

## **Περίληψη**

*Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με την ενίσχυση των υποστυλωμάτων με μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα και με ινοπλισμένα πολυμερή. Αρχικά περιγράφονται τα αίτια που προκαλούν βλάβες στα υποστυλώματα και οι μορφές με τις οποίες εκδηλώνονται σε αυτά.. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στη μορφή και τα είδη μανδύων από οπλισμένο σκυρόδεμα καθώς και στην τεχνική τοποθέτησής τους για την επιτυχή αποκατάσταση της βλάβης. Έπειτα παρατίθενται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής. Ακολουθεί η παρουσίαση των σύνθετων υλικών (FRP), τα είδη και οι μορφές με τις οποίες διατίθενται στην αγορά και κάποιες από τις φυσικές-μηχανικές ιδιότητές τους. Παρουσιάζονται κάποιες κατασκευαστικές λεπτομέρειες για την ορθή τοποθέτησή τους έτσι ώστε να αποκατασταθεί η βλάβη. Εν συνεχεία, αναφέρονται κάποιες εναλλακτικές τεχνικές τοποθέτησης των FRPs και επισημαίνονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής. Τέλος σύμφωνα με όσα έχουν προαναφερθεί εκτιμάται η πιο συμφέρουσα λύση ανάλογα με το εκάστοτε είδος βλάβης.*

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Μέσα στις αρμοδιότητες του Πολιτικού Μηχανικού είναι η αποκατάσταση και ενίσχυση ήδη υπαρχόντων κατασκευών. Η διαδικασία αυτή χρειάζεται ιδιαίτερες γνώσεις και σωστή κρίση έτσι ώστε να επιλεγεί η βέλτιστη μέθοδος από κοινωνικό-οικονομική άποψη. Λαμβανομένης υπόψη της εξαιρετικά μεγάλης σημασίας των υποστυλωμάτων για τον αντισεισμικό σχεδιασμό και γενικότερα για την ακεραιότητα του συνόλου της κατασκευής, επικεντρώνονται κατά κανόνα σε αυτά οι επεμβάσεις σε μια μελέτη αποτίμησης και ανασχεδιασμού. Επίσης τα υποστυλώματα, αλλά και τα κατακόρυφα στοιχεία γενικότερα, είναι τα μέλη που συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ποσοστό βλαβών λόγω σεισμού, εξαιτίας κυρίως των μεγάλων επιβαλλόμενων παραμορφώσεων και των αυξημένων απαιτήσεων πλαστιμότητας. Οι βλάβες αυτές παρουσιάζονται κυρίως στον πρώτο όροφο πάνω από την θεμελίωση ή πάνω από υπόγειο όροφο με δύσκαμπτα υποστυλώματα. Ιδιαίτερα συχνές είναι και οι αστοχίες υποστυλωμάτων σε ισόγεια με μειωμένες ή καθόλου τοιχοπληρώσεις (pilotis). Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι αποκατάστασης και ενίσχυσης υποστυλωμάτων ανάμεσα στις οποίες η πιο παραδοσιακή και έμπιστη είναι αυτή των μανδύων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος στο ζήτημα αποκατάστασης των κατασκευών, αυτή των προηγμένων σύνθετων υλικών. Αρχικά τα υλικά αυτά εφαρμόστηκαν στην αεροναυπηγική και τη ναυπηγική όπου και εκτιμήθηκαν οι ιδιότητες τους και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν και σε άλλους τομείς.

## **ΒΛΑΒΕΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ**

### **ΑΙΤΙΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΒΛΑΒΕΣ [2]**

Λόγω της σπουδαιότητας των υποστυλωμάτων στον φέροντα οργανισμό μιας κατασκευής, κάθε βλάβη σε αυτά μπορεί να αποβεί επικίνδυνη για τη ζωή και την περιουσία των ενοίκων, τη λειτουργικότητα και την κατάρρευση του κτιρίου.

Οι βλάβες στα υποστυλώματα μπορούν να προκληθούν κατά κύριο λόγο από :

- Σεισμό
- Πυρκαγιά
- Έκθεση σε διαβρωτικό περιβάλλον κυρίως σε κτίρια που βρίσκονται σε παράκτιες ζώνες

- Άλλες περιβαλλοντικές επιδράσεις όπως η υγρασία, η δράση χημικών, οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας, η υπερϊώδης ακτινοβολία και η γήρανση των δομικών υλικών.
- Κατασκευαστικές ατέλειες (π.χ ανεπαρκής αριθμός, κατανομή και τοποθέτηση συνδετήρων) καθώς και αύξηση φορτίων των υποστυλωμάτων λόγω αλλαγής χρήσης του χώρου

## **ΜΟΡΦΕΣ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ**

Οι βλάβες στα υποστυλώματα μπορούν να εμφανιστούν με τις εξής μορφές:

Απλή ρηγμάτωση δηλαδή επιφανειακή αποφλοιώση του σκυροδέματος. Στην περίπτωση αυτή δεν έχουμε αποδιοργάνωση του περισιφισμένου πυρήνα της διατομής, ούτε λυγισμό των κατακόρυφων ράβδων του διαμήκους οπλισμού. Ακόμη μπορεί να παρατηρηθεί τοπική βλάβη με μερική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος όπως σύνθλιψη και αποδιοργάνωση της θλιβόμενης ζώνης, εγκάρσια διόγκωση του σκυροδέματος εξαιτίας μεγάλων θλιπτικών φορτίων. Τα φορτία αυτά προκύπτουν από ταυτόχρονη δράση κάμψης και διάτμησης. Η πιο σοβαρή βλάβη θεωρείται η πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος κατά την οποία έχουμε διάρρηξη συνδετήρων και λυγισμό των θλιβόμενων ράβδων του διαμήκους οπλισμού. Στην περίπτωση ανεπάρκειας διαμήκων ράβδων παρουσιάζονται οριζόντιες καμπτικές ρωγμές εξαιτίας της υπέρβασης του ορίου διαρροής του εφελκόμενου χάλυβα.[11]

Επιπλέον λόγω διάβρωσης μπορεί να προκληθεί μερική αποσάθρωση του οπλισμού. Αυτό έχει ως συνέπεια τη μερική απώλεια της ενεργού διατομής του οπλισμού, τη ρηγμάτωση και τελικά την αποτίναξη της επικάλυψης, η οποία μπορεί να αποβεί καταστροφική στη συνάφεια και την ικανότητα αγκύρωσης του οπλισμού. Ιδιαίτερα επικίνδυνη μπορεί να είναι η διάβρωση στα τσέρκια επειδή είναι σχετικά μικρής διατομής και βρίσκονται πιο κοντά στην επιφάνεια προσβολής.[7]

Όσο αναφορά τις βλάβες που προκαλούνται από πυρκαγιά, μπορούν να εμφανιστούν στο υποστυλώμα με τη μορφή επιφανειακών ρηγματώσεων, αποσύνθεσης και αποφλοιώσης τα οποία μπορούν να γίνουν αντιληπτά ακόμα και με την αφή. Όταν το σκυρόδεμα προσβληθεί από πυρκαγιά τρίβεται εύκολα και το χρώμα του μπορεί να αλλάξει ελαφρώς σε γκρι-άσπρο. Από την άλλη, όταν ο χάλυβας βρεθεί σε αρκετά μεγάλη θερμοκρασία (>800 °C) παραμορφώνεται, διογκώνεται και αποκολλάται από το σκυρόδεμα προκαλώντας ακόμα και εκτίναξη της επικάλυψης. Ο χάλυβας καθίσταται άχρηστος αφού δεν είναι σε θέση να παραλάβει εφελκυστικές δυνάμεις και να αποκτήσει ξανά την αντοχή του. Σε περίπτωση πυρκαγιάς περισσότερο απειλούνται τα εσωτερικά υποστυλώματα γιατί είναι εκτεθειμένα και από τις τέσσερις πλευρές τους στις φλόγες.[18]

## **ΜΑΝΔΥΕΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ**

Η χρήση μανδύων από οπλισμένο σκυρόδεμα μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια από τις αποτελεσματικότερες μεθόδους επισκευής και ενίσχυσης υποστυλωμάτων. Η διαδικασία κατασκευής αυτού του είδους μανδύων περιλαμβάνει μια σειρά βημάτων, η οποία έχει ως τελικό αποτέλεσμα την αύξηση της διατομής του υποστυλώματος και παράλληλα αύξηση της αντοχής, της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητάς του.

