



SINTECNO Hellas ABETE
Construction Chemicals & Epoxy System

Ινες από άνθρακα και ίνες από ύαλο

Τα ανθρακοϋφάσματα και τα υαλοϋφάσματα ανήκουν στην ίδια οικογένεια συστημάτων FRP, αλλά λειτουργούν με εντελώς διαφορετική φιλοσοφία ως προς την αντοχή, τη δυσκαμψία και τον ρόλο τους μέσα στον φέροντα οργανισμό.

Το ανθρακοϋφασμα είναι υλικό πολύ υψηλής αντοχής και πολύ υψηλού μέτρου ελαστικότητας. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι όταν τοποθετείται σε ένα στοιχείο από σκυρόδεμα, αρχίζει να «δουλεύει» σχεδόν ταυτόχρονα με το σκυρόδεμα και τον χάλυβα οπλισμού.

Δεν περιμένει μεγάλες παραμορφώσεις για να ενεργοποιηθεί. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται όταν ο στόχος είναι η ουσιαστική αύξηση της φέρουσας ικανότητας σε κάμψη, διάτμηση ή αξονική δύναμη, όπως σε δοκούς που υπολείπονται αντοχής, σε υποστυλώματα με αυξημένες σεισμικές απαιτήσεις ή σε πλάκες με νέα φορτία.

Το ανθρακοϋφασμα είναι «επιθετική» ενίσχυση, μεταφέρει μεγάλα φορτία και απαιτεί πολύ σωστό σχεδιασμό αγκυρώσεων, γιατί αν αποκολληθεί, η απώλεια αντοχής είναι απότομη.

Το υαλοϋφασμα από την άλλη πλευρά είναι σαφώς πιο ελαστικό υλικό, με χαμηλότερο μέτρο ελαστικότητας και χαμηλότερη εφελκυστική αντοχή. Αυτό σημαίνει ότι επιτρέπει μεγαλύτερες παραμορφώσεις πριν ενεργοποιηθεί πλήρως.

Στη στατική πράξη το χρησιμοποιούμε όταν ο στόχος δεν είναι η δραστική αύξηση αντοχής, αλλά η βελτίωση της συμπεριφοράς, της πλαστιμότητας και της κατανομής ρηγματώσεων. Είναι εξαιρετικά χρήσιμο σε μανδύες περιορισμού υποστυλωμάτων, σε τοπικές επισκευές, σε έλεγχο ρηγμάτωσης και σε εφαρμογές όπου δεν θέλουμε υπερβολική αύξηση δυσκαμψίας, γιατί αυτή μπορεί να αλλάξει δυσμενώς τη σεισμική απόκριση του φορέα.

Με απλά λόγια, το ανθρακοϋφασμα το επιλέγουμε όταν θέλουμε **«καθαρή αντοχή»** και μικρές παραμορφώσεις, ενώ το υαλοϋφασμα όταν θέλουμε **«συνεργασία και ανεκτικότητα»** του στοιχείου σε παραμορφώσεις. Αυτή η διαφορά είναι θεμελιώδης και συχνά παρεξηγημένη στην αγορά.



SINTECNO Hellas ABETE **SINTECNO**
Construction Chemicals & Epoxy System

Στον παρακάτω συγκριτικό πίνακα φαίνονται οι βασικές μηχανικές διαφορές τους, με τιμές.

Χαρακτηριστικό	Ανθρακοϋφασμα (CFRP)	Υαλοϋφασμα (GFRP)
Εφελκυστική αντοχή ινών	3.500 – 4.900 MPa	1.000 – 1.700 MPa
Μέτρο ελαστικότητας	230 – 240 GPa	70 – 80 GPa
Παραμόρφωση θραύσης	1,5 – 2,0 %	2,5 – 4,5 %
Λόγος αντοχής προς βάρος	Πολύ υψηλός	Υψηλός
Συμβολή σε αύξηση φέρουσας ικανότητας	Πολύ μεγάλη	Μέτρια
Συμβολή σε πλαστιμότητα	Περιορισμένη	Πολύ καλή
Κίνδυνος απότομης αστοχίας	Υψηλότερος αν δεν αγκυρωθεί σωστά	Χαμηλότερος
Κόστος υλικού	Υψηλό	Σημαντικά χαμηλότερο

Η ουσία είναι ότι δεν υπάρχει «καλύτερο» υλικό γενικά. Υπάρχει σωστό υλικό για τον συγκεκριμένο μηχανισμό αστοχίας που θέλουμε να αντιμετωπίσουμε. Το ανθρακοϋφασμα είναι εργαλείο ισχύος, το υαλοϋφασμα εργαλείο συμπεριφοράς.

