

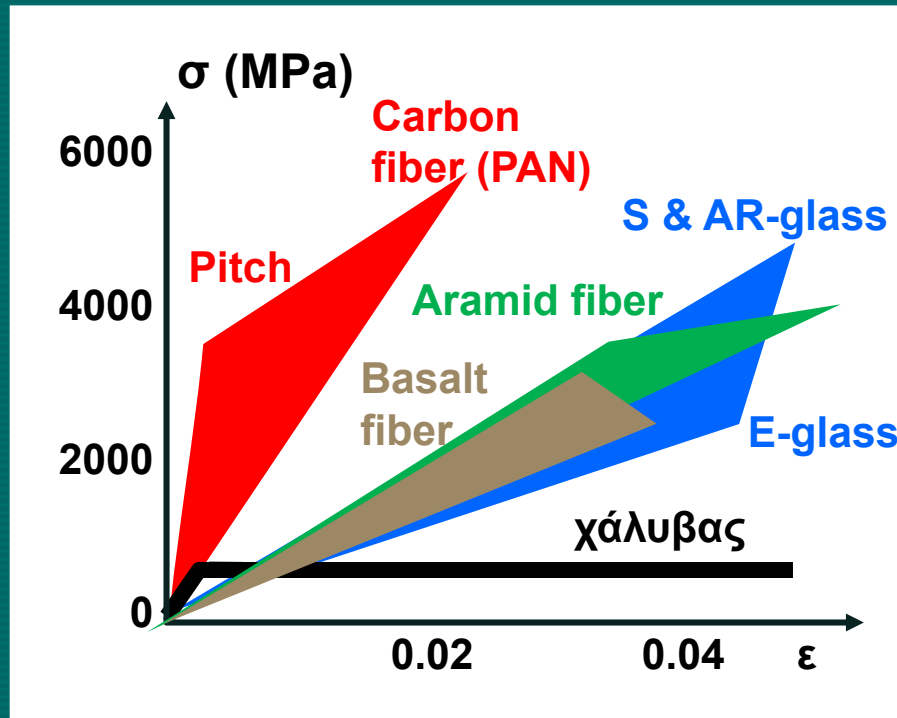
Σύνθετα Ινοπλισμένα Πολυμερή (ΙΟΠ)

3^ο μέρος



Σουσιάννα Π. ΤΑΣΤΑΝΗ, Επίκουρη Καθηγήτρια, stastani@civil.duth.gr

Σύγκριση Ίνών: Μηχανικές Ιδιότητες



Σύγκριση Ύδρων: Ανθεκτικότητα

	AR-G	Αραμ	C
Απορρόφηση νερού (% ανά 24ώρες)	0	7	0
Ασθενή Οξειδία	A	A	A
Ισχυρά Οξειδία	ΠΜ	ΠΜ	A
Ασθενή Αλκαλικά	A	A	A
Ισχυρά Αλκαλικά	ΠΜ	ΠΜ	A
Θερμοκρασία	A	Π	A
UV - ακτινοβολία	A	Π	A
Οργανικοί Διαλύτες		A	A
Οξυγόνο (O ₂)/Οζον (O ₃)		ΠΜ	A

Banithia, et al.: A = Ανθεκτικά ΠΜ = Προσβάλλονται μετρίως Π = Προσβάλλονται

ΙΟΠ = ίνες + **ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ**

Χημική/θερμική
συμβατότητα με
ίνες

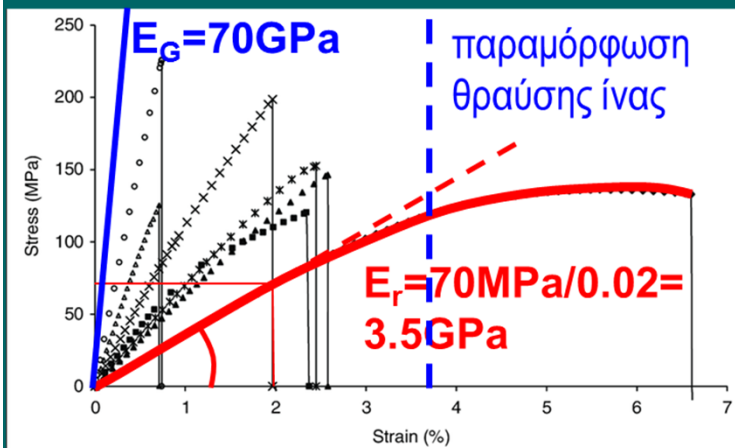
Συνδέει τις ίνες-
διατήρηση
προσανατολισμού

Προστασία ινών
(π.χ. από εκδορές)

**Συνδετικό υλικό
(ρητίνη)**

Υφίσταται
επιδείνωση

Μεταφέρει τάσεις
από ίνα σε ίνα



Έχει αποφασιστικό ρόλο
στην αστοχία του ΙΟΠ από
το περιβάλλον υλικό (π.χ.
σκυρόδεμα)

ΙΟΠ = ίνες + **ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ**



- **Thermoset**
(θερμοσκληρυνμένο):

Πρώτη ύλη σε υγρή κατάσταση ή μαλακό υλικό που με θερμοκρασία σκληραίνει και δεν επανέρχεται



- **Thermoplastic**
(θερμοπλαστικό):

Με αύξηση της θερμοκρασίας το υλικό μαλακώνει



Η επιστήμη των ρητινών

➤ Χημεία (Οργανικό)

Εποξειδική

Πολυεστερική

Βινυλεστερική



Ρητίνη + σκληρυντής

Η επιστήμη των ρητινών

➤ Χημεία (Οργανικό)

- **Ρεολογία:** χρόνος χρήσης πριν να αυξηθεί το ιξώδες (ιξώδες = αντίσταση στην ροή)

Συνήθης χρόνος εύχρηστης εφαρμογής, π.χ. για την επικόλληση υφάσματος είναι 30min



- Κατά την **Ωρίμανσή** της, μεταβάλλει τον όγκο της;

	Εποξειδική	Πολυεστερική	Βινυλεστερική
συστολή ξήρανσης	χαμηλή	Υψηλή (ογκομετρική)	χαμηλή (> των εποξειδικών)

Πόσο γρήγορα αποκτά την τελική της αντοχή;