## **ΜΟΡΦΗ ΜΑΝΔΥΩΝ**

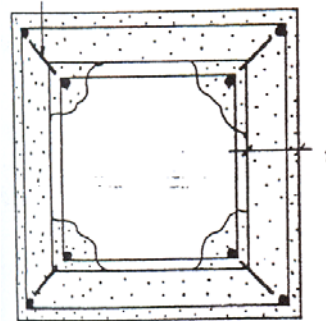
Ανάλογα το μέγεθος της βλάβης του υποστυλώματος και της θέσης του μέσα στο κτίριο επιλέγεται μια από τις παρακάτω μορφές μανδύων :

### 1.α) ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΤΟΠΙΚΟΙ ΜΑΝΔΥΕΣ (κεφαλής-ποδός) [13],[16]

Οι μανδύες αυτοί χρησιμοποιούνται για επισκευή-ενίσχυση υποστυλωμάτων που έχουν υποστεί ελαφρές βλάβες. Τοποθετούνται τοπικά στο σημείο που έχει υποστεί τη βλάβη και πρέπει να καλύπτουν μήκος τουλάχιστον ίσο με δυο φορές το πλάτος του υποστυλώματος. Ακόμα πρέπει να πληρούν τα παρακάτω ελάχιστα διατομών

|                               |                             |
|-------------------------------|-----------------------------|
| $t_{\min}$ εκτοξευόμενο =50mm | $t_{\min}$ έγχυτο =70-100mm |
| νέοι οπλισμοί min 8Φ14        |                             |
| min σ.Φ8/150                  |                             |

Χάντρωμα και “δεσμός”



Εικόνα 1: Ελάχιστα διατομών σε μανδύα [13]

Τοπικά και για ελέγχους σε θλίψη και κάμψη οι υπολογισμοί γίνονται αγνοώντας τον μανδύα δηλαδή πάνω στην ήδη υπάρχουσα διατομή. Για να ληφθεί υπόψη η ευνοϊκή επιρροή των τριαξονικών φαινομένων λόγω της κατά Poisson διάγκωσης, θεωρούμε σκυρόδεμα καλύτερης ποιότητας. Ο οπλισμός διάτμησης υπολογίζεται με τις μισές επιτρεπόμενες τάσεις, εξαιτίας της δυσκολίας ενεργοποίησής και επιστράτευσής τους.

### 1.β) ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΤΟΠΙΚΟΙ ΜΑΝΔΥΕΣ (πλήρεις) [13], [16]

Οι μανδύες αυτοί χρησιμοποιούνται για επισκευή-ενίσχυση υποστυλωμάτων που έχουν υποστεί ελαφρές έως σοβαρές βλάβες στη μέση περίπου του ύψους τους. Οι βλάβες αυτές μπορεί να έχουν προκληθεί είτε λόγω της ύπαρξης ισχυρών τοιχοδομών μέχρι τη μέση του υποστυλώματος είτε λόγω ανεπαρκούς όπλισης ή ελαφρών κρούσεων. Το μήκος του μανδύα αυτού πρέπει να καλύπτει περιοχή βλάβης τουλάχιστον δυο φορές το πλάτος του υποστυλώματος. Τα ελάχιστα των διατομών που πρέπει να πληρούνται είναι ίδια με αυτά της μεθόδου 1.α. Για τον έλεγχο σε θλίψη θεωρούμε ότι ο μανδύας παραλαμβάνει αξονικό φορτίο  $N=N_{\text{μετά}}-N_{\text{απομένουσα}}$ . Ο οπλισμός διάτμησης υπολογίζεται με τις μισές επιτρεπόμενες τάσεις. Στην περίπτωση αυτή απαραίτητοι είναι κάποιοι ειδικοί έλεγχοι μεταφοράς δυνάμεων. Πρέπει δηλαδή να ελεγχθεί η ικανότητα μεταφοράς του αξονικού φορτίου από το παλιό υποστυλώμα στη νέα κατασκευή, πάνω από τη βλάβη καθώς και από τη νέα κατασκευή στο παλιό υποστυλώμα κάτω από τη βλάβη.

### 2)ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΓΕΝΙΚΟΙ ΜΑΝΔΥΕΣ [16]

Οι μανδύες αυτοί τοποθετούνται σε όλο το μήκος του υποστυλώματος και πρέπει να προεκτείνονται πάνω και κάτω στους συνεχόμενους ορόφους. Οι νέοι οπλισμοί πρέπει να αγκυρώνονται πλήρως. Όταν πρόκειται για υποστυλώματα ισογείου οι μανδύες πρέπει να προεκτείνονται και στα πέδιλα. Οι προεκτάσεις πάνω από τους κόμβους πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσες με δυο φορές το πλάτος του υποστυλώματος.



Εικόνες 2-3-4-5 :Ενίσχυση υποστυλωμάτων με μανδύες από Ο.Σ. [internet, site [www.episkeves.civil.upatras.gr](http://www.episkeves.civil.upatras.gr) ]

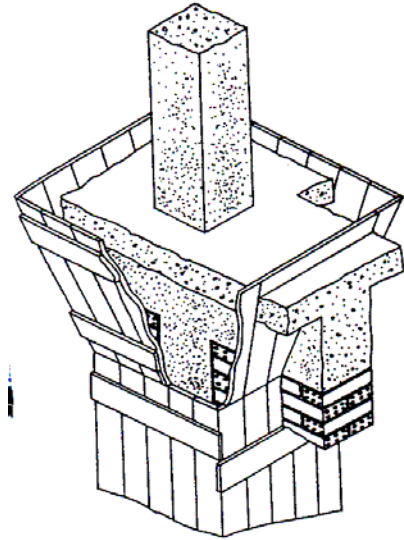
### 3)ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΜΑΝΔΥΕΣ [3], [13],[16]

Όταν ο μανδύας δεν μπορεί να περιβάλλει ολόκληρη τη διατομή του υποστυλώματος (όπως σε υποστυλώματα που βρίσκονται σε επαφή με άλλη οικοδομή), ο μανδύας λέγεται ανοικτός. Για την κατασκευή αυτών των μανδύων χρειάζεται ιδιαίτερα προσεκτική και συστηματική προετοιμασία των διεπιφανειών καθώς και συγκόλληση πυκνών συνδετήρων στους παλιούς οπλισμούς και κατάλληλη αγκύρωσή τους για καλή συνεργασία. Στην περίπτωση που ο μανδύας περιβάλλει μια ή δυο πλευρές του υποστυλώματος, τότε θεωρείται απλή προέκταση και όχι ανοικτός μανδύας.

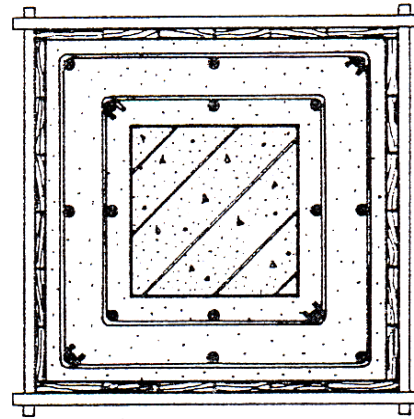
### 4)ΑΜΕΣΟΣ ΜΑΝΔΥΑΣ [14]

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται είτε στην περίπτωση προβλημάτων ευστάθειας στο κτίριο λόγω μεγάλης έκτασης ζημιών, είτε στην περίπτωση που οι εργασίες σφήνωσης με την κρουστική επιβολή φορτίων θα δημιουργούσε σοβαρά προβλήματα στην ασφάλεια της κατασκευής ή των εργαζομένων. Η μέθοδος αυτή συνίσταται στη χύτευση ενός μανδύα από Ο.Σ γύρω από το βλαμμένο υποστυλώμα ενδεχομένως δε με τσιμέντα ταχείας πήξεως. Για τον οπλισμό του μανδύα χρησιμοποιούνται δυο κλωβοί οπλισμού, ένας εσωτερικός γύρω από

την περίμετρο του υφιστάμενου υποστυλώματος και ένας εξωτερικός (εικόνα 7). Ο κάθε κλωβός οπλισμού θα συντίθεται από δυο τμήματα σχήματος ορθής γωνίας. Οι συνδετήρες πρέπει να δένονται ισχυρά μεταξύ των τμημάτων του κάθε κλωβού και η θέση σύνδεσής τους στον εσωτερικό και εξωτερικό κλωβό πρέπει να διατάσσονται εναλλάξ. Η σκυροδέτηση γίνεται κατά τμήματα ύψους 50-60 cm είτε με GUNITE. Για το τελευταίο υψηλότερο τμήμα θα διατηρηθεί η πλάκα και η σκυροδέτηση θα γίνει από τον επόμενο όροφο, με ενδεχόμενη ενσωμάτωση και τουβλοδομών αν αυτοί είναι επικίνδυνο να αφαιρεθούν (εικόνα 6).



