

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΩΝ ΜΕ ΦΥΛΛΑ F.R.P. ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΛΑΣΜΑΤΑ

ΚΡΗΤΙΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΟΥΛΑ
ΛΟΓΟΘΕΤΗ ΕΥΘΥΜΙΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά στον τρόπο ενίσχυσης δοκού οπλισμένου σκυροδέματος με χρήση ινοπλισμένων πολυμερών (F.R.P.) και μεταλλικών ελασμάτων. Αρχικά παρουσιάζονται τα βασικά τους χαρακτηριστικά και οι τεχνικές ενίσχυσης ανάλογα με τον επιδιωκόμενο στόχο, δηλαδή για την αύξηση της καμπτικής ή της διατμητικής αντοχής. Στη συνέχεια παραθέτονται οι λόγοι που τις καθιστούν αναγκαίες και οι επιτεύξεις των εν λόγω ενισχύσεων. Επίσης δίνονται οι αντίστοιχες μέθοδοι εφαρμογής των ανωτέρω υλικών ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη αποτελεσματικότητά τους. Τέλος αναφέρονται οι μορφές αστοχίας για μια ενισχυμένη δοκό σε κάμψη και διάτμηση.

1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ

Η χρήση των χαλύβδινων επικολλητών ελασμάτων και των ινοπλισμένων πολυμερών είναι δύο από τις πολλές μεθόδους ενίσχυσης που αποτελούν συνηθισμένη πρακτική στη χώρα μας και έχουν αναπτυχθεί διεθνώς, με τη χρήση των σύνθετων υλικών να θεωρείται ως εξέλιξη των ενισχύσεων με μεταλλικά ελάσματα.

Η τεχνική των επικολλητών ελασμάτων είναι μια αξιόπιστη μέθοδος για την αποκατάσταση και ενίσχυση των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Είναι ιδιαίτερα εφαρμόσιμη σε επισκευαστικές εργασίες κατοικημένων κτιρίων εξ αιτίας του μικρού χρόνου της επέμβασης.

Η αναστύλωση ή η αύξηση της φέρουσας ικανότητας μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα, ήταν πάντα πολύ δύσκολη και οι επαρκείς λύσεις συχνά συνεπάγονται εκτεταμένες εργασίες. Η χρήση των εξωτερικών ενισχύσεων αντιπροσωπεύει μεγάλη πρόοδο στον τομέα αυτό. Η αρχή της μεθόδου συνίσταται στη συγκόλληση χαλύβδινων ελασμάτων με κατάλληλη εποξειδική ρητίνη στη διεπιφάνεια του σκυροδέματος.[2]

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου όπως το χαμηλό κόστος, η ευκολία της εφαρμογής της, (ακόμα κι αν το κτίριο είναι σε χρήση), η ασήμαντη αύξηση του ύψους της δοκού, η ταχύτητα εκτέλεσης της εργασίας, είναι μερικοί από τους λόγους που την καθιστούν ευρέως εφαρμόσιμη.

Εν τούτοις σημαντικά μειονεκτήματα της μεθόδου αποτελούν το πρόβλημα διάβρωσης του χάλυβα, που συχνά διαπιστώνεται εντονότερα στην εσωτερική επιφάνεια των ελασμάτων, καθώς επίσης και η επιτακτική ανάγκη προστασίας και συχνής συντήρησης αυτού που πολλές φορές οδηγεί σε αύξηση του κόστους. Τέλος, ως επιπλέον μειονέκτημα κρίνεται και η ενδεχόμενη δυσκολία εφαρμογής των ελασμάτων λόγω του μεγάλου βάρους του χάλυβα και η ανάγκη κατασκευής ενώσεων των χαλύβδινων ελασμάτων λόγω του περιορισμένου μήκους τους.[2,7]

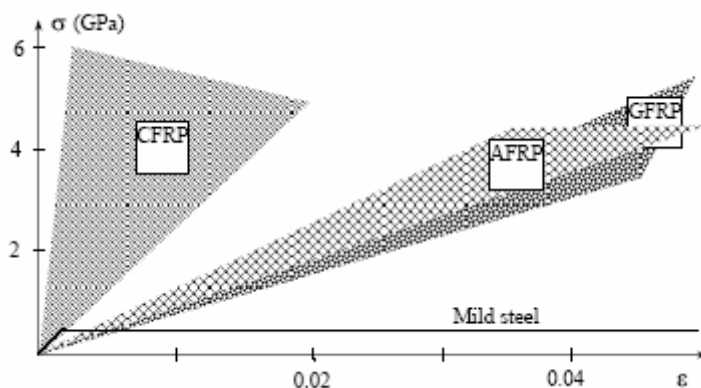
Τα σύνθετα υλικά (ινοπλισμένα πολυμερή) αποτελούνται από συνεχείς ίνες, κυρίως άνθρακα, γυαλιού ή αραμιδίου σε συνδυασμό με κάποια ρητίνη (συνήθως εποξειδική) και

διατίθενται σε μορφή σχετικά δύσκαμπτων « λωρίδων » πάχους της τάξης του 1mm ή εύκαμπτων « υφασμάτων » πάχους της τάξεως των 0,1-0,4 mm με ίνες σε μία ή περισσότερες διευθύνσεις.[4]

