

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ

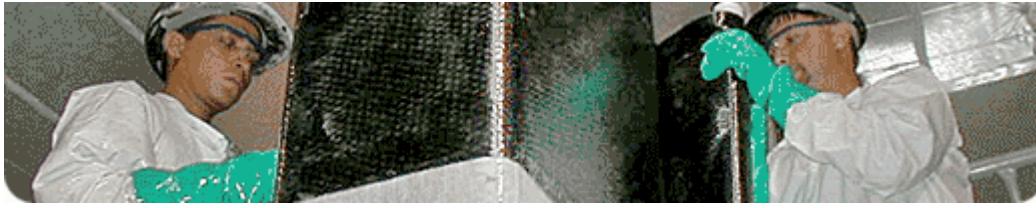
ΠΑΠΑΣΕΡΑΦΕΙΜ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή γίνεται μια σύντομη περιγραφή των σύνθετων υλικών από ινοπλισμένα πολυμερή, της σύστασής τους, των ειδών που υπάρχουν, καθώς και της χρήσης τους για την ενίσχυση και επισκευή των κατασκευών. Επισημαίνονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της εφαρμογής του, καθώς και τα γενικά τους χαρακτηριστικά και οι τρόποι αστοχίας τους. Στο τέλος της εργασίας παρατίθεται παράρτημα με φωτογραφικό υλικό με σύνθετα υλικά από ινοπλισμένα πολυμερή σε χρήση.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πρόοδος της τεχνολογίας καθώς και η ανάγκη για νέες τεχνικές που θα καλύπτουν τις ανάγκες για ασφαλείς κατασκευές έχουν οδηγήσει στη δημιουργία και εφαρμογή νέων τεχνικών που δίνουν λύση σε δυσκολίες που αντιμετωπίζει ένας πολιτικός μηχανικός. Μία από αυτές χρησιμοποιεί τα σύνθετα υλικά από ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ - Fiber Reinforced Polymer Composites – FRPC), τα οποία αποτελούνται από “υφάσματα” από ινώδη οπλισμένα πολυμερή, εμποτισμένα με εποξικές ρητίνες. Τα πρώτα σύνθετα υλικά χρονολογούνται από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα και είχαν ως συστατικά φυσικές ρητίνες και ίνες, όπως πίσσα και ίνες ξύλου. Η μαζική παραγωγή τους όμως ξεκινά στο τέλος της δεκαετίας του 1930 όπου αρχικά η χρήση τους περιορίζεται στην αεροναυπηγική, τη χημική βιομηχανία και τη ναυπηγική εξαιτίας του υπερβολικού τους κόστους και των περιορισμένων πειραματικών αποτελεσμάτων, ενώ τα σύγχρονα σύνθετα υλικά βρίσκουν εφαρμογή και σε υπόγειες δεξαμενές καυσίμων, έως ύφαλα πλοίων και πολεμικά αεροσκάφη. Γενικά η χρήση τους έχει εξαπλωθεί σε εφαρμογές που απαιτούν χαμηλό ίδιο βάρος, υψηλές τάσεις και μη διαβρωτικές δομικές ιδιότητες. Η επικόλληση στρώσεων ινοπλισμένων πολυμερών από ανθρακονήματα σε δομικά στοιχεία κατασκευών με σκοπό την επισκευή και ενίσχυσή τους, πρωτοεφαρμόστηκε στην Ελβετία το 1984, ενώ την τελευταία εικοσαετία βρίσκει πολλές εφαρμογές με επιτυχία σε χώρες με δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες ή με ιδιαίτερα υψηλή σεισμική επικινδυνότητα, όπως οι Η.Π.Α., ο Καναδάς, η Ιαπωνία, η Ελβετία, η Αυστραλία, κ.ά.. Στην Ελλάδα οι πρώτες εφαρμογές πραγματοποιούνται στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και εξαπλώνονται ιδιαίτερα μετά τον σεισμό της Πάρνηθας το 1999. Η ενίσχυση επιτυγχάνεται με χρήση μανδύων και ελασμάτων από σύνθετα υλικά, ή περιτύλιξη των μελών με ταινίες από σύνθετα υλικά (εικόνες 1,2). [2]



