

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ FRP

ΚΑΤΣΑΜΑΚΑΣ ΑΝΤΩΝΗΣ

Προπτυχιακός φοιτητής Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ, akatsama@civil.auth.gr

ΜΥΛΩΝΑΣ ΑΝΤΩΝΗΣ - ΙΩΑΝΝΗΣ

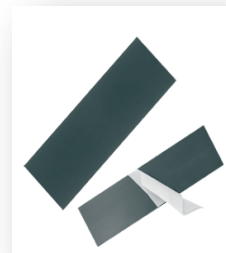
Προπτυχιακός φοιτητής Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ, mylonasa@civil.auth.gr

Περίληψη

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την χρήση των FRP (ινοπλισμένων πολυμερών) για την καμπτική ενίσχυση δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Παρουσιάζεται μια εκτενής θεωρητική προσέγγιση των ινοπλισμένων πολυμερών ως μέθοδος επέμβασης σε υφιστάμενες κατασκευές. Αναλύονται λεπτομερώς οι φυσικοχημικές ιδιότητες τους. Αναλύονται, επίσης, οι μορφές των σύνθετων υλικών ανάλογα με την μέθοδο κατασκευής τους. Οι τεχνικές αυτές γίνονται σαφείς με την βοήθεια λεπτομερούς φωτογραφικού υλικού. Στην πράξη, περιγράφονται οι προϋποθέσεις και οι απαιτήσεις για την αποτελεσματική εφαρμογή των σύνθετων υλικών στην προσβεβλημένη επιφάνεια. Μηχανικά, κατηγοριοποιούνται οι πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα ενισχυμένων σε κάμψη με σύνθετα υλικά. Η παρούσα εργασία, εν συνεχεία, ασχολήθηκε με τεχνικά πειράματα διεθνούς εμβέλειας που προσδίδουν σπουδαία αποτελέσματα για την μελέτη της συμπεριφοράς των στοιχείων σκυροδέματος ενισχυμένων με σύνθετα υλικά. Τέλος, παρουσιάζονται αναλυτικοί υπολογισμοί και διαγράμματα με τη χρήση του προγράμματος Any section στον Ηλεκτρονικό Υπολογιστή και βίντεο με πειράματα στο εργαστήριο που υποστηρίζουν εικονογραφικά την εργασία. Για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι χρησιμοποιήθηκαν και συγκρίθηκαν οι κανονισμοί του ΚΑΝ. ΕΠΕ. 2012 που προβλέπουν διάφορες μεθόδους ενίσχυσης.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

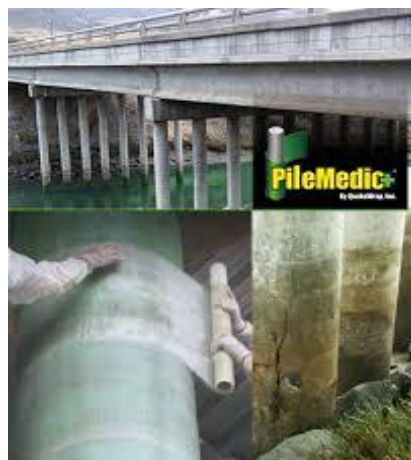
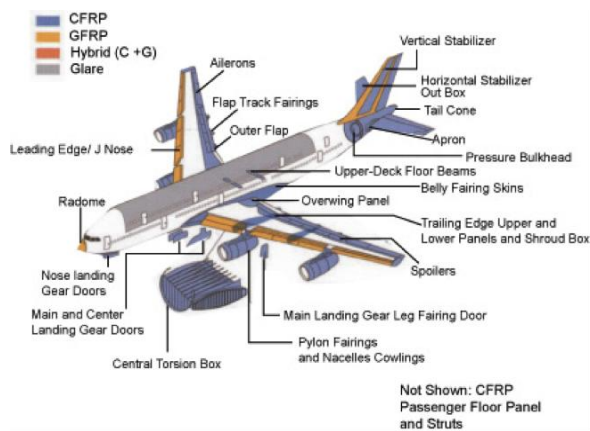
Η χρήση φύλλων ινοπλισμένων πολυμερών αποτελεί την πιο σύγχρονη τεχνική στην αποκατάσταση ή ενίσχυση της φέρουσας ικανότητας κατασκευών. Ουσιαστικά είναι η εξέλιξη της τεχνικής των χαλύβδινων επικολητών ελασμάτων, υπερκαλύπτοντας τις αδυναμίες αυτής της τεχνικής καθώς απαιτούσε σημαντικό χρόνο και κόπο για να εφαρμοστεί. Τα ΙΟΠ κυρίως εφαρμόζονται σε δύο τύπους. Ο ένας είναι σε λεπτές στρώσεις φύλλων ΙΟΠ για επισκευές ή ενισχύσεις βλαμμένων υποστυλωμάτων, κυρίως, σκυροδέματος [1]. Ο άλλος είναι υπό μορφή ελασμάτων που έχουν σχετικά μεγαλύτερο πάχος [2].



