηγή:SIKA HELLAS,2004)

- Μανδύες περιορισμένου ύψους (κολάρα) που αποτελούνται από μεμονωμένες λωρίδες ινοπλισμένων πολυμερών



Εικόνα 7.5.1 (πηγή:SIKA HELLAS,2004)

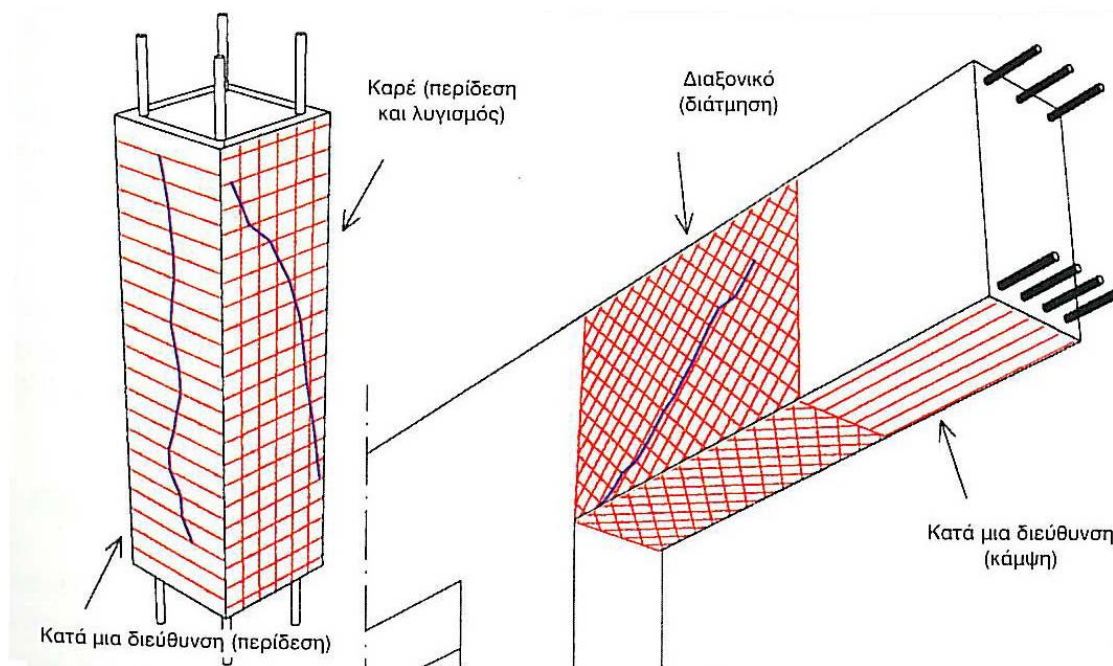
- Προεντεταμένοι μανδύες περιορισμένου ύψους από ινοπλισμένα πολυμερή με μορφή ταινιών 'πακεταρίσματος'.
- Ινοπλισμένα πολυμερή με μορφή σπειροειδούς οπλισμού, ο οποίος περιελίσσεται στην εξωτερική επιφάνεια του προς ενίσχυση στοιχείου κατ'αντιστοιχία με το συνήθη σπειροειδή σιδηροπλισμό που χρησιμοποιείται για την όπλιση του στοιχείου. Μέσω της εξωτερικής περίσφιγξης που επιβάλλει ο μανδύας σύνθετων υλικών, εισάγεται τριαξονική θλίψη στο σκυρόδεμα και έτσι επιτυγχάνεται αύξηση τόσο της θλιπτικής του αντοχής όσο και της πλαστιμότητας του στοιχείου έναντι του πρόσθε-

του φορτίου που καλείται να αναλάβει μετά την επέμβαση. Επιπλέον με το μανδύα σύνθετων υλικών από ινοπλισμένα πολυμερή μπορεί να αποτραπεί ο λυγισμός των θλιβόμενων ράβδων του διαμήκους οπλισμού του στοιχείου λόγω μεγάλης απόστασης μεταξύ των υπάρχοντων συνδετήρων στις περιοχές σχηματισμού πλαστικών αρθρώσεων.

