

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

7.1 Γενικά

Το κεφάλαιο παρουσιάζει κατά συνοπτικό τρόπο βασικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες και μία σειρά από οδηγίες για την αρτιότερη δυνατή εφαρμογή της τεχνικής ενίσχυσης μέσω συνθέτων υλικών σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος.

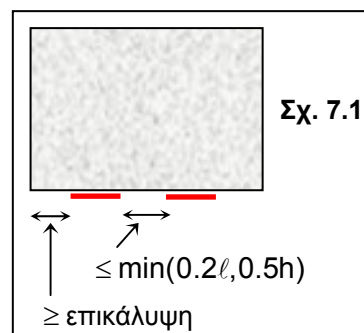
7.2 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες

Στην ενότητα αυτή δίνονται κατασκευαστικές λεπτομέρειες για τις τρεις βασικές περιπτώσεις ενίσχυσης, οι οποίες αποσκοπούν (α) στην αύξηση της καμπτικής αντίστασης, (β) στην αύξηση της διατμητικής αντίστασης και (γ) στην περίσφιγξη.

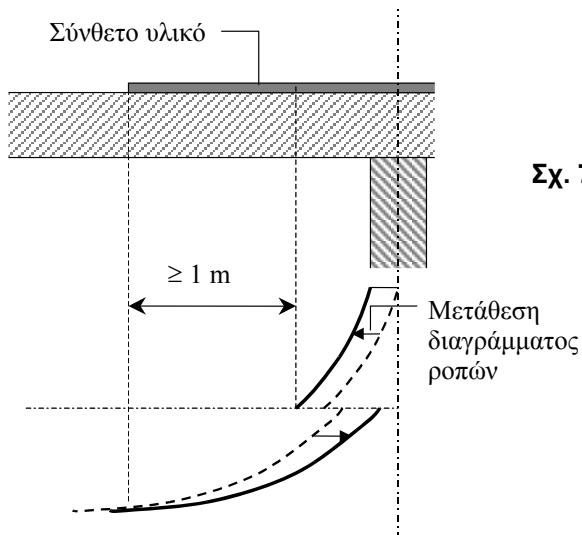
7.2.1 Ενίσχυση σε κάμψη

Στο *fib* bulletin 14 (2001) προτείνονται οι παρακάτω κατασκευαστικοί κανόνες (για την ενίσχυση δοκών):

- Μέγιστη απόσταση μεταξύ ελασμάτων = $\min(0.2\ell, 5h)$, όπου ℓ = μήκος δοκού και h = ύψος δοκού (στην περίπτωση προβόλου το 0.2 γίνεται 0.4).
- Ελάχιστη απόσταση ελάσματος (ή υφάσματος) από τη γωνία της διατομής τουλάχιστον ίση με το πάχος επικάλυψης του διαμήκους οπλισμού.
- Να αποφεύγονται οι ματίσεις ελασμάτων (ή υφασμάτων) 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.

