

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΜΕ ΜΑΝΔΥΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

ΝΤΟΛΙΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Περίληψη

Η συγκεκριμένη εργασία επικεντρώνεται στην παρουσίαση και προβολή μίας καινοτόμου μεθόδου ενίσχυσης πλαισίου κατασκευής οπλισμένου σκυροδέματος. Η λύση που προτείνεται συνίσταται στη χρήση συμβατικής ενίσχυσης με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος μόνο στην περιοχή του κόμβου ενώ η ενίσχυση του στύλου επιτυγχάνεται με σύνθετα υλικά. Το αποτέλεσμα αυτό προκύπτει από τη σύγκριση μέσω πειραμάτων με την ενίσχυση όλου του πλαισίου με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος είτε σύνθετων υλικών.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ελλάδα είναι μία χώρα που έχει το θλιβερό προνόμιο να ανήκει σε αυτές με τη μεγαλύτερη σεισμική δράση στον ευρωπαϊκό χώρο. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει σεισμοί μεγάλης κλίμακας σε όλη τη χώρα με αποτέλεσμα να παρατηρηθούν σημαντικές βλάβες στις κατασκευές που έχουν οδηγήσει ακόμη και σε καταρρεύσεις κτιρίων με ανθρώπινα θύματα. Πολλά από τα συγκεκριμένα κτίρια επισκευάστηκαν και ενισχύθηκαν. Ωστόσο επειδή η σεισμική δραστηριότητα συνεχίζεται και οι περισσότερες κατασκευές έχουν γίνει βάσει παλαιότερων αντισεισμικών κανόνων είναι πολύ πιθανόν να προκύψουν ανάλογα δυσάρεστα προβλήματα στα κτίρια με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, τα οποία ως εκ τούτου χρήζουν άμεσης ενίσχυσης.

Η ενίσχυση των κατασκευών την τελευταία δεκαετία έχει πάρει εκτεταμένη μορφή και έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη νέων μεθόδων. Μία από τις πιο πρόσφατες βασίζεται στην επικόλληση λωρίδων από ινοπλισμένα σύνθετα υλικά(FPRs) με τη βοήθεια εποξειδικών ρητινών σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος. Τα υλικά αυτά αποτελούνται από ίνες άνθρακα, γυαλιού ή αραμιίδης σε πολυμερή μήτρα. Η καινούργια αυτή τεχνολογία παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα αλλά και σημαντικά μειονεκτήματα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

2.ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Οι θετικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών είναι οι εξής:[3,5]

- Υψηλή εφελκυστική αντοχή
- Ικανοποιητική παραμορφωσιμότητα έως και τη θραύση
- Ανθεκτικότητα στο χρόνο
- Εύκολη εφαρμογή σε υπάρχουσες κατασκευές
- Χαμηλό βάρος ενίσχυσης
- Υψηλή αντίσταση στη διάβρωση
- Μεγάλο λόγο αντοχής προς μάζα και δυσκαμψίας προς μάζα
- Εύκολη προσαρμογή στη στάθμη ενίσχυσης που επιδιώκεται
- Επιβολή ελάχιστων γεωμετρικών αλλαγών στο φορέα

Ωστόσο είναι κοινά πλέον αποδεκτό ότι οι μανδύες από ινοπλισμένα πολυμερή παρουσιάζουν και σημαντικά μειονεκτήματα τα οποία συνοψίζονται στα εξής:

1. Δεν αυξάνουν ιδιαίτερα τον λόγο ικανοτικού σχεδιασμού MR(άθροισμα ροπών αντοχής στύλων προς άθροισμα ροπών αντοχής δοκών).Ο λόγος αυτός είναι μικρός σε παλαιές οικοδομές καθώς οι τελευταίες τις περισσότερες φορές σχεδιάζονταν με ισχυρές δοκούς και ασθενή υποστυλώματα. Αυτή η αδυναμία των σύνθετων υλικών προκύπτει από το γεγονός ότι οι στρώσεις αύξησης της καμπτικής αντοχής των

στύλων δεν είναι δυνατόν να συνεχίσουν από όροφο σε όροφο λόγω της παρουσίας της πλάκας και των δοκών που συντρέχουν στην περιοχή του κόμβου.[1]

2. Δεν ενισχύουν αποτελεσματικά τις περιοχές του κόμβου καθώς δεν επιφέρουν αύξηση του λόγου ικανοτικού σχεδιασμού σε τιμές που θα έπρεπε(>1.4), δεν μειώνουν τις διατμητικές τάσεις πάνω στον κόμβο ενώ ταυτόχρονα δεν έχουμε προσθήκη οπλισμού.

