

## 2.4 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ

### 2.4.1 Γενικά

Η χρήση φύλλων (υφασμάτων ή ελασμάτων) από ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ)-Fiber Reinforced Polymers (FRP<sub>S</sub>)- αποτελεί σήμερα την πλέον σύγχρονη τεχνική στον τομέα της ενίσχυσης των κατασκευών. Ουσιαστικά, είναι η εξέλιξη της τεχνικής των χαλύβδινων επικολητών ελασμάτων αντιμετωπίζοντας επιτυχώς τις αδυναμίες αυτής της τεχνικής. Έχουν πολύ μικρό βάρος και εξαιρετικά υψηλή αντοχή, διατίθενται σε μεγάλα μήκη και δεν είναι ευαίσθητα σε διάβρωση. Εξάλλου η εφαρμογή της τεχνικής είναι απλούστατη και ο χρόνος που απαιτείται για την εκτέλεση της εργασίας ελάχιστος, υπερέχοντας ακόμα και στα αντίστοιχα θετικά χαρακτηριστικά της τεχνικής των χαλύβδινων επικολητών ελασμάτων. Έτσι η εφαρμογή της τεχνικής έχει επεκταθεί και σε περιπτώσεις όπου η τεχνική των επικολητών ελασμάτων είναι περιορισμένη. Ως τέτοιες περιπτώσεις μπορούν να αναφερθούν οι ενισχύσεις υποστυλωμάτων με μανδύα και οι ενισχύσεις κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων. Ως κύριο μειονέκτημα της τεχνικής θα πρέπει να αναφερθεί το ιδιαίτερα υψηλό κόστος του υλικού που όμως μειώνεται σταδιακά λόγω της αύξησης της ζήτησης και κατά συνέπεια αύξηση της παραγωγής αυτού του είδους των υλικών. Πάντως επειδή τα παραπάνω υλικά είναι καινούρια, αντιμετωπίζονται ακόμα με σχετική επιφύλαξη και απαιτείται περισσότερη έρευνα για να αντιμετωπιστούν κρίσιμα προβλήματα της πράξης.

Ίνες	Πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> ×10 <sup>3</sup> )	Μέτρο Ελαστικ. (GPa)	Λόγος Poisson	Εφελκυστική Αντοχή (MPa)	Παραμορφ. Αστοχίας (%)
Άνθρακα					
Υψηλού Ε	1,90	380	0,35	2100	0,6
Υψηλής f <sub>t</sub>	1,80	230	0,35	2700	1,3
Γυαλιού					
Τύπου Ε	2,54	72-75	0,25	3500	4,8
Τύπου Ζ (ή AR)	2,27	70-76	0,25	2500-3500	3-4,6
Τύπου S2	2,44	85-88	0,25	4600	5
Αραμίδιου					
Κέβλαρ 29	1,45	65	0,32	3500	4
Κέβλαρ 49	1,44	125	0,32	3500	2,1
Χάλυβας	7,86	200	0,28	400-1700	10

Πίνακας 2.4.1: Τυπικές ιδιότητες ινών

Τα ινοπλισμένα πολυμερή είναι στην πραγματικότητα σύνθετα υλικά που αποτελούνται από ίνες υψηλής εφελκυστικής αντοχής εμποτισμένες με "θερμοσκληρυνόμενη" ρητίνη, της οποίας τα χαρακτηριστικά δεν είναι ευαίσθητα σε θερμοκρασίες κάτω των 60° C. Οι συνήθεις τύποι ινών είναι από γυαλί ή αραμίδιο (που συχνά αναφέρεται ως κέβλαρ) ή από άνθρακα με πολύ μικρή διάμετρο της τάξης των 5-25 μm. Στον Πίνακα 2.4.1 (Τριανταφύλλου, 1998) δίνονται τυπικά χαρακτηριστικά των ινών, σε σύγκριση με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά του χάλυβα.

Τα χαρακτηριστικά των ινοπλισμένων πολυμερών εξαρτώνται κυρίως από την κατ' όγκο περιεκτικότητα τους σε ίνες. Ειδικά για το μέτρο ελαστικότητας, η σχέση που ισχύει για σύνθετα υλικά με συνεχείς ίνες μιας διεύθυνσης είναι η εξής (Τριανταφύλλου, 1998):

$$E_{FRP} = E_r \cdot V_r + E_f \cdot V_f$$

όπου:

$E_{FRP}$ ,  $E_r$ ,  $E_f$  είναι τα Μέτρα Ελαστικότητας του σύνθετου υλικού, της ρητίνης και των ινών αντίστοιχα και  $V_r$ ,  $V_f$  είναι τα κ.ο. ποσοστά ρητίνης και ινών.

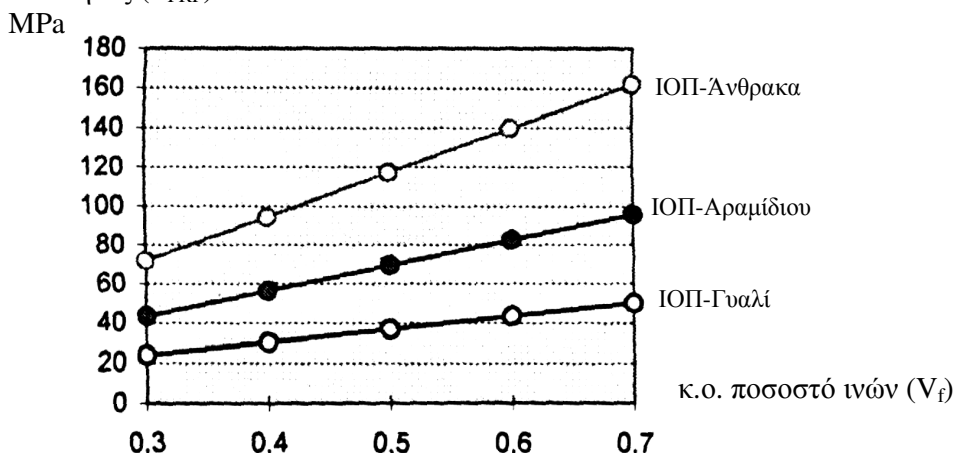
Προφανώς ισχύει  $V_r + V_f = 1$

Εξάλλου, επειδή  $E_f \gg E_r$  μπορεί να θεωρηθεί προσεγγιστικά:

$$E_{FRP} \cong V_f \cdot E_f$$

Στο Σχήμα 2.4.1 αναπαριστάται γραφικά η παραπάνω σχέση για τους τρεις τύπους ινών.

Μέτρο Ελαστικότητας ( $E_{FRP}$ )



Σχήμα 2.4.1: Εξάρτηση μέτρου ελαστικότητας από το ποσοστό των ινών

Η εφελκυστική αντοχή των σύνθετων υλικών είναι 3-4 φορές μεγαλύτερη από αυτή του κοινού χάλυβα S500 και για βραχυχρόνια φόρτιση κυμαίνεται σε 1500-2500 MPa.

Εξάλλου μπορεί να θεωρηθεί ότι οι εξισώσεις που δόθηκαν παραπάνω για το μέτρο ελαστικότητας ισχύουν προσεγγιστικά και για την εφελκυστική αντοχή, αντικαθιστώντας τα Μέτρα Ελαστικότητας με τις αντίστοιχες εφελκυστικές αντοχές.

Πρέπει πάντως να τονιστεί ότι για μακροχρόνια φόρτιση η εφελκυστική αντοχή μπορεί να μειωθεί σημαντικά. Για υλικά με ίνες γυαλιού η αντοχή μειώνεται μέχρι και το 40-60 % της αρχικής τιμής, ενώ για υλικά με ίνες αραμιδίου ή άνθρακα μέχρι το 50-65% και 75-95% αντίστοιχα.

