

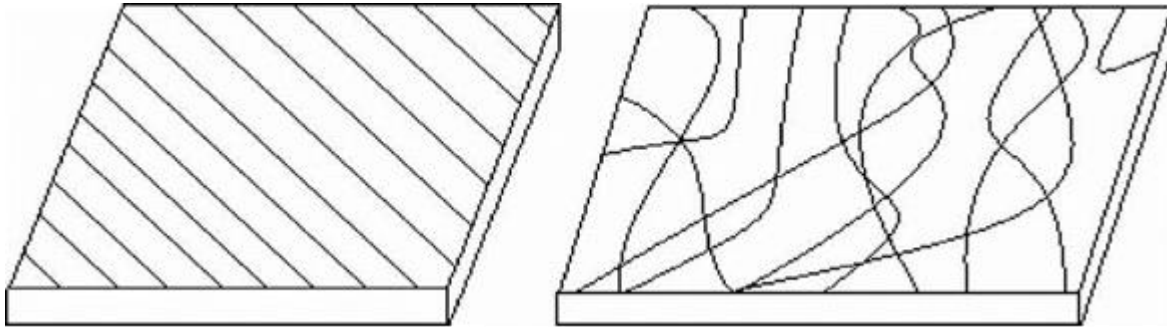
**5<sup>η</sup> ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ – ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ**

**19-01-16**

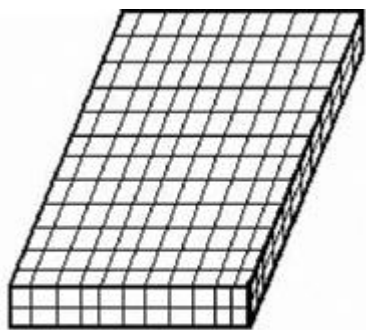
**ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ  
ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ-ΕΓΧΥΤΑ**

**ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ Ο.Σ.**

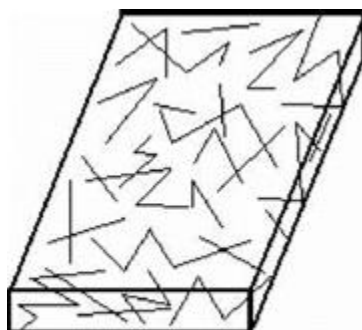
Τα σύνθετα υλικά ινών αποτελούνται από ίνες εμποτισμένες με ρητίνη ή μη. Ανάλογα με τον προσανατολισμό των ινών, διακρίνονται σε: προσανατολισμένα (directional) , με ίνες συνεχείς και ίδιας διεύθυνσης , και σε μη προσανατολισμένα (random), με ίνες τυχαία τοποθετημένες στο συνδετικό υλικό (Εικόνα 3).



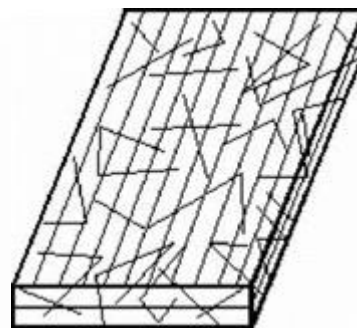
- Πλεκτών ινών (woven fiber), -συνεχές σώμα χωρίς επιμέρους στρώματα, μη αποκόλληση.- μικρή αντοχή (μεγάλης συγκέντρωσης τάσεων και μεγάλου ποσοστού ρητίνης (Εικόνα 4 (α)).
- Ασυνεχών ινών (chopped fiber) , -κοντές ίνες διάσπαρτες στο συνδετικό υλικό, - μηχανική αντοχή κατώτερη - των συνεχών ινών (Εικόνα 4 (β)).
- Υβριδικά (hybrid), είτε από συνεχείς, ή από περισσότερους του ενός τύπους ινών. Επίτευξη επιθυμητών ιδιοτήτων (σύνθετο υλικό δεν διαθέτε) (Εικόνα 4(γ)).
- Συνεχών ινών (continuous fiber), - στρώματα συνεχών ινών - ρητίνης στην κατάλληλη διεύθυνση και συνδέονται αποτελώντας ένα σώμα, -μεγάλη αντοχή - Αποκόλληση μεταξύ των στρωμάτων συνεχών ινών- ρητίνης είναι πιθανή (Εικόνα 4 (δ)).



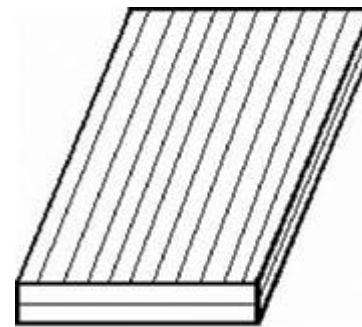
(α) Σύνθετο υλικό πλεκτών ινών.



(β) Σύνθετο υλικό ασυνεχών ινών.



γ) Υβριδικό σύνθετο υλικό



Δ) Συνεχών ινών

## Για την επισκευή και ενίσχυση κατασκευών

Κυρίως προσανατολισμένα σύνθετα υλικά συνεχών ινών (μεγάλη αντοχή). Ο προσανατολισμός ινών δίνει στο σύνθετο υλικό ανισοτροπική συμπεριφορά, -αντιστοιχία με συμπεριφορά οπλισμένου σκυροδέματος, (Οι στρώσεις υλικού ώστε να ενισχυθεί το μέλος στη διεύθυνση υψηλότερων τάσεων).

ΙΝΕΣ- τρεις κύριες κατηγορίες:

- **Ίνες υάλου** (υαλονήματα): με μηχανικό τρόπο από ύαλο που τήκεται. (πυκν  $2400\text{Kg}/\text{m}^3$   
**3 τύποι υαλονημάτων** (ενίσχυση των κατασκευών -ύαλος-E και ο ύαλος-S) .

Ύαλος-S μεγαλύτερη εφελκυστική αντοχή -μέτρο ελαστικότητας από ύαλο-E. (  $85-70\text{GPa}$ )

Ύαλος Z (αντοχές ως E άλλα ανθεκτικότερος σε αλκαλικό περιβάλλον)

**Χρησιμοποιείται λιγότερο λόγω του μεγαλύτερου κόστους του.**

- **Ίνες άνθρακα** (ανθρακονήματα): παράγονται είτε από θερμική επεξεργασία του πολυακρυλονιτριλίου, (μεγαλύτερη αντοχή και μέτρο ελαστικότητας) είτε μέσω απόσταξης κάρβουνου. (πυκν  $1900\text{ Kg}/\text{m}^3$  )

**Στην αγορά :**

ελάσματα εμποτισμένα με ρητίνη (σκληρυμένη), η σε μορφή υφάσματος χωρίς ρητίνη.

Κόστος :το υψηλότερο κόστος απ' όλα τα είδη ινών, έχει μειωθεί τα τελευταία χρόνια.

- **Ίνες αραμιδίου**: χρήση περιορισμένη σε σχέση με τα υαλονήματα και τα ανθρακονήματα, ενώ τα σύνθετα υλικά από ίνες πολυαραμιδίου βρίσκουν κυρίως εφαρμογή στη θωράκιση κατασκευών από κρουστικά φορτία.

**2 τύποι: Κέβλαρ –Technora –ΜΕΓΑΛΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΡΟΥΣΗ**

***Συνήθως χρησιμοποιούνται συνεχείς ίνες μιας διεύθυνσης σε αναλογία 50-70% κατ' όγκο***

|                               |         | Μέτρο ελαστικότητας (GPa) | Παραμόρφωση θραύσης<br>σε ποσοστό<br><br>% |
|-------------------------------|---------|---------------------------|--|
| ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΜΕ ΙΝΕΣ<br>ΑΠΟ: | Γυαλί   | 70                        | 3  |
|                               | Αραμίδη | 65-120                    | 2-3  |
|                               | Άνθρακα | 135-190                   | 1-1,5                                      |
|                               | Χάλυβας | 200                       | 10   |

**Πίνακας 1: Μηχανικές ιδιότητες ινών και χάλυβα**

## ΜΗΤΡΕΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

**Μήτρες σύνθετων υλικών** : ρητίνες-συνδετική ύλη ινών συνεισφέρουν στην ανθεκτικότητα και στην ηλεκτρική μόνωση του σύνθετου υλικού. (**ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΕΣ ΚΥΡΙΩΣ**)

Τα σύνθετα υλικά (ΙΟΠ) ΜΑΖΙ με ρητίνες, (μεταφέρουν τα φορτία , κατανέμουν τις τάσεις στις ίνες κάθε στρώσης του πολυμερούς. Έτσι, επιτρέπουν στο ΙΟΠ να συμπεριφέρεται σχεδόν σαν ομογενές υλικό. Τα κυριότερα είδη ρητινών που χρησιμοποιούνται στην επισκευή και ενίσχυση των κατασκευών, καθώς και οι μηχανικές τους ιδιότητες, παρουσιάζονται στον πίνακα 2.

| Είδος ρητίνης | Εφελκυστική αντοχή (MPa) | Μέτρο ελαστικότητας (GPa) | Επιμήκυνση θραύσης(%) | Πυκνότητα (Kg/cm <sup>3</sup> ) |
|---------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Εποξική       | 55-130                   | 2-4,5                     | 4-14                  | 1,2-1,3                         |
| Πολυεστερική  | 35-104                   | 2,1-4,1                   | <5                    | 1,1-1,46                        |
| Βινυλεστερική | 73-81                    | 3-3,6                     | 3,5-5,5               | 1,12-1,32                       |

Πίνακας 2: Μηχανικές ιδιότητες ρητινών.

