

ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

➤ Στέφανος Δρίτσος

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών

Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2010

1

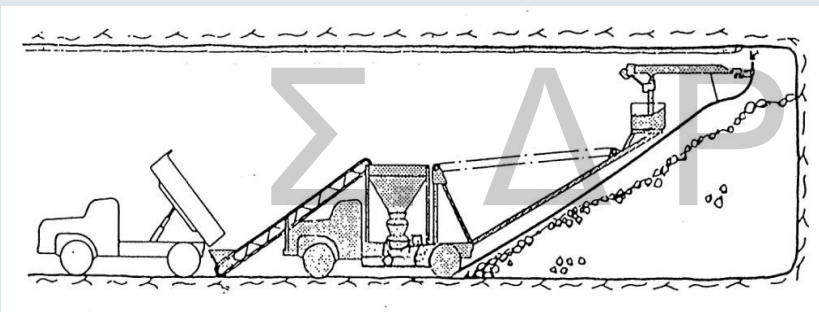
ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

- Τι Είναι;
- Γιατί Χρησιμοποιείται;
 - Υψηλή Θλιπτική Αντοχή
 - Πολύ Καλή Πρόσφυση
 - Αυτοστηρίζεται
 - Κινητή Εγκατάσταση

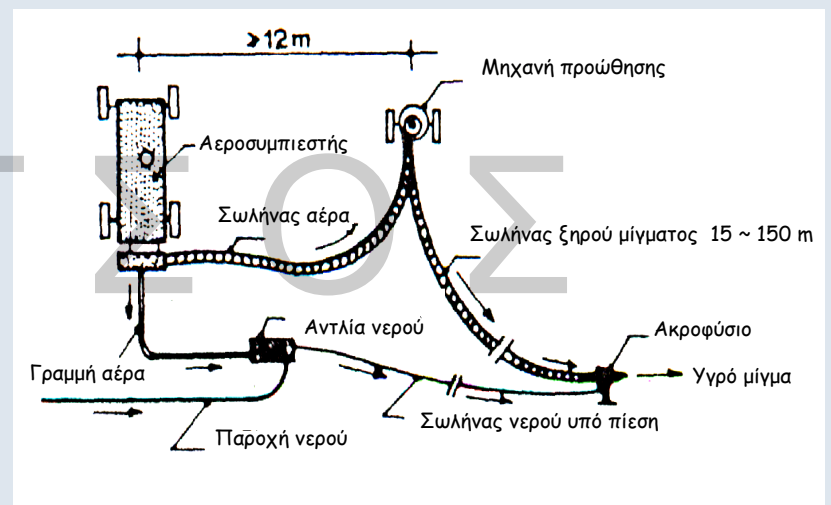
“Αν υπάρχει χώρος για έναν άνθρωπο και έναν σωλήνα, μπορούμε να σκυροδετήσουμε”

- Διαδικασίες

2

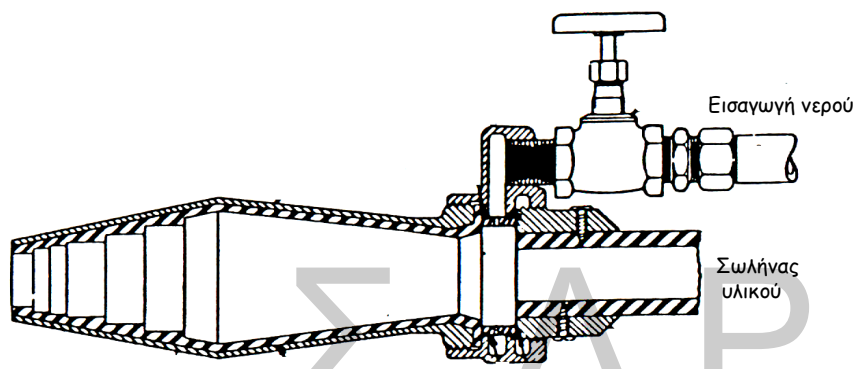


3



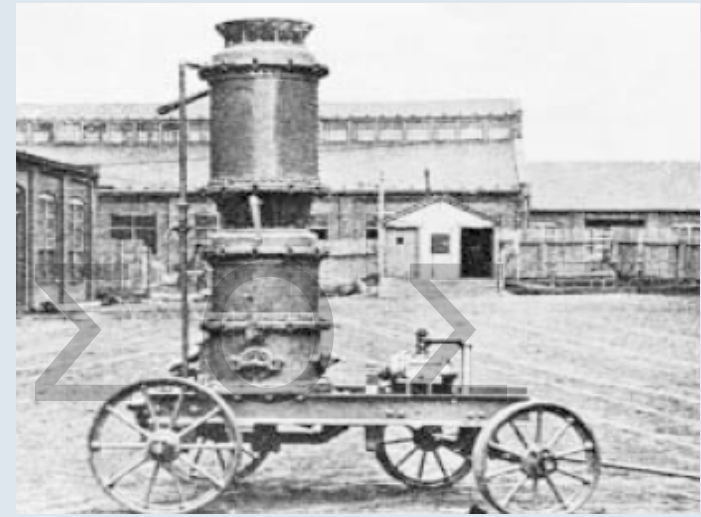
Τυπική Εγκατάσταση για Ξηρά Διαδικασία

4



Τομή Ακροφυσίου

5



Η πρώτη Μηχανή Ε.Σ. (Carl Akeley το 1907)

6



Μία από τις πρώτες μηχανές του Ε.Σ. που βγήκε στην αγορά το 1914

7



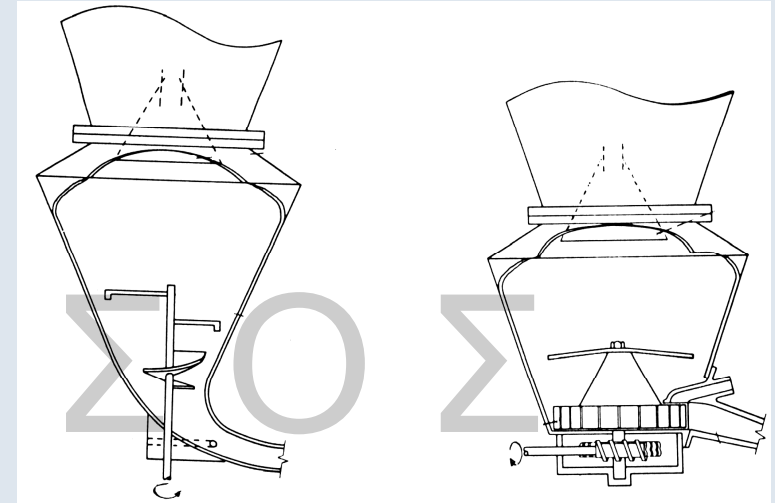
Ογδόντα χρόνια πριν. Συνεργείο έτοιμο για εργασία

8



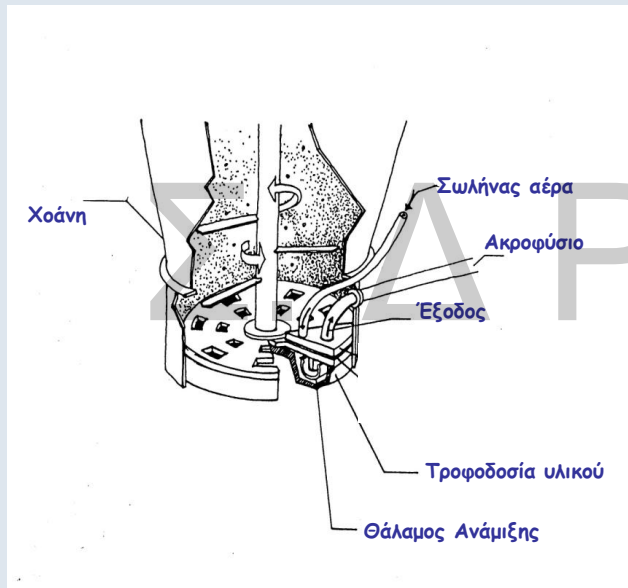
Εκτόξευση σκυροδέματος το 1919 για κατασκευή δεξαμενής νερού

9



Σχηματικές Τομές Ενός Τύπου Μηχανής Προώθησης

10



11

ΞΗΡΑ ΑΝΑΜΙΞΗ

- Ανάμιξη Τσιμέντο και Αδρανή
- Μηχανή Προώθησης
- Λαστιχένιος Σωλήνας - Πεπ. Αέρας - Ακροφύσιο
- Παροχή Νερού
- Εκτόξευση

ΥΓΡΑ ΑΝΑΜΙΞΗ

- Ανάμιξη Τσιμέντο, Αδρανή, Νερό
- Μηχανή Προώθησης
- Λαστιχένιος Σωλήνας - Πεπ. Αέρας - Ακροφύσιο
- Επιταχυντικό Υλικό
- Πρόσθετος Πεπ. Αέρας
- Εκτόξευση

12

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΞΗΡΑΣ και ΥΓΡΑΣ ΑΝΑΜΙΞΗΣ

ΞΗΡΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

- Έλεγχος Νερού από Χειριστή
- Απόκτηση Αντοχών Γρήγορα
- Υψηλές Αντοχές
- Μεγάλες Αποστάσεις
- Κόστος Εγκατάστασης Όχι Μεγάλο

ΥΓΡΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

- Έλεγχος Νερού (μέτρηση) στον Αναμικτήρα
- Πλήρης Ανάμιξη
- Λιγότερο Ανακλώμενο Υλικό
- Μεγάλη Παραγωγή

13

Δείγμα Νο.	Θλιπτική Αντοχή Ε.Σ. (MPa)	Διατμητική Αντοχή Διεπιφάνειας (MPa)
------------	-------------------------------	---

Α. Εκτοξευόμενο Ξηράς ανάμιξης πάνω σε παλαιό συμβατικό σκυρόδεμα

1	40,3	5,0
2	49,2	4,1
3	40,7	2,9
4	37,3	3,6
5	48,7	6,0
6	31,9	2,8
7	31,6	3,5

Β. Εκτοξευόμενο Ξηράς ανάμιξης πάνω σε παλαιό εκτοξευόμενο υγράς ανάμιξης

8	33,0	3,9
9	30,1	3,7
10	32,1	3,4

Γ. Εκτοξευόμενο Υγράς ανάμιξης πάνω σε παλαιό εκτοξευόμενο υγράς ανάμιξης

11	33,2	0,9
12		1,3
13	30,5	1,7
14		1,5
15	33,5	2,3

Πειραματικά αποτελέσματα δοκιμών εκτοξευόμενου σκυροδέματος

14

Αεροσυμπιεστής

- Απαιτούμενη πίεση

Μήκος Σωλήνα

Ειδικό Βάρος Μίγματος

Διαφορά ύψους ακροφυσίου - Θέσης εγκατάστασης

Καμπύλες στον λαστ. σωλήνα διανομής κ.α.

Πρακτική Εκτίμηση

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

όπου: l (m) μήκος σωλήνα

h (m) διαφορά ύψους ακροφυσίου

- Προδιαγραφές Αεροσυμπιεστή
Πολλοί παράγοντες

15

Απαιτ. Παραγωγή Ε.Σ. (m ³ /hr)	Απαιτήσεις παροχής πεπιεσμένου αέρα (m ³ /min)	Συνιστώμενη εσωτερική διάμετρος σωλήνων και ακροφύσιου (mm)
1	3	25
2	4-5	32
4	8-10	40
6	12-14	50
9	17-20	65

Απαιτήσεις Εξοπλισμού Ξηράς Ανάμιξης

16

ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΜΙΞΗΣ

- Λόγος Τσιμέντο/Αδρανή
Εκκίνηση - Τελική Θέση
Συνέπειες
- Εν γένει τιμές εκκίνησης 1:2 έως 1:6
Για $f_{ck} \approx 30 \text{ MPa}$ 1:3,5 έως 1:4
- Τσιμέντο; Νερό;
Δοκιμαστικό Τμήμα

Έχει προκύψει:

$$\begin{aligned} z &= 300 - 380 \text{ kgr/m}^3 && \text{για } f_c \approx 21 \text{ MPa} \\ &= 325 - 425 \text{ kgr/m}^3 && \text{για } f_c \approx 28 \text{ MPa} \\ &= 380 - 500 \text{ kgr/m}^3 && \text{για } f_c \approx 35 \text{ MPa} \end{aligned}$$

21

Εκκίνηση	Τελική Θέση
1:3,0	1:2,0
1:3,5	1:2,8
1:4,0	1:3,25
1:4,5	1:3,6
1:5,0	1:3,8
1:6,0	1:4,1

Σχέση λόγου Τ/Α στην εκκίνηση και στην τελική θέση

22

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Έστω η απαιτούμενη χαρακτηριστική αντοχή είναι: $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
Προεκτιμάται πυκνότητα Ε.Σ.: 2.300 Kg/m^3
Ποσότητα τσιμέντου (Πίνακας εκτίμησης τσιμέντου) Ε.Σ.: 400 Kg/m^3
Ποσότητα νερού: $0,40 \times 400 = 160 \text{ Kg/m}^3$
Απαιτούμενη στη θέση εκτόξευσης ποσότητα αδρανών: $2.300 - 400 - 160 = 1.740 \text{ Kg/m}^3$
Απώλειες λόγω ανακλώμενου υλικού
(θεωρώντας εκτόξευση σε κατακόρυφα στοιχεία): 20%
Απαιτούμενη στο αρχικό μίγμα ποσότητα αδρανών: $\frac{1.740 \text{ Kg/m}^3}{0,80} = 2.175 \text{ Kg/m}^3$

23

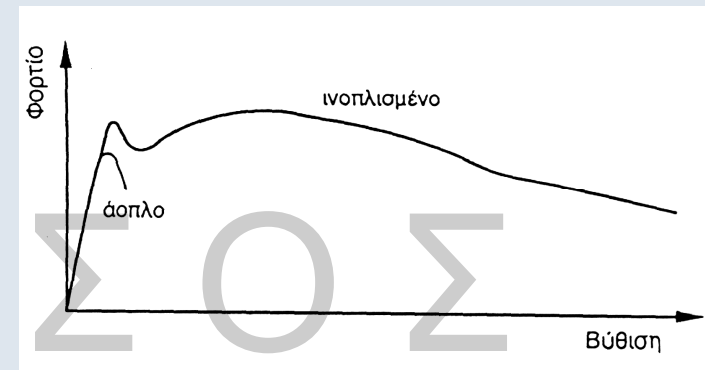
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

- Συντελεστής $w/z = 0,3 - 0,5$ ξηρά ανάμιξη
 $w/z = 0,4 - 0,55$ υγρά ανάμιξη
- Θλιπτική Αντοχή
Συνήθως 20-50 MPa
Συχνά μέχρι 70 MPa με ξηρά ανάμιξη
Ιδιαίτερη προσοχή αν $f_c > 35 \text{ MPa}$
- Εφελκυστική Αντοχή σε κάμψη 4-5 MPa
- Συστολή ξήρανσης: 0,06% - 0,10 %
Μεγαλύτερο από συνηθισμένο σκυρόδεμα
Πλέγμα, οπλισμοί

24

- Ειδικό βάρος 2200 - 2400 kg/m³
Παρόμοιο με συνηθισμένο σκυρόδεμα
- Μέτρο Ελαστικότητας 14.000 - 41.000 MPa
Ίδιας τάξης μεγέθους με συνηθισμένο σκυρόδεμα
- Κοκκομετρική Διαβάθμιση και Αναλογίες Ανάμιξης
Διαφορετικές από το συνηθισμένο σκυρόδεμα

25



Επίδραση ινών στη συμπεριφορά σε κάμψη

26

Ανακλώμενο Υλικό και Υπερψεκαζόμενο (Overspray)

- 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 Ξήρανση

27

Εκτοξευόμενη Επιφάνεια	Ξηρά Ανάμιξη	Υγρά Ανάμιξη
Δάπεδα	5-15%	0-5%
Κεκλιμένοι ή κατακόρυφοι τοίχοι	15-25%	5-10%
Οροφή	25-50%	10-20%

Ποσοστά ανακλώμενου υλικού

28

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
αμμώδης επιφάνεια
χωρίς να γυαλίζει)

