



Ινοπλισμένα Πολυμερή από Γυαλί στο Σκυρόδεμα Επίδραση αλκαλικότητας



**23^ο ΦΟΙΤΗΤΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ
ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ 2017**

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ
Από προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές
σε θέματα αποτίμησης επάρκειας υφιστάμενων κατασκευών
και επεμβάσεων



Συνεδριακό Κέντρο Πανεπιστημίου Πατρών
Τρίτη 21 και Τετάρτη 22 Φεβρουαρίου

Προσκληθέντες Ομιλητές

- **Ε. Λέκκας**
(Καθ. ΕΚΠΑ-Πρόεδρος ΟΑΣΠ)
- **Π. Κουφόπουλος**
(Αν. Καθ. Π.Π.)
- **Χ. Αποστολόπουλος**
(Αν. Καθ. Π.Π.)
- **Ε. Βουγιούκας**
(Λέκτορας Ε.Μ.Π.)
- **Χ. Παπαϊωάννου**
(ΙΤΣΔΚ-ΟΑΣΠ)
- **Σ. Δέμης**
(Δρ. Πολ. Μηχ., Παν. Υποτρ. Π.Π.)
- **Κ. Σταθόπουλος**
(Δρ. Πολ. Μηχ.)

Υπεύθυνος Διοργάνωσης
καθ. Σ. Η. Δρίτσος

Ιστοσελίδα Συνεδρίου
<http://www.episkeves.civil.upatras.gr>

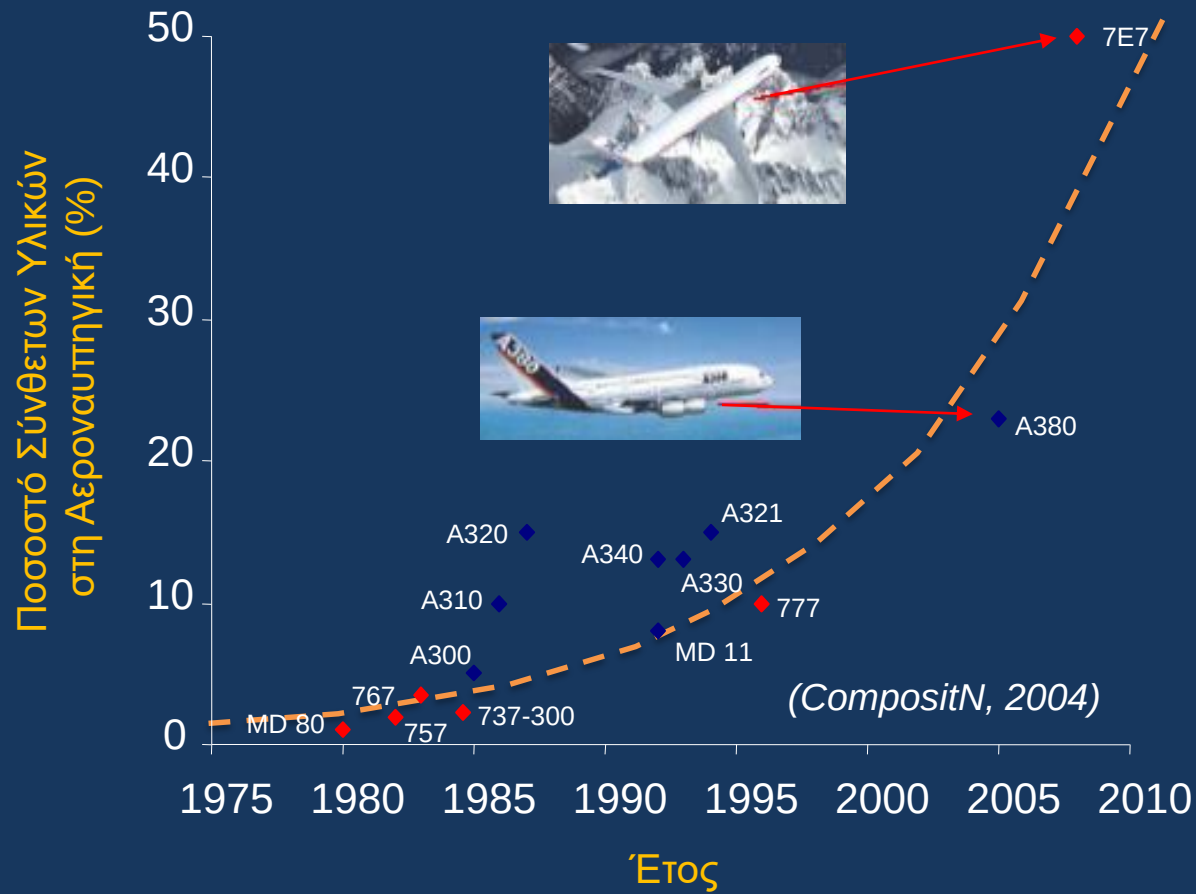
Επικοινωνία
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Τηλ: 2610 996539
E-mail: nkarela@upatras.gr

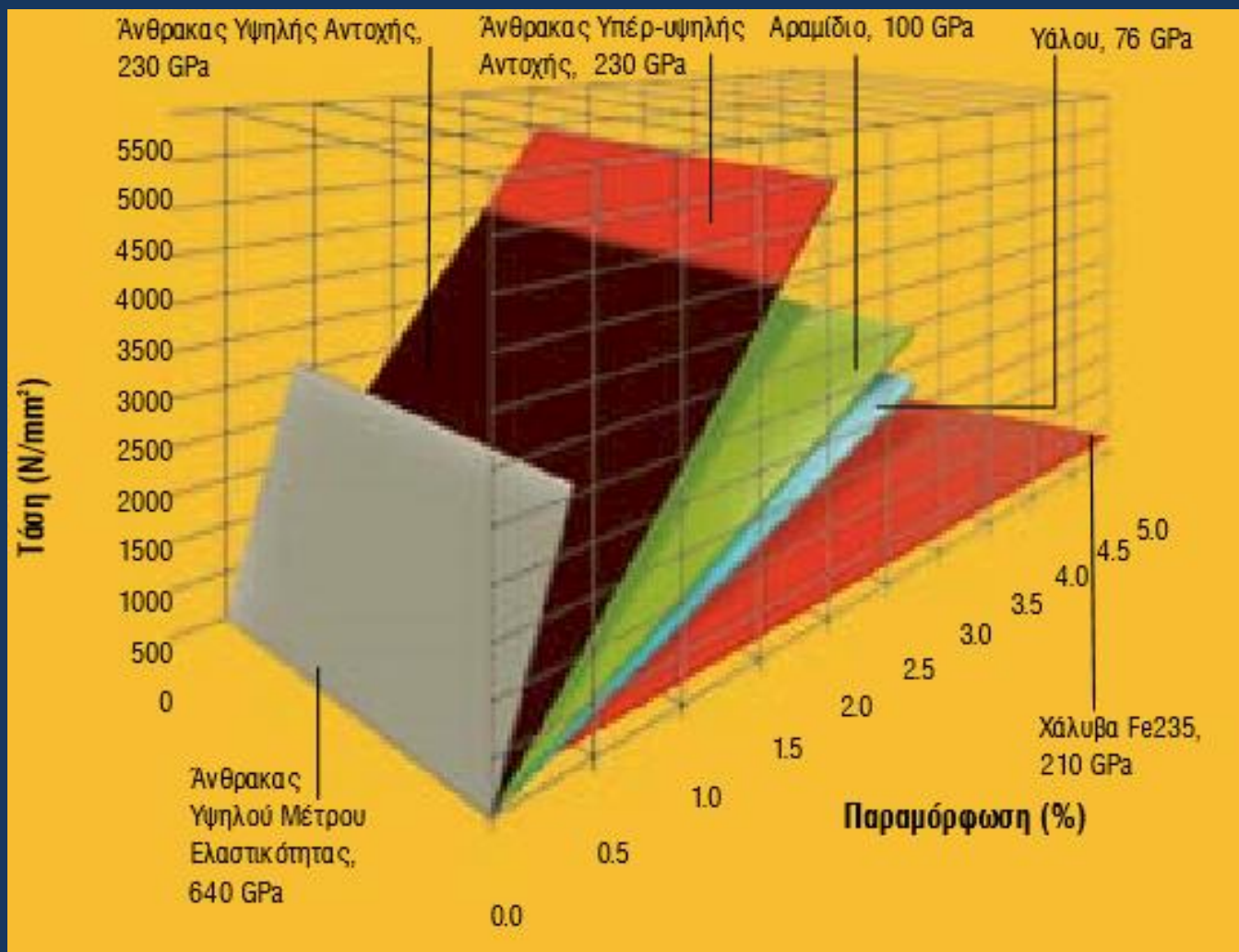


Σωτήρης Δέμης

Δρ. Πανεπιστημίου Sheffield

Πανεπιστημιακός Υπότροφος Πανεπιστημίου Πατρών





Κριτήρια	Ίνες ΙΩΠ (Ινωπλισμένων Πολυμερών)		
	Άνθρακα	Αραμίδιο	Υάλου Τύπου Ε
Ανθεκτικότητα στο χρόνο	Πολύ Καλό	Καλό	Επαρκές
Κόπωση	Άριστο	Καλό	Επαρκές
Αλκαλικό περιβάλλον	Πολύ Καλό	Καλό	Ανεπαρκές
Κρούση	Χαμηλό	Πολύ Καλό	Καλό
Διάβρωση υπό τάση	Χαμηλό	Μέτριο	Υψηλό
Φθορά λόγω τριβής	Επαρκές	Πολύ Καλό	Καλό
Παθητική ενίσχυση	(X)	(X)	X
Ενεργητική ενίσχυση	X	(X)	-
Ενίσχυση ρηγματωμένης ζώνης	X	(X)	-
Ηλεκτρική αγωγιμότητα/ Γαλβανικό φαινόμενο	Ναι	Όχι	Όχι
X = Καταλληλότερη Χρήση			

Το Πρόβλημα

- Έντονο αλκαλικό περιβάλλον ισχυρός διαβρωτικός παράγοντας για τα ΙΟΠ

Έκθεση ράβδων Γ-ΙΟΠ

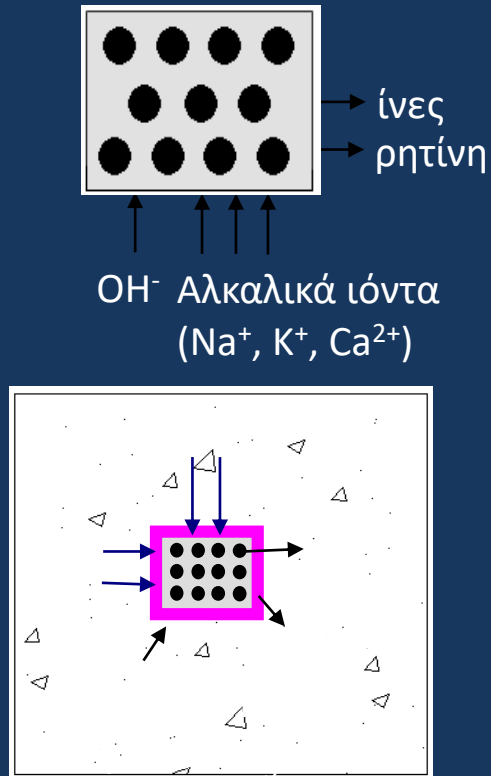
- σε αλκαλικά διαλύματα εξομοίωσης νερού πόρων σκυροδέματος
- σε κορεσμένα διαλύματα $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH

- Έκθεση ινών υάλου σε δοκίμια σκυροδέματος

Table 3-1: Strength loss for stressed and unstressed bars in alkaline environment.

Author	Material	Resin	pH	Env.	Temp.	Duration	Stress while ageing	Strength loss	Claim
Tannous et al. (1998)	AFRP		12	sat. $\text{Ca}(\text{OH})_2$	60°C	1a		6,4%	
	AFRP		12	25°C	1a			4,3%	
	CFRP		12	60°C	1a			0%	
	CFRP		12	25°C	1a			0%	
	CFRP		12	60°C	1a			0%	
	CFRP		12	25°C	1a			0%	
Porter (1997)	GFRP		12,5-13		60°C	3m		55%	50a
	GFRP				60°C	3m		73%	
	CFRP				60°C	3m		0%	
Uomoto (1997)	GFRP			NaOH	40°C	4m			
	AFRP				40°C	4m			
	AGFRP				40°C	4m			
Allmusallam Al-Salloum (2005)	GFRP	VE	>13	Cement	40°C	4m	0	2.1%	
				paste	40°C	8m	0	15.6%	
				1% Na_2O	40°C	16m	0	19.7%	
				in sea water	40°C	4m	20-25%	29.4%	
					40°C	8m	20-25%	39%	
					40°C	16m	20-25%	47.9%	
Alsayed Alhozaimy (1998)	GFRP	VE+UP		cement	Out-door	4m		20%	
	GFRP			paste		4m		0%	
	GFRP	VE+UP		20g/l		4m		30%	
	GFRP			NaOH		4m		0%	
Micelli, Myers, Nanni (2001)	GFRP		12,6	0,16% $\text{Ca}(\text{OH})_2$	60°C	21d		0%	14a
	GFRP			60°C	42d			0%	28a
	GFRP			+1% NaOH	60°C	21d		30%	14a
	GFRP			60°C	42d			41%	28a
	CFRP			+ 1,4% KOH	60°C	21d		1%	14a
	CFRP			60°C	42d			8%	28a
	CFRP			60°C	21d			0%	14a
	CFRP			60°C	42d			0%	28a
Benmokrane et al. (2005)	GFRP	VE: d=9,5mm	12,8	ACI	64°C	2m	19-29%	12%	
	GFRP	9,5mm			20°C	14m	19-29%	15%	
	GFRP	12,7mm			57°C	4m	19-29%	17%	
	GFRP	16mm			55°C	1m		2%	
	GFRP	16mm			61°C	2m		16%	
Rahman (1998)	GFRP	VE		58g/l NaOH	70°C	45d	30%	70%	
	CFRP	VE				370d	50%		
Arockiasamy et al. (1998)	CFRP		13-14			9m	65%	0%	
Scheibe Rostasy	AFRP			Air	20°C	3308h	75%	25%	
	AFRP			0,4m KOH	20°C	714h	75%	25%	
Weber (2004)	GFRP	VE	13,7	sat. $\text{Ca}(\text{OH})_2$	60°C	2000h	20%	<5%	87 years
	GFRP	VE		60°C	2000h		25%	<5%	
	GFRP	VE		NaOH KOH	60°C	2000h	30%	<5%	

- Έντονο αλκαλικό περιβάλλον ισχυρός διαβρωτικός παράγοντας για τα ΙΟΠ



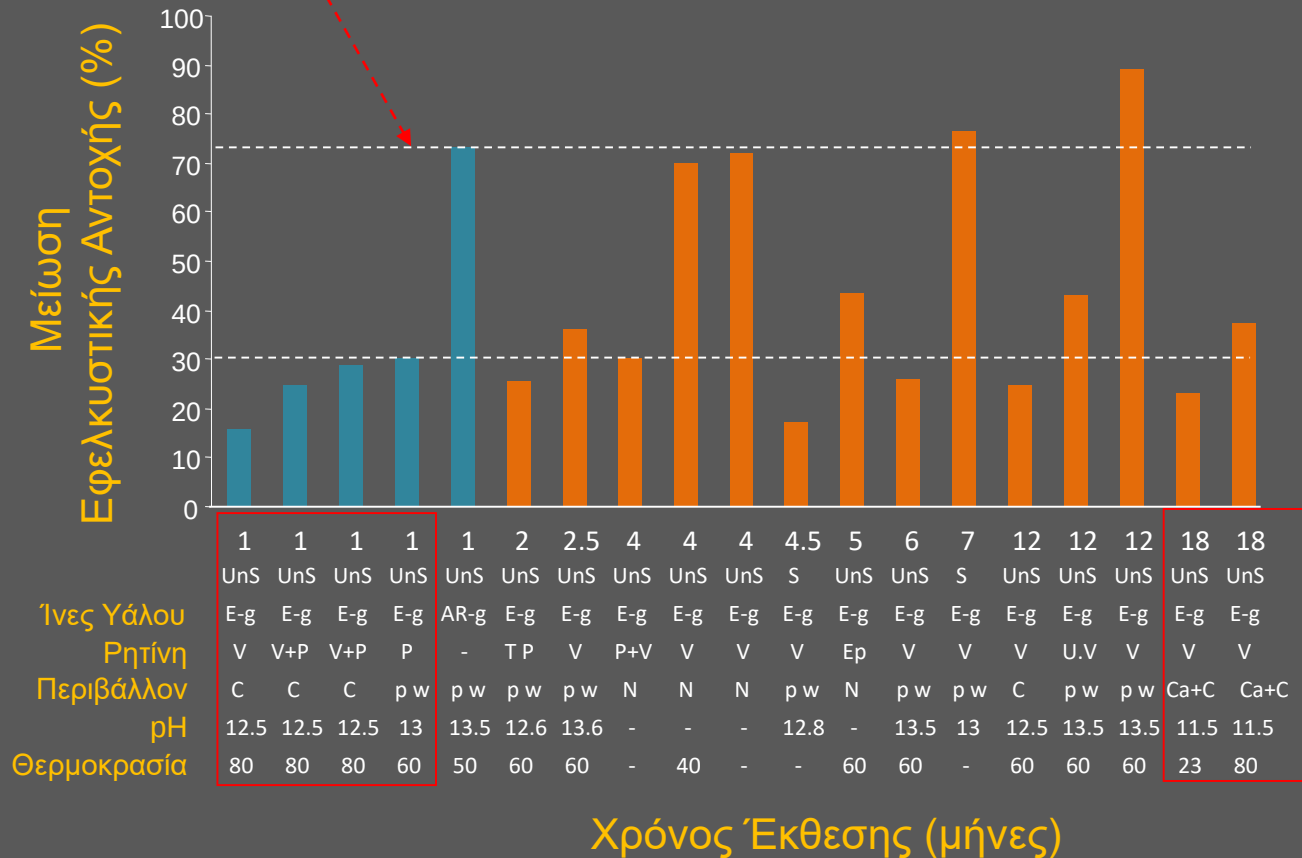
- Έντονο αλκαλικό περιβάλλον ισχυρός διαβρωτικός παράγοντας για τα ΙΟΠ
- Αλκαλικό περιβάλλον σκυροδέματος διαβρωτικός παράγοντας για τα ΙΟΠ (?)
 - Σε τι βαθμό – ρυθμό η αλκαλικότητα επηρεάζει τα ΙΟΠ?
 - Μείωση αλκαλικότητας (pH) τι επιπτώσεις έχει στις μηχανικές ιδιότητες ΙΟΠ ?