ΑΓΚΥΡΙΑ ΑΝΘΡΑΚΟΥΦΑΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΑΛΟΥ

Θα το πάρουμε με τη λογική της στατικής λειτουργίας του συστήματος FRP και όχι σαν «κανόνα εφαρμογής», γιατί τα αγκύρια μπαίνουν όταν υπάρχει συγκεκριμένος μηχανισμός αστοχίας που πρέπει να ελεγχθεί.

Ξεκινάμε από τη βασική αρχή. Τα ανθρακοϋφάσματα ή υαλοϋφάσματα λειτουργούν κυρίως μέσω πρόσφυσης στο υπόστρωμα. Μεταφέρουν εφελκυστικές τάσεις μέσω διατμητικής τάσης στη διεπιφάνεια σκυροδέματος–



SINTECNO Hellas ABETE **SINTECNO**
Construction Chemicals & Epoxy System

ρητίνης-υφάσματος. Αν αυτή η διεπιφάνεια μπορεί να παραλάβει τις τάσεις, αγκύρια δεν χρειάζονται. Αν όχι, τότε το σύστημα «ξεκολλάει» πριν αξιοποιηθεί η αντοχή του υφάσματος και εκεί μπαίνουν τα αγκύρια.

Για να το καταλάβουμε απλα ας σκεφτούμε απλοποιημένο το σχήμα φόρτισης:

Σκυρόδεμα → πρόσφυση → ύφασμα → εφελκυσμός

Αν «σπάσει» η πρόσφυση πριν φτάσει το ύφασμα στο όριο αντοχής του, τότε έχουμε αποκόλληση και απώλεια ενίσχυσης. Τα αγκύρια λειτουργούν σαν μηχανική μεταφορά φορτίου σε βάθος μέσα στο σκυρόδεμα και παρακάμπτουν τη διεπιφάνεια.

Πότε λοιπόν απαιτούνται αγκύρια.

Πρώτη και πιο κλασική περίπτωση

είναι όταν η ενίσχυση δουλεύει σε διάτμηση ή σε καμπτική ενίσχυση με μεγάλες εφελκυστικές τάσεις κοντά στα άκρα. Σε δοκούς με FRP σε μορφή U-wrap ή πλευρικής επικόλλησης, η αποκόλληση ξεκινά σχεδόν πάντα από το άκρο της ενίσχυσης. Εκεί έχουμε συγκέντρωση τάσεων και μικρό μήκος αγκύρωσης. Αν το διαθέσιμο μήκος δεν επαρκεί για να αναπτυχθεί η απαιτούμενη δύναμη, τα αγκύρια είναι αναγκαία.

Δεύτερη βασική περίπτωση

είναι η ενίσχυση υποστυλωμάτων σε διάτμηση ή καμπτική παραμόρφωση, ειδικά όταν δεν γίνεται πλήρης περιτύλιξη. Αν δεν έχεις πλήρες κλείδωμα 360°, το ύφασμα έχει τάση να «ανοίγει» και να αποκολλάται. Τα αγκύρια λειτουργούν σαν τρισδιάστατο κλείδωμα και εξασφαλίζουν ότι το FRP θα δουλέψει σαν πραγματικός μανδύας.

Τρίτη περίπτωση

είναι όταν το υπόστρωμα είναι χαμηλής ποιότητας. Παλιό σκυρόδεμα, επιφανειακά σαθρό, με μικρή εφελκυστική αντοχή ή επισκευασμένο με κονιάματα. Εκεί, ακόμη και αν θεωρητικά το μήκος αγκύρωσης είναι επαρκές, πρακτικά η διεπιφάνεια δεν αντέχει. Τα αγκύρια δεν «ενισχύουν» το ύφασμα, ενισχύουν το σκυρόδεμα ως φορέα πρόσφυσης.