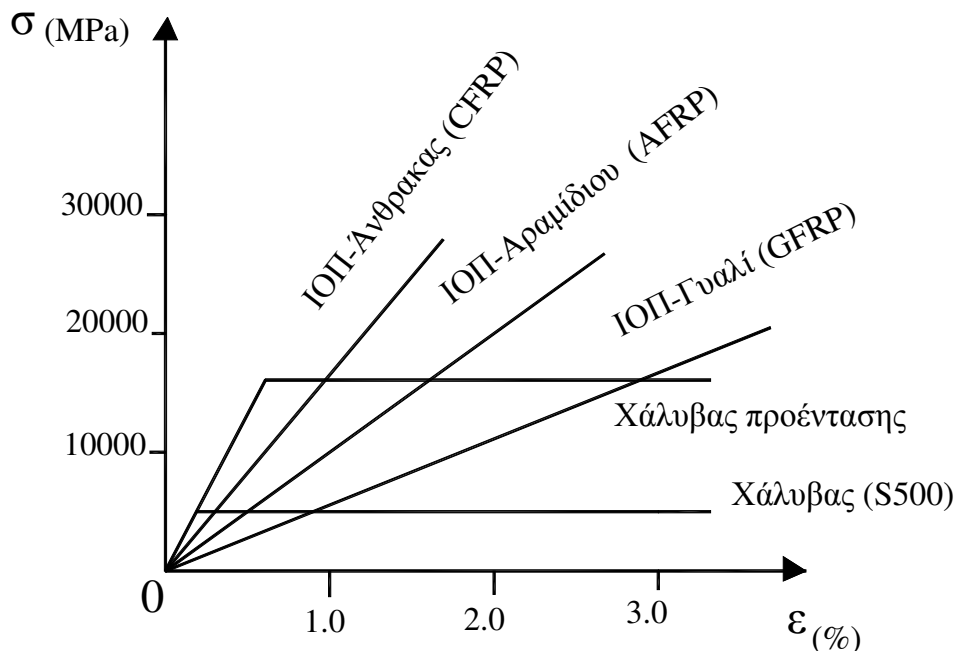
Στον Πίνακα 2.4.2 παρουσιάζονται τυπικές τιμές για το μέτρο ελαστικότητας και τη παραμόρφωση αστοχίας των σύνθετων υλικών (Τριανταφύλλου, 1998).

Υλικό	Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)	Παραμόρφωση Αστοχίας (%)
Σύνθετο Υλικό με ίνες γυαλιού (GFRP)	50	3%
Σύνθετο Υλικό με ίνες αραμιδίου (AFRP)	65-120	2-3%
	35-190	1-1,5%
Σύνθετο Υλικό με ίνες άνθρακα (CFRP) Χάλυβας	200	10%

Πίνακας 2.4.2: Τυπικές τιμές μέτρου ελαστικότητας και παραμόρφωσης αστοχίας σύνθετων υλικών και χάλυβα

Στο Σχήμα 2.4.2 παρουσιάζονται τυπικές καμπύλες τάσεων-παραμορφώσεων για σύνθετα υλικά μαζί με την αντίστοιχη καμπύλη για χάλυβα. Όπως μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί, τα σύνθετα υλικά συμπεριφέρονται πλήρως ελαστικά, μέχρι την αστοχία τους. Η παντελής έλλειψη πλάστιμης συμπεριφοράς, που συνεπάγεται και αδυναμία απορρόφησης ενέργειας από το υλικό, αποτελεί ένα από τα βασικά μειονεκτήματα των σύνθετων υλικών. Όμως στις εφαρμογές τους σε ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, το παραπάνω μειονέκτημα είναι λιγότερο έντονο, επειδή το ενισχυμένο στοιχείο διατηρεί ένα βαθμό πλαστιμότητας. Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση εφαρμογής τους υπό τη μορφή κλειστού μανδύα σε υποστυλώματα, η αύξηση της πλαστιμότητας αποτελεί την κύρια επιδίωξη εφαρμογής της τεχνικής.

Μία τεχνική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδώσει κάποιο βαθμό πλαστιμότητας στο υλικό είναι η σύνθεση του υλικού με ίνες διαφορετικού τύπου. Οι ίνες αστοχώντας σε διαφορετικά μεγέθη παραμόρφωσης δημιουργούν τελικά μία ψευδο-πλάστιμη συμπεριφορά.



Σχήμα 2.4.2: Σχέσεις τάσης-παραμόρφωσης για σύνθετα υλικά σε εφελκυσμό

Ως αρνητικά χαρακτηριστικά των σύνθετων υλικών θα πρέπει επίσης να αναφερθούν:

(α) Η χαμηλή αντίστασή τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Ως γνωστόν η ρητίνη υφίσταται σημαντική αλλοίωση (δραματική μείωση μηχανικών ιδιοτήτων σε θερμοκρασίες της τάξεως των 60-80 °C).

(β) Η αμφισβητούμενη ανθεκτικότητά τους σε διάρκεια. Τα ινοπλισμένα πολυμερή είναι ευαίσθητα σε περιβαλλοντικές δράσεις όπως η υπεριώδης ακτινοβολία, η υγρασία, οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας και η δράση χημικών. Σε γενικές γραμμές η παραπάνω ευαισθησία εξαρτάται από τον τύπο των ινών του υλικού. Έτσι για παράδειγμα η υπεριώδης ακτινοβολία επιδρά ιδιαίτερα στα υλικά με ίνες αραμίδιου ενώ η δράση αλκαλίων είναι περισσότερο έντονη σε υλικά με ίνες γυαλιού. Πάντως τα υλικά με ίνες άνθρακα, θεωρούνται περισσότερο ανθεκτικά, ενώ τα υλικά με ίνες γυαλιού είναι τα λιγότερο ανθεκτικά και τα υλικά με ίνες αραμίδιου βρίσκονται ενδιάμεσα.

Στον Πίνακα 2.4.3 παρουσιάζεται μια ποιοτική αξιολόγηση των χαρακτηριστικών των σύνθετων υλικών. Για λόγους σύγκρισης έχουν βαθμολογηθεί σε μία κλίμακα με άριστα το 10 (Τριανταφύλλου, 1998).

Χαρακτηριστικό	ΙΟΠ- Άνθρακας	ΙΟΠ- Αραμίδιου	ΙΟΠ- Γυαλιού
Εφελκυστική αντοχή	9	9	9
Μέτρο Ελαστικότητας	9	6	3
Παραμόρφωση αστοχίας	6	9	9
Συμπεριφορά σε μακροχρόνιες δράσεις	9	6	3
Συμπεριφορά σε κόπωση	6	4	2
Ανθεκτικ. σε διάρκεια	6	4	2
Πυκνότητα	4	6	2
Κόστος	6	6	9

Πίνακας 2.4.3: Ποιοτική αξιολόγηση ινοπλισμένων πολυμερών

#### 2.4.2 Τεχνολογία Επεμβάσεων με Σύνθετα Υλικά\*

Παρακάτω δίνονται στοιχεία σχετικά με την επικόλληση υφασμάτων ή ελασμάτων επί σκυροδέματος και εντοπίζονται οι κύριες διαφορές στην περίπτωση επικόλλησης επί φέρουσας τοιχοποιίας.