- Στόχος

Ανάπτυξη πειραματικών πρωτοκόλλων και διερεύνηση της επίδρασης συνθηκών διαφορετικής αρχικής αλκαλικότητας στις μηχανικές ιδιότητες ράβδων Γ-ΙΟΠ στο σκυρόδεμα

Έως τώρα Διερεύνηση Επίδρασης Αλκαλικότητας ..

- Δεν παρατηρείται πάντα μείωση εφελκυστικής αντοχής, με συνεχόμενη έκθεση σε αλκαλικά διαλύματα
- Δεν κατέστη δυνατό να διακριθεί κάποιο ομοιόμορφο μοτίβο



Ίνες Υάλου
Ρητίνη
Περιβάλλον
pH
Θερμοκρασία

1	1	1	1	1	2	2.5	4	4	4	4.5	5	6	7	12	12	12	18	18
UnS	UnS	UnS	UnS	UnS	UnS	UnS	UnS	UnS	UnS	S	UnS	UnS	S	UnS	UnS	UnS	UnS	UnS
E-g	E-g	E-g	E-g	AR-g	E-g	E-g	E-g	E-g	E-g	E-g	E-g	E-g	E-g	E-g	E-g	E-g	E-g	E-g
V	V+P	V+P	P	-	T P	V	P+V	V	V	V	V	Ep	V	V	V	U.V	V	V
C	C	C	p w	p w	p w	p w	N	N	N	p w	N	p w	p w	C	p w	p w	Ca+C	Ca+C
12.5	12.5	12.5	13	13.5	12.6	13.6	-	-	-	12.8	-	13.5	13	12.5	13.5	13.5	11.5	11.5
80	80	80	60	50	60	60	-	40	-	-	60	60	-	60	60	60	23	80

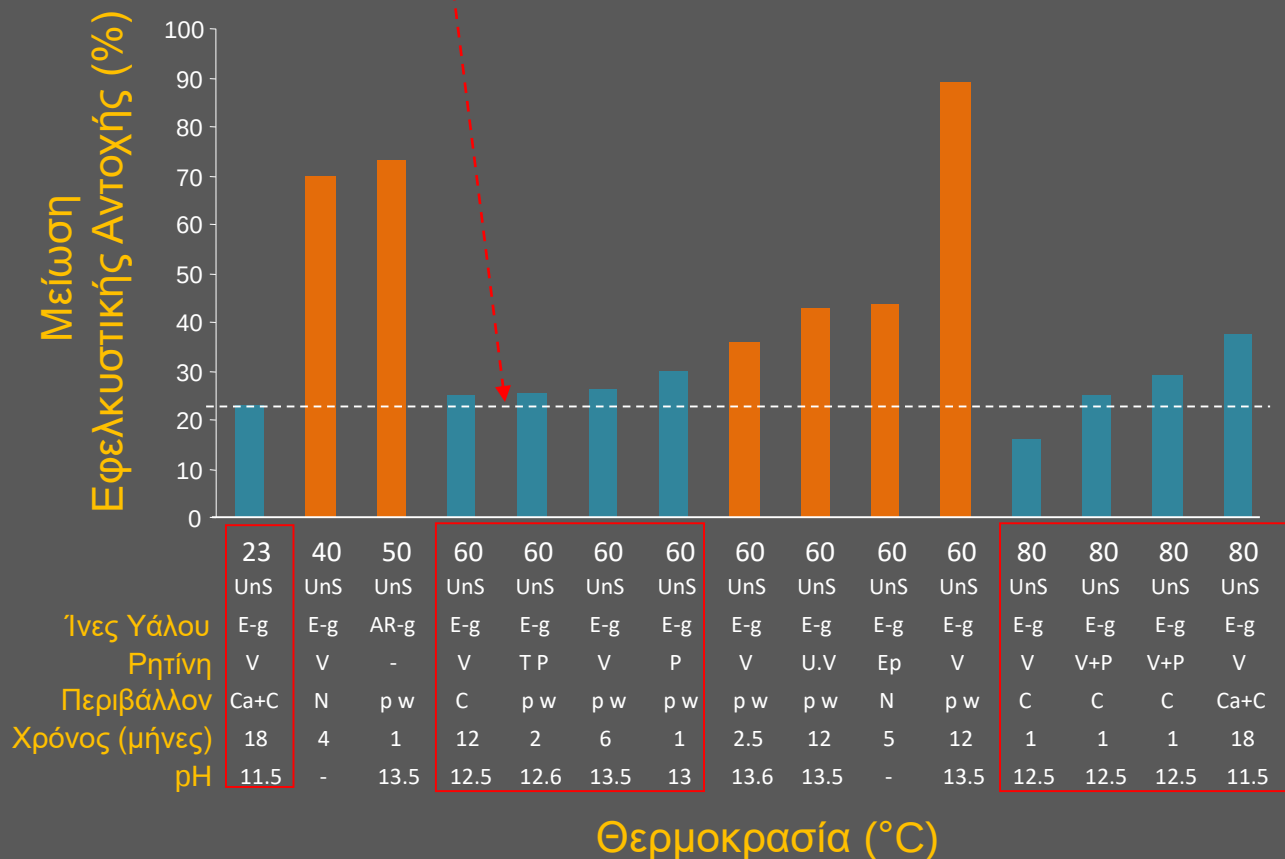
where,

Un: Unstressed,
E-g: E-glass fibres,
V: Vinyl ester,
Ep: Epoxy,
C: Ca(OH)₂,
Ca+C: CaCO₃ + Ca(OH)₂

S: Stressed
AR-g: AR glass fibres
P: Polyester
T P: Thermoplastic Polyurethane
p w: simulated concrete pore water solution
N: NaOH

Έως τώρα Διερεύνηση Επίδρασης Αλκαλικότητας ..

- Παρόμοια μείωση αντοχής στους 23, 60 και 80 °C.



23	40	50	60	60	60	60	60	60	60	60	60	80	80	80	80
UnS	UnS	UnS	UnS	UnS	UnS	UnS	UnS	UnS	UnS	UnS	UnS	UnS	UnS	UnS	UnS
E-g	E-g	AR-g	E-g	E-g	E-g	E-g	E-g	E-g	E-g	E-g	E-g	E-g	E-g	E-g	E-g
V	V	-	V	T P	V	P	V	U.V	Ep	V	V	V	V+P	V+P	V
Ca+C	N	p w	C	p w	p w	p w	p w	p w	N	p w	C	C	C	C	Ca+C
18	4	1	12	2	6	1	2.5	12	5	12	1	1	1	1	18
11.5	-	13.5	12.5	12.6	13.5	13	13.6	13.5	-	13.5	12.5	12.5	12.5	12.5	11.5

where,

Un: Unstressed,
E-g: E-glass fibres,
V: Vinyl ester,

Ep: Epoxy,
C: Ca(OH)₂,
Ca+C: CaCO₃ + Ca(OH)₂

S: Stressed

AR-g: AR glass fibres

P: Polyester

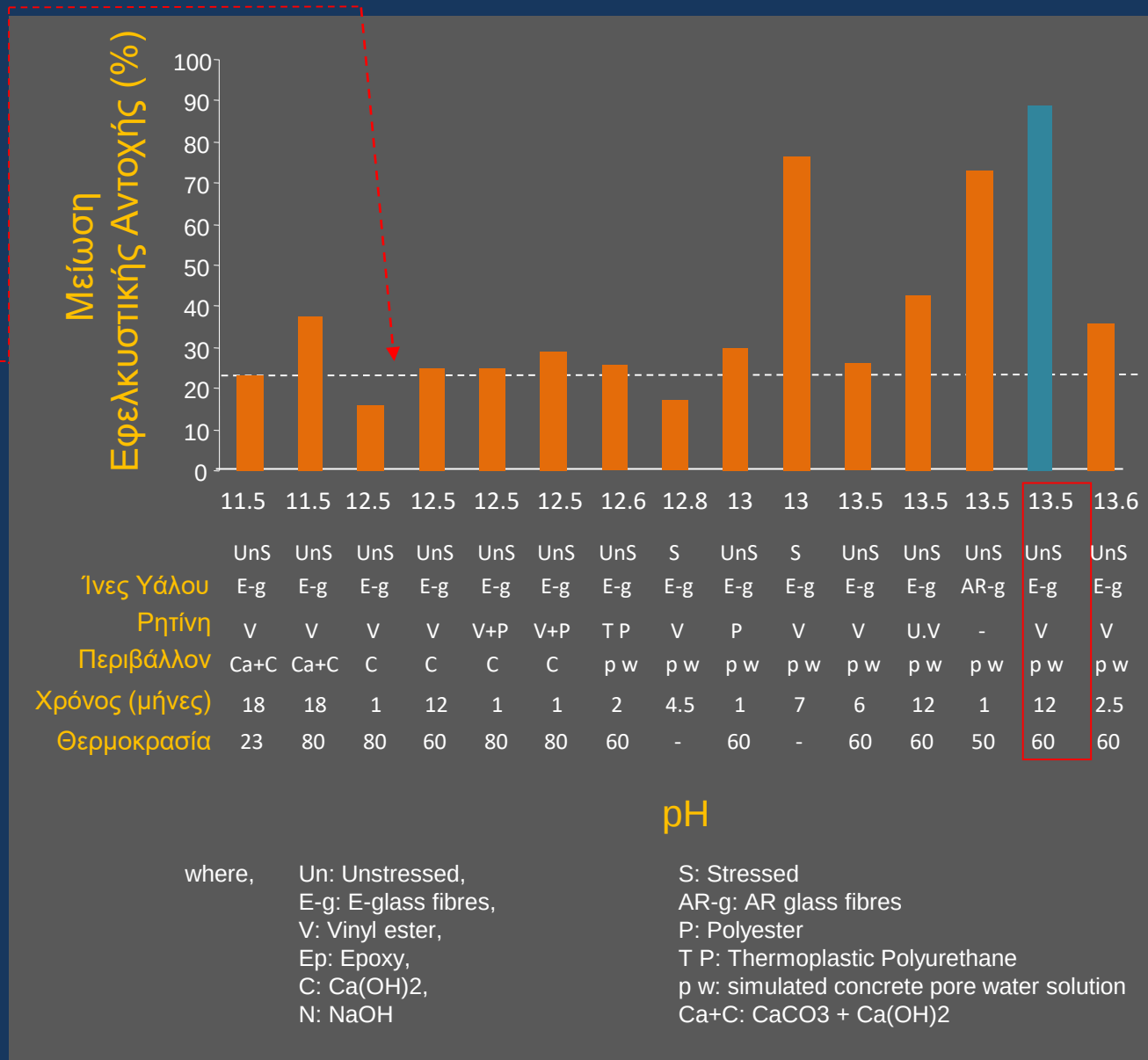
T P: Thermoplastic Polyurethane

p w: simulated concrete pore water solution

N: NaOH

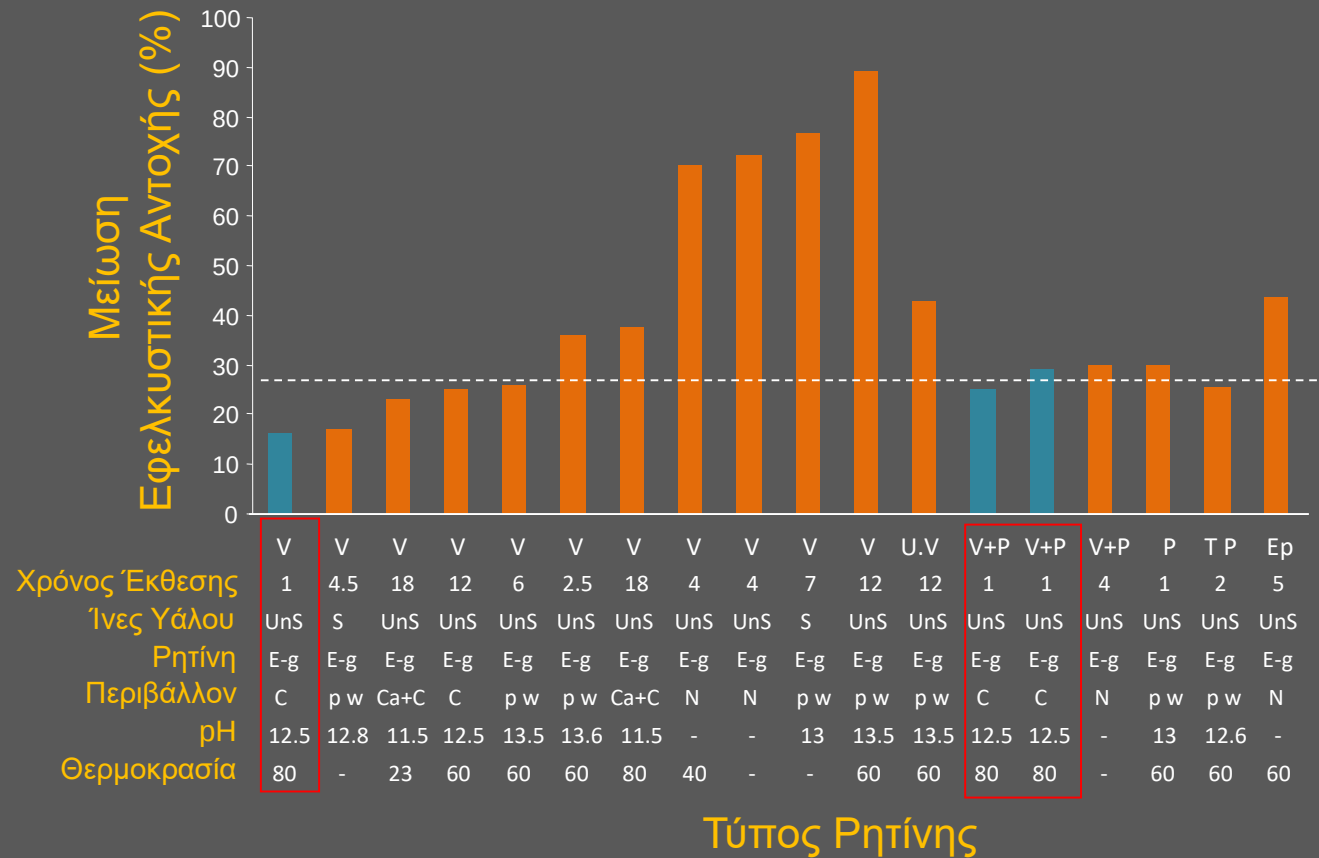
Έως τώρα Διερεύνηση Επίδρασης Αλκαλικότητας ..

- Σημαντική διακύμανση (spread) αποτελεσμάτων
- Σε γενικές γραμμές η αντοχή μειώθηκε με αύξηση της αλκαλικότητας.
- Αλκαλικό διάλυμα με pH 13.5, εξομοιώνοντας την αλκαλικότητα του υγειούς σκυροδέματος δείχνει να αποτελεί το πιο δραστικό επιθετικό περιβάλλον.



Έως τώρα Διερεύνηση Επίδρασης Αλκαλικότητας ..

- (Σε γενικές γραμμές)
Βυνιλεστερικές ρητίνες
παρείχαν καλύτερη
προστασία στις ίνες σε
σχέση με εποξιδικές ή
πολυεστερικές



where,

Un: Unstressed,

E-g: E-glass fibres, AR-g: AR glass fibres

V: Vinyl ester,

Ep: Epoxy,

C: Ca(OH)₂,

Ca+C: CaCO₃ + Ca(OH)₂

S: Stressed

P: Polyester

T P: Thermoplastic Polyurethane

p w: simulated concrete pore water solution

N: NaOH

Έως τώρα Διερεύνηση Επίδρασης Αλκαλικότητας ..

- Πλειονότητα ερευνητικών εργασιών βασίζεται σε:
 - έκθεση ράβδων Γ-ΙΟΠ σε αλκαλικά διαλύματα εξομοίωσης νερού πόρων σκυροδέματος
 - έκθεση ράβδων Γ-ΙΟΠ σε κορεσμένα διαλύματα $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH
 - Έκθεση ινών υάλου σε δοκίμια σκυροδέματος
 - Δεν υπάρχει ένα κοινά αποδεκτό πειραματικό πρωτόκολλο
 - Μη ύπαρξη ομοφωνίας ως προς το υπό εξέταση υλικό (είδος ινών υάλου, τύπος ρητίνης)
 - Μη διαθέσιμες πληροφορίες λόγω θεμάτων εταιρικής εμπιστευτικότητας
- 
- Δυσκολία στη σύγκριση αποτελεσμάτων
 - Δυσκολία στη διεξαγωγή κοινών συμπερασμάτων (μοτίβων) για επίδραση παραμέτρων στη μείωση αντοχής Γ-ΙΟΠ.