περίοδο σκλήρυνσης (επίτευξη αντοχής)	Μακρά		Γρήγορη
---------------------------------------	-------	--	---------

Η επιστήμη των ρητινών

- Χημεία (Οργανικό)
- Ρεολογία: χρόνος χρήσης πριν να αυξηθεί το ιξώδες (ιξώδες = αντίσταση στην ροή)
- Πρόσφυση / συνάφεια (ιδιαίτερα σε επί τόπου εφαρμογές)



	Εποξειδική	Πολυεστερική	Βινυλεστερική
συνάφεια	καλή	-	Μέτρια

Η επιστήμη των ρητινών

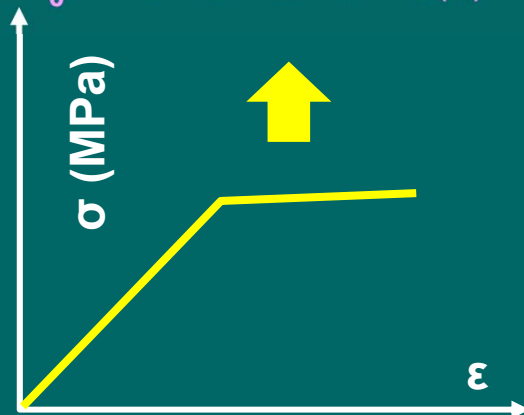
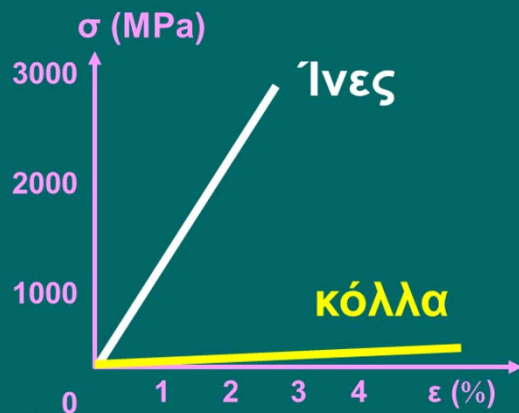
- Χημεία (Οργανικό)
- Ρεολογία: χρόνος χρήσης πριν να αυξηθεί το ιξώδες (ιξώδες = αντίσταση στην ροή)
- Πρόσφυση / συνάφεια (ιδιαίτερα σε επί τόπου εφαρμογές)

➤ Ανθεκτικότητα	Πολυεστερική	Βινυλεστερική	Εποξειδική
Απορρόφηση νερού	Π	Π	A - ΠΜ
Ασθενή Οξείδια	ΠΜ	A	A
Ισχυρά Οξείδια	Π	A	ΠΜ
Ασθενή Αλκαλικά	Π	A	A
Ισχυρά Αλκαλικά	Π	ΠΜ	A
Θερμοκρασία	Π	Π	Π
UV- ακτινοβολία	Π	ΠΜ	A
Οργανικοί Διαλύτες	ΠΜ	A	A
Οξυγόνο (O ₂) / Όζον (O ₃)	Π		ΠΜ

Banithia, et al.: A = Ανθεκτικά ΠΜ = Προσβάλλονται μετρίως Π = Προσβάλλονται

Η επιστήμη των ρητινών

- Χημεία (Οργανικό)
- Ρεολογία: χρόνος χρήσης πριν να αυξηθεί το ιξώδες (ιξώδες = αντίσταση στην ροή)
- Πρόσφυση / συνάφεια (ιδιαίτερα σε επί τόπου εφαρμογές)
- Ανθεκτικότητα
- **Μηχανικές ιδιότητες**



Ιδιότητες (20°C)	Εποξ. Ρητίνη	Σκυρόδεμα	Χάλυβας
Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)	0.5-20	20-50	200
Λόγος Poisson	0.3-0.4	0.2	0.3
Εφελκυστική αντοχή (MPa)	9-30	1-4	200-600
Παραμ. Αστοχίας (%)	0.5-5	0.015	>7
Συντ. θερμ. διαστ. ($10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$)	25-100	10-15	
Υδατο-απορρόφηση %	0.1-3	5	0



Πολυεστερική

Π

Βινυλεστερική

Π

Εποξειδική

A - ΠΜ

Η επιστήμη των ρητινών ➤ Θερμοκρασία

❖ **Θερμοκρασία Υαλώδους μετάπτωσης T_g** Η ρητίνη χάνει την ακαμψία της - δεν λιώνει- αλλά γίνεται πιο ενδοτική (σαν καουτσούκ) (\neq θερμοκρασία τήξης, T_m)

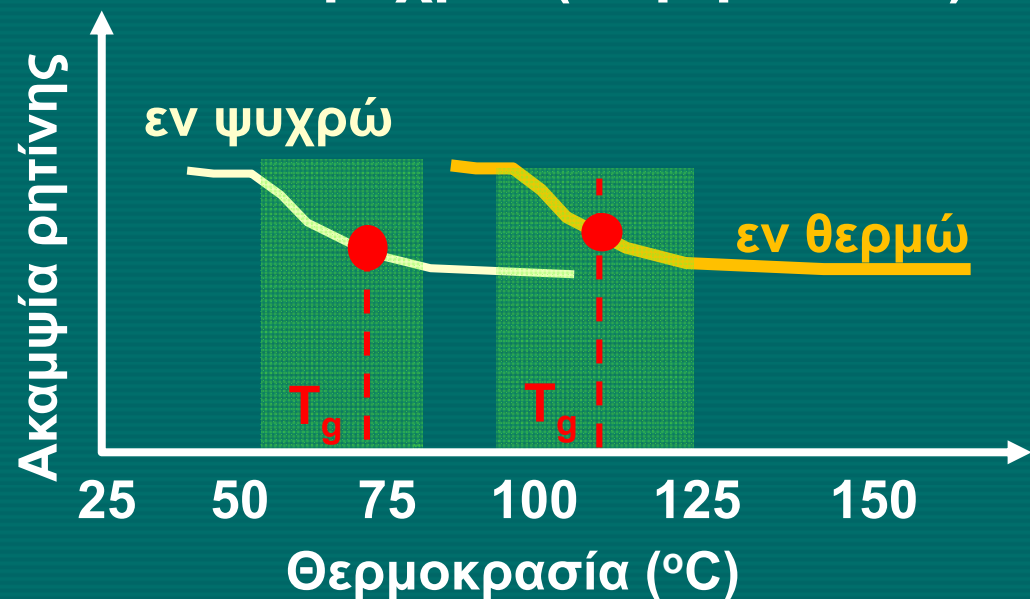


▪ **T_g** ↔ Μέθοδος σκλήρυνσης εν θερμώ
εν ψυχρώ (περιβάλλον)