Εικόνα 6  
Ενσωμάτωση τουβλοδομών στον  
άμεσο μανδύα [14]



Εικόνα 7  
Διατομή άμεσου μανδύα [14]

## ΕΙΔΗ ΜΑΝΔΥΩΝ [4], [11]

Τα είδη μανδύων από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι:

- ΜΑΝΔΥΕΣ ΑΠΟ ΕΓΧΥΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Το έγχυτο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται όταν ο μανδύας που πρόκειται να κατασκευαστεί έχει πάχος μεγαλύτερο από 8 cm και απαιτείται χρήση ξυλοτύπου. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η δυσκολία σκυροδέτησης του υψηλότερου τμήματος του υποστυλώματος λόγω ανεπαρκούς πρόσβασης από την κορυφή.

- ΜΑΝΔΥΕΣ ΑΠΟ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Είναι η συνηθέστερη πρακτική κατασκευής μανδύων με πάχος μικρότερο από 10 cm. Δεν απαιτείται ξυλότυπος αλλά χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή για την εξασφάλιση κατακόρυφης επιφάνειας του μανδύα η οποία γίνεται με χρήση οδηγών. Χρειάζεται σωστή συντήρηση γιατί η συστολή ξήρανσης είναι πιο έντονη στη συγκεκριμένη κατηγορία.

- ΜΑΝΔΥΕΣ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΤΣΙΜΕΝΤΟΠΗΓΜΑ

Το είδος αυτό πλεονεκτεί έναντι των άλλων γιατί καθιστά εύκολη τη σκυροδέτηση ακόμα και παρουσία πυκνού διαμήκους και εγκάρσιου οπλισμού. Χρησιμοποιούνται καλούπια από αδρανή διαμέτρου μεγαλύτερης από 10 mm και στη συνέχεια γίνεται πλήρωση των κενών τους με υγροποιημένο τσιμέντο υπό πίεση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται η συστολή ξήρανσης στο ελάχιστο λόγω όμως έλλειψης εμπειρίας των τεχνικών και υψηλό κόστους η μέθοδος δεν χρησιμοποιείται ευρέως.

- **ΜΑΝΔΥΕΣ ΑΠΟ ΕΙΔΙΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ Η΄ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ**

Με αυτό το είδος μανδύων επιτυγχάνουμε την κατασκευή μανδύων με ιδιαίτερα μικρό πάχος αλλά απαιτούν αυξημένο κόστος κατασκευής.

### **ΤΡΟΠΟΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΛΑΒΗΣ ΜΕ ΜΑΝΔΥΑ (ΤΕΧΝΙΚΗ) [1], [4], [11]**

Η διαδικασία επισκευής περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

1. Υποστύλωση των δοκών που συντρέχουν στο βλαμμένο υποστύλωμα.
2. Καθαίρεση βλαμμένου σκυροδέματος και διαμόρφωση κοιλοτήτων για καλύτερο εγκιβωτισμό του νέου υλικού.
3. Μηχανική εκτράχυνση παλιού σκυροδέματος.
4. Αποκάλυψη των παλιών οπλισμών και καθάρισμα τους από τη σκουριά.
5. Έκπλυση με άφθονο νερό υπό πίεση.
6. Τοποθέτηση νέου οπλισμού αγκύρωσης .
7. Συγκόλληση νέου οπλισμού και πυκνών κλειστών συνδετήρων .
8. Συμπληρωματική εκτράχυνση επιφάνειας αναμονής παλιού σκυροδέματος καθώς και νέων και παλιών οπλισμών με αμμοβολή .
- 9.1. Διάστρωση εκτοξευόμενου σκυροδέματος (πάχους >3cm) για δημιουργία μανδύα όταν πρόκειται για τοπική βλάβη με μερική αποδιοργάνωση σκυροδέματος.
- 9.2. Τοποθέτηση ξυλοτύπου και διάστρωση έγχυτου σκυροδέματος ή έτοιμου κονιάματος (πάχους >10cm) για σοβαρή βλάβη με πλήρη αποδιοργάνωση σκυροδέματος .

Στις περιπτώσεις που η ενίσχυση του υποστυλώματος έχει ως σκοπό την αύξηση της πλαστιμότητας και όχι την αύξηση της καμπτικής αντοχής του, κατασκευάζεται μανδύας ο οποίος τερματίζεται 30-50 mm χαμηλότερα από τη στάθμη του πυθμένα των δοκών.

### **ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ [4],[9],[11]**

- Αύξηση καμπτικής αντοχής, δυσκαμψίας (μείωση λυγιρότητας) και πλαστιμότητας του υποστυλώματος .
- Αύξηση του βαθμού πυροπροστασίας.
- Βελτίωση διατμητικής αντοχής, ικανότητας παραμόρφωσης καθώς και αγκύρωσης και συνέχειας του οπλισμού.
- Μετά από επαναλαμβανόμενες φορτίσεις χαρακτηρίζονται από μεγάλη διατήρηση αντοχής, ακαμψίας και ιδιαίτερα μεγάλη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας .
- Πολύ καλή συμπεριφορά και αντοχή στο σεισμό.
- Είναι από τις πιο παλιές και δοκιμασμένες μεθόδους ενίσχυσης με αποτέλεσμα να υπάρχουν αρκετά καταρτισμένοι τεχνίτες .

### **ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ [7]**

- Εάν το υποστύλωμα έχει υπερβεί τη φέρουσα ικανότητά του λόγω των υφιστάμενων φορτίων, η τεχνική αύξησης της διατομής με μανδύα δεν αποτελεί λύση (πρέπει να γίνει αποφόρτιση του στοιχείου που θα ενισχυθεί).
- Χρειάζονται εκτεταμένες εργασίες υποστήριξης με εγκατάσταση ικριωμάτων και προσωρινή διακοπή της χρήσης του δομίσματος.
- Δημιουργία σκόνης και όχλησης στους ενοίκους.
- Αύξηση του κόστους λόγω διακοπής λειτουργίας του κτιρίου κατά τη διάρκεια εργασιών

## Ενίσχυση υποστυλωμάτων με μανδύες από Ο.Σ. και FRP. Σύγκριση μεθόδων και εύρεση της πιο συμφέρουσας λύσης.

- Επειδή ο οπλισμός ενίσχυσης τοποθετείται εξωτερικά με προσθήκη επικάλυψης έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της διατομής του στοιχείου.
- Αύξηση των διαστάσεων του υποστυλώματος μπορεί να δημιουργήσει ασύμμετρη δυσκαμψία και απώλεια χώρου σε κτίρια που χρησιμοποιούνται ως βιομηχανικοί χώροι και αποθήκες .
- Οι μανδύες είναι διαπερατοί από τα στοιχεία που προκαλούν οξείδωση του μεταλλικού οπλισμού-διάβρωση.

