

ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΙΝΟ-ΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ (FRP)

ΜΑΤΘΑΙΟΣ ΩΤΗΡΙΟΣ

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με τα ινο-οπλισμένα πλαστικά υλικά (FRP – fiber reinforced plastics) και τις εφαρμογές τους. Αναλυτικότερα, θα παρουσιαστούν οι μέθοδοι παρασκευής, οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των υλικών, καθώς επίσης οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες και η τοποθέτηση των FRP. Εν συνεχεία, θα επιχειρηθεί μια αποτίμηση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των FRP, ως μιας μεθόδου αποκατάστασης βλαβών του φέροντος οργανισμού. Αρχικά όμως, θα γίνει μια προσπάθεια καταγραφής των βλαβών για τις οποίες προορίζεται η χρήση των FRP, καθώς επίσης θα γίνει και μια περιορισμένη αναφορά στις μέχρι τώρα συνηθισμένες και ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές αποκατάστασης βλαβών.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ^{[1] [2]}

Οι βλάβες στα υποστηλώματα, προερχόμενες από καμπτικές εντάσεις, εφ' όσον αυτά αποτελούν πρώτη προτεραιότητα για την εκτίμηση της ασφάλειας της κατασκευής, εμφανίζονται με τις εξής μορφές (βλ. σχ.1):

- Οριζόντιες καμπτικές ρωγμές από υπέρβαση του ορίου διαρροής του χάλυβα σε εφελκυσμό, οι οποίες οφείλονται σε ανεπάρκεια διαμήκων ράβδων.

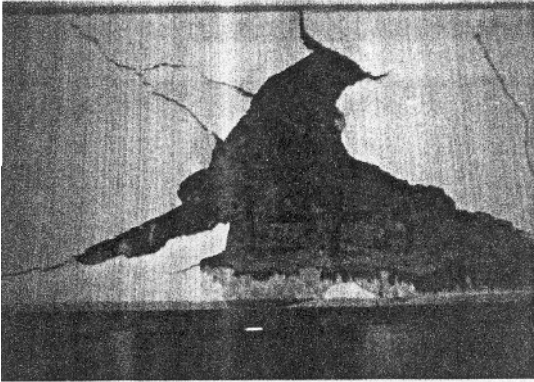


- Επιφανειακή αποφλοίωση του σκυροδέματος χωρίς βλάβη των οπλισμών, που οφείλεται σε υπεροπλισμένα στοιχεία με ανεπαρκή απόσταση μεταξύ των διαμήκων ράβδων.
- Σύνθλιψη και αποδιοργάνωση της θλιβόμενης ζώνης, εγκάρσια διάγκωση του σκυροδέματος, που παρατηρείται σε στοιχεία με μεγάλα θλιπτικά φορτία από σύγχρονη ύπαρξη κάμψης και διάτμησης και οφείλεται σε διαρροή ή και θραύση των συνδετήρων της περιοχής βλάβης.

(σχ.1)

Οι βλάβες στις δοκούς, προερχόμενες από καμπτικές εντάσεις, εμφανίζονται με τις εξής μορφές (βλ. σχ.2):

- Αρκετές ρωγμές μεγάλου πλάτους συγκεντρωμένες σε μια περιοχή της δοκού όπου αναπτύσσονται μέγιστες ροπές κάμψης, που οφείλονται σε διαρροή του εφελκυσμένου χάλυβα.



(σχ.2)

- Καμπτικές βλάβες στο πάνω πέλμα της δοκού κοντά στις στηρίξεις.
- Εγκάρσιες ρωγμές κοντά στις στηρίξεις στο κάτω πέλμα, που οφείλονται σε καμπτική αστοχία της διατομής από διαρροή εφελκυσμού στο κάτω πέλμα ή από ανεπαρκής αγκύρωση του κάτω πέλματος.

