

**ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΝΟΡΓΑΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ**

ΝΤΕΛΜΕΚΟΥΡΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η χρήση των κλασικών ινοπλισμένων πολυμερών(ή σύνθετων σωμάτων) οργανικής μήτρας,έναντι αυτών με ανόργανη μήτρα με βάση τσιμεντοκονιάματα . Αρχικά γίνεται μία αναφορά στα υλικά που συνθέτουν τα ΙΟΠ ,στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζουν και στον τρόπο εφαρμογής τους για την ενίσχυση κατασκευών από σκυρόδεμα .Στη συνέχεια αναλύονται περιληπτικά δύο διαφορετικές πειραματικές μελέτες που έχουν γίνει με στόχο την σύγκριση των διαφορετικών ειδών μήτρας καθώς και διατίθενται στοιχεία για διάφορα ινοπλισμένα σκυροδέματα με σκοπό να κατανοήσουμε καλύτερα τις ιδιότητες αυτού του σχετικά νέου σε χρήση υλικού.

1.ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ Ή ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

1.1.ΓΕΝΙΚΑ

Τα τελευταία 15 χρόνια(τη τελευταία δεκαετία στην Ελλάδα) έχει αναπτυχθεί μία νέα τεχνική ενίσχυσης η οποία βασίζεται στην χρήση προηγμένων υλικών που αποτελούνται από το συνδυασμό οργανικών ή ανόργανων ινών (ίνες γυαλιού,αραμιδίου και άνθρακα με διάμετρο 5-25μm)σε μήτρα εποξειδικής ρητίνης.Τα υλικά αυτά είναι γνωστά ως ινοπλισμένα πολυμερή (Fiber Reinforced Polymers-FRP) ή σύνθετα υλικά .Η εφαρμογή τους ως οπλισμός ενίσχυσης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος συνίσταται στην μέσω εποξειδικών ρητινών επικόλληση τους σε εξωτερικές επιφάνειες δομικών στοιχείων ,με προσανατολισμό ινών τέτοιο ώστε να παραλαμβάνουν σημαντικές εφελκυστικές δυνάμεις .Εκτιμάται ότι η παγκόσμια χρήση των σύνθετων υλικών σε πεδία τεχνικών έργων παρουσιάζει ετήσιο ρυθμό αύξησης της τάξης του 3%,με την ετήσια κατανάλωση στο έτος 2007 να ξεπερνά τους 300.000 τόνους.

1.2.ΙΝΕΣ

Οι κυριότεροι τύποι ινών που χρησιμοποιούνται στα FRP είναι:

Οι **ίνες γυαλιού**.Έχουν πυκνότητα 2300-2500 kg/m³, παράγονται από λιωμένο γυαλί και σημαντικό τους πλεονέκτημα είναι το χαμηλό τους κόστος .Μπορεί να είναι τύπου E,είναι ο πιο κοινός τύπος γυαλιού, αλλά παρουσιάζουν μικρή αντίσταση σε αλκαλικό περιβάλλον, όπως αυτό του σκυροδέματος. Οι ίνες τύπου S έχουν υψηλότερη αντοχή και μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας από τις τύπου E.Οι ίνες τύπου Ζ(ή Alkali Resistant) είναι ανθεκτικές σε αλκαλικό περιβάλλον και παρουσιάζουν αντίστοιχες ιδιότητες με αυτές του τύπου E.

Οι **ίνες αραμιδίου** .Είναι οι ελαφρύτερες με πυκνότητα 1450 kg/m³. Παράγονται είτε από αρωματικό πολυαραμίδιο (Κέβλαρ, Twaron) είτε από αρωματικό πολυαιθεραμίδιο (Technora) και πλεονεκτούν αναφορικά με την αντοχή τους σε κρουστικά φορτία. ,

Οι **ίνες άνθρακα**.Έχουν πυκνότητα 1800-1900 kg/m³και διακρίνονται σε αυτές που προέρχονται από την θερμική κατεργασία του πολυακρυλονιτριλίου (PAN) και σε αυτές

που παράγονται μέσω απόσταξης κάρβουνου (pitch) , με μικρότερη αντοχή και μέτρο ελαστικότητας από τις πρώτες.

Σε ινώδη μορφή πολλά υλικά παρουσιάζουν εξαιρετικές ιδιότητες αντοχής και δυσκαμψίας.Στις ενισχύσεις με σύνθετα υλικά όμως χρησιμοποιούνται ίνες διαμέτρου 5-20 μm και μεγάλου μήκους σε μία ή δύο διευθύνσεις. Ο υψηλός λόγος μήκους προς

διάμετρο επιτρέπει την αποτελεσματική μεταφορά φορτίων μέσω του άλλου βασικού συστατικού του συστήματος, της μήτρας, ώστε πλέον οι ίνες να λειτουργούν ως οπλισμός. Κύριο χαρακτηριστικό των ινών είναι η εξαιρετικά υψηλή εφελκυστική αντοχή τους και η γραμμικά ελαστική συμπεριφορά ως την θραύση τους .Οι ίνες είναι δυνατό να διατίθενται σε μορφή νήματος, αλλά και φύλλων μίας διεύθυνσης, υφασμάτων μίας ή δύο διευθύνσεων και πλεγμάτων δύο διευθύνσεων.