Είναι διαπιστωμένο ότι κατά την σεισμική φόρτιση το μεγαλύτερο πρόβλημα σε μια πλαισιακή κατασκευή προκαλείται στους κόμβους δοκού- υποστύλωματος. Είναι λοιπόν προφανές ότι η ενίσχυση με σύνθετα υλικά στην περιοχή του κόμβου δεν θα είναι ιδιαίτερα επιτυχής εξαιτίας των λόγων που προαναφέρθηκαν. Πειραματικά δεδομένα έδειξαν ότι κόμβοι που ενισχύθηκαν με σύνθετα υλικά δεν παρουσίασαν ικανοποιητική συμπεριφορά σε σεισμική φόρτιση σε αντίθεση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν σε κόμβους με ενίσχυση από μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος.



Σχήμα 1: Κόμβος μετά από ενίσχυση

Για την αποφυγή της αστοχίας του κόμβου και την αποτελεσματική ενίσχυση πλαισίων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος προτείνεται η καινοτόμος λύση της ενίσχυσης των υποστύλωματων με σύνθετα υλικά και της περιοχής του κόμβου με συμβατικούς μανδύες από οπλισμένο σκυροδέμα. Με αυτή την μέθοδο αξιοποιούνται με τον καλύτερο τρόπο τα πλεονεκτήματα των FRPs και αποφεύγονται ανεπιθύμητα προβλήματα.[2]

3.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

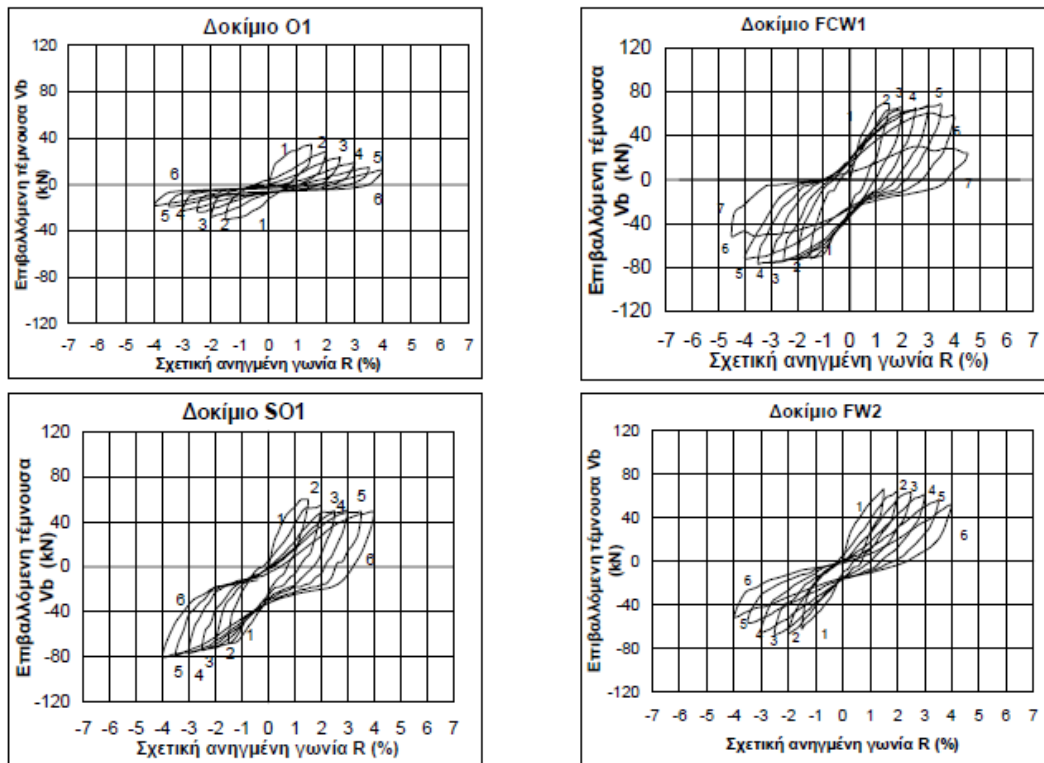
Προκειμένου να εξεταστεί η αποτελεσματικότητα της συγκεκριμένης μεθόδου ενίσχυσης συγκρίνεται η σεισμική συμπεριφορά δοκιμών πλαισίων παλαιάς οικοδομής οπλισμένου σκυροδέματος, ενισχυόμενων με τον προτεινόμενο τρόπο, με την αντίστοιχη συμπεριφορά όμοιων δοκιμών ενισχυόμενων αποκλειστικά είτε με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος είτε με μανδύες από σύνθετα υλικά. Επιλέγονται δοκίμια με κόμβους που δεν έχουν καθόλου οπλισμό δημιουργώντας έτσι δυσμενέστερες συνθήκες για να ελεγχθεί καλύτερα η αποδοτικότητα του τρόπου επέμβασης. Για τον ίδιο σκοπό και στα υποστύλωματα ο οπλισμός είναι λιγότερος σε σχέση με τις σημερινές απαιτήσεις. Είναι πολύ σημαντικό στις ερευνητικές εργασίες να λαμβάνονται τα κατάλληλα δοκίμια που μας τροφοδοτούν με όλες τις απαραίτητες πληροφορίες. Η μελέτη των υποστύλωματων με δοκίμια μόνο στύλων οδηγεί τις περισσότερες φορές σε εσφαλμένα συμπεράσματα καθώς δεν λαμβάνεται υπόψη ο