Συσώρευση αδρανών
κακή τελική επιφάνεια
κακή σύνδεση στρώσεων
μικρή αντοχή

Δείγματα έδειξαν ανεπαρκή διαβροχή

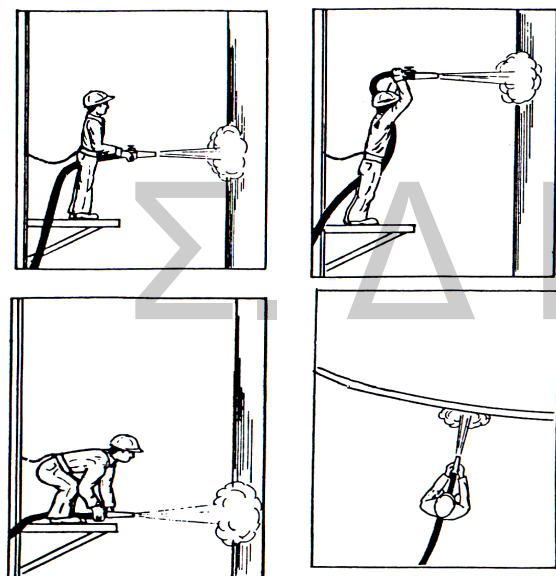
Πίεση νερού = Πίεση αέρα + (100 - 200) KPa

29

ΕΚΤΟΞΕΥΣΗ

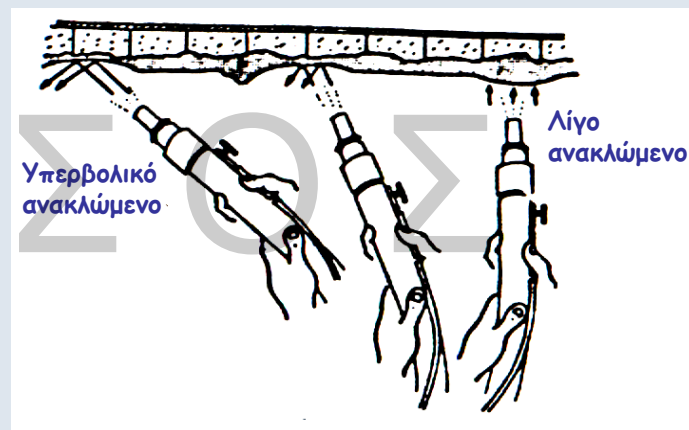
- Αποτελεσματικός χειρισμός
- Λιγότερες δυνατόν στρώσεις
- Σταθερή ροή χωρίς διακυμάνσεις
- Απόσταση 0,6 m έως 1,8 m
- Εν γένει κάθετα στην επιφάνεια
Ποτέ σε γωνία > 45°
- Κυκλική περιστροφή ακροφυσίου
Όχι μπρος-πίσω
- Σε μεγάλα πάχη κάθετα στην επιφάνεια υλικού σε γωνία 45°
προς την επιφάνεια βάσης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

30



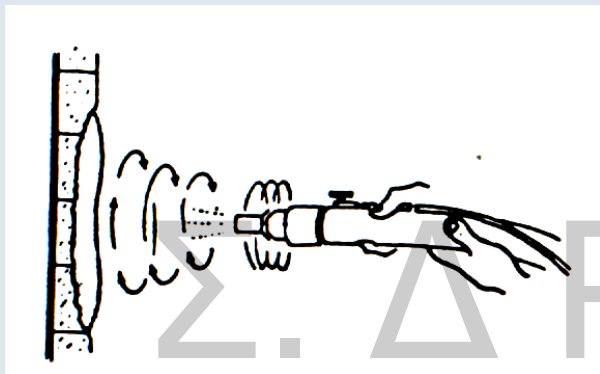
Σωστές θέσεις εκτόξευσης

31



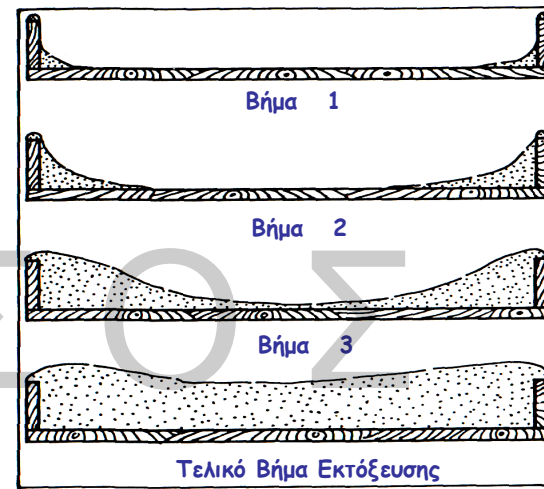
Σχέση ανακλώμενου υλικού και γωνίας πρόσπτωσης

32



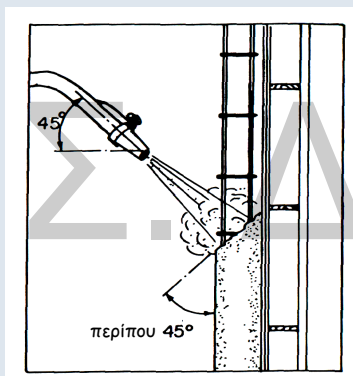
Οι στρώσεις συμπληρώνονται με επάλληλες μικρές κυκλικές ή ελλειπτικές κινήσεις του ακροφυσίου

33



Κατάλληλη διαδικασία εκτόξευσης σε εσωτερικές γωνίες

34



Συνιστώμενος τρόπος εκτόξευσης για μεγάλα πάχη

35

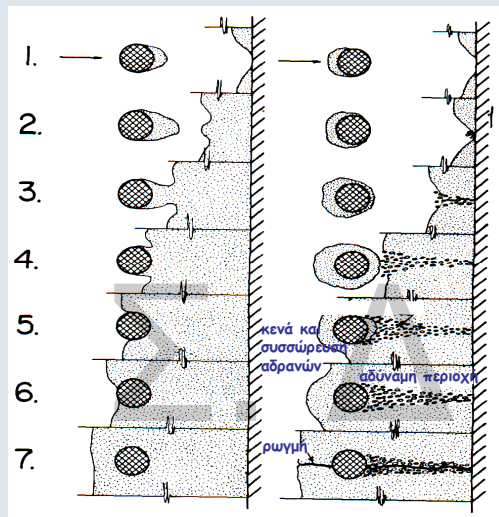
Εγκιβωτισμός Οπλισμών

- Σκοπός: Να πάει καλά πίσω από τις ράβδους

Να μην προηγείται συσσωμάτωμα με το σίδερο

- Μικρότερη Απόσταση
- Ελαφρά γωνία από πάνω (για οριζόντιες ράβδους)
- Λίγο πιο υγρό μίγμα
- Δύο στρώσεις οπλισμοί
 - 12 Φ αποστάσεις εξωτερικής στρώσης
 - 6 Φ αποστάσεις εσωτερικής στρώσης

36



Εκτόξευση παρουσία σπλισμού

37

ΕΛΕΓΧΟΙ

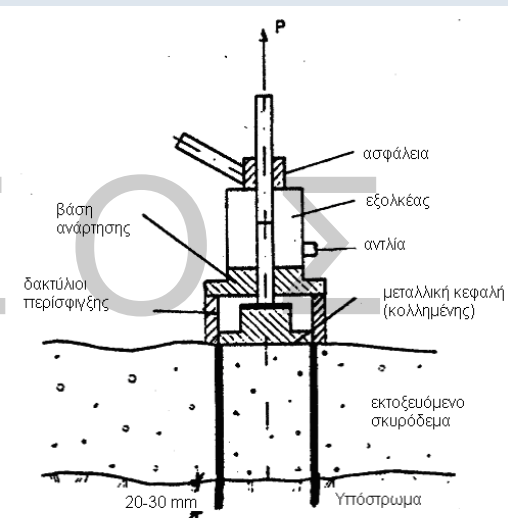
- (α) ΟΠΤΙΚΟΣ
- (β) ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ
- (γ) ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ (ΚΡΟΥΣΤΙΚΟΣ)
- (δ) ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ
 - (i) Έλεγχος Θλιπτικής Αντοχής
 - (ii) Έλεγχος Συνάφειας
- (ε) ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ

38



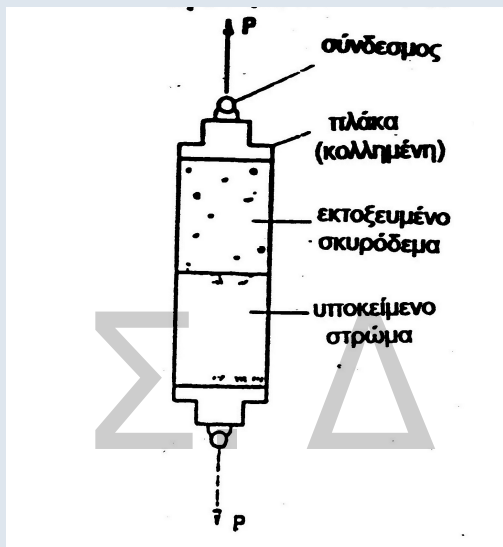
Κατηγοριοποίηση ποιότητας Ε.Σ. με βάση τον οπτικό έλεγχο
Πιθανές εικόνες των πέντε κατηγοριών

39



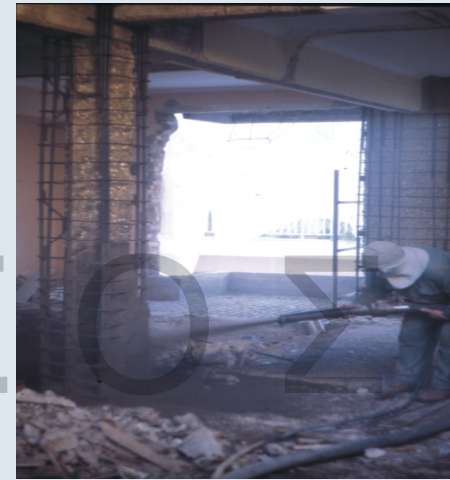
Εργαστηριακός Έλεγχος Συνάφειας επί τόπου του έργου με διαχωρισμό δείγματος

40



Εργαστηριακός Έλεγχος Συνάφειας με αποκοπή δείγματος στις περιπτώσεις υποστρώματος με μικρό πάχος

41



Εκτόξευση Μανδύα Υποστρώματος

42



43



44



45



46



47



48



49



50



51



52



53



54



55



56



57



58



59



60



61



62



63



64

ΜΗ ΣΥΡΙΚΝΟΥΜΕΝΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

➤ Στέφανος Δρίτσος

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών

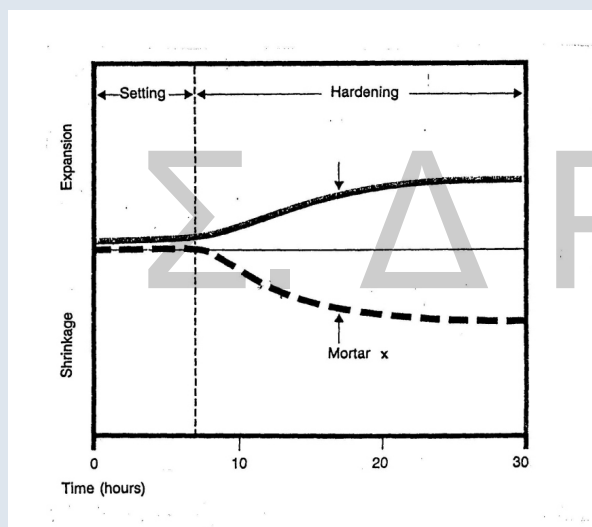
Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2010

1

ΜΗ ΣΥΡΙΚΝΟΥΜΕΝΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

- Τι είναι;
- Πότε χρησιμοποιούνται;
- Πλεονεκτήματα
 - Υψηλές αντοχές
 - Χαρακτηριστικά παραπλήσια με αυτά του σκυροδέματος
 - Μικρός χρόνος απόκτησης αντοχών
 - Ρευστότητα
 - Όχι συρρίκνωση
- Επιτυγχάνεται
 - Πολύ καλή πρόσφυση
 - όχι ρηγματώσεις
 - όχι κενά
- Μειονέκτημα
 - το κόστος
 - όμως...

2



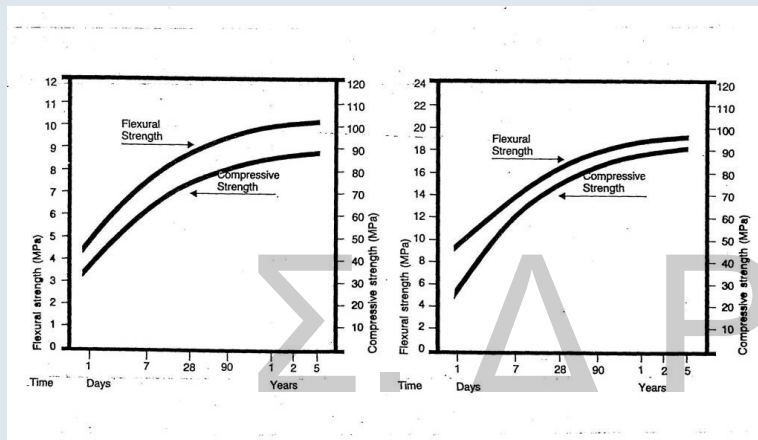
3

Ιδιότητες-Χαρακτηριστικά	Συμβατική Ονομασία Υλικού						Κατηγορία Σκυροδέματος	
	MA	MB	MC	MD	ME	MF	C16/20	C25/30
Θλιπτική Αντοχή (MPa)	74	70	75	63	68	42	24	33
Μέτρο Ελαστικ. σε Θλίψη (MPa)	25000	25000	30000	*	*	27500	30500	*
Παραμόρφωση Αστοχίας (% _∞)	6	6	6	*	*	*	3,7	3,5
Εφελκ. Αντοχή σε Κάμψη (MPa)	8,8	8	8,5	8	11,3	6,3	2,1	2,8
Συνάφεια με παλαιό Σκυρ. (MPa)	6	6	6,5	*	*	*	1,5	1,5
Συνάφεια με Χάλυβα (MPa)								
Για Λείους Ράβδους	3	3	4	*	*	*	*	*
Για ράβδους με ραβδώσεις	20	20	30					

* δεν διατίθενται στοιχεία

Ιδιότητες και χαρακτηριστικά επισκευαστικών κονιαμάτων με βάση το τσιμέντο

4



5

Θλιπτική Αντοχή (MPa)	Συμβατική Ονομασία Υλικού				
	MA	MB	MC	MD	ME
1 ημ.	33	26	30	3	16
4 ημ.	*	40	45	33	38
8 ημ.	*	50	60	48	48
28 ημ.	74	70	75	63	68

* δεν διατίθενται στοιχεία

Εξέλιξη της ανάπτυξης της αντοχής επισκευαστικών κονιαμάτων με βάση το τσιμέντο

6

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ

- Αποθήκευση - Συσκευασία
- Ανάμιξη (2 στάδια)
- Συνθήκες Περιβάλλοντος και Αναλογίες:
- Θερμοκρασία και Χρόνος Απόκτησης Αντοχής

7

ΠΟΡΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

1. Τραχεία επιφάνεια πρόσφυσης
2. Περιμετρική απότμηση 10 mm
3. Καθαρισμός σπλισμού και σκυροδέματος βάσης
4. Ελαφρύς σπλισμός όταν...
5. Διαβροχή σκυροδέματος βάσης
6. Διαβροχή καλουπιών

8

ΠΟΡΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

7. Τοποθέτηση κονιάματος

- Από τη μία πλευρά σε ρευστά κονιάματα
- Πιέζοντας σε πλαστικά κονιάματα
- Καλύπτοντας κατά 10 mm τους οπλισμούς

8. Συντήρηση

- ρευστών κονιαμάτων
- πλαστικών κονιαμάτων

Σ. Δ Ρ Ι Τ Σ Ο Σ

ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΕΣ ΚΟΛΛΕΣ

➤ Στέφανος Δρίτσος

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών

Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2010

1

ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΙΣ

- Ρηγμάτωση → Επισκευή
- Αιτία ρηγματώσεων
 - συστολή ξήρανσης
 - διάβρωση οπλισμού
 - αυξημένα φορτία
- Στατική επάρκεια φορέα
παράδειγμα: ρηγμάτωση εφελκόμενου πέλματος
- Ρωγμές από φορτία → υπέρβαση αντοχής
- Μέγιστο επιτρεπόμενο εύρος ρωγμής

2

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
Θαλάσιες κατασκευές	0,15 mm
Δεξαμενές κ.λ.π.	0,10 mm

3

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΡΩΓΜΩΝ

- Ρητινενέσεις
- Σφραγίσματα με ρητινοειδή κονιάματα
 - Υγρή μεμβράνη
 - Μεμβράνη fiber - glass
 - Σιλικόνη
 - Εποξειδική πάστα ή μαστίχα
- Προβλήματα γήρανσης

4

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

- Η καλύτερη διαδικασία επισκευής ρωγμών (όρια:)
- Ορισμοί
 - Ρητινένωση
 - Ρητίνη + Σκληρυντής = "Ρητίνη"
- Είδη ρητινών
 - Εποξειδικές
 - Πολυεστερικές
- Χρειάζεται επέμβαση;
- Ποιές οι εναλλακτικές τεχνικές
- Εφαρμογή τεχνικής ρητινένωσης

