



Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε.

**Δυναμική Συμπεριφορά Επίπεδων Φορέων Ενισχυμένων με
Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας (IAM-TRM)**

Πτυχιακή Εργασία
Δεληγιαννόπουλος Ιωάννης
Α.Μ. 38785



Επιβλέπων Καθηγητής
Γεώργιος Τσιάτας
Δρ. Πολ. Μηχανικός

Αθήνα, Ιούνιος 2016

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

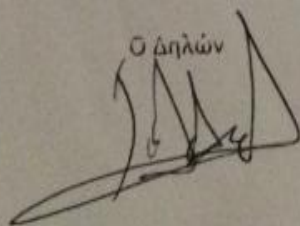
Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Δεληγιαννίδης Ιωάννης, του Διονυσίου φοιτητής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ

του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέπροντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να ολοκληρώσει εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού βμήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18. παρ.5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Ο Δηλών


Ημερομηνία

04/07/2016

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| Πρόλογος | 5 |
| Περίληψη | 6 |
| 1. Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή | 7 |
| 1.1 Γενικά | 7 |
| 1.2 Μέθοδοι Ενίσχυσης Κατασκευών | 7 |
| 1.3 Αναφορικά οι μέθοδοι ενίσχυσης μιας κατασκευής | 8 |
| 1.4 Ανάλυση Μεθόδων Ενίσχυσης | 9 |
| 1.4.1 Μεταλλικά Ελάσματα | 9 |
| 1.4.2 Ρητινενέσεις | 10 |
| 1.4.3 Μορφοσίδερα | 11 |
| 1.4.4 Πλευρικά Τοιχώματα σε συνέχεια υποστυλωμάτων | 12 |
| 1.4.5 Μεταλλικοί Μανδύες | 13 |
| 1.4.6 Μανδύες Οπλισμένου σκυροδέματος | 14 |
| 1.4.7 Πρόσθετοι Οπλισμοί σε Εγκοπές (ΠΟΕ) | 16 |
| 1.4.8 Μεταλλικοί Κλωβοί | 17 |
| 1.4.9 Ινοπλισμένα Πολυμερή Υλικά (ΙΟΠ – FRP) | 18 |
| 1.4.10 Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας (IAM – TRM) | 21 |
| 1.4.10.1 Ινοπλέγματα | 22 |
| 1.4.10.1.1 Ίνες Άνθρακα | 23 |
| 1.4.10.1.2 Ίνες Υάλου | 24 |
| 1.4.10.1.3 Ίνες Αραμιδίου | 25 |
| 1.4.10.1.4 Ίνες Βασάλτη | 26 |
| 1.4.10.2 Ανόργανη Μήτρα | 27 |
| 1.5 Πηγές Πρώτου Κεφαλαίου | 28 |
| 2. Κεφάλαιο 2. Σύγκριση Μεθόδων Ενίσχυσης Κατασκευών | 30 |
| 2.1 Γενικά | 30 |
| 2.2 Κριτήρια Επιλογής Μεθόδου Ενίσχυσης | 30 |
| 2.3 Μηχανικές Ιδιότητες- Τρόπος Χρήσης – Κόστος | 32 |
| 2.3.1 Μεταλλικά Ελάσματα | 32 |
| 2.3.2 Μεταλλικοί Μανδύες | 33 |
| 2.3.3 Μεταλλικοί Κλωβοί | 34 |
| 2.3.4 Μανδύες Οπλισμένου Σκυροδέματος | 34 |
| 2.3.5 Πρόσθετοι Οπλισμοί σε Εγκοπές (ΠΟΕ) | 35 |
| 2.3.6 Ρητινενέσεις | 35 |
| 2.3.7 Πλευρικά τοιχώματα σε συνέχεια υποστηλωμάτων | 36 |
| 2.3.8 Μορφοσίδερα | 36 |
| 2.3.9 Ινοπλισμένα Πολυμερή Υλικά (ΙΟΠ-FRP) | 36 |
| 2.3.10 Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας (IAM-TRM) | 38 |
| 2.4 Σύγκριση Μεθόδων Ενίσχυσης | 40 |

| | | |
|-----------------------|--|-----------|
| 2.4.1 | Σύγκριση Ινοπλεγμάτων Ανόργανης Μήτρας (IAM-TRM) με τις “Παραδοσιακές Μεθόδους” | 42 |
| 2.4.2 | Σύγκριση Ινοπλεγμάτων Ανόργανης Μήτρας (IAM-TRM) με την μέθοδο των Ινοπλισμένων Πολυμερών Υλικών (ΙΟΠ-FRP) | 42 |
| 2.4.3 | Πηγές Δεύτερου Κεφαλαίου | |
| 3. Κεφάλαιο 3. | Επίπεδο Πλαίσιο | 47 |
| 3.1 | Γενικά | 47 |
| 3.2 | Επίπεδο Πλαίσιο | 47 |
| 3.3 | Επίλυση Πλαισίου | 50 |
| 3.4 | Ενίσχυση Πλαισίου με FRP | 50 |
| 3.4.1 | Ενίσχυση ράβδων 1.4.7 με FRP | 51 |
| 3.4.2 | Ενίσχυση ράβδων 1.2.6.7 με FRP | 51 |
| 3.4.3 | Ενίσχυση ράβδων 1.2.6.7 με FRP | 52 |
| 3.4.4 | Ενίσχυση ολόκληρου του πλαισίου με FRP | 52 |
| 3.5 | Ενίσχυση Πλαισίου με TRM | 53 |
| 3.5.1 | Ενίσχυση ράβδων 1.4.7 με TRM | 53 |
| 3.5.2 | Ενίσχυση ράβδων 1.4.7 με TRM | 54 |
| 3.5.3 | Ενίσχυση ράβδων 1.4.7 με TRM | 54 |
| 3.5.4 | Ενίσχυση ραβδων 1.2.6.7 με TRM | 55 |
| 3.6 | Συγκριτικός Πίνακας Ιδιοσυχνοτήτων | 56 |
| 3.6.1 | Πίνακας : Ιδιοσυχνότητες πλαισίου ενισχυμένο με FRP | 56 |
| 3.6.2 | Πίνακας : Ιδιοπερίοδοι πλαισίου ενισχυμένο με FRP | 56 |
| 3.6.3 | Πίνακας : Ιδιοσυχνότητες πλαισίου ενισχυμένο με TRM | 57 |
| 3.6.4 | Πίνακας : Ιδιοπερίοδοι πλαισίου ενισχυμένο με TRM | 57 |
| 4. Κεφάλαιο 4. | Συμπεράσματα | 59 |
| 4.1 | Συμπεράσματα Πρώτου Κεφαλαίου | 59 |
| 4.2 | Συμπεράσματα Δεύτερου Κεφαλαίου | 59 |
| 4.3 | Συμπεράσματα Τρίτου Κεφαλαίου | 61 |

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιάκη εργασία ξεκίνησε τον Απρίλιο του 2014 υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Γ.Χ. Τσιάτα, Δρ. Πολιτικό Μηχανικό του Τομέα του Δομοστατικού Σχεδιασμού του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. του Τ.Ε.Ι. Πειραιά και ολοκληρώθηκε τον Ιούνιο του 2016.

Από την θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω ειλικρινά τον καθηγητή κ. Γ.Χ. Τσιάτα για την καθοδήγησή του, για την άψογη συνεργασία και την άμεση επικοινωνία που είχαμε και για την βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που με στήριξε και με βοήθησε, ώστε να καταφέρω να ολοκληρώσω με επιτυχία τις σπουδές μου στο τμήμα των Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε του Τ.Ε.Ι. Πειραιά.

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιάρχη εργασία παρουσιάζεται η μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς επίπεδων ραβδωτών φορέων ενισχυμένων με Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας (IAM - TRM).

Αρχικά γίνεται διερεύνηση ως προς την αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα των Ινοπλεγμάτων Ανόργανης Μήτρας ως τρόπος ενίσχυσης κατασκευών και συγκρίνεται τόσο με τις “παραδοσιακές” μεθόδους ενίσχυσης που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην χώρα μας, όσο και στην συνέχεια ειδικότερα με την μέθοδο ενίσχυσης με Ινοπλισμένα Πολυμερή Υλικά (ΙΟΠ - FRP).

Στην συνέχεια γίνεται καταγραφή των χαρακτηριστικών όλων των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση και επισκεύη των δομικών στοιχείων μιας κατασκευής. Έπειτα συγκρίνονται οι μέθοδοι αυτοί μεταξύ τους ως προς τις μηχανικές τους ιδιότητες, τον τρόπο χρήσης και το κόστος της εκάστοτε μεθόδου ενίσχυσης και καταγράφονται εντέλει τα συμπεράσματα.

Τέλος διερευνάται η δυναμική συμπεριφορά επίπεδου (ραβδωτού) πλαισίου το οποίο ενισχύεται με Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας, αλλά και με Ινοπλισμένα Πολυμερή Υλικά. Η διερεύνηση αυτή επιτυγχάνεται μέσω της προσομοίωσης του μήκους της ενισχυόμενης ζώνης και καταγράφονται τα τελικά συγκεντρωτικά συμπεράσματα της εργασίας αυτής.

Κεφάλαιο 1^ο

Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Ένα από τα σημαντικότερα θέματα που απασχολούν τον πολιτικό μηχανικό, είναι η ενίσχυση και επισκευή των δομικών στοιχείων μιας κατασκευής. Είναι τόσο σημαντικό, γιατί ο φέρων οργανισμός των δομικών έργων, ύστερα από μία σημαντική καταπόνηση, όπως για παράδειγμα μετά από έναν σεισμό, μπορεί να υποστεί από μικρές βλάβες, μέχρι και να οδηγήσει στην αστοχία μελών αυτής, με αποτέλεσμα να μην έχει πλέον η κατασκευή την φέρουσα ικανότητα, η οποία ζητείται.

Σε χώρες μάλιστα όπως η Ελλάδα, στις οποίες τα δομικά έργα κλυδονίζονται συχνά από σεισμούς λόγω της γεωγραφικής της θέσης, η σωστή μελέτη για την επιλογή και στην συνέχεια την εφαρμογή της κατάλληλης μεθόδου ενίσχυσης, κρίνεται εξαιρετικά σημαντική. Επίσης ένας εξίσου σημαντικός λόγος για τον οποίο η σωστή μελέτη για την ενίσχυση των δομικών έργων στην χώρα μας κρίνεται απαραίτητη, είναι επειδή έχουμε μεγάλο αριθμό κτιρίων σπουδαίας ιστορικής σημασίας και η διατήρηση αυτών, είναι υποχρέωσή μας.

1.2 Μέθοδοι Ενίσχυσης Κατασκευών

Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία από μεθόδους ενίσχυσης μιας κατασκευής, με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά η κάθε μια από αυτές και στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει μια εκτενής αναφορά και ανάλυση αυτών όσο αναφορά τα τρία βασικά τους χαρακτηριστικά.

- Τις μηχανικές τους ιδιότητες
- Τον τρόπο χρήσης της κάθε μεθόδου
- Και τέλος το κόστος εφαρμογής.

1.3 Αναφορικά οι μέθοδοι ενίσχυσης μιας κατασκευής

Όπως έχει είδη αναφερθεί, υπάρχει μια μεγάλη γκάμα από μεθόδους ενίσχυσης. Κάποιες από αυτές είναι ευρέως γνωστές και κάποιες λιγότερο. Αναφορικά αυτές είναι:

- Μεταλλικά Ελάσματα
- Ρητινενέσεις
- Μορφοσίδερα
- Πλευρικά Τοιχώματα σε συνέχεια υποστυλωμάτων
- Μεταλλικοί Μανδύες
- Μανδύες Οπλισμένου Σκυροδέματος
- Πρόσθετοι Οπλισμοί σε Εγκοπές (ΠΟΕ)
- Μεταλλικοί Κλωβοί
- Ινοπλισμένα Πολυμερή Υλικά (ΙΟΠ)
- Ινοπλέγματα ανόργανης μήτρας (ΙΑΜ)

Αυτές λοιπόν είναι όλες μέθοδοι ενίσχυσης μιας κατασκευής. Πρέπει στο σημείο αυτό να αναφερθεί πως οι πρώτες οκτώ μέθοδοι, είθισται να αποκαλούνται "συμβατικοί" μέθοδοι καθώς και "παραδοσιακοί" μέθοδοι. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είναι ευρέως γνώστες και χρησιμοποιούνται από αρχής των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, με συνέπεια όλος ο μηχανικός κόσμος να είναι πολύ περισσότερο εξοικειωμένος με αυτές, συγκριτικά με τις κατά πολύ μεταγενέστερες μεθόδους, των Ινοπλισμένων Πολυμερών Υλικών τα οποία χρησιμοποιούνται τα τελευταία εικοσιπέντε περίπου χρόνια και ακόμα περισσότερο με την μέθοδο των Ινοπλεγμάτων Ανόργανης Μήτρας που είναι ακόμα νεότερη και η χρήση της είναι περιορισμένη.

1.4 Ανάλυση Μεθόδων Ενίσχυσης

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει ανάλυση των χαρακτηριστικών που έχει να επιδείξει, η κάθε μέθοδος ενίσχυσης που έχουμε στην διάθεσή μας σαν μηχανικοί, ξεχωριστά. Θα επιχειρήσουμε με αυτόν τον τρόπο να ελέγξουμε τις μεθόδους αυτές ως προς τα τρία βασικά χαρακτηριστικά που μας απασχολούν. Τις μηχανικές τους ιδιότητες, το κόστος και τον τρόπο εφαρμογής που έχει η κάθε τεχνική ενίσχυσης.

1.4.1 Μεταλλικά Ελάσματα

Ο κύριος λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται τα μεταλλικά ελάσματα είναι για να επιτευχθεί η αύξηση της αντοχής, σε κάμψη και σε τέμνουσα, με την μέθοδο της περίσφιγξης, σε στοιχεία σκυροδέματος. Μια χρήση της μεθόδου αυτής είναι η χρήση κατακόρυφων γωνιακών ελασμάτων με λάμες. Στην μέθοδο αυτή τοποθετούνται τέσσερα γωνιακά ελάσματα σε όλο το ύψος του μέλους, το οποίο έχει υποστεί την βλάβη. Στην συνέχεια και ανά συγκεκριμένες αποστάσεις και έξω από τα γωνιακά ελάσματα, τοποθετούνται ζεύγη από εγκάρσιες λάμες περιμετρικά του μέλους.



Εικόνα 1: Μεταλλικά ελάσματα

1.4.2 Ρητινένεσις

Η χρήση των ρητινένεσεων συνίσταται σε περιπτώσεις όπου το ζητούμενο είναι η επανάκτηση της φέρουσας ικανότητας και της ακαμψίας του ρηγματωμένου μέλους, τόσο σε μέλη σκυροδέματος, όσο και σε τοιχοποιία. Επίσης χρησιμοποιείται για την προστασία του οπλισμού από την διάβρωση καθώς επίσης και για να δημιουργηθεί μια ασφαλής και ανθεκτική συνάφεια μεταξύ τμημάτων σκυροδέματος. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι :

- Ισχυρή πρόσφυση μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα, παρουσιάζοντας μικρή συστολή ξύρασης καθώς και μικρό βαθμό ερπυσμού,
- λόγω του χαμηλού ιξώδους του υλικού (ρητίνη), επιτυγχάνεται η εισχώρηση σε όλο το βάθος της ρωγμής,
- η ανθεκτικότητα τους είναι πολύ μεγάλη και δεν επηρεάζονται σχεδόν καθόλου από τις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες,
- διατηρείται η συνάφεια του πρόσθετου υλικού (ρητίνη), με το είδη υπαρχών οπλισμένο σκυρόδεμα, με την πάροδο του χρόνου
- και τέλος δεν επηρεάζουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατασκευής.

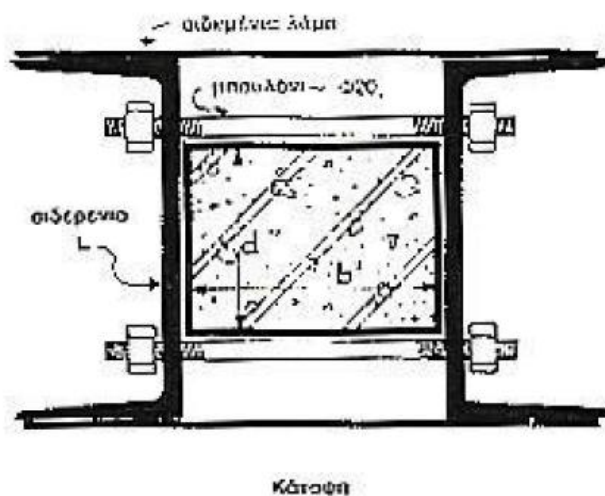
Βέβαια υπάρχουν και μειονεκτήματα, με το βασικό να είναι τα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την εφαρμογή τους σε υψηλές θερμοκρασίες, αλλά και το υψηλό κόστος αφού η ρητίνη που χρησιμοποιείται σαν βασικό συστατικό, έχει μεγάλο κόστος. Επίσης για κάθε περίπτωση πρέπει να γίνεται συγκεκριμένη μελέτη, αφού υπάρχουν πολλά είδη εποξειδικής ρητίνης, που σημαίνει ότι πρέπει να γίνεται κατάλληλη επιλογή αυτής για την εκάστοτε περίπτωση.



Εικόνα 2: Ρητινένεση

1.4.3 Μορφοσίδερα

Η διαδικασία της ενίσχυσης με μορφοσίδερα είναι η εξής. Αρχικά τοποθετούνται δύο μεταλλικές διατομές σχήματος [εκατέρωθεν του υποστηλώματος, σε όλο το ύψος του μέλους και σφηνώνονται στο έδαφος και στην οροφή. Το πλάτος των μεταλλικών διατομών θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από αυτό του υποστηλώματος ώστε να είναι δυνατή η τοποθέτηση δύο μπουλονιών, με σκοπό να δημιουργήσουν αυτά ισχυρή τριβή μεταξύ των σιδηρών διατομών και του σκυροδέματος. Τελικά αυτό που δημιουργείται είναι μια σύμμεικτη κατασκευή η οποία οδηγεί σε αύξηση της ακαμψίας του υποστυλώματος. Αυτό είναι και το σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής. Από την άλλη όμως πρέπει να λειφθούν υπόψη οι επιπτώσεις στην συνολική αύξηση της ακαμψίας μετά την εφαρμογή της ενίσχυσης, στην αντισεισμική συμπεριφορά του κτιρίου. Ακόμα σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι η αύξηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του κτιρίου, με πιθανό αποτέλεσμα να είναι ακόμα και η μείωση, σε πολλές περιπτώσεις, των εσωτερικών χώρων της κατασκευής.



Εικόνα 3: Μορφοσίδερα

1.4.4 Πλευρικά τοιχώματα σε συνέχεια υποστηλωμάτων

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την επίτευξη κυρίως της αύξησης της πλαστιμότητας της κατασκευής. Ταυτόχρονα όμως επιτυγχάνεται και μία μικρή αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας της κατασκευής. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε γωνιακά υποστηλώματα δύο διευθύνσεων, ή σε εσωτερικά μίας διεύθυνσης και για την εφαρμογή της γίνεται χρήση έγχυτου ή εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Ένας ακόμα τρόπος εφαρμογής της μεθόδου είναι η χρήση προκατασκευασμένων στοιχείων.