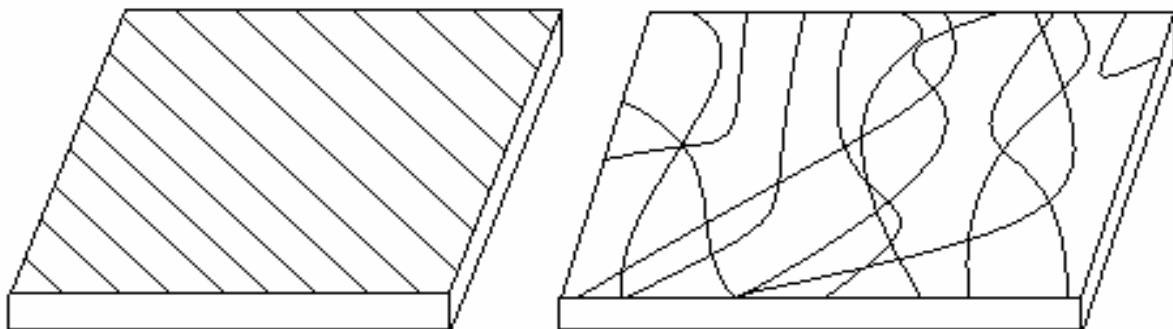
Εικόνα1: Ενίσχυση δομικού μέλους με ελάσματα από σύνθετα υλικά από ινοπλισμένα πολυμερή. [6]



Εικόνα 2: Ενίσχυση υποστυλωμάτων με περιτύλιξη με ινοπλισμένα πολυμερή από ανθρακονήματα. [7]

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ

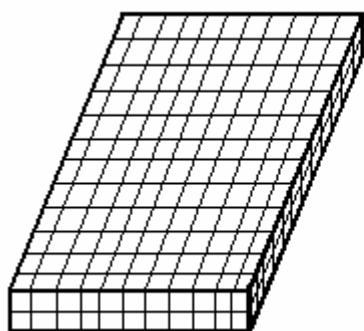
Τα σύνθετα υλικά ινών αποτελούνται από ίνες εμποτισμένες με ρητίνη ή μη. Ανάλογα με τον προσανατολισμό των ινών, διακρίνονται σε: *προσανατολισμένα (directional)*, με ίνες συνεχείς και ίδιας διεύθυνσης, και σε *μη προσανατολισμένα (random)*, με ίνες τυχαία τοποθετημένες στο συνδετικό υλικό (Εικόνα 3).



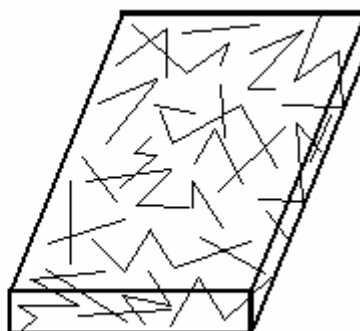
Εικόνα 1: (α) Προσανατολισμένο σύνθετο υλικό (β) Μη προσανατολισμένο σύνθετο υλικό [2]

Ανάλογα με τον τρόπο τοποθέτησης και τον συνδυασμό των ινών τα σύνθετα υλικά διακρίνονται σε:

