

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

Σύνθετα Υλικά

Ορισμός

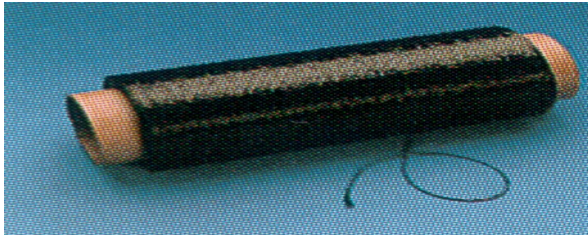
$$\Sigma = A + B$$

$$\Sigma = \text{Ίνες} + \text{Ρητίνη}$$

Τα σύνθετα υλικά αποτελούνται από ίνες υψηλής εφελκυστικής αντοχής εμποτισμένες με “θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη”

Οι συνήθεις τύποι ινών που χρησιμοποιούνται είναι από γυαλί ή αραμίδιο ή άνθρακα. Νέοι τύποι ινών είναι υπό διερεύνηση (π.χ. βασάλτης).

Υλικά



Ίνες Άνθρακα



Ίνες Γυαλιού



Ίνες Αραμιδίου



Ρητίνες



Φίλερ

Εφαρμογές

- Ράβδοι ή πλέγματα ως οπλισμός
- Τένοντες προέντασης
- Υφάσματα ή ελάσματα για ενίσχυση στοιχείων
- Ειδικές ολόσωμες κατασκευές

Γιατί τα Σύνθετα Υλικά;

- Υψηλή εφελκυστική αντοχή
- Μικρό βάρος
- Υψηλή αντοχή σε διάβρωση
- Ουδέτερα σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία

Τυπικές Ιδιότητες Ινών Σύνθετων Υλικών

Ίνες	Πυκνότητα (kg/m ³ x 10 ³)	Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)	Εφελκ.Αντοχή (MPa)	Παραμόρφ.Αστοχίας (%)
Άνθρακα				
Υψηλής αντοχής	1.80	215-235	3500-4800	1.40-2.00
Πολύ υψηλής αντοχής	1.80	215-235	3500-6000	1.50-2.30
Υψηλού μέτρου ελαστικότητας	1.90	350-500	2500-3100	0.50-0.90
Πολύ υψηλού μέτρου ελαστικότητας	1.90	500-700	2100-2400	0.20-0.40
Γυαλιού				
Τύπου E	2.55	70-75	1900-3000	3.00-4.50
Τύπου S	2.45	85-90	3500-4800	4.50-5.50
Αραμιδίου				
Χαμηλού μέτρου ελαστικότητας	1.45	70-80	3500-4100	4.30-5.00
Υψηλού μέτρου ελαστικότητας	1.45	115-130	3500-4000	2.50-3.50
Χάλυβας	7.86	200	400-1700	12.0-25.0

$$E_{FRP} = E_f V_f + E_r V_r \quad f_{FRP} \approx f_f V_f + f_r V_r$$

Αδυναμίες Σύνθετων Υλικών

- Παντελής έλλειψη ολκιμότητας
- Χαμηλή αντίσταση σε μέτριες και υψηλές θερμοκρασίες
 - Θερμοκρασία μετάπτωσης υάλου (60°C)
 - Η ρητίνη καίγεται (200-250)°C
- Η εφελκυστική αντοχή των υλικών μειώνεται σημαντικά, όταν βρίσκονται σε μόνιμη τάση
- Ανθεκτικότητα σε διάρκεια;
 - Υπεριώδης ακτινοβολία
 - Αυξομειώσεις της θερμοκρασίας
 - Δράση χημικών

Ποιοτική Αξιολόγηση Ινοπλισμένων Πολυμερών

Χαρακτηριστικό	ΙΟΠ-Άνθρακας	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 ³ ×10 ³)	~1.80	~2.50	~1.50
Κόστος (συγκριτικά μεταξύ τους)	υψηλό	μέτριο	χαμηλό
Αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες	(800-1600) °C	200°C	(300- 1000) °C