SINTECNO Hellas ABETE
Construction Chemicals & Epoxy System

Τέταρτη περίπτωση

είναι όταν έχουμε αναστροφή φορτίσεων, σεισμική δράση ή κυκλική καταπόνηση. Σε αυτές τις συνθήκες η κόπωση της διεπιφάνειας είναι κρίσιμη. Τα αγκύρια μειώνουν δραστικά την εξέλιξη μικρο-αποκολλήσεων και αυξάνουν την ενεργειακή απόσβεση του συστήματος.

Τώρα, ως προς το είδος αγκυρίου, ανθρακα ή υαλο.

Τα αγκύρια ανθρακα έχουν υψηλότερο μέτρο ελαστικότητας και αντοχή, άρα είναι προτιμότερα όταν η ενίσχυση είναι από CFRP και οι δυνάμεις μεγάλες. Συνεργάζονται καλύτερα μηχανικά και περιορίζουν σχετικές παραμορφώσεις. Τα αγκύρια υαλου είναι πιο «μαλακά», δουλεύουν καλά σε μικρότερες απαιτήσεις ή σε περιβάλλοντα όπου θέλεις χαμηλότερο κόστος και μικρότερη ακαμψία αγκύρωσης.

Η μορφή θύσανου δεν είναι τυχαία. Ο θύσανος ανοίγει μέσα στη στρώση του υφάσματος και λειτουργεί σαν διάχυτη αγκύρωση, όχι σαν σημειακό καρφί. Έτσι αποφεύγονται τοπικές συγκεντρώσεις τάσεων. Και φαίνεται απλά ως εξής:

Βάθος οπής → αγκύριο → άνοιγμα θύσανου → διασπορά φορτίου στο ύφασμα

Κρίσιμο σημείο που συχνά παραβλέπεται είναι ότι τα αγκύρια δεν αντικαθιστούν τον σωστό σχεδιασμό μήκους αγκύρωσης του υφάσματος.
Είναι συμπληρωματικός μηχανισμός ασφάλειας ή απαραίτητος μηχανισμός όταν ο βασικός μηχανισμός πρόσφυσης δεν επαρκεί.

Ας δουμε ένα συγκεκριμένο και ρεαλιστικό παράδειγμα ώστε να φανεί καθαρά.

Θεωρούμε δοκό οπλισμένου σκυροδέματος υφιστάμενου κτιρίου, με άνοιγμα 5,00 m, πλάτος 25 cm και ύψος 50 cm. Το σκυρόδεμα είναι παλαιό, περίπου C16/20, και η απαίτηση είναι ενίσχυση σε κάμψη λόγω αύξησης φορτίων. Επιλέγεται ενίσχυση με ανθρακοϋφασμα στο κάτω πέλμα, μονής διεύθυνσης, επικολλημένο.

Το πρώτο που εξετάζουμε δεν είναι τα αγκύρια αλλά αν το ίδιο το ύφασμα μπορεί θεωρητικά να καλύψει το έλλειμμα ροπής. Από τη στατική ανάλυση προκύπτει ότι απαιτείται εφελκυστική δύναμη στο FRP's περίπου 120 kN για να καλυφθεί η πρόσθετη ροπή. Με βάση τις μηχανικές ιδιότητες του CFRP, αυτό είναι απολύτως εφικτό. Άρα σε επίπεδο αντοχής υλικού είμαστε εντάξει.

Τώρα πώς μεταφέρεται αυτή η δύναμη στο σκυρόδεμα. Εκεί μπαίνει ο **έλεγχος πρόσφυσης**. Υπολογίζουμε το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης ώστε μέσω διατμητικών τάσεων στη διεπιφάνεια να αναπτυχθούν τα 120 kN.



SINTECNO Hellas ABETE
Construction Chemicals & Epoxy System

Για το συγκεκριμένο σκυρόδεμα και σύστημα ρητίνης, το απαιτούμενο μήκος βγαίνει περίπου 1,40 m.

