

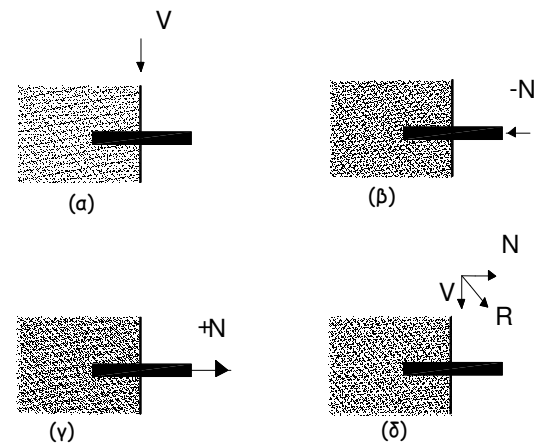
# ΟΙ ΒΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

➤ καθ. Στέφανος Δρίτσος  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών

Α.Σ.ΠΑΙ.Τ.Ε. Μάιος 2016

1

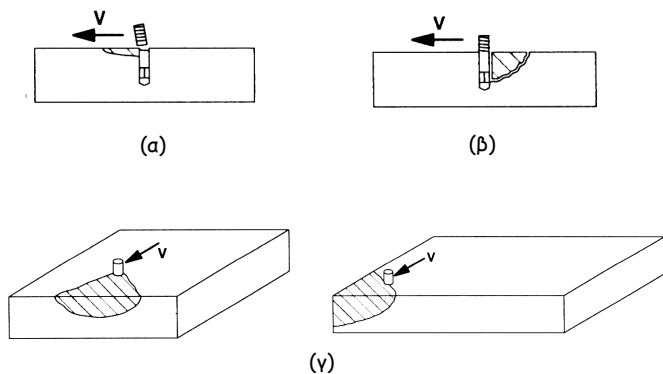
## ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ



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

2

## ΔΡΑΣΗ ΒΛΗΤΡΟΥ



Τύποι αστοχίας από δράση βλήτρου

- A) Λόγω διαρροής χάλυβα,
- B) Λόγω αστοχίας περιβάλλοντος σκυροδέματος,
- Γ) Λόγω απόσχισης πλευρικού κώνου.

3

## Αντοχή Βλήτρου

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

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

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

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

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

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

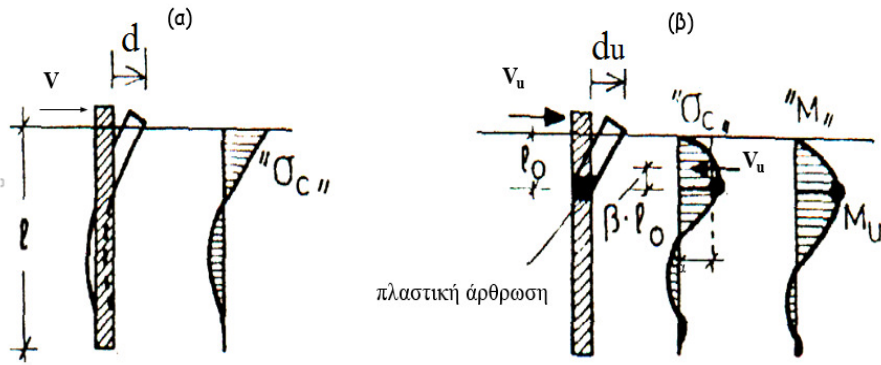
$$a_2 = \max \left[ 0,3 + 0,7 c_n^{\min} / 1,5 c_p, (c_n^{\max} + c_n^{\min}) / 3,5 c_p \right] \leq 1,0$$

A' τύπος αστοχίας

B' τύπος αστοχίας

Γ' τύπος αστοχίας

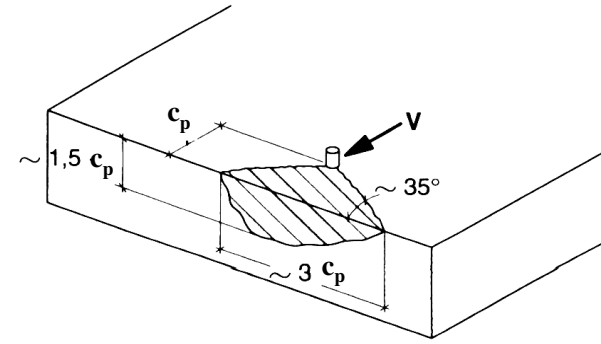
4



πλαστική άρθρωση

Προσομιώματα συμπεριφοράς βλήτρου  
α) Ελαστικό προσομοίωμα, β) Πλαστικό προσομοίωμα

**Β' τύπος αστοχίας**



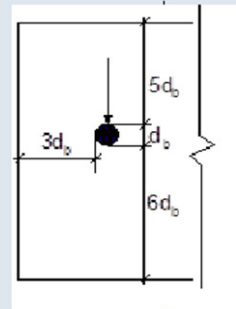
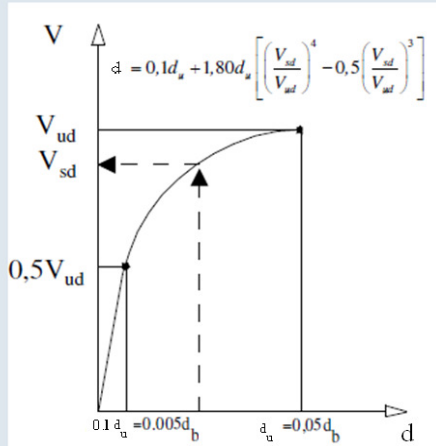
$$V_{ud,c}^n = \sum V_{ud,c}$$

$$V_{ud,c}^n = \left( 1 + \frac{(n-1)s}{s_{cr}} \right) V_{ud,c}$$

Απόσχιση πλευρικού κώνου

**Γ' τύπος αστοχίας**

**Διατμητική Αντίσταση Δράσης Βλήτρου**



Ελάχιστη απαιτούμενη επικάλυψη οπλισμού για πλήρη ενεργοποίηση της Δράσης Βλήτρου

$$V_{sd} = \frac{1,30d_b^2}{\gamma_{Rd}} \sqrt{f_{cd} f_{yd}} \leq \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad \gamma_{Rd} = 1.3$$

KAN.ΕΠΕ.Σ6.1.2.2.(α) Σχ.(6.8)

**Ανακύκλιση φόρτισης**

$$F_{ud} = 0.65d_b^2 \sqrt{f_{cd} f_{yd}} \leq \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{3}} [\text{mm, MPa}]$$

KAN.ΕΠΕ.Σ6.1.2.2.(α) Σχ.(6.9)

**1° αριθμητικό παράδειγμα**

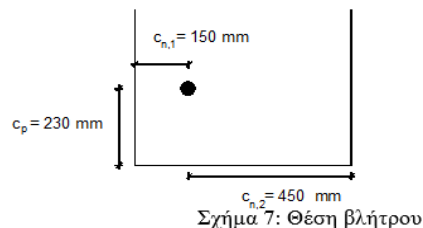
Εφαρμόζοντας τις προηγούμενες σχέσεις, παρακάτω προσδιορίζεται η διατμητική αντοχή βλήτρου Φ18 S500, αγκυρωμένου σε σκυροδέμα κατηγορίας C25/30.

Το μήκος αγκύρωσης του βλήτρου είναι  $l_b = 180 \text{ mm}$ .

Το πάχος σκυροδέματος βάσης είναι  $t = 300 \text{ mm}$ .

Οι αποστάσεις του βλήτρου από τα όρια του σκυροδέματος βάσης είναι (βλ. Σχ. 7):

$c_p = 230 \text{ mm}$  (στην κατεύθυνση εφαρμογής του φορτίου),  $c_{n,1} = 150 \text{ mm}$  και  $c_{n,2} = 450 \text{ mm}$  ( $c_{n,1}$ ,  $c_{n,2}$  κάθετα προς την κατεύθυνση εφαρμογής του φορτίου).