### **ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΜΕ FRP [2]**

Μία από τις πιο υποσχόμενες μεθόδους για ενίσχυση των υποστυλωμάτων είναι η χρήση των FRP ή ΙΟΠ (ινοπλισμένα πολυμερή ή σύνθετα υλικά). Τα υλικά αυτά αποτελούνται από οργανικές ή ανόργανες ίνες υψηλής εφελκυστικής αντοχής εμποτισμένες με «θερμοσκληρυνόμενη» ρητίνη. Για τη σύνδεση των σύνθετων υλικών με το ενισχυμένο μέλος χρησιμοποιούνται εποξειδικές κόλλες.

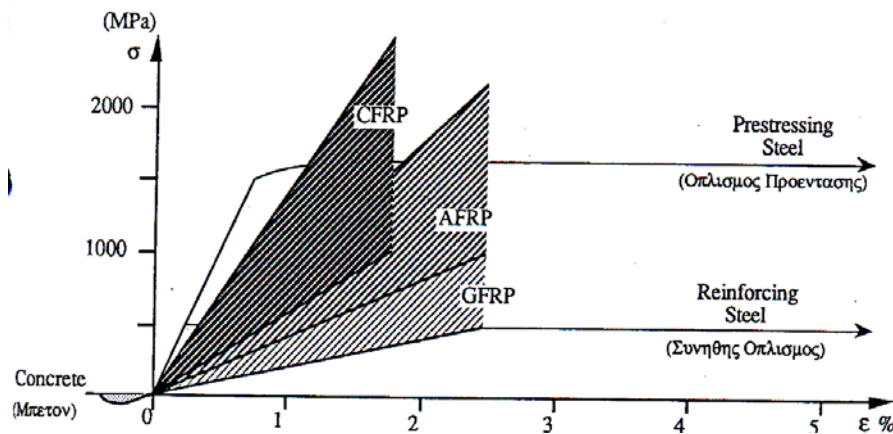
Οι συνήθεις τύποι ινών είναι από γυαλί ( GFRP), από άνθρακα (CFRP) ή αραμίδιο (AFRP) με πολύ μικρή διάμετρο της τάξης των 5-25 μm. Συγκεκριμένα στα υποστυλώματα, τα υλικά αυτά τοποθετούνται σε δυο διευθύνσεις. Στην περίπτωση που είναι επιθυμητός ο εγκιβωτισμός του στοιχείου για την αύξηση της διατμητικής του αντοχής οι ίνες τους τοποθετούνται σε οριζόντια διεύθυνση. Στην περίπτωση που θέλουμε αύξηση της καμπτικής αντοχής του στοιχείου, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν και φύλλα με τις ίνες τους σε κατακόρυφη διεύθυνση. Η αύξηση της φέρουσας ικανότητας σε αξονικό φορτίο σε ένα υποστύλωμα επιτυγχάνεται μέσω περισφιξης με τοποθέτηση μανδύων από FRP περιμετρικά. Τα FRP στην αγορά διατίθενται σε μορφή φύλλου-υφάσματος (CFRP) ή σε μορφή ελάσματος-λωρίδας (CFRP, GFRP, AFRP). Τα υφάσματα FRP είναι πιο διαδεδομένα στην ενίσχυση υποστυλωμάτων από ότι οι λωρίδες γιατί η εφαρμογή τους είναι πιο εύκολη. Αποτελούνται από μονοδιάστατες ή δισδιάστατες ίνες οι οποίες μπορεί να είναι εμβαπτισμένες σε μήτρα ρητίνης ή όχι. Τα ελάσματα έχουν πάχος από 0,5-1,5 mm και πλάτος από 50-300mm. Το ποσοστό των μονοδιάστατων ινών στην εποξειδική ρητίνη είναι 55-65%. Τα ελάσματα περιλαμβάνουν συνήθως αρκετά στρώματα ινών και έτσι το τελικό πάχος φτάνει μέχρι τα 25mm με αποτέλεσμα να είναι σχετικά δύσκαμπτο. Αντίθετα αν και με τη χρήση ελασμάτων επιτυγχάνουμε οικονομία υλικού απαιτούνται περισσότερα “εργατικά” και γι’ αυτό η επιλογή της εξαρτάται από την εκτίμηση του συνολικού κόστους.



Εικόνες 8 και 9 :Ενίσχυση υποστυλωμάτων με FRP [19]

## ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ FRP [2],[4]

Τα FRP χαρακτηρίζονται από μεγάλη εφελκυστική αντοχή της τάξης των 1500-3000 MPa που είναι 3-4 φορές μεγαλύτερη από αυτή του κοινού χάλυβα S500. Οι τιμές αυτές των αντοχών ισχύουν κατά κύριο λόγο για βραχυχρόνια φόρτιση ενώ για μακροχρόνια οι τιμές μειώνονται σημαντικά ανάλογα με το είδος της ίνας. Συγκεκριμένα στις ίνες γυαλιού που το μέτρο ελαστικότητας έχει τη μικρότερη τιμή ~50 GPa και η παραμόρφωση αστοχίας του έχει τη μεγαλύτερη τιμή ίση με 3%, η εφελκυστική τους αντοχή σε μακροχρόνια φόρτιση μειώνεται κατά 40-60% της αρχικής. Στις ίνες αραμιδίου οι οποίες έχουν μια ενδιάμεση τιμή μέτρου ελαστικότητας (65-120 GPa) και παραμόρφωσης (2-3%) η εφελκυστική αντοχή με το χρόνο μειώνεται μέχρι το 50-65%. Τέλος για τις ίνες άνθρακα που έχουν το μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας (35-190 GPa) και τη μικρότερη παραμόρφωση αστοχίας (1-1,5%) η εφελκυστική τους αντοχή μπορεί να μειωθεί μακροχρόνια μέχρι και 75-95%. Οι σχέσεις τάσης-παραμόρφωση για σύνθετα υλικά σε εφελκυσμό φαίνονται στην παρακάτω εικόνα 10



Εικόνα 10 : Διαγράμματα εφελκυστικής τάσης-παραμόρφωσης για οπλισμό από χάλυβα και ράβδους από διάφορα ινοπλισμένα πλαστικά [15]

Οι παραπάνω τιμές των μέτρων ελαστικότητας για τα διάφορα είδη ινών εξαρτώνται κυρίως από την κατ' όγκο περιεκτικότητα τους σε ίνες και συγκεκριμένα για σύνθετα υλικά με συνεχείς ίνες μιας διεύθυνσης είναι:

$$E_{FRP} = E_r \times V_r + E_f \times V_f \text{ όπου:}$$

$E_{FRP}$ ,  $E_r$ ,  $E_f$  είναι τα μέτρα ελαστικότητας του σύνθετου υλικού, της ρητίνης και των ινών αντίστοιχα. Τα  $V_r$ ,  $V_f$  είναι τα κ.ο. ποσοστά ρητίνης και ινών και προφανώς ισχύει:

$$V_r + V_f = 1$$

Επειδή  $E_f \gg E_r$  μπορεί να θεωρηθεί προσεγγιστικά ότι  $E_{FRP} \approx V_f \times E_f$ .

Αν στις παραπάνω σχέσεις αντικαταστήσουμε τα μέτρα ελαστικότητας με τις εφελκυστικές αντοχές, τότε αυτές ισχύουν προσεγγιστικά για την εφελκυστική αντοχή.

Το μητρικό υλικό των FRP (εποξειδική ρητίνη, πολυεστέρας, φαινολικές ρητίνες, βινυλεστέρας κ.τ.λ) είναι συνήθως θερμοσκληρυνόμενο και καίγεται σε θερμοκρασίες άνω των 250 °C. Χαρακτηρίζεται από πυκνότητα 1100-1500 kg/m<sup>3</sup> μέτρο ελαστικότητας 2-6



Ενίσχυση υποστρωμάτων με μανδύες από Ο.Σ. και FRP. Σύγκριση μεθόδων και εύρεση της πιο συμφέρουσας λύσης.