Εικόνα 4: Πλευρικά Τοιχώματα

1.4.5 Μεταλλικοί Μανδύες

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται με τον εξής τρόπο. Αρχικά δύο μεταλλικά ελάσματα, συνήθως διατομής **Π**, συγκολλούνται εκατέρωθεν του βλαμένου υποστυλώματος με την χρήση ρητίνης. Σκοπός είναι τελικά να γίνει εγκιβώτιση του μέλους αυτού. Με την χρήση της μεθόδου αυτής επιτυγχάνεται η αύξηση της αντοχής και της πλαστιμότητας του σκυροδέματος, αποτρέπεται η αποφλοίωση της επικάλυψης του σκυροδέματος και επιπλέον αναπτύσσεται πλευρική στήριξη στον διαμήκη οπλισμό του υποστυλώματος. Παράλληλα όμως η τεχνική αυτή εμφανίζει και κάποια μειονεκτήματα, όπως ότι ο χάλυβας, που είναι το υλικό των μεταλλικών ελασμάτων που χρησιμοποιούνται, είναι ευπαθής σε διαβρωτικό περιβάλλον και το σημαντικότερο είναι πως είναι δύσκολο να γίνει σωστή εφαρμογή της τεχνικής αυτής αφού είναι ιδιαίτερα δύσκολο να γίνει η σωστή πλήρωση του κενού μεταξύ του σκυροδέματος και των μεταλλικών ελασμάτων, είτε με την χρήση εποξειδικής ρητίνης είτε με την χρήση τσιμεντοκονιάματος.



Εικόνα 5: Μεταλλικοί Μανδύες

1.4.6 Μανδύες Οπλισμένου σκυροδέματος

Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές της μεθόδου αυτής και γίνεται κατηγοριοποίηση αυτής ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του μανδύα του οπλισμένου σκυροδέματος, που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνικής.

Η διάκριση των μανδύων γίνεται με βάση την έκταση τους στο μήκος του υποστηλώματος. Διαχωρίζονται σε ολικούς, οι οποίοι καταλαμβάνουν όλο το μήκος του υποστηλώματος και σε τοπικούς, οι οποίοι καταλαμβάνουν τμήμα του μήκους του. Επίσης διαχωρισμός γίνεται ανάλογα με τον βαθμό περιβολής του υποστηλώματος. Οι κατηγορίες είναι δύο. Οι κλειστοί που περιβάλλουν εξολοκλήρου το μέλος και οι ανοιχτοί, που περιβάλλουν τμήμα αυτού. Ο πρώτος τρόπος χρησιμοποιείται σε μέλοι που έχουν αστοχήσει, ενώ ο δεύτερος χρησιμοποιείται όταν δεν δύναται να γίνει πλήρης περιβολή και παράλληλα το μέλος δεν έχει υποστεί μεγάλη βλάβη.

Επιπλέον κατηγοριοποίηση γίνεται ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής. Οι κατηγορίες είναι τέσσερις. Μανδύες από έγχυτο σκυρόδεμα, στους οποίους απαιτείται χρήση ξυλότυπου και μικρού μεγέθους αδρανών υλικών. Μανδύες από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, στους οποίους δεν απαιτείται ξυλότυπος, πράγμα που τον καθιστά ιδανικό σε δυσπρόσιτες θέσεις. Μανδύες από σκυροτσιμεντόπηγμα, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου παρουσιάζεται πυκνός οπλισμός, ώστε να μην εμποδίζεται η σκυροδέτηση. Τέλος μανδύες από τσιμεντοκονιάματα ή ειδικά σκυροδέματα, που είναι ιδανικοί όταν απαιτείται μικρός μανδύας.

Για να γίνει σωστή εφαρμογή της τεχνικής αυτής, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην συνέχεια του μανδύα στους εκατέρωθεν κόμβους και πέρα από αυτούς, όπως και στην περίπτωση εφαρμογής στον κατώτατο όροφο, όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση πρέπει να περιβάλλονται και τα πέδιλα με αυτόν.

Τα πλεονεκτήματα των μανδύων είναι αρκετά και είναι τα εξής : Καταρχήν επέρχεται αύξηση της καμπτικής και διατμητικής αντοχής του μέλους, βελτιώνεται η συνέχεια και η αγκύρωση του οπλισμού, αυξάνεται η ανθεκτικότητα της κατασκευής αφού αυξάνεται η πυροπροστασία της, προστατεύει τον είδη υπάρχων οπλισμό από περαιτέρω διάβρωση και τέλος παρουσιάζει καλή συμπεριφορά σε τυχηματικές και επαναλαμβανόμενες φορτίσεις.

Βέβαια υπάρχουν και σημαντικά μειονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνικής. Καταρχήν αλλάζουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατασκευής με αποτέλεσμα από την μια να μικρύνει ο ωφέλιμος χώρος αυτής, αλλά και να προκληθεί ασυμμετρία στην δυσκαμψία του κτιρίου. Ακόμα προκαλείται μεγάλη όχληση στον χώρο των επισκευών λόγω του θόρυβου και της σκόνης που δημιουργείται. Τέλος

μειονέκτημα αποτελεί η δυσκολία σκυροδέτησης στην κορυφή του υποστηλώματος στην περίπτωση του έγχυτου σκυροδέματος και η εξειδίκευση του προσωπικού που απαιτείται, για την σωστή παρασκευή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.



Εικόνα 6: Τοποθέτηση οπλισμού για την ενίσχυση με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος



Εικόνα 7: Χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος για την επικάλυψη του πρόσθετου οπλισμού

1.4.7 Πρόσθετοι Οπλισμοί σε Εγκοπές (ΠΟΕ)

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί πρόσθετο οπλισμό σε επιφανειακές εγκοπές οι οποίες διανοίγονται πάνω στην είδη υπάρχουσα επιφάνεια του μέλους που πρόκειται να ενισχυθεί. Αρχικά λοιπόν γίνεται διάνοιξη εγκωπών στην υπάρχουσα επικάλυψη του σκυροδέματος και στην συνέχεια συγκολλώνται οι μεταλλικοί ράβδοι οπλισμού, με την χρήση του κατάλληλου για την εκάστοτε περίπτωση υλικού, δηλαδή είτε με την χρήση κάποιας εποξειδικής ρητίνης, είτε με την χρήση τσιμεντοειδούς κονιάματος. Τα πλεονεκτήματα είναι η εξασφάλιση καλύτερης συνάφειας με τους ΠΟΕ, δύναται επίσης η εύκολη αγκύρωση σε γειτονικά μέλη πέραν την κρίσιμης διατομής μέγιστης ροπής και ακόμα είναι σχετικά εύκολη η προένταση του σίδηρου οπλισμού, ώστε να αναπτυχθούν ακόμα μεγαλύτερες αντοχές. Ακόμα πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι προφυλλάσσονται έναντι της φωτιάς, κάποιας μηχανικής βλάβης, ή κάποιας τυχηματικής σύγκρουσης. Τέλος ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι ενσωματώνονται στον είδη υπάρχων οπλισμό με αποτέλεσμα να μην δημιουργείται κάποια ανεπιθύμητη μεταβολή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της κατασκευής.



Εικόνα 8: Πρόσθετοι Οπλισμοί σε Εγκοπές

1.4.8 Μεταλλικοί Κλωβοί

Η τεχνική του μεταλλικού κλωβού ενδείκνυται σαν προσωρινή λύση για την επίτευξη άμεσης ανάλυσης των κατακόρυφων φορτίων από υποστηλώματα που έχουν υποστεί βλάβη και αδυνατούν να φέρουν τα αξονικά τους φορτία. Στην ουσία πρόκειται για μία τεχνική περίσφιξης του υποστηλώματος και συνίσταται από τέσσερα κατακόρυφα γωνιακά που τοποθετούνται στις τέσσερις γωνίες του βλαμένου μέλους και από οριζόντιες μεταλλικές λάμες, οι οποίες συγκολλούνται πάνω στα γωνιακά. Τα κενά που δημιουργούνται μεταξύ των γωνιακών και του σκυροδέματος καλύπτονται με ένα μη συρρικνούμενο κονίαμα, ή από εποξειδική κόλλα.



Εικόνα 9: Μεταλλικός Κλωβός

1.4.9 Ινοπλισμένα Πολυμερή Υλικά (ΙΟΠ – FRP)

Τα ινοπλισμένα πολυμερή υλικά, (Fiber Reinforced Polymers) είναι μία τεχνική ενίσχυσης η οποία εφαρμόζεται τα τελευταία εικοσιπέντε χρόνια στην Ελλάδα. Η ενίσχυση με την μέθοδο αυτή πραγματοποιείται με την χρήση σύνθετων υλικών τα οποία επικολλούνται στην εξωτερική επιφάνεια του προς ενίσχυση μέλους. Τα σύνθετα αυτά υλικά αποτελούνται από δύο συστατικά. Από οργανικές ή ανόργανες ίνες υψηλής εφελκυστικής αντοχής και από μία θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη.

Για να γίνει η επικόλληση του σύνθετου αυτού υλικού πάνω στην επιφάνεια του βλαμένου μέλους γίνεται χρήση εποξειδικής κόλλας. Οι πλέον συνηθισμένοι τύποι ινών είναι τρεις. Οι ίνες από γυαλί (GFRP), οι ίνες από άνθρακα (CFRP) και τέλος οι ίνες από αραμίδιο (AFRP). Η τοποθέτηση τους γίνεται σε μία ή δύο διευθύνσεις, ανάλογα με το ποια μηχανικά χαρακτηριστικά του μέλους θέλουμε να αυξήσουμε. Διατίθενται στην αγορά είτε σε μορφή υφάσματος, είτε σε μορφή ελάσματος λωρίδας, όμως τα πλέον διαδεδομένα και τα οποία χρησιμοποιούνται κατά κόρον είναι τα υφάσματα, γιατί η εφαρμογή τους είναι πολύ πιο εύκολη. Υπάρχουν ακόμη και προκατασκευασμένοι μανδύες από FRP και εκτοξευόμενο ή ψεκαζόμενο FRP, που κάνει την εφαρμογή της τεχνικής ακόμα ευκολότερη.

Τα πλεονεκτήματα της τεχνικής αυτής είναι σημαντικά αφού επιτυγχάνεται μεγάλη αύξηση της καμπτικής, της διατμητικής και της εφελκυστικής αντοχής του μέλους. Για να επιτευχθεί η αύξηση της καμπτικής αντοχής, οι ίνες κολλούνται σε κατακόρυφη διεύθυνση. Αν τώρα το επιθυμητό είναι να αυξήσουμε την διατμητική αντοχή του μέλους, στην περίπτωση αυτή οι ίνες κολλούνται σε οριζόντια διεύθυνση. Πρέπει να σημειωθεί πως η αύξηση της εφελκυστικής αντοχής που επιτυγχάνεται, στην διεύθυνση των ινών είναι εξαιρετικά μεγάλη. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός πως η εφελκυστική αντοχή στις διευθύνσεις των ινών είναι πολλαπλάσια από αυτή του χάλυβα. Επίσης πλεονέκτημα αποτελεί το χαμηλό τους βάρος, που είναι το 20 – 25% συγκριτικά με αυτό του χάλυβα και το μικρό τους πάχος τάξης χιλιοστών. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση της μορφής και των διαστάσεων των μελών μετά την ενίσχυση να είναι αμελητέα. Ακόμα έχουν υψηλή αντοχή σε διάβρωση και τέλος η εφαρμογή της μεθόδου είναι αρκετά εύκολη αφού τα πλέγματα που χρησιμοποιούνται διατίθενται σε μεγάλα μήκη και σε συνδυασμό με την μεγάλη ευκαμψία που διαθέτουν, τα καθιστούν ιδανικά για χρήση ακόμα και σε τμήματα με δύσκολη πρόσβαση.

Από την άλλη σοβαρό μειονέκτημα της συγκεκριμένης τεχνικής ενίσχυσης, αποτελεί το γεγονός ότι επιτυγχάνεται αύξηση της αντοχής μόνο κατά την διεύθυνση των ινών και παρουσιάζεται έλλειψη πλαστιμότητας. Ακόμα το υψηλό κόστος του σύνθετου υλικού και ιδιαίτερα στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται ίνες άνθρακα, είναι σε αρκετές περιπτώσεις αποτρεπτικό, αφού είναι μέχρι και εννιά φορές μεγαλύτερο από το κόστος του χάλυβα Fe360. Τέλος σαν μειονέκτημα

της τεχνικής αυτής καταλογίζεται η γενικά κακή συμπεριφορά της ρητίνης, σαν υλικό.



Εικόνα 10: Ίνες Άνθρακα



Εικόνα 11: Ίνες Γάλου



Εικόνα 12: Ρητίνη 2 Συστατικών



Εικόνα 13: Ενίσχυση με Ινοπλισμένα Πολυμερή Υλικά (FRP)



Εικόνα 14: Ενίσχυση Δοκού με Ινοπλισμένα πολυμερή Υλικά (FRP)

1.4.10 Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας (IAM – TRM)

Η τεχνική αυτή είναι η νεότερη σε χρήση και εφαρμογή συγκριτικά με τις προαναφερθείσες τεχνικές ενίσχυσης αφού ερευνάτε και εφαρμόζεται μόλις την τελευταία το πολύ δεκαετία στην χώρα μας. Το υλικό που χρησιμοποιείται είναι ένα σύνθετο υλικό, το οποίο αποτελείται από δύο συστατικά. Από πλέγματα ίνων σύνθετων υλικών και μήτρα εξαιρετικά λεπτόκοκκου σκυροδέματος ή κονιάματος.

Η χρήση των Ινοπλεγμάτων Ανόργανης Μήτρας αποσκοπεί σε αύξηση της θλιπτικής αντοχής και της παραμορφωσιμότητας του σκυροδέματος, αύξηση της πλαστιμότητας του ενισχυόμενου μέλους, βελτίωση των συνθηκών συνάφειας μεταξύ ράβδων οπλισμού και σκυροδέματος σε περιοχές μάτισης και τέλος καθυστέρηση εμφάνισης λυγισμού των διαμήκων ράβδων οπλισμού. Μία πολύ σημαντική χρήση της τεχνικής αυτής είναι σε περιπτώσεις όπου τα υποστηλώματα έχουν δεχθεί σοβαρή καταπόνηση και η περίσφιξή τους με IAM εμποδίζει την εγκάρσια διόγκωση του σκυροδέματος, μέσω ενοργοποίησης του μανδύα, αφού οι ίνες του παραλαμβάνουν εφελκυστικές τάσεις, εκμεταλευόμενες έτσι την εξαιρετικά υψηλή εφελκυστική τους αντοχή.

Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες ινών που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή αυτής της τεχνικής. Από γυαλί, από άνθρακα, από αραμίδιο και τέλος από βασάλτη. Για να επιτευχθεί η σωστή συνάφεια μεταξύ των δύο αυτών υλικών εστί ώστε να έχουμε τα αναμενόμενα αποτελέσματα μετά το πέρας της διαδικασίας της ενίσχυσης, απαιτείται να γίνει πλήρης διείσδυση στο πλέγμα ινών από το μητρικό υλικό.

Η μέθοδος ενίσχυσης αυτή χρησιμοποιείται με τον εξής τρόπο. Αρχικά πρέπει να γίνει κατάλληλη προετοιμασία της επιφάνειας του στοιχείου που πρόκειται να ενισχυθεί. Αυτό σημαίνει καθαρισμός της επιφάνειας αρχικά, στην συνέχεια να γίνει εκτράχυνση αυτής και καμπύλωση των γωνιών του μέλους. Στην συνέχεια γίνεται εμποτισμός της επιφάνειας από το μητρικό υλικό (τσιμεντοκονίαμα) και έπειτα γίνεται περίσφιξη του μέλους με πλέγμα ίνων που έχουμε επιλέξει, ανάλογα με την περίπτωση που έχουμε να αντιμετωπίσουμε. Ταυτόχρονα γίνεται ο εμποτισμός των ινών με την συγκολλητική ουσία. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για κάθε στρώση ινοπλέγματος που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε, πράγμα το οποίο εξαρτάται ανάλογα από το μέγεθος της αύξησης των αντοχών που θέλουμε να επιτύχουμε, αφού όσο αυξάνονται οι στρώσεις του σύνθετου υλικού, τόσο αυξάνονται και οι αντοχές του μέλους που ενισχύεται.

Πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι για να επιτευχθεί η πλήρης ενεργοποίηση του μανδύα απαιτείται η αγκύρωση του πλέγματος τουλάχιστον κατά τα δύο τρίτα του μέλους που ενισχύεται. Το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας είναι αφού

ολοκληρωθεί η περιτύλιξη του στοιχείου με τον μανδύα, τοποθετείται ένα εξωτερικό στρώμα τσιμεντοκονιάματος ίδιας σύστασης με αυτό της ανόργανης μήτρας, το οποίο συνεισφέρει στην προστασία του συστήματος ενίσχυσης από φθορές εξαιτίας των περιβαλλοντικών συνθηκών. Τέλος πρέπει να αναφέρουμε πως το ενισχυόμενο μέλος αποκτά την πλήρη αντοχή του μετά το πέρας δεκαπέντε ημερών και πως η συγκεκριμένη τεχνική χρησιμοποιείται κυρίως για την ενίσχυση υποστηλωμάτων και πλακών.

1.4.10.1 Ινοπλέγματα

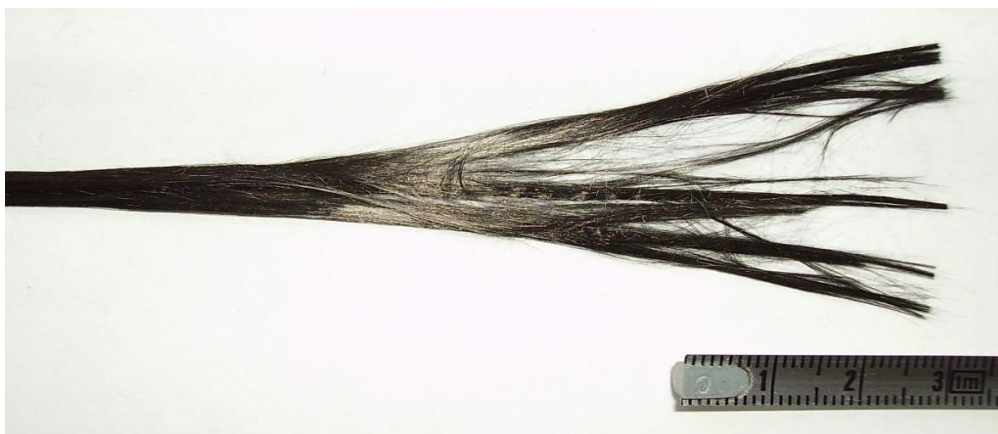
Στο σημείο αυτό θα γίνει περαιτέρω ανάλυση των δύο υλικών που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνικής. Ας αρχίσουμε με τις ίνες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των πλεγμάτων. Στις αρχές της εφαρμογής της μεθόδου χρησιμοποιούνταν συνεχόμενες ίνες μίας διεύθυνσης, όμως παρουσιάστηκε το πρόβλημα της κακής συνάφειας μεταξύ του μητρικού υλικού και των ινών. Για τον λόγο αυτό και για να επιτευχθεί η επαρκής συνάφεια μεταξύ των δύο υλικών, έγινε η αντικατάστασή τους με υφάσματα ινών με κενά, τις λεγόμενες βρογχίδες.

Τα πλέγματα αυτά κατασκευάζονται από κλώνους ινών ανά αποστάσεις, σε δύο ή περισσότερες διευθύνσεις, πράγμα το οποίο εξασφαλίζει την καλή συνάφεια και συνεργασία μεταξύ των ινών και του μητρικού υλικού κυρίως μέσω μηχανικής εμπλοκής του κονιάματος στα κενά μεταξύ των βρογχίδων. Οι ίνες αυτές είναι μικρού πάχους από πέντε έως εικοσιπέντε χιλιοστά (5-25 mm) και αναλαμβάνουν τις εφελκυστικές δυνάμεις μόνο όμως αυτές, οι οποίες είναι παράλληλες στην διεύθυνσή τους. Η εφελκυστική τους αντοχή είναι εξαιρετικά υψηλή και η συμπεριφορά που παρουσιάζουν είναι γραμμικά ελαστική μέχρι να επέλθει η θραύση τους. Πρέπει να σημειωθεί πως η αστοχία τους είναι ψαθυρή (απότομη). Όπως προαναφέρθηκε οι κατηγορίες των ινών είναι τέσσερις και αυτές παρουσιάζουν τα εξής μηχανικά χαρακτηριστικά.

