

## **ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΩΝ ΜΕ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΠΛΑΣΤΙΚΑ (F.R.P.)**

**ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ**

### **Περίληψη**

*Θέμα της παρούσας εργασίας είναι η χρήση των πολυμερών και των σύνθετων υλικών στην κατασκευή και ενίσχυση των τεχνικών έργων και ειδικότερα στον τομέα της ενίσχυσης των δοκών. Αναφέρονται οι ιδιότητες καθώς και οι λόγοι της ευρείας χρήσης των παραπάνω υλικών. Όσον αφορά τις δοκούς παρουσιάζεται ο μηχανισμός αστοχίας όπως επίσης και κάποιες οδηγίες για τη σωστή εφαρμογή τους.*

### **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

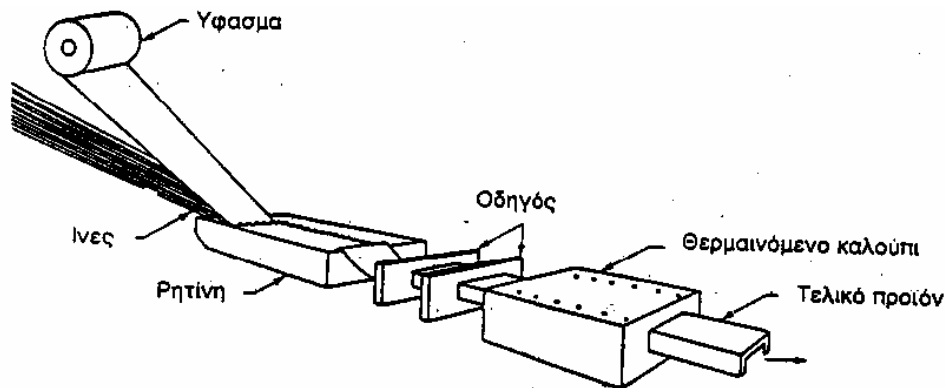
Οι επεμβάσεις ενίσχυσης των κατασκευών με τα υλικά αυτά αποτελούν σήμερα μια αποτελεσματική μέθοδο για την αντιμετώπιση πάσης φύσεως κατασκευαστικών βλαβών και ατελειών. Αποδεικνύει την εξελεγκτική πορεία της τεχνολογίας που προχωρά με ολόένα και μεγαλύτερη εφαρμογή τους, με πρώτες εφαρμογές των ινοπλισμένων πολυμερή πλαστικών να αναφέρονται στις αρχές του 1990. Τα σύνθετα υλικά, αρχικά εφαρμόστηκαν για την ενίσχυση γεφυρών στις Η.Π.Α. Και ακολούθως για την ενίσχυση κτιριακών κατασκευών. Σήμερα τα υλικά αυτά έχουν εφαρμοστεί στις ενισχύσεις πάσης φύσεως τεχνικών έργων τόσο σε κράτη της Αμερικής, της Ασίας και της Ευρώπης συμπεριλαμβανομένης και της χώρας μας. Η χρήση των F.R.P. για την ενίσχυση κατασκευών μπορεί να θεωρηθεί ως η φυσική εξέλιξη των ενισχύσεων με μεταλλικά ελάσματα. Ενώ παλιότερα χρησιμοποιούσαν ίνες χάλυβα, σήμερα χρησιμοποιούν ίνες πολυμερών.

### **2. ΓΕΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ [1]**

#### **2.1 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ**

Τα σύνθετα υλικά που βρίσκουν εφαρμογές στα τεχνικά έργα παρασκευάζονται συνήθως με αυτοματοποιημένες μεθόδους παραγωγής, όπως είναι η εκβολή. 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 τη τελική του μορφή (σχ.1). Άλλες μέθοδοι παρασκευής περιλαμβάνουν τη συνδυασμένη εφαρμογή αλληπάλληλων στρώσεων ινών (π.χ. σε μορφή υφασμάτων) και ρητίνης σε καλούπια που μπορεί να είναι ανοικτού ή κλειστού τύπου. Η εφαρμογή των στρώσεων αυτών μπορεί να γίνει είτε με το χέρι, είτε βάση 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 υπερϊώδους ακτινοβολίας), την επιβράνδωση της καύσης κ.τ.λ. (π.χ. Hollaway 1990).