Αποφασίστηκε να διερευνηθεί/δημιουργηθεί η καταλληλότερη πειραματική διαδικασία για τη διερεύνηση της ανθεκτικότητας Γ-ΙΟΠ στο σκυρόδεμα

Πειραματική Διαδικασία Διευρεύνησης Ανθεκτικότητας Γ-ΙΟΠ στο σκυρόδεμα

Πιλοτικές Δοκιμές

Δοκιμές Εφελκυσμού

Δοκιμές Κάμψης

Δοκιμές Συνάφειας

Ανάπτυξη Χημικών
Διαλυμάτων
Εξομοίωσης νερού
πόρων σκυροδέματος

Ανάπτυξη πλήρως
αυτοματοποιημένης
μονάδας
επιταχυνόμενης
ενανθράκωσης

Κυρίως Πειραματική Διαδικασία

Ράβδοι Γ-ΙΟΠ
σε
Χημικά διαλύματα εξομοίωσης
νερού πόρων σκυροδεμάτων
διαφορετικών αρχικών
αλκαλικοτήτων

Ράβδοι Γ-ΙΟΠ εκτεθειμένες σε

- Σκυροδέματα διαφορετικής αρχικής αλκαλικότητας
- Επιταχυνόμενη Ενανθράκωση

Δοκιμές Εφελκυσμού

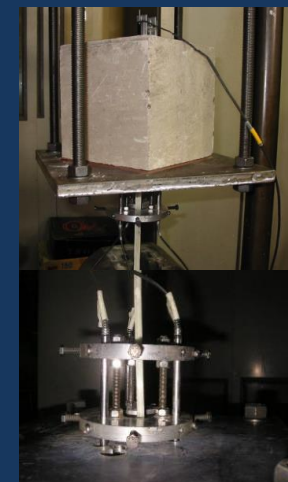
Δοκιμές Συνάφειας

Εκτίμηση Διείσδυσης αλκαλικών
ιόντων

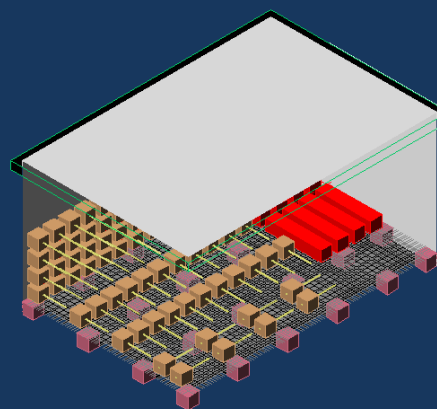
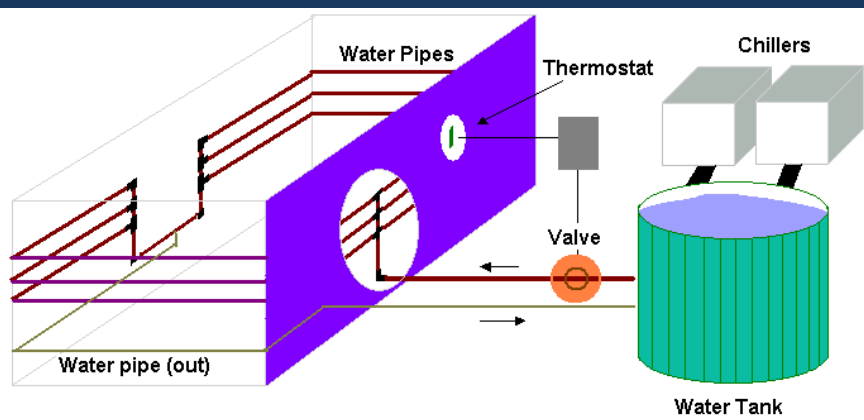
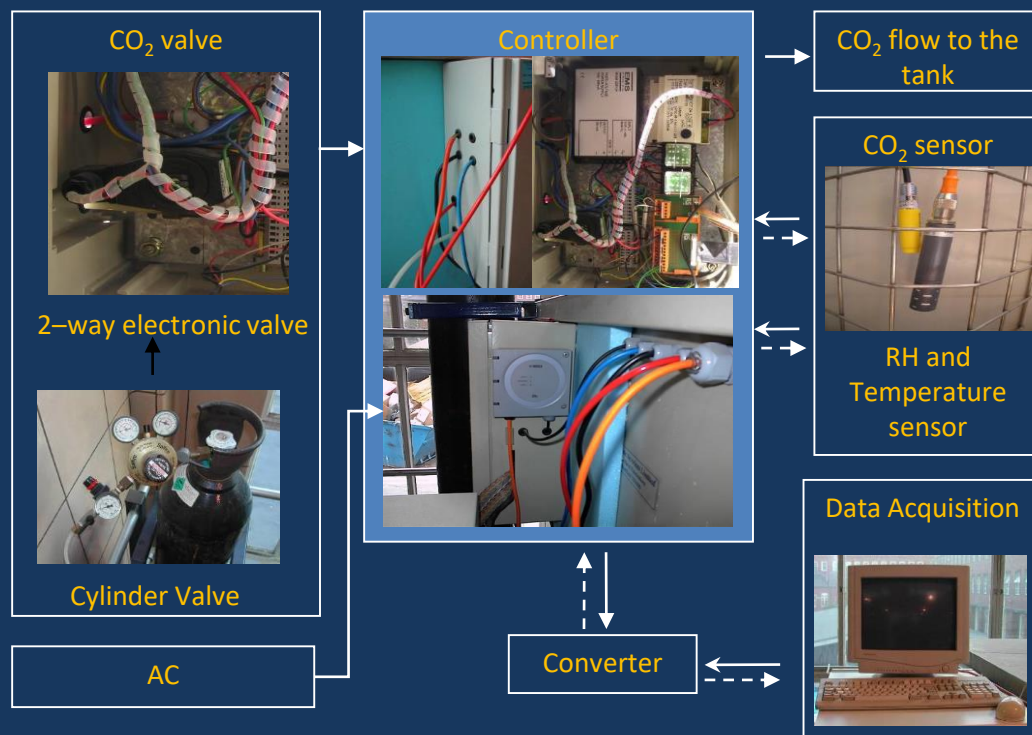
Έλεγχος Θλιπτικής Αντοχής
Σκυροδέματος και Ενανθράκωσης

SEM, EPMS

SEM

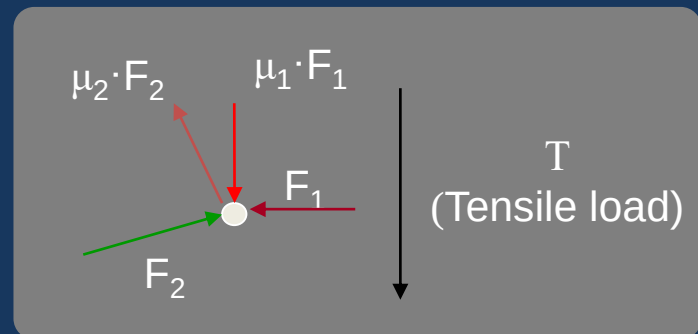
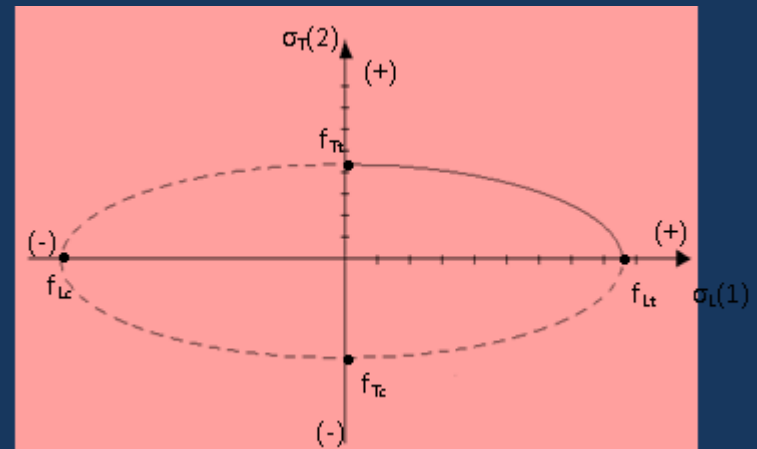
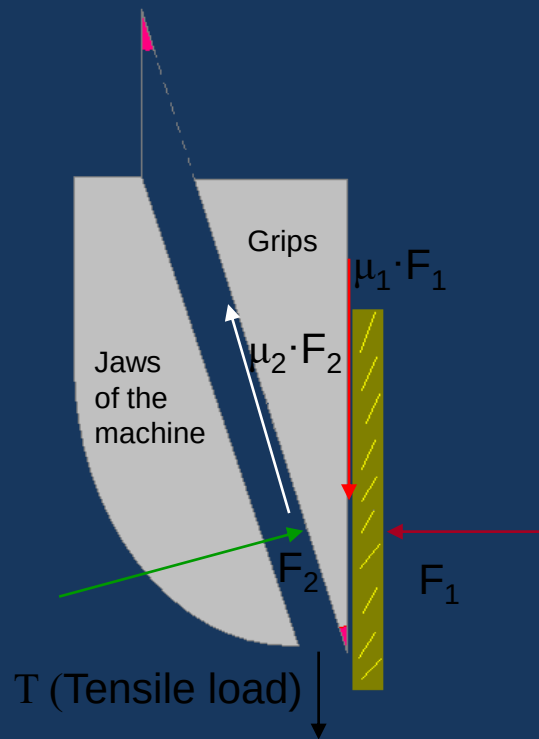


Ανάπτυξη Μονάδας Επιταχυνόμενης Ενανθράκωσης

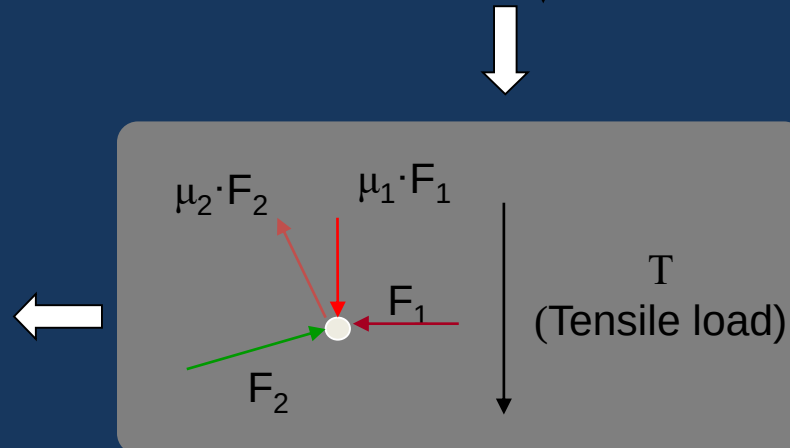
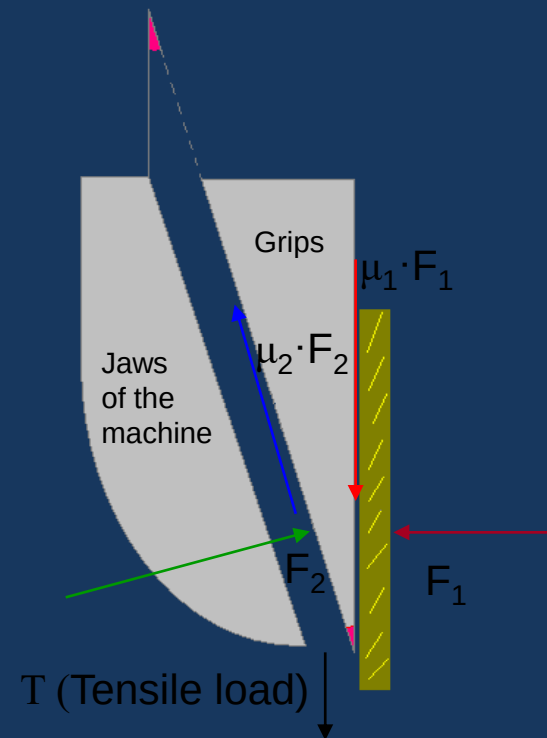
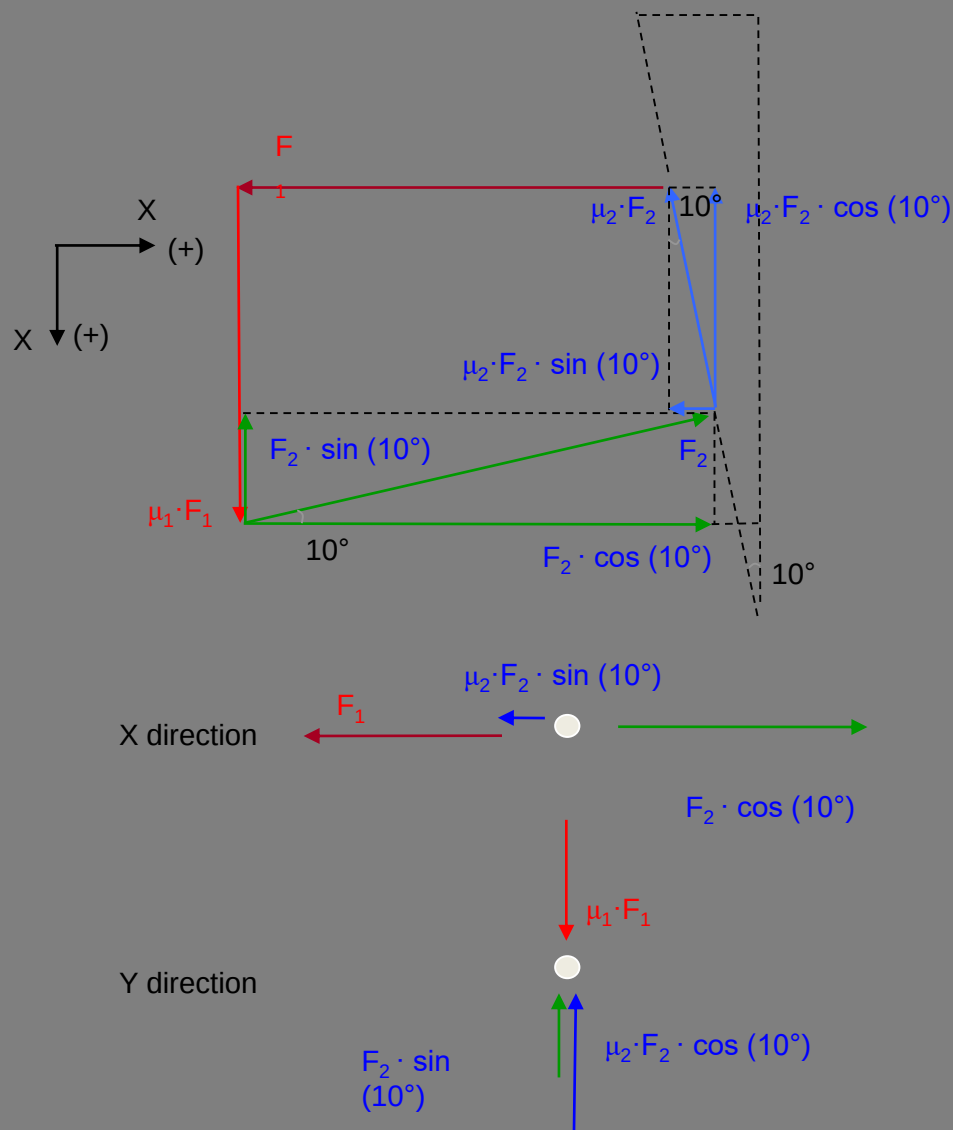


Εξέταση δυνατότητας ελέγχου «γυμνών» στις δαγκάνες δοκιμών

- Ανάλυση / υπολογισμός θλιπτικών τάσεων από δαγκάνες στη ράβδο
- Υπολογισμός επίδραση τους στις τάσεις στο διαμήκη άξονα ΙΟΠ (μέσω κριτηρίου Tsai-Hill)

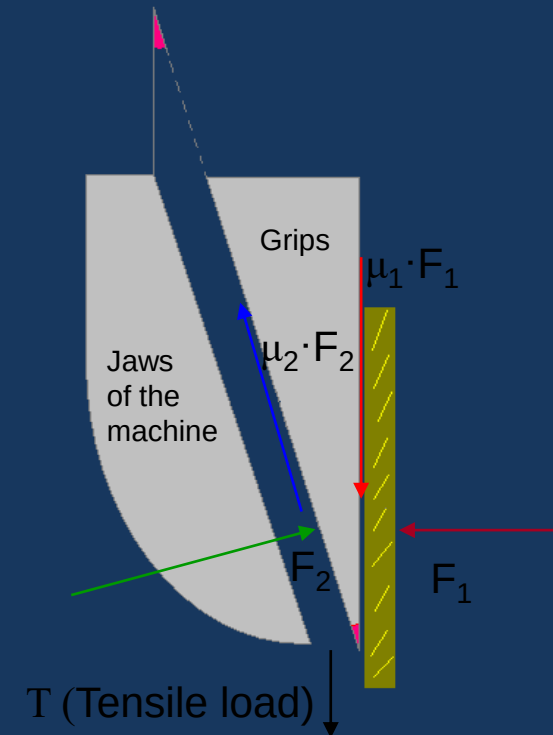
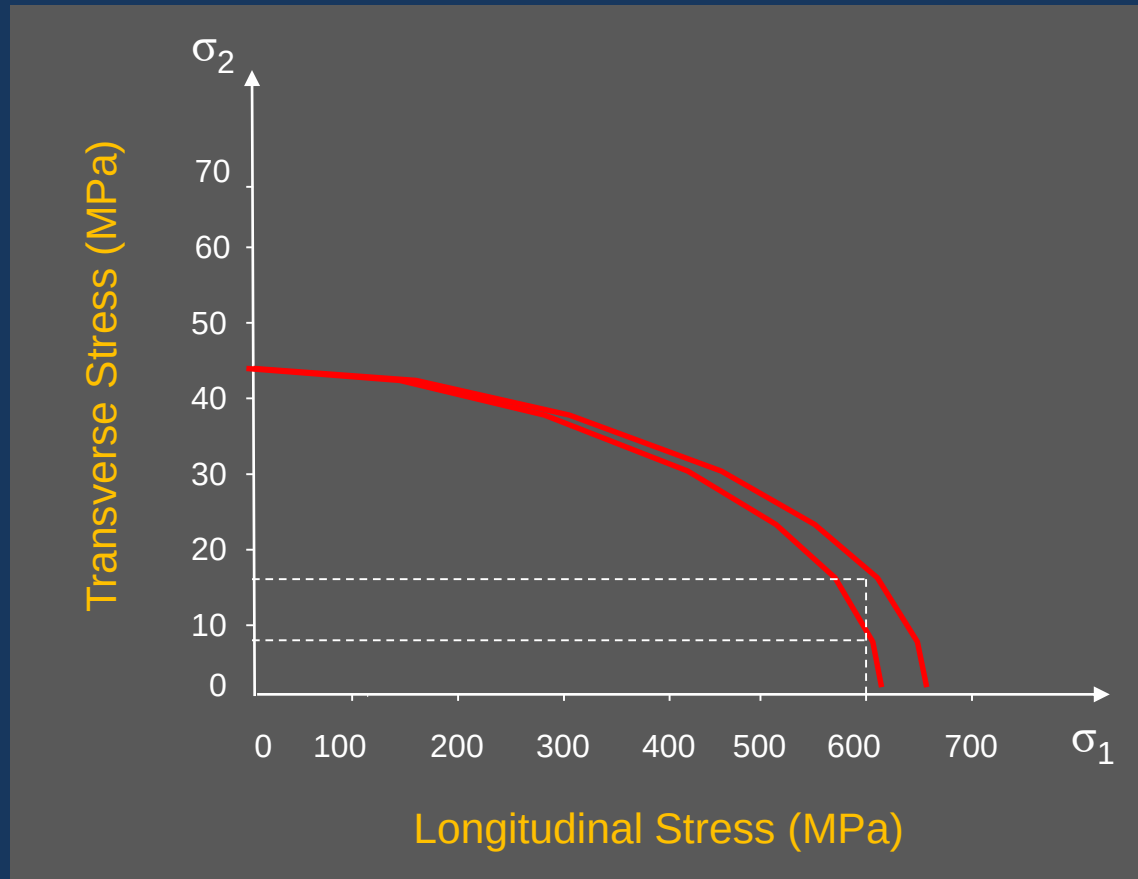