GPa, λόγο Poisson περίπου ίσο με 0,4 , εφελκυστική 100-250 MPa , παραμόρφωση θραύσης 1-6 % και συντελεστή θερμικής διαστολής  $60-200 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Για τις ίνες ισχύουν οι ιδιότητες του πίνακα 1. Επιπλέον, ο συντελεστής θερμικής διαστολής για το γυαλί είναι  $5 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ , για την αραμίδη είναι περίπου  $\approx 0,2 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  στην αξονική διεύθυνση και  $60 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  στην ακτινική, και για τον άνθρακα κυμαίνεται μεταξύ  $-0,1 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  και  $-1,2 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  στην αξονική διεύθυνση και  $7-12 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  στην ακτινική ( η αραμίδη και ο άνθρακας είναι υλικά ανισότροπα). [20]

| Ινες                   | Πυκνότητα<br>( $\text{kg}/\text{m}^3 \cdot 10^3$ ) | Μέτρο<br>ελαστικ.<br>(GPa) | Λόγος<br>Poisson<br>(-) | Εφελκυστ.<br>αντοχή<br>(MPa) | Παραμορφ.<br>θραύσης<br>(%) |
|------------------------|--|----------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Χάλυβας                | 7.86   | 200                        | 0.28                    | 700-2000                     | 3.5                         |
| Γυαλί E                | 2.54   | 72-75                      | 0.25                    | 3500                         | 4.8                         |
| Γυαλί AR <sup>1</sup>  | 2.27   | 70-76                      | 0.25                    | 2000-3500                    | 3-4.8                       |
| Αραμίδη                |  |                            |                         |                              |                             |
| Κέβλαρ <sup>2</sup> 29 | 1.44   | 70                         | 0.32                    | 2900                         | 4                           |
| Κέβλαρ 49              | 1.45   | 135                        | 0.32                    | 2900                         | 2.1                         |
| Ανθρακας               |  |                            |                         |                              |                             |
| υψηλού E               | 1.90   | 380                        | 0.35                    | 1800                         | 0.5                         |
| υψηλής E               | 1.90   | 230                        | 0.35                    | 2600                         | 1.2                         |

1 AR: ανθεκτικό σε αλκάλια

2 Κέβλαρ: τύπος αραμιδής, προϊόν της εταιρείας Dupont.

Πιν.1– Τυπικές ιδιότητες ινών [20]

Οι κόλλες που χρησιμοποιούνται για να συνδέσουν ελάσματα FRP με σκυρόδεμα είναι εποξειδικές με δυο συστατικά μέρη. Αυτός ο τύπος κόλλας έχει υψηλή μηχανική αντοχή και καλή χημική συμπεριφορά σε διαβρωτικό περιβάλλον. Οι καλές ιδιότητες ύγρανσης εξασφαλίζουν εξαιρετική συνάφεια. Στόχος της κόλλας είναι η μεταφορά των δρώντων φορτίων στα συνδεόμενα μέλη. [2]

## **ΤΡΟΠΟΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΛΑΒΗΣ ΜΕ FRP [4],[20] (ΤΕΧΝΙΚΗ)**

Για την τοποθέτηση – επικόλληση των FRP απαιτούνται κάποια στάδια προεργασίας έτσι ώστε το FRP να λειτουργήσει σωστά και να ενισχύσει το υποστύλωμα. Αρχικά πρέπει να απομακρυνθεί η επιδερμική στρώση του σκυροδέματος έτσι ώστε τα αδρανή να γίνουν ορατά σε βάθος 5 mm. Αυτό επιτυγχάνεται αργιεύοντας τις επιφάνειες στις οποίες θα γίνει η επικόλληση με αμμοβολή, πεπιεσμένο νερό ή με καλέμι. Στη συνέχεια λειαίνουμε τις γωνίες των υποστρωμάτων για να μην καταστραφούν οι ίνες των σύνθετων υλικών, ώστε να αποκτήσουν γωνία καμπυλότητας ίση με  $r=30\text{mm}$ . Επόμενο στάδιο είναι ο καθαρισμός της επιφάνειας από την σκόνη και η διαβροχή της με νερό υπό πίεση η οποία στη συνέχεια στεγνώνεται έτσι ώστε η απομένουσα υγρασία να είναι μικρότερη του 4%. Στην περίπτωση πορώδους επιφάνειας σκυροδέματος ή όταν υπάρχουν μικρορηγματώσεις, η επιφάνεια εμποτίζεται με αραιό διάλυμα εποξειδικής ρητίνης. Έπειτα επαλείφεται ένα παχύρρευστο συγκολλητικό υλικό, το οποίο είναι συνήθως εποξειδικός στόκος, αποτελούμενο από δύο συστατικά με συγκεκριμένη αναλογία. Μετά το τέλος αυτής της διαδικασίας θα πρέπει η επιφάνεια να έχει λειανθεί πλήρως και η μέγιστη επιτρεπτή ανωμαλία να είναι της τάξης του 1mm. Στη συνέχεια τοποθετούμε στην επιφάνεια ένα στρώμα λεπτόρρευστης εποξειδικής ρητίνης (πάχους 1-2 mm), η οποία στην κεντρική περιοχή επαφής τοποθετείται σε πάχος 10mm έτσι ώστε κατά την τοποθέτηση και συμπίεση του φύλλου η κόλλα να προχωράει προς

τα έξω. Αφού περάσουν γύρω στα 20min, καθαρίζουμε με ασετόν τις λωρίδες FRP , τις διαμορφώσουμε πρώτα στο απαραίτητο μήκος και πλάτος και τις επικολλούμε γύρω από τα υποστρώματα. Η τοποθέτηση γίνεται ασκώντας ομοιόμορφη πίεση σε όλη την επιφάνεια έτσι ώστε να μην εγκλωβιστεί αέρας. Μετά από 30-60min αποκαλύπτουμε τις ίνες αφαιρώντας το προστατευτικό κάλυμμα και τοποθετούμε πάνω σε αυτές ένα δεύτερο στρώμα της ίδιας εποξειδικής ρητίνης. Η διαδικασία αυτή μπορεί να επαναληφθεί για όσα στρώματα φύλλων απαιτούνται. Τέλος για προστασία από υψηλές θερμοκρασίες και άλλες περιβαλλοντικές προσβολές μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα τσιμεντοκονίαμα.



Εικόνα 11 : Ενίσχυση υποστρώματος με FRP [internet, site [www.episkeves.civil.upatras.gr](http://www.episkeves.civil.upatras.gr) ]

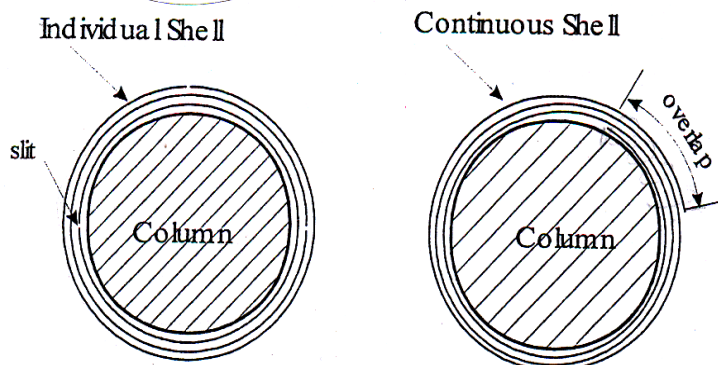
## ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

Η παραπάνω τεχνική τοποθέτησης των FRP περιγράφει την επί τόπου εγκατάστασή τους η οποία γίνεται είτε με τα χέρια είτε με αυτοματοποιημένη μηχανική τοποθέτηση. Η μέθοδος αυτή είναι η συνηθέστερη και χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή και εξειδίκευση για την επιτυχή τοποθέτησή τους.

