

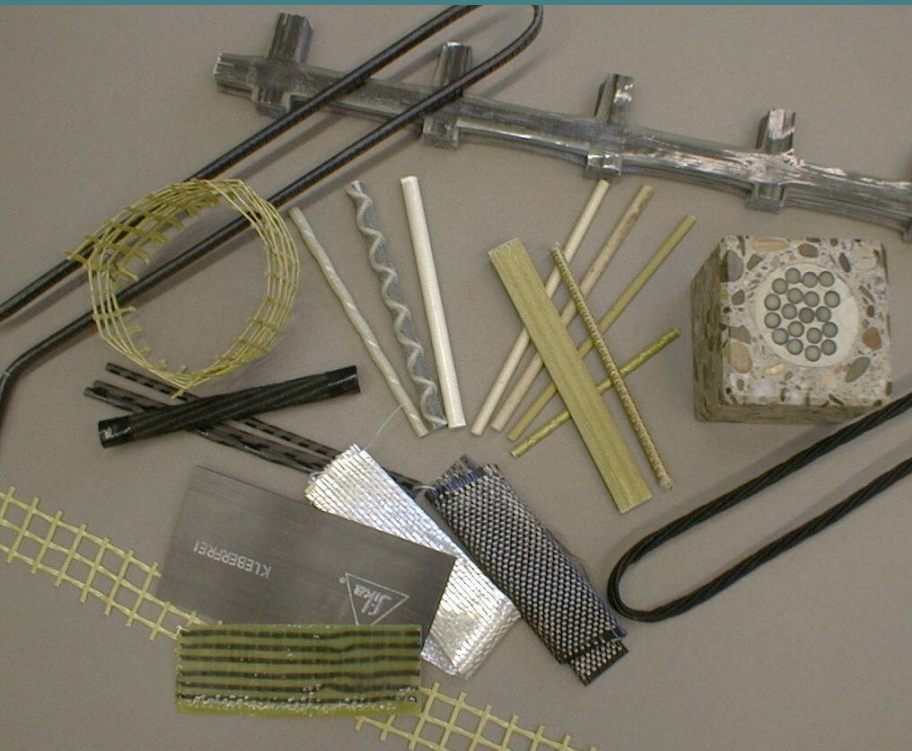
Ινοπλισμένα Πολυμερή

Δρ Ουρανία Τσιούλου



Πολυμερή ενισχυμένα με ίνες- ΕΙΣΑΓΩΓΉ





Τα ινοπλισμένα πολυμερή (FRP)
είναι ένα σύνθετο υλικό
κατασκευασμένο από πολυμερή
μήτρα ενισχυμένη με ίνες

Οι ίνες είναι συνήθως **γυαλί, άνθρακας, βασάλτης ή αραμίδιο**

Κύρια πλεονεκτήματα

- Χαμηλό βάρος (20-25% του βάρους του χάλυβα)
- Πολύ υψηλή αντοχή (παράλληλα προς τις ίνες)
- Πολύ καλή αντοχή (χωρίς διάβρωση)
- Διατίθεται σε μεγάλα μήκη οποιουδήποτε σχήματος

Κύρια μειονεκτήματα

- Τα σύνθετα υλικά FRP είναι φαθυρά υλικά
- Σχετικά υψηλού κόστους
- Κακή συμπεριφορά υπό υψηλές θερμοκρασίες