Εικόνα 1 : FRP σε μορφή υφασμάτων[1]

Εικόνα 2 : FRP σε μορφή ελασμάτων[2]

Τα πρώτα σύνθετα υλικά χρονολογούνται από τα τέλη του 19ου αιώνα και είχαν ως συστατικά στοιχεία φυσικές ρητίνες και ίνες, όπως πίσσα και ίνες ξύλου. Η μαζική παραγωγή υαλονημάτων ξεκίνησε στο τέλος της δεκαετίας του 1930 και ουσιαστικά σηματοδοτεί τη γέννηση των σύνθετων υλικών προηγμένης τεχνολογίας. Τα σύγχρονα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών από υπόγειες δεξαμενές καυσίμων έως ύφαλα πλοίων και πολεμικά αεροσκάφη. Αρχικά, λόγω του υπερβολικού κόστους και των περιορισμένων πειραματικών αποτελεσμάτων, οι εφαρμογές των σύνθετων υλικών περιορίστηκαν στην αεροναυπηγική [3], τη χημική βιομηχανία και τη ναυπηγική. Η επικόλληση στρώσεων ινοπλισμένων πολυμερών από ανθρακονήματα σε δομικά στοιχεία κατασκευών με σκοπό την επισκευή και ενίσχυση τους πρωτοεφαρμόστηκε στην Ελβετία το 1984. Το ‘υφασμάτων’ ινοπλισμένων πολυμερών για τη σεισμική ενίσχυση βάθρων γεφυρών στην Καλιφόρνια πριν από περίπου μία δεκαετία [4]. Σήμερα το ¼ της παραγωγής σύνθετων υλικών χρησιμοποιείται σε εφαρμογές πολιτικού μηχανικού. Στη χώρα μας οι πρώτες εφαρμογές πραγματοποιήθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και εξαπλώθηκαν ιδιαίτερα μετά το σεισμό της Πάρνηθας το 1999.



Εικόνα 3 : Χρήση FRP σε αεροσκάφος [3] Εικόνα 4 : FRP σε βάθρα γεφυρών [4]

2.1 ΥΛΙΚΑ

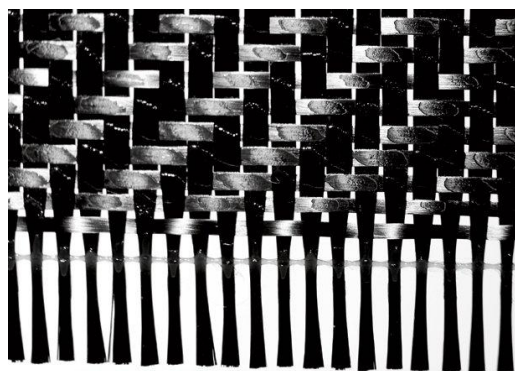
Οι τρεις συνηθέστεροι τύποι ινών που χρησιμοποιούνται σε σύνθετα υλικά ινοπλισμένων πολυμερών είναι τα υαλονήματα [5], τα ανθρακονήματα [6] και οι ίνες πολυαραμιδίου [7].

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.



Εικόνα 5 : Ίνες γυαλιού [5]

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.



Εικόνα 6 : Ίνες άνθρακα [6]

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



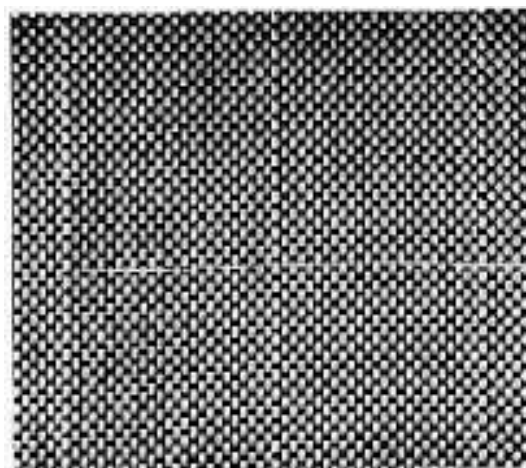
Εικόνα 7 : Ίνες αραμιδίου / Ίνες Kevlar [7]

Τέλος υπάρχουν και άλλοι τύποι ινών που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές πολιτικού μηχανικού και είναι οι ακόλουθες:

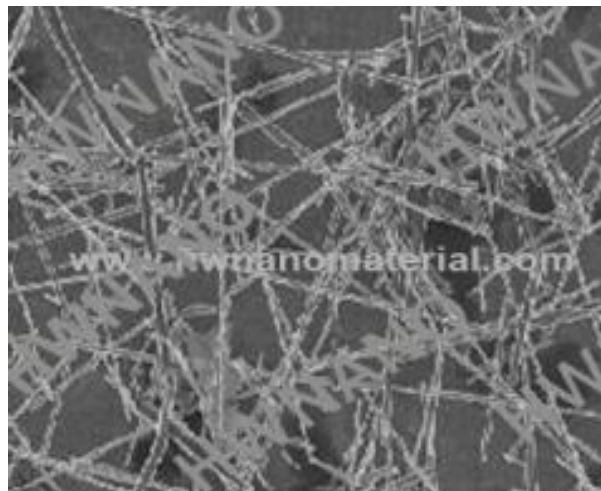
- i. Ίνες γραφίτη: παράγονται όπως οι ίνες άνθρακα με πυρόλυση.[8]
- ii. Ίνες βορίου: έχουν την μεγαλύτερη διάμετρο από όλες τις υπόλοιπες ίνες (0.05 - 0.2mm). Η αντοχή και η ακαμψία τους είναι μεγαλύτερες από αυτές των ινών γραφίτη [9]
- iii. Ίνες από καρβίδιο του πυριτίου: Έχουν υψηλή αντοχή σε οξείδωση και ανθεκτικότητα στις υψηλές θερμοκρασίες .[10]



Εικόνα 8 : Τεμαχισμένες ίνες από γραφίτη [8]



Εικόνα 9 : Ίνες βορίου [9]

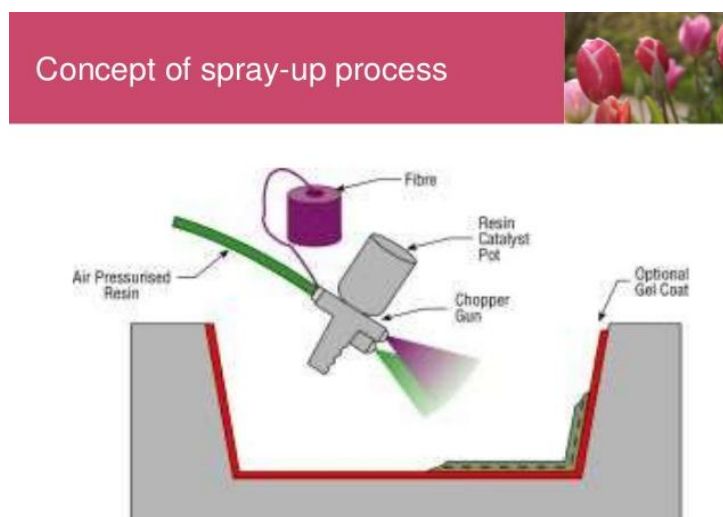


Εικόνα 10 : Ίνες από καρβίδιο του πυριτίου [10]

2.2 ΤΡΟΠΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

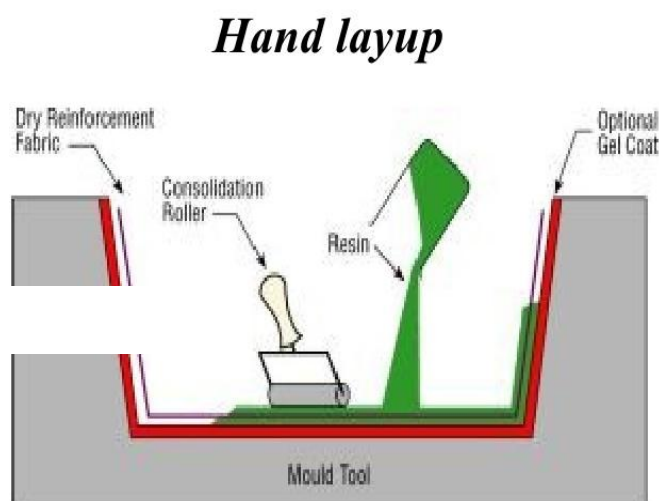
Τα σύνθετα υλικά έχουν διάφορες μορφές, ανάλογα με την μέθοδο κατασκευής τους. Οι πιο συνηθισμένες τεχνικές κατασκευής ινοπλισμένων πολυμερών είναι οι παρακάτω:

- a) Εφαρμογή με ψεκασμό : Οι ίνες κόβονται μέσα στο χειροκίνητο ‘πιστόλι’ και στην συνέχεια τροφοδοτούνται μέσω της, υπό μορφή σπρέι, ρητίνης κατευθείαν στο καλούπι. [11]