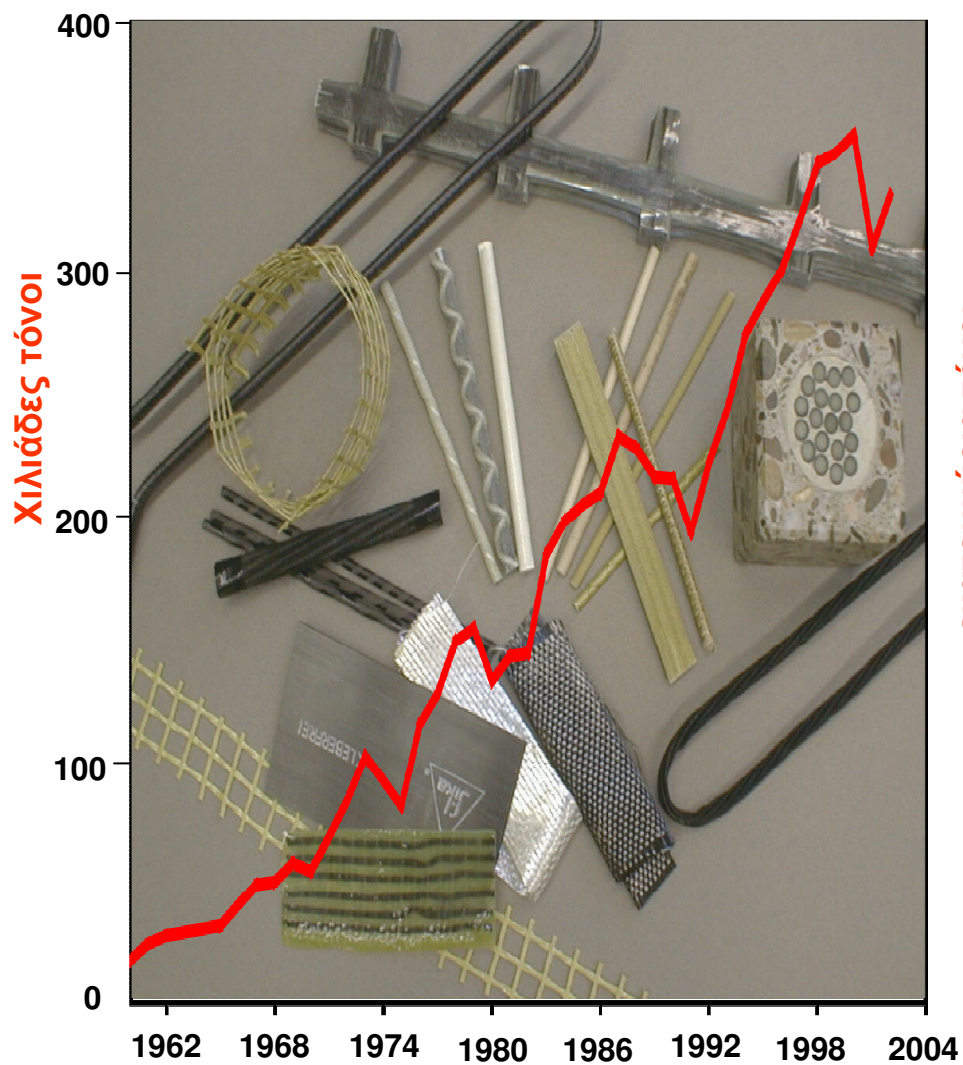
Υλικό	Συντελεστής Θερμικής Διαστολής $\times 10^{-6}$	
	Διαμήκη	Εγκάρσια
Ίνες-Άνθρακα	-0.9 έως +0.7	8 έως 18
Ίνες-Αραμιδίου	-6.0 έως -2.0	55 έως 60
Ίνες-Γυαλιού	5 έως 15	5 έως 15
Ρητίνες	60 έως 140	
ΙΟΠ-Άνθρακας	-0.9 έως 0	74 έως 104
ΙΟΠ-Αραμιδίου	-6.0 έως -2.0	60 έως 80
ΙΟΠ-Γυαλιού	6 έως 10	21 έως 23
Σκυρόδεμα	6 έως 13	
Χάλυβας	12×10^{-6}	

fib Bulletin 35, (2006) και ACI 440.1R (2002)

$\Delta T = \pm 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ Δεν επηρεάζει την συνάφεια ACI 440.2R-02)