##### Α. Επικόλληση Υφασμάτων Επί Σκυροδέματος

###### Υφάσματα σε "ξηρή" κατάσταση

Η επικόλληση υφασμάτων σε "ξηρή" κατάσταση γίνεται κατά κανόνα όταν στόχος της επέμβασης είναι η αύξηση της διατμητικής αντοχής δομικών στοιχείων (π.χ. υποστυλώματα, δοκοί, τοιχώματα, κόμβοι δοκών-υποστυλωμάτων) και η αύξηση της περίσφιγξης σε υποστυλώματα, και σπανιότερα όταν η επέμβαση στοχεύει στην αύξηση της καμπτικής αντοχής δοκών ή πλακών.

Για την ενίσχυση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος σε διάτμηση τα υφάσματα επικολλώνται στις εξωτερικές επιφάνειες με τις ίνες κατά το δυνατόν παράλληλες στις τροχιές των κυρίων τάσεων, δηλαδή περίπου κάθετα σε πιθανές ρωγμές. Τούτο βέβαια δεν είναι γενικά εφικτό, γι' αυτό, όπως και στην περίπτωση της χρήσης συνδετήρων για την ανάληψη τέμνουσας, στις περισσότερες περιπτώσεις τα υφάσματα τοποθετούνται έτσι ώστε οι ίνες να έχουν διεύθυνση κάθετη στον άξονα των δομικών μελών. Στην περίπτωση της περίσφιγξης υποστυλωμάτων τα υφάσματα επικολλώνται και πάλι με τις ίνες κάθετα στη διεύθυνση του μέλους. Στην (σχετικά σπάνια) περίπτωση που για την αύξηση της καμπτικής αντοχής δοκών (ή πλακών)

\* Το κείμενο αυτό είναι προϊόν εσωτερικής έκθεσης του Προγράμματος που συντάχθηκε από τον Αν.Καθηγητή Αθ.Τριανταφύλλου.

χρησιμοποιούνται υφάσματα, αυτά επικολλώνται στο εφελκυόμενο πέλμα, με τις ίνες παράλληλα στον άξονα του μέλους.

### **Μεθοδολογία Εκτέλεσης**

#### *Προετοιμασία υποστρώματος*

1. Η επιφάνεια πρέπει να είναι καθαρή από σκόνες, λάδια, βαφές, νερά κτλ. Προετοιμασία υποστρώματος με τρίψιμο (π.χ. σβουράκι, συρματοβουρτσα) ή αμμοβολή ή υδροβολή.
2. Σχολαστικός καθαρισμός ώστε να αφαιρεθεί η σκόνη και τυχόν ψαθυρά ή χαλαρά τμήματα.
3. Η επιφάνεια πρέπει να είναι επίπεδη, χωρίς βαθμίδες και υπολείμματα σκυροδέματος από τις τάβλες καλουπώματος. Σε περίπτωση που απαιτούνται επισκευές αυτές πρέπει να έχουν ολοκληρωθεί και τα επισκευαστικά υλικά (π.χ. κονιάματα) να έχουν αναπτύξει την αντοχή τους.



Τρίψιμο υποστρώματος και καθαρισμός



Εξομάλυνση υποστρώματος

4. Σε περίπτωση επικόλλησης υφάσματος επί επιφανειών με γωνίες, αυτές θα πρέπει να αποτμηθούν ώστε να διαμορφωθεί ακτίνα καμπυλότητας. Η ακτίνα αυτή θα είναι η μέγιστη εφικτή, στην περίπτωση περίσφιγξης δομικών μελών (π.χ. υποστυλώματα), ή περίπου 20 mm (μπορεί να μειωθεί στα 10 mm αν χρησιμοποιηθούν υφάσματα ινών αραμιδίου), αν η ενίσχυση αποσκοπεί στην αύξηση διατμητικής αντοχής (π.χ. υποστυλώματα, δοκοί, τοιχώματα).
5. Η υγρασία του υποστρώματος θα πρέπει να είναι μικρότερη από περίπου 4%, εκτός αν χρησιμοποιηθεί ειδικός τύπος ρητίνης.

#### *Εφαρμογή υφάσματος*

1. Απαιτείται να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις συνθήκες περιβάλλοντος (θερμοκρασία, σχετική υγρασία), βάσει των προδιαγραφών των χρησιμοποιούμενων ρητινών.
2. Προεπάλειψη υποστρώματος με ειδικό αστάρι (primer), κάνοντας χρήση ρολού ή μεγάλου πινέλου/βούρτσας. Αναμονή έως ότου το αστάρι στεγνώσει (ώστε να μην "κολλάει" στο δάκτυλο). Αναλόγως του συστήματος ενίσχυσης το βήμα αυτό μπορεί να παραλείπεται και ως αστάρι να χρησιμοποιείται η εποξειδική ρητίνη επικόλλησης των συνθέτων υλικών (βήμα 3).
3. Προεπάλειψη υποστρώματος με εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών κάνοντας χρήση πλαστικού ρολού. Επισημαίνεται ότι μεγάλες ποσότητες ανάμιξης και/ή υψηλές θερμοκρασίες μειώνουν τον διαθέσιμο χρόνο εφαρμογής. Ο χρόνος αυτός αυξάνεται όσο μειώνεται η θερμοκρασία και η αναμιγνυόμενη ποσότητα.
4. Τοποθέτηση του υφάσματος με τα χέρια (φορώντας κατάλληλα γάντια). Το ύφασμα έχει ήδη κοπεί στις επιθυμητές διαστάσεις με ψαλίδι. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται ώστε να αποφευχθούν πτυχώσεις και οι ίνες του υφάσματος να είναι όσο το δυνατόν πιο ευθύγραμμες. Ακολούθως το ύφασμα εμποτίζεται με ρητίνη μέσω πλαστικού ρολού. Το ρολό θα πρέπει να "δουλεύει" προς τη διεύθυνση των ινών και προς μία μόνο κατεύθυνση (όχι εμπρός-πίσω) ώστε να αποφευχθεί η "χαλαρότητα" του υφάσματος και η δημιουργία πτυχώσεων, έως ότου η ρητίνη διαποτίσει το ύφασμα. Σε περίπτωση λάθους (π.χ. δημιουργία πτυχώσεων, λάθος κατεύθυνση ινών) και εφόσον δεν έχει παρέλθει ο ενεργός χρόνος εφαρμογής της ρητίνης, το ύφασμα αφαιρείται με τα χέρια και η εφαρμογή επαναλαμβάνεται. Αν ο ενεργός χρόνος έχει παρέλθει, ύφασμα και ρητίνη θα πρέπει να απομακρυνθούν, να απορριφθούν και η εφαρμογή να γίνει εκ νέου.



Προεπάλειψη



Τοποθέτηση υφάσματος



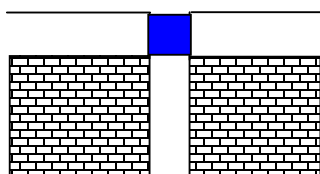
Εμποτισμός



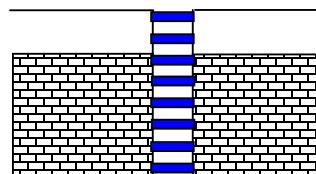
5. Επανάληψη, αν απαιτείται νέα στρώση, με εφαρμογή της εποξειδικής ρητίνης στην προβλεπόμενη ποσότητα και εντός των ορίων χρόνου που καθορίζονται από τον προμηθευτή των υλικών. Ομοίως για κάθε επιπλέον στρώση.
6. Εφαρμογή της τελικής στρώσης ρητίνης και επίπαση χαλαζιακής άμμου (περίπου 1 kg ανά m<sup>2</sup>) με στόχο την αύξηση της τραχύτητας, ώστε να είναι εύκολη η εφαρμογή επιχρίσματος.