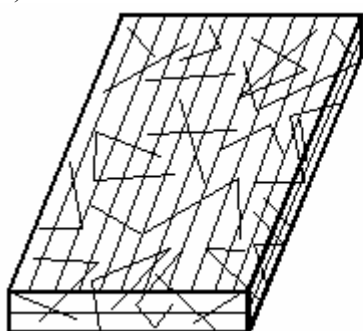
- Πλεκτών ινών (woven fiber), που αποτελούν συνεχές σώμα χωρίς επιμέρους στρώματα, οπότε δεν παρουσιάζουν πιθανότητες αποκόλλησης. Έχουν όμως μικρή αντοχή λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης τάσεων και του μεγάλου ποσοστού ρητίνης (Εικόνα 4 (α)).
- Ασυνεχών ινών (chopped fiber), τα οποία έχουν κοντές ίνες διάσπαρτες μέσα στο συνδετικό υλικό, και μηχανική αντοχή κατώτερη απ' αυτήν των συνεχών ινών (Εικόνα 4 (β)).
- Υβριδικά (hybrid), τα οποία αποτελούνται είτε από συνεχείς, ή από συνεχείς ίνες, ή από περισσότερους του ενός τύπους ινών. Χρησιμοποιούνται για να πετύχουν επιθυμητές ιδιότητες που το σύνθετο υλικό δεν διαθέτει (Εικόνα 4 (γ)).
- Συνεχών ινών (continuous fiber), που στρώματα συνεχών ινών - ρητίνης τοποθετούνται στην κατάλληλη διεύθυνση και συνδέονται αποτελώντας ένα σώμα, παρουσιάζοντας έτσι, μεγάλη αντοχή. Η αποκόλληση μεταξύ των στρωμάτων συνεχών ινών- ρητίνης είναι πιθανή (Εικόνα 4 (δ)). [2]



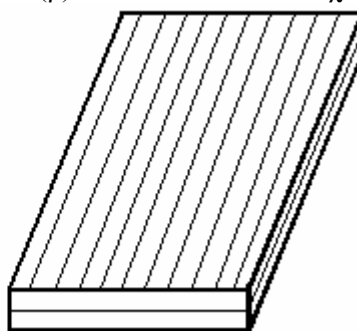
(α) Σύνθετο υλικό πλεκτών ινών.



(β) Σύνθετο υλικό ασυνεχών ινών.



(γ) Υβριδικό σύνθετο υλικό.



(δ) Σύνθετο υλικό συνεχών ινών.

Εικόνα 2: Τύποι σύνθετων υλικών ινών. [2]

Για την επισκευή και ενίσχυση κατασκευών χρησιμοποιούνται κυρίως προσανατολισμένα σύνθετα υλικά συνεχών ινών τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή. Ο προσανατολισμός των ινών όμως, δίνει στο σύνθετο υλικό ανισοτροπική συμπεριφορά, σε

αντιστοιχία με τη συμπεριφορά του οπλισμένου σκυροδέματος, δίνοντας τη δυνατότητα στους μελετητές να διευθετήσουν κατά τέτοιο τρόπο τις στρώσεις του υλικού ώστε να ενισχυθεί το μέλος στη διεύθυνση που αναπτύσσονται οι υψηλότερες τάσεις.

Υλικά ινών – οι τρεις κύριες κατηγορίες:

- Ίνες υάλου (υαλονήματα): παράγονται με μηχανικό τρόπο από ύαλο που τήκεται. Υπάρχουν 6 τύποι υαλονημάτων αλλά στην ενίσχυση των κατασκευών χρησιμοποιούνται ο ύαλος-E και ο ύαλος-S . Αν και ο ύαλος-S έχει μεγαλύτερη εφελκυστική αντοχή και μέτρο ελαστικότητας από τον ύαλο-E, χρησιμοποιείται λιγότερο λόγω του μεγαλύτερου κόστους του.[2]
- Ίνες άνθρακα (ανθρακονήματα): παράγονται είτε από θερμική επεξεργασία του πολυακρυλονιτριλίου, είτε μέσω απόσταξης κάρβουνου. Στην πρώτη περίπτωση έχουν μεγαλύτερη αντοχή και μέτρο ελαστικότητας απ’ ότι στην δεύτερη. Στην αγορά διατίθενται είτε σε ελάσματα εμποτισμένα με ρητίνη η οποία έχει σκληρυνθεί, είτε σε μορφή υφάσματος χωρίς ρητίνη. Το κόστος τους, παρότι είναι το υψηλότερο κόστος απ’ όλα τα είδη ινών, έχει μειωθεί τα τελευταία χρόνια. [5, 2]
- Ίνες πολυαραμίδης: η χρήση τους είναι περιορισμένη σε σχέση με τα υαλονήματα και τα ανθρακονήματα, ενώ τα σύνθετα υλικά από ίνες πολυαραμίδης βρίσκουν κυρίως εφαρμογή στη θωράκιση κατασκευών από κρουστικά φορτία. [2]