Στην πραγματικότητα όμως, λόγω γεωμετρίας, διαθέσιμο καθαρό μήκος από το σημείο μέγιστης ροπής μέχρι τη στήριξη είναι μόνο 0,80 m. Εδώ εμφανίζεται η πρώτη ασυμβατότητα. *Το ύφασμα μπορεί να αντέξει, αλλά δεν προλαβαίνει να «φορτιστεί» πλήρως πριν αποκολληθεί.*

Αυτό φαίνεται καθαρά στον συγκριτικό έλεγχο:

Παράμετρος	Απαιτούμενο	Διαθέσιμο
Εφελκυστική δύναμη FRP	120 kN	120 kN
Μήκος αγκύρωσης	1,40 m	0,80 m
Μηχανισμός αστοχίας	Πρόσφυση	Πρόσφυση

Τι κάνουν τώρα τα αγκύρια θύσανου.

Ουσιαστικά προσθέτουν έναν δεύτερο μηχανισμό μεταφοράς δύναμης. Αντί όλη η δύναμη να περνά μόνο από διατμητικές τάσεις επιφανείας, μέρος της μεταφέρεται σε βάθος μέσα στο σκυρόδεμα μέσω των ινών του αγκυρίου. Στατικά αυτό σημαίνει ότι μειώνεται το απαιτούμενο μήκος πρόσφυσης του υφάσματος.

Με κατάλληλη διάταξη αγκυρίων ανθρακα, π.χ. ανά 30–40 cm στα άκρα της ενίσχυσης, ο έλεγχος αλλάζει μορφή. Το σύστημα πλέον δεν βασίζεται μόνο στην επιφανειακή πρόσφυση αλλά σε συνδυασμό πρόσφυσης και μηχανικής αγκύρωσης. Έτσι τα 0,80 m επαρκούν, γιατί το «έλλειμμα» αγκύρωσης το αναλαμβάνουν τα αγκύρια.

ΑΣ ΤΟ ΔΟΥΜΕ ΣΕ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ

Συνεχίζουμε λοιπόν με υποστύλωμα, γιατί εκεί φαίνεται πιο καθαρά ο πραγματικός ρόλος των αγκυρίων και γιατί δεν είναι «λεπτομέρεια εφαρμογής» αλλά στοιχείο που επηρεάζει άμεσα τη σεισμική συμπεριφορά.

Θεωρούμε υφιστάμενο υποστύλωμα διατομής 30×30 cm, ύψους ορόφου 3,00 m, παλαιού κανονισμού, με ανεπαρκή συνδετήρες. Το σκυρόδεμα είναι χαμηλής αντοχής και η απαίτηση της μελέτης είναι αύξηση της διατμητικής αντοχής και κυρίως της πλαστιμότητας σε σεισμική φόρτιση. Επιλέγεται μανδύας FRP με ανθρακοϋφασμα σε οριζόντια διάταξη.



SINTECNO Hellas ABETE
Construction Chemicals & Epoxy System

Αρχικά εξετάζουμε την ιδανική περίπτωση πλήρους περίσφιγξης. Αν μπορούσαμε να τυλίξουμε το υποστύλωμα περιμετρικά 360°, χωρίς διακοπές, το ύφασμα θα λειτουργούσε σαν κλειστός συνδετήρας.

Σε αυτή την περίπτωση, σε επίπεδο αντοχής, τα αγκύρια δεν είναι υποχρεωτικά. Η περίσφιγξη αυξάνει την ενεργό αντοχή του σκυροδέματος και περιορίζει τις διατμητικές ρωγμές.

Στην πράξη, πολύ συχνά έχουμε υποστυλώματα σε επαφή με τοιχοποιίες, δοκούς, πέδιλα ή πλάκες, άρα η περίσφιγξη δεν είναι πλήρης. Έχουμε μανδύα τύπου U ή μανδύα με κατακόρυφες διακοπές. Εκεί αλλάζει όλη η στατική εικόνα. Το ύφασμα δεν είναι πλέον κλειστός κρίκος αλλά ανοιχτή ενίσχυση με τάση αποκόλλησης στα άκρα.

Σε σεισμική φόρτιση, το υποστύλωμα αναπτύσσει εναλλασσόμενες διατμητικές και καμπτικές παραμορφώσεις. Το FRP φορτίζεται, ξεφορτίζεται και επαναφορτίζεται.

