

ΒΑΣΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΑ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ/ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Στέφανος Η. Δρίτσος
Πανεπιστήμιο Πατρών

ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

1^ο Στάδιο:

Τεκμηρίωση υφιστάμενης κατάστασης

2^ο Στάδιο:

Αποτίμηση επάρκειας κατασκευής

3^ο Στάδιο:

Λήψη απόφασης επέμβασης - Επιλογή λύσης

4^ο Στάδιο:

Αρχικός σχεδιασμός λύσης

5^ο Στάδιο:

Κατασκευή του Έργου

Απαιτείται καλή γνώση των μέσων που διατίθενται για επεμβάσεις

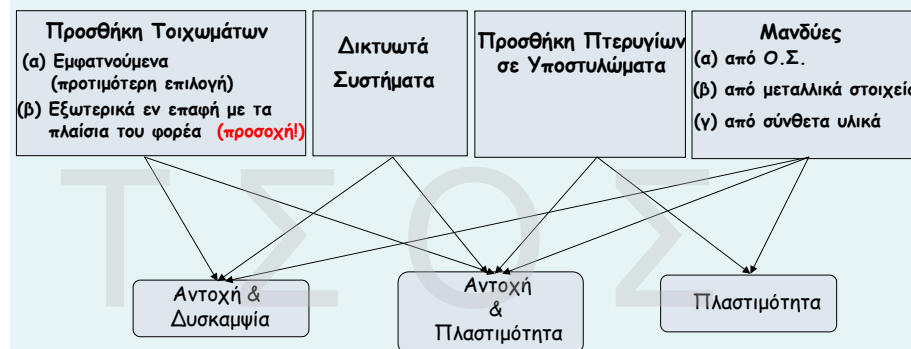
•Υλικά και Τεχνολογίες Επεμβάσεων

- Ειδικοί Τύποι Σκυροδέματος
- Πολυμερικές Κόλλες (ρητίνες)
- Επισκευαστικά Κονιάματα
- Επικολητά Φύλλα από Χάλυβα
- Διατμητικοί Σύνδεσμοι (Βλήτρα) - Αγκύρια
- Αγκυρώσεις και Συγκολλήσεις Νέων Ράβδων Οπλισμού
- Σύνθετα Υλικά (Ινοπλισμένα Πολυμερή (FRP))

•Ειδικότερες Τεχνικές για :

- Υποστυλώματα
- Τοιχώματα
- Δοκούς
- Πλάκες
- Κόμβους Δοκών-Υποστυλωμάτων
- Στοιχεία Θεμελίωσης

ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΩΣ ΣΥΝΟΛΟ



ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

- Ελαφρές Βλάβες (ρωγμές → ρητινενώσεις)
- Βαριές Βλάβες (αποδιοργάνωση σκυροδέματος ή/και άνοιγμα συνδετήρων ή/και λυγισμό διαμήκων ράβδων → αποκατάσταση ίσης διατομής)



Σ. Η. ΔΡΙΤΣΟΣ

5

ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Δυνητικός Στόχος

- Αύξηση Καμπτικής Αντοχής Στοιχείου
- Αύξηση Διατμητικής Αντοχής Στοιχείου
- Αύξηση Πλασσιμότητας Στοιχείου

Μέθοδος

Χρήση έγχυτου ή εκτοξευόμενου Σκυροδέματος ή Ειδικών Κονιαμάτων

- Στρώσεις (μονόπλευρες, η – πλευρες)
- Μανδύες

Χρήση Χαλύβδινων Στοιχείων

- Ελάσματα
- Γωνιακά

Χρήση Σύνθετων Υλικών από Ινοπλισμένα Πολυμερή

- Ελάσματα
- Υφάσματα

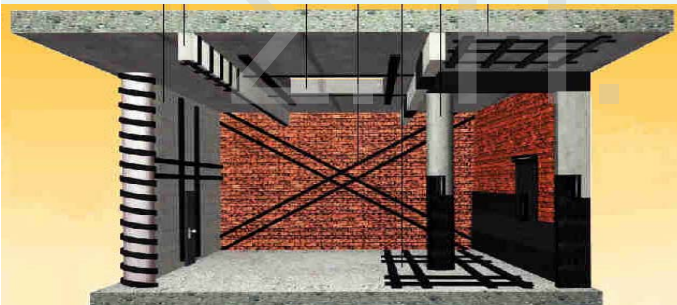
Σ. Η. ΔΡΙΤΣΟΣ

6

ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

- Επικουρικός ρόλος παρουσία υφιστάμενου οπλισμού
Προϋπόθεση (ACI. 440-2R):
Ανάληψη φορτίων από την υπάρχουσα κατασκευή: $1.26 + 0.85Q$
- Μεγιστοποίηση ταχύτητας εκτέλεσης εργασίας
- Ελαχιστοποίηση αναστάτωσης
- Όχι για καμπτική ενίσχυση υποστυλωμάτων

