

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΑΠΟ FRP(ΙΟΠ) ΚΑΙ ΑΠΟ TRP(IAM).

**ΚΟΚΟΛΙΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ
ΝΤΟΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ-ΒΑΣΙΛΙΚΗ**

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία γίνεται σύγκριση ενίσχυσης υποστυλωμάτων με μανδύες από ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ) και από ινοπλέγματα ανόργανης μήτρας (IAM), σε θεωρητικό και πειραματικό επίπεδο. Στο πρώτο μέρος της εργασίας παρατίθενται, αναλυτικά, τα υλικά και ο τρόπος εφαρμογής των ΙΟΠ και έπειτα των IAM, καθώς και σύγκρισή τους σε αυτά τα θεωρητικά δεδομένα. Ενώ στο δεύτερο μέρος, παρουσιάζονται διάφορες πειραματικές διαδικασίες μαζί με τα αποτελέσματά τους, που μας οδηγούν και στα κατάλληλα συμπεράσματα.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αρχικά, αφού παρουσιαστούν οι βασικοί λόγοι που καθιστούν επιβεβλημένη την ανάγκη ενίσχυσης των υφισταμένων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος, τονίζεται και η ανάγκη αντισεισμικής ενίσχυσης των κρισιμότερων μελών μιας κατασκευής, που είναι τα υποστυλώματα. Τα τελευταία συχνά δεν πληρούν τις απαιτήσεις των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών καθώς χαρακτηρίζονται από ένα σύνολο ανεπαρκειών, όπως ανεπαρκή καμπτική αντοχή, ανεπαρκή διατμητική αντοχή, μειωμένη ικανότητα παραμόρφωσης και αβέβαιη πλαστιμότητα. Επίσης, η συνεχής ανάγκη για ποιοτική και οικονομική βελτιστοποίηση των κατασκευών έχει οδηγήσει την διεθνή επιστημονική κοινότητα στην διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής νέων σύνθετων υλικών στις κατασκευές. Σαν αποτέλεσμα, έχει αναπτυχθεί, τα τελευταία χρόνια, μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος στο ζήτημα αποκατάστασης των κατασκευών, αυτή των προηγμένων σύνθετων υλικών. Προς την κατεύθυνση αυτή, έχει εξελιχθεί η τεχνική επεμβάσεων με ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ), των οποίων η χρήση αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς τόσο διεθνώς όσο και στη χώρα μας. Παρ' όλα τα πλεονεκτήματά τους, έχουν ορισμένες εγγενείς αδυναμίες, τις οποίες έρχεται να καλύψει ένα νέο σύνθετο υλικό με τον όρο Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας (IAM). Σύγκριση των οποίων γίνεται παρακάτω.

2.ΒΛΑΒΕΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ[1],[7],[8]

Τα υποστυλώματα μίας κατασκευής είναι πιθανό υπό κάποιες συνθήκες να παρουσιάσουν ανεπάρκεια αντοχής ή/και πλαστιμότητας (δυνατότητα να δεχτούν αυξημένες αποτελέσματα να γίνεται επιτακτική η ανάγκη ενίσχυσής τους. Ενίσχυση των υποστυλωμάτων γίνεται στις εξής περιπτώσεις:

- Προσαρμογής παλαιών κατασκευών σε νέους κανονισμούς.
- Γήρανσης των δομικών υλικών και διάβρωσης του οπλισμού.
- Κατασκευαστικών ελαττωμάτων (π.χ. ανεπαρκής αριθμός, κατανομή και τοποθέτηση των συνδετήρων).
- Αύξησης των φορτίων ή αλλαγής χρήσης του χώρου.
- Αποκατάστασης μετά από σεισμό.
- Πυρκαγιάς.
- Άλλες περιβαλλοντικές επιδράσεις όπως η υγρασία, η δράση χημικών, οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας και η υπερϊώδης ακτινοβολία.

3.ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (FRP)[1][7]

Μία από τις πολλά υποσχόμενες μεθόδους για ενίσχυση των υποστυλωμάτων είναι η χρήση

των ΙΟΠ(FRP). Τα υλικά αυτά αποτελούνται από οργανικές ή ανόργανες ίνες υψηλής εφελκυστικής αντοχής εμποτισμένες με “θερμοσκληρυνόμενη” ρητίνη. Για τη σύνδεση των συνθετικών υλικών με το ενισχυμένο μέλος χρησιμοποιούνται εποξειδικές κόλλες. Πιο αναλυτικά:

3.1. Ίνες:

Στον κλάδο των οικοδομικών και τεχνικών έργων, οι πιο κοινές χρησιμοποιούμενες ίνες διαμέτρου 5-25 mm είναι :

α) Οι ίνες γυαλιού (με πυκνότητα 2300-2400 kg/m³). Υπάρχουν 4 τύποι υαλονημάτων: τύπου E με μειονέκτημα τη μείωση της αντοχής στο αλκαλικό περιβάλλον του σκυροδέματος, τύπου Z ή AR με μεγάλη αντοχή σε αλκαλικό περιβάλλον, τύπου S με υψηλή αντοχή και υψηλό μέτρο ελαστικότητας.

β) Οι ίνες άνθρακα (με πυκνότητα 1800-1900 kg/m³). Οι τύποι των ανθρακονημάτων διαφέρουν ανάλογα αν παρασκευάζονται από θερμική κατεργασία του πολυακρυλονιτριλίου (υψηλής εφελκυστικής αντοχής και μέτρου ελαστικότητας) είτε μέσω απόσταξης κάρβουνου. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωριστά ή από κοινού με τις ίνες γυαλιού ως υβρίδιο για να αυξηθεί η ακαμψία ενός δομικού μέλους.

γ) Οι ίνες αραμιδίου (με πυκνότητα 1450 kg/m³) διακρίνονται ανάλογα αν προέρχονται από αρωματικό πολυαμίδιο (Κέβλαρ 29-χαμηλού μέτρου ελαστικότητας, Κέβλαρ 49-υψηλού μέτρου ελαστικότητας) ή αρωματικό πολυαιθεραμίδιο, με κύριο πλεονέκτημα την πολύ καλή συμπεριφορά σε κρουστικά φορτία.

3.2. Μήτρα:

Η μήτρα στα σύνθετα υλικά αποτελεί την συγκολλητική ουσία μεταξύ των ινών και είναι υπεύθυνη για την μεταφορά των δυνάμεων προς αυτές. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι πολυμερών που χρησιμοποιούνται ως μήτρες: θερμοσκληρυνόμενα και θερμοπλαστικά. Τα θερμοσκληρυνόμενα (δηλαδή οι εποξειδικές ρητίνες και σπανιότερα ο πολυεστέρας ή βινυλεστέρας) χρησιμοποιούνται στον κλάδο των οικοδομικών και τεχνικών έργων, γιατί συνεισφέρουν στα εξής:

- Συνδέουν τις ίνες μεταξύ τους χημικά και μηχανικά.
- Εξασφαλίζουν τη μεταφορά δυνάμεων στις ίνες μέσω της ανάπτυξης διατμητικής δύναμης στην διεπιφάνεια.
- Καθορίζουν κάποιες μηχανικές ιδιότητες των ινών, όπως η διατμητική και η θλιπτική τους αντοχή.
- Προστατεύουν τις ίνες από διάφορες δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Παρέχουν ανθεκτικότητα και ηλεκτρική μόνωση.

Για την παραγωγή των σύνθετων υλικών χρησιμοποιούνται συχνότερα οι εποξειδικές ρητίνες, σε σύγκριση με πολυεστερικές και βινυλεστερικές. Παρ'ότι οι εποξειδικές ρητίνες είναι ακριβότερες των άλλων τύπων μήτρας, υπερέχουν λόγω των εξαιρετικών μηχανικών χαρακτηριστικών και της μεγάλης ανθεκτικότητας σε δυσμενείς περιβαλλοντικές επιδράσεις.

3.3. Κόλλα:

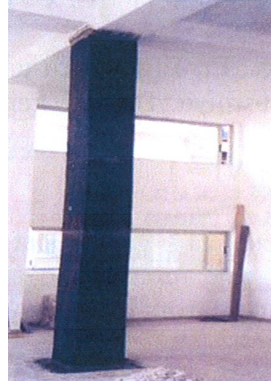
Συχνότερα χρησιμοποιείται η εποξειδική ρητίνη ως κόλλα δυο συστατικών που εφαρμόζεται μεταξύ του υποστρώματος και του σύνθετου υλικού, εξασφαλίζοντας, έτσι, τη συνεργασία τους και τη μεταφορά τάσεων από το πρώτο στο δεύτερο. Η χρήση εποξειδικών ρητινών στις κατασκευές προϋποθέτει την κατανόηση τριών βασικών εννοιών: του «χρόνου εργασιμότητας (pot life)», του «χρόνου εφαρμογής (open time)» και της «θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης T_g (glass transition temperature)».

4. ΠΕΡΙΣΦΥΞΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ

4.1. Ενίσχυση υποστυλωμάτων με FRP [1]

Η εφαρμογή φύλλων ή μανδύων από σύνθετα υλικά γίνεται με τις ίνες τους σε οριζόντια διεύθυνση, η οποία επιφέρει αύξηση της διατμητικής αντοχής του στοιχείου. Εάν ταυτόχρονα

επιθυμούμε και την αύξηση της καμπτικής του αντοχής, πρέπει να τοποθετηθούν φύλλα ή NSM με κατακόρυφη διεύθυνση ινών. Στην περίπτωση που είναι απαραίτητη η αύξηση της φέρουσας ικανότητας σε αξονικό φορτίο στο υποστύλωμα, πρέπει να χρησιμοποιηθούν μανδύες από FRP περιμετρικά του στοιχείου.



Εικόνες 1 και 2: Ενίσχυση υποστυλωμάτων με FRP. [8]

4.2. Τεχνικές εφαρμογής FRP[1],[7],[8]

Βασική τεχνική:

Αρχικά πρέπει να απομακρυνθεί η επιδερμική στρώση του σκυροδέματος έτσι ώστε να καθαριστεί το υπόστρωμα από χαλαρά τμήματα, σοβάδες, χρώματα, λίπη, κτλ. Αυτό επιτυγχάνεται με αμμοβολή, πεπιεσμένο νερό ή με καλέμι. Υφιστάμενες ρηγματώσεις διορθώνονται με τη βοήθεια ρητινώσεων. Στη συνέχεια λειαίνουμε τις γωνίες των υποστυλωμάτων για να μην καταστραφούν οι ίνες των σύνθετων υλικών, με γωνία καμπυλότητας ίση με $r=10-30\text{mm}$. Έπειτα επαλείφεται ένα παχύρρευστο συγκολλητικό υλικό, το οποίο είναι συνήθως εποξειδικός στόκος, αποτελούμενο από δύο συστατικά με συγκεκριμένη αναλογία. Μετά το τέλος αυτής της διαδικασίας θα πρέπει η επιφάνεια να έχει λειανθεί πλήρως και η μέγιστη επιτρεπτή ανωμαλία να είναι της τάξης του 1mm. Στη συνέχεια τοποθετούμε στην επιφάνεια ένα στρώμα λεπτόρρευστης εποξειδικής ρητίνης (πάχους 1-2 mm), η οποία στην κεντρική περιοχή επαφής τοποθετείται σε πάχος 10mm έτσι ώστε κατά την τοποθέτηση και συμπίεση του φύλλου η κόλλα να προχωράει προς τα έξω. Αφού περάσουν γύρω στα 20min, κόβουμε και καθαρίζουμε με ασετόν τις λωρίδες FRP, τις διαμορφώνουμε στις σωστές διαστάσεις και τις επικολλούμε γύρω από τα υποστυλώματα. Η τοποθέτηση γίνεται ασκώντας ομοιόμορφη πίεση με ένα πλαστικό ρολό, για καλύτερη επαφή με το υπόστρωμα, πλήρη εμποτισμό και απομάκρυνση των φυσαλίδων. Μετά από 30-60min αποκαλύπτουμε τις ίνες, αφαιρώντας το προστατευτικό κάλυμμα και τοποθετούμε πάνω σε αυτές ένα δεύτερο στρώμα της ίδιας εποξειδικής ρητίνης, ώστε ολόκληρο το ύφασμα να είναι τέλεια εμποτισμένο. Κατά την περιτύλιξη υποστυλωμάτων απαιτείται επικάλυψη των δυο άκρων της λωρίδας κατά 15-20 cm. Η διαδικασία αυτή μπορεί να επαναληφθεί για όσα στρώματα φύλλων απαιτούνται, αρκεί η προηγούμενη στρώση ρητίνης να μην έχει στεγνώσει, αλλιώς απαιτείται εκ νέου καλό τρίψιμο της επιφάνειας. Τέλος για προστασία από υψηλές θερμοκρασίες και άλλες περιβαλλοντικές προσβολές μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα τσιμεντοκονίαμα.

Εναλλακτικές τεχνικές:

- Προκατασκευασμένοι μανδύες από FRP.
- Εκτοξευόμενο ή ψεκαζόμενο FRP (sprayed-up FRP).

5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ[1],[2],[8]

Η χρήση των σύνθετων υλικών αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς. Αυτό οφείλεται κυρίως στα βασικά πλεονεκτήματά τους σε σχέση με άλλες συμβατικές μεθόδους, όπως:

- Γρήγορη και απλή εφαρμογή
- Χαμηλό βάρος(1/4 του χάλυβα)
- Μεγάλη εφελκυστική αντοχή (μέχρι και 3000 Μρα στη διεύθυνση των ινών) και μέτρο ελαστικότητας.
- Αύξηση καμπτικής και διατμητικής αντοχής υποστλωμάτων.
- Δεν προκαλούν αύξηση των διαστάσεων των ενισχυμένων στοιχείων λόγω πάχους της τάξεως χιλιοστού, έτσι δεν επέρχεται αλλοίωση των αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών.
- Μπορούν να επιχριστούν και να χρωματιστούν
- Δεν προκαλούν φθορά ή αποδυνάμωση της υφιστάμενης κατασκευής, γιατί δεν αυξάνουν το βάρος της.
- Εύκολη τοποθέτηση, λόγω της διάθεσης τους σε μεγάλα μήκη χωρίς χρήση ικριωμάτων και εύκολη συντήρηση.
- Παρέχουν προστασία από διάβρωση.
- Δημιουργούν μεγαλύτερη περίσφυξη σκυροδέματος από το χάλυβα και έμμεση βελτίωση του δεσμού σκυροδέματος και οπλισμού.
- Εφαρμόγη σε οποιαδήποτε διατομή.
- Εσπευσμένη αντισεισμική ενίσχυση σε παλαιότερα κτίρια με ανεπαρκή οπλισμό.
- Η μορφή από ψαθυρή (ζαφνική) γίνεται ψευδοπλάστιμη(πιο σταδιακή).

Παρ'όλα αυτά, δεν πρέπει να παραμελείται το γεγονός ότι αυτή η συγκεκριμένη τεχνική έχει και μειονεκτήματα. Η αναγκαία χρήση ρητίνων για την συγκόλληση των σύνθετων υλικών, επιφέρει μια σειρά από αρνητικά αποτελέσματα. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

- Υψηλό κόστος(περίπου 9 φορές υψηλότερο του Fe 360).
- Επιβλαβής δράση σε περίπτωση εισπνοής ή επαφής με το δέρμα(του εργατικού προσωπικού).
- Απότομη πτώση εφελκυστικής αντοχής, ακαμψίας και ικανότητας απορρόφησης ενέργειας, μετά από μακροχρόνια φόρτιση, λόγω αστοχίας των αγκυρώσεων των λωρίδων ενίσχυσης με ΙΟΠ.
- Πλήρως ελαστική συμπεριφορά μέχρι την αστοχία τους, δηλαδή αδυναμία απορρόφησης ενέργειας.
- Η έκθεση σε δυσμενείς συνθήκες, όπως η υγρασία, η δράση χημικών, οι αυξημένες θερμοκρασίες και η υπεριώδης ακτινοβολία εξασθενεί τις ενώσεις των φύλλων με το σκυρόδεμα (συνάφεια).
- Αδυναμία εφαρμογής τους σε υγρές επιφάνειες.
- Η αδιαπερατότητα της χημικά αδρανούς ρητίνης στη σκληρυμένη κατάστασή της, εγκλωβίζει υγρασία και οξυγόνο των πόρων, έτσι προκαλείται απώλεια της αντοχής και πιθανή επιτάχυνση του ρυθμού διάβρωσης.
- Η σχετικά πτωχή φυσικοχημική συμβατότητα με το υπόστρωμα του σκυροδέματος.
- Αναλαμβάνουν φορτία μόνο κατά την διεύθυνση των ινών τους.
- Η αδυναμία διεξαγωγής μιας μελέτης αποτίμησης βλαβών μετά από σεισμό, στην περίπτωση που έχουν χρησιμοποιηθεί μανδύες από ΙΟΠ.
- Πρόκειται για ένα νέο υλικό, οπότε δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι για τα αποτελέσματα ενίσχυσής του.