Κάποιες εναλλακτικές τεχνικές είναι οι εξής :

- Προκατασκευασμένοι μανδύες από FRP. Κατασκευάζονται τοποθετώντας φύλλα από ίνες μαζί με απλές ίνες που δένονται μεταξύ τους. Αυτό το σύστημα ινών ενσωματώνεται στα κατασκευασμένα φύλλα, δημιουργώντας έναν σύνθετο υμένα. Στη συνέχεια αυτός ο υμένας εμποτίζεται σε ρητίνη και τοποθετείται σε ειδικά διαμορφωμένες φόρμες και έτσι δημιουργείται ο προκατασκευασμένος μανδύας. Το υλικό που χρησιμοποιείται στους προκατασκευασμένους μανδύες είναι το E-glass FRP το οποίο τοποθετείται με δυο διαφορετικούς τρόπους :

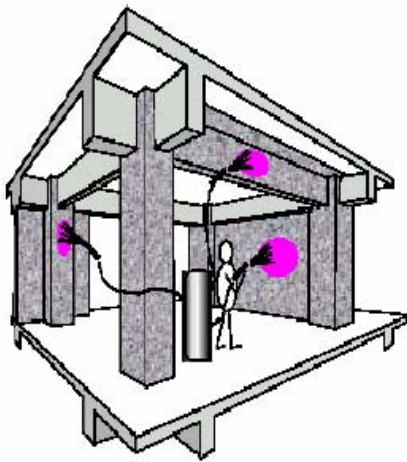
i) με μορφή μεμονωμένων κελυφών και ii) με μορφή συνεχούς κελύφους



Εικόνα 12 : Δυο τύποι από προκατασκευασμένους μανδύες GFRP [6]

Τελευταία έγινε μια προσπάθεια χρήσης CFRP στους προκατασκευασμένους μανδύες με αρκετά καλά αποτελέσματα στην ενίσχυση υποστυλωμάτων. [6]

- Εκτοξευόμενο ή ψεκαζόμενο FRP (sprayed-up FRP). Κατά τη μέθοδο αυτή το υποστύλωμα ψεκάζεται με μικρές ίνες άνθρακα και γυαλιού αναμιγμένες με βινιλοεστερική ρητίνη και στην συνέχεια αν χρειαστεί ενισχύεται με επιπλέον φύλλα FRP. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι η βινιλοεστερική ρητίνη απαιτεί λιγότερο χρόνο για την σκλήρυνση της σε σύγκριση με την εποξειδική ρητίνη, ενώ παράλληλα έχουν τις ίδιες μηχανικές ιδιότητες.[17]



Εικόνες 13-14 : Εφαρμογή εκτοξευόμενου FRP [17]

### **ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ [2],[5],[6],[7],[8],[10],[12],[15]**

- Μεγάλη εφελκυστική αντοχή ιδιαίτερα στην διεύθυνση των ινών (μέχρι 3000 MPa) και μέτρο ελαστικότητας .
- Αύξηση καμπτικής, διατμητικής αντοχής των υποστυλωμάτων .
- Έχουν χαμηλό βάρος (1/4 του χάλυβα).
- Πρόκειται για σύστημα ενίσχυσης που μπορεί να εφαρμοστεί σε πάσης φύσεως διατομές.
- Δυνατότητα του μελετητή να χρησιμοποιήσει τα FRP σε όποια κατεύθυνση κρίνει ότι χρειάζεται λόγω των πολλών και διαφορετικών τρόπων διάταξης των ινών μέσα στο υλικό.
- Δημιουργούν μεγαλύτερη περίσφιξη σκυροδέματος από το χάλυβα και έμμεση βελτίωση του δεσμού σκυροδέματος και οπλισμού.
- Ευκολία τοποθέτησης λόγω του ότι διατίθενται σε μεγάλα μήκη (αντίθετα με τα χαλύβδινα ελάσματα και τις χαλύβδινες βέργες οπλισμού) χωρίς χρήση ικριωμάτων και ευκολία συντήρησής τους .
- Δεν αυξάνουν τη μορφή και τις διαστάσεις των ενισχυμένων στοιχείων λόγω πάχους της τάξης χιλιοστού.
- Η εγκατάστασή τους δεν προκαλεί κίνδυνο φθοράς ή αποδυνάμωση της υφιστάμενης κατασκευής καθώς δεν αυξάνεται το βάρος της.
- Η μορφή αστοχίας από ψαθυρή (ξαφνική) γίνεται ψευδοπλάσטיμη (πιο σταδιακή).

- Έχουν μικρή θερμική αγωγιμότητα στην πλευρική διεύθυνση κάτι το οποίο τα καθιστά καλύτερα στη φωτιά από ότι τα μέταλλα.
- Δεν απαιτούν τη μετακίνηση πιθανών αγωγών και καλωδίων και δεν αλλοιώνουν αισθητικά την κατασκευή.
- Είναι αποτελεσματικά στην προστασία από διάβρωση.
- Εσπευσμένη αντισεισμική ενίσχυση στοιχείων παλαιότερων κατασκευών με ανεπαρκή οπλισμό.
- Οι μανδύες από FRP είναι χημικώς αδρανείς και αδιαπέραστοι έναντι των συνήθων διαβρωτικών παραγόντων και έτσι λειτουργούν ως φυσικός αναστολέας έναντι διεύθυνσης των στοιχείων που προκαλούν οξείδωση του σιδήρου .
- Τα Carbon και Aramid FRP έχουν εξαιρετικά χαρακτηριστικά κόπωσης, ερπυσμού και χαλάρωσης.
- Ενισχύεται η περιοχή της βάσης, έτσι ώστε μη ικανοποιητικό μάτισμα οπλισμών στη σύνδεση του θεμελίου, να μην επιφέρει αδυναμία στο σύστημα.

### **ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ [2],[6],[8],[9],[15]**

- Απότομη πτώση της εφελκυστικής αντοχής, ακαμψίας και ικανότητας απορρόφησης ενέργειας μετά από μακροχρόνια φόρτιση λόγω αστοχίας των αγκυρώσεων των λωρίδων ενίσχυσης με FRP .
- Έχουν ιδιαίτερα υψηλό κόστος (ειδικά το CFRP) περίπου 9 φορές μεγαλύτερο από το κόστος του Fe 360.
- Πρόκειται για νέο υλικό οπότε πρέπει να είμαστε επιφυλακτικοί ως προς τα αποτελέσματα ενίσχυσης.
- Συμπεριφέρονται πλήρως ελαστικά (έλλειψη πλαστιμότητας) μέχρι την αστοχία τους που σημαίνει αδυναμία απορρόφησης ενέργειας .
- Χαμηλό μέτρο ελαστικότητας (ως προς τον χάλυβα) εκτός του CFRP.
- Το GFRP δεν έχει καλά χαρακτηριστικά κόπωσης .
- Η έκθεση σε περιβαλλοντικές συνθήκες όπως η υγρασία, η δράση χημικών, οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας και η υπεριώδης ακτινοβολία επιδρά αρνητικά στην απόδοση των φύλλων ΙΟΠ εξαιτίας της εξασθένησης της ένωσης των φύλλων με το σκυρόδεμα (μείωση συνάφειας).
- Τα σύνθετα υλικά μπορούν να αναλάβουν φορτία μόνο κατά τη διεύθυνση των ινών τους.

### **ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΩΝ**

Αρκετές μέθοδοι είναι διαθέσιμες για την ενίσχυση των κατασκευών ανάλογα με το είδος της βλάβης και τον τύπο του προβλήματος. Καθήκον του μηχανικού είναι να επιλέξει την κατάλληλη μέθοδο με γνώμονα τα τεχνικά χαρακτηριστικά, τα οφέλη, τον χρόνο, την διοίκηση και τη δυνατότητα πραγματοποίησης.

Σύμφωνα με όλα τα προαναφερθέντα, στο σημείο αυτό ανάλογα με κάθε βλάβη θα γίνει μια προσωπική εκτίμηση εύρεσης της προτιμότερης λύσης από άποψη αντοχής αλλά και οικονομίας.

Έτσι **στην περίπτωση σεισμού [9]** όπου τα υποστυλώματα καταπονούνται σε κάμψη, διάτμηση ή και στο συνδυασμό των δυο παραπάνω δράσεων ανάλογα με το πόσο σημαντική είναι η βλάβη, επιλέγουμε κατά προτίμηση τοπικό ή γενικό μανδύα από Ο.Σ.