Οι πιο συνηθισμένες και ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές αποκατάστασης των παραπάνω βλαβών είναι:

- Ρητινεώσεις και ρητινοκονιάματα. Εφαρμόζονται για την επισκευή δοκών και υποστηλωμάτων με μικρές ρωγμές, όπου δεν υφίσταται διαρροή του χάλυβα.
- Μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα. Εφαρμόζονται για την επισκευή υποστηλωμάτων σε περίπτωση που έχουν υποστεί βαριές βλάβες, όπως η μη επαρκής σεισμική ικανότητα και η ανάγκη για ισχυρή ενίσχυση, με αύξηση της διατομής του στοιχείου και προσθήκη χάλυβα. Η αύξηση στις διαστάσεις και συνεπώς στο βάρος είναι μεγάλη με αποτέλεσμα να είναι αναγκαία η επανεκτίμηση του συντελεστή ασφαλείας της ανωδομής, καθώς επίσης και να εκτιμηθεί ο μηχανισμός μεταφοράς των δυνάμεων μεταξύ παλαιών και νέων στοιχείων.
- Μεταλλικοί μανδύες. Εφαρμόζονται για την επισκευή υποστηλωμάτων, όταν απαιτείται αύξηση της πλαστιμότητας και της διατμητικής αντοχής του υποστηλώματος, καθώς και η αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. Η μέθοδος αυτή δεν απαιτεί σοβαρό εξοπλισμό, ωστόσο το κόστος της είναι μεγάλο.
- Η χρήση βλήτρων (χημικά αγκύρια) είναι επίσης μια διαδεδομένη μέθοδος για την αγκύρωση επιπροσθέτων ράβδων οπλισμού σε υπάρχοντα δομικά σκυροδέματα (δοκοί, πλάκες, υποστηλώματα). Όμως τα προβλήματα προστασίας του χάλυβα από τη διάβρωση παραμένουν, καθώς και ο τρόπος συγκόλλησης του υφιστάμενου χάλυβα με τον καινούργιο.

Τις τελευταίες δεκαετίες η χημική βιομηχανία ανέπτυξε διάφορους τύπους οργανικών ή ανόργανων ινών υψηλής εφελκυστικής αντοχής (ίνες γυαλιού, αραμιδής ή άνθρακα, με διάμετρο 5-25μm) και σύνθετων υλικών που αποτελούνται από τέτοιες ίνες σε μήτρα από πολυμερές (επόξειδική ρητίνη, πολυεστέρας, φαινολικές ρυτίνες, βινυλεστέρας κ.τ.λ.) και ονομάζονται ινοοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ ή FRP) ή απλώς σύνθετα υλικά. Τα υλικά αυτά έχουν βάρος ίσο με το 1/4 περίπου του χάλυβα και, εκτός από την υψηλή μηχανική αντοχή τους, χαρακτηρίζονται από εξαιρετική ανθεκτικότητα σε δυσμενείς χημικές επιδράσεις (βλ. πιν.1). Λόγω δε της πολύ ικανοποιητικής συμπεριφοράς τους σε μια σειρά πεδίων εφαρμογής (αεροναυπηγική, αυτοκινητοβιομηχανία, σκάφη θαλάσσης, είδη σπόρ κ.ά.), τα τελευταία χρόνια άρχισαν να χρησιμοποιούνται και σε εφαρμογές του πολιτικού μηχανικού, είτε σε αντικατάσταση του χάλυβα είτε και σε εντελώς νέες εφαρμογές.