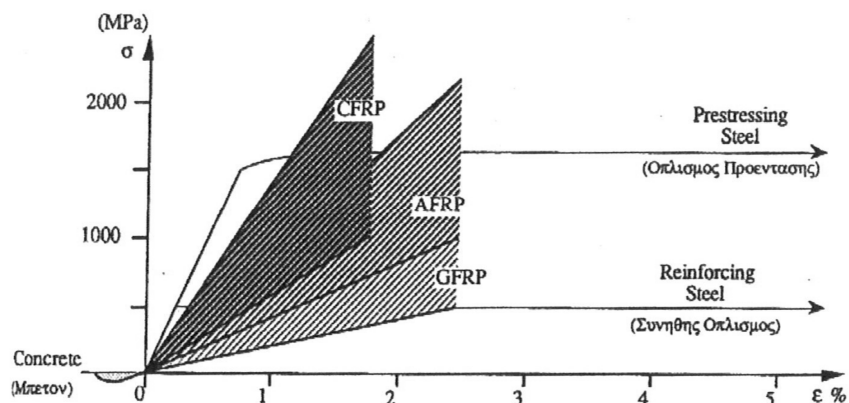
6.ΙΝΟΠΛΕΓΜΑΤΑ ΑΝΟΡΓΑΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (IAM)

Γενικά[1],[2],[3],[4],[5]

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου των ινοπλισμένων πολυμερών έχουν στρέψει, την τελευταία δεκαετία, την διεθνή επιστημονική κοινότητα στη χρήση ενός νέου σύνθετου υλικού. Το υλικό αυτό αποδίδεται στη διεθνή βιβλιογραφία με τον όρο Textile Reinforced Concrete (TRC) και αποτελείται από ινοπλέγματα (δύο ή περισσότερων διαστάσεων) σύνθετων υλικών σε μήτρα εξαιρετικά λεπτόκοκκου σκυροδέματος (ή κονιάματος) με μέγιστο κόκκο αδρανών τα 2 mm. Η Ελληνική απόδοση του παραπάνω όρου είναι Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας (IAM). Η κυριότερη διαφορά με τα ινοπλισμένα πολυμερή έγκειται στο γεγονός ότι η συγκολλητική ουσία πολυμερικής σύστασης αντικαθίσταται με ένα υλικό ανόργανης σύστασης. Επίσης τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται σε πλέγμα αντί για ύφασμα, έτσι ώστε να γίνεται καλύτερα ο εμποτισμός των ινών με τη μήτρα.

6.1.Ίνες-Ινοπλέγματα

Η πρώτη διαφοροποίηση της μεθόδου TRM σε σχέση με τη μέθοδο FRP έγκειται στη μορφή των ινών. Στη μέθοδο ενίσχυσης TRM, οι ίνες βρίσκονται σε μορφή πλέγματος, ούτως ώστε να γίνεται καλύτερα ο εμποτισμός τους με το σχετικά παχύρρευστο κονίαμα. Πιο συγκεκριμένα, η μορφή των συνθέτων υλικών είναι σε ύφασμα με διχτυωτή μορφή, στο οποίο οι ίνες πλέκονται και ενώνονται σε τουλάχιστον δύο διευθύνσεις, κυρίως ορθογωνικής μορφής, οι οποίες διαποτίζονται με ανόργανους δεσμούς, όπως τσιμεντοκονιάματα. Η γεωμετρική διάταξη των ινών στο πλέγμα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην καλή συνεργασία μεταξύ σκυροδέματος και μανδύα. Σε αντίθεση με τις ίνες μίας διεύθυνσης το πλέγμα εξασφαλίζει καλύτερη συνάφεια με το υπόστρωμα, μέσω των κατακόρυφων κλώνων, που επιτρέπουν την συγκράτηση περισσότερης συγκολλητικής ουσίας μέσα στις βροχίδες. Επιπλέον, η ύπαρξη διαγώνιων ινών φαίνεται να παίζει και αυτή σημαντικό ρόλο στην ενίσχυση της συνάφειας. Για την δημιουργία πλεγμάτων συνθέτων υλικών σε τσιμεντοειδές υλικό προτιμότερες είναι οι ίνες άνθρακα. Οι ίνες άνθρακα έχουν το χαρακτηριστικό ότι, ταυτόχρονα με την υψηλή αντοχή τους και το υψηλό μέτρο Ελαστικότητας, είναι ανθεκτικές στην επίδραση των αλκαλίων και δεν αποτελούνται από κάποιο διαβρωτικό συστατικό. Άλλες ίνες που χρησιμοποιούνται αρκετά συχνά είναι οι ίνες υάλου εξαιτίας του μικρού κόστους και οι ίνες αραμιδίου. Τέλος, ένας βασικός στόχος κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό μιας κατασκευής είναι η αποφυγή ψαθυρών αστοχιών. Στο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων των ινών από σύνθετα υλικά, η συμπεριφορά είναι γραμμικά ελαστική ως τη θραύση (σχήμα 1). Συνεπώς, όταν η συγκολλητική ουσία εξασφαλίζει την πλήρη ενεργοποίηση των ινών, η αστοχία που θα λάβει χώρα θα είναι ψαθυρή. Αν η συγκολλητική ουσία που χρησιμοποιηθεί έχει χαμηλότερη εφελκυστική παραμόρφωσης αστοχίας από τις ίνες, θα επιτευχθεί μια σαφής προειδοποίηση της αστοχίας με τη δημιουργία ορατών ρωγμών πάνω στο τσιμεντοειδές κονίαμα. Επομένως, για την αποφυγή ψαθυρής αστοχίας του συστήματος ενίσχυσης, είναι αναγκαία η επιλογή κονιάματος με χαμηλότερη παραμόρφωση αστοχίας από τις ίνες του πλέγματος των συνθέτων υλικών κατά τον εφελκυσμό, κάτι που ισχύει πάντα για τα τσιμεντοκονιάματα.



Σχήμα 1: Διάγραμμα εφελκυστικής τάσης – παραμόρφωσης για οπλισμό από χάλυβα και ράβδους από διάφορα ινοπλισμένα πλαστικά[8]

6.2. Συγκολλητική ουσία

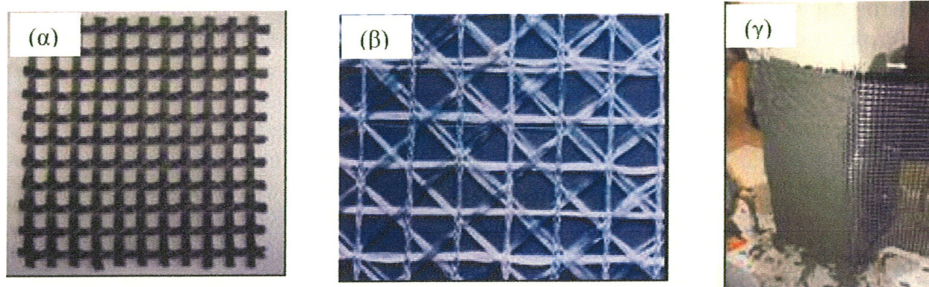
Η κατάλληλη επιλογή του υλικού της μήτρας και της συγκολλητικής ουσίας έχει καθοριστική σημασία για την αποτελεσματικότητα του συστήματος ενίσχυσης. Στη μέθοδο TRM η εποξειδική ρητίνη οργανικής σύστασης αντικαθίσταται με κάποιο τσιμεντοειδές κονίαμα ανόργανης φύσεως. Για την βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων των κονιαμάτων και τη μείωση της διαπερατότητάς τους τα κονιάματα εμπλουτίζονται με πολυμερή. Η προσθήκη πολυμερών σε ένα τσιμεντοειδές κονίαμα είναι δυνατό να μεταβάλλει σε μεγάλο βαθμό τις μηχανικές του ιδιότητες όπως την αντοχή, το μέτρο Ελαστικότητας και την συνάφειά του με τις ίνες. Οι ιδιότητες των κονιαμάτων που περιέχουν πολυμερή, είτε βρίσκονται σε νωπή, είτε σε σκληρυμένη κατάσταση καθορίζονται από πολλούς παράγοντες όπως είναι ο τύπος του πολυμερούς, ο λόγος πολυμερούς προς τσιμέντο, ο λόγος νερού προς τσιμέντο, το ποσοστό αέρα και οι συνθήκες συντήρησης. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η προσθήκη πολυμερών στα κονιάματα επιφέρει αύξηση στη θλιπτική αντοχή του κονιαματος. Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι η συνάφεια μεταξύ ινών και κονιαματος αυξάνεται ανάλογα με το ποσοστό των πολυμερών στο κονίαμα, στις ίνες άνθρακα, πολυαιθυλενίου, χάλυβα και γυαλιού. Τέλος, σε μια έρευνά σχετικά με τα πολυμερή, ο Larson (1990) κατέδειξε ότι η εισαγωγή latex σε ένα τσιμεντοειδές μίγμα αυξάνει δραστικά την συνάφεια μεταξύ ινών και κονιαματος με πολυμερή.