Πολυεστερική 70-100°C

Βινυλεστρική 70-160°C

Εποξειδική 95-175°C

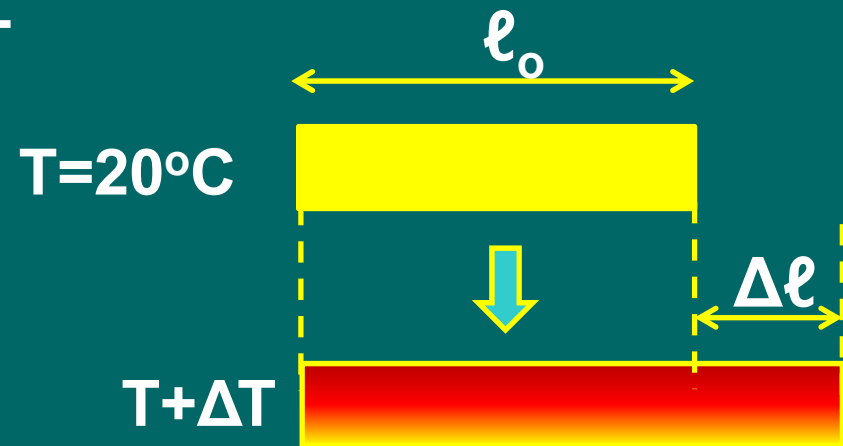


Η επιστήμη των ρητινών ➤ Θερμοκρασία

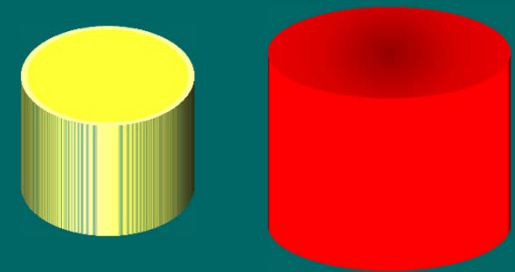
❖ **Συντελεστή θερμικής διαστολής** ($\times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$): παραμόρφωση που συμβαίνει με αύξηση θερμοκρασίας κατά έναν βαθμό

- Γραμμική παραμόρφωση:

$$\Delta l = \alpha_l \cdot \Delta T \cdot l_0 \rightarrow \varepsilon = \Delta l / l_0 = \alpha_l \cdot \Delta T$$



- Ογκομετρική παραμόρφωση: $\Delta V = \alpha_v \cdot \Delta T \cdot V_0$
 $\rightarrow \varepsilon_v = \Delta V / V_0 = \alpha_v \cdot \Delta T$

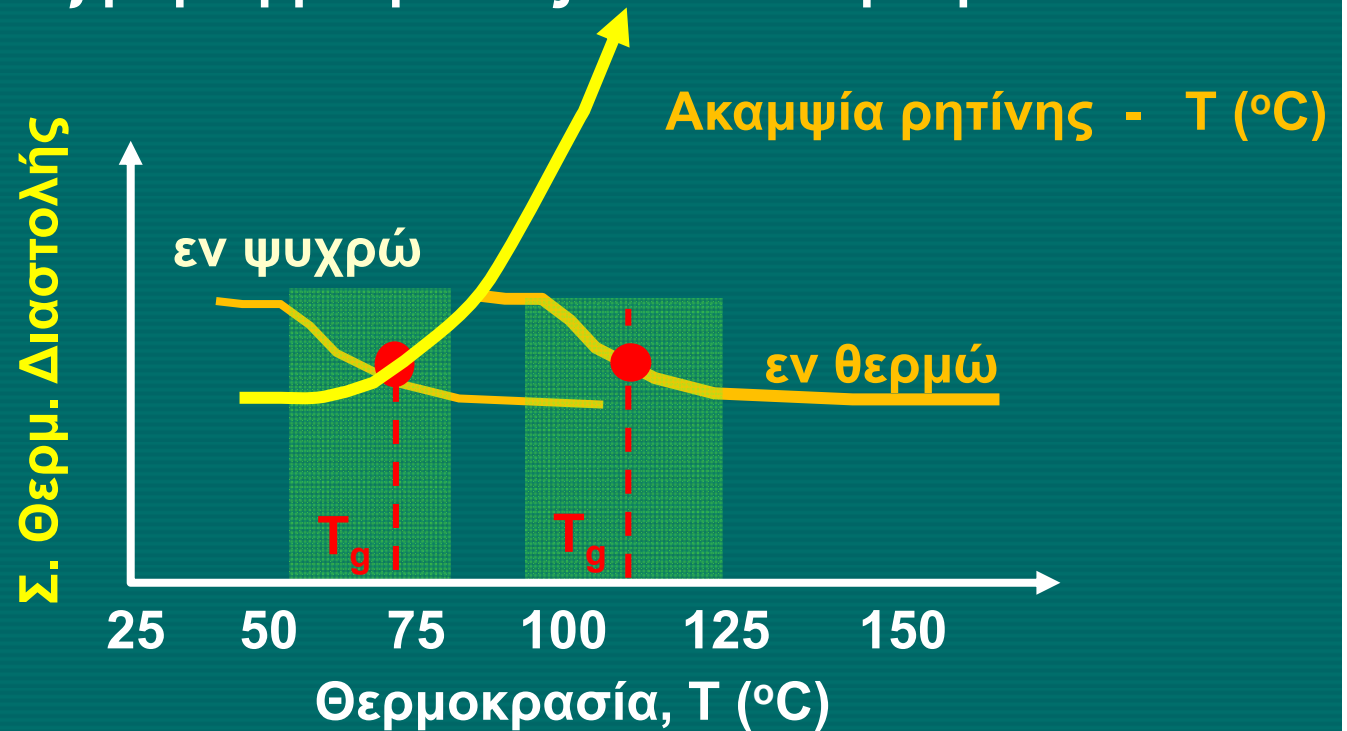
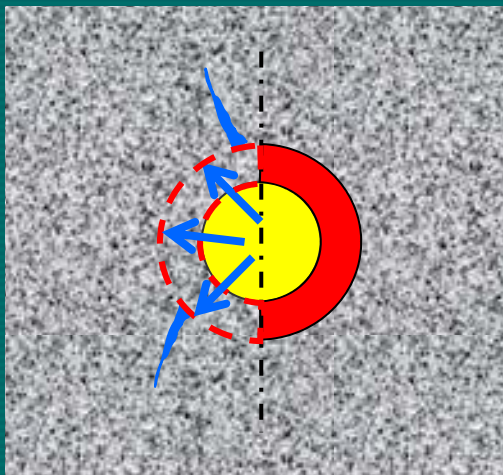