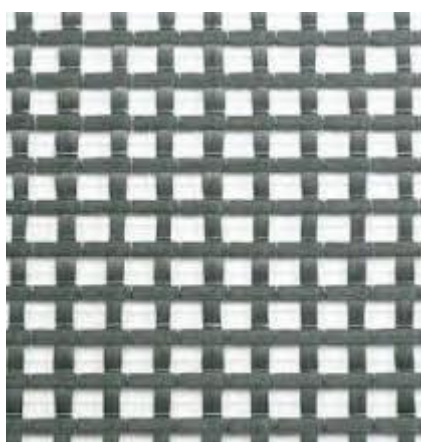
1.4.10.1.1 Ίνες Άνθρακα :

Πρόκειται για τις ίνες οι παρουσιάζουν τις καλύτερες μηχανικές ιδιότητες, με άμεσο επακόλουθο να έχουμε με την χρήση τους και τις μεγαλύτερες αυξήσεις των αντοχών, σε σύγκριση με όλους τις υπόλοιπες ίνες. Εξαιτίας του γεγονότος αυτού όμως όπως είναι φυσιολογικό, έχουν και το υψηλότερο κόστος.

- Μέτρο ελαστικότητας 200 -235 GPa
- Εφελκυστική αντοχή 3500 – 4800 MPa
- Οριακή παραμόρφωση 1,4 – 2,0 %



Εικόνα 15: Ίνες Άνθρακα

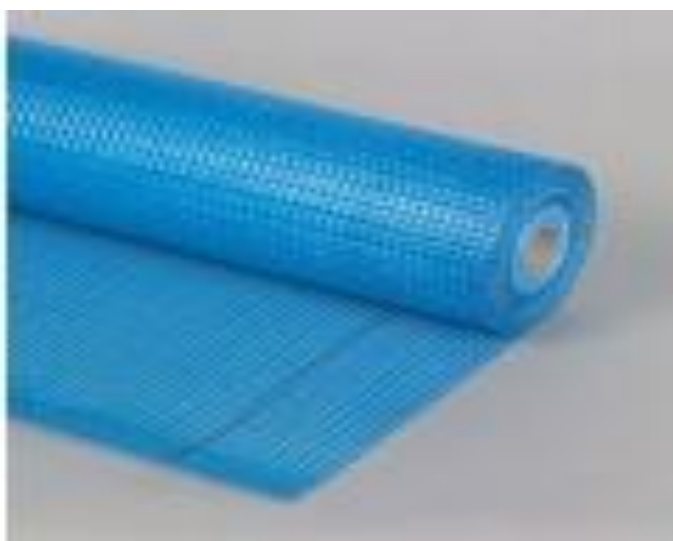


Εικόνα 16: Πλέγμα ινών Άνθρακα δύο διευθύνσεων

1.4.10.1.2 Ίνες Υάλου

- Μέτρο Ελαστικότητας 70 – 90 GPa
- Εφελκυστική αντοχή 1900 – 3000 MPa
- Οριακή παραμόρφωση αστοχίας 3,0 – 4,5 %

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ινών υάλου όμως στην συγκεκριμένη τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ένας. Ο τύπος AR (Alkali Resistant), ο οποίος είναι ανθεκτικός σε αλκαλικό περιβάλλον και ένα τέτοιο περιβάλλον δημιουργείται εξαιτίας της ανόργανης μήτρας που χρησιμοποιείται. Τα βασικά πλεονεκτήματά τους, είναι το μικρό κόστος ενώ παράλληλα έχουν πολύ υψηλή θερμοκρασία αποσύνθεσης, περίπου τους χίλιους βαθμούς Κελσίου. Ακόμα σε συνθήκες υγρασίας υφίστανται μικρή μείωση της αντοχής τους και δεν είναι ευπαθής σε υπεριώδη ακτινοβολία. Μειονέκτημα αποτελεί η μείωση της αντοχής τους όταν βρίσκονται υπό μόνιμη τάση.



Εικόνα 17: Ίνες Υάλου

1.4.10.1.3 Ίνες Αραμιδίου

Οι ίνες από αραμίδιο γενικά παρουσιάζουν μία ενδιάμεση συμπεριφορά, όσο αναφορά τις μηχανικές τους ιδιότητες, συγκριτικά με τις ίνες υάλου και ίνες άνθρακα και χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες.

- Ίνες με μικρό μέτρο ελαστικότητας: Κέβλαρ 29 με μέτρο ελαστικότητας E 70 – 80 GPa
- Ίνες με υψηλό μέτρο ελαστικότητας, οι οποίες παράγονται από αρωματικό πολυαμίδιο: Κέβλαρ 29, Twaron με μέτρο ελαστικότητας E 115 – 130 GPa
- Και τέλος ίνες οι οποίες παράγονται από αρωματικό πολυαιθεραμίδιο, με εφελκυστική αντοχή 3500 – 4100 MPa και οριακή παραμόρφωση της τάξης των 4,3 – 5% . Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της κατηγορίας ινών είναι η μεγάλη τους αντοχή σε κρούση.

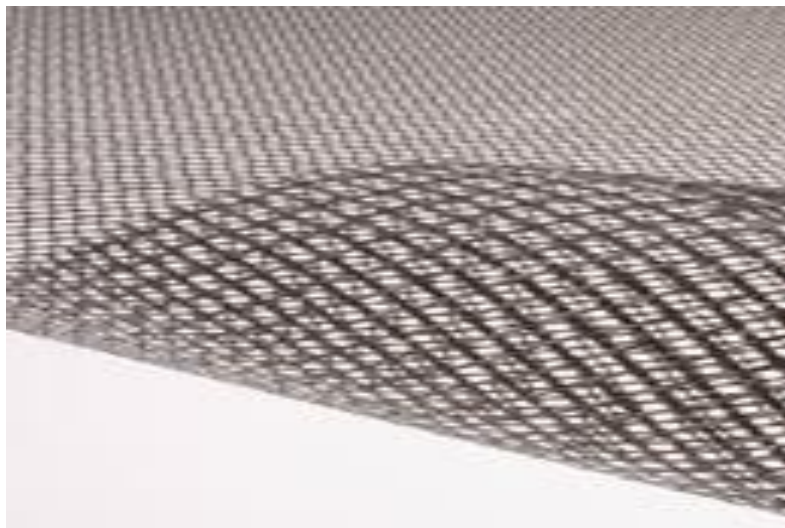


Εικόνα 18: Ίνες Αραμιδίου

1.4.10.1.4 Ίνες Βασάλτη

Η χρήση των ινών αυτής της κατηγορίας είναι πολύ περιορισμένη σε σχέση με τις υπόλοιπες τρεις κατηγορίες ινών. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της κατηγορίας αυτής είναι:

- Βάρος 250 gr/m²
- Μέγεθος βρόγχου 6 * 6 mm
- Εφελκυστική αντοχή μεγαλύτερη ή ίση με 3000 MPa
- Επιμήκυνση κατά την αστοχία 2,0%



Εικόνα 19: Πλέγμα Ινών Βασάλτη

1.4.10.2 Ανόργανη Μήτρα

Αφού έγινε μία μικρή ανάλυση των κατηγοριών των ινών που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την τεχνική ενίσχυσης, ας κάνουμε τώρα μία μικρή αναφορά και στην ανόργανη μήτρα. Πρόκειται για ένα υλικό, το οποίο αποτελείται από μικροσκυροδέματα ή κονιάματα με μέγιστο κόκκο αδρανών τα 2 mm, μέσω του οποίου γίνεται η μεταβίβαση των εφελκυστικών δυνάμεων στα ινοπλέγματα. Η χρήση τόσο λεπτόκοκκου υλικού είναι αναγκαία για να γίνει ο κατάλληλος εμποτισμός των ινών, ώστε να μην έχουμε αστοχία της ενίσχυσης λόγω απόσχισης, μεταξύ της ανόργανης μήτρας και του ινοπλέγματος. Ταυτόχρονα συντελεί στην αύξηση, τόσο της διατμητικής, αλλά και της εφελκυστικής αντοχής του ενισχυόμενου μέλους, σε αντίθεση με τα πλέγματα ινών, τα οποία αναλαμβάνουν μόνο εφελκυστικές δυνάμεις. Ακόμα μια σημαντική λειτουργία της ανόργανης μήτρας, είναι ότι προστατεύουν τις ίνες από φθορές, αφού η τελική στρώση της ενίσχυσης καλύπτεται από μία τελική στρώση του ανόργανου υλικού με αποτέλεσμα οι ίνες να μην είναι εκτεθειμένες.



Εικόνα 20: Τσιμεντοκονίαμα

1.5 Πηγές Πρώτου Κεφαλαίου

Για να πραγματοποιηθεί η συγγραφή του πρώτου κεφαλαίου της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία και εικόνες από πλήθος εργασιών και ερευνών. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία και κυρίως εικόνες από το διαδύκτιο. Τα στοιχεία αυτά μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν συνολικά. Οι εργασίες αυτές λοιπόν είναι οι εξής:

- Κα Αγγέλη Γεωργία, Σταματοπούλου Αγγελική
“17^ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών” Πάτρα, Φεβρουάριος 2011
“Μέθοδοι Ενίσχυσης και επισκευής υποστρωμάτων – σύγκριση μεθόδων”
- Κ. Σάπιος Δημήτριος “20ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών 2014” Πάτρα, Φεβρουάριος 2014
“Ενίσχυση και Επισκευή Υποστρωμάτων – Μέθοδοι και Σύγκριση”
- Άρθρο του Κ. Σπυράκου στο περιοδικό “ΚΤΙΡΙΟ” του τεύχους 121
“Επισκευή και ενίσχυση κατασκευών με σύνθετα υλικά”
- Διατριβή Διπλώματος Ειδίκευσης του Κ. Μπαλιούκου Χρήστου
Πάτρα Ιούνιος 2008
“Χρήση Ινοπλεγμάτων Ανόργανης Μήτρας για την ενίσχυση πλακών οπλισμένου σκυροδέματος δύο διευθύνσεων”
- Κ. Μπαζαίος Κωνσταντίνος, Κα. Παππά Σοφία
“Ενίσχυση κατασκευών με ινοπλέγματα ανόργανης μήτρας και σύγκριση με τη μέθοδο ενίσχυσης με FRP”
“15^ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών”, Πάτρα Φεβρουάριος 2009
- Κ. Αθανάσιος Τριανταφύλλου
“Νέα γενιά δομικών υλικών για την ενίσχυση κατασκευών: Ινοπλέγματα σε Ανόργανη Μήτρα (IAM)”
- Κ. Διονύσιος Μπουρνάς, Κ. Αθανάσιος Τριανταφύλλου
“Ενίσχυση Υποστηλωμάτων Οπλισμένου Σκυροδέματος σε Ανακυκλιζόμενη Κάμψη με Πρόσθετους Οπλισμούς σε Εγκοπές (ΠΟΕ)”
“16^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, 21-23/10/2009, Πάφος, Κύπρος”

Κεφάλαιο 2^ο

Σύγκριση Μεθόδων Ενίσχυσης Κατασκευών

2.1 Γενικά

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει λεπτομερείς ανάλυση των μεθόδων ενίσχυσης ως προς τα χαρακτηριστικά που μας ενδιαφέρουν. Δηλαδή τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά, τον τρόπο εφαρμογής της κάθε τεχνικής, αλλά και το κόστος τους.

Στην συνέχεια θα αξιολογηθούν σφαιρικά και αφού γίνει μία αναλυτική σύγκριση μεταξύ τους θα γίνει καταγραφή των συμπερασμάτων ώστε να καταφέρουμε να καταλήξουμε τελικά για το ποια μέθοδος ενίσχυσης υπερτερεί συνολικά σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους.

2.2 Κριτήρια Επιλογής Μεθόδου Ενίσχυσης

Οι βλάβες που μπορεί να έχει υποστεί μία κατασκευή ποικίλουν. Οι διαφορές αυτές δεν έχουν να κάνουν μόνο με το μέγεθος της βλάβης αυτής καθαυτής, αλλά έχει να κάνει επίσης και με το είδος της βλάβης. Δηλαδή πρέπει να ελεγχθεί αρχικά ποιο μέλος της κατασκευής έχει υποστεί την βλάβη, ποια είναι η συνεισφορά του μέλους αυτού στην συνολική φέρουσα ικανότητα της κατασκευής και στην συνέχεια σε τι είδους καταπόνηση αστόχησε. Δηλαδή αστόχησε κάτω από αξονική, διατμητική ή καμπτική φόρτιση.

Είναι ευνόητο λοιπόν ότι το γεγονός ότι υπάρχει μία τέτοια ποικιλία στις μεθόδους ενίσχυσης δεν είναι τυχαίο αλλά έχει να κάνει με το γεγονός ότι υπάρχει άλλη μία αντίστοιχα μεγάλη γκάμα βλαβών. Πρέπει λοιπόν στο σημείο αυτό να αναφέρουμε τα κριτήρια που πρέπει να πληρούνται, ώστε να γίνει σωστή επιλογή της μεθόδου ενίσχυσης και έτσι να έχουμε τα μέγιστα δυνατά αποτελέσματα μετά την εφαρμογή αυτής.

Τα κριτήρια λοιπόν τα οποία πρέπει να ελέγχονται για να γίνει η σωστή επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ενίσχυσης, είναι τα εξής :

- Αύξηση των Αντοχών. Ίσως και το σημαντικότερο κριτήριο αφού είναι το κύριο μέλημα γενικά της διαδικασίας των ενισχύσεων, να ενισχυθούν δηλαδή τα μηχανικά χαρακτηριστικά της κατασκευής.

- Αποτελεσματικότητα της μεθόδου. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να ερευνήσουμε το πόσο αποτελεσματική είναι η εφαρμογή της κάθε μεθόδου. Δηλαδή αν τα αποτελέσματα που έχουμε μετά το πέρας της ενίσχυσης, είναι καταρχάς τα αναμενόμενα και στην συνέχεια αν μας ικανοποιούν. Αν δηλαδή με την χρήση της τεχνικής αυτής μπορούμε να επιτύχουμε την επιθυμητή ενίσχυση για το εκάστοτε μέλος.
- Ταχύτητα. Δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται μέχρις ότου ολοκληρωθούν οι απαραίτητες εργασίες για την εφαρμογή της εκάστοτε τεχνικής. Επίσης στο κριτήριο αυτό συγκαταλέγεται και ο χρόνος που απαιτείται να παρέλθει, μέχρι το μέλος τελικά να παραλάβει τις νέες ενισχυμένες αντοχές του.
- Ευκολία στην Εφαρμογή. Ένα εξίσου σημαντικό κριτήριο και αυτό γιατί επηρεάζει και το κριτήριο τόσο της ταχύτητας όσο και το κριτήριο του κόστους. Ακόμα σε περιπτώσεις που το μέλος που θέλουμε να ενισχύσουμε βρίσκεται σε κάποιο δυσπρόσιτο σημείο, αμέσως οι τεχνικές οι οποίες είναι δύσκολο να εφαρμοστούν, τις περισσότερες φορές αποκλείονται.
- Διατήρηση Γεωμετρίας Κατασκευής. Οποιαδήποτε τεχνική ενίσχυσης και αν χρησιμοποιηθεί επιφέρει αλλαγές στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, από αμελητέες μέχρι και πολύ μεγάλες. Πρέπει όμως να διατηρείται πάντα η αρχική γεωμετρία του κτιρίου, αφού με οποιαδήποτε μεταβολή αλλάζει η συνολική πλαστιμότητα και ακαμψία του κτιρίου. Επίσης σημαντικό είναι να διατηρούνται οι οφέλιμοι χώροι του κτιρίου.
- Κόστος. Τέλος το κόστος της κάθε τεχνικής αποτελεί σοβαρό κριτήριο για την επιλογή της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί αφού ζητούμενο είναι, να μην έχουμε τα αποτελέσματα που επιζητούμε, πάντα όμως με το μικρότερο δυνατό κόστος.

2.3 Μηχανικές Ιδιότητες- Τρόπος Χρήσης - Κόστος

Όπως αναφέραμε είδη σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η ανάλυση αρχικά των τριών βασικών χαρακτηριστικών των μεθόδων ενίσχυσης, τόσο για τις “παραδοσιακές τεχνικές”, όσο και τις δύο νεότερες χρονικά, δηλαδή τα Ινοπλισμένα Πολυμερή Υλικά (ΙΟΠ – FRP) και τα Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας (IAM- TRM).

Η κάθε μέθοδος ενίσχυσης επιφέρει αλλαγές στην κατασκευή. Μία από αυτές που είναι και η σημαντικότερη, είναι η αύξηση των αντοχών της κατασκευής. Η κάθε τεχνική αυξάνει τις αντοχές του κτιρίου, αλλά η κάθε μία με τον δικό της τρόπο. Δηλαδή για παράδειγμα μπορεί να έχουμε αύξηση μόνο της διατμητικής αντοχής, σε άλλη περίπτωση να έχουμε αύξηση μόνο της καμπτικής αντοχής, σε άλλες περιπτώσεις επέρχεται μεγαλύτερη αύξηση, σε άλλες μικρότερη και ούτω καθεξής. Στην παράγραφο αυτή λοιπόν θα παρουσιαστούν όλα αυτά τα στοιχεία.

Επίσης σημαντικά χαρακτηριστικά της κάθε μεθόδου είναι ο τρόπος και οι εργασίες που χρειάζονται να πραγματοποιηθούν ώστε να γίνει εφικτή η εφαρμογή της κάθε μεθόδου, καθώς επίσης και το κόστος που έχει η κάθε τεχνική. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά να μεν έρχονται δεύτερα σε προτεραιότητα, συγκριτικά με την αύξηση των μηχανικών χαρακτηριστικών, που όπως είπαμε είναι ο βασικός στόχος της ενίσχυσης, παρ’ όλα αυτά όμως σε πολλές περιπτώσεις μπορεί αυτά τα στοιχεία να οδηγήσουν στην επιλογή ή στην απόρριψη της μεθόδου ενίσχυσης που τελικά θα χρησιμοποιήσουμε.

2.3.1 Μεταλλικά Ελάσματα

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται μόνο σε στοιχεία σκυροδέματος. Τα μεταλλικά ελάσματα αυξάνουν τις αντοχές τόσο σε κάμψη όσο και σε διάτμηση σε μικρό βαθμό όμως, ειδικά αν πρόκειται για στοιχεία σκυροδέματος μικρής κατηγορίας. Το όριο διαρροής του χάλυβα είναι τα 240 – 400 MPa. Όσες περισσότερες στρώσεις ελασμάτων τοποθετηθούν τόσο μεγαλύτερες είναι οι αντοχές που επιτυγχάνονται. Παρόλα αυτά όμως πρακτικά δεν γίνεται να εφαρμοστούν περισσότερες από τρεις στρώσεις, αφού μετά χάνεται η συνάφεια μεταξύ των υλικών ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται και πολύ το πάχος του στοιχείου. Επίσης προβλήματα παρουσιάζονται λόγω των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως για παράδειγμα προβλήματα λόγω διάβρωσης εξαιτίας της χρήσης μεταλλικών στοιχείων.

Ακόμα επιτυγχάνεται αύξηση της πλαστιμότητας της κατασκευής στοιχείο που αποτελεί πλεονέκτημα της τεχνικής, ταυτόχρονα όμως αυξάνεται το βάρος και η δυσκαμψία του κτιρίου συνολικά, στοιχείο το οποίο αποτελεί μειονέκτημα. Με την αύξηση του βάρους η συνέπεια είναι να έχουμε και αύξηση των σεισμικών φορτίων

που καλείται να ανάλαβει ο φέρων οργανισμός, πράγμα που σημαίνει μεγαλύτερη καταπόνηση της κατασκευής.