### Κατασκευαστικές Λεπτομέρειες

- Στην περίπτωση διατμητικής ενίσχυσης υποστυλωμάτων μεταξύ τοίχων πλήρωσης οι οποίοι καλύπτουν μερικώς το ύψος ορόφου, η ενίσχυση θα πρέπει να γίνεται σε όλο το ύψος του υποστυλώματος και όχι μόνο στο ελεύθερο τμήμα.

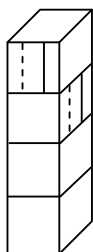


ΛΑΘΟΣ



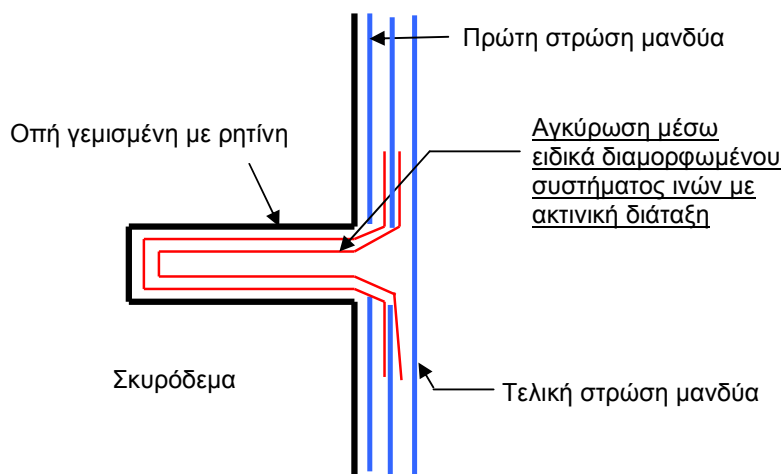
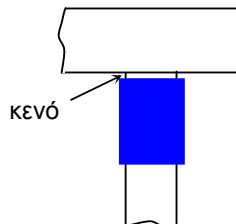
ΣΩΣΤΟ

- Όταν γίνεται καθολική περιτύλιξη υποστυλωμάτων με υφάσματα (π.χ. για την αύξηση αντοχής έναντι τέμνουσας), η υπερκάλυψη κάθε τμήματος θα πρέπει να γίνεται σε διαφορετική πλευρά.
- Στην (σχετικά σπάνια) περίπτωση χρήσης υφασμάτων σε μορφή λωρίδων μεγάλου μήκους για την αύξηση καμπτικής αντοχής δοκών ισχύουν οι κατασκευαστικές διατάξεις που αναφέρονται παρακάτω περί ελασμάτων, με μόνη διαφορά στον μέγιστο επιτρεπόμενο αριθμό επάλληλων στρώσεων, που εδώ είναι 5.
- Η υπερκάλυψη των δύο άκρων σε επάλληλες στρώσεις επί υποστυλωμάτων ορθογωνικής διατομής θα πρέπει να έχει μήκος τέτοιο ώστε η θραύση του μανδύα να προηγείται της αποκόλλησης. Ενδεικτικό ελάχιστο μήκος υπερκάλυψης είναι τα 200 mm, για υφάσματα ινών άνθρακα ονομαστικού πάχους 0.12-0.13 mm.



Υπερκάλυψη υφασμάτων σε υποστυλώματα

- Ο μέγιστος επιτρεπόμενος αριθμός στρώσεων για την κατασκευή μανδύα σε υποστυλώματα συνήθως καθορίζεται από τον προμηθευτή των συνθέτων υλικών. Επισημαίνεται πάντως ότι η αποτελεσματικότητα του μανδύα δεν αυξάνεται αναλογικά με τον αριθμό των στρώσεων.
- Στην περίπτωση εφαρμογής μανδύα στις κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων πρέπει να αφήνεται κενό της τάξης των 15 mm, ώστε αφενός να μην παρεμποδίζεται η στροφή της ακραίας διατομής, αφετέρου να μην υφίσταται σύνθλιψη ο μανδύας λόγω της στροφής αυτής.
- Όταν ο μανδύας αποσκοπεί στην αποτελεσματική περίσφιγξη υποστυλωμάτων ορθογωνικής διατομής με μεγάλο λόγο πλευρών (π.χ.  $>3$ ) ή τοιχωμάτων, τα τμήματα του μανδύα επί των μεγάλων πλευρών θα πρέπει είτε να συνδέονται μεταξύ τους μέσω κατάλληλα διαμορφωμένων βλήτρων (κατά προτίμηση), είτε να στερεώνονται επαρκώς στις πλευρές αυτές μέσω ειδικών βλήτρων-αγκυρίων σε οπές.



Στερέωση μανδύα μέσω ειδικού βλήτρου-αγκυρίου σε οπή

### Κριτήρια Αποδοχής Περαιωμένης Εργασίας

Μετά τη σκλήρυνση της ρητίνης τυχόν περιοχές πτωχής επικόλλησης ανιχνεύονται είτε ακουστικά (μέσω της ελαφράς κρούσης μικρού σφυριού) είτε βάσει τεχνικών θερμογραφίας.

### Μέτρα Υγιεινής - Ασφάλειας

Απαιτείται η χρήση γαντιών, γυαλιών και φόρμας.

## **Μέθοδος Επιμέτρησης**

Επιμέτρηση των υλικών βάσει τετραγωνικών μέτρων υφάσματος, ποσότητας ρητινών και ποσότητας τυχόν επισκευαστικών υλικών (π.χ. κονιάματα).

### Προεμποτισμένα Υφάσματα

Τα προεμποτισμένα υφάσματα χρησιμοποιούνται, όπως και αυτά σε "ξηρή" κατάσταση, κυρίως όταν στόχος της επέμβασης είναι η αύξηση της διατμητικής αντοχής δομικών στοιχείων (π.χ. υποστυλώματα, δοκοί, τοιχώματα, κόμβοι δοκών-υποστυλωμάτων) και η αύξηση της περίσφιγξης σε υποστυλώματα, και σπανιότερα όταν η επέμβαση στοχεύει στην αύξηση της καμπτικής αντοχής δοκών ή πλακών.

Για την ενίσχυση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος σε διάτμηση τα υφάσματα επικολλώνται στις εξωτερικές επιφάνειες με τις ίνες κατά το δυνατόν παράλληλες στις τροχιές των κυρίων τάσεων, δηλαδή περίπου κάθετα σε πιθανές ρωγμές. Τούτο βέβαια δεν είναι γενικά εφικτό, γι' αυτό, όπως και στην περίπτωση της χρήσης συνδετήρων για την ανάληψη τέμνουσας, στις περισσότερες περιπτώσεις τα υφάσματα τοποθετούνται έτσι ώστε οι ίνες να έχουν διεύθυνση κάθετη στον άξονα των δομικών μελών. Στην περίπτωση της περίσφιγξης υποστυλωμάτων τα υφάσματα επικολλώνται και πάλι με τις ίνες κάθετα στη διεύθυνση του μέλους. Στην (σχετικά σπάνια) περίπτωση που για την αύξηση της καμπτικής αντοχής δοκών (ή πλακών) χρησιμοποιούνται υφάσματα, αυτά επικολλώνται στο εφελκόμενο πέλμα, με τις ίνες παράλληλα στον άξονα του μέλους.

## **Μεθοδολογία Εκτέλεσης**

### *Προετοιμασία υποστρώματος*

Όπως στην παραπάνω περίπτωση υφασμάτων σε "ξηρή" κατάσταση.