Συνήθως χρησιμοποιούνται συνεχείς ίνες μιας διεύθυνσης σε αναλογία 50-70% κατ’ όγκο. Οι μηχανικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών σε σχέση με τον χάλυβα διακρίνονται στον πίνακα 1.

		Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	Παραμόρφωση θραύσης σε ποσοστό %
Σύνθετα υλικά με ίνες από:	Γυαλί	50	3
	Αραμίδη	65-120	2-3
	Άνθρακα	135-190	1-1,5
	Χάλυβας	200	10

Πίνακας. 1: Μηχανικές ιδιότητες ινών και χάλυβα [3]

Η παραμόρφωση διαρροής του χάλυβα είναι περίπου 0,2%. Η εφελκυστική αντοχή που είναι της τάξης των 1700-2100 MPa σε βραχυχρόνια φόρτιση, μειώνεται στο 40%, 50%, και 85% της αρχικής τιμής για ίνες γυαλιού, αραμίδης και άνθρακα αντίστοιχα. [3]

ΜΗΤΡΕΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Ως μήτρες σύνθετων υλικών χρησιμοποιούνται συνήθως ρητίνες, οι οποίες αποτελούν τη συνδετική ύλη μεταξύ των ινών και ταυτόχρονα, συνεισφέρουν στην ανθεκτικότητα και στην ηλεκτρική μόνωση του σύνθετου υλικού. Τα σύνθετα υλικά από ΙΟΠ δεν θα μπορούσαν να υπάρξουν χωρίς ρητίνες, καθώς αυτές είναι που μεταφέρουν τα φορτία και κατανέμουν τις τάσεις στις ίνες κάθε στρώσης του πολυμερούς. Έτσι, επιτρέπουν στο ΙΟΠ να συμπεριφέρεται σχεδόν σαν ομογενές υλικό. Τα κυριότερα είδη ρητινών που

χρησιμοποιούνται στην επισκευή και ενίσχυση των κατασκευών, καθώς και οι μηχανικές τους ιδιότητες, παρουσιάζονται στον πίνακα 2. [2]

Είδος ρητίνης	Εφελκυστική αντοχή (MPa)	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	Επιμήκυνση θραύσης (%)	Πυκνότητα (gr/cm ³)
Εποξική	55-130	2-4,5	4-14	1,2-1,3
Πολυεστερική	35-104	2,1-4,1	<5	1,1-1,46
Βινυλεστερική	73-81	3-3,6	3,5-5,5	1,12-1,32

Πίνακας 2: Μηχανικές ιδιότητες ρητινών. [2]

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ – ΤΡΟΠΟΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Τα ελάσματα ΙΟΠ συνδέονται εξωτερικά στα δομικά μέλη με χρήση συγκολλητικών ουσιών (π.χ. εποξικής κόλλας,) αυξάνοντας τη φέρουσα ικανότητα του μέλους. Όπως σε κάθε εξωτερικά συνδεδεμένο σύστημα, ο δεσμός μεταξύ των σύνθετων υλικών και του ήδη υπάρχοντος σκυροδέματος είναι κρίσιμος, προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή συμπεριφορά του σύνθετου με το υπάρχον μέλος. Συνεπώς η κατάλληλη προετοιμασία της επιφάνειας του μέλους είναι μια απαραίτητη διαδικασία με στόχο την απομάκρυνση αδύναμων και ενανθρακωμένων στρώσεων ή σκόνης από την επιφάνεια του σκυροδέματος, καθώς και η εξομάλυνσή της, για να έχουμε μια επιτυχημένη συγκόλληση που θα ενισχύσει την κατασκευή. [1, 2]

