

## ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΠΟ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ

ΝΙΚΟΛΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

### Περίληψη

*Η παρούσα εργασία έχει ως θέμα την παρουσία των σύνθετων υλικών, αλλιώς ινοπλισμένων πολυμερών (FRP), στον τομέα της ενίσχυσης στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα, με τελικό στόχο τη συνοπτική πληροφόρηση για αυτά τα νέα υλικά ενίσχυσης που είναι εξαιρετικά ενδιαφέροντα ως προς τις δυνατότητές τους. Γίνεται αναφορά στα χαρακτηριστικά των υλικών που αποτελούν τα στοιχεία των ΙΟΠ και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τη συμπεριφορά των σύνθετων υλικών κάτω από διάφορες συνθήκες. Επίσης δίνονται οι δυνατές εφαρμογές τους στα στοιχεία μιας κατασκευής και οι κατασκευαστικές αρχές-οδηγίες που πρέπει να ακολουθούνται, δίνοντας έμφαση σε εφαρμογές των υλικών με μορφή υφάσματος. Τέλος αναφέρονται οι συμπεριφορές ως προς την αστοχία των στοιχείων που έχουν ενισχυθεί με τα αντίστοιχα υλικά.*

### 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γεγονός πως οι προϋπάρχουσες μέθοδοι ενίσχυσης είναι χρονοβόρες, διακόπτουν τις καθημερινές δραστηριότητες που εκτελούνται στο κτήριο προς ενίσχυση και φυσικά αλλάζουν ορατά τις διαστάσεις των στοιχείων της κατασκευής. Αντίθετα σε όλα αυτά, παρουσιάζονται οι ενισχύσεις με σύνθετα υλικά, εύκολα στην εφαρμογή τους, με γρηγορότερες διαδικασίες και πιθανώς χωρίς διακοπή της καθημερινής δραστηριότητας του κτηρίου. Εξαιτίας αυτών των λόγων έχει δημιουργηθεί ένα κλίμα ενθουσιασμού γύρω από την χρήση τους, όμως κάθε περίπτωση μπορεί να είναι διαφορετική και για αυτό πρέπει να υπάρχει επαρκής ενημέρωση για τη σωστή χρήση τους και ποιες είναι οι περιπτώσεις όπου όντως είναι ευεργετική η παρουσία τους.

### 2.ΣΥΝΘΕΣΗ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Αποτελούνται από ίνες υψηλής εφελκυστικής αντοχής εμποτισμένες με θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη.

Η συνεισφορά της ρητίνης έγκειται στο ότι προσφέρει τη συνεκτικότητα μεταξύ των ινών στα σύνθετα υλικά. Οι τύποι που χρησιμοποιούνται είναι θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή και ιδιαίτερα εποξειδοτικές, πολυεστερικές, βυνιλεστερικές ή πολυεθυλενικές ρητίνες. Επίσης τα πολυμερή που χρησιμοποιούνται διατηρούν τα χαρακτηριστικά τους ως τη θερμοκρασία των 60 °C. Τέλος οι θετικές ιδιότητές τους που ευεργετούν και τη συμπεριφορά των ΙΟΠ είναι το χαμηλό βάρος, η εξαιρετική ανθεκτικότητα σε διάρκεια, η μικρή υδατοαπορροφητικότητα και η ευκολία στην απόδοση οποιουδήποτε σχήματος.

Οι ίνες αποτελούν το κύριο υλικό που προσφέρει την εξαιρετική αντοχή των FRP. Τα είδη που χρησιμοποιούνται είναι ίνες από αντιαλκαλικό γυαλί, αραμιδίο, βασάλτη και κυρίως άνθρακα. Η συνήθης διάμετρος τους κυμαίνεται από 5 έως 25χιλ. Συγκρινόμενες με τον χάλυβα, παρατηρούνται τα εξής: η εφελκυστική αντοχή τους μπορεί να είναι διπλάσια είτε και τετραπλάσια, μειονεκτούν όμως ως προς την δυνατή παραμόρφωση αστοχίας, το οποίο μας δημιουργεί προβλήματα λόγω της έλλειψης εμφανών προειδοποιητικών στοιχείων πριν την αστοχία, ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι ότι κατά μέσο όρο έχουν μεγαλύτερη αντοχή έναντι αποκόλλησης και απαιτούν μικρότερα μήκη αγκύρωσης. Επίσης συγκρίνοντας τους διαφορετικούς τύπους ινών μεταξύ τους παρατηρούνται τα εξής: οι ίνες αραμιδίου έχουν την καλύτερη συμπεριφορά έναντι κρουστικών φορτίων, ενώ σχετικά με τη μείωση της αντοχής λόγω ερπυσμού(η οποία κυμαίνεται από 40% έως και 95%) τη μικρότερη παρουσιάζουν οι ίνες από γυαλί και τη μεγαλύτερη αυτές του άνθρακα. Από άποψη κόστους, οι ίνες από γυαλί

θεωρούνται οι οικονομικότερες. Τέλος οι διαφορετικές συμπεριφορές μπορούν να συνοψιστούν ποιοτικά στον «πίνακα 1» που ακολουθεί.[1], [2], [5], [11], [16]

Χαρακτηριστικό	ΙΟΠ-Ανθρακας	ΙΟΠ-Αραμιδίου	ΙΟΠ-Γυαλιού
Ανθεκτικότητα σε διάρκεια	πολύ καλή	καλή	οριακή
Αντοχή σε κόπωση	πολύ καλή	καλή	οριακή
Ανθεκτικότητα σε αλκαλικό περιβάλλον	πολύ καλή	καλή	ακατάλληλο υλικό
Αντοχή σε κρούση	μικρή	πολύ καλή	καλή
Αντοχή σε φθορά λόγω τριβής	μέτρια	πολύ καλή	καλή
Γαλβανικό φαινόμενο	ναι	όχι	όχι
Αντοχή σε υπεριώδεις ακτινοβολίες	καλή	μικρή	καλή
Πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> ×10 <sup>3</sup> )	~ 1.80	~2.50	~1.50
Κόστος (συγκριτικά μεταξύ τους)	υψηλό	μέτριο	χαμηλό

**Πίνακας 1.** Ποιοτική αξιολόγηση ινοπλισμένων πολυμερών ανάλογα με τη σύσταση των ινών τους.[16]

### 3.ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ FRP

Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι το πολύ μικρό ίδιο βάρος, η εξαιρετικά υψηλή αντοχή, ενώ διατίθενται σε μεγάλα μήκη, δεν είναι ευαίσθητα στην διάβρωση, και απαιτούν απλούστατη τεχνική εφαρμογής σε συνδυασμό με τον ελάχιστο απαιτούμενο χρόνο. Επίσης είναι μαγνητικώς αδρανή και έχουν ικανοποιητική δυσκαμψία, ενώ ένα άλλο θετικό χαρακτηριστικό των εφαρμογών τους είναι ότι επιτυγχάνουν την βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του στοιχείου αλλάζοντας ελάχιστα τις γεωμετρικές διαστάσεις του.