- Τιμή σχεδιασμού διατμητικής αντοχής για τον Α' τύπο αστοχίας (Διαρροή χάλυβα) :

$$V_{ud,a} = \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{2,54 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times \frac{500000}{1,15} \text{ KN/m}^2}{\sqrt{3}} = 63,76 \text{ kN}$$

- Τιμή σχεδιασμού διατμητικής αντοχής για το Β' τύπο αστοχίας (Σύνθλιψη περιβάλλοντος σκυροδέματος και δημιουργία πλαστικής άρθρωσης στο βλήτρο):

$$V_{ud,b} = \frac{1,65}{\gamma_{Rd}} A_s \sqrt{f_{cd} f_{yd}} = \frac{1,65}{1,3} \times 2,54 \times 10^{-4} (\text{m}^2) \sqrt{\frac{25.000}{1,5} \times \frac{500.000}{1,15}} \text{ KN/m}^2 = 27,44 \text{ kN}$$

9

- Τιμή σχεδιασμού διατμητικής αντοχής για το Γ' τύπο αστοχίας (Απόσχιση πλευρικού κόνου σκυροδέματος):

$$V_{ud,c}^o = \frac{1,1}{\gamma_{Rd}} \sqrt{d_b} f_{cd} \left( \frac{l_b}{d_b} \right)^{1/5} c_p^{3/2} = \frac{1,1}{1,5} \sqrt{18 \times \frac{25}{1,5}} \times \left( \frac{180}{18} \right)^{1/5} \times (230)^{3/2} = 70,22 \text{ kN}$$

$$a_1 = \left( \frac{t}{1,4 c_p} \right)^{2/3} = \left( \frac{300 \text{ mm}}{1,4 \times 230 \text{ mm}} \right)^{2/3} = 0,95 < 1$$

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

$$a_2 = \max \left[ 0,3 + 0,7 \times 150 / 1,5 \times 230, (450 + 150) / 3,5 \times 230 \right]$$

$$a_2 = \max (0,60, 0,74) = 0,74 < 1$$

Επομένως :

$$V_{ud,c} = V_{ud,c}^o \times a_1 \times a_2 = 70,22 \times 0,95 \times 0,74 = 49,36 \text{ kN}$$

Τελικά :

$$V_{ud} = \min (V_{ud,a}, V_{ud,b}, V_{ud,c}) = \min (63,76, 27,44, 49,36) = 27,44 \text{ kN}$$

και η αστοχία αναμένεται να είναι Β' τύπου (Σύνθλιψη σκυροδέματος και δημιουργία πλαστικής άρθρωσης στο βλήτρο).

Αντίστοιχα, η τελική αντοχή σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (§6.1.2.2), προκύπτει (εφόσον  $V_{ud,b} = 27,44 < V_{ud,a} = 63,76$ ) ίση με  $V_{Rd} = V_{ud,b} = 27,44 \text{ kN}$ .

10

**2° αριθμητικό παράδειγμα**

Από τις σχέσεις προσδιορισμού του οριακού διατμητικού φορτίου των βλήτρων για τις περιπτώσεις αστοχίας Α' και Β' τύπου μπορούν να προκύψουν οι προϋποθέσεις υπό τις οποίες προηγείται ο ένας εκ των δύο.

Για να προηγηθεί ο Β' τύπος αστοχίας θα πρέπει να ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$V_{ud,b} \leq V_{ud,a}$$

$$\frac{1,65}{1,3} A_s \sqrt{f_{cd} f_{yd}} \leq \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$\frac{f_{cd}}{f_{yd}} \leq 0,207$$

$$\frac{f_{ck}}{f_{yk}} \leq \frac{0,207 \cdot 1,5}{1,15}$$

$$f_{ck} \leq 0,27 f_{yk}$$

Ακόμα και αν χρησιμοποιηθεί χάλυβας S220, πράγμα απίθανο γιατί δεν υπάρχει λόγος να μην χρησιμοποιηθεί χάλυβας S400 ή S500, η συνθήκη ικανοποιείται όταν:

$$f_{ck} \leq 0,27 \times 220 = 59,4 \text{ MPa.}$$

δηλαδή σε πραγματικές συνθήκες εργασιών ενίσχυσης, ο Α' τύπος αστοχίας των βλήτρων είναι αδύνατος γιατί απαιτείται χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος τουλάχιστον 60 MPa. Για χάλυβα S500 η συνθήκη γίνεται  $f_{ck} \leq 135 \text{ MPa.!!!}$

11

**3° αριθμητικό παράδειγμα**

Για βλήτρο S500 με μήκος αγκύρωσης  $l_b = 10 d_b$ , προσδιορίζεται στη συνέχεια η κρίσιμη απόσταση  $c_p$  (βλ. Σχήμα 6) πέραν της οποίας η κρίσιμη μορφή αστοχίας είναι πάντοτε τύπου Β'.

Το πάχος του στοιχείου και οι αποστάσεις από τα πλευρικά άκρα θεωρούνται μεγαλύτερες από  $1,5 c_p$  και ως εκ τούτου δεν επηρεάζουν το φορτίο αστοχίας του βλήτρου.

Για να προηγηθεί ο Β' τύπος αστοχίας θα πρέπει να ισχύουν:

$$V_{ud,c} \geq V_{ud,b}$$

$$\frac{1,1}{1,5} \sqrt{d_b} f_{cd} \left( \frac{l_b}{d_b} \right)^{1/5} c_p^{3/2} \geq \frac{1,3}{1,3} d_b^2 \sqrt{f_{cd} f_{yd}}$$

Στην παραπάνω σχέση χρησιμοποιούνται παντού μονάδες N και mm (Υπενθυμίζεται: 1MPa = 1N/mm<sup>2</sup>)

Επομένως πρέπει:

$$c_p^{3/2} \geq 858 \times 10^{-6} \sqrt{f_{yd}} d_b^{3/2}$$

Για S500

$$c_p^{3/2} \geq 0,858 \sqrt{\frac{500}{1,15}} d_b^{3/2} = 17,89 d_b^{3/2}$$

$$c_p \geq 6,85 d_b$$

Εξάλλου το πάχος του στοιχείου και οι πλευρικές αποστάσεις από τα άκρα του στοιχείου πρέπει να είναι τουλάχιστον  $1,5 \times 6,85 d_b \approx 10 d_b$ .

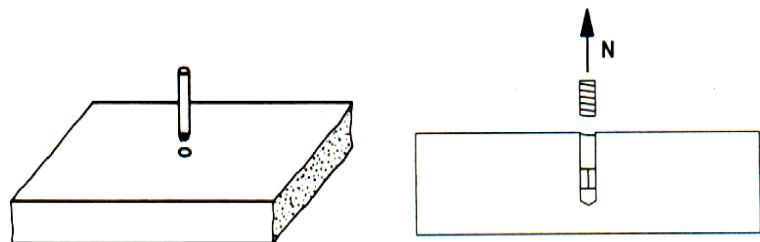
Στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. §6.1.2.2.(β)), η παραπάνω κρίσιμη τιμή του  $c_p$  δίνεται κατά τη μειωμένη:

$$c_p \geq 6 d_b$$

και η κρίσιμη απόσταση από τα άκρα, στη διεύθυνση κάθετα σ' αυτήν της εφαρμογής του φορτίου δίνεται ίση με  $3d_b$ !

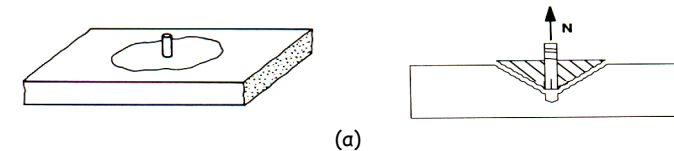
12

## ΔΡΑΣΗ ΑΓΚΥΡΙΟΥ

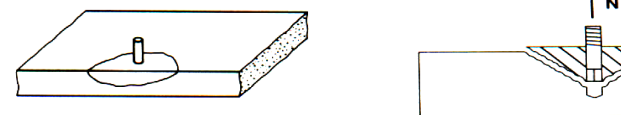


Αστοχία αγκυρίου λόγω διαρροής χάλυβα (Α' τύπος)

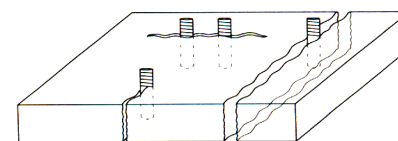
13



(α)



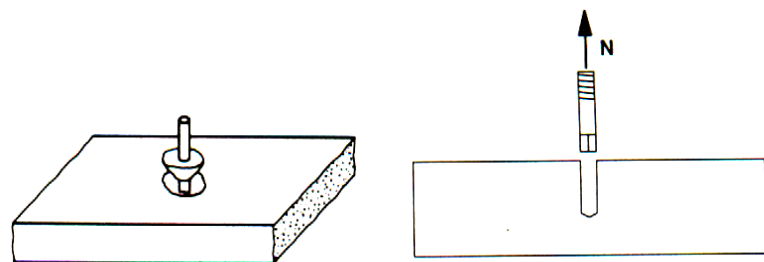
(β)



(γ)

Αστοχία λόγω απόσχισης ή διάρρηξης σκυροδέματος (Β' τύπος)

14



Αστοχία αγκυρίου λόγω ολίσθησης (διεπιφάνεια αγκυρίου με το περιβάλλον υλικό) (Γ' τύπος)

15

## Αντοχή Αγκυρίων

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

$$N_{ud,a} = A_s \cdot f_{yd} \quad \text{Α' τύπος αστοχίας}$$

$$N_{ud,b}^o = k_1 \sqrt{f_{cd}} \cdot l_b^{3/2} \quad [\sigma \epsilon N] \quad \text{Β' τύπος αστοχίας}$$

$$\text{όπου: } k_1 = \frac{7.5}{\gamma_c} \quad [\sigma \epsilon N^{0.5} / \text{mm}^{0.5}]$$

Πρέπει:

$$c_x \geq 1.5 \ell_b$$

$$c_y \geq 1.5 \ell_b$$

$$t \geq 2 \ell_b$$

$$\text{Ειδάλλως: } N_{ud,b} = N_{ud,b}^o \cdot \alpha_x \cdot \alpha_y \cdot \alpha_t$$