1.3.ΜΗΤΡΑ

Η συγκολλητική ύλη μεταξύ των ινών στα σύνθετα υλικά είναι η μήτρα και συνήθως είναι ένα θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές.Οι εποξειδικές ρητίνες είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος μήτρας, ενώ σπανιότερα χρησιμοποιείται πολυεστέρας ή βινυλεστέρας.Αυτές υπερέχουν των άλλων τύπων μήτρας εξαιτίας των εξαιρετικών μηχανικών χαρακτηριστικών και της μεγάλης ανθεκτικότητας σε δυσμενείς περιβαλλοντικές επιδράσεις.Η μήτρα αναλαμβάνει αμελητέο ποσοστό του φορτίου,αλλά ο ρόλος της είναι πολύ σημαντικός στα σύνθετα υλικά και έγκειται στα εξής:

- Συγκρατεί τις ίνες στην επιθυμητή διεύθυνση και θέση
- Εξασφαλίζει την μεταφορά των φορτίων στις δύσκαμπτες ίνες,έχοντας κατάλληλες μηχανικές ιδιότητες.
- Προστατεύει τις ίνες από εξωτερικούς παράγοντες που μπορεί να τις φθείρουν.
- Καθορίζει αρκετές από τις μηχανικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών(διατμητική,θλιπτική αντοχή και αντοχή κάθετα στην διεύθυνση των ινών).

1.4.ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Βασικά πλεονεκτήματα της τεχνικής των σύνθετων υλικών είναι :

- Ανθεκτικότητα σε διάβρωση
- Υψηλή εφελκυστική αντοχή(πολλαπλάσια του κοινού χάλυβα)
- Χαμηλό βάρος (1/4 με 1/5 του χάλυβα)
- Παραγωγή σε εύκαμπτη ποικίλη μορφή και σε μεγάλα μήκη

Τα παραπάνω στοιχεία μπορούν και εξασφαλίζουν ευκολία και ταχύτητα της εφαρμογής της τεχνικής ακόμα και σε σημεία της κατασκευής με δύσκολη πρόσβαση, αλλά και την διάρκεια της ενίσχυσης.

Τα μειονεκτήματα της χρήσης των σύνθετων υλικών είναι:

- Πτωχή συμπεριφορά σε υψηλές θερμοκρασίες, της τάξης 50-80 βαθμούς κελσίου(θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης),οι οποίες μετατρέπουν την εποξειδική ρητίνη σε "πλαστικό" υλικό και έτσι μειώνεται η ικανότητα ανάληψης δυνάμεων και το μέτρο ελαστικότητας.Σε θερμοκρασίες κατά την διάρκεια πυρκαγιάς επέρχεται πλήρης αποσύνθεση των ρητινών και επομένως τα σύνθετα υλικά καθίστανται ανενεργά.
- Πτωχή συμπεριφορά στην υπεριώδη ακτινοβολία.Αυτή επιφέρει αλλοίωση της ισχύος των δεσμών και γενικά μείωση της αντοχής στην μήτρα των σύνθετων υλικών που εκτίθενται σε αυτή.

- Έλλειψη πλαστιμότητας(σε αντίθεση με τον χάλυβα),παρότι έχουν υψηλή παραμορφωσιμότητα η οποία μπορεί να επιφέρει αύξηση της πλαστιμότητας.
- Φτωχή φυσικοχημική συμβατότητα με το υπόστρωμα του σκυροδέματος.
- Υψηλό κόστος (το οποίο διαρκώς μειώνεται όμως)
- Έλλειψη φιλικότητας των πολυμερών προς το περιβάλλον.
- Έλλειψη γνώσεων στον τεχνικό κόσμο λόγω του ότι αποτελεί σύγχρονη τεχνική ενίσχυσης.

Γενικά δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι σε θερμοκρασίες κατά την διάρκεια πυρκαγιάς επέρχεται πλήρης αποσύνθεση των ρητινών και επομένως τα σύνθετα υλικά καθίστανται ανενεργά .Για τον λόγω αυτό απαιτείται πυροπροστασία με ειδικά επιχρίσματα .Επιπλέον τα σύνθετα υλικά παρουσιάζουν πτωχή συμπεριφορά στην υπεριώδη ακτινοβολία .Αυτή επιφέρει αλλοίωση της ισχύος των δεσμών και γενικά μείωση της αντοχής στην μήτρα των σύνθετων υλικών που εκτίθενται σε αυτή .Και σε αυτή την περίπτωση προτείνεται η εφαρμογή επιχρισμάτων ή αντι-UVA βαφών ως μέθοδος προστασίας.Τέλος τα σύνθετα υλικά έχουν αρκετά καλή συμπεριφορά σε συνθήκες υγρασίας .Μόνο μετά από μακροχρόνια δράση του νερού ενδέχεται κάποιοι συνδυασμοί ινών-ρητινών να παρουσιάσουν προβλήματα όπως μείωση της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης και της αντοχής των ρητινών. (Προηγμένες Τεχνολογίες υλικών και Κατασκευών,ΑΘ.Χ.ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ)