Σχ.1 Παρασκευή σύνθετων υλικών με τη μέθοδο της εκβολής, από [1]

## 2.2 ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ [1],[2]

Το μητρικό υλικό των σύνθετων υλικών 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/m<sup>3</sup>, 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<sup>-6</sup>/oC.

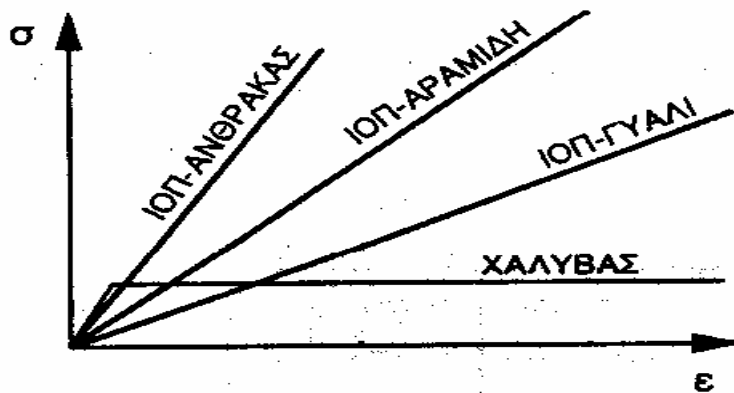
Για τις ίνες ισχύουν (προσεγγιστικά) οι ιδιότητες του πιν.1. Πρόσθετα αναφέρεται ότι ο συντελεστής θερμικής διαστολής για το γυαλί είναι 5x10<sup>-6</sup>/oC, για την αραμίδη είναι περίπου - 0,2x10<sup>-6</sup>/oC στην αξονική διεύθυνση και 60x10<sup>-6</sup>/oC στην ακτινική, και για τον άνθρακα κυμαίνεται μεταξύ -0,1x10<sup>-6</sup>/oC και -1,2x10<sup>-6</sup>/oC στην αξονική διεύθυνση και 7-12x10<sup>-6</sup>/oC 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 περίπου 3-5% για χάλυβα υψηλής αντοχής). Η εφελκυστική αντοχή, που 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.2.Ειδικά για τα σύνθετα υλικά με συνεχείς ίνες μίας διεύθυνσης μπορεί εύκολα να δείξει κανείς βάσει απλών σχέσεων ισορροπίας και συμβιβαστού των παραμορφώσεων ότι το μέτρο ελαστικότητας  $E_{fc}$  δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

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

Στην παραπάνω σχέση  $E_m$  και  $E_f$  είναι το μέτρο ελαστικότητας 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.2 Σχέσεις τάσης-παραμόρφωση για σύνθετα υλικά σε εφελκυσμό, από [1]

Ινες	Πυκνότητα ( $\text{kg/m}^3 \times 10^3$ )	Μέτρο ελαστικ. (GPa)	Λόγος Poisson (-)	Εφελκυστ. αντοχή (MPa)	Παραμορφ. θραύσης (%)
Χάλυβας	7.86	200	0.28	700-2000	3.5
Γυαλί Ε	2.54	72-75	0.25	3500	4.8
Γυαλί ΑR <sup>1</sup>	2.27	70-76	0.26	2000-3500	3-4.6
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 Ε	1.90	380	0.35	1800	0.5
υψηλής $\epsilon_f$	1.90	230	0.35	2600	1.2

1 AR: ανθεκτικό σε αλκάλια

2 Κέβλαρ: τύπος αραμίδης, προϊόν της εταιρείας Dupont.

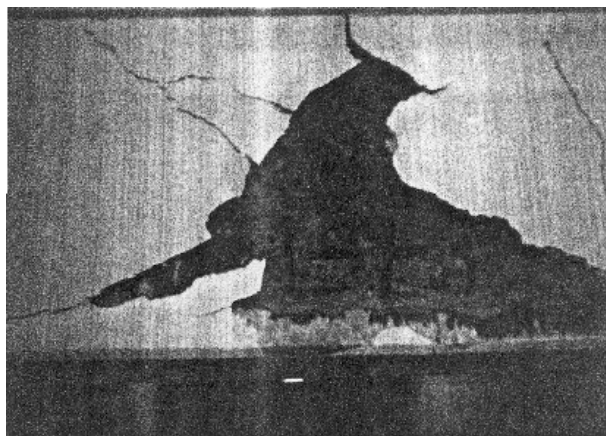
Πιν. 1 – Τυπικές ιδιότητες ινών, από [1]