Αν δεν υπάρχουν αγκύρια, η διεπιφάνεια σκυροδέματος-ρητίνης κουράζεται και ξεκινά μικροαποκόλληση από τις άκρες του μανδύα. Η αστοχία δεν είναι ξαφνική, αλλά εξελικτική. Χάνεται πρώτα η περίσφιγξη και μετά καταρρέει η διατμητική αντοχή.

Αυτό φαίνεται καθαρά αν συγκρίνουμε τις δύο λύσεις.

Παράμετρος	Χωρίς αγκύρια	Με αγκύρια θύσανου
Μηχανισμός μεταφοράς φορτίου	Μόνο πρόσφυση	Πρόσφυση + μηχανική αγκύρωση
Συμπεριφορά σε κύκλους φόρτισης	Σταδιακή αποκόλληση	Σταθερή συνεργασία
Πλαστιμότητα υποστυλώματος	Περιορισμένη	Αυξημένη
Τρόπος αστοχίας	Ψαθυρός	Προοδευτικός

Τα αγκύρια εδώ δεν “κρατάνε” απλώς το ύφασμα στη θέση του. Μετατρέπουν τον μανδύα από επιφανειακή ενίσχυση σε τρισδιάστατο σύστημα περίσφιγξης. Οι ίνες του αγκυρίου εισχωρούν στο σκυρόδεμα και ανοίγουν μέσα στον μανδύα, οπότε οι τάσεις δεν συγκεντρώνονται σε ένα επίπεδο αλλά διαχέονται.

Στατικά, αυτό σημαίνει ότι η εγκάρσια παραμόρφωση του υποστυλώματος ελέγχεται καλύτερα. Το σκυρόδεμα παραμένει ενεργό σε μεγαλύτερες



SINTECNO Hellas ABETE
Construction Chemicals & Epoxy System

παραμορφώσεις και η αντοχή δεν πέφτει απότομα. Σε σεισμικούς όρους, μιλάμε για αύξηση της διαθέσιμης πλαστιμότητας και όχι απλώς της αντοχής.

Ως προς το αν θα επιλέξουμε αγκύρια, ανθρακα ή υαλου εδώ η απάντηση είναι πιο καθαρή. **Σε υποστυλώματα με σεισμική απαίτηση, τα αγκύρια ανθρακα είναι σαφώς προτιμότερα.**

Ο λόγος δεν είναι μόνο η αντοχή, αλλά το μέτρο ελαστικότητας.

Θέλεις το αγκύριο να “δουλεύει μαζί” με το CFRP και να μην επιτρέπει μεγάλες σχετικές μετακινήσεις. Τα αγκυρια υαλου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε χαμηλότερες απαιτήσεις ή σε μη σεισμικά σενάρια, δεν είναι η βέλτιστη λύση για κρίσιμο υποστυλώματα.

Ένα κρίσιμο σημείο που αξίζει να τονιστεί είναι ότι στα υποστυλώματα τα αγκύρια δεν σχεδιάζονται μόνο για αντοχή αλλά και για διάταξη. Τοποθετούνται συνήθως κοντά στις περιοχές μέγιστης παραμόρφωσης, δηλαδή στα άκρα των μανδυνών και στις περιοχές πλαστικών αρθρώσεων.

Ας το εξετάσουμε και σε άλλο επίπεδο, εκεί όπου αλλάζει ο τύπος φόρτισης και μαζί του αλλάζει και ο ρόλος των αγκυρίων.

Ας δουμε με καθαρή καμπτική ενίσχυση, όπως σε δοκούς ή πλάκες. Σε αυτή την περίπτωση το FRP δουλεύει κυρίως σε εφελκυσμό. Το κρίσιμο φαινόμενο είναι η αποκόλληση από τα άκρα, γιατί εκεί η εφελκυστική δύναμη μηδενίζεται μέσα σε μικρό μήκος. Αν το διαθέσιμο μήκος αγκύρωσης είναι επαρκές και το σκυρόδεμα καλής ποιότητας, **τα αγκύρια δεν είναι απαραίτητα.**

Αν όμως έχουμε μικρό μήκος, χαμηλή ποιότητα σκυροδέματος ή αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας, τα αγκύρια λειτουργούν σαν «ασφάλεια μεταφοράς φορτίου». Δεν αυξάνουν την αντοχή του FRP, αλλά εξασφαλίζουν ότι αυτή η αντοχή θα μπορέσει να αξιοποιηθεί.