Το FRP αποτελείται από

1. Ίνες υψηλής αντοχής

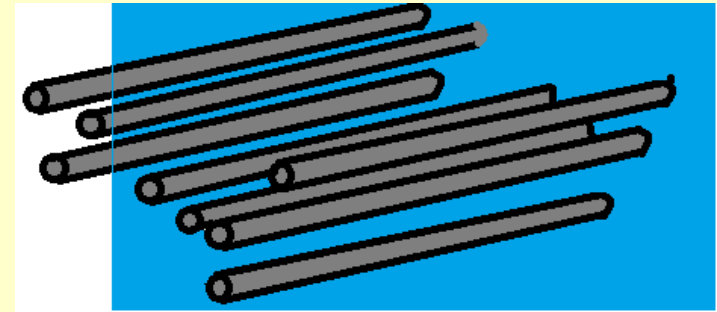
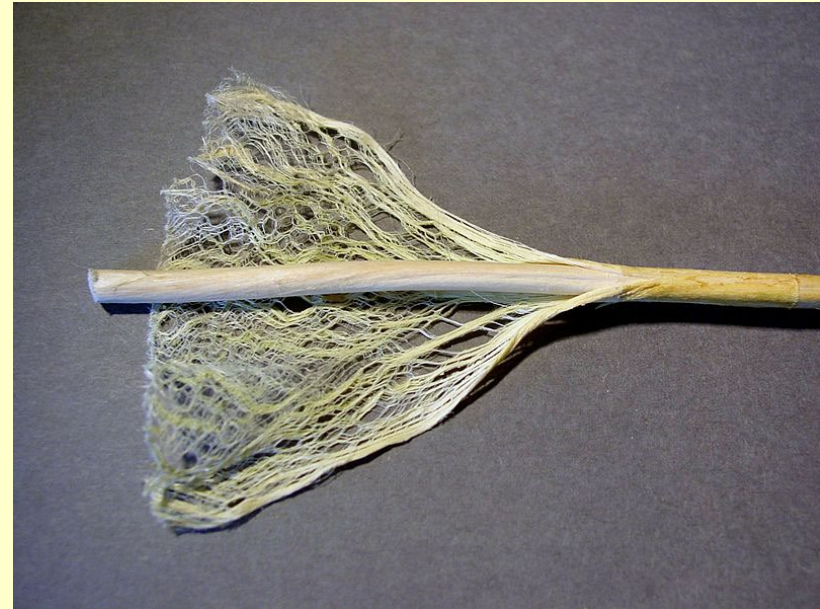
-Παρέχετε υψηλή αντοχή

2. Πολυμερής μήτρα

-συνδέει τις ίνες

-Μεταφέρει το φορτίο

-Προστασία από περιβαλλοντικές επιθέσεις



Ίνες υψηλής αντοχής

➤ Ανθρακονήματα



Πλεονεκτήματα

- Υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό και υψηλό μέτρο ελαστικότητας
- Η αντοχή σε εφελκυσμό δεν επηρεάζεται από την αύξηση θερμοκρασίας
- Υψηλή αντοχή σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες

Μειονέκτημα

- Υψηλό κόστος

Ίνες γυαλιού

Παράγεται από λιωμένο γυαλί

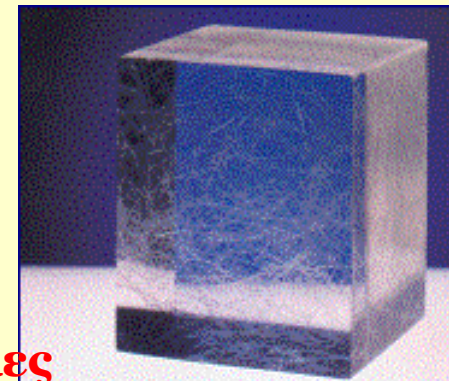
E – γυαλί (λιγότερο ακριβό, όχι ανθεκτικό στα αλκαλικό περιβάλλον)



S – γυαλί (υψηλότερη αντοχή σε εφελκυσμό και υψηλότερο μέτρο ελαστικότητας – πιο ακριβό από το E-glass)

Ανθεκτικό σε αλκαλικό περιβάλλον (AR) – γυαλί

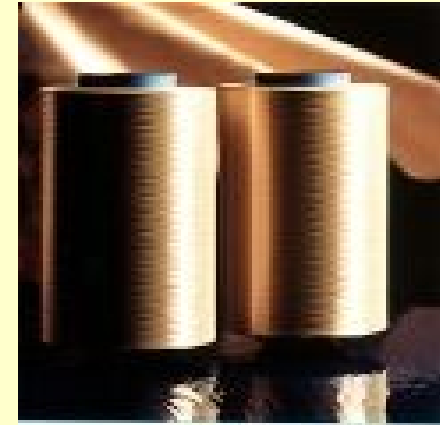
Η αντοχή σε εφελκυσμό μειώνεται σε υψηλές θερμοκρασίες



Ίνες αραμιδίου

Produced by Kevlar

- Αντέχει σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες (πάνω από το 80% της αντοχής σε 180° C)
- Ανθεκτικό στη διάβρωση