### 3. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΩΝ ΣΕ ΚΑΜΨΗ, ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΚΑΙ ΤΕΜΝΟΥΣΑ

#### 3.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ [1],[3]

Οι βλάβες στις δοκούς, προερχόμενες από καμπτικές εντάσεις, εμφανίζονται με τις εξής μορφές (βλ. Σχ.3) :

- α) Πολλές ρωγμές μεγάλου πλάτους λόγω της διαρροής του εφελκυσμένου χάλυβα, συγκεντρωμένες σε μια περιοχή της δοκού στην οποία αναπτύσσονται μέγιστες ροπές κάμψης.
- β) Καμπτικές βλάβες στο πάνω πέλμα της δοκού αρκετά κοντά στις στηρίξεις.
- γ) Εγκάρσιες ρωγμές στο κάτω πέλμα κοντά στις στηρίξεις, που οφείλονται σε καμπτική αστοχία της διατομής από διαρροή εφελκυσμού στο κάτω πέλμα ή από ανεπαρκής αγκύρωση του κάτω πέλματος.



Σχ.3 Βλάβες σε δοκό από καμπτικές εντάσεις, από [3]

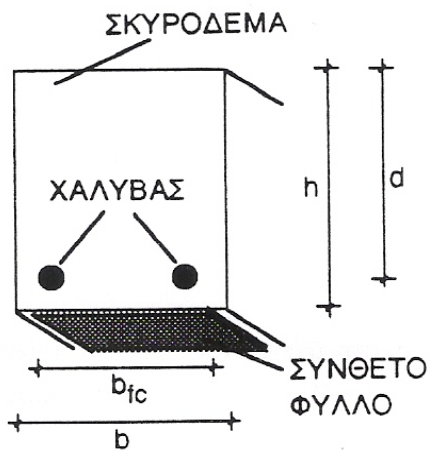
Αναλυτικότερα, παίρνοντας μία τυπική δοκό οπλισμένου σκυροδέματος, ενισχυμένη σε κάμψη με φύλλο σύνθετου υλικού, όπως στο Σχ.4, ανάλογα με το ποσοστό εξωτερικού οπλισμού, η δοκός μπορεί να αστοχήσει με πολλούς διαφορετικούς μηχανισμούς. Αν τα ποσοστά υπάρχοντος και εξωτερικού οπλισμού ( $P_{fc}$ ) είναι σχετικά μικρά, η αστοχία οφείλεται σε θραύση του ινοπλισμένου πολυμερούς, της οποίας έχει ήδη προηγηθεί διαρροή του χάλυβα. Αν το ποσοστό του εξωτερικού οπλισμού είναι σχετικά υψηλό, η αστοχία οφείλεται σε θραύση του σκυροδέματος ενώ ο χάλυβας μπορεί ήδη να έχει διαρρεύσει, ανάλογα με το ποσοστό του. Οι ροπές σχεδιασμού για τις παραπάνω μορφές αστοχίας υπολογίζονται από ισορροπία δυνάμεων και ροπών για τη διατομή και με βάση τους καταστατικούς νόμους των υλικών για μονοαξονική ένταση.

Επίσης θα πρέπει να αναφερθούν και οι μηχανισμοί αστοχίας λόγω απώλειας συνάφειας. Με βάση τον κ. Τριανταφύλλου [1], έχουμε τις παρακάτω περιπτώσεις:

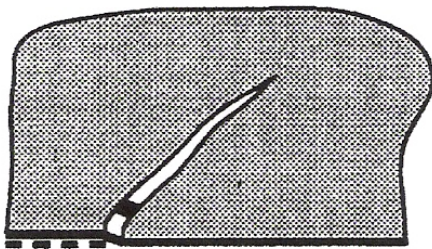
α) Οριζόντιες ρωγμές στη διεπιφάνεια μεταξύ σκυροδέματος και ινοπλισμένου πολυμερούσεξαιτίας ατελειών στην εφαρμογή της εποξειδικής ρητίνης, ανάπτυξης κατακόρυφων ρωγμών λόγω κάμψης ή τοπικής αποκόλλησης του ινοπλισμένου πολυμερούς όταν η επιφάνεια του σκυροδέματος δεν είναι απολύτως επίπεδη.