Εικόνα 11 : Εφαρμογή FRP με ψεκασμό.[11]

- b) Εφαρμογή με το χέρι : Η ρητίνη εμποτίζεται με το χέρι μεταξύ των ινών, οι οποίες βρίσκονται σε πλεκτή μορφή. Η τελική διαμόρφωση γίνεται με ρολά ή βούρτσες και το προϊόν αφήνεται όπως πριν να ωριμάσει σε κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες [12]



Εικόνα 12 : Εφαρμογή ρητινών με το χέρι [12]

2.3 ΜΗΤΡΕΣ

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι πολυμερών που χρησιμοποιούνται ως μήτρες για την παραγωγή σύνθετων υλικών ινών: τα θερμοσκληρυνόμενα και τα θερμοπλαστικά. Τα θερμοσκληρυνόμενα χρησιμοποιούνται στον κλάδο των οικοδομικών και τεχνικών έργων και είναι οι εποξικές ρητίνες και σπανιότερα ο πολυεστέρας ή βινυλεστέρας. Οι εποξικές ρητίνες υπερέχουν των άλλων τύπων μήτρας λόγω των εξαιρετικών μηχανικών χαρακτηριστικών και της μεγάλης ανθεκτικότητας σε δυσμενείς περιβαλλοντικές επιδράσεις.

2.3.1 ΡΗΤΙΝΕΣ

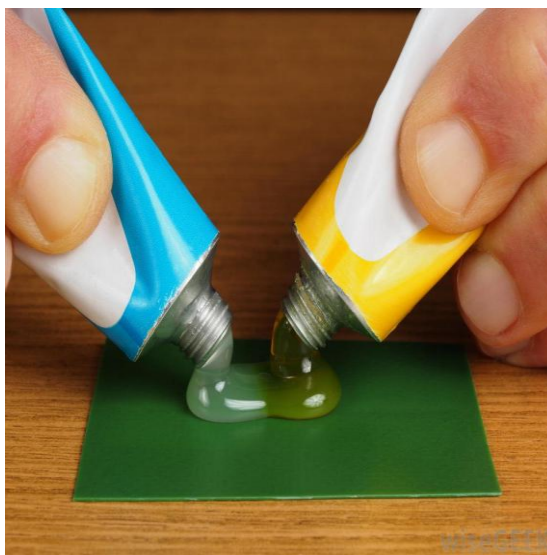
Ρητίνες χρησιμοποιούνται συνήθως ως μήτρες για την παραγωγή σύνθετων υλικών ινών. Η ρητίνη αποτελεί τη συνδετική ύλη μεταξύ των ινών και, ταυτόχρονα, συνεισφέρει στην ανθεκτικότητα και στην ηλεκτρική μόνωση του σύνθετου υλικού. Προκειμένου να αναπτυχθεί ισχυρή μηχανική και χημική σύνδεση μεταξύ ινών και ρητίνης, είναι απαραίτητη η ύπαρξη συνάφειας μεταξύ τους. Επιπλέον πρέπει να

υπάρχει χημική συμβατότητα έτσι ώστε να μη λάβουν χώρα ανεπιθύμητες αντιδράσεις κατά τη σύνδεση τους. Οι ρητίνες από τη φύση τους είναι τουλάχιστον μία τάξη μεγέθους ασθενέστερες από τις ίνες στις οποίες εμποτίζονται. Παρόλ' αυτά, τα σύνθετα υλικά ινοπλισμένων πολυμερών δεν θα μπορούσαν να υπάρξουν χωρίς τις ρητίνες, καθώς αυτές είναι που μεταφέρουν τα φορτία και κατανέμουν τις τάσεις στις ίνες κάθε στρώσης του πολυμερούς. Η προέκταση των σύνθετων υλικών μπορεί να έχει εξαιρετικά σημαντική επίδραση στη διάρκεια ζωής της μήτρας πολυμερούς.

2.3.1.1. ΕΠΟΞΙΚΕΣ ΡΗΤΙΝΕΣ

Οι εποξικές ρητίνες [14] θεωρούνται γενικά οι καλύτερες μήτρες για χρήση σε ινοπλισμένα πολυμερή λόγω της μεγάλης αντοχής, συγκολλητικής ικανότητας, ανθεκτικότητας σε κόπωση και χημική διάβρωση, καθώς και της χαμηλής συστολής ξηράνσεως που παρουσιάζουν. Όπως συμβαίνει και με τα άλλα είδη ρητινών, οι εποξικές ιδιότητες ποικίλουν σημαντικά ανάλογα με τη ρητίνη βάσης και τις χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τους.