Εξέταση δυνατότητας ελέγχου «γυμνών» στις δαγκάνες δοκιμών

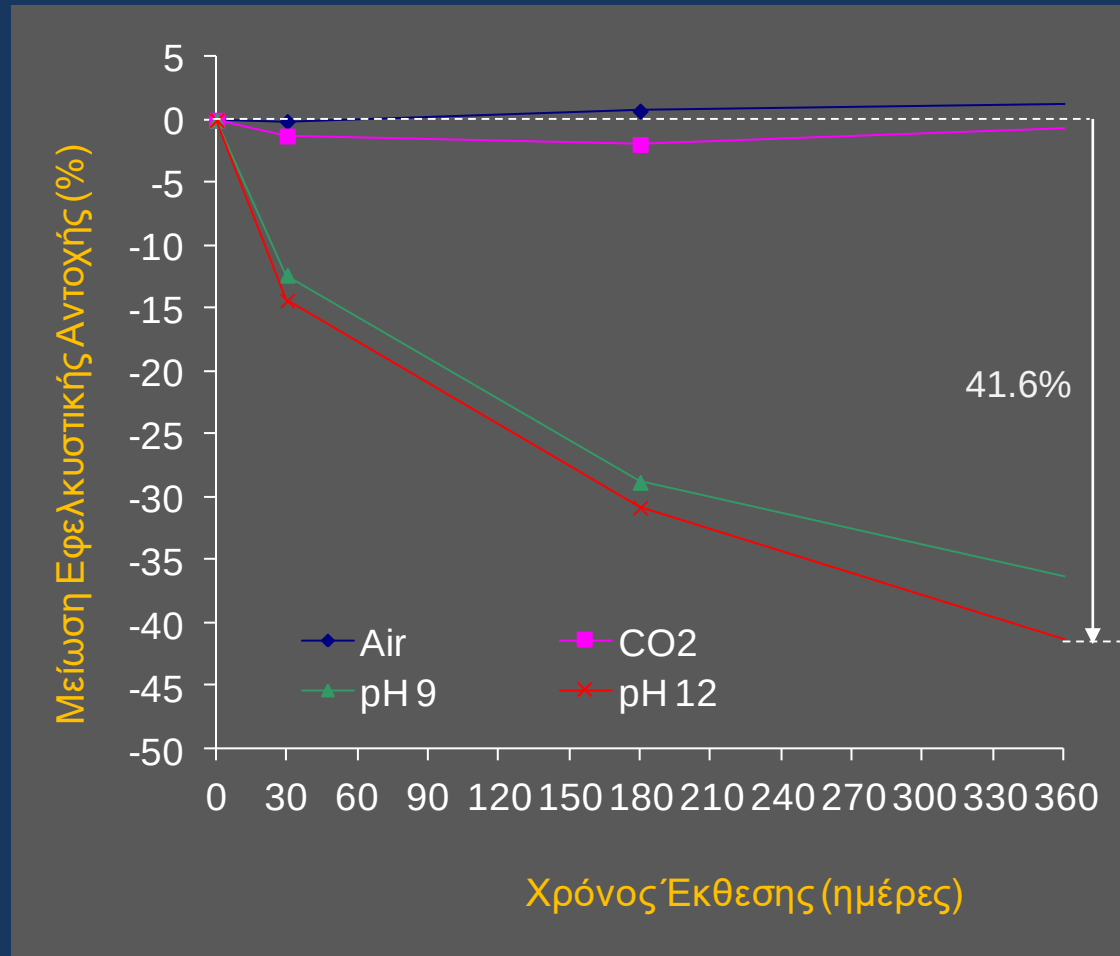


Εξέταση δυνατότητας ελέγχου «γυμνών» στις δαγκάνες δοκιμών

- Εφελκυστική αντοχή «γυμνών» δοκιμών $\approx 90\%$ αντοχής δοκιμών με προστατευτικά μέσα στα άκρα τους.



- Σημαντική μείωση εφελκυστικής αντοχής ράβδων Γ-ΙΟΠ.



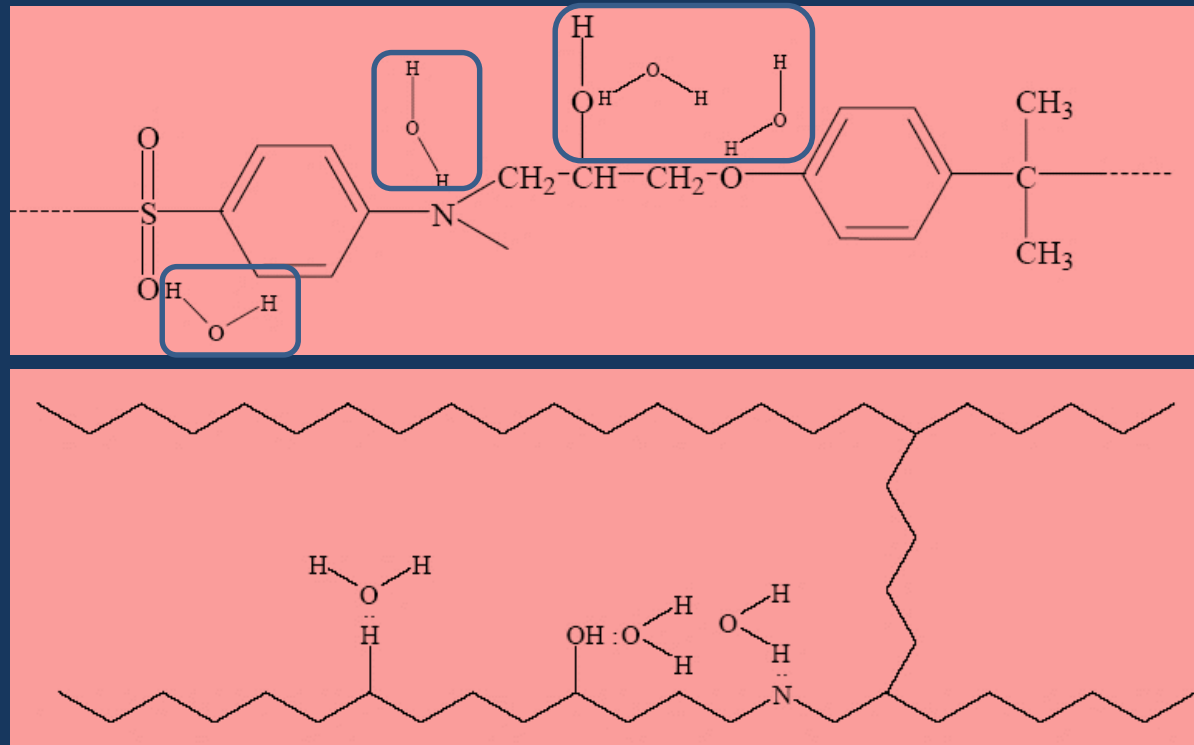
- Έντονη επίδραση αλκαλικών ιόντων διαλύματος στη διεπιφάνεια ινών/ρητίνης
- Υδρόλυση της ρητίνης λόγω ιόντων OH⁻.

ΙΟΠ σε διαλύματα – «Ευαισθησία» ρητινών στην υγρασία

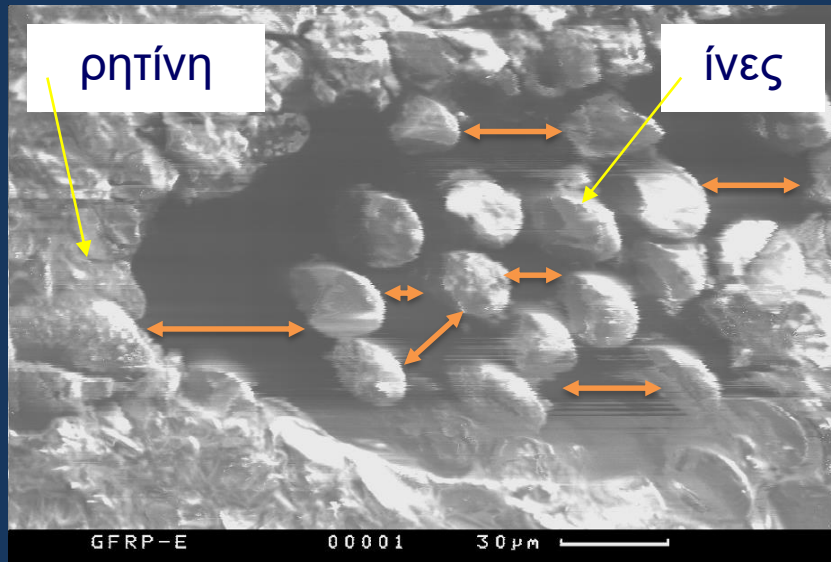
- Χημική φύση πολυμερικών δεσμών (σημαντικός παράγοντας)
- Δεσμοί εστέρων (ester bonds) «αδύναμος δεσμός» πολυμερούς
- Χρήση στυρένιου (styrene) σαν μονομερές για μετάβαση από υγρή φύση στη στερεή (θερμοσκληρυνόμενες ρητίνες)
- Το στυρένιο «παρέχει» σημεία για πιθανή επαφή (bonding) με υγρασία (ιόντα υδρογόνου, οξυγόνου).
- Πολυμερές υλικό ευπαθές σε υδρόλυση



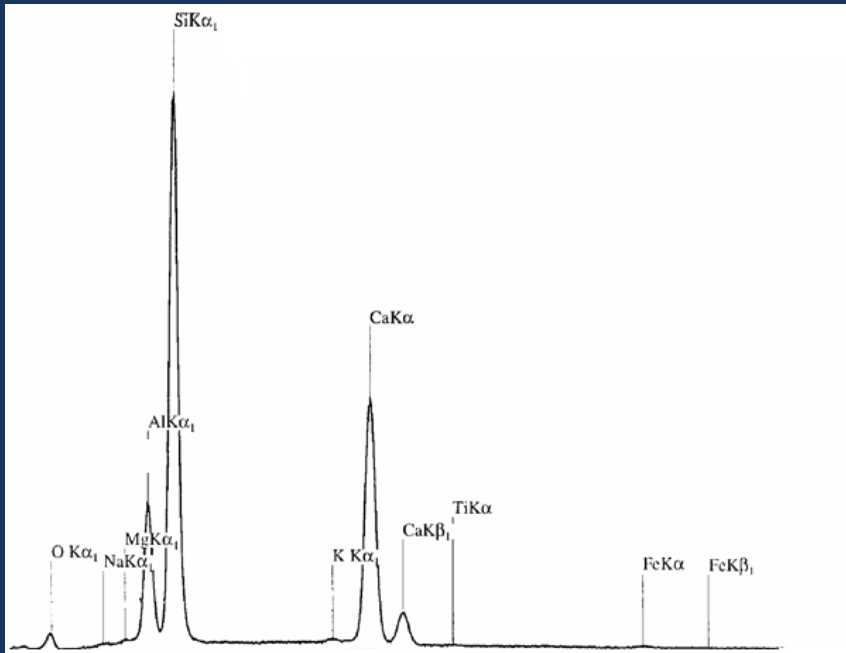
- Εξασθένιση πολυμερικών δεσμών
- Πτώση θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης
- Αποκόλληση ινών/ρητίνης
- Διάλυση πυριτικών δεσμών ινών υάλου από μετέπειτα επίδραση αλκαλικών ιόντων.



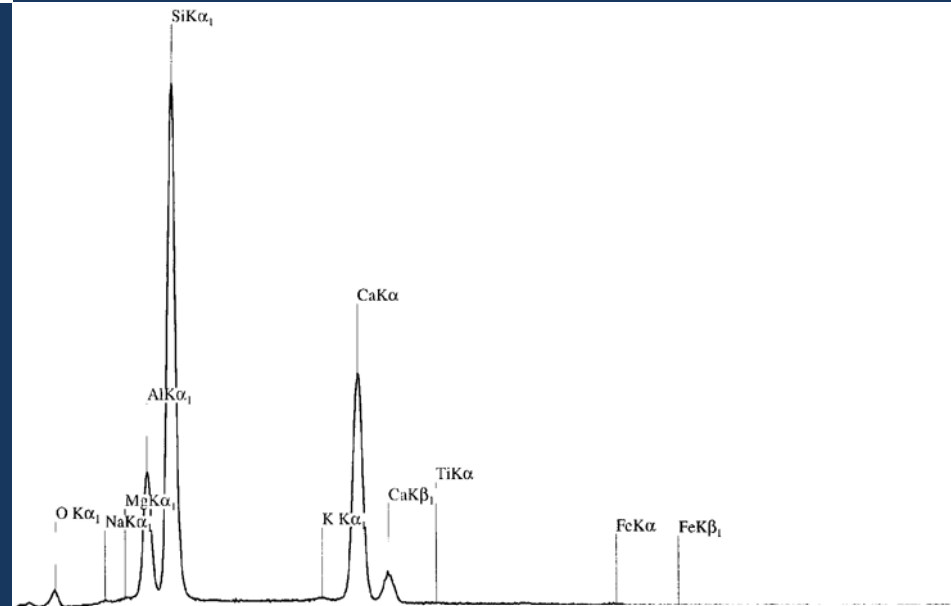
- Εικόνα ράβδου ΙΟΠ (διεπιφάνεια ινών/ρητίνης)
- Μερική αποκόλληση ράβδων/ινών



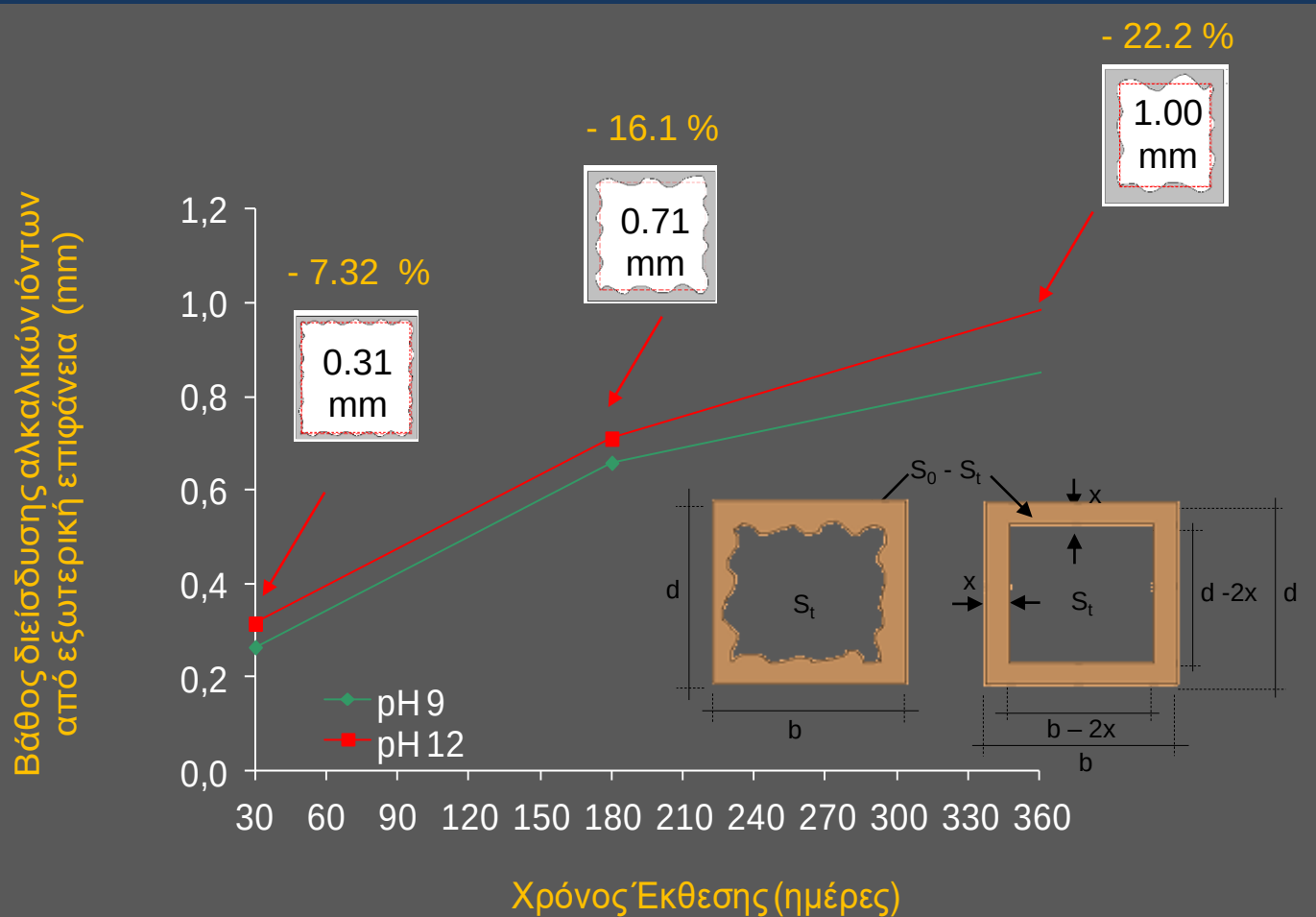
ΙΟΠ σε διαλύματα - Διείσδυση Αλκαλικών Ιόντων – Electron Probe Microanalysis