- Υφάσματα
- Ελάσματα
- Φύλλα
- Λωρίδες
- Πλέγματα

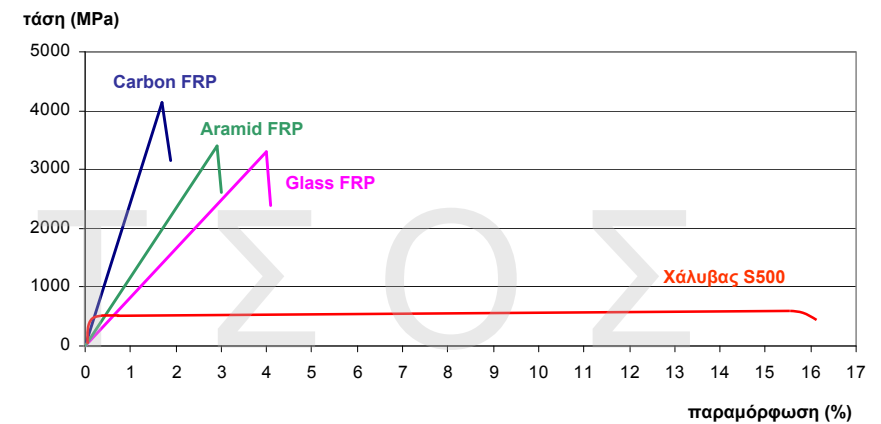


! ?

! ?

7

Μηχανικά Χαρακτηριστικά Σύνθετων Υλικών



*Παρατήρηση: όχι για ανάληψη θλιπτικών δυνάμεων

Σ. Η. ΔΡΙΤΣΟΣ

8

Μείωση Αντοχής

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

Συνθήκες Περιβάλλοντος	ΙΟΠ Άνθρακας		ΙΟΠ - Αραμίδιο		ΙΟΠ - Γυαλί	
	Εσ. σπλισμός	ενίσχυση	Εσ. σπλισμός	ενίσχυση	Εσ. σπλισμός	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}

Σ. Η. ΔΡΙΤΣΟΣ

➔ προβληματική η ανάληψη μονίμων φορτίων

9

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

Γενικές Απαιτήσεις

1. Επιδιώκεται Μονολιθικότητα

- Μεγίστη ενεργοποίηση νέων στοιχείων
- Μικρότερες αβεβαιότητες προσομοιωμάτων

2. Εξασφαλίζεται η συνεργασία (μεταφορά δυνάμεων) στις συνδέσεις παλαιών-νέων στοιχείων

- Έλεγχος επάρκειας διεπιφανειών – αγκυρώσεων – συνδέσμων

3. Προσδιορίζεται η ικανότητα του νέου, “σύνθετου”, στοιχείου

- Λαμβάνοντας υπ' όψιν τις ολισθήσεις
- Χρήση γ_{Rd}

Σ. Η. ΔΡΙΤΣΟΣ

10

ΜΑΝΔΥΕΣ Ο.Σ.



11



Σ. Η. ΔΡΙΤΣΟΣ

12

ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ - ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

$$R_{jd} \geq S_{jd}$$

R_{jd} = Αντίσταση σύνδεσης

- Θλιπτική
- Εφελκυστική
- Διατμητική

S_{jd} = Αντίστοιχη δρώσα δύναμη

Η αστοχία του ενισχυμένου πρέπει να προηγείται της αστοχίας της διεπιφάνειας

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

■ Σε θλίψη

- με βάση τη θλιπτική αντοχή του ασθενέστερου υλικού

■ Σε εφελκυσμό

- επιτρέπεται να λαμβάνεται υπ' όψιν η εφελκυστική αντοχή αποκόλλησης (υπό αξιόπιστες και πλήρως ελεγχίμες συνθήκες κατασκευής & συντήρησης)
- με πρόσθετους οπλισμούς - αγκύρια

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

Για ανεκτή τιμή σχετικής ολίσθησης ανάλογα με την σκοπούμενη στάθμη επιτελεστικότητας, υπολογίζονται οι αντιστάσεις που αναπτύσσονται για το σύνολο των διαθέσιμων μηχανισμών.