Οι ίνες στα σύνθετα υλικά χαρακτηρίζονται από την εξαιρετικά μεγάλη εφελκυστική αντοχή τους (που οφείλεται στην πολύ μικρή διάμετρο τους της τάξης των 5 – 25 μm) και μέτρο ελαστικότητας που μπορεί να είναι 30–300 MPa ανάλογα με τις απαιτήσεις της μελέτης .Το βάρος τους είναι ιδιαίτερα χαμηλό, περίπου ¼ του χάλυβα και ιδιαίτερα σημαντικό είναι η ανθεκτικότητα τους σε διάρκεια.[3] Επίσης δεν επηρεάζονται από περιβαλλοντικές επιδράσεις και δεν έχουν ανάγκη προστασίας από διάβρωση. Παρουσιάζουν υψηλή αντοχή κόπωσης, άριστη αντίσταση σε κρούση και εξαιρετική αντίσταση σε επικάλυψη. Η συγκεκριμένη τεχνική ενίσχυσης χαρακτηρίζεται από εξαιρετική ευκολία, ευελιξία, διαθεσιμότητα σε διάφορα μήκη και ταχύτητα εφαρμογής με αποτέλεσμα την αύξηση της αντοχής και της παραμορφωσιμότητας των στοιχείων χωρίς να μεταβάλλεται η γεωμετρία ή να αυξάνεται η δυσκαμψία τους.

Η χρήση των σύνθετων ινοπλισμένων πολυμερών στον τομέα των ενισχύσεων εμφανίζει και ορισμένα μειονεκτήματα όπως η πτωχή συμπεριφορά σε υψηλές θερμοκρασίες (αφού η ρητίνη καίγεται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 200 °C),η αμφισβητούμενη ανθεκτικότητά τους σε διάρκεια, το σχετικά υψηλό κόστος, η έλλειψη πλαστιμότητας, και τέλος η ιδιαίτερη προσοχή που πρέπει να δίνεται για την εφαρμογή τους καθώς πρέπει να γίνεται από ειδικευμένα συνεργεία.[1,3,4]

Έτσι η τεχνική των σύνθετων υλικών είναι ιδιαίτερα ανταγωνιστική με συμβατικές τεχνικές επεμβάσεων όπως η επικόλληση χαλύβδινων ελασμάτων. Γι αυτό και οι εφαρμογές της αυξάνονται με ραγδαίους ρυθμούς. Διεθνώς αριθμούν σε περίπου 6000-7000, ενώ στη χώρα μας έχουν ήδη φθάσει πολλές δεκάδες.[3]



Σχήμα 1: Διαγράμματα τάσης – παραμόρφωσης για ινοπλισμένα πολυμερή και μεταλλικά ελάσματα [15]

Πίνακας 1 : Ιδιότητες ινοπλισμένων πολυμερών και μεταλλικών ελασμάτων. [14]

ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ	ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΛΑΣΜΑΤΑ
Ίδιο βάρος	Χαμηλό	Υψηλό
Εφελκυστική αντοχή	Πολύ υψηλή	Υψηλή
Συνολικό πάχος	Πολύ μικρό	Μικρό
Διάβρωση	Καμία	Ναι
Μήκος	Οποιοδήποτε	Περιορισμένο

Ευκολία	Εύκολο και εύκαμπτο	Δύσκολο και δύσκαμπτο
Ανάληψη φορτίου	Μόνο κατά μήκος	Σε οποιαδήποτε διεύθυνση
Επικαλύψεις	Εύκολο	Σύνθετο
Κόπωση	Εξαιρετική	Ικανοποιητική
Δαπάνη υλικού	Υψηλή	Χαμηλή
Δαπάνη τοποθέτησης	Χαμηλή	Υψηλή
Εφαρμογή	Χωρίς εργαλεία	Αναρτήσεις και συσφίξεις

2. ΤΥΠΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ

Οι τεχνικές ενίσχυσης των δοκών διακρίνονται ανάλογα με τον επιδιωκόμενο στόχο, σε αυτές που στοχεύουν είτε στην αύξηση της καμπτικής αντοχής (που χρησιμοποιούνται και στις περιπτώσεις πλακών), είτε στην αύξηση της διατμητικής αντοχής, είτε και στα δύο.

2.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Η απαίτηση αύξησης της καμπτικής και διατμητικής αντοχής δοκού οπλισμένου σκυροδέματος, μπορεί να παρουσιαστεί στις εξής περιπτώσεις [10,11] :

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

2.1.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

Η ενίσχυση σε κάμψη στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα, επιτυγχάνεται με την εξωτερική επικόλληση σύνθετων υλικών στο εφελκόμενο πέλμα με διεύθυνση των ινών τέτοια ώστε να παραλαμβάνουν τις εφελκυστικές δυνάμεις που δημιουργούνται λόγω της κάμψης, δηλαδή παράλληλα στον άξονα του μέλους. Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται για τη χρήση αυτή βιομηχανικά ελάσματα, καθώς επίσης και υφάσματα από νήματα μίας διευθύνσεως, τα οποία τοποθετούνται με τις ίνες τους κατά τη διεύθυνση του οπλισμού του στοιχείου.[5,11]