Χρειάζονται επίσης περισσότερο χρόνο για να αναπτύξουν πλήρως τις μηχανικές τους ιδιότητες και έχουν υψηλότερο κόστος σε σχέση με τις δύο άλλες κατηγορίες ρητινών (βινυλεστερικές , πολυεστερικές).



Εικόνα 14 : Εποξική ρητίνη [14]

2.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΒΕΒΛΗΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

2.4.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Ο αντικειμενικός σκοπός της προεργασίας που γίνεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος, είναι η απομάκρυνση της εξωτερικής, μειωμένης αντοχής και ενδεχομένως ενανθρακωμένης, επιφανειακής στρώσης, με ταυτόχρονη έκθεση αδρανών μικρού έως μεσαίου μεγέθους . Τυχόν μεγάλα κενά, οπές και ρωγμές μεγάλου εύρους πρέπει να πληρωθούν με κατάλληλα κονιάματα ή ρητινενέσεις [18] πριν την εφαρμογή της συγκολλητικής ουσίας. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η δημιουργία μίας στρώσης σχετικά ομοιόμορφου πάχους και μεγιστοποιείται η ικανότητα μεταφοράς διατμητικής τάσης. Η διαδικασία προετοιμασίας της επιφάνειας του δομικού στοιχείου συνιστάται να περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Απομάκρυνση βλαμμένου σκυροδέματος ή σκυροδέματος που δεν πληροί τις προδιαγραφές και αντικατάσταση με υλικό καλής ποιότητας.
- Απομάκρυνση σκυροδέματος υψηλής περιεκτικότητας σε τσιμέντο κατά προτίμηση με αμμοβολή.
- Απομάκρυνση σκόνης και θραυσμάτων με χρήση πεπιεσμένου αέρα



Εικόνα 18 : Επιδιόρθωση ρωγμών με ρητινενέσεις - προετοιμασία επιφάνειας [18]

2.4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Οι εργασίες που απαιτούνται για την σωστή εφαρμογή της σύνθετης ουσίας στην προσβεβλημένη επιφάνεια συνοψίζεται στις εξής παρακάτω :

- Επάλειψη της επιφάνειας του δομικού στοιχείου με εποξική ρητίνη ή άλλη κατάλληλη συγκολλητική ουσία. [19a]
- Τοποθέτηση της πρώτης στρώσης του ινοπλισμένου πολυμερούς στην επιφάνεια του δομικού στοιχείου. Συνιστάται η πλήρης επαφή του σύνθετου υλικού με την

επιφάνεια του δομικού στοιχείου. Στην περίπτωση χρήσης υλικών τύπου ελάσματος χρησιμοποιείται μόνο μία στρώση. [19b]

- Τοποθέτηση ειδικών αγκυρίων όπου απαιτείται (τοιχεία, άνω παρειές δοκών ,κτλ.).
- Τοποθέτηση επιπλέον στρώσεων σύνθετου, υλικού σύμφωνα με τη μελέτη επισκευής /ενίσχυσης .
- Μετά τη σκλήρυνση του συστήματος (περίπου μετά από 24ώρες), εφαρμογή επιχρίσματος και βαφή της επιφάνειας του δομικού στοιχείου με βάση αρχιτεκτονικές και αισθητικές απαιτήσεις.



Εικόνα 19 : (a) Επάλειψη επιφάνειας με εποξική ρητίνη , (b) Τοποθέτηση στρώσεων του ανοπλισμένου πολυμερούς [19]