5

ΤΕΧΝΙΚΗ ΡΗΤΙΝΕΝΕΣΕΩΝ

- Πλεονεκτήματα
 - Γεμίζει όλο το κενό της ρωγμής (δεν γεφυρώνει μόνο)
 - Υψηλές αντοχές εφελκυσμού και πρόσφυσης
 - Δεν είναι υλικά ευάλωτα σε περιβαλλοντικές προσβολές
 - Πολύ μικρότερα προβλήματα γήρανσης
 - Αισθητικά αποτελέσματα

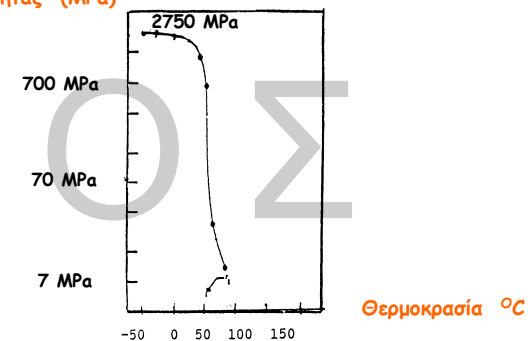
6

▪ Μειονεκτήματα

- Συνηθισμένα σφάλματα → καταστροφικά αποτελέσματα
- Διαφορετικά χαρακτηριστικά (π.χ. Ε)
- Μικρή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες

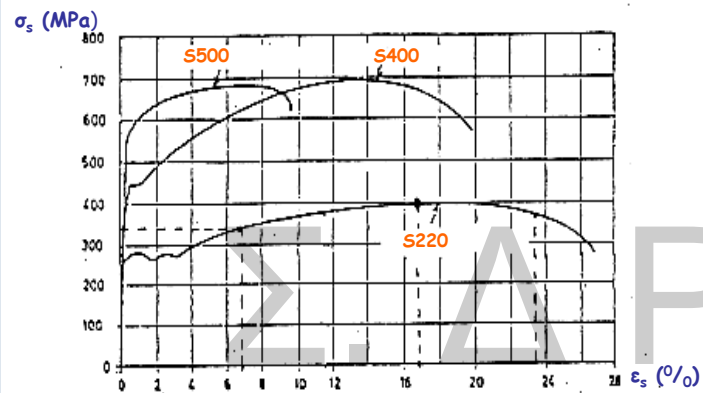
7

Μέτρο Ελαστικότητας (MPa)



Επίδραση θερμοκρασίας στο μέτρο ελαστικότητας

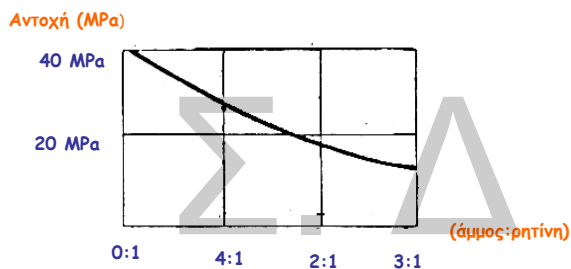
8



Διαγράμματα σ_s - ε_s χαλύβων S220, S400, S500

Συνθήκες Περιβάλλοντος	Μέγιστο επιτρεπόμενο εύρος ρωγμής
Ξηρό περιβάλλον	0,41 mm
Υγρό περιβάλλον ή έδαφος	0,30 mm
Χημικές προσβολές	0,15 mm
Θαλάσσιες κατασκευές Δεξαμενές	0,10 mm

Μέγιστο επιτρεπόμενο εύρος ρωγμών



Επίδραση προσθήκης αδρανών στην αντοχή ρητινοκονιαμάτων

ΣΤΑΔΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ

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

ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΟΥ

- Κατάλληλο:
 - Πληροφορίες = σύγκριση τεχνικών χαρακτηριστικών
 - Θλιπτική αντοχή
 - Πρόσφυση
 - Μέτρο Ελαστικότητας: Όσο γίνεται μεγάλο (όχι $E < 20.000 \text{ kgf/cm}^2$)
- "Ενεργές" και "Μη Ενεργές" ρωγμές
- Επιτυχία εκτέλεσης:
 - τέλεια πλήρωση ρωγμής ή τουλάχιστον κατά 90%

13

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗ ΡΩΗ

- Γεωμετρία ρωγμής
- Θέσεις επιστομιών
- Πίεση ενέματος
- Ιξώδες } Χρόνος
- Pot-Life = Χρόνος Εργασιμότητας
- Θερμοκρασία

14

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

15

Ιδιότητες Χαρακτηριστικά	Μέθοδος Δοκιμής	Συμβατική Ονομασία Υλικού					
		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Θλιπτική Αντοχή (MPa)	ASTM D695	68,9	62,1	110	117	85,8	103,4
Χρόνος ** Εργασιμότητας (min)	*	60 για 1065 gr	300 για 1065 gr	19 για 60 gr	170 για 100 gr	*	28 για 60 gr
Ιξώδες ** (PS)	ASTM D1824-mod	6,0	5,0	3,5	χαμηλό	4,0	1,4
Αντοχή Λοξής Διάτμησης (MPa)	AASHTO T-237	48,2	*	34,5	*	*	34,5
Μέτρο Ελαστικ. σε Θλίψη (MPa)	ASTM D695	965	827	1585	1379	1372	2785
Αντοχή σε Εφελκυσμό (MPa)	AST D638	41,4	34,5	62	27,5-41,4	57,2	55,2
Παραμόρφωση Θραύσης (%)	ASTM D638	2,0	2,5	2,5	0,5-1,2	1,5	2
Εφελκυστική Αντοχή σε Κάμψη (MPa)	AST D790	68,9	55,1	82,7	*	107,3	89,6
Μέτρο Ελαστικότητας σε Κάμψη (MPa)	ASTM D790	2413	2068	4137	*	2842	3447,5
Θερμοκρασία Παραμόρφωσης	ASTM D648	49° C	45° C	57° C	43°-115° C ***	46° C	60° C
Χρόνος Απόκτησης Αντοχής (ημέρες)	*	7	20	3	7	*	2

* δεν διατίθενται στοιχεία, ** στους 25° C, *** ανάλογα με τις συνθήκες συντήρησης

Τυπικά χαρακτηριστικά ενέσιμων ρητινών

16

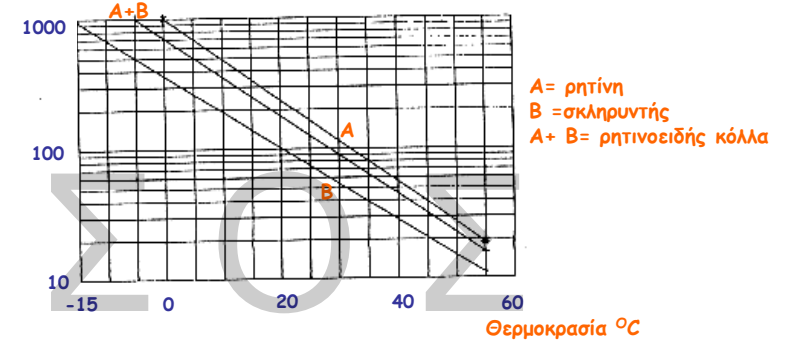
Ιδιότητες Χαρακτηριστικά	Μέθοδος Δοκιμής	Συμβατική Ονομασία Υλικού				
		B1	B2	B3	B4	B5
Θλιπτική Αντοχή (MPa)	ASTM D695	92,2	105	129	112	101
Χρόνος Εργασιμότητας ** (min)	Ποσότητα υλικού 200 gr	25	80	45	30	81
Ιξώδες **** (PS)	ASTM D1824-mod	4,5	2,0	2,8	*	44,0
Αντοχή Πρόσφυσης στο Σκυροδέμα (MPa)	AASHTO T-237	4,3	4,3	5,8	6,2	4,0
Αντοχή Λοξής Διάτμησης (MPa)	AASHTO T-237	55,1	49,5	44	44	55
Αντοχή Συγκόλλησης Σκληρωμένου Σκυροδέματος (MPa)	AASHTO T-237	3,0	3,9	5,5	2,5	3,4
Αντοχή Συγκόλλησης Νωπού και Σκληρωμένου Σκυροδέματος (MPa)	AASHTO T-237	3,0	2,9	2,8	4,1	4,0

* δεν διατίθενται στοιχεία, ** στους 25° C, **** στους 20° C

Τυπικά χαρακτηριστικά ενέσιμων ρητίνων

17

Ιξώδες (PS)



Επίδραση θερμοκρασίας στο ιξώδες

18

Συμβατική ονομασία ρητινοειδούς κόλλας	T = 4° C	T = 25° C	T = 37° C
A3	44	3,5	1,5
A5	24	4	*
A6	6	1,4	0,55
A7	7,5	1,6	*

	T = 5° C	T = 20° C	T = 35° C
B1	19	4,5	*
B2	*	2	0,8
B3	*	2,8	1,1
B6	45	8,5	*
B7	*	8	4,5

* δεν διατίθενται στοιχεία

Ιξώδες ενέσιμων ρητίνων (σε PS) για διαφορετικές θερμοκρασίες

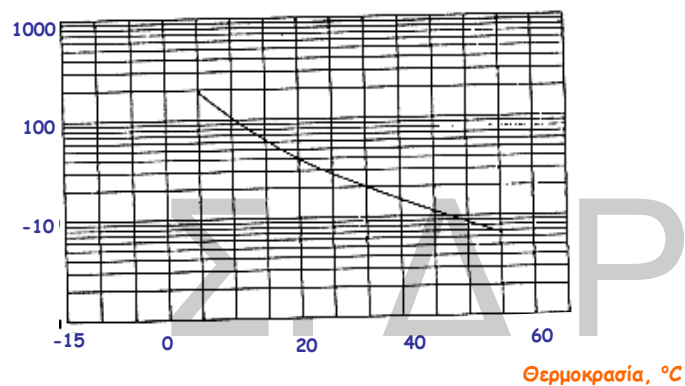
19

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

Εργάσιμος χρόνος για διαφορετικές ποσότητες μίγματος

20

Χρόνος εργασιμότητας
(min)



Ενδεικτικό διάγραμμα για την επίδραση της θερμοκρασίας στο χρόνο εργασιμότητας

21

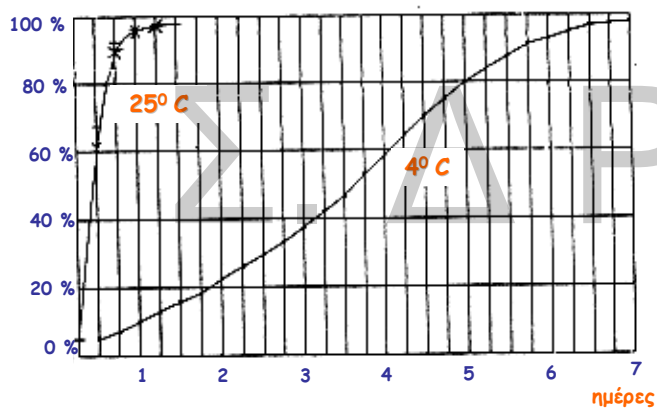
Συμβατική ονομασία ρητινοειδούς κόλλας	Εργάσιμος Χρόνος σε Διαφορετικές Θερμοκρασίες				Ποσότητα μίγματος
	T=4° C	T=15° C	T=25° C	T=37° C	
A3	*	*	19 min	8.5 min	60 gr
A6	210 min	62 min	28 min	12 min	60 gr
B1	380 min	72 min	25 min	*	200 gr
B2	*	300 min	80 min	*	200 gr
B3	*	61 min	35 min	*	200 gr

* δεν υπάρχουν στοιχεία

Χρόνος εργασιμότητας σε διαφορετικές θερμοκρασίες

22

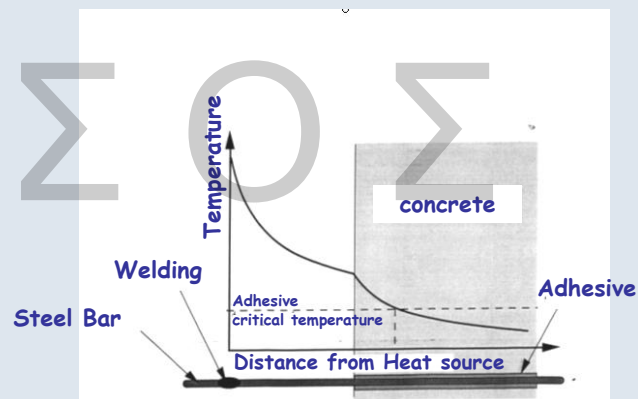
ποσοστό αντοχής



Ενδεικτικό διάγραμμα για την επίδραση της θερμοκρασίας στο χρόνο απόκτησης αντοχής

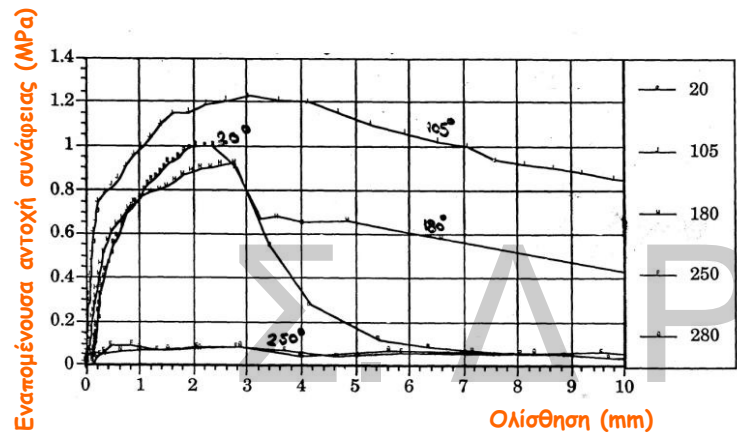
23

TEMPERATURE DISTRIBUTION DUE TO WELDING PROCESS



24

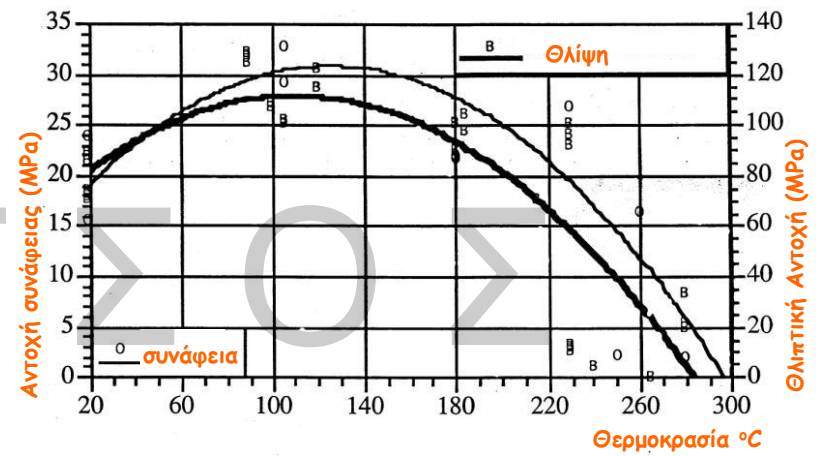
ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΕΣ ΡΗΤΙΝΕΣ



Εναπομένουσα αντοχή συνάφειας σε συνάρτηση με την ολίσθηση για διάφορες θερμοκρασίες

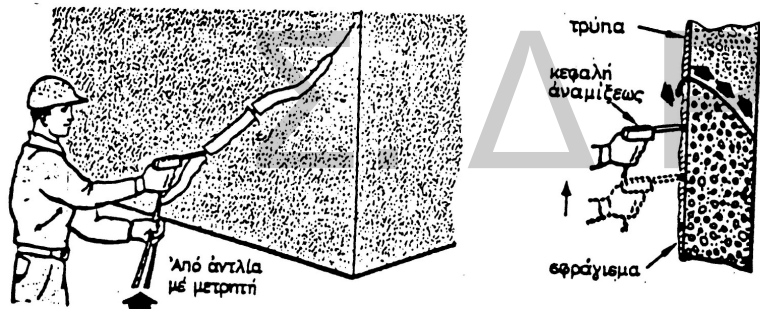
25

ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΕΣ ΡΗΤΙΝΕΣ

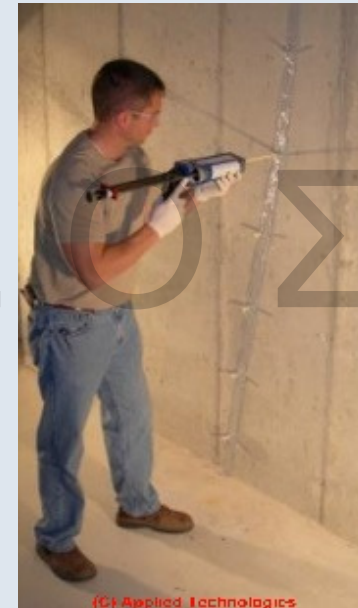


Εναπομένουσα συνάφεια και θλιπτική αντοχή σε συνάρτηση με την θερμοκρασία

26



27



28



29

Σ. Δ Ρ Ι Τ Σ Ο Σ

Σ. Δ Ρ Ι Τ Σ Ο Σ

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΧΑΛΥΒΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