# Πολυμερικές Κόλλες - Ρητίνες

## ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ A.C.I.

Συνθήκες

περιβάλλοντος **Μέγιστο επιτρεπόμενο εύρος ρωγμής**

Ξηρό περιβάλλον 0,41 mm

Υγρό περιβάλλον ή έδαφος 0,30 mm

Χημικές προσβολές 0,18 mm

Θαλάσσιες κατασκευές 0,15 mm

Δεξαμενές κ.λ.π. 0,10 mm

## ΣΤΑΔΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ

- Καθαρισμός
- Διάνοιξη οπών διαμέτρου 5~10mm και πάλι καθαρισμός
- Προσαρμογή επιστομίων
- Επιφανειακό σφράγισμα (ρητινόστοκος)
- Ανάμιξη ρητίνης και σκληρυντή
- Εκτέλεση ρητινένεσης από το χαμηλότερο σημείο
- Αφαίρεση υλικού σφραγίσματος μετά από 24h



# ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΟΥ

## Κατάλληλο;

- ✓ Πληροφορίες = σύγκριση τεχνικών χαρακτηριστικών
- ✓ Θλιπτική αντοχή
- ✓ Πρόσφυση
- ✓ Μέτρο Ελαστικότητας: Όσο γίνεται μεγάλο (όχι  $E < 20.000 \text{ kgr/cm}^2$ )
- ✓ “Ενεργές” και “Μη Ενεργές” ρωγμές

## Επιτυχία εκτέλεσης:

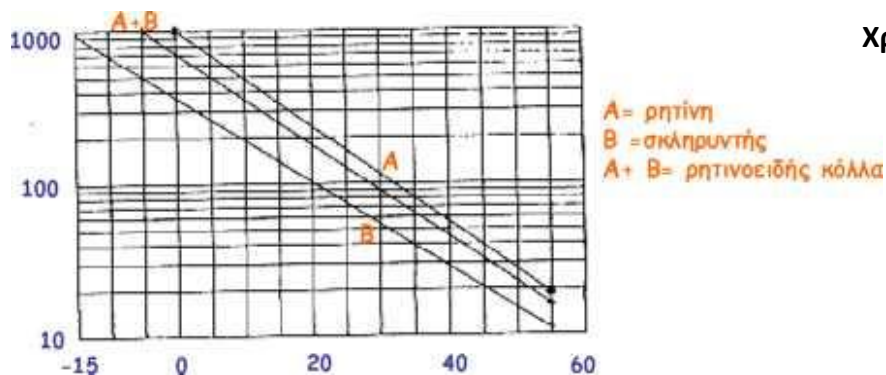
τέλεια πλήρωση ρωγμής ή τουλάχιστον κατά 90%

## ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗ ΡΟΗ

- Γεωμετρία ρωγμής
- Θέσεις επιστομίων
- Πίεση ενέματος
- Ιξώδες } χρόνος
- Rot-Life = Χρόνος Εργασιμότητας
- Θερμοκρασία

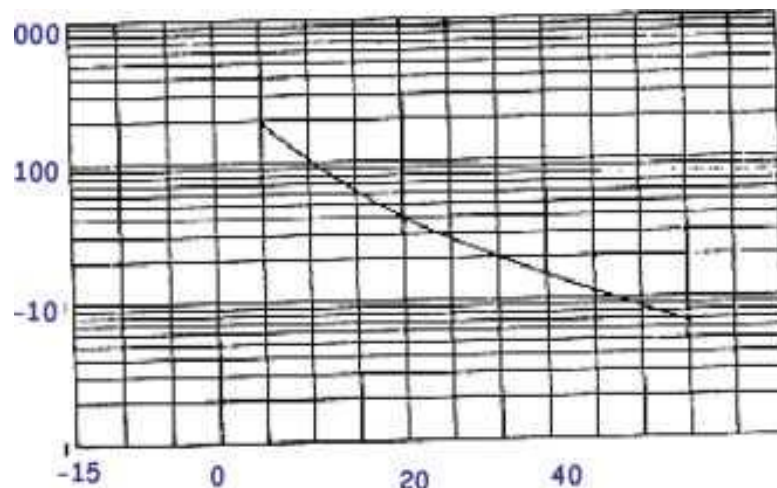
### ΠΡΟΣΟΧΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ !!!

- Καλός καθαρισμός
- Πυκνότητα σημείων ενέσεων
- Καλό σφράγισμα της ρωγμής παντού.
- Για διαμπερή ρωγμή, όχι μόνο στη μία πλευρά Πολύ καλή ανάμειξη Εισαγόμενη πίεση (όχι υψηλή)
- Έλεγχος δοκιμασίας



Θερμοκρασία °  
 Επίδραση θερμοκρασίας στο ιξώδες

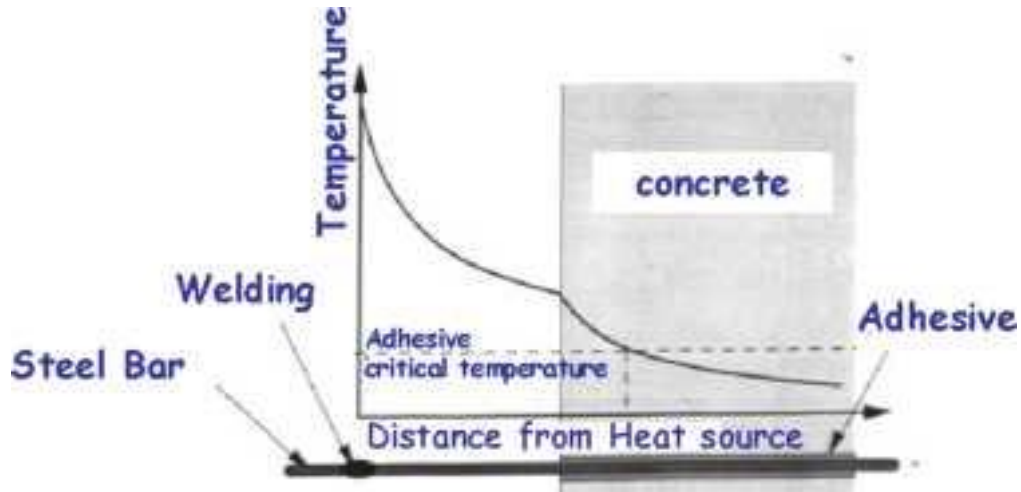
Χρόνος εργασιμότητας



Θερμοκρασία, C  
 Ενδεικτικό διάγραμμα για την επίδραση της θερμοκρασίας στο χρόνο εργασιμότητας

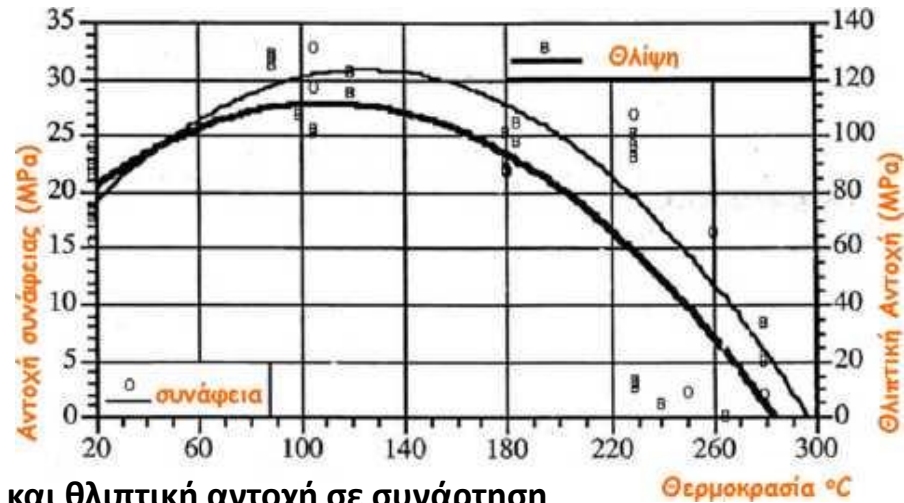
| Συμβατική ονομασία ρητινοειδούς κόλλας | Ποσότητα Μίγματος |         |
|--|-------------------|---------|
|  |                   | 4260 gr |
| I                                      | 50 min            | 60 min  |
| II                                     | 120 min           | 300 min |

Εργάσιμος χρόνος για διαφορετικές ποσότητες μίγματος

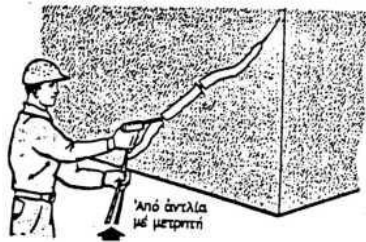


**TEMPERATURE DISTRIBUTION DUE TO WELDING PROCESS**

Εποξειδικές ρητίνες



Εναπομένονσα συνάφεια και θλιπτική αντοχή σε συνάρτηση με την θερμοκρασία



13



14



15

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ - ΑΣΤΟΧΙΕΣ

- Κατάλληλη προετοιμασία επιφάνειας μέλους -απαραίτητη διαδικασία -απομάκρυνση αδύναμων και ενανθρακωμένων στρώσεων ή σκόνης επιφάνειας του σκυροδέματος, και η εξομάλυνσή της ΓΙΑ επιτυχημένη συγκόλληση που θα ενισχύσει την κατασκευή.

### Κυριότερα πλεονεκτήματα ελάσματος ΙΟΠ

- ✓ Πολύ υψηλή εφελκυστική αντοχή (όσο και των ισχυρότερων χαλύβων προέντασης).
- ✓ Αντοχή στη διάβρωση.
- ✓ Διάθεση σε πολύ μεγάλα μήκη
- ✓ Δυνατότητα χρήσης και σε μέλη κατασκευής που έχουν δύσκολη πρόσβαση.
- ✓ Χαμηλό κόστος εφαρμογής (ανάλογο των παραδοσιακών μεθόδων επισκευής ενίσχυσης).
- ✓ Ελάχιστο ή και καθόλου βαρύ εξοπλισμό για την τοποθέτησή τους
- ✓ Απλή εφαρμογή και το πολύ μικρό ίδιο βάρος που σε συνδυασμό με τη μεγάλη ευκαμψία
- ✓ Πολύ εύκολη μεταφορά και διευκολύνει την εφαρμογή.
- Διαστάσεις του ενισχυόμενου δομικού υλικού παραμένουν σχεδόν αμετάβλητες,
- επιχριστούν και χρωματιστούν, αισθητική και την αρχιτεκτονική ΥΠΑΡΧΟΝΤΟΣ

## Μειονεκτήματα

- ❑ Ψαθυρός χαρακτήρας της αστοχίας τους και οι υψηλές διατμητικές τάσεις στη διεπιφάνεια σκυροδέματος - συνδετικού μέσου στην περιοχή αγκυρώσεων.
- ❑ Ο “δεσμός” σύνθετων υλικών -σκυροδέματος, μπορεί να αστοχήσει πρόωρα, πριν εξαντληθεί η καμπτική αντοχή του ενισχυμένου στοιχείου.