3.1 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

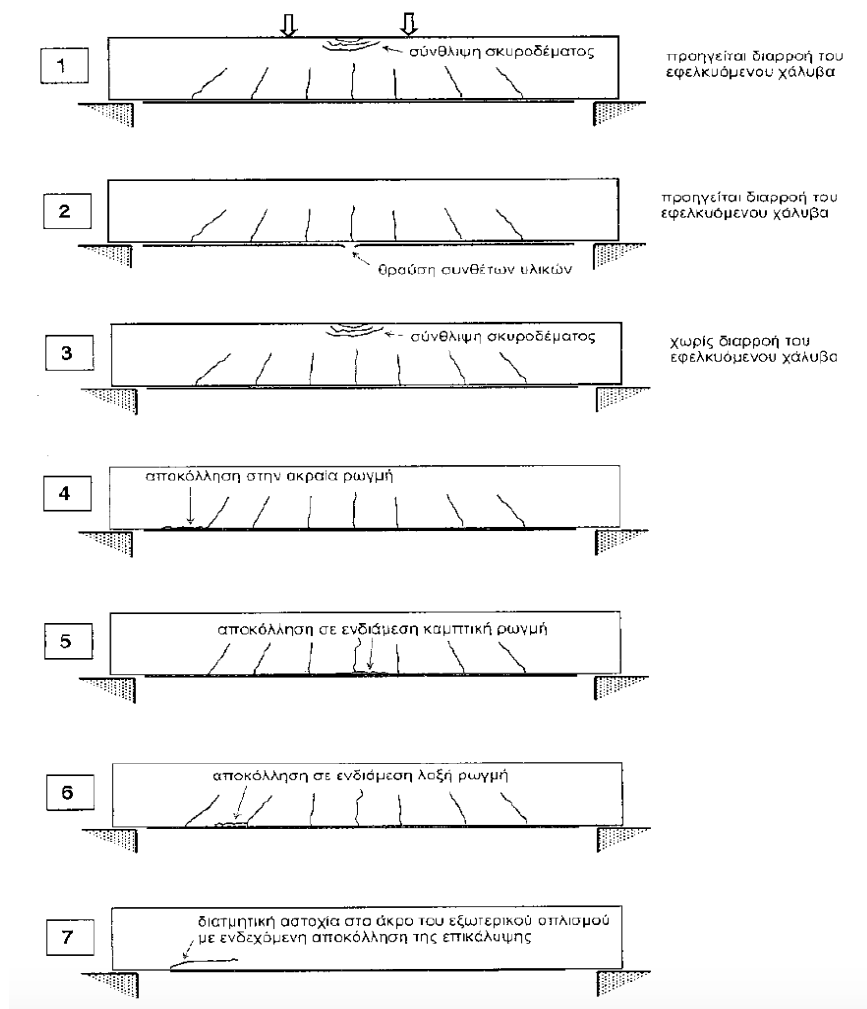
Οι πιο πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα ενισχυμένων σε κάμψη με σύνθετα υλικά είναι οι εξής :

- 1) Διαρροή εφελκόμενου χάλυβα, σύνθλιψη σκυροδέματος
- 2) Διαρροή εφελκόμενου χάλυβα, θραύση σύνθετων υλικών
- 3) Σύνθλιψη σκυροδέματος, χωρίς διαρροή του εφελκόμενου χάλυβα ή θραύση των σύνθετων υλικών

Μηχανισμοί με απώλεια της πλήρους συνεργασίας:

- 4) Αποκόλληση στην ακραία ρωγμή
- 5) Αποκόλληση σε ενδιάμεση καμπτική ρωγμή

- 6) Αποκόλληση σε ενδιάμεση λοξή ρωγμή
 7) Διατμητική αστοχία στο άκρο – Αποκόλληση της επικάλυψης



3.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

Η ανάλυση γίνεται για την οριακή κατάσταση αστοχίας:

1. Ο καμπτικός σχεδιασμός στην οριακή κατάσταση αστοχίας ενισχυόμενων μελών οπλισμένου σκυροδέματος με σύνθετα υλικά απαιτεί όπως κάθε σχεδιασμός οι αντοχές να είναι μεγαλύτερες από τις δράσεις.

$$M_{sd} \leq M_{rd}$$

2. Η ανάλυση μελών ο/σ ενισχυμένων με ΙΟΠ άνθρακα στην οριακή κατάσταση αστοχίας βασίζεται στις ακόλουθες θεμελιώδεις υποθέσεις:

- Διατομές κάθετες στον αξονά της δοκού πριν την παραμόρφωση παραμένουν επίπεδες και κάθετες στον αξονα της δοκού και μετα την παραμόρφωση

- Ύπαρξη συνάφειας μεταξύ ΙΟΠ – σκυροδέματος και σκυροδέματος-χάλυβα
- Το σκυρόδεμα δεν παραλαμβάνει εφελκυστικές τάσεις
- Το ΙΟΠ θεωρείται γραμμικά ελαστικό υλικό μέχρι την αστοχία του

3. Η ενίσχυση με ΙΟΠ είναι αποτελεσματική για χαμηλό λόγο ποσοστά χάλυβα (π.χ. ο χάλυβας διαρρέει στην αστοχία), οι κανόνες εις το εξής θα αναφέρονται αποκλειστικά σε αυτή την κατάσταση.

4. Υποτίθεται ότι η καμπτική αστοχία επέρχεται όταν συμβεί ένα από τα παρακάτω:

Η μέγιστη παραμόρφωση της θλιβόμενης ίνας του σκυροδέματος, ϵ_{cu} φτάσει την μέγιστη που ορίζει ο κανονισμός.