Όμως η αύξηση της δυσκαμψίας μπορεί να αποτελέσει και πλεονέκτημα, με την προϋπόθεση όμως ότι έχει διατηρηθεί η αντοχή του φέροντα οργανισμού. Αν συμβαίνει αυτό τότε τα αποτελέσματα είναι θετικά αφού πλέον η παραμόρφωση του φέροντα οργανισμού έχει μειωθεί, με επακόλουθο να προστατεύονται έμμεσα οι τοιχοπληρώσεις από ανεπιθύμητες ρηγματώσεις ή ακόμα και καταρεύσεις και γενικά μειώνονται οι σεισμικές βλάβες των στοιχείων, που δεν ανήκουν στον φέροντα οργανισμό.

Οι μηχανισμοί αστοχίας του μέλους είναι δύο.

- Αστοχία λόγω διατμητικής απόσχισης, η οποία προκαλείται από την εμφάνιση διαγώνιων διατμητικών ρωγμών και σχετίζεται με τον γρήγορο διαχωρισμό του ελάσματος από το μέλος.
- Αστοχία λόγω καμπτικής απόσχισης, η οποία προκαλείται από την αύξηση της καμπυλότητας του μέλους και σταδιακά επέρχεται διαχωρισμός του ελάσματος από αυτό.

2.3.2 Μεταλλικοί Μανδύες

Οι μεταλλικοί μανδύες παρουσιάζουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά με την μέθοδο των μεταλλικών ελασμάτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι και στις δύο μεθόδους χρησιμοποιείται το ίδιο υλικό για την εφαρμογή της τεχνικής, δηλαδή ο χάλυβας.

Χρησιμοποιείται λοιπόν σε περιπτώσεις που θέλουμε να αυξήσουμε την καμπτική ή την διατμητική αντοχή και εφαρμόζεται αποκλειστικά σε στοιχεία σκυροδέματος. Επίσης ένα άλλο κοινό χαρακτηριστικό είναι η επίδραση στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, που μετά την εφαρμογή της ενίσχυσης μπορεί να εμφανιστούν προβλήματα στην συνολική δυσκαμψία και βάρος της κατασκευής, με τα αρνητικά επακόλουθα που έχουμε είδη επισημάνει. Επίσης η μέθοδος αυτή παρουσιάζει προβλήματα στις περιβαλλοντικές επιδράσεις, αφού εμφανίζονται συνθήκες διάβρωσης του μετάλλου κ.α.

Τα πλεονεκτήματα που επέρχονται στην κατασκευή μετά την ενίσχυση με μεταλλικούς μανδύες, είναι η αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος σε μεγάλο βαθμό. Ακόμη αναπτύσσεται πλευρική στήριξη στον διαμήκη σπλισμό του ενισχυόμενου μέλους, αύξηση της πλαστιμότητας του μέλους και τέλος αποτρέπεται η αποφλείωση της επικάλυψης του σκυροδέματος και ως επακόλουθο και του σπλισμού.

2.3.3 Μεταλλικοί Κλωβοί

Όπως και με τις δύο προηγούμενες τεχνικές, έτσι και η μέθοδος του μεταλλικού κλωβού χρησιμοποιεί σαν κύριο υλικό τον χάλυβα από τον οποίο είναι κατασκευασμένα τα μεταλλικά ελάσματα και οι μεταλλικές λάμες που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την τεχνική. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα οπότε είναι όμοια με τις δύο προαναφερθείσες τεχνικές, όσο αναφορά την δυσκαμψία, το βάρος της κατασκευής και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η κύρια χρήση της μεθόδου του μεταλλικού κλωβού είναι για ενίσχυση υποστηλωμάτων τα οποία έχουν υποστεί σοβαρή βλάβη και επομένως αδυνατούν να φέρουν φορτία. Εφαρμόζεται σαν μία προσωρινή λύση, αφού το μόνο που επιτυγχάνεται είναι η αύξηση της περίσφησης του σκυροδέματος με ταυτόχρονη συνέπεια την αύξηση και της φέρουσας ικανότητας του υποστηλώματος αλλά σε μικρό βαθμό.

2.3.4 Μανδύες Οπλισμένου Σκυροδέματος

Ακόμα μία τεχνική με την εφαρμογή της οποίας επιτυγχάνεται αύξηση των αντοχών της κατασκευής σε καμπτικές και διατμητικές φορτίσεις. Η αύξηση των αντοχών που επιτυγχάνεται είναι ιδιαίτερα μεγάλη, τουλάχιστον κατά 50Kg/cm^2 , για αυτό και εφαρμόζεται σε στοιχεία τα οποία έχουν υποστεί μεγάλη και σοβαρή βλάβη.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι αρκετά, αφού επιτυγχάνεται μεγάλη αύξηση όπως είπαμε των αντοχών σε κάμψη και διάτμηση. Επίσης έχουμε αύξηση της πλαστιμότητας και της δυσκαμψίας της κατασκευής καθώς και βελτίωση της αγκύρωσης και της συνάφειας του σιδήρου οπλισμού. Επιπλέον αυξάνεται η ανθεκτικότητα του μέλους, αφού με την χρήση της μεθόδου αυτής αυξάνεται η πυροπροστασία του και προστατεύεται ο είδη υπάρχων οπλισμό από περαιτέρω διάβρωση.

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι η αρνητική επίδραση που έχει στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, τόσο για τις μηχανικές ιδιότητες οι οποίες επηρεάζονται, όπως η αύξηση της δυσκαμψίας της κατασκευής που σε πολλές περιπτώσεις είναι ανεπιθύμητο αποτέλεσμα και δεν αποτελεί πλεονέκτημα, αλλά και η αύξηση του βάρους της με συνέπεια την αύξηση των σεισμικών φορτίων που καλείται να αναλάβει η κατασκευή. Επιπλέον έχουμε και ελάττωση του οφέλιμου χώρου του κτιρίου. Τέλος παρουσιάζονται προβλήματα λόγω των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ιδιαίτερα σε διαβρωτικό περιβάλλον, αφού ναι μεν προφυλάσσεται ο είδη υπάρχων οπλισμός, αλλά από την άλλη έχουμε διάβρωση του νέου οπλισμού ενίσχυσης.

2.3.5 Πρόσθετοι Οπλισμοί σε Εγκοπές (ΠΟΕ)

Πρόκειται για μία μέθοδο η οποία χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο σε ενισχύσεις υποστηλωμάτων έναντι καμπτικών φορτίσεων. Ειδικότερα χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που θέλουμε να αναβαθμίσουμε το μέλος λόγω αλλαγής χρήσης του κτιρίου, διάβρωση υπάρχοντος οπλισμού κ.α.

Έτσι λοιπόν η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για λόγους διόρθωσης του είδη υπάρχοντος οπλισμού ή σε περιπτώσεις μικρής βλάβης, αφού δεν έχει κάποια σπουδαία συνεισφορά στο κτίριο όσο αναφορά την αύξηση των αντοχών, ειδικά σε σύγκριση με τις υπόλοιπες τεχνικές. Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι δεν επηρεάζει ούτε στο ελάχιστο τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατασκευής, ενώ βοηθάει και στην ελαστικότητα της.

Όλα αυτά καθιστούν την μέθοδο αυτή ιδανική σε περιπτώσεις μικρής και μόνο βλάβης ή αναβάθμισης του είδη υπάρχοντος οπλισμού και ακατάλληλη για μεγάλες βλάβες, όπου απαιτείται μεγάλη αύξηση των αντοχών του κτιρίου.

2.3.6 Ρητινενέσεις

Οι ρητινενέσεις χρησιμοποιούνται σε στοιχεία σκυροδέματος αλλά και σε τοιχοπληρώσεις. Ουσιαστικά χρησιμοποιείται για να γίνει πλήρωση ρωγμών οι οποίες εμφανίζονται στις κατασκευές μετά από σεισμικές καταπονήσεις ή από οποιονδήποτε άλλο παράγοντα. Η συνεισφορά της τεχνικής αυτής στην συνολική φέρουσα ικανότητα της κατασκευής είναι σχεδόν αμελητέα, αφού αυξάνει ελάχιστα τις αντοχές της.

Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν τροποποιεί τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατασκευής και συντελεί στην επανάκτηση της δυσκαμψίας της. Είναι προφανές λοιπόν ότι η χρήση της μεθόδου αυτής περιορίζεται μόνο σε διορθώσεις στοιχείων της κατασκευής, όπως για παράδειγμα σε ρωγμές, είτε για καθαρά εικαστικούς λόγους, είτε για προφύλαξη των ράβδων οπλισμού από το φαινόμενο της διάβρωσης και την αποφυγή όλων των αρνητικών επιπτώσεων που επέρχονται στο κτίριο με την ύπαρξη του φαινομένου αυτού.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα μηχανικά χαρακτηριστικά τα οποία θα αναπτυχθούν μετά την εφαρμογή της ενίσχυσης, εξαρτάται από την χημική σύσταση και την αναλογία των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν.

2.3.7 Πλευρικά Τοιχώματα σε συνέχεια υποστηλωμάτων

Πρόκειται για μία μέθοδο η οποία δεν χρησιμοποιείται ιδιαίτερα. Εφαρμόζεται όταν το ζητούμενο είναι να πραγματοποιηθεί αύξηση της πλαστιμότητας και της δυσκαμψίας του κτιρίου και όχι για την αύξηση αυτής καθέ αυτή της φέρουσας ικανότητάς του. Συνεισφέρει βέβαια και στην αύξηση της φέρουσας ικανότητας αλλά σε μικρό βαθμό. Επιπλέον έχει μεγάλο βαθμό δυσκολίας στην εφαρμογή της και έτσι ο συνδυασμός αυτός, μικρής συνεισφοράς στις μηχανικές ιδιότητες του κτιρίου – δυσκολία εφαρμογής, δικαιολογεί το γεγονός της περιορισμένης χρήσης της συγκεκριμένης τεχνικής.

2.3.8 Μορφοσίδερα

Η κυρία χρήση της ενίσχυσης με την μέθοδο των μορφοσιδέρων είναι για αύξηση της ακαμψίας της κατασκευής. Η αύξηση που προσφέρει στην συνολική φέρουσα ικανότητα του κτιρίου είναι μικρή και για αυτό τον λόγο η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως σε περιπτώσεις υποστηλωμάτων, όπου το ζητούμενο είναι η περίσφιξη του σκυροδέματος και η επανάκτηση της δυσκαμψίας της κατασκευής και όχι για την επίτευξη σημαντικής αύξησης της φέρουσας ικανότητας.

2.3.9 Ινοπλισμένα πολυμερή Υλικά (ΙΟΠ – FRP)

Τα Ινοπλισμένα Πολυμερή Υλικά ή αλλιώς και Σύνθετα Υλικά, στα Αγγλικά Fiber Reinforced Polymer, είναι η μέθοδος ενίσχυσης με τα σημαντικότερα αποτελέσματα όσο αναφορά την αύξηση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής. Χρησιμοποιείται για αύξηση των αντοχών απέναντι σε οποιαδήποτε μορφή καταπόνησης, δηλαδή για αύξηση της καμπτικής, της διατμητικής αλλά και της εφελκυστικής αντοχής της κατασκευής. Χαρακτηριστικό είναι το στοιχείο ότι η εφελκυστική αντοχή των ΙΟΠ είναι πολλαπλάσια αυτής του χάλυβα.

Τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται σε πάσης φύσεως υλικά και όχι μόνο σε στοιχεία σκυροδέματος, όπως οι περισσότερες από τις προαναφερθείσες μεθόδους. Η αύξηση των μηχανικών χαρακτηριστικών που επιφέρει η συγκεκριμένη τεχνική εξαρτάται κατά πολύ από τις στρώσεις του σύνθετου υλικού που θα χρησιμοποιηθεί, αφού όσο αυξάνονται οι στρώσεις τόσο αυξάνονται και οι αντοχές.

Ένα μεγάλο ακόμα πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν επιρεάζει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατασκευής. Το πάχος της κάθε στρώσης είναι περίπου 1,5mm και το βάρος αμελητέο. Το αποτέλεσμα είναι να μην επιρεάζεται καθόλου η κατασκευή από επιπλέον καταπονήσεις από σεισμικά φορτία, όπως

είδαμε να συμβαίνει σαν αρνητικό επακόλουθο στις περισσότερες από τις “παραδοσιακές μεθόδους”. Ακόμα δεν παρουσιάζεται το φαινόμενο να έχουμε ανεπιθύμητες ελλατώσεις των οφέλιμων χώρων. Ενδεικτικό παράδειγμα για το μέγεθος της αύξησης των αντοχών συνδιαστικά με τις αμελητέες επιδράσεις που έχει στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατασκευής η ενίσχυση με σύνθετα υλικά, είναι ότι η αύξηση της διατμητικής αντοχής μίας στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος κατηγορίας C30/37 με τυπικό οπλισμό και πάχος περίπου 70mm ισούται με μία μόνο στρώση σύνθετου υλικού πάχους 1.5mm.

Μία ακόμη χρήση των σύνθετων υλικών που προυποθέτει όμως την χρήση των κατάλληλων ρητινών, είναι σαν στεγανωτική μόνωση σε κατασκευές μέσα στο νερό. Βέβαια δεν είναι η ιδανική μέθοδος για την συγκεκριμένη χρήση ειδικά αν συνυπολογίσουμε και το κόστος της συγκεκριμένης ρητίνης που απαιτείται, το οποίο είναι πολύ υψηλό.

Ακόμη με την χρήση των σύνθετων υλικών επιτυγχάνεται αύξηση της πλαστιμότητας της κατασκευής αρκετά μεγαλύτερη συγκριτικά με τις “παραδοσιακές μεθόδους”, αφού τα σύνθετα υλικά συμπεριφέρονται γραμμικά χωρίς να μειώνεται η αντοχή τους, σε ανακυκλιζόμενες φορτίσεις, όπως αυτή του σεισμού. Επιπλέον αν είναι επιθυμητό δίνεται η δυνατότητα αύξησης και της δυσκαμψίας της κατασκευής.

Παρόλα τα σημαντικά πλεονεκτήματα που έχουν τα σύνθετα υλικά στον τομέα της αύξησης των μηχανικών ιδιοτήτων, παρουσιάζει σαν μέθοδος ενίσχυσης και κάποια σοβαρά μειονεκτήματα. Τα μειονεκτήματα αυτά παρουσιάζονται κυρίως λόγω της ύπαρξης των ρητινών ως ένα από τα δύο υλικά που συνθέτουν τα Ινοπλισμένα Πολυμερή. Αρχικά αναφέρουμε το πρόβλημα που αντιμετωπίζει το σύνθετο υλικό σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και το γεγονός ότι είναι ιδιαίτερα εύφλεκτο και κατά την καύση του απελευθερώνονται τοξικά αέρια. Ενδεικτικό είναι ότι έχουμε σοβαρή απώλεια αντοχών στη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης που κυμαίνεται στους 70 – 80 C.

Μειονέκτημα της μεθόδου των σύνθετων υλικών αποτελεί επίσης το γεγονός ότι δεν επιτρέπουν τα ενισχυόμενα μέλη της κατασκευής να «αναπνέουν». Το αποτέλεσμα είναι να εμφανίζονται φαινόμενα διάβρωσης του οπλισμού που προυπήρχε, λόγω της συσσωρευμένης υγρασίας που εμφανίζεται. Τέλος μειονέκτημα είναι ότι πρόκειται για μία μέθοδο η οποία δεν επιτρέπει μετά το πέρας της διαδικασίας, την αποτίμηση νέων πιθανών βλαβών πίσω από τους μανδύες ΙΟΠ, μετά από μία νέα καταπόνηση της κατασκευής, μόνο με οπτική παρατήρηση.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι μηχανικές ιδιότητες οι οποίες αναπτύσσονται εξαρτώνται, από το είδος των ρητινών αλλά και από το είδος των ίνων που θα

χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου, αλλά και ο αριθμός των στρώσεων ΙΟΠ που θα εφαρμοστούν.

2.3.10 Ινοπλέγματα ανόργανης μήτρας (IAM – TRM)

Η μέθοδος ενίσχυσης με Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας (ΙΟΠ), στα Αγγλικά Textile Reinforced Mortar (TRM), έχει να επιδείξει και αυτή με την σειρά της πολύ μεγάλες αυξήσεις στα μηχανικά χαρακτηριστικά των κατασκευών. Υπάρχει δυνατότητα εφαρμογής της μεθόδου πάνω σε οποιοδήποτε υλικό και δεν περιορίζεται η χρήση της μόνο σε στοιχεία σκυροδέματος. Χρησιμοποιείται και αυτή όπως και τα ΙΟΠ για αύξηση των αντοχών απέναντι σε όλες τις μορφές καταπονήσεων, δηλαδή απέναντι σε εφελκυστικές, διατμητικές αλλά και καμπτικές φορτίσεις. Είναι η δεύτερη καλύτερη σε σειρά μέθοδος όσο αναφορά αυτόν τον τομέα, την αύξηση δηλαδή της φέρουσας ικανότητας των ενισχυόμενων στοιχείων, με πρώτη να έρχεται η μέθοδος των σύνθετων υλικών ΙΟΠ. Ο συσχετισμός μεταξύ τους είναι περίπου 1 προς 3. Δηλαδή για κάθε στρώση ΙΟΠ πρέπει να χρησιμοποιηθούν περίπου τρεις στρώσεις IAM για να έχουμε αύξηση ίδιου μεγέθους στα μηχανικά χαρακτηριστικά του στοιχείου. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι αντοχές που επιτυγχάνονται με την χρήση και των δύο αυτών μεθόδων, είναι κατά πολύ μεγαλύτερες συγκριτικά με αυτές που επιτυγχάνονται με την χρήση των «παραδοσιακών μεθόδων».

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι πολλά και ιδιαίτερως σημαντικά. Καταρχήν τα συστατικά που χρησιμοποιούνται δεν επηρεάζονται αρνητικά από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, δεν είναι εύφλεκτο σαν υλικό και δεν επηρεάζεται από ακτινοβολίες. Επιπλέον ανεξαρτήτως της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος δεν επηρεάζονται οι αντοχές της, όπως είδαμε να συμβαίνει στα ΙΟΠ. Ακόμη επειδή τα IAM προσφέρουν πλήρη μηχανική φυσική και χημική συμβατότητα του μανδύα με το ενισχυόμενο μέλος, εξασφαλίζει την επιθυμητή διαπερατότητα του μανδύα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην εμφανίζονται φαινόμενα εγκλωβισμού υγρασίας στο εσωτερικό του μανδύα, με συνέπεια την απώλεια αντοχών λόγω διάβρωσης του εσωτερικού οπλισμού, όπως είδαμε να συμβαίνει στα σύνθετα υλικά ΙΟΠ.

Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή των IAM είναι σε δοκούς και πλάκες με σκοπό να ενισχυθούν αυτά εναντί καμπτικών φορτίσεων. Η χρήση τους λοιπόν γίνεται σε περιπτώσεις όπου τα στοιχεία αυτά έχουν κριθεί ανεπαρκή ως προς την φέρουσα ικανότητά τους στην μεσαία κρίσιμη διατομή. Με την χρήση των IAM στόχος είναι η ανάληψη μέρους των εφελκυστικών δυνάμεων που ασκούνται στο εφελκυσμένο πέλμα, εκμεταλευόμενοι έτσι την εξαιρετικά υψηλή εφελκυστική αντοχή που έχει ο μανδύας ενίσχυσης εξαιτίας των πλεγμάτων ινών που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την μέθοδο. Τα IAM αυξάνουν το φορτίο αστοχίας κατά 10-20% ενώ τα ΙΟΠ κατά 35-

45%. Μετά την καμπτική ενίσχυση λοιπόν με την χρήση IAM το στοιχείο παρουσιάζει πλάστιμη συμπεριφορά και η παραμόρφωση αστοχίας που έχουμε είναι της τάξεως του 0,5%, κάτι το οποίο μας βολεύει, αφού ο χάλυβας διαρρέει σε μικρότερες τιμές, δηλαδή από 0,2-0,3%. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στις ίνες να αξιοποιήσουν την μεγάλη δυνατότητα που έχουν στην ανάληψη εφελκυστικών τάσεων.