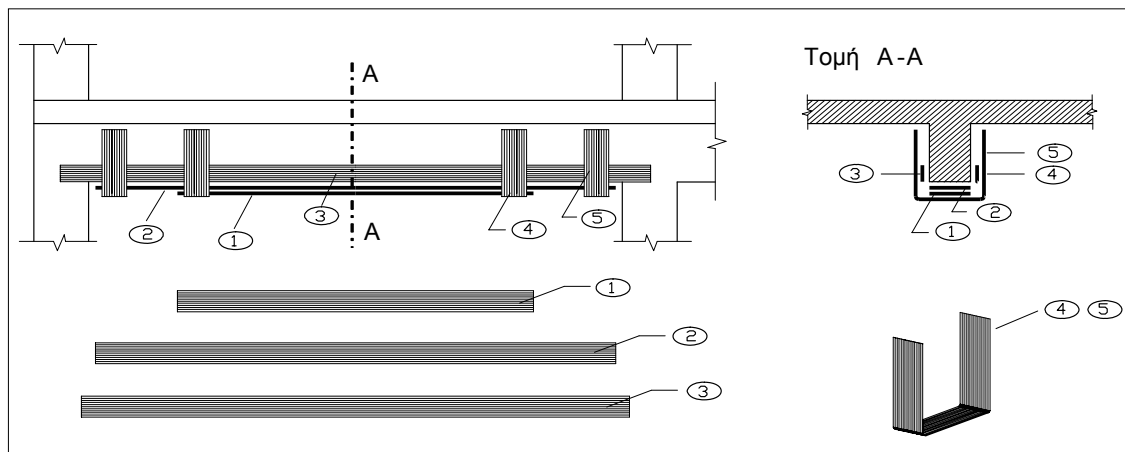


- Επιτρέπονται οι διασταυρώσεις ελασμάτων ή υφασμάτων (με επικόλληση στην διασταυρούμενη επιφάνεια), π.χ. για την ενίσχυση επιφανειακών στοιχείων (όπως οι πλάκες).
- Να αποφεύγεται η τοποθέτηση των ελασμάτων ή υφασμάτων σε πολλές στρώσεις. Αυτές δεν θα πρέπει να ξεπερνούν τις 3 ή 5 για ελάσματα ή υφάσματα, αντίστοιχα.
- Οι οπλισμοί στήριξης (αρνητική ροπή) θα πρέπει να έχουν μήκος επικόλλησης της τάξης του 1 m στη θλιβόμενη περιοχή (Σχ. 7.2).



Σχ. 7.2 Επικόλληση σε εσωτερικές στηρίξεις.

- Στις θέσεις απόληξης των ελασμάτων ή υφασμάτων συνιστάται η επικόλληση υφασμάτων μορφής U (όπως οι οπλισμοί διάτμησης) ώστε να βελτιωθούν οι συνθήκες αγκύρωσης (Σχ. 7.3, 7.4).



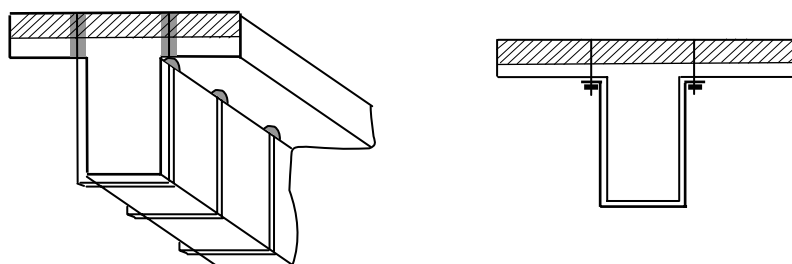
Σχ. 7.3 Πιθανή διάταξη καμπτικής ενίσχυσης και βελτίωση αγκυρώσεων με εγκάρσιους οπλισμούς διάτμησης.



Σχ. 7.4 Βελτίωση αγκύρωσης διαμήκων οπλισμών με εγκάρσιους οπλισμούς διάτμησης.

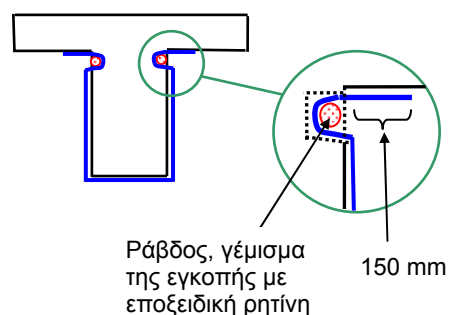
7.2.2 Ενίσχυση σε διάτμηση

- Στην περίπτωση ενίσχυσης πλακοδοκών, συνιστάται η αγκύρωση των οπλισμών διάτμησης στη θλιβόμενη ζώνη (π.χ. Σχ. 7.5).



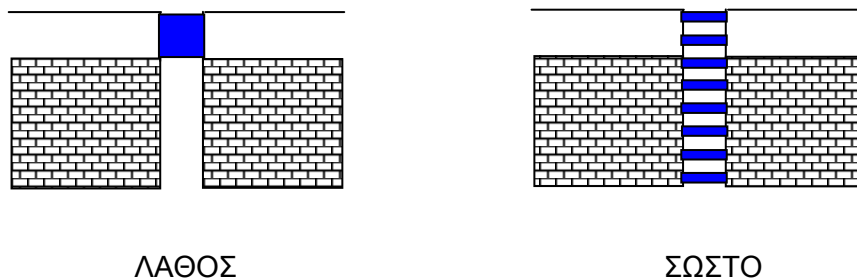
Σχ. 7.5 Ενδεικτικές διατάξεις αγκύρωση οπλισμών διάτμησης πλακοδοκών στη θλιβόμενη ζώνη.