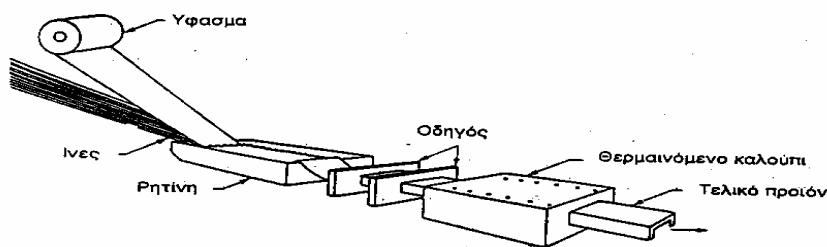
	Άνθρακας	Αραμίδης	Γυαλί	Πολυαιθυλένιο	Χάλυβας
Υδροχλωρικό οξύ	1	4	4	1	4
Νιτρικό οξύ	1	4	4	1	4
Θαλασσινό νερό	1	2	3	1	4
Βενζίνη	1	1	1	1	1
Διοξείδιο του άνθρακα	1	1	1	1	1

1. Πολύ ικανοποιητική 2. Ικανοποιητική 3. Μέτρια 4. Χαμηλή
Πιν.1 – Ανθεκτικότητα των FRP έναντι διαφόρων χημικών.

2. ΓΕΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ_[2]

2.1 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ

Τα σύνθετα υλικά που βρίσκουν εφαρμογές στα τεχνικά έργα παρασκευάζονται συνήθως με αυτοματοποιημένες μεθόδους παραγωγής, όπως είναι η εκβολή (pultrusion): Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, οι ίνες αρχικά εμποτίζονται με ρητίνη και κατόπιν ωθούνται μέσα σε καλούπι που έχει σχήμα ίδιο με αυτό της επιθυμητής τελικής διατομής του στοιχείου (π.χ. κυκλική οπή, για τένοντες κυκλικής διατομής). Το καλούπι εμποτίζεται με πρόσθετη ρητίνη και θερμαίνεται, ώστε να επιτευχθεί η σκλήρυνση της ρητίνης και να πάρει το στοιχείο την τελική του μορφή (βλ. σχ.3). Άλλες μέθοδοι παρασκευής περιλαμβάνουν τη συνδυασμένη εφαρμογή αλεπάλληλων στρώσεων ινών (π.χ. σε μορφή υφασμάτων), αυτό θα αναπτυχθεί στη συνέχεια, και ρητίνης σε καλούπια, που μπορεί να είναι ανοιχτού ή κλειστού τύπου. Η εφαρμογή των στρώσεων αυτών μπορεί να γίνει είτε με το χέρι (βλ. κατασκευαστικές λεπτομέρειες – τοποθέτηση), είτε βάσει αυτοματοποιημένων τεχνικών (π.χ. Hull 1981). Ας σημειωθεί ότι στο μητρικό υλικό προστίθενται καμιά φορά και διάφορες προσμίξεις, με σκοπό τη βελτίωση της ανθεκτικότητας του σύνθετου υλικού σε διάρκεια (π.χ. προσμίξεις κατά της φθοράς λόγω υπερϊώδους ακτινοβολίας), την επιβράδυνση της καύσης κ.τ.λ. (π.χ. Hollaway 1990).



(σχ.3 – Παρασκευή σύνθετων υλικών με τη μέθοδο της εκβολής)

2.2 ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Το μητρικό υλικό των σύνθετων είναι συνήθως θερμοσκληρυνόμενο, δηλαδή ανήκει στην κατηγορία πολυμερών των οποίων οι ιδιότητες δεν επηρεάζονται από τη μεταβολή της θερμοκρασίας (π.χ. δεν μαλακώνουν σε υψηλές θερμοκρασίες). Τέτοια υλικά χαρακτηρίζονται από πυκνότητα 1100-1500 kg/m³, μέτρο ελαστικότητας 2-6 GPa, λόγο Poisson περίπου ίσο με 0,4, εφελκυστική αντοχή 100-250 MPa, παραμόρφωση θραύσης 1-6% και συντελεστή θερμικής διαστολής 60-200x10⁻⁶/°C.