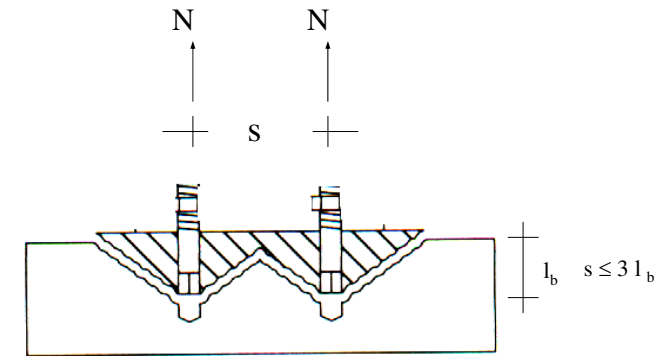
$$\text{όπου: } \alpha_x = 0.7 + \frac{0.3 c_x}{1.5 \ell_b} \leq 1.0, \alpha_y = 0.7 + 0.3 \frac{c_y}{1.5 \ell_b} \leq 1.0, \alpha_t = \left( \frac{t}{2 \ell_b} \right)^{2/3} \leq 1.5$$

16

$$N_{ud,c} = \frac{\tau_r}{\gamma_m} \pi l_b d_o \quad \text{Γ' τύπος αστοχίας (ολίσθηση στη διεπιφάνεια αγκυρίου-συνδετικού υλικού)}$$

$$N_{cd} = 4,5\pi l_e \sqrt{\frac{f_{ck}}{\gamma_c}} \varnothing \quad \text{Γ' τύπος αστοχίας (ολίσθηση στη διεπιφάνεια συνδετικού υλικού-σκυροδέματος)}$$

$$N_{ud,b} = \left[ 1 + \frac{(n_x - 1) \cdot s_x}{3l_b} \right] \left[ 1 + \frac{(n_y - 1) s_y}{3l_b} \right] N_{ud} \leq n_x n_y N_{ud,b}$$



Αλληλεπίδραση κώνων απόσχισης σε γειτονικά αγκύρια

**ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΔΡΑΣΗ ΒΛΗΤΡΟΥ-ΑΓΚΥΡΙΟΥ**

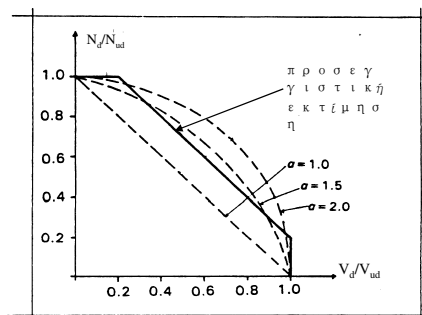
$$\left( \frac{V_d}{V_{ud}} \right)^a + \left( \frac{N_d}{N_{ud}} \right)^a = 1$$

$a=2$  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

$$\frac{V_d}{V_{ud}} + \frac{N_d}{N_{ud}} = 1,2 \quad V_d \leq V_{ud} \quad \text{και} \quad N_d \leq N_{ud}$$



Αλληλεπίδραση Δράσης Βλήτρου-Αγκυρίου

**4ο αριθμητικό παράδειγμα**

Σε ένα μεταλλικό σύνδεσμο Φ18 S500 με χαρακτηριστικά που περιγράφονται στα παραδείγματα 1 και 3 ως θεωρηθεί ότι ασκείται αξονικό φορτίο  $N_d = 20$  kN. Στην περίπτωση αυτή η διατημητική αντίσταση του συνδέσμου προκύπτει ως εξής:

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

όπου:

$V_{ud}=27,44$  kN, όπως έχει προκύψει από το 1<sup>ο</sup> παράδειγμα των βλήτρων,  $N_{ud}=59,68$  kN, όπως έχει προκύψει από το 1<sup>ο</sup> παράδειγμα των αγκυρίων και

$a=1,5$  επειδή και για τις δύο ανεξάρτητες δράσεις (βλήτρου και αγκυρίου) οι αστοχίες δεν έχουν προκύψει από διαρροή χάλυβα.

Επομένως:

$$\left( \frac{V_d}{27,44} \right)^{1,5} + \left( \frac{20}{59,68} \right)^{1,5} = 1 \Rightarrow V_d = 23,84 \text{ kN}$$

Προσεγγιστικά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η σχέση :

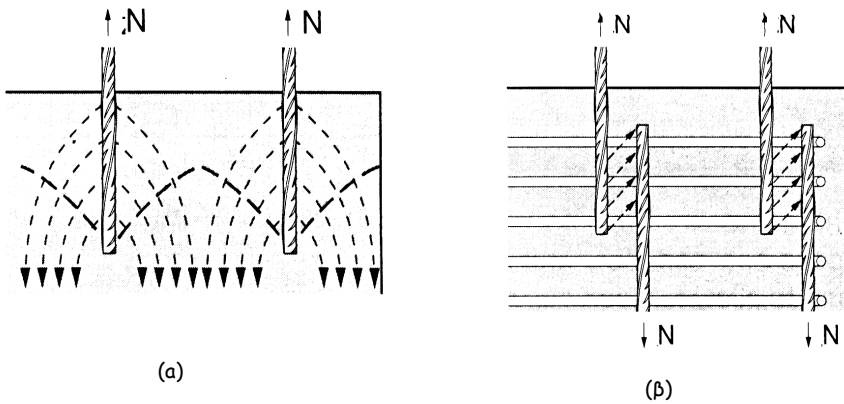
$$\frac{V_d}{V_{ud}} + \frac{N_d}{N_{ud}} = 1,2$$

Επομένως:

$$\frac{V_d}{27,44} + \frac{20}{59,68} = 1,2 \Rightarrow V_d = 23,73 \text{ kN}$$

Πράγματι η διαφορά των αποτελεσμάτων 23,84 kN και 23,73 kN, μπορεί να θεωρηθεί χωρίς σημασία.

**ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΝΕΩΝ ΡΑΒΔΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ**



Μεταφορά δυνάμεων στην περιοχή αγκύρωσης  
 α) Σε άοπλο σκυρόδεμα,  
 β) Σε οπλισμένο σκυρόδεμα

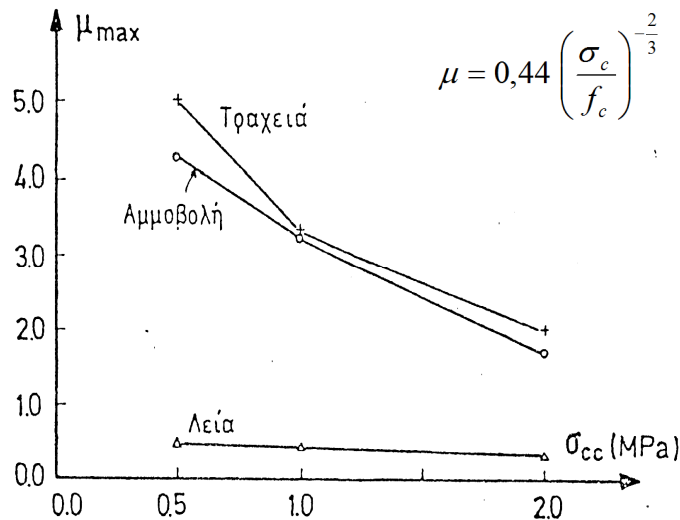
**Διατμητική Αντίσταση Διεπιφάνειας:  $V_{Rd}^{διεπιφ.}$**

Μηχανισμοί

- Τριβή και Συνοχή
- Δράση Βλήτρου
- Δράση Σφικτήρα
- Ηλεκτροσυγκολλήσεις

**ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΤΡΙΒΗΣ-ΣΥΝΟΧΗΣ**

Υπολογιστικά βοηθήματα



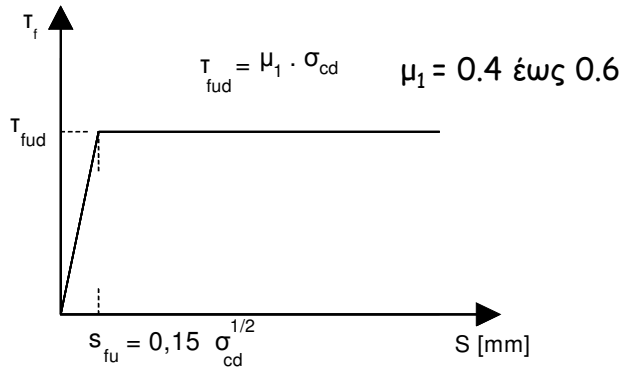
Εξάρτηση του συντελεστή τριβής από την τραχύτητα διεπιφάνειας

**ΣΥΝΟΧΗ σε διεπιφάνειες σκυρόδεμα-σκυρόδεμα**



$$\tau_c = \begin{cases} 0.25 f_{ct} & \text{για λείες διεπιφάνειες} \\ 0.75 f_{ct} & \text{για εκτραχυμένες διεπιφάνειες} \\ 1.00 f_{ct} & \text{για εκτοξευόμενο ή με χρήση ρητίνης} \end{cases}$$

