

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΟΥ ΔΟΚΟΥ-ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΦΥΛΛΑ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ (FRP) ΣΕ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΜΕ ΜΑΝΔΥΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.

ΜΠΑΡΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ – ΜΠΑΡΟΥΝΗ ΕΛΛΗ

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η ενίσχυση κόμβων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος και με ινοπλισμένα πολυμερή (FRP). Αρχικά περιγράφονται τα αίτια που προκαλούν βλάβες στους κόμβους δοκών – υποστυλωμάτων και οι μορφές με τις οποίες εκδηλώνονται σε αυτούς. Αναφέρονται επιγραμματικά οι τρόποι επισκευής και ενίσχυσης κόμβων. Αναλυτικότερα, παρουσιάζεται η τεχνική ενίσχυσης κόμβων με μανδύες Ο/Σ, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της καθώς και πειραματικές έρευνες που εξετάζουν την αποδοτικότητά της. Ακολούθως γίνεται αναφορά στα σύνθετα υλικά, συγκεκριμένα στις φυσικές και μηχανικές ιδιότητές τους, καθώς και στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους. Τέλος, παρουσιάζονται πειραματικές έρευνες που αφορούν την τεχνική ενίσχυσης κόμβων με FRP και συγκρίνεται η αποδοτικότητα των δύο μεθόδων.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι κόμβοι, οι περιοχές ένωσης δοκών – υποστυλωμάτων, αποτελούν ένα από τα πιο κρίσιμα τμήματα του φέροντος οργανισμού κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος. Η σχεδίαση και η διαμόρφωση των κόμβων θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε [1]:

- να προλαμβάνεται η ψαθυρή διατμητική αστοχία τους
- να διατηρείται η ακεραιότητά τους έτσι ώστε τα μέλη που συνδέουν να μπορούν να αναπτύσσουν τις αντοχές τους
- να συγκρατείται η μείωση της δυσκαμψίας τους ελαχιστοποιώντας τις ρηγματώσεις στο σκυρόδεμα και εμποδίζοντας την απώλεια δεσμού μεταξύ σκυροδέματος και οπλισμού.

Οι βλάβες στους κόμβους δοκών – υποστυλωμάτων, έστω και στην πρώτη φάση εκδηλώσεώς τους (πρώτες ρηγματώσεις), θα πρέπει να θεωρούνται ιδιαίτερα ανησυχητικές για την κατασκευή και να αντιμετωπίζονται ανάλογα. Η εκδήλωση βλάβης αυτού του τύπου υποβαθμίζει την ακαμψία του φέροντος στοιχείου και οδηγεί σε μη ελεγχόμενες ανακατανομές εντάσεως.

Ειδικότερα, οι εξωτερικοί κόμβοι αποτελούν ένα από τα πλέον ευπαθή στοιχεία των υφισταμένων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Αυτό οφείλεται κυρίως στους εξής λόγους:

- η διατμητική ένταση στους κόμβους είναι ιδιαίτερα υψηλή
- ο σχεδιασμός των κόμβων, μέχρι και σήμερα, δεν αποτελεί αντικείμενο μελέτης της τοπικής έντασης
- οι κόμβοι είναι συχνά περιοχές κακής σκυροδέτησης λόγω μεγάλης πυκνότητας οπλισμών
- οι βλάβες στους κόμβους είναι από τις πλέον κρίσιμες για την ασφάλεια της ακεραιότητας του φορέα.

Υπενθυμίζεται ότι κάθε ρηγμάτωση κόμβου, έστω και πολύ μικρού ανοίγματος ρωγμών, εξετάζεται ως επικίνδυνη και αντιμετωπίζεται ως σοβαρότερη βλάβη σε σύγκριση με άλλα δομικά στοιχεία που έχουν την ίδια εικόνα ρηγμάτωσης. Στην βαθμονόμηση των βλαβών, οι βλάβες στους κόμβους είναι κατά μία κατηγορία υψηλότερη από αυτήν που αντιστοιχεί σε υποστυλώματα με την ίδια εικόνα (εύρος, κατεύθυνση κ.τ.λ.) ρηγμάτωσης. [3]

2. ΒΛΑΒΕΣ ΚΟΜΒΩΝ

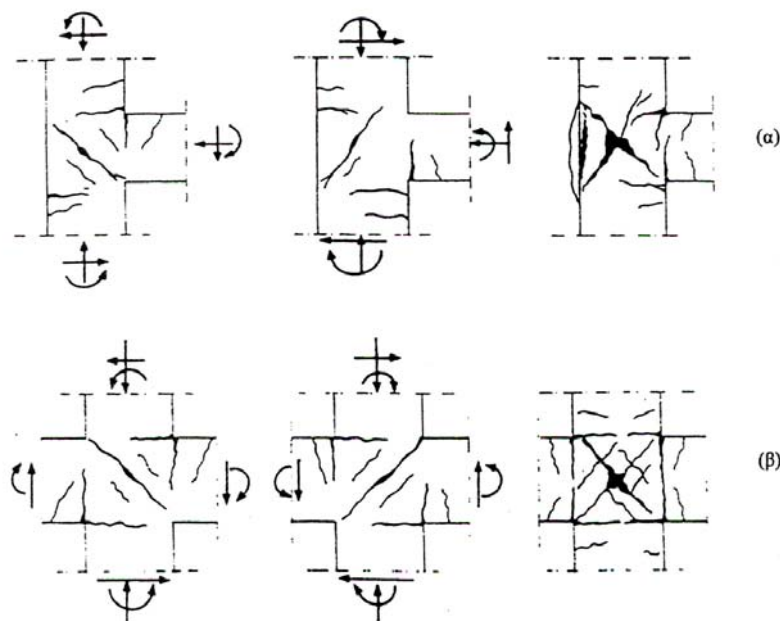
2.1. ΑΙΤΙΑ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ

Οι πρόσφατοι καταστροφικοί σεισμοί στην Ελλάδα αλλά και σε άλλες περιοχές του πλανήτη έδειξαν ότι σε κατασκευές σχεδιασμένες με παλαιότερες αντιλήψεις – κανονισμούς απ' ότι οι σημερινοί, οι κόμβοι πάσχουν κυρίως από έλλειψη εγκάρσιων οπλισμών (συνδετήρων), άρα από έλλειψη ικανοποιητικής περίσφιγξης σκυροδέματος και από μειωμένη διατμητική αντοχή, και από μη ικανοποιητικά μήκη αγκύρωσης διαμήκων οπλισμών. Από τις παραπάνω αδυναμίες η πρώτη οδηγεί τους κόμβους (κυρίως τους εξωτερικούς, π.χ. μορφής T) σε διατμητική αστοχία, η οποία είναι, αν όχι η πιο συνηθισμένη, μία από τις πιο συνηθισμένες βλάβες φορέων οπλισμένου σκυροδέματος, και η δεύτερη σε αστοχία συνάφειας μεταξύ σκυροδέματος και οπλισμού, επίσης συχνά εμφανιζόμενη σε αναφορές βλαβών μετά από σεισμούς. [1]

2.2. ΜΟΡΦΕΣ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ

Οι αστοχίες που μπορούν να εμφανιστούν στην περιοχή του κόμβου σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση είναι οι παρακάτω [2]:

1. Απώλεια επικάλυψης οπλισμού. Η μορφή αυτή οδηγεί σε μείωση της ικανότητας παραλαβής αξονικού φορτίου.
2. Απώλεια πρόσφυσης των διαμήκων οπλισμών των δοκών. Η μορφή αυτή αποτελεί τη σημαντικότερη αιτία απώλειας δυσκαμψίας και ικανότητας απορρόφησης ενέργειας.
3. Ολίσθηση των διαμήκων οπλισμών των υποστυλωμάτων. Όταν αυτή η μορφή αστοχίας συνδυάζεται με την εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων στα υποστυλώματα, τότε η ακεραιότητα του συνολικού φορέα είναι πολύ επισφαλής.
4. Λυγισμός των διαμήκων ράβδων των υποστυλωμάτων. Παρατηρείται κυρίως μετά την απώλεια της επικάλυψης του οπλισμού και τη διαρροή των συνδετήρων.
5. Αστοχία από τέμνουσα. Μπορεί να συνδυαστεί με μία ή περισσότερες μορφές αστοχιών από τις παραπάνω και παρουσιάζεται με την εμφάνιση έντονων χιαστί ρωγμών.
(Σχήμα 1)