συνδετήρων στο στύλο και δισδιαγώνιου οπλισμού στο κόμβο, δημιουργώντας το δοκίμιο SO1. Τέλος, το W2 ενισχύεται παντού με συμβατικούς μανδύες από CFPRs. Τα τρία ενισχυμένα δοκίμια υποβάλλονται στην ίδια σεισμική φόρτιση με τα προηγούμενα. Οι δοκιμές έχουν γίνει με νεότερους κανονισμούς.[4]

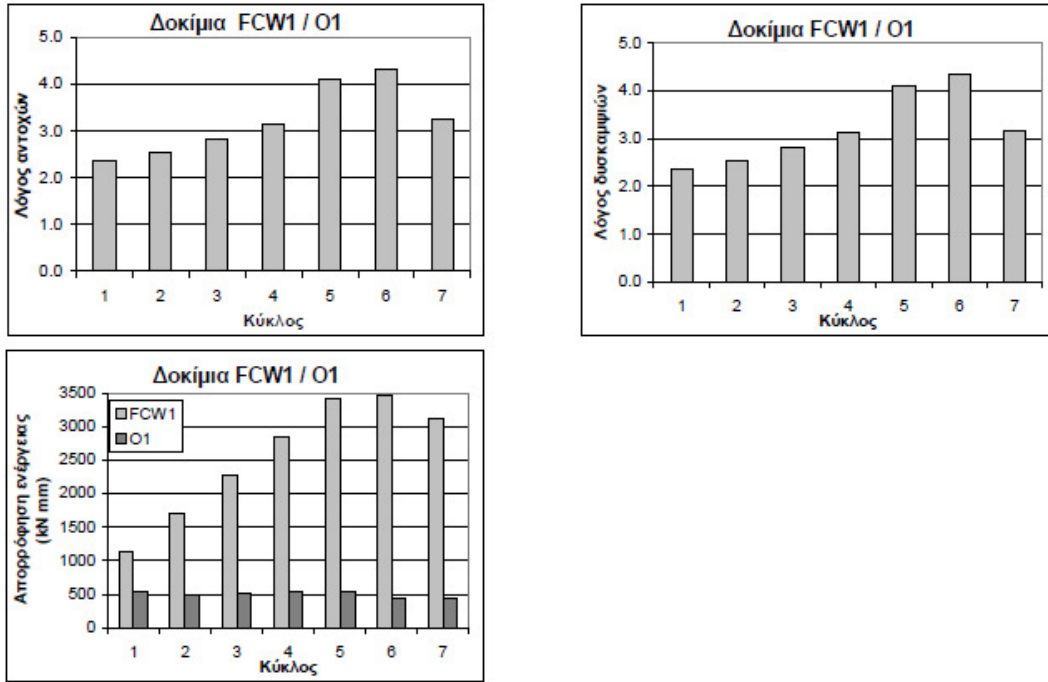
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από τα διαγράμματα των βρόχων υστέρησης των δοκιμών O1, SO1, FCW1 και FW2 φαίνεται ότι η σεισμική συμπεριφορά των ενισχυμένων είναι σαφώς καλύτερη από το παρθενικό δοκίμιο. Το δοκίμιο SO1 αστόχησε κυρίως στη δοκό, ενώ στα τελευταία στάδια της φόρτισης εμφανίστηκαν ρηγματώσεις στον κόμβο και απώλεια της επικάλυψης στη δοκό. Το δοκίμιο FW2 αρχικά αστόχησε μικτά στη δοκό και τον κόμβο ενώ τελικά με το πέρας των φορτίσεων η αστοχία συσσωρεύτηκε στον κόμβο. Τέλος, το δοκίμιο FCW1 αστόχησε αμιγώς στη δοκό ενώ ο κόμβος εμφάνισε εξαιρετική συμπεριφορά.