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που εμφανίζουν τα ελάσματα ΙΟΠ στην εφαρμογή τους ως εξωτερικά επικολλούμενος οπλισμός στοιχείων σκυροδέματος είναι η πολύ υψηλή εφελκυστική αντοχή (όσο και των ισχυρότερων χαλύβων προέντασης), η αντοχή στη διάβρωση, η διάθεση σε πολύ μεγάλα μήκη και η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ακόμα και σε μέλη κατασκευής που έχουν δύσκολη πρόσβαση. Επιπροσθέτως, το χαμηλό κόστος εφαρμογής (ανάλογο των παραδοσιακών μεθόδων επισκευής και ενίσχυσης), το γεγονός ότι απαιτούν ελάχιστο ή και καθόλου βαρύ εξοπλισμό για την τοποθέτηση τους καθώς έχουν πολύ απλή εφαρμογή και το πολύ μικρό ίδιο βάρος που σε συνδυασμό με τη μεγάλη ευκαμψία καθιστά πολύ εύκολη τη μεταφορά και διευκολύνει την εφαρμογή. Ακόμα, οι διαστάσεις του ενισχυόμενου δομικού υλικού παραμένουν σχεδόν αμετάβλητες, λόγω του μικρού πάχους του σύνθετου υλικού και μπορούν επίσης, να επιχριστούν και να χρωματιστούν, διατηρώντας έτσι την αισθητική και την αρχιτεκτονική της υπάρχουσας κατασκευής (εικόνα 5β).. [4, 6, 7]

Μειονεκτήματα αποτελούν ο ψαθυρός χαρακτήρας της αστοχίας τους και οι υψηλές διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται στη διεπιφάνεια σκυροδέματος – συνδετικού μέσου στην περιοχή των αγκυρώσεών τους. Ο “δεσμός” σύνθετων υλικών -σκυροδέματος, μπορεί να αστοχήσει πρόωρα, δηλαδή πριν εξαντληθεί η καμπτική αντοχή του ενισχυμένου στοιχείου. Ειδικότερα, οι τρόποι αστοχίας λόγω έλλειψης συνάφειας, είναι είτε με διάδοση ρωγμών στη διεπιφάνεια μεταξύ σκυροδέματος και σύνθετου υλικού που μπορεί να οφείλονται σε ατέλειες του συνδετικού υλικού, σε ανάπτυξη κατακόρυφων ρωγμών λόγω κάμψης, σε τοπική αποκόλληση του σύνθετου φύλλου όταν η επιφάνεια του σκυροδέματος δεν είναι επίπεδη και σε καταπόνηση του μέλους λόγω κόπωσης. Ακόμα με αποκόλληση του

σύνθετου φύλλου λόγω του κατακόρυφου και οριζόντιου ανοίγματος ενδεχομένων διατμητικών ρωγμών ή με διατμητική αστοχία της στρώσης του σκυροδέματος μεταξύ του οπλισμού ενίσχυσης και του υπάρχοντος διαμήκους οπλισμού, κοντά στα άκρα του σύνθετου φύλλου. Τα παραπάνω προϋποθέτουν την λήψη κατάλληλων μέτρων για την αποφυγή της αποκόλλησης, όπως είναι να λαμβάνεται επαρκές μήκος αγκύρωσης (l_b) των εξωτερικών οπλισμών και να ικανοποιούνται οι κατασκευαστικές διατάξεις. Μάλιστα σε ορισμένες περιπτώσεις κρίνεται σκόπιμη η βελτίωση της αγκύρωσης με μηχανικούς τρόπους, όπως η εξωτερική περίσφιξη των άκρων των φύλλων μέσω κατακόρυφου εξωτερικού οπλισμού. [1, 3, 4]