Ακόμη μία χρήση των IAM είναι για ενίσχυση απέναντι σε διάτμητικές καταπονήσεις. Σκοπός της χρήσης των IAM αρχικά, είναι από την μία η αύξηση της διατμητικής αντοχής αλλά επίσης και η αποφυγή του ψαθυρού τρόπου αστοχίας. Ακόμα επιτυγχάνεται η βελτίωση της ικανότητας του μέλους να απορροφά τις τάσεις που δημιουργούνται σε ανακυκλιζόμενες φορτίσεις, όπως αυτές του σεισμού. Έχει αποδειχθεί ότι με την χρήση των IAM οδηγούμαστε σε μεγάλες βελτιώσεις της γενικής συμπεριφοράς του μέλους απέναντι σε διατμητικές καταπονήσεις, η οποία μάλιστα οδηγεί σε αλλαγή του μηχανισμού αστοχίας από ψαθυρού τύπου σε πλάστιμου, κάτι το οποίο είναι εξαιρετικά σημαντικό. Η αύξηση του φορτίου αστοχίας που επιτυγχάνεται τελικώς με την χρήση IAM είναι της τάξεως του 85-100% που είναι τεράστια. Πάλι όμως υστερούν σε σχέση με τα ΙΟΠ αφού αυτά παρουσιάζουν ακόμα μεγαλύτερη αύξηση του φορτίου αστοχίας, της τάξεως δηλαδή του 100-150%.

Μία ακόμη σημαντική χρήση των IAM είναι για να πραγματοποιηθεί η περίσφιγξη των υποστηλωμάτων. Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις σημαντικών καταπονήσεων των υποστηλωμάτων η χρήση των IAM έχει ευεργετικά αποτελέσματα, αφού εμποδίζεται η διόγκωση του εγκάρσιου οπλισμού του σκυροδέματος, μέσω ενεργοποίησης των ινών του μανδύα οι οποίες παραλαμβάνουν εφελκυστικές τάσεις, εκμεταλευόμενες έτσι την εξαιρετικά υψηλή τους εφελκυστική αντοχή. Τα αποτελέσματα όπως είπαμε είναι ιδιαίτερα σημαντικά αφού έχουμε: αύξηση της θλιπτικής αντοχής και παραμορφωσιμότητας του ενισχυόμενου μέλους, βελτίωση των συνθηκών συνάφειας μεταξύ των ράβδων οπλισμού και του σκυροδέματος σε περιοχές μάτισης και τέλος, καθυστέρηση εμφάνισης λυγισμού του διαμήκη οπλισμού.

Πρέπει να αναφέρουμε πως τα IAM παρουσιάζουν γενικώς μεγάλες αυξήσεις και μόνο ελαφρώς μικρότερες σε σύγκριση με τα ΙΟΠ, τόσο στην θλιπτική αντοχή του μέλους όσο και στην παραμορφωσιμότητα. Τα διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων έχουν την ίδια διγραμμική μορφή και στις δύο αυτές μεθόδους. Τα IAM όμως υπερτερούν στο ότι έχουν την δυνατότητα να εξαντλήσουν την εφελκυστική τους αντοχή πριν επέλθει η αστοχία, με την επιλογή του καταλληλού πάντα κονιάματος. Η αστοχία μάλιστα των IAM λόγω εγκάρσιας διόγκωσης του σκυροδέματος είναι ψαθυρή αλλά γενικώς βαθμιαία και περισσότερο ομαλή σε σύγκριση με τα ΙΟΠ.

2.4 Σύγκριση Μεθόδων Ενίσχυσης

Στην παράγραφο αυτή θα γίνει μία σύγκριση μεταξύ των μεθόδων που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην χώρα μας στον τομέα της επισκευής – ενίσχυσης των κατασκευών. Η σύγκριση αυτή θα πραγματοποιηθεί με σκοπό να αναδείξουμε τα θετικά και τα αρνητικά της κάθε μεθόδου, ώστε να καταφέρουμε να πούμε τελικά ποια μέθοδος είναι η καλύτερη συνολικά, εξετάζοντας αυτές ως προς τις μηχανικές τους ιδιότητες, τον τρόπο χρήσης και το κόστος τους.

Εδώ πρέπει να αναφέρουμε πως τα αναμενόμενα αποτελέσματα είναι να παρουσιαστεί μία υπεροχή των τελευταίων δύο χρονικά σε εφαρμογή μεθόδων, σε σύγκριση με τις παλαιότερες τεχνικές, τις λεγόμενες “παραδοσιακές”. Αυτό βέβαια προκύπτει από το γεγονός ότι τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις δύο αυτές μεθόδους είναι εξελιγμένα σε σχέση με αυτά που χρησιμοποιούν οι παλαιότερες τεχνικές και αυτό είναι λογικό, αφού η επιστήμη της μηχανικής συνεχώς εξελίσσεται όπως και όλες οι υπόλοιπες επιστήμες. Οι μέθοδοι αυτοί είναι τα Ινοπλισμένα Πολυμερή Υλικά (ΙΟΠ-FRP) και η μέθοδος των Ινοπλεγμάτων Ανόργανης Μήτρας (IAM-TRM).

2.4.1 Σύγκριση Ινοπλεγμάτων Ανόργανης Μήτρας (IAM-TRM) με τις “Παραδοσιακές Μεθόδους”

Αρχικά λοιπόν θα κάνουμε μια σύγκριση της μεθόδου ενίσχυσης των IAM που μελετάται κατεξοχήν στην παρούσα εργασία, με τις αποκαλούμενες στον μηχανικό κόσμο “παραδοσιακές μεθόδους”. Σύμφωνα με τα στοιχεία που προαναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, μπορούμε πλέον να πούμε με βεβαιότητα πως η μέθοδος των IAM υπερτερεί και μάλιστα με μεγάλη διαφορά, σε σύγκριση με όλες τις “παραδοσιακές μεθόδους”.

Αναλυτικότερα βλέπουμε πως η μέθοδος των IAM είναι πολύ πιο αποτελεσματική όσο αναφορά την αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων, δηλαδή των αντόχων συνολικά του φέροντος οργανισμού του κτιρίου, έναντι οποιασδήποτε μορφής καταπόνησης,. Βλέπουμε πως η αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων που επέρχεται στο κτίριο μετά την χρήση των IAM, είναι πολλαπλάσια από αυτή που επιφέρουν οι “παραδοσιακές μέθοδοι”.

Η μοναδική μέθοδος ενίσχυσης η οποία αυξάνει σε μεγάλα ποσοστά τις μηχανικές ιδιότητες της κατασκευής από αυτές που συγκαταλέγονται στην ομάδα των “παραδοσιακών μεθόδων”, είναι η μέθοδος των *Μανδυών Οπλισμένου Σκυροδέματος*. Πιο συγκεκριμένα με την χρήση της μεθόδου των Μανδυών Οπλισμένου Σκυροδέματος παρουσιάζεται μεγάλη αύξηση των αντοχών έναντι σε

κάμψη και διάτμηση, ενώ παράλληλα έχουμε και αύξηση της πλαστιμότητας και της ακαμψίας της κατασκευής. Ακόμη συνδράμει στην βελτίωση της αγκύρωσης και της συνάφειας του είδη υπάρχοντως οπλισμού. Επιπλέον επιτυγχάνεται και αύξηση της πυροπροστασίας της κατασκευής. Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν και αρνητικές επιπτώσεις λόγω της χρήσης της μεθόδου των Μανδυνών Οπλισμένου Σκυροδέματος. Το μεγαλύτερο πρόβλημα παρουσιάζεται κυρίως εξαιτίας της αλλαγής των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του κτιρίου. Δηλαδή από την μία έχουμε την μείωση των οφέλιμων χώρων του κτιρίου και από την άλλη την αύξηση του βάρους του μέλους με αποτέλεσμα η κατασκευή να καλείται να αναλάβει εξαιτίας αυτού, μεγαλύτερα φορτία σε περίπτωση σεισμού. Τα μειονεκτήματα αυτά σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι εργασίες που πρέπει να γίνουν για την εφαρμογή της τεχνικής αυτής, είναι αρκετά δυσκολότερες και περισσότερο χρονοβόρες, καθιστά την μέθοδο αυτή συνολικά υποδεέστερη των Ινοπλεγμάτων Ανόργανης Μήτρας.

Συγκριτικά μάλιστα με τις υπόλοιπες “παραδοσιακές μεθόδους”, η μέθοδος ενίσχυσης με την χρήση των IAM υπερτερεί με διαφορά στην αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων της κατασκευής, ενώ παράλληλα ο τρόπος εφαρμογής της τεχνικής αυτής δεν είναι ιδιαίτερα δύσκολος. Ακόμη οι αλλαγές στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου είναι αμελητέες, αφού το βάρος και οι διαστάσεις των υλικών που χρησιμοποιούνται στην τεχνική των IAM είναι τα ελάχιστα, με αποτέλεσμα να μην έχουμε όλες αυτές τις αρνητικές επιπτώσεις εξαιτίας του γεγονότος της αύξησης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της κατασκευής, που είδαμε να συμβαίνει σχεδόν σε όλες τις “παραδοσιακές μεθόδους”.

Όσο αναφορά το κόστος τώρα, τα IAM είναι πιο ακριβά λόγω της χρήσης των Ινοπλεγμάτων τα οποία έχουν υψηλό κόστος, ειδικά αν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ίνες ανθρακονημάτων οι οποίες είναι και οι ακριβότερες. Όμως και ο χάλυβας, που είναι το υλικό που χρησιμοποιείται στις περισσότερες από τις “παραδοσιακές μεθόδους”, είναι ένα ακριβό υλικό. Έτσι η χρήση των IAM είναι και μεν πιο ακριβή συγκριτικά με την χρήση των “παραδοσιακών μεθόδων”, αλλά όχι σε τέτοιο βαθμό ώστε να αποτελεί σημαντικός ανασταλτικός παράγοντας ώστε να μην χρησιμοποιηθούν τα IAM, ειδικά αν αναλογιστούμε όλους τους υπόλοιπους παράγοντες στους οποίους τα IAM υπερτερούν κατά κράτος.

Εν κατακλείδι το συμπέρασμα είναι πως τα Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας υπερτερούν σφαιρικά σε όλους τους τομείς συγκριτικά με τις “παραδοσιακές μεθόδους”, ειδικά όταν το ζητούμενο είναι να επιφέρουμε μεγάλες αυξήσεις των αντοχών στα βλαμμένα μέλη της κατασκευής. Η χρήση των “παραδοσιακών μεθόδων” πιθανόν να είναι προτιμότερη, μόνο σε περιπτώσεις επισκευής μικροφθορών και όχι σοβαρών αστοχιών που έχουν επέλθει στην κατασκευή και αυτό μόνο και μόνο λόγω του μικρότερου κόστους που έχουν και που ακόμα και

αυτό όπως είπαμε είναι προς εξέταση και ίσως να μην ισχύει σε όλες τις περιπτώσεις.

2.4.2 Σύγκριση Ινοπλεγμάτων Ανόργανης Μήτρας (IAM-TRM) με την μέθοδο των Ινοπλισμένων Πολυμερών Υλικών (ΙΟΠ-FRP)

Σε αυτό το σημείο θα πραγματοποιήσουμε μία σύγκριση μεταξύ των δύο πιο πρόσφατων χρονικά σε εφαρμογή μεθόδων, των Ινοπλεγμάτων Ανόργανης Μήτρας (IAM) και των Ινοπλισμένων Πολυμερών Υλικών (ΙΟΠ). Όπως έχει είδη αναφερθεί, ήταν αναμενόμενο αυτές οι δύο τεχνικές ενίσχυσης να υπερτερούν σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους. Αυτό προκύπτει αναλογιζόμενοι μόνο και μόνο το γεγονός ότι είναι πιο σύγχρονες από τις "παραδοσιακές μεθόδους" και άρα λογικά και πιο εξελιγμένες και πιο ικανές στο να αυξάνουν σε μεγάλο βαθμό τα μηχανικά χαρακτηριστικά της κατασκευής, ενώ παράλληλα να παρουσιάζουν και ευκολία στον τρόπο εφαρμογής τους. Αυτό λοιπόν αποδείχθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, όπου μετά την σύγκριση που έγινε μεταξύ των "παραδοσιακών μεθόδων" και των IAM, είδαμε ότι η μέθοδος των IAM είναι κατά πολύ καλύτερη σε όλους τους τομείς που μας ενδιαφέρουν και εξετάζουμε ώστε να καταλήξουμε στο ποια μέθοδος ενίσχυσης είναι η καλύτερη.

Ας δούμε τώρα λοιπόν τις δύο τεχνικές που όπως είπαμε επιφέρουν στην κατασκευή τις μεγαλύτερες και πιο σημαντικές, θετικές επιπτώσεις στην κατασκευή. Αρχικά εξετάζοντας τις τεχνικές ενίσχυσης των IAM και των ΙΟΠ ως προς την αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων της κατασκευής, βλέπουμε πως και οι δύο τεχνικές ενίσχυσης μετά την εφαρμογή τους πάνω στην κατασκευή, αυτή πλέον παρουσιάζει τεράστιες αυξήσεις των αντοχών της απέναντι σε οποιαδήποτε μορφή καταπόνησης. Βέβαια η μέθοδος των ΙΟΠ υπερτερεί στον τομέα αυτό συγκριτικά με την μέθοδο των IAM. Χαρακτηριστικό είναι το στοιχείο πως μετά την ενίσχυση της κατασκευής με την μέθοδο των IAM, αυτή παρουσιάζει αύξηση του φορτίου αστοχίας στα επίπεδα του 85-100%, ενώ μετά την ενίσχυση με χρήση της τεχνικής των ΙΟΠ, αυτή παρουσιάζει αύξηση του φορτίου αστοχίας κατά 100-150%.

Θα εξετάσουμε τώρα τις δύο αυτές μεθόδους ενίσχυσης ως προς τον τρόπο εφαρμογής τους πάνω στα βλαμμένα μέλη της κατασκευής. Και στις δυο αυτές τεχνικές, η εφαρμογή τους είναι σχετικά εύκολη. Μπορούμε να την χαρακτηρίσουμε εύκολη γιατί ναι μεν το συνεργείο που θα αναλάβει τις εργασίες, ώστε να πραγματοποιηθεί η σωστή εφαρμογή της τεχνικής και έτσι να έχουμε τα μέγιστα δυνατά αποτελέσματα, πρέπει να είναι εξειδικευμένο, αλλά από την άλλη οι εργασίες που απαιτείται να γίνουν για την κατάλληλη προετοιμασία της επιφάνειας που πρόκειται να ενισχυθεί δεν είναι δύσκολες, αφού αρκεί να γίνει καθαρισμός της επιφάνειας και λείανση των γωνιών του στοιχείου. Ακόμα η εφαρμογή και των

δύο αυτών τεχνικών δεν είναι χρονοβόρες αφού γίνονται επιτόπου πάνω στο προς ενίσχυση μέλος της κατασκευής και οι εργασίες που γίνονται δεν προκαλούν καμία όχληση στους κάτοικους του κτιρίου αλλά και των γειτονικών κτιρίων που και αυτό αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα των μεθόδων αυτών. Στον συγκεκριμένο όμως τομέα, δηλαδή του τρόπου εφαρμογής της τεχνικής ενίσχυσης, φαίνεται να υπερτερεί η μέθοδος των IAM. Αυτό οφείλεται στα υλικά που χρησιμοποιεί η κάθε τεχνική. Η διαφορά αυτή δεν είναι στα πλέγματα ινών που χρησιμοποιούνται, αφού και στις δύο τεχνικές είναι τα ίδια. Η διαφορά έγκειται στο συγκολλητικό υλικό που στην μέθοδο των IAM είναι ένα τσιμεντοκονίαμα, ενώ στην μέθοδο των ΙΟΠ είναι ρητίνη. Η ρητίνες γενικά παρουσιάζουν μία όχι και τόσο καλή συμπεριφορά. Ένα σημαντικό πρόβλημα που παρουσιάζουν οι ρητίνες είναι ότι είναι ιδιαίτερα εύφλεκτες και κατά την καύση τους απελευθερώνονται τοξικά αέρια που είναι ιδιαίτερα επιβλεβή για το προσωπικό που εργάζεται για την εφαρμογή της μεθόδου. Σε αντίθεση το τσιμεντοκονίαμα είναι πιο οικείο για το τεχνικό προσωπικό, αφού το γνωρίζουν πολύ καλύτερα σαν υλικό και δουλεύουν με αυτό με μεγαλύτερη άνεση και ευκολία.

Επιπλέον ένα μειονέκτημα της τεχνικής των ΙΟΠ που δεν παρουσιάζεται με την χρήση των IAM, είναι πως σε περίπτωση μίας νέας ενδεχόμενης βλάβης και μετά την εφαρμογή της ενίσχυσης, δεν είναι εφικτό να διαπιστωθούν πιθανές βλάβες του ενισχυμένου μέλους, μετά από έναν σεισμό για παράδειγμα, μόνο με οπτική παρατήρηση. Αντίθετα πρέπει να γίνει απομάκρυνση του μανδύα ΙΟΠ για να είναι εφικτή η μελέτη για το αν κάποιο μέλος της κατασκευής έχει υποστεί βλάβη. Με την χρήση όμως των IAM δεν χρειάζεται να γίνει αυτό, αφού σε περίπτωση βλάβης και αστοχίας του μέλους, πρώτα θα καταστραφεί ο μανδύας IAM και στην συνέχεια το μέλος, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η αποτίμηση της βλάβης σε αρχικό στάδιο μόνο και μόνο με οπτική παρατήρηση. Ένα ακόμα μειονέκτημα των ΙΟΠ σε σύγκριση με τα IAM είναι ότι με την χρήση τους, εγκλωβίζεται υγρασία ανάμεσα στο μέλος σκυροδέματος του κτιρίου και του μανδύα ΙΟΠ, με αποτέλεσμα να υπάρχει πιθανότητα να παρουσιαστεί διάβρωση του υπάρχοντος σιδήρου οπλισμού. Αυτό δεν συμβαίνει με τα πλέγματα IAM αφού αυτά δεν εγκλωβίζουν υγρασία και έτσι δεν έχουμε τις αρνητικές επιπτώσεις που δημιουργούνται λόγω της πιθανής διάβρωσης του σιδήρου οπλισμού. Τέλος και με τις δύο μεθόδους μετά την εφαρμογή τους, έχουμε σαν θετική συνέπεια να δημιουργείται επιπλέον μόνωση στο κτίριο. Και σε αυτόν τον τομέα όμως φαίνεται να υπερτερούν τα IAM αφού δημιουργούν καλύτερη μόνωση. Η διαφορά αυτή μάλιστα μεγαλώνει, όταν πρόκειται να ενισχυθούν στοιχεία κάτω από το νερό, αφού εκεί τα IAM δημιουργούν πολύ καλύτερες συνθήκες μόνωσης σε σύγκριση με τα ΙΟΠ, για τα οποία μάλιστα για είναι εφικτή η χρήση τους κάτω από το νερό πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα μόνο συγκεκριμένο είδος ρητίνης.