β) Αποκόλληση του ινοπλισμένου πολυμερούς λόγω του κατακόρυφου και οριζοντίου ανοίγματος ενδεχόμενων λοξών (διαμητικών) ρωγμών Σχ.5.

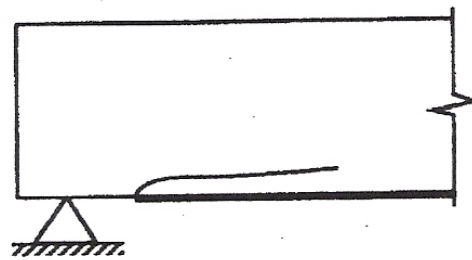
γ) Διαμητική αστοχία της στρώσης του σκυροδέματος μεταξύ του οπλισμού ενίσχυσης και του υπάρχοντος διαμήκους οπλισμού, στην περιοχή αγκύρωσης του σύνθετου υλικού Σχ.6.



Σχ.4 ( Ενίσχυση δοκού σε κάμψη με φύλλο σύνθετου υλικού ), από [1]



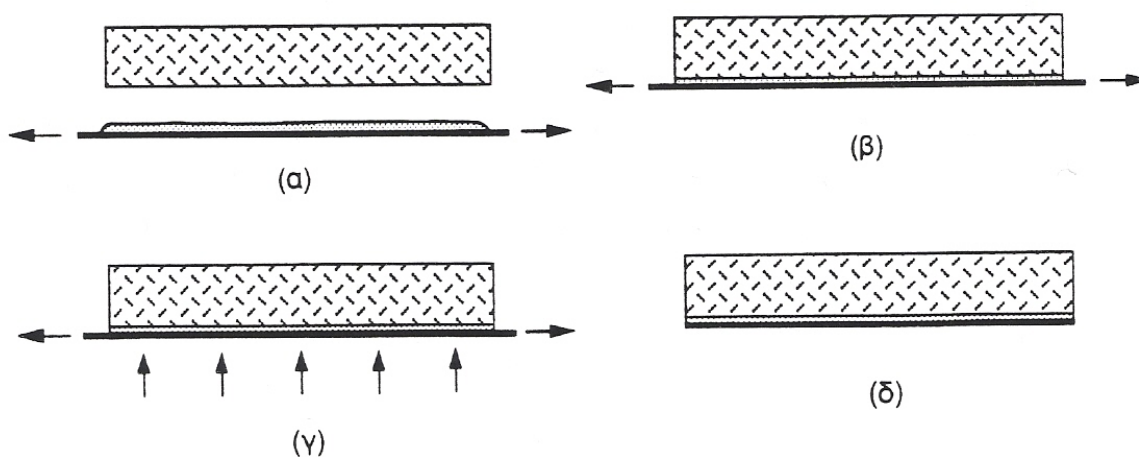
Σχ.5 ( Αποκόλληση σύνθετου φύλλου λόγω διαμητικής ρωγμής), από [1]



Σχ.6 ( Διαμητική αστοχία στρώσης σκυροδέματος), από [1]

### 3.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗ [1]

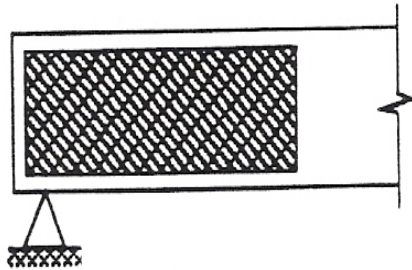
Όταν η ενίσχυση δοκών αποσκοπεί ιδιαίτερα στη βελτίωση της λειτουργικότητας μέσω του ελέγχου ρηγματώσης των μελών, τα φύλλα σύνθετων υλικών μπορούν να εφαρμοστούν αφού πρώτα προενταθούν. Έτσι, τόσο οι τάσεις στις διαμήκεις ράβδους οπλισμού όσο και ο αριθμός και τα πλάτη των καμπτικών ρωγμών μειώνονται. Η μείωση του πλάτους των ρωγμών έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη λειτουργικότητα και τη μείωση της πιθανότητας αστοχίας του στοιχείου λόγω αποκόλλησης του φύλλου σύνθετων υλικών. Μετά την προετοιμασία των επιφανειών του σκυροδέματος και του φύλλου των σύνθετων υλικών το τελευταίο προεντίνεται με αγκύρωση των άκρων του μεταξύ μεταλλικών πλακών. Έπειτα εφαρμόζεται εποξειδική ρητίνη στο σύνθετο υλικό, το οποίο εφαρμόζεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος και παραμένει υπό μικρή πίεση ώσπου να σκληρυνθεί η ρητίνη, οπότε αποκόπτονται τα δύο άκρα του. Η διαδικασία εφαρμογής προεντεταμένων φύλλων εικονίζεται στο Σχ.7.