Σχήμα 1. Διατμητική αστοχία α) εξωτερικού και β) εσωτερικού κόμβου. [2]

3. ΤΡΟΠΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ – ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΚΟΜΒΩΝ

Οι επισκευές και οι ενισχύσεις στη περιοχή του κόμβου αποτελούν την δυσκολότερη κατασκευαστική διαδικασία λόγω του γεγονότος ότι συντρέχουν πολλά στοιχεία του φορέα. Οι τεχνικές ενίσχυσης ή επισκευής κόμβων που εφαρμόζονται διεθνώς ανάλογα με το βαθμό της βλάβης παρουσιάζονται επιγραμματικά παρακάτω [7]:

1. Επισκευή με ρητινενέσεις
2. Τοπική ενίσχυση με μερική καθαίρεση και αποκατάσταση
3. Τοπική ενίσχυση κόμβου με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος
4. Περίσφιγξη του κόμβου (με χιαστί προεντεταμένα κολλάρα)
5. Επικόλληση χαλύβδινων ελασμάτων
6. Ενίσχυση με σύνθετα υλικά (FRP)

4. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΟΥ ΜΕ ΜΑΝΔΥΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η παλαιότερη και πλέον κοινή τεχνική για την αποκατάσταση και ενίσχυση πλαισιωτών κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι η τοποθέτηση περιμετρικών μανδύων από έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στα υποστυλώματα και στις περιοχές των κόμβων. Η συνέχεια των νέων διαμήκων οπλισμών που τοποθετούνται επιτυγχάνεται με τη διάνοιξη σχετικών οπών στις πλάκες καθώς και με πιθανές ηλεκτροσυγκολλήσεις (υπό προϋποθέσεις). Η απαραίτητη επί τόπου πρόσθεση νέων πυκνών συνδετήρων καθιστά τη μέθοδο περισσότερο αποτελεσματική αλλά ταυτόχρονα ιδιαίτερα επίπονη στην εφαρμογή, χρονοβόρα και με απαραίτητη τη διακοπή της λειτουργίας χρήσης του κτιρίου. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε περιπτώσεις μεγάλης κλίμακας βλάβης στον κόμβο και στα συμβάλλοντα σε αυτόν δομικά στοιχεία (δοκούς, υποστυλώματα). Διάφοροι ερευνητές από το 1989 και εντεύθεν (Corazao & Durrani 1989, Alcocer & Jirsa 1993, Lowes & Moehle 1999, Tsonos 2001a), έχουν παρουσιάσει σχετικές πειραματικές εργασίες για την αναμφίβολη και προφανή αποτελεσματικότητα της μεθόδου. Ο Tsonos (2001a) έχει

ερευνήσει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου και σε περιπτώσεις εφαρμογής τρίπλευρων και δίπλευρων μανδύων σε κόμβους. [4]

4.1. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Ο πλέον αποτελεσματικός τρόπος ενίσχυσης των κόμβων είναι η κατασκευή μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Συνήθως ο μανδύας αυτός αποτελεί συνέχεια του μανδύα που έχει χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση του υποστυλώματος. Όμως η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί και τοπικά μόνο στην περιοχή των κόμβων. Στα κυριότερα **πλεονεκτήματά** της συγκαταλέγονται τα παρακάτω^{[3], [4]}:

- Αύξηση καμπτικής αντοχής, δυσκαμψίας (μείωση λυγηρότητας) και πλαστιμότητας του κόμβου.
- Βελτίωση διατμητικής αντοχής, ικανότητας παραμόρφωσης καθώς και αγκύρωσης και συνέχειας του οπλισμού.
- Μετά από επαναλαμβανόμενες φορτίσεις χαρακτηρίζονται από μεγάλη διατήρηση αντοχής, ακαμψίας και ιδιαίτερα μεγάλη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας.
- Πολύ καλή συμπεριφορά και αντοχή στο σεισμό.
- Αποτελεί μία από τις πιο παλαιές και δοκιμασμένες μεθόδους ενίσχυσης με αποτέλεσμα την ύπαρξη αρκετών έμπειρων και καταρτισμένων τεχνιτών.
- Αύξηση του βαθμού πυροπροστασίας.

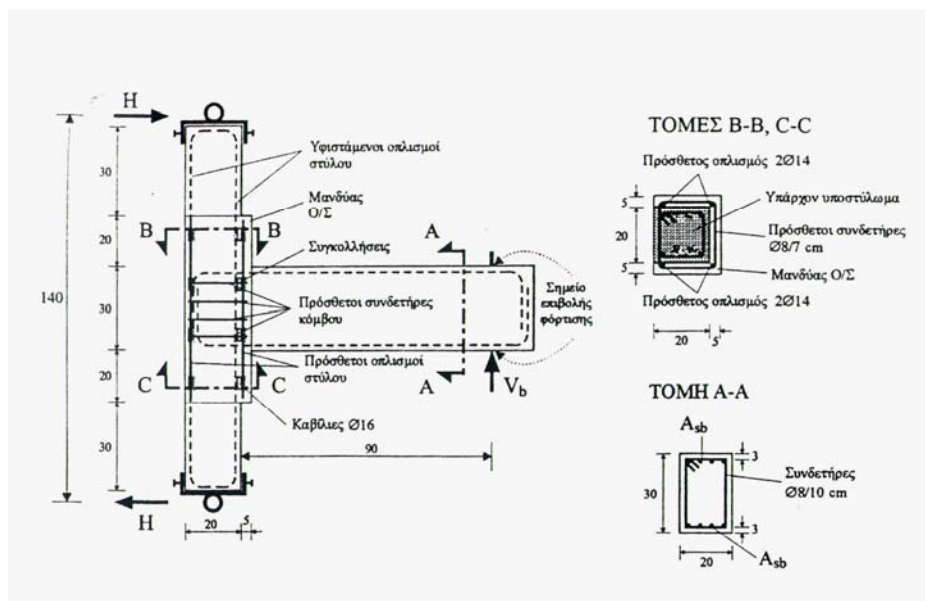
Στα **μειονεκτήματα** της μεθόδου ενίσχυσης κόμβων με μανδύα Ο/Σ συγκαταλέγονται τα εξής^{[3], [4]}:

- Αναποτελεσματικότητα της μεθόδου σε περίπτωση υπέρβασης της φέρουσας ικανότητας του κόμβου λόγω των υφισταμένων φορτίων (πρέπει να γίνει αποφόρτιση του στοιχείου που θα ενισχυθεί).
- Σημαντική δυσκολία εφαρμογής που περιλαμβάνει διατρήσεις πλακών και δοκών, επιτόπου τοποθετήσεις οπλισμών και επίπονες διαδικασίες σκυροδέτησης με έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.
- Αύξηση των διαστάσεων του υπό ενίσχυση στοιχείου λόγω της τοποθέτησης του οπλισμού ενίσχυσης εξωτερικά και της προσθήκης επικάλυψης. Η αύξηση αυτή δεν είναι άλλωστε πάντοτε εφικτή στο επίπεδο της πράξης (αρχιτεκτονικοί περιορισμοί, περιορισμοί ιδιοκτησίας, κ.λ.π.).
- Οι μανδύες είναι διαπερατοί από τα στοιχεία που προκαλούν οξείδωση του μεταλλικού οπλισμού – διάβρωση.
- Προσωρινή διακοπή της χρήσης του δομήματος λόγω εκτεταμένων εργασιών υποστήριξης με εγκατάσταση κριωμάτων.
- Δημιουργία σκόνης και όχλησης στους ενοίκους.
- Αύξηση του κόστους λόγω διακοπής λειτουργίας του κτιρίου κατά τη διάρκεια των εργασιών.