Τρόποι αστοχίας λόγω έλλειψης συνάφειας, είναι είτε με **διάδοση ρωγμών στη διεπιφάνεια μεταξύ σκυροδέματος και σύνθετου υλικού** ( ατέλειες του συνδετικού υλικού), **σε ανάπτυξη κατακόρυφων ρωγμών**( λόγω κάμψης), **σε τοπική αποκόλληση του σύνθετου φύλλου** (όταν η επιφάνεια του σκυροδέματος δεν είναι επίπεδη) **και σε καταπόνηση του μέλους** (λόγω κόπωσης).

Ακόμα με αποκόλληση του σύνθετου φύλλου λόγω του κατακόρυφου και οριζόντιου ανοίγματος ενδεχομένων διατμητικών ρωγμών ή με διατμητική αστοχία της στρώσης του σκυροδέματος μεταξύ του οπλισμού ενίσχυσης και του υπάρχοντος διαμήκους οπλισμού, κοντά στα άκρα του σύνθετου φύλλου.

### Λήψη κατάλληλων μέτρων για την αποφυγή της αποκόλλησης,

- επαρκές μήκος αγκύρωσης (l<sub>a</sub>) των εξωτερικών οπλισμών
- και να ικανοποιούνται οι κατασκευαστικές διατάξεις.

Σε ορισμένες περιπτώσεις κρίνεται σκόπιμη η βελτίωση της αγκύρωσης με μηχανικούς τρόπους, όπως η εξωτερική περίσφιξη των άκρων των φύλλων μέσω κατακόρυφου εξωτερικού οπλισμού.

❖ **Ο οπλισμός ενίσχυσης των σύνθετων υλικών στην κατάσταση οριακής φέρουσας ικανότητας, δεν διαρρέει όπως ο χάλυβας, αλλά έχει μεγάλη ελαστική παραμόρφωση.**

Η παραμόρφωση αυτή εξαρτάται κυρίως από την ικανότητα του σκυροδέματος να μεταφέρει μέσω διάτμησης τις εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στα σύνθετα υλικά , μικρότερη από τη μέγιστη εφελκυστική παραμόρφωση (θραύσης) των σύνθετων υλικών.

❖ **Τα ΙΟΠ εξαιτίας της μεγάλης ανθεκτικότητας στην ηλεκτροχημική διάβρωση και του υψηλού λόγου της αντοχής προς το βάρος τους,**

**βρήκαν μεγάλη εφαρμογή στην επισκευή και ενίσχυση των κατασκευών,**

- όπλιση και προένταση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα,
- τη σεισμική ενίσχυση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα αλλά και από άοπλη τοιχοποιία,
- την ενίσχυση κτιριακών κατασκευών και γεφυρών.

Εφαρμόζονται σε δοκούς και σε πλάκες για να **αυξήσουν την καμπτική τους ικανότητα και τη διατμητική τους αντοχή** και σε **υποστυλώματα για να αυξήσουν την ικανότητα μεταφοράς φορτίων και την ολκιμότητα τους για περιπτώσεις σεισμού.**

Ενίσχυση σε δομικά στοιχεία φαίνεται στις εικόνες 5 ,6, και 7 ενώ στην εικόνα 8 έχουμε ένα παράδειγμα επισκευής σε γέφυρα.



# Περιβαλλοντικές Συνθήκες

- ❖ Τα σύνθετα υλικά ινοπλισμένων πολυμερών σχεδιάζονται και παρασκευάζονται -να είναι ανθεκτικά υπό φυσιολογικές συνθήκες περιβάλλοντος για **μακρές χρονικές περιόδους**.
- ❖ Τα σύνθετα υλικά ινοπλισμένων πολυμερών παρουσιάζουν **μεγάλη διάρκεια ζωής για ένα λογικό εύρος περιβαλλοντικών συνθηκών**, οι οποίες περιλαμβάνουν
  - **Θερμοκρασία:** από  $-30^{\circ}\text{C}$  έως  $60^{\circ}\text{C}$  για μακρά έκθεση και  $650^{\circ}\text{C}$  έως  $1100^{\circ}\text{C}$  για βραχεία έκθεση (μικρότερη από 2 ώρες) σε φωτιά.
  - **Υγρασία:** πλήρης βύθιση σε γλυκό ή αλμυρό νερό για έκθεση μακράς διάρκειας από  $0^{\circ}\text{C}$  έως  $40^{\circ}\text{C}$ .
  - **PH:** από 3.0 έως 10.0 για μακρά χρήση.
  - **Υπεριώδης ακτινοβολία:** δείκτης υπεριώδους ακτινοβολίας ίσος με 10. -μακρά έκθεση.
  - **Υδρογονάνθρακες:** απορρόφηση συγκεκριμένης ποσότητας για μακρές χρονικές περιόδους.

**Σε έντονα αλκαλικό περιβάλλον**, π.χ. ενίσχυση πασσάλων στη θάλασσα, απαιτείται χρήση ειδικών ρητινών με ίνες άνθρακα ή υάλου. Αξίζει να τονιστεί ότι οι προδιαγραφές ενός καλά σχεδιασμένου συστήματος ινοπλισμένων πολυμερών πρέπει να περιέχουν στοιχεία για έκθεση του συστήματος σε κάθε μία από τις παραπάνω συνθήκες για περιόδους **έως 10000 ώρες**.

## Επίδραση της Θερμοκρασίας του Περιβάλλοντος

**ΣΕ φυσιολογικό εύρος θερμοκρασιών** για χρήση ινοπλισμένων πολυμερών, δεν αναμένονται σημαντικές αλλαγές στη συμπεριφορά τους.

-επιλογή όσο και εφαρμογή συστήματος έχει γίνει με τον ενδεδειγμένο τρόπο.

**Η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης υάλου (T<sub>g</sub>)** είναι το σημείο πέρα από το οποίο η συμπεριφορά του ινοπλισμένου πολυμερούς αλλοιώνεται δραματικά παρουσιάζοντας **σημαντική μείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του**.

Η παρεχόμενη θερμική ενέργεια για αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από την T<sub>g</sub> επιτρέπει στις χημικές αλυσίδες της ρητίνης να μετακινηθούν και να γίνουν πιο εύκαμπτες.

**Μειώνεται η συμμετοχή της ρητίνης στην ανάληψη φορτίου** αλλά και η ικανότητά της να μεταφέρει τα φορτία ισομερώς στις ίνες, προκαλώντας περαιτέρω φόρτιση μεμονωμένων ινών, κυρίως των κοντύτερων από αυτές.

**Υπέρβαση της αντοχής και ενδεχόμενη αστοχία**. εξελικτική διαδικασία - απομείωση της φέρουσας ικανότητας του ινοπλισμένου πολυμερούς κατά 30 με 40%

Κατά το σχεδιασμό συστημάτων ινοπλισμένων πολυμερών πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η πιθανή επιβλαβής επίδραση θερμοκρασιών μεγαλύτερων από 80°C.

σε θερμοκρασίες μεταξύ - 10 και -30°C αυξάνεται σημαντικά η δυσκαμψία - εξαιρετικά ψαθυρή μορφή αστοχίας, αλλά και μείωση της αντοχής σε κρούση.

**ΌΧΙ απομείωση της αντοχής των ινών λόγω επαναλαμβανόμενης εναλλαγής ψύξης-απόψυξης.**

Μοναδική αλλοίωση εποξικής ρητίνης περιορίζεται στην επιφανειακή της στρώση, χωρίς να επηρεάζει τη συνολική συμπεριφορά του ινοπλισμένου πολυμερούς.

Ανακυκλιζόμενες ψύξεις και αποψύξεις είχαν μικρή ή καθόλου επίδραση.

# ΠΥΡΚΑΓΙΑ

- ❑ Σε περίπτωση πυρκαγιάς, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται, τα σύνθετα υλικά που έρχονται σε άμεση επαφή με τη **φωτιά αναφλέγονται**, εκτός εάν επιχριστούν ή επαλειφθούν με ειδική ρητίνη.
- ❑ Για το λόγο αυτό τα σύνθετα υλικά που δε διαθέτουν πυροπροστασία **θεωρούνται ανενεργά σε περίπτωση πυρκαγιάς**.
- ❑ Πυροπροστασία επιτυγχάνεται με ειδικά επιχρίσματα ή κοινά επιχρίσματα μεγάλου πάχους (40 - 50 mm).
- ❑ ειδικά προστατευτικά όπως γυψοσανίδες.
- ✓ Το επίχρισμα προστατεύει τα υλικά και ιδιαίτερα τη ρητίνη όχι μόνο από τη φωτιά και γενικά τις υψηλές θερμοκρασίες, αλλά και από τη γήρανση λόγω της υπεριώδους ακτινοβολίας.
- ✓ Επίσης, η τοποθέτηση επιχρίσματος αποτελεί οικονομικότερη λύση και επιπλέον δίνει τη δυνατότητα βαφής και διακοσμητικής επέμβασης στο δομικό στοιχείο που ενισχύεται.

## Συμπεριφορά στο Νερό

Το νερό εξαιρετικά δυσμενές περιβάλλον για όλα τα δομικά υλικά.

**Ο χάλυβας οξειδώνεται, το σκυρόδεμα ενανθρακώνεται, το ξύλο σαπίζει, οι ρητίνες μπορούν να αποσχιστούν λόγω σκλήρυνσης της αλυσίδας του πολυμερούς και ο ύαλος μπορεί να χάσει την εφελκυστική του αντοχή.**

**Μέριμνα η αντοχή της μήτρας από ρητίνη** σε παρατεταμένη έκθεση σε νερό.

Για διάρκεια εξήντα χρόνων που ινοπλισμένα πολυμερή υαλονημάτων χρησιμοποιούνται για την επένδυση υφάλων πλοίων, όχι απομείωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων λόγω σήψης ή διάβρωσης, με αποτέλεσμα, όταν τα πλοία αυτά εγκαταλείπονται, να μην υπάρχει εύκολος τρόπος αποσύνθεσής τους.