Όσο αναφορά το κόστος των δύο αυτών τεχνικών βλέπουμε πως η μέθοδος των IAM είναι αρκετά φθηνότερη. Αυτό οφείλεται στο τεράστιο κόστος που έχουν οι ρητίνες οι οποίες χρησιμοποιούνται στην μέθοδο των ΙΟΠ, ειδικά σε σύγκριση με το τσιμεντοκονίαμα το οποίο χρησιμοποιείται στην μέθοδο των IAM και είναι κατά πολύ φθηνότερο. Βέβαια είπαμε πως για να επιτευχθεί η ίδια αύξηση των αντοχών, η αναλογία μεταξύ αυτών των δύο μεθόδων ενίσχυσης, είναι περίπου 1/3. Δηλαδή για να έχουμε την ίδια αύξηση των αντοχών που επέρχεται στο κτίριο με μία στρώση ΙΟΠ, με την μέθοδο των IAM πρέπει να χρησιμοποιηθούν τρεις στρώσεις. Αυτό το αναφέρουμε γιατί παρόλου που οι ρητίνες όπως είπαμε έχουν τεράστιο κόστος, δεν απαιτούνται μεγάλες ποσότητες ρητίνης για να έχουμε την επιθυμητή αύξηση των αντοχών στην κατασκευή που ενισχύουμε.

Έχοντας αναλύσει και συγκρίνει σφαιρικά τις δύο καλύτερες από τις μεθόδους που έχουμε στην διάθεσή μας σαν μηχανικοί, στον τομέα της επισκευής και ενίσχυσης μίας κατασκευής, δηλαδή αυτές των Ινοπλεγμάτων Ανόργανης Μήτρας και των Ινοπλισμένων Πολυμερών Υλικών καταλείγουμε στα εξής συμπεράσματα. Η μέθοδος των ΙΟΠ έχει καλύτερα αποτελέσματα στην επίτευξη της αύξηση των αντοχών (της τάξεως του 100-150%), απέναντι στις καταπονήσεις που δέχεται η κατασκευή. Παρόλα αυτά όμως και με το δεδομένο ότι και τα IAM καταφέρνουν και αυτά με την σειρά τους, τεράστιες αυξήσεις των αντοχών (της τάξεως του 85-100%), η μέθοδος αυτή φαίνεται συνολικά, να μας καλύπτει σε μεγαλύτερο βαθμό. Αυτό προκρίπτει αν αναλογιστούμε ότι η μέθοδος των IAM είναι πιο εύκολη στην εφαρμογή της, το τεχνικό προσωπικό είναι περισσότερο εξοικωμένο με το τσιμεντοκονίαμα σε σύγκριση με τις ρητίνες, έχει μικρότερο κόστος και παρουσιάζει κάποια επιπλέον πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την μέθοδο των ΙΟΠ, όπως για παράδειγμα καλύτερες συνθήκες μόνωσης και αποφυγή της υγρασίας με συνέπεια την εμφάνιση της διάβρωσης του είδη υπάρχοντως σιδηρού οπλισμού. Άρα τελικά αν και όπως είπαμε η κάθε περίπτωση βλάβης χρήζει ανάλυσης και μελέτης και διαφορετική αντιμετώπιση, φαίνεται η μέθοδος των IAM να είναι προτιμότερη στις περισσότερες περιπτώσεις, αφού παρουσιάζει όλα τα επιθυμητά θετικά αποτελέσματα το οποία ζητούμε και με μικρότερο κόστος σε σύγκριση με τα ΙΟΠ.

2.5 Πηγές Δεύτερου Κεφαλαίου

Όπως και για το πρώτο κεφάλαιο, έτσι και στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία και εικόνες από πλήθος εργασιών και ερευνών. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία και κυρίως εικόνες από το διαδύκτιο. Οι εργασίες και οι έρευνες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την συλλογή στοιχείων, είναι οι εξής:

- Κα Αγγέλη Γεωργία, Σταματοπούλου Αγγελική
“17^ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών” Πάτρα, Φεβρουάριος 2011
“Μέθοδοι Ενίσχυσης και επισκευής υποστυλωμάτων – σύγκριση μεθόδων”
- Κ. Σάπιος Δημήτριος “20ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών 2014” Πάτρα, Φεβρουάριος 2014
“Ενίσχυση και Επισκευή Υποστυλωμάτων – Μέθοδοι και Σύγκριση”
- Άρθρο του Κ. Σπυράκου στο περιοδικό “ΚΤΙΡΙΟ” του τεύχους 121
“Επισκευή και ενίσχυση κατασκευών με σύνθετα υλικά”
- Διατριβή Διπλώματος Ειδίκευσης του Κ. Μπαλιούκου Χρήστου
Πάτρα Ιούνιος 2008
“Χρήση Ινοπλεγμάτων Ανόργανης Μήτρας για την ενίσχυση πλακών οπλισμένου σκυροδέματος δύο διευθύνσεων”
- Κ. Μπαζαίος Κωνσταντίνος, Κα. Παππά Σοφία
“Ενίσχυση κατασκευών με ινοπλέγματα ανόργανης μήτρας και σύγκριση με τη μέθοδο ενίσχυσης με FRP”
“15^ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών”, Πάτρα Φεβρουάριος 2009
- Κ. Αθανάσιος Τριανταφύλλου
“Νέα γενιά δομικών υλικών για την ενίσχυση κατασκευών: Ινοπλέγματα σε Ανόργανη Μήτρα (IAM)”
- Κ. Διονύσιος Μπουρνάς, Κ. Αθανάσιος Τριανταφύλλου
“Ενίσχυση Υποστηλωμάτων Οπλισμένου Σκυροδέματος σε Ανακυκλιζόμενη Κάμψη με Πρόσθετους Οπλισμούς σε Εγκοπές (ΠΟΕ)”
“16^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, 21-23/10/2009, Πάφος, Κύπρος”

Κεφάλαιο 3ο

Επίπεδο Πλαίσιο

3.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς, ενός επίπεδου (ραβδωτού) πλαισίου. Αρχικά θα ελέγξουμε την δυναμική συμπεριφορά αυτού χωρίς την εφαρμογή κάποιας μορφής ενίσχυση. Στην συνέχεια η κατασκευή αυτή, θα ενισχυθεί αρχικά με την μέθοδο των Ινοπλισμένων Πολυμερή Υλικών, FRP και στην συνέχεια με την μέθοδο των Ινοπλεγμάτων Ανόργανης Μήτρας, TRM.

Για κάθε μία από αυτές τις τεχνικές ενίσχυσης, θα πραγματοποιήσουμε τέσσερα διαφορετικά πειράγματα. Σκοπός είναι να πάρουμε όσο το δυνατόν περισσότερα αποτελέσματα, ώστε να μπορέσουμε να δούμε αυτήν την φορά στην πράξη, ποιες είναι οι αλλαγές που επιφέρουν στο πλαίσιο και ποιο συγκεκριμένα στις ιδιοσυχνότητες και στις ιδιοπεριόδους αυτού, τα οποία είναι τα δύο προς έλεγχο μεγέθη.

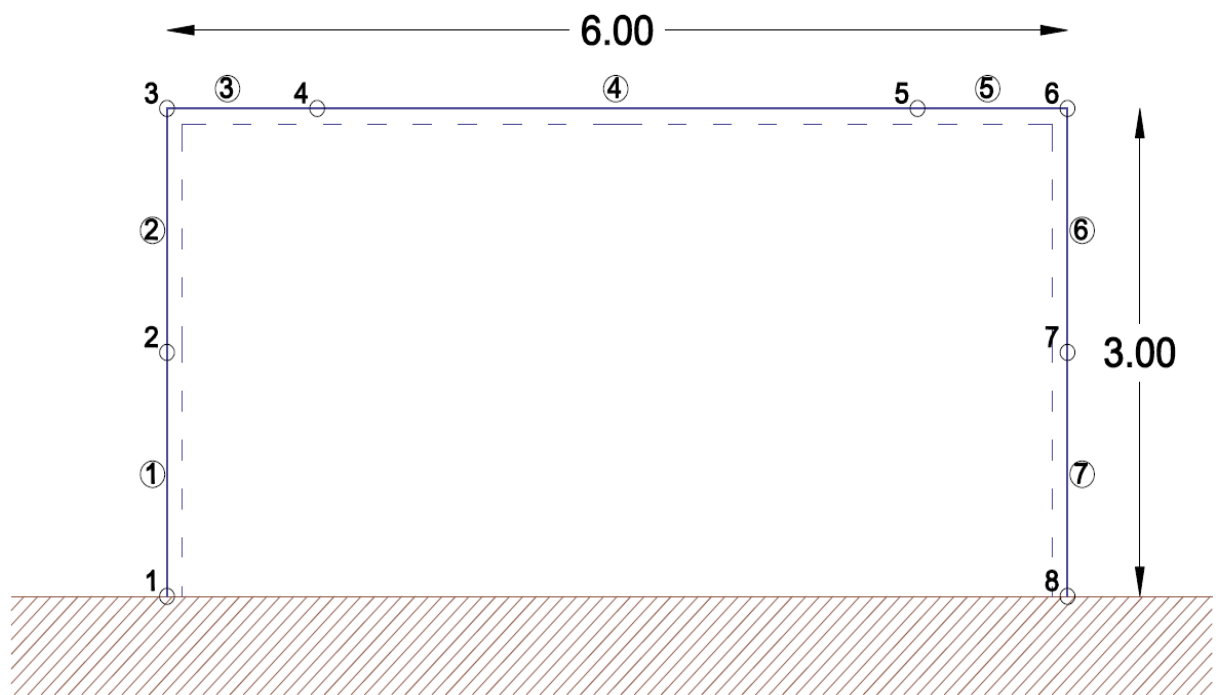
3.2 Επίπεδο Πλαίσιο

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε ένα αμφίπακτο επίπεδο πλαίσιο, το οποίο αποτελείται από επτά ράβδους και οκτώ κόμβους. Το υλικό που έχει χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του, είναι το σπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C12/15 με μέτρο ελαστικότητας, $E=27\text{GPa}$. Τα υποστηλώματα του πλαισίου είναι διαστάσεων $0,25\text{m} \times 0,25\text{m}$ και το δοκάρι, διαστάσεων $0,25\text{m} \times 0,60\text{m}$. Ακόμα οι ράβδοι 1,2,6,7 έχουν το ίδιο μήκος, $1,5\text{m}$ οι ράβδοι 3,5 έχουν μήκος $1,2\text{m}$ και η ράβδος 4 έχει $3,6\text{m}$ μήκος.

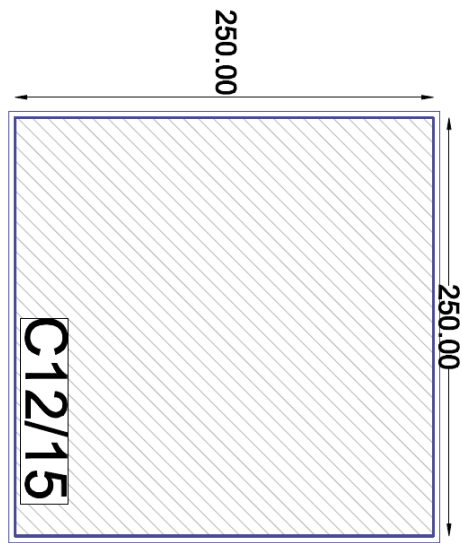
Για την επίλυση του αμφίπακτου αυτού πλαισίου, έγινε χρήση του προγράμματος Microsoft Office Excel 2007. Σκοπός τελικά είναι να εξετάσουμε και να συγκρίνουμε τις ιδιοσυχνότητες και τις ιδιοπεριόδους του πλαισίου, αρχικά χωρίς καμία μορφή ενίσχυσης, στην συνέχεια ενισχυμένο με FRP (Fiber Reinforced Polymers – Ινοπλισμένα Πολυμερή Υλικά) και τέλος με TRM (Textile Reinforced Mortar – Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας). Αφού τελικά συγκρίνουμε τα αποτελέσματα από ένα πλήθος παραδειγμάτων που θα πραγματοποιηθούν, θα μπορούμε πλέον με μεγάλη ασφάλεια να αποφασίσουμε για το ποια μέθοδος ενίσχυσης και επισκευής μιας κατασκευής, είναι η προτιμότερη.

Μετά την επίλυση του πλαισίου χωρίς ενίσχυση, θα ακολουθήσουν τέσσερις περιπτώσεις ενίσχυσης αυτού, με την χρήση της μεθόδου των FRP και άλλα τέσσερα αντίστοιχα με την μέθοδο των TRM. Η πρώτη περίπτωση είναι να ενισχύσουμε το πρώτο μισό κομμάτι των υποστηλωμάτων (ράβδοι 1,7) και το μέσο της δοκού (ραβδος 4). Στην δεύτερη περίπτωση θα ενισχύσουμε εξ' ολοκλήρου τα δύο υποστηλώματα (ράβδοι 1,2,6,7), στην τρίτη περίπτωση θα ενισχύσουμε ολόκληρα τα δύο υποστηλώματα και το μέσο της

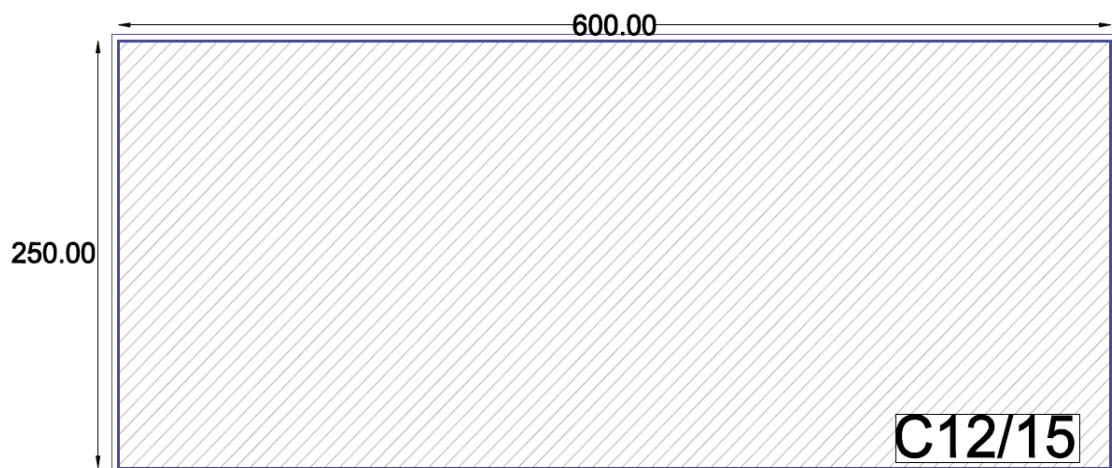
δοκού (ράβδοι 1,2,4,6,7) και θα ολοκληρώσουμε την έρευνα με το τελευταίο παράδειγμα, στο οποίο θα ενισχύσουμε ολόκληρο το πλίσιο (ράβδοι 1,2,3,4,5,6,7).



Εικόνα 21: Επίπεδο Πλαίσιο



Εικόνα 22: Υποστυλώμα 0,25m*0,25m



Εικόνα 23: Δοκός 0,25m*0,60m

3.3 Επίλυση Πλαισίου

Στην παράγραφο αυτή θα επιλύσουμε το επίπεδο πλαίσιο που εξετάζουμε χωρίς να έχει εφαρμοστεί σε αυτό κάποια μορφή ενίσχυσης. Με τον τρόπο αυτό θα καταφέρουμε να δούμε ποιες είναι οι ιδιότητες που παρουσιάζει το πλαίσιο από μόνο του, ώστε στην συνέχεια να μπορέσουμε να τα συγκρίνουμε με αυτά που έχουν ενισχυθεί και να καταλήξουμε σε συμπεράσματα. Το πλαίσιο έχει μέτρο ελαστικότητας $E_{c12/15} = 27 \text{ GPa}$.

Μετά το πέρας των υπολογισμών που πραγματοποιήθηκαν καταλήξαμε στον υπολογισμό των ιδιοσυχνοτήτων και των ιδιοπεριόδων του πλαισίου. Εξετάσαμε τις τρεις μικρότερες ιδιοσυχνότητες της κατασκευής και τις αντίστοιχες ιδιοπεριόδους. Τα αποτελέσματα ήταν τα εξής : Για τις ιδιοσυχνότητες: $\omega_1 = 54,48 \text{ rad/sec}$, $\omega_2 = 217,46 \text{ rad/sec}$, $\omega_3 = 455,94 \text{ rad/sec}$. Για τις ιδιοπεριόδους: $T_1 = 0,115 \text{ sec}$, $T_2 = 0,029 \text{ sec}$, $T_3 = 0,014 \text{ sec}$. Αυτά τα αποτελέσματα στην συνέχεια θα συγκριθούν, με τα αποτελέσματα που θα πάρουμε από τα ενισχυμένα πλαίσια.

3.4 Ενίσχυση πλαισίου με FRP

Σε αυτήν την παράγραφο, θα ενισχύσουμε το εξεταζόμενο επίπεδο πλαίσιο με την μέθοδο ενίσχυσης των Ινοπλισμένων Πολυμερή Υλικών FRP. Θα εφαρμόσουμε την μέθοδο των FRP σε τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις, με σκοπό να μπορέσουμε να κατανοήσουμε επακριβώς πως ηεπηρεάζει μια κατασκευή, η μέθοδος ενίσχυσης των FRP. Το μέτρο ελαστικότητας των FRP είναι $E = 200 \text{ GPa}$ και το πάχος της ενίσχυσης $0,004 \text{ m}$.

Τα εξεταζόμενα μεγέθη είναι οι μηχανικές ιδιότητες του πλαισίου και συγκεκριμένα οι ιδιοσυχνότητες και οι ιδιοπεριόδοι αυτού. Στην πρώτη περίπτωση θα ενισχύσουμε το πρώτο μίσο μήκος των δύο υποστυλωμάτων και το μέσον της δοκού. Στην δεύτερη περίπτωση θα ενισχύσουμε εξολοκλήρου τα δύο υποστυλώματα του πλαισίου. Στην Τρίτη περίπτωση θα εφαρμόσουμε την μέθοδο των FRP, στο συνολικό μήκος των δύο υποστυλωμάτων αλλά και στο μέσον της δοκού. Τέλος στο τέταρτο παράδειγμα, θα ενισχύσουμε ολόκληρο τον φορέα. Τα αποτελέσματα που θα προκύψουν τελικά, θα συγκριθούν με τα αντίστοιχα του πλαισίου χωρίς ενίσχυση, αλλά και με του πλαισίου όταν αυτό ενισχύθηκε με TRM, με στόχο την εξάγωση σημαντικών συμπερασμάτων για την μέθοδο ενίσχυσης των FRP.

3.4.1 Ενίσχυση ράβδων 1,4,7 με FRP

Σε αυτήν την παράγραφο θα εξετάσουμε το επίπεδο πλαίσιο, αφού πρώτα το ενισχύσουμε με την μέθοδο των FRP. Αποφασίσαμε λοιπόν να ενισχύσουμε ένα κομμάτι του πλαισίου και ποιο συγκεκριμένα, τις ράβδους 1,4,7. Οι ράβδοι 1 και 2, αντιπροσωπεύουν στην ουσία το πρώτο μισό μήκος των υποστυλωμάτων και η ράβδος 4 το μέσο της δοκού. Οι ράβδοι 1 και 2, έχουν το ίδιο μήκος 1,5m. Η ράβδος 4 έχει μήκος 3,6m. Ποιο συγκεκριμένα το συνολικό μήκος που θα καταλάβει η ενίσχυση θα είναι 6,6m. Δηλαδή το 55% του συνολικού μήκους ολόκληρου του πλαισίου που είναι 12m. Το μέτρο ελαστικότητας των ράβδων 1,7 αυξήθηκε κατά 39% και είναι, $E_{\text{composite}}=37,41$ GPa και της ράβδου 4, αυξήθηκε κατά 28% με τιμή, $E_{\text{composite}}=34,50$ GPa .