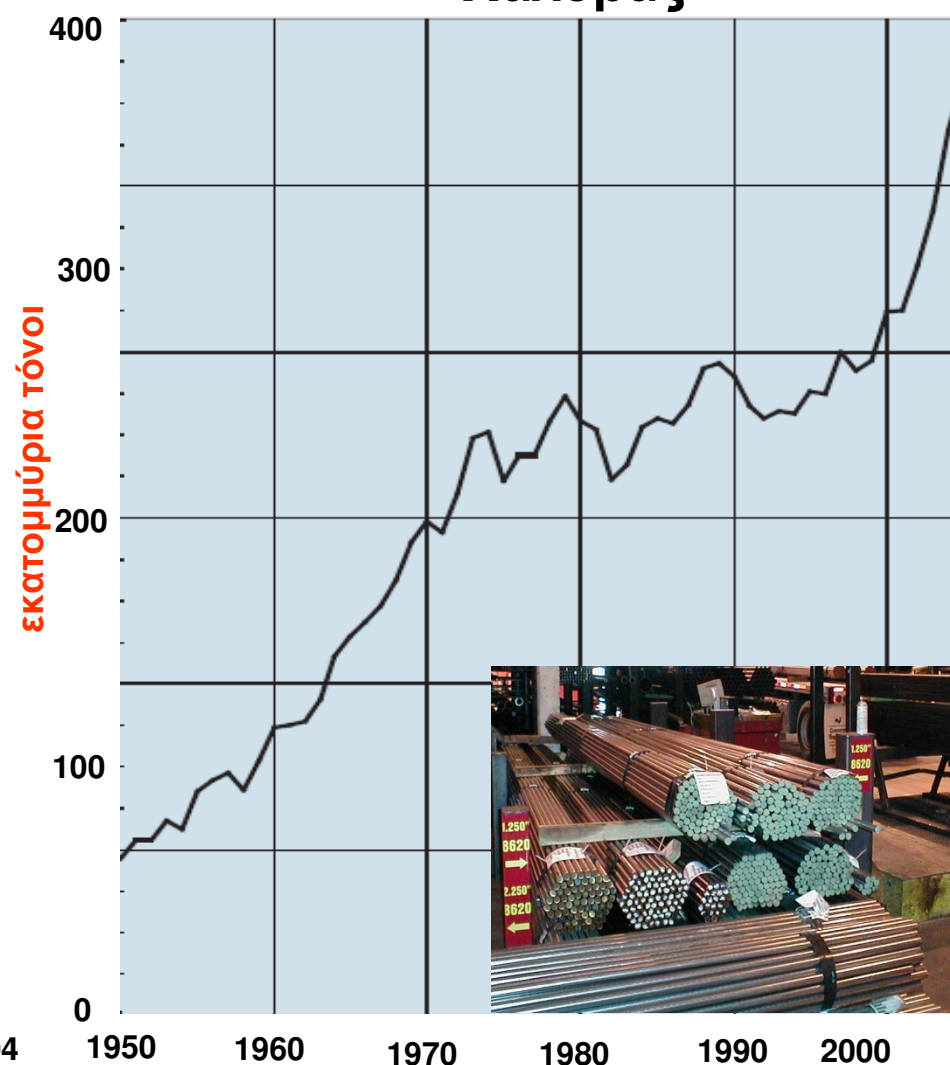
Παραγωγή για Χρήση στις Κατασκευές

Σύνθετα Υλικά



~ 21% Συνολικής Παραγωγής

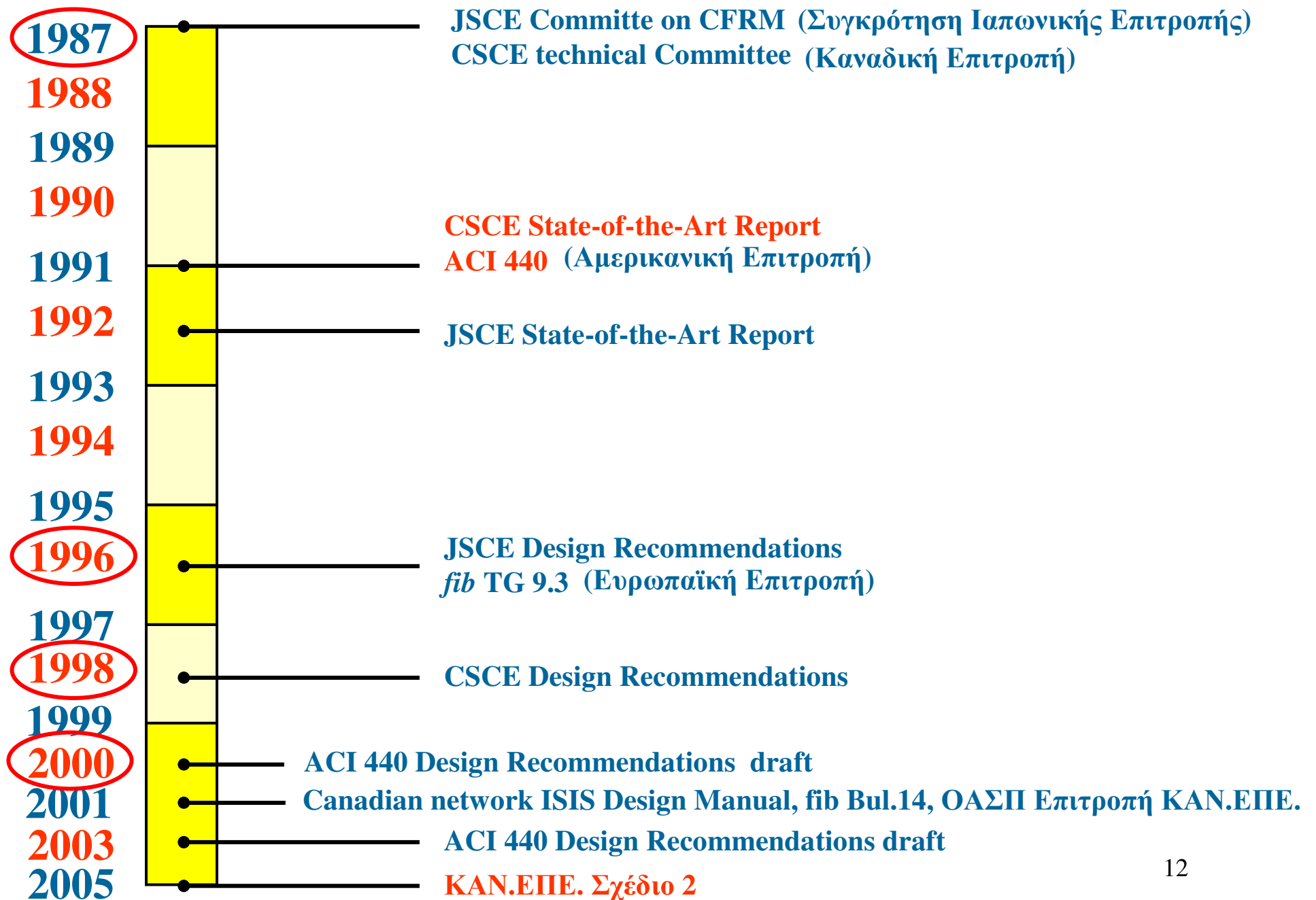
Χάλυβας



~ 33% Συνολικής Παραγωγής

Γιατί Τελικά Έχουν Περιορισμένη Εφαρμογή στη Πράξη;

- Υψηλό κόστος
- “Υψηλής Κλάσης” αντίπαλος ο χάλυβας
- Έλλειψη εγκεκριμένων προδιαγραφών & προτύπων (κώδικας για το σχεδιασμό)



Εφαρμογές

μικρό βάρος

Pedestrian bridge, Kolding (DK) - 1997



Εφαρμογές



Εφαρμογές

Αντοχή σε διάβρωση



Εφαρμογές



Αντοχή σε διάβρωση

Εφαρμογές



Αντοχή σε διάβρωση

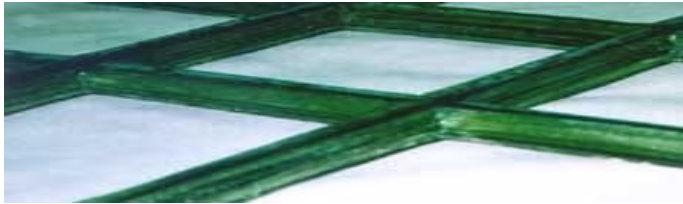
Απαιτήσεις Απουσίας Μαγνητικών Υλικών



Magnetic Levitation Railways (Japan)



Οπλισμοί



NEFMAC (FRP Grid) Nefcom CO., Ltd.



**C-Bar Reinforcing Rods
Marshall Industries Composites Inc.**



**CFRP Rod LEADLINE
Mitsubishi Kasei Corporation**

Τένοντες



TECHNORA ROD Teijin Ltd.