Είναι πολύ σημαντικό να επισημανθεί ότι η αύξηση της πυκνότητας των πολυμερών στο κονίαμα, ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη αντοχή του συστήματος ενίσχυσης, δεν πρέπει να γίνεται χωρίς μέτρο. Σε αντίθετη περίπτωση είναι πολύ πιθανό να μη γίνει σωστά ο εμποτισμός του σύνθετου υλικού, ο οποίος είναι κρίσιμος για την επίτευξη της επιθυμητής μονολιθικής σύνδεσης των ινών με τη μήτρα.

6.3. Ανόργανη μήτρα

Η ανόργανη μήτρα σκυροδέματος, που χρησιμοποιείται στα στοιχεία IAM, πρέπει να πληρεί ορισμένες ειδικές απαιτήσεις. Η βασικότερη είναι η ικανότητα διείσδυσης της στο πλέγμα ινών, έτσι ώστε να επιτευχθούν οι καλύτερες δυνατές συνθήκες συνάφειας μεταξύ πλέγματος και μήτρας. Επομένως, απαιτείται ένα σκυρόδεμα μεγάλης ρευστότητας με τον μέγιστο κόκκο των αδρανών να μην υπερβαίνει τα 2 mm. Επιπλέον, η μήτρα πρέπει να είναι ανθεκτική έναντι των επιθετικών περιβαλλοντικών συνθηκών, ενώ ταυτόχρονα η χημική της δομή πρέπει να είναι συμβατή με την χημική δομή του πλέγματος ινών. Επιπροσθέτως, η μήτρα πρέπει να εμφανίζει υψηλή πρώιμη θλιπτική αντοχή, έτσι ώστε να γίνεται εφικτή ή όσο το δυνατόν ταχύτερη αποδέσμευση του στοιχείου από τους τύπους. Εν κατακλείδι, ο σχεδιασμός της σύστασης της μήτρας πρέπει να έγκειται σε έναν βέλτιστο συνδυασμό

υλικών, ο οποίος θα συμμορφώνεται με όλες τις απαιτήσεις περί εργασιμότητας, μηχανικών ιδιοτήτων, ανθεκτικότητας, καθώς και με το κόστος παραγωγής των στοιχείων IAM από τη βιομηχανία. Τα διάφορα είδη σκυροδέματος που χρησιμοποιούνται είναι δυνατό να διακριθούν σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με την σύσταση της βασικής τους κονιάς. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα μείγματα που για κονία χρησιμοποιείται το σύνθετο τσιμέντο Πόρτλαντ (Portland), ενώ η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τα μείγματα όπου στο τσιμέντο Πόρτλαντ προστίθεται και κλάσμα πολυμερών.



Εικόνες 3,4 και 5. Πλέγματα ινών (α) δύο διευθύνσεων και (β) τεσσάρων διευθύνσεων. (γ) Εφαρμογή ινοπλεγμάτων σε κονίαμα στη βάση υποστυλώματος.[3]

6.4.Περιγραφή μεθόδου

Η εφαρμογή της μεθόδου αποτελεί ουσιαστικά εξέλιξη της μεθόδου με χρήση ινοπλισμένων πολυμερών, για αυτό και στην πράξη δεν διαφοροποιείται πολύ. Οι κύριες διαφορές αυτών των συστημάτων ενίσχυσης είναι δύο. Πρώτη διαφορά είναι το τσιμεντοκονίαμα εμπλουτισμένο με πολυμερή που χρησιμοποιείται ως συγκολλητική ουσία, αντί της εποξειδική ρητίνης. Η δεύτερη διαφορά έγκειται στη μορφή των συνθέτων υλικών, καθώς το συνεχές ύφασμα της μεθόδου ινοπλισμένων πολυμερών αντικαθίσταται από πλέγμα συνθέτων υλικών. Πέρα από αυτές τις διαφορές η διαδικασία εφαρμογής και των δυο μεθόδων είναι παρόμοια. Αρχικά, γίνεται κατάλληλη προετοιμασία της επιφάνειας εφαρμογής της ενίσχυσης (εκτράχυνση, καμπύλωση των γωνιών, καθαρισμός από σκόνη) ώστε να είναι αποτελεσματική η περίσφιγξη. Το πλέγμα ξετυλίγεται στην προεμποτισμένη με τσιμεντοκονίαμα επιφάνεια του δομικού στοιχείου που πρόκειται να ενισχυθεί.

Ταυτόχρονα γίνεται ο εμποτισμός των συνθέτων υλικών με τη συγκολλητική ουσία. Ο εμποτισμός του πλέγματος των ινών με κονίαμα γίνεται έπειτα από κάθε στρώση σύνθετου υλικού που εφαρμόζεται στην επιφάνεια του δομικού στοιχείου. Αφού τελειώσει η περιτύλιξη του στοιχείου με το μανδύα, τοποθετείται ένα εξωτερικό στρώμα τσιμεντοκονιάς, ίδιας σύστασης με το υλικό της μήτρας, για προστασία του συστήματος ενίσχυσης. Το σύστημα ενίσχυσης αποκτά πλήρη αντοχή ύστερα από την πάροδο περίπου δεκαπέντε ημερών.

7.ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ FRP ΚΑΙ TRM[1],[6]

- Η κυριότερη διαφοροποίηση μεταξύ ινοπλισμένων πολυμερών και ινοπλεγμάτων σε ανόργανη μήτρα έγκειται στο υλικό που χρησιμοποιείται ως συγκολλητική ουσία. Στη μια περίπτωση (FRP) είναι η εποξειδική ρητίνη, η οποία λόγω της υγρής της κατάστασης διεισδύει στις ίνες, δημιουργώντας ένα δυνατό και σαφή δεσμό μεταξύ ινών και μήτρας, ενώ στην άλλη (TRM) το τσιμεντοειδές κονίαμα, το οποίο, λόγω της κοκκώδους μορφής του, δεν εξασφαλίζει τόσο καλή μονολιθική σύνδεση με αποτέλεσμα να απαιτούνται περισσότερες ίνες για να πετύχουν την ίδια απόδοση με τα σύνθετα υλικά.
- Η αδυναμία των συνθέτων υλικών ανόργανης μήτρας να συνδέονται μονολιθικά με

τις ίνες που εμποτίζουν μπορεί να θεωρηθεί πλεονέκτημα. Κατά τη ρηγμάτωση του σκυροδέματος του μέλους, εμφανίζονται μικρές ρωγμές στην εξωτερική επιφάνεια του κονιάματος, προειδοποιώντας για την αστοχία, ενώ παράλληλα μειώνεται η πιθανότητα να συμβεί αποκόλληση των συνθέτων υλικών, καθώς δεν αξιοποιείται όλη η εφελκυστική αντοχή των ινών.