Για τις ίνες ισχύουν (προσεγγιστικά) οι ιδιότητες του πιν.2. Πρόσθετα αναφέρεται ότι ο συντελεστής θερμικής διαστολής για το γυαλί είναι 5x10⁻⁶/°C, για την αραμίδη είναι περίπου -0,2x10⁻⁶/°C στην αξονική διεύθυνση και 60x10⁻⁶/°C στην ακτινική, και για τον άνθρακα κυμαίνεται μεταξύ -0,1x10⁻⁶/°C και -1,2x10⁻⁶/°C στην αξονική διεύθυνση και 7-12x10⁻⁶/°C στην ακτινική (σημειώνεται ότι η αραμίδη και ο άνθρακας είναι υλικά ανισότροπα).

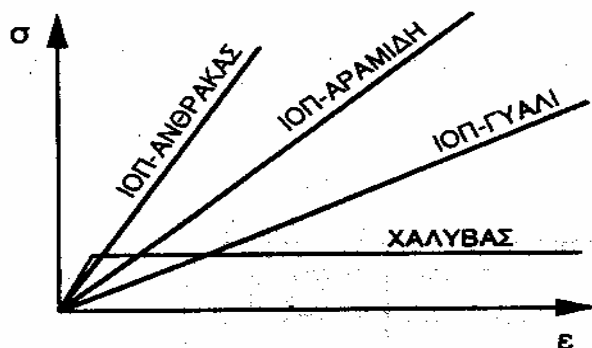
Για τη συνηθέστερη σήμερα περίπτωση που τα σύνθετα υλικά αποτελούνται από συνεχείς ίνες μίας διεύθυνσης σε αναλογία 50-70% κατ' όγκο, οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών αυτών συγκρίνονται (προσεγγιστικά) ως εξής με αυτές του χάλυβα: μέτρο ελαστικότητας 50GPa, 65-120GPa και 135-190 GPa, και παραμόρφωση θραύσης 3%, 2-3%, 1-1,5% για υλικά με ίνες γυαλιού, αραμίδης και άνθρακα, αντίστοιχα, έναντι 200GPa και 10% περίπου για χάλυβα (η τελευταία τιμή είναι της τάξης των 1400-2100 MPa (έναντι, π.χ., 400MPa ή 1700MPa για κοινό χάλυβα ή χάλυβα προέντασης, αντίστοιχα) σε βραχυχρόνια φόρτιση, μειώνεται στο 35-50%, 50-60% και 70-90% της αρχικής τιμής για ίνες γυαλιού, αραμίδης και άνθρακα, αντίστοιχα, όταν η φόρτιση είναι μακροχρόνια. Τυπικές σχέσεις τάσης- παραμόρφωσης για σύνθετα υλικά (και για κοινό χάλυβα, για σύγκριση) σε εφελκυσμό δίνει το σχ.4.

Ειδικά για τα σύνθετα υλικά με συνεχείς ίνες μίας διεύθυνσης μπορεί εύκολα να δείξει μανείς βάσει απλών σχέσεων ισορροπίας και συμβιβαστού των παραμορφώσεων ότι το μέτρο ελαστικότητας E_{fc} δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$E_{fc} = E_m V_m + E_f V_f \quad (1)$$

Στην παραπάνω σχέση E_m και E_f είναι το μέτρο ελαστικότητας του μητρικού υλικού και των ινών, αντίστοιχα. Ομοίως, V_m και V_f είναι το ποσοστό κατ' όγκο του μητρικού υλικού και των ινών, αντίστοιχα ($V_m + V_f = 1$). Έτσι, δεδομένου ότι $E_f \gg E_m$, γίνεται προφανές ότι το μέτρο ελαστικότητας του σύνθετου υλικού ισούται προσεγγιστικά με αυτό των ινών πολλαπλασιασμένο επί την κατ' όγκο αναλογία τους.

Η εξ.(1) ισχύει προσεγγιστικά και για την εφελκυστική αντοχή, αρκεί τα μέτρα ελαστικότητας να αντικατασταθούν από τις αντίστοιχες εφελκυστικές αντοχές.