**ΤΡΙΒΗ** σε διεπιφάνειες σκυρόδεμα-σκυρόδεμα



**Λεία άσπλη διεπιφάνεια**

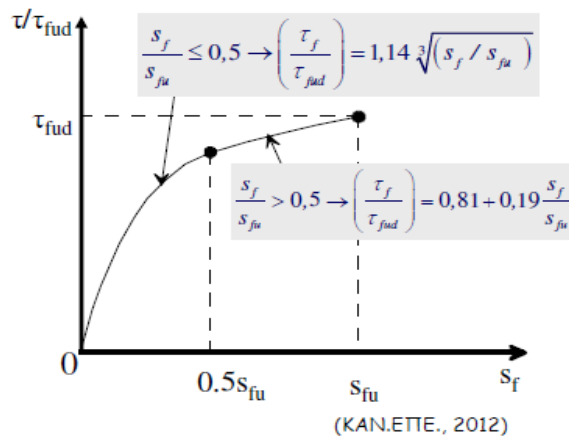
**Ανακύκλιση φόρτισης-Λεία** διεπιφάνεια

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

όπου:  
 $V_n(s)$  είναι η τέμνουσα δύναμη μετά από  $n$  κύκλους φόρτισης  
 $V_1(s)$  είναι η αντίστοιχη τέμνουσα στο 1ο κύκλο φόρτισης  
 $\delta$  συντελεστής που μπορεί να ληφθεί ίσος προς 0.15, σχεδόν ανεξάρτητα από τον τύπο του βλήτρου

**ΤΡΙΒΗ** σε διεπιφάνειες σκυρόδεμα-σκυρόδεμα

$$\tau_{fud} = \mu_2 \left( f_{cd}^2 \sigma_{cd} \right)^{1/3} \quad \mu_2 = 0.4 \text{ ή } 0.6 \text{ (εάν ο μηχανισμός τριβής προκαλεί δυσμείνεια)}$$



**Τραχεία άσπλη διεπιφάνεια**

**Ανακύκλιση φόρτισης-τραχεία** διεπιφάνεια

$$\frac{\Delta \tau_n}{\tau_1} = 0,05 \left( \frac{f_c}{\sigma_0} \right)^{1/2} (n-1)^{1/2} \left( \frac{S_f}{S_{fu}} \right)^{1/3}$$

όπου:  
 $S_f$  η μέγιστη επιβαλλόμενη ανακυκλιζόμενη ολίσθηση ( $< s_{fu}$ )  
 $T_1(s)$  η διατμητική αντίσταση κατά τον πρώτο κύκλο για επιβαλλόμενη ολίσθηση  $s_f$   
 $\sigma_0$  η κάθετη στην διεπιφάνεια θλιπτική τάση, η οποία προκύπτει ως άθροισμα εξωτερικώς επιβαλλόμενης θλίψεως και θλιπτικής τάσεως λόγω λειτουργίας σφινγκτήρα του σπλισμού που τέμνει την διεπιφάνεια.  
 $S_{fu}$  2,0 mm ή 1,00 mm, κατά τα προηγούμενα



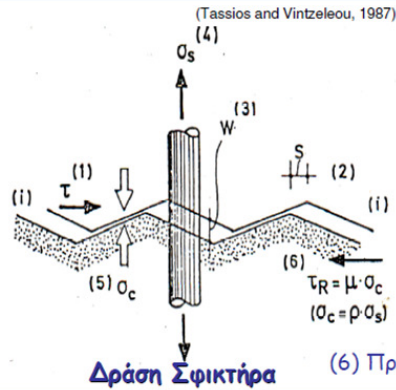
## ΔΡΑΣΗ ΣΦΙΚΤΗΡΑ

### Οπλισμένη διεπιφάνεια

#### 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 Διατμητική 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 ( $\sigma_c$ ) στη διεπιφάνεια
- (6) Πρόσθετη Τριβή → Πρόσθετη Διατμητική Αντίσταση

Δράση Σφικτήρα

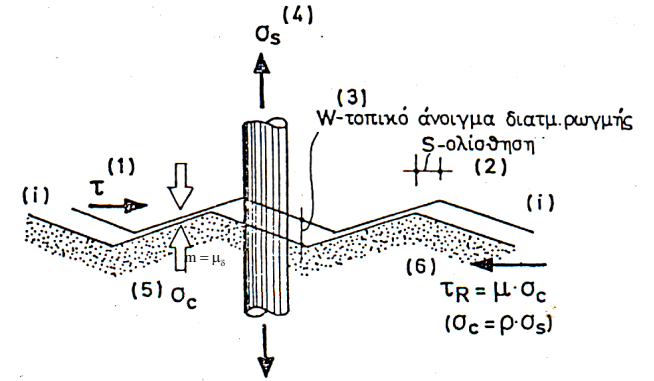
[Διαδοχή φαινομένων: (1),(2),..., (6)]

$$\tau = \frac{T}{A_{c\delta}} = \frac{\mu \cdot F_c}{A_{c\delta}}$$

$$F_c = F_s = A_s \cdot \sigma_s$$

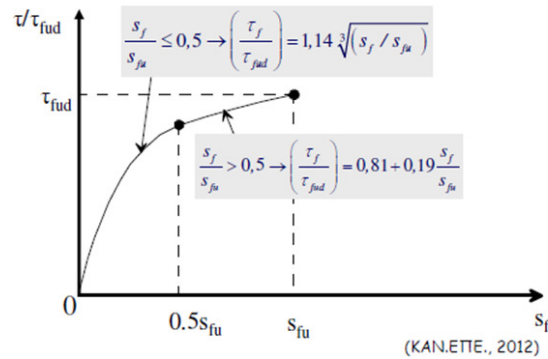
$$\tau = \mu \cdot \frac{A_s}{A_{c\delta}} \cdot \sigma_s$$

$$\tau = \mu \cdot \rho \cdot \sigma_s$$



Ανάπτυξη μηχανισμού τριβής λόγω εγκάρσιου οπλισμού

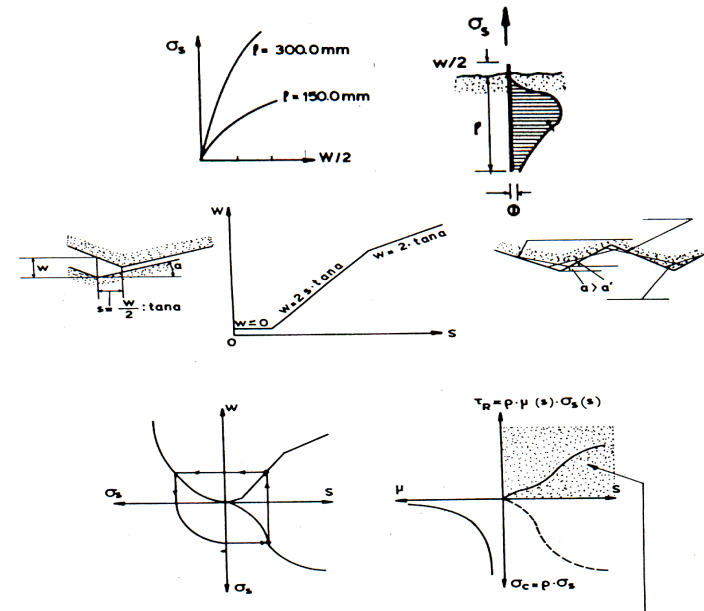
### Τριβή σε διεπιφάνειες σκυρόδεμα-σκυρόδεμα



$$\tau_{fud} = \mu_2 \cdot (f_{cd}^2 * (\sigma_{cd} + \rho_d f_{yd}))^{1/3} \leq 0.3 f_{cd}$$

όπου  $\mu_2 = 0.4$

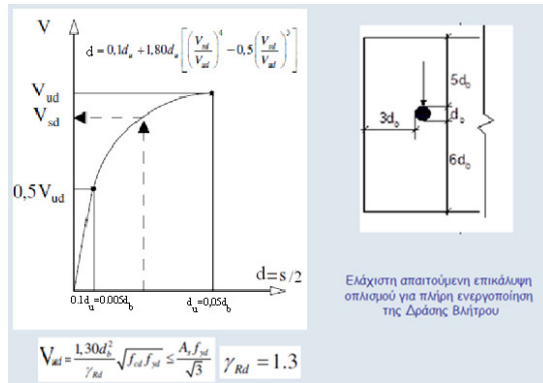
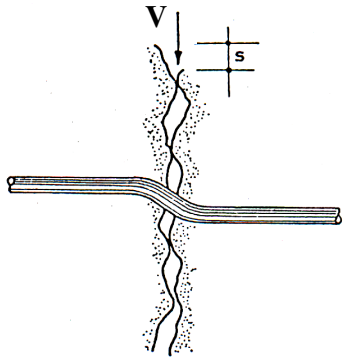
τραχεία οπλισμένη διεπιφάνεια



Σχέση τριβής (λόγω εγκάρσιου οπλισμού)-ολίσθησης

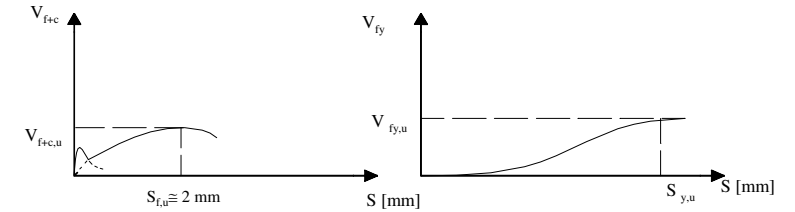


## ΔΡΑΣΗ ΒΛΗΤΡΟΥ



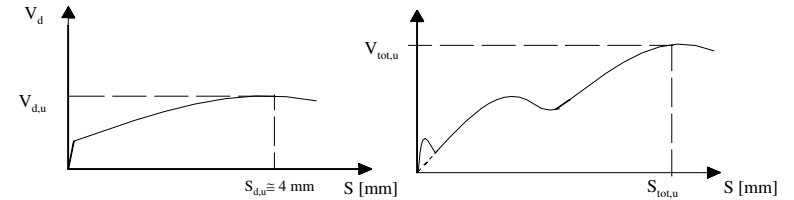
Η σχετική ολίσθηση ( $s$ ) στη διεπιφάνεια θα πρέπει να θεωρηθεί ίση με το **διπλάσιο** της μετακίνησης ( $d$ ) της κεφαλής του βλήτρου, θεωρούμενου ως ελεύθερου από τη μία άκρη.