Σχ.7 ( Ενίσχυση δοκών με προένταση ), από [1]

### 3.3 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ [1]

Τα ινοπλισμένα συνθετικά φύλλα, σύμφωνα με τον κ. Τριανταφύλλου, μπορούν επίσης να εφαρμοσθούν σαν εξωτερικός οπλισμός ενίσχυσης δοκών σε διάτμηση κατά αναλογία με τα χαλυβοελάσματα, όπως στο Σχ.8. Η διαστασιολόγηση των σύνθετων υλικών στην περίπτωση αυτή, εξαιτίας της πολυπλοκότητας των τάσεων που καλούνται να μεταφέρουν, απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Επίσης επιβάλλεται η χρήση ινών σε δύο διευθύνσεις μιας και έχουμε επίπεδη εντατική κατάσταση.



Σχ.8 ( Ενίσχυση δοκών σε διάτμηση με σύνθετα υλικά ), από [1]

Η συμμετοχή του f.r.p. στην αντοχή σε τέμνουσα δίνεται από τον παρακάτω τύπο :

$V_{fpr, d} = 0,9 \cdot \rho_{fpr} \cdot E_{fpr} \cdot \varepsilon_{fpr, e} \cdot b_w \cdot d \cdot (1 + \cot \beta) \cdot \sin \beta / \gamma_{fpr}$  όπου :

Για  $0 < \rho_{fpr} \cdot E_{fpr} < 1$        $\varepsilon_{fpr, e} = 0,0119 - 0,0205 \cdot (\rho_{fpr} \cdot E_{fpr}) + 0,0104 \cdot (\rho_{fpr} \cdot E_{fpr})^2$   
Για  $\rho_{fpr} \cdot E_{fpr} > 1$        $\varepsilon_{fpr, e} = - 0,00065 \cdot (\rho_{fpr} \cdot E_{fpr}) + 0,00245$

όπου :

$\rho_{fpr}$  : γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού ενίσχυσης

$E_{fpr}$  : μέτρο ελαστικότητας συνθέτου υλικού

$\varepsilon_{fpr, e}$  : ενεργή παραμόρφωση

$b_w, d$  : πλάτος και στατικό ύψος της διατομής

$\beta$  : γωνία μεταξύ διεύθυνσης ινών και άξονα στοιχείου

$\gamma_{fpr}$  : μερικός συντελεστής ασφάλειας του fpr σε μονοαξονικό εφεκυσμό (1, 15 για CFRP, 1,20 για AFRP και 1, 25 για GFRP).

Όλα είναι δεδομένα εκτός από την ενεργή παραμόρφωση, η οποία υπολογίζεται πειραματικά. Η τιμή της εξαρτάται κυρίως από την αξονική δυσκαμψία των οπλισμών ενίσχυσης στην κύρια διεύθυνση των ινών. Οι παραπάνω σχέσεις ισχύουν για ορθογωνικές διατομές.

#### 4. ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ MBrace F.R.P.[4]

Η οικογένεια των ινοπλισμένων πολυμερών MBrace, αποτελείται από υφάσματα κατασκευασμένα από ίνες άνθρακα, γυαλιού ή αραμίδιου, τα οποία εμποτίζονται επί τόπου με ένα σύστημα εποξειδικών ρητινών (Wet LayUp). Το σύστημα ινοπλισμένων πολυμερών MBrace, προσδίδει πολύ μεγάλη εφελκυστική αντοχή (μεγαλύτερη και από τις ράβδους σιδηρού οπλισμού που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία προκατασκευής) και συνιστάται για ενίσχυση σε κάμψη και διάτμηση δοκών οπλισμένου σκυροδέματος.

### ΤΥΠΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΥΛΙΚΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

	E	ρ	f <sub>v</sub>	f <sub>t</sub>	E <sub>α</sub>
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ F <sub>ck</sub> = 30 MPa	25000	2400	—	2-3	0,02
ΧΑΛΥΒΑΣ					
• Fe B 44K	206000	7850	440	550	>20
• Οπλισμός για προκατασκευη	206000	7850	1220	1900	>5
MBrace FIBRE C1-30 (Ανθρακας υψηλής αντοχής)	230000	1820	-	3430	1,5
MBrace FIBRE C5-30 (Ανθρακας υψηλού μέτρου ελαστικότητας)	390000	1820	-	3000	0,8
MBrace FIBRE C8-30 (Ανθρακας πολύ υψηλού μέτρου ελαστικότητας)	640000	2100	-	1900	0,3
MBrace FIBRE G-60AR	65000	2600	-	1700	2,8

όπου :

E το μέτρο ελαστικότητας [MPa], ρ η πυκνότητα [kg\*m<sup>-3</sup>], f<sub>v</sub> η τάση διαρροής [MPa], f<sub>t</sub> η μέγιστη εφελκυστική αντοχή [MPa], e<sub>α</sub> η μέγιστη παραμόρφωση (%).

#### 4.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

1. Μετά την εφαρμογή μιάς στρώσης εποξειδικής ρητίνης εμποτισμού ξετυλίξτε και τεντώστε το ύφασμα.



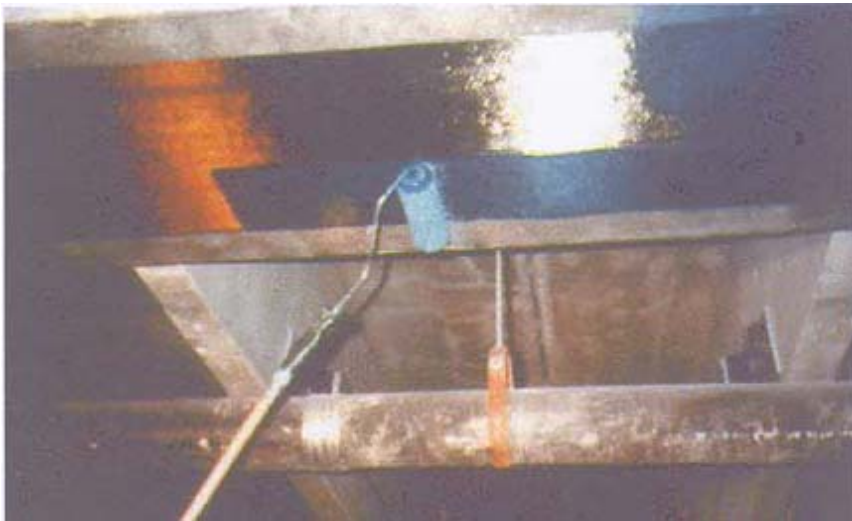
ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΩΝ ΜΕ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΠΛΑΣΤΙΚΑ (F.R.P.)



2. Αφαιρέστε το προστατευτικό φύλλο χαρτιού και τοποθετήστε το ύφασμα πάνω στην προς επισκευή επιφάνεια.



3. Χρησιμοποιώντας το ειδικό ρολό, ασκήστε μία συνεχή πίεση πάνω στο ύφασμα κινούμενοι εμπρός και πίσω κατά τη διεύθυνση των ινών, μέχρι το φύλλο να εμποτιστεί πλήρως από τη ρητίνη.



4. Περιμένετε περίπου 30 λεπτά.
5. Εφαρμόστε τη δεύτερη στρώση ρητίνης
6. Επαναλάβετε τα στάδια (2)-(5) για κάθε στρώση υφάσματος που έχει υπολογισθεί για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Οι παραπάνω φωτογραφίες προέρχονται απο την εταιρία Degussa C.C. , [4]

Τα προϊόντα θα πρέπει να αποθηκεύονται σε κλειστό, αεριζόμενο και ξηρό χώρο, μακριά από ηλιακό φως και φωτιά. Τέλος οι εφαρμοστές θα πρέπει να χρησιμοποιούν προστατευτικές φόρμες εργασίας, έτσι ώστε η επαφή με τις ρητίνες και τις ίνες να περιορίζονται στο ελάχιστο.