Αφού εφαρμόστηκε η ενίσχυση και έγινε η επίλυση του πλαισίου καταλήξαμε στα εξής αποτελέσματα, εξετάζοντας τις μετρήσεις των τριών μικρότερων ιδιοσυχνοτήτων που παρουσίασε το πλαίσιο και των αντίστοιχων ιδιοπεριόδων. Τα αποτελέσματα ήταν τα εξής : $\omega_1=57.85$ rad/sec , $\omega_2= 237.42$ rad/sec , $\omega_3=491.25$ rad/sec . Οι αντίστοιχες ιδιοπερίοδοι ήταν : $T_1= 0,109$ sec, $T_2= 0.026$ sec, $T_3= 0,013$ sec.

Συγκρίνοντας αυτές τις τιμές, με αυτές του πλαισίου χωρίς ενίσχυση, είδαμε πως οι ιδιοσυχνότητες παρουσίασαν αύξηση και στις τρεις περιπτώσεις, ενώ οι ιδιοπερίοδοι παρουσίασαν και στις τρεις περιπτώσεις μείωση. Αυτό βέβαια είναι λογικό μιας και τα δύο αυτά μεγέθη είναι αντιστρόφως ανάλογα. Συγκεκριμένα παρουσιάστηκε αύξηση του ω_1 κατά +6,19%, του ω_2 κατά +9,18% και του ω_3 κατά +7,74%. Για τις ιδιοπερίόδους είχαμε μείωση του T_1 κατά -5,83%, του T_2 -8,41% και του T_3 -7,19%.

3.4.2 Ενίσχυση ράβδων 1,2,6,7 με FRP

Σε αυτήν την παράγραφο ενισχύσαμε το εξεταζόμενο πλαίσιο με την μέθοδο των FRP, πάλι όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, κατά ένα κομμάτι του και όχι ολόκληρο. Ποιο συγκεκριμένα ενισχύσαμε τις ράβδους 1,2,6,7 που αποτελούν τα δύο υποστυλώματα του πλαισίου. Το μήκος της εκάστοτε ράβδου είναι 1,5m, με συνολικό μήκος ενίσχυσης τα 6 m. Ακριβώς το 50% του μήκους, που καταλαμβάνει συνολικά το πλαίσιο, δηλαδή τα 12m. Το μέτρο ελαστικότητας των ενισχυμένων στοιχείων αυξήθηκε και έγινε $E_{\text{composite}} = 37.41$ GPa. Μια αύξηση δηλαδή κατά περίπου 39%.

Τα αποτελέσματα που πήραμε εξετάζοντας τις τρεις μικρότερες ιδιοσυχνότητες του πλαισίου και των αντίστοιχων ιδιοπεριόδων, ήταν τα εξής : Για τις ιδιοσυχνότητες: $\omega_1=61,61$ rad/sec, $\omega_2=227,46$ rad/sec, $\omega_3=487,92$ rad/sec. Για τις ιδιοπερίόδους: $T_1=0,102$ sec, $T_2= 0,028$ sec, $T_3= 0,013$ sec.

Βλέπουμε πως και σε αυτήν την περίπτωση είχαμε αύξηση των ιδιοσυχνοτήτων και μείωση των ιδιοπεριόδων του πλαισίου. Πιο συγκεκριμένα είχαμε για τις ιδιοσυχνότητες αύξηση στην ω_1 κατά +13,09%, στην ω_2 κατά +4,60% και στην ω_3 κατά +5,04%. Αντίθετα για τις αντίστοιχες ιδιοπερίόδους είχαμε μείωση στην T_1 κατά -11,57%, στην T_2 κατά -4,40% και στην T_3 κατά -4,80%.

3.4.3 Ενίσχυση ράβδων 1,2,4,6,7 με FRP

Σε αυτήν την παράγραφο, πέραν από τα υποστυλώματα που ενισχύσαμε προηγουμένως, θα ενισχύσουμε και το μέσο της δοκού, δηλαδή την ράβδο 4 με την μέθοδο ενίσχυσης των FRP. Το συνολικό μήκος ενίσχυσης αυτήν την φορά θα καταλαμβάνει πλέον τα 9,6m από τα 12m, δηλαδή το 80% του συνολικού μήκους του πλαισίου. Για τα υποστυλώματα (ράβδοι 1,2,6,7), είχαμε αύξηση του μέτρου ελαστικότητας κατά 39%, με τιμή $E_{\text{composite}} = 37,41\text{GPa}$ και για την δοκό (ράβδος 4) παρουσιάστηκε αύξηση κατά 28%, δηλαδή $E_{\text{composite}} = 34,50\text{GPa}$.

Όπως και στα προηγούμενα παραδείγματα, έτσι και εδώ εξετάσαμε τις μετρήσεις των αποτελεσμάτων των ιδιοσυχνοτήτων και των ιδιοπερίοδων του πλαισίου. Τα αποτελέσματα αυτά ήταν για τις ιδιοσυχνότητες: $\omega_1=61,73 \text{ rad/sec}$, $\omega_2=244,71 \text{ rad/sec}$, $\omega_3=503,46 \text{ rad/sec}$. Για τις ιδιοπερίοδους τώρα είχαμε: $T_1= 0,012\text{sec}$, $T_2= 0.026\text{sec}$, $T_3= 0.012\text{sec}$.

Το φαινόμενο που παρουσιάστηκε στα δύο προηγούμενα παραδείγματα συνεχίζει και να παρουσιάζεται και εδώ. Δηλαδή αύξηση των ιδιοσυχνοτήτων και μείωση των ιδιοπερίοδων. Πιο συγκεκριμένα είχαμε αύξηση των ιδιοσυχνοτήτων για την ω_1 κατά +13,31%, για την ω_2 κατά +12,53% και για την ω_3 κατά + 10,42%. Για τις ιδιοπερίοδους τώρα είχαμε μείωση για την T_1 κατά -11,74% για την T_2 κατά -11,14% και για την T_3 κατά -9,44%.

3.4.4 Ενίσχυση ολόκληρου του πλαισίου με FRP

Στο τελευταίο παράδειγμα στο οποίο ενισχύσαμε το πλαίσιο με την τεχνική των FRP, ενισχύσαμε ολόκληρο το πλαίσιο. Καλύψαμε με ενίσχυση το 100% του συνολικού μήκους του πλαισίου δηλαδή και τα 12m. Ολόκληρο το πλαίσιο πλέον είχε αυξήσει το μέτρο ελαστικότητας E , κατά 39%, δηλαδή $E_{\text{composite}} = 37.41 \text{ GPa}$ για τα δύο υποστυλώματα και $E_{\text{composite}} = 34.50\text{GPa}$ για την δοκό. Αύξηση δηλαδή κατά 28%.

Μετά την ολοκλήρωση των υπολογισμών είδαμε και εδώ πως οι ιδιοσυχνότητες του πλαισίου παρουσίασαν αύξηση και οι ιδιοπερίοδοι μείωση. Πιο συγκεκριμένα οι τρεις μικρότερες ιδιοσυχνότητες του ενισχυμένου πλαισίου ήταν: $\omega_1=62,18 \text{ rad/sec}$, $\omega_2=248,55 \text{ rad/sec}$, $\omega_3=522,65 \text{ rad/sec}$. Οι μετρήσεις από τις αντίστοιχες ιδιοπερίοδους ήταν, $T_1= 0,101\text{sec}$, $T_2= 0.025\text{sec}$, $T_3= 0.012\text{sec}$.

Έτσι λοιπόν θα ολοκληρωθεί η μελέτη που έγινε για τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις ενίσχυσης του πλαισίου με την μέθοδο των FRP. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις έτσι και εδώ είχαμε αύξηση των ιδιοσυχνοτήτων και μείωση των ιδιοπερίοδων. Η αύξηση που επήλθε στις τρεις μικρότερες ιδιοσυχνότητες του πλαισίου ήταν η εξής: για την ω_1 αύξηση κατά +14,13%, για την ω_2 κατά +14,30% και για την ω_3 κατά +14,63%. Για τις ιδιοπερίοδους είχαμε μείωση για την T_1 κατά -12,38% για την T_2 κατά -12,51% και για την ω_3 κατά -12,76% .

3.5 Ενίσχυση Πλαισίου με TRM

Σε αυτήν την παράγραφο, θα ενισχύσουμε το εξεταζόμενο επίπεδο πλαίσιο εφαρμόζοντας την μέθοδο ενίσχυσης των Ινοπλεγμάτων Ανόργανης Μήτρας, TRM. Θα εφαρμόσουμε την μέθοδο ενίσχυσης των TRM, σε τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις, με σκοπό να μπορέσουμε να κατανοήσουμε επακριβώς πως επηρεάζεται μία κατασκευή, όταν σε αυτή πραγματοποιείται ενίσχυση με την μέθοδο των TRM. Οι τέσσερις εναλλακτικές περιπτώσεις ενίσχυσης που θα ακολουθήσουν, θα είναι οι ίδιες με αυτές της προηγούμενης παραγράφου. Αυτό γίνεται για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τελικά τις δύο αυτές τεχνικές ενίσχυσης, αυτή των FRP και αυτή των TRM μεταξύ τους και να δούμε ποιες αλλαγές επιφέρει η κάθε μία από αυτές πάνω σε μία κατασκευή.

Στην πρώτη περίπτωση θα ενισχύσουμε το πρώτο μισό μήκος των δύο υποστυλωμάτων και το μέσον της δοκού. Στην δεύτερη περίπτωση θα ενισχύσουμε εξολοκλήρου τα δύο υποστυλώματα του πλαισίου, χωρίς να ενισχυθεί κάποιο μέρος της δοκού. Στην Τρίτη περίπτωση θα εφαρμόσουμε την μέθοδο των TRM, στο συνολικό μήκος των δύο υποστυλωμάτων αλλά και στο μέσον της δοκού. Τέλος στο τέταρτο παράδειγμα, θα ενισχύσουμε ολόκληρο τον φορέα. Τα αποτελέσματα που θα προκύψουν τελικά, θα συγκριθούν με στόχο την εξαγωγή σημαντικών συμπερασμάτων για την μέθοδο ενίσχυσης των TRM. Το μέτρο ελαστικότητας των TRM είναι $E = 135 \text{ GPa}$ και το πάχος που καταλαμβάνει η ενίσχυση είναι $0,004 \text{ m}$.

3.5.1 Ενίσχυση ράβδων 1,4,7 με TRM

Έχοντας ελέγξει πως συμπεριφέρεται το πλαίσιο χωρίς ενίσχυση, αλλά και ενισχυμένο με FRP σε τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις, στις παραγράφους που ακολουθούν θα εξετάσουμε το ίδιο πλαίσιο για τις ίδιες περιπτώσεις, ενισχυμένο αυτήν την φορά με την μέθοδο ενίσχυσης των TRM. Στόχος είναι να δούμε πως θα επηρεαστεί το πλαίσιο μετά την εφαρμογή της ενίσχυσης και τελικά να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα αυτά με αυτά που προέκυψαν από την ενίσχυση του πλαισίου με FRP.

Στην παράγραφο αυτήν θα ενισχύσουμε το πρώτο μισό μήκος των υποστηλωμάτων και το μέσο της δοκού. Πιο συγκεκριμένα θα ενισχύσουμε τις ράβδους 1,7 με αποτέλεσμα να αυξηθεί σε αυτές το μέτρο ελαστικότητας E κατά περίπου 24%, δηλαδή $E_{\text{composite}} = 33,50 \text{ GPa}$. Για την δοκό τώρα (ράβδος 4), παρουσιάστηκε μία αύξηση του μέτρου ελαστικότητας κατά 17%, δηλαδή $E_{\text{composite}} = 31,68 \text{ GPa}$. Το συνολικό μήκος ενίσχυσης καταλαμβάνει το 55% του συνολικού μήκους του πλαισίου, δηλαδή θα είναι $6,6 \text{ m}$. Τα αποτελέσματα που πήραμε από τις τρεις μικρότερες ιδιοσυχνότητες του πλαισίου καθώς και από τις αντίστοιχες ιδιοπερίόδους, ήταν τα εξής. Για τις ιδιοσυχνότητες είχαμε: $\omega_1 = 56,11 \text{ rad/sec}$, $\omega_2 = 230,44 \text{ rad/sec}$, $\omega_3 = 479,21 \text{ rad/sec}$. Οι μετρήσεις από τις αντίστοιχες ιδιοπερίόδους ήταν: $T_1 = 0,112 \text{ sec}$, $T_2 = 0,027 \text{ sec}$, $T_3 = 0,013 \text{ sec}$.

Τα αποτελέσματα μας έδειξαν πως μετά την ενίσχυση το πλαίσιο παρουσίασε αύξηση των ιδιοσυχνοτήτων του και μείωση των ιδιοπεριόδων, στοιχείο το οποίο ήταν εκ των

προτέρων γνωστό μιας και οι ιδιοσυχνότητες είναι αντιστρόφως ανάλογες με τις ιδιοπερίοδους. Πιο συγκεκριμένα η αύξηση που είχαν οι ιδιοσυχνότητες, ήταν οι εξής: η ω_1 κατά +2,99%, η ω_2 κατά +5,97% και η ω_3 κατά +5,10%. Οι αντίστοιχες μετρήσεις που προέκυψαν από τις ιδιοπερίοδους, έδειξαν μείωση, για την T1 κατά -2,91%, για την T2 κατά -5,63% και για την T3 κατά -4,86%.

3.5.2 Ενίσχυση ράβδων 1,2,6,7 με TRM

Όπως και στο προηγούμενο αντίστοιχο παράδειγμα, ενισχύσαμε εξολοκλήρου τα δύο υποστυλώματα του πλαισίου, αυτήν την φορά όμως με την μέθοδο των TRM. Το μήκος που κατέλαβε η ενίσχυση ήταν το 50% του συνολικού μήκους του πλαισίου, δηλαδή 6m. Μετά την εφαρμογή μίας στρώσης TRM, ΕΙΧΑΜΕ αύξηση του μέτρου ελαστικότητας των ενισχυμένων στοιχείων, $E_{\text{composite}}=33,50$ GPa, αύξηση δηλαδή κατά 24%. Στο αντίστοιχο παράδειγμα που ενισχύσαμε με FRP, είχαμε αρκετά μεγαλύτερη αύξηση του E, μια διαφορά της τάξεως των 15 ποσοστιαίων μονάδων. (39% - 24%)

Ας δούμε όμως πως τροποποιήθηκαν οι ιδιοσυχνότητες και οι ιδιομορφές του πλαισίου. Πιο συγκεκριμένα τα αποτελέσματα των τριών μικρότερων ιδιομορφών ήταν: $\omega_1=58,56$ rad/sec, $\omega_2=223,93$ rad/sec, $\omega_3=471,94$ rad/sec. Οι μετρήσεις από τις αντίστοιχες ιδιοπερίοδους ήταν οι εξής: για την πρώτη ιδιοπερίοδο είχαμε T1= 0,107sec, T2=0.028sec, T3=0.013sec.

Βλέποντας τα αποτελέσματα παρατηρήσαμε πως οι ιδιομορφές του πλαισίου αυξήθηκαν συγκριτικά με αυτές που είχε το πλαίσιο πριν την εφαρμογή της ενίσχυσης πάνω σε αυτό. Αντίστοιχα είχαμε μείωση των ιδιοπεριόδων του πλαισίου συγκριτικά με τις αρχικές μετρήσεις. Πιο συγκεκριμένα η πρώτη ιδιομορφή αυξήθηκε κατά ω_1 +7,49%, ω_2 +2,98% και ω_3 +3,51%. Οι ιδιοπερίοδοι τώρα, μειώθηκαν, με T1 κατά -6,97%, T2 κατά -2,89% και τέλος T3 κατά -3,39%.

3.5.3 Ενίσχυση ράβδων 1,2,4,6,7 με TRM

Σε αυτό το παράδειγμα ενισχύσαμε τόσο τα υποστυλώματα, όσο και το μέσο της δοκού. Δηλαδή ενισχύσαμε συγκριτικά με την προηγούμενη περίπτωση, επιπλέον την ράβδο 4 του πλαισίου. Το συνολικό μήκος που καταλαμβάνει πλέον η ενίσχυση είναι της τάξεως του 80%, δηλαδή 9,6m. Το $E_{\text{composite}}$ των υποστηλωμάτων αυξήθηκε κατά 24% με τιμή 33,50GPa, ενώ της δοκού (ράβδος 4) αυξήθηκε κατά 17% και τιμή $E_{\text{composite}} = 31,68$ GPa.

Και εδώ όπως και στο αντίστοιχο παράδειγμα που ενισχύσαμε το ίδιο μέρος του πλαισίου με FRP, πήραμε τα αποτελέσματα των ιδιοσυχνοτήτων και των ιδιοπεριόδων της κατασκευής. Οι μετρήσεις που πήραμε ήταν οι εξής: $\omega_1=58,63$ rad/sec, οι επόμενες δύο ήταν, $\omega_2=235,05$ rad/sec, $\omega_3=487,17$ rad/sec.

Όπως εντοπίσαμε σε όλα τα προηγούμενα παραδείγματα, έτσι και εδώ είχαμε αύξηση των ιδιοσυχνοτήτων και μείωση των ιδιοπεριόδων. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων στην προκειμένη περίπτωση ήταν τα εξής. Η πρώτη ιδιοσυχνότητα αυξήθηκε κατά $\omega_1 +7,62\%$, η δεύτερη αυξήθηκε κατά $\omega_2 +8,09\%$ και η Τρίτη αυξήθηκε κατά $\omega_3 +6,85\%$. Οι ιδιοπερίοδοι με την σειρά τους, μειώθηκαν. Η πρώτη μειώθηκε κατά $T_1 -7,08\%$, η δεύτερη κατά $T_2 -7,48\%$ και η τελευταία κατά $T_3 -6,41\%$.

3.5.4 Ενίσχυση ολόκληρου του πλαισίου με TRM

Στο τελευταίο παράδειγμα, ενισχύσαμε ολόκληρο το επίπεδο πλαίσιο με TRM. Το συνολικό μήκος της ενίσχυσης, κατέλαβε το 100% του μήκους του πλαισίου, τα 12m. Η εφαρμογή της ενίσχυσης με την μέθοδο των TRM, είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση του μέτρου ελαστικότητας κατά περίπου 24% για τα υποστυλώματα και 17% για την δοκό. Το μέτρο ελαστικότητας των υποστυλωμάτων πλέον είχε γίνει $E_{\text{composite}} = 33,50 \text{ GPa}$ και της δοκού $E_{\text{composite}} = 31,68 \text{ GPa}$.

Σε αυτό το τελευταίο παράδειγμα της έρευνας που πραγματοποιήθηκε, όπως και σε όλες τις προηγούμενες περιπτώσεις, ελέγξαμε τις τρεις μικρότερες ιδιοσυχνότητες και ιδιοπεριόδους του πλαισίου. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων ήταν τα εξής: Για τις ιδιομορφές είχαμε, $\omega_1 = 58,89 \text{ rad/sec}$, $\omega_2 = 237,38 \text{ rad/sec}$, $\omega_3 = 498,71 \text{ rad/sec}$. Οι αντίστοιχες ιδιοπερίοδοι ήταν: $T_1 = 0,107 \text{ sec}$, $T_2 = 0,026 \text{ sec}$, $T_3 = 0,013 \text{ sec}$

Τα αποτελέσματα αυτά μας έδειξαν όπως και σε όλες τις προηγούμενες περιπτώσεις πως όσο αυξάνεται το μήκος ενίσχυσης του πλαισίου τόσο αυξάνονται και οι ιδιοσυχνότητες και μειώνονται οι ιδιοπερίοδοι. Πιο συγκεκριμένα για τις ιδιομορφές είχαμε αύξηση για την ω_1 κατά $+8,09\%$, για την ω_2 κατά $+9,16\%$ και για την ω_3 κατά $+9,38\%$. Οι ιδιοπερίοδοι αντίστοιχως μειώθηκαν και είχαμε τις νέες μειωμένες τιμές, T_1 κατά $-7,49\%$, T_2 κατά $-8,39\%$ και τέλος την T_3 κατά $-8,58\%$.