- Αν η αγκύρωση στη θλιβόμενη ζώνη δεν είναι εφικτή συνιστάται η “έμπηξη” του υφάσματος σε εσοχή μέσω ράβδου (κατά προτίμηση από σύνθετα υλικά) στο άνω τμήμα του κορμού και ακολούθως η επέκτασή του στο κάτω μέρος της πλάκας, σε απόσταση περίπου ίση με 150 mm (Σχ. 7.6). Αν η ράβδος είναι μεταλλική και το ύφασμα από ίνες άνθρακα θα πρέπει να αποφεύγεται η επαφή της ράβδου με τις ίνες (μέσω χρήσης επαρκούς στρώματος ρητίνης) ώστε να μην προκληθεί γαλβανική διάβρωση.



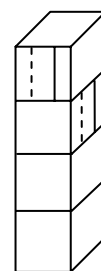
Σχ. 7.6

- Στην περίπτωση ενίσχυσης υποστυλωμάτων ορθογωνικής διατομής θα πρέπει να στρογγυλεύονται οι γωνίες της διατομής με ακτίνα καμπυλότητας της τάξης των 20 mm (ειδικά για υλικά με ίνες αραμιδίου η ακτίνα μπορεί να μειωθεί στα 10 mm).
- Στην περίπτωση ενίσχυσης υποστυλωμάτων μεταξύ τοίχων πλήρωσης οι οποίοι καλύπτουν μερικώς το ύψος ορόφου, η διατμητική ενίσχυση θα πρέπει να γίνεται σε όλο το ύψος του υποστυλώματος και όχι μόνο στο ελεύθερο τμήμα (Σχ. 7.7).



Σχ. 7.7 Διατμητική ενίσχυση υποστυλωμάτων μεταξύ τοίχων πλήρωσης σε τμήμα του συνολικού ύψους ορόφου.

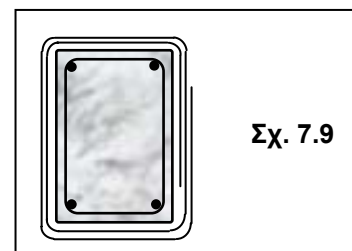
- Όταν γίνεται καθολική περιτύλιξη υποστυλωμάτων με υφάσματα, η μάτιση κάθε τμήματος θα πρέπει να γίνεται σε διαφορετική πλευρά (Σχ. 7.8).



Σχ. 7.8

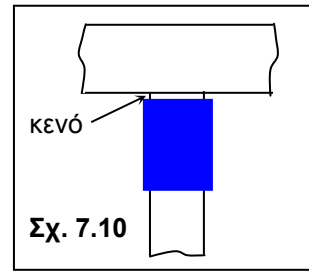
7.2.3 Περίσφιγξη

- Συνιστάται να στρογγυλεύονται οι γωνίες της διατομής με τη μέγιστη εφικτή ακτίνα καμπυλότητας (η οποία καθορίζεται συνήθως από το πάχος επικάλυψης).
- Η υπερκάλυψη των δύο άκρων σε επάλληλες στρώσεις επί υποστυλωμάτων ορθογωνικής διατομής (Σχ. 7.9) 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.
- Ο μέγιστος επιτρεπόμενος αριθμός στρώσεων για την κατασκευή μανδύα είναι της τάξης του 15 (ή όπως συνιστάται από τον προμηθευτή του συστήματος ενίσχυσης).