Element	% Wt
Ca	18.44
Si	26.61
K	0.25
Na	0.33
O	45.85



- Διείσδυση αλκαλικών ιόντων στη διατομή της ράβδου
(αντοχή $\downarrow$ 41.6% $\rightarrow$ «χρήσιμη» *effective* διατομή ράβδου $\downarrow$ 22.2%)

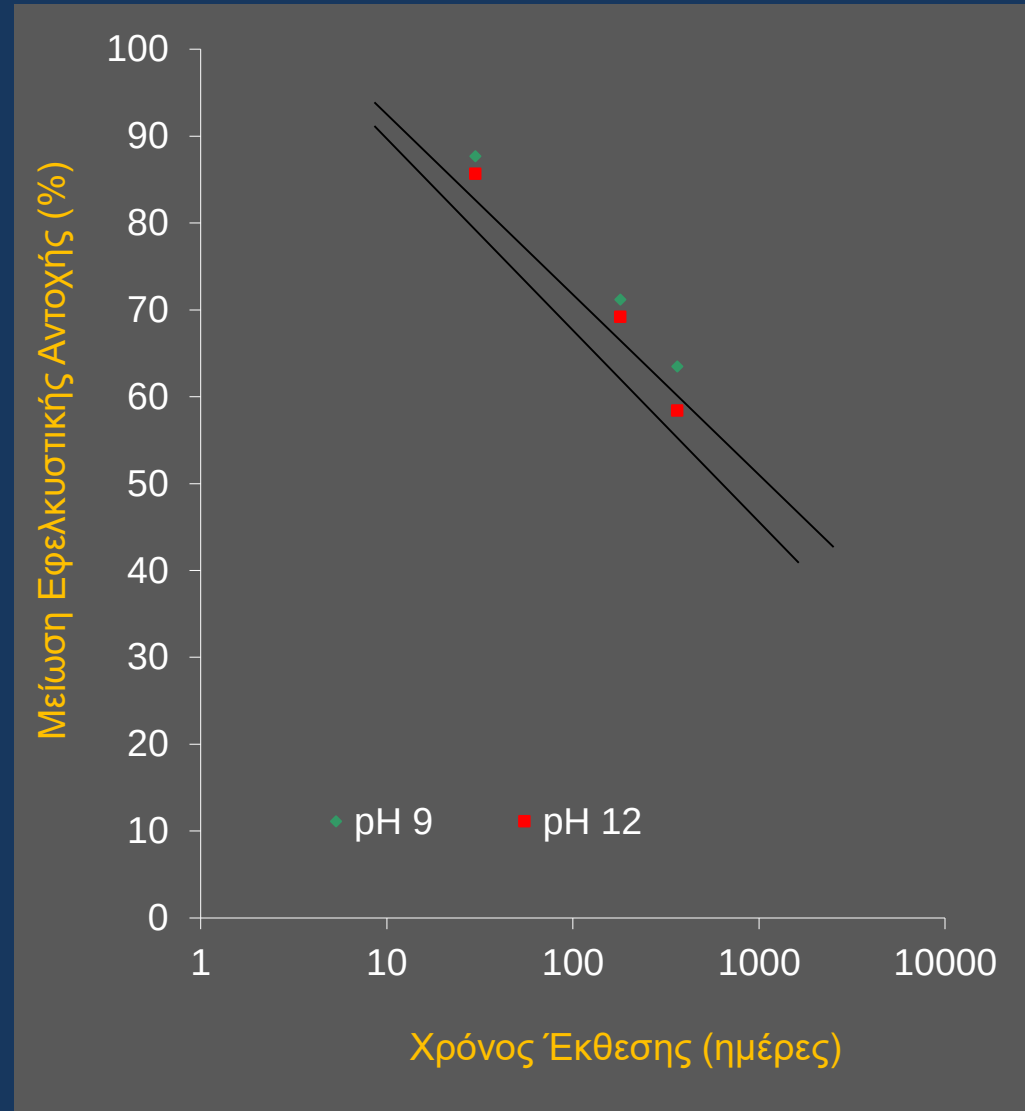


- Σημαντική επίδραση αλκαλικού περιβάλλοντος στην αντοχή Γ-ΙΟΠ.

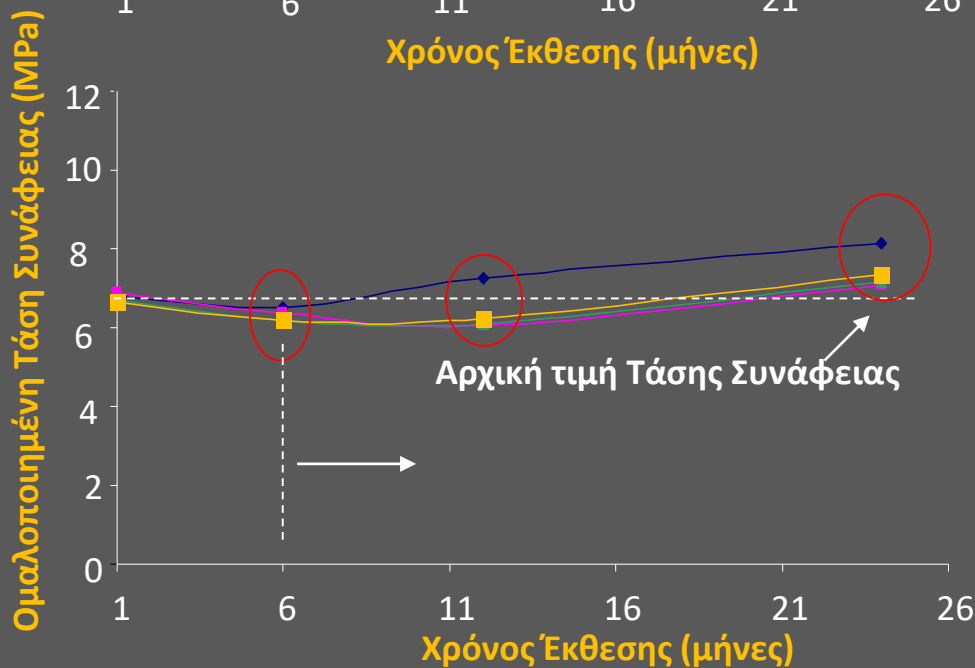
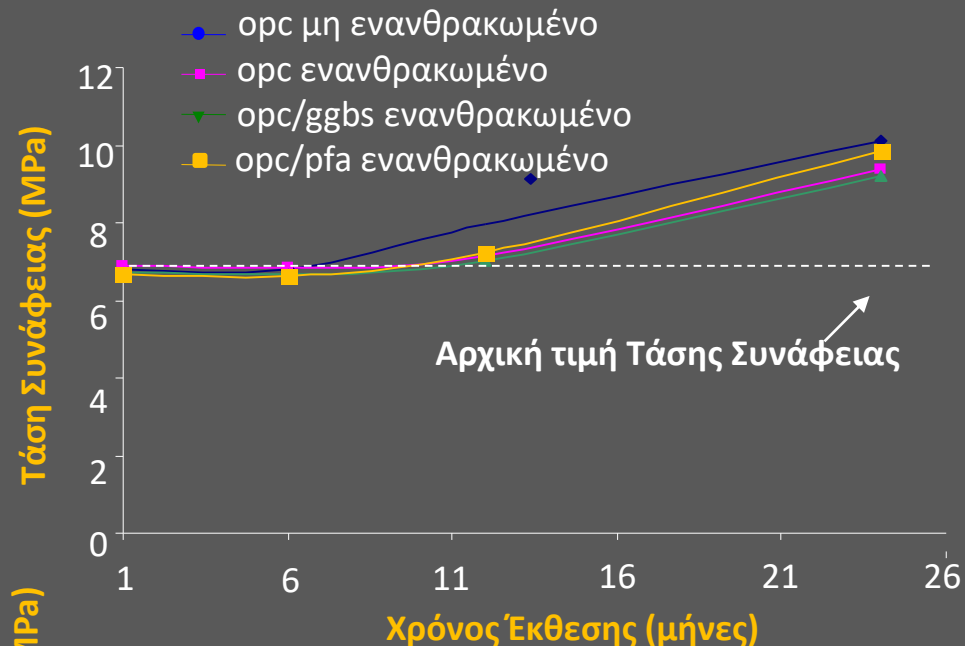
- Μείωση της εφελκυστικής αντοχής έως 41.6%.
- Διείσδυση αλκαλικών ιόντων έως 1mm
- Υδρόλυση Ρητίνης



- Περαιτέρω διερεύνηση σε πραγματικές συνθήκες σκυροδέματος.



ΙΟΠ στο Σκυρόδεμα - Τάση Συνάφειας



$$f_{bn} = f_b \cdot \left(\frac{f_{cu,28d}}{f_{cu,d}} \right)^{2/3}$$

f_{bn} Ομαλοποιημένη Τάση Συνάφειας

f_b Πειραματική Τάση Συνάφειας

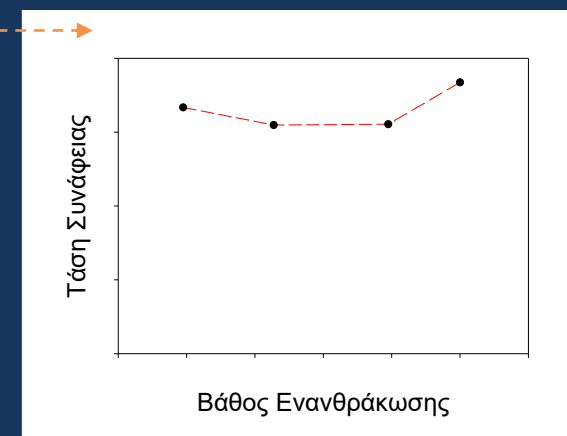
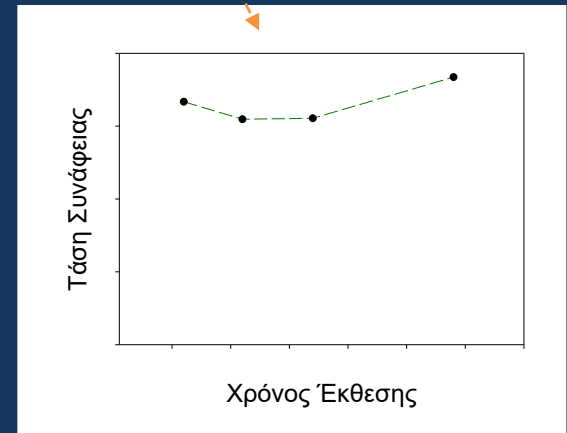
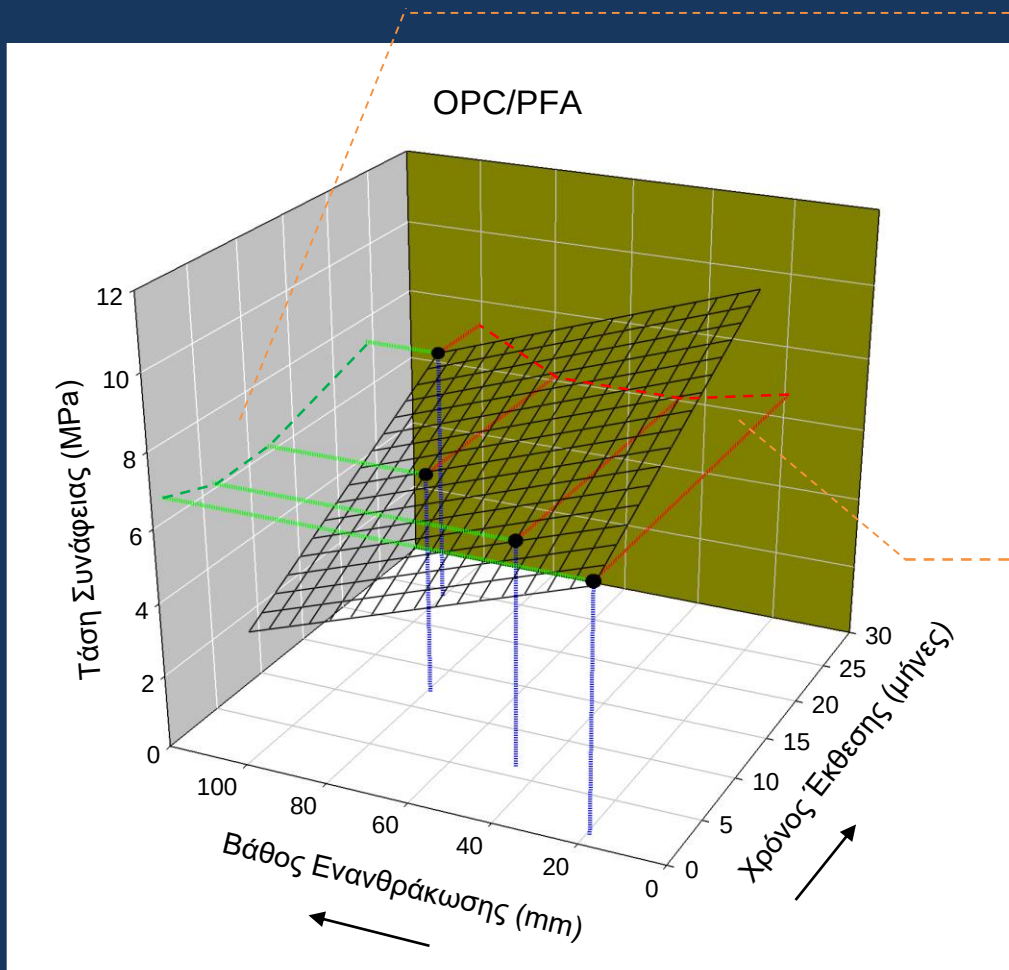
$f_{cu,28d}$ Μέση τιμή θλιπτικής αντοχής 28 ημερών

$f_{cu,d}$ Μέση τιμή πειραματικής θλιπτικής αντοχής

- Παρόμοια συμπεριφορά ενανθρακομένων δοκίμιων
- Μικρή μείωση έως 6 μήνες (2.45 % - 4.9 %)
- Σημαντική μεταβολή σε κάποιο σημείο μετά από 6 μήνες

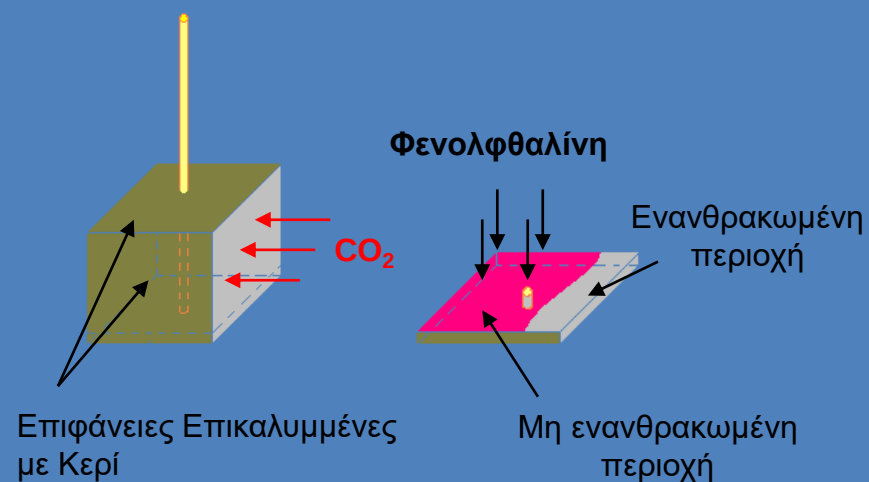
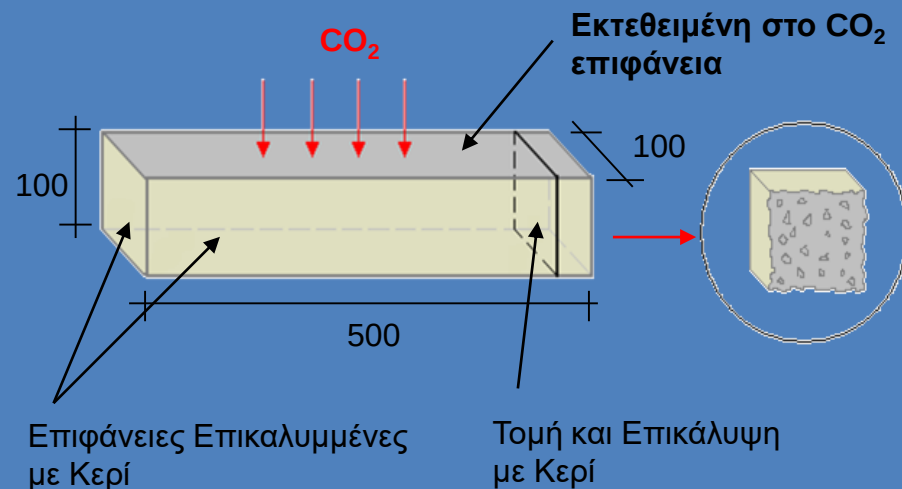
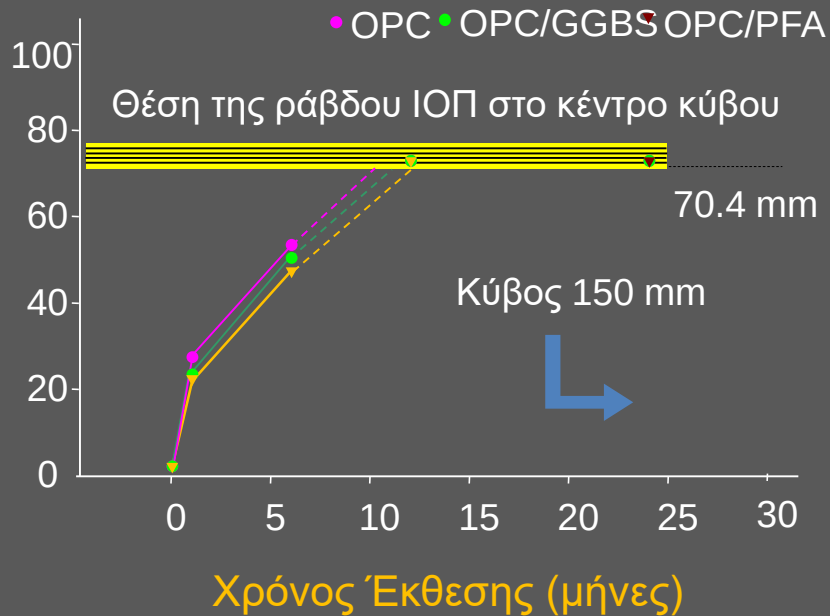
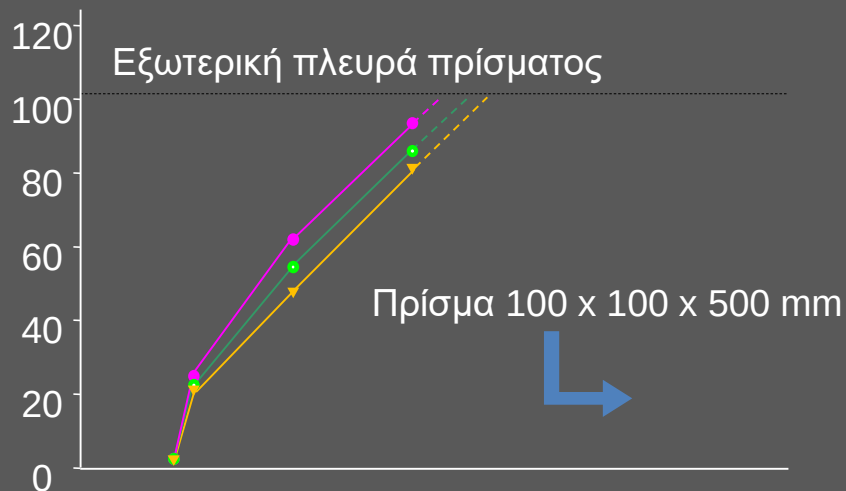
ΙΟΠ στο Σκυρόδεμα - Τάση Συνάφειας