Για ισότροπο υλικό η ογκομετρική διαστολή είναι $\alpha_v = 3\alpha_l$

Η επιστήμη των ρητινών

➤ Θερμοκρασία

- ❖ **Συντελεστή θερμικής διαστολής** ($\times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$): παραμόρφωση που συμβαίνει με αύξηση θερμοκρασίας κατά έναν βαθμό



	Χάλυβας / σκυρόδεμα	Εποξ. Ρητίνες (εν ψυχρώ)	Glass	Aramid	Carbon	Basalt
α_l	10 - 12	20 - 100	6 ÷ 10	-6 ÷ -2	-9 ÷ 0	8

ΙΟΠ = ίνες + **ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ**

Συνυπάρχουν από κατασκευής του υλικού (ΜΗΤΡΑ)

ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



ΙΟΠ = ίνες + **ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ**

Συνυπάρχουν από κατασκευής του υλικού (ΜΗΤΡΑ)

ΟΠΛΙΣΜΟΙ



ΙΟΠ = ίνες + **ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ**

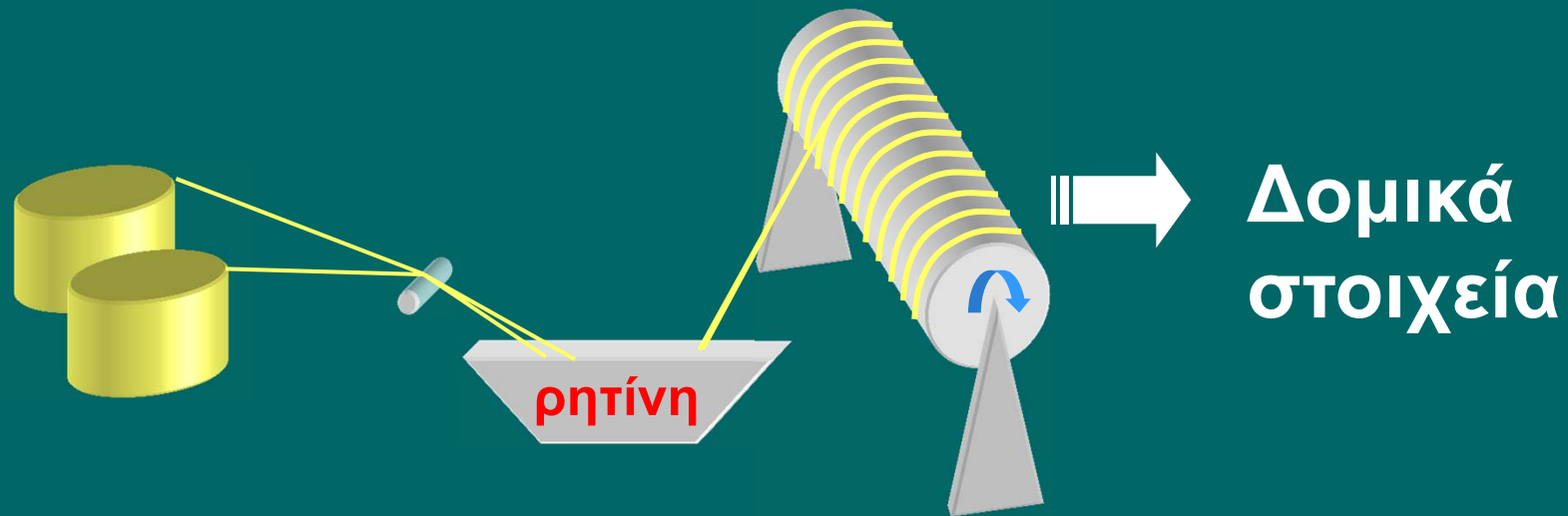
Συνυπάρχουν από κατασκευής του υλικού (ΜΗΤΡΑ)

ΕΛΑΣΜΑΤΑ: στρώσεις ινών που συγκολλούνται



ΤΡΟΠΟΙ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ

ΠΕΡΙΕΛΙΞΗ ΙΝΩΝ (WINDING) : οι ίνες εμβαπτίζονται σε ρητίνη και στην συνέχεια περιελίσσονται γύρω από στρεφόμενο τύμπανο



ΕΞΕΛΑΣΗ (PULTRUSION): εμβάπτιση ινών σε ρητίνη, διέλευση από θερμαινόμενο καλούπι και φινίρισμα εξωτερικής επιφάνειας