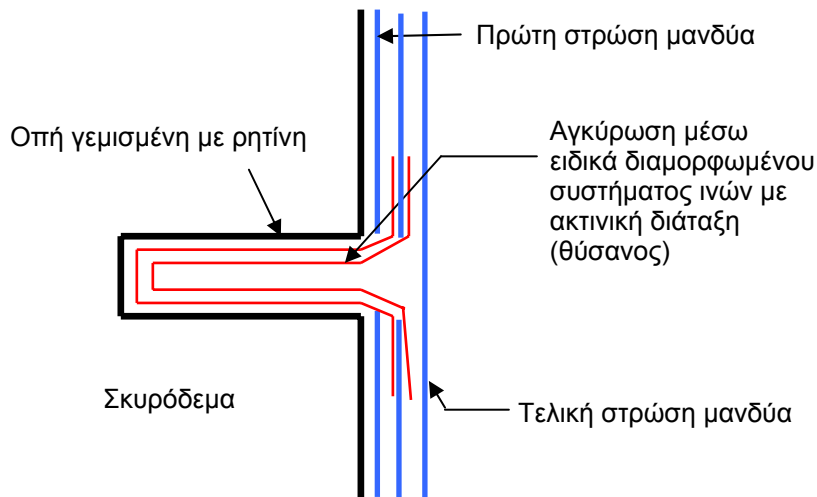


Σχ. 7.9

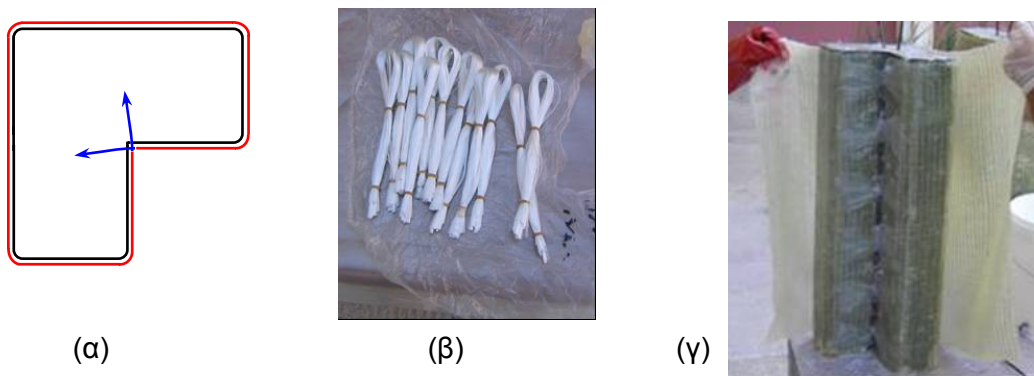
- Στην περίπτωση εφαρμογής μανδύα στις κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων πρέπει να αφήνεται κενό της τάξης των 15 mm (Σχ. 7.10), ώστε αφενός να μην παρεμποδίζεται η στροφή της ακραίας διατομής, αφετέρου να μην υφίσταται σύνθλιψη ο μανδύας λόγω της στροφής αυτής.



- 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 μορφής θυσάνου σε οπές (Σχ. 7.11). Τα αγκύρια αυτά έχουν δοκιμασθεί επιτυχώς (Karantzikis et al. 2005) και για την περίπτωση στερέωσης υφασμάτων σε εισέχουσες γωνίες (π.χ. σε υποστυλώματα διατομής L, Σχ. 7.12).



Σχ. 7.11 Στερέωση μανδύα μέσω ειδικού βλήτρου-αγκυρίου σε οπή.



Σχ. 7.12 Στερέωση μανδύα σε εισέχουσα γωνία: (α) ενδεικτική διάταξη, (β) θύσανοι ινών γυαλιού, (γ) φωτογραφία των αγκυρίων στην εισέχουσα γωνία.

- Όπως και στην περίπτωση διατμητικής ενίσχυσης υποστυλώματος με καθολική περιτύλιξη υφασμάτων, η μάτιση κάθε τμήματος θα πρέπει να γίνεται σε διαφορετική πλευρά (Σχ. 7.8).
- Το ύψος του μανδύα σε περιοχές ενώσεων ράβδων με παράθεση (μάτιση) θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με τα 2/3 του μήκους μάτισης.