Επίδραση είναι μικρή και χρειάζεται εξαιρετικά μακρά χρονική περίοδο για να εκδηλωθεί. Μετά το πέρας του χρόνου αυτού, οι χημικές αλυσίδες του πολυμερούς είναι πλήρως υδατοδιαλυτές, μεταλλικά ιόντα διηθούνται από τα υαλονήματα και το σύνθετο υλικό γίνεται εξαιρετικά εύθραυστο.

**Η μήτρα από ρητίνη απορροφά νερό.** Η ποσότητα του νερού που απορροφάται εξαρτάται από το είδος της ρητίνης και τη θερμοκρασία του νερού.

Άμεσες συνέπειες της απορρόφησης νερού από τη μήτρα είναι συνήθως οι ακόλουθες δύο: **πρώτον, η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης υάλου** (T<sub>g</sub>) μειώνεται και, δεύτερον, η ρητίνη χάνει τη δυσκαμψία της.

Φαινόμενα είναι μερικώς ανατρέψιμα σε συστήματα με εποξικές ρητίνες.

**Αντίθετα, στις πολυεστερικές και βινυλεστερικές ρητίνες, οι μεταβολές μπορεί να είναι είτε αναστρέψιμες είτε όχι, ανάλογα με το χρόνο και τη θερμοκρασία της έκθεσης.**

**Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο ταχύτερες και δυσμενέστερες** είναι οι μόνιμες επιπτώσεις της διείσδυσης υγρασίας. Προσεγγιστικά, η ταχύτητα των χημικών αντιδράσεων διπλασιάζεται για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10°C.

**Η υγρασία αποκτά πρόσβαση στο ινοπλισμένο πολυμερές μέσω τριών διαφορετικών οδών**

- **Μέσω της τριχοειδούς δράσης κατά μήκος του διαμήκου άξονα της ίνας στη διεπιφάνεια ρητίνης και ίνας.**
- **Μέσω ρωγμών και κενών στη δομή του σύνθετου υλικού.**
- **Μέσω διάχυσης διαμέσου της μήτρας.**

τα υαλονήματα απορροφούν υγρασία κατά τη διάρκεια της παρασκευής, αποθήκευσης, μεταφοράς και εφαρμογής τους στο δομικό στοιχείο.

**Οι ίνες πολυαραμίδης απορροφούν υγρασία έως 13% του βάρους τους. Τα ανθρακονήματα είναι αδρανή στο νερό ενώ οι ίνες υάλου παρουσιάζουν μικρή μείωση αντοχής.**

επίδραση υγρασίας στα σύνθετα υλικά περιορίζεται στην επίδραση στη ρητίνη της μήτρας.

**Πλήρης στεγάνωση στοιχείων σκυροδέματος με σύνθετα υλικά** δημιουργεί στεγανές εξωτερικές επιφάνειες σε νερό και προστασία τους από περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Πρέπει όμως να επισημανθεί ότι σε στοιχεία τα οποία πρέπει να 'αναπνέουν', π.χ. πλάκες,

**Συνιστάται να αποφεύγεται η τοποθέτηση καθολικού μανδύα σύνθετου υλικού.**

Με την επιλογή της κατάλληλης ρητίνης, ινοπλισμένα πολυμερή ανθρακονημάτων μπορούν να εφαρμοστούν σε κατασκευές που είναι μέσα στο νερό. Στις περιπτώσεις αυτές μπορεί κανείς να αξιοποιήσει τη δυνατότητα που έχουν τα σύνθετα υλικά να αυξάνουν την πλαστιμότητα, την αντοχή και τη δυσκαμψία των στοιχείων στα οποία εφαρμόζονται, αλλά και να τα χρησιμοποιήσει ως στεγανωτική μόνωση. Παραδείγματα είναι η θεμελίωση κατασκευών στη θάλασσα η ενίσχυση λιμενικών εγκαταστάσεων, η ενίσχυση και στεγάνωση σηράγγων και αγωγών μεγάλων διαστάσεων, κτλ.

## Υπεριώδης Ακτινοβολία

Η υπεριώδης ακτινοβολία του ηλίου (UV) προκαλεί μείωση της αντοχής των σύνθετων υλικών. Ένδειξη αποτελεί σε εκτεθειμένες επιφάνειες η μικρορηγμάτωση και η χρωματικά αλλοίωση. Για την προστασία προτείνεται η εφαρμογή επιχρισμάτων ή ειδικών βαφών.

## Γαλβανική Διάβρωση

Πρέπει να αποφεύγεται η επαφή ινών άνθρακα με χάλυβα. Η επαφή των δύο υλικών προκαλεί γαλβανική διάβρωση του χάλυβα. Το πρόβλημα δεν υφίσταται όταν χρησιμοποιούνται σύνθετα υλικά με ίνες υάλου ή πολυαραμίδης.

## Ερπυσμός

Μόνο τα ανθρακονήματα και τα υαλονήματα δεν υπόκεινται σε ερπυσμό. Ίνες πολυαραμίδης όσο και οι μήτρες των ρητινών, παρουσιάζουν ερπυσμό. Συνάρτηση υλικού ς ίνας και του προσανατολισμού των ινών σε σχέση με την εφαρμοζόμενη ένταση. Ίνες υάλου ή άνθρακα, οι οποίες δεν στρεβλώνονται αλλά παραμένουν αμετακίνητες στα άκρα τους, δεν παρατηρείται ερπυσμός -συμπεριφέρεται σχεδόν πλήρως ελαστικά. Οι ίνες μπορεί να γίνονται ευθείες όταν υπόκεινται σε φόρτιση, το ινοπλισμένο πολυμερές μπορεί να ολισθαίνει στις θέσεις που αγκυρώνεται, ενώ υπάρχει επίσης η πιθανότητα επιπλέον έντασης των ινών λόγω χαλάρωσης της μήτρας του πολυμερούς, Έχουν ασήμαντες επιδράσεις στις διαστάσεις του ινοπλισμένου πολυμερούς. **Στην περίπτωση όμως που ο άξονας των ινών βρίσκεται εκτός του επιπέδου της φόρτισης ή οι ίνες είναι από πολυαραμίδα, μπορεί να είναι σημαντική η παραμόρφωση λόγω ερπυσμού του σύνθετου υλικού.**

## Θραύση και Διάβρωση λόγω Έντασης

φαινόμενο της θραύσης λόγω έντασης υπό διατηρούμενη φόρτιση.

**Η διάβρωση λόγω έντασης -ατμόσφαιρα περιέχει διαβρωτικά στοιχεία**, αλλά όχι επαρκή ώστε να προκαλέσουν διάβρωση του υλικού χωρίς την ταυτόχρονη δράση διατηρούμενης φόρτισης. Σχετίζονται με το χρόνο έκθεσης, το επίπεδο της έντασης, τον περιβάλλοντα χώρο, τη μήτρα και τις ίνες του σύνθετου υλικού. Η αστοχία που οφείλεται στα φαινόμενα αυτά κρίνεται πρόιμη, (αστοχεί για επίπεδο έντασης σαφώς μικρότερο από την αντοχή του).

**Η ποιότητα της μήτρας -πολύ σημαντική επίδραση στο χρόνο** που θα εκδηλωθεί η αστοχία και στο επίπεδο της έντασης που μπορεί να φέρει το υλικό.

εποξικές ρητίνες είναι δύο έως τέσσερις τάξεις μεγέθους πιο ανθεκτικά από αντίστοιχα συστήματα που περιέχουν άλλη κατηγορία ρητίνης .

Σύνθετα υλικά με ίνες άνθρακα παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά σε ανάληψη μόνιμων φορτίων.

## Κόπωση

Συμπεριφέρονται καλύτερα από το σκυρόδεμα ή το χάλυβα υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Ανθρακονήματα καλύτερα από ίνες πολυαραμίδης, που είναι καλύτερες από τα υαλονήματα. με ίνες από άνθρακα η αντοχή σε κόπωση είναι μεγαλύτερη από αυτή του χάλυβα οπλισμού.

Η αντίστοιχη κατάταξη των ρητινών, όσον αφορά στην αντοχή τους σε κόπωση, είναι

**εποξικές, πολυεστερικές και βινυλεστερικές.**

**Αντοχή σε κόπωση ινοπλισμένου πολυμερούς** -από το είδος της ρητίνης - εμποτίζονται οι ίνες.

**Τα ινοπλισμένα πολυμερή, είναι ευαίσθητα** στη συχνότητα εφαρμογής της ανακυκλιζόμενης φόρτισης. συχνότητα μικρότερη από 10 Hz όχι έκλυση θερμότητας στο πολυμερές, **-πρώιμη αστοχία της μήτρας και στη συνέχεια ολόκληρου του συστήματος του πολυμερούς.**

## Κρούση

Όσον αφορά στην επίδραση της κρούσης την καλύτερη συμπεριφορά παρουσιάζουν

**κατά σειρά τα σύνθετα υλικά με ίνες πολυαραμίδης**

(είναι χαρακτηριστικό ότι χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αλεξίσφαιρων γιλέκων),

Ακολουθούν αυτά με ίνες υάλου και τέλος αυτά με ίνες άνθρακα.





Advanced Structural Technologies



Advanced Structural Technologies

Εικόνα 5α: Εργάτες τοποθετούν δύο τμήματα περικαλύμματος ινοπλισμένου πολυμερούς από υαλονήματα σε ένα υποστύλωμα

Εικόνα 5β: Στο ίδιο υποστύλωμα τοποθετείται γκρι χρωματισμός για να ταιριάζει με το σκυρόδεμα του υποστυλώματος



Εικόνα 7: Ενίσχυση δομικού μέλους με ελάσματα από σύνθετα υλικά από ινοπλισμένα πολυμερή.  
[9]



Εικόνα 6: Οψη της γέφυρας (Chatham County bridge) είναι στα τελικά στάδια περικάλυψης με ινοπλισμένα πολυμερή και τα στάδια του βαψίματος. Η ολοκληρωμένη εργασία διακρίνεται από το ανοιχτό γκρι χρώμα



(α)



Εικόνα 8(α, β, γ): Κατάστρωμα γέφυρας σε ανισόπεδη διάβαση. Ζημιά από όχημα με ύψος πέραν του επιτρεπόμενου και επισκευή με σύνθετα υλικά.

# ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΙΟΠ

## ΣΕ ΚΑΜΨΗ

**Ενίσχυση σε κάμψη**- η μεταφορά δυνάμεων στο παλιό σκυρόδεμα σε μεγάλο μήκος δοκού και βαθμωτά αλλάζει σε όλο το μήκος της ανάλογα με τη φόρτιση.

### ▪ Ελάσματα ή υφάσματα για ενίσχυση σε κάμψη

Επικόλληση στο εφελκυόμενο πέλμα της δοκού με διεύθυνση των ινών τέτοια ώστε να παραλαμβάνουν τις λόγω κάμψης εφελκυστικές δυνάμεις (παράλληλα στον άξονα μέλους).

**Συνηθισμένος τρόπος αγκύρωσης** : τοποθέτηση στα δύο ακραία τμήματα ενίσχυσης ελάσματα FRP στο κάτω πέλμα δοκού, μεταλλικής πλάκας και μηχανισμών μεταλλικών αγκυρίων.

(Σχήματα)

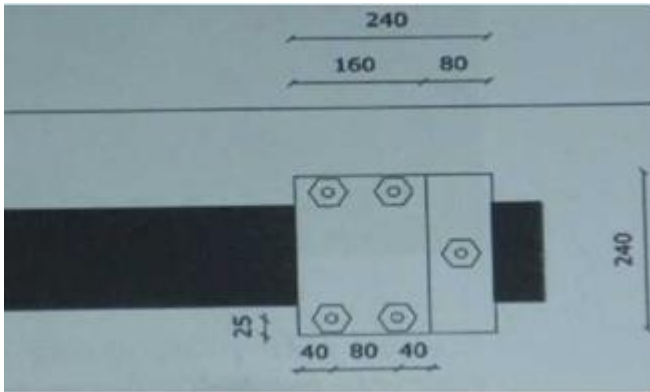
**Βιβλιογραφία** : **δεν υπάρχει αναφορά κατασκευαστικών διατάξεων** επιλογής -χρήσης αγκυρίων.

**Από πειράματα παρατηρήθηκε ότι ο τρόπος αστοχίας της δοκού με και χωρίς αγκύρωση**

**παραμένει ο ίδιος**, : είναι εμφανές το στάδιο των προρηγματώσεων (pre-cracked stage), ρηγματώσης (post-cracked stage) και της διαρροής (post-yielded stage) με απότομη αποκόλληση του ελάσματος FRP που ξεκινά πάντα από το ελεύθερο άκρο.

**Πειραματικές μετρήσεις έδειξαν ότι το συνολικό φορτίο που παραλαμβάνεται από τη δοκό είναι πολύ μεγαλύτερο στην περίπτωση της αγκύρωσης**

η συνολική παραμόρφωση έως την αστοχία έφτασε τα 0,58%, σημαντική αύξηση που υποδηλώνει την βελτίωση της διατομής με παρουσία των μεταλλικών πλακών και αγκυρίων.



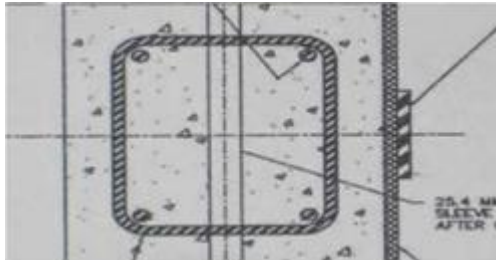
Σχήμα 1 :Αγκύρωση έναντι κάμψης



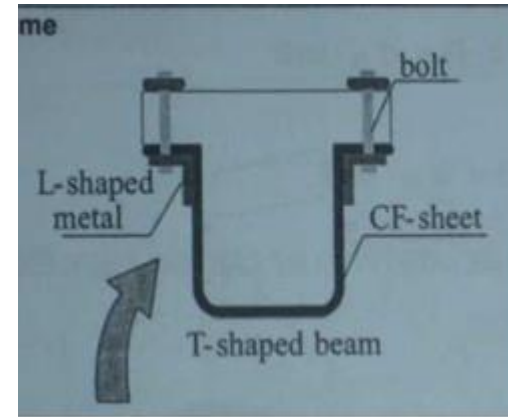
Σχήμα 2 : Εφαρμογή της αγκύρωσης



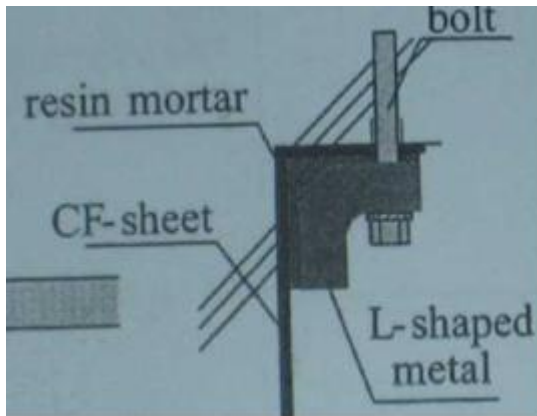
Σχήμα 3 :Αστοχία της ενίσχυσης στην περιοχή της αγκύρωσης



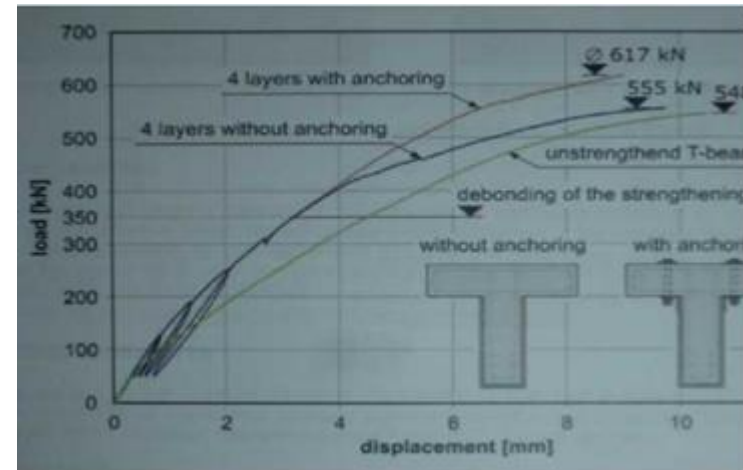
Σχήμα 4 : Αγκύρωση με FRP υψηλής αντοχής στο ενδιάμεσο



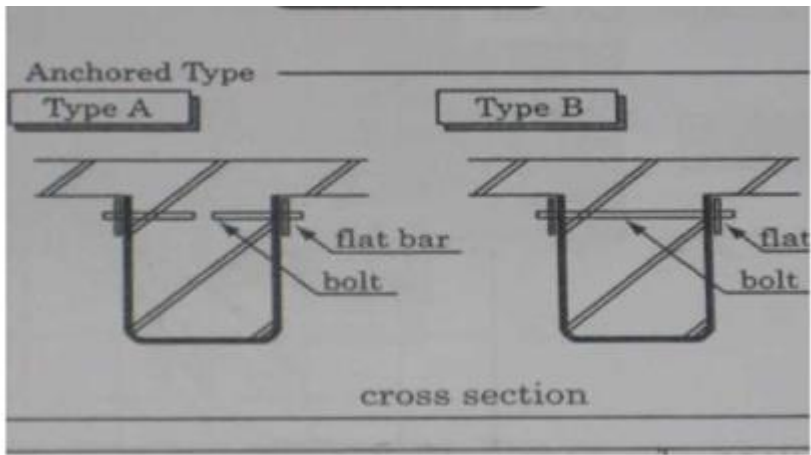
Σχήμα 5: Mechanical anchorage



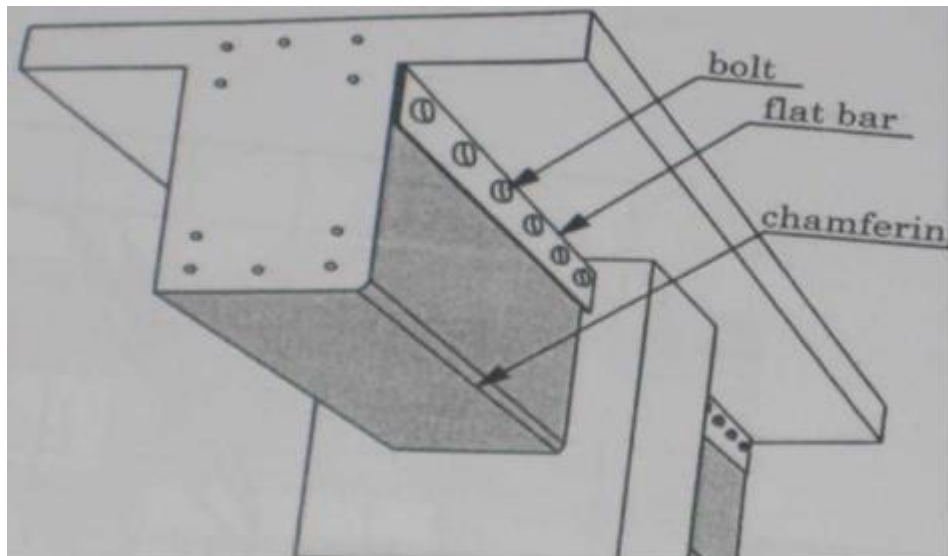
Σχήμα 6: Κατασκευαστική λεπτομέρεια, mechanical anchorage