εξωτερική επιφάνεια ράβδων

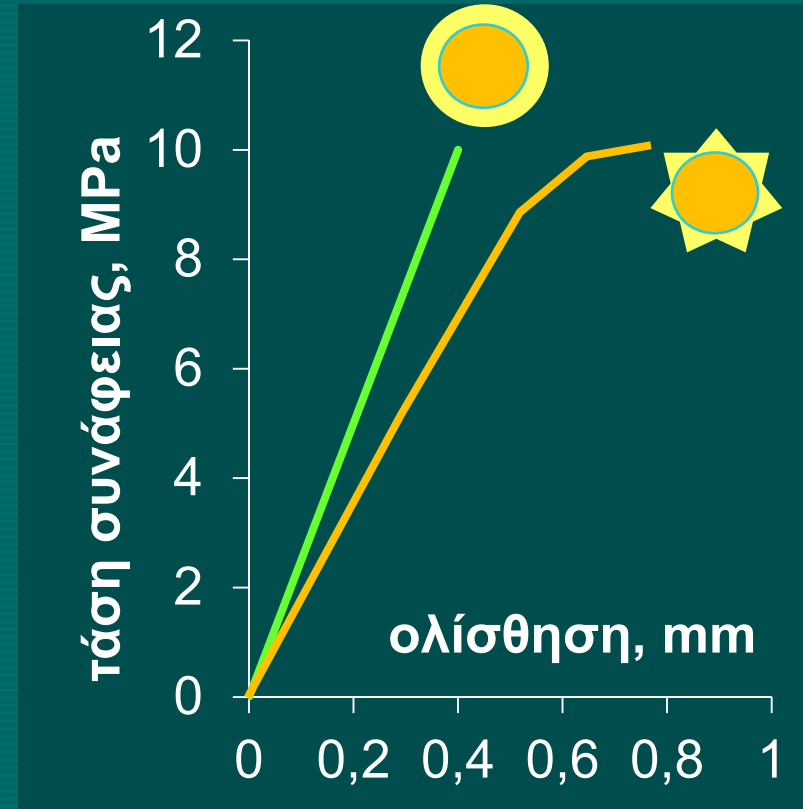
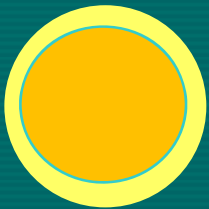


ΣΥΝΑΦΕΙΑ ράβδου με το περιβάλλον υλικό (π.χ. σκυρόδεμα)

Κατά την φάση της θερμικής κατεργασίας



Μετά την θερμική κατεργασία



ΙΟΠ = ίνες + **ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ**

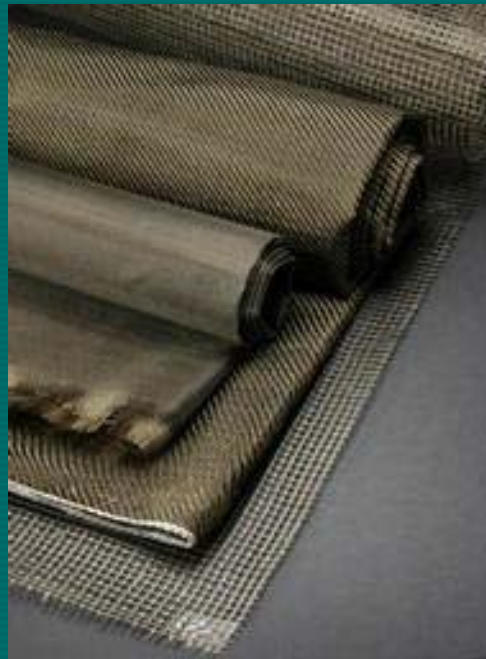
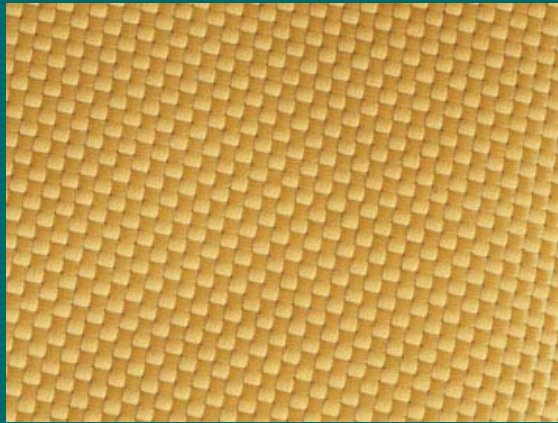
Συνοπάρχουν από κατασκευής του υλικού (ΜΗΤΡΑ)

Συνοπάρχουν ΚΑΙ κατά την εφαρμογή (ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ)



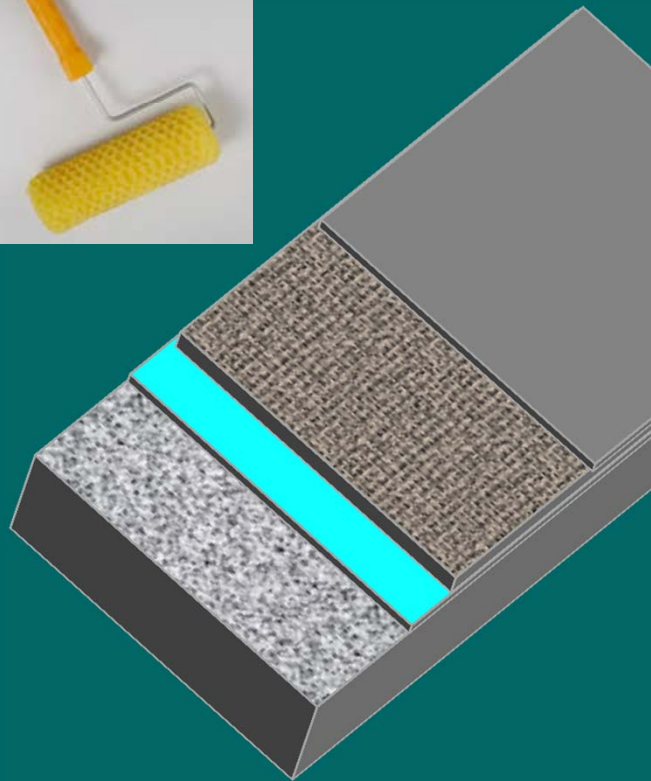
ΙΟΠ = ίνες + **ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ**

Συνυπάρχουν ΜΟΝΟ κατά την εφαρμογή (ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ)



ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΚΟΛΛΗΣΗΣ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

- Ξηρά μέθοδος εφαρμογής: η ρητίνη (δύο συστατικά) εμποτισμού αλείφεται στην επιφάνεια με ρολό και στην συνέχεια τοποθετείται το στεγνό ύφασμα

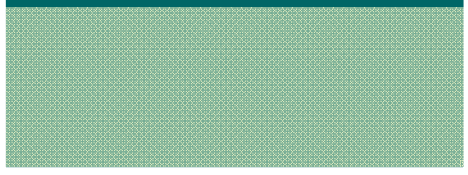




ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΚΟΛΛΗΣΗΣ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