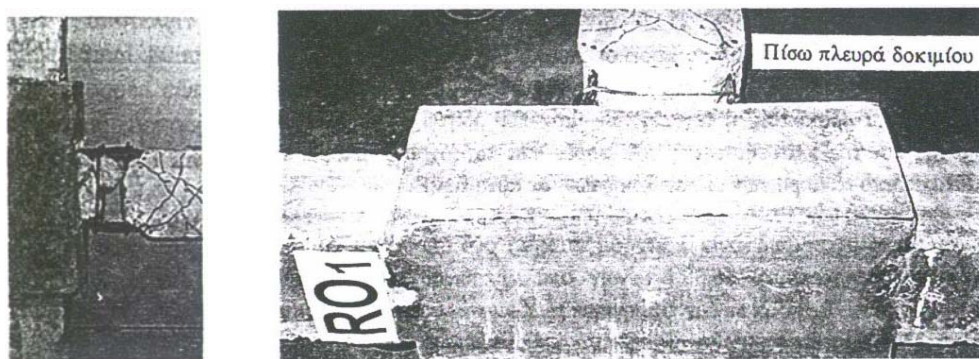
4.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΟΜΒΩΝ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Στο διεθνή χώρο έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες πειραματικές έρευνες σχετικά με την αποδοτικότητα της ενίσχυσης κόμβων με μανδύες Ο/Σ. Στην εργασία των Τσώνου και Γεωργιάδου (1999) παρουσιάζεται η ενίσχυση εξωτερικών κόμβων μορφής T κλίμακας 1:3 με τοπικούς δίπλευρους και τρίπλευρους μανδύες Ο/Σ. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν δεν διέθεταν συνδετήρες στην περιοχή του κόμβου με αποτέλεσμα

κατά την αρχική τους φόρτιση να παρουσιάσουν σοβαρές βλάβες στην περιοχή αυτή με λυγισμό διαμήκων ράβδων υποστύλωματος και αποφλοιώσεις σκυροδέματος. Ο μανδύας, από μη συρρικνόμενο τσιμεντοκονίαμα πολύ υψηλής αντοχής, ο οποίος κατασκευάστηκε για την ενίσχυση των δοκιμίων, κάλυψε την περιοχή του κόμβου και τμήματα του υποστύλωματος, προσφέροντας τη δυνατότητα τοποθέτησης πρόσθετων συνδετήρων και διαμήκων οπλισμών (Σχήμα 2). Στα δοκίμια που ενισχύθηκαν, η αστοχία επικεντρώθηκε στην παρειά της δοκού (εμφάνιση πλαστικής άρθρωσης). Το μέγιστο φορτίο που παρέλαβαν τα ενισχυμένα δοκίμια διπλασιάστηκε, ενώ η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας αυξήθηκε σημαντικά. [6]



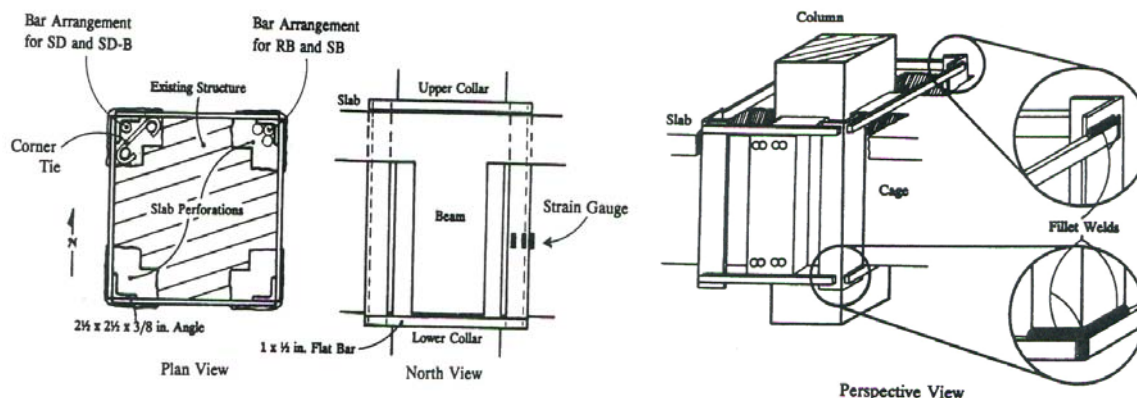
Σχήμα 2. Τρίπλευρος μανδύας Ο/Σ για την ενίσχυση εξωτερικού κόμβου [6]



Σχήμα 3. Μορφή αστοχίας ενισχυμένου δοκιμίου με μανδύα Ο/Σ [6]

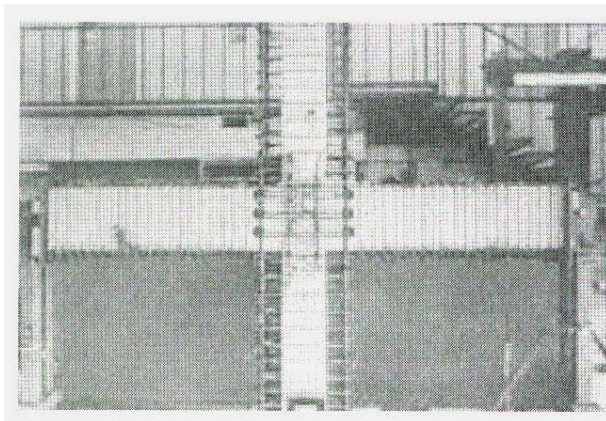
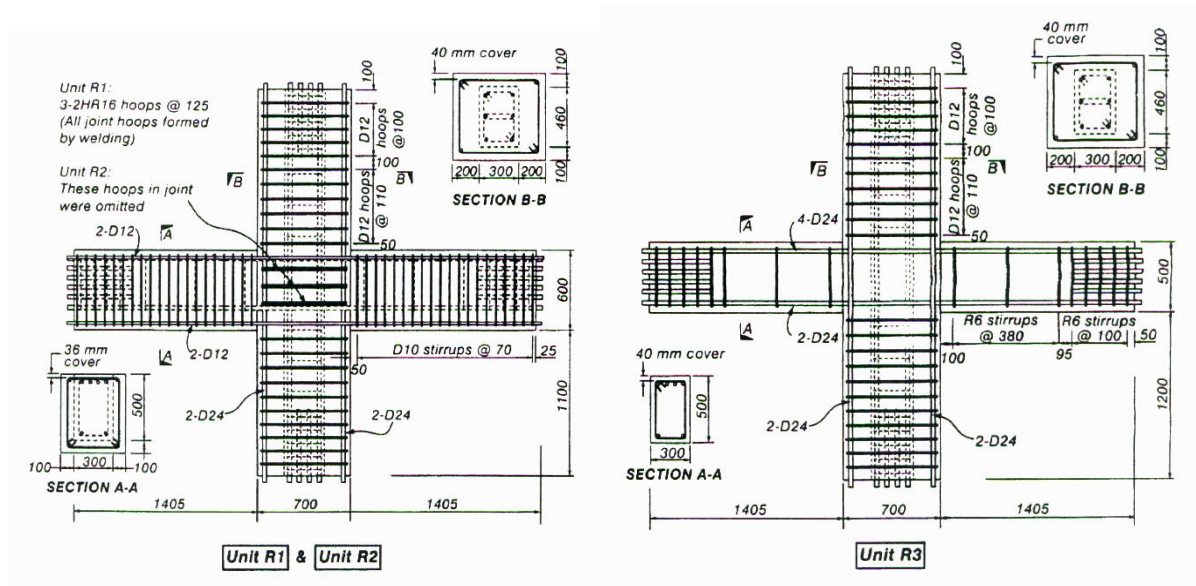
Μία άλλη προσέγγιση της αποδοτικότητας της ενίσχυσης κόμβων με μανδύα Ο/Σ έγινε από τους Alcocer και Jirsa (1993). Χρησιμοποιήθηκαν δοκίμια μορφής εσωτερικού κόμβου δύο διευθύνσεων με ύπαρξη πλάκας, τα οποία ενισχύθηκαν με μανδύα Ο/Σ και μεταλλικό κλωβό. Ο μανδύας κάλυψε τον κόμβο και τμήματα του υποστύλωματος ή τμήματα του υποστύλωματος και της δοκού. Ο μεταλλικός κλωβός, αποτελείται από γωνιακά και επίπεδα ελάσματα για την αποτελεσματικότερη περίσφιγξη του σκυροδέματος (Σχήμα 4). Από τις βασικές μεταβλητές της εργασίας ήταν η ύπαρξη ή μη ύπαρξη βλαβών στα δοκίμια κατά την ενίσχυσή τους και ο τρόπος τοποθέτησης των πρόσθετων διαμήκων οπλισμών στο