### *Εφαρμογή υφάσματος*

1. Απαιτείται να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις συνθήκες περιβάλλοντος (θερμοκρασία, σχετική υγρασία), βάσει των προδιαγραφών των χρησιμοποιούμενων ρητινών.
2. Προεπάλειψη υποστρώματος με ειδικό αστάρι (primer), κάνοντας χρήση ρολού ή μεγάλου πινέλου/βούρτσας. Αναμονή έως ότου το αστάρι στεγνώσει (ώστε να μην "κολλάει" στο δάκτυλο). Αναλόγως του συστήματος ενίσχυσης το βήμα αυτό μπορεί να παραλείπεται και ως αστάρι να χρησιμοποιείται η εποξειδική ρητίνη επικόλλησης των συνθέτων υλικών (βήμα 3).
3. Προεπάλειψη υποστρώματος με εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών κάνοντας χρήση πλαστικού ρολού. Επισημαίνεται ότι μεγάλες ποσότητες ανάμιξης και/ή υψηλές θερμοκρασίες μειώνουν τον διαθέσιμο χρόνο

εφαρμογής. Ο χρόνος αυτός αυξάνεται όσο μειώνεται η θερμοκρασία και η αναμιγνυόμενη ποσότητα.

4. Επί τόπου εμποτισμός του υφάσματος με εποξειδική ρητίνη. Αφού κοπεί με ψαλίδι στις επιθυμητές διαστάσεις, το ύφασμα απλώνεται πάνω σε καθαρά πλαστικά φύλλα ("νάυλον") και εμποτίζεται με ρητίνη χρησιμοποιώντας πλαστικό ρολό, το οποίο θα πρέπει να δουλεύει προς τη διεύθυνση των ινών και προς μία μόνο κατεύθυνση.
5. Τοποθέτηση του υφάσματος με τα χέρια (φορώντας κατάλληλα γάντια) εντός του ενεργού χρόνου της ρητίνης. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται ώστε να αποφευχθούν πτυχώσεις και οι ίνες του υφάσματος να είναι όσο το δυνατόν πιο ευθύγραμμες. Ακολουθώντας το ύφασμα εξομαλύνεται μέσω πλαστικού ρολού ώστε να γίνει απεγκλωβισμός τυχόν φυσαλίδων αέρα. Το ρολό θα πρέπει να δουλεύει προς τη διεύθυνση των ινών και προς μία μόνο κατεύθυνση. Σε περίπτωση λάθους (π.χ. δημιουργία πτυχώσεων, λάθος κατεύθυνση ινών) και εφόσον δεν έχει παρέλθει ο ενεργός χρόνος εφαρμογής της ρητίνης, το ύφασμα αφαιρείται με τα χέρια και η εφαρμογή επαναλαμβάνεται. Αν ο ενεργός χρόνος έχει παρέλθει, ύφασμα και ρητίνη θα πρέπει να απομακρυνθούν, να απορριφθούν και η εφαρμογή να γίνει εκ νέου.



Προεπάλειψη



Εμποτισμός υφάσματος



Τοποθέτηση εμποτισμένου υφάσματος

6. Επανάληψη των βημάτων 4-5, αν απαιτείται νέα στρώση, με εφαρμογή της εποξειδικής ρητίνης στην προβλεπόμενη ποσότητα και εντός των ορίων χρόνου που καθορίζονται από τον προμηθευτή των υλικών (υγρό σε υγρό). Ομοίως για κάθε επιπλέον στρώση.
7. Εφαρμογή της τελικής στρώσης ρητίνης και επίπαση χαλαζιακής άμμου (περίπου 1 kg ανά m<sup>2</sup>) με στόχο την αύξηση της τραχύτητας, ώστε να είναι εύκολη η εφαρμογή επιχρίσματος.

#### **Κατασκευαστικές Λεπτομέρειες**

Ίδιες με αυτές για την τοποθέτηση υφασμάτων σε "ξηρή" κατάσταση.

### **Κριτήρια Αποδοχής Περαιωμένης Εργασίας**

Μετά τη σκλήρυνση της ρητίνης τυχόν περιοχές πτωχής επικόλλησης ανιχνεύονται είτε ακουστικά (μέσω της ελαφράς κρούσης μικρού σφυριού) είτε βάσει τεχνικών θερμογραφίας.

### **Μέτρα Υγιεινής - Ασφάλειας**

Απαιτείται η χρήση γαντιών, γυαλιών και φόρμας.

### **Μέθοδος Επιμέτρησης**

Επιμέτρηση των υλικών βάσει τετραγωνικών μέτρων υφάσματος, ποσότητας ρητινών και ποσότητας τυχόν επισκευαστικών υλικών (π.χ. κονιάματα).

### **Β. Επικόλληση Ελασμάτων επί Σκυροδέματος**

Τα σύνθετα υλικά σε μορφή ελάσματος εφαρμόζονται κατά κανόνα όταν στόχος της επέμβασης είναι η αύξηση της καμπτικής αντοχής δοκών ή πλακών. Σε ελάχιστες περιπτώσεις ελάσματα μεγάλου μήκους έχουν χρησιμοποιηθεί για την περίσφιγξη δεξαμενών ή "σιλό". Τα ελάσματα επικολλώνται στο εφελκυσμένο πέλμα με διεύθυνση των ινών τέτοια ώστε να παραλαμβάνουν τις λόγω κάμψης εφελκυστικές δυνάμεις (π.χ. παράλληλα στον άξονα του μέλους, για την περίπτωση δοκών, σε δύο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις για την περίπτωση τετραερείστων πλακών).

### **Μεθοδολογία Εκτέλεσης**

#### *Προετοιμασία υποστρώματος*

1. Η επιφάνεια πρέπει να είναι καθαρή από σκόνες, λάδια, βαφές, νερά κτλ. Προετοιμασία υποστρώματος με τρίψιμο (π.χ. σβουράκι, συρματοβουρτσα) ή αμμοβολή ή υδροβολή.
2. Σχολαστικός καθαρισμός ώστε να αφαιρεθεί η σκόνη και τυχόν ψαθυρά ή χαλαρά τμήματα.
3. Η επιφάνεια πρέπει να είναι επίπεδη, χωρίς βαθμίδες και υπολείμματα σκυροδέματος από τις τάβλες καλουπώματος. Σε περίπτωση που απαιτούνται επισκευές αυτές πρέπει να έχουν ολοκληρωθεί και τα επισκευαστικά υλικά (π.χ. κονιάματα) να έχουν αναπτύξει την αντοχή τους.
4. Έλεγχος επιπεδότητας με μεταλλικό οδηγό. Οι ανομοιομορφίες (εσοχές) του υποστρώματος δεν θα πρέπει να ξεπερνούν περίπου τα 10 mm για ελάσματα μήκους 2.5 m.
5. Η ελάχιστη εφελκυστική αντοχή του υποστρώματος θα πρέπει να είναι 1.5 MPa.
6. Η υγρασία του υποστρώματος θα πρέπει να είναι μικρότερη από περίπου 4%, εκτός αν χρησιμοποιηθεί ειδικός τύπος ρητίνης.



Έλεγχος εφελκυστικής αντοχής υποστρώματος

#### *Εφαρμογή ελάσματος*

1. Απαιτείται να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις συνθήκες περιβάλλοντος (θερμοκρασία, σχετική υγρασία), βάσει των προδιαγραφών των χρησιμοποιούμενων ρητινών.
2. Το έλασμα κόβεται με τροχό ή πριόνι στο επιθυμητό μήκος. Ακολούθως καθαρίζεται από σκόνη και τυχόν λιπαρές ουσίες με καθαρό ύφασμα εμποτισμένο με ειδικό καθαριστικό (π.χ. διάλυμα ακετόνης).