Ίνες βασάλτη

- Ανθεκτικό στη φωτιά
- Ανθεκτικό στη διάβρωση



<http://basalt-alf.narod.ru/>

Τυπικές ιδιότητες των ινών

Υλικό	Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)	Εφελκυστική Αντοχή (MPa)
Ανθρακας		
High strength	215-235	3500-4800
Ultra high strength	215-235	3500-6000
High modulus	350-500	2500-3100
Ultra high modulus	500-700	2100-2400
Γυαλί		
E	70	1900-3000
S	85-90	3500-4800
Αραμίδιο		
Low modulus	70-80	3500-4100
High modulus	115-130	3500-4000

(Feldman 1989, Kim 1995)

Ανθρακα
 Μέτρο ελαστικότητας:
215-700 GPa
 Εφελκυστική Αντοχή:
2100-4800 MPa

Γυαλί
 Μέτρο Ελαστικότητας:
70-90 GPa
 Εφελκυστική Αντοχή:
1900-4800 MPa

Αραμίδιο
 Μέτρο Ελαστικότητας:
70-130 GPa
 Εφελκυστική Αντοχή:
3500-4000 MPa

Πολυμερείς μήτρες

Δύο βασικές κατηγορίες πολυμερών μητρών χρησιμοποιούνται στα σύνθετα υλικά FRP

- **Θερμοσκληρυνόμενες ρητίνες** (Η σκλήρυνση μπορεί να γίνει μέσω θερμότητας (γενικά πάνω από 200°C)
- **Θερμοπλαστικές ρητίνες** (γίνεται εύκαμπτο ή χυτεύσιμο πάνω από μια συγκεκριμένη θερμοκρασία και επιστρέφει σε στερεή κατάσταση κατά την ψύξη)