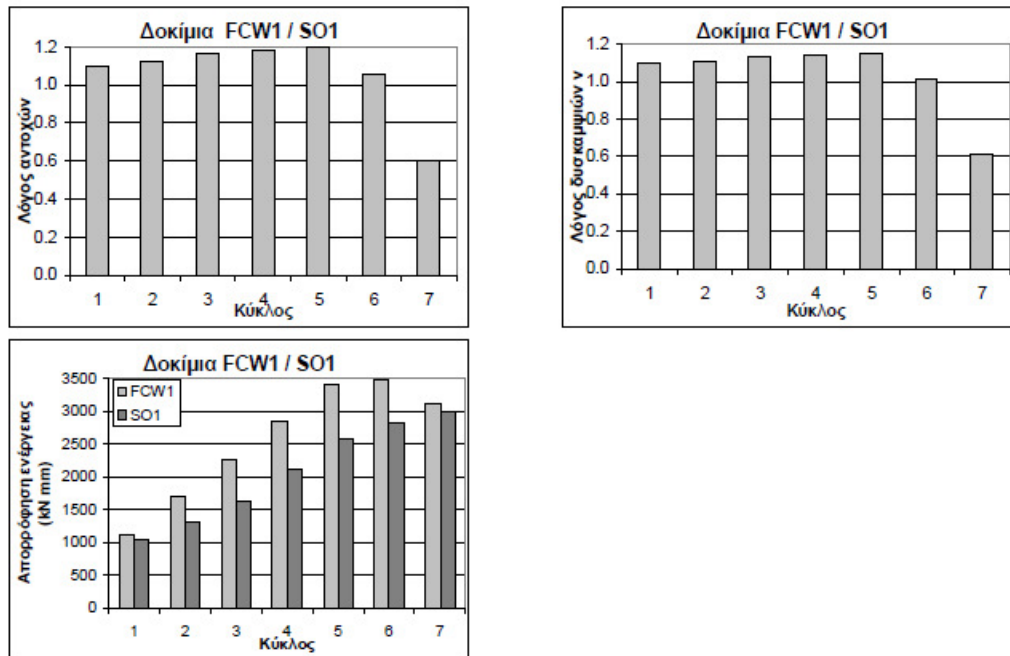
Ακόμη το FCW1 εμφάνισε έως και τριπλάσια αντοχή και δυσκαμψία σε σχέση με το παρθενικό O1 και έως και εξαπλάσια απορρόφηση ενέργειας.[6]



Σχήμα 4: Υστερητικοί βρόχοι τέμνουσας-μετατόπισης [6]