➤ Στέφανος Δρίτσος

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών

Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2010

1

Σε ποιες περιπτώσεις χρειάζεται;

Κυρίως σε επεμβάσεις σε υφιστάμενες κατασκευές

- Για αποκαταστάσεις μετά από βλάβες
- Για ενισχύσεις
- Για αλλαγή χρήσης

Όμως και σε νέες κατασκευές

- Νέα μορφοποιημένα υλικά
- Συστήματα αγκυρώσεων
- Συγκράτηση Ράβδων

2



3

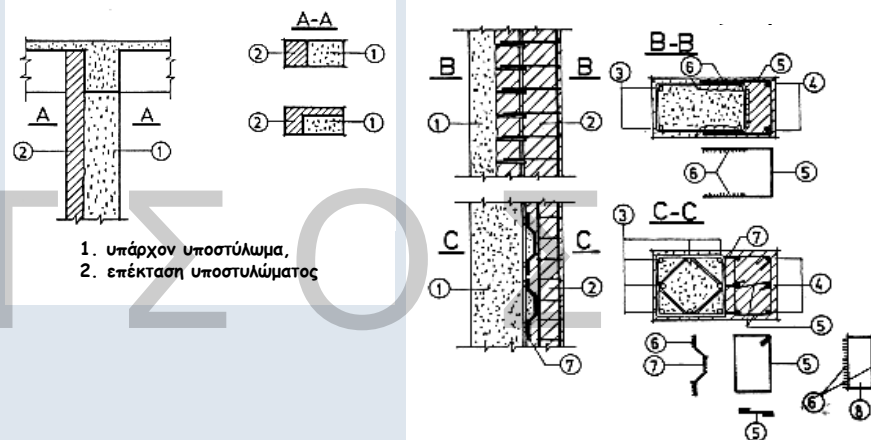


4



5

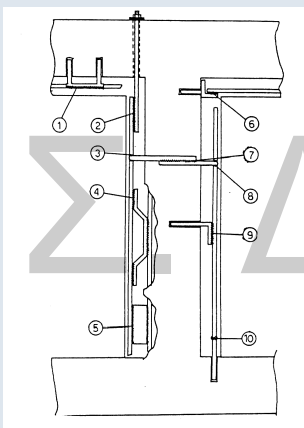
- Προσθήκη νέων στρώσεων σκυροδέματος
(ιδιαίτερα απαραίτητη σε μονόπλευρη επέκταση ή "ανοιχτό" μανδύα υποστυλωμάτων)



1. υπάρχον υποστύλιωμα,
2. επέκταση υποστυλώματος

1. παλιό υποστύλιωμα, 2. ενίσχυση. 3. παλιοί οπλισμοί, 4. πρόσθετοι οπλισμοί, 5. πρόσθετοι συνδετήρες, 6. συγκολλήσεις, 7. αναρτήρες "πάπιες".

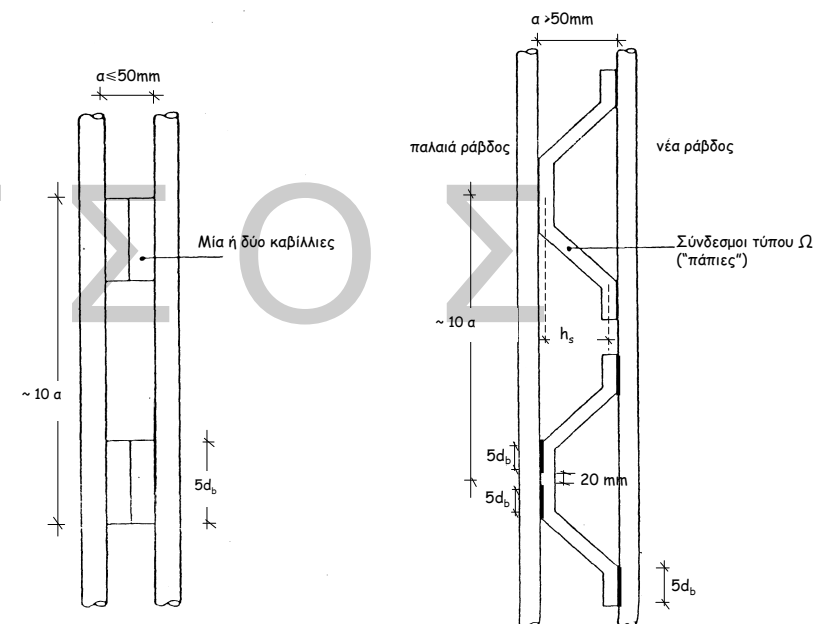
ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΡΑΒΔΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ



Είδη συγκολλήσεων:

(1,8) "Ουρανός", (2,4,5,9) "Ανεβατό" (ή "Κατεβατό"), (3) "Πλάκα",
(6,7) "Οριζόντιο", (10) "Μετωπική"

7



ΔΥΣΚΑΜΠΤΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ

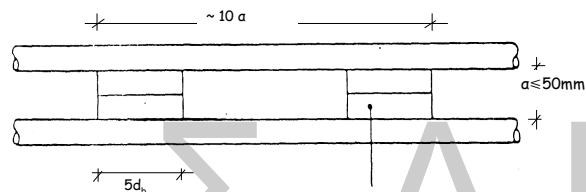
ΕΥΚΑΜΠΤΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ



Χρήση Ηλεκτροσυγκολλημένων Συνδέσμων

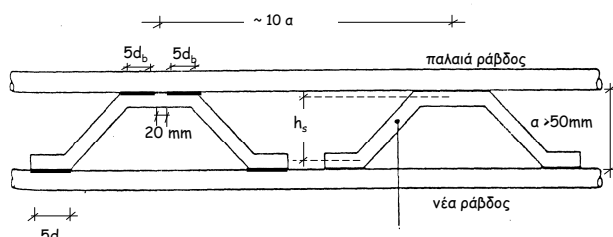


Σύνδεσμοι Παλαιών-Νέων Ράβδων Οπλισμού



ΔΥΣΚΑΜΠΤΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ

Μία ή δύο καβίλλιες



Σύνδεσμοι τύπου Ω ("πάπιες")

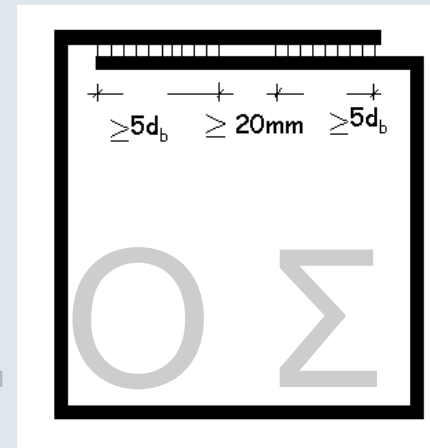
ΕΥΚΑΜΠΤΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ





Άνοιγμα Συνδετήρων

13



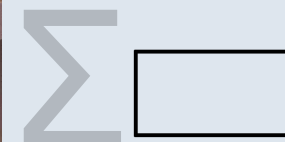
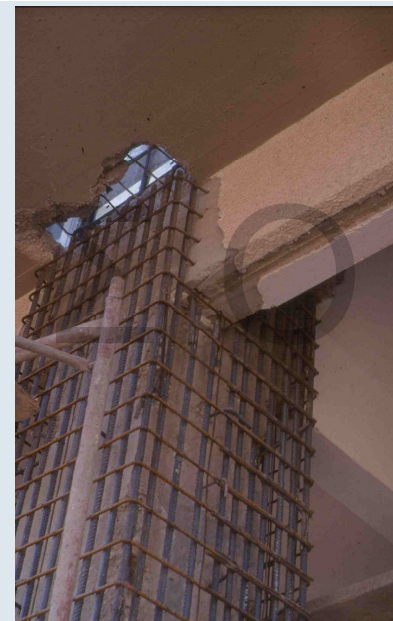
Μορφή συνδετήρα με ηλεκτροσυγκολλημένα άκρα

14



Ηλεκτροσυγκόλληση Άκρων Συνδετήρων Μανδύα

15

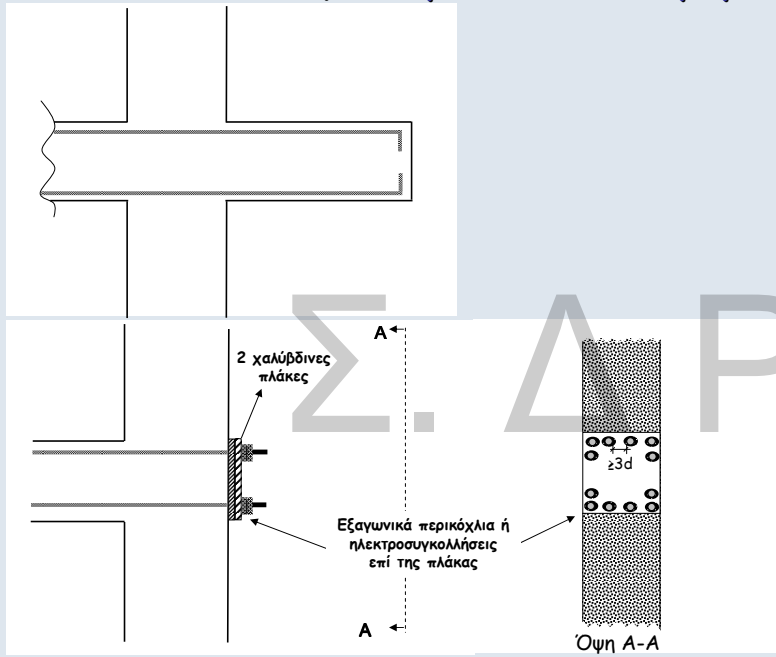


Ορθογωνικοί συνδετήρες με συγκόλληση 2 τμημάτων Π

Συνδετήρες εκτός του κόμβου

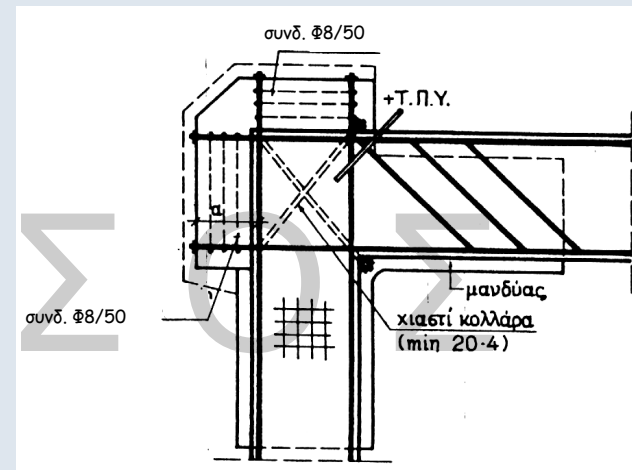
16

Αποκοπή Οπλισμού και Πλάκα Αγκύρωσης



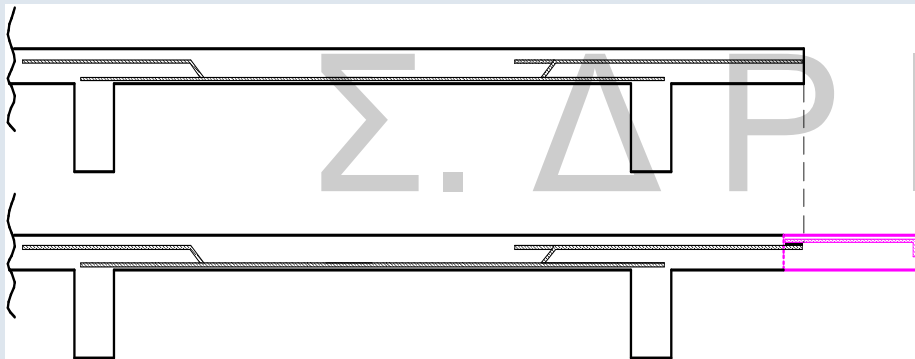
17

Προσθήκη μήκους αγκύρωσης - τεχνική "καμπούρας"



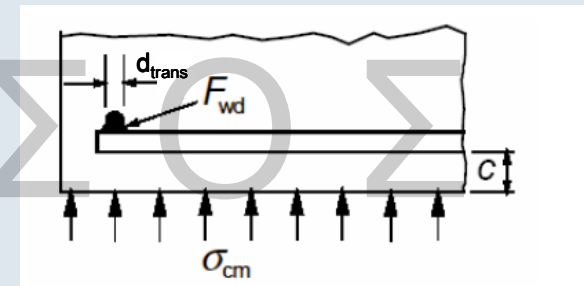
18

Επέκταση Οπλισμού Προβόλων



19

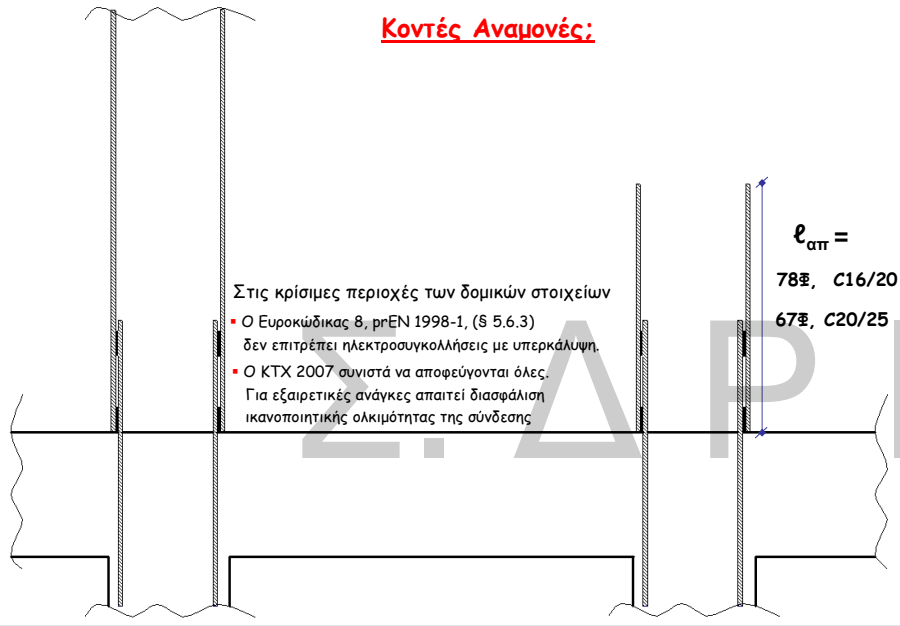
Συγκολλημένη Εγκάρσια Ράβδος Εκτός της Μάζας του Σκυροδέματος ως Σύστημα Αγκύρωσης



Μείωση απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης κατά 30% (ΕΚΩΣ § 17.6.1)

20

Κοντές Αναμονές:



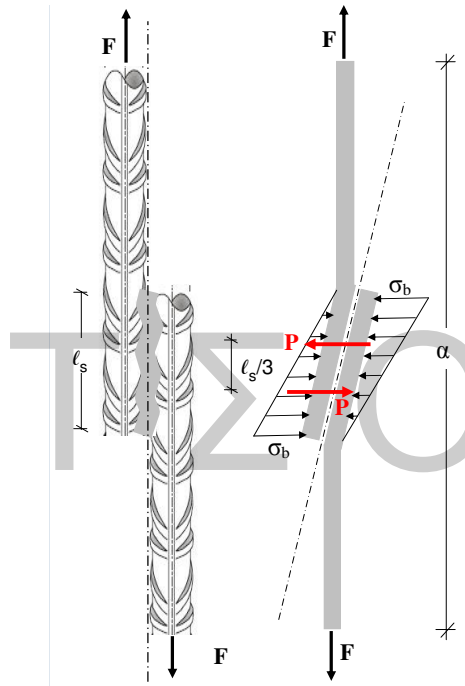
Στις κρίσιμες περιοχές των δομικών στοιχείων

- Ο Ευροκώδικας 8, prEN 1998-1, (§ 5.6.3) δεν επιτρέπει ηλεκτροσυγκολλήσεις με υπερκάλυψη.
- Ο ΚΤΧ 2007 συνιστά να αποφεύγονται όλες, Για εξαιρετικές ανάγκες απαιτεί διασφάλιση ικανοποιητικής ολκιμότητας της σύνδεσης