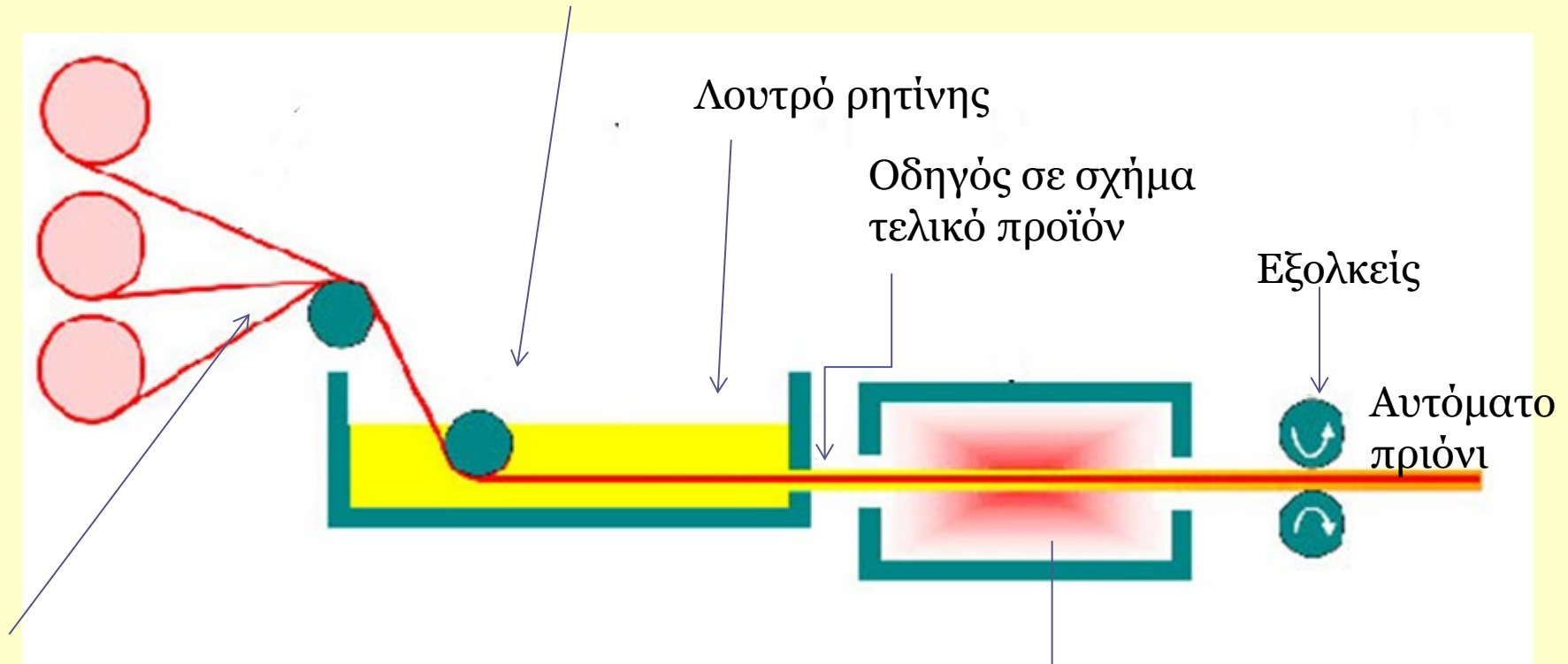
Τυπικές τιμές

	Μέτρο ελαστικότητας(E) (GPa)	Εφελκυστική Αντοχή (MPa)
Θερμοσκληρυν όμενη (Polyester, Epoxy, Vinylester)	2.10 – 4.1	34.5 - 130
Θερμοπλαστική (PEEK, PPS, PSUL	2.5 – 3.3	70-100

Πολύ χαμηλό μέτρο ελαστικότητας (E) και αντοχή σε εφελκυσμό σε σύγκριση με τις ίνες

Μέθοδος κατασκευής

Οδηγός ή/και εντατήρας



Λουτρό ρητίνης

Οδηγός σε σχήμα
τελικό προϊόν

Εξολκείς

Αυτόματο
πρίονι

Καρούλια ξηρών, γραμμικών ινών

Θερμαίνει, πολυμερίζει τη ρητίνη και
«πήζει» το τελικό σχήμα

Pultrusion video



Ινοπλισμένα πολυμερή – FRP

ΙΝΕΣ + ΡΗΤΙΝΗ

$$E_f = E_{fib} \cdot V_{fib} + E_m \cdot V_m$$

Μέτρο ελαστικότητας
του FRP

E_{fib} : Μέτρο ελαστικότητας ινών

$$f_f = f_{fib} \cdot V_{fib} + f_m \cdot V_m$$

Αντοχή σε εφελκυσμό
του FRP

E_m : Μέτρο ελαστικότητας
συνδετικού μέσου (ρητίνη)

f_{fib} : Αντοχή σε εφελκυσμό ινών

f_m : Αντοχή σε εφελκυσμό
συνδετικού μέσου (ρητίνη)

V_{fib} : Ογκομετρικό ποσοστό ινών ($\frac{\text{Volume}_{fibres}}{\text{Volume}_{FRP}}$)

V_m : Ογκομετρικό ποσοστό συνδετικού μέσου (ρητίνη) ($\frac{\text{Volume}_{matrix}}{\text{Volume}_{FRP}}$)

Ινοπλισμένα πολυμερή – FRP

Όγκος

$$V_{\text{fib}} + V_{\text{m}} = 1$$

Εμβαδόν διατομής

$$V_{\text{m}} = \frac{A_{\text{m}}}{A_{\text{f}}}$$

$$V_{\text{fib}} = \frac{A_{\text{fib}}}{A_{\text{f}}}$$

A_{m} : Εμβαδόν διατομής συνδετικού μέσου (ξητίνη)

A_{fib} : Εμβαδόν διατομής ινών

A_{f} : Εμβαδόν διατομής του FRP
(σύνθετο υλικό)

Ινοπλισμένα πολυμερή – FRP

Παράδειγμα

Υπολογίστε το μέτρο ελαστικότητας (E_f) και την αντοχή σε εφελκυσμό του FRP (f_f) για ογκομετρικό ποσοστό ινών (V_{fib}):

-50 %

-70%

-100%

$$E_f = E_{fib} \cdot V_{fib} + E_m \cdot V_m$$

$$f_f \simeq f_{fib} \cdot V_{fib} + f_m \cdot V_m$$

$$E_m = 3 \text{ GPa} \quad f_m = 80 \text{ MPa}$$

$$E_{fib} = 220 \text{ GPa} \quad f_{fib} = 4000 \text{ MPa}$$

$$V_{fib} + V_m = 1$$

Ογκομετρικό ποσοστό ινών		Ογκομετρικό ποσοστό ρητίνης	FRP-ιδιότητες	
V_{fib} (%)		V_m (%)	E_f (MPa)	f_f (MPa)
100		100-100=0		
70		100-70=30		
50		100-50=50		

Ινοπλισμένα πολυμερή – FRP

Παράδειγμα

Υπολογίστε το μέτρο ελαστικότητας (E_f) και την αντοχή σε εφελκυσμό του FRP (f_f) για ογκομετρικό ποσοστό ινών (V_{fib}):