Κοπή ελασμάτων



Καθαρισμός ελάσματος

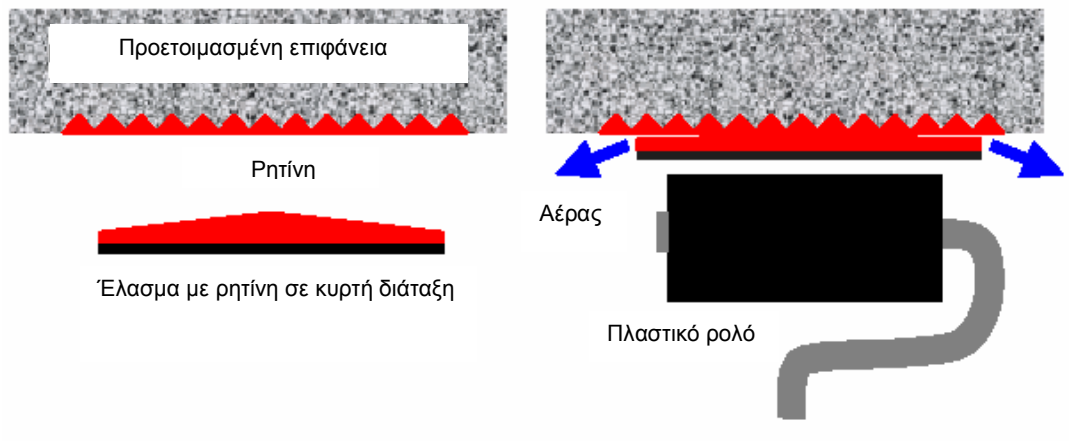
3. Προεπάλειψη υποστρώματος με ειδικό αστάρι (primer), κάνοντας χρήση ρολού ή πινέλου/βούρτσας. Αναμονή έως ότου το αστάρι στεγνώσει (ώστε να μην "κολλάει" στο δάκτυλο). Αναλόγως του συστήματος ενίσχυσης το βήμα αυτό μπορεί να παραλείπεται και ως αστάρι να χρησιμοποιείται η εποξειδική ρητίνη επικόλλησης των συνθέτων υλικών (βήμα 4).
4. Προεπάλειψη υποστρώματος με εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών κάνοντας χρήση σπάτουλας. Επισημαίνεται ότι μεγάλες ποσότητες ανάμιξης και/ή υψηλές θερμοκρασίες μειώνουν τον διαθέσιμο χρόνο εφαρμογής. Ο χρόνος αυτός αυξάνεται όσο μειώνεται η θερμοκρασία και η αναμιγνυόμενη ποσότητα.



Προεπάλειψη υποστρώματος με ρητίνη

5. Τοποθέτηση εποξειδικής ρητίνης επί του ελάσματος (στην πλευρά που δεν υπάρχει σήμανση) σε κυρτή διάταξη, με μέσο πάχος στρώσης περίπου 1-2 mm. Τοποθέτηση του ελάσματος επί της επιφάνειας του σκυροδέματος και πίεση με ρολό ώστε να επιτευχθεί πλήρης και συνεχής επικόλληση, απεγκλωβίζοντας τυχόν φυσαλίδες αέρα. Κατά το "ρολάρισμα" η περίσσεια ρητίνης εμφανίζεται εκατέρωθεν του ελάσματος και κατόπιν αφαιρείται με σπάτουλα, ώστε να εξασφαλίζεται ο καλός οπτικός έλεγχος της εφαρμογής.





Εφαρμογή ρητίνης στο έλασμα



Τοποθέτηση ελάσματος



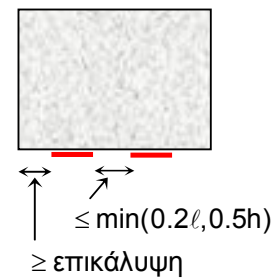
“Ρολάρισμα υφάσματος”

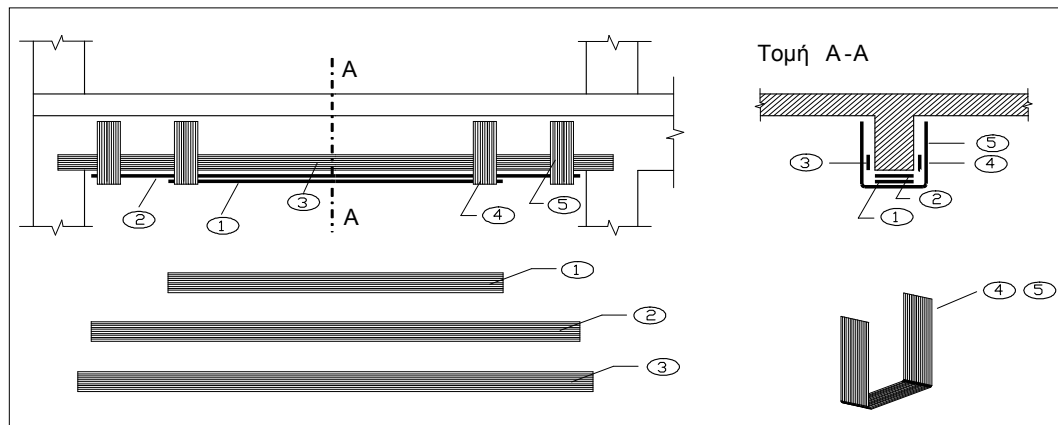


Απομάκρυνση πλεονάζουσας ρητίνης

### Κατασκευαστικές Λεπτομέρειες

- Μέγιστη απόσταση μεταξύ ελασμάτων  $= \min(0.2\ell, 5h)$ , όπου  $\ell$  = μήκος δοκού και  $h$  = ύψος δοκού (στην περίπτωση προβόλου το 0.2 γίνεται 0.4).
- Ελάχιστη απόσταση ελάσματος από τη γωνία της διατομής τουλάχιστον ίση με το πάχος επικάλυψης του διαμήκους οπλισμού.
- Να αποφεύγονται οι ματίσεις με υπερκάλυψη (τούτο είναι πολύ εύκολο, λόγω της διαθεσιμότητας των συνθέτων υλικών σε πολύ μεγάλα μήκη). Όπου αυτές είναι τελείως απαραίτητες, να γίνονται (παράλληλα στη διεύθυνση των ινών) με μήκος υπερκάλυψης τέτοιο ώστε να εξασφαλίζεται ότι η εφελκυστική αστοχία του οπλισμού θα προηγείται της αποκόλλησης στη μάτιση.
- Επιτρέπονται οι διασταυρώσεις ελασμάτων (με επικόλληση στην διασταυρούμενη επιφάνεια), π.χ. για την ενίσχυση επιφανειακών στοιχείων (όπως οι πλάκες).
- Να αποφεύγεται η τοποθέτηση των ελασμάτων σε πολλές στρώσεις. Αν αυτό είναι τελείως απαραίτητο, ο μέγιστος αριθμός στρώσεων δεν θα ξεπερνά το 3.
- Στις θέσεις τερματισμού των ελασμάτων συνιστάται η επικόλληση υφασμάτων μορφής U (π.χ. δύο στρώσεις υφάσματος πλάτους περίπου 150-200 mm ή συνδυασμός ειδικών γωνιακών) ώστε να βελτιωθούν οι συνθήκες αγκύρωσης.





Σχήμα 2.4.3: Πιθανή διάταξη καμπτικής ενίσχυσης και βελτίωση αγκυρώσεων με εγκάρσιους οπλισμούς διάτμησης.



Βελτίωση αγκύρωσης με εγκάρσια στοιχεία

### Κριτήρια Αποδοχής Περαιωμένης Εργασίας

Μετά τη σκλήρυνση της ρητίνης τυχόν περιοχές πτωχής επικόλλησης ανιχνεύονται είτε ακουστικά (μέσω της ελαφράς κρούσης μικρού σφυριού) είτε βάσει τεχνικών θερμογραφίας.