Όλα τα παραπάνω αποτελούν τα προτερήματά τους, ενώ ως μειονεκτήματα αναφέρονται τα εξής: έχουν υψηλό κόστος που όμως μειώνεται με την αύξηση της ζήτησης άρα και της παραγωγής, έχουν ψαθυρού τύπου αστοχία, δεν έχουν δοκιμαστεί στο πέρασμα του χρόνου καθώς είναι καινούργια υλικά και για αυτό ακόμα διατηρούνται επιφυλάξεις ως προς τις δυνατότητές τους, έχουν χαμηλή αντίσταση σε υψηλές θερμοκρασίες, όπως και σε περίπτωση πυρκαγιάς, λόγω της ρητίνης η οποία μετά τους 60 °C αρχίζει να αλλοιώνεται και πάνω από τους 250 °C καίγεται. Σχετικά με τη συμπεριφορά τους στις περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως υπεριώδης ακτινοβολία, υγρασία, αυξομειώσεις θερμοκρασίας και δράση χημικών, αναφέρεται ότι οι αντιδράσεις ποικίλουν ανάλογα με τις ίνες που έχουν χρησιμοποιηθεί, παρ' όλα αυτά το γενικό συμπέρασμα είναι ότι οι πιο ανθεκτικές είναι αυτές του άνθρακα και οι πιο ευαίσθητες αυτές του γυαλιού. Επίσης ως αρνητική συμπεριφορά αναφέρεται και η μεγάλη συγκέντρωση διατμητικών τάσεων στην διεπιφάνεια του σκυροδέματος και του σύνθετου υλικού, ενώ συμμετέχουν στην ανάληψη φορτίων μόνο αυτών που θα εφαρμοστούν μετά την ενίσχυση, δηλαδή δεν συμβάλλουν ουσιαστικά στην ανάληψη της υπάρχουσας έντασης, όμως αυτό μπορεί να αναιρεθεί με κατάλληλη προένταση του σύνθετου υλικού.

Σχετικά με την αντοχή τους, παρατηρείται ότι παρουσιάζουν μικρότερη αντοχή σε πίεση κάθετη στη διεύθυνση των ινών, η οποία είναι της τάξεως του 30% της αντοχής στην διεύθυνση παράλληλα των ινών. [1], [5], [13]

### 4.ΔΙΑΤΙΘΕΜΕΝΕΣ ΜΟΡΦΕΣ FRP

Διατίθενται σε 1) ράβδους και τένοντες, 2) λωρίδες πλάτους μερικών εκατοστών και μήκους αρκετών μέτρων, 3) μορφή φύλλων μεγαλύτερου πλάτους από τις λωρίδες, 4) δισδιάστατα ή τρισδιάστατα πλέγματα, 5) γραμμικά μέλη, 6) επίπεδα στοιχεία επικάλυψης και τέλος 7) ως εύκαμπτες μεμβράνες. Όμως οι πιο διαδεδομένες είναι τα φύλλα και τα ινοϋφάσματα. [2]

### 5.ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Αρχικά απομακρύνεται η επιδερμική στρώση σκυροδέματος, πάχους 5χιλ, έτσι ώστε να αποκαλυφθούν τα αδρανή. Εξομαλύνονται οι υπάρχουσες γωνίες του στοιχείου, ώστε να αποκτήσουν καμπυλότητα 30χιλ. Καθαρίζεται η επιφάνεια, διαβρέχεται, στεγνώνεται, ώστε η

τελική υγρασία να μην ξεπερνά το 4%. Αν κριθεί αναγκαίο χρησιμοποιείται εποξειδοτική ρητίνη για την κάλυψη του πορώδους και των μικρορηγματώσεων. Επαλείφουμε με παχύρρευστο συγκολλητικό υλικό. Ακολουθεί λείανση μετά την σκλήρυνση του συγκολλητικού υλικού, ώστε οι όποιες ανωμαλίες να μην ξεπερνούν το 1χιλ. Εφαρμόζοντας ομοιόμορφη πίεση, τοποθετούμε το φύλλο του ινοπλισμένου πολυμερούς, με στόχο να μην εγκλωβιστεί αέρας στη διεπιφάνεια. Μετά από μισή έως και μία ώρα, αφού αφαιρέσουμε το προστατευτικό κάλυμμα, επαλείφουμε τις ίνες με δεύτερη στρώση της ίδιας ρητίνης. Η διαδικασία συνεχίζεται για περισσότερα φύλλα αν είναι αναγκαίο, προετοιμάζοντας πάντα με ρητίνη. Στο τελικό στάδιο, επαλείφουμε με τσιμεντοκονίαμα για προστασία από πυρκαγιά και διάφορες περιβαλλοντικές επιδράσεις. [13]

## **6.ΟΔΗΓΙΕΣ ΑΠΟ ΥΠΕΧΩΔΕ(ΠΕΤΕΠ, ΕΚΔΟΣΗ 2.0, ΜΑΪΟΣ 2008)**

Οι τεχνικές για τον καθαρισμό της επιφάνειας από ξένα υλικά είναι είτε με χρήση ηλεκτροσφύρας, ελαφράς αεροσφύρας, συρματόβουρτσας, υδροβολή, αμμοβολή, ψεκασμό με απολιπαντή, ψεκασμός με διάλυμα υδροχλωρικού οξέως και τέλος με σμυριδόχαρτο. Η κάθε μέθοδος έχει συγκεκριμένα πεδία εφαρμογής και περιπτώσεων και άρα χρειάζεται γνώση αυτών για την βέλτιστη επιλογή.

Κατά την προετοιμασία της επιφάνειας του σκυροδέματος επιδιώκεται η εκτράχυνση της επιφάνειας σκυροδέματος σε βάθος 0,2 έως 0,5 mm, η εκτράχυνση με εγκοπές σε βάθος 0,5 έως 5 mm και η απόξεση της επιφάνειας σκυροδέματος, με αφαίρεση της επιφανειακής στρώσης σε βάθος όσο απαιτείται για να εμφανιστούν τα χονδρόκοκκα αδρανή και να καταστεί τραχεία. Οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι είναι: με χρήση ηλεκτροπνευματικής ηλεκτροσφήρας, με χρήση διάφορων τύπων αεροσφύρας, με αμμοβολή, σμυριδόχαρτο και με υδροβολή. Και σε αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί συγκεκριμένη μέθοδος για συγκεκριμένες εργασίες.