-50 %

-70%

-100%

$$E_f = E_{fib} \cdot V_{fib} + E_m \cdot V_m$$

$$f_f \approx f_{fib} \cdot V_{fib} + f_m \cdot V_m$$

$$E_m = 3 \text{ GPa} \quad f_m = 80 \text{ MPa}$$

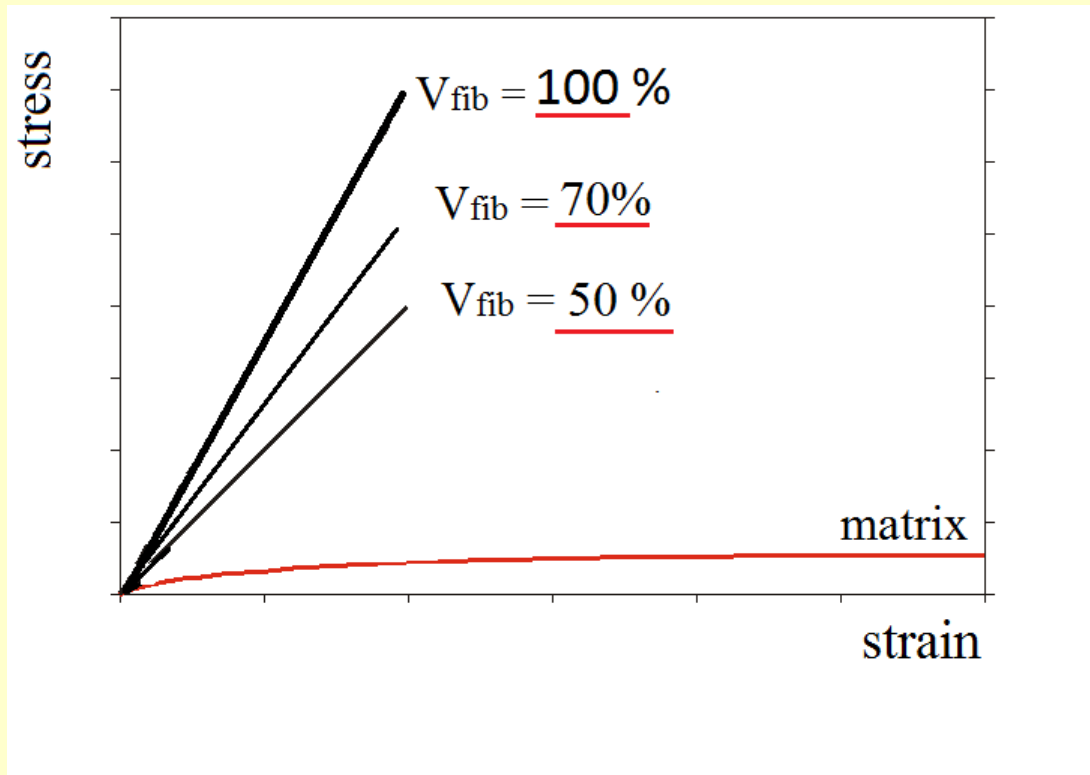
$$E_{fib} = 220 \text{ GPa} \quad f_{fib} = 4000 \text{ MPa}$$