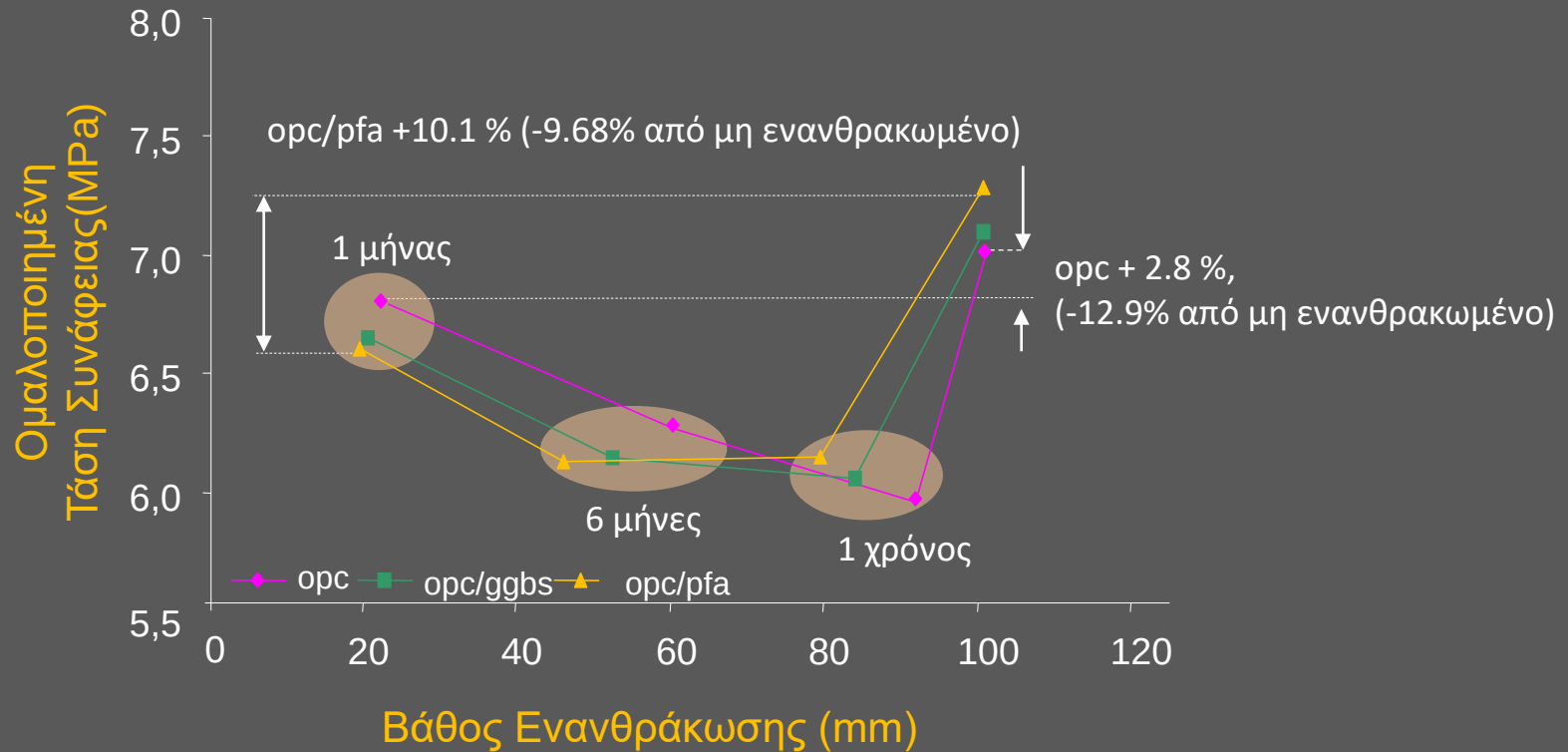
- Αύξηση τάσης συνάφειας με χρόνο έκθεσης (από κάποιο χρονικό σημείο και μετά)
- Μείωση τάσης συνάφειας (έως 12.9%) με αρχική εξέλιξη βάθους ενανθράκωσης



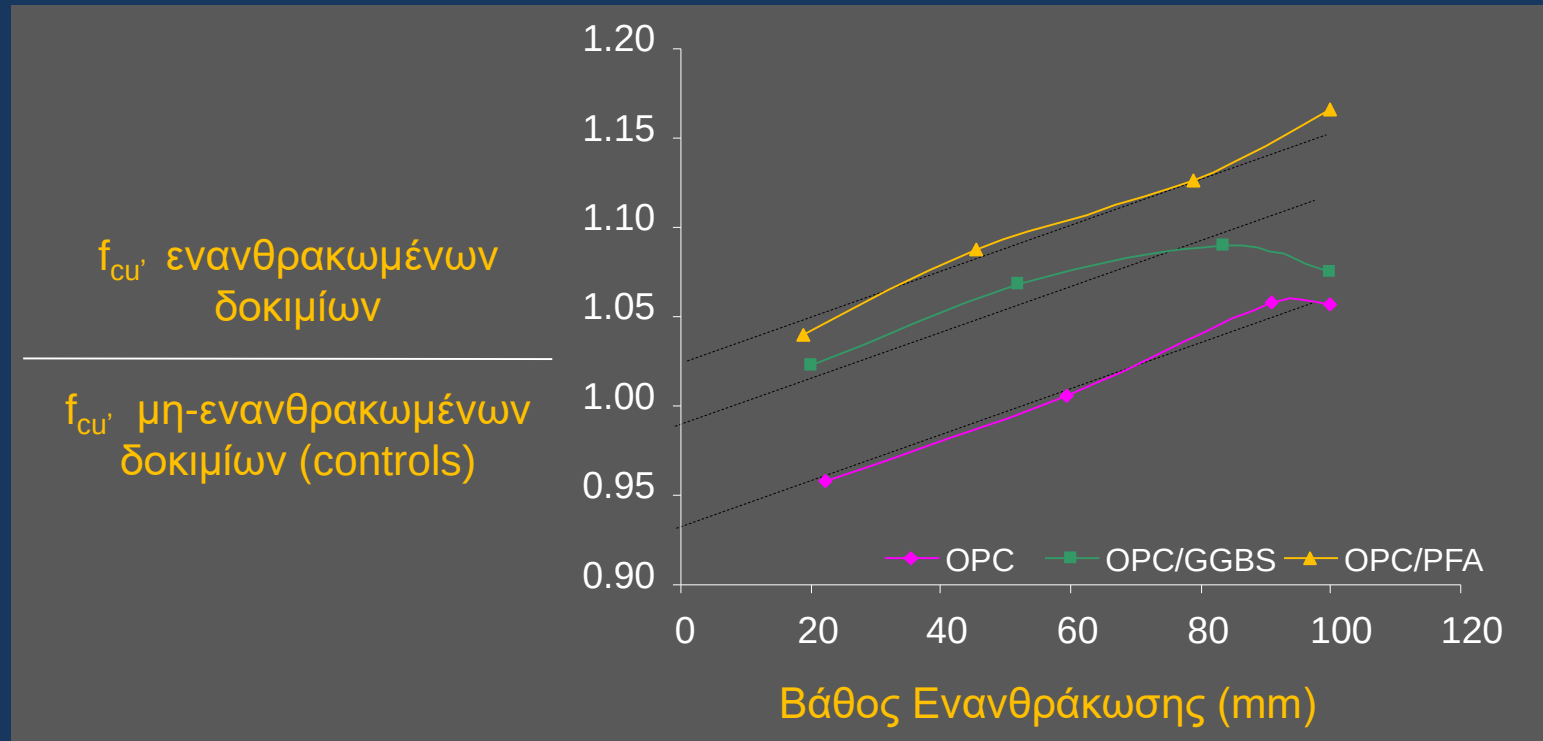
ΙΟΠ στο Σκυρόδεμα - Βάθος Ενανθράκωσης

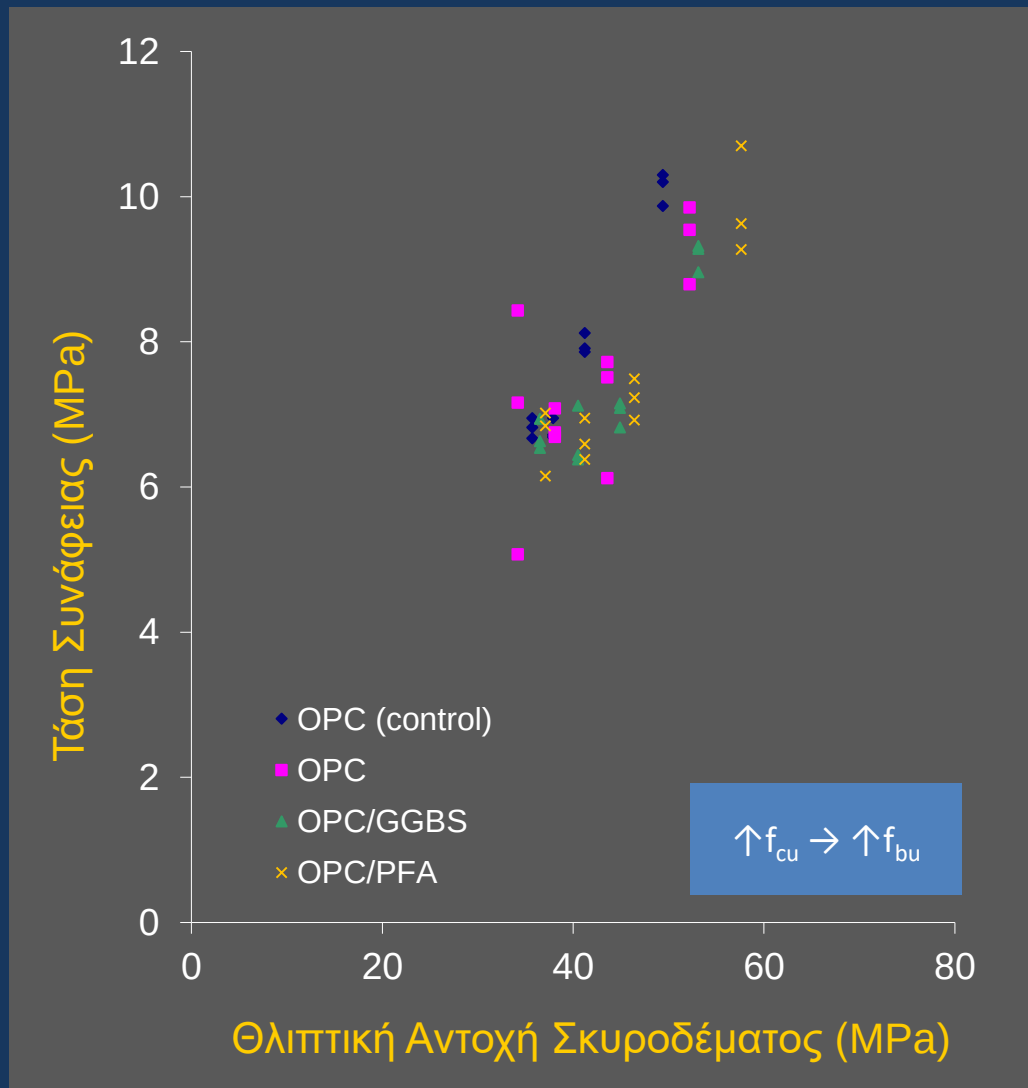
Βάθος Ενανθράκωσης (mm)

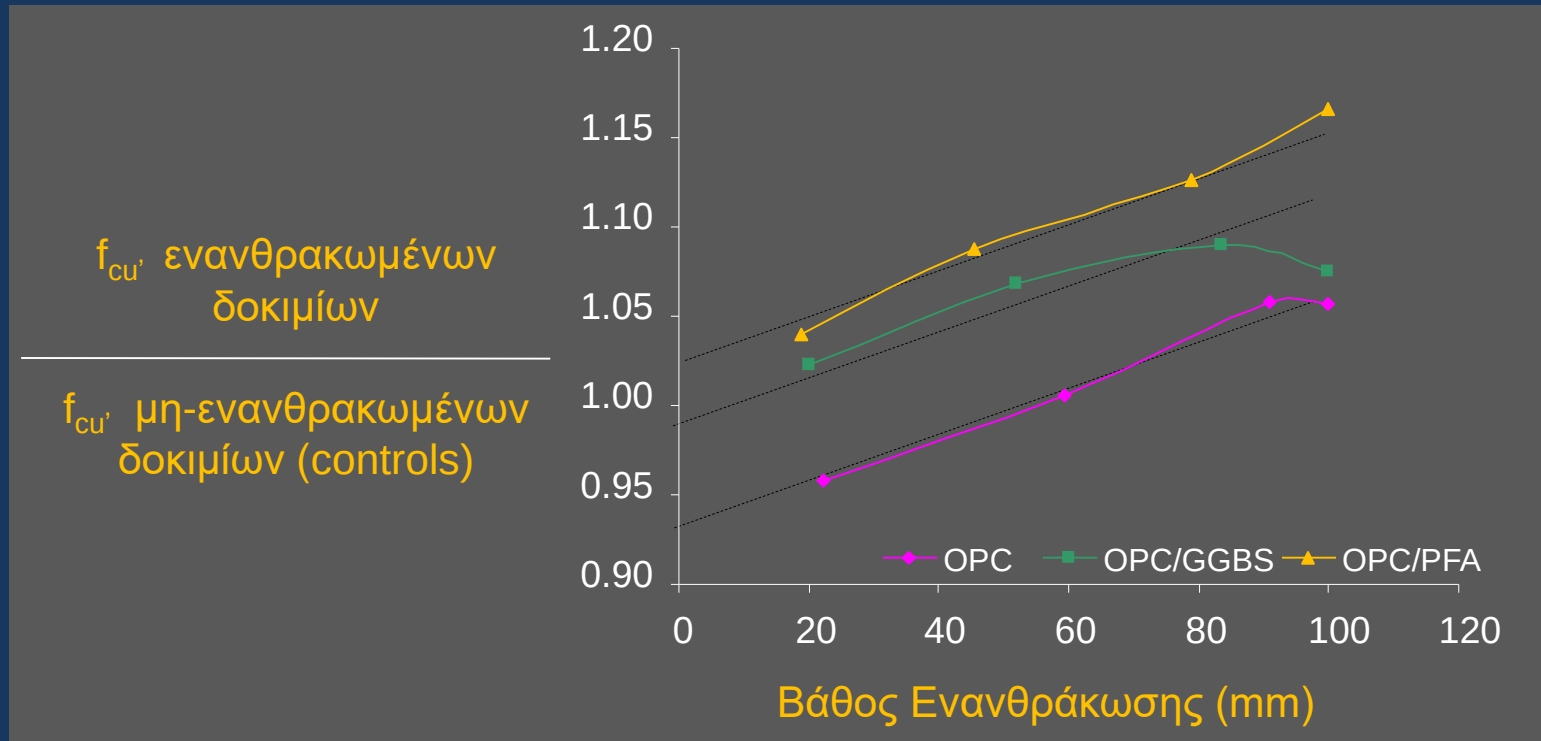




- Παρόμοια συμπεριφορά (ανεξάρτητα αρχικής αλκαλικότητας και αύξησης f_{cu}) κατά αρχική εξέλιξη ενανθράκωσης
- Χημική διεργασία ?