Ο οπλισμός ενίσχυσης των σύνθετων υλικών στην κατάσταση οριακής φέρουσας ικανότητας, δεν διαρρέει όπως ο χάλυβας, αλλά έχει μεγάλη ελαστική παραμόρφωση. Η παραμόρφωση αυτή εξαρτάται κυρίως από την ικανότητα του σκυροδέματος να μεταφέρει μέσω διάτμησης τις εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στα σύνθετα υλικά και είναι, κατά κανόνα, μικρότερη από τη μέγιστη εφελκυστική παραμόρφωση (θραύσης) των σύνθετων υλικών. Τα ΙΟΠ εξαιτίας της μεγάλης ανθεκτικότητας στην ηλεκτροχημική διάβρωση και του υψηλού λόγου της αντοχής προς το βάρος τους, βρήκαν μεγάλη εφαρμογή στην επισκευή και ενίσχυση των κατασκευών, όπως στην όπλιση και προένταση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, τη σεισμική ενίσχυση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα αλλά και από άοπλη τοιχοποιία, την ενίσχυση κτιριακών κατασκευών και γεφυρών. Εφαρμόζονται σε δοκούς και σε πλάκες για να αυξήσουν την καμπτική τους ικανότητα και τη διατμητική τους αντοχή και σε υποστυλώματα για να αυξήσουν την ικανότητα μεταφοράς φορτίων και την ολκιμότητα τους για περιπτώσεις σεισμού. Ενίσχυση σε δομικά στοιχεία φαίνεται στις εικόνες 5,6, και 7 ενώ στην εικόνα 8 έχουμε ένα παράδειγμα επισκευής σε γέφυρα. [3, 6]



Εικόνα 5α: Εργάτες τοποθετούν δύο τμήματα περικαλύμματος ινοπλισμένου πολυμερούς από υαλονήματα σε ένα υποστύλωμα [8]



Εικόνα 5β: Στο ίδιο υποστήλωμα τοποθετείται γκρι χρωματισμός για να ταιριάζει με το σκυρόδεμα του υποστυλώματος. [8]



Εικόνα 6: Αυτή η όψη της γέφυρας (Chatham County bridge) είναι στα τελικά στάδια περικάλυψης με ινοπλισμένα πολυμερή και τα στάδια του βαψίματος. Η ολοκληρωμένη εργασία διακρίνεται από το ανοιχτό γκρι χρώμα. [8]



Εικόνα 7: Ενίσχυση δομικού μέλους με ελάσματα από σύνθετα υλικά από ινοπλισμένα πολυμερή. [9]



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 8(α, β, γ): Κατάστρωμα γέφυρας σε ανισόπεδη διάβαση. Ζημιά από όχημα με ύψος πέραν του επιτρεπόμενου και επισκευή με σύνθετα υλικά. [10]

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΑ ΕΛΑΣΜΑΤΑ

Η ενίσχυση ενός δομικού στοιχείου σκυροδέματος με επικόλληση ελασμάτων ΙΟΠ σε ρόλο εφελκόμενου οπλισμού έχει το μειονέκτημα ότι δεν μπορεί να αναιρέσει τυχόν λειτουργική αστοχία του δομικού στοιχείου (π.χ. ορατές ρωγμές λόγω ανεπάρκειας υπάρχοντος οπλισμού). Η προένταση των ελασμάτων λοιπόν, εισάγει θλιπτικές τάσεις στο σκυρόδεμα με αποτέλεσμα να υπάρχει η δυνατότητα να κλείσουν οι τυχούσες εμφανείς ρωγμές (σε συνδυασμό με μια ρητινένωση) δίνοντας λύση και σε προβλήματα λειτουργικής αστοχίας, εκτός από την ενίσχυση των κατασκευών. Επιπλέον, η αντιροπή που εμφανίζεται μέσω της προέντασης στο ενισχυόμενο δομικό στοιχείο μειώνει τις τάσεις που είχαν ο χάλυβας του υπάρχοντος οπλισμού και το σκυρόδεμα, Έτσι, έχουμε ουσιαστικά ανάληψη φορτίων που προϋπήρχαν της ενίσχυσης από τα προεντεταμένα ελάσματα. Σημαντικό είναι ότι με μια προμήκυνση του ελάσματος της τάσης του $\epsilon=0,4-0,6\%$, πετυχαίνουμε σχεδόν πλήρη εκμετάλλευση της εφελκυστικής αντοχής του υλικού, πετυχαίνοντας ταυτόχρονα οικονομικότερο σχεδιασμό μέσω της εξάντλησης της εφελκυστικής αντοχής του σύνθετου υλικού αλλά και βελτίωση της μηχανικής του συμπεριφοράς. Πρακτικά προβλήματα στην εφαρμογή της προέντασης είναι η εισαγωγή δύναμης προέντασης, και διατήρηση της προέντασης που αντιμετωπίζονται με κατάλληλες αγκυρώσεις του οπλισμού ενίσχυσης και με περίσφιξη των άκρων μέσω ινοπλισμένων λωρίδων από πολυμερή. [3, 4]