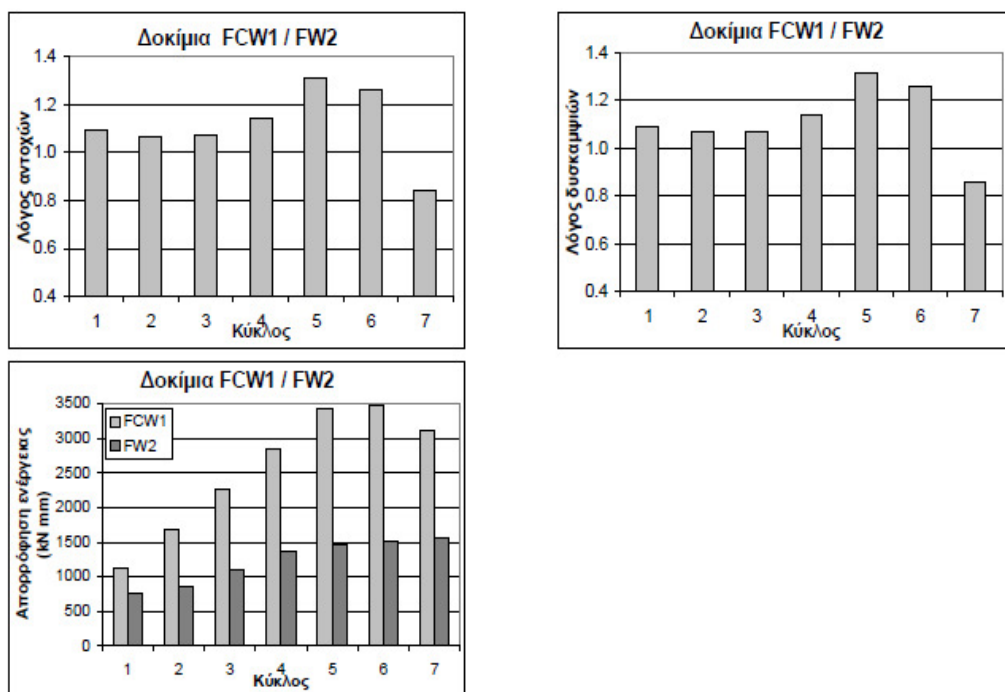
Σχήμα 5: Συγκριτικά διαγράμματα αντοχών, δυσκαμψιών, ενέργειας FCW1 και O1[6]



Σχήμα 6: Σύγκριση δοκιμών FCW1 και SO1[6]

Ακόμη, γίνεται σύγκριση στην αντοχή, στη δυσκαμψία και στην απορρόφηση ενέργειας μεταξύ των δοκιμών FCW1 και FW2 και των δοκιμών FCW1 και SO1. Τα αποτελέσματα για τα δοκίμια FCW1 και SO1 είναι ελάχιστα καλύτερα για το δοκίμιο με την προτεινόμενη μέθοδο με τον λόγο αντοχής να φθάνει έως και την τιμή 1,2. Για τα δοκίμια FCW1 και SO1 τα αποτελέσματα είναι αισθητά καλύτερα για το δοκίμιο FCW1 και αφορούν κυρίως την απορρόφηση ενέργειας, όπου παρατηρούνται σημαντικές αποκλίσεις.

Είναι φανερό λοιπόν η υπεροχή της προτεινόμενης μεθόδου ενίσχυσης σε σχέση και με την ενίσχυση πλαισιακών κατασκευών αποκλειστικά με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος ή με μανδύες από ινοπλισμένα πολυμερή. Εξάλλου, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η λύση μόνο με σύνθετα υλικά είναι η λιγότερο αποτελεσματική από τις τρεις. Αυτό εξηγείται καθώς σε πλαίσια αναδεικνύονται πολύ περισσότερο τα μειονεκτήματα των σύνθετων υλικών και κυρίως την παράβλεψη του κόμβου δοκού-υποστρώματος, ο οποίος τόσο σημαντικός είναι για την αποφυγή της αστοχίας.



Σχήμα 7: Σύγκριση δοκιμών FCW1 και FW2[6]

5. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η μέθοδος των σύνθετων υλικών είναι αρκετά ιδιαίτερη και σχετικά πρόσφατη. Γι αυτό το λόγο υπάρχουν συγκεκριμένες προδιαγραφές χρησιμοποίησής τους στις ενισχύσεις των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος.