Για την επικόλληση ελασμάτων και υφασμάτων, δίνονται σαφείς οδηγίες για τις προεργασίες, την εφαρμογή, τους μετέπειτα ελέγχους για την επιτυχία της μεθόδου αλλά και οπτικοί, μηχανικοί έλεγχοι και έλεγχοι πρόσφυσης που αφορούν τα χαρακτηριστικά του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί, οι οποίοι όμως είναι αδύνατον να αναφερθούν σε αυτή την έκθεση. [14]

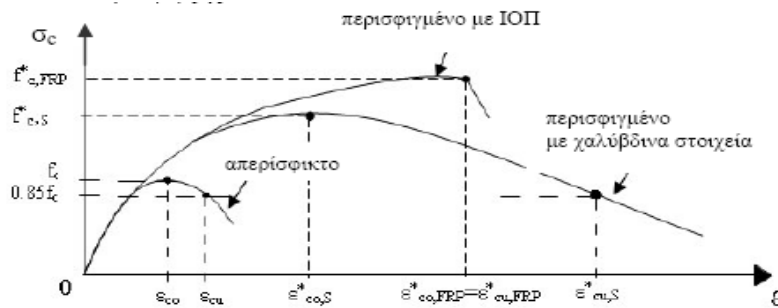
## **7.ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ**

Συνοψίζοντας τις κατασκευαστικές διατάξεις που έχουν διατυπωθεί μέχρι σήμερα στη βιβλιογραφία και τις συστάσεις του Σχεδίου 2 του Κανονισμού Επεμβάσεων, προτείνονται τα εξής: Α)Το πάχος των ελασμάτων ενίσχυσης είναι μικρό για να αποφεύγεται η πρόωρη αστοχία στη διεπιφάνεια επικόλλησης του ελάσματος. Να προτιμάται η χρήση ελασμάτων σε περισσότερες στρώσεις, αντί για ελάσματα μεγάλου πάχους. Β)Το πλήθος των στρώσεων να μην ξεπερνά το 3 για ελάσματα και το 5 για εύκαμπτα υφάσματα, εκτός αν διατίθενται σχετική τεκμηρίωση που επιτρέπει τη χρήση περισσότερων στρώσεων. Γ)Να αποφεύγονται οι ματίσεις του υλικού ενίσχυσης. Δ)Η απόσταση του υλικού ενίσχυσης από τις ακμές της διατομής σκυροδέματος να μην υπερβαίνει το πάχος της επικάλυψης της πλησιέστερης προς την ακμή παράλληλης ράβδου του υφιστάμενου οπλισμού. Ε)Στις περιπτώσεις χρήσης περισσότερων παράλληλων λωρίδων (συνήθως στην περίπτωση πλακών), η μεταξύ τους απόσταση δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5πλάσιο του πάχους του στοιχείου και του 0.20 I<sub>o</sub>, όπου I<sub>o</sub> είναι η απόσταση των σημείων μηδενισμού της ροπής κάμψης κατά μήκος του στοιχείου. ΣΤ)Η χρησιμοποιούμενη κόλλα σύνδεσης να έχει πλαστική συμπεριφορά. Έτσι επιτρέπεται καλύτερη κατανομή των τάσεων στην περιοχή αγκύρωσης. Ζ)Η αγκύρωση του οπλισμού ενίσχυσης στο μέσο ανοίγματος, το υλικό ενίσχυσης πρέπει να επεκτείνεται και να αγκυρώνεται κοντά στις στηρίξεις. Στην περίπτωση ενίσχυσης πρέπει να επεκτείνεται και αγκυρώνεται στις θλιβόμενες περιοχές σε μήκος της τάξεως του 1μ εντός αυτών. Πάντως, η

εφαρμογή της τεχνικής δεν συνίσταται σε στηρίξεις δοκών, όπου λόγω εναλλαγής του πρόσημου της ροπής, η υπό μόνιμα φορτία εφελκυστική ζώνη, μπορεί να γίνει και θλιβόμενη. Η) Να επιδιώκεται η βελτίωση της αγκύρωσης στα άκρα των ελασμάτων/υφασμάτων με χρήση εγκάρσιων λωρίδων ή άλλων αγκυριών ειδικού τύπου με τεκμηριωμένη αποτελεσματικότητα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν λωρίδες ινοπλισμένων πολυμερών τα οποία, εν είδει εξωτερικών ανοικτών συνδετήρων μορφής αντεστραμμένου Π που τα άκρα τους φθάνουν μέχρι τη θλιβόμενη ζώνη της διατομής, κατανέμουν τις τάσεις στην πλευρική επιφάνεια της δοκού. Η χρήση των παραπάνω στοιχείων για την εξασφάλιση των άκρων έναντι πρόωρης αποκόλλησης συνίσταται έντονα, ανεξάρτητα από το αποτέλεσμα των υπολογιστικών ελέγχων. [16]

## 8.ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Μία από τις πλέον ευεργετικές εφαρμογές στην ενίσχυση στοιχείων είναι η ενίσχυση υποστυλωμάτων με χρήση FRP με τη μέθοδο του μανδύα, η οποία εκμεταλλεύεται τη θετική επιρροή των φαινομένων που εξελίσσονται σε μία περισφιγμένη διατομή. Αυτό που προσφέρει η περίσφιξη είναι αύξηση της πλαστιμότητας του στοιχείου και της θλιπτικής αντοχής του.



Σχήμα 1. Καταστατικός νόμος σκυροδέματος περισφιγμένου με σύνθετα υλικά ή χαλύβδινα [16]

Η ενίσχυση των υποστυλωμάτων με εξωτερική περίσφιξη προσφέρεται στις παρακάτω περιπτώσεις : (α) όταν απαιτείται αύξηση της πλαστιμότητας του υποστυλώματος, (β) όταν απαιτείται αύξηση της διατμητικής αντοχής του υποστυλώματος, (γ) όταν μία αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μέχρι 30% το πολύ είναι επαρκής, (δ) όταν υπάρχει κίνδυνος αστοχίας της συνάφειας των κατακόρυφων οπλισμών του υποστυλώματος στην περιοχή υπερκάλυψής τους.

Η περίσφιξη με FRP έχει το πλεονέκτημα του μικρού πάχους σε σχέση με άλλες μεθόδους και έρχεται να συμπληρώσει την ελλιπή περίσφιξη που παρέχει ο υπάρχων διατμητικός οπλισμός, ο οποίος είτε έχει διαβρωθεί, είτε είναι ελάχιστος λόγω των παλιών κανονισμών σε σχέση με τους νέους που απαιτούν μεγαλύτερες ποσότητες συνδετήρων.