■ Συνοχή

■ Τριβή

- ορθές τάσεις από εξωτερικές δράσεις
- ορθές τάσεις από αντίσταση εξόλκευσης εγκάρσιων οπλισμών

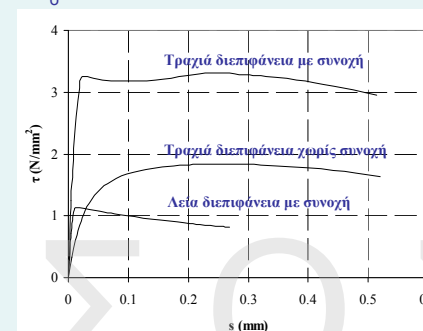
■ Βλήτρα

Ανεκτή τιμή ολίσθησης

Στάθμη Επιτελεστικότητας	A :	0,2 mm
"	B :	0,8 mm
"	Γ :	1,5 mm

ΣΥΝΟΧΗ

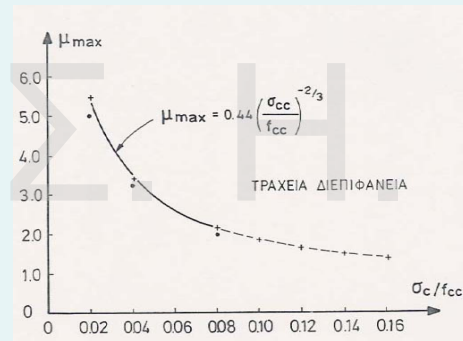
- Συνοχή : τ_f όταν $\sigma_o = 0$



- Λείες επιφάνειες: $0,25 f_{ct}$
- Διεπιφάνειες με τεχνητή τράχυνση: $0,75 f_{ct}$
- Νέο σκυρόδεμα: $1,00 f_{ct}$
- Μέγιστη τιμή συνοχής αντιστοιχεί σε πολύ μικρές τιμές σχετικής ολίσθησης
- Η συνοχή δεν λαμβάνεται υπόψη:
 - α) σε ελέγχους για οριακή κατάσταση αστοχίας
 - β) σε διεπιφάνειες κάθετα στις οποίες ασκείται θλιπτική τάση

ΤΡΙΒΗ

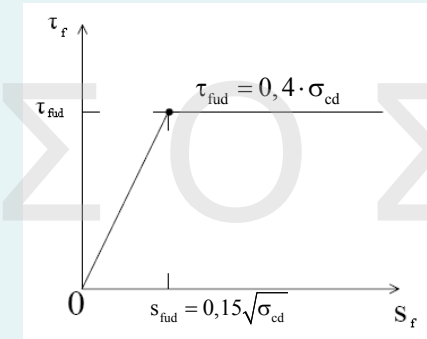
- Τριβή : διαμητική τάση τ_f όταν $\sigma_0 \neq 0$



$$\tau_u = \mu \cdot \sigma_0$$

$$\mu_{\max} = 0,44 \left(\frac{\sigma_0}{f_c} \right)^{-2/3}$$

Λεία Διεπιφάνεια



Υπό ανακύκλωση:

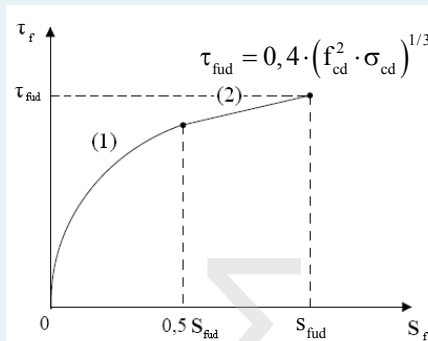
$$\tau_{fud,n} = \tau_{fud} \left(1 - 0,15\sqrt{n-1} \right)$$

όπου

n: πλήθος κύκλων

$$\tau_{fud,n} = 0,7 \cdot \tau_{fud}$$

Τραχεία Διεπιφάνεια



$$(1) \quad \frac{s}{s_u} \leq 0,5 \rightarrow \left(\frac{\tau}{\tau_{fud}} \right) = 1,14 \cdot \sqrt[3]{\frac{s}{s_u}}$$

$$(2) \quad \frac{s}{s_u} > 0,5 \rightarrow \left(\frac{\tau}{\tau_{fud}} \right) = 0,81 + 0,19 \cdot \frac{s}{s_u}$$

Υπό ανακύκλωση:
$$\frac{\Delta \tau_u}{\tau_1} = 0,05 \cdot \left(\frac{f_c}{\sigma_c} \right)^{1/2} (n-1)^{1/3} \left(\frac{s}{s_u} \right)^{2/3}$$

όπου

n: πλήθος κύκλων
 τ_1 (s): διαμητική αντίσταση κατά τον 1^ο κύκλο για επιβαλλόμενη ολίσθηση s
 $s_{fud} = 2,00 \text{ mm}$



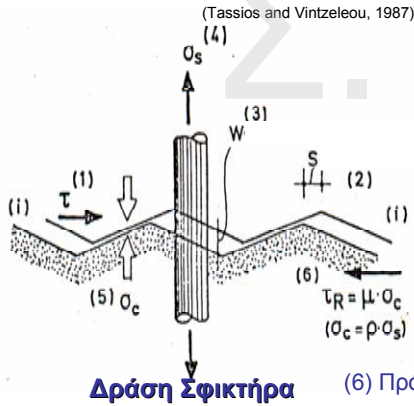
Χρήση Αεροματσάκων για Εκτράχυνση της Διεπιφάνειας

ΟΠΛΙΣΜΕΝΕΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ

Πρόσθετη Τριβή

Όταν μια Χαλύβδινη Ράβδος διαπερνά μια Διεπιφάνεια, μπορεί να προκύψει δράση σφικτήρα, εάν:

- Η επιφάνεια του υφιστάμενου σκυροδέματος έχει εκτραχυνθεί
- Η χαλύβδινη ράβδος είναι επαρκώς αγκυρωμένη

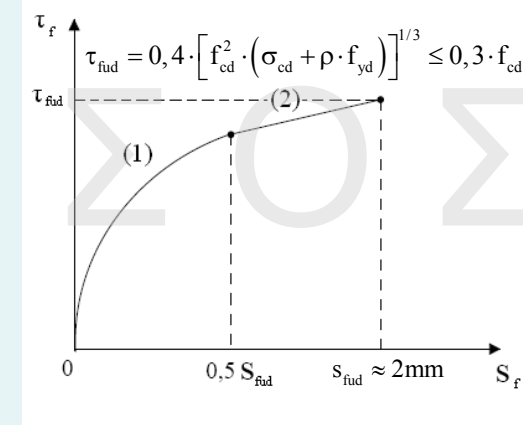


- (1) Όταν εφαρμόζεται Διαμητική Τάση
- (2) Προκαλείται Ολίσθηση
- (3) Ανοίγει η Επιφάνεια Επαφής (επειδή εξαιτίας της τραχύτητας η μια επιφάνεια κινείται πάνω στην άλλη)
- (4) Ενεργοποιείται Εφελκυστική Δύναμη στη χαλύβδινη ράβδο
- (5) Ασκείται Θλιπτική Τάση (σ_c) στη διεπιφάνεια
- (6) Πρόσθετη Τριβή → Πρόσθετη Διαμητική Αντίσταση

21

Οπλισμένες Διεπιφάνειες

Αντίσταση Τριβής



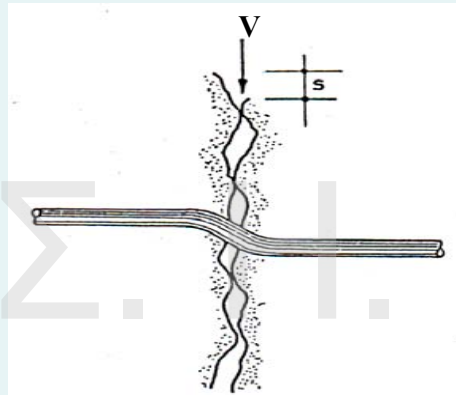
Όπου: $\rho = \frac{\text{Εμβαδόν Διατομής των Χαλύβδινων Ράβδων της Διεπιφάνειας}}{\text{Εμβαδόν Διατομής των Επιφανειών Επαφής}}$

Σ. Η. ΔΡΙΤΣΟΣ

22

Οπλισμένες Διεπιφάνειες

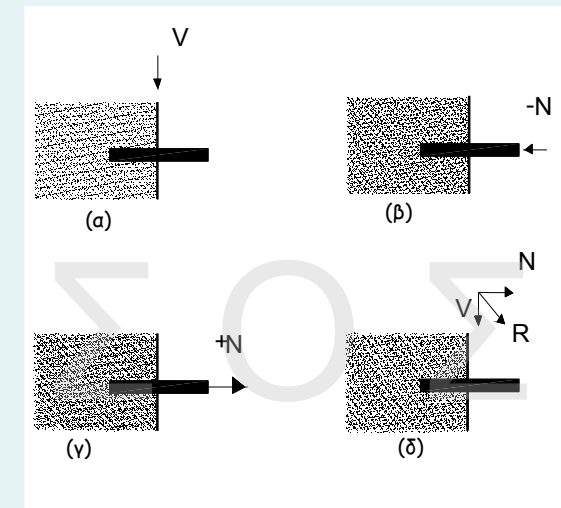
Δράση Βλήτρου



Σ. Η. ΔΡΙΤΣΟΣ

23

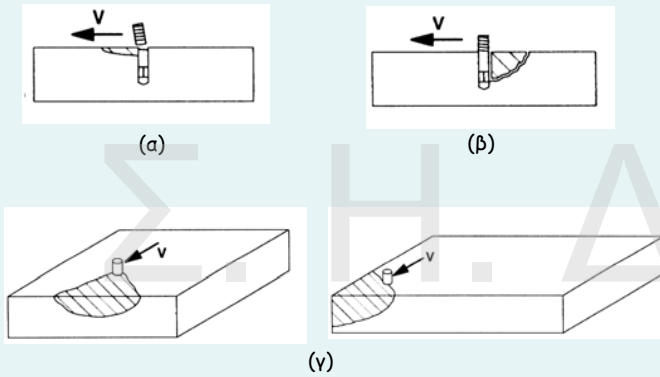
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΡΑΣΗΣ ΒΛΗΤΡΟΥ ΚΑΙ ΑΓΚΥΡΙΟΥ