Σχήμα 2 : Ενίσχυση δοκού σε κάμψη [15]

Με την εν λόγω ενίσχυση επιτυγχάνεται [11] :

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

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

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

ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Το υπόστρωμα καθαρίζεται επιμελώς από χαλαρά τμήματα, σοβάδες, χρώματα, σκόνες, τσιμεντόνερα, λίπη κ.τ.λ. με σκοπό να απομακρυνθεί η επιδερμική στρώση σκυροδέματος στην επιφάνεια που θα γίνει η επικόλληση, έτσι ώστε να αποκαλυφθούν τα αδρανή σε βάθος περίπου 5 mm χρησιμοποιώντας ειδικό μηχανικό εξοπλισμό ή υδροβολή. Στη συνέχεια τρίβεται καλά με σκληρή βούρτσα.

Η υγρασία της τελικής επιφάνειας του σκυροδέματος δεν επιτρέπεται να είναι περισσότερη από 4 %. Η ελάχιστη αντοχή υποστρώματος πλησιάζει την τιμή 1,5 N/mm², ενώ η ελάχιστη θερμοκρασία εφαρμογής ανέρχεται στους +5°C.

Η επιφάνεια που θα γίνει η επικόλληση πρέπει να είναι επίπεδη, χωρίς βαθμίδες και υπολείμματα τσιμέντου. Τυχόν επιδιορθώσεις στην επιπεδότητα του υποστρώματος γίνονται με τη βοήθεια του ινοπλισμένου τσιμεντοκονιάματος ή της εποξειδικής ρητίνης.

Κατόπιν αφαιρείται η ενσωματωμένη ταινία από τη μία επιφάνεια του ελάσματος από ίνες άνθρακα και στην επιφάνεια αυτή εφαρμόζεται με σπάτουλα η εποξειδική ρητίνη. Η επάλειψη της πάστας στο έλασμα θα πρέπει να γίνεται έτσι ώστε περίσσια υλικού να συγκεντρώνεται στον άξονα του ελάσματος και όχι στις άκρες.

Στη συνέχεια το έλασμα τοποθετείται στην καθαρή επιφάνεια και πιέζεται σταθερά με πλαστικό ρολό έτσι ώστε να υπερχειλίσει η πάστα από τις άκρες και να μη μείνει εγκλωβισμένος αέρας μεταξύ της πάστας και του σκυροδέματος. Το συνολικό πάχος της εποξειδικής ρητίνης, μετά την άσκηση πίεσης, πρέπει να είναι 0,5 – 2 mm. Μετά την τοποθέτηση του ελάσματος (από ίνες άνθρακα) στην επιφάνεια εφαρμογής γίνεται έλεγχος εντοπισμού τυχόν εγκλωβισμένου αέρα, με ελαφριά χτυπήματα πάνω στο έλασμα (ηχητικός έλεγχος).

Σε περίπτωση που προβλέπεται βελτίωση της αγκύρωσης των ελασμάτων στα άκρα της δοκού, αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση λωρίδων από σύνθετα υλικά (ύφασμα από ίνες άνθρακα σε μια διεύθυνση) τα οποία λειτουργούν και ως οπλισμός διάτμησης.[11,13]

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

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

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

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

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

Επειδή κατά την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών στην κατασκευή (π.χ. περιπτώσεις πυρκαγιάς), μειώνεται σημαντικά η αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης, είναι απαραίτητη η εξωτερική προστασία του μανδύα συνθετών υλικών (ειδικά επιχρίσματα, γυψοσανίδες κλπ). Η προστασία είναι απαραίτητη και σε περιπτώσεις έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία.[11,13]

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗΣ ΔΟΚΟΥ

Ανάλογα με το ποσοστό εξωτερικού οπλισμού, η δοκός μπορεί να αστοχήσει σύμφωνα με αρκετούς διαφορετικούς μηχανισμούς.

Αν τα ποσοστά υπάρχοντος και εξωτερικού οπλισμού είναι σχετικά μικρά, η αστοχία οφείλεται σε θραύση του σύνθετου πολυμερούς, της οποίας έχει ήδη προηγηθεί διαρροή του χάλυβα. Αν το ποσοστό του εξωτερικού οπλισμού είναι σχετικά υψηλό, η αστοχία οφείλεται σε θραύση του σκυροδέματος ενώ ο χάλυβας μπορεί να διαρρεύσει ή όχι, ανάλογα με το ποσοστό του.[3,5]

Στους προαναφερθέντες μηχανισμούς αστοχίας προστίθενται και οι μηχανισμοί που σχετίζονται με την απώλεια συνάφειας. Διακρίνονται οι παρακάτω περιπτώσεις :

- i. Διάδοση οριζοντίων ρωγμών στη διεπιφάνεια μεταξύ του σκυροδέματος και του σύνθετου υλικού.