υποστύλωμα (ομοιόμορφη κατανομή στην περίμετρο ή συγκέντρωσή τους στις γωνίες). Η προτεινόμενη μέθοδος αποτελεί μία από τις αποτελεσματικότερες μεθόδους ενίσχυσης κόμβων, αν και η εργασία που απαιτείται για την πραγματοποίησή της είναι χρονοβόρα και επίπονη, αφού πρέπει να διατηρηθεί η πλάκα και πολλές από τις λεπτομέρειες όπλισης να πραγματοποιηθούν επιτόπου. Η εφαρμογή της ενίσχυσης μετέβαλλε τη συμπεριφορά των δοκιμίων από ισχυρή δοκό – ασθενές υποστύλωμα σε ισχυρό υποστύλωμα – ασθενή δοκό χωρίς το σκυρόδεμα του κόμβου να αποδιοργανωθεί. [9]

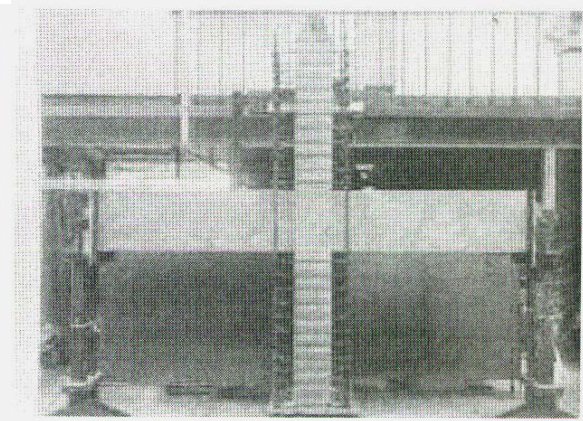


Σχήμα 4. Μανδύας Ο/Σ και μεταλλικός κλωβός στην ενίσχυση κόμβου [9]

Οι Hakuto, Park και Tanaka (2000) παρουσίασαν μία πειραματική έρευνα της αποδοτικότητας της ενίσχυσης επίπεδων εσωτερικών κόμβων με τη χρήση μανδύων Ο/Σ. Οι μανδύες που χρησιμοποιήθηκαν είχαν τις εξής μορφές: α) κάλυψαν όλο το υποστύλωμα, τον κόμβο και τη δοκό προσφέροντας τη δυνατότητα τοποθέτησης πρόσθετων διαμήκων και εγκάρσιων οπλισμών στα στοιχεία στα οποία εφαρμόστηκαν (Σχήμα 5α), β) κάλυψαν μόνο το υποστύλωμα και τον κόμβο (χωρίς πρόσθετους συνδετήρες στον κόμβο) (Σχήμα 5β). Από τα αποτελέσματα των δοκιμών αποδεικνύεται για άλλη μία φορά ότι ο ολόσωμος μανδύας Ο/Σ βελτιώνει σημαντικά όλα τα χαρακτηριστικά σεισμικής συμπεριφοράς των μελών στα οποία εφαρμόζεται, καθώς μεταβάλλεται η μορφή αστοχίας από ψαθυρή διατμητική κόμβου σε πλάστικη καμπτικού τύπου με εμφάνιση πλαστικής άρθρωσης στη δοκό. Ακόμα και η περίπτωση εφαρμογής μανδύα στο υποστύλωμα χωρίς πρόσθετους συνδετήρες στην περιοχή του κόμβου αποδείχτηκε πολύ αποδοτική, αφού η αύξηση των διαστάσεων του κόμβου μείωσε σημαντικά τις διατμητικές τάσεις και βελτίωσε την αγκύρωση των διαμήκων οπλισμών των συντρεχόντων μελών. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα παραπάνω αποτελέσματα προήλθαν από δοκίμια χωρίς αξονικό φορτίο υποστυλώματος με αποτέλεσμα οι πρόσθετες κατακόρυφες ράβδοι του μανδύα να μην κινδυνεύουν από λυγισμό. [10]



Σχήμα 5α. Μανδύας Ο/Σ σε όλα τα μέλη του δοκιμίου [10]



Σχήμα 5β. Μανδύας Ο/Σ στο υποστύλωμα [10]

Από τα πειραματικά αποτελέσματα των παραπάνω εργασιών συμπεραίνουμε ότι η τεχνική ενίσχυσης κόμβων με μανδύες Ο/Σ βελτιώνει σημαντικά όλα τα χαρακτηριστικά σεισμικής συμπεριφοράς τους. Η μορφή αστοχίας μετατρέπεται από ψαθυρή διατμητική σε πλάστιμη καμπτικού τύπου με εμφάνιση πλαστικής άρθρωσης στην περιοχή της δοκού. Τέλος, αν και η εφαρμογή της τεχνικής αυτής απαιτεί χρόνο και είναι επίπονη, αποτελεί έναν από τους πλέον αποτελεσματικούς τρόπους ενίσχυσης των κόμβων.

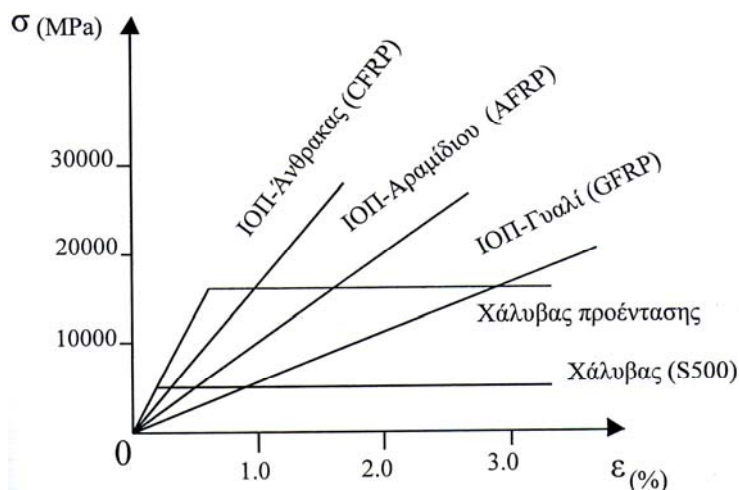
5. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΟΥ ΜΕ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (FRP)

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί διεθνώς αλλά και στη χώρα μας μία νέα τεχνική ενίσχυσης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος, η οποία βασίζεται στη χρήση συνθέτων υλικών (ινοπλισμένων πολυμερών) σε μορφή «λωρίδων» ή «υφασμάτων» (π.χ. Τριανταφύλλου 1994). Τα υλικά αυτά αποτελούνται από συνεχείς ίνες, κυρίως άνθρακα και σπανιότερα γυαλιού ή αραμιδίου (με διάμετρο της τάξεως των 5 – 25 μm), σε συνδυασμό με κάποια ρητίνη (συνήθως εποξειδική), έχουν σαν κύρια χαρακτηριστικά της μηχανικής συμπεριφοράς τους την εξαιρετικά μεγάλη εφελκυστική αντοχή (σε συνδυασμό με μέτρο ελαστικότητας E_f που προσεγγίζει αυτό του χάλυβα) και το πολύ χαμηλό βάρος (περίπου 1/4

του χάλυβα), ενώ δεν διαβρώνονται. Η αντίστοιχη τεχνική ενίσχυσης, η οποία συνίσταται στην μέσω εποξειδικών ρητινών επικόλληση των συνθέτων υλικών στις εξωτερικές επιφάνειες στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος (π.χ. επικόλληση λωρίδων σε εφελκόμενα πέλματα, περιτύλιξη/περίσφιγξη υποστρωμάτων με υφάσματα), χαρακτηρίζεται από εξαιρετική ευκολία, ευελιξία και ταχύτητα εφαρμογής, έτσι ώστε να γίνεται ιδιαίτερα ανταγωνιστική με συμβατικές τεχνικές επεμβάσεων (π.χ. επικόλληση χαλυβοελασμάτων, μεταλλικοί μανδύες) παρά το υψηλότερο κόστος των υλικών. Γι' αυτό άλλωστε και οι εφαρμογές της τεχνικής ενίσχυσης με σύνθετα υλικά αυξάνονται με ραγδαίους ρυθμούς. Εκτιμάται ότι η παγκόσμια χρήση των συνθέτων υλικών σε πεδία τεχνικών έργων παρουσιάζει ετήσιο ρυθμό αύξησης της τάξεως του 3%, με την ετήσια κατανάλωση το έτος 2007 να ξεπερνά τους 300.000 τόνους. [5]