## Αλληλεπίδραση μηχανισμών ανάληψης διατμητικού φορτίου



α) Δράση συνοχής και τριβής

β) Δράση τριβής λόγω εγκάρσιου σπλισμού



γ) Δράση βλήτρου

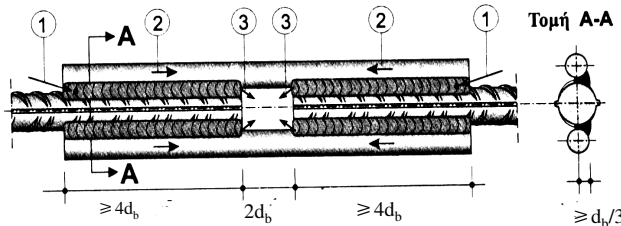
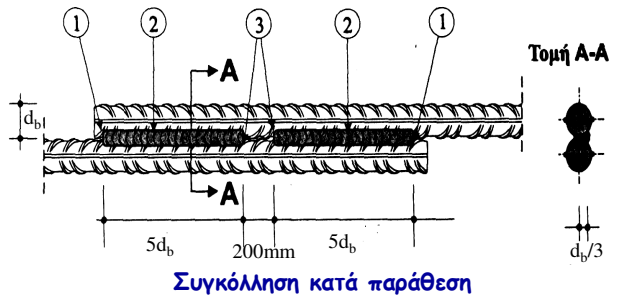
δ) Δράση όλων των μηχανισμών

$$\tau_{Rd,int} = \beta_D \tau_D + \beta_F \tau_{fd}$$

Για ανεκτή σχετική ολίσθηση  $s \leq 1,00 \text{ mm}$ ,  $\beta_D = 0,7$ ,  $\beta_F = 0,4$

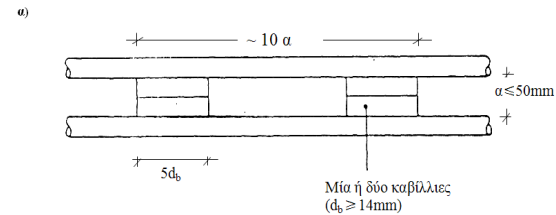
Για αβέβαιο  $s$  ή μηδενική εξωτερική θλίψη,  $\beta_D = \beta_F = 0,5$ .

## ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΗΣΕΙΣ



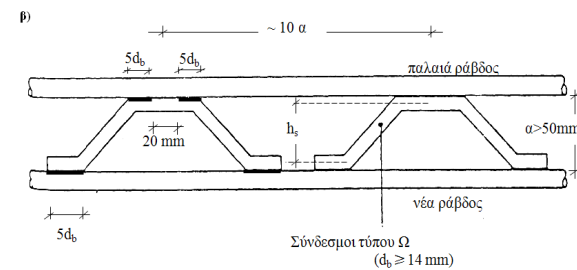
**Συγκόλληση με λωρίδες**

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



(α) ΔΥΣΚΑΜΠΤΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ

$$V_{ud}^{συγκολ.} = A_s f_{yd} / 2$$



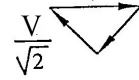
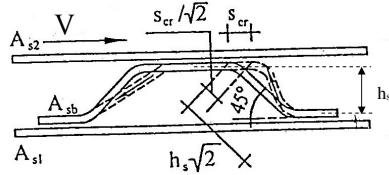
(β) ΕΥΚΑΜΠΤΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ

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

[kN, mm]

## ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ

## ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ "ΠΑΠΙΑΣ"



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

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

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

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

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

$$V_{ud} = \frac{V_u}{\gamma_{Rd=2}} = 10 \frac{A_s}{h_s}$$

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

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

37

5<sup>ο</sup> αριθμητικό παράδειγμα

Μία ράβδος οπλισμού Φ18 S220, που αποτελεί μέρος του υπάρχοντος οπλισμού ενός δομικού στοιχείου, ηλεκτροσυγκολλείται σύμφωνα με τα αναφερόμενα στο Κεφάλαιο 3 με μία νέα ράβδο οπλισμού Φ16 S500s.

Η συγκόλληση είναι πλήρως αποδεκτή σύμφωνα με ότι έχει αναφερθεί στο Κεφάλαιο 3 και το μέγιστο διατμητικό φορτίο του συνδέσμου μπορεί να εκτιμηθεί ως εξής:

α) περίπτωση ηλεκτροσυγκόλλησης (παλαιάς και νέας ράβδου) εν επαφή.

$$V_{ud}^{συνκ} = \min \left( \frac{\pi \times 18^2}{4} \times \frac{220}{1,15}, \frac{\pi \times 16^2}{4} \times \frac{500}{1,15} \right) = 48656 \text{ N} = 48,66 \text{ kN}$$

β) περίπτωση χρήσης "δύσκαμπτων" συνδέσμων S500s, διατομής Φ20 όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.31α.

$$V_{ud}^{συνκ} = 48,66 / 2 = 24,33 \text{ kN}$$

γ) περίπτωση χρήσης "εύκαμπτων" συνδέσμων S500s, διατομής Φ20 σχήματος Ω, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.31β, θεωρώντας ότι η αξονική απόσταση των προς συγκόλληση ράβδων είναι 80mm.

$$h_z = 80 - \frac{18}{2} - \frac{16}{2} - 20 = 43 \text{ mm}$$

$$10 \frac{A_z}{h_z} = 10 \frac{\pi \times 20^2}{4 \times 43} = 73 \text{ kN}$$

$$V_{ud}^{συνκ} = \min(48,66, 2 \times 73) = 48,66 \text{ kN}$$

38

## Κατασκευαστικές διατάξεις

1) Ελάχιστος Εγκάρσιος οπλισμός  $\rho_s = \frac{A_{sd}}{A_{cs}}$

• Εν γένει:  $\rho_{s,\min} = 0,20 f_{ctm} / f_{yk} \geq 0,12\%$  (KAN.ETPE. §8.2.1.3 β(v))

• Για πλάκες:  $\rho_{s,\min} = 0,10 f_{ctm} / f_{yk} \geq 0,06\%$  (KAN.ETPE. §8.2.1.3 β(v))

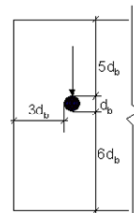
2) Ελάχιστες και μέγιστες αποστάσεις (s) μεταξύ διαδοχικών βλήτρων:

$$s_{\max} \leq (6h_{\min}, 800 \text{ mm}), \quad s_{\min} > 5d_b \quad (\text{KAN.ETPE. §6.1.2.2.(v)})$$

3) Ελάχιστες επικαλύψεις

- Κατά την διεύθυνση φορτίσεως: Ελάχιστη εμπρός επικάλυψη =  $6d_b$
- Ελάχιστη πίσω επικάλυψη =  $5d_b$
- Κάθετα στην δ/νση φορτίσεως: Ελάχιστη πλευρική επικάλυψη =  $3d_b$

(KAN.ETPE. §6.1.2.2.(β))



39

## Κατασκευαστικές διατάξεις

4) Αγκύρωση βλήτρων:

• για χημικά πακτωμένους ράβδους:  $l_b \geq 8 \cdot d_b$  (KAN.ETPE. §6.1.2.2.(δ))

- σε εφελκόμενη ζώνη να συναντήσει άλλους οπλισμούς
- εξασφάλιση δυνατότητας αγκύρωσης για μια ελάχιστη εφελκυστική δύναμη μεγέθους π.χ.

$$N_d = 0,5 \cdot A_{sd} \cdot f_{yd}$$

βλήτρων μορφής Γ με ελάχιστο εξέχον τμήμα εντός της στρώσης του σκυροδέματος  $5d_b$  και καμπτόμενο σκέλος, σε διεύθυνση κάθετη προς την δράση του διατμητικού φορτίου, μήκους  $5d_b$ .