Τύποι φόρτισης (α) Δράση βλήτρου
(β),(γ) Δράση αγκυρίου
(δ) Συνδυασμένη δράση βλήτρου και αγκυρίου

Σ. Η. ΔΡΙΤΣΟΣ

24



- Τύποι αστοχίας από δράση βλήτρου**
- α) Λόγω διαρροής χάλυβα,
 - β) Λόγω αστοχίας περιβάλλοντος σκυροδέματος,
 - γ) Λόγω απόσχισης πλευρικού κώνου.

Αντοχή Βλήτρου

$$V_{ud} = \min(V_{ud,a}, V_{ud,b}, V_{ud,c})$$

$$V_{ud,a} = \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{ud,b} = \frac{1,3}{\gamma_m} d_b^2 \sqrt{f_{cd} \cdot f_{yd}}$$

$$V_{ud,c}^o = \frac{1,1}{\gamma_c} \cdot \sqrt{d_b \cdot f_{cd}} \left(\frac{l_b}{d_b} \right)^{1/5} \cdot c_p^{3/2} \quad (N)$$

1^{ος} τύπος αστοχίας

2^{ος} τύπος αστοχίας

**3^{ος} τύπος
αστοχίας**

$$V_{ud,c} = V_{ud,c}^o \cdot a_1 \cdot a_2$$

$$a_1 = \left(\frac{t}{1,4 c_p} \right)^{2/3} \leq 1,0$$

$$a_2 = \max \left[0,3 + 0,7 c_n^{\min} / 1,5 c_p, (c_n^{\max} + c_n^{\min}) / 3,5 c_p \right] \leq 1,0$$

26

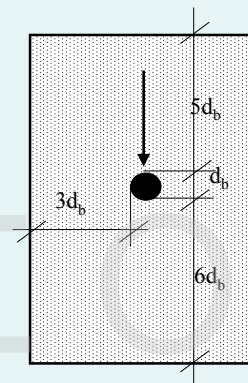
ΕΠΙΡΡΟΗ ΜΗΚΟΥΣ ΕΜΠΗΞΗΣ ΒΛΗΤΡΟΥ

Για $l_e \geq 8d_b$: V_u

Για $l_e = 6d_b$: $V = 0,6 V_u$

Για $6d_b < l_e < 8d_b$: Γραμμική Παρεμβολή

Για $l_e < 6d_b$: **Ανεπαρκές**

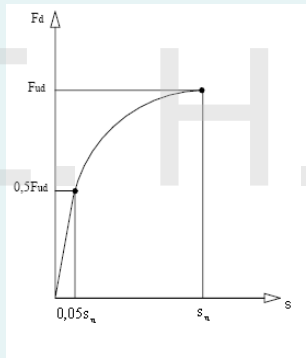


Ελάχιστη απαιτούμενη επικάλυψη οπλισμού για πλήρη ενεργοποίηση της Δράσης Βλήτρου

Διατμητική Αντίσταση Δράσης Βλήτρου

$$V_{u,μov.} = 1,3 \cdot d_b^2 \cdot \sqrt{f_c \cdot f_y}$$

$$V_{u,ανακ.} = \frac{1}{2} \cdot V_{u,μov.}$$



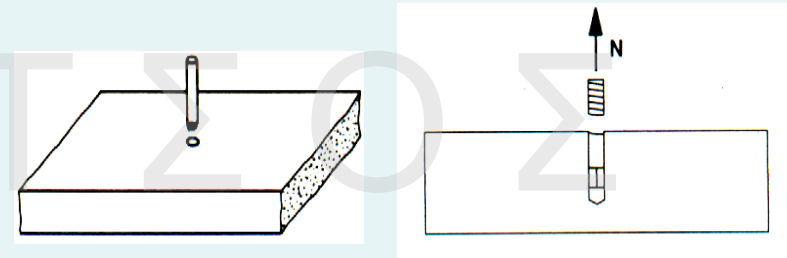
$$s = 0,2d_u + 2,3d_u \left[\left(\frac{F_d}{F_{ud}} \right)^4 - 0,5 \left(\frac{F_d}{F_{ud}} \right)^3 \right]$$