- Σε αντίθεση με τα κονιάματα, για την εφαρμογή της εποξειδικής ρητίνης απαιτείται επιμελημένη προετοιμασία της επιφάνειας ενίσχυσης που συνίσταται στην αποκάλυψη των αδρανών του δομικού στοιχείου και στην απομάκρυνση της σκόνης για να είναι εφικτή η καλή συνάφεια του μανδύα με το μέλος. Επίσης, για να επιτευχθεί καλή συνάφεια με το σκυρόδεμα πρέπει η επιφάνεια που θα εφαρμοστεί να μην είναι υγρή, κάτι που δεν είναι απαραίτητο για τα τσιμεντοκονιάματα.
- Σημαντικό πλεονέκτημα της εποξειδικής ρητίνης είναι ο χρόνος πήξης, καθώς είναι μικρότερος από αυτόν που απαιτεί το τσιμεντοκονίαμα, χωρίς ωστόσο αυτό να σημαίνει και ταχύτερη εφαρμογή του συστήματος ενίσχυσης.
- Εξαιτίας της μικρής αντίστασης των εποξειδικών ρητινών σε υψηλές θερμοκρασίες, φωτιά και ακτινοβολίες, η εφαρμογή τους απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, εξειδικευμένο προσωπικό με εξοπλισμό ασφαλείας. Η πρόκληση μη αντιστρέψιμων ζημιών στις επιφάνειες που θα στάξει, προϋποθέτει σχολαστική κάλυψη και προσεκτική εκτέλεση εργασίας. Αντίθετα τα τσιμεντοειδή κονιάματα είναι φιλικά στη χρήση, εξασφαλίζουν καλύτερη προστασία των ινών από περιβαλλοντικούς παράγοντες και επιδέχονται εύκολα διορθώσεις.
- Οι μανδύες των ινοπλισμένων πολυμερών υστερούν έναντι των τσιμεντοκονιαμάτων στο γεγονός ότι είναι αδιαπέρατοι. Σαν αποτέλεσμα στο εσωτερικό του συστήματος ενίσχυσης εγκλωβίζεται υγρασία και συσσωρεύεται το οξυγόνο των πόρων προξενώντας προβλήματα απώλειας αντοχής στον πυρήνα του σκυροδέματος και στον εσωτερικό οπλισμό λόγω διάβρωσης. Αντίθετα, η μήτρα ανόργανης σύστασης προσφέροντας πλήρη, μηχανική, φυσική και χημική συμβατότητα του μανδύα με το ενισχυόμενο μέλος, εξασφαλίζει την επιθυμητή διαπερατότητα του μανδύα.
- Το υψηλό κόστος των εποξειδικών ρητινών έναντι του χαμηλού κόστους των κονιαμάτων ανόργανης μήτρας, παρά το γεγονός ότι για την επίτευξη ίδιας αποδοτικότητας απαιτούνται περισσότερες στρώσεις σύνθετου υλικού, αποτελεί έναν από τους πιο μειωτικούς παράγοντες επιλογής τους.
- Τέλος, αξιολογούμε ότι τα σύνθετα υλικά ανόργανης μήτρας εφαρμόζονται εύκολα και γρήγορα στην ενίσχυση, προκαλούν λιγότερη όχληση στο περιβάλλον, έχουν δυνατότητα ανακύκλωσης και απαιτούν λιγότερο εξοπλισμό για την εφαρμογή τους.

8. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΑ ΜΕ ΙΑΜ ΚΑΙ ΙΟΠ

8.1.[4] Τα παρακάτω πειραματικά αποτελέσματα έχουν παρθεί από εργασία των Τριανταφύλου-Μπουρνά. Πρόκειται για 13 δοκίμια υποστυλωμάτων των οποίων οι πειραματικές παραμέτροι φαίνονται στον Πίνακα 1. Τονίζεται ότι ανά ζεύγη (ΙΟΠ και ΙΑΜ) τα δοκίμια ήταν ενισχυμένα με μανδύες ίσης δυστένειας, ώστε να είναι εύκολη η άμεση σύγκριση της αποτελεσματικότητας των μανδύων ΙΑΜ ως προς αυτήν των αντιστοιχών ΙΟΠ (ισχύει για όλα τα ακόλουθα πειράματα). Αυτό κατέστη εφικτό χρησιμοποιώντας διπλάσιο αριθμό στρώσεων για τους μανδύες ΙΑΜ έναντι των ΙΟΠ (τεσσάρων έναντι δύο), ώστε να είναι (περίπου) ίσο το γινόμενο του αριθμού των στρώσεων επί το ονομαστικό πάχος κάθε στρώσης (οι ίνες ήταν του ίδιου τύπου άνθρακα και στις δύο περιπτώσεις). Τα δοκίμια φορτίστηκαν με οριζόντια δύναμη σε ύψος 1.60 m από τη βάση. Η ιστορία φόρτισης αποτελούνταν από επαναλαμβανόμενους κύκλους μετατοπίσεων αυξανόμενου εύρους (κατά 5 mm) μέχρι την αστοχία του δοκιμίου (Σχήμα 2). Τα δοκίμια φορτίζονταν ταυτόχρονα κατά τη διεύθυνση του άξονά τους με σταθερό αξονικό φορτίο, το οποίο αντιστοιχεί στο 28%

περίπου της θλιπτικής αντοχής των υποστυλωμάτων υπό κεντρική θλίψη.

Ονομασία δοκιμίου	Μήκος υπερκάλυψης	Τύπος διαμήκους οπλισμού	Αντοχή σκυρ/τος f_c (MPa)	Μέθοδος ενίσχυσης	Υλικό	Αριθμός στρώσεων/ ύψος μανδύα
L0S_C	-	Λείος	29.8	-	-	-
L0S_R2	-	Λείος	30.3	ΙΟΠ	Άνθρακας	2 / 430 mm
L0S_M4	-	Λείος	30.5	IAM	Άνθρακας	4 / 430 mm
L0_C	-	Νευρώσεις	28.9	-	-	-
L0_R2	-	Νευρώσεις	28.6	ΙΟΠ	Άνθρακας	2 / 430 mm
L0_M4	-	Νευρώσεις	28.4	IAM	Άνθρακας	4 / 430 mm
L0_M4G	-	Νευρώσεις	28.3	IAM	Γυαλί	4 / 430 mm
L20d_C	20d=280 mm	Νευρώσεις	27.8	-	-	-
L20d_R2	20d=280 mm	Νευρώσεις	26.5	ΙΟΠ	Άνθρακας	2 / 430 mm
L20d_M4	20d=280 mm	Νευρώσεις	26.3	IAM	Άνθρακας	4 / 430 mm
L40d_C	40d=560 mm	Νευρώσεις	25.8	-	-	-
L40d_R2	40d=560 mm	Νευρώσεις	25.5	ΙΟΠ	Άνθρακας	2 / 600 mm
L40d_M4	40d=560 mm	Νευρώσεις	25.3	IAM	Άνθρακας	4 / 600 mm

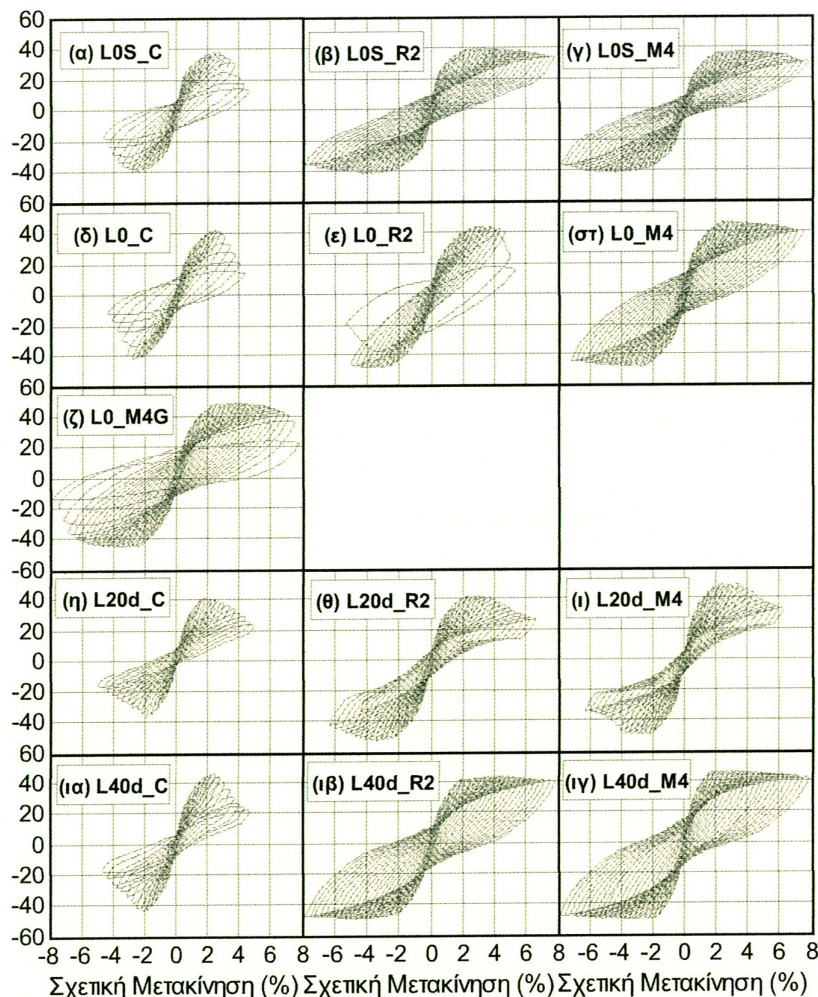
Πίνακας 1. Δοκίμια και Πειραματικές Παράμετροι.