1.5.ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

Τα σύνθετα υλικά εφαρμόζονται στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα με σκοπό την ενίσχυσή των μελών τους έναντι κάμψης ,διάτμησης και την περίσφιξή τους .Για την αύξηση της καμπτικής αντοχής επικολλώνται στο εφελκόμενο πέλμα υφάσματα ή ελάσματα σε τέτοια διεύθυνση ώστε να παραλαμβάνουν τις εφελκυστικές δυνάμεις λόγω κάμψης .Για την αύξηση της διατμητικής αντοχής επικολλώνται στην επιφάνεια του μέλους υφάσματα ή ελάσματα με βέλτιστο προσανατολισμό των ινών κάθετα στις πιθανές ρωγμές .Επειδή όμως αυτό είναι δύσκολο να επιτευχθεί ,όπως συμβαίνει και με τους μεταλλικούς συνδετήρες,τα σύνθετα υλικά τοποθετούνται κάθετα στον άξονα του μέλους.Τέλος σε θλιβόμενα στοιχεία εφαρμόζουμε μανδύες από σύνθετα υλικά επιτυγχάνοντας αύξηση της αντοχής τους και της παραμορφωσιμότητας τους λόγω των αναμυσόμενων τάσεων περίσφιξης.

Τα συστήματα ενίσχυσης με σύνθετα υλικά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ,ανάλογα με την μορφή στην οποία αυτά διατίθενται:

α)Προκατασκευασμένα. Σε αυτά η μήτρα έχει σκληρυνθεί πριν την εφαρμογή τους οπότε προκύπτουν

- Ευθύγραμμα ελάσματα τα οποία επικολλώνται μέσω ρητίνης στην επιφάνεια του σκυροδέματος ,παρέχοντας το πρώτο σύστημα ενίσχυσης .Διατίθενται συνήθως σε μομφή ρολών ,και παράγονται με την μέθοδο της εξέλασης ή σπανιότερα ,της στρωμάτωσης .Στη μέθοδο της εξέλασης οι ίνες είναι κατά κανόνα συνεχείς και παράλληλες στην διεύθυνση των ελασμάτων ,ενώ η στρώματωση επιτρέπει την χρήση ινών σε διαφορετικές διευθύνσεις π.χ. παράλληλες και κάθετες στη διεύθυνση των ελασμάτων ,ή και υπό γωνία 45 μοιρών.
- Κελύφη, μανδύες ή γωνίες(ενίσχυση έναντι τέμνουσας),τα οποία επικολλώνται και αυτά μέσω ρητίνης . στην επιφάνεια του σκυροδέματος.



β)Συστήματα υγρής εφαρμογής ή επιτόπου σκλήρυνσης της μήτρας. Σε αυτά οι ίνες δεν έχουν προεμποτιστεί στην μήτρα. Ο εμποτισμός των ιών γίνεται είτε με εφαρμογή του υλικού της μήτρας στο στοιχείο από σκυρόδεμα και την μετέπειτα τοποθέτησή τους ,είτε με τον προεμποτισμό τους πριν εφαρμοστούν στο στοιχείο και την άμεση επικόλλησή τους.

- Φύλλα ή υφάσματα αποτελούμενα από συνεχείς ίνες μίας κυρίως διεύθυνσης χωρίς μήτρα. Για την εφαρμογή τους απαιτείται η τοποθέτηση ρητίνης στο σκυρόδεμα και η απευθείας τοποθέτηση των ιών στη ρητίνη.
- Υφάσματα αποτελούμενα από συνεχείς ίνες σε τουλάχιστον δύο διευθύνσεις , χωρίς μήτρα. Η εφαρμογή τους πραγματοποιείται όπως και στην παραπάνω περίπτωση.
- Φύλλα ή υφάσματα αποτελούμενα από συνεχείς ίνες μίας κυρίως διεύθυνσης , προεμποτισμένα με ρητίνη σε μη σκληρυμένη μορφή. Η εφαρμογή τους γίνεται με ή χωρίς επί πλέον ρητίνη.
- Φύλλα ή υφάσματα αποτελούμενα από συνεχείς ίνες σε τουλάχιστον δύο διευθύνσεις προεμποτισμένα με ρητίνη σε μη σκληρυμένη μορφή. Η εφαρμογή τους γίνεται με ή χωρίς επί πλέον ρητίνη.
- Συνεχείς ίνες χωρίς μήτρα , συγκεντρωμένες σε μορφή νήματος , το οποίο εμποτίζεται με ρητίνη ενώ τυλίγεται στο στοιχείο σκυροδέματος.
- Προεμποτισμένες συνεχείς ίνες , συγκεντρωμένες σε μορφή νήματος , το οποίο ενώ τυλίγεται στο στοιχείο σκυροδέματος, ενδεχομένως να υφίσταται και πρόσθετο εμποτισμό.

1.6.ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Η πιο συνηθισμένη τεχνική εφαρμογής των σύνθετων υλικών είναι η επιφανειακή με το χέρι επικόλληση των υφασμάτων, φύλλων ,πλεγμάτων ιών ή προκατασκευασμένων στοιχείων μέσω εποξειδικής ρητίνης στα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος .Επίσης η επικόλληση ράβδων ή ελασμάτων σε εγκοπές ,που αποσκοπεί στην αύξηση της καμπτικής αντοχής ,πλεονεκτεί έναντι της επιφανειακής επικόλλησης ως προς την βελτιωμένη συνάφεια των σύνθετων υλικών με το σκυρόδεμα.