(σχ.4 – Σχέσεις τάσης- παραμόρφωση για σύνθετα υλικά σε εφελκυσμό)

Ίνες	Πυκνότητα (kg/m ³ x 10 ³)	Μέτρο ελαστικ. (GPa)	Λόγος Poisson (-)	Εφελκυστ. αντοχή (MPa)	Παραμορφ. θραύσης (%)
Χάλυβας	7.86	200	0.28	700-2000	3.5
Γυαλί E	2.54	72-75	0.25	3500	4.8
Γυαλί AR ¹	2.27	70-76	0.25	2000-3500	3-4.6
Αραμίδη					
Κέβλαρ ² 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 ϵ	1.90	230	0.35	2600	1.2

¹ AR: ανθεκτικό σε αλκάλια

² Κέβλαρ: τύπος αραμίδης, προϊόν της εταιρείας Dupont.

Πιν.2 – Τυπικές ιδιότητες ινών

3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ FRP^[5]

Σε περιπτώσεις ενίσχυσης δοκών σε κάμψη, τα ινο-οπλισμένα πλαστικά τοποθετούνται στο κάτω πέδιλο, παράλληλα στην διεύθυνση του ήδη υπάρχοντος χαλύβδινου οπλισμού.

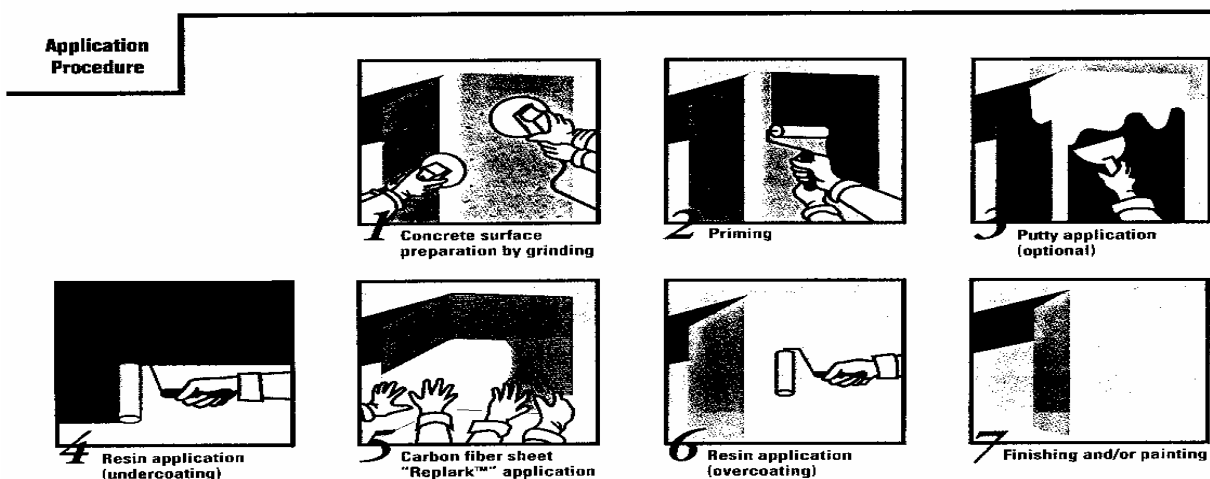
Σε περιπτώσεις υποστηλωμάτων, η ενίσχυση γίνεται τυλίγοντας λωρίδες με το απαραίτητο μήκος και πλάτος γύρω από τα υποστηλώματα, είτε κατά την μια είτε και κατά τις δύο διευθύνσεις. Τα στάδια της απαραίτητης προεργασίας, (τοποθέτηση – επικόλληση των FRP) περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω:

Πριν από την συγκόλληση των σύνθετων υλικών πρέπει πρώτα οι επιφάνειες στις οποίες θα επικολληθούν να "αγριεύονται", κάτι που μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, όπως π.χ. με αμμοβολή, πεπιεσμένο νερό ή με καλέμι. Η επιδερμική στρώση σκυροδέματος πρέπει να απομακρυνθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε τα αδρανή να γίνουν ορατά. Στη συνέχεια λειαίνουμε τις γωνίες των δοκών ή των υποστηλωμάτων για να μην "πληγωθούν" οι ίνες των σύνθετων υλικών, ώστε να αποκτήσουν γωνία καμπυλότητας ίση με $r=3\text{cm}$ (βλ. σχ.5.1).