Πειραματικά αποτελέσματα

Δοκίμιο	Μέγιστο φορτίο (kN)		Σχετική μετακίνηση στο μέγιστο φορτίο (%)		Σχετική μετακίνηση στην αστοχία (%)		Μορφή Αστοχίας
	Ωθηση	Έλξη	Ωθησ η	Έλξη	Ωθηση	Έλξη	
L0S_C	37.92	39.79	2.80	2.80	3.75	3.75	Λυγισμός των διαμήκων ράβδων
L0S_R2	40.16	41.75	3.40	4.40	7.81	7.81	Δεν επετεύχθη η συμβατική αστοχία
L0S_M4	37.23	41.63	4.10	4.40	7.81	7.81	Δεν επετεύχθη η συμβατική αστοχία
L0_C	41.63	42.48	2.50	2.50	3.43	3.43	Λυγισμός των διαμήκων ράβδων
L0_R2	43.46	48.70	2.8	3.10	5.00	-5.31	Λυγισμός των διαμήκων ράβδων έξω από το μανδύα ΙΟΠ
L0_M4	45.77	49.19	2.80	2.80	7.81	7.81	Δεν επετεύχθη η συμβατική αστοχία
L0_M4G	48.82	45.28	4.00	2.80	7.50	6.90	Θραύση του μανδύα IAM λόγω λυγισμού και διόγκωση του σκυρ/τος
L20d_C	41.50	36.62	1.87	1.87	4.06	3.12	Διάρρηξη σκυροδέματος και στη συνέχεια αποτίναξη της επικάλυψης
L20d_R2	41.26	52.86	2.81	3.12	5.31	6.25	Διαμήκειες ρωγμές διάρρηξης και

							εξόλκευση των ράβδων με ενώσεις
L20d_M4	48.46	49.80	3.12	2.18	5.00	5.00	Διαμήκειες ρωγμές διάρρηξης και εξόλκευση των ράβδων με ενώσεις
L40d_C	46.21	43.87	2.50	2.18	3.43	3.12	Διάρρηξη σκυροδέματος και στη συνέχεια αποτίναξη της επικάλυψης
L40d_R2	42.97	49.93	4.68	5.00	7.81	7.81	Δεν επετεύχθη η συμβατική αστοχία
L40d_M4	45.90	50.48	1.87	3.75	7.81	7.81	Δεν επετεύχθη η συμβατική αστοχία

Πίνακας 2. Πίνακας Αποτελεσμάτων.



Σχήμα 2. Βρόχοι υστέρησης οριζόντιας δύναμης – σχετικής μετακίνησης των εξεταζομένων δοκιμίων.[4]

Βάση των πειραματικών αποτελεσμάτων καταδεικνύεται ότι η αποτελεσματικότητα των μανδύων IAM είναι υψηλή και γενικώς παρόμοια με αυτή των μανδύων IOΠ ίσης δυστένειας. Πιο συγκεκριμένα, για τα δοκίμια με συνεχή οπλισμό και λείες ράβδους, η αποτελεσματικότητα των μανδύων IAM βρέθηκε ίση με αυτή των μανδύων IOΠ, ενώ στα δοκίμια με διαμήκειες ράβδους νευρογάλυβα, η αποτελεσματικότητα των μανδύων IAM ήταν κατά 50% περίπου μεγαλύτερη από τους μανδύες IOΠ. Τέλος οι μανδύες IOΠ βρέθηκαν ελαφρώς αποτελεσματικότεροι για την ενίσχυση υποστυλωμάτων με μικρά μήκη ένωσης των ράβδων σε σύγκριση με τους μανδύες IAM.

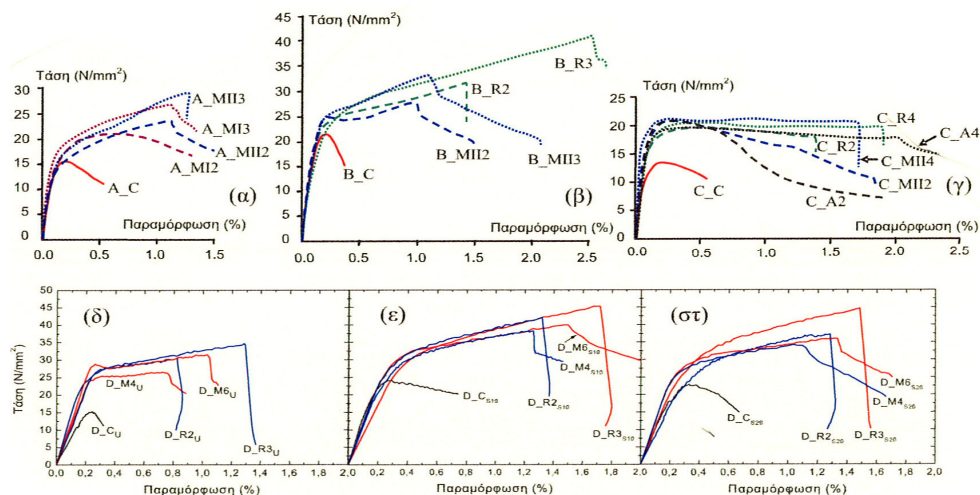
8.2.[3] Στο πείραμα του Αθαν. Τριανταφύλλου στην μελέτη “Νέα γενιά δομικών υλικών για την ενίσχυση των κατασκευών: Ινοπλέγματα σε Ανόργανη Μήτρα”, γίνονται δοκιμές σε τέσσερις ομάδες δοκιμών (τα χαρακτηριστικά των οποίων παρουσιάζονται στο Πίνακα 3). Στόχος τους, όσο αφορά και το αντικείμενο της παρούσας εργασίας, είναι να ελεγχθεί (1) η αποτελεσματικότητα των μανδύων IAM συγκριτικά με αυτήν των μανδύων ΙΟΠ ως προς την περίσφυξη αόπλου σκυροδέματος και (2) ως προς την περίσφυξη οπλισμένου σκυροδέματος για διαφορετικές αποστάσεις συνδετήρων.

Ομάδα	Σχήμα	Διαστάσεις(mm)	Οπλισμός
A	κυλινδρικά	150x300	άοπλα
B	κυλινδρικά	150x300	άοπλα
C	πρισματικά τετράγωνα*	250x250x700	άοπλα
D	πρισματικά τετράγωνα*	200x200x700	Οπλισμένο με κλωβούς οπλισμών Φ12 και συνδετήρες Φ8/100 (S500)

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά δοκιμών

*Στα πρισματικά δοκίμια οι ακμές ήταν στρογγυλεμένες με ακτίνα καμπυλότητας 15mm και 25mm για τις ομάδες C και D αντίστοιχα ώστε να αποφευχθεί η πρόωγη αστοχία του μανδύα λόγω συγκέντρωσης τάσεων.

A) Στο πρώτο μέρος αυτού του πειράματος όλα τα δοκίμια υποβάλλονται σε μονοτονική θλιπτική καταπόνηση επιβαλλόμενης μετατόπισης με ταχύτητα 0.01 mm/s και 0.05 mm/s για τις ομάδες A-C και D αντίστοιχα. Ενδεικτικά τα διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης δίνονται στο σχήμα παρακάτω, με βοηθητική σήμανση δοκιμών “Y_XNz”, όπου Y= ομάδα, X= τύπος μανδύα (C για δοκίμια αναφοράς, M για δοκίμια με μανδύα κονιάματος, MI και MII αντίστοιχα για Τύπου I και II [το κονίαμα I, έχει μικρότερη αντοχή από το II], R για δοκίμια με μανδύα ΙΟΠ και A για δοκίμια όπου ο μανδύας κατασκευάζεται μέσω λωρίδων σε σπειροειδή διάταξη), N= αριθμός των στρώσεων. Τέλος ο υποδείκτης z (εμφανίζεται μόνο στα δοκίμια D) δηλώνει την ύπαρξη ή όχι συνδετήρων καθώς και την απόσταση αυτών (u για άοπλα δοκίμια, s20 για δοκίμια με απόσταση συνδετήρων 200 mm και s10 για απόσταση 100mm).