Επιπλέον υπάρχουν τεχνικές οι οποίες δεν τυγχάνουν ευρείας εφαρμογής στην χώρα μας ,όπως η αυτοματοποιημένη περιτύλιξη “νημάτων”,η προένταση των ελασμάτων η οποία και αυξάνει την αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης και η επιταχυνόμενη σκλήρυνση με θέρμανση της ρητίνης στην διεπιφάνεια ελασμάτων-σκυροδέματος με σκοπό την ταχύτερη διεκπεραίωση της ενίσχυσης.

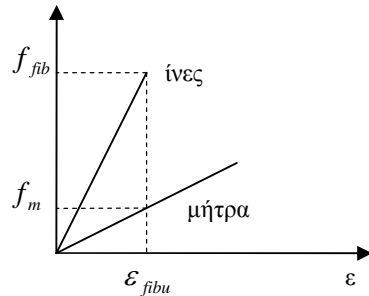
2.ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΑΝΟΡΓΑΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ

2.1.ΓΕΝΙΚΑ

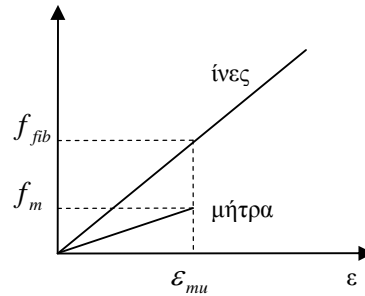
Κανένας δεν μπορεί να αμφισβητήσει την αξιοπιστία της χρήσης των ΙΟΠ η οποία καταδεικνύεται και από την πρακτική αποτελεσματικότητα του όλο και μεγαλύτερου πλήθους των εφαρμογών τους.Στοχεύοντας όμως στην εξάλειψη των μειονεκτημάτων της τεχνικής αυτής ερευνάται η αντικατάσταση της χρήσης των οργανικών πολυμερικών υλικών από ανόργανα υλικά με βάση το τσιμέντο. Η νεότερη αυτή τεχνική ,των σύνθετων υλικών ανόργανης μήτρας, εισήχθη στο τέλος της δεκαετίας του 1990 ακολουθώντας την αυξανόμενη παραγωγή των δομικών κονιαμάτων υψηλών επιδόσεων.

Εν συντομία μπορούμε να προσδιορίσουμε τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά του εναλλακτικού συστήματος ενίσχυσης στα εξής :

- ικανές μηχανικές ιδιότητες για τη μεταφορά φορτίων
- σωστή σύσταση ώστε να εξασφαλίζεται καλή διείσδυση και καλή συνάφεια με το ύφασμα ή το πλέγμα των ινών
- θερμική και χημική συμβατότητα με τις ίνες και το υλικό του υποστρώματος
- αντίσταση στην φωτιά και τις υψηλές θερμοκρασίες
- ικανή εργασιμότητα, δηλαδή δυνατότητα εφαρμογής σε μεγάλες κατακόρυφες επιφάνειες και ικανός χρόνος εργασιμότητας.
- αποδεκτοί περιβαλλοντικοί όροι κυρίως στην εφαρμογή
- καλή συνάφεια με τη προεργασμένη επιφάνεια σκυροδέματος
- περιορισμένη συστολή ώστε να μην αναπτυχθούν τάσεις στη διεπιφάνεια της ενισχυμένης κατασκευής και της ενίσχυσης
- το μέτρο ελαστικότητας του κονιάματος της μήτρας θα πρέπει να είναι ίδιας τάξης μεγέθους με το ενισχυμένο σκυρόδεμα. ,διότι μεγάλες διαφορές στα μέτρα
- ελαστικότητας της κόλλας και των συγκολλούμενων υλικών μπορούν να επιφέρουν συγκεντρώσεις τάσεων.
- χρήση υλικού ως μήτρα με χαμηλότερη εφελκυστική παραμόρφωση αστοχίας από τις ίνες ,με σκοπό την αποφυγή της ψαθυρής αστοχίας.



ίνες με μικρότερη παραμόρφωση αστοχίας (μη επιθυμητή)



μήτρα με μικρότερη παραμόρφωση αστοχίας (επιθυμητή)

Η σύσταση της ανόργανης μήτρας είναι ένα κρίσιμο σημείο προκειμένου να επιτευχθούν τα παραπάνω απαιτούμενα χαρακτηριστικά. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην όσο τον δυνατό εξασφάλιση καλύτερης συνάφειας μεταξύ μήτρας και ινών.

Η ζητούμενη συνάφεια εξαρτάται κυρίως από α) την κοκκομετρία και β) την περιεκτικότητα κονιάματος σε πολυμερή.

Η χρήση λεπτόκοκκου τσιμέντου (έχει μεγάλες αντοχές και επιτάχυνση της ανάπτυξης του σε σχέση με το κανονικό) αποσκοπεί στην καλύτερη διείσδυση και εμποτισμό των ινών. Τα πολυμερή βελτιώνουν τις συνθήκες συνάφειας και αυξάνουν την ελαστικότητα της μήτρας συνεισφέροντας έτσι στην μεταφορά των δυνάμεων στις ίνες. Έλεγχοι σε εμπορικά κονιάματα έδειξαν ότι ο βέλτιστος λόγος πολυμερούς προς τσιμεντοκονίαμα είναι 0,5.