Τα Σύνθετα ως Οπλισμός σε Νέες Κατασκευές



IOWA USA

Τα Σύνθετα ως Οπλισμός σε Νέες Κατασκευές



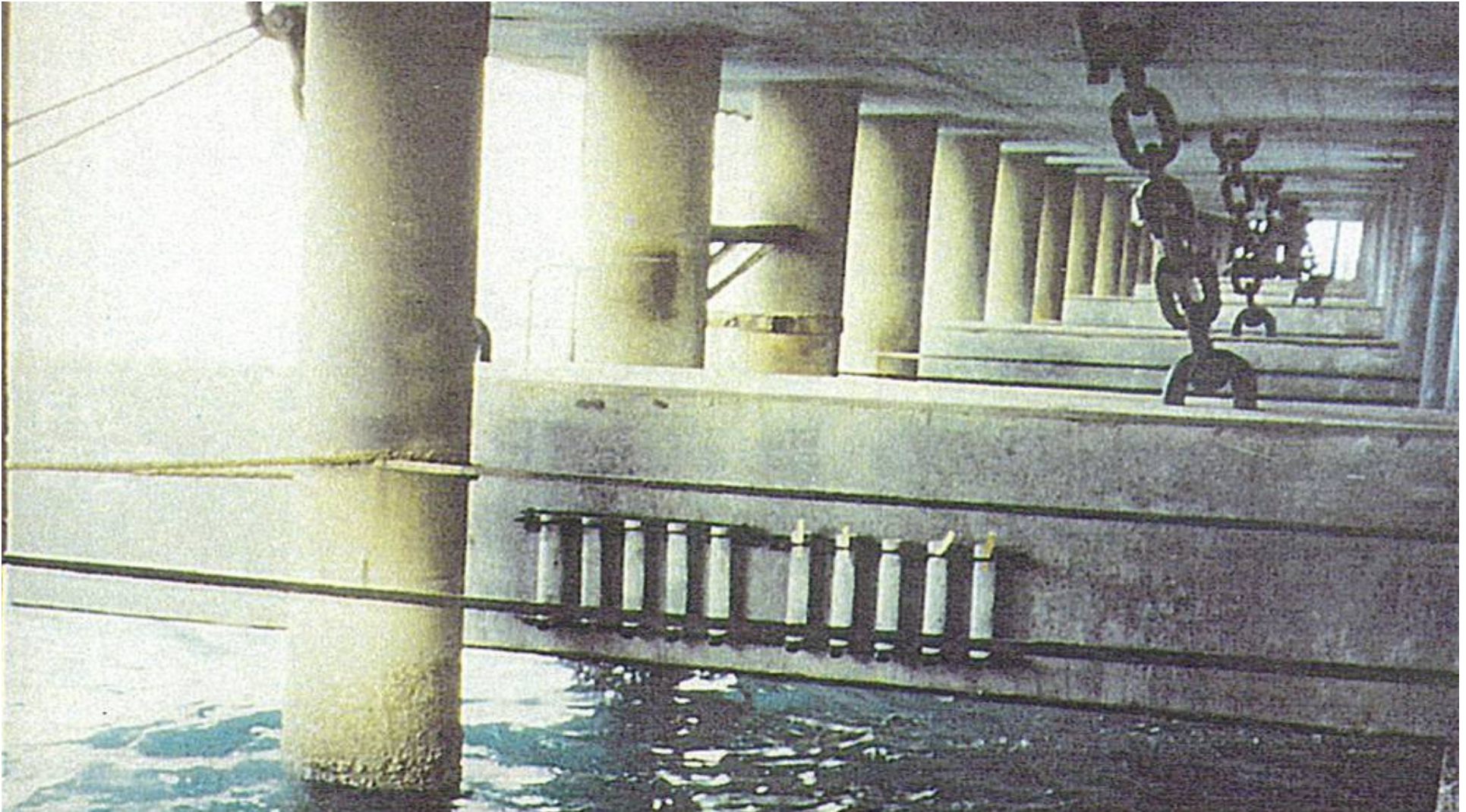
53 rd AVENUE BRIDGE

Τα Σύνθετα ως Οπλισμός σε Νέες Κατασκευές