$$V_{fib} + V_m = 1$$

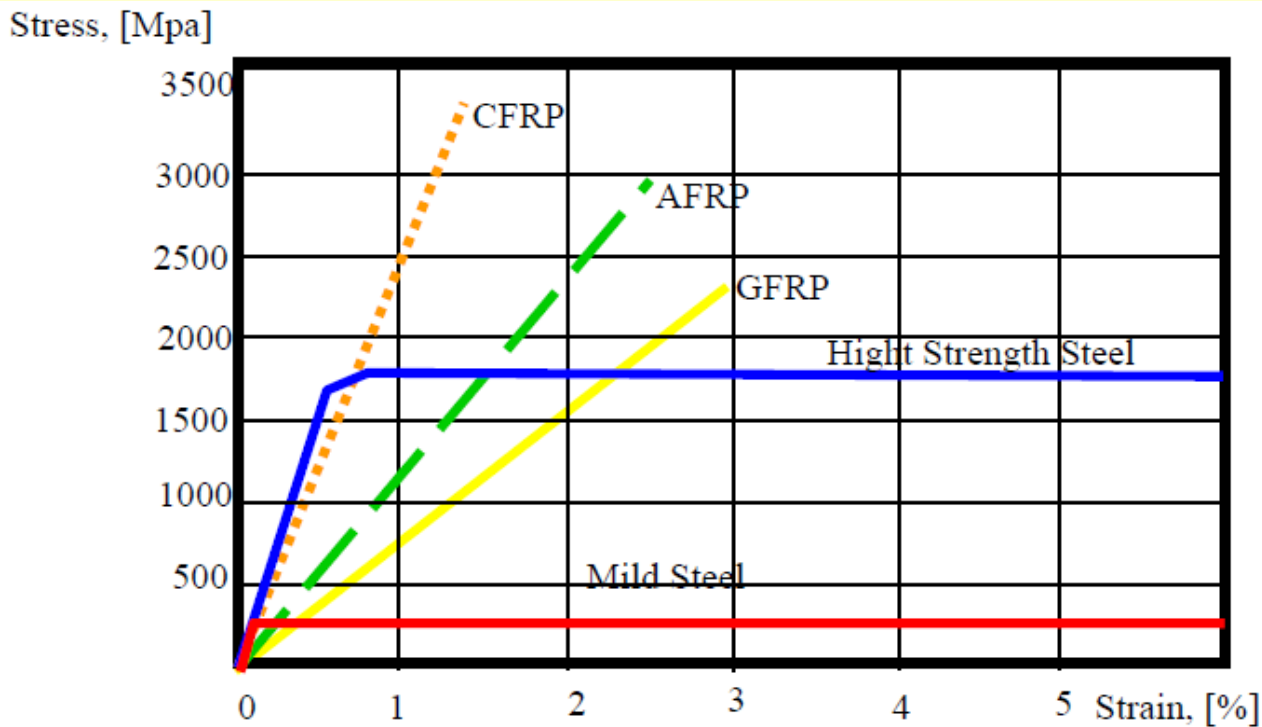
Ογκομετρικό ποσοστό ινών		Ογκομετρικό ποσοστό ρητίνης	FRP ιδιότητες	
V_{fib} (%)	V_m (%)		E_f (MPa)	f_f (MPa)
100	100-100=0		220000*1+3000*0=220000	4000*1+80*0=4000
70	100-70=30		220000*0.7+3000*0.3=154900	4000*0.7+80*0.3=2824
50	100-50=50		220000*0.5+3000*0.5=111500	4000*0.5+80*0.5=2040

FRP

Ινοπλισμένα πολυμερή – FRP



Ινοπλισμένα πολυμερή – FRP



Μέτρο ελαστικότητας:
Χαμηλότερο από τον
χάλυβα

Αντοχή:
Ψηλότερα από χάλυβα

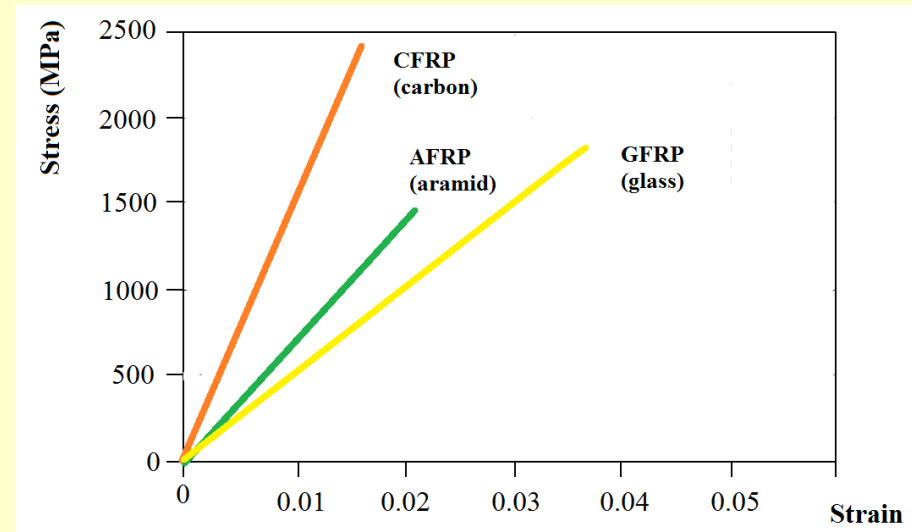
FRP – Ψαθυρό
Steel – Όλκιμο

<http://www.ce.tuiasi.ro/~bipcons/Archive/105.pdf>

Ινοπλισμένα πολυμερή – FRP

Τυπικές ιδιότητες εφελκυσμού των FRP

Υλικό	Μέτρο Ελαστικότη τας (GPa)	Εφελκυστική Αντοχή (MPa)
Χάλυβας	200	450-700
GFRP (GlassFRP)	35-60	450-1600
CFRP (CarbonFRP)	100-580	600-3500
AFRP (AramidFRP)	40-125	1000-2500