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρήση των ινοπλισμένων πολυμερών για την ενίσχυση και επισκευή των κατασκευών είναι μια σχετικά νέα μέθοδος που προσφέρει λύσεις οικονομικότερες και πιο αποτελεσματικές σε πολλά ζητήματα που απασχολούσαν τον πολιτικό μηχανικό, Παρότι η χρήση τους εξαπλώνεται όλο και περισσότερο, σαν καινούρια μέθοδος που είναι, έχει ακόμα πολλές πτυχές για εξέταση και πολλά πεδία για έρευνα και βελτίωση των δυνατοτήτων τους της ποιότητας εγκατάστασης τους καθώς και της μακροχρόνιας διάρκειας των επισκευών με FRP στην σύγχρονη αστική υποδομή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Σ. Η. Δρίτσος, “**Ενισχύσεις / Επισκευές Κατασκευών από Οπλισμένο σκυρόδεμα, Διαδικασίες – Τεχνικές και Διαστασιολόγηση**”. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών 2006
2. Κων. Σπυράκος, “**Ενίσχυση Κατασκευών για Σεισμικά Φορτία**”. Εκδόσεις Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Αθήνα 2004
3. Θ. Χ. Τριανταφύλλου., “**Ενισχύσεις Κατασκευών Σκυροδέματος με Ινοπλισμένα Πλαστικά Υλικά**”. 11^ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Τόμος III, Κέρκυρα, 18-20 Μαΐου 1994, Εκδόσεις TEE
4. Γ. Μπαλτζόπουλος, Ι. Τέγος. “**Ενίσχυση Κατασκευών Ο/Σ με Εξωτερικά Προεντεταμένα Ελάσματα Ινοπλισμένων Πολυμερών (FRP)**”. 14^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Βιβλίο Εισηγήσεων Τόμος Β. Κως, 15-17 Οκτωβρίου 2005, Εκδόσεις TEE
5. Γ. Ι. Μιτολίδης, Θ.Ν. Σαλονικιός, Α.Ι. Κάππος. “**Μηχανικά Χαρακτηριστικά Ανθρακοϋφασμάτων (CFRP) και Χαλυβδοϋφασμάτων (SRP) και Διερεύνηση της Εφαρμογής τους στην ενίσχυση Δοκών Οπλισμένου Σκυροδέματος**”. 15^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Βιβλίο Εισηγήσεων Τόμος Γ, 25-27 Οκτωβρίου 2006, Αλεξανδρούπολη. Εκδόσεις TEE
6. <http://www.structural.net/strengthening/frp.html>
7. http://www.leewens.com/carbon_fiber.htm
8. <http://www.tfhr.gov/pubrds/03nov/07.htm>
9. <http://www.truedellcorp.com/Pictoral%20of%20Services/External%20Reinforcement%20Carbon%20Fiber.htm>
10. http://www.hope.edu/academic/natsci/Physics%20Engrg_Nuggets/brown_%20nugget_files/slide0001.htm