5) Απόσταση πρώτου βλήτρου:

$$c = \min(7d_b, 100 \text{ mm}) \geq 5d_b$$

Η διάμετρος της οπής στην οποία τοποθετείται το αγκύριο, όχι

μεγαλύτερη από:  $d_b + 5 \text{ mm}$  (KAN.ETPE. §6.1.2.3.a(iii))

40

**ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ  
ΠΑΛΑΙΟΥ-ΝΕΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ  
ΛΟΓΙΚΗ ΤΟΥ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ**

Επισκευασμένο/Ενισχυμένο Στοιχείο



Πολυφασικό Στοιχείο



Σύνθετο Στοιχείο



Επιρροή Σύνδεσης στην Διεπιφάνεια

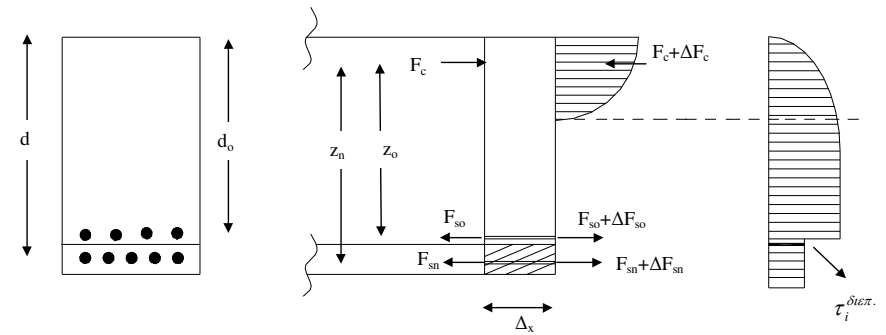
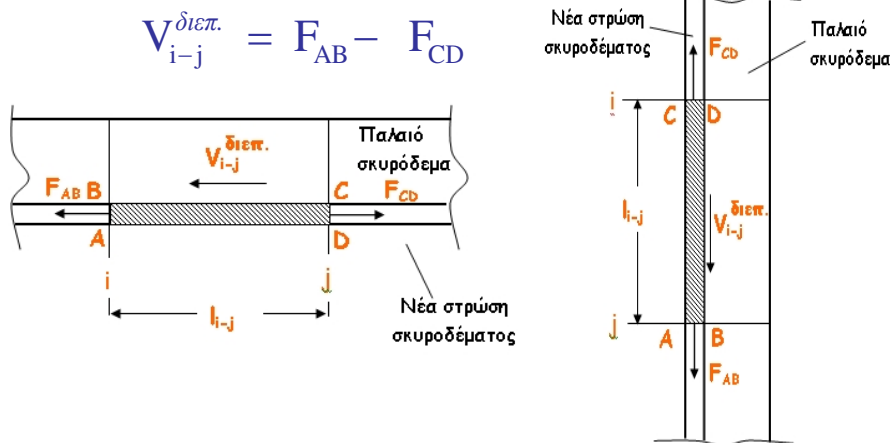
**ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΤΙΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ**

$$S_d \leq R_d$$

Δράση στην Διεπιφάνεια  $\leq$  Αντίσταση στην Διεπιφάνεια

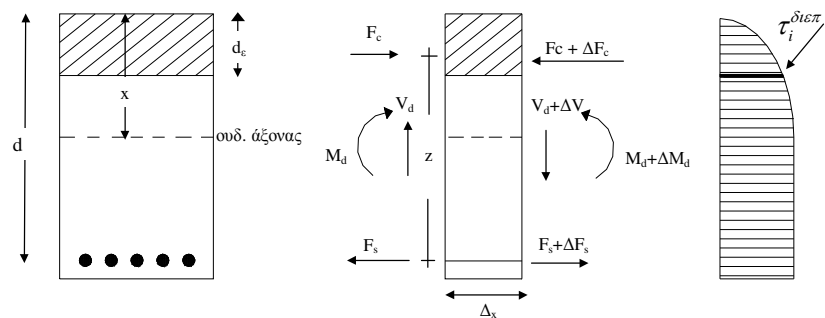
$$V_{S_d}^{διεπιφ.} \leq V_{R_d}^{διεπιφ.}$$

**ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΣΤΙΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ**



$$\tau_i^{διεπ.} = \frac{V_{sd,i}}{b_n \cdot z_n \cdot \left( 1 + \frac{A_{so}}{A_{sn}} \cdot \frac{d_o - x}{d_n - x} \cdot \frac{z_o}{z_n} \right)}$$

Διατμητική τάση στη διεπιφάνεια στην εφελκόμενη ζώνη



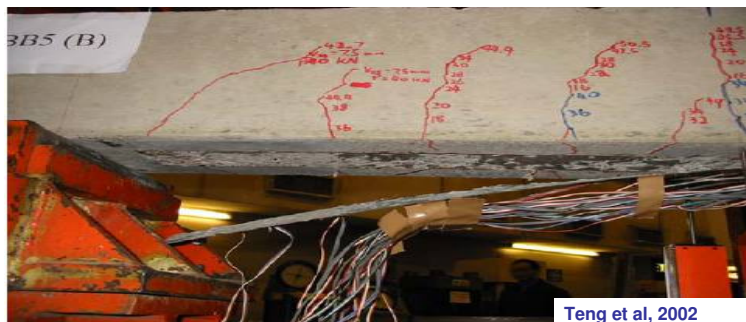
$$d_\epsilon \leq x \quad \tau_i^{\deltaιεπ} = \frac{V_{sd,i}}{b \cdot z} \frac{d_\epsilon}{x} \left(2 - \frac{d_\epsilon}{x}\right)$$

$$d_\epsilon > x \quad \tau_i^{\deltaιεπ} = \frac{V_{sd,i}}{b \cdot z}$$

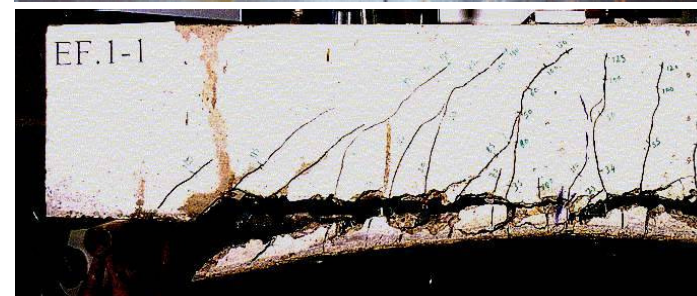
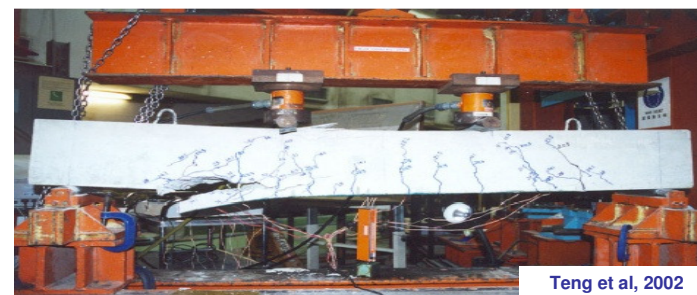
όπου  $d_\epsilon$  είναι το πάχος ενίσχυσης

Διατμητική τάση στη διεπιφάνεια στη θλιβόμενη ζώνη

## ΕΠΙΚΟΛΛΗΣΗ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ Η ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

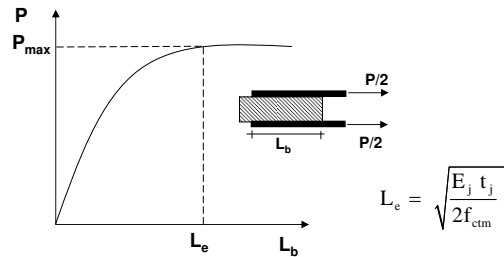


Αναλαμβανόμενη δύναμη επικολλητών φύλλων συναρτήσεσι του μήκους αγκύρωσης



Απόσχιση επικάλυψης σκυροδέματος στο πέρας του σύνθετου υλικού

## Αποκόλληση Ελασμάτων ή Υφασμάτων



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

$$P_{max} = \beta \tau_b^{\alpha_{\text{ποκ}}} b_j L_e$$

$$P_{max} = b_j t_j \sigma_{j,max} = b_j t_j E_j \varepsilon_{j,max}$$

$$\delta_k = \bar{\varepsilon}_j L_e = \frac{\varepsilon_{j,max}}{2} L_e$$

$$P_{max} = b_j t_j E_j \frac{2\delta_k}{L_e}$$

$$k f_{ctm} L_e = \frac{2t_j E_j \delta_k}{L_e} \quad L_e = \sqrt{\left(\frac{2\delta_k}{k}\right) \cdot \frac{E_j \cdot t_j}{f_{ctm}}} \quad L_e = \sqrt{\frac{E_j t_j}{2f_{ctm}}}$$

$$\sigma_{j,crit} = \frac{P_{max}}{b_j t_j} = \frac{\beta f_{ctm} b_j L_e}{b_j t_j} = \beta \sqrt{\frac{E_j f_{ctm}}{2t_j}}$$

49

## Τάση Σχεδιασμού Υλικού Ενίσχυσης

$$\sigma_{jd} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot \sigma_j$$

### Πιθανές Μορφές Αστοχίας

- Θραύση του υλικού ενίσχυσης:  $\sigma_{jd} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot f_{jk}$

- Πρόωρη αποκόλληση του υλικού ενίσχυσης (στα άκρα ή σε ενδιάμεσες θέσεις)  $\sigma_j = \frac{\sigma_{j,crit}}{\gamma_{Rd}} \quad \gamma_{Rd} = 1,2$

$$\sigma_{j,crit} = \beta \frac{\tau_b^{\alpha_{\text{ποκ}}}}{t_j} L_e$$

$$\tau_b^{\alpha_{\text{ποκ}}} = f_{ctm} \quad \beta = \beta_w \cdot \beta_L \quad \text{Διορθωτικός συντελεστής}$$

$\beta_w$ : Επιρροή πλάτους σπλισμού ενίσχυσης

$$\beta_w = \sqrt{\frac{2 - b_j/b_w}{1 + b_j/b_w}} \quad b_j = \text{το πλάτος του υλικού ενίσχυσης}$$

$b_w = \text{το πλάτος του εφελκόμενου πέλματος του δομικού στοιχείου επί του οποίου επκολλάται το υλικό ενίσχυσης}$

Ενεργό μήκος αγκύρωσης

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

$\beta_L$ : Επιρροή διατιθέμενου μήκους αγκύρωσης

$$\beta_L = \sin\left(\frac{\pi\lambda}{2}\right) \cong \lambda(2-\lambda) \quad \text{όπου } \lambda = \frac{L_{av}}{L_e} < 1,0$$

και  $L_{av}$  το διατιθέμενο μήκος αγκύρωσης του σπλισμού ενίσχυσης

$$\beta_L = 1,0 \quad \text{όταν } \lambda \geq 1,0$$

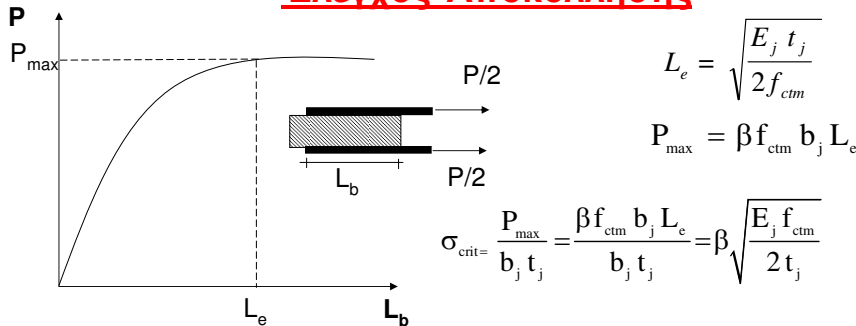
Αν στρώσεις  $k \geq 4$

$$t_j = \psi \cdot k \cdot t_{j1} \quad t_{j1} = \text{πάχος στρώσης}$$

$$\psi = k^{-1/4} \quad \text{για } k \geq 4$$

50

## Έλεγχος Αποκόλλησης



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

$$P_{max} = \beta f_{ctm} b_j L_e$$

$$\sigma_{crit} = \frac{P_{max}}{b_j t_j} = \frac{\beta f_{ctm} b_j L_e}{b_j t_j} = \beta \sqrt{\frac{E_j f_{ctm}}{2t_j}}$$

Ας θεωρηθεί η περίπτωση μίας δοκού από σκυρόδεμα C16/20 που ενισχύεται στο εφελκόμενο 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:

$$f_{ctm} \cong 0,3 f_{ck}^{2/3} = 0,316^{2/3} = 1,92 \text{ MPa} \quad \text{και} \quad \beta = \sqrt{\frac{2-1/2}{1+1/2}} = 1$$

$$\sigma_{j,crit} = \sqrt{\frac{200 \times 1,92 \times 10^3}{2}} = 438 \text{ MPa} \quad \sigma_{jd} = \frac{438}{1,2} = 365 \text{ MPa}$$

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

$$t_j \uparrow \Rightarrow \sigma_{j,crit} \downarrow$$

51

## ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

52



**Περίσφιγξη με ΙΟΠ**



53

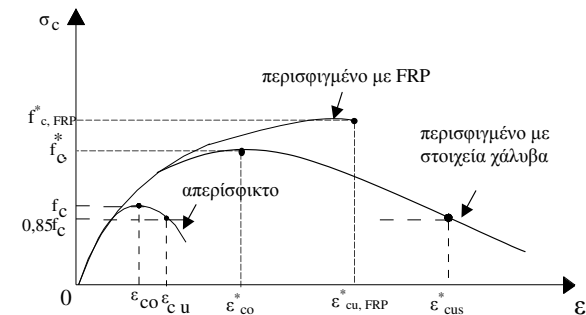


54

**Περίσφιγξη με Μεταλλικά Ελάσματα ή Μεταλλικό Κλωβό**



55



$$f_c^* = (1 + 2,5 a\omega_w) f_c \text{ για } a\omega_w \leq 0,1$$

$$f_c^* = (1,125 + 1,25 a\omega_w) f_c \text{ για } a\omega_w > 0,1$$

**Χαλύβδινη περίσφιγξη**  $\epsilon_{co}^* = 2,0 \times 10^{-3} (f_c^* / f_c)^2$

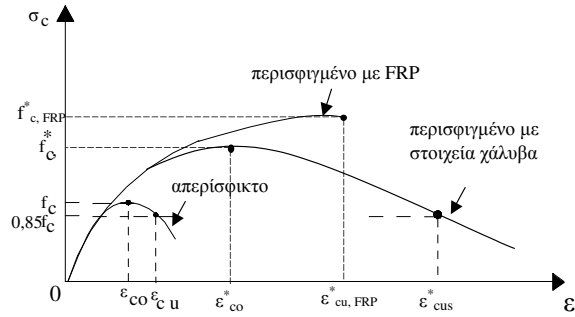
$$\epsilon_{cu}^* = 3,5 \times 10^{-3} + 0,1 a\omega_w$$

**Περίσφιγξη ΙΟΠ**  $\epsilon_{cu}^* = \epsilon_{co}^* = \gamma_{IOΠ} 0,0035 (f_c^* / f_c)^2$

$\gamma_{IOΠ} = 1,00$  (για ΙΟΠ με ίνες άνθρακα) και  $2,00$  (για ΙΟΠ με ίνες υάλου)

56

**Αναθεωρημένες Σχέσεις (ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2016)**



$$f_c^* = f_c (1 + K) = f_c \left[ 1 + 3,5 \left( \frac{\alpha \rho_{sx} f_{yw}}{f_c} \right)^{3/4} \right]$$

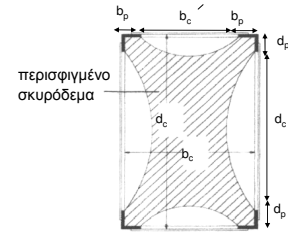
όπου  $\rho_{sx} = \frac{A_{sx}}{b_w s_h}$

**Χαλύβδινη περίσφιξη**

$$\varepsilon_{co}^* = \varepsilon_{co} (1 + 5K)$$

$$\varepsilon_{cu}^* = 0,004 + 0,4 \frac{\alpha \rho_{sx} f_{yw}}{f_c^*}$$

**Περίσφιξη με χαλύβδινο κλωβό**



$$\alpha = \alpha_\eta \alpha_s$$

$$\alpha_\eta = 1 - \frac{1}{3A_c} [b_c^2 (1 - \beta)^2 + d_c^2 (1 - \gamma)^2]$$

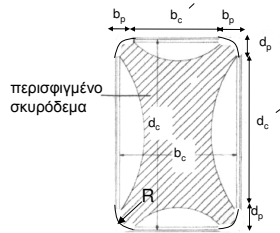
όπου  $A_c = b_c \cdot d_c$  και  $\beta = \frac{2b_p}{b_c}$ ,  $\gamma = \frac{2d_p}{d_c}$

$b_p$  και  $d_p$  είναι οι διαστάσεις των γωνιακών ελασμάτων (συχνά  $b_p = d_p = 50\text{mm}$ ) με ελάχιστο πάχος 5mm.

Μπορεί να ληφθεί  $\alpha_s = 0,9$

Για περίσφιξη με κολλάρα τα  $\alpha_\eta$  και  $\alpha_s$  λαμβάνονται όπως για κοινούς συνδετήρες, με περισφισμένο τμήμα το σύνολο της διατομής  $b_c \times d_c$

**Περίσφιξη με ινοπλισμένα πολυμερή**



$$\alpha = \alpha_\eta \alpha_s$$

$$\alpha_\eta = 1 - \frac{1}{3A_c} [b_c^2 (1 - \beta)^2 + d_c^2 (1 - \gamma)^2]$$

όπου  $A_c = b_c \cdot d_c$  και  $\beta = \frac{2b_p}{b_c}$ ,  $\gamma = \frac{2d_p}{d_c}$

$$\alpha_s = (1 - \frac{s'}{2b_c})(1 - \frac{s'}{2d_c})$$

$b_p$  και  $d_p$  η προβολή των διαστάσεων της εξομάλυνσης (στρογγυλεύσεως) των ακμών του στοιχείου.

Επιδιώκεται το μέγιστο δυνατό, όμως η δυνατότητα εξαντλείται από τη θέση των συνδετήρων. (Συνήθως 3-5 cm).

Για περίσφιξη με συνεχή φύλλα προφανώς  $\alpha_s = 1$

Υπενθυμίζεται (§ 4.4.3.ε) ότι ανάλογα με τον βαθμό εξομάλυνσης των ακμών η απομένουσα διαθέσιμη παραμόρφωση αστοχίας του ΙΟΠ είναι:

$$\varepsilon_{u,res} = \varepsilon_u - \varepsilon_o \text{ και } f_{ju,res} = E_j \varepsilon_{u,res}$$

όπου:  $\varepsilon_o = \frac{t}{2R}$   $R = \frac{b_p + d_p}{2}$





Επιρροή Πλήθους Στρώσεων ΙΟΠ

$$f'_{ju} = f_{ju, res} \Psi$$

$$\Psi = 1 \quad \text{για } k \leq 3$$

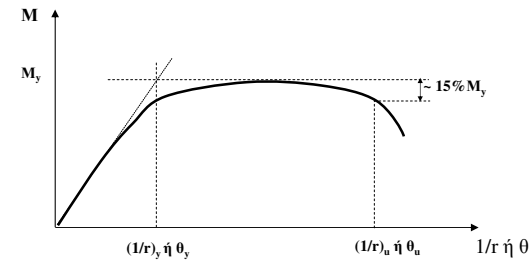
$$\Psi = k^{-1/4} \geq 3/k \quad \text{για } k \geq 4$$

$$f_c^* = f_c (1+K) = f_c \left[ 1 + 3,5 \left( \frac{\alpha \rho_j f'_{ju}}{f_c} \right)^{3/4} \right]$$

Για συνεχή φύλλα

$$\rho_j = A_j / b_w S_h = 2t_j / b_w$$

61

Διαγράμματα M-1/r και M-θ

$$\mu_{1/r} = \frac{(1/r)_u}{(1/r)_y}$$

$$\mu_\theta = \frac{\theta_u}{\theta_y}$$

$$\varepsilon_{cu}^* = 2,2 \mu_{1/r} \varepsilon_{sy} \quad \nu \leq 0,0035$$

$$\varepsilon_{cu}^* = (2,6 \frac{f_c}{f_{cc}}) \mu_{1/r} \varepsilon_{sy} \quad \nu \leq 0,004$$

$$\mu_\delta = \mu_\theta$$

$$\mu_\delta = \mu_\theta \frac{H_{op.}}{H_{tot.}} \quad \text{μηχανισμός "μαλακού" ορόφου}$$

$$\frac{\mu_{1/r} - 1}{\mu_\delta - 1} = 3 \quad \text{ή } 2$$

62

Σχέσεις q και μ

$$q = q_u \quad q_\pi$$

$$q_u = \alpha_u / \alpha_1 \quad \text{Υπεραντοχή κατά ΕΚ-1}$$

$$\mu_\delta = q_\pi \quad \text{όταν } T \geq T_c$$

και

$$\mu_\delta = 1 + (T_c / T)(q_\pi - 1) \quad \text{όταν } T < T_c$$

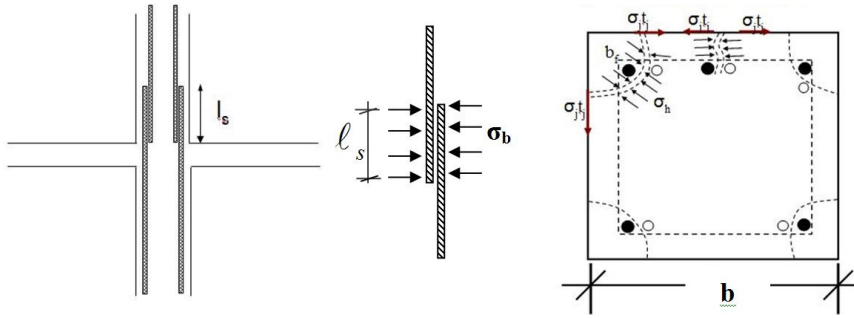
$$m = \mu_\delta \quad \text{ή} \quad m = \mu_\theta$$

63

**ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΕΠΑΡΚΩΝ  
ΑΝΑΜΟΝΩΝ**

64

**Αποκατάσταση Ανεπαρκών Αναμονών**



$$T = \mu \sigma_b \ell_s b_f$$

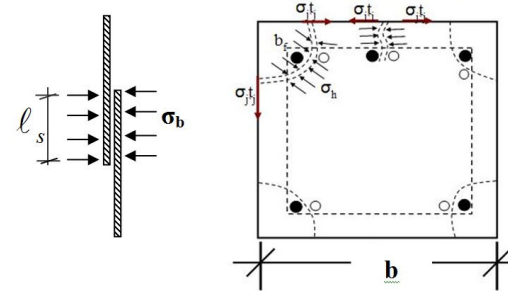
$$T = (1 - \lambda_s) F_y$$

$$T = \mu \sigma_b \ell_s b_f = (1 - \lambda_s) A_b f_y$$

$$\sigma_b = \frac{(1 - \lambda_s) A_b f_y}{\mu \ell_s b_f}$$

65

**Αποκατάσταση Ανεπαρκών Αναμονών**



$$A_j = t_j w_j$$

$$t_j = \psi k t_{j1}$$

για  $k \geq 4 \quad \psi = k^{-1/4}$   
για  $k \leq 3 \quad \psi = 1$

- Για γωνιακές ράβδους  $\beta < \sqrt{2}$  και συνήθως  $\beta = 1$
  - Για ενδιάμεσες ράβδους  $\lambda_s = \ell_s / \ell_{s0}$
- Συνιστάται  $\lambda_s = 0$

$$T = \mu \beta F_j = \mu \beta \sigma_j t_j \ell_s$$

ή

$$(1 - \lambda_s) A_b f_y = \mu \beta \sigma_j t_j \ell_s$$

$$t_j = \frac{(1 - \lambda_s) A_b f_y}{\beta \mu \sigma_j \ell_s} \quad (1)$$

Αν αντί για ολόσωμα μανδύα χρησιμοποιούνται κολλάρα η σχέση (1) χρησιμοποιείται αντικαθιστώντας το  $t_j$  με  $t_j = A_j / s_j$

66

$$\sigma_j = E_j \varepsilon_j$$

$$\varepsilon_j = \sqrt{2} w_d / \bar{b}$$

$$w_d = 0.6 s_d^{2/3}$$

Το  $S_d$  επιλέγεται: **0,3 mm** για στάθμη επιτελεστικότητας Α και **0,4 mm** για στάθμη επιτελεστικότητας Β και Γ

Το  $\mu$  κυμαίνεται: **μεταξύ 0,4 και 2,0**  
**αδρομερώς να θεωρείται  $\mu=1$ .**

67

**Θ. Τάσιος για Γωνιακές Ράβδους**

$$\mu = \mu_o \left( \frac{f_c}{\sigma_b} \right)^{2/3}$$

$$\frac{t_j}{d_s} = \gamma_{Rd,1} \left[ \left( \frac{f_y}{f_c} \right) : \left( 2,2 \frac{s_d}{s_u} + 0,25 \right) \left( \frac{l_s}{d_s} \right) - 0,2 \left( \frac{2c}{d_s} + 1,5 \right) \right]^2 : \left( \frac{w_d}{d_s} \right) \left( \frac{E_j}{f_c} \right) \left( \frac{f_{ctm}}{f_c} \right)$$

$$t_j = \gamma_{Rd,1} \left[ k_1 \left( \frac{f_y d_s}{f_c \ell_s} \right) - 0,4 \frac{c}{d_s} - 0,30 \right]^2 \frac{f_c^2 d_s^2}{k_2 E_j f_{ctm}} \quad (\text{mm})$$

$$t_j = \frac{\gamma_{Rd,2} \times 8,2 \left( \frac{f_y^3}{f_u f_c^2} \right) \left( \frac{d_s^2}{a_N \ell_s} \right)^3}{(S_d : S_u)} a_N$$

όπου  $a_N = \sqrt{2} (2c + 1,5d_s)$

- $k_1 = 1.7$  για στάθμη επιτελεστικότητας Α
- $k_1 = 1.5$  για στάθμη επιτελεστικότητας Β και Γ
- $k_2 = 0.3$  για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας

$s_u \approx 2\text{mm}$  η ολίσθηση όπου επιστρατεύεται η μέγιστη αντίσταση τριβής

Στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τον σχεδιασμό χρησιμοποιείται

$$\gamma_{Rd,1} = 1,3 \text{ και } \gamma_{Rd,1} \approx 1,5$$

68

**Ανάρτηση**

**[www.episkeves.civil.upatras.gr](http://www.episkeves.civil.upatras.gr)**