$$s_u \leq 0,2d_b$$

Σ. Η. ΔΡΙΤΣΟΣ

29

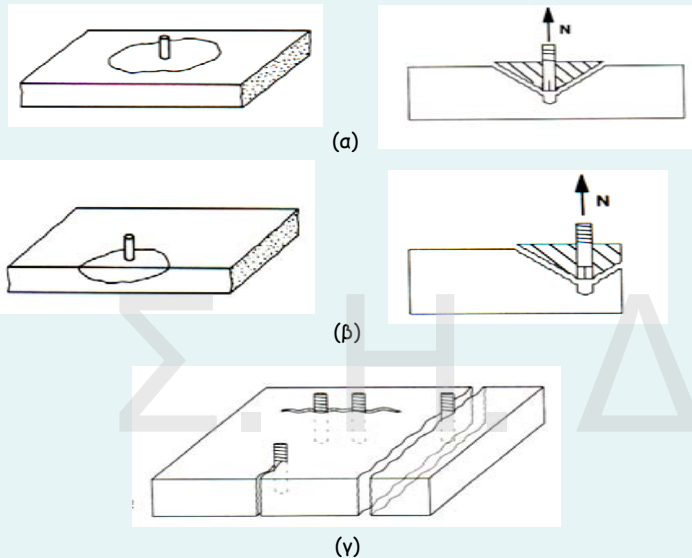
Οπλισμένες Διεπιφάνειες Δράση Αγκυρίου



Αστοχία αγκυρίου λόγω διαρροής χάλυβα (Α' τύπος)

Σ. Η. ΔΡΙΤΣΟΣ

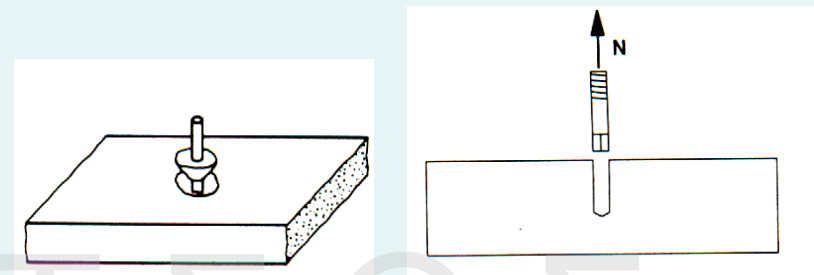
30



Αστοχία λόγω απόσχισης ή διάρρηξης σκυροδέματος (Β' τύπος)

Σ. Η. ΔΡΙΤΣΟΣ

31



Αστοχία αγκυρίου λόγω ολίσθησης (Γ' τύπος)

Σ. Η. ΔΡΙΤΣΟΣ

32

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΓΚΥΡΙΟΥ

(Για τεμάχια ράβδων οπλισμού νευροχάλυβα πακτωμένων μέσω ρητίνης)

1. Διαρροή του αγκυρίου: $N_{yd} = A_s \cdot f_{yd}$

2. Αστοχία συνάφειας μεταξύ αγκυρίου και συνδετικού υλικού (ρητίνης):

$$N_{bd} = \frac{f_{bk} \cdot l_e \cdot \pi \cdot d_b}{\gamma_b}$$

f_{bk} : χαρακτηριστική τιμή αντοχής συνάφειας σκυροδέματος
 $\gamma_b = 1,3$

3. Αστοχία συνάφειας μεταξύ συνδετικού υλικού (ρητίνης) και περιβάλλοντος σκυροδέματος:

$$N_{cd} = \frac{4,5 \cdot \pi \cdot l_e \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot D}{\gamma_c} \quad (\text{mm, MPa})$$

D = διάμετρος οπής

$$\gamma_c = \gamma_{c1} \cdot \gamma_{inst}$$

με $\gamma_{c1} = 1,8$ (για εφελκυσμό)

και $\gamma_{inst} = 1,0$ έως $1,4$ (ανάλογα με τις συνθήκες ποιότητας της εφαρμογής)

Σ. Η. ΔΡΙΤΣΟΣ

33

ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΡΑΣΗΣ ΒΛΗΤΡΟΥ ΑΓΚΥΡΙΟΥ

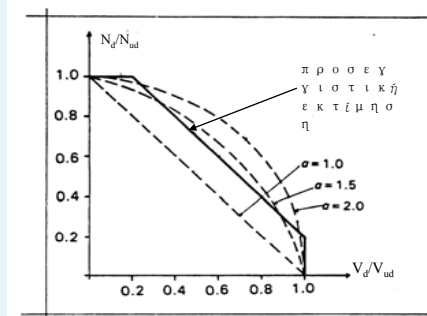
$$\left(\frac{V_d}{V_{ud}}\right)^a + \left(\frac{N_d}{N_{ud}}\right)^a = 1$$

$a=2$ εάν οι τιμές σχεδιασμού V_{ud} and N_{ud} προκύπτουν από αστοχία του χάλυβα