Μπορεί να οφείλονται [5] :

- σε ενδεχόμενες ατέλειες στην εφαρμογή της εποξειδικής ρητίνης
- στην ενδεχόμενη ανάπτυξη κατακόρυφων ρωγμών λόγω κάμψης
- σε τοπική αποκόλληση του συνθέτου υλικού όταν η επιφάνεια του σκυροδέματος δεν είναι τελείως επίπεδη
- σε καταπόνηση του μέλους σε κόπωση

Υπεύθυνες για τη διάδοση τέτοιου είδους ρωγμών είναι κυρίως οι διατμητικές τάσεις στη στρώση της εποξειδικής ρητίνης.

- ii. Αποκόλληση του σύνθετου υλικού λόγω του κατακόρυφου και οριζόντιου ανοίγματος ενδεχομένων λοξών (διατμητικών) ρωγμών.
- iii. Διατμητική αστοχία της στρώσης του σκυροδέματος μεταξύ του οπλισμού ενίσχυσης και του υπάρχοντος διαμήκους οπλισμού, κοντά στα άκρα του σύνθετου υλικού.[5]

Σύμφωνα με τα παραπάνω, για σχετικά υψηλά ποσοστά οπλισμού ενίσχυσης οι αποκολλήσεις των σύνθετων υλικών συνήθως προηγούνται των κλασσικών μηχανισμών. Για

το λόγο αυτό θεωρείται αναγκαία η αγκύρωση των σύνθετων υλικών με μηχανικούς τρόπους, όπως η εξωτερική περίσφιξη των άκρων των υλικών μέσω κατακόρυφου εξωτερικού οπλισμού. Τέτοιου είδους αγκυρώσεις είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές και αποτρέπουν αστοχίες που οφείλονται σε απώλεια συνάφειας.[5]

Η αποτελεσματικότητα της τεχνικής ενίσχυσης είναι ιδιαίτερα μεγάλη για μέλη με σχετικά μικρά ποσοστά υπάρχοντος οπλισμού. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται υλικά με ίνες γυαλιού ή αραμιδίου αποκλείεται το ενδεχόμενο εμφάνισης μηχανισμού αστοχίας λόγω θραύσης των υλικών αυτών (λόγω της μεγάλης μήκυνσης θραύσης που τα χαρακτηρίζει). Χαρακτηριστικό είναι ότι για την περίπτωση ενίσχυσης με υλικά από ίνες άνθρακα, η πλαστιμότητα αυξάνει με το ποσοστό οπλισμού ενίσχυσης, πράγμα που δεν ισχύει σε περιπτώσεις ενίσχυσης με χαλυβοελάσματα. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση που το ποσοστό οπλισμού ενίσχυσης είναι μικρότερο αυτού που αντιστοιχεί στη μετάβαση από το μηχανισμό διαρροή χάλυβα - θραύση σκυροδέματος στο μηχανισμό διαρροή χάλυβα – θραύση του σύνθετου φύλλου.[5]

Στις σπάνιες σχετικά περιπτώσεις ενίσχυσης μελών σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα από την κατασκευή τους (οπότε και οι ερπυστικές παραμορφώσεις δεν έχουν αναπτυχθεί πλήρως) σημαντικό ρόλο αποτελεί ο τύπος και το ποσοστό του εξωτερικού οπλισμού στις χρόνιες παραμορφώσεις δοκού οπλισμένου σκυροδέματος. Έτσι σε μακροχρόνιες δράσεις εξαιρετικά καλή συμπεριφορά παρουσιάζουν τα υλικά με ίνες άνθρακα τα οποία χαρακτηρίζονται από ουσιαστικά μηδενικές ερπυστικές παραμορφώσεις. Σχεδόν εξίσου ικανοποιητική είναι και η συμπεριφορά των υλικών με ίνες γυαλιού, τα οποία όμως χάνουν ποσοστό μεγαλύτερο από 50% της βραχυχρόνιας ελκυστικής αντοχής τους όταν τα φορτία είναι μακροχρόνια. Αντίθετα, υλικά με ίνες αραμιδίου αναπτύσσουν σημαντικές ερπυστικές παραμορφώσεις σε διάστημα μερικών ωρών ή ημερών και επηρεάζουν δυσμενώς τα βέλη κάμψης. Σημειωτέων, τα μικρά ποσοστά οπλισμού ενίσχυσης μειώνουν σημαντικά τόσο τα βραχυχρόνια όσο και τα μακροχρόνια, λόγω ερπυσμού, βέλη κάμψης. Συμπερασματικά, τα σύνθετα υλικά με ίνες άνθρακα εμφανίζουν σαφή πλεονεκτήματα έναντι των υπολοίπων, τουλάχιστον σε ότι αφορά μακροχρόνιες δράσεις.[3,5]

2.1.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Η ενίσχυση σε διάτμηση εξασφαλίζεται μέσω της επικόλλησης υφάσματος σε διεύθυνση κάθετη προς αυτή των δοκών.



Σχήμα 3: Ενίσχυση δοκού σε διάτμηση [15]

Με την εν λόγω ενίσχυση επιτυγχάνεται [10] :

- Αύξηση της διατμητικής αντοχής
- Δραστική μείωση της πιθανότητας ψαθυρής αστοχίας

- Σημαντική βελτίωση της συμπεριφοράς των δοκών σε ανακυκλιζόμενες φορτίσεις (σεισμούς) και αύξηση της πλαστιμότητας.