$l_{\alpha\pi} =$
78Φ, C16/20
67Φ, C20/25

Συγκόλληση ράβδων ορόφου

Συγκόλληση αναμονών

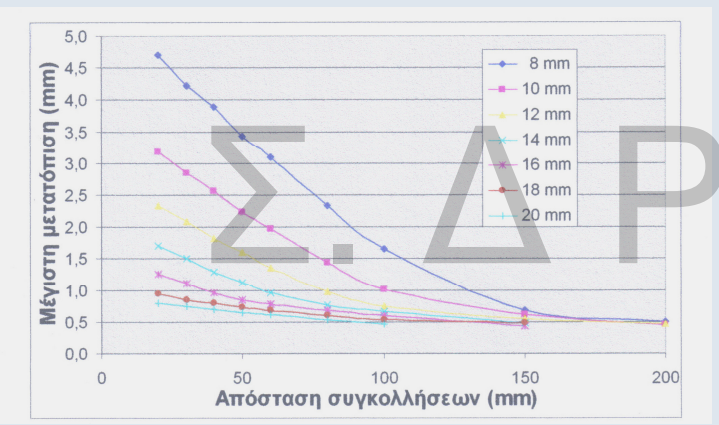


$$P \frac{l_s}{3} = F_s \alpha \rightarrow P = \frac{3F_s \alpha}{l_s}$$

$$\frac{1}{2} \sigma_b l_s \Phi = P \rightarrow$$

$$\sigma_{b,max} = \frac{2P}{l_s} = \frac{6F_s}{l_s} = \frac{6F_s \alpha}{\Phi l_s^2} = \frac{6F_s}{l_s^2}$$

Έστω Φ20
 $F_s = f_y A_s \rightarrow F_s = 500 \times 3,14 \times 10^{-3} = 157 \text{ kN}$
 Έστω $l_s = 12\Phi$
 $\sigma_{b,max} \rightarrow \frac{6 \times 157 \times 10^{-3}}{12^2 \times 20^2} = 16,3 \text{ MPa}$
 $\bar{\sigma}_b = \frac{16,3}{2} = 8,15 \text{ MPa}$



Η μέγιστη εγκάρσια μετατόπιση των συγκολλημένων ράβδων σαν συνάρτηση της απόστασης συγκόλλησης για τις διάφορες τιμές της διαμέτρου d για μήκος σύγκλησης 4d (Αποστολόπουλος, 2007)

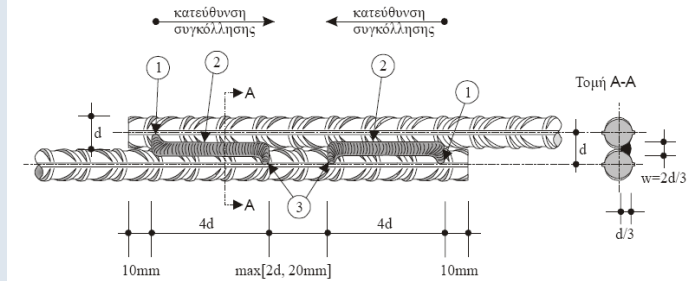
Πεδίο Εφαρμογής Μεθόδων Συγκόλλησης για Συγκολλησίμους Χάλυβες

Μέθοδος συγκόλλησης	Τύπος σύνδεσης	Περιοχή ονομαστικών διαμέτρων σε mm	
		Κ.Τ.Χ.2007	Άλλού
Συγκολλήσεις τόξου	Μετωπική χωρίς υποστήριξη της ρίζας	≥16	≥Φ20 EC2
	Μετωπική με μόνιμη υποστήριξη της ρίζας	≥12	
	Κατά παράθεση	6-32	
	Με λωρίδες	6-40	
	Σταυροτή	6-40	≤Φ16 EC2
Συγκόλληση με ηλεκτρική αντίσταση	Κατά παράθεση	-	
	Σταυροτή	5-20	≤Φ16 EC2
Συγκόλληση με προεξοχή (project welding)	Μετωπική	6-25	
	Κατά παράθεση	-	
Αυτογενής συγκόλληση με συμπίεση και θέρμανση με αέριο	Σταυροτή	5-20	
	Μετωπική	6-40	
Αυτογενής συγκόλληση με σπινθηρισμούς	Μετωπική	6-40	
	Μετωπική	6-40	
Συγκόλληση με τριβή	Μετωπική	6-40	
	Με άλλα χαλύβδινα στοιχεία	6-40	

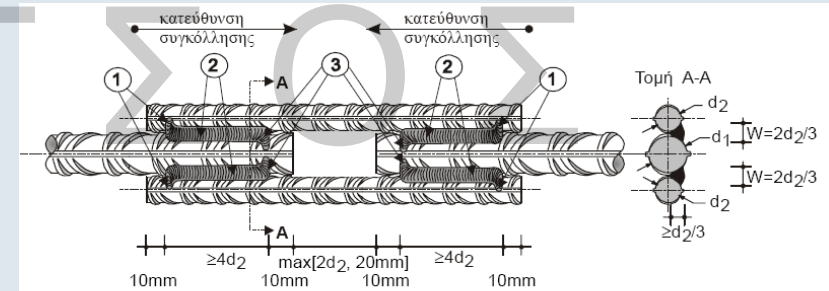
Κανονιστικό Πλαίσιο

1	International standard ISO 17660 (2006)	Welding of reinforcing steel Part 1: Load-bearing welded joints Part 2: Non load-bearing welded joints
2	American National Standard ANSI/AWS D1.4-92	Structural welding code-reinforcing steel
3	BS 7123 (1989)	Metal arc welding of steel for concrete reinforcement
4	DIN 241 (1997)	Welding of reinforcing steel for concrete quality requirements
5	DIN 4099 (1978)	Welding of reinforcing steel Execution of welding work and testing
6	ΠΤΕΤΕΠ 14-01-10 (www.iok.gr)	Προσθήκη οπλισμού με ηλεκτροσυγκόλληση
7	Κ.Τ.Χ. (2007) Σχέδιο	Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων

25



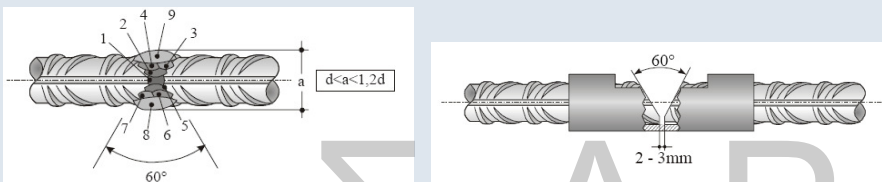
Σύνδεση κατά παράθεση με τεχνικές τόξου (Κ.Τ.Χ. 2007)



Σύνδεση με λωρίδες - strip joint (Κ.Τ.Χ. 2007)

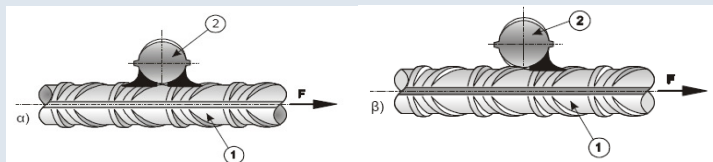
26

Μετωπική Συγκόλληση - butt joint (Κ.Τ.Χ. 2007)



Διαδοχική εκτέλεση κορδονιών και πάσων Μετωπική σύνδεση με υποστήριγμα της ρίζας της συγκόλλησης

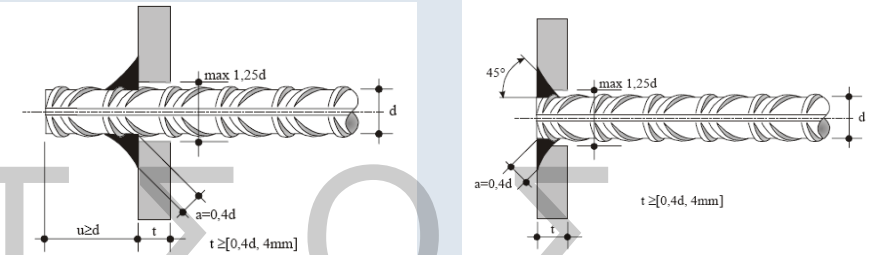
Σταυρωτή Συγκόλληση - cross joint (Κ.Τ.Χ. 2007)



1 : διαμήκης ράβδος
2 : εγκάρσια ράβδος
F : η δύναμη προς αγκύρωση

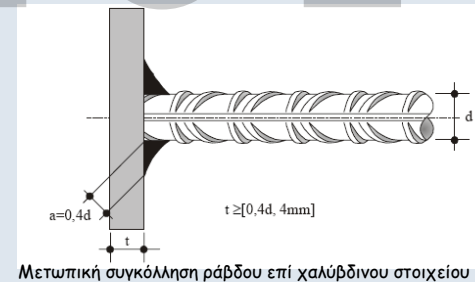
27

Συγκολλήσεις επί Εγκάρσιου Χαλύβδινου Στοιχείου (Σχέδιο Κ.Τ.Χ. 2007)



Ράβδος διερχόμενη από χαλύβδινο στοιχείο

Ράβδος αγκυρούμενη εντός του πάχους του χαλύβδινου στοιχείου



Μετωπική συγκόλληση ράβδου επί χαλύβδινου στοιχείου

- Για περισσότερες από μία ράβδους $s \geq 3d$

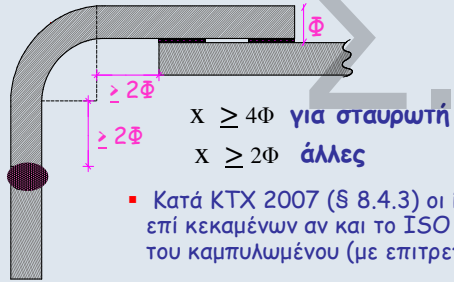
- Στις περιπτώσεις αγκυρώσεων ο ΕΚΩΣ απαιτεί δοκιμές και "εγκριτικές αποφάσεις"

28

ΚΑΜΨΕΙΣ ΣΥΓΚΟΛΗΜΕΝΩΝ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

Συγκολλήσεις εκτός καμπύλου τμήματος	Συγκολλήσεις εντός καμπύλου τμήματος
$l < 4\phi : 20\phi$ $l \geq 4\phi : (EC2 \quad l \geq 3\phi)$	20ϕ

Ελάχιστη διάμετρος D καμπύλωσης για συγκολλημένους σταυρωτούς οπλισμούς
 Κάμψη οπλισμού μακριά από θέσεις ηλεκτροσυγκόλλησης
 ΚΤΧ2007→ΕΚΩΣ (§ 17.2.3.2)



$x \geq 4\phi$ για σταυρωτή
 $x \geq 2\phi$ άλλες

- Κατά ΚΤΧ 2007 (§ 8.4.3) οι ίδιοι περιορισμοί πρέπει να ισχύουν και επί κεκαμμένων αν και το ISO 17660-1 επιτρέπει συγκολλήσεις επί του καμπυλωμένου (με επιτρεπόμενες καμπυλότητες) τμήματος
- Προτιμότερο η κάμψη να προηγείται της συγκόλλησης

29

Αναγνώριση Υλικού

Απαιτείται: Χημική Ανάλυση

- Δοκίμιο μικρών διαστάσεων (2-3εκ.) - Φασματοσκοπική μέθοδος
- Δείγμα σε μορφή ριניσμάτων - Τεχνική ατομικής αναρρόφησης

Συνιστάται (για επιβεβαίωση):

Μέτρηση σκληρότητας και μεταλλογραφικός έλεγχος

Συνιστάται (αν δεν γίνεται ζημιά λόγω του απαιτούμενου μήκους δοκιμίου):

Δοκιμή εφελκυσμού

30

Πότε Επιτρέπεται η Συγκόλληση;

Αν

$C < 0.24\%$ και $C_{eq} < 0.52\%$

→ Συγκολλησιμος (ΕΛΟΤ 10080)

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$$

Όλοι οι νέοι χάλυβες B500A και B500c
 Παλαιοί χάλυβες S500s, S400s
 S220, S+I

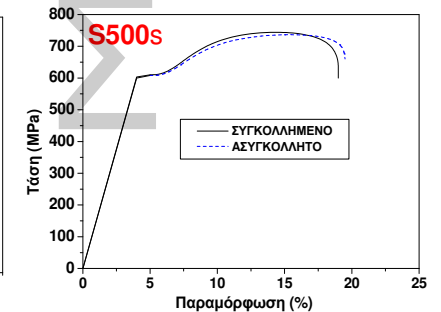
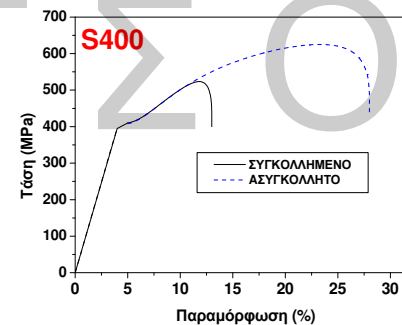
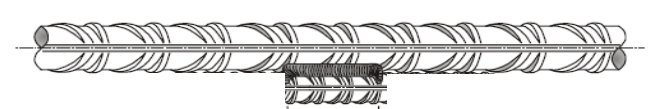
$0.25\% \leq C < 0.45\%$ και $C_{eq} < 0.70\%$ → Συγκολλησιμος υπό προϋποθέσεις (ΣΧΕΔΙΟ Κ.Τ.Χ.2007)

STIII, S400 ;

$C \geq 0.45\%$ ή/και $C_{eq} \geq 0.70\%$ → Μη Συγκολλησιμος (ΣΧΕΔΙΟ Κ.Τ.Χ.2007)

(Για εξαιρετικές ανάγκες - Συγκόλληση μετά από ειδική μελέτη - Σύνταξη ειδικής προδιαγραφής - Επίβλεψη ειδικών)

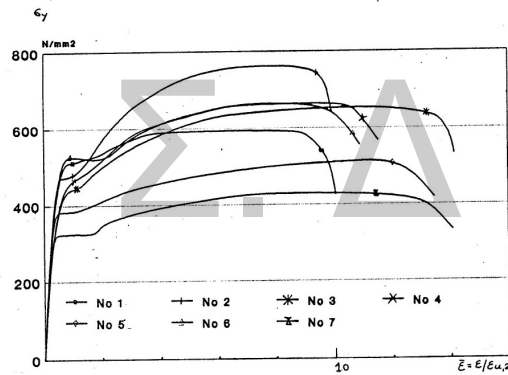
Ενδεικτικές αναλογίες χημικής σύστασης χάλυβα S400 και S500s (%)										
	C	Mn	Si	N	Ni	Cu	Cr	S	P	Ceq
S400	0.37	1.28	0.29	0.007	0.066	0.194	0.09	0.03	0.02	0.62
S500s	0.23	1.06	0.21	0.009	0.114	0.435	0.08	0.07	0.03	0.46



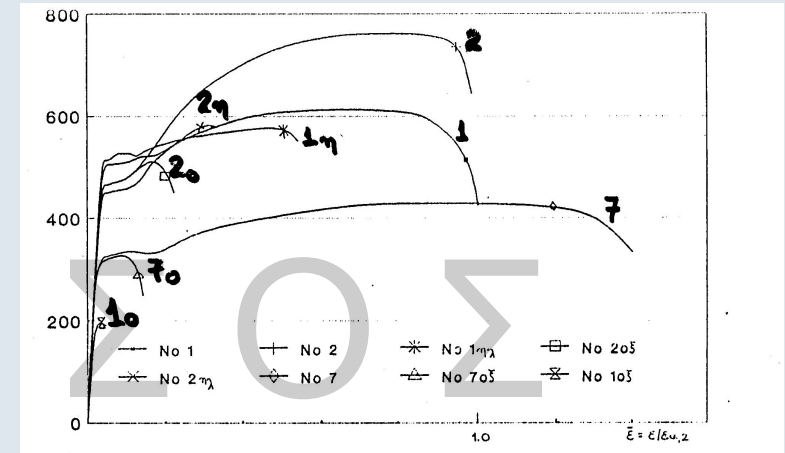
Τυπική εικόνα της επίδρασης της προθέρμανσης στο διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης των χάλυβων

32

- χάλυβας No 1	C : 0.14%, Mn = 0.86%, S = 0.036%, Si = 0.28%
	P : 0.010%, Ni = 0.10%, Cr = 0.12%, Cu = 0.25%
- χάλυβας No 2	C : 0.42%, Mn = 1.02%, S = 0.025%, Si = 0.26%
	P : 0.015%, Ni = 0.06%, Cr = 0.09%, Cu = 0.20%
- χάλυβας No 3	C : 0.30%, Mn = 1.03%, S = 0.045%, Si = 0.36%
	P : 0.020%, Ni = 0.09%, Cr = 0.13%, Cu = 0.18%
- χάλυβας No 4	C : 0.35%, Mn = 0.97%, Cr = 0.15%
- χάλυβας No 5	C : 0.26%, Mn = 0.78%, S = 0.021%, Si = 0.18%
	P : 0.013%, Ni = 0.07%, Cr = 0.14%, Cu = 0.033%