Τέλος, όταν το διατιθέμενο μήκος υπερκάλυψης των διαμήκων οπλισμών στις περιοχές των ενώσεων δεν είναι επαρκές, είναι δυνατό μέσω της εξωτερικά επιβαλλόμενης περίσφιγξης από το μανδύα σύνθετων υλικών να επιτευχθεί βελτίωση των συνθηκών αγκύρωσης και κατά συνέπεια να μειωθεί ο κίνδυνος αστοχίας της συνάφειας των ματιζόμενων ράβδων οπλισμού του στοιχείου.

Οι μανδύες σύνθετων υλικών τοποθετούνται στις εξωτερικές επιφάνειες υποστυλωμάτων για να αυξήσουν τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος. Η αύξηση της θλιπτικής αντοχής επιτυγχάνεται με μανδύες ινοπλισμένων πολυμερών, των οποίων οι ίνες είναι προσανατολισμένες κάθετα στον άξονα του στοιχείου.





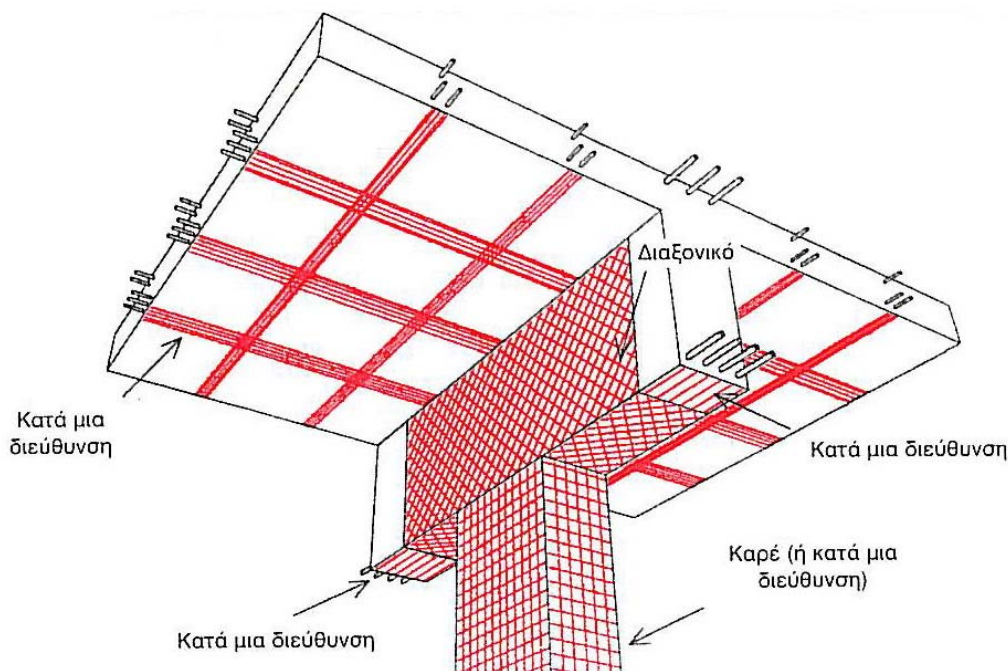
Εικόνα 7.5.2 (πηγή: CARBONIAR, 2004)

Όπως φαίνεται στο σχήμα χρησιμοποιούνται ανθρακονήματα για την περίσφιξη θλιβόμενων στοιχείων και την αύξηση της πλαστιμότητας, δηλαδή της ικανότητας να αντέχει το υποσύλωμα ή το δοκάρι σε σημαντικές παραμορφώσεις στην πλαστική περιοχή, κυρίως κατά τη διάρκεια του σεισμού. Παρατηρούμε ακόμα ότι ο τρόπος εφαρμογής του 'υφάσματος' από ανθρακόνημα είναι διαφορετικός ανάλογα με την αντοχή του στοιχείου που θέλουμε να αυξήσουμε. Τελικά μέσω της περίσφιξης του υποστυλώματος με ανθρακονήματα επιτυγχάνεται:

- Αυξημένη αντοχή σε αξονικές θλιπτικές τάσεις
- Αυξημένη πλαστιμότητα, διότι το υποσύλωμα μετά την κάμψη, συνεχίζει να παραμορφώνεται στην πλαστική περιοχή απορροφώντας μεγάλα ποσά ενέργειας.
- Βελτιωμένη αντίσταση σε διάτμηση, γιατί οι ίνες συμπεριφέρονται σαν πρόσθετοι συνδετήρες.