Επίσης δρα θετικά και σε περιπτώσεις χημικών αντιδράσεων σε στοιχεία του οπλισμένου σκυροδέματος παρατηρείται πλευρική διόγκωση, εξαιτίας της σταδιακής διάβρωσης του οπλισμού. Στο φαινόμενο αυτό βοηθάει επίσης η ύπαρξη περίσφιξης, καθώς η χρήση μανδύων από ινοπλισμένα πολυμερή σε υποστυλώματα με ανεπαρκή αντισπαστική αντοχή και διαβρωμένο οπλισμό, δεν αυξάνει την αντοχή, η οποία καθορίζεται από την καμπτική αντοχή στη βάση και επηρεάζεται από την απώλεια διατομής χάλυβα, αλλά αυξάνει σημαντικά την ικανότητα παραμόρφωσης σε τιμές οι οποίες δεν επιτυγχάνονται εύκολα μέσω περίσφιξης με τη χρήση συμβατικών μανδύων. Η βελτίωση αυτή οφείλεται στην αύξηση της παραμορφωσιμότητας του θλιβόμενου σκυροδέματος και της παρεμπόδισης του λυγισμού των διαμήκων ράβδων οπλισμού από τον μανδύα σύνθετου υλικού όπως επίσης και στον περιορισμό της επίδρασης της διάτμησης στην ικανότητα παραμόρφωσης. Ενώ παράλληλα παίζουν το ρόλο μόνωσης, αφού είναι χημικά αδρανή στις συνθήκες χημικές

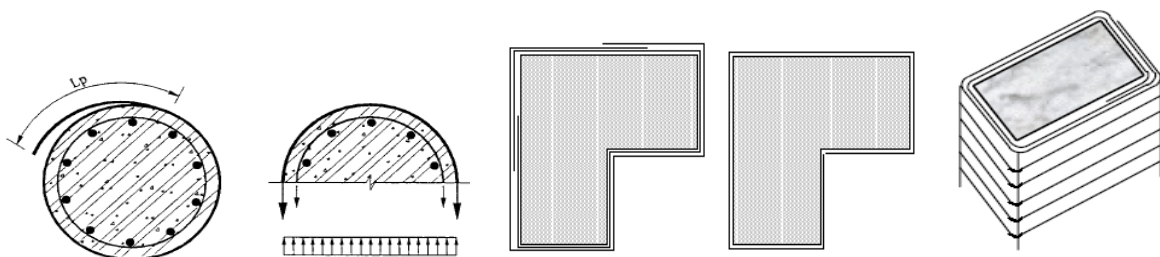
διαδικασίες αλλά εμποδίζουν και την απορρόφηση εξωτερικών ουσιών και στοιχείων, όπως το οξυγόνο, το οποίο δρα ως καταλύτης στις περισσότερες αντιδράσεις.

Επειδή όμως η διάβρωση, η διόγκωση και ακολούθως η ρηγμάτωση μπορούν να συνεχίσουν και μετά τη διαδικασία της ενίσχυσης προτείνεται η χρήση υλικών με μεγάλο δείκτη παραμορφωσιμότητας και μικρό ερπυστικό συντελεστή, ώστε να αντισταθμιστεί και η περεταίρω διόγκωση. Μετά από μελέτες παρατηρήθηκε ότι ο μεγάλος κορεσμός σε νερό σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε στην διαδικασία υπονομεύει την καθυστέρηση της περαιτέρω διάβρωσης, καθώς αυξάνει την αγωγιμότητα. Για αυτό προτείνεται να στεγνώνει το στοιχείο πριν τον εγκιβωτισμό. Επίσης από ειδικούς ερευνητές βρέθηκε ότι περισσότερη πλαστιμότητα προσδίδουν οι ίνες από γυαλί και όχι οι πιο ισχυρές, που είναι αυτές του άνθρακα.

Όμως έχει παρατηρηθεί ότι η βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του σκυροδέματος εξαρτάται από τον λόγο των πλευρών της διατομής και μειώνεται καθώς αυτός ο λόγος αυξάνεται, γιατί με την αύξηση αυτή, μειώνεται η αποδοτικότητα της περισφίξεως εντός της διατομής με αποτέλεσμα την μείωση της ενεργού περισφίξεως για σταθερή τιμή του ογκομετρικού μηχανικού ποσοστού περισφίξεως.

Για να επιτύχουμε την περίσφιξη των υποστυλωμάτων εφαρμόζουμε την μέθοδο του μανδύα από σύνθετα υλικά. Είναι η πιο εύχρηστη τεχνική για περίσφιξη. Βασίζεται στην λογική της παρεμπόδισης της εγκάρσιας παραμόρφωσης, εφαρμόζοντας αναλογική της παραμόρφωσης τάση περίσφιξης. Οι ίνες του υλικού κατά την εφαρμογή πρέπει να είναι οριζόντιες, για να έχουμε εγκιβωτισμό του στοιχείου και αύξηση της διατμητικής του αντοχής. Για αυτούς τους στόχους επίσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και μεμονωμένα κολλάρα, η οποία όμως τεχνική αν και έχει οικονομία υλικού, έχει και αύξηση του κόστους λόγω εργατικών. Αν επιδιώκουμε όμως και την αύξηση της καμπτικής αντοχής, τότε πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ταυτόχρονα και φύλλα με τις ίνες τους κατακόρυφες και επίσης να ενισχύσουμε και τους κόμβους που συνδέονται τα άκρα του υποστυλώματος. Ειδικά για τα κυκλικά υποστυλώματα η μέθοδος είναι ακόμα πιο απλουστευμένη καθώς δε χρειάζεται η εξομάλυνση των γωνιών ώστε να αποκτήσουν καμπυλότητα τουλάχιστον 30χιλ, που χρειάζεται στα ορθογωνικά. Η επίδραση των μανδύων σύνθετων υλικών αναμένεται ότι είναι πιο σημαντική στην ισχυρή διεύθυνση των υποστυλωμάτων επειδή η (μικρότερου πλάτους) θλιβόμενη ζώνη περισφίγγεται αποτελεσματικότερα από τον μανδύα σύνθετων υλικών, αυξάνοντας έτσι την ικανότητα παραμόρφωσης της θλιβόμενης ζώνης, ενώ η αποδοτικότητα περίσφιξης του σύνθετου υλικού σε πλατύτερη θλιβόμενη ζώνη είναι σίγουρα μικρότερη. τα υποστυλώματα τα οποία ενισχύθηκαν με μανδύες σύνθετου υλικού χάνουν πρακτικά όλη την ικανότητα αξονικής φόρτισης όταν αστοχήσουν ψαθυρά με θραύση του μανδύα σύνθετων υλικών.