7.3 Μέθοδος εφαρμογής

Τα σύνθετα υλικά που εφαρμόζονται συνήθως στο πεδίο των ενισχύσεων είναι (α) τύπου ελάσματος (ινών άνθρακα σε εποξειδική μήτρα) πάχους 1.0-1.5 mm και πλάτους αρκετών χιλιοστών (π.χ. 50-100 mm) ή (β) τύπου υφάσματος (ινών άνθρακα ή γυαλιού, και σπανιότερα αραμιδίου), πάχους 0.1-0.5 mm. Τα ελάσματα επικολλώνται στην επιφάνεια σκυροδέματος μέσω εποξειδικής ρητίνης δύο συστατικών, ενώ τα υφάσματα εμποτίζονται με εποξειδική ρητίνη επί τόπου. Τα διαθέσιμα συστήματα ενισχύσεων συνθέτων υλικών στην Ελληνική αγορά σήμερα είναι αρκετά. Στα περισσότερα εξ αυτών οι ίνες χαρακτηρίζονται από τις ίδιες ή παρόμοιες ιδιότητες, ενώ οι ρητίνες ποικίλλουν μεταξύ των διαφόρων προμηθευτών. Κάθε σύστημα συνοδεύεται (ή θα πρέπει να συνοδεύεται), εκτός από πλήρη κατάλογο των ιδιοτήτων που ενδιαφέρουν τους μηχανικούς-μελετητές, και από λεπτομερείς οδηγίες εφαρμογής. Έτσι, η παρουσίαση των λεπτομερειών της εφαρμογής των συνθέτων υλικών (οι οποίες μάλιστα τροποποιούνται ή συμπληρώνονται κάθε φορά που εμφανίζονται νέα προϊόντα στην αγορά) ξεφεύγει από το στόχο του παρόντος συγγράμματος. Αντ' αυτών δίνονται βασικές συστάσεις, οι οποίες θα πρέπει να ακολουθούνται σε κάθε περίπτωση, ώστε η εφαρμογή των συνθέτων υλικών να γίνεται με τρόπο άρτιο. Περισσότερα στοιχεία δίνονται στο JBDPA (1999), στο *fib bulletin* 14 (2001) και στο ACI 440.2R-02 (2002).

- Οι επιφάνειες σκυροδέματος όπου θα γίνει επικόλληση θα πρέπει να είναι απαλλαγμένες σαθρού υλικού, επίπεδες (πλήρωση μεγάλων ρωγμών με ένεμα, επισκευή κοιλοτήτων με κονίαμα, εξομάλυνση προεξοχών), εκτραχυμένες (π.χ. με συρματόβουρτσα ή αμμοβολή ή υδροβολή), απόλυτα καθαρές και στεγνές (Σχ. 7.13). Τυχόν υγρασία άνω του 4% (τόσο επιφανειακή όσο και εγκλωβισμένη στο υπό ενίσχυση στοιχείο) προϋποθέτει τη χρήση ειδικών ρητινών.



(α)



(β)



(γ)

Σχ. 7.13 Προετοιμασία επιφανειών: (α) Τρίψιμο, (β) σχολαστικός καθαρισμός και (γ) εξομάλυνση.

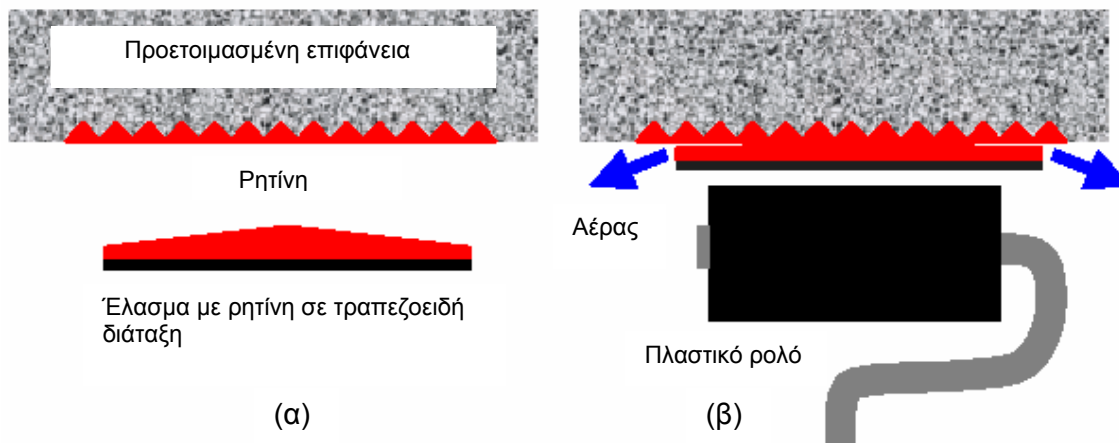
- Η εφαρμογή ελασμάτων (δύσκαμπτων λωρίδων) σε σκυρόδεμα προϋποθέτει ελάχιστη εφελκυστική αντοχή του υποστρώματος της τάξης του 1.5 N/mm^2 (η αντοχή αυτή μπορεί να εκτιμηθεί επί τόπου με δοκιμή τύπου pull-off (Σχ. 7.14).



Σχ. 7.14 Επιτόπου έλεγχος εφελκυστικής αντοχής του υποστρώματος.