Επόμενο στάδιο είναι ο καθαρισμός της επιφάνειας από την σκόνη και η διαβροχή της με νερό. Η διαδικασία αυτή ακολουθείται ανεξαρτήτως του σύνθετου υλικού που χρησιμοποιούμε, ενώ εν συνεχεία ο τρόπος επικόλλησής τους διαφέρει, όσον αφορά το είδος της ρητίνης που χρησιμοποιούμε και την αναλογία των συστατικών της. Ενδεικτικά παρατίθεται η παρακάτω διαδικασία για τα CFRP (ΙΟΠ από άνθρακα):

Αρχικά εφαρμόζουμε στην επιφάνεια ένα παχύρευστο υλικό, το οποίο είναι συνήθως εποξειδικός στόκος, αποτελούμενο από δύο συστατικά με συγκεκριμένη αναλογία και χαρακτηριστικά, όπως χρόνος εργασιμότητας (2-3hr), που δίνονται από τον προμηθευτή (βλ. σχ.5.2 – σχ.5.3). Μετά το τ'ελος 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 λεπτόρευστης εποξειδικής ρητίνης (βλ. σχ.5.4), επίσης με συγκεκριμένη αναλογία και

χαρακτηριστικά και επάνω σε αυτό, αφού περάσει ένα κατάλληλο χρονικό διάστημα της τάξης των 20min, επικολλούμε το CFRP (βλ. σχ.5.5), αφού όμως πρώτα το έχουμε καθαρίσει με ασετόν. Μετά από 20-60min αποκαλύπτουμε τις ίνες αφαιρώντας το προστατευτικό κάλυμμα και τοποθετούμε πάνω σε αυτές ένα δεύτερο στρώμα της ίδιας εποξειδικής ρητίνης (βλ. σχ.5.6). Ωστόσο η χρήση της ρητίνης θα πρέπει να αποφεύγεται, όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από 41⁰F ή υπάρχει κίνδυνος διαβροχής της ρητίνης.



(σχ.5)

4. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΩΝ FRP ΣΤΙΣ ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΕΝΑΝΤΙ ΤΩΝ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ^{[2][3][4]}

4.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Εύκολη και γρήγορη εγκατάσταση, που οφείλεται στο χαμηλό του βάρος (πολύ μικρότερο από αυτό του χάλυβα), στη μη τοποθέτηση ικριωμάτων, στη χρησιμοποίηση ανειδίκευτου, αλλά απλώς εκπαιδευμένου προσωπικού.
- Είναι σύστημα ενίσχυσης που μπορεί να εφαρμοστεί σε πάσης φύσεως διατομές.
- Η εγκατάσταση δεν προκαλεί κίνδυνο φθοράς ή αποδυνάμωση της υφιστάμενης κατασκευής, δεν αυξάνει το βάρος της κατασκευής και δεν επηρεάζει τα φαινόμενα ερπυσμού.
- Ενισχύει την περιοχή της βάσης, έτσι ώστε μη ικανοποιητικό μάτισμα οπλισμών στη σύνδεση του θεμελίου, να μην επιφέρει αδυναμία στο σύστημα.
- Αυξάνει την καμπτική, διατμητική αντοχή και πλαστιμότητα των υποστηλωμάτων και των δοκών.
- Η αύξηση της ακαμψίας είναι μικρότερη από αυτή ενός πλήρους μεταλλικού μανδύα. Συνεπώς παραλαμβάνει μικρότερη σεισμική δύναμη.
- Δεν έχουν ανάγκη προστασίας έναντι διάβρωσης ή άλλων περιβαλλοντικών επιδράσεων.