Ινοπλισμένα πολυμερή – FRP

Αντοχή σε θλίψη

- Η αντοχή σε θλίψη των ράβδων FRP δεν έχει μελετηθεί επαρκώς
- Δεν συνιστάται να βασίζεστε σε ράβδους FRP για ανάλυση θλιπτικών τάσεων

<http://www.ce.tuiasi.ro/~bipcons/Archive/105.pdf>

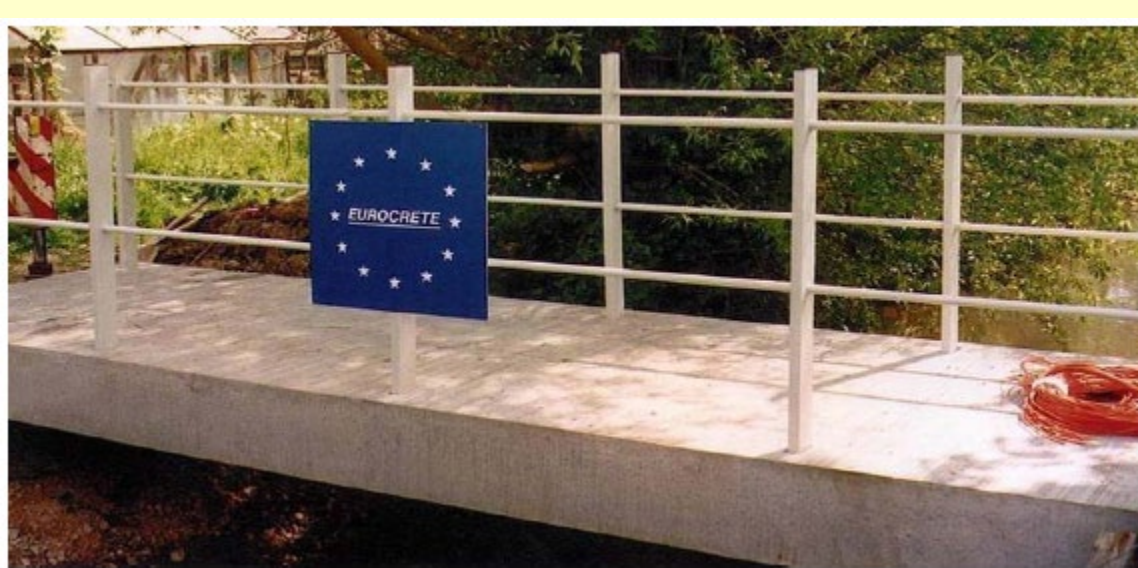
Εφαρμογές στις Κατασκευές

- Εσωτερικός οπλισμός σκυροδέματος
- Εξωτερική ενίσχυση υφιστάμενων κατασκευών

Εσωτερική εφαρμογή σε σκυρόδεμα - ράβδους

Λόγοι για τη χρήση του FRP ως κύριου οπλισμού

- Αντιδιαβρωτικές ιδιότητες (για παράδειγμα κοντά σε θαλάσσια περιβάλλοντα)
- Λεπτές τομές (Μειωμένη επικάλυψη σκυροδέματος)



First bridge in Europe using only FRP reinforcement

Εξωτερική ενίσχυση κατασκευών

Λόγοι χρήσης FRP για την ενίσχυση υφιστάμενων κατασκευών

- Ανθεκτικό στη διάβρωση
- Ελαφρύ – εύκολο στον χειρισμό
- Αποφεύγετε τη διακοπή της πληρότητας κατά τη διάρκεια της εφαρμογής



REM Structural Limited - <http://www.remyapisal.com/index/frp.htm>

Ενδιαμπα σεντόνια ή υφάσματα κατασκευασμένα από ίνες σε μία ή δύο διαφορετικές κατευθύνσεις



Λεπτές λωρίδες μονής κατεύθυνσης