### Μέτρα Υγιεινής - Ασφάλειας

Απαιτείται η χρήση γαντιών, γυαλιών και φόρμας.

### Μέθοδος Επιμέτρησης

Επιμέτρηση των υλικών βάσει τρεχόντων μέτρων ελάσματος, ποσότητας ρητινών και ποσότητας τυχόν επισκευαστικών υλικών (π.χ. κονιάματα).

## **Γ. Εφαρμογή σε Τοιχοποιίες**

Η τεχνολογία της εφαρμογής συνθέτων υλικών επί φέρουσας τοιχοποιίας βασίζεται στις ίδιες αρχές με αυτές που ισχύουν για υποστρώματα σκυροδέματος. Σημαντική διαφοροποίηση σε σχέση με το σκυρόδεμα αποτελεί η ανάγκη για ενδεχόμενη χρήση σημαντικής ποσότητας επιπεδωτικού κονιάματος στις θέσης επικόλλησης, ώστε να εξασφαλίζεται η επιπεδότητα των επιφανειών.

### **2.4.3 Ενίσχυση Δομικών Στοιχείων - Περίσφιγξη με Μανδύες ή Κολλάρα**

Οι μανδύες με ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs) αποτελούν ίσως τον πλέον εύχρηστο τρόπο επιβολής της περίσφιγξης. Αυτός είναι στην πραγματικότητα ο κύριος λόγος για τον οποίο η εφαρμογή αυτής της τεχνικής εξαπλώνεται ραγδαία στην πράξη.

Τα φύλλα εφαρμόζονται με τις ίνες τους σε οριζόντια διεύθυνση συμβάλλοντας έτσι ιδιαίτερα στον εγκιβωτισμό του στοιχείου και στην αύξηση της διατμητικής του αντοχής.

Εάν αυτοί μόνο είναι οι λόγοι της ενίσχυσης, τα φύλλα μπορούν να αντικατασταθούν από οριζόντιες λωρίδες ("κολλάρα"). Αυτή η εναλλακτική τεχνική έχει μεν οικονομία υλικού, αλλά απαιτεί περισσότερα "εργατικά" και γι' αυτό η επιλογή θα πρέπει να εξαρτηθεί από την εκτίμηση του συνολικού κόστους.

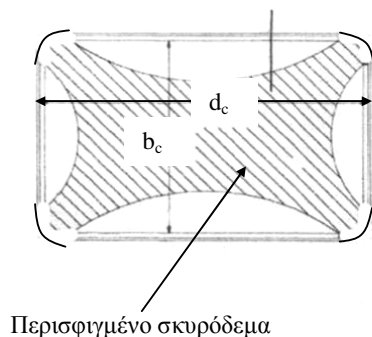
Έτσι οι τεχνικές εξωτερικής περίσφιγξης με χρήση ινοπλισμένων πολυμερών, είναι ευχερέως σε στοιχεία με κυκλική ή ορθογωνική διατομή και μπορεί να γίνει με τους παρακάτω τρόπους:

- Με προσθήκη επικολλητών κολλάρων που μπορεί να είναι λωρίδες από ινοπλισμένα πολυμερή.
- Με χρήση προεντεταμένων κολλάρων από ινοπλισμένα πολυμερή.
- Με χρήση σπειροειδούς οπλισμού που μπορεί να είναι από ινοπλισμένο πολυμερές.
- Με προσθήκη ολόσωμου μανδύα από ινοπλισμένα υφάσματα, επικολλημένα επί των πλευρών του στοιχείου.

Εάν συγχρόνως επιδιώκεται και η αύξηση της καμπτικής αντοχής του στοιχείου, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν και φύλλα με επιμήκη διεύθυνση ινών. Αν η ενίσχυση αφορά τα άκρα του στοιχείου η τεχνική θα πρέπει να συνδυαστεί με ανάλογη διάταξη αγκύρωσης των φύλλων στην περιοχή του κόμβου (δοκών-υποστυλωμάτων) επειδή τα άκρα βρίσκονται σε περιοχές με αυξημένη καμπτική ένταση. Πάντως, συχνά, οι συνθήκες γεωμετρίας της περιοχής του κόμβου δεν επιτρέπουν την εφαρμογή της τεχνικής.

Η εφαρμογή της τεχνικής είναι απλούστερη και περισσότερο αποδοτική στα κυκλικά υποστυλώματα. Στα ορθογωνικά υποστυλώματα απαιτείται προηγουμένως κατάλληλη εξομάλυνση των γωνιών, έτσι ώστε να αποκτήσουν

καμπυλότητα με ακτίνα της τάξης των 20-30 mm (Σχήμα 2.4.4). Η αποδοτικότητα της τεχνικής μπορεί να αυξηθεί, εάν η εφαρμογή των φύλλων (ή των λωρίδων) γίνει με προένταση. Όμως, στην περίπτωση αυτή οι τεχνικές δυσκολίες του εγχειρήματος είναι αυξημένες και γι' αυτό η εφαρμογή της θα πρέπει να εξετάζεται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις.



Σχήμα 2.4.4: Περίσφιγξη διαμήκων στοιχείων ορθογωνικής διατομής με ινοπλισμένα πολυμερή

### Καμπτική Ενίσχυση Δοκών

Η χρήση επικολλητών φύλλων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs), ως εξωτερικού οπλισμού στο εφελκόμενο πέλμα δοκών ή πλακών, είναι μία πρακτική τεχνική με την οποία επιτυγχάνεται η αύξηση της καμπτικής αντοχής των παραπάνω στοιχείων. Επιπλέον επιτυγχάνεται σημαντική αύξηση της καμπτικής δυσκαμψίας και μείωση των παραμορφώσεων και της αναμενόμενης ρηγμάτωσης.

Η κυριότερη αδυναμία της τεχνικής βρίσκεται στην περιοχή αγκύρωσης των άκρων των φύλλων. Η πρόωρη αστοχία των άκρων με απόσχιση στη γειτονική προς το έλασμα περιοχή σκυροδέματος και η ευαισθησία διάβρωσής τους στην περίπτωση χρήσης χάλυβα είναι τα βασικά μειονεκτήματα της μεθόδου που οφείλονται στην υψηλή συγκέντρωση τάσεων στην περιοχή. Το θέμα έχει ερευνηθεί εκτενώς στο παρελθόν για τη περίπτωση χάλυβα.

Εδώ συνοψίζοντας τις σχετικές αναφορές, μπορούν να διακριθούν δύο βασικοί έλεγχοι που αφορούν την περιοχή αγκύρωσης στα άκρα των επικολλητών φύλλων. Ο πρώτος στοχεύει στην εξασφάλιση επαρκούς μήκους αγκύρωσης πέραν της περιοχής που απαιτείται καμπτική ενίσχυση.

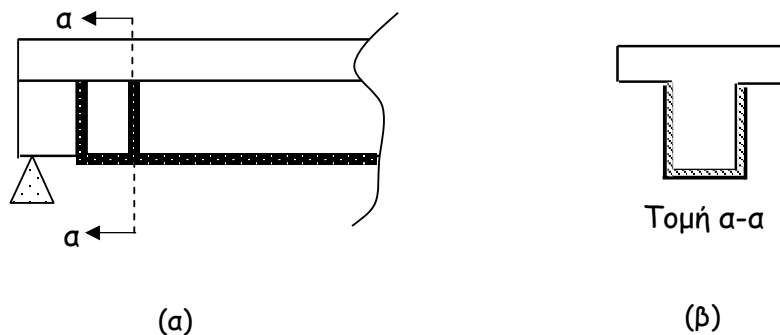
Ο δεύτερος αφορά τον έλεγχο της συγκέντρωσης καμπτικών και διατμητικών τάσεων στην περιοχή των άκρων, λόγω της ύπαρξης πέρατος, δηλαδή λόγω της ασυνέχειας του επικολλητού φύλλου.