5.1. ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ FRP

Τα σύνθετα υλικά όπως και οι ίνες από τις οποίες αποτελούνται δεν εμφανίζουν, όπως ο χάλυβας, διαρροή αλλά συμπεριφέρονται γραμμικά ελαστικά μέχρι την αστοχία τους, η οποία όμως επέρχεται σε μεγάλες παραμορφώσεις (1,5% έως 4% ανάλογα με το είδος των ινών). Χαρακτηρίζονται από μεγάλη εφελκυστική αντοχή της τάξεως των 1500 – 3000 MPa που είναι 3 – 4 φορές μεγαλύτερη από αυτή του κοινού χάλυβα S500 και τις περισσότερες φορές ξεπερνάει ακόμα και την αντοχή του χάλυβα προέντασης. Οι τιμές αυτές των αντοχών ισχύουν κατά κύριο λόγο για βραχυχρόνια φόρτιση ενώ για μακροχρόνια οι τιμές μειώνονται σημαντικά ανάλογα με το είδος της ίνας. Συγκεκριμένα στις ίνες γυαλιού (GFRP) που το μέτρο ελαστικότητας έχει τη μικρότερη τιμή ~50 GPa και η παραμόρφωση αστοχίας του έχει τη μεγαλύτερη τιμή ίση με 3%, η εφελκυστική τους αντοχή σε μακροχρόνια φόρτιση μειώνεται κατά 40 – 60% της αρχικής. Στις ίνες αραμιδίου (AFRP) οι οποίες έχουν μία ενδιάμεση τιμή μέτρου ελαστικότητας (65 – 120 GPa) και παραμόρφωσης (2 – 3%) η εφελκυστική αντοχή μειώνεται με το χρόνο μέχρι το 50 – 65%. Τέλος, για τις ίνες άνθρακα (CFRP) που έχουν το μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας (35 – 190 GPa) και τη μικρότερη παραμόρφωση αστοχίας (1 – 1,5%) η εφελκυστική τους αντοχή μπορεί να μειωθεί μακροχρόνια μέχρι και 75 – 95%. Οι σχέσεις τάσης – παραμόρφωσης για σύνθετα υλικά σε εφελκυσμό φαίνονται στο σχήμα 6.



Σχήμα 6. Σχέση τάσης – παραμόρφωσης για σύνθετα υλικά σε εφελκυσμό [3]

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

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

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: $E_{FRP} \approx E_f \cdot V_f$

Αντικαθιστώντας τα μέτρα ελαστικότητας με τις αντίστοιχες εφελκυστικές αντοχές μπορεί να θεωρηθεί ότι οι εξισώσεις που δόθηκαν παραπάνω για το μέτρο ελαστικότητας ισχύουν προσεγγιστικά και για την εφελκυστική αντοχή. [3]

5.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Λόγω των εξαιρετικών τους ιδιοτήτων και της ευκολίας με την οποία εφαρμόζονται σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος, τα σύνθετα υλικά αποτελούν μία σοβαρή εναλλακτική λύση ενίσχυσης. Σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να αντικαταστήσουν πλήρως τις παραδοσιακές μεθόδους επέμβασης και όταν επιλέγεται να χρησιμοποιηθούν στις ενισχύσεις κατασκευών αυτό πρέπει να γίνεται μετά από σοβαρή μελέτη πολλών παραγόντων. Τα υλικά αυτά, όπως και κάθε γνωστό κατασκευαστικό υλικό, δεν έχουν μόνο πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Και τα δύο θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη πριν από οποιαδήποτε πρόταση ενίσχυσης.

Στα κυριότερα **πλεονεκτήματα** των συνθέτων υλικών συγκαταλέγονται τα εξής [2]:

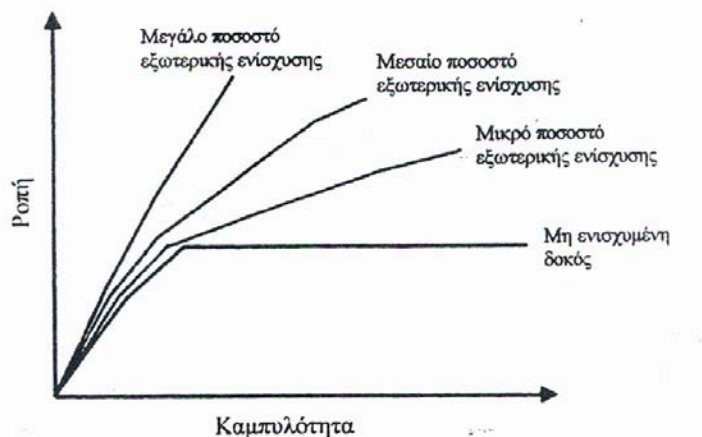
- α) Δεν διαβρώνονται και παρουσιάζουν, κυρίως τα CFRP, μεγάλη αντίσταση σε μη συνηθισμένες περιβαλλοντικές συνθήκες.
- β) Έχουν υψηλή εφελκυστική αντοχή και παραμορφωσιμότητα.
- γ) Χαμηλό βάρος ($\frac{1}{4}$ του χάλυβα).
- δ) Είναι ηλεκτρομαγνητικά ουδέτερα.
- ε) Έχουν εξαιρετική συμπεριφορά σε κόπωση (CFRP και AFRP).
- στ) Μπορούν να παρακολουθήσουν πολλές γεωμετρικές μορφές στοιχείων χωρίς να χρειάζονται ματίσεις (διάθεση υλικού σε διάφορα μήκη, μεγέθη και σχήματα). Κόβονται πολύ εύκολα σε οποιοδήποτε διαστάσεις με τη χρήση ψαλιδιού ή μικρού πριονιού.
- ζ) Διαθέτουν μικρό πάχος με αποτέλεσμα να μην επηρεάζονται οι διαστάσεις και οι δυσκαμψίες των στοιχείων στα οποία επικολλώνται.
- η) Εφαρμόζονται πολύ εύκολα και πολύ γρήγορα ακόμα και σε περιορισμένο χώρο χωρίς να απαιτούνται βαριά συστήματα κριωμάτων και πολλά εργατικά χέρια.

Στα **μειονεκτήματα** συγκαταλέγονται τα εξής [2]:

- α) Υψηλό κόστος υλικού (κυρίως για υλικά με ίνες άνθρακα ή αραμιδίου).
- β) Γραμμική ελαστική συμπεριφορά μέχρι την αστοχία τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ. ενίσχυση δοκών σε κάμψη) παρατηρείται μείωση πλαστιμότητας ενισχυμένου στοιχείου ανάλογα με το ποσοστό ενίσχυσης (Σχήμα 7).
- γ) Μεγάλη διαφορά μεταξύ αξονικής και εγκάρσιας αντοχής (για σύνθετα υλικά με ίνες σε μία διεύθυνση).
- δ) Μείωση εφελκυστικής αντοχής υπό συνεχή τάση (GFRP).
- ε) Μείωση εφελκυστικής αντοχής και μέτρου ελαστικότητας όταν βρίσκονται υπό διαρκή διαβροχή, εκτεθειμένα σε αλκαλικό περιβάλλον ή υπεριώδη ακτινοβολία (GFRP, AFRP).

στ) Μεγάλη ευπάθεια σε πυρκαϊά (ραγδαία μείωση αντοχής και μέτρου ελαστικότητας μήτρας για θερμοκρασίες πάνω από 60 – 80 °C).

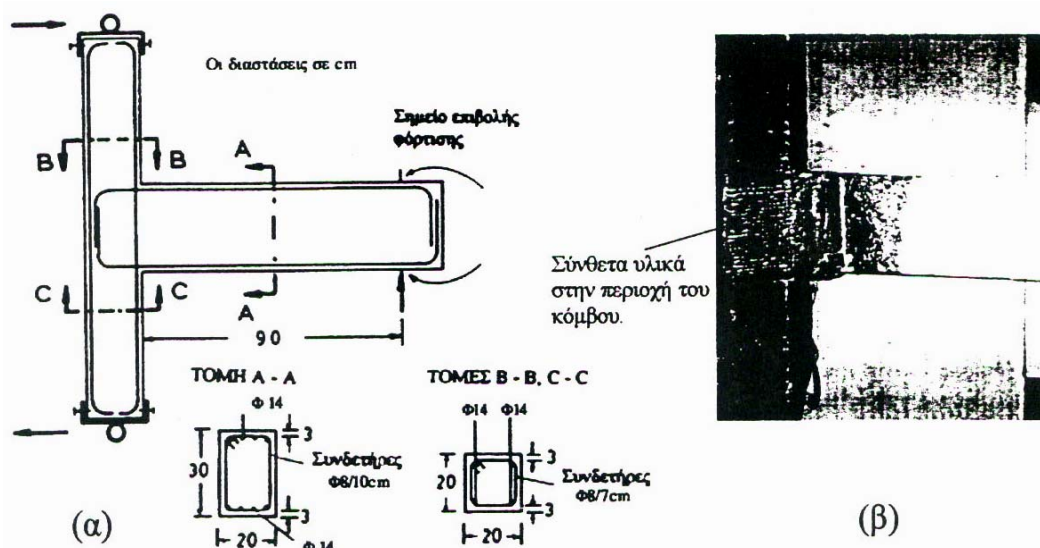
ζ) Μη συμβατοί συντελεστές θερμικής διαστολής με το σκυρόδεμα (από πειραματικές μελέτες δεν φαίνεται σοβαρός λόγος για τη δημιουργία προβλημάτων).