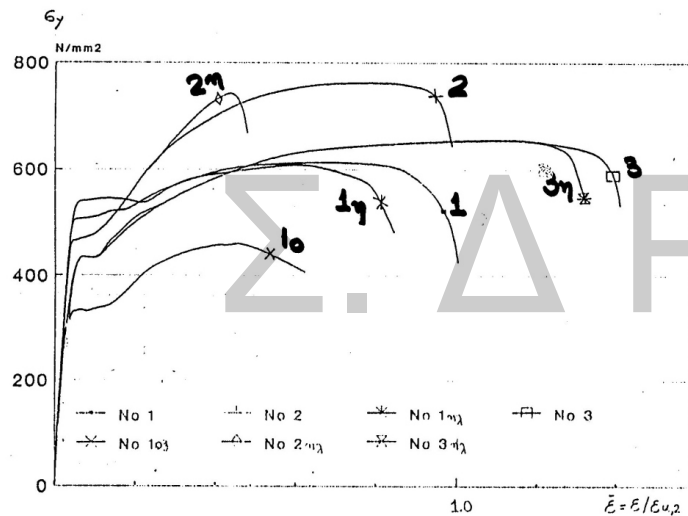


Διαγράμματα τάσεων παραμορφώσεων δοκιμασθέντων χαλύβων” (Τζωρτζάκης κ.α., 1990) 33



Σύγκριση διαγραμμάτων πριν και μετά την συγκόλληση “μετωπική” (Τζωρτζάκης κ.α., 1990)

34



Σύγκριση διαγραμμάτων τάσεων παραμορφώσεων πριν και μετά την συγκόλληση με διπλή παράθεση (Τζωρτζάκης κ.α., 1990)

35

Συγκόλληση Χαλύβων “Συγκολλησιμων υπό προϋποθέσεις”

Τύποι Σύνδεσης

- Κατά παράθεση
- Με λωρίδες
- Μετωπική
- Με άλλα στοιχεία

Βήματα Εργασίας

Βήμα 1^ο: Καθαρισμός παλαιού σπλισμού

- Σκουριά
- Οργανικές και λιπαρές ουσίες

Βήμα 2^ο: Προθέρμανση

- T=200°C -250°C σε όλο το μήκος της σύνδεσης + 50mm εκατέρωθεν

- Μέτρηση T με φορητό θερμοστοιχείο

Εναλλακτικά με θερμοευαίσθητους χρωματοδείκτες (κιμωλίες)

36

Βήμα 3^ο: Εργασία Συγκόλλησης

■ Κατά παράθεση ή με λωρίδες

Μέθοδος: Συγκόλληση τόξου

(α) Χειρονακτική με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια (SMAW)

Συνιστώνται:

- Ηλεκτρόδια ρουτιλίου E6013

($f_y=340-380\text{MPa}$, $f_t=430-460\text{MPa}$, $\epsilon_s=17-22\%$)

- Ηλεκτρόδια χαμηλού υδρογόνου E9018

($f_y=530-620\text{MPa}$, $f_t \sim 620\text{MPa}$, $\epsilon_s=14-24\%$)

(β) Ημιαυτόματη σε ατμόσφαιρα Ar-CO₂ (GMAW ή MAG)

- Να προτιμηθεί εφόσον υπάρχει δυνατότητα
- Δεν απαιτεί ιδιαίτερη επιδεξιότητα συγκολλητή

Συνιστώνται:

- Ηλεκτρόδιο-σύρμα ER-70S6

($f_y=420\text{MPa}$, $f_t=540\text{MPa}$, $\epsilon_s=25\%$)

ή υψηλότερης αντοχής ER-80S-G

($f_y=460\text{MPa}$, $f_t=570\text{MPa}$, $\epsilon_s=22\%$)

37

■ Μετωπική Συγκόλληση

Μέθοδος: Ημιαυτόματη συγκόλληση σε ατμόσφαιρα Ar-CO₂

(GMAW ή MAG)

Δεν επιτρέπεται η χειρονακτική (SMAW)

- κίνδυνος παρουσίας μη μεταλλικών εγκλεισμάτων
- διασπορά στα μηχανικά χαρακτηριστικά

Ηλεκτρόδια όπως και στην κατά παράθεση

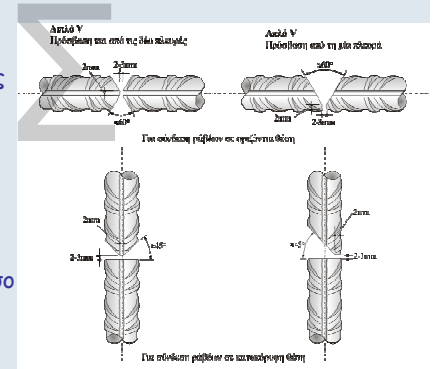
ER-70S6 για S400

ER-80S-G για S500

- Λοξοτομές όπως και για τους νέους σπλισμούς (καλύτερη το κατακόρυφο διπλό V)

- Προσεκτική αφαίρεση σκουριάς μεταξύ διαδοχικών πάσων

- Έλεγχος θερμοκρασίας μετάλλου σε κάθε πάσο στα όρια των (200-250) °C



■ Οδηγίες Τεχνικής Αριότητας

Επιλέγεται:

- Καλός καιρός και ξηρός
- Δεν επιτρέπεται σε περίπτωση βροχής, υγρό περιβάλλον, άνεμο
- Θερμοκρασίες κάτω του μηδενός (Σε περίπτωση ανάγκης: λήψη ειδικών μέτρων)
- Εκτελείται αργά
- Ήρεμη ψύξη στον αέρα (Απαγορεύεται η επιτάχυνση της απόψυξης π.χ. με νερό)

■ Έλεγχος Ποιότητας

- Ίδιες δοκιμές που προβλέπονται για τις νέες ράβδους
- Έλεγχος σκληρότητας στην συγκόλληση + ΘΕΖ (~Φ/2)

< 350 HV (300HV)

39

■ Πιστοποίηση και Έλεγχος

Απαιτούνται:

- Πιστοποιημένες διαδικασίες (μονάδες διαμόρφωσης)
- Πιστοποιημένοι συγκολλητές
- Μη πιστοποιημένος συγκολλητής: Επιτρέπεται για συγκεκριμένη μέθοδο και τύπο συγκόλλησης, από διπλωματούχο συγκολλητή Α' τάξης (Επαγγ. Άδεια από τις Υπηρεσίες Βιομηχανίας του Υπουργείου Εθνικής Οικονομίας), εφόσον προηγουμένως κατασκευάσει δοκίμια και ελεγχθούν επιτυχώς.
- Σε αυτοματοποιημένες διαδικασίες συγκόλλησης στο εργοστάσιο ή μονάδα διαμόρφωσης Ελέγχεται το τελικό προϊόν
- Σε χειρωνακτικές ή ημιαυτόματες διαδικασίες στο εργοτάξιο Ελέγχεται η ικανότητα του ηλεκτροσυγκολλητή

40

Πεδίο Εφαρμογής και Πλήθος Δοκιμών για Έλεγχο Ποιότητας Συγκόλλησης
(ΣΧΕΔΙΟ Κ.Τ.Χ.2007)

Μέθοδος συγκόλλησης	Τύπος σύνδεσης	Πλήθος δοκιμών		
		Δοκιμή εφελκυσμού	Δοκιμή κάμψης	Δοκιμή διάτμησης
Συγκόλληση τόξου	Μετωπική	3	3	-
	Κατά παράθεση/ Με λωρίδες	3	-	-
	Σταυρωτή	3	3*	3*
	Με άλλα μεταλλικά στοιχεία	3	-	-

* Δοκιμή διάτμησης στην ράβδο που ενδιαφέρει

Αν αστοχήσει ένα δοκίμιο κατασκευάζονται 2 πρόσθετα

Αν αστοχήσει ένα από τα πρόσθετα ➡ απόρριψη

41

Έλεγχοι Συγκολλήσεων

- **Οπτικός έλεγχος**
(ρωγμές, ατελής διείσδυση)
- **Μηχανικές Δοκιμές**
 - Εφελκυσμού
 - Κάμψης

Διάμετρος ράβδου (mm)	Διάμετρος στη δοκιμή κάμψης (mm)
$d \leq 8$	5d
$8 < d \leq 12$	6d
$12 < d \leq 20$	8d
$20 < d \leq 32$	10d
$32 < d$	12d

Έλεγχος: όχι ρωγμές στην ράβδο

42

- Διάτμησης

$$F \geq S_F A_b f_{yk}$$

S_F = Συντελεστής Διάτμησης

$\geq 0,3$ για φέρουσες συνδέσεις

Επιπλέον

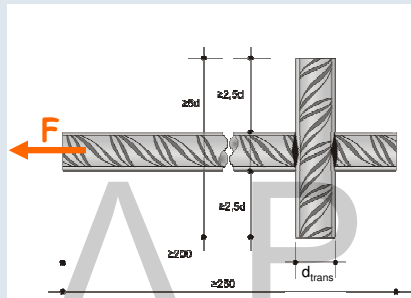
$$d_{min} \geq 0,5d_{max} \text{ εν γένει } (\geq 0,57EC2)$$

$$d_{min} \geq 0,6d_{max} \text{ για δομικά πλέγματα}$$

$$\text{πάχος ραφής} \geq \max(0,3d_{min}, 4\text{mm})$$

$$\text{πάχος ραφής} \geq \max(0,5d_{min}, 6\text{mm})$$

$$\text{Για περισσότερες εγκάρσιες ράβδους } S \geq 3d_{trans}$$



43

Σχέδιο Κανονισμού Τεχνολογίας Χαλύβων
Οπλισμένου Σκυροδέματος (ΚΤΧ 2007)

www.ggde.gr

www.episkeves.civil.upatras.gr

44

ΤΑ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΣΕ ΝΕΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ

➤ Στέφανος Δρίτσος

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών

Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2010

1

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 αραμιδίου ή άνθρακα. Νέοι τύποι ινών είναι υπό διερεύνηση (π.χ. βασάλτης).

2

Υλικά



Ίνες Άνθρακα



Ίνες Γυαλιού



Ίνες Αραμιδίου



Ρητίνες



Φίλερ

3

Εφαρμογές

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

4

Γιατί τα Σύνθετα Υλικά;

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

5

Τυπικές Ιδιότητες Ινών Σύνθετων Υλικών

Ινες	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

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

6

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

7

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 x10 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

8

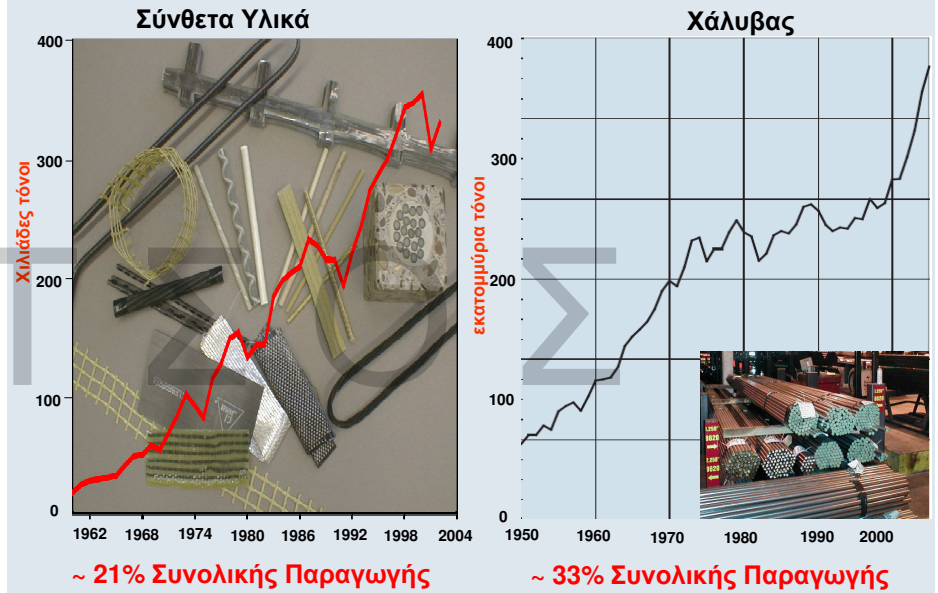
Υλικό	Συντελεστής Θερμικής Διαστολής x 10 ⁻⁶	
	Διαμήκη	Εγκάρσια
Ίνες-Άνθρακα	-0.9 έως +0.7	8 έως 18
Ίνες-Αραμιδίου	-6.0 έως -2.0	55 έως 60
Ίνες-Γυαλιού	5 έως 15	5 έως 15
Ρητίνες	60 έως 140	
ΙΟΠ-Άνθρακας	-0.9 έως 0	74 έως 104
ΙΟΠ-Αραμιδίου	-6.0 έως -2.0	60 έως 80
ΙΟΠ-Γυαλιού	6 έως 10	21 έως 23
Σκυρόδεμα	6 έως 13	
Χάλυβας	12x10 ⁻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)

9

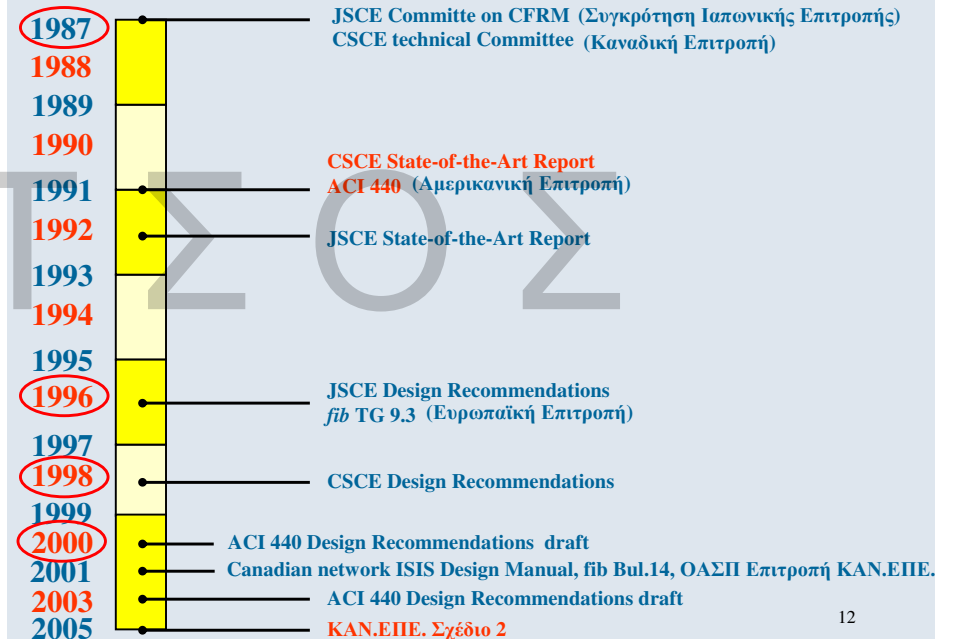
Παραγωγή για Χρήση στις Κατασκευές



Γιατί Τελικά Έχουν Περιορισμένη Εφαρμογή στη Πράξη;

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

11



12

Εφαρμογές

μικρό βάρος

Pedestrian bridge, Kolding (DK) - 1997



13

Εφαρμογές



14

Εφαρμογές

Αντοχή σε διάβρωση



15

Εφαρμογές



Αντοχή σε διάβρωση

16

Εφαρμογές



Αντοχή σε διάβρωση

17

Απαιτήσεις Απουσίας Μαγνητικών Υλικών



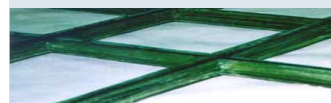
Magnetic Levitation Railways (Japan)

18



19

Οπλισμοί



NEFMAC (FRP Grid) Nefcom CO., Ltd.



C-Bar Reinforcing Rods
Marshall Industries Composites Inc.



CFRP Rod LEADLINE
Mitsubishi Kasei Corporation

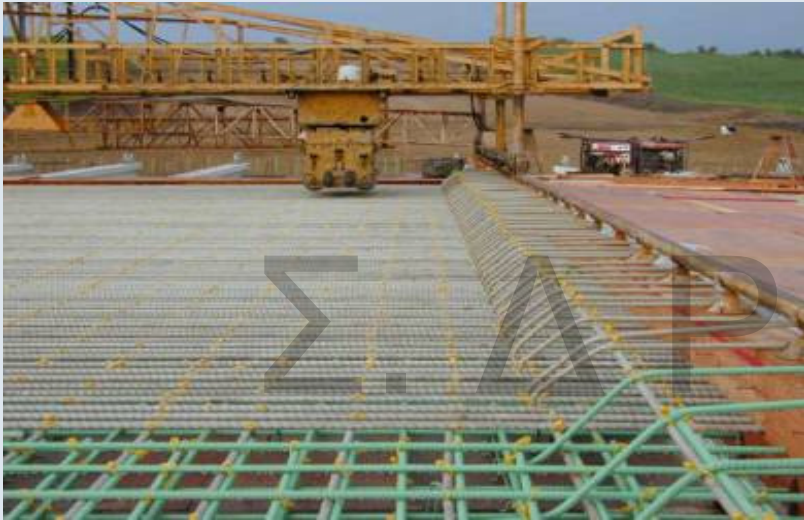
Τένοντες



TECHNORA ROD Teijin Ltd.