- Δεν αλλοιώνουν τις διαστάσεις, την αρχιτεκτονική και την αισθητική του κτιρίου (π.χ. σε επεμβάσεις σε κτίρια σημαντικής αρχιτεκτονικής και ιστορικής αξίας).
- Είναι διαθέσιμα σε μεγάλα μήκη σε αντίθεση με τα χαλύβδινα ελάσματα και τις χαλύβδινες βέργες οπλισμού, που διατίθενται σε περιορισμένα μήκη.

4.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Τα σύνθετα υλικά είναι μερικές φορές ευάλλωτα σε περιβαλλοντικές επιδράσεις, όπως π.χ. η υγρασία, η δράση χημικών, οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας και η υπεριώδης ακτινοβολία. Οι επιδράσεις αυτές ενδέχεται υπό ορισμένες προϋποθέσεις, να προκαλέσουν πρόωρη αστοχία. Ο γενικός κανόνας είναι ότι τα σύνθετα υλικά με ίνες άνθρακα έχουν εξαιρετική ανθεκτικότητα στις παραπάνω επιδράσεις, αυτά με ίνες γυαλιού είναι αρκετά ευαίσθητα, ενώ τα πολυμερή με ίνες αραμιδής χαρακτηρίζονται από ενδιάμεση συμπεριφορά. Αξίζει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην καταστροφική δράση μερικών χημικών, όπως είναι τα αλκάλια, στα πολυμερή με ίνες γυαλιού (κυρίως τύπου E) και στη δυσμενή επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας στα πολυμερή με ίνες αραμιδής.
- Με μέτρο σύγκρισης την εφελκυστική αντοχή σε μακροχρόνια φόρτιση, ο λόγος κόστους των υλικών προς αυτό του κοινού χάλυβα είναι περίπου 3, 6 και 5 για υλικά με ίνες γυαλιού, αραμιδής και άνθρακα, αντίστοιχα. Ωστόσο οι τιμές αυτές μειώνονται σημαντικά όταν η σύγκριση γίνει με χάλυβα υψηλής αντοχής (π.χ. προέντασης) και ακόμα περισσότερο όταν γίνει με ανοξειδωτο ή γαλβανισμένο χάλυβα. Αν μάλιστα θεωρήσει κανείς το συνολικό κόστος γίνονται ευνοϊκές για τα σύνθετα υλικά. Τέλος, οι σύγχρονες τάσεις της αγοράς δείχνουν ότι οι τιμές των υλικών αυτών μειώνονται σημαντικά με την αύξηση του όγκου παραγωγής και με την πρόοδο της τεχνολογίας. Στην Ιαπωνία μόνο, ο αγοραστικός όγκος των σύνθετων υλικών με ίνες γυαλιού αναμένεται να αυξηθεί από 3,7 δισ. Δολάρια το 1987 σε 10,6 δισ. Δολάρια το 2000. Οι αντίστοιχες τιμές για τα σύνθετα υλικά με ίνες άνθρακα είναι 0,3 δισ. και 1,5 δισ. (Mufti et al. 1992).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Σ.Η.Δρίτσος : "Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα", Πάτρα 1997
2. Θανάσης Χ. Τριανταφύλλου : "Προηγμένες τεχνολογίες υλικών και κατασκευών", Πάτρα 1998
3. Dr. Peter Robery, Craig Innes : "Carbon fibre strengthening of concrete structures"
4. Jorge H. Sallaveria, Joan R. Cassas, Angel C. Aparicio : "Experimental study on the use of aramid composites of repair and strengthening of existing bridges"
5. Mitsubishi Chemical Corporation : "Replark system design guideline"