Τα Σύνθετα ως Οπλισμός σε Νέες Κατασκευές

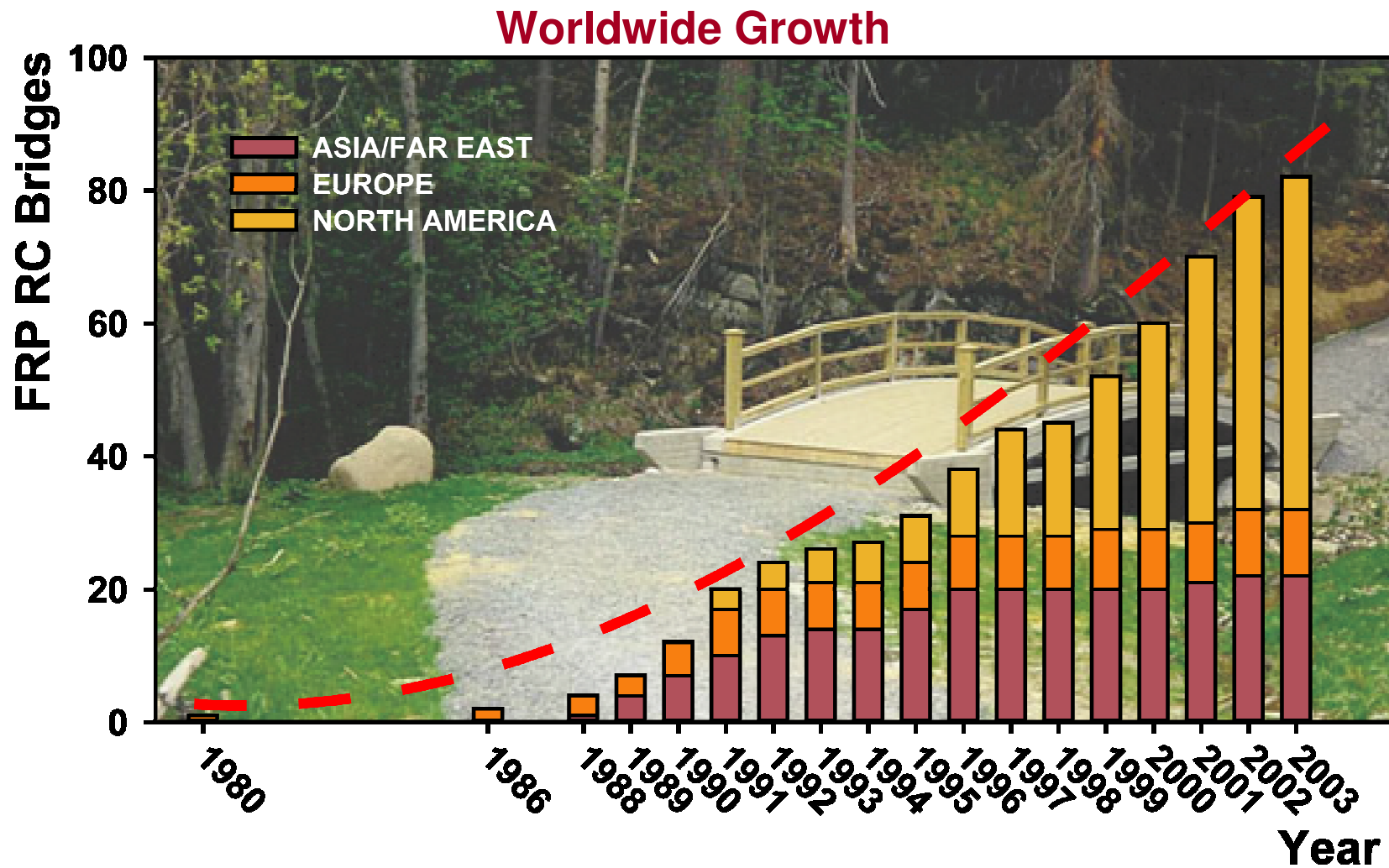


Τα Σύνθετα ως Οπλισμός σε Νέες Κατασκευές



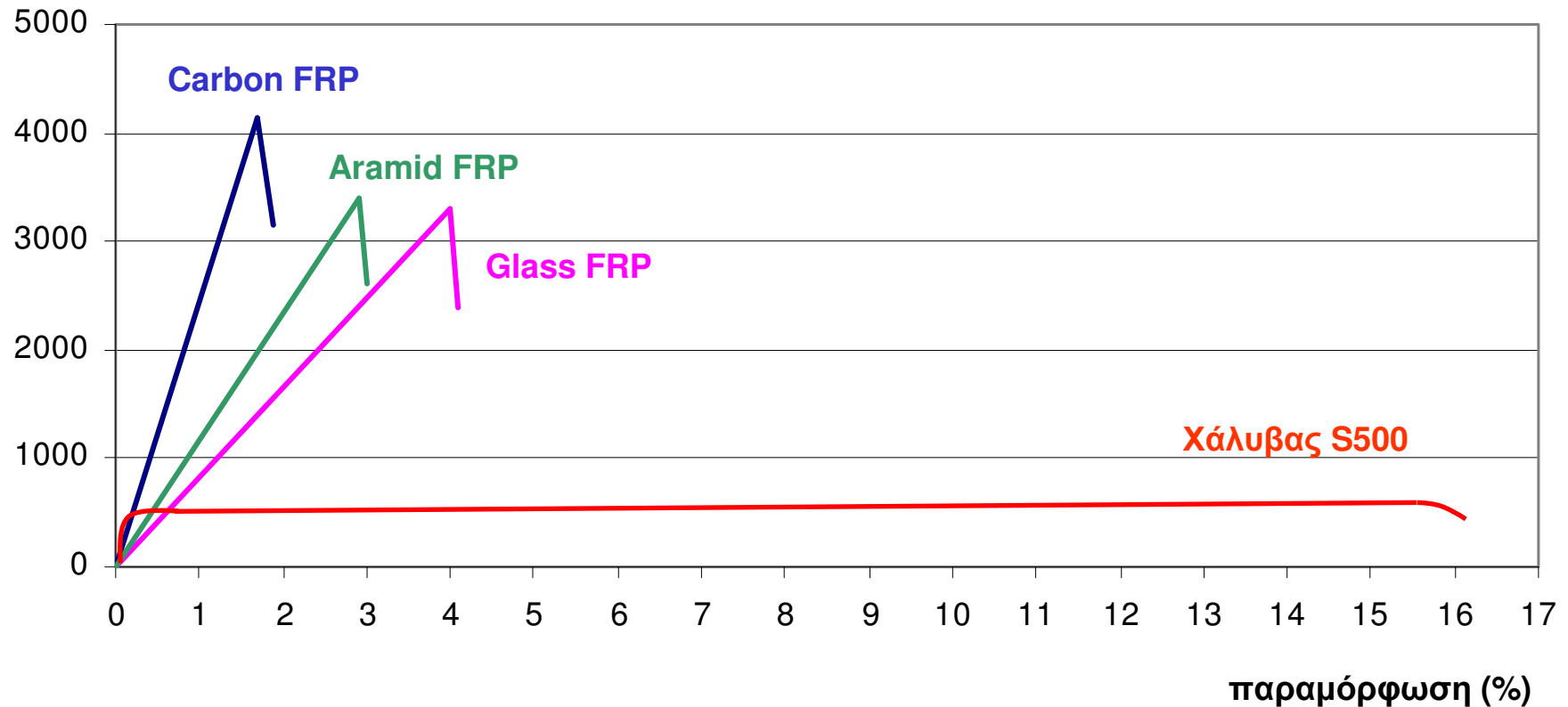
Birdie Bridge - Ibaragi Prefecture, Japan