20

Τα Σύνθετα ως Οπλισμός σε Νέες Κατασκευές



IOWA USA

21

Τα Σύνθετα ως Οπλισμός σε Νέες Κατασκευές



53 rd AVENUE BRIDGE

22

Τα Σύνθετα ως Οπλισμός σε Νέες Κατασκευές

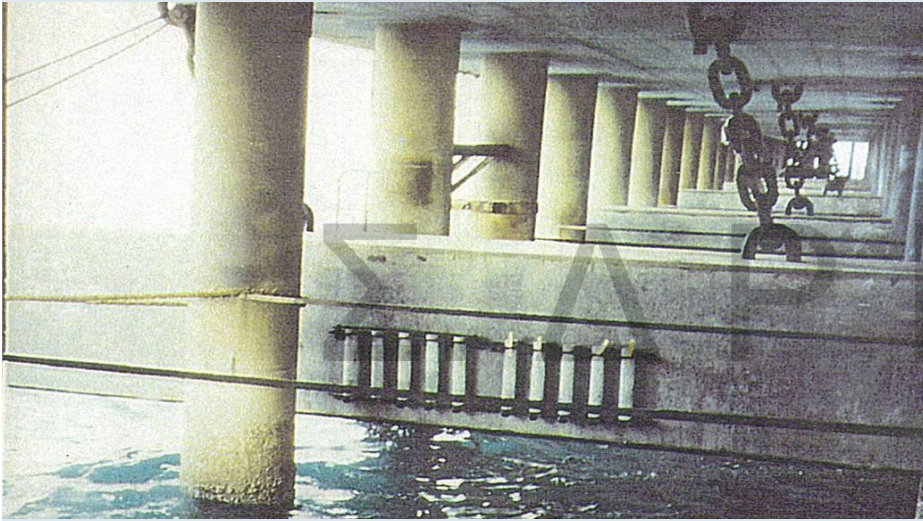


23



24

Τα Σύνθετα ως Οπλισμός σε Νέες Κατασκευές



25

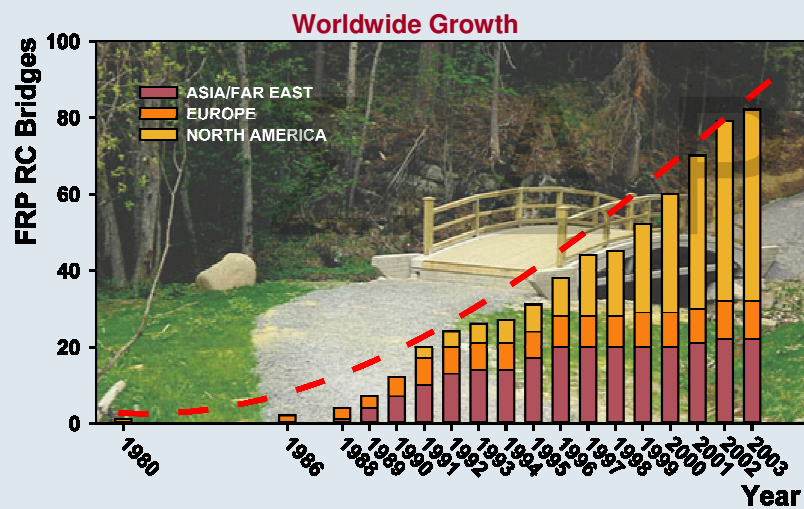
Τα Σύνθετα ως Οπλισμός σε Νέες Κατασκευές



Birdie Bridge - Ibaragi Prefecture, Japan

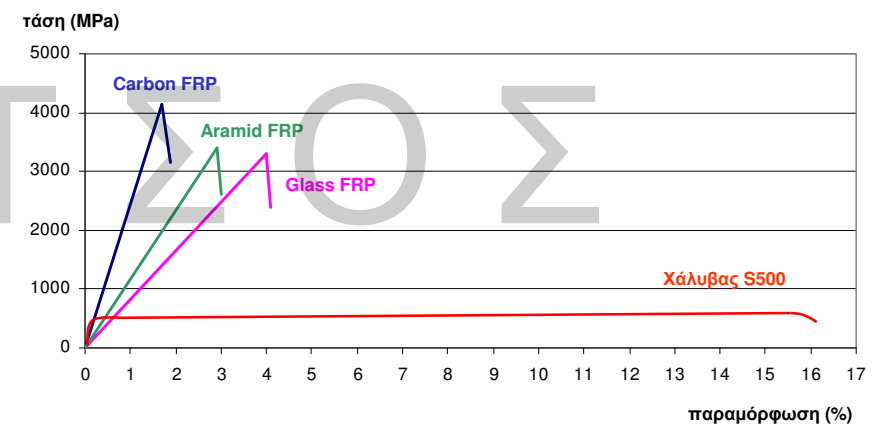
26

Γέφυρες με Οπλισμό από Σύνθετα



27

Σχεδιασμός με Οπλισμό από Σύνθετα Υλικά



*Παρατήρηση: όχι για ανάληψη θλιπτικών δυνάμεων

28

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 μονίμων 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

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

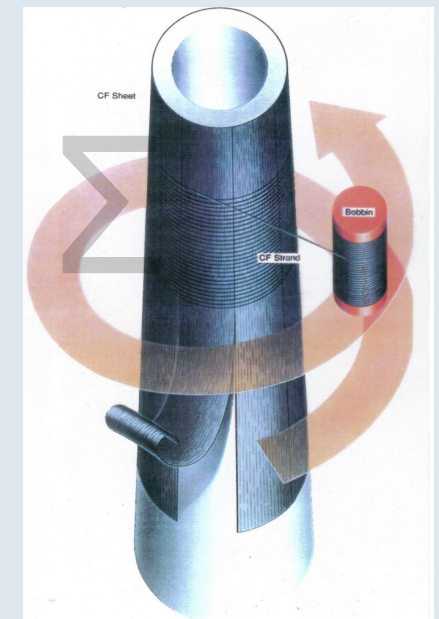
30

Συγκριτικό Κόστος για Ράβδους Οπλισμού

	Συνήθης χάλυβας	Σύνθετα υλικά με ίνες άνθρακα			Ανοξειδωτος χάλυβας	
		Κόστος ανά m	Κόστος ανά m	Σχέση κόστους ανά m	Σχέση κόστους με αναγωγή σε ίση αντοχή	Κόστος ανά m
$\Phi 8$	0.50€/kgr x 0.40=0.20€/m	12.00 €/m	50:1	12.5 :1	6 €/kgr x0.40=2.4€/m	12:1
$\Phi 16$	0.50€/kgr x1.58=0.80€/m	25.00 €/m	30:1	7.5 :1	5 €/kgr x1.58=7.9€/m	10:1

31

ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ



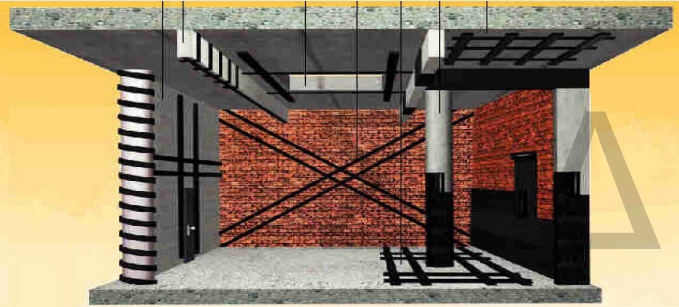
32

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

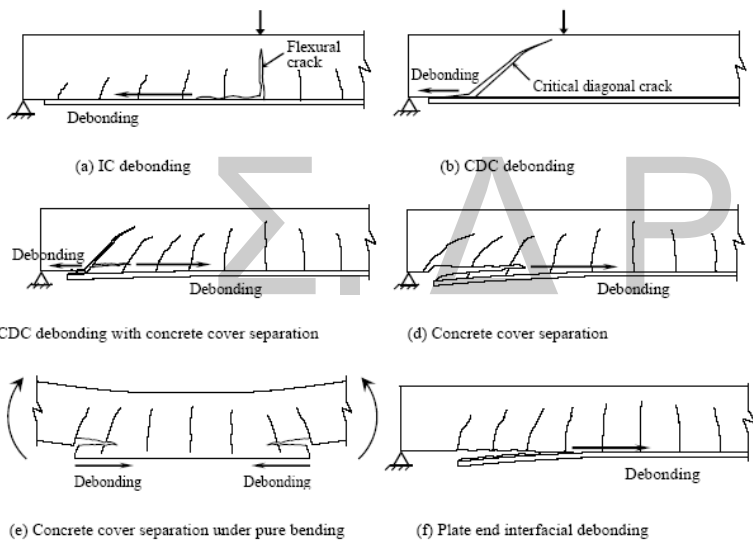
➤ Όχι για καμπτική ενίσχυση υποστυλωμάτων

Καμπτική Ενίσχυση

Μικρό βάρος



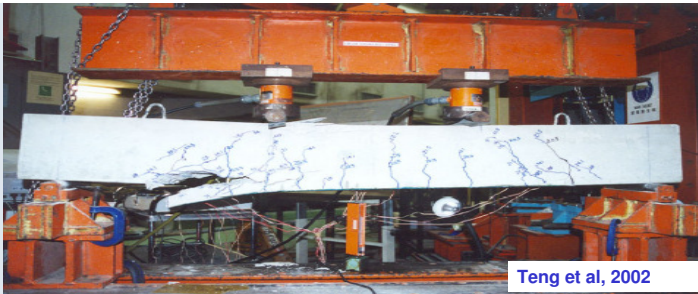
Building Klinkerstr, Amsterdam



Teng et al, 2002



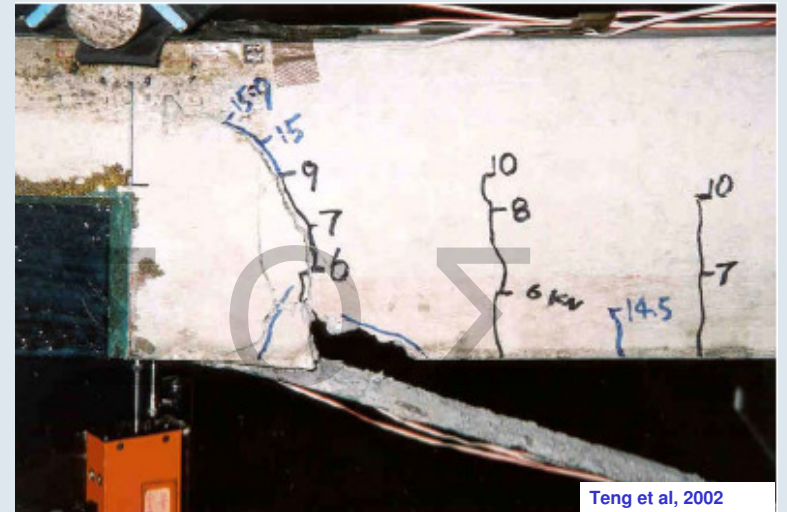
Αναλαμβανόμενη δύναμη επικολητών φύλλων συναρτήσεως του μήκους αγκύρωσης



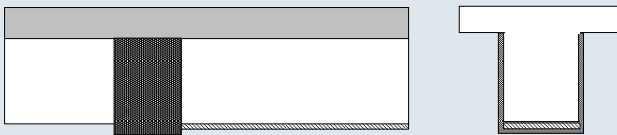
Teng et al, 2002



Απόσχιση επικάλυψης σκυροδέματος στο πέρας του σύνθετου υλικού



Teng et al, 2002

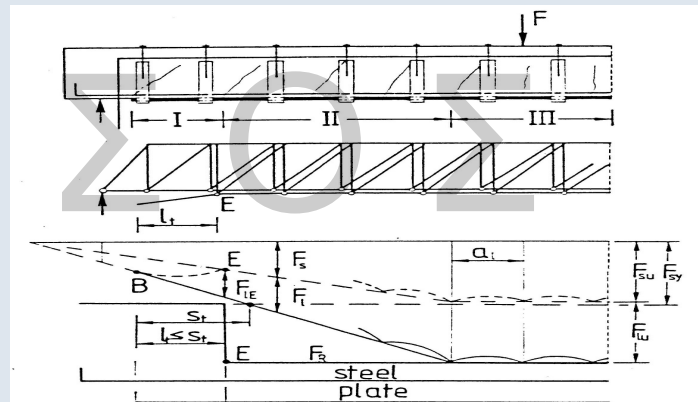


Χρήση στοιχείων αγκύρωσης στα άκρα

Έλεγχος Απόσχισης Άκρου

$$V_{sd, απολ.} \leq V_{cd, απολ.}$$

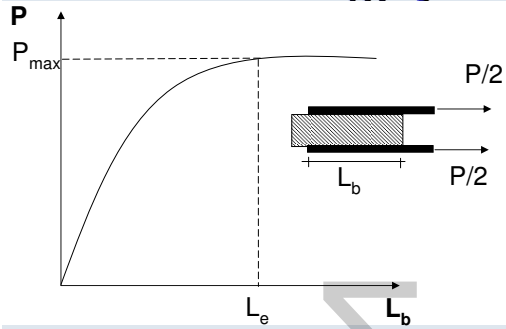
$$M_{sd, απολ.} \leq 0.67 M_{Rd, απολ.}$$



Rostasy, 1997

$$V_{sdj} = \frac{A_j \sigma_{jd}}{A_{so} f_{ydo} + A_j \sigma_{jd}} V_{sd, απολ.}$$

Έλεγχος Αποκόλλησης



$$L_e = \sqrt{\frac{E_j t_j}{2f_{ctm}}}$$

$$P_{max} = k f_{ctm} b_j L_e$$

$$\sigma_{j,crit.} = \frac{P_{max}}{b_j t_j} \cong 0.4 \sqrt{\frac{E_j f_{ctm}}{2 t_j}}$$

Ας θεωρηθεί η περίπτωση μίας δοκού από σκυρόδεμα C16/20 που ενισχύεται στο εφελκυσμένο πέλμα με ένα έλασμα ΙΟΠ-Ανθρακα, πάχους $t_j=1\text{mm}$ και πλάτους $b_j=1/2b_w$. Εξετάζοντας την 2η μορφή αστοχίας λαμβάνεται:

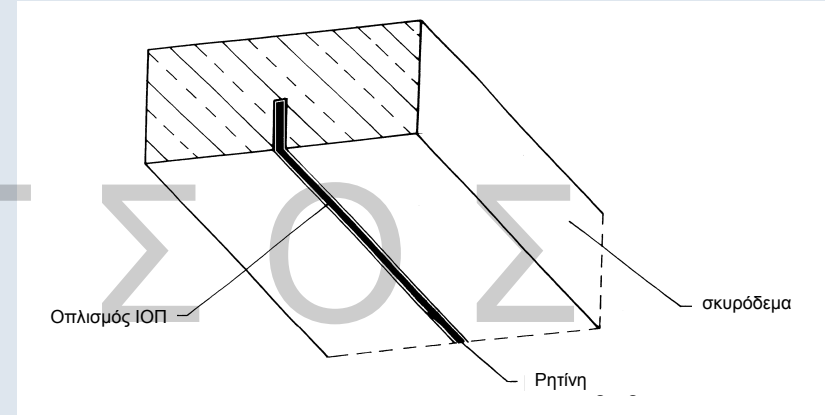
$$f_{ctm} \cong 0.3 f_{ck}^{2/3} = 0.316^{2/3} = 1.92 \text{ MPa} \quad \text{και}$$

$$\sigma_{j,crit} = 0.4 \sqrt{\frac{200 \cdot 1.92 \cdot 10^3}{2}} = 175 \text{ MPa}$$

41

■ Χρήσιμη τεχνική για ενισχύσεις γύρω από νέα ανοίγματα σε πλάκες, τοιχώματα

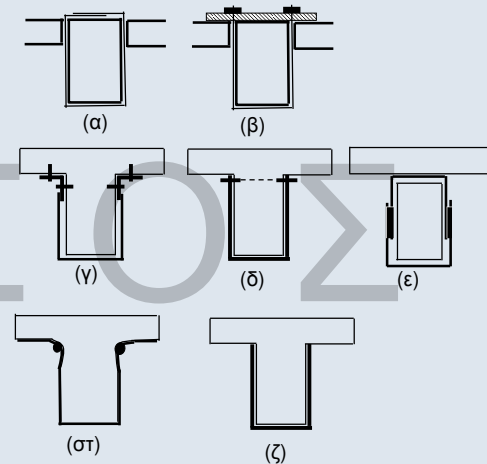
Καμπτική Ενίσχυση με Οπλισμούς εντός “Αυλακιών”