Σχήμα 7. Διάγραμμα ροπών-καμπυλοτήτων για ενίσχυση δοκού σε κάμψη με διάφορα ποσοστά οπλισμών συνθέτων υλικών [2]

5.3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΟΜΒΩΝ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

Η τεχνική ενίσχυσης δομικών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος με σύνθετα υλικά έχει μελετηθεί από διάφορους ερευνητές. Εν τούτοις για το μόνο δομικό στοιχείο για το οποίο δεν έχει μελετηθεί επαρκώς η αποδοτικότητα της ενίσχυσής του με τα εν λόγω υλικά είναι οι κόμβοι δοκού – υποστυλώματος. Στην εργασία των Τσώνου και Στυλιανίδη (1999) παρουσιάζεται δοκιμή σε εξωτερικό κόμβο μορφής T, ο οποίος ενισχύθηκε με σύνθετα φύλλα από ίνες γυαλιού μίας διεύθυνσης. Το δοκίμιο δεν περιείχε συνδετήρες στην περιοχή του κόμβου (Σχήμα 8α), με αποτέλεσμα να έχει μικρή διατμητική αντοχή. Το δοκίμιο αρχικά υποβλήθηκε σε ισχυρή ανακυκλιζόμενη καταπόνηση, με αποτέλεσμα την αστοχία του από διάτμηση στην περιοχή του κόμβου. Στη συνέχεια, το πλήρως αποδιοργανωμένο σκυρόδεμα της περιοχής του κόμβου αποκαταστάθηκε με μη συρρικνούμενο τσιμεντοκονίαμα υψηλής αντοχής και ενισχύθηκε με σύνθετα υλικά (Σχήμα 8β). Η μορφή αστοχίας στο ενισχυμένο δοκίμιο μεταφέρθηκε από την περιοχή του κόμβου στη δοκό, με την εμφάνιση πλαστικής άρθρωσης σε αυτήν. Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων φαίνεται ότι η αντοχή, η δυσκαμψία και η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας στο ενισχυμένο δοκίμιο αυξήθηκαν σημαντικά, δείχνοντας ότι τα σύνθετα υλικά μπορούν να βελτιώσουν αισθητά όλες τις αντισεισμικές ιδιότητες εξωτερικών κόμβων. [7]



Σχήμα 8. Ενίσχυση εξωτερικού κόμβου με φύλλα συνθέτων υλικών από ίνες γυαλιού: α) κατασκευαστική διαμόρφωση δοκιμίου και β) μορφή ενίσχυσης [7]

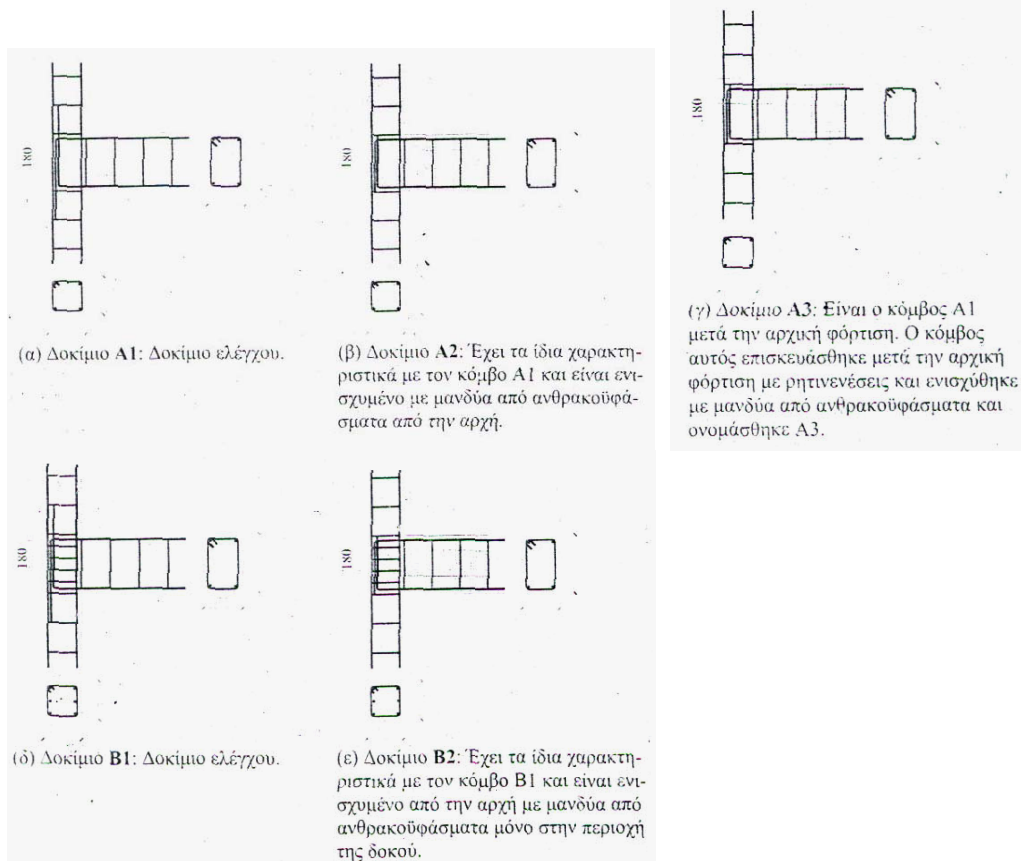
Οι Αντωνόπουλος και Τριανταφύλλου (2000) παρουσίασαν μία πειραματική έρευνα της αποδοτικότητας της ενίσχυσης δοκιμίων μορφής εξωτερικού κόμβου T με λωρίδες και υφάσματα συνθέτων υλικών από ίνες άνθρακα. Για να επικεντρωθεί η αστοχία στην περιοχή του κόμβου δεν τοποθετήθηκε οπλισμός διάτμησης σε αυτή την περιοχή. Τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση και μελετήθηκε η μορφή αστοχίας τους σε σχέση με ένα δοκίμιο αναφοράς. Η αστοχία του δοκιμίου αναφοράς ήταν καθαρά διατμητικού τύπου, ενώ στα ενισχυμένα δοκίμια παρατηρήθηκε σταδιακή αποκόλληση των συνθέτων υλικών από το σκυρόδεμα. Συμπερασματικά, η τεχνική ενίσχυσης κόμβων Ο/Σ με οπλισμούς συνθέτων υλικών είναι αποτελεσματική και εύκολα εφαρμόσιμη. Από τα αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών φαίνεται ότι βελτιώνονται σημαντικά όλα τα αντισεισμικά χαρακτηριστικά των κόμβων (Πίνακας 1). Η μορφή αστοχίας μετατρέπεται από εντελώς ψαθυρή (ξαφνική) σε πιο σταδιακή ψευδοπλάστιμη (κυρίως όταν χρησιμοποιούνται οπλισμοί συνθέτων υλικών σε μορφή υφασμάτων), η οποία χαρακτηρίζεται από τη σταδιακή αποκόλληση των εξωτερικά επικολλημένων οπλισμών. [1]

Δοκίμιο	Μέγιστο φορτίο (kN)		Διαφορά ως προς το δοκίμιο αναφοράς		Απορροφούμενη ενέργεια μέχρι το τέλος των 40mm KNmm	Διαφορά ως προς το δοκίμιο αναφοράς	
	+	-	+ %	- %		KNmm	%
C1	30.82	31.08	---	---	4704	---	---
S1	44.63	40.40	45	30	6015	1311	28
F1	50.04	49.14	62	58	7476	2772	59