- Ξηρά μέθοδος εφαρμογής: η ρητίνη (δύο συστατικά) εμποτισμού αλείφεται στην επιφάνεια με ρολό και στην συνέχεια τοποθετείται το στεγνό ύφασμα

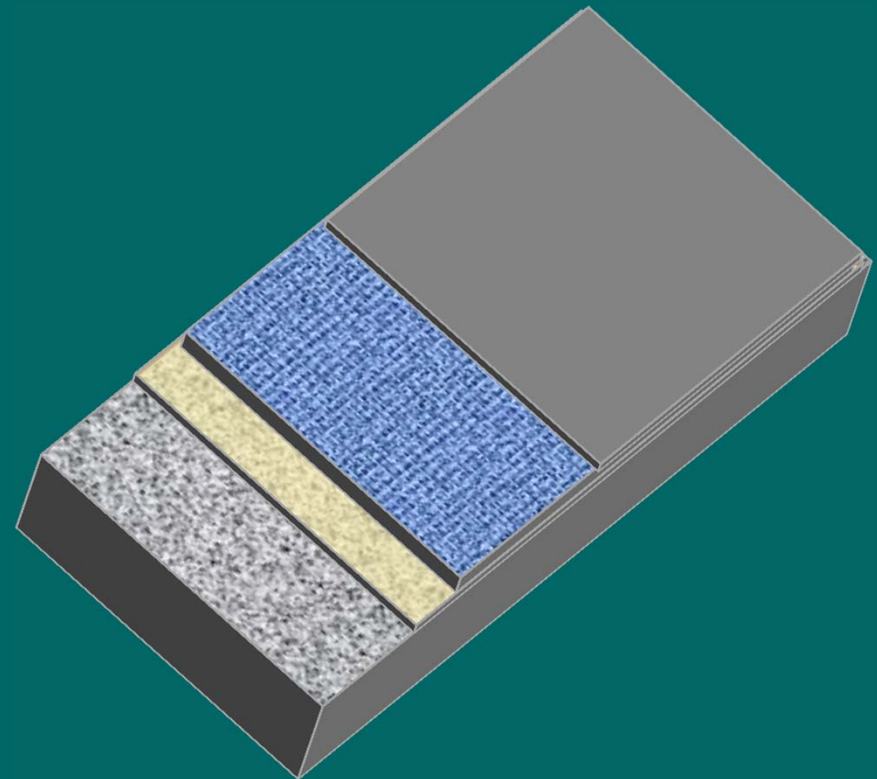
-Υγρό σύστημα εφαρμογής: Το ύφασμα εμβαπτίζεται σε ρητίνη και στην συνέχεια εφαρμόζεται σε ασταρωμένη επιφάνεια



αστάρι

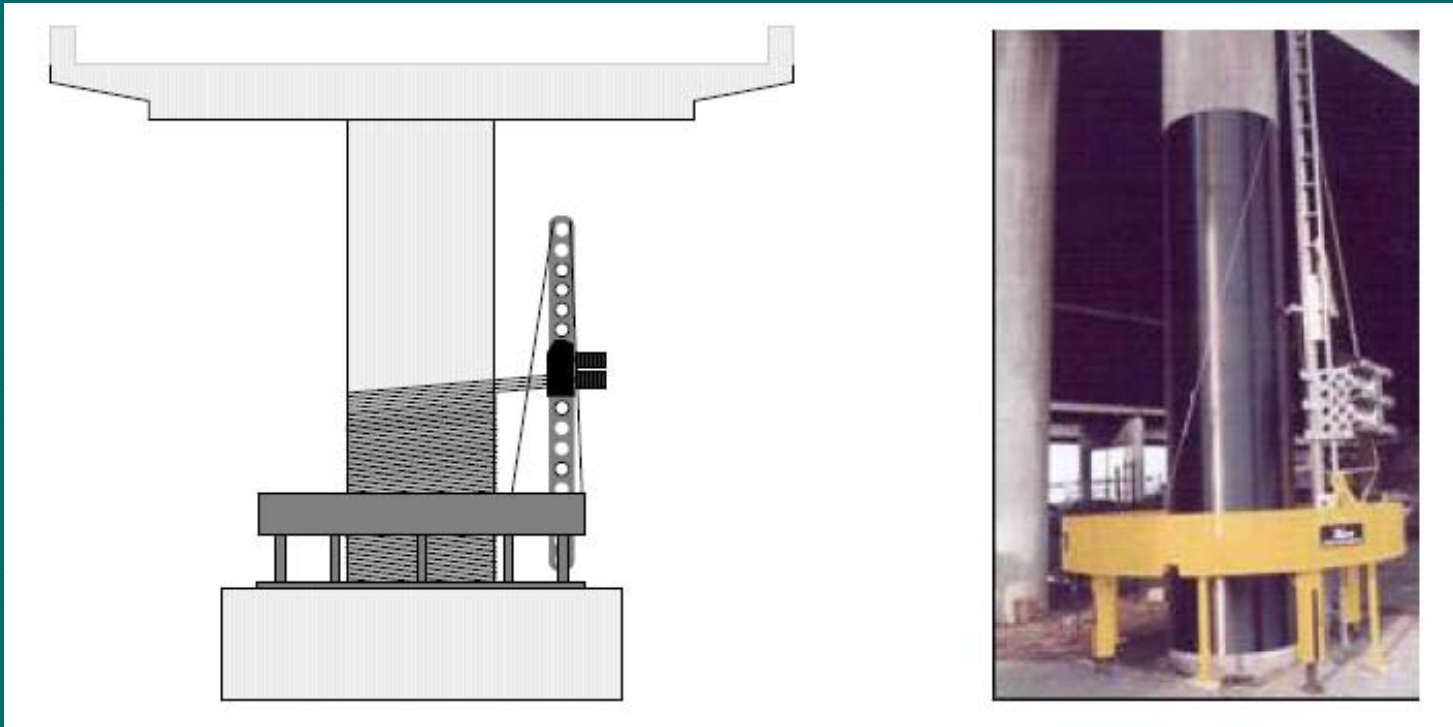


ρητίνη



ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΚΟΛΛΗΣΗΣ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