42



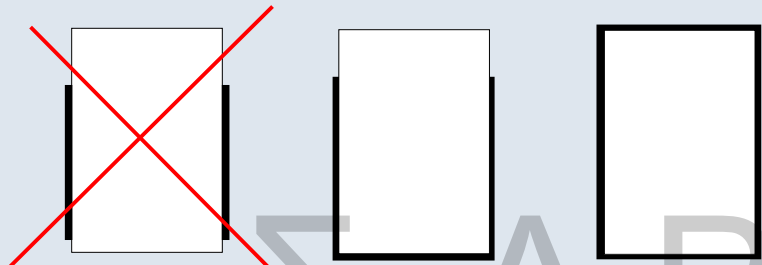
43



Ενδεικτικοί τρόποι ενίσχυσης σε διάτμηση έναντι ανεπάρκειας οπλισμού διάτμησης :
 (α), (β) “κλειστή” ενίσχυση, (γ), (δ),(ε),(στ) “ανοικτή” ενίσχυση με αγκυρωμένα άκρα και
 (ζ) “ανοικτή” ενίσχυση αποδεκτή κατά παρέκκλιση

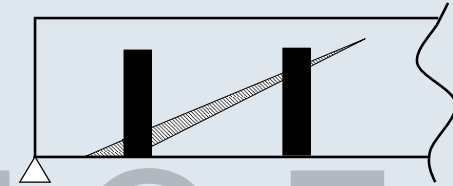
44

Διατμητική Ενίσχυση



Πλευρικός μονόπλευρος Ανοιχτός μονόπλευρος Κλειστός μονόπλευρος

45



Απόσχιση επικάλυψης σκυροδέματος στο πέρας του σύνθετου υλικού

46

Διατμητική Ενίσχυση



47



48

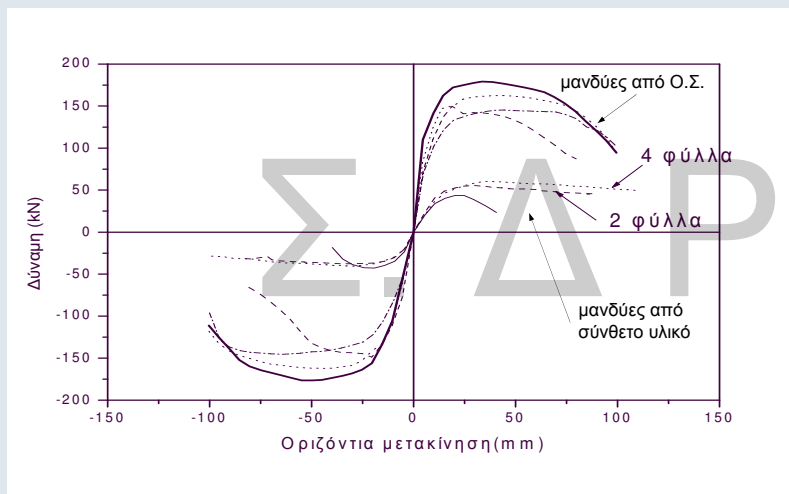


49

Γιατί Περίσφιγξη;

- Αύξηση της πλαστιμότητας του υποστυλώματος
- Αύξηση της θλιπτικής αντοχής του υποστυλώματος
- Αποφυγή αστοχίας συνάφειας των κατακόρυφων ράβδων του υποστυλώματος, στην περιοχή της υπερκάλυψής τους
- Αύξηση της διαμητικής αντοχής του υποστυλώματος
- Ικανοποίηση απαιτήσεων ικανοτικού σχεδιασμού

50



Διαγράμματα φορτίου-οριζόντιας μετακίνησης υποστυλωμάτων ενισχυμένων με μανδύες από σύνθετα υλικά και Ο.Σ.

51



Αποκατάσταση περιοχών με ανεπαρκή μήκη μάτισης

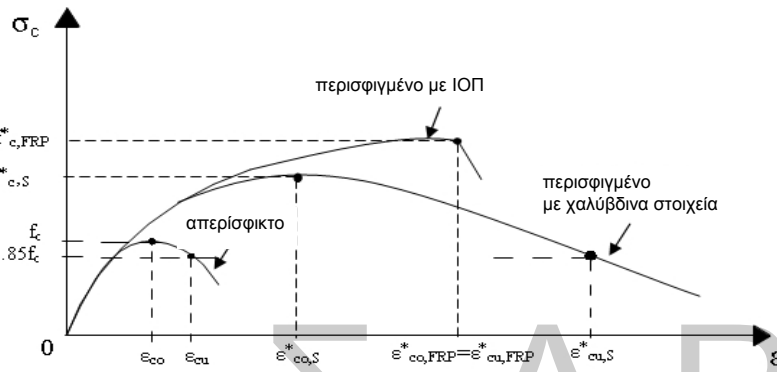
Γενικώς

$$t_j = \gamma_{Rd} \frac{(1-\lambda_s) 1 f_{yk} A_b}{\beta \mu \sigma_{jd} l_s} \quad \gamma_{Rd} = 1.5$$

Για γωνιακές ράβδους

$$t_j \geq \frac{7}{\delta^{5/3}} [(1-\lambda_s) d_s / l_s]^3 \frac{f_{yk}^3}{E_j f_{ck}^2} \bar{b}(c+d_s) \quad (\text{N,mm})$$

(ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2005)



(α) για κυκλικές διατομές

$$f_c^* = \frac{1}{\gamma_{Rd,1}} (1+1.4 a\omega_w) f_c \quad \gamma_{Rd,1} = 1.4 \quad \varepsilon_{cu}^* = \frac{1}{\gamma_{Rd,2}} [0.003 (1+1.4 a\omega_w)^2]$$

(β) για ορθογωνικές διατομές

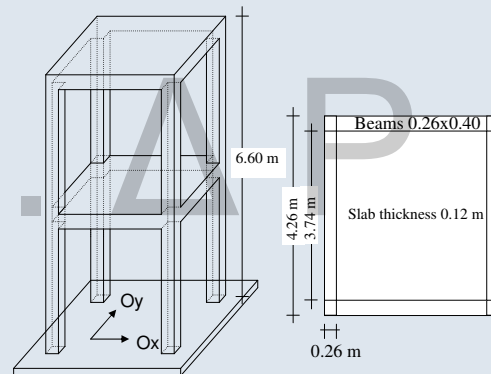
$$f_c^* = \frac{1}{\gamma_{Rd,3}} (1+1.4 a\omega_w) f_c \quad \gamma_{Rd,3} = 1.7$$

$$\varepsilon_{cu}^* = \frac{1}{\gamma_{Rd,4}} [0.003(1+1.4 a\omega_w)^2] \quad \gamma_{Rd,4} = 3.1$$

53

Ecoleader Project

Πειράματα στην Σεισμική Τράπεζα σε Διώροφο Κτίριο



CEA Laboratories, Sacleay, France

55



CEA, Sacleay

56



CEA, Sacley



CEA, Sacley

Επισκευή με ρητινενέσεις



CEA, Sacley

Ενίσχυση κόμβων



CEA, Sacley



CEA, Sacley



CEA, Sacley



CEA, Sacley

Πειράματα στο Εργαστήριο Κατασκευών του Πανεπιστημίου Πατρών



Fardis and Bousias

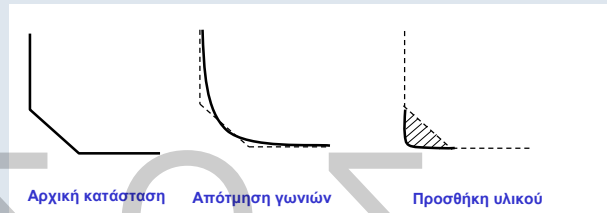
Συνήθη Προβλήματα Εφαρμογής

- Δεν ελέγχεται η κατάσταση και η αντοχή των επιφανειακών στιβάδων σκυροδέματος
- Δεν προετοιμάζεται επιμελώς η επιφάνεια βάσης
- Δεν γίνονται κατάλληλες στρογγυλεύσεις των ακμών του στοιχείου
- Δεν χρησιμοποιούνται οι κατάλληλες κόλλες για το συγκεκριμένο υπόβαθρο
- Χρήση ρητινών πέραν των αποδεκτών χρονικών ορίων χρήσης τους
- Συνεργεία με μικρή εμπειρία:
 - Εσφαλμένη ή πρόχειρη διαδικασία εφαρμογής
 - Έλλειψη κατάλληλων βοηθητικών μέσων
 - Εγκλωβισμός αέρα

65

Μερικά Ερωτήματα από την Πράξη

- Προστασία από φωτιά ?
- Όταν έχουν χρησιμοποιηθεί φалτσογωνιές, χρειάζεται στρογγύλευση στις ακμές ?



- Επιτρέπεται να “τρυπηθεί” το ύφασμα ή το έλασμα ?
- Επιτρέπεται να υπάρχει επαφή του σύνθετου υλικού με στοιχεία χάλυβα ?
- Η πλήρης κάλυψη στοιχείων βοηθά την προστασία σε διάβρωση ?
 - Σε στοιχεία από σκυρόδεμα ?
 - Σε στοιχεία τοιχοποιίας ?

66

Τι Καινούριο Έρχεται ?

Οπλισμοί σε Νέες Κατασκευές

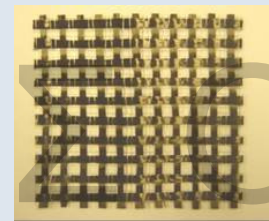
- Από νέα μητρικά υλικά (π.χ. βασάλτης-Ρωσία και Ουκρανία)

Ενισχύσεις

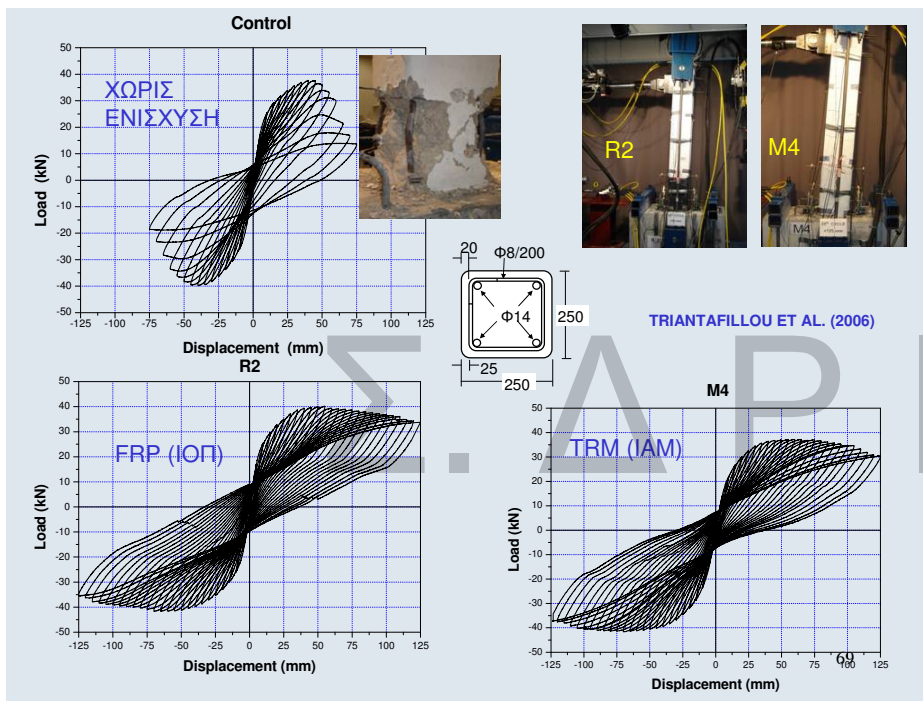
- Αντικατάσταση συνδετικού μέσου ρητίνης με κονίαμα
 - Πλέγματα με βροχίδες από δέσμες συνήθων ινών (για στοιχεία από Ο.Σ. και για τοιχοποιία – Πανεπιστήμιο Πατρών, Εργαστήριο Μηχανικής)
 - Πλέγματα με βροχίδες από δέσμες χαλύβδινων συρμάτων (ψαθυρών) (μανδύες σε στοιχεία Ο.Σ.– Πανεπιστήμιο Θεσ/κης, Δ.Π.Θ.)
- Κατάργηση συνδετικού μέσου (Πανεπιστήμιο Πατρών, Εργαστήριο Μηχανικής)
- Χρήση σύνθετων ελασμάτων σε επιφανειακές εγκοπές
- Αγκύρια από θύσανο ινών
- Χρήση για αναβάθμιση διαβρωμένων στοιχείων

67

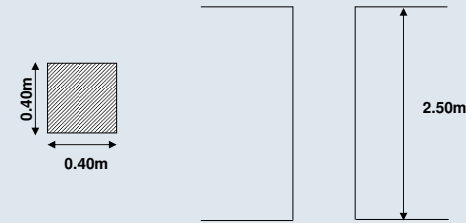
- Μανδύες νέου τύπου: Ινοπλέγματα σε Ανόργανη Μήτρα (IAM)
- [Textile-Reinforced Mortars – TRM (fib Bul.35, Triantafyllou et al. 2006)]



68



Εκτίμηση Κόστους Ενίσχυσης με Σύνθετα Υλικά



- Εστω ανθρακονήματα C200 ($t_f=0.11\text{mm}$)

$$2 \times 5\text{m}^2 \times 21 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} = 210 \text{ €}$$

Αν ανθρακονήματα C300 ($t_f=0.165\text{mm}$)

$$2 \times 5\text{m}^2 \times 28 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} = 280 \text{ €}$$

Αν υαλοφάσματα G60 AR ($t_g=0.23\text{mm}$)

$$t_g = 0.23 \rightarrow 0.23 \frac{E_g}{E_c} = 0.062 \rightarrow \frac{110}{62} = 1.77$$

≈ 250 € έως 300 €

2 φύλλα CFRP ≈ 2x1.77 = 3.5 φύλλα GFRP

$$3.5 \times 5\text{m}^2 \times 14.4 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} = 252 \text{ €}$$

70

ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

≈ 250 € έως 300 €

ΥΠΟΛΟΙΠΑ ΥΛΙΚΑ

$$1.6\text{m} \times 2.5\text{m} \times 25 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} = 100 \text{ €} \quad \text{έως} \quad 150 \text{ €}$$

ΕΡΓΑΤΙΚΑ

$$1.6\text{m} \times 2.5\text{m} \times 60 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} = 240 \text{ €} \quad \text{έως} \quad 350 \text{ €}$$

≈ 600 € έως 800 €

ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΚΛΩΒΟ

περίπου 350 € έως 400 €

71

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Ως εσωτερικός οπλισμός σε νέες κατασκευές:

- Δεν ενδιαφέρει για κτιριακά έργα
- Ενδιαφέρει για έργα υποδομής π.χ. σε έντονο διαβρωτικό περιβάλλον (π.χ. λιμενικά έργα)
- Ναι για εξειδικευμένες απαιτήσεις π.χ.
 - κατασκευές που απαιτούν χαμηλή ηλεκτρική ή θερμική αγωγιμότητα
 - κατασκευές για τις οποίες δεν είναι αποδεκτή η χρήση μαγνητικών υλικών (π.χ. ιατρικός εξοπλισμός)

- Ως τένοντες προέντασης:

- Αισιόδοξες προοπτικές

72

➤ Σε ενισχύσεις κατασκευών

κυρίως για μεμονωμένα μέλη

προϋπόθεση: ικανοποιητική αντοχή σκυροδέματος

- Ελάχιστη η προσφορά “ανοικτών” ενισχύσεων
- Μικρή βελτίωση καμπτικής ικανότητας πλακών και δοκών
- Υποσχόμενη τεχνική η τοποθέτηση ράβδων ή ελασμάτων εντός αυλακιών (υπό έρευνα)
- Μικρή βελτίωση διατμητικής αντοχής δοκών
- Ενδιαφέρουσα εφαρμογή για ενισχύσεις κόμβων
- Χρήσιμη εφαρμογή ως εγκάρσιος οπλισμός σε υποστυλώματα (κυρίως) και τοιχώματα
 - ✓ Πλαστιμότητα
 - ✓ Διατμητική αντοχή
 - ✓ “Κοντές” αναμονές
- Χρήσιμη εφαρμογή για ειδικές απαιτήσεις
Π.χ. ελαχιστοποίηση χρόνου επέμβασης, ενίσχυση καμινάδων

73

www.episkeves.civil.upatras.gr

74

Σ. Δ Ρ Ι Τ Σ Ο Σ