Παραδειγματικά να αναφέρουμε ότι ύστερα από έρευνες επάνω στην σύσταση της ανόργανης μήτρας έχουν προκύψει διάφορα παρασκευάσματα όπως το γεωπολυμερές, ένα ποζολανικό κονίαμα (geopolymer), το οποίο αποτελείται από σκόνη αργιλοπιριτίου με καταλύτη το νερό, η μήτρα A30, η οποία προέρχεται από πολύ λεπτό τσιμέντο με 30% πολυμερή και το IPC (Inorganic Phosphate Cement) που προέρχεται από ασβεστοπιριτική σκόνη και φωσφορικό οξύ και συνθέτει μη αλκαλική ανόργανη μήτρα, κατάλληλη να συνδυαστεί με ίνες γυαλιού (το φθηνότερο υλικό ινών).

2.2. Κονιάματα με πολυμερή

Τα κονιάματα με πολυμερή παρασκευάζονται με δύο τρόπους: α) με αντικατάσταση του τσιμέντου με πολυμερές β) με αντικατάσταση μέρους του νερού με υδατοδιαλυτό πολυμερές (latex)

Στην πράξη έχει επικρατήσει η ονομασία ρητινοκονιάματα επειδή συνήθως ως πολυμερές χρησιμοποιείται ρητίνη. Κονιάματα αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται εκτός των άλλων και για αποκατάσταση βλαβών μικρού βαθμού σε δομικά στοιχεία από σπλισμένο σκυρόδεμα. Αν και το κόστος του είναι ιδιαίτερα υψηλό σε σύγκριση με τα κονιάματα που έχουν βάση το τσιμέντο, στο πεδίο εφαρμογής που προαναφέρθηκε έχουν σαφές προβάδισμα.

Τα πλεονεκτήματα των κονιαμάτων αυτού του τύπου είναι (Ενισχύσεις/Επισκευές Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, Σ.Η. ΔΡΙΤΣΟΣ):

- Οι επιτυγχάνόμενες αντοχές σε θλίψη μπορεί να φθάσουν μέχρι και το τετραπλάσιο των αντοχών των αντίστοιχων συμβατικών κονιαμάτων, ενώ η αντοχή σε εφελκυσμό μπορεί να φθάσει μέχρι και το εικοσαπλάσιο.

- Η σκλήρυνσή τους γίνεται πολύ γρήγορα και επιταχύνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα μπορούν να επιτευχθούν ιδιαίτερα υψηλές αντοχές.
- Στην περίπτωση που το τσιμέντο έχει αντικατασταθεί με πολυμερές το μέτρο ελαστικότητας προκύπτει μέχρι 50% υψηλότερο του αντίστοιχου για συμβατικό κονίαμα ,ενώ όταν το νερό αντικατασταθεί με υδατοδιαλυτό πολυμερές (latex) το μέτρο ελαστικότητας μπορεί να μειωθεί μέχρι και 50%.
- Επιτυγχάνεται αυξημένη αντίσταση στην επιφανειακή φθορά ,στην προσβολή από χημικά και στον παγετό,ενώ παρατηρείται και μία σχετική μείωση του πορώδους και της συστολής ξήρανσης.

Βασικά μειονεκτήματα αυτών των κονιαμάτων είναι ο υψηλός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας ,ο σχετικά υψηλός ερπυστικός συντελεστής και η μικρή αντοχή σε πυρκαγιά.

3.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Παρακάτω περιγράφονται δύο διαφορετικές εργαστηριακές μελέτες που έχουν γίνει επάνω στην χρήση σύνθετων υλικών με ανόργανη μήτρα .Η πρώτη έγινε από τον κύριο Παναγιώτη Αθ.Ζησιμόπουλο στα πλαίσια της μεταπτυχιακής διατριβής του στο εργαστήριο κατασκευών του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών της Πάτρας(2004) και μελετά την ενίσχυση με περίσφιξη . Η δεύτερη έγινε από τους Stephen Kurtz και P.Balaguru μέλη του ASCE , δημοσιεύτηκε στην Journal of Structural Engineering to 2001 και μελετά την ενίσχυση δοκού έναντι κάμψης.

3.1.Περίσφιξη σκυροδέματος

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν έδειξαν γενικά ότι η χρήση ανόργανης μήτρας αύξησε την αντοχή των δοκιμίων από 17-64% κατά περίπτωση ενώ και η παραμόρφωση αστοχίας του απερίσφιγτου σκυροδέματος πολλαπλασιάστηκε 2 έως 4 φορές.