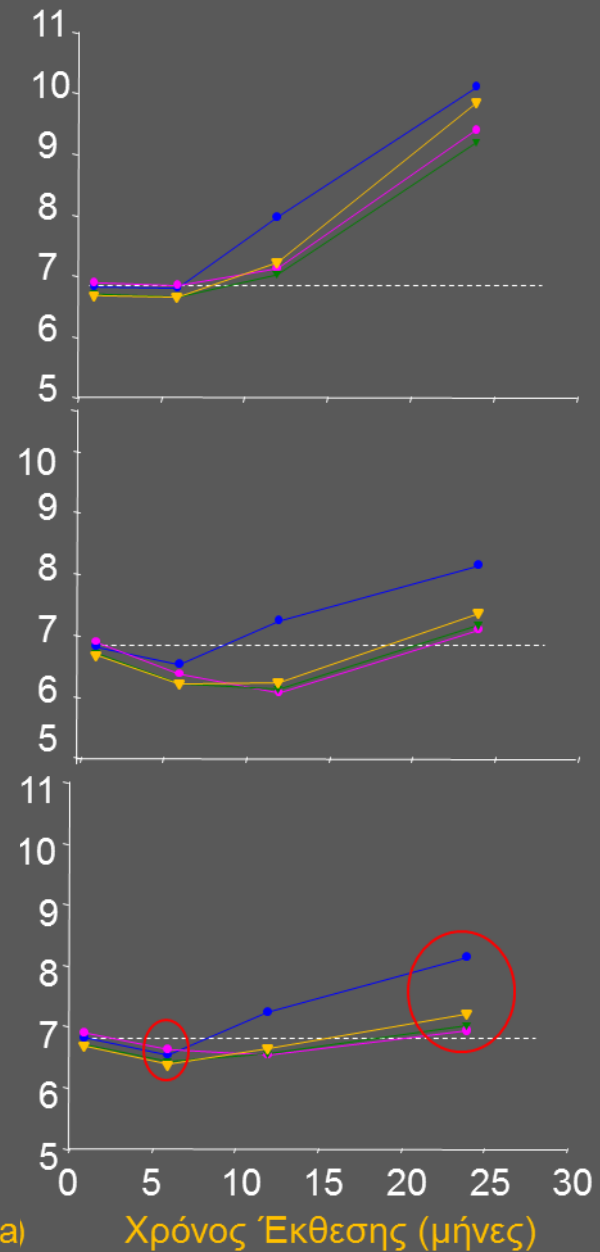
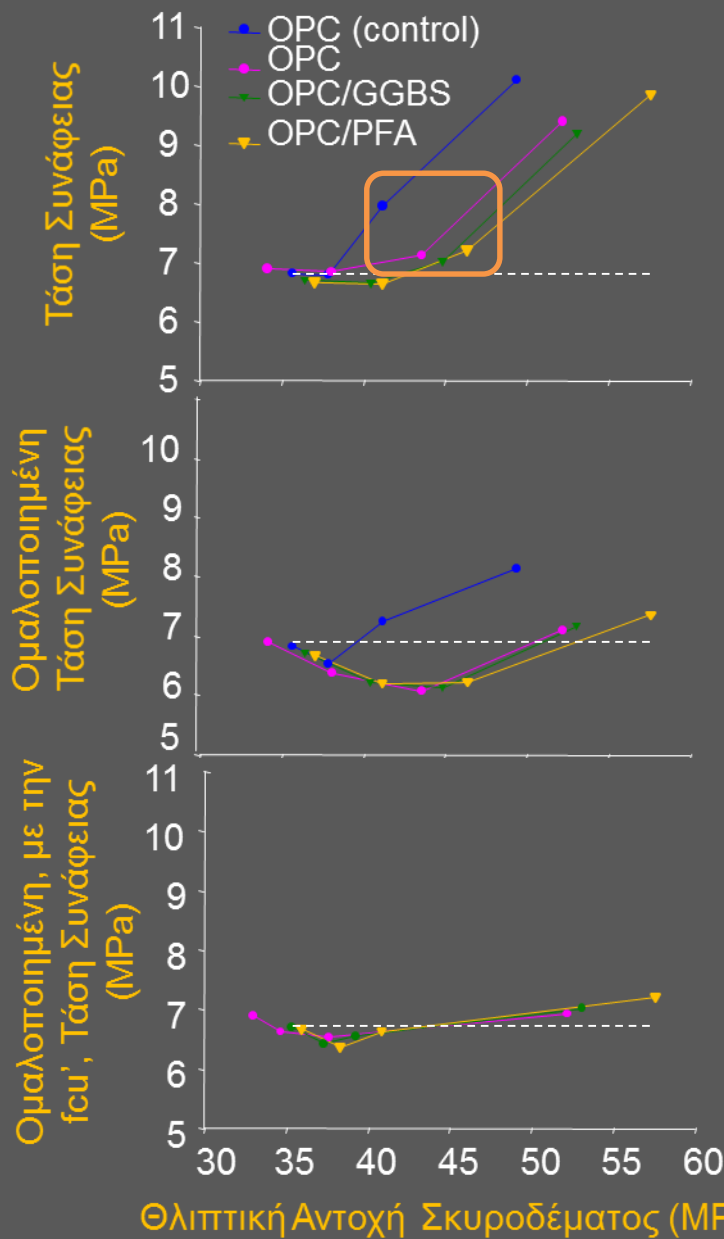
- Αύξηση θλιπτικής αντοχής στο ενανθρακωμένο μέρος του σκυροδέματος
- Δράση ενανθράκωσης μακριά από την ράβδο ΙΟΠ πρέπει να αφαιρεθεί

$$f'_{cu} = f_{cu(t)} - \left(0.15 \cdot f_{cu(t)} \cdot \frac{d_{pr}}{100} \right)$$

f'_{cu} θλιπτική αντοχή των ενανθρακωμένων δοκιμών
 $f_{cu(t)}$ θλιπτική αντοχή σκυροδέματος
 d_{pr} βάθος ενανθράκωσης μετρημένο σε πρίσμα (100x100x500 mm)

ΙΟΠ στο Σκυρόδεμα - Επίδραση Θλιπτικής Αντοχής - Αναλυτικά

$\uparrow f_{cu} \neq f_{bu}$



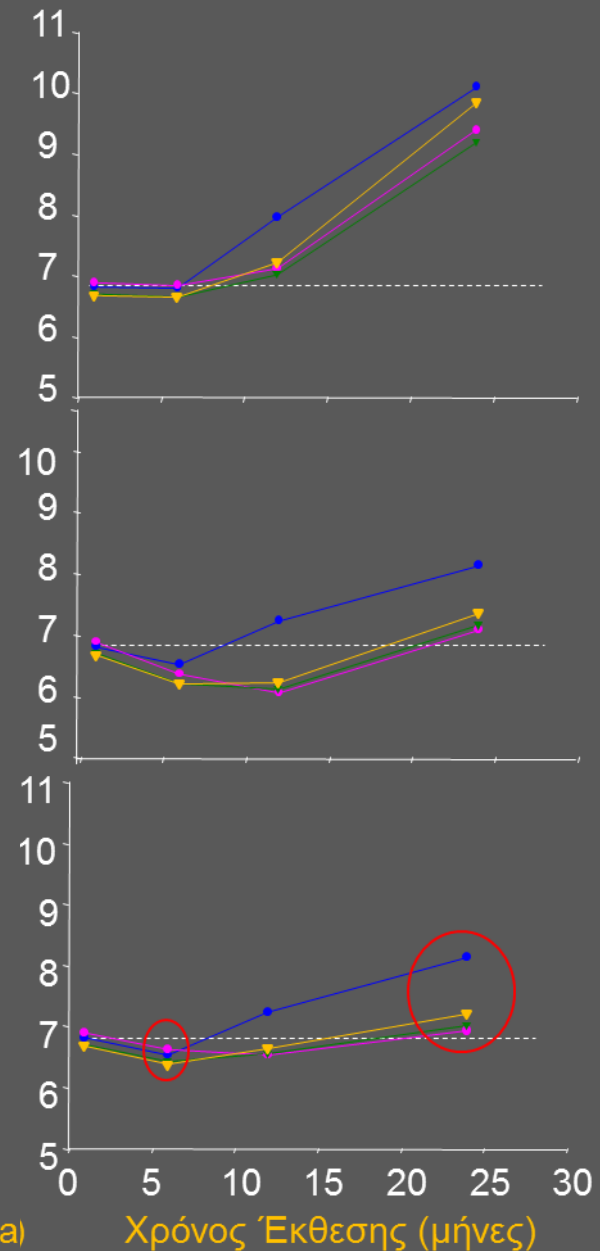
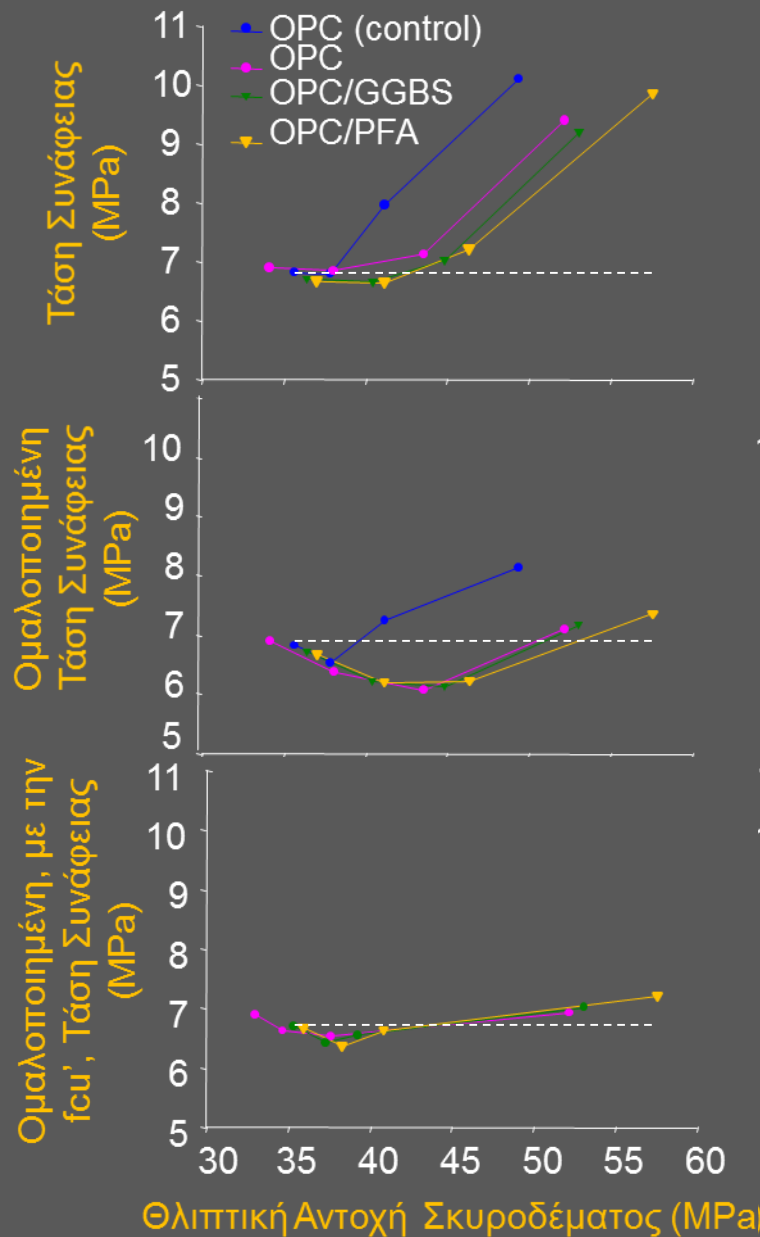
ΙΟΠ στο Σκυρόδεμα - Επίδραση Θλιπτικής Αντοχής - Αναλυτικά

$\uparrow f_{cu} : f_{bu} \downarrow$

Χημική
Διεργασία

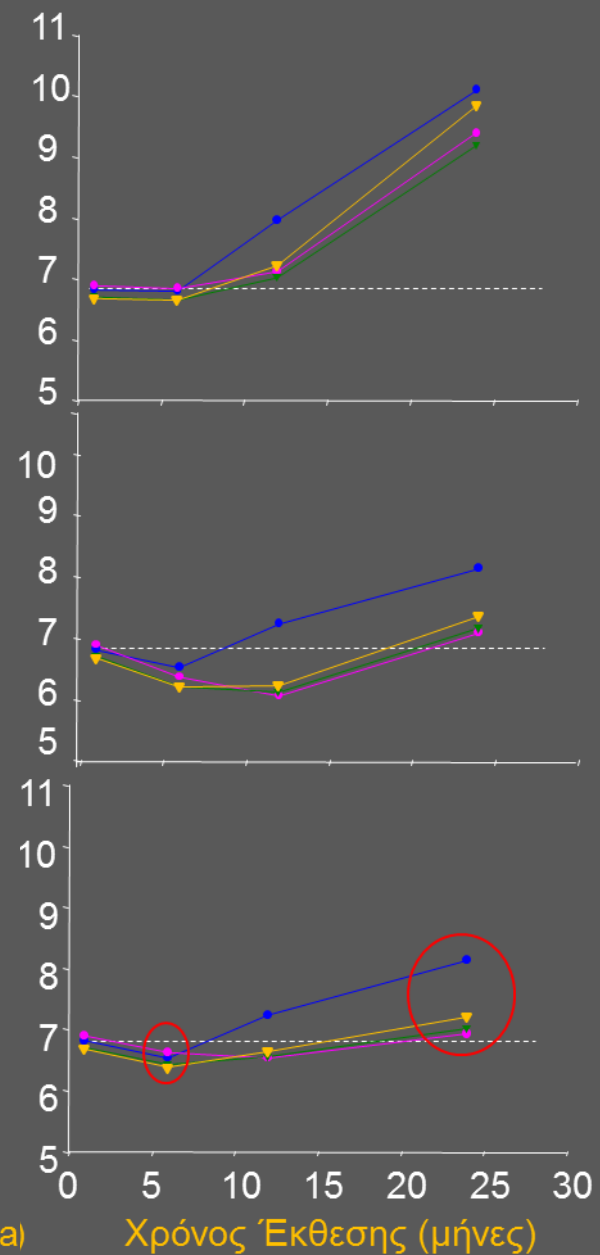
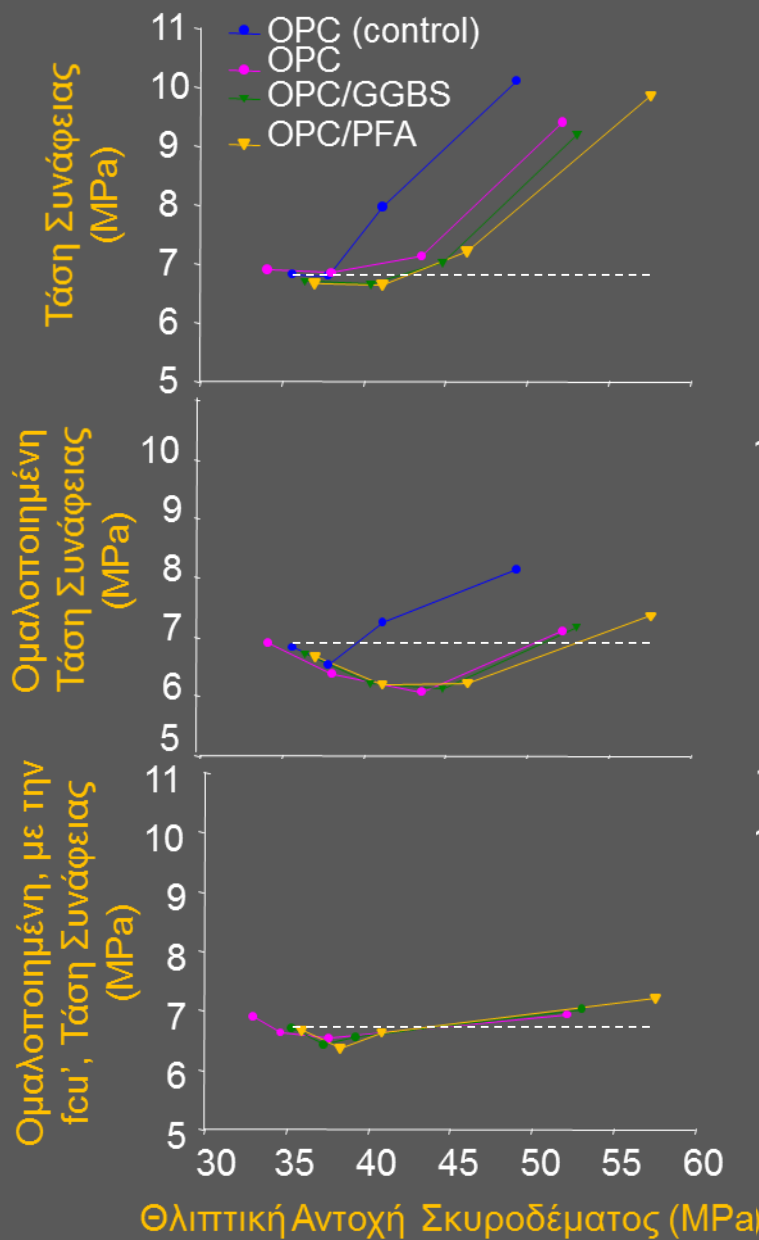
Δράση
Υγρασίας

Εναπόθεση
κρυστάλλων
 CaCO_3 .