Εργαστηριακές δοκιμές επιβεβαιώνουν ότι ένα υποσύλωμα το οποίο έχει περιδεθεί με ανθρακονήματα συνεχίζει να ανθίσταται μέχρι την πλήρη αποδιοργάνωση

του σκυροδέματος .Πρέπει ακόμα να τονιστεί ότι η συμπεριφορά των υποστυλωμάτων σε σεισμό μπορεί να βελτιωθεί με απλές, γρήγορες, ελαφρές και μεγάλης αντοχής στο χρόνο διαδικασίες.



Εικόνα 7.5.3 (πηγή: CARBONIAR, 2004)

Όπως παρατηρούμε τα ανθρακονήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε προεταμένο οπλισμένο σκυρόδεμα για την αποκατάσταση χαλαρών ή κομμένων ράβδων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, όπου είναι δυνατό, θα πρέπει να αποκαθίσταται η παραμόρφωση ή ακόμη και να αναστρέφεται πριν από την εφαρμογή του ανθρακονήματος το οποίο θα βρίσκεται πλέον υπό τάση από το ίδιο βάρος του φορέα.

7.6 Αύξηση Αντοχής σε Τέμνουσα

Η διατμητική αντοχή δομικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα, μπορεί να αυξηθεί με μανδύες σύνθετων υλικών από ινοπλισμένα πολυμερή, οι οποίοι επικολούνται εξωτερικά στα στοιχεία και παραλαμβάνουν τέμνουσα δύναμη

κατ'αντιστοιχία με το συμβατικό οπλισμό διάτμησης. Τα σύνθετα υλικά που χρησιμοποιούνται για ενίσχυση σε διάτμηση μπορεί να έχουν, είτε τη μορφή μανδύων περιορισμένου ύψους (κολάρα) που αποτελούνται από λωρίδες ινοπλισμένων πολυμερών .

Για την περίπτωση ενίσχυσης υποστυλωμάτων σε διάτμηση, η τοποθέτηση των ινοπλισμένων πολυμερών εφαρμόζεται όπως για την περίπτωση της επιβολής εξωτερικής περίσφιγξης. Οι ίνες του πολυμερούς είναι κατά κανόνα κάθετες στον άξονα του στοιχείου.

Πρέπει να τονιστεί ότι, στην περίπτωση που ο μανδύας από σύνθετο υλικό δεν είναι δυνατό να περιβάλλει πλήρως τη διατομή του στοιχείου (π.χ. περίπτωση ενίσχυσης πλακοδοκού), ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην όσο το δυνατόν καλύτερη αγκύρωση των στρώσεων του σύνθετου υλικού στο υπάρχον στοιχείο. Στην περίπτωση ορθογωνικών διατομών, συνίσταται επίσης η λάξευση των γωνιών τους πριν τη τοποθέτηση των στρώσεων του μανδύα, όπως καθορίζουν οι κατασκευαστικές διατάξεις.



Εικόνα 7.6 (πηγή:SIKA HELLAS,2004)

7.7 Αύξηση Αντοχής σε Κάμψη

Όταν η καμπτική αντοχή ενός δομικού στοιχείου από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι μειωμένη λόγω ανεπαρκούς εφελκυσμένου οπλισμού, μπορεί να αυξηθεί με επικόλληση στην κάτω παρειά του, υφασμάτων από σύνθετο υλικό ινοπλισμένου πολυμερούς. Η μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως για την ενίσχυση πλακών και δοκών.