Η παραμόρφωση των ΙΟΠ (σε εφελκυσμό) φτάσει την μέγιστη τιμή της ϵ_{fd} η παραπάνω παραμόρφωση υπολογίζεται ως εξής:

$$\epsilon_{fd} = \min \left\{ \eta_a \frac{\epsilon_{fk}}{\gamma_f}, \epsilon_{fdd} \right\}$$

ϵ_{fk} είναι η χαρακτηριστική παραμόρφωση αστοχίας του συστήματος ενίσχυσης

γ_f, η_a είναι διορθωτικοί συντελεστες που ορίζονται από τον εκάστοτε κανονισμό

ϵ_{fdd} είναι η μέγιστη παραμόρφωση κατά την αποκόλληση των ΙΟΠ

E_f το μέτρο ελαστικότητας των ΙΟΠ

5. Η διατμητική φέρουσα ικανότητα των ενισχυόμενων μελών οφείλει να είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη διατμητική

6. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι κατά την ενίσχυση, το μέλος ΙΟΠ είναι φορτισμένο και υπάρχουν παραμένουσες παραμορφώσεις πριν καν την εφαρμογή των σύνθετων υλικών.

4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

P.Alagusundaramoorthy, I.E. Harik, M.ASCE, C.C Choo

Τα πειράματα των Alagusundaramoorthy et al βασίστηκαν στην δοκιμή ενισχυμένων δοκών σε φόρτιση τεσσάρων σημείων. Αναλυτικότερα δοκιμάστηκαν μέχρι την αστοχία 2 δοκοί ελέγχου και δώδεκα (12) δοκοί οι οποίες ενισχύθηκαν με φύλλα ινοπλισμένου πολυμερούς από άνθρακα δύο ειδών: το πρώτο είχε διαστάσεις (πλάτος * πάχος) 76mm*1.40mm και το δεύτερο 102mm*4.78mm.

Οι διαστάσεις των δοκών ήταν (1*b*d) 4880*230*380mm. Οι δοκοί ήταν ελαφρώς οπλισμένες με 2Φ25 εφελκυσμένο οπλισμό, 2Φ9 θλιβόμενο οπλισμό και συνδετήρες

Φ9/150mm. Οι επικαλύψεις του εφελκόμενου και του θλιβόμενου οπλισμού ήταν αντίστοιχα 38mm και 25mm.

Τέλος χρησιμοποιήθηκαν:

- δύο ή τρεις στρώσεις CFRP τύπου 1
- μία στρώση τύπου 2
- μια ή δύο στρώσεις τύπου 2 στις δοκούς στις οποίες το φύλλο ΙΟΠ αγκυρώθηκε στα άκρα
- μία ή δύο στρώσεις υφάσματος ΙΟΠ

Η αντοχή του σκυροδέματος ήταν 31MPa (αντοχή κυλίνδρου) και το όριο διαρροής του χάλυβα 414MPa. Οι αντοχές των σύνθετων υλικών προσδιορίστηκαν από coupon tests και δίνονται στον πίνακα:

Υλικό ενίσχυσης	Πλάτος (mm)	Πάχος (mm)	Οριακή Τάση Αστοχίας f_{fu}	Μέτρο Ελαστικότητας E_{fu} (GPa)	Παραμόρφωση Αστοχίας ϵ_{fu} (%)
CFRP (φύλλα)	76	1.40	2068 MPa	138	1.50
CFRP (φύλλα)	102	4.78	552 MPa	48	1.1
CFRP (ύφασμα)	203	0.18	490 MPa	228	1.20

Είδος δοκού	Δοκός*	Φορτίο αστοχίας P_u (kN)	Τρόπος Αστοχίας
Δοκοί Ελέγχου	CB1	196	Διαρροή χάλυβα (καμπτική αστοχία)
	CB2	190	Διαρροή χάλυβα (καμπτική αστοχία)
Δοκοί ενισχυμένες με πάχος ΙΟΠ 1.40mm	CB-2S	263	Σύνθλιψη σκυροδέματος
	CB-2S	260	Σύνθλιψη σκυροδέματος
	CB-3S	287	Σύνθλιψη σκυροδέματος
	CB-3S	275	Σύνθλιψη σκυροδέματος
Δοκοί ενισχυμένες με πάχος ΙΟΠ 4.78mm	CB-1S	256	Σύνθλιψη σκυροδέματος (στην μεσαία διατομή)
	CB-1SB	273	Σύνθλιψη σκυροδέματος
	CB-1SB	249	Σύνθλιψη σκυροδέματος
Δοκοί ενισχυμένες με πάχος ΙΟΠ 0.18mm	CB-2SB	306	Σύνθλιψη σκυροδέματος
	CB-1F	219	Σκίσιμο ΙΟΠ στην μεσαία διατομή
	CB-1F	223	Σκίσιμο ΙΟΠ στην μεσαία διατομή
	CB-2F	263	Σκίσιμο ΙΟΠ στην μεσαία διατομή
	CB-2F	270	Σκίσιμο ΙΟΠ

*#S: αριθμός φύλλων ΙΟΠ, #SB:αριθμός φύλλων ΙΟΠ με αγκύρωση στις στριξίες

4.2

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ANYSECTION

Έγινε ανάλυση διατομής δοκού οπλισμένου σκυροδέματος ενισχυμένης με ινοπλισμένα πολυμερή με τη χρήση του προγράμματος Anysection.