Η εφαρμογή σε διάφορες διατομές φαίνεται στα παρακάτω σχήματα.



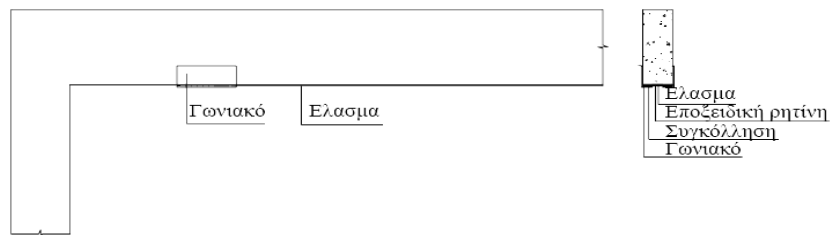
Σχήμα 2. Ενίσχυση με ΙΟΠ διατομών κυκλικών, Γ και ορθογωνικών.[3], [5], [13]

Μετά από έρευνες επιστημονικών ομάδων, που εξέτασαν τη συμπεριφορά σε στρέψη ενός υποστυλώματος ενισχυμένου με FRP, παρατηρήθηκε ότι εκτός από την γνωστή αύξηση

της θλιπτικής αντοχής και τη μετατροπή του τρόπου αστοχίας σε καμπτικό, η οποία γίνεται και με το ελάχιστο ποσοστό περίσφιξης, η εφαρμογή των ΙΩΠ στα υποστυλώματα δεν προκαλεί ουσιώδη μεταβολή της στροφής διαρροής, ενώ-αντιθέτως-αυξάνει σημαντικά την στροφή που αντιστοιχεί στην μέγιστη αντίσταση του υποστυλώματος. Επομένως, η ενίσχυση μέσω ΙΩΠ οδηγεί σε σημαντική αύξηση της πλαστιμότητας των υποστυλωμάτων. Φαίνεται, μάλιστα, ότι η αύξηση της πλαστιμότητας εξαρτάται από το ποσοστό περισφίξεως, εν αντιθέσει προς την αύξηση της φέρουσας ικανότητας. Επιπλέον οι ίδιες έρευνες επισήμαναν την επιρροή του σχήματος της διατομής στην επιτυγχανόμενη πλαστιμότητα των ενισχυμένων υποστυλωμάτων. Διακρίνονται τρεις ομάδες σημείων (για υποστυλώματα κυκλικής, τετραγωνικής και ορθογωνικής διατομής). Παρατηρείται ότι (i) τα ποσοστά περισφίξεως που επιτυγχάνονται για τα κυκλικής διατομής υποστυλώματα είναι μεγαλύτερα απ. ό,τι για τα πρισματικά δοκίμια, (ii) η επιρροή της περισφίξεως στο μέγεθος της πλαστιμότητας είναι σημαντική για τα δοκίμια κυκλικής διατομής και για τα δοκίμια τετραγωνικής διατομής, ενώ αντιθέτως-για τα υποστυλώματα ορθογωνικής διατομής (και, μάλιστα, με λόγο πλευρών που δεν υπερέβαινε το 2,0) δεν φαίνεται να σημειώνεται αύξηση της πλαστιμότητας, αυξανόμενου του ποσοστού περισφίξεως, (iii) εν γένει εμφανίζονται και υψηλές τιμές πλαστιμότητας στροφών. Πάντως, τα αποτελέσματα παρουσιάζουν σημαντική διασπορά, για αυτόν τον λόγο επιβάλλεται να λαμβάνεται υπ. όψη κατά τον σχεδιασμό των σχετικών επεμβάσεων μία επαρκώς χαμηλή τιμή του δείκτη πλαστιμότητας. [1], [4], [7], [12], [13], [15], [16]

### 9.ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΔΟΚΟΥΣ

Στις ενισχύσεις των δοκών στοχεύουμε εκτός από την καμπτική ενίσχυση και στην αύξηση της διατμητικής αντοχής του στοιχείου. Οι τρόποι εφαρμογής διακρίνονται ανάλογα με το στόχο της ενίσχυσης. Επίσης οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της μεθόδου είναι: (α) το ποσοστό και το όριο διαρροής του εσωτερικού διαμήκου οπλισμού, (β) το ποσοστό των εσωτερικών συνδετήρων, (γ) η θλιπτική και η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος, (δ) το μήκος αγκυρώσεως του ΙΩΠ, (ε) η γεωμετρία της διατομής της δοκού, καθώς και ο λόγος διατμήσεως, (στ) και τέλος η προετοιμασία της επιφάνειας στην οποία τοποθετείται το υλικό ενισχύσεως.



Σχήμα.3 Καμπτική ενίσχυση δοκού με φύλλα ΙΩΠ και σε συνδυασμό με γωνιακά ελάσματα για σωστή αγκύρωση.[15]

Η καμπτική ενίσχυση επιτυγχάνεται είτε με εξωτερικά επικολλούμενα ελάσματα, είτε με ένθετα ελάσματα σε επιφανειακές εγκοπές. Για την εξωτερική επικόλληση των λωρίδων ΙΩΠ απαιτείται εκτράχυνση της εφελκυστικής παρειάς. Το συγκολλητικό υλικό είναι είτε τσιμεντοκονίαμα είτε εποξειδική κόλλα. Οι κυριότερες εφαρμογές στοχεύουν σε ενίσχυση ανεπαρκών υφιστάμενων φερόντων οργανισμών, είτε λόγω κακού αρχικού σχεδιασμού, είτε λόγω φθοράς από περιβαλλοντικούς παράγοντες του αρχικού οπλισμού (διάβρωση), είτε λόγω αυξημένων φορτίων σχεδιασμού που επιβάλλονται από αλλαγή χρήσης της κατασκευής. Έτσι τα φύλλα από FRP τοποθετούνται στο εφελκυσμένο πέλμα των δοκών ως εξωτερικός οπλισμός. Παράλληλα επιτυγχάνεται και καμπτική ακαμψία, μείωση παραμορφώσεων και της αναμενόμενης ρηγματώσεως. Για την αποφυγή πρόωρων αστοχιών,