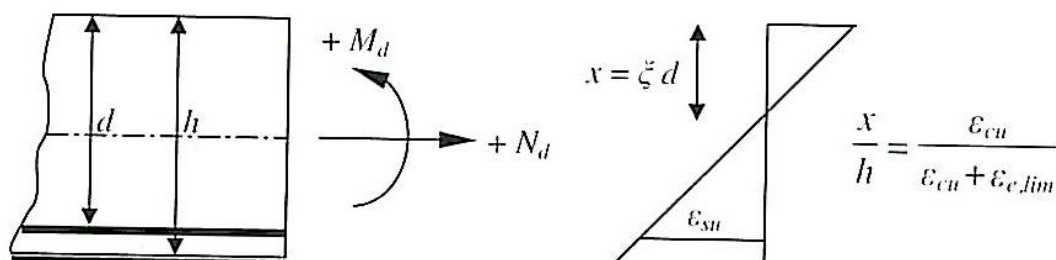
Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου είναι σε περίπτωση αστοχίας του σύνθετου υλικού λόγω μίας τυχηματικής δράσης, όπως π.χ. πυρκαγιάς, το προς ενίσχυση στοιχείο να αναλαμβάνει ασφαλώς τουλάχιστον τα μόνιμα φορτία του. Για το λόγο αυτό συνίσταται να μην αυξάνεται η καμπτική αντοχή του στοιχείου περισσότερο από 50% σε σχέση με την αρχική αντοχή του.

Η σύνδεση του υπάρχοντος στοιχείου με τις στρώσεις του σύνθετου υλικού της ενίσχυσης θεωρείται μονολιθική, με το ινοπλισμένο πολυμερές να συμπεριφέρεται σαν πρόσθετος εξωτερικός οπλισμός. Ο υπολογισμός της αύξησης της καμπτικής αντοχής του στοιχείου γίνεται με θεώρηση μίας μέγιστης επιτρεπόμενης παραμόρφωσης του σύνθετου υλικού $\epsilon_{e,lim}$, πέρα από την οποία το σύνθετο υλικό αστοχεί με αποκόλληση από την παρειά του ενισχυόμενου στοιχείου. Η $\epsilon_{e,lim}$, λαμβάνει τιμές που κυμαίνονται μεταξύ του 33 - 50% της παραμόρφωσης θραύσης του ινοπλισμένου πολυμερούς. Το σύνηθες εύρος των τιμών της $\epsilon_{e,lim}$ είναι από 3,5 έως 9%, ενώ μία ενδεικτική τιμή που μπορεί να χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό της ενίσχυσης σε περίπτωση που δε διαθέτουμε επαρκέστερα στοιχεία είναι $\epsilon_{e,lim} = 6\%$, ανεξάρτητα από το είδος του ινοπλισμένου πολυμερούς.

Προκειμένου να αποφευχθεί η ψαθυρή αστοχία της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος ($\epsilon_c < \epsilon_{cu} = 3,5\%$), επιλέγουμε τόσες στρώσεις σύνθετου υλικού, ώστε στην οριακή κατάσταση αστοχίας της ενισχυμένης διατομής, η παραμόρφωση του υφιστάμενου εφελκυσμένου οπλισμού να είναι τουλάχιστον ίση με την παραμόρφωση διαρροής του χάλυβα και η παραμόρφωση του ινοπλισμένου πολυμερούς ίση με την $\epsilon_{e,lim}$. Όπως φαίνεται στο σχήμα, αυτό εξασφαλίζεται όταν $\xi > \epsilon_{cu} (h/d) / (\epsilon_{cu} + \epsilon_{e,lim})$, όπου h και d είναι το γεωμετρικό και το στατικό ύψος της διατομής, αντίστοιχα.

Η αποδοτικότητα της ενίσχυσης της καμπτικής αντοχής με χρήση υφασμάτων ινοπλισμένου πολυμερούς, είναι δυνατή μόνο εφόσον έχει εξασφαλιστεί η επάρκεια του μηχανισμού μεταφοράς δυνάμεων στην περιοχή απόληξης του υφάσματος μέσω κατάλληλης αγκύρωσης των στρώσεων του σύνθετου υλικού στο υφιστάμενο στοιχείο, η οποία καλό είναι να γίνεται στη θλιβόμενη ζώνη της διατομής.