3.6 Συγκριτικός Πίνακας Ιδιοσυχνοτήτων και Ιδιοπεριόδων

Έχοντας ολοκληρώσει όλες τις περιπτώσεις ενίσχυσης, που εφαρμόσαμε στο επίπεδο πλαίσιο που εξετάσαμε, στην συνέχεια προχωρήσαμε στην κατασκευή πινάκων. Με αυτόν τον τρόπο καταφέραμε να συγκεντρώσουμε τα αποτελέσματα των ιδιοσυχνοτήτων και των ιδιοπεριόδων του πλαισίου σε κάθε περίπτωση ξεχωρίστα, ώστε να είναι πιο εύκολη η πρόσβαση και η τελική ανάγνωση αυτών, πρώτου ξεκινήσουμε να βγάλουμε τα οριστικά συμπεράσματα από αυτήν την εργασία.

| Ιδιοσυχότητες | Πλαίσιο χωρίς ενίσχυση | 1,4,7 | % | 1,2,6,7 | % | 1,2,4,6,7 | % | Ολόκληρο πλαίσιο | % |
|---------------|------------------------|--------|-------|---------|--------|-----------|--------|------------------|--------|
| ω1 | 54.48 | 57.85 | 6.19% | 61.61 | 13.09% | 61.73 | 13.31% | 62.18 | 14.13% |
| ω2 | 217.46 | 237.42 | 9.18% | 227.46 | 4.60% | 244.71 | 12.53% | 248.55 | 14.30% |
| ω3 | 455.94 | 491.25 | 7.74% | 478.92 | 5.04% | 503.46 | 10.42% | 522.65 | 14.63% |

Πίνακας 3.12.1: Ιδιοσυχότητες Πλαισίου Ενισχυμένο με FRP

| Ιδιοπερίοδοι | Πλαίσιο χωρίς ενίσχυση | 1,4,7 | % | 1,2,6,7 | % | 1,2,4,6,7 | % | Ολόκληρο πλαίσιο | % |
|--------------|------------------------|-------|--------|---------|---------|-----------|---------|------------------|---------|
| T1 | 0,115 | 0,109 | -5,83% | 0,102 | -11,57% | 0,102 | -11,74% | 0,101 | -12,38% |
| T2 | 0,029 | 0,026 | -8,41% | 0,028 | -4,40% | 0,026 | -11,14% | 0,025 | -12,51% |
| T3 | 0,014 | 0,013 | -7,19% | 0,013 | -4,80% | 0,012 | -9,44% | 0,012 | -12,76% |

Πίνακας 3.12.2 : Ιδιοπερίοδοι Πλαισίου Ενισχυμένο με FRP

| Ιδιοσυχότητες | Πλαίσιο χωρίς ενίσχυση | 1,4,7 | % | 1,2,6,7 | % | 1,2,4,6,7 | % | Ολόκληρο πλαίσιο | % |
|---------------|------------------------|--------|-------|---------|-------|-----------|-------|------------------|-------|
| ω1 | 54.48 | 56.11 | 2.99% | 58.56 | 7.49% | 58.63 | 7.62% | 58.89 | 8.09% |
| ω2 | 217.46 | 230.44 | 5.97% | 223.93 | 2.98% | 235.05 | 8.09% | 237.38 | 9.16% |
| ω3 | 455.94 | 479.21 | 5.10% | 471.94 | 3.51% | 487.17 | 6.85% | 498.71 | 9.38% |

Πίνακας 3.12.3: Ιδιοσυχότητες Πλαισίου Ενισχυμένο με TRM

| Ιδιοπερίοδοι | Πλαίσιο χωρίς ενίσχυση | 1,4,7 | % | 1,2,6,7 | % | 1,2,4,6,7 | % | Ολόκληρο πλαίσιο | % |
|--------------|------------------------|-------|--------|---------|--------|-----------|--------|------------------|--------|
| T1 | 0.115 | 0.112 | -2.91% | 0.107 | -6.97% | 0.107 | -7.08% | 0.107 | -7.49% |
| T2 | 0.029 | 0.027 | -5.63% | 0.028 | -2.89% | 0.027 | -7.48% | 0.026 | -8.39% |
| T3 | 0.014 | 0.013 | -4.86% | 0.013 | -3.39% | 0.013 | -6.41% | 0.013 | -8.58% |

Πίνακας 3.12.4 : Ιδιοπερίοδοι Πλαισίου Ενισχυμένο με TRM

Κεφάλαιο 4

Συμπεράσματα

4.1 Συμπεράσματα Πρώτου Κεφαλαίου

Αρχικά στο πρώτο εισαγωγικό κεφάλαιο, έγινε μία αναφορά σε όλες τις τεχνικές, επισκευής - ενίσχυσης που χρησιμοποιούνται στην χώρα μας. Στην συνέχεια έγινε ανάλυση της κάθε μεθόδου ξεχωριστά, αναφέροντας τα βασικά χαρακτηριστικά της κάθε μίας, ως προς τις μηχανικές τους ιδιότητες, το κόστος αλλά και τον τρόπο εφαρμογής τους.

Το συμπέρασμα λοιπόν είναι πως η κάθε μια μέθοδος, έχει τα δικά της χαρακτηριστικά, με μερικές από αυτές να μοιάζουν μεταξύ τους όσο αναφορά τα αποτελέσματα μετά την ενίσχυση, είτε στις νέες πλέον ενισχυμένες αντοχές τους, είτε στον τρόπο εφαρμογής τους, είτε ως προς τις γεωμετρικές τροποποιήσεις που επέρχονται στο κτίριο μετά την εφαρμογή τους. Παρ' όλα αυτά η κάθε μία μέθοδος ενίσχυσης προσφέρει στην κατασκευή, συνολικά τα δικά της ξεχωριστά και μοναδικά αποτελέσματα, με πολλά πλεονεκτήματα, που σε πολλές περιπτώσεις είναι ιδιαίτερος σημαντικά, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει πως δεν υπάρχουν και μειονεκτήματα της εκάστοτε μεθόδου.

Καταλείγοντας είδαμε πως αφού πρώτα εκτιμήθει το μέγεθος της ζημίας που έχει υποστεί η κατασκευή, πρέπει στην συνέχεια να γίνει σωστή επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ενίσχυσης που θα χρησιμοποιηθεί, αφού η κάθε περίπτωση έχει τα δικά της χαρακτηριστικά και απαιτήσεις και έτσι πρέπει να βρεθεί η κατάλληλη μέθοδος, η οποία θα τις πληρή.

4.2 Συμπεράσματα Δεύτερου Κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά έγινε μια λεπτομερή ανάλυση της εκάστοτε μεθόδου ενίσχυσης μιας κατασκευής. Πραγματοποιήθηκε μια εκτενής αναφορά όλων των ιδιοτήτων της εκάστοτε μεθόδου, ως προς τα τρία βασικά κριτήρια που μας απασχολούν όταν καλούμαστε να επιλέξουμε μια μέθοδο προκειμένου να ενισχύσουμε μια κατασκευή. Έγινε λοιπόν λεπτομερής ανάλυση ως προς τις μηχανικές ιδιότητες της κάθε τεχνικής, ο τρόπος εφαρμογής της πάνω στην κατασκευή αλλά και το κόστος που έχει η κάθε μία.

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ των μεθόδων και πιο συγκεκριμένα, αρχικά πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ των Ινοπλεγμάτων Ανόργανης Μήτρας IAM και των "παραδοσιακών" τεχνικών ενίσχυσης. Το συμπέρασμα που προέκυψε μετά από αυτήν τη σύγκριση, ήταν η συντριπτική υπεροχή των IAM απέναντι στις "παραδοσιακές" τεχνικές σε όλους τους εξεταζόμενους τομείς. Δηλαδή ως προς την

αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων της κατασκευής, που όπως είδαμε η μέθοδος των IAM υπερείχε με μεγάλη μάλιστα διαφορά, την διαδικασία της εφαρμογής της τεχνικής που επίσης είδαμε πως η χρήση των IAM χαρακτηρίζεται από μεγάλη ευκολία στην εφαρμογή της και τέλος ως προς το κόστος που επίσης είδαμε πως τα IAM είναι σχετικά με τις “παραδοσιακές” μεθόδους, στις περισσότερες τουλάχιστον περιπτώσεις, είναι φθηνότερα.

Αυτά βέβαια τα αποτελέσματα της σύγκρισης των IAM με τις “παραδοσιακές” τεχνικές ήταν λίγο ή πολύ αναμενόμενα. Το μεγάλο ενδιαφέρον βρίσκεται στην σύγκριση των δύο πιο πρόσφατων χρονικά τεχνικών, δηλαδή των IAM και τον ΙΟΠ (Ινοπλισμένα Πολυμερή Υλικά). Μετά την σύγκριση των δύο αυτών τεχνικών, προέκυψαν μερικά πολύ ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Είδαμε πως τα ΙΟΠ υπερέχουν ως προς την αύξηση των μηχανικών χαρακτηριστικών μιας κατασκευής κατά περίπου 35%. Παρ’ όλα αυτά όμως, είδαμε πως με την χρήση των IAM έχουμε σημαντικά, έμμεσα πλεονεκτήματα, όπως για παράδειγμα ότι με την χρήση των IAM εξασφαλίζονται καλύτερες συνθήκες μόνωσης και αποφυγή της υγρασίας με συνέπεια την εμφάνιση της διάβρωσης του είδη υπάρχοντος σιδηρού οπλισμού. Όσο αναφορά τώρα τον τρόπο εφαρμογής των δύο αυτών τεχνικών, είδαμε πως τα IAM είναι πολύ πιο εύκολα στην εφαρμογή τους, τόσο γιατί το τσιμεντοκονίαμα είναι πιο εύχρηστο υλικό σε σχέση με τις ρητίνες, αλλά και επειδή το εργατικό προσωπικό είναι πολύ περισσότερο εξικωμένο με το τσιμεντοκονίαμα, παρά με τις ρητίνες. Τέλος το κόστος. Και σε αυτόν τον τομέα είδαμε την υπεροχή των IAM σε σύγκριση με τα ΙΟΠ. Αυτό οφείλεται και μόνο, στο υλικό που χρησιμοποιείται ως συγκολλητικό υλικό, ανάμεσα στο μέλος της κατασκευής και του πλέγματος ινών που προκειται να συγκολληθεί πάνω σε αυτό. Δηλαδή στην περίπτωση των IAM το τσιμεντοκονίαμα και στην περίπτωση των ΙΟΠ οι ρητίνες. Το τσιμεντοκονίαμα είναι κατά πολύ φθηνότερο από τις ρητίνες, άρα και όλη η τεχνική των IAM είναι κατά πολύ φθηνότερη, μιας και το δεύτερο υλικό που χρησιμοποιείται και στις δύο μεθόδους, δηλαδή τα εκάστοτε πλέγματα, είναι τα ίδια.

4.3 Συμπεράσματα Τρίτου Κεφαλαίου

Μετά την σύγκριση των IAM και των ΙΟΠ, δημιουργήθηκαν μερικές πολύ σημαντικές ερωτήσεις. Τα πλεονεκτήματα που εμφανίζουν τα IAM σε σχέση με τα ΙΟΠ, είναι ικανά να υπερκεράσουν το γεγονός ότι τα ΙΟΠ αυξάνουν τις μηχανικές ιδιοτητες της κατασκευής, περισσότερο, κατά περίπου 35% ; Είναι όντως τόσο μεγάλη η διαφορά, όσο ακούγεται αυτό το 35%, στην πράξη; Χρειάζεται αυτό το επεπλέον 35% ή απλά θα μπορούσαμε να πούμε πως είναι "πεταμένα" λεφτά; Οι απαντήσεις αυτές δώθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο.

Λαμβάνοντας τα αποτελέσματα λοιπόν μετά τον υπολογισμό των ιδιοσυχνοτήτων και των ιδιοπεριόδων του επίπεδου πλαισίου που χρησιμοποιήσαμε σαν παράδειγμα, ύστερα από την εφαρμογή ενίσχυσης με την μέθοδο των TRM και των FRP καταλήξαμε σε κάποια σημαντικά συμπεράσματα. Αρχικά είδαμε πως το επίπεδο πλαίσιο, όπως ήταν και αναμενόμενο, παρουσίασε μικρότερες ιδιοσυχνότητες και μεγαλύτερους ιδιοπεριόδους, συγκριτικά με αυτές μετά την ενίσχυση.

Το πρώτο βασικό συμπέρασμα είναι πως μετά την ενίσχυση στην περίπτωση και των δύο μεθόδων, το πλαίσιο παρουσίασε αύξηση των ιδιοσυχνοτήτων του και μείωση των ιδιοπεριόδων του. Πιο συγκεκριμένα όταν το πλαίσιο ενισχύθηκε με TRM εμφάνισε αύξηση των ιδιοσυχνοτήτων του, από 2,99% έως και 8,09%. Αυτό μάλιστα γίνεται πιο ενδιαφέρον αν σκεφτούμε πως χρησιμοποιήθηκε μία μόλις στρώση των σύνθετων υλικών. Η αύξηση που παρουσιάζει μία κατασκευή ως προς τις μηχανικές της ιδιότητες, γεγονός που ισχύει και για τις δύο τεχνικές, είναι πολλαπλάσια όσο αυξάνονται οι στρώσεις του σύνθετου υλικού. Δηλαδή αν για παράδειγμα χρησιμοποιούσαμε δύο στρώσεις TRM, η αύξηση των μηχανικών χαρακτηριστικών θα ήταν διπλάσια, αν χρησιμοποιούσαμε τρεις στρώσεις θα ήταν τριπλάσια και ούτω καθεξής. Τώρα για την περίπτωση των ιδιοπεριόδων, το πλαίσιο παρουσίασε μείωση από -2,91% έως και -7,49%. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί πως τα δύο αυτά μεγέθη, δηλαδή των ιδιοσυχνοτήτων και των ιδιοπεριόδων, είναι αντιστροφως ανάλογα.

Όπως με την μέθοδο των TRM, έτσι και με την μέθοδο των FRP, το πλαίσιο εμφάνισε αύξηση των ιδιοσυχνοτήτων του με παράλληλη μείωση των ιδιοπεριόδων του. Στην περίπτωση μάλιστα των FRP παρουσίασε πολύ μεγαλύτερες αλλαγές των μεγεθών αυτών. Είδαμε πως τόσο η αύξηση των ιδιοσυχνοτήτων, όσο και η μείωση των ιδιοπεριόδων, ήταν περίπου η διπλάσια από τις αλλαγές που προήλθαν στο πλαίσιο με την εφαρμογή των TRM. Προφανώς πρόκειται για μία μεγάλη διαφορά. Πιο συγκεκριμένα είδαμε πως οι ιδιοπερίοδοι της κατασκευής αυξήθηκαν, από 6,19% έως και 14,13%. Έτσι και οι ιδιοπερίοδοι του πλαισίου παρουσιάστηκαν μειωμένες, από -5,83% έως και -12,38%, συγκριτικά με αυτές του αρχικού, μη ενισχυμένου πλαισίου.

Στην συνέχεια θα εξετάσουμε ένα πολύ σημαντικό συμπέρασμα που προέκυψε από την μελέτη του επίπεδου πλαισίου. Παρατηρούμε πως η αύξηση των ιδιοσυχνοτήτων και η παράλληλη βέβαια μείωση των ιδιοπεριόδων, δεν είναι ανάλογη με την αύξηση του μήκους ενίσχυσης. Πιο συγκεκριμένα βλέπουμε πως η ενίσχυση επιφέρει σημαντικά αποτελέσματα, κυρίως με την εφαρμογή της πάνω στα υποστυλώματα και πολύ λιγότερο με την εφαρμογή της πάνω στην δοκό. Μπορούμε μάλιστα να πούμε πως η επίδραση που

έχει η εφαρμογή της ενίσχυσης πάνω στην δοκό θα μπορούσαμε μέχρι και να πούμε πως είναι αμελητέα. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάστηκε όσο όταν ενισχύσαμε το πλαίσιο με TRM, τόσο και με FRP. Πιο συγκεκριμένα για την μέθοδο των TRM, είδαμε πως η διαφορά ανάμεσα στις ιδιομορφές και ιδιοπεριόδους, στο παράδειγμα που ενισχύσαμε μόνο τα υποστυλώματα συγκριτικά με το παράδειγμα που ενισχύθηκε ολόκληρο το πλαίσιο, η διαφορά ήταν μόλις 0,6% για τις ιδιομορφές και 0,52% για τις ιδιοπεριόδους. Στην περίπτωση των FRP η αντίστοιχη διαφορά για τις ιδιομορφές ήταν 1,04% και των ιδιοπεριόδων ήταν 0,81%.

Ολοκληρώντας την έρευνα αυτή, πρέπει να απαντήσουμε σε δύο ερωτήματα για τα οποία μάλιστα πραγματοποιήθηκε η έρευνα αυτή. Το πρώτο ερώτημα είναι ποια μέθοδος ενίσχυσης είναι η καλύτερη, με κριτήριο την αύξηση των μηχανικών χαρακτηριστικών μιας κατασκευής, την ευκολία όσο αναφορά τον τρόπο και την διαδικασία εφαρμογής, αλλά πάντα συνδιαστικά με το μικρότερο δυνατό κόστος. Το δεύτερο ερώτημα που προκύπτει είναι, ποιο μέρος του πλαισίου πρέπει να ενισχύσουμε ώστε να έχουμε να μεν τα επιθυμητά αποτελέσματα για την αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων, αλλά με το μικρότερο δυνατό κόστος επίσης.

Η απάντηση στο πρώτο ερώτημα είναι η εξής. Είδαμε πως τα FRP παρουσιάζουν μία πολύ καλύτερη συμπεριφορά με συνέπεια αρκετά μεγαλύτερες αυξήσεις, ως προς την αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων του πλαισίου. Αντίθετα όμως είδαμε πως υστερεί στους δύο άλλους εξεταζόμενους τομείς, δηλαδή την ευκολία ως προς την εφαρμογή της μεθόδου αλλά και το κόστος. Άρα καταλήγουμε στο εξής συμπέρασμα. Αν η αύξηση των μηχανικών χαρακτηριστικών που θέλουμε να επιτύχουμε είναι πολύ μεγάλη, λόγω για παράδειγμα μίας σοβαρής βλάβης της κατασκευής, τότε φαίνεται η ανάγκη αυτή να μας οδηγεί στην επιλογή της μεθόδου ενίσχυσης των FRP. Αν όμως η βλάβη είναι μικρότερου βαθμού και άρα και οι απαιτήσεις για αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων μικρότερες, τότε μπορούμε κάλλιστα να επιλέξουμε την μέθοδο των TRM, λόγω ευκολίας στην χρήση αλλά και πολυ μικρότερου κόστους.

Η απάντηση στο δεύτερο ερώτημα, δηλαδή το ποιο μέρος μιας κατασκευής είναι καλύτερα να ενισχύσουμε προκειμένου να έχουμε και το μικρότερο δυνατό κόστος, θεωρώ πως είναι προφανής. Είδαμε πως και στις δύο περιπτώσεις, δηλαδή τόσο για την ενίσχυση με FRP, όσο και με την περίπτωση των TRM, ενισχύοντας μόνο τα υποστυλώματα, που μάλιστα στο πλαίσιο που εξετάσαμε καταλάμβαναν μόλις το 50% του συνολικού μήκους, η αύξηση των μηχανικών χαρακτηριστικών ήταν της τάξεως σχεδόν του 99%, συγκριτικά με το να ενισχύουμε ολόκληρο το πλαίσιο. Άρα όποια μέθοδο και να επιλέξουμε τελικά, αρκεί να ενισχύσουμε μόνο τα υποστυλώματα.