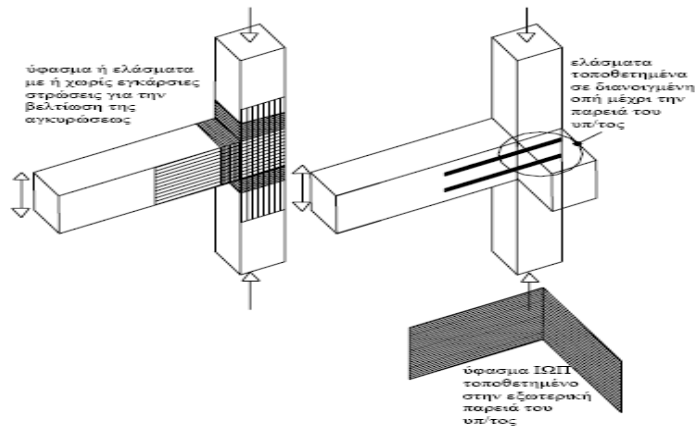
οι σχετικοί κανονισμοί απαιτούν την λήψη συνδυασμένων μέτρων, δηλαδή: (1) επέκταση του ελάσματος όσο το δυνατό πιο κοντά στις θέσεις μηδενισμού των ροπών του στοιχείου (για εξουδετέρωση της καμπυλότητας και των συνακόλουθων ορθών τάσεων που οδηγούν σε αποκόλληση), (2) μηχανική αγκύρωση στο πέρασ του ελάσματος με εγκάρσιους μανδύες ΙΟΠ ή βλήτρα με το μειονέκτημα ότι συνεχίζει να υφίσταται ο κίνδυνος της έναρξης αποκόλλησης από ενδιάμεσες καμπτικές ρωγμές στο άνοιγμα. Λόγω της διαφορετικότητας του παλιού και νέου υλικού τα χαρακτηριστικά του αλλοιώνονται εν μέρει. Έτσι η πλαστιμότητα του στοιχείου μειώνεται σημαντικά, γεγονός που υποδεικνύει την αναγκαιότητα ελέγχων και για την επάρκεια του νέου μέλους για ανάληψη των σεισμικών φορτίων. Επίσης πρέπει να έχουμε υπόψη ότι το νέο υλικό έχει μικρότερη δυνατότητα παραμόρφωσης πριν την αστοχία (για τους υπολογισμούς λαμβάνεται 6%) σε αντίθεση με το χάλυβα και ότι υπάρχει πάντα η πιθανότητα θραύσης του οπλισμού και να αποσυνδεθούν τα δύο υλικά πριν καταφέρει το ενισχυμένο στοιχείο να φθάσει τα υπολογισμένα όρια καμπτικής αντοχής του. Ενώ πρέπει ταυτόχρονα να έχουμε εξασφαλίσει ότι το αρχικό στοιχείο χωρίς την ενίσχυση είναι ικανό να φέρει τα μόνιμα φορτία.

Η εκδοχή των ένθετων ελασμάτων σε επιφανειακές εγοπές έχει εξελιχθεί την τελευταία δεκαετία ως εναλλακτική της προηγούμενης επειδή τα φαινόμενα αποκόλλησης ελέγχονται καλύτερα ή και αποσοβούνται. Η τεχνική αυτή προϋποθέτει την διάνοιξη των εγκοπών στην εφελκόμενη παρειά των προς ενίσχυση στοιχείων με τη βοήθεια ειδικού εξοπλισμού. Το βάθος της εγκοπής που απαιτείται εξαρτάται από τη διάσταση του οπλισμού που προστίθεται (βάθος το πολύ μέχρι 50 mm για δύσκαμπτα ελάσματα, και μέχρι 25 mm για ράβδους ΙΟΠ) και πάντως σε βάθος που δεν διακόπτει τον υφιστάμενο οπλισμό του στοιχείου. Η εσωτερική επιφάνεια της εγκοπής είναι τραχιά από τη διαδικασία διάνοιξής της. Αρχικά τοποθετείται μία στρώση μικρού πάχους του συγκολλητικού υλικού, πιέζεται το έλασμα κατά μήκος της εγκοπής και τέλος συμπληρώνεται το εναπομένον πάχος της εγκοπής με συγκολλητικό υλικό. Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι ο οπλισμός ενίσχυσης ενσωματώνεται στο σώμα του στοιχείου, σε αντίθεση με την προηγούμενη τεχνική στην οποία παράμενε ως εξωτερικός οπλισμός, με αποτέλεσμα να αποφεύγονται μορφές αστοχίας που αφορούν σε αποφλοιώση του οπλισμού από το σκυρόδεμα όπως αποκόλληση του ελάσματος στα σημεία απότμησης ή αποκόλληση του ελάσματος σε θέσεις ενδιάμεσων ρωγμών. Άλλα πλεονεκτήματα αφορούν σε βελτιωμένη πυροπροστασία του σύνθετου οπλισμού, καθώς και προστασία από υπεριώδη ακτινοβολία και το ενδεχόμενο βανδαλισμών. Επίσης αποδείχτηκε ιδιαίτερα αποτελεσματική βελτιώνοντας τον μηχανισμό συνάφειας σκυροδέματος-ρητίνης-ελάσματος, αυξάνοντας σημαντικά την καμπτική αντοχή των δοκών. Ειδικότερα, η διάταξη ενίσχυσης όπου το πάχος του ελάσματος τοποθετήθηκε στην κατεύθυνση του πλάτους της διατομής της δοκού αποδείχθηκε η βέλτιστη όλων, εφόσον όμως έχει εξασφαλιστεί η αποφυγή της διατμητικής αστοχίας στον κορμό του δομικού στοιχείου λόγω της αυξημένης καμπτικής ικανότητας. Ενώ, σημαντική καμπτική ενίσχυση παρατηρήθηκε και κατά την αύξηση του βάθους της εγκοπής όταν το έλασμα τοποθετήθηκε με το πάχος του στην κατεύθυνση του ύψους της διατομής της δοκού.

Η διατμητική ενίσχυση επιτυγχάνεται με αντίστοιχο τρόπο και με τις ίδιες προϋποθέσεις. Συγκεκριμένα επικολλούνται φύλλα FRP είτε στις δύο απέναντι παρειές, είτε ως ανοιχτός μανδύας, με τις ίνες κάθετες στο διαμήκη άξονα της δοκού ή υπό κάποια γωνία, συγκεκριμένα των 45 °C, με στόχο να είναι οι ίνες κάθετες στις διευθύνσεις των ρωγμών, όμως μετά από εξειδικευμένες έρευνες παρατηρήθηκε ότι η καλύτερη διάταξη για την ανάληψη των διατμητικών δυνάμεων είναι η τοποθέτηση ενός πλέγματος ινών, κάθετων και οριζόντιων προς τον διαμήκη άξονα. [1], [9], [12], [15], [16]

## 10.ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΚΟΜΒΟΥΣ ΔΟΚΩΝ-ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

Οι κόμβοι είναι ιδιαίτερα κρίσιμοι γιατί: η διατμητική ένταση είναι ιδιαίτερα υψηλή, δεν γίνεται εξειδικευμένος σχεδιασμός, λόγω της πυκνότητας των οπλισμών είναι κακώς σκυροδετημένοι και τέλος λόγω της καίριας θέσης τους είναι σημαντικοί για τον φορέα.