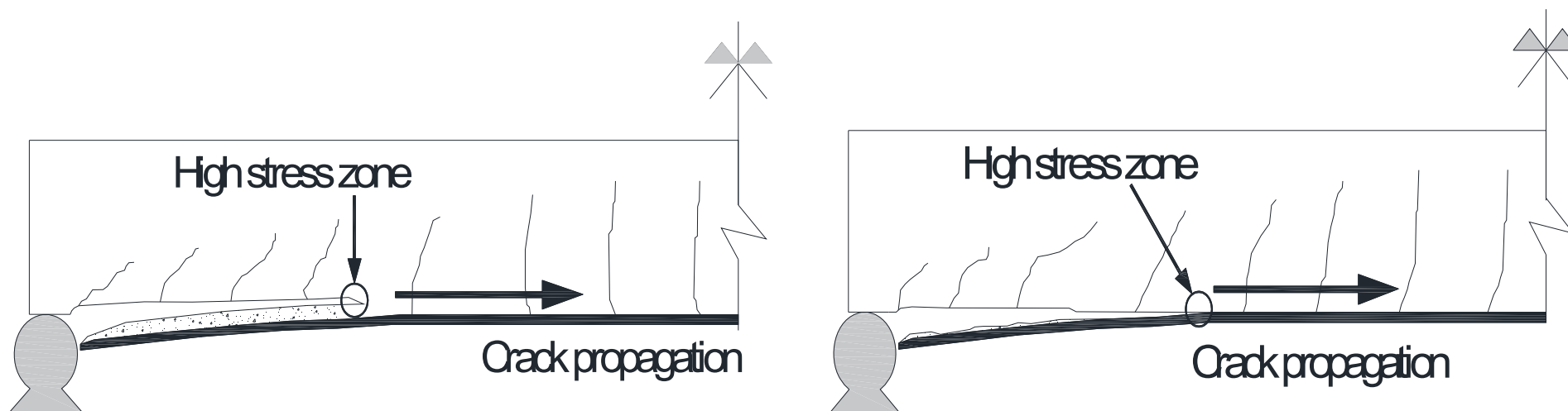
- **Ξηρά μέθοδος εφαρμογής:** η ρητίνη (δύο συστατικά) εμποτισμού αλείφεται στην επιφάνεια με ρολό και στην συνέχεια τοποθετείται το στεγνό ύφασμα
- **Υγρό σύστημα εφαρμογής:** Το ύφασμα εμβαπτίζεται σε ρητίνη και στην συνέχεια εφαρμόζεται σε ασταρωμένη επιφάνεια
- **Επί τόπου περιέλιξη:** ειδικές εφαρμογές (ρομποτική διαδικασία με έλεγχο ποιότητας και ταχύτητας εφαρμογής, από 1990 στην Ιαπωνία)



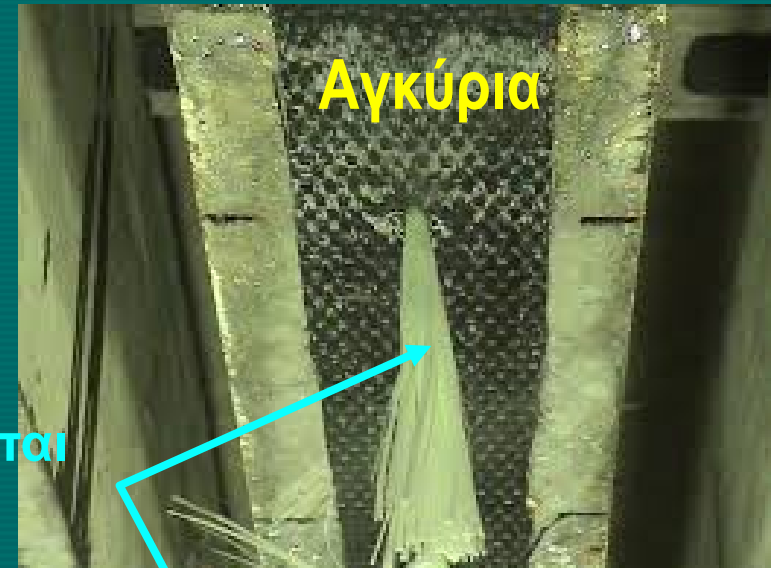
ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΚΟΛΛΗΣΗΣ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

- Ξηρά μέθοδος εφαρμογής: η ρητίνη (δύο συστατικά) εμποτισμού αλείφεται στην επιφάνεια με ρολό και στην συνέχεια τοποθετείται το στεγνό ύφασμα
- Υγρό σύστημα εφαρμογής: Το ύφασμα εμβαπτίζεται σε ρητίνη και στην συνέχεια εφαρμόζεται σε ασταρωμένη επιφάνεια
- Επί τόπου περιέλιξη: ειδικές εφαρμογές

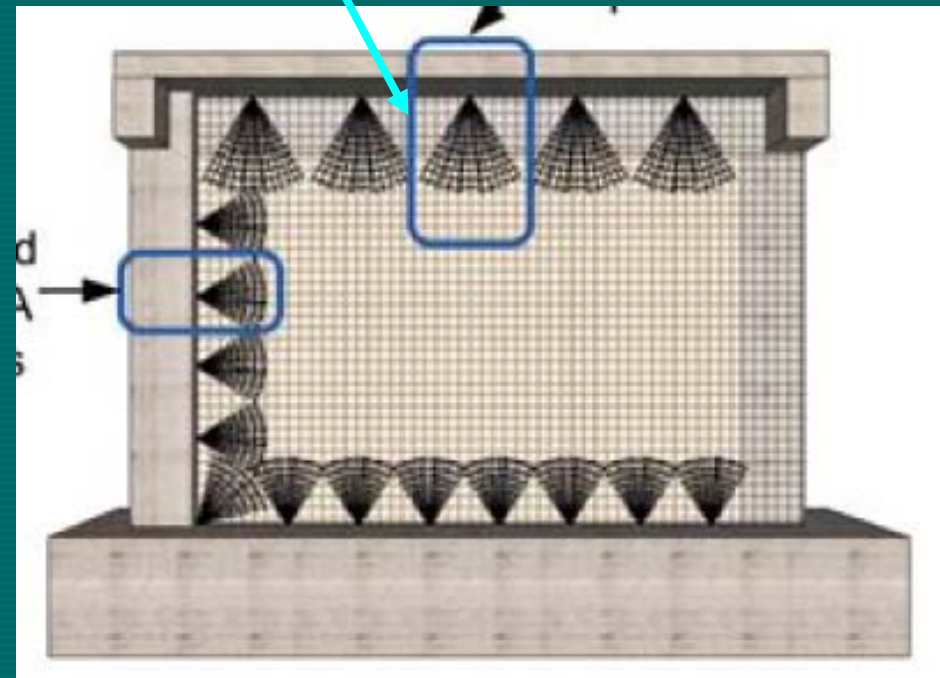
Προστασία έναντι αποκόλλησης: Μηχανική αγκύρωση