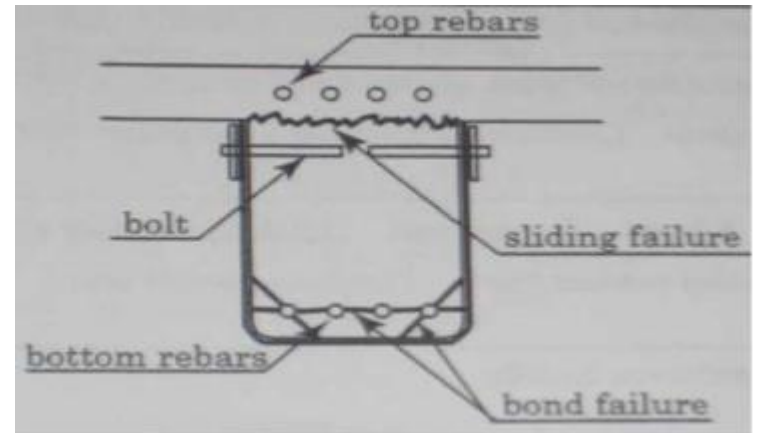
Σχήμα 7 : Διάγραμμα φορτίου παραμόρφωσης από σχετικό πείραμα



Σχήμα 8 : Αγκύρωση σε διάτμηση με μηχανικά αγκύρια, τύπος A και B

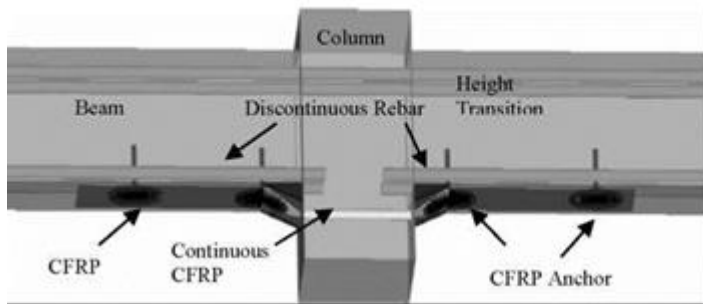


Σχήμα 10: Διάγραμμα διατμητικού φορτίου- παραμόρφωσης για τους 2 τύπους αγκύρωσης

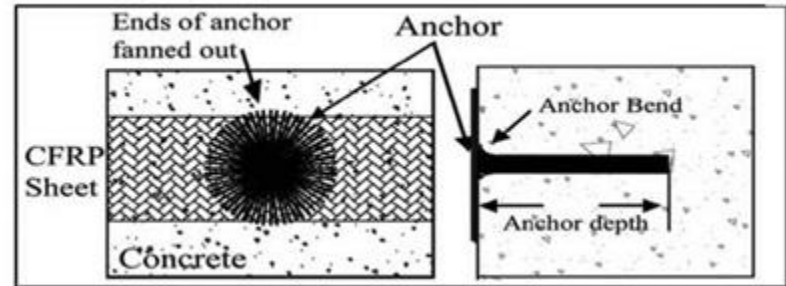


Σχήμα 11: Συγκέντρωση τάσεων

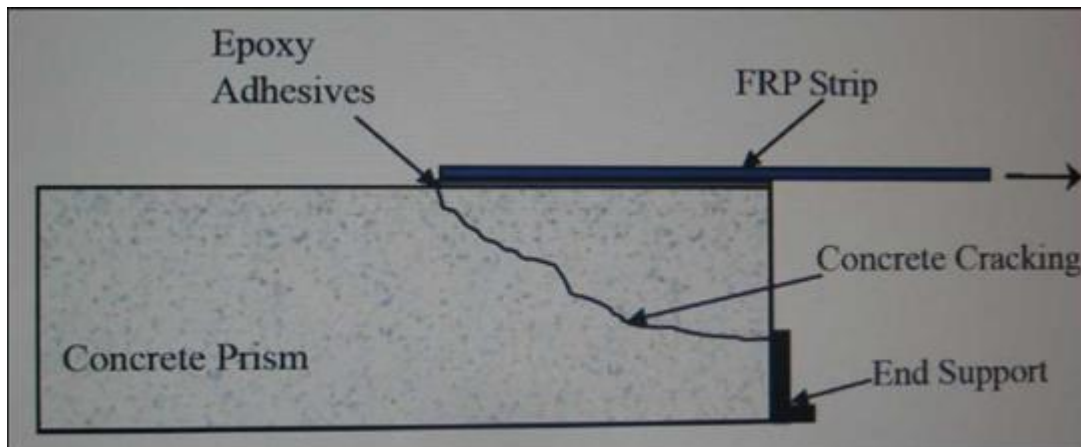




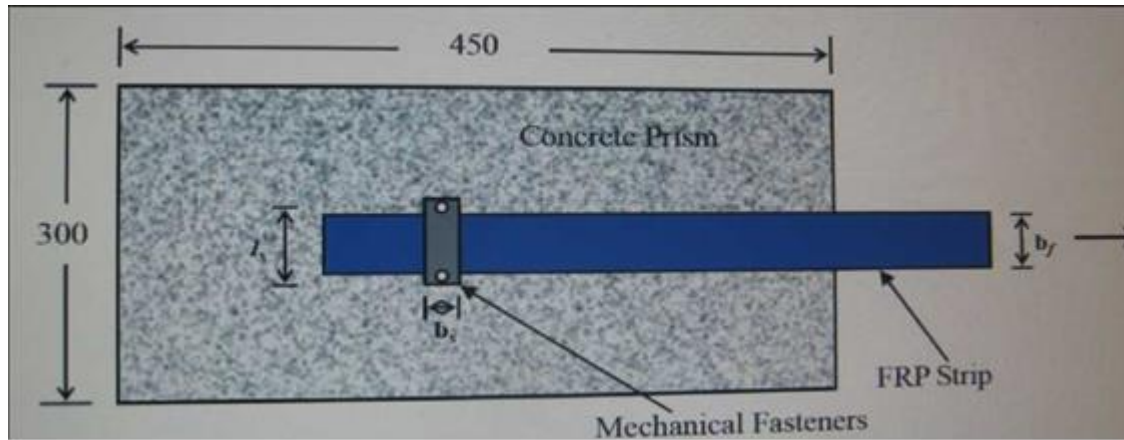
Σχήμα 15: Χρήση CFRP ως συνέχεια οπλισμού



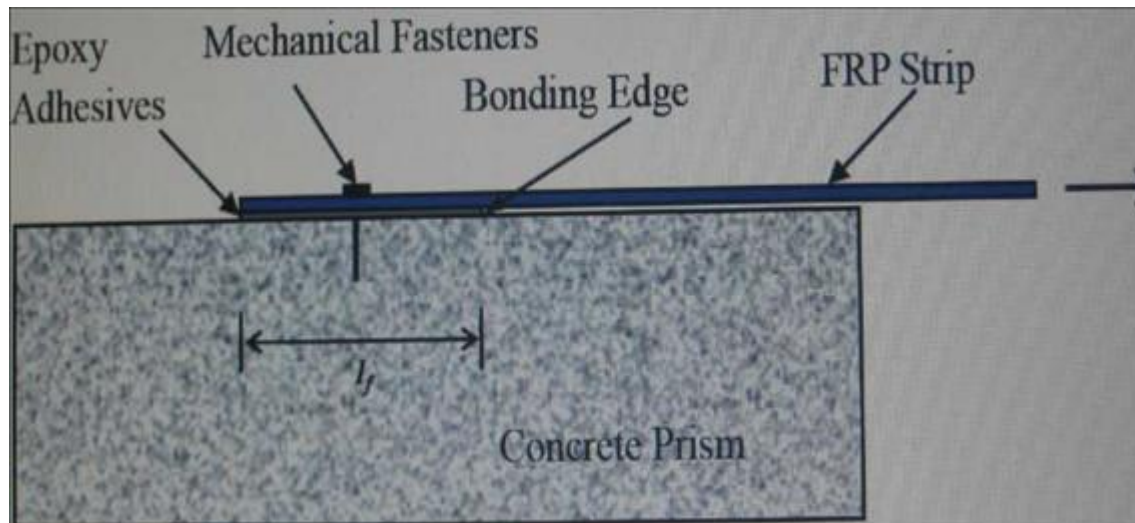
Σχήμα 17: Λεπτομέρεια αγκύρωσης



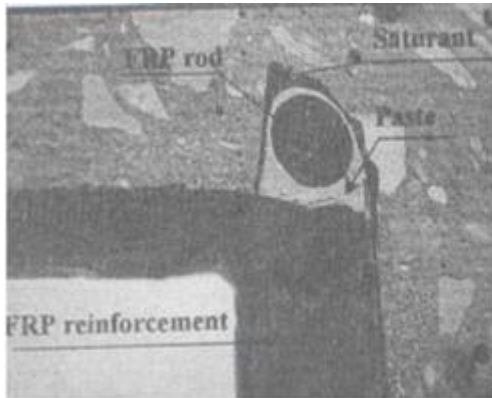
Σχήμα 18: Μορφή αστοχίας σκυροδέματος με HB- FRP [13]



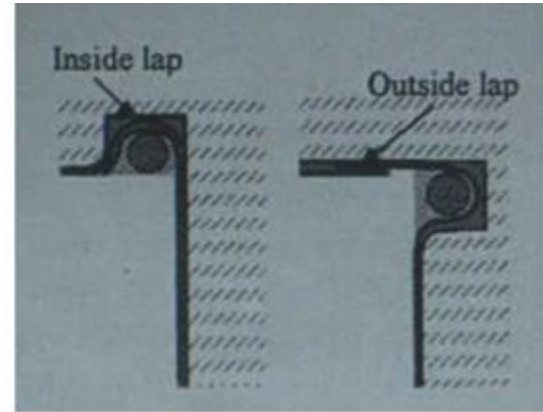
Σχήμα 19 : Προοπτική κάτοψη τμήματος δοκού του υπό μελέτη πειράματος



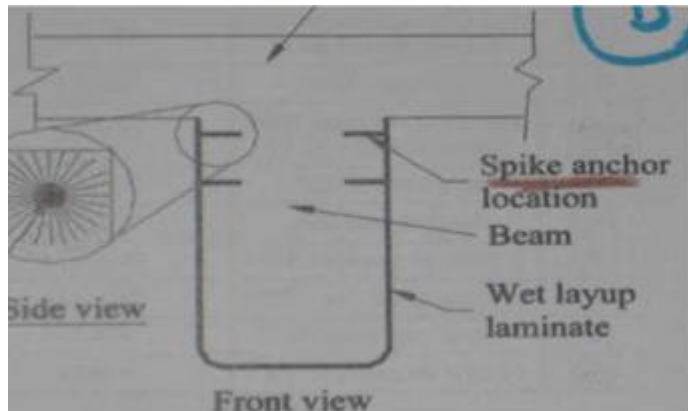
Σχήμα 20: Όψη τμήματος δοκού του πειράματος