Ο σκοπός του Π.Ε.Σ.Υ είναι να παρακολουθεί και να επιβεβαιώνει ότι όλα τα στάδια της ενίσχυσης του έργου εκτελούνται με ορθό τρόπο όπως περιγράφονται στις προδιαγραφές του έργου, στις συστάσεις του προμηθευτή των υλικών και τους ισχύοντες τεχνικούς κανονισμούς της χώρας.[7]

Ο Π.Ε.Σ.Υ πρέπει να εφαρμόζει αυστηρά σε όλη τη διάρκεια της εφαρμογής την παράδοση και αποθήκευση των υλικών του έργου καθώς και τις συνθήκες (καιρικές, καταλληλότητα υποστρώματος). Ακόμη οφείλει να λαμβάνει υπόψη την ταυτότητα των υλικών, πληροφορίες υγιεινής (τοξικότητα υλικών), στοιχεία που αφορούν στις μηχανικές

ιδιότητες των υλικών όπως επίσης και πληροφορίες που αφορούν στη μεταφορά και στην αποθήκευση των υλικών(χρόνος εργασιμότητας, αναλογίες ανάμειξης για τις ρητίνες). Εξίσου σημαντικός είναι και ο ποιοτικός έλεγχος των παραδιδόμενων στο έργο σύνθετων υλικών. Πιο συγκεκριμένα:[7]

- Πριν την εφαρμογή πρέπει να γίνονται δειγματοληπτικοί έλεγχοι(δοκιμές εφελκυσμού στη ρητίνη , δοκιμές συγκολλησιμότητας)
- Τα παραδιδόμενα υλικά είναι αυτά που προδιαγράφονται από τη μελέτη και παραδόθηκαν σε άριστη κατάσταση
- Να πραγματοποιείται επίβλεψη στο έργο από Διπλωματούχο Πολιτικό Μηχανικό με εμπειρία στα σύνθετα υλικά
- Να βεβαιώνεται ότι τα υλικά θα αποθηκευτούν σύμφωνα με τις συστάσεις του κατασκευαστή σε ορθή συσκευασία
- Να βεβαιώνεται ότι εργολάβος εφαρμογής είναι πιστοποιημένος από τον κατασκευαστή των υλικών

Επιπρόσθετα απαιτείται έλεγχος και καταγραφή των συνθηκών πριν την επικόλληση των λωρίδων σύνθετων υλικών. Πιο ειδικά, η εφελκυστική αντοχή του υποστρώματος(σκυροδέματος) από ενδεικτικές δοκιμές pull off έχει βρεθεί ότι δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 1,5MPa, οι "ανωμαλίες" στην επιφάνεια του υποστρώματος θα πρέπει να είναι εντός συγκεκριμένων ορίων ενώ η σχετική υγρασία και θερμοκρασία ατμόσφαιρας και σκυροδέματος θα καταγράφονται κάθε ημέρα εφαρμογής και θα υποδεικνύουν την εφαρμογή ή όχι των σύνθετων υλικών.

Ακολουθεί ο ποιοτικός έλεγχος κατά τη διάρκεια της εφαρμογής που περιλαμβάνει την εξακρίβωση της ορθής χρησιμοποίησης των υλικών(εφαρμογή στην ορθή κατεύθυνση με ευθυγραμμισμένες ίνες – απόκλιση ευθυγραμμίας μεγαλύτερη από 8cm/m πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη, την επιβεβαίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του υλικού και τον έλεγχο της ενδεδειγμένης εφελκυστικής αντοχής της διεπιφάνειας σύνθετου υλικού-σκυροδέματος.[7]

Απαραίτητος θεωρείται και ο έλεγχος της διεπιφάνειας που μπορεί να γίνει είτε με τη χρήση ελάχιστα καταστροφικών δοκιμών(PDT) είτε με τη χρήση μη καταστροφικών δοκιμών(NDT).Η χρήση μη καταστροφικών δοκιμών ενδείκνυται σε κρίσιμες περιοχές μελών στις οποίες δε θέλουμε καμία φθορά του σύνθετου υλικού. Οι δοκιμές αυτές βοηθούν στον προσδιορισμό των κενών(μέθοδος υπερήχων, μέθοδος υπέρυθρης φωτογράφησης, απλή ακουστική μέθοδος).Οι ελάχιστα καταστροφικές δοκιμές χρησιμοποιούνται κυρίως για τον προσδιορισμό της αντοχής της διεπιφάνειας.