**Τοπικό μανδύα** (κεφαλής-ποδός) χρησιμοποιούμε στην περίπτωση απλής ρηγμάτωσης και τοπικής βλάβης με μερική ή πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος και όταν έχουμε καμπτική ή καμπτοδιατμητική αστοχία . Στην περίπτωση αυτή οι βλάβες παρουσιάζονται στο επίπεδο του αρμού διακοπής στη βάση ή στην κορυφή του υποστυλώματος. Η χρήση

τοπικού μανδύα από Ο.Σ. έχει ως αποτέλεσμα η αστοχία λόγω σεισμού να συμβαίνει στη δοκό και όχι στο υποστύλωμα και άρα ισχύει ο ικανοτικός σχεδιασμός. Αντίθετα το FRP λόγω της ανακυκλιζόμενης φόρτισης από το σεισμό χάνει σταδιακά την αντοχή του και την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος για αστοχία στο επίπεδο του αρμού διακοπής στη βάση ή στην κορυφή του υποστυλώματος και κατάργηση της ισχύος του ικανοτικού σχεδιασμού. Όταν η βλάβη έχει προκύψει από διατμητική αστοχία παρουσιάζεται με μορφή λοξής-τριχοειδούς ρωγμής στο ενδιάμεσο του ύψους του υποστυλώματος. Για να επισκευάσουμε τη βλάβη αυτή σε περίπτωση σεισμού χρησιμοποιούμε και εδώ τοπικό μανδύα (πλήρη) από Ο.Σ.. Αυτό γιατί το FRP λόγω της ανακυκλιζόμενης φόρτισης χάνει την αντοχή του. **Γενικό μανδύα** χρησιμοποιούμε όταν οι βλάβες από το σεισμό είναι ιδιαίτερα σημαντικές και εκτείνονται σε όλο το ύψος του υποστυλώματος. Ο γενικός μανδύας αποτελεί την πιο σίγουρη μέθοδο αποκατάστασης της βλάβης αφού αυξάνει την αντοχή του υποστυλώματος. Η ενίσχυση με γενικό μανδύα πρέπει να γίνεται όταν δεν υπάρχει εναλλακτικός τρόπος ενίσχυσης γιατί είναι αρκετά χρονοβόρα διαδικασία και απαιτείται διακοπή χρήσης του κτιρίου.[16]

Τα FRP είναι κι αυτά αρκετά αποδοτικά στην περίπτωση σεισμού γιατί πλεονεκτούν σε αντοχή έναντι των παρθενικών υποστυλωμάτων απλά είναι λιγότερο αποδοτικά σε σύγκριση με τους μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος.

Στην περίπτωση **πυρκαγιάς** η ενίσχυση των υποστυλωμάτων γίνεται με μανδύες από Ο.Σ.. Τα FRP δεν συνίστανται διότι χρησιμοποιείται η εποξειδική ρητίνη και ως μητρικό υλικό αλλά και ως κόλλα η οποία χάνει την αντοχή και τις ιδιότητες της στις υψηλές θερμοκρασίες που δημιουργεί η πυρκαγιά. Έτσι σε ένα κτίριο που έχει προσβληθεί από πυρκαγιά επιλέγουμε [11] :

1. Μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα σε όλα τα στοιχεία που χρειάζονται ενίσχυση .
2. Μανδύες από άοπλο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα τοπικά στα στοιχεία που δεν χρειάζονται ενίσχυση αλλά εμφανίζουν αποφλοιώσεις και περιορισμένες αποκαλύψεις οπλισμών.
3. Μανδύες από έγχυτο σκυρόδεμα σε λίγες περιπτώσεις υποστυλωμάτων υπογείου , όπου η μεγάλη αύξηση της διατομής τους δεν παρουσιάζει λειτουργικά προβλήματα .

Στην περίπτωση βλάβης από **διάβρωση** [7] η πιο κατάλληλη μέθοδος είναι αυτή της χρήσης FRP σε μορφή μανδύων. Οι μανδύες από FRP είναι χημικώς αδρανείς και αδιαπέραστοι έναντι των συνήθων διαβρωτικών παραγόντων. Έτσι όταν το υποστύλωμα μετά την ενίσχυσή του επανεκτεθεί σε διαβρωτικό περιβάλλον δεν επηρεάζεται από αυτό και διατηρεί την αντοχή του. Ο χάλυβας δεν προσβάλλεται πλέον αφού η σκληρυμένη ρητίνη δεν επιτρέπει την διάχυση των στοιχείων που προκαλούν διάβρωση. Επιπλέον το FRP λειτουργεί παθητικά, όπως ακριβώς οι συνδετήρες, παρεμποδίζει δηλαδή την εγκάρσια παραμόρφωση (διόγκωση λόγω διάβρωσης) του δομικού στοιχείου επιβάλλοντας τάση περίσφιξης ανάλογη αυτής της παραμόρφωσης. Για την επιτυχή προστασία και ενίσχυση από διάβρωση πρέπει να χρησιμοποιούνται αρκετές στρώσεις FRP για να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη δυσκαμψία και επαρκές μήκος αγκύρωσης στο τέλος κάθε στρώσης. Αντίθετα στην περίπτωση που χρησιμοποιήσουμε μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα σε διαβρωμένο υποστύλωμα δεν προσφέρουμε ουσιαστική αντιμετώπιση του προβλήματος. Και αυτό γιατί το σκυρόδεμα δεν μπορεί να αποτελέσει προστατευτική ασπίδα για το χάλυβα με αποτέλεσμα οι διάφοροι διαβρωτικοί παράγοντες να επιδρούν σε αυτόν. Επιπλέον το σκυρόδεμα χάνει την αλκαλικότητά του καθώς το pH του μειώνεται από 12,5 σε 9 και υπάρχει επίσης κίνδυνος ενανθράκωσής του.

Στις περιπτώσεις ενίσχυσης βάρων γεφυρών που έχουν καταπονηθεί από σεισμό και λόγω της ταυτόχρονης ύπαρξης διαβρωτικού περιβάλλοντος συνίσταται η χρήση μανδύων από FRP. Έχει παρατηρηθεί ότι τα σύνθετα υλικά είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά στη βελτίωση της διατμητικής αντοχής των βάρων και της πλαστιμότητάς τους όπως επίσης και για την προστασία των ανεπαρκών παραθέσεων διαμήκων οπλισμών υποστυλωμάτων[8] .

Τα σύνθετα υλικά είναι μερικές φορές ευάλωτα σε **περιβαλλοντικές επιδράσεις**, όπως π.χ. η υγρασία, οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας, η υπεριώδης ακτινοβολία και η δράση χημικών με αποτέλεσμα ορισμένες φορές να προκληθεί αστοχία και αποκόλληση από το σκυρόδεμα. Συγκεκριμένα η ανθεκτικότητα των CFRP στις παραπάνω επιδράσεις είναι πολύ καλύτερη από αυτήν των GFRP και AFRP. Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι δυσμενέστερη στα AFRP και ορισμένα χημικά όπως τα αλκάλια είναι καταστρεπτικά στα GFRP. Για το λόγο αυτό πρέπει να γίνεται προσεκτική μελέτη των περιβαλλοντικών συνθηκών πριν από την επιλογή της μεθόδου ενίσχυσης και όταν παρουσιαστούν τα φαινόμενα αυτά σε μεγάλο βαθμό να επιλεγεί κατά προτίμηση η χρήση μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα ή CFRP.

Όταν έχουμε κάποια **κατασκευαστική ατέλεια ή αύξηση των φορτίων βαρύτητας**, τότε η χρήση μανδύων από σύνθετα υλικά μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλη λόγω της περίσφιξης της οποίας επιβάλλουν στο υποστύλωμα προκαλώντας έτσι την αύξηση της ικανότητας ανάληψης αξονικής φόρτισης [8].