Γέφυρες με Οπλισμό από Σύνθετα



Σχεδιασμός με Οπλισμό από Σύνθετα Υλικά

τάση (MPa)



*Παρατήρηση: όχι για ανάληψη θλιπτικών δυνάμεων

Μείωση Αντοχής

Μειωτικός συντελεστής C_E για διάφορες συνθήκες περιβάλλοντος (ACI- 440)

Συνθήκες Περιβάλλοντος	ΙΟΠ Άνθρακας		ΙΟΠ - Αραμίδιο		ΙΟΠ - Γυαλί	
	Εσ. οπλισμός	ενίσχυση	Εσ. οπλισμός	ενίσχυση	Εσ. οπλισμός	ενίσχυση
Εσωτερικοί χώροι	1.0	0.95	0.9	0.85	0.8	0.75
Εξωτερικοί χώροι	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7	0.65
Ιδιαίτερα διαβρωτικό περιβάλλον	n/s	0.85	n/s	0.70	n/s	0.50

$$f'_{fk} = C_E f_{fk}$$

Επιρροή μόνιμης σταθερής τάσης (ερπυσμός)

Στατική κόπωση - Creep Rapture Stress (ACI- 440)

	ΙΟΠ Άνθρακας	ΙΟΠ - Αραμίδιο	ΙΟΠ - Γυαλί
όριο αντοχής	0.55 f_{fk}	0.3 f_{fk}	0.20 f_{fk}