Σχήμα.4 Εφαρμογές ενίσχυσης σε κόμβους με οπλισμό από ΙΟΠ. [12]

Η τεχνική ενίσχυσης με μανδύες FRP είναι ιδιαίτερα ευεργετική για τους κόμβους και εξαιτίας της δύσκολης γεωμετρίας του κόμβου η εύκολη εφαρμογή των FRP μας διευκολύνει ακόμα περισσότερο. Τα φύλλα επικολλούνται με εποξειδική ρητίνη και επίσης επικολλούνται και στα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς. Η τοποθέτησή τους γίνεται με τις αντίστοιχες φορές των ινών για τα υποστυλώματα και τις δοκούς, συνδυάζοντας έτσι τις δύο περιπτώσεις, ενώ απαραίτητη θεωρείται και η αγκύρωση, συνήθως με μεταλλικά βλήτρα. Όμως λόγω της ύπαρξης των πλακών και εγκάρσιων δοκών, ακόμα και αυτή η εύκολη στην εφαρμογή τεχνική αμφισβητείται για την αποτελεσματικότητά της. [1], [8]

## 11.ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

Τυπικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τεχνική της περίσφιξης και στα τοιχώματα, όμως λόγω του μεγάλου λόγου πλευρών τους δεν θα είναι το ίδιο αποδοτική και έτσι είναι καλύτερο να προτιμώνται άλλες μέθοδοι. Πέρα από αυτό τα φύλλα από ινοπλισμένα πολυμερή πλεονεκτούν ως προς την ευκολία εφαρμογής και την ικανότητα ανάληψης και διατμητικών και καμπτικών εντάσεων. [1]

## 12.ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΑ ΕΛΑΣΜΑΤΑ FRP

Εάν τώρα υποθέσουμε ότι το έλασμα FRP που χρησιμοποιούμε απέκτησε μία αρχική μήκυνση μέσω προέντασης πριν την εφαρμογή του, γίνεται προφανές ότι μέσω της μεταφοράς θλιπτικής δύναμης στο σκυρόδεμα υπάρχει δυνατότητα να κλείσουν οι τυχούσες εμφανείς ρωγμές (συνοδεύοντας την επέμβαση με κάποια ένεση ρητίνης στις ρωγμές), δίνοντας λύση και στο πρόβλημα μιας λειτουργικής αστοχίας, πέραν της ενίσχυσης της φέρουσας ικανότητας. Επιπλέον, η αντιροπή που εφαρμόζεται μέσω της προέντασης στο υπό ενίσχυση δομικό στοιχείο, ανακουφίζει εν μέρει τις τάσεις που είχαν πριν την επέμβαση ο χάλυβας και το σκυρόδεμα, μειώνοντας παράλληλα και τις παραμορφώσεις. Έτσι έχουμε στην ουσία συμμετοχή του προεντεταμένου ελασματος FRP στην ανάληψη και των φορτίων που προϋπήρχαν της επέμβασης. Το σημαντικότερο όμως πλεονέκτημα που έχει να προσφέρει η προένταση των ελασμάτων FRP είναι ότι μόνο μέσω ενός βαθμού προέντασης μπορούμε να πετύχουμε την πλήρη εκμετάλλευση της σημαντικής εφελκυστικής αντοχής αυτών των σύνθετων υλικών. Τέλος θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι η μέθοδος της προέντασης των FRP έρχεται να διευρύνει το πεδίο εφαρμογών τους, αφού μπορούν πλέον να χρησιμοποιηθούν και όπου απαιτείται και λειτουργική αποκατάσταση εκτός από αναβάθμιση της φέρουσας ικανότητας. Ως εκ τούτου, αναμένεται στο άμεσο μέλλον να



αποτελέσει μέθοδο πρώτης γραμμής για την αποκατάσταση και την ενίσχυση στοιχείων από σκυρόδεμα. [6]

### 13. ΠΙΘΑΝΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΜΕΛΩΝ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΩΝ ΜΕ ΙΟΠ

Χωρίς να κάνουμε εξειδικευμένη αναφορά σε συγκεκριμένα μέλη, μπορούμε να αναφέρουμε ότι οι πιθανοί τρόποι είναι: 1] Θραύση στη θλιβόμενη ζώνη, 2] αστοχία της διεπιφάνειας, 3] τοπική αστοχία του κορμού σε διαγώνιο εφελκυσμό, 4] αποκόλληση στο άκρο αγκύρωσης του FRP, 5] αστοχία του σύνθετου υλικού και 6] αστοχία από υπερβολικό βέλος κάμψης. Οι δύο πρώτες μορφές μπορούν να αποφευχθούν αρκεί να έχει εξασφαλιστεί ένα διάστημα πλαστικής συμπεριφοράς. Οι 3, 4 και 5 θεωρούνται ανεπιθύμητες λόγω του ψαθυρού τρόπου αστοχίας τους. Η τελευταία μορφή είναι αποδεκτή αρκεί να έχουν καλυφθεί οι απαιτήσεις για την κατάσταση λειτουργικότητας. Όμως επειδή ο σύνθετος οπλισμός δεν διαρρέει μπορούμε να προσθέσουμε ότι για τις εξωτερικές ενισχύσεις, μη επιθυμητοί τρόποι αστοχίας είναι 1) θραύση του σκυροδέματος στην θλιβόμενη ζώνη, 2) διατμητική αστοχία του κορμού του στοιχείου και 3) θραύση του FRP από λειτουργία βλήτρου.

Περίπτωση ορθογωνικής διατομής: Η ενίσχυση με συνεχή ινοπλισμένα φύλλα που επικολλήθηκαν περιμετρικά της διατομής υπό τη μορφή ολόσωμου κλειστού μανδύα αυξάνει σε υψηλό ποσοστό την αντοχή ρηγμάτωσης και τη μέγιστη αντοχή σε στρέψη και βελτιώνει σημαντικά τη συνολική στρεπτική συμπεριφορά προσδίδοντας στη δοκό σημαντική πλαστιμότητα. Η αστοχία της δοκού χαρακτηρίζεται από την παρεμπόδιση της ρηγμάτωσης του σκυροδέματος σε ικανοποιητικό βαθμό και τελικώς, τη θραύση των ινών του ανθρακοϋφάσματος σε υψηλά επίπεδα έντασης στην περιοχή των γωνιών.

Περίπτωση διατομής Γ: παρατηρείται αποκόλληση της ενίσχυσης στην εισέχουσα γωνία από το σκυρόδεμα και ακολουθεί η αστοχία του σκυροδέματος.