Στατικά αυτό μπορεί να αποτυπωθεί ως εξής. Χωρίς αγκύρια, η μέγιστη δύναμη στο FRP περιορίζεται από την αντοχή πρόσφυσης. Με αγκύρια, το όριο αυτό ανεβαίνει και πλησιάζει το όριο του ίδιου του υφάσματος. Άρα αλλάζει ο βασικός μηχανισμός αστοχίας.

Περνάμε τώρα σε καθαρή διάτμηση, που είναι και η πιο «επικίνδυνη» περίπτωση για FRP χωρίς αγκύρωση. Σε διάτμηση, τα υφάσματα φορτίζονται λοξά και οι τάσεις πρόσφυσης είναι πολύ υψηλές και εντοπισμένες.

Η αποκόλληση ξεκινά σχεδόν ακαριαία από τα άκρα των **U-wrap** ή των πλευρικών λωρίδων. Εδώ τα αγκύρια δεν είναι απλώς χρήσιμα, είναι ουσιαστικά αναγκαία αν δεν υπάρχει πλήρης περίσφιγξη.



SINTECNO Hellas ABETE
Construction Chemicals & Epoxy System

Εναι ένας μηχανισμός ρωγμής διάτμησης που «σπρώχνει» το ύφασμα προς τα έξω. Χωρίς αγκύρια, όλη η αντίσταση είναι επιφανειακή. Με αγκύρια, μέρος της δύναμης περνά σε βάθος μέσα στο σκυρόδεμα. Αυτό μειώνει την τοπική ένταση στη διεπιφάνεια και καθυστερεί ή αποτρέπει την αποκόλληση.

Σε αυτή την κατηγορία, τα αγκύρια ανθρακα υπερτερούν ξεκάθαρα, γιατί μπορούν να παραλάβουν μεγάλες εφελκυστικές δυνάμεις χωρίς σημαντικές παραμορφώσεις..

Τρίτη και ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα περίπτωση είναι ο συνδυασμός κάμψης με αξονικό φορτίο, που είναι τυπικός στα υποστυλώματα. Εδώ τα πράγματα γίνονται πιο «ιδιαιτερα». Το FRP μπορεί να δουλεύει ταυτόχρονα σε περίσφιγξη και σε περιορισμό ρηγμάτωσης λόγω κάμψης. Τα αγκύρια αποκτούν διπλό ρόλο. Από τη μία αποτρέπουν την αποκόλληση, από την άλλη εξασφαλίζουν ότι η περίσφιγξη παραμένει ενεργή ακόμη και σε μεγάλες παραμορφώσεις.

Αυτό έχει άμεση επίδραση στην πλαστιμότητα.

Χωρίς αγκύρια, η περίσφιγξη μπορεί να «χαθεί» πριν το υποστυλωμα φτάσει στο όριο παραμόρφωσης που απαιτεί ο σεισμικός σχεδιασμός. Με αγκύρια, η ενεργός περίσφιγξη διατηρείται και το σύστημα απορροφά περισσότερη ενέργεια.

Για να δουμε τη διαφοροποίηση ανά τύπο φόρτισης, ένας συγκριτικός πίνακας το δείχνει καθαρά.

Τύπος φόρτισης	Κρίσιμος μηχανισμός αστοχίας	Ρόλος αγκυρίων
Καθαρή κάμψη	Αποκόλληση άκρων	Συμπληρωματικός ή απαραίτητος αν λείπει μήκος
Καθαρή διάτμηση	Αποκόλληση λόγω λοξών ρωγμών	Σχεδόν πάντα απαραίτητος
Κάμψη + αξονικό Σεισμική φόρτιση	Απώλεια περίσφιγξης Κόπωση διεπιφάνειας	Κρίσιμος για πλαστιμότητα Καθοριστικός

Τώρα ένα σημείο που συχνά παραβλέπεται το βάθος και η γεωμετρία του αγκυρίου. Το αγκύριο δεν λειτουργεί αν δεν αγκυρωθεί επαρκώς μέσα στο σκυρόδεμα. Το βάθος πρέπει να είναι τέτοιο ώστε οι ίνες να αναπτύσσουν