Μηχανική αγκύρωση => παθητική



Ίνες σε δέσμη που διατάσσονται θυσανοειδώς



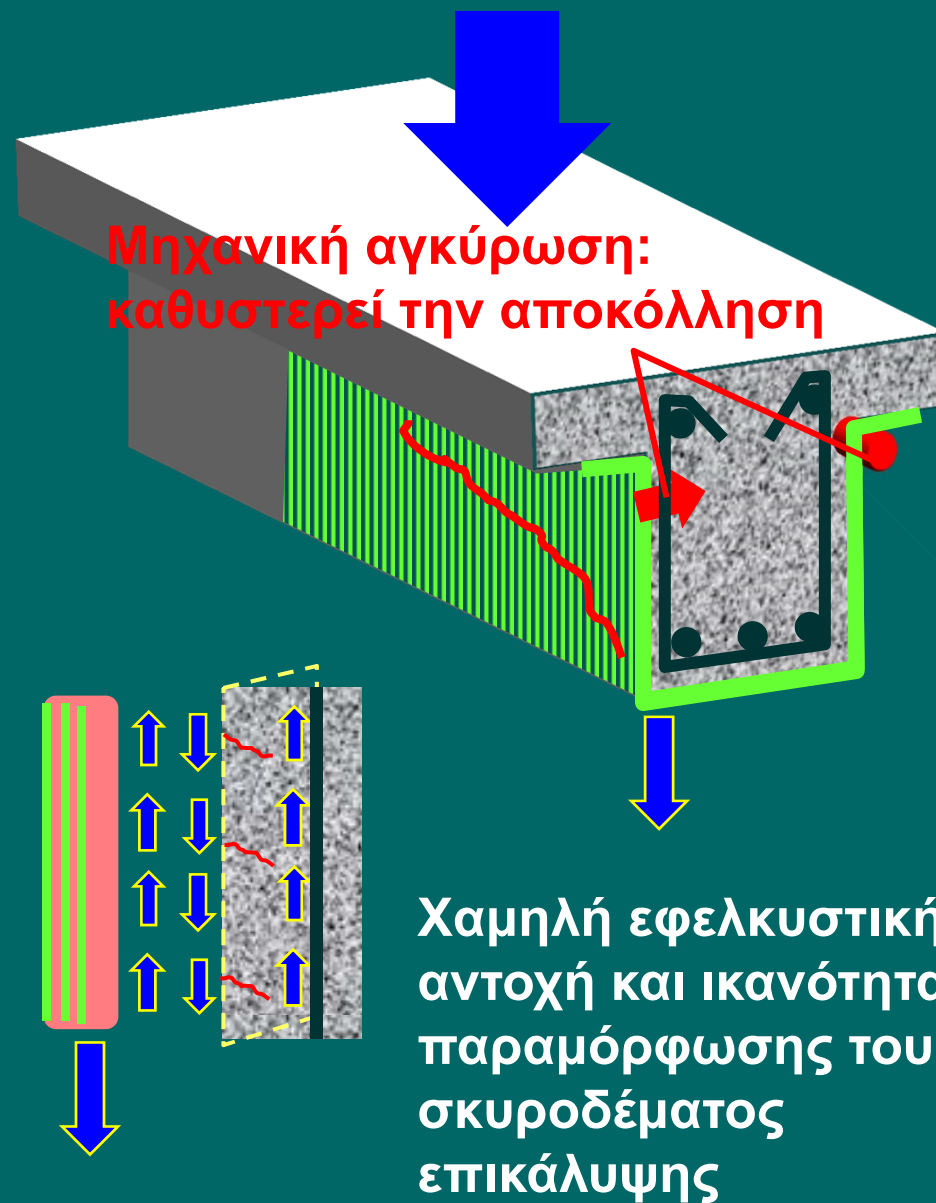
Η συνάφεια υποστρώματος – συνδετικού υλικού

Ποιος είναι ο αδύναμος κρίκος ;



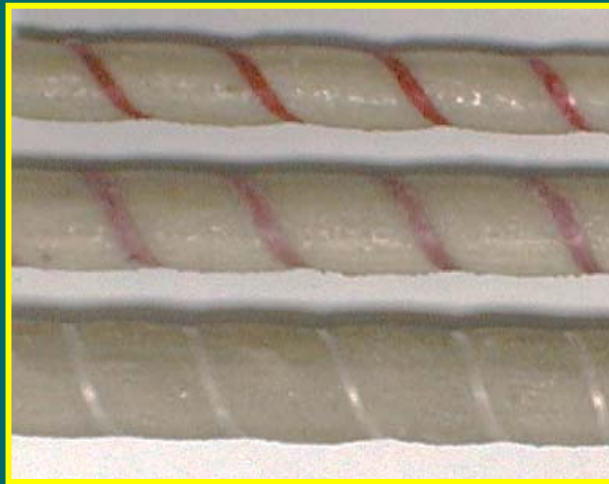
Η συνάφεια υποστρώματος – συνδετικού υλικού

Γιατί συμβαίνει αστοχία ;



ΙΟΠ = ίνες + **ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ** (<30%κ.ο.)

- ✓ συγκρατεί τις ίνες (μήτρα)
- ✓ Μεταβιβάζει την ένταση



Σε ποια περίπτωση ο μηχανικός υπεισέρχεται;