Περίπτωση κόμβων: η αστοχία του ενισχυμένου στοιχείου μεταφέρεται στις ακάλυπτες διατομές των συνδεόμενων δοκών και εκφράζεται με δημιουργία πλαστικής άρθρωσης.

Περίπτωση πλακοδοκών: πλακοδοκοί ενισχυμένες με τύπο ανοιχτού μανδύα αστοχούν λόγω αποκόλλησης του σύνθετου οπλισμού, με συνέπεια την μειωμένη αύξηση της στρεπτικής αντοχής σε σχέση με τις ορθογωνικές δοκούς.

Για την αποφυγή της αποκόλλησης του οπλισμού ανεξαρτήτως του στοιχείου συνίσταται πάντα η εφαρμογή κατάλληλης αγκύρωσης, η οποία τελικά αποτελεί και την πιο κρίσιμη παράμετρο της επιτυχίας της ενίσχυσης, καθώς η αποκόλληση του σύνθετου οπλισμού από το σκυρόδεμα, η οποία είναι περισσότερο πιθανή όσο αυξάνεται η ατένεια των ΙΩΠ, εξαρτάται κατά πολύ και από την προετοιμασία της επιφάνειας του στοιχείου. Συνεπεία αυτού, το μέγεθος της επιβαλλομένης δράσεως (φορτίου ή μετακινήσεως) για την οποία συμβαίνει η αστοχία αποκολλησεως, είναι δυσχερέστερο να προβλεφθεί απ' ότι για άλλους τρόπους αστοχίας. Επί πλέον, η αποκόλληση, αφήνοντας το στοιχείο πρακτικώς χωρίς ενίσχυση, συνεπάγεται σημαντική μείωση της αντιστάσεώς του. [5], [10], [11], [13]

### 14. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα Ινοπλισμένα Πολυμερή αποτελούν την νεότερη μορφή ενίσχυσης στον τομέα των κατασκευών, αυτό συνεπάγεται ότι περιμένουμε να υπάρξει περεταίρω ανάπτυξη τους και τελειοποίηση των ήδη σπουδαίων χαρακτηριστικών τους που τα κάνει τόσο δημοφιλή, παρά το κόστος τους που όμως αναμένεται να μειωθεί αρκετά στο μέλλον, λόγω της ανάπτυξης της αντίστοιχης αγοράς. Αν λάβουμε υπόψη μας κατά την ενίσχυση τις απαραίτητες προϋποθέσεις για μία σωστή εφαρμογή, η τεχνολογία των ινοπλισμένων πολυμερών αδιαμφισβήτητα μπορεί να μας διευκολύνει ουσιαστικά.

## 15.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]Δρίτσος Σ., “Ενισχύσεις / Επισκευές Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα”, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα, 2006
- [2]Τριανταφύλλου Θ., “Δομικά Υλικά”, σελ. 425-446, Έκδοση 7<sup>η</sup>, Πάτρα 2005
- [3]Τριανταφύλλου Θ., “Ενισχύσεις Κατασκευών με Σύνθετα Υλικά”, ημερίδα ΤΕΕ “Ενισχύσεις Κατασκευών με Σύνθετα Υλικά”, 18 Μαΐου 2000, [www.tee.g](http://www.tee.g)
- [4]Πανταζοπούλου Σ., “Μανδύες από Σύνθετα Υλικά ως Μέσο Επισκευής Στοιχείων από Ο.Σ.”, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, [www.tee.gr](http://www.tee.gr)
- [5]Πανταζοπούλου Σ, Καραμπίνης Αθ., “Η Χρήση των Σύνθετων Υλικών στο Σχεδιασμό και την Ενίσχυς Στοιχείων από Ο.Σ.”, Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, Ι, τευχ.3 2000, [www.tee.gr](http://www.tee.gr)
- [6]Μπαλτζόπουλος Γ, Τέγος Ι., “Ενίσχυση Κατασκευών Ο/Σ με Εξωτερικά Προεντεταμένα Ελάσματα Ινοπλισμένων Πολυμερών (FRP)”, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, [www.tee.gr](http://www.tee.gr)
- [7]Μπούσιας Ε.Ν., Σπαθής Λ-Α.Ν.,Τριανταφύλλου Α.Χ., Φαρδής Μ.Ν., “Σεισμική ενίσχυση υποστυλωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος με διαβρωμένο οπλισμό”, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, [www.tee.gr](http://www.tee.gr)
- [8]Καραγιάννης Χ.Γ., “Επισκευές-Ενισχύσεις στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Έμφαση σε ακραίους κόμβους δοκού-υποστυλωμάτων”, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, [www.tee.gr](http://www.tee.gr)
- [9]Νοβίδης Δ.Γ., Πανταζοπούλου Σ.Ι., “Καμπτική ενίσχυση στοιχείων σκυροδέματος με ένθετα ελάσματα από ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ)”, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, [www.tee.gr](http://www.tee.gr)
- [10]Χαλιορής Κ.Ε., Καλαμαρλας Ε.Γ., “Στρέψη δοκών και πλακοδοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα ενισχυμένων με ανθρακούρα φάσματα”, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, [www.tee.gr](http://www.tee.gr)
- [11]Μιτολίδης Γ., Σαλονικιός Θ., Κάππος Α., “Προσδιορισμός Μηχανικών Χαρακτηριστικών και Συνάφειας Ινοπλισμένων Πολυμερών από Ίνες Άνθρακα και Ίνες Χάλυβα”, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, [www.tee.gr](http://www.tee.gr)
- [12]Βιντζηλαίου Ε., “Τα ινωπισμένα πολυμερή στις επεμβάσεις σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα”, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, [www.tee.gr](http://www.tee.gr)
- [13]Βιντζηλαίου Ε., Σιγάλας Ε., “Περίσφιγξη στοιχείων σκυροδέματος διατομής Γ ή ορθογωνικής διατομής μέσω ινωπισμένων πολυμερών”, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, [www.tee.gr](http://www.tee.gr)
- [14]Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., Ινστιτούτο Οικονομίας Κατασκευών, ΠΕΤΕΠ 14-01-08-02, Έκδοση 2.0, Μάιος 2008, [www.iok.gr](http://www.iok.gr)
- [15]Υπ. Περιβάλλοντος χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, “Συστάσεις για προσεισμικές και μετασεισμικές επεμβάσεις σε κτήρια”, Αθήνα, 2001, [www.oasp.gr](http://www.oasp.gr)
- [16]Δρίτσος Σ., “Τα Σύνθετα Υλικά στις Κατασκευές”, 15ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Αλεξανδρούπολη, 25-27 Οκτωβρίου., 2006, [www.tee.gr](http://www.tee.gr)