## **5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ [1],[3]**

Τα πλεονεκτήματα των σύνθετων υλικών έναντι των «παραδοσιακών» μεθόδων ενίσχυσης είναι τα εξής :

1. Η εφαρμογή των σύνθετων υλικών απαιτεί μικρή προετοιμασία στο εργοτάξιο. Δημιουργεί ελάχιστη όχληση στους χρήστες γιατί κατά κανόνα δεν απαιτεί εκκένωση του προς επισκευή χώρου. Η εφαρμογή των σύνθετων υλικών γίνεται ουσιαστικά όπως η τοποθέτηση ταπετσαρίας σε τοίχο. Απαιτεί ελάχιστη προετοιμασία των δομικών στοιχείων που στις περισσότερες περιπτώσεις περιορίζονται στην καθαίρεση των επιχρισμάτων.
2. Λόγω του μικρού πάχους του σύνθετου υλικού, 1.00 έως 2.00χιλ. πάχος στρώσης, οι διαστάσεις του δομικού στοιχείου που ενισχύεται παραμένουν ουσιαστικά αμετάβλητες γεγονός που, σε συνδυασμό με το μικρό χώρο που απαιτείται για την εφαρμογή των υλικών, καθιστά τη χρήση σύνθετων υλικών άκρως ανταγωνιστική όταν υπάρχει περιορισμός χώρου.
3. Τα σύνθετα υλικά έχουν μικρό βάρος και η τοποθέτησή τους δεν απαιτεί βαρύ ή ειδικό εξοπλισμό χωρίς επίσης να αυξάνουν το ίδιο βάρος της δοκού.
4. Τα σύνθετα υλικά μπορούν να επιχριστούν και να χρωματιστούν σύμφωνα με τις αισθητικές του έργου.
5. Το κόστος εφαρμογής των σύνθετων υλικών είναι εφάμιλλο των «παραδοσιακών» μεθόδων, εάν δε κανείς συνυπολογίσει το ήπιο της επέμβασης (όσον αφορά στην προετοιμασία του εργοταξίου και των επιφανειών των προς ενίσχυση δομικών στοιχείων) και επιπλέον την πρακτικά μηδαμινή αλλοίωση της αρχιτεκτονικής και του χώρου γενικότερα, τα πλεονεκτήματα της μεθόδου γίνονται εμφανέστερα.
6. Μπορούν να αναπτύξουν μεγάλες ελαστικές παραμορφώσεις και δεν χρειάζονται προστασία έναντι διάβρωσης

**Σαν μειονεκτήματα** μπορούν να αναφερθούν η μεγάλη ευπάθεια τους στη φωτιά (που όμως μπορεί να αντιμετωπισθεί είτε με χρήση χημικών προσθέτων, είτε με χημική μεταβολή των πολυμερικών αλυσίδων), καθώς και η έλλειψη εξειδικευμένων και κατάλληλα εξοπλισμένων συνεργείων στην Ελλάδα.

**Γενικά**, η χρήση των σύνθετων υλικών στην επισκευή και ενίσχυση των κατασκευών αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη μέθοδο με πολλές προοπτικές. Η τεχνολογία αναπτύσσεται με γοργούς ρυθμούς, παρέχοντας ολοένα και πιο βελτιωμένες μεθόδους αντιμετώπισης προβλημάτων σε οποιοσδήποτε τομέα.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] Θ.Χ.Τριανταφύλλου (2000):Προηγμένες τεχνολογίες υλικών και κατασκευών σελ.(45-60)
- [2] Michael S. Mamlouk , John P. Zanies:Materials for Civil and Construction Engineers σελ.(300-307)
- [3] Σ.Πανταζοπούλου «Μανδύες από σύνθετα υλικά ως μέσο επισκευής στοιχείων από Ο.Σ.»Ημερίδα Τ.Ε.Ε. 18 Μαΐου 2000 με θέμα την ενίσχυση κατασκευών με σύνθετα υλικά.
- [4] DEGUSSA C.C. Ελλάς Α.Ε. Αθήνα (Ομήρου 8 και Πανεπιστημίου)