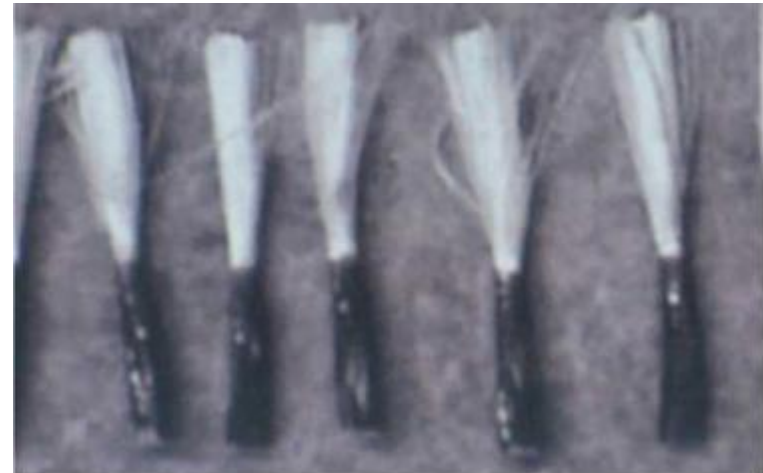
Τομή δοκού, λεπτομερής απεικόνιση αγκύρωσης



Σχήμα 22 . Πιθανές θέσεις αγκύρωσης [5]



Σχήμα 23 : Spike anchors με λεπτομέρεια



: Spike anchors

# ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Τι Είναι;

Γιατί Χρησιμοποιείται;

- ✓ Υψηλή Θλιπτική Αντοχή
- ✓ Πολύ Καλή Πρόσφυση
- ✓ Αυτοστηρίζεται
- ✓ Κινητή Εγκατάσταση

**"Αν υπάρχει χώρος για έναν άνθρωπο και έναν σωλήνα, μπορούμε να σκυροδετήσουμε"**



Εκτόξευση Μανδύα Υποστύλιματος

3



4

# Πειραματικά αποτελέσματα δοκιμών εκτοξευόμενου σκυροδέματος

Δείγμα Νο.

## Θλιπτική Αντοχή Ε. Διατμητική Αντοχή Διεπιφάνειας

(MPα) (MPα)

### A. Εκτοξευόμενο Ξηράς ανάμιξης πάνω σε παλιό

|          |             |            |
|----------|-------------|------------|
| <u>1</u> | <u>33,0</u> | <u>3,9</u> |
| <u>2</u> | <u>30,1</u> | <u>3,7</u> |
| <u>3</u> | <u>32,1</u> | <u>3,4</u> |

### B. Εκτοξευόμενο Υγράς ανάμιξης πάνω σε παλιό

|          |             |            |
|----------|-------------|------------|
| <u>4</u> | <u>33,2</u> | <u>0,9</u> |
| <u>5</u> |             | <u>1,3</u> |
| <u>6</u> | <u>30,5</u> | <u>1,7</u> |
| <u>7</u> |             | <u>1,5</u> |
| <u>8</u> | <u>33,5</u> | <u>2,3</u> |



## ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΞΗΡΑΣ ΑΝΑΜΙΞΗΣ

### Αεροσυμπιεστής

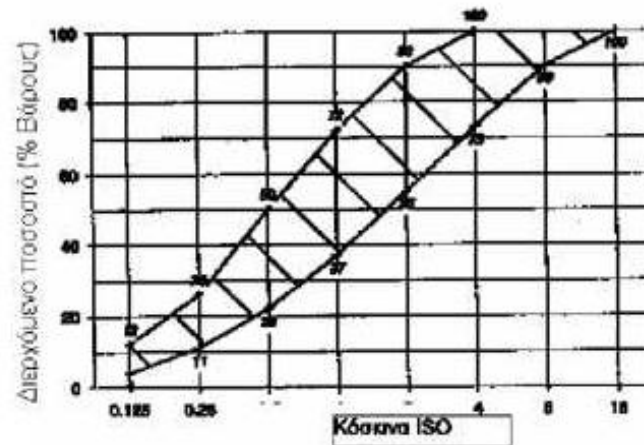
- Απαιτούμενη πίεση
- Μήκος Σωλήνα Ειδικό Βάρος Μίγματος
- Διαφορά ύψους ακροφυσίου - θέσης εγκατάστασης
- Καμπύλες στον λαστ. σωλήνα διανομής κ.α. Πρακτική Εκτίμηση

$$P = 200 + 2,5 (l + 2h) \text{ ΚΡα}$$

όπου:  $l$  (m) μήκος σωλήνα  
 $h$  (m) διαφορά ύψους ακροφυσίου ακροφυσίου

- Προδιαγραφές Αεροσυμπιεστή

Πολλοί παράγοντες



## Ανακλώμενο Υλικό και Υπερψεκαζόμενο (Overspran)

- Ανεπιθύμητα προϊόντα εκτόξευσης
- Έλεγχος και ελαχιστοποίηση από χειριστή
- Υπερψεκαζόμενο είναι...

## Προβλήματα

ανακλώμενο Υλικό είναι...

Μειώνεται προοδευτικά Δεν ξαναχρησιμοποιείται -Σπατάλη

-Συνθήκες εργασίας χειριστή

- Αδύναμα σημεία

Περισσότερο Ανακλώμενο → Αυξημένη Αντοχή (!)

## Αλλά Αυξημένη Συστολή Ξήρανσης

### Ποσοστά ανακλώμενου υλικού

Εκτοξευόμενη

Επιφάνεια

Ξηρά Ανάμιξη

Υγρά Ανάμιξη

**Δάπεδα**

**5-15%**

**0-5%**

**Κεκλιμένοι ή κατακόρυφοι τοίχοι**

**15-25%**

**5-10%**

**Οροφή**

**25-50%**

**10-20%**

# Εκτέλεση Εργασίας

- ❖ Προετοιμασία Επιφάνειας
- ❖ Απομάκρυνση κάθε αποσαθρωμένου
- ❖ Αγρίεμα επιφάνειας
- ❖ Διαβροχή με νερό
- ❖ Έλεγχος Νερού

**Τόσο όσο χρειάζεται για να φαίνεται ελαφρά γυαλιστερό**

Πολύ νερό → κυλάει, κρεμάει

Λίγο νερό → αυξάνει το ανακλώμενο

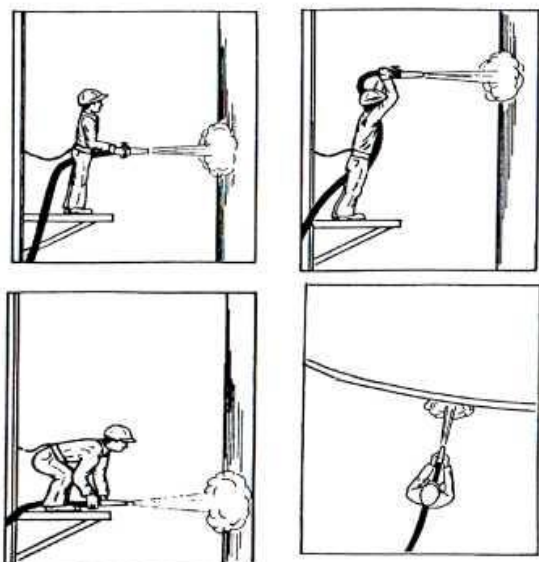
*(Ξηρά, σκούρα      Συσσώρευση αδρανών  
αμμώδης επιφάνεια κακή τελική επιφάνεια  
χωρίς να γυαλίζει) κακή σύνδεση στρώσεων    μικρή αντοχή)*  
Δείγματα έδειξαν ανεπαρκή διαβροχή

Πίεση νερού = Πίεση αέρα + (100 - 200) ΚΡα

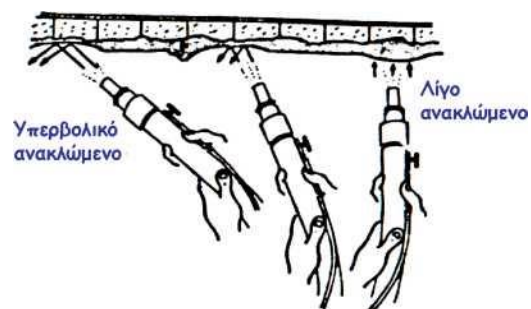


## ΕΚΤΟΞΕΥΣΗ

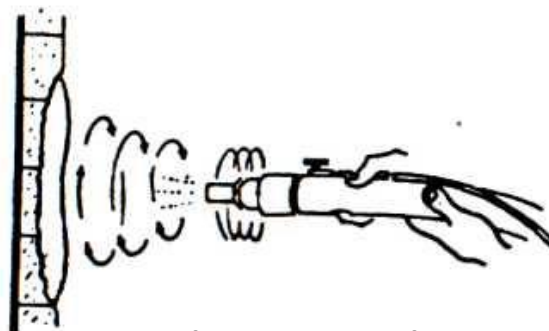
- Αποτελεσματικός χειρισμός
- Λιγότερες δυνατών στρώσεις
- Σταθερή ροή χωρίς διακυμάνσεις
- Απόσταση 0,6 m έως 1,8 m
- Εν γένει κάθετα στην επιφάνεια **Ποτέ σε γωνία > 45°**
- Κυκλική περιστροφή ακροφυσίου **Όχι μπρος-πίσω**
- Σε μεγάλα πάχη κάθετα στην επιφάνεια σε γωνία 45° προς την επιφάνεια βάσης
- Όχι ανακλώμενο και overspray στην επιφάνεια βάσης π.χ. πλάκες
- Εσωτερικές γωνίες προηγούνται
- Υγρότερη πρώτη στρώση