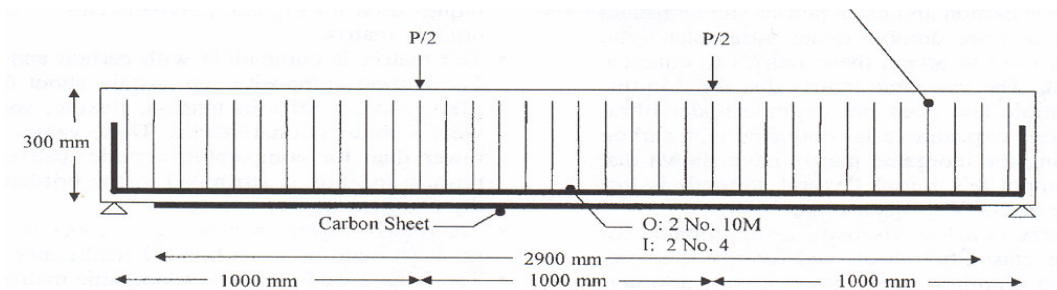
Συγκεκριμένα για τα δοκίμια που περισφίχθηκαν με σύνθετα υλικά ανόργανης μήτρας επιτεύχθηκε ποσοστό 75% της αντοχής αυτών με ΙΟΠ, ενώ στις τετραγωνικές διατομές υπήρξαν ίδιες ή την υπερέβησαν.Τα αποτελέσματα αυτά λοιπόν καταστούν επαρκώς συγκρίσιμα τα δύο διαφορετικά είδη μήτρων.Όσον αφορά στην παραμορφωσιμότητα των δοκιμίων με ανόργανη μήτρα συγκρινόμενης με αυτά με ΙΟΠ παρατηρείται υστέρηση σε μεγαλύτερο ποσοστό από την αντοχή ενώ αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στα τετραγωνικά δοκίμια ανόργανης μήτρας η παραμόρφωση αστοχίας έφθασε το 80% αυτής των δοκιμίων με ινοπλισμένα πολυμερή .Επίσης συγκρίσιμη είναι και η παραμόρφωση αστοχία όπου προέκυψε με την εφαρμογή των δύο διαφορετικών κονιαμάτων ,παρότι το δεύτερο υπολείπεται μηχανικών ιδιοτήτων .Τελικά εξάγεται το συμπέρασμα ότι η περίσφιξη με σύνθετα υλικά ανόργανης μήτρας λειτουργεί ικανοποιητικά σε θλιβόμενο σκυροδέμα και υπολείπεται ελαφρώς αυτής των ινοπλισμένων πολυμερών αν και μπορεί

να αντισταθμηθεί με κάποιες αδυναμίες των δεύτερων που αφορούν την επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων στην ενίσχυση.

Επιπλέον πολύ σημαντικός είναι ο τρόπος εμφάνισης της αστοχίας. Για τα ΙΟΠ η αστοχία είναι ψαθυρή και κάπως εκρηκτική. Αντίθετα στα σύνθετα υλικά ανόργανης μήτρας εμφανίζονται “προειδοποιητικές” ρωγμές στο κονίαμα της μήτρας πριν να ενεργοποιηθούν οι ίνες και φθάσουν στην τελική τους θραύση. Αυτό συμβαίνει διότι η μήτρα κονιάματος επιτρέπει την ανακατανομή των τάσεων μεταξύ των ινών όταν κάποιες από αυτές θραυτούν και δεν την διευρύνει με ψαθυρό τρόπο.

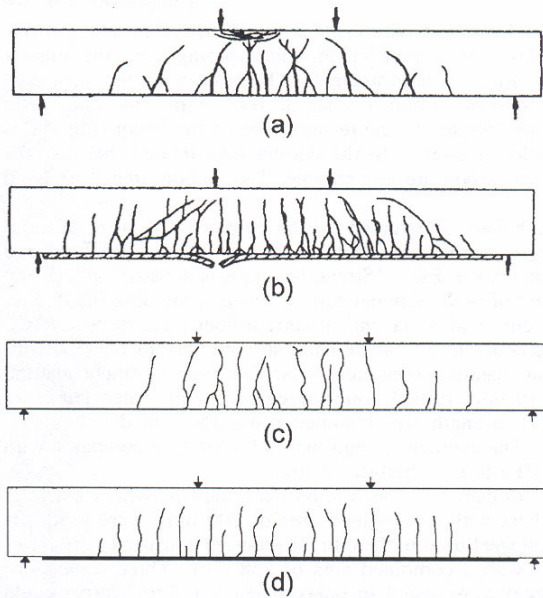
3.2. Δοκός οπλισμένου σκυροδέματος με ενίσχυση έναντι κάμψης

Σε αυτή την πειραματική μελέτη εξετάζεται συγκριτικά η συμπεριφορά δοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα ενισχυμένης με ινοπλισμένα πολυμερή άνθρακα οργανικής και ανόργανης μήτρας. Αυτό λοιπόν το πειραματικό πρόγραμμα σχεδιάστηκε και απομιμείται αντίστοιχη μελέτη που έγινε στο πανεπιστήμιο του Σέρμπρουκ στον Καναδά (1996). Εκεί κατασκευάστηκαν και μελετήθηκαν δοκίμια ενισχυμένα με σύνθετα υλικά εποξειδικής μήτρας. Να σημειωθεί ότι η οργανική μήτρα που χρησιμοποιήθηκε στο Σέρμπρουκ (OS) πλεονεκτεί κατά πολύ σε μηχανικές ιδιότητες έναντι της ανόργανης (IS) στην παρούσα μελέτη.



Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οπλισμένοι δοκοί ανοίγματος 3m με φορτία σε κάθε 1/3 του ανοίγματος. Το κονίαμα της ανόργανης μήτρας είναι ποζολανικής φύσης προερχόμενο από την άλεση του αργιλοπιριτίου με καταλύτη το νερό (geopolymer) και χρησιμοποιήθηκαν υφάσματα από ίνες άνθρακα μίας διεύθυνσης, τα οποία και τοποθετήθηκαν στην εφελκυσόμενη πλευρά της δοκού.