$a=1,5$ εάν οι ως άνω τιμές προκύπτουν από άλλες μορφές αστοχίας

$a=1$ λαμβάνεται ως μία συντηρητική απλοποίηση

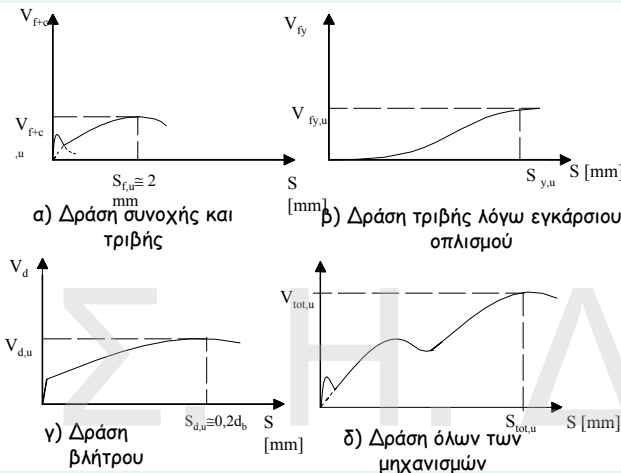
$$\left(\frac{N_{sd}}{N_{yd}}\right)^{3/2} + \left(\frac{V_{sd}}{V_{ud}}\right)^{3/2} = 1 \quad (\text{KAN.EΠE.})$$



Σ. Η. ΔΡΙΤΣΟΣ

34

Αλληλεπίδραση μηχανισμών ανάληψης διατμητικού φορτίου



$$V_{R,total}^{interface} = \sum V_{Ri}$$

i = κάθε ανεξάρτητη διατμητική αντίσταση

Σ. Η. ΔΡΙΤΣΟΣ
 V_{Ri} = τιμή που αντιστοιχεί σε μια συνηθισμένη ολίσθηση διεπιφάνειας

35

Χρήση Χαλύβδινων Βλήτρων και Εκτράχυνση της Επιφάνειας σε Υφιστάμενο Υποστύλωμα



• Η πιο διαδεδομένη μέθοδος για επίτευξη επαρκούς σύνδεσης στη διεπιφάνεια

ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΣΕ ΟΠΛΙΣΜΕΝΕΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΣ

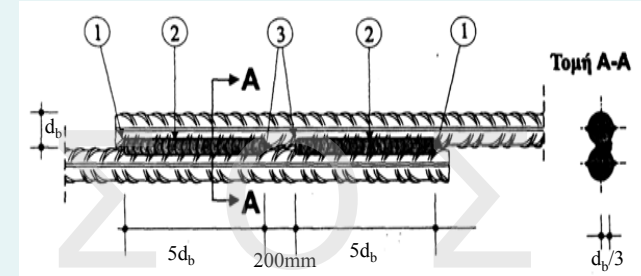
$$V_{Rd,int} = \beta_D \cdot F_{uD} + \beta_F \cdot F_{FuD}$$

Για μικρές τιμές $s < 0,40 \text{ mm}$: $\beta_D = 0,7$ και $\beta_F = 0,4$
(π.χ. Στάθμη Επιτελεστικότητας Α)

Για μεγάλες τιμές $s = 2,0 \text{ mm}$: $\beta_D = 0,7$ και $\beta_F = 0,8$
(π.χ. Στάθμη Επιτελεστικότητας Γ)

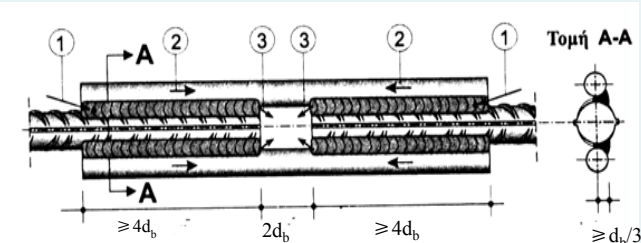
Για άγνωστες τιμές s : $\beta_D = 0,6$ και $\beta_F = 0,7$

Μεταφορά Δυνάμεων με Ηλεκτροσυγκολλήσεις



$$V_{ud}^{συγκολ.} = A_S \cdot f_{yd}$$

Συγκόλληση κατά παράθεση



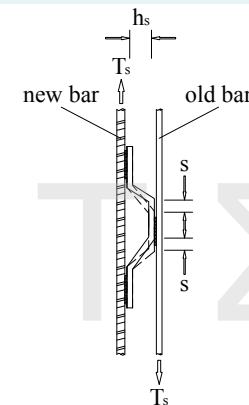
Συγκόλληση με λωρίδες

Ηλεκτροσυγκολλήσεις με Εύκαμπτους Συνδέσμους (Χαλύβδινοι Αναρτήρες)



Προσομοίωμα Εύκαμπτων Συνδέσμων

(Tassios, 2004)



Όταν S συμβαίνει στη διεπιφάνεια, τότε το ένα άκρο του αναρτήρα επιμηκύνεται κατά $s/\sqrt{2}$. Το άλλο βραχύνεται.