SINTECNO Hellas ABETE
Construction Chemicals & Epoxy System

τριβή και μηχανική εμπλοκή, όχι απλώς να «κολλάνε» με ρητίνη. Αν το βάθος είναι μικρό, το αγκύριο ξεριζώνεται και όλος ο μηχανισμός καταρρέει. Το ελάχιστο βάθος του αγκυρίου πρέπει να είναι 10 εκατοστά και αυξάνει ανάλογα με το πλάτος του δομικού στοιχείου και απαίτηση από τη μελέτη.

Επίσης, η διάταξη των ινών του θύσανου πάνω στο ύφασμα πρέπει να εξασφαλίζει διάχυση τάσεων. Αν ο θύσανος μείνει συγκεντρωμένος, δημιουργεί σημειακή φόρτιση και μπορεί να προκαλέσει τοπική αστοχία του FRP.

Το συμπέρασμα είναι ότι τα αγκύρια αλλάζουν τον μηχανισμό συμπεριφοράς του συστήματος

Δεν είναι απλώς «κρατήματα». Είναι στοιχείο που επηρεάζει ποιο κομμάτι του συστήματος θα αστοχήσει πρώτο και αν αυτή η αστοχία θα είναι ψαθυρή ή προοδευτική.

Ας δούμε τώρα το βάρος των υφασμάτων ινών άνθρακα και την μεθοδο εφαρμογής η οποία χωρίζεται σε ξηρά μέθοδο και υγρή

Τα πιο συνηθισμένα βάρη ανθρακούφασμάτων που χρησιμοποιούνται διεθνώς στις ενισχύσεις από CFRP και δίπλα τη μέθοδο τοποθέτησης που αντιστοιχεί στη σωστή και τεχνικά αποδεκτή χρήση τους.

Πίνακας τυπικών ανθρακούφασμάτων και μεθόδου εφαρμογής

Βάρος υφάσματος (g/m ²)	Τυπικός τύπος υφάσματος	Μέθοδος εφαρμογής
200 g/m ²	Uni-directional	Ξηρά μέθοδος
230 g/m ²	Uni-directional	Ξηρά μέθοδος
300 g/m ²	Uni-directional	Ξηρά μέθοδος
400 g/m ²	Βαρύ uni-directional	Υγρή μέθοδος
450 g/m ²	Βαρύ uni-directional	Υγρή μέθοδος
600 g/m ²	Πολύ βαρύ ύφασμα	Υγρή μέθοδος
≥ 800 g/m ²	Ειδικά βαρέως τύπου	Υγρή μέθοδος



SINTECNO Hellas ABETE
Construction Chemicals & Epoxy System

Βάρος υφάσματος (g/m²) Τυπικός τύπος υφάσματος Μέθοδος εφαρμογής

≥ 900 g/m²

Ειδικά βαρέως τύπου

Υγρή μέθοδος

Ανάλυση μεταξύ ξηράς και υγρής μεθόδου.

Η βασική διάκριση ανάμεσα στη ξηρά και την υγρή μέθοδο δεν έχει να κάνει μόνο με το βάρος του υφάσματος, αλλά κυρίως με το πόσο εύκολα μπορεί να εμποτιστεί σωστά και ομοιόμορφα με ρητίνη, ώστε να δουλέψει στατικά.

Επιλογή Βάρους Υφάσματος

Το βάρος του υφάσματος (grammage) επιλέγεται με βάση τον τύπο της ενίσχυσης και τις γεωμετρικές συνθήκες:

Καμπτική Ενίσχυση: Προτιμώνται υφάσματα με μεγαλύτερο πάχος και βάρος για να αναλάβουν τις υψηλές εφελκυστικές τάσεις.

Διατμητική Ενίσχυση & Περίσφιξη: Σε υποστυλώματα ή δοκούς, η χρήση ελαφρύτερων υφασμάτων (υγρή μέθοδος) είναι προτιμητέα, καθώς επιτρέπουν την ευκολότερη διαμόρφωση γύρω από τις γωνίες.