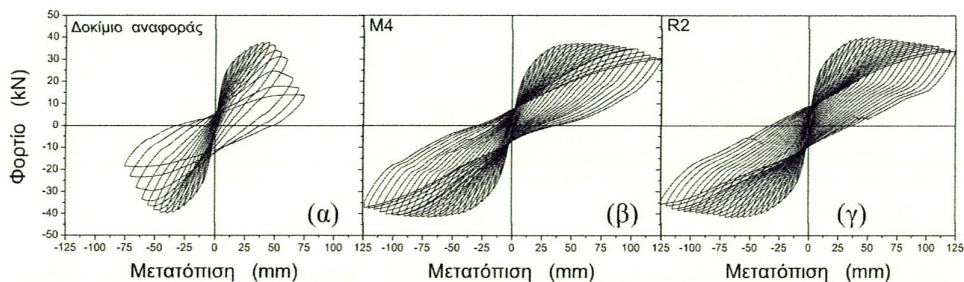
Σχήμα 3. Τυπικές καμπύλες τάσης-παραμόρφωσης για δοκίμια (α) Ομάδας A (κύλινδροι), (β) Ομάδας B (κύλινδροι), (γ) Ομάδας C (άοπλα πρίσματα) και (δ)-(στ) Ομάδας D (οπλισμένα πρίσματα).[3]

Συμπερασματικά των ανωτέρω:(α)η αποτελεσματικότητα των μανδύων IAM, ως προς την αύξηση της αντοχής και της παραμορφωσιμότητας στοιχείων αόπλου ή οπλισμένου σκυροδέματος, είναι γενικώς υψηλή και μόνον ελαφρώς μειωμένη ως προς αυτή των ΙΟΠ. Η μείωση αυτή είναι εντονότερη στην περίπτωση των άοπλων στοιχείων, αλλά περιορισμένη,της τάξεως του 10% στην περίπτωση των οπλισμένων. (β)Η αστοχία των μανδύων IAM λόγω εγκάρσιας διόγκωσης του περισφιγμένου σκυροδέματος είναι γενικώς βαθμιαία και όχι τόσο ξαφνική (και ψαθυρή) όπως στην περίπτωση των ΙΟΠ, γεγονός που οφείλεται στη σταδιακή θραύση δεσμών ινών. Έτσι η συμπεριφορά σκυροδέματος περισφιγμένου με IAM είναι πιο πλαστική σε σχέση με το ΙΟΠ.

Β)Στο δεύτερο μέρος αυτού του πειράματος, τρία δοκίμια τύπου προβόλου,που αναπαριστούν σε πλήρη κλίμακα υποστυλώματα με ύψος ίσο με το μισό ενός τυπικού ορόφου (1.60 m), υποβάλλονται σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Όλα τα δοκίμια είχαν τετραγωνική διατομή (250x250mm) με διαμήκη οπλισμό από τέσσερις γωνειακές λείες ράβδους Φ14 και εγκάρσιο οπλισμό συνδετήρων Φ8 σε αποστάσεις 200mm, με τα άγκιστρα κεκαμμένα κατά 90 μοίρες. Τα δοκίμια φορτίστηκαν με οριζόντια δύναμη σε ύψος 1.60 m από τη βάση. Η ιστορία φόρτισης (Σχήμα 4) αποτελούνταν από επαναλαμβανόμενους κύκλους μετατοπίσεων αυξανόμενου εύρους (κατά 5 mm) μέχρι είτε την αστοχία του δοκιμίου (δοκίμιο αναφοράς), είτε την εξάντληση της δυναμικότητας του εμβόλου (δοκίμια με μανδύες).

Ομάδα D	Ενίσχυση	Μέγιστη μετατόπιση σε κάθε διεύθυνση (mm)	Τρόπος αστοχίας
Δοκίμιο αναφοράς	Χωρίς ενίσχυση	75	Διαρροή σε κάμψη που ακολούθηθηκε λυγισμός διαμήκων ράβδων και αποδιοργάνωση σκυρ/τος πάνω απο τη βάση.
IAM	Στον πόδα 4 στρώσεις μανδύα (μέχρι ύψος 43mm)	125	Καμπτική διαρροή στη βάση με ελεγχόμενο λυγισμό ραβδων.
ΙΟΠ	Στον πόδα 2 στρώσεις μανδύα (μέχρι ύψος 43mm)	125	Καμπτική διαρροή στη βάση με ελεγχόμενο λυγισμό ραβδων.

Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά δοκιμίων (β' μέρος)



Σχήμα 4. Διάγραμμα δύναμης – μετατόπισης (α) δοκίμιο αναφοράς, (β) δοκίμιο με μανδύα IAM, (γ) δοκίμιο με μανδύα ΙΟΠ (ίσης δυστένειας).[3]

Από τα παραπάνω, διαπιστώνουμε πως στην περίπτωση των δοκιμίων με μανδύες, κατέστη δυνατή η ανάπτυξη μεγάλης οριζόντιας μετατόπισης, η οποία συνοδεύτηκε από μικρή (μανδύας ΙΟΠ) έως οριακή (μανδύας IAM) πτώση του φορτίου. Σημαντικό ποσοστό αυτής της μετατόπισης οφείλεται στην ολίσθηση των διαμήκων ράβδων, λόγω των πτωχών συνθηκών συνάφειας με το περιβάλλον σκυροδέμα. Συμπερασματικά, η αποτελεσματικότητα των μανδύων IAM ως προς την καθυστέρηση του λυγισμού των ραβδών ήταν τουλάχιστον ίση, αν όχι μεγαλύτερη, από αυτή των μανδύων ΙΟΠ.

8.3.[6] Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα της διατριβής διπλώματος ειδίκευσης του Ζυγούρη Κων/νου. Στο συγκεκριμένο πείραμα μελετάται ο τρόπος ενίσχυσης υποστυλωμάτων ορθογωνικής διατομής μέσω επιβολής μανδύων από σύνθετα υλικά ανόργανης μήτρας σε περιοχές ενώσεων των κατακόρυφων οπλισμών μέσω παράθεσης των ευθυγράμμων άκρων τους (περιοχές ματίσεων). Πρόκειται για 9 δοκίμια υποστυλωμάτων με τις εξής παραμέτρους:

Δοκίμιο	Μήκος μάτισης (mm)	Θλιπτική Αντοχή σκυρ/τος (MPa)	Διαμήκης οπλισμός	Εγκάρσιος οπλισμός	Είδος ενίσχυσης
L0d_C	0	28.4	S500s 4Φ14	S220 Φ8/200	Καμια ενίσχυση
L20d_C	280	28.4	S500s 4Φ14	S220 Φ8/200	Καμια ενίσχυση
L40d_C	560	25.9	S500s 4Φ14	S220 Φ8/200	Καμια ενίσχυση
L0d_M4	0	28.4	S500s 4Φ14	S220 Φ8/200	TRM σε ύψος 43cm
L20d_M4	280	25.9	S500s 4Φ14	S220 Φ8/200	TRM σε ύψος 43cm
L40d_M4	560	25.9	S500s 4Φ14	S220 Φ8/200	TRM σε ύψος 60cm
L0d_R2	0	28.4	S500s 4Φ14	S220 Φ8/200	FRP σε ύψος 43cm
L20d_R2	280	25.9	S500s 4Φ14	S220 Φ8/200	FRP σε ύψος 43cm
L40d_R2	560	25.9	S500s 4Φ14	S220 Φ8/200	FRP σε ύψος 60cm

Πίνακας 5. Δοκίμια και Πειραματικές Παράμετροι.

Στα δοκίμια, αρχικά, έγινε η επιβολή του αξονικού φορτίου, με ανηγμένη τιμή $\nu = 0.28$. Στη συνέχεια η οριζόντια φόρτιση με τη μορφή χρονοϊστορίας από κύκλους εξαναγκασμένων μετατοπίσεων στην κεφαλή του υποστυλώματος. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η μελέτη τόσο του ελαστικού όσο και του πλαστικού κλάδου της συμπεριφοράς των υποστυλωμάτων. Το εύρος κάθε μετατόπισης αυξάνεται βαθμιαία σε κάθε κύκλο. Συγκεκριμένα ξεκίνησαν από μέγιστη τιμή μετακίνησης ίση με 5mm και προχώρησαν με κύκλους μέγιστης μετατόπισης με αύξηση 5mm κάθε φορά. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο ρυθμός φόρτισης δεν ήταν σταθερός σε όλη τη διάρκεια του πειράματος. Στους πρώτους κύκλους της φόρτισης, ο ρυθμός ήταν αργός ενώ στη συνέχεια αυξήθηκε χωρίς να επηρεάζεται η συμπεριφορά του δοκιμίου.