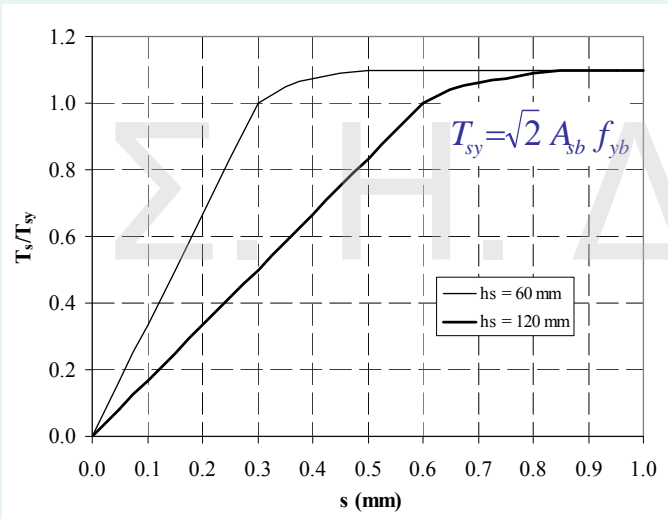
→ Εφελκυστικές και Θλιπτικές Τάσεις ενεργοποιούνται στα άκρα:

$$\epsilon_{sb} = \frac{s/\sqrt{2}}{\sqrt{2}h_s} = \frac{s}{2h_s} \quad \text{και} \quad \sigma_{sb} = E_s \frac{s}{2h_s} \leq f_{yb}$$

→ Μεταφέρεται Δύναμη μεταξύ των Οπλισμών:

$$T_s = A_{sb} \cdot E_s (s/\sqrt{2}h_s) \leq T_{sy} = \sqrt{2} A_{sb} f_{yb}$$

Μεταφορά Δύναμης – Ολίσθηση Διεπιφάνειας



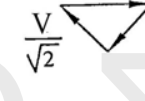
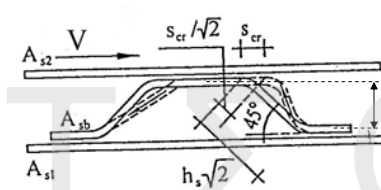
Ο Μηχανισμός δραστηριοποιείται για πολύ μικρή Ολίσθηση

Σ. Η. ΔΡΙΤΣΟΣ

41

ΠΡΟΣΟΜΙΩΜΑ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ "ΠΑΠΙΑΣ"



$$\epsilon_s = \frac{\frac{s_{cr}}{\sqrt{2}}}{h_s \sqrt{2}} = \frac{s_{cr}}{2h_s}$$

$$\sigma_s = E_s \epsilon_s = E_s \frac{s_{cr}}{2h_s}$$

$$\frac{V}{\sqrt{2}} = \sigma_s A_s$$

$$V = \sqrt{2} \frac{s/\sqrt{2}}{h_s \sqrt{2}} E_s A_s = s \frac{E_s}{\sqrt{2}} \frac{A_s}{h_s}$$

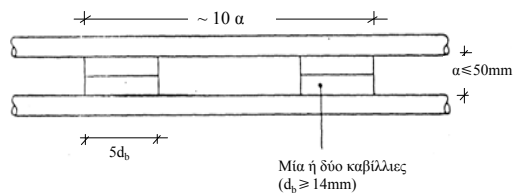
$$V_u = \frac{0,15 \times 200}{\sqrt{2}} \frac{A_s}{h_s} \approx 20 \frac{A_s}{h_s}$$

$$\Sigma. \text{H. } \Delta \text{P} \quad V_{ud} = \frac{V_u}{\gamma_{Rd=2}} = 10 \frac{A_s}{h_s}$$

$$s_{cr} = 0,15 \text{ mm}$$

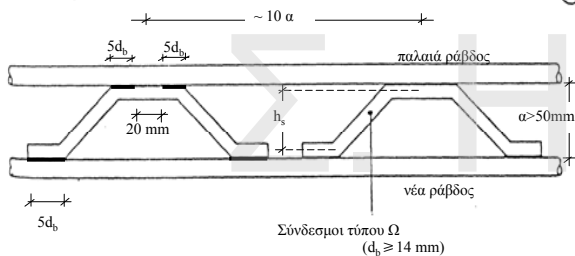
$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

42



(α) ΔΥΣΚΑΜΠΤΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ

$$V_{ud}^{συγκολ.} = A_s f_{yd} / 2$$



(β) ΕΥΚΑΜΠΤΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ

$$V_{ud}^{συγκολ.} = 10 \frac{A_s}{h_s} < A_s f_{yd}$$

[kN, mm]

Σ. Η. ΔΡΙΤΣΟΣ

43