Πυκνότητα Ινών: Υφάσματα με μεγάλη πυκνότητα (βάρος) απαιτούν συχνά προεμποτισμό, καθώς οι τυπικές ρητίνες δυσκολεύονται να διεισδύσουν πλήρως στις ίνες.

Κριτήριο Οικονομίας: Η επιλογή ανάμεσα σε περισσότερες στρώσεις ελαφρού υφάσματος ή λιγότερες στρώσεις βαρέως υφάσματος γίνεται με βάση το κόστος της ρητίνης και την ευκολία εφαρμογής.

Στη ξηρά μέθοδο, το ανθρακοϋφασμα τοποθετείται στεγνό επάνω στο στοιχείο το οποίο έχει προηγηθεί επάλειψη με ρητίνη η οποία εφαρμόζεται με ρολό ή σπάτουλα τοποθετητέ το ύφασμα. Και έπειτα ξαναμπάινει ρητίνη και πιέζεται για τον εγκιβωτισμό του υφάσματος Αυτό είναι εφικτό και ασφαλές μόνο σε ελαφριά και μεσαία βάρη, συνήθως έως 300 g/m². Τα υφάσματα αυτά είναι λεπτά, «ανοικτά» και επιτρέπουν στη ρητίνη να περάσει πλήρως μέσα στις ίνες χωρίς εγκλωβισμό αέρα. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε δοκούς, υποστυλώματα και πλάκες, όπου ζητείται ακρίβεια, ταχύτητα και σταθερή ποιότητα εφαρμογής.



SINTECNO Hellas ABETE SINTECNO

Construction Chemicals & Epoxy System

Αν προσπαθήσει κανείς να εφαρμόσει βαριά υφάσματα με ξηρά μέθοδο, πρακτικά δεν πετυχαίνει σωστό εμποτισμό. Η ρητίνη μένει επιφανειακά, δημιουργούνται κενά και το ύφασμα δεν ενεργοποιείται πλήρως. Στατικά αυτό σημαίνει απώλεια αντοχής και αυξημένο κίνδυνο αποκόλλησης.

Η υγρή μέθοδος χρησιμοποιείται όταν το ύφασμα έχει μεγάλο βάρος και πυκνότητα ινών, συνήθως από 400 g/m² και πάνω. Σε αυτή την περίπτωση το ύφασμα εμποτίζεται εκ των προτέρων σε ειδικό τραπέζι ή με κορεσμό μέσα σε λουτρό ρητίνης (υπάρχει ειδικό μηχάνημα το οποίο επιτρέπει τον προ εμποτισμό του υφάσματος) και στη συνέχεια τοποθετείται στο στοιχείο ήδη πλήρως διαποτισμένο. Και αφού το στοιχείο έχει ήδη επάλειψη με ρητίνη με θιξοτροπία χρησιμοποιείται ειδικό ραβδωτό ρολό (roller) για να απομακρυνθούν οι φυσαλίδες αέρα και να διασφαλιστεί η τέλεια συνάφεια.

Αν απαιτείται δεύτερη στρώση, εφαρμόζεται αμέσως ("υγρό σε υγρό") πριν ξεκινήσει ο πολυμερισμός της προηγούμενης. Έτσι εξασφαλίζεται ότι όλες οι ίνες συμμετέχουν στη μεταφορά φορτίων και δεν υπάρχουν «νεκρές» ζώνες.

Η υγρή μέθοδος συναντάται κυρίως σε βαριές ενισχύσεις, σε μεγάλες ροπές, σε ειδικά έργα ή όπου ζητείται μεγάλη ποσότητα ινών σε μία στρώση. Έχει αυξημένες απαιτήσεις σε έλεγχο εφαρμογής και εμπειρία συνεργείου, αλλά είναι μονόδρομος για βαριά υφάσματα.

Η ξηρά μέθοδος είναι η καθημερινή, αξιόπιστη λύση για τα περισσότερα έργα ενίσχυσης με ανθρακοϋφάσματα χαμηλού και μεσαίου βάρους, ενώ η υγρή μέθοδος είναι τεχνικά απαραίτητη όταν περνάμε σε βαριά υφάσματα όπου η σωστή ενεργοποίηση των ινών δεν μπορεί να εξασφαλιστεί αλλιώς.

SINTECNO