Η ενίσχυση μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη μορφή λωρίδων ή συνεχούς υφάσματος σε σχήμα U στις πλευρές και στην κάτω παρειά της δοκού. Αν και οι κλειστοί τύποι ενίσχυσης αποτελούν την βέλτιστη λύση από άποψη μηχανικής συμπεριφοράς, αυτό δεν είναι εφικτό στις περισσότερες περιπτώσεις δοκών, λόγω της ύπαρξης πλακών και άλλων στοιχείων στηριζόμενων σε αυτές που δεν επιτρέπουν το τύλιγμα του υφάσματος πάνω από την παρειά της δοκού.[1,10]

Σε σχέση με τις συμβατικές επεμβάσεις ενίσχυσης, όπως είναι τα μεταλλικά ελάσματα, τα υφάσματα παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα :

- Ευκολία και ταχύτατη εφαρμογή
- Αύξηση της αντοχής των δομικών στοιχείων χωρίς μεταβολή της γεωμετρίας ή αύξηση της δυσκαμψίας τους.
- Ανθεκτικότητα στο χρόνο και προστασία του οπλισμού από την υγρασία και τη διάβρωση.[10,14]

ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Για την προετοιμασία του υποστρώματος εφαρμόζεται ότι αναφέρθηκε στην διαδικασία ενίσχυσης κάμψης.

Οι υφιστάμενες ρηγματώσεις αποκαθίστανται με την βοήθεια ρητινενέσεων.

Η σωστά προετοιμασμένη επιφάνεια επαλείφεται με την εποξειδική ρητίνη. Το ύφασμα από ίνες άνθρακα κόβεται με ψαλίδι στις απαιτούμενες διαστάσεις, τοποθετείται προσεκτικά, καλά τεντωμένο στη νωπή επίστρωση και πιέζεται σχολαστικά με πλαστικό ρολό, για καλύτερη επαφή με το υπόστρωμα, πλήρη εμποτισμό του και απομάκρυνση των φυσαλίδων αέρα. Αν ακόμη παραμένουν στεγνά σημεία στο ύφασμα, τα σημεία αυτά επαλείφονται και εξωτερικά με εποξειδική ρητίνη, ώστε ολόκληρο το ύφασμα να είναι τέλεια εμποτισμένο.[10,13]

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

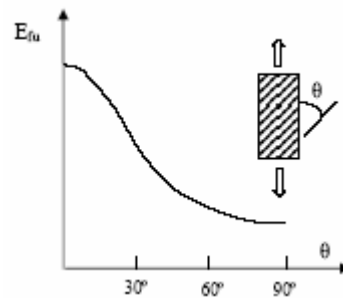
Ισχύουν οι ίδιες παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην ενίσχυση σε κάμψη.

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗΣ ΔΟΚΟΥ

Λόγω της σχετικής πολυπλοκότητας των τάσεων που καλούνται να μεταφέρουν τα σύνθετα υλικά στην περίπτωση διάτμησης, και με δεδομένη την πολύ μικρή αντοχή και δυσκαμψία των υλικών με ίνες μίας διεύθυνσης, επιβάλλεται η χρήση ινών σε δύο τουλάχιστον διευθύνσεις. Έτσι για την ενίσχυση σε διάτμηση χρησιμοποιούνται κυρίως ελάσματα, τα οποία και επικολλώνται στις εξωτερικές επιφάνειες με τις ίνες κατά το δυνατόν παράλληλες στις τροχιές των κύριων τάσεων, δηλαδή περίπου κάθετα στις πιθανές ρωγμές.[3,5]

Επιβάλλεται δηλαδή η χρήση ινών σε δύο τουλάχιστον διευθύνσεις. Σύμφωνα λοιπόν και με τις τροχιές των κύριων τάσεων, τα φύλλα με ποσοστό ινών της τάξης του 30-50 %

επικολλώνται σε γωνία περίπου 45° ως προς τον άξονα του μέλους και σε κάποιο μικρότερο ποσοστό της τάξης του 10-20 % στην εγκάρσια διεύθυνση.[5,15]



Σχήμα 4 : Διάγραμμα μέτρου ελαστικότητας – γωνίας ινών για Ι.Ο.Π. [15]

Με την προϋπόθεση ότι δεν εμφανίζονται άλλες μορφές αστοχίας των ινοπλισμένων πολυμερών, όπως είναι η αποκόλληση τους, η προσέγγιση του προβλήματος έγκειται στην θεώρηση των τάσεων στους εξωτερικούς οπλισμούς ίσες με μια επιτρεπόμενη τιμή, που δίνεται σαν κάποιο ποσοστό της αντοχής των οπλισμών αυτών στην κύρια διεύθυνση των ινών. Η ανεπιθύμητη πρόωγη αποκόλληση από την επιφάνεια του σκυροδέματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι η ποιότητα (εφελκυστική αντοχή) της επιφάνειας του σκυροδέματος, το μέτρο ελαστικότητας των σύνθετων υλικών, το γεωμετρικό ποσοστό τους και ο βαθμός στερέωσης τους στο σκυρόδεμα με μηχανικούς τρόπους (όπως αγκύρια στα άκρα), πέραν της εποξειδικής ρητίνης.