Πίνακας 1. Αποτελέσματα Πειραματικής Διαδικασίας [1]

Μία άλλη προσέγγιση του θέματος της αποδοτικότητας της ενίσχυσης κόμβων με σύνθετα υλικά έγινε από τον Καραγιάννη (2006), ο οποίος παρουσίασε τα αποτελέσματα πειραματικού προγράμματος σχετικά με τη συμπεριφορά εξωτερικών κόμβων δοκού – υποστύλωματων ενισχυμένων με φύλλα από ινοπλισμένα πολυμερή με ίνες άνθρακα. Ειδικότερα, συγκρίνονται τα πειραματικά αποτελέσματα 5 δοκιμίων ακραίων κόμβων δοκών – υποστύλωματων (Σχήμα 9), εκ των οποίων τα 3 δοκίμια (A2, A3 και B2) έχουν ενισχυθεί

με ανθρακούφασματα. Τα δοκίμια A1, A2 και A3 δεν είχαν οπλισμό διάτμησης στην περιοχή του κόμβου, ενώ στα B1 και B2 είχαν τοποθετηθεί συνδετήρες στην περιοχή αυτή. Τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε αυξανόμενη ανακυκλιζόμενη φόρτιση και μελετήθηκαν δύο διαφορετικές μορφές – τεχνικές ενίσχυσης με εποξειδικά επικολλημένα ανθρακούφασματα (CFRP). Από τα πειραματικά αποτελέσματα προκύπτει ότι η χρήση των ανθρακούφασμάτων είτε ως αρχική ενίσχυση (δοκίμια A2 και B2), είτε ως ενίσχυση μετά την επισκευή δοκιμίου με βλάβες (δοκίμιο A3) είχε ως αποτέλεσμα τον περιορισμό των βλαβών. Η αστοχία των ενισχυμένων δοκιμίων μεταφέρθηκε στην περιοχή της δοκού που δεν καλυπτόταν από ανθρακούφασματα με τη δημιουργία πλαστικής άρθρωσης. Περιορισμένη τοπική θραύση ινών των φύλλων CFRP παρατηρήθηκε στην περιοχή της σύνδεσης δοκού και υποστυλωμάτων μόνο σε ορισμένα δοκίμια και σε πολύ υψηλές τιμές μετατοπίσεων. Η εφαρμογή των ανθρακούφασμάτων ως προς τον οπλισμό ενίσχυσης μόνο στην κρίσιμη περιοχή της δοκού (B2) δεν βελτίωσε τη συμπεριφορά του δοκιμίου, δεδομένου ότι οι αποκρίσεις των κόμβων B1 (δοκίμιο ελέγχου, χωρίς περίσφιγξη) και B2 (ενισχυμένο δοκίμιο) ήταν περίπου οι ίδιες. Η αστοχία και στις δύο περιπτώσεις επήλθε με τη δημιουργία πλαστικής άρθρωσης, ιδιαίτερα μικρού μήκους, που περιελάμβανε πρακτικά τη διαρροή μιας μόνο διατομής της δοκού, στο σημείο σύνδεσης της δοκού με το υποστύλωμα. [4]

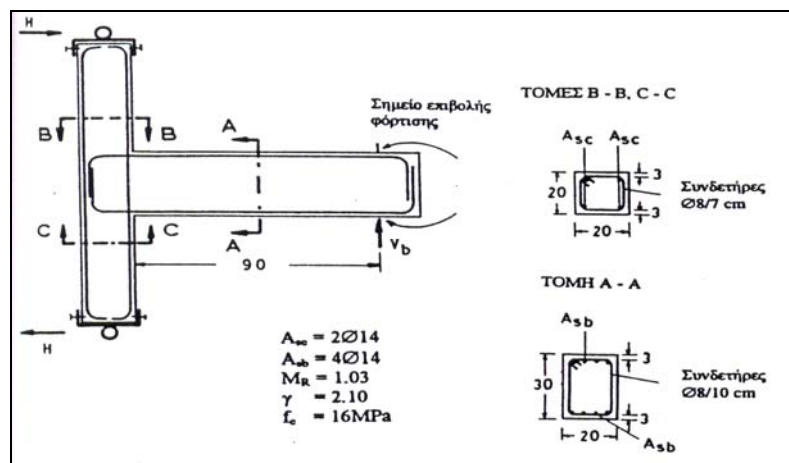


Σχήμα 9. Χαρακτηριστικά δοκιμίων κόμβων [4]

Συμπερασματικά, η τεχνική ενίσχυσης κόμβων με σύνθετα υλικά αυξάνει σημαντικά την αντοχή, τη δυσκαμψία και την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας αυτών. Η μορφή αστοχίας μεταφέρεται από την περιοχή του κόμβου στη δοκό, με την εμφάνιση πλαστικής άρθρωσης σε αυτήν. Επιπλέον, αποτελεί μία εύκολα εφαρμόσιμη μέθοδο που βελτιώνει αισθητά όλες τις αντισεισμικές ιδιότητες των κόμβων.

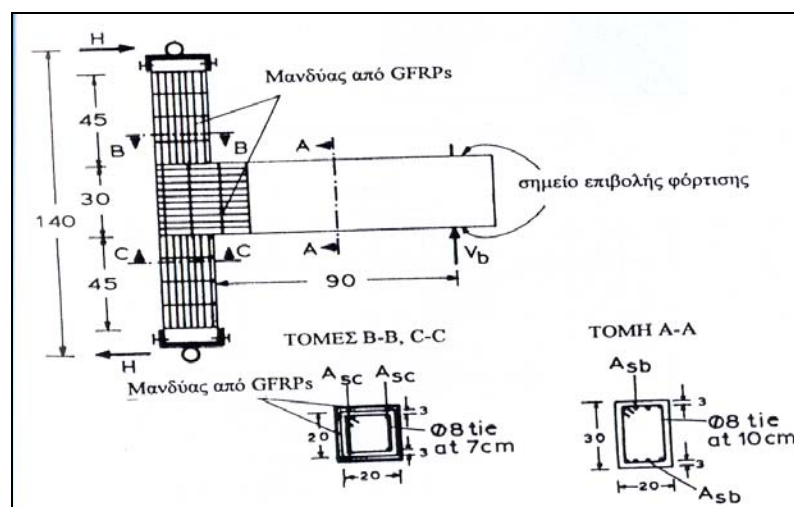
6. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΟΜΒΟΥ ΜΕ ΜΑΝΔΥΑ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΜΕ ΜΑΝΔΥΑ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Στην εργασία των Τσώνου και Στυλιανίδη (2000) έγινε μία πρώτη προσπάθεια σύγκρισης της αποδοτικότητας μετασεισμικής ενίσχυσης κόμβου με μανδύα συνθέτων υλικών με την αποδοτικότητα ενίσχυσης με μανδύα από Ο/Σ. Κατασκευάστηκαν δύο δοκίμια τα οποία είχαν σχεδιασθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε μετά την επιβολή της φόρτισης να επέλθει διατμητικού τύπου αστοχία. Στο Σχήμα 10 φαίνεται η έλλειψη συνδετήρων στο κόμβο ώστε να επιτευχθεί η διατμητική αστοχία. Για τον σχεδιασμό των αρχικών δοκιμίων χρησιμοποιήθηκαν οι συστάσεις της **ACI-ASCE 352**.