29

 προβληματική η ανάληψη μόνιμων φορτίων

Σχεδιασμός με Οπλισμό από Σύνθετα Υλικά

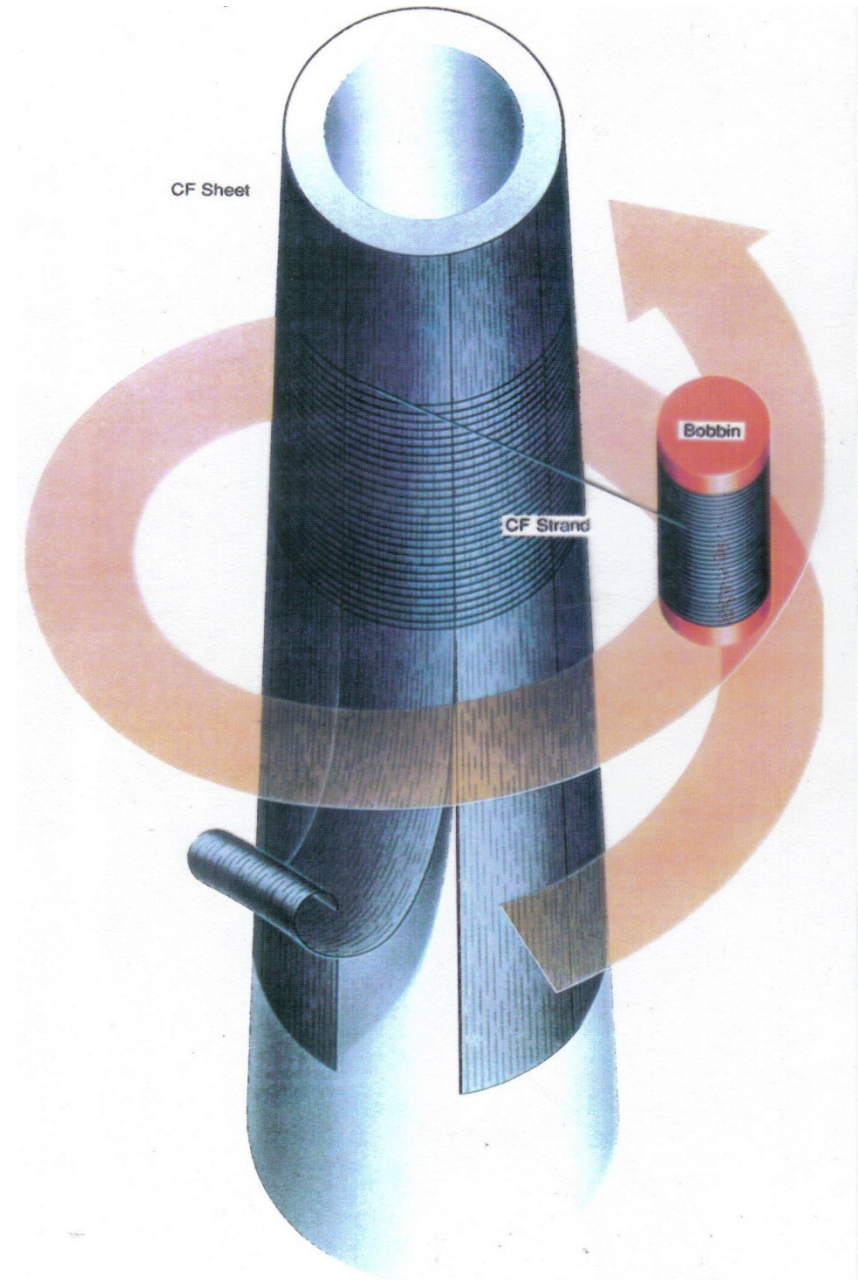
συντελεστές ασφαλείας

$\gamma_{Rd} = 2.0$ Για αστοχία οπλισμού στην εφ. ζώνη

$\gamma_{Rd} = 1.4$ Για αστοχία σκυροδέματος στην θλιβ. ζώνη

$$\mu_{\theta} \sim 1.0 \quad , \quad q = 1.0$$

ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

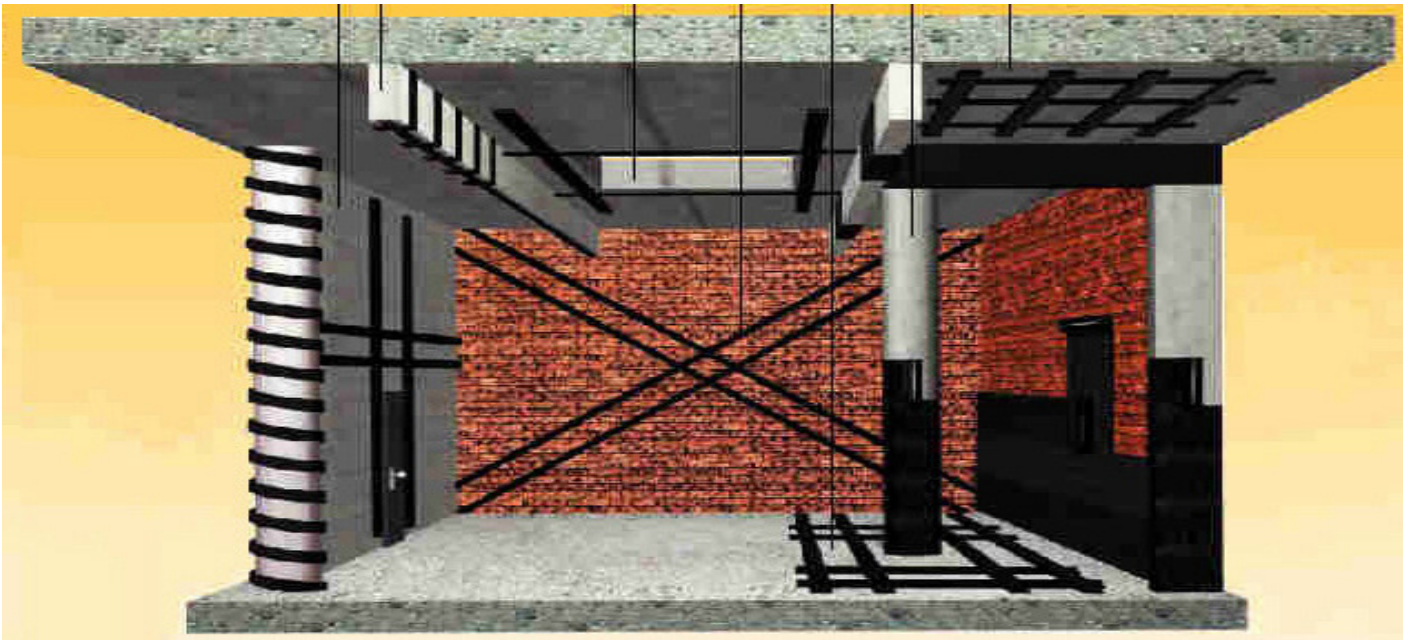


ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

- Επικουρικός ρόλος παρουσία υφιστάμενου οπλισμού

Προϋπόθεση (ACI. 440-2R):

Ανάληψη φορτίων από την υπάρχουσα κατασκευή: **1.2G + 0.85Q**



- Υφάσματα
- Ελάσματα
- Φύλλα
- Λωρίδες
- Πλέγματα

- Μεγιστοποίηση ταχύτητας εκτέλεσης εργασίας
- Ελαχιστοποίηση αναστάτωσης
- Όχι για καμπτική ενίσχυση υποστυλωμάτων