Αποτέλεσμα του οπλισμού ενίσχυσης είναι η σαφώς βελτιωμένη συμπεριφορά των μελών, χαρακτηριστικό της οποίας είναι η μετάβαση από τον ψαθυρό μηχανισμό διατμητικής αστοχίας στο μηχανισμό αστοχίας λόγω κάμψης. Ενδεικτική είναι επίσης η λιγότερο πλαστική συμπεριφορά του μέλους με το υψηλότερο ποσοστό ενίσχυσης έναντι αυτού με το χαμηλότερο.[5]

Συμπερασματικά, προέκυψε ότι η διατμητική αντοχή των δοκών αυξάνει σημαντικά μετά την ενίσχυσή τους με σύνθετα υλικά. Η αποδοτικότητα όμως των σύνθετων υλικών ελέγχεται από τον μηχανισμό αστοχίας τους. Επίσης η εφαρμογή σύνθετων υλικών έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ακαμψίας των δοκών, αλλά και τον ψαθυρό μηχανισμό αστοχίας τους το οποίο μπορεί να αλλάξει όταν το σύνθετο υλικό είναι επαρκώς αγκυρωμένο και η αύξηση της διατμητικής αντοχής είναι τέτοια ώστε η κατασκευή να αστοχήσει τελικά σε κάμψη (πλάστιμη αστοχία).[5]



Σχήμα 5 : Ενδεικτικοί τρόποι ενίσχυσης σε διάτμηση [15]

2.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΩΝ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ

Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εξαιρετικές περιπτώσεις όπως [12,14] :

- Όταν είναι τελείως απαγορευτική η αύξηση των διαστάσεων μίας δοκού.
- Όταν η ενίσχυση γίνεται εντελώς τοπικά.
- Όταν τα στοιχεία του φέροντα οργανισμού που έχουν ρηγματωθεί πρέπει να αποκατασταθούν και να ενισχυθούν με την επικόλληση λεπτών μεταλλικών ελασμάτων στην επιφάνειά τους .

Με την εφαρμογή της μεθόδου επιτυγχάνεται [12,14]:

- η αύξηση της καμπτικής ικανότητας και ακαμψίας
- η μείωση των παραμορφώσεων
- η μείωση της αναμενομένης ρηγμάτωσης



Σχήμα 6 : Ενίσχυση δοκού με μεταλλικό έλασμα [15]

Το μεγαλύτερο πρόβλημα της μεθόδου εντοπίζεται στις ακραίες περιοχές των ελασμάτων όπου παρατηρείται ιδιαίτερα αυξημένη συγκέντρωση ορθών και διατμητικών τάσεων, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε πρόωρη αστοχία του ενισχυμένου μέλους, πριν δηλαδή εξαντλήσει την καμπτική του φέρουσα ικανότητα ακόμα και σε μεγέθη σχεδιασμού. Τέτοια μορφή αστοχίας δεν απαντάται σε συνηθισμένες - μη ενισχυμένες - δοκούς και συνοδεύεται από έντονη ρηγμάτωση που ξεκινά από το σημείο πέρατος του ελάσματος και συνεχίζεται οριζόντια στο επίπεδο των εσωτερικών ράβδων οπλισμού της δοκού. Σε πολλές περιπτώσεις η εξέλιξη της ρηγμάτωσης λαμβάνει χώρα ταχύτατα με αποτέλεσμα να μην 'προειδοποιεί' για την επερχόμενη αστοχία, γεγονός που είναι ανεπιθύμητο.[7]

Για τα ελάσματα προτιμάται ο ανοξείδωτος χάλυβας. Πρέπει να είναι λεπτά για να μην έχουν τάση αποκολλήσεως και επίσης να είναι εύκαμπτα ώστε να κολλήσουν καλά και να συνεργασθούν με την παλαιά δοκό.

Τα ελάσματα τα συγκολλούμε στο εφελκόμενο πέλμα των δοκών, ώστε να αναλάβουν ροπές κάμψης ή στις κατακόρυφες παρειές των δοκών, ώστε να παραλάβουν διατμητικές δυνάμεις, είτε στο πέλμα και στις παρειές συγχρόνως.

Η επικόλληση των χαλυβοελασμάτων πάνω στην επιφάνεια της δοκού εξασφαλίζεται με τη χρήση ενέσιμων εποξειδικών ρητίνων .[12]

ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Η πλήρης διαδικασία αποκατάστασης έχει ως εξής :

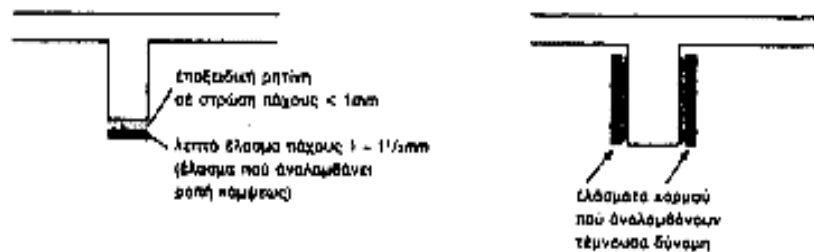
Εξομάλυνση της επιφάνειας του σκυροδέματος που θα έρθει σε επαφή με το συγκολλητικό μέσο.