4.3 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΑΠΟ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ ΓΙΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)

Η τεχνική εφαρμόζεται κυρίως σε πλάκες και δοκούς, σπανίως δε σε υποστρώματα ή τοιχώματα. Τα ελάσματα ή τα υφάσματα επικολλώνται στο εφελκόμενο πέλμα με χρήση κατάλληλου συγκολλητικού υλικού (π.χ. εποξειδική κόλλα). Η εφαρμογή της τεχνικής των πρόσθετων εφελκόμενων οπλισμών, συνιστάται όταν η επιδιωκόμενη αύξηση της καμπτικής αντίστασης του στοιχείου δεν είναι μεγαλύτερη από την αρχική. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι μέσω αυτής της τεχνικής, εκτός από την αύξηση της καμπτικής αντίστασης του στοιχείου, επιφέρεται σημαντική αύξηση της δυσκαμψίας και περιορισμός των παραμορφώσεων και της ρηγμάτωσης, καθώς και μείωση της πλαστιμότητας.

4.4 ΒΙΝΤΕΟ

<https://www.youtube.com/watch?v=Ngt0PIAzpkl>

<https://www.youtube.com/watch?v=NSbpl9f0lO8>

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αναλύθηκαν οι φυσικοχημικές ιδιότητες των ινοπλισμένων πολυμερών και κατηγοριοποιήθηκαν με κριτήριο το υλικό βάσης. Στη συνέχεια, παρουσιάστηκαν πειραματικά αποτελέσματα από την χρήση των FRP σε δοκούς από οπλισμένο σκυρόδεμα για ενίσχυση σε κάμψη. Αυτό υποστηρίχθηκε από ερευνητικά αποτελέσματα με την χρήση Η/Υ για να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ,ότι αυτή η μέθοδος αποτελεί μια ικανοποιητική και οικονομική λύση για την επισκευή και ενίσχυση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα με ανθεκτικότητα και μακρά διάρκεια ζωής σε κανονικές περιβαλλοντικές συνθήκες, καλή συμπεριφορά σε θερμοκρασιακές μεταβολές και σε υδάτινο περιβάλλον και εξασφάλιση της ικανότητας του κτηρίου , σφαιρικά, να είναι λειτουργικό.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] ΧΡΙΣΤΟΥ Μ. ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ τ. Καθηγητή Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης , ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΡΙΤΗ ΕΚΔΟΣΗ 2η ΑΝΑΤΥΠΩΣΗ, pp 234-237, 2006

[2] www.okeanis.lib.teipir.gr/

[3] www.dspace.lib.ntua.gr

[4] www.reforcetech.com

[5] www.cmaterials.gr/

[6] www.nedomisi.gr/

- [7] www.oasp.gr/
- [8] www.svf.stuba.sk/
- [9] www.isomat.gr/
- [10] www.researchgate.net (Λήψη φωτογραφικού υλικού)
- [11] www.slideshare.net/AttitudeBlogger/frp-lladrpt-group-c (Λήψη φωτογραφικού υλικού)
- [12] www.ztools.gr/ (Λήψη φωτογραφικού υλικού)
- [13] www.jiadichemical.gr.bossgoo.com/ (Λήψη φωτογραφικού υλικού)
- [14] www.fibretech.org/ (Λήψη φωτογραφικού υλικού)
- [15] Κουτσοπούλου Α., Παπαϊωάννου Α., “Πειραματική και Αναλυτική Διερεύνηση Καμπτικής Συμπεριφοράς Δοκών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα Ενισχυμένες με Ινοπλισμένα Πολυμερή”, Μεταπτυχιακή εργασία Ε.Μ.Π, Αθήνα 2011
- [16] Χαλκιαδάκη Ε., “ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ”, Διπλωματική Εργασία, Βόλος 2005
- [17] Tarek Alkhrdaji, Antonio Nanni, Genda Chen, Michael Barker, “Upgrading the transportation infrastructure: Solid RC decks strengthened with FRP”, Concrete International: Design and Construction, Vol.21, No.10, Oct.1999, pp. 37-41.
- [18] Laura De Lorenzis, Andrea Rizzo, Antonio La Tegola “Anchorage Length of NSM FRP Rods in Concrete”, ACIC 2002 Southampton, UK, April 15th-17th , 2002