ΙΟΠ στο Σκυρόδεμα - Επίδραση Θλιπτικής Αντοχής - Αναλυτικά

Αύξηση f_{bu}
 ↓
 Αύξηση f_{cu}
 σκυροδέματος
 γύρω από
 περιοχή ράβδου
 ΙΟΠ



ΙΟΠ στο Σκυρόδεμα – Ανάλυση Στατιστικής Σπουδαιότητας - Προσομοίωση

Χρόνος έκθεσης σε επιταχυνόμενη ενανθράκωση – Σημαντικό βάρος στη μεταβολή τάσης συνάφειας

Τύπος τσιμέντου (επίπεδο αρχικής αλκαλικότητας) – Μη σημαντικό βάρος στη μεταβολή τάσης συνάφειας

Πριν ενανθράκωση
φθάσει ράβδο ΙΟΠ
Μη σημαντική
στατιστική διαφορά

Αφού ενανθράκωση
φθάσει ράβδο ΙΟΠ
Μη σημαντική
στατιστική διαφορά

Πριν και μετά ενανθράκωση
φθάσει ράβδο ΙΟΠ
Σημαντική
στατιστική διαφορά

Ύπαρξη χημικού
μηχανισμού διάβρωσης των
ΙΟΠ λόγω ενανθράκωσης

Σημαντική Ανακάλυψη

Απαιτούνται 2 προσομοιώσεις

Προσομοίωμα πρόβλεψης
βάθους ενανθράκωσης

Προσομοίωμα πρόβλεψης επήρειας
ενανθράκωσης στην τάση συνάφειας ΙΟΠ

ΙΟΠ στο Σκυρόδεμα - Προσομοίωση – *Bond model*

$f_{bd,R}(\%)$: Απομένουσα τάση συνάφειας (Regression Analysis)

$f_{cm}(t_y)$: μεταβολή θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος, λόγω χρόνου και ενανθράκωσης

Υπολογίζεται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2,

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm}$$

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s \cdot \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{0.5} \right] \right\}$$

και αυξάνεται κατά 15% λόγω της δράσης της ενανθράκωσης

t_y (χρόνια)	D (mm)	$f_{bd,R}$ (%)	$f_{cm}(t_y)$ (MPa)	$f_{bd,exp}$ (MPa)	$f_{bd,R} \cdot f_{bd,exp}$ (MPa)	$f_{bd,Real}(t)$
28 days	0	100	35.7	6.81	6.81	1
5	8.32	4.6	51.1	9.30	7.87	1.24
10	11.8	81.6	51.6	9.35	7.63	1.20
20	16.6	78.6	51.9	9.39	7.38	1.11
30	20.4	76.9	52.1	9.41	7.23	1.08
50	26.3	74.6	52.2	9.73	7.04	1.04
100	37.2	71.6	52.4	9.45	6.77	1.00

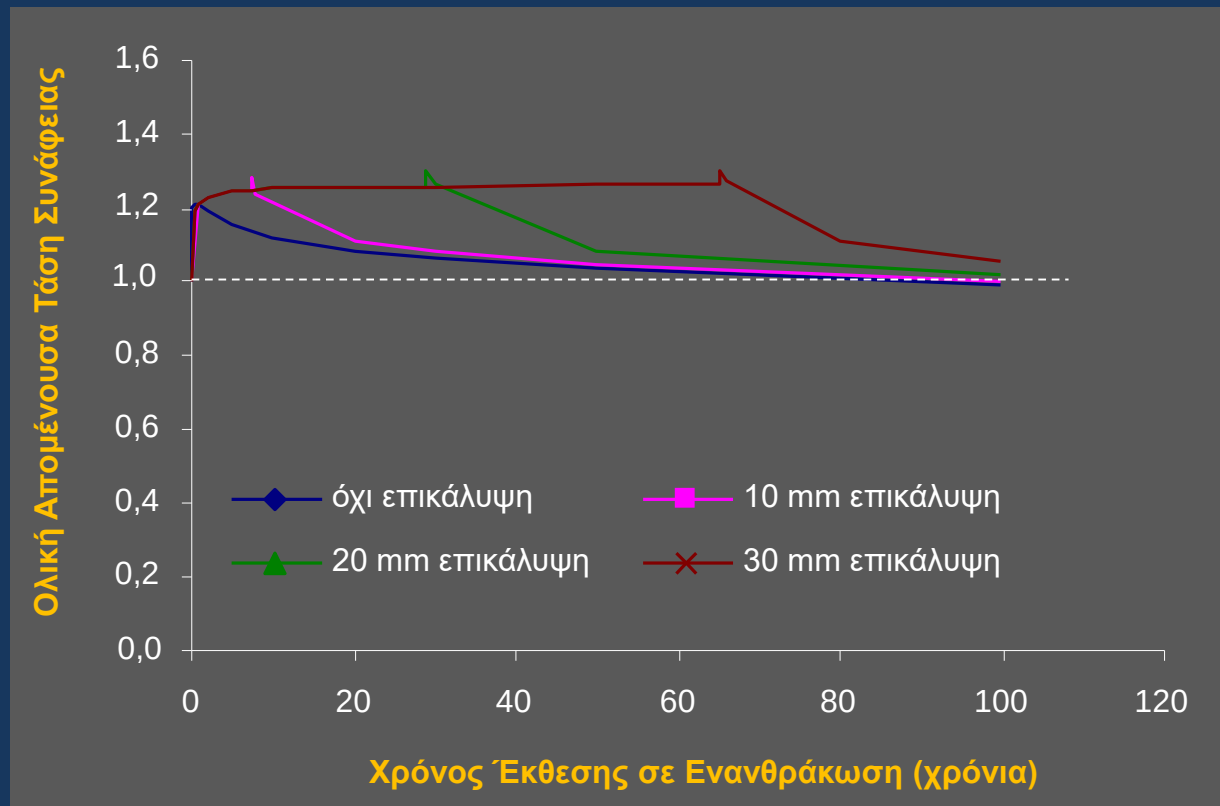
$f_{bd,exp}$: αναμενόμενη τάση συνάφειας (Ευρωκώδικας 2) λαμβάνοντας υπόψη την αύξηση θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος

$f_{bd,R} \cdot f_{bd,exp}$: πραγματική τάση συνάφειας

$f_{bd,Real}(t)$: ολική απομένουσα τάση συνάφειας (λόγος της $f_{bd,R} \cdot f_{bd,exp}$ μετά/πρίν ενανθράκωση φθάσει την ράβδο ΙΟΠ)

$$f_{bu,R} (\%) = \frac{0,625 \cdot \left\{ 1,15 \cdot \left[\exp \left(0,25 \left[1 - \frac{28}{t} \right]^{0,5} \right) \right] f_{cu,28d} \right\}^{2/3} \cdot [91,6 - 4,33 \cdot \ln(t)]}{f_{bu,28d}}$$

Εξισορρόπηση
αρνητικών
αποτελέσματα
ενανθράκωσης λόγω
αύξησης θλιπτικής
αντοχής (λόγω χρόνου και
ενανθράκωσης) κατά
την διάρκεια ζωής
έργου



- Αν και αλκαλικότητα έχει καταλυτικό ρόλο στα ΙΟΠ σε χημικά διαλύματα, στο σκυρόδεμα ο ρόλος της «έρχεται σε δεύτερη μοίρα» σε σχέση με την υγρασία .
 - Παρόμοια συμπεριφορά διαφορετικών τύπων τσιμέντου πριν/μετά ενανθράκωση
 - Αλκαλικότητα σκυροδέματος δεν επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την συνάφεια ΙΟΠ
 - **Ενανθράκωση λειτουργεί σαν διακόπτης βλάβης για την συνάφεια ΙΟΠ**
 - Πριν ενανθράκωση φθάσει ράβδο ΙΟΠ μικρές αλλαγές στην συνάφεια ΙΟΠ
 - Όταν ενανθράκωση φθάσει ράβδο ΙΟΠ σημαντική μείωση συνάφειας ΙΟΠ
 - Αποδίδεται στη δράση υγρασίας και στην εναπόθεση κρυστάλλων CaCO_3 στην επιφάνεια ΙΟΠ.
 - Επίδραση ενανθράκωσης στην συνάφεια ΙΟΠ εξισορροπείται λόγω αύξησης f_{cu} (λόγω χρόνου και ενανθράκωσης)
- Κατά την διάρκεια ζωής έργου δεν χρειάζεται να ληφθεί υπόψη η δράση ενανθράκωσης στον υπολογισμό συντελεστών ασφαλείας στα πλαίσια κανονισμών
 - Πρέπει όμως να ληφθεί υπόψη η δράση υγρασίας
 - **Ανάγκη σύνδεσης ανθεκτικότητας με συντελεστές ασφαλείας υλικών**



- Γενικοί – Διαφοροποίηση μόνο ανάλογα με τύπο ινών
- Έλλειψη διαφοροποίησης ανάλογα με επιπτώσεις επιθετικού περιβάλλοντος.
- Ανάπτυξη / θέσπιση Σ.Α. που να λαμβάνουν υπόψη επίδραση επιθετικών παραγόντων και μορφή /τύπο υλικών.

ACI 440.2R-08

“Because long-term exposure to various types of environments can reduce the tensile properties and creep-rupture and fatigue endurance of FRP laminates, the material properties used in design equations should be reduced based on the environmental exposure condition”.

$$\text{Αντοχή Σχεδιασμού } f_{fu} = f_{fu}^* \cdot C_E$$

Διαφοροποίηση συντελεστών ασφαλείας υλικού γ_f ανάλογα με:

- Τύπο ινών ΙΟΠ,
- Περιβάλλον εφαρμογής

Table 9.1—Environmental reduction factor for various FRP systems and exposure conditions

Exposure conditions	Fiber type	Environmental reduction factor C_E
→ Interior exposure	Carbon	0.95
	Glass	0.75
	Aramid	0.85
→ Exterior exposure (bridges, piers, and unenclosed parking garages)	Carbon	0.85
	Glass	0.65
	Aramid	0.75
→ Aggressive environment (chemical plants and wastewater treatment plants)	Carbon	0.85
	Glass	0.50
	Aramid	0.70



$$\text{Αντοχή Σχεδιασμού } f_{fd} = f_{fk} / \gamma_f$$

Διαφοροποίηση συντελεστών ασφαλείας υλικού γ_f ανάλογα με:

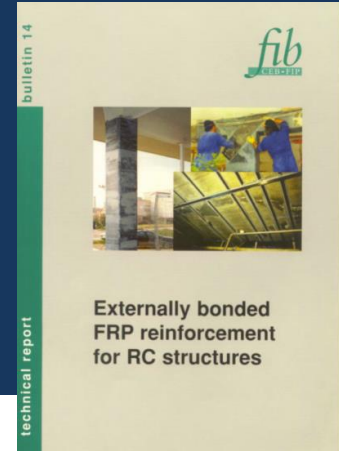
- μορφή ΙΟΠ,
- «περιβαλλοντικές συνθήκες».

Table 3-1: FRP material safety factors γ_f

FRP type	Application type A ⁽¹⁾		Application type B ⁽²⁾	
CFRP		1.20		1.35
AFRP		1.25		1.45
GFRP		1.30		1.50

- (1) Χρήση ελασμάτων σε συνήθεις συνθήκες
Χρήση υφασμάτων σε συνθήκες υψηλού βαθμού ποιοτικού ελέγχου
- (2) Χρήση υφασμάτων σε συνθήκες συνηθισμένου βαθμού ποιοτικού ελέγχου
Χρήση οποιουδήποτε υλικού σε δύσκολες συνθήκες επιτόπου εφαρμογής

Fib bulletin 14, Externally bonded FRP reinforcement for RC structures

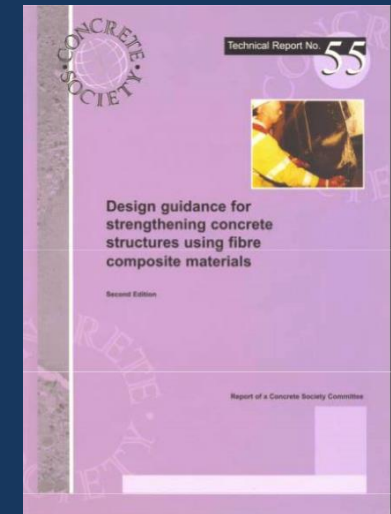


$$\gamma_{mF} = \gamma_{mf} \cdot \gamma_{mm}$$

Διαφοροποίηση συντελεστών
ασφαλείας υλικού γ_f ανάλογα με:

- Μέθοδο παρασκευής ΙΟΠ,
- Τύπο ΙΟΠ

Type of system (and method of application or manufacture)	Additional partial safety factor, γ_{mm}
Plates	
Pultruded	1.05
Prepreg	1.05
Preformed	1.1
Sheets or tapes	
Machine-controlled application	1.05
Vacuum infusion	1.1
Wet lay-up	1.2
Prefabricated (factory-made) shells	
Filament winding	1.05
Resin transfer moulding	1.1
Hand lay-up	1.2
Hand-held spray application	1.5

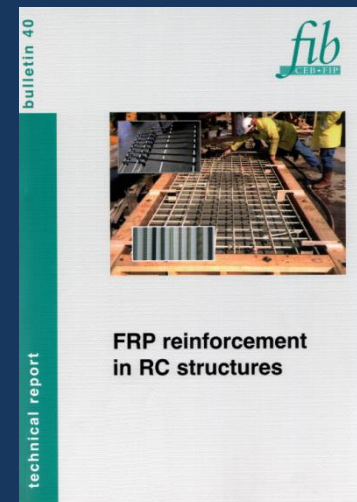


$$\text{Αντοχή Σχεδιασμού } f_{fd} = f_{fk} / (n_{env} \cdot \gamma_f)$$

$$n_{env} = 1 / ((100 - R_{10}) / 100)^{n+2}$$

$$n = n_{υγρ.} + n_{θερμ.} + n_{διάρκεια \text{ ζωής}} + n_{διόρθ. \text{ διάμετρο}}$$

- Λαμβάνεται υπόψη επίδραση υγρασίας, θερμοκρασίας
- Αναφέρεται συγκεκριμένη πειραματική μεθοδολογία που πρέπει να ακολουθηθεί για (πιο εμπειριστατωμένο) υπολογισμό n_{env} .



	R_{10} (%)	Συνθήκες Υγρασίας	$n_{υγρ.}$	Θερμοκρασία (°C)	$n_{θερμ.}$	Διάρκεια Ζωής	$n_{δ.ζ.}$	n	$n_{env,t}$
CFRP (dry, cold environment)	5	Ξηρό	-1	10	0	100	3	2	1.2
AFRP (dry, cold environment)	10	Ξηρό	-1	10	0	100	3	2	1.6
GFRP (harbour, wet)	18	Υγρό	0	10	0	100	3	3	1.8

- Επίδραση ενανθράκωσης σκυροδέματος στη τάση συνάφειας γ-ΙΟΠ εξισορροπείται από αύξηση θλιπτικής αντοχής.
- Ρόλος υγρασίας καταλυτικός στην ανθεκτικότητα γ-ΙΟΠ.
- Αλκαλικό περιβάλλον σκυροδέματος (παρουσία υγρασίας) υπεύθυνο για υδρόλυση ρητίνης
- Ανάγκη ρεαλιστικών στα επιθετικά περιβάλλοντα Σ.Α. ΙΟΠ
- Περαιτέρω απλοποίηση προτεινόμενης μεθόδου fib και παραμετροποίηση ανάλογα με τύπο ΙΟΠ και εφαρμογή
- Χρήση κατάλληλου συστήματος ινών/ρητίνης με «σεβασμό» στο επιθετικό περιβάλλον



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ - ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ**

Παρουσιάσεις Φοιτητικών Εργασιών

ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΟ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΣΩΤΗΡΗΣ ΔΕΜΗΣ

Πανεπιστήμιο Πατρών - Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πάτρα Μάιος 1995

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η ολοένα αυξανόμενη σεισμικότητα στον Ελλαδικό χώρο, επιφέρει την ανάγκη για έρευνα στον τομέα επισκευών και ενισχύσεων των βλαμμένων κατασκευών από τον σεισμό. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ως επί το πλείστον χρησιμοποιείται στις μεθόδους αυτές. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες. Στην πρώτη, ανήκουν τα αδρανή και το νερό που απαιτούνται για την παρασκευή του. Στην δεύτερη τα πρόσθετα και τα πρόσμικτα και στην τρίτη τα υλικά που βρίσκουν εφαρμογή στις τεχνολογίες επεμβάσεων. Όλα τα πειραματικά - ερευνητικά αποτελέσματα εκθέτονται αναλυτικά.

1. Εισαγωγή

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είναι

αναπτύξουμε διεξοδικά τις τρεις παραπάνω κατηγορίες.

Οι εργασίες αυτές παρουσιάστηκαν τον **Ιούνιο του 1995** στα πλαίσια του μαθήματος «Ενισχύσεις – Επισκευές Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα», που διδάσκεται στο Ε' έτος του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών. **Είναι η πρώτη φορά που επιχειρείται η εκτύπωση τους υπό μορφή πρακτικών** και ως εκ τούτου διάφορες ατέλειες θα πρέπει να κοιταχθούν με συγκατάβαση. Η εκτύπωσή τους αποφασίστηκε όχι μόνο για να δώσει στους φοιτητές την ικανοποίηση της δημοσίευσης της δουλειάς τους, αλλά και γιατί το υλικό που παρουσιάζεται είναι πολύ χρήσιμο μετά από τους πρόσφατους καταστρεπτικούς σεισμούς (Κοζάνη και Αίγιο).

Όμως ο αναγνώστης δεν θα πρέπει να λησμονεί ότι οι εργασίες έχουν γραφεί από φοιτητές και ως εκ τούτου το υλικό που παρουσιάζεται θα πρέπει να χρησιμοποιείται με κατάλληλη επεξεργασία.

Ελπίζουμε ότι αυτός ο πρώτος τόμος αποτελεί μόνο την αρχή.

Σ. Δρίτσος

ΤΟΜΟΣ 1ος (Ιούλιος 1995)

τα κατατάζουμε σε τρεις κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα υλικά που χρησιμοποιούνται καθαρά για την παρασκευή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Στην δεύτερη τα πρόσμικτα ή πρόσθετα υλικά και στην τρίτη τα υλικά που βρίσκουν εφαρμογή στις τεχνολογίες επεμβάσεων. Στην συνέχεια θα

Στον πίνακα αυτόν η μία στήλη είναι το μέγεθος του κόσκινου και η άλλη, το ποσοστό του βάρους του αδρανούς υλικού που περνάει από το κόσκινο αυτό.

Εάν η άμμος δεν ανταποκρίνεται στην παραπάνω διαβάθμιση μπορεί να

Σας ευχαριστώ θερμά