Η επιφάνεια του σκυροδέματος λειαίνεται με μηχανικά μέσα και καθαρίζεται επιμελώς με πεπιεσμένο αέρα και ακολουθείται στέγνωμα.

Εκτράχυνση της εσωτερικής επιφάνειας των χαλυβοελασμάτων με αμμοβολή.

Επάλειψη της επιφάνειας του σκυροδέματος με στρώση εποξειδικής ρητίνης κατάλληλου ιξώδους και λεπτού πάχους της τάξης του 1 mm.

Ακολουθως εφαρμόζεται το λεπτό έλασμα που συμπιέζεται ομοιόμορφα επί 24 ώρες τουλάχιστον με χρήση σφικτήρων. [12,13]



Σχήμα 7 : Εφαρμογή ελάσματος στην δοκό [15]

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

Για την αποφυγή θερμοκρασιακών συστολοδιαστολών στο μεταλλικό έλασμα συνίσταται η προϋπάρχουσα επιφάνεια σκυροδέματος να αποκατασταθεί με ένα ισχυρό κονίαμα πάχους τουλάχιστον 2 cm ενισχυμένο με την ρητίνη.

Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη διάρκεια του χρόνου εφαρμογής σε σχέση με τη διάρκεια ζωής του υλικού για τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, ώστε να μην πήξει το υλικό όσο διαρκεί η διαδικασία της ρητινέωσης.[12,14]

ΜΟΡΦΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Στην παρακάτω ενότητα περιγράφεται το πρόβλημα της απόσχισης στις ακραίες περιοχές που παρουσιάζει μια ενισχυμένη δοκός με χαλύβδινα επικολητά ελάσματα. Δίνεται έμφαση στις κύριες μορφές απόσχισης καθώς και στις αιτίες που τις προκαλούν, ενώ γίνεται αναφορά στον επιθυμητό τρόπο αστοχίας των ενισχυμένων δοκών.

Το ενισχυμένο μέλος επιδιώκεται να παρουσιάζει καμπτική αστοχία ανάλογη με αυτή των μη ενισχυμένων δοκών, εξαντλώντας την αντοχή του σε κάμψη τόσο σε επίπεδο σχεδιασμού όσο και σε επίπεδο τελικής κατάστασης αστοχίας. Η ρηγματώση πρέπει να είναι ομοιόμορφα διανεμημένη, παρουσιάζοντας κατακόρυφες καμπτικές ρωγμές, και το εξωτερικό επικολητό έλασμα πρέπει να παραμορφώνεται παράλληλα με το εφελκόμενο

πέλμα της δοκού παρουσιάζοντας όλκιμη συμπεριφορά. Ανάλογη συμπεριφορά πρέπει να παρουσιάζουν και οι εσωτερικοί ράβδοι οπλισμού. Ιδιαίτερα ανεπιθύμητη είναι η αστοχία στη διεπιφάνεια ελάσματος-δοκού, δηλαδή το 'ξεκόλλημα' και η απομάκρυνση του ελάσματος από τη δοκό. Γίνεται επομένως αντιληπτό ότι η ενίσχυση θεωρείται επιτυχής όταν το σύνθετο στοιχείο παρουσιάζει απόλυτα ομοιόμορφη συμπεριφορά σαν να ήταν ένα σώμα.[8,9]

Οι δύο κύριες μορφές αστοχίας που περιγράφουν το φαινόμενο της απόσχισης είναι η διατμητική και η καμπτική απόσχιση.

- Ο διατμητικός τύπος απόσχισης είναι η πιο επικίνδυνη μορφή αστοχίας και οφείλεται σε έντονα διατμητικές τάσεις που συγκεντρώνονται στις περιοχές πέρατος των ελασμάτων λόγω σχετικά ισχυρής τέμνουσας. Επομένως τέτοια μορφή αστοχίας αναμένεται σε σχετικά χαμηλές τιμές του λόγου M/V (καμπτικών ροπών / διατμητικών δυνάμεων) και ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της είναι η ταχύτατη ανάπτυξη εκτεταμένων διαγώνιων διατμητικών ρωγμών, που ξεκινούν από την περιοχή ρηγμάτωσης απόσχισης και που τελικά οδηγούν σε διατμητική αστοχία της δοκού.
- Ο καμπτικός τύπος απόσχισης αντίστοιχα, εμφανίζεται σε συνθήκες έντονης κάμψης με σχετικά μεγάλες τιμές του λόγου M/V και συνοδεύεται με έντονες κατακόρυφες καμπτικές ρωγμές, που ξεκινούν από την περιοχή ρηγμάτωσης λόγω απόσχισης και επεκτείνονται προοδευτικά με την αύξηση του φορτίου έως την τελική καμπτική αστοχία του ενισχυμένου μέλους.[8,9]

ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΤΩΝ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ

Η επιλογή του πάχους είναι ένα κρίσιμο σημείο καθώς οι μεταβολές του επηρεάζουν σημαντικά την αντοχή, την πλαστιμότητα καθώς και τον τρόπο αστοχίας. Συγκεκριμένα, όσο αυξάνει το πάχος του ελάσματος αυξάνουν οι διατμητικές κυρίως τάσεις της διεπιφάνειας στις ακραίες περιοχές, με αποτέλεσμα να μειώνεται η μέγιστη αντοχή της δοκού σε πρόωρη αστοχία.[6]

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο τρόπος αστοχίας μίας δοκού όταν ενισχύεται με ινοπλισμένα πολυμερή, με σκοπό την αύξηση της καμπτικής αντοχής, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ποσοστό εξωτερικού οπλισμού. Δηλαδή για υψηλά ποσοστά οπλισμού οι αποκολλήσεις των σύνθετων φύλλων προηγούνται των κλασσικών μηχανισμών. Έτσι, η αποτελεσματικότητα της μεθόδου αυτής είναι σημαντική για μέλη με μικρά ποσοστά υπάρχοντος οπλισμού. Για ίνες γυαλιού ή αραμιδίου αποκλείεται η πιθανότητα αστοχίας λόγω θραύσης των υλικών αυτών.

Όταν η δοκός ενισχύεται με ινοπλισμένα πολυμερή, με σκοπό την αύξηση της διατμητικής αντοχής, βέλτιστη λύση θα αποτελούσαν κλειστοί τύποι ενίσχυσης, όμως αυτό δεν είναι εφικτό. Έτσι χρησιμοποιούνται τα ινοπλισμένα πολυμερή σχήματος U σε δύο τουλάχιστον διευθύνσεις.

Στα χαλύβδινα ελάσματα υπάρχει πρόβλημα στις ακραίες περιοχές επειδή εκεί συγκεντρώνονται υψηλές τιμές ορθών και διατμητικών τάσεων, που ίσως οδηγήσουν σε πρόωρη αστοχία του ενισχυμένου μέλους. Είναι δηλαδή ανεπιθύμητη η αστοχία στη διεπιφάνεια ελάσματος – δοκού, αφού η ενίσχυση θεωρείται επιτυχής όταν το σύνθετο στοιχείο έχει ομοιόμορφη συμπεριφορά σαν να ήταν ένα σώμα. Τέλος, ο διατμητικός τύπος απόσχισης είναι η πιο επικίνδυνη μορφή αστοχίας στο μέθοδο αυτή.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Δρίτσος Σ. , **Ενισχύσεις / Επισκευές Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος**, Εκδ. Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2004.
2. **Μέθοδος Διαστασιολόγησης Ενισχύσεως Στοιχείων Οπλισμένου Σκυροδέματος με Χαλύβδινα Επικολλητά Ελάσματα**. D.Van Gemert , J. Dereymaeker, Σ. Κουντούρης, Δ. Πολυζωίδης, Πρακτικά 7^{ου} Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Πάτρα 1985.
3. **Νέα Τεχνική Ενίσχυσης Στοιχείων Οπλισμένου σκυροδέματος με Σύνθετα Υλικά : Διαδικασία Ανάλυσης και Διαστασιολόγησης**, Τριανταφύλλου Θ. , Πρακτικά 13^{ου} Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος , Ρέθυμνο, 1999.
4. **Ενισχύσεις Κατασκευών με Σύνθετα Υλικά – Υπολογισμοί** , Τριανταφύλλου Θ. , Δελτ. Συλ. Πολιτικών Μηχανικών , No.275, 2000.
5. **Ενισχύσεις Κατασκευών Σκυροδέματος με Ινο-Οπλισμένα Πλαστικά Υλικά** , Τριανταφύλλου Θ. , 11^ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος , Κέρκυρα 18-20 Μαΐου 1994.
6. **Structural Behaviour of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Epoxy-Bonded Steel Plates**, Swamy R. N. , Jones R., Bloxham J. W., The Structural Engineer, Vol 65 A, No.2, pp. 59-68, 1987.
7. **The Effect of External Plate Reinforcement on the Strengthening of Structurally Damaged RC Beams**, Jones R., Swamy R.N., Charif A., The Structural Engineer, Vol 67, No 3, pp. 45-56 1989
8. **Premature Failure of Externally Plated Reinforced Concrete Beams**, Oehlers D., Morgan J.P., J. Structural Eng. , ASCE, Vol. 116, No 4, pp. 978-995, 1990.
9. **Reinforced Concrete Beams with Plates Glued to Their Soffits**, Oehlers D.J., J. Structural Eng., ASCE, Vol 118, No.8, pp. 2023-2037. 1992.
10. http://www.isomat.gr/isomat_gr/lisi.asp?id=67
11. http://www.isomat.gr/isomat_gr/lisi.asp?id=68
12. http://www.isomat.gr/isomat_gr/lisi.asp?id=44
13. <http://www.sika.gr/applications/Method%20of%20StatementSikaCarbodur.pdf>
14. <http://www.sika.gr/PDF/Carbodur.pdf>
15. **Multimedia Presentation**, 03/2004, www.sika.gr