- Η επιλογή της ρητίνης θα πρέπει να γίνει λαμβάνοντας υπόψη, εκτός από τις συνθήκες υγρασίας, και τις συνθήκες θερμοκρασίας, οι οποίες είναι καθοριστικές για την σκλήρυνση της ρητίνης αλλά και για την μετέπειτα συμπεριφορά της. Η εφαρμογή των ρητινών σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος ενδέχεται να πρέπει να γίνεται σε συνδυασμό με επιβολή τοπικής θέρμανσης.
- Τα ελάσματα συνθέτων υλικών θα πρέπει να κόβονται (με τροχό ή πριόνι) στο επιθυμητό μήκος, να καθαρίζονται σχολαστικά (π.χ. με διάλυμα ακετόνης) ή να αφαιρείται από αυτά η προστατευτική μεμβράνη (όπου υπάρχει) λίγο πριν από την εφαρμογή τους, να υφίστανται προσεκτική μεταχείριση (από εργάτες που θα φορούν γάντια) και να τοποθετούνται χωρίς να υφίστανται στρέβλωση.
- Μετά την τοποθέτηση ελάσματος επί της επιφάνειας του σκυροδέματος θα ασκείται πίεση με ρολό ώστε να επιτευχθεί πλήρης και συνεχής επικόλληση,

απεγκλωβίζοντας έτσι τυχόν φυσαλίδες αέρα. Κατά το “ρολάρισμα” η περίσσεια ρητίνης που εμφανίζεται εκατέρωθεν του ελάσματος πρέπει να αφαιρείται (με σπάτουλα), ώστε να εξασφαλίζεται ο καλός οπτικός έλεγχος της εφαρμογής (Σχ. 7.15-7.16).



Σχ. 7.15 (α) Εφαρμογή ρητίνης επί σκυροδέματος και ελάσματος, (β) εφαρμογή πίεσης μέσω κυλίνδρου.



Εφαρμογή ρητίνης στο έλασμα.



Τοποθέτηση ελάσματος.



“Ρολάρισμα” ελάσματος.



Απομάκρυνση πλεονάζουσας ρητίνης.

Σχ. 7.16 Τα στάδια επικόλλησης ελασμάτων.

- Ιδιαίτερη φροντίδα απαιτείται κατά την εφαρμογή των υφασμάτων (Σχ. 7.17), στα οποία πρέπει να αποφεύγονται οι πτυχώσεις ώστε οι ίνες να είναι όσο το δυνατόν πιο ευθύγραμμες. Τα υφάσματα εμποτίζονται 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 θα πρέπει να αφαιρείται με τα χέρια και η εφαρμογή να επαναλαμβάνεται. Αν ο ενεργός χρόνος έχει παρέλθει, ύφασμα και ρητίνη θα πρέπει να απομακρυνθούν, να απορριφθούν και η εφαρμογή να γίνει εκ νέου.



(α)

(β)

(γ)



(δ)



(ε)

Σχ. 7.17 Εφαρμογή υφάσματος: (α) Προεπάλειψη σκυροδέματος, (β) τοποθέτηση υφάσματος, (γ) “στρώσιμο” του υφάσματος και εμποτισμός με εποξειδική ρητίνη επί τόπου. (δ) Προεμποτισμός υφάσματος και (ε) εφαρμογή προεμποτισμένου υφάσματος.

- Η στρώση εποξειδικής ρητίνης για την επικόλληση ελασμάτων θα πρέπει να έχει πάχος της τάξης του 1.5 mm. Αυτή που χρησιμοποιείται για τον επί τόπου εμποτισμό υφασμάτων θα πρέπει να έχει την κατάλληλη ρευστότητα (ιξώδες) και να

εφαρμόζεται στην κατάλληλη ποσότητα ώστε να εξασφαλίζεται πλήρης κάλυψη (εμποτισμός) των ινών, χωρίς παράλληλα να εγκλωβίζεται αέρας.

- Για να διευκολύνεται η εφαρμογή επιχρίσματος πάνω στα σύνθετα υλικά, θα πρέπει προτού σκληρυνθεί η εξωτερική στρώση ρητίνης να γίνει επίταση επαρκούς ποσότητας (της τάξης του 1 kg/m^2) χαλαζιακής άμμου, ώστε να δημιουργηθεί τραχειά επιφάνεια.
- **Η εφαρμογή του συστήματος ενίσχυσης θα πρέπει να γίνεται από εξειδικευμένα συνεργεία και, εν γένει, με εξαιρετική επιμέλεια.**