Τέλος, συμπληρώνεται ένα φύλλο ελέγχου το οποίο περιέχει:[7]

- Ημερομηνία και ώρα εφαρμογής
- Ατμοσφαιρική θερμοκρασία, σχετική υγρασία και γενικές παρατηρήσεις για την ατμόσφαιρα
- Θερμοκρασία και σχετική υγρασία υποστρώματος
- Καταγραφή κωδικού παρτίδας και τοποθέτηση του έργου
- Προετοιμασία της επιφάνειας επικόλλησης συνθέτων υλικών
- Καθαρότητα επιφάνειας
- Καταγραφή αναλογιών ανάμειξης και χρόνων ανάμειξης
- Επιβεβαίωση των διαδικασιών εφαρμογής
- Ιδιότητες των σύνθετων υλικών, όπως προέκυψαν από τις δοκιμές των κουπονιών
- Αποτελέσματα από τις δοκιμές επί τόπου του έργου
- Θέση και μέγεθος των αποκολλήσεων και των κενών αέρα
- Γενική εξέλιξη του έργου

6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε ένας τρόπος συγκεκριμένης χρησιμοποίησης των σύνθετων υλικών στις κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος. Ειδικότερα προκρίθηκε ως λύση η ενίσχυση των υποστυλωμάτων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος και των κόμβων δοκού-στύλου με ινοπλισμένα πολυμερή. Το αποτέλεσμα αυτό προέκυψε από πειραματικές έρευνες και σύγκριση με πιο συνηθισμένες μεθόδους που δεν είναι μικτές. Παράλληλα γίνεται ξεκάθαρο ότι η τεχνολογία των σύνθετων υλικών θα πρέπει να εφαρμόζεται κατά περίπτωση και τηρώντας τις πολλές και ιδιαίτερα απαιτητικές προδιαγραφές που έχουν οριστεί μέσω των κανονισμών επεμβάσεων. Η έρευνα συνεχίζεται και πάντα υπάρχει η πιθανότητα να προκύψει κάτι πιο ενδιαφέρον.

Συνοψίζοντας, ο Πολιτικός Μηχανικός έχοντας καλή γνώση όλων των τεχνικών ενίσχυσης και λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες της κατασκευής θα κατορθώσει να επιλέξει την αποτελεσματικότερη από πλευράς ποιότητας και κόστους, καθώς η εξέλιξη των ενισχύσεων επιταχύνεται και οι επιλογές στις μεθόδους γίνονται όλο και περισσότερες.

7.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Tsonos, A.G. (2008), “Effectiveness of CFRP-jackets and RC-jackets in post-earthquake and Pre-earthquake retrofitting of beam-column sub assemblages”, *Engineering Structures*, 30, pp. 777-793
- [2] Tsonos, A.G. and Stylianides, K. (2002), “Seismic retrofit of beam-to-column joints with high strength fiber-jackets”, *Journal of European Association for Earthquake Engineering*, 2, pp . 56-72.
- [3]Κάρλος Κυριάκος “Ενίσχυση φέρουσας τοιχοποιίας για εντός επιπέδου φόρτιση με σύνθετα υλικά ανόργανης μήτρας και με ράβδους σύνθετων υλικών σε εγκοπές”, Διατριβή Διπλώματος Ειδίκευσης(2005)
- [4] Δρίτσος, Σ.Η. (2005), “Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα”, Πάτρα
- [5] Αθ.Τριανταφύλλου “Νέα γενιά δομικών υλικών για την ενίσχυση κατασκευών: Ινοπλέγματα σε ανόργανη Μήτρα”
- [6] “Ερευνητικό Πρόγραμμα στο Εργαστήριο Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος και Φέρουσας Τοιχοποιίας στο Α.Π.Θ, 2005”
- [7] “Ποιοτικός Έλεγχος ενίσχυσης κατασκευών με σύνθετα υλικά, Δ.ρ Κώστας Αντωνόπουλος Πολ.Μηχανικός” , “Ημερίδα με θέμα την ενίσχυση των κτιρίων με σύνθετα υλικά, ΤΕΕ, 6 Νοεμβρίου 2007”