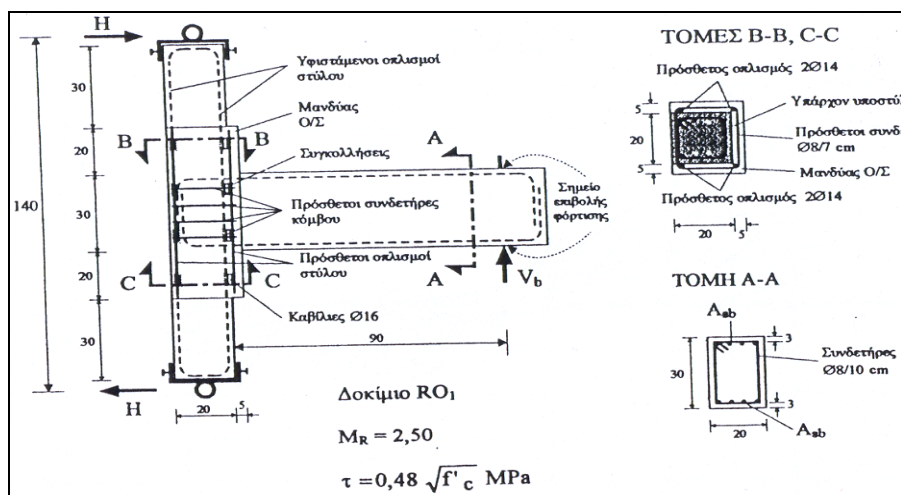


Σχήμα 10. Διαστάσεις και χαρακτηριστικά σχεδιασμού δοκιμίων [8]

Μετά την επιβολή της φόρτισης παρατηρήθηκε αστοχία, με εμφανή τη δημιουργία πλαστικής άρθρωσης, εντός του κόμβου με αποτέλεσμα την πλήρη αποσάθρωση του σκυροδέματος καθώς και τη μείωση της αντοχής, ακαμψίας και ικανότητας απορρόφησης ενέργειας. Κατόπιν, το δοκίμιο L₁ επισκευάστηκε με μανδύες από GFRPs (Σχήμα 11), ενώ το O₁ με τρίπλευρο μανδύα από Ο/Σ (Σχήμα 12).



Σχήμα 11. Λεπτομέρειες ενίσχυσης δοκιμίου FRP_{L1} με σύνθετα υλικά (GFRPs) [8]



Σχήμα 12. Λεπτομέρειες ενίσχυσης δοκιμίου RO₁ με μανδύες από Ο/Σ [8]

Αφού τα δοκίμια επαναφορτίστηκαν, παρατηρήθηκε ότι στο ενισχυμένο με FRP δοκίμιο εμφανίστηκε διαμπερές καμπτικό ρήγμα στη δοκό. Μετά από ορισμένους κύκλους φόρτισης παρουσιάστηκε αποκόλληση των λωρίδων που είχε σαν αποτέλεσμα την μετατόπιση της αστοχίας από τη δοκό στον κόμβο, καθώς και την απότομη πτώση της αντοχής και της ακαμψίας του δοκιμίου. Στο ενισχυμένο δοκίμιο από μανδύα από Ο/Σ οι αστοχία παρουσιάστηκε αμιγώς στη δοκό. Επίσης, παρουσιάστηκε μικρή πτώση της αντοχής σε βρόγχους μεγάλων παραμορφώσεων η οποία προήλθε από το λυγισμό των ράβδων της δοκού λόγω της αποσάθρωσης του σκυροδέματος. [8]

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν παραπάνω και τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών που αναφέρθηκαν προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα σχετικά με τις δύο τεχνικές ενίσχυσης κόμβων Ο/Σ που εξετάστηκαν:

- Η ενίσχυση κόμβων με μανδύα από Ο/Σ αυξάνει θεαματικά την αντοχή, τη δυσκαμψία και την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας των ενισχυμένων κόμβων μεταφέροντας τη δημιουργία της πλαστικής άρθρωσης στη δοκό.
- Οι μανδύες από Ο/Σ ως τεχνική ενίσχυσης κόμβων παρουσιάζουν κατασκευαστικά προβλήματα διότι στην πράξη υπάρχουν τουλάχιστον δύο συντρέχουσες δοκοί στους κόμβους καθώς και η πλάκα οροφής η οποία αποτελεί σοβαρό εμπόδιο για την ορθή υλοποίησή της.
- Η τεχνική ενίσχυσης κόμβων με μανδύα από ινοπλισμένα πολυμερή έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά τα αντισεισμικά χαρακτηριστικά του κόμβου. Συγκεκριμένα, αυξάνεται σημαντικά η αντοχή, η δυσκαμψία και η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας του ενισχυμένου κόμβου. Η μορφή αστοχίας μεταφέρεται από την περιοχή του κόμβου στη δοκό, με την εμφάνιση πλαστικής άρθρωσης σε αυτήν.
- Η αγκύρωση των φύλλων από FRP θα πρέπει να είναι επαρκής ώστε να αποφευχθεί η πρόωγη αποκόλληση τους από το σκυρόδεμα. Επιπλέον, παρουσιάζονται κατασκευαστικές δυσχέρειες από την παρουσία των παρακειμένων δοκών και της πλάκας οροφής.
- Η τεχνική ενίσχυσης κόμβων με σύνθετα υλικά αν και είναι εύκολα εφαρμόσιμη, δεν είναι η πλέον οικονομική μέθοδος λόγω του υψηλού κόστους των φύλλων

ινοπλισμένων πολυμερών. Αντίθετα, οι μανδύες από Ο/Σ αποτελούν μία δυσκολότερα εφαρμόσιμη τεχνική, η οποία όμως είναι πιο οικονομική.

- Οι μανδύες Ο/Σ είναι καλύτερο να εφαρμόζονται σε περιπτώσεις εκτεταμένων βλαβών όπου απαιτείται σημαντική αύξηση της αντοχής. Αντίθετα, σε περιπτώσεις μικρότερων βλαβών η τεχνική ενίσχυσης με FRP είναι πιο αποτελεσματική, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου δεν επιθυμείται η διακοπή της λειτουργίας του κτιρίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Αντωνόπουλος Κ. Π., Τριανταφύλλου Θ. Χ., (2000)
“Ενίσχυση Κόμβων Οπλισμένου Σκυροδέματος με Σύνθετα Υλικά”, Πρακτικά Α’ Ελληνικού Συνεδρίου Συνθέτων Υλικών Σκυροδέματος, σελ. 372 – 382, Ξάνθη.
- [2] Αντωνόπουλος Κ. Π., (2001)
“Ενίσχυση Κόμβων Οπλισμένου Σκυροδέματος με Σύνθετα Υλικά”, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- [3] Δρίτσος Σ. Η., (2006)
“Ενισχύσεις / Επισκευές Κατασκευών Από Οπλισμένο Σκυρόδεμα”, Εκδόσεις Παν. Πατρών, Πάτρα.
- [4] Καραγιάννης Χ. Γ., (2006)
“Επισκευές – Ενισχύσεις Στοιχείων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα. Έμφαση σε Ακραίους Κόμβους Δοκού - Υποστύλωμάτων”, Πρακτικά 15^{ου} Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Τόμ. Α’, σελ. 114 – 140, Αλεξανδρούπολη.
- [5] Τριανταφύλλου Θ. Χ., (1999)
“Νέα Τεχνική Ενίσχυσης Στοιχείων Οπλισμένου Σκυροδέματος με Σύνθετα Υλικά: Διαδικασία Ανάλυσης και Διαστασιολόγησης”, Πρακτικά 13^{ου} Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Τόμ. 1, σελ. 444 – 454, Ρέθυμνο.
- [6] Τσώνος Α. Γ., Γεωργιάδου Σ. Ι., (1999)
“Αποδοτικότητα Τοπικού Δίπλευρου – Τρίπλευρου Μανδύα για την Ενίσχυση Εξωτερικών Κόμβων Πλαισίων από Ο/Σ”, Πρακτικά 13^{ου} Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Τόμ. 1, σελ. 401 – 409, Ρέθυμνο.
- [7] Τσώνος Α. Γ., Στυλιανίδης Κ. Α., (1999)
“Προσεισμική και Μετασεισμική Ενίσχυση Δομικών Υποσυνόλων Οπλισμένου Σκυροδέματος με Χρήση Συνθέτων Υλικών”, Πρακτικά 13^{ου} Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Τόμ. 1, σελ. 455 – 466, Ρέθυμνο.
- [8] Τσώνος Α. Γ., Στυλιανίδης Κ. Α., (2000)
“Σύγκριση Αποδοτικότητας Μετασεισμικής Ενίσχυσης Κόμβου με GFRPs με την Αποδοτικότητα Ενίσχυσης με Μανδύα από Ο/Σ”, Πρακτικά Α’ Ελληνικού Συνεδρίου Συνθέτων Υλικών Σκυροδέματος, σελ. 383 – 395, Ξάνθη.
- [9] Alcocer S. M., Jirsa J. O., (1993)
“Strength of Reinforced Concrete Frame Connections Rehabilitated by Jacketing”, ACI Structural Journal, V. 90, No 3, p. 249 – 261.
- [10] Hakuto S., Park R., Tanaka H., (2000)
“Seismic Load Tests on Interior and Exterior Beam – Column Joints with Substandard Reinforcing Details”, ACI Structural Journal, V. 97, No 1, p. 11 – 25.