Συνήθως ελέγχονται οι διατμητικές τάσεις της περιοχής. Όμως επειδή στην πραγματικότητα υπάρχουν συγχρόνως καμπτικές και διατμητικές τάσεις φαίνεται πιο λογικό να πρέπει να ελεγχθεί η αλληλεπίδραση των δύο εντάσεων.

Η χρήση φύλλων από ινοπλισμένα πολυμερή αντί για χαλύβδινα ελάσματα διαφοροποιεί την συμπεριφορά του ενισχυμένου στοιχείου, αφού ο νέος οπλισμός έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά από τον ήδη υπάρχοντα με τον οποίο καλείται, από κοινού, να αναλάβει τις εφελκυστικές δυνάμεις. Σημειώνεται ότι πρόσφατα πειραματικά αποτελέσματα (Spadea et al, 2000) δείχνουν ότι η πλαστιμότητα, των ενισχυμένων στοιχείων, σε όρους καμπυλοτήτων και σε όρους ενέργειας, είναι σε πολλές περιπτώσεις σημαντικά μικρότερη από την αντίστοιχη των αρχικών στοιχείων. Ως εκ τούτου η παραπάνω τεχνική δεν συνιστάται εν γένει για την ενίσχυση στοιχείων που συμμετέχουν στην ανάληψη σεισμικής έντασης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο μετά από ειδική μελέτη που θα εξασφαλίζει ότι η πλαστιμότητα του ενισχυμένου μέλους βρίσκεται εντός των αποδεκτών ορίων σχεδιασμού.

#### Κατασκευαστικές διατάξεις-συστάσεις

Ειδικά μέτρα εξασφάλισης των άκρων έναντι πρόωρης αποκόλλησης, ανάλογα με αυτά που χρησιμοποιούνται για τα επικολλητά ελάσματα πρέπει να χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση ανεπάρκειας του μήκους αγκύρωσης. Συνήθως χρησιμοποιούνται λωρίδες ινοπλισμένων πολυμερών τα οποία, εν είδει εξωτερικών ανοικτών συνδετήρων μορφής αντεστραμμένου Π που τα άκρα τους φθάνουν μέχρι τη θλιβόμενη ζώνη της διατομής (Σχήμα 2.4.5), κατανέμουν τις τάσεις στην πλευρική επιφάνεια της δοκού. Η χρήση των παραπάνω στοιχείων για την εξασφάλιση των άκρων έναντι πρόωρης αποκόλλησης συνίσταται έντονα ανεξάρτητα από το αποτέλεσμα του υπολογιστικού ελέγχου που αναφέρθηκε παραπάνω.



Σχήμα 2.4.5: Εξασφάλιση άκρων έναντι πρόωρης αποκόλλησης

Η εφαρμογή της τεχνικής ενίσχυσης στοιχείων με επικολλητά φύλλα από ινοπλισμένα πολυμερή, προϋποθέτει ότι το στοιχείο χωρίς οπλισμό ενίσχυσης μπορεί να φέρει ασφαλώς το συνδυασμό των οιονεί-μονίμων φορτίων ( $G+\psi_2Q$ ), για να μην αστοχήσει σε περίπτωση απρόβλεπτης έντονης δράσης (π.χ. πυρκαγιά).

Συνιστάται:

- Να επιδιώκεται η χρήση ελασμάτων ή υφασμάτων με μικρό πάχος.
- Να αποφεύγονται οι ματίσεις του υλικού ενίσχυσης.
- Να επιδιώκεται η βελτίωση της αγκύρωσης στα άκρα των υφασμάτων με χρήση εγκάρσιων λωρίδων ή γωνιακών.
- Η αγκύρωση του οπλισμού ενίσχυσης να γίνεται στη θλιβόμενη περιοχή του στοιχείου.
- Πάντως το πλήθος των στρώσεων δεν είναι σκόπιμο να ξεπερνά το 5 για εύκαμπτα υφάσματα, εκτός αν διατίθεται σχετική τεκμηρίωση που επιτρέπει τη χρήση περισσότερων στρώσεων.
- Η απόσταση του υλικού ενίσχυσης από τις ακμές της διατομής σκυροδέματος να μην υπερβαίνει το πάχος της επικάλυψης της πλησιέστερης προς την ακμή παράλληλης ράβδου οπλισμού.
- Να αποφεύγεται η διάτρηση των σύνθετων υλικών
- Να αποφεύγεται η επαφή κοινού χάλυβα με ίνες άνθρακα, για την αποφυγή γαλβανικής διάβρωσης
- Στις περιπτώσεις χρήσης περισσότερων παραλλήλων λωρίδων (συνήθως στην περίπτωση πλακών), η μεταξύ τους απόσταση δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5πλάσιο του πάχους του στοιχείου και του 0.20  $\ell_0$ , όπου  $\ell_0$  είναι η απόσταση των σημείων μηδενισμού της ροπής κάμψης κατά μήκος του στοιχείου.
- Στις περιπτώσεις ενίσχυσης στο μέσο ανοίγματος, το υλικό ενίσχυσης πρέπει να επεκτείνεται και να αγκυρώνεται κοντά στις στηρίξεις. Στην περίπτωση ενίσχυσης στην περιοχή της στήριξης δοκών ή πλακών, το υλικό ενίσχυσης επεκτείνεται και αγκυρώνεται στις θλιβόμενες περιοχές σε μήκος της τάξεως του 1 m, εντός αυτών.

**Διατμητική Ενίσχυση Δοκών ή Υποστυλωμάτων ή Κόμβων Δοκών-Υποστυλωμάτων**

Η ενίσχυση σε τέμνουσα ενός στοιχείου Ο.Σ. η οποία απαιτείται λόγω ανεπάρκειας του οπλισμού διάτμησης ( $V_{sd} > V_{Rdr3}$ ) μπορεί να γίνει με υφάσματα από ινοπλισμένα πολυμερή τα οποία επικολλώνται πλήρως επί του στοιχείου, αναλαμβάνοντας ρόλο οπλισμού διάτμησης, ανάλογα με αυτόν του αντίστοιχου συμβατικού οπλισμού. Αναλυτικά το θέμα αναπτύσσεται στην § 2.5.

### **Βιβλιογραφία**

- 2.4-1 **Δρίτσος Σ.** (2000), "Ενισχύσεις/Επισκευές Κατασκευών από Ο.Σ.-Σχεδιασμός και Διαστασιολόγηση" Εκδ.Πανεπ.Πατρών, Πάτρα.
- 2.4-2 **Τριανταφύλλου Θ.** (1998), "Προηγμένες Τεχνολογίες Υλικών και Κατασκευών", Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα.
- 2.4-3 **ΥΠΕΧΩΔΕ** (1995), Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων "Κανονισμός για τη Μελέτη και την Κατασκευή Έργων από Σκυρόδεμα", Αθήνα.
- 2.4-4 **Chaallal O., Nollet M. & Perraton** (1998), "Strengthening of Reinforced Concrete Beams with Externally Bonded Fiber Reinforced Plastic Plates", Canadian Journal of Civil Engineering, Vol.25, 692-704.
- 2.4-5 **Federation International du Beton - fib** (2001), Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures, Bulletin 14, Lausanne.
- 2.4-6 **Spadea G., Bencardino F. & Swamy R.N.** (2000), "Strengthening Through Bonded External Reinforcement Design for Extended Durable Service Life", Proc. of the 2<sup>nd</sup> International Symposium: Cement and Concrete Technology in the 2000 s, Vol.2, 505-514, Istanbul.