Η αστοχία του οργανικού σύνθετου υλικού (OS) επήλθε με την αποκόλληση της μήτρας και των ινών από την δοκό ενώ στα δοκίμια με τη ανόργανη μήτρα (IS), με θραύση των ινών. Είναι γεγονός ότι στα (IS) δημιουργήθηκαν λιγότερες ρωγμές, κάτι που σύμφωνα με τον μελετητή οφείλεται στο ότι η ανόργανη μήτρα δεν είναι αρκετά γερή ώστε να μείνει κολλημένη στο σκυρόδεμα, κοντά στην περιοχή της ρωγμής, εμποδίζοντας έτσι την μεταφορά της δύναμης στο γειτονικό σκυρόδεμα. και τελικά η ρωγμή που δημιουργείται περνάει μέσα από το σύνθετο υλικό σπάζει την μήτρα και μεταφέρει την ένταση στις ίνες.



Σύγκριση ρωγμών σε φορτίο αστοχίας: (a)δοκίμιο ελέγχου με οργανική μήτρα(b)δοκίμιο ενισχυμένο με οργανική μήτρα(c) δοκίμιο ελέγχου με ανόργανη μήτρα (d) δοκίμιο ενισχυμένο με ανόργανη μήτρα.

Το βέλος κάμψης και για τα δύο συστήματα ,οργανικό κα μη, μειώθηκε αρκετά σε σχέση με τα δοκίμια ελέγχου, ενώ η βύθιση του (IS) έφθασε σε ποσοστό 75% αυτή του (OS).Αντίθετα παρατηρήθηκε αύξηση της αντοχής και στα δύο συστήματα και μάλιστα για την ανόργανη μήτρα η αύξηση της καμπτικής ροπής είναι ανάλογη με την έκταση και το πάχος του σύνθετου υλικού. Δεδομένου των διαφορών στις μηχανικές ιδιότητες των μητρικών υλικών είναι σημαντικό ότι η οριακή διατμητική αντοχή του (IS) ισούται με το 70% αυτής του (OS).

Όσον αφορά στο μέτρο δυσκαμψίας (EI), στο στάδιο της ρηγμάτωσης παρουσιάζει μία συγκρίσιμη αύξηση και για τις δυο μήτρες .Στο στάδιο της διαρροής όμως η αύξηση της ακαμψίας ανά μονάδα επιφάνειας άνθρακα του ανόργανου συστήματος φαίνεται ότι υπερτερεί .Μια πρόχειρη εξήγηση μπορεί να δοθεί κοιτώντας το μέτρο ελαστικότητας της ανόργανης και οργανικής μήτρας που είναι 200 και 240 GPa αντίστοιχα (σύμφωνα με το κατασκευαστή των υλικών)

Παρ'όλες τις μεγάλες διαφορές τω μηχανικών ιδιοτήτων η ανόργανη μήτρα επέδειξε συγκρίσιμη αντοχή και αυξήσεις ακαμψίας με μοναδική μικρή μείωση στη πλαστιμότητα.Αυτά τα απρόσμενα αποτελέσματα μας παραπέμπουν στην ύπαρξη σημαντικών διαφορών ως προς τον μηχανισμό μεταφοράς του φορτίου .Η βασική διαφορά έγκειται στο ότι η σκληρή οργανική μήτρα διαλύει το δεσμό ανάμεσα στο τσιμέντο και τα αδρανή,δημιουργώντας πολλές τριχοειδής ρωγμές ,ενώ η εύθραυστη ανόργανη μήτρα χάνει τους δεσμούς της τμηματικά και συγκεντρώνει τοπικά τις τάσεις στις ανθρακικές ίνες .

Τέλος να επισημάνουμε ότι το ανόργανο υλικό που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την μελέτη δεν είναι εύφλεκτο και δεν αλλοιώνεται (υποβιβάζεται) με την έκθεσή του στην υπεριώδη ακτινοβολία .Μάλιστα έλεγχοι θερμοκρασιακής έκθεσης συστήματος ενίσχυσης με ίνες άνθρακα και ανόργανης μήτρας της συγκεκριμένης σύστασης έδειξαν ότι ύστερα από έκθεση μίας ώρας σε 800 βαθμούς κελσίου ,μόνο το 37% της τελικής εφελκυστικής αντοχής από κάμψη του συστήματος χάθηκε.

3.3ΥΛΙΚΑ

Εν συντομία αξίζει να κάνουμε μία μικρή αναφορά σε κάποια υλικά ,που κυκλοφορούν και χρησιμοποιούνται στον τεχνικό κόσμο ,ενώ η χρήση τους και η βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων τους και όχι μόνο(π.χ. περιεκτικότητα σε υγρασία ,συνεκτικότητα τσιμεντοκονιάματος) αποτελεί συνεχώς τα τελευταία 30 χρόνια αντικείμενο μελέτης και έρευνας. (Technical Report,Bulletin14)