Σε κάθε άλλη περίπτωση τοπικής βλάβης με μερική ή πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος και όταν απαιτείται γρήγορη αποκατάσταση και τα χρονικά περιθώρια είναι περιορισμένα είναι προτιμότερη η χρήση FRP. Αυτό γιατί έχουμε σύντομη ανάπτυξη πλήρους αντοχής, μικρό τελικό πάχος μανδύα το οποίο δεν αλλάζει τη γεωμετρία του στοιχείου με αποτέλεσμα να μην μειώνεται ο διαθέσιμος εσωτερικός χώρος της οικοδομής ούτε να δημιουργούνται προσθήκες στο εξωτερικό του κτιρίου. Επίσης η ενίσχυση με σύνθετο υλικό δεν απαιτεί τη διακοπή χρήσης του κτιρίου ούτε τη χρήση ικριωμάτων και η τοποθέτησή τους είναι αρκετά σύντομη. Σε αντίθεση ο μανδύας από Ο.Σ. απαιτεί αρκετά χρονοβόρες διαδικασίες. Σε περιπτώσεις που η ρωγμή είναι κοντά στον αρμό διακοπής του υποστύλωματος και ο μανδύας πρέπει να συνεχιστεί και στον επόμενο όροφο απαιτείται σπάσιμο της πλάκας άρα και εκκένωση του κτιρίου. Όταν παρουσιαστούν βλάβες οποιασδήποτε αιτίας (εκτός διάβρωσης) σε όλο το ύψος του υποστύλωματος χρησιμοποιούμε πάντα γενικό μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα.

## **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι και οι δύο μέθοδοι (χρήση μανδύων Ο.Σ. και χρήση FRP) προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα αλλά ταυτόχρονα και μερικά μειονεκτήματα. Η τελική επιλογή της τεχνικής που θα προτιμηθεί είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων και έγκειται πάντα στην κρίση του υπεύθυνου πολιτικού μηχανικού. Κύριοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι η σεισμική ζώνη στην οποία βρίσκεται το υπό επισκευή κτίριο, το αν βρίσκεται σε παραθαλάσσια περιοχή με έντονο διαβρωτικό περιβάλλον και το μέγεθος της βλάβης του υποστύλωματος. Προτείνεται η τεχνική του μανδύα από Ο. Σ. όταν θέλουμε ενισχύσεις με λιγότερα έξοδα, δεν έχουμε χρονικό περιορισμό ούτε πρόβλημα χώρου και τα δομικά στοιχεία έχουν πλήρως αποδιοργανωθεί. Η χρήση FRP προτείνεται όταν δεν έχουμε πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος και οι οικονομικές συνθήκες το επιτρέπουν. Βέβαια θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ότι το κόστος του υλικού δεν θα πρέπει να εξετάζεται μεμονωμένα. Ο μικρότερος χρόνος και ο απλούστερος εξοπλισμός επιδρούν σημαντικά στη μείωση του εργατικού κόστους. Ειδικά στις επισκευές το κόστος του υλικού ανέρχεται περίπου στο 20% του συνολικού κόστους και το υπόλοιπο 80% είναι το κόστος των εργατικών[2]. Ακόμα υπάρχει εξοικονόμηση χρημάτων γιατί δεν απαιτείται να μετακινηθεί ο μηχανολογικός εξοπλισμός και δεν αναστέλλεται η λειτουργία της κατασκευής λόγω των έργων επισκευής. Τέλος το υλικό είναι νέο στην αγορά και αναμένεται στο μέλλον σταδιακή μείωση της τιμής του.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. **Επισκευές κτιρίων με βλάβες από σεισμό**  
Γιάννης Γ. Ζάχος- Γρ. Φούντας, Πολιτικοί Μηχανικοί Ε.Μ.Π.
2. **Ενίσχυση υποστυλωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα μέσω υφάσματος με ίνες άνθρακα** Ε. Λαμπρινού – Ε. Βιντζηλαίου –Ε.Μ.Π.
3. **Αντισεισμικές κατασκευές από σκυρόδεμα.** Πενέλης- Κάππος
4. **Ενισχύσεις/Επισκευές Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα.** Σ.Η.Δρίτσος , Πάτρα 2005
5. **IABSE COLLOQUIUM, BERLIN 1998**SAVING BUILDING IN CENTRAL AND EASTERN EUROPE
6. **FRP Composites in Civil Engineering, CICE 2001**, Editor: J. G. Teng, 12-15 December 2001, Hong Kong, China, Volume I.
7. **Μανδύες από σύνθετα υλικά ως μέσο επισκευής στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα.** Σταυρούλα Πανταζοπούλου, Περιοδικό κτίριο-Επιστημονική έκδοση Α/2000
8. **Εκτίμηση της αποδοτικότητας της ενίσχυσης δομικών στοιχείων από Ο/Σ με σύνθετα υλικά (FRPs).** Αλέξανδρος-Δημήτριος Γ.Τσώνος, Περιοδικό κτίριο-Επιστημονική έκδοση Α-Β/2003
9. **12ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Τ.Ε.Ε. Ελληνικό Τμήμα Σκυροδέματος .Σύγκριση αποδοτικότητας μετασεισμικής ενίσχυσης κόμβου με GFRPs με την αποδοτικότητα ενίσχυσης με μανδύα από Ο/Σ.** Α.Δ. Τσώνος Δρ.Πολ.Μηχανικός ,Επικ. Καθηγητής Α.Π.Θ. , Κ.Α. Στυλιανίδης Δρ. Πολ.Μηχανικός, Καθηγητής Α.Π.Θ.
10. **13ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Προσεισμική και μετασεισμική ενίσχυση δομικών υποσυνόλων οπλισμένου σκυροδέματος.** Α. Δ. Τσώνος Δρ. Πολ. Μηχανικός , Επικ. Καθηγητής Α.Π.Θ. , Κ.Α. Στυλιανίδης Δρ. Πολ.Μηχανικός, Καθηγητής Α.Π.Θ. Τ.Ε.Ε. Ελληνικό Τμήμα Σκυροδέματος. (Μέλος FIB-RILEM) Ρέθυμνο, 25-27 Οκτωβρίου 1999, τόμος Ι
11. **Βιβλιογραφία εργασιών 11ο Φοιτητικό Συνέδριο 2005 Τόμος 5.** Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία- Επισκευή και ενίσχυση κατασκευών με παραδοσιακές μεθόδους. (σελ 82-89)
12. **10ο Βιβλιογραφία εργασιών 10ο Φοιτητικό Συνέδριο 2004. Εργασίες μεταπτυχιακών φοιτητών.** Ενίσχυση κόμβων οπλισμένου σκυροδέματος με σύνθετα υλικά. Κ.Π. Αντωνόπουλος- Θ.Χ. Τριανταφύλλου.
13. **Συστάσεις και πρακτικοί κανόνες για τον επανέλεγχο επισκευασμένων/ ενισχυμένων υποστυλωμάτων από Ο/Σ.** Μ.Π. Χρονόπουλος. Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος Ε.Μ.Π
14. **Συστάσεις για τις επισκευές κτιρίων βλαμμένων από σεισμό.** 5<sup>η</sup> έκδοση Ε.Μ.Π. Αθήνα 1981
15. **12ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Τ.Ε.Ε. Ελληνικό Τμήμα Σκυροδέματος (Μέλος FIB-RILEM) Λεμεσός, 29-31 Οκτωβρίου 1996, τόμος Ι**
16. **Τρόποι επισκευής και ενίσχυσης υποστυλώματος.** Καραγιάννης Γιάννης. Εργασία στο μάθημα Ενισχύσεις/Επισκευές Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα. Πάτρα
17. **“Sprayed – up FRP strengthening for concrete structures”** Furuta T., Kanakubo T., Nemoto T., Takahashi K., Fukuyama H.,  
[www.kz.tsukuba.ac.jp/~kanakubo/spray/cice2001.pdf](http://www.kz.tsukuba.ac.jp/~kanakubo/spray/cice2001.pdf) **ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ**
18. **10<sup>ο</sup> Φοιτητικό συνέδριο** «Επισκευές κατασκευών -04» Μάρτιος 2004. Πραγματογνωμοσύνη-Εκτίμηση βλαβών μετά από πυρκαγιά, Αρμάος Παναγιώτης
19. **ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ** Περιοδικό Ύλη και Κτίριο. Τεύχος 57 Αύγουστος-Σεπτέμβριος 2002
20. **6<sup>ο</sup> Φοιτητικό συνέδριο** «Επισκευές κατασκευών -2000» Φεβρουάριος 2000. Ενισχύσεις κατασκευών σκυροδέματος με FRP. Ματθαίος Σωτήρης.