Πειραματικά αποτελέσματα

Δοκίμιο	Ροπή αντοχής (kNm)		Φορτίο αστοχίας (kN)		Μετατόπιση Μέγιστο φορτίο αστοχίας (mm)				Μετατόπιση μέγιστο φορτίο υ (mm)		Μορφή αστοχίας
	ελ	ωθ	ελ	ωθ	ελ	ωθ	ελ	ωθ	ελ	ωθ	
L0d_C	70	70			55	55					Λυγισμός ράβδων στη βάση υποστυλώματος
L20d_C	68.3	60.4	28.2	33.3	50	60	33.6	41.5			Ο διαμήκης οπλισμός δεν πρόλαβε να λυγίσει λόγω ολίσθησης διαμήκων ράβδων
L40d_C	76.4	72.2	34.2	35.3	50	55	43.8	46.3	35	40	Ολίσθηση διαμήκων ράβδων
L0d_M4	81.7	76.5					49.2	49.8	45	45	Αποκόλληση μανδύα από τη βάση υποστυλώματος
L20d_M4	82.9	80.7	38.7	38	30	30	49.8	48.5	35	45	Ολίσθηση διαμήκων ράβδων
L40d_M4*	8.5	77.2	48,2*	41,5*			50.5	45.8	60	35	Δεν επετεύχθη η αστοχία
L0d_R2	82.5	72.7					43.5	48.7	45	45	Λυγισμός διαμήκη οπλισμού ακριβώς πάνω απ το μανδύα
L20d_R2	88.4	66.8	42.1	31.7	100	85	41.4	52.9	45	55	Σχετική ολίσθηση των ματιζόμενων ράβδων
L40d_R2*	85.4	74.1	48,3*	39,6*			49.3	43	80	75	Δεν επετεύχθη η αστοχία

Πίνακας 6. Πίνακας Αποτελεσμάτων.

Στα δοκίμια L40d_M4 και L40d_R2* τα οποία υπέστη δοκιμή 25 κύκλων χωρίς να επέλθει αστοχία έχει καταγραφεί η δύναμη φορτίου σε τελευταίο κύκλο στη θέση του φορτίου αστοχίας.

Από τα πειραματικά αποτελέσματα, βλέπουμε ότι τα υποστυλώματα, στα οποία ο διαμήκης οπλισμός ήταν συνεχής σε όλο το ύψος τους, ο μανδύας από ανόργανη μήτρα (TRM) εξασφάλισε την απαραίτητη μονολιθικότητα στη σύνδεσή του με το υποστυλώμα και, ταυτόχρονα, κατάφερε να εμποδίσει το φαινόμενο του λυγισμού στη βάση, το οποίο έλαβε χώρα στο δοκίμιο ελέγχου, εξαιτίας της αραιής διάταξης των συνδετήρων. Αντιθέτως, το δοκίμιο με την ενίσχυση από ινοπλισμένα πολυμερή (FRP), αν και κατάφερε αρχικά να εμποδίσει το λυγισμό του διαμήκους οπλισμού στη βάση του υποστυλώματος, δεν κατάφερε να τον αποτρέψει σε μεγαλύτερο ύψος. Για τα δοκίμια με το μικρό μήκος μάτισης των κατακόρυφων ράβδων τους, βλέπουμε ότι στον τομέα της αύξησης της μέγιστης οριζόντιας δύναμης, πιο αποτελεσματική είναι η ενίσχυση με σύνθετα υλικά ανόργανης μήτρας. Ωστόσο, η ενίσχυση με ρητίνη δίνει στο μέλος την ικανότητα να πραγματοποιεί μεγαλύτερες μετακινήσεις ως την αστοχία, σε σχέση με το δοκίμιο με την ανόργανη μήτρα. Συνολικά το δοκίμιο με τη ρητίνη έχει πιο ομαλή πτώση της μέγιστης οριζόντιας δύναμης σε σχέση με το δοκίμιο με TRM, το οποίο παρουσιάζει κάποια στιγμή μια απότομη αλλαγή στην αντοχή του. Ο μανδύας από ινοπλέγματα σε ανόργανη μήτρα προσδίδει στο φορέα μεγαλύτερη αρχική δυσκαμψία συγκριτικά με το μανδύα από ινοπλισμένα πολυμερή. Παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν και για τα δοκίμια με το μεγάλο μήκος μάτισης των κατακόρυφων ράβδων τους μόνο που σε αυτή την περίπτωση οι εφαρμογές των δυο μεθόδων δεν παρουσίασαν

σημαντικές διαφοροποιήσεις.

9.ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία παρουσιάζεται μια νέα τεχνική ενίσχυσης υποστυλωμάτων Ο/Σ μέσω περίσφιξης. Η τεχνική βασίζεται στη χρήση συνθέτων υλικών, τα οποία αποτελούνται από ινοπλέγματα σε ανόργανη μήτρα (IAM), αποσκοπώντας στην επίλυση προβλημάτων που χαρακτηρίζουν τα ΙΟΠ σχετικά με την χρήση εποξειδικών ρητινών. Συμπερασματικά, μπορεί να πει κανείς ότι και οι δύο μέθοδοι ενίσχυσης που εξετάστηκαν παρουσιάζουν πολλά και σημαντικά οφέλη στην αναβάθμιση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος. Η θεαματική βελτίωση της πλαστιμότητας των στοιχείων σε συνδυασμό με την αύξηση της αντοχής του μέλους είναι τα βασικά χαρακτηριστικά των ενισχύσεων με σύνθετα υλικά είτε οργανικής είτε ανόργανης μήτρας. Άρα διαπιστώνουμε ότι οι μανδύες IAM ανταγωνίζονται σε μεγάλο βαθμό τους ΙΟΠ. Ωστόσο, το υλικό είναι αρκετά νέο και η παρούσα εργασία καλύπτει μόνο ένα μικρό φάσμα πειραματικών αποτελεσμάτων που έχουν διεξαχθεί, ώστε να πιστοποιηθεί η συνολική αποτελεσματικότητας μεθόδου. Για αυτό το λόγο οποιαδήποτε συμπεράσματα αναφορικά με την αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης με ινοπλέγματα σε ανόργανη μήτρα, πρέπει να γίνονται πολύ προσεκτικά.

10.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]“Ενίσχυση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος μέσω περίσφιξης με σύνθετα υλικά ανόργανης μήτρας”, Λόντου Βασ. Παναγιώτας, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών 2006.
- [2]“Ενίσχυση υποστυλωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος με νέα υλικά : ινοπλέγματα ανόργανης μήτρας, οπλισμοί σύνθετων υλικών ή ανοξειδώτου χάλυβα σε εγκοπές”, Διονύσιος Α. Βουρνάς, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών 2008.
- [3]“Νέα γενιά δομικών υλικών για την ενίσχυση κατασκευών: Ινοπλέγματα σε Ανόργανη Μήτρα (IAM)”, Αθαν. Τριανταφύλλου
- [4]“Περίσφιξη υφιστάμενων υποστυλωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος με μειωμένη ικανότητα παραμόρφωσης μέσω τοπικών μανδύων IAM και ΙΟΠ (Confinement of existing reinforced concrete columns with limited deformation capacity through local TRM and FRP jackets)”, Bourmas D.A., Triantafyllou T.C.
- [5]“Πειραματική διερεύνηση στοιχείων σκυροδέματος επι/εντος προκατασκευασμένων τύπων από ινοπλέγματα ανόργανης μήτρας”, Ιωάννα Παπαντωνίου, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών 2007.
- [6]“Σεισμική ενίσχυση μέσω περίσφιξης υποστυλωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος σε περιοχές ματίσεων με πλέγματα συνεχών ινών σε ανόργανη μήτρα”, Ζυγούρης Κων/νος, Διατριβή διπλώματος ειδίκευσης, Πανεπιστήμιο Πατρών 2007.
- [7]“Ενίσχυση κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με FRP”, Ζωσίμα Ελένη- Στρατηγή Βασιλική, 13ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών, Πάτρα, 2007.
- [8] “Ενίσχυση υποστυλωμάτων με μανδύες από Ο.Σ. και FRP. Σύγκριση μεθόδων και εύρεση της πιο συμφέρουσας λύσης”, Παππά Ελένη- Ποταμού Λυδία, 13ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών, Πάτρα, 2007.