- GRC(Glass Reinforced Concrete) .Κατασκευάστηκε για πρώτη φορά από τον δόκτορα A.J.Majumdar στην Αγγλία το 1967.Είναι ένα σύνθετο υλικό αποτελούμενο από τσιμεντοειδή μήτρα οπλισμένη με ίνες γυαλιού.
- AR-GRC(Alkali Resistant-Glass Reinforced Concrete).Το 1979 ο δόκτωρ Majumdar παρασκεύασε ίνες αλκαλικής αντίστασης προκειμένου να μειώσει την επίδραση του αλκαλικού τσιμεντοειδούς περιβάλλοντος στις ίνες γυαλιού .Επίσης οι ίνες αυτές μπορούν αν διαθέτουν κάποια ειδική προστατευτική μεμβράνη που τις βοηθάει να αυξήσουν την εργασιμότητά τους και να καθυστερήσουν ή και ακόμα να αναβάλουν την δημιουργία κρυστάλλων ασβεστίου ανάμεσα στις δέσμες τους κατά την διαδικασία ενυδάτωσης του υλικού.
- PGRC(Polymer Glass Reinforced Concrete).Πρωτοεμφανίστηκε από τον Forton BV στην αγορά της Ολλανδίας .Αποτελείτε από τσιμεντοειδή μήτρα ,ίνες γυαλιού και πρόσθετα πολυμερικής σύστασης.Τα πολυμερή αυτά δεν είναι παρά μόρια σκόνης αρκετά μεγάλου μεγέθους ώστε μετά την κατακάθιση του υλικού να καλύπτουν όλα τα μικρότερα συστατικά των κονιαμάτων.Η κατακάθιση των πολυμερών γίνεται πριν ή κατά την διάρκεια της ενυδάτωσης της τσιμεντοειδούς μήτρας,και αυξάνει την αντοχή του GRC ,προστατεύοντας τις ίνες γυαλιού από την αλκαλική δράση και γεμίζοντας κενά μεταξύ αυτών.

Βασικοί λόγοι για τους οποίους τα παραπάνω σύνθετα υλικά μπορούν να χάσουν σε μεγάλο βαθμό την αντοχή και πλαστιμότητά τους είναι η “αλκαλική επίθεση” στις ίνες γυαλιού και η εισχώρηση της υγρασίας του τσιμέντου ανάμεσα σε αυτές.Φυσικά ο τύπος των ινών αλλά και η σύνθεση της μήτρας παίζουν κυρίαρχο ρόλο στον χρόνο γήρανσης του υλικού.Επίσης η μήτρα αλλά και η περιεκτικότητα σε πρόσθετα πολυμερή είναι αυτή που επηρεάζει επί το πλείστον το μέτρο ελαστικότητας του υλικού,καθώς με την γήρανση του μειώνεται (όπως άλλωστε αναμένεται από μία τσιμεντοειδή μήτρα).Τέλος να σημειώσουμε ότι σύμφωνα με τις Γερμανικές προδιαγραφές NEN3884 πολύ λεπτά στρώματα των παραπάνω υλικών έχουν αμελητέα αντίσταση σε πυρκαγιά,ενώ με την προσθήκη άλλων στοιχείων πολυμερικής σύστασης μπορεί να εξασφαλιστεί πυροπροστασία κάποιων ωρών.

- CRC(Carbon Fiber Reinforced Cement).Αποτελείτε από τσιμεντοειδή μήτρα και ίνες άνθρακα .Αποτελέσματα από δοκιμές σε λυγισμό ,όπου τα δοκίμια κρατούνταν σε υγρό περιβάλλον 75 βαθμών Κελσίου ,έδειξαν διατήρηση της αρχικής εφελκυστικής αντοχής και πολύ καλή απόκριση των ανθρακικών ινών στο αλκαλικό περιβάλλον.

4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας μπορούμε ,λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των πειραματικών μελετών, ότι τα ινοπλισμένα πολυμερή ανόργανης μήτρας μπορούν ευθέως να συναγωνιστούν τα σύνθετα υλικά ,αφού οι μηχανικές τους ιδιότητες απεδείχθησαν απόλυτα συγκρίσιμες .Μάλιστα χάρις κάποιων πλεονεκτημάτων τους όπως:

- Η εύκολη εφαρμογή και η φιλικότερη χρήση τους
- Το ότι τα τσιμεντοκονιάματα διατίθενται σε χαμηλότερες τιμές από τις εποξειδικές ρητίνες
- Διατηρούν ένα από τα σπουδαιότερα πλεονεκτήματα των σύνθετων υλικών , αυτό του χαμηλού βάρους (πυκνότητα τσιμεντοειδών υλικών 0,8-2,2 gr/cm³, ενώ στις ρητίνες είναι από 1.2 έως 2.2 gr / cm³)
- Η ανθεκτικότητά τους σε υψηλές θερμοκρασίες και υπεριώδη ακτινοβολία μπορούν σε πολλές περιπτώσεις ενίσχυσης υφιστάμενων κατασκευών να προτιμηθούν έναντι των κλασσικών ΙΟΠ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1.**Ενισχύσεις/Επισκευές Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα**
Σ.Η.Δρίτσος (2004)
- 2.**Προηγμένες Τεχνολογίες Υλικών και Κατασκευών**
ΑΘ.Χ.ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ (2003)
- 3.**Ενισχύσεις Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος με Σύνθετα Υλικά**
ΑΘ.Χ.ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ ,Πάτρα 2003-1^η έκδοση.
- 4.**”FIP Design of thin-walled units”**
Technical Report , Bulletin 14,Fib CEB-FIP, Externally bonded FRP reinforcement for RC structures , pp9-20
- 5.**”Comparison of inorganic and organic matrices for strengthening of RC beams with carbon sheets”**
Kurz Stephen and Balaguru P. (2001), Journal Of Structural Engineering , pp35-42
- 6.**”Πειραματική διερεύνηση περίσφιξης σκυροδέματος με σύνθετα υλικά ανόργανης μήτρας”** Διατριβή διπλώματος ειδίκευσης ,Παναγιώτης Αθ.Ζησιμόπουλος ,Πάτρα 2004. (σελ 2,8,31-34,110)