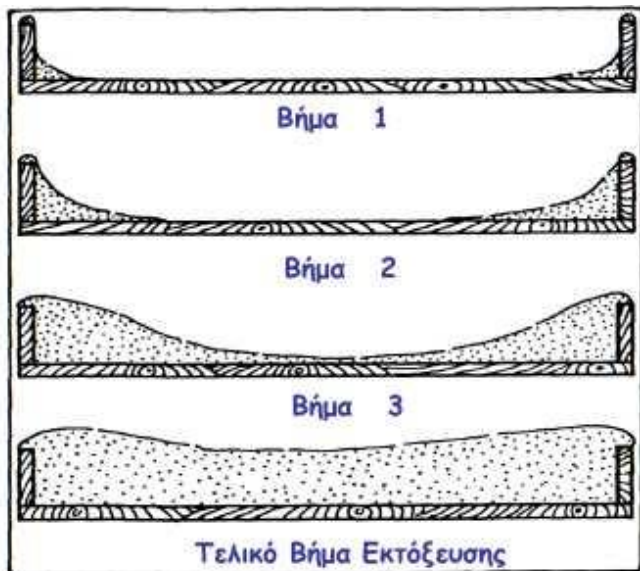
Σωστές θέσεις εκτόξευσης



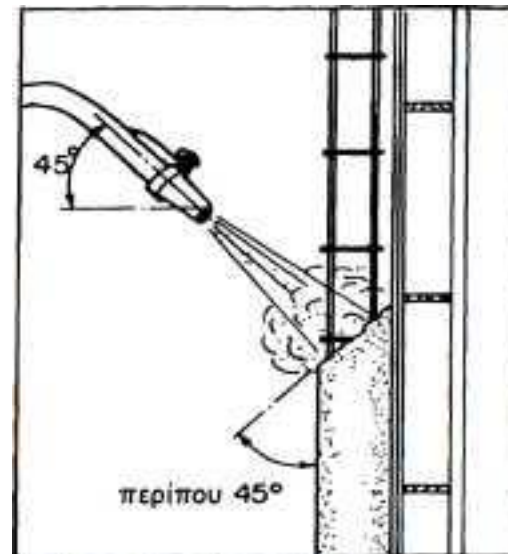
Σχέση ανακλώμενου υλικού και γωνίας πρόσπτωσης



Οι στρώσεις συμπληρώνονται με επάλληλες μικρές κυκλικές ή ελλειπτικές κινήσεις του ακροφυσίου



Κατάλληλη διαδικασία εκτόξευσης σε εσωτερικές γωνίες



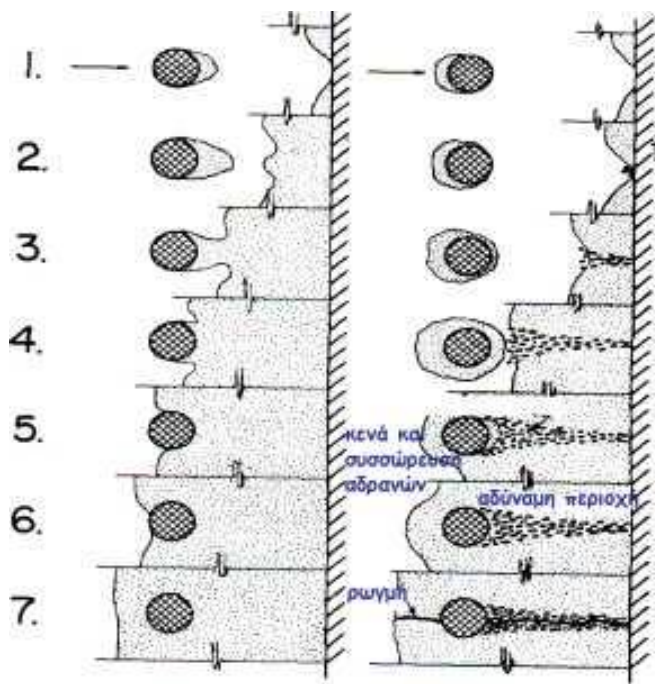
Συνιστώμενος τρόπος εκτόξευσης για μεγάλα πάχη

## Εγκιβωτισμός Οπλισμών

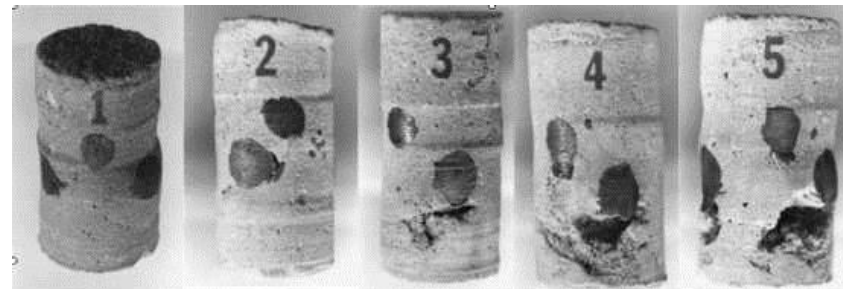
Σκοπός: Να πάει καλά πίσω από τις ράβδους

- Να μην προηγείται συσσωμάτωμα με το σίδηρο
- Μικρότερη Απόσταση
- Ελαφρά γωνία από πάνω (για οριζόντιες ράβδους)
- Λίγο πιο υγρό μίγμα
- Δύο στρώσεις οπλισμοί

**12 Φ αποστάσεις εξωτερικής στρώσης, 6Φ αποστάσεις εσωτερικής στρώσης**



Εκτόξευση παρουσία σπλισμού



Κατηγοριοποίηση ποιότητας Ε.Σ. με βάση τον οπτικό έλεγχο Πιθανές εικόνες των πέντε κατηγοριών

## ΕΛ Ε Γ Χ Ο Ι

(α) ΟΠΤΙΚΟΣ

(β) ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ

(γ) ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ (ΚΡΟΥΣΤΙΚΟΣ)

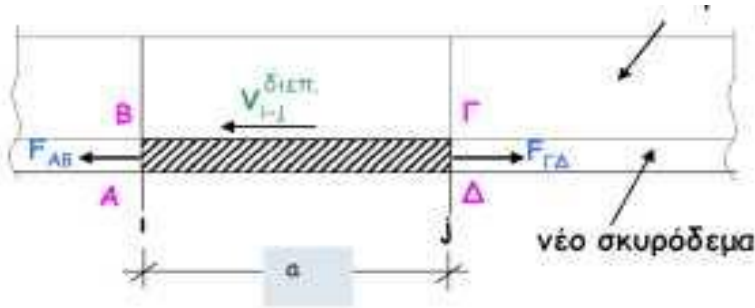
(δ) ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ

(i) Έλεγχος Θλιπτικής Αντοχής (ii) Έλεγχος Συνάφειας

(ε) ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ

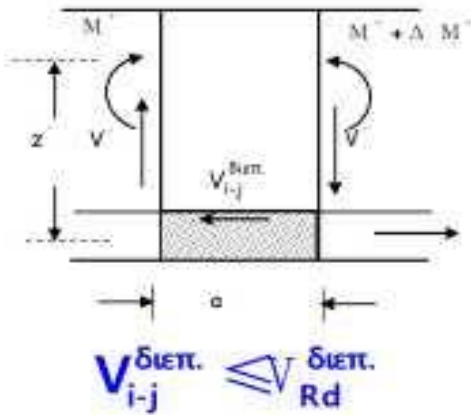
# Έλεγχος Διεπιφανειών

παλιό σκυρόδεμα



$$V_{i-j}^{\deltaιεπ.,B\Gamma} = F_{AB} - F_{\Gamma\Delta}$$

ή



$$V_{i-j}^{\deltaιεπ.} = \frac{\Delta M'}{z'} = V' \frac{a}{z'}$$

$M', V'$  = Ροπή, Τέμνουσα λόγω δράσεων μετά την επέμβαση

Ελάχιστο Ποσοστό Βλήτρων  $\rho_{\delta} = \frac{A_{sd}}{A_{c\delta} \sin \alpha} \geq 0,18 \frac{f_{ctm}^{1/3}}{f_{yk}}$



Εκτράχυνση με Αμμοβολή



Προετοιμασία Επιφάνειας με Αεροματσάκονο

15

16

### ΜΑΝΔΥΕΣ Ο.Σ.



17

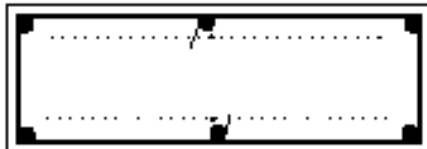
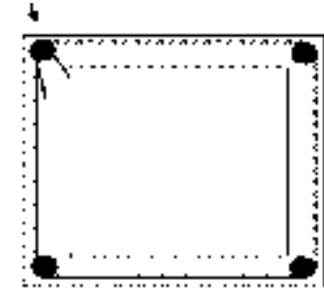
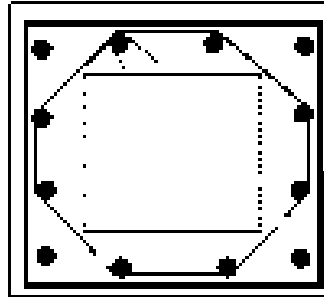
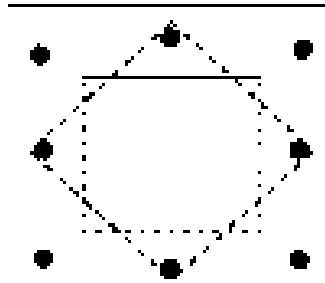


18

Τοποθέτηση ενδιάμεσων συνδετήρων σε τετραγωνικές διατομές

ΟΧΙ

ΝΑΙ



Τοποθέτηση ενδιάμεσων συνδετήρων σε επιμήκεις διατομές



**Άνοιγμα Συνδετήρων**



**Ηλεκτροσυγκόλληση Ακρων Συνδετήρων Μανδύα** 23



## Εκτράχυνση και Χρήση Χαλύβδινων Βλήτρων



31

## Οπλισμένες Διεπιφάνειες



Χαλύβδινοι Ηλεκτροσυγκολλημένοι Σύνδεσμοι (Αναρτήσεις)

32

Περίσφιξη με Μεταλλικό Κλωβό



52

Περίσφιξη με ΙΟΠ



53



54