Ενδεχόμενη ανεπάρκεια του μηχανισμού αυτού, μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία του συστήματος της ενίσχυσης με αποκόλληση από το ενισχυόμενο στοιχείο, λόγω υπερβολικής συγκέντρωσης τάσεων στα άκρα του μανδύα σύνθετου υλικού.



Επιθυμητή οριακή κατάσταση αστοχίας ενισχυμένης διατομής

Εικόνα 7.7.1 (πηγή: Σπυράκος, 2004)

- Είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται περισσότερες στρώσεις ινοπλισμένου πολυμερούς μικρότερου πάχους, αφού έτσι ικανοποιείται ευκολότερα το συμβιβαστό των παραμορφώσεων χωρίς σημαντική επιβολή τάσεων στο σύνθετο υλικό. Συνίσταται ο αριθμός των στρώσεων να μην υπερβαίνει τις πέντε.
- Δεδομένου ότι τα σύνθετα υλικά διατίθενται κατά κανόνα σε ρολά μεγάλου σχετικώς μήκους, συνίσταται να αποφεύγεται η τοποθέτηση επικαλυπτόμενων φύλλων ινοπλισμένου πολυμερούς κατά μήκος του ενισχυόμενου στοιχείου, αλλά να χρησιμοποιούνται ενιαία υφάσματα.
- Προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος αποκόλλησης του σύνθετου υλικού από το στοιχείο, η απόσταση του υφάσματος από το άκρο της διατομής του ενισχυόμε-

νου στοιχείου δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την επικάλυψη σκυροδέματος της πλησιέστερης προς το άκρο παράλληλης ράβδου σιδηροπλισμού.

- Για την καλύτερη αγκύρωση του ινοπλισμένου πολυμερούς στο στοιχείο μπορούν να χρησιμοποιούνται εγκάρσιες λωρίδες σύνθετου υλικού ή γωνιακά. Αντίθετα, πρέπει να αποφεύγεται η αγκύρωση του υλικού με διάνοιξη οπών, γιατί έτσι μειώνεται σημαντικά η αντοχή στα σημεία αυτά.
- Όταν χρησιμοποιούνται παράλληλα κολάρα σύνθετου υλικού, η απόσταση μεταξύ τους δεν πρέπει να υπερβαίνει το μικρότερο μήκος από το πενταπλάσιο του πάχους του στοιχείου και το 20% της απόστασης μεταξύ των σημείων μηδενισμού του διαγράμματος των ροπών κάμψεως κατά μήκος του στοιχείου.

Εν κατακλείδι, οι σύγχρονες τεχνικές με ανθρακονήματα, που βασίζονται σε αξιόπιστο σχεδιασμό, εξασφαλίζουν την ικανότητα ενός κτιρίου να αντιμετωπίσει έναν μελλοντικό σεισμικό κίνδυνο ή την αποκατάσταση κτιρίων που έχουν υποστεί ζημιές από προηγούμενους σεισμούς.

ΠΗΓΕΣ

- Εταιρεία Μελετών Λιόντος & Συνεργάτες (2006). *www.liontos.gr*
- Εταιρεία SIKA HELLAS (2004). *www.sika.com*
- Εταιρεία SINTECNO (2006). *www.sintecno.com*
- Εταιρεία Σύγχρονη Τεχνική Ο.Ε., Carboniar system (2002).
- Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (2000), Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος 2000, Αθήνα.
- Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (2000), Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000, Αθήνα.
- Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (2000), *Τεχνική Έκθεση: Καταγραφή Αιτιών σε Τυπικές Βλάβες από το Σεισμό των Αθηνών της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1999.*
- Σπυράκος, Κ., (2004). *Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία*. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. Τμήμα εκδόσεων ΤΕΕ.
- Τάσιος, Θ. Π. (1991). *Κατασκευές και Θεμελιώσεις από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα*. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- Τριανταφύλλου, Α .Χ. (2003). *Ενισχύσεις Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος με Σύνθετα Υλικά (Ινοπλισμένα Πολυμερή)*, Πάτρα

ΒΛΑΒΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ



