

### 3.3 ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕ ΑΝΕΠΑΡΚΗ ΜΗΚΗ ΑΝΑΜΟΝΩΝ

#### 3.3.1. Γενικά

##### Ενεργή Παραμόρφωση και Τάση Οπλισμού Περίσφιγξης

Πειράματα σε υποστυλώματα με ματισμένες ράβδους έδειξαν ότι η ολίσθηση κατά μήκος μίας κρίσιμης ρωγμής διάρρηξης, στην μεταξύ των ράβδων, περιοχή ξεκινά όταν η παραμόρφωση του υλικού περίσφιγξης (και επομένως η εγκάρσια παραμόρφωση διόγκωσης του σκυροδέματος) έχει μέγεθος μεταξύ 1‰ και 2‰. Επομένως προτείνεται (Priestley et al, 1996 - Daudey and Filiatrault 2000) να τεθεί ένα πάνω όριο αποδεκτής εγκάρσιας του σκυροδέματος (και αντιστοίχως της ενεργού παραμόρφωσης της αξονικής περιμετρικής παραμόρφωσης του στοιχείου περίσφιγξης)  $\varepsilon_{j,ef} = 1,5\text{‰}$ , θεωρώντας ότι οι ράβδοι μαζί με το περιβάλλον αυτό σκυρόδεμα θα ολισθήσουν (και θα αστοχήσει το στοιχείο), αν όταν αναπτυχθεί η παραπάνω παραμόρφωση δεν ενεργοποιηθεί ένας μηχανισμός σφιχτήρα (clamping force) για την ανάπτυξη τριβής κατά μήκος των ρωγμών διάρρηξης.

Αλλού οι τιμές προτείνονται συντηρητικά μικρότερες  $\varepsilon_{j,ef} = 1\text{‰}$  (Priestley and Seible, 1995 - Priestley and Seible, 1996 - Seible et al 1991 - FHWA 1995 (βλ. 7)). Η λογική μιας μέγιστης αποδεκτής  $\varepsilon_{j,ef}$  είναι εν γένει αποδεκτή στη βιβλιογραφία, όμως οι τιμές που μετρώνται πειραματικά μπορεί να διαφέρουν, όπως  $\varepsilon_{j,ef} = 3,5\text{‰}$  (Hawkins et al, 2000). Αλλού διαπιστώνεται σχετική συμφωνία όπως  $\varepsilon_{j,ef} = 1\text{‰} - 1,8\text{‰}$  (Harries et al, 2003). Στις συστάσεις του IDOT (Illinois Department of Transportation), για τον σχεδιασμό προτείνεται  $\varepsilon_{j,ef} = \min(1/3 \varepsilon_{ju}, 3\text{‰})$  (Hawkins et al, 2000).

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό είναι ότι η αποδοτικότητα της περίσφιγξης εξαρτάται μόνο από την ατένεια του υλικού περίσφιγξης. Επομένως για χάλυβα ή ΙΟΠ από άνθρακα η ενεργή τάση περίσφιγξης δεν αναμένεται να ξεπεράσει τα 500MPa και για τον σχεδιασμό θα ήταν φρόνιμο να εκτιμηθεί  $\sigma_{j,ef} = 0,001 \cdot E_j = 0,001 \cdot 200 \text{ GPa} = 200 \text{ MPa}$ . Για ενίσχυση με ΙΟΠ από αραμίδιο ή γυαλί οι αντίστοιχες τιμές είναι δραματικά μικρότερες λόγω του αρκετά μικρότερου  $E_j$ . Συγκρίνοντας με τις αντίστοιχες τιμές αντοχής προκύπτει ότι στην περίπτωση των ΙΟΠ, το μεγάλο πλεονέκτημα της υψηλής τους αντοχής μένει ανεκμετάλλευτο, αφού η επιστρατευόμενη τάση τους, στην καλύτερη περίπτωση (με ίνες άνθρακα) κυμαίνεται μεταξύ 5 και 10% της αντοχής τους.

##### Ισοδύναμο Πάχος $t_{j,eq}$ Όταν Χρησιμοποιούνται Επάλληλες Στρώσεις Ινοπλισμένου Σκυροδέματος

Όπως έχει διαπιστωθεί πειραματικά, η απόδοση πολλών επάλληλων στρώσεων υφάσματος δεν είναι ανάλογη με το συνολικό πάχος των υφασμάτων.

Πολλοί λόγοι έχουν διατυπωθεί για την ερμηνεία του φαινομένου, όπως για παράδειγμα η σχετική ολίσθηση μεταξύ των στρώσεων καθώς και το κατασκευαστικό "κενό" που μπορεί να υπάρξει στην φάση από αναπόφευκτη "κακή" επικόλληση της μιας στρώσης με την άλλη.

Έτσι για  $n$  στρώσεις υφάσματος, το ισοδύναμο πάχος  $t_{j,eq}$  είναι μικρότερο του  $n t_{j,l}$  (όπου  $n$  είναι το πλήθος των στρώσεων και  $t_{j,l}$  είναι το πάχος μιας στρώσης υφάσματος).

Τίθεται επομένως  $t_{j,eq} = \psi n t_{j,l}$  όπου  $\psi < 1$  και  $\psi = a^{n-1}$  όπου  $a$  συντελεστής με τιμές που προσωρινά θα μπορούσε να ληφθεί ίσος με 0,90 - 0,95.

Έχει επίσης προταθεί:

$\psi = n^{-1/2}$  ή  $n^{-1/4}$  για μέτρια ή καλή εφαρμογή συγκόλλησης των επαλλήλων στρώσεων (Τάσιος, 2003).

### Μέγεθος Συντελεστή Τριβής στην Διεπιφάνεια Ολίσθησης

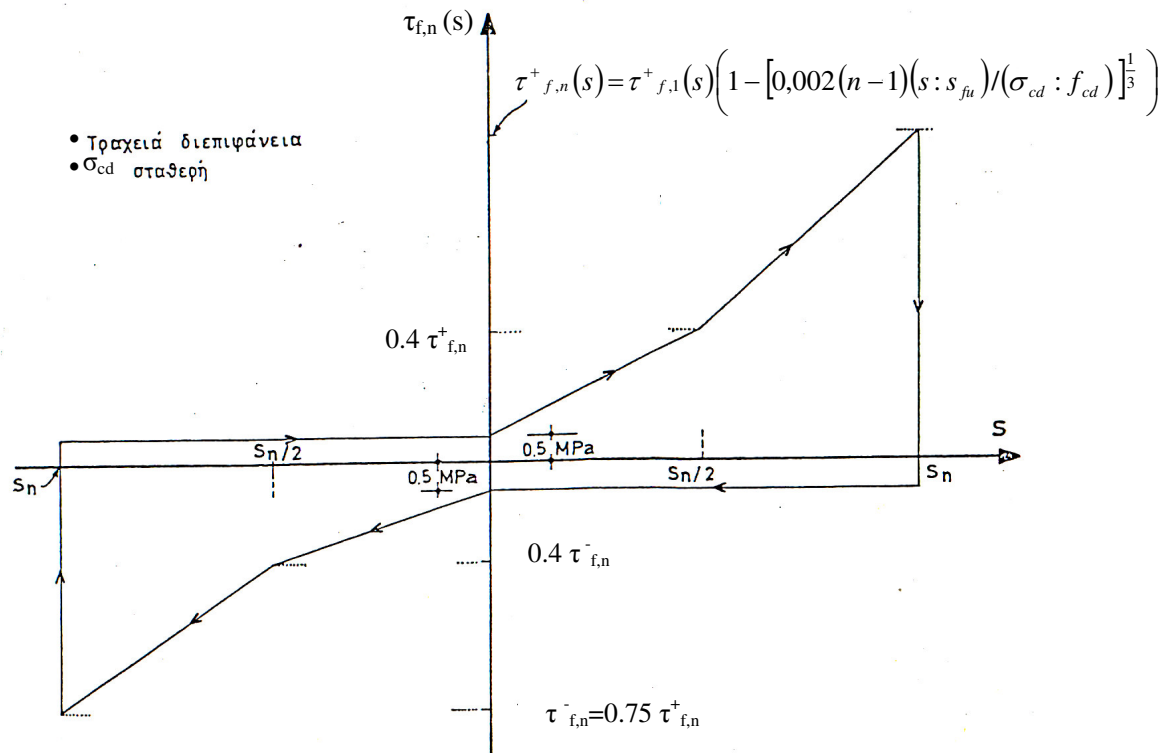
Ο συντελεστής τριβής που προτείνεται είναι  $\mu = 1,4$  και αναφέρεται ότι εκτιμήθηκε πειραματικά (Priestley et al, 1996 - Priestley and Seible, 1995 - Priestley and Seible 1991- Daudey and Filiatrault 2000). Αλλού προτείνεται  $\mu = 1,0$  (Hawkins et al, 2000 - Lynn et al, 1996). Μια ιδιαίτερα χαμηλή τιμή προτείνεται από τον Θ. Τάσιο  $\mu = 0,4$  (Τάσιος, 2003) εκτιμώντας λείανση των διεπιφανειών λόγω ανακύκλισης της φόρτισης. Ακόμη όμως και για αρκετές δυσμενείς καταστάσεις η παραπάνω τιμή δεν φαίνεται ρεαλιστική. Πάντως εφόσον επιλεγεί μία σταθερή τιμή του συντελεστή τριβής είναι ίσως λογικότερο να χρησιμοποιηθεί στο σχεδιασμό κατ'ελάχιστον η τιμή  $\mu = 0,7$ , που χρησιμοποιείται και στον ΕΚΩΣ 2000 (§18.5.7) στις θέσεις των αρμών διακοπής των τοιχωμάτων.

Μία εναλλακτική και περισσότερο ρεαλιστική πρόταση θα ήταν να χρησιμοποιηθεί η σχέση:

$$\mu_{\max} = \gamma_{\text{cycl}} 0,44 \frac{f_c^{2/3}}{\sigma_{hc}^{2/3}}$$

όπου  $\gamma_{\text{cycl}}$  είναι ο συντελεστής που λαμβάνει υπ' όψη του την μείωση της διατμητικής αντίστασης λόγω ανακύκλισης. Στο Σχήμα 3.3.1 παρουσιάζεται το προσομοίωμα επιρροής της ανακύκλισης της φόρτισης που γίνεται αποδεκτό στο Τμήμα 1.4 του Ευροκώδικα. Πρακτικά πάντως η τιμή του  $\gamma_{\text{cycl}}$  θα μπορούσε να ληφθεί μεταξύ 0,65 και 0,80.

Αξίζει πάντως να παρατηρηθεί ότι με βάση την παραπάνω σχέση, ο συντελεστής  $\mu$  λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας εφόσον  $\sigma_{hc} < 20\% f_c$ .



Σχήμα 3.3.1: Μεταφερόμενο διατμητικό φορτίο τριβής σε τραχείες διεπιφάνειες υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση

### Πότε το Μήκος Αλληλοκάλυψης Κρίνεται Ανεπαρκές:

Οι τιμές των κανονισμών για το  $a_1$  στην σχέση  $a_1 \ell_b$ , για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους αλληλοκάλυψης ράβδων οπλισμού (π.χ. ΕΚΩΣ 2000), φαίνεται να είναι συντηρητικά ιδιαίτερα υψηλές. Για την αποτίμηση προτείνεται  $a_1 = 1$  (Lynn et al, 1996). Η πρόταση αυτή γίνεται αποδεκτή στο Fib Bul 24 (Fib Bulletin 24, 2003) και φαίνεται να επιβεβαιώνεται σε πρόσφατα πειράματα (Bousias and Fardis, 2003). Προτείνεται ως εκ τούτου να θεωρηθεί ότι το μήκος αλληλοκάλυψης κρίνεται ανεπαρκές όταν είναι μικρότερο από  $1,0 \ell_b$ . Πέρα απ' αυτό, ακόμα και το  $\ell_b$  που προκύπτει από τους Κανονισμούς φαίνεται και αυτό συντηρητικό αν συγκριθεί με αποτελέσματα πρόσφατων πειραματικών ερευνών.

### Μήκος Στοιχείου Περίσφιγξης

Το μήκος του στοιχείου περίσφιγξης επιλέγεται σε συνάρτηση και με τις υπόλοιπες απαιτήσεις της περιοχής, εξασφαλίζονται ότι η πλαστική άρθρωση δεν θα μεταναστεύσει από την βάση του υποστυλώματος στην περιοχή αμέσως πάνω από το πέρας του στοιχείου περίσφιγξης και ότι το απερίσφικτο τμήμα του υποστυλώματος δεν θα αστοχήσει σε διάτμηση (Chai et al, 1991 - Ghobarah et al, 1997).

### **Ποιο είναι το Χαμηλότερο και το Υψηλότερο Σημείο του Μανδύα;**

Οι περισσότεροι ερευνητές επιλέγουν τον μανδύα να ξεκινά σε απόσταση της τάξεως των 30-50 mm για ενίσχυση με χαλύβδινα στοιχεία ή των 15mm για ενίσχυση με ΙΟΠ πάνω από τη βάση του υποστυλώματος και κάτω από τον πυθμένα των δοκών (Priestley and Seible, 1991- Chai et al, 1991 - Daudey and Filiatrault, 2000 - Ghobarah et al, 1997). Άλλες φορές αυτό προτείνεται για την αποφυγή άμεσης μεταφοράς αξονικού φορτίου στο μανδύα από τα στοιχεία θεμελίωσης (ή τις δοκούς αν ο μανδύας είναι στην κορυφή του υποστυλώματος) λόγω στροφής της διατομής παρειάς, οπότε η θλιβόμενη πλευρά του μανδύα θα συνθλιβεί και άλλοτε για την αποφυγή τοπικής συγκέντρωσης τάσεων στους οπλισμούς της κρίσιμης διατομής παρειάς που θα οδηγήσει σε μειωμένη πλαστιμότητα της περιοχής λόγω πρόωρης θραύσης των διαμήκων ράβδων από ολιγοκυκλική κόπωση.

Κατά Priestley το μήκος της πλαστικής άρθρωσης μπορεί να εκτιμηθεί από την σχέση  $L_p = g + 0,044 f_y d_s$  όπου  $g$  είναι η απόσταση του κατώτερου σημείου του στοιχείου περίσφιγξης από την παρειά βάση του υποστυλώματος και ο όρος  $0,044 f_y d_s$  (το  $f_y$  σε MPa) εκφράζει το μήκος της πλαστικής άρθρωσης που εκτείνεται στο στοιχείο πάκτωσης του υποστυλώματος (θεμελίωση ή κόμβος δοκών υποστυλωμάτων του κατώτερου ορόφου), (Priestley and Seible, 1991). Το μήκος αυτό είναι ανεξάρτητο από τις διαστάσεις του υποστυλώματος και προκύπτει σημαντικά μικρότερο από ότι στις συμβατικές περιπτώσεις χωρίς περίσφιγξη. Πάντως μία προσεγγιστική εκτίμηση της ενεργούς οριακής εφελκυστικής παραμόρφωσης των ράβδων θα μπορούσε να προκύψει θεωρώντας την ίση προς το 75% της παραμόρφωσης που αντιστοιχεί στην μέγιστη τάση της ράβδου (Priestley and Seible, 1991). Πάντως η παραπάνω εκτίμηση ότι η περίσφιγξη μειώνει τελικά το μήκος της πλαστικής άρθρωσης κρίνεται ιδιαίτερα αναξιόπιστη (Τάσιος, 2003).

### **Ποιες Τεχνικές Έχουν Δοκιμαστεί Επιτυχώς Πειραματικά για την Ανακυκλιζόμενη Φόρτιση;**

- α) Ηλεκτροσυγκόλληση ράβδων (Aboutaha et al, 1999).  
τοποθετείται και πρόσθετος εξωτερικός συνδετήρας.
- β) Περίσφιγξη με χαλύβδινα στοιχεία
  - (β<sub>1</sub>): ολόσωμος ορθογωνικός μανδύας από κυματοειδή φύλλα (Ghobarah et al, 1997).
  - (β<sub>2</sub>): ολόσωμος ορθογωνικός μανδύας με χαλύβδινα ελάσματα ηλεκτροσυγκολλημένα σε γωνιές. Χημικά βλήτρα έχουν χρησιμοποιηθεί για αγκύρωση των ελασμάτων στα υποστυλώματα (Aboutaha et al, 1994).
  - (β<sub>3</sub>): ολόσωμος μανδύας από χαλύβδινα ελάσματα. Προκατασκευασμένα L που ηλεκτροσυγκολλούνται επί τόπου και χημικά βλήτρα για αγκύρωση των ελασμάτων στα υποστυλώματα (Aboutaha et al, 1999).

Εναλλακτικά αντί για απλά βλήτρα χρησιμοποιούνται διαμπερή και τα αποτελέσματα είναι καλλίτερα.

(β<sub>4</sub>): με νέους εξωτερικούς (δηλ. έξω από την επικάλυψη) συνδετήρες. Προκατασκευασμένα τμήματα U που ηλεκτροσυγκολλούνται επιτόπου (Valluvan et al, 1993).

Εναλλακτικά, χρησιμοποιήθηκαν συνδετήρες που τοποθετήθηκαν εσωτερικότερα (δηλ. σε επαφή με τον διαμήκη οπλισμό, αφού αυτός αποκαλύφθηκε). Όμως τα αποτελέσματα ήταν χειρότερα λόγω μείωσης της συνάφειας από τις εργασίες αποξήλωσης (Valluvan et al, 1993).

(β<sub>5</sub>): με μεταλλικό κλωβό (Valluvan et al, 1993).

(β<sub>6</sub>): με κυκλικό ή ελλειπτικό μανδύα (Priestley et al, 1996 - Priestley and Seible, 1991- Daudey and Filiatrault, 2000).

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις (β<sub>i</sub>) τα μεταλλικά στοιχεία προσφύονται στο υποστύλωμα με κάποιο κονίαμα. Συχνά τοποθετούνται σε απόσταση από το στοιχείο (της τάξης των 10-25 mm) και το κενό γεμίζεται με μη συρρικνούμενο κονίαμα.

Εναλλακτικές περιπτώσεις που ελέγχθησαν χωρίς πρόσφυση, έδειξαν μειωμένη ή μηδενική συνεισφορά (Valluvan et al, 1993).

γ) Περίσφιγξη με ΙΟΠ

γ<sub>1</sub>) με ινοπλισμένα υφάσματα (Harries et al, 2003 - Bousias and Fardis, 2003- Harries et al, 2003) που επικολλώνται.

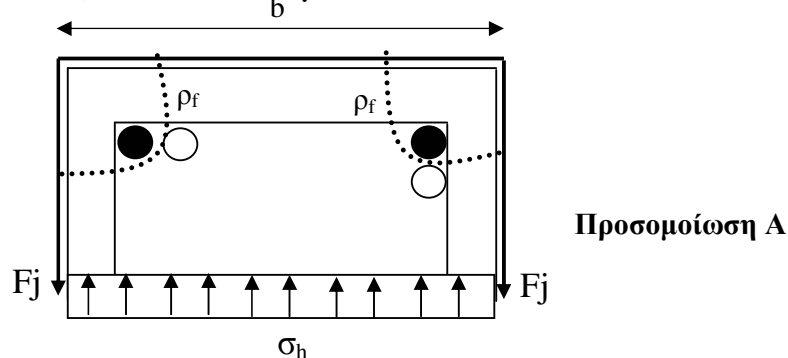
γ<sub>2</sub>) με προκατασκευασμένα ινοπλισμένα κολάρα (Saadatmanesh et al, 1997) στο υποστύλωμα που τοποθετούνται σε μικρή απόσταση και στη συνέχεια εγχύεται ρητίνη στο κενό επαφής.

δ) Κατασκευή μανδυνών από Ο.Σ. (Bousias and Fardis, 2003).

### 3.3.2. Προσδιορισμός Απαιτούμενου Οπλισμού Περίσφιγξης

#### 3.3.1.A. Προτάσεις με Βάση την Τριβή

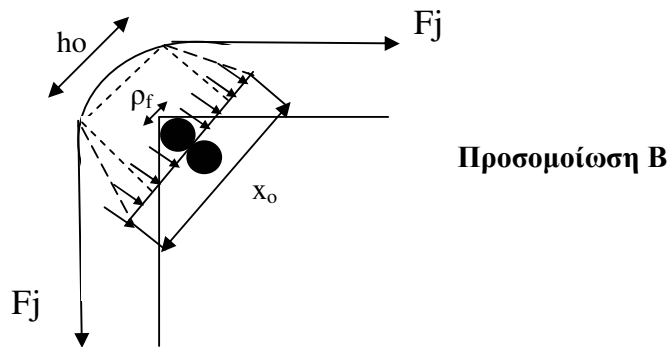
##### A1. Πρόταση Priestley-Seible



Σχήμα 3.3.2: Εκτίμηση εγκάρσιας θλιπτικής τάσης υπεύθυνης για την ανάπτυξη της αντίστοιχης τριβής (Priestley et al, 1996)

- Εφελκυστική δύναμη εξωτερικού οπλισμού  $A_j : F_j = \sigma_j A_j$  (1)  
όπου  $\sigma_j = 0,001 E_j$  (2)
- Εγκάρσια θλιπτική πίεση ασκούμενη κάθετα προς την διεπιφάνεια ολίσθησης  
 $\sigma_h = \frac{2}{b} \sigma_j (A_j / s)$  (3)
- Δύναμη τριβής που αναπτύσσεται στην διεπιφάνεια  
 $T = \mu \cdot \sigma_h \cdot \rho_f \ell_s$  (4)  
 $\mu = \text{ο συντελεστής τριβής} = 1,4$  (5)  
 $\rho_f$  το εγκάρσιο μήκος της ρωγμής = το πλάτος της επιφάνειας τριβής  
 $2c + 3d_s < \rho_f \leq 2\sqrt{2} (c + d_s)$  (6) βλ. Ακριβέστερα Priestley et al, 1996)  
 $\ell_s$  το διατιθέμενο μήκος μάτισης
- Απαιτούμενη προσφορά εφελκυστικής δύναμης  
 $T_{\alpha\pi} = A_b \cdot f_{su}$  (7) όπου  $f_{su} = 1,7 f_{yd}$
- Απαιτούμενος οπλισμός περίσφιγξης .  
Από (3), (4), και (7)  $\left( \frac{A_s}{s} \right)_{\alpha\pi} = \frac{1}{(2\rho_f / b)} \frac{1}{\mu} \frac{f_{su}}{\sigma_j} \frac{A_b}{\ell_s}$  (8)

## A2. Πρόταση Θ. Π. Τάσιου



Σχήμα 3.3.3: Εκτίμηση εγκάρσιας θλιπτικής τάσης, υπεύθυνης για την ανάπτυξη του μηχανισμού τριβής (Τάσιος, 2003)

- Εφελκυστική Δύναμη εξωτερικού οπλισμού  $A_j$ ,  $F_j = \sigma_j A_j$  (1),  
 $\sigma_j = \frac{f_j}{\gamma_{Rd} = 2}$  (2)
- Ασκούμενη θλιπτική δύναμη στην γωνία σε μήκος  $\ell_s$ :  $F_j \sqrt{2} (\ell_s / S)$  (3)
- Πλάτος διανομής θλιπτικής δύναμης στην θέση της μάτισης  
 $x_o = h_o + \sqrt{2} \left( c + \frac{d_s}{2} \right)$  (4)

- Εγκάρσια θλιπτική πίεση ασκούμενη, κάθετα προς την διεπιφάνεια

$$\text{ολίσθησης, } \sigma_h = \frac{F_j \sqrt{2}}{S \cdot x_0} = \frac{\sigma_j A_j \sqrt{2}}{S \cdot x_0} \quad (5)$$

- Δύναμη τριβής που αναπτύσσεται στην διεπιφάνεια

$$T = \mu \cdot \sigma_h \cdot \rho_f \cdot \ell_s \quad (6)$$

$$\mu = \text{o συντελεστής τριβής} = 0,4 \quad (7)$$

$$\rho_f \text{ το πλάτος της επιφάνειας τριβής} = d_s \quad (8)$$

$\ell_s$  το διατιθέμενο μήκος μάτισης.

- Απαιτούμενη προσφορά εφελκυστικής δύναμης

$$T_{\alpha\pi} = \lambda A_b f_s \quad (9)$$

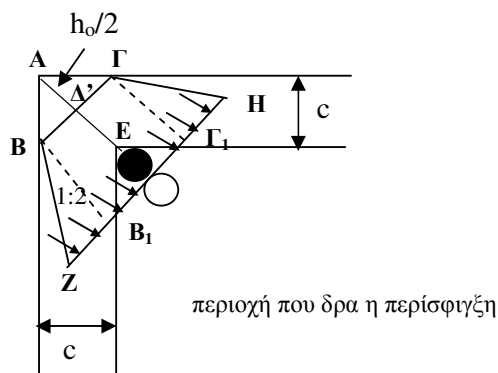
$$\text{όπου } \lambda = 1 - \frac{\ell_s}{a_1 \ell_b}$$

και  $a_1 \ell_b$  το απαιτούμενο από τον κανονισμό μήκος αλληλοκάλυψης των ράβδων

- Απαιτούμενος οπλισμός περίσφιγξης.

$$\text{Από (5), (6), και (9)} \left( \frac{A_s}{S} \right)_{\alpha\pi} = \frac{\lambda}{(\sqrt{2} \rho_f / x_o)} \cdot \frac{1}{\mu} \cdot \frac{f_s}{\sigma_j} \cdot \frac{A_b}{\ell_s} \quad (10)$$

### A3. Πρόταση για Τροποποιήσεις στη Θ.Τ.Π.



Σχήμα 3.3.4: Προσδιορισμός μήκους διατομής  $x_0$

- Προσομοίωση Β

$$\bullet \quad \rho_f = x_o = \frac{h_o}{2} + c \sqrt{2} + \frac{d_s}{2}(\sqrt{2}+1) \quad (2)$$

$$\left( \begin{array}{l} \underline{A\pi o\delta.} \\ \Delta E = AE - A\Delta = c\sqrt{2} - \frac{h_o}{2} \end{array} \right.$$

$$BB_1 = \Gamma\Gamma_1 = \Delta E + \frac{d_s}{2}\sqrt{2} + \frac{d_s}{2} = c\sqrt{2} - \frac{h_o}{2} + \frac{d_s}{2}\sqrt{2} + \frac{d_s}{2}$$

$$B_1Z = \Gamma_1 H = 1/2 \left( c\sqrt{2} - \frac{h_o}{2} + \frac{d_s}{2}\sqrt{2} + \frac{d_s}{2} \right)$$

$$x_o = ZH = c\sqrt{2} + \frac{h_o}{2} + \frac{d_s}{2}(\sqrt{2}+1)$$

- Εφελκυστική δύναμη εξωτερικού οπλισμού  $A_j$

$$F_j = \sigma_j \cdot A_j \quad (1)$$

- $\sigma_j = (0,001 - 0,002)E_j \quad (2)$

- Ασκούμενη θλιπτική δύναμη στην γωνία σε μήκος  $\ell_s$

$$F_j \cdot \sqrt{2} \left( \frac{\ell_s}{S} \right) \quad (3)$$

- Δύναμη τριβής που αναπτύσσεται στην διεπιφάνεια ολίσθησης

$$T = \mu \frac{F_j \sqrt{2}}{\eta} \cdot \frac{\ell_s}{S} = \frac{\mu}{\eta} \sigma_j \left( \frac{A_j}{S} \right) \sqrt{2} \ell_s \quad (4)$$

όπου  $\mu$  ο συντελεστής τριβής = 0,6 έως 1,2.

$\eta$  το πλήθος των ματιζομένων (ζευγών) ράβδων οπλισμού στην γωνία

- Απαιτούμενη προσφορά εφελκυστικής δύναμης

$$T_{\alpha\pi} = A_b \cdot f_{su} \quad (5)$$

Απαιτούμενος οπλισμός περίσφιξης

Από (4) και (5)

$$\left( \frac{A_j}{S} \right)_{\alpha\pi} = \frac{\eta}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\mu} \cdot \frac{f_{su}}{\sigma_j} \cdot \frac{A_b}{\ell_s} \quad (6)$$

#### A4. Πρόταση Fib Bul 24 (για συνδετήρες)

- Προσομοίωση A

- Εφελκυστική δύναμη εξωτερικού οπλισμού  $A_j$ :

$$F_j = \sigma_j A_j \quad (1)$$

- $\sigma_j = f_j \quad (2)$

- Ασκούμενη θλιπτική δύναμη στο σύνολο των (ζευγών) ματισμένων ράβδων της πλευράς, σε μήκος  $\ell_s : 2F_j \frac{\ell_s}{S}$ .

Όμως λαμβάνονται υπόψη μόνο οι ράβδοι που βρίσκονται κοντά στην γωνία.

- Δύναμη τριβής που αναπτύσσεται στην διεπιφάνεια ολίσθησης

$$T = \mu \frac{F_j}{n} \frac{\ell_s}{S} = \frac{\mu}{n} \sigma_j \left( \frac{A_j}{S} \right) \ell_s \quad (3)$$

όπου  $n$  το πλήθος των ματιζομένων (ζευγών) ράβδων σε κάθε γωνία  
 $\mu = 1,4$ .

- Απαιτούμενη προσφορά εφελκυστικής δύναμης



$$T_{\alpha\pi} = A_b \cdot f_s - f_{ct} \cdot \rho_f \cdot \ell_s \quad (4)$$

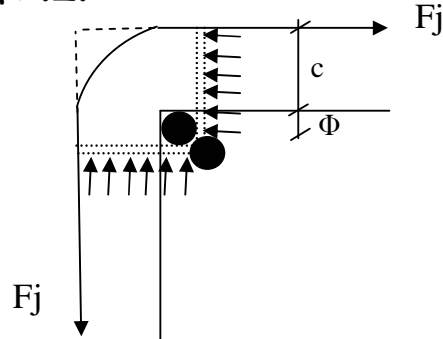
$$\text{Για } \varepsilon_c \geq 2\text{‰} \quad f_{ct} \cdot \rho_f \cdot \ell_s = 0 \quad \text{και} \quad T_{\alpha\pi} = A_b \cdot f_s \quad (5)$$

$\rho_f$  : Βλ. Priestley et al, 1996.

Από (3), (4) και (5) για  $\varepsilon_c \geq 2\text{‰}$

$$\left( \frac{A_s}{S} \right)_{\text{απαιτ.}} = n \cdot \frac{1}{\mu} \cdot \frac{f_y}{\sigma_j} \cdot \frac{A_b}{\ell_s} \quad (6)$$

#### A5. Πρόταση Σ.Δ.



Σχήμα 3.3.5: Παραδοχή μορφής επιφάνειας ρηγμάτωσης και κατανομή θλιπτικών τάσεων

- Εφελκυστική δύναμη εξωτερικού οπλισμού  $A_j$   
 $F_j = \sigma_j A_j \quad (1)$   
 όπου  $\sigma_j = \varepsilon_{j,ef} E_j = (0,0015 - 0,002) E_j \quad (2)$
- Πλάτος επιφάνειας ολίσθησης  
 $\rho_f = 2c_\Phi = 2(c + \Phi) \quad (3)$
- Εγκάρσια θλιπτική πίεση ασκούμενη κάθετα προς την διεπιφάνεια ολίσθησης  
 $\sigma_h = \frac{\sigma_j A_j}{c_\Phi S} \quad (4)$
- Δύναμη τριβής που αναπτύσσεται στην επιφάνεια ολίσθησης σε μήκος  $\ell_s$   
 $T = \mu \sigma_h \rho_f \ell_s \quad (5)$   
 όπου  $\mu = 1,0$  έως  $2,0$
- Απαιτούμενη προσφορά εφελκυστικής δύναμης  
 $T_{\alpha\pi} = A_b f_{su} \quad (6)$
- Απαιτούμενος οπλισμός περίσφιγξης  
 $\left( \frac{A_s}{S} \right)_{\alpha\pi} = \frac{1}{2\mu} \frac{f_{su}}{\sigma_j} \frac{A_b}{\ell_s} \quad (7)$

**Πινακοποίηση Προτάσεων με Βάση την Τριβή**

	<b>A1: N.P<sub>r</sub></b>	<b>A2: Θ.Τ.</b>	<b>A3: Θ.Τ.(δ)c</b>	<b>A4: Fib Bul. 24</b>	<b>A5: Σ.Δ.</b>
(1)	$T = \mu \sigma_h \rho_f \ell_s$	$T = \mu \sigma_h \rho_f \ell_s$	$T = \mu \frac{F_j \sqrt{2} \ell_s}{n s}$	$T = \mu \frac{F_j \ell_s}{n s}$	$T = \mu \sigma_h \rho_f \ell_s$
(2)	$\sigma_h = \frac{2}{b} \sigma_j (A_j / s)$	$\sigma_h = \frac{\sqrt{2}}{x_o} \sigma_j (A_j / s)$	$\sigma_h = \frac{\sqrt{2}}{x_o} \sigma_j (A_j / s)$	-	$\sigma_h = \frac{\sigma_j}{c_\Phi} (A_j / s)$
(3)	$T = 2 (\rho_f^p / b) \mu \sigma_j (A_j / s)$	$T = \sqrt{2} (\rho_f^{T_1} / x_{o1}) \mu \sigma_j (A_j / s) \ell_s$	$T = \frac{\sqrt{2}}{n} \mu \sigma_j (A_j / s) \ell_s$	$T = \frac{1}{n} \mu \sigma_j (A_j / s) \ell_s$	$T = 2 \mu \sigma_j (A_j / s) \ell_s$
(4)	$\rho_f^p = 2\sqrt{2} (c + d_s)$	$\rho_f^{T_1} = d_s$	$\rho_f^{T_2} = x_{o2}$	-	$\rho_f = 2c_\Phi$
(5)		$x_{o1} = h_o + \sqrt{2} (c + \frac{d_s}{2})$	$x_{o2} = \frac{h_o}{2} + \sqrt{2} c + \frac{d_s}{2} (\sqrt{2} + 1)$	-	$c_\Phi = c + \Phi$
(6)	$\mu = 1,0 \text{ έως } 1,4$	$\mu = 0,4 \text{ έως } 0,8$	$\mu = 0,6 \text{ έως } 1,2$	$\mu = 1,4$	$\mu = 1,0 \text{ έως } 2,0$
(7)	$\sigma_j = \varepsilon_{j,ef} E_j$ $\varepsilon_{j,ef} = 0,001 \text{ έως } 0,002$	$\sigma_j = f_j / \gamma R_d = 2$	$\sigma_j = \varepsilon_{j,ef} E_j$ $\varepsilon_{j,ef} = 0,001 \text{ έως } 0,002$	$\sigma_j = f_j$	$\sigma_j = \varepsilon_{j,ef} E_j$ $\varepsilon_{j,ef} = 0,001 \text{ έως } 0,002$
(8)	$T_{req} = A_s f_{su}$	$T_{req} = A_s f_y \left( 1 - \frac{\ell_s}{a_1 \ell_b} \right)$	$T_{req} = A_s f_{su}$	$T_{req} = A_s f_y - \rho_f^p f_{ct} \ell_s$ $\rho_f^p f_{ct} \ell_s = 0$ για $\varepsilon_{c2} \geq 2 \text{ ‰}$	$T_{req} = A_s f_{su}$
(9)	$f_{su} = 1,7 f_{yd}$				$f_{su} = 1,5 f_{yk}$
$T_{req} = A_s f_y \left( 1 - \frac{\ell_s}{\ell_{οροφου}} \right) \text{ (Pauley)}$					

**Πίνακας 3.3.1: Υπολογιστικές σχέσεις για τον προσδιορισμό του απαιτούμενου οπλισμού περίσφιγξης για την αποκατάσταση ικανότητας περιοχής με ανεπαρκή μήκη ματισμένων ράβδων**

**Ο απαιτούμενος οπλισμός περίσφιγξης προκύπτει από την σχέση  $T = T_{req}$  δηλ. (3) = (8)**

### Τελική Υπολογιστική Σχέση με Βάση την Τριβή

Με βάση το σύνολο των προηγούμενων προτάσεων ο απαιτούμενος οπλισμός περίσφιγξης μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

$$(A_j/S)_{\alpha\pi} = \gamma_{Rd} \frac{\lambda}{\beta} \frac{1}{\mu} \frac{f_{su}}{\sigma_j} \frac{A_b}{\ell_s}$$

Οι τιμές των παραμέτρων της εξίσωσης δίνονται στο Πίνακα 3.3.2 για κάθε μία από τις προτάσεις.

	<b>A1: N. P<sub>r</sub></b>	<b>A2: Θ.Τ.</b>	<b>A3: Θ.Τ.(δ)</b>	<b>A4: Fib 24</b>	<b>A5: Σ.Δ.</b>
$\lambda$	1	$1 - \frac{\ell_s}{a_1 \ell_b}$	1	1	1
$\mu$	1,0 έως 1,4	0,4 έως 0,8	0,6 έως 1,2	1,4	1,0 έως 2,0
$\sigma_j$	$\varepsilon_j E_j$	$F_j/\gamma_{Rd} = 2$	$\varepsilon_j E_j$	$f_j$	$\varepsilon_j E_j$
$f_{su}$	$1,7 f_{yd}$	$f_{yk}$	$1,5 f_{yk}$	$f_y$	$1,5 f_{yk}$
$\beta =$	$\frac{2 \rho_f^P}{b}$	$\frac{\sqrt{2} \rho_f^{T_1}}{x_{o1}}$	$\frac{\sqrt{2} \rho_f^{T_2}}{x_{o2}}$	$\frac{1}{\eta}$	2

Πίνακας 3.3.2: Τιμές παραμέτρων για τις πέντε προτάσεις στις εξισώσεις προσδιορισμού του οπλισμού περίσφιγξης.

$$\varepsilon_j = 0,001 \text{ έως } 0,002$$

$$2c + 3d_s < \rho_f^P \leq 2 \sqrt{2} c + d_s$$

$$\rho_f^{T_1} = d_s$$

$$\rho_f^{T_2} = 2d_s$$

$$x_{o1} = h_o + \sqrt{2} \left( c + \frac{d_s}{2} \right)$$

$$x_{o2} = \frac{h_o}{2} + c \sqrt{2} + \frac{d_s}{2} (\sqrt{2} + 1)$$

$b$  = πλάτος εφελκ. πλευράς στοιχείου

$\rho_f^i$  είναι το εγκάρσιο μήκος της ρωγμής

$x_{oi}$  είναι το πλάτος διανομής της θλιπτικής δύναμης στην θέση της μάτισης

$\eta$  = πλήθος ράβδων που απολαμβάνουν την περίσφιγξη

### Εκτίμηση Τάξης Μεγέθους Πλευρικής Πίεσης

Στην συνέχεια γίνεται μια εκτίμηση της τάξης μεγέθους της ενεργούς πλευρικής πίεσης που μπορεί να ασκηθεί σε ένα δομικό στοιχείο που έχει περισφιχθεί με στοιχεία από χάλυβα ή ΙΟΠ. Όπως έχει ήδη παρατηρηθεί, τα αποτελέσματα εξαρτώνται από το προσομοίωμα που θα επιλεγεί. Με βάση τα συγκριτικά αποτελέσματα προηγούμενων παραγράφων προκύπτει ότι οι μικρότερες τιμές λαμβάνονται όταν χρησιμοποιηθεί το προσομοίωμα Priestley-Seible το οποίο και επιλέγεται για να εκτιμηθεί ένα κάτω όριο των παραπάνω τιμών.

Για απλούστευση, οι υπολογισμοί γίνονται για κυκλικά υποστυλώματα.

$$\sigma_h = 2 \frac{t_j}{D} \sigma_j$$

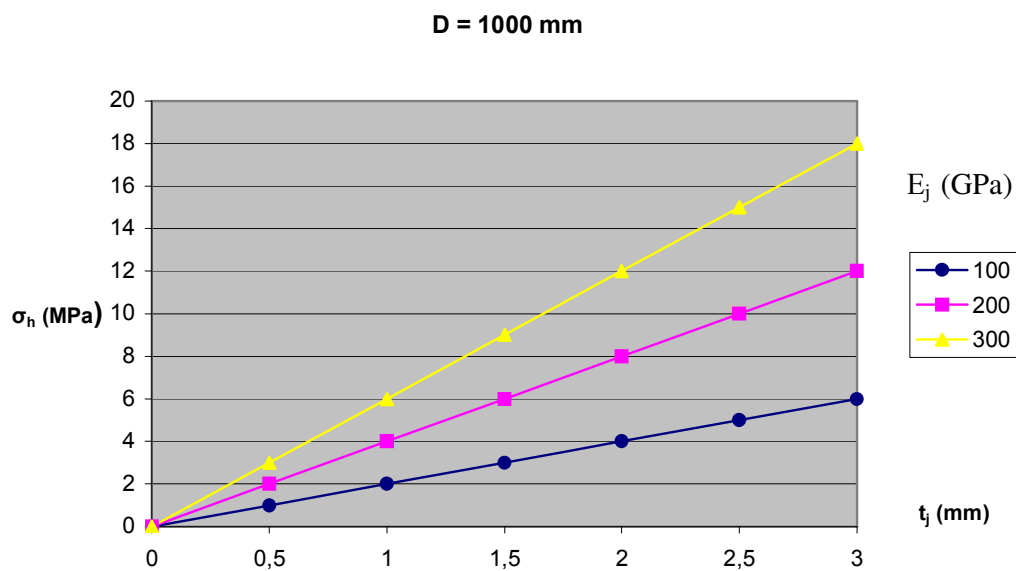
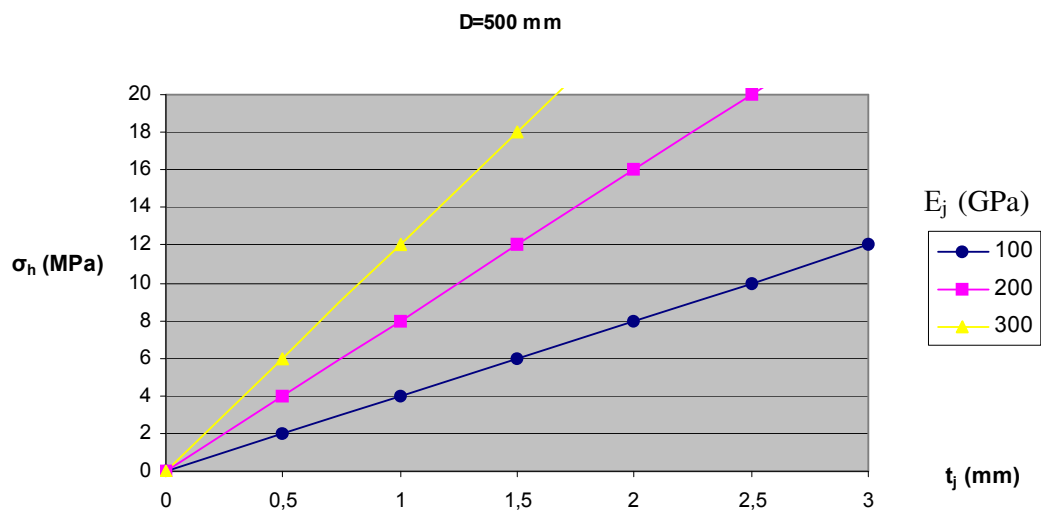
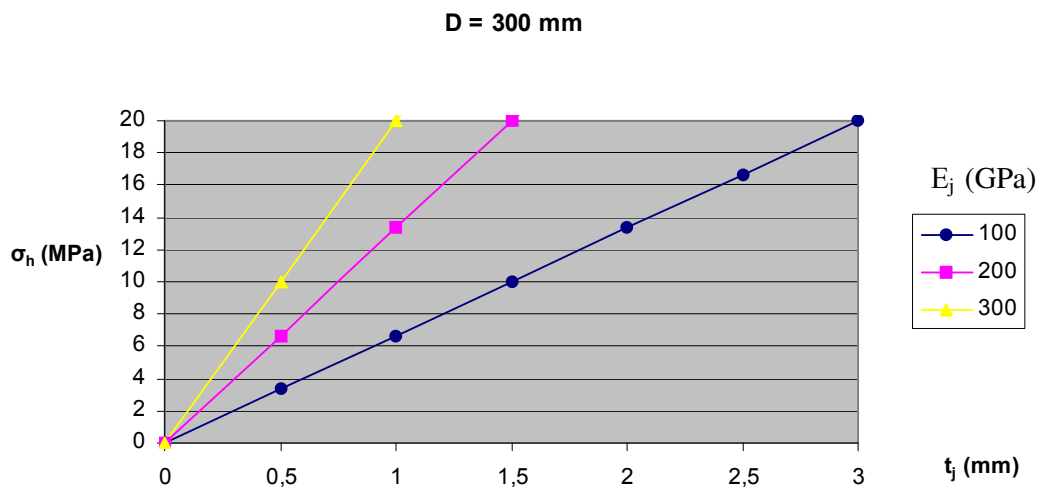
όπου:

$$\sigma_j = E_j \varepsilon_j \text{ και } \varepsilon_j = 1\text{‰}$$

Διερευνάται η παραπάνω σχέση για υλικά με μεγάλα μέτρα Ελαστικότητας 100, 200 και 300 GPa για υποστυλώματα διαμέτρου D=300, 600 και 1000mm.

Από τα παραπάνω μεγέθη θα μπορούσε να γίνει μια εκτίμηση και των αντίστοιχων τάσεων περίσφιγξης για ορθογωνικά υποστυλώματα.

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί η πλευρική περίσφιγξη λαμβάνει σχετικά μικρές τιμές λόγω της χαμηλής ενεργής παραμόρφωσης  $\varepsilon_j = 1\text{‰}$  που κατά παραδοχή θεωρούμε ως μέγιστη αποδεκτή για την εξασφάλιση του ματίσματος. Δεδομένου δε ότι η παραπάνω παραδοχή δεν κρίνεται επαρκώς τεκμηριωμένη, απαιτείται μεγαλύτερη διερεύνηση για να προσδιοριστούν αξιόπιστες τιμές αφού τα αποτελέσματα εξαρτώνται σημαντικά απ' αυτή. Στη συνέχεια γίνεται μια προσπάθεια ορθολογικότερης εκτίμησης της παραπάνω τιμής θέτοντας κατά παραδοχή ένα αποδεκτό εύρος ρωγμής ανάλογα με τον στόχο επιτελεστικότητας της κατασκευής (βλ. κατωτέρω προτάσεις ομάδας Γ).



Σχήμα 3.3.6: Εκτίμηση τάξης μεγέθους τάσης περίσφιγξης σε κυκλικά υποστυλώματα για διάφορες τιμές του μέτρου Ελαστικότητας του υλικού περίσφιγξης

**Παραμετρική Διερεύνηση του Μεγέθους της Απαιτούμενης Κάθετης προς την Διεπιφάνεια Τάσης για τις Διαφορετικές Προτάσεις**

$$\left. \begin{aligned} T_{\alpha\pi} &= \lambda A_b f_{su} \\ T &= \mu \sigma_h \rho_f l_s \end{aligned} \right\} \Rightarrow (\sigma_h)_{\alpha\pi} = \lambda \frac{A_b f_{su}}{\mu \rho_f l_s}$$

$$\text{όριο } (\sigma_h)_{\alpha\pi} = 0,75 f_c, \quad \left( \max \sigma_h = \frac{\max \tau}{\min \mu} = \frac{0,3 f_c}{0,4} = 0,75 f_c \right)$$

$$\Phi 20, \quad l_s = 20 d_s, \quad f_{su} = 600 \text{ MPa}$$

**Πρόταση Ν.Ρ**

$$\rho_f \approx 2,5 (d_s + c) = 100 \text{ mm}$$

$$\mu = 1,4, \quad \lambda = 1,00$$

$$(\sigma_h)_{\alpha\pi} = \frac{\pi \times \frac{20^2}{4} \times 600}{1,4 \times 100 \times 20 \times 20} = 3,4 \text{ MPa} < 0,75 f_c$$

**Πρόταση Θ.Τ.**

$$\rho_f = d_s, \quad \mu = 0,4$$

$$\rho_f = d_s = 20 \text{ mm}$$

$$\lambda = 1 - \frac{l_s}{a_1 l_b} = 1 - \frac{20\Phi}{85\Phi} = 0,765$$

$$(\sigma_h)_{\alpha\pi} = 0,765 \frac{\pi \times \frac{20^2}{4} \times 600}{0,4 \times 20 \times 20 \times 20} = 59 \text{ MPa} !! \gg 0,75 f_c \quad \underline{\text{εξωπραγματικό !!}}$$

**Πρόταση Θ.Τ.(δ)**

$$\rho_f = x_o = 5 d_s = 100 \text{ mm}, \quad \mu = 1,2$$

$$\lambda = 1,00$$

$$(\sigma_h)_{\alpha\pi} = \frac{\pi \times \frac{20^2}{4} \times 600}{1,2 \times 100 \times 20 \times 20} = 4,0 \text{ MPa} < 0,75 f_c$$

**Πρόταση Σ.Δ.**

$$\rho_f = 2 \times 40 = 80 \text{ mm}$$

$$c_\Phi = 40 \text{ mm}$$

$$\mu=1,4 \quad , \quad \lambda=1,0$$

$$(\sigma_h)_{\alpha\pi} = \frac{\pi \times \frac{20^2}{4} \times 600}{1,4 \times 80 \times 20 \times 20} = 5,0 \text{ MPa} < 0,75 f_c$$

### Συγκριτική Διερεύνηση Αποτελεσματικότητας Περίσφιγξης για τις Διαφορετικές Προτάσεις της Ομάδας Α

Δεδομένα:

$$\frac{A_s}{s} = t = 1 \text{ mm}$$

$$l_s = 20 d_s$$

$$\sigma_j = 200 \text{ MPa}$$

$$\rho_f = 2\sqrt{2} (c + d_s) \approx 5,6 d_s$$

$$x_{01} \approx 2d_s + \sqrt{2} (3/2 d_s) \approx 4,1 d_s$$

$$x_{012} \approx 3,4 d_s$$

$$f_{yu} = 600 \text{ MPa}$$

$$\text{για } d_1 = 1,0$$

$$a_1 l_b = \frac{d_s}{4} \frac{400}{1,15 \times 2} \approx 42,5 d_s$$

			N.Pr	Θ.Τ.	Θ.Τ.(δ)	Σ .Δ.	FIB 24
b=300    Φ20	σ <sub>h</sub> (MPa)	(2)	1,33	3,45	4,14	5,00	----
	T (KN)	(3)	83,63	11,04	46,37	224	112
	T/T <sub>req</sub>	(3)/(8)	0,88	0,16	0,62	2,36	1,18
b=600    Φ20	σ <sub>h</sub> (MPa)	(2)	0,67	3,45	4,14	5,00	----
	T (KN)	(3)	41,81	11,04	46,37	224	112
	T/T <sub>req</sub>	(3)/(8)	0,44	0,16	0,62	2,36	1,18
b=300    Φ14	σ <sub>h</sub> (MPa)	(2)	1,33	4,93	5,91	7,14	----
	T (KN)	(3)	40,98	7,73	32,4	156,80	78,4
	T/T <sub>req</sub>	(3)/(8)	0,88	0,22	0,90	3,40	1,70
b=600    Φ14	σ <sub>h</sub> (MPa)	(2)	0,67	4,93	3,91	7,14	----
	T (KN)	(3)	20,48	7,73	32,4	156,80	78,4
	T/T <sub>req</sub>	(3)/(8)	0,44	0,22	0,90	3,40	1,70

### Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι:

- (α) Η πρόταση Θ.Τ. δίνει σε κάθε περίπτωση θεαματικά μικρότερη αποτελεσματικότητα της περίσφιγξης. Πάντως, αποδεχόμενοι το σκεπτικό της, παρατηρούμε ότι με κάποιες τροποποιήσεις που αφορούν κυρίως το μέγεθος του συντελεστή τριβής η τροποποιημένη πρόταση Θ.Τ.(δ), δίνει αποτελέσματα συγκρίσιμα με αυτά των υπολοίπων.  
Εξάλλου σαφέστατα προκύπτει ότι η πρόταση Σ.Δ. προβλέπει σχεδόν πάντα μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα από όλες τις άλλες.
- (β) Η αποτελεσματικότητα της περίσφιγξης σύμφωνα με τη πρόταση Ν.Ρr είναι μικρή για υποστυλώματα με μεγάλες διαστάσεις διατομών, ενώ στις άλλες προτάσεις οι διαστάσεις της διατομής δεν επιδρούν.

### Τροποποίηση Σχέσεως Θεωρώντας $\mu=f(\sigma_N)$

Μια μεγάλη αδυναμία των σχέσεων που προτάθηκαν προηγουμένως είναι η μειωμένη αξιοπιστία σχεδόν "αυθαίρετη" επιλογή του συντελεστή τριβής. Δεδομένου ότι η προσομοίωση της αντίστασης τριβής αφορά επιφάνειες μιας φυσικής ρωγμής σε στοιχεία σκυροδέματος, θα ήταν λογικό να χρησιμοποιηθεί η γνωστή σχέση που συναρτά τον συντελεστή τριβής με την κάθετη προς την διεπιφάνεια τάση  $\sigma_N$  :

$$\mu = \mu_o \left( \frac{f_{ck}}{\sigma_N} \right)^{2/3}$$

όπου:

$$\mu_o = 0,44 \gamma_{cycl}$$

$\gamma_{cycl} = 1,0$  στη περίπτωση μονοτονικής φόρτισης και

$\gamma_{cycl} = 0,5$  έως  $1,0$  στη περίπτωση ανακυκλιζόμενης φόρτισης

Στη περίπτωση αυτή η απαιτούμενη, κάθετη προς τη διεπιφάνεια τριβής τάση, προκύπτει από τη σχέση:

$$\sigma_h^{1/3} = \frac{1}{\mu_o \rho_f} \frac{f_{su} A_b}{f_c^{2/3} l_s}$$

η δε εξίσωση προσδιορισμού του απαιτούμενου οπλισμού περίσφιγξης λαμβάνει τη μορφή:

$$\left( \frac{A_s}{S} \right)_{\alpha\pi} = \gamma_{Rd} \frac{\lambda}{\beta} \frac{1}{\mu_o^3 \rho_f^2} \frac{f_{su}^3}{f_c^2 \sigma_j} \frac{A_b^3}{l_s^3}$$

### 3.3.2.B. Προτάσεις με Βάση την Αύξηση της Τάσης Συνάφειας Λόγω Περίσφιγξης

#### **B1. Πρόταση σύμφωνα με τον ΕΚΩΣ 2000 παρ. 17.5**

Το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης προσδιορίζεται από την σχέση:



$$l_b^* = l_b (1 - 0,004 \sigma_2)$$

όπου:

$l_b$  = το προβλεπόμενο από τον ΕΚΩΣ 2000 μήκος αγκύρωσης

$\sigma_2 = \sigma_h$  είναι η πλευρική τάση περίσφιγξης,

Το μήκος ματίσματος προσδιορίζεται από τη σχέση:  $\alpha_1 l_b^*$  θεωρώντας

$\alpha_1 = 1,00$  (Bousias and Fardis, 2003).

## **Β2. Πρόταση Σύμφωνα με τον ΕΚΩΣ 2000 και Αυξημένη Θλιπτική Αντοχή $f_{ck}^*$**

Το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης προσδιορίζεται από την σχέση:

$$l_b^* = l_b \left( \frac{f_{bd}}{f_{bd}^*} \right) = l_b \left( \frac{f_{ck}}{f_{ck}^*} \right)^{2/3} = l_b \beta^{-2/3} \text{ και όπως παραπάνω λαμβάνεται } \alpha_1 = 1,0$$

α) Για χάλυβα  
λαμβάνεται

$$\beta = \frac{f_{ck}^*}{f_{ck}} = \begin{cases} 1 + 5 \frac{\sigma_h}{f_{ck}} & \text{για } \frac{\sigma_h}{f_{ck}} \leq 0,05 \\ 1,125 + 2,5 \frac{\sigma_h}{f_{ck}} & \text{για } \frac{\sigma_h}{f_{ck}} \geq 0,05 \end{cases} \quad (\text{Σχέδιο ΚΑΝ.ΕΠΕ.})$$

β) Για ΙΟΠ

$$\beta = 1 + 2,3 \frac{\sigma_h}{f_{ck}} \quad (\text{Σχέδιο ΚΑΝ.ΕΠΕ.})$$

### 3.3.2.Γ. Σύγκριση Προτάσεων Κατηγοριών Α και Β

Στη παράγραφο αυτή συγκρίνονται οι προτάσεις κατηγορίας Α (που στηρίζονται στο προσομοίωμα της τριβής) με τις αντίστοιχες της κατηγορίας Β (που στηρίζονται στο προσομοίωμα της αυξημένης τάσης συνάφειας). Θεωρείται C16/20  $f_{bd} = 2,0 \text{ MPa}$  (περιοχή Ι)  $\Phi 14$ , S400:

$$l_{bo} = 1 \times \frac{\Phi}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = 1 \times \frac{14}{4} \times \frac{400}{1,15 \times 2,0} = 608,70 \text{ mm}$$

C16/20  $f_{bd} = 2,0 \text{ MPa}$  (περιοχή Ι)  $\Phi 20$ , S400:

$$l_{bo} = 1 \times \frac{\Phi}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = 1 \times \frac{20}{4} \times \frac{400}{1,15 \times 2,0} = 869,60 \text{ mm}$$

Ο συντελεστής επαύξησης  $\alpha_1$  στη σχέση  $\alpha_1 l_b$  λαμβάνεται 1,0.

### Προτάσεις A1 έως A5 με Σταθερό Συντελεστή Τριβής

Η βασική σχέση που προκύπτει από όλες τις προτάσεις της ομάδας A είναι:

$$l_b^* = \gamma_{Rd} \frac{A_s f_{yu}}{\lambda \mu \rho_f \sigma_h}.$$

Στην συνέχεια λαμβάνεται  $\lambda = 1,00$ ,  $\gamma_{Rd} = 1,50$  και  $f_{yu} = f_{yk}$  και τα αποτελέσματα εξάγονται για δύο περιπτώσεις. α)  $\mu \rho_f = 91 \text{ mm}$  και β)  $\mu \rho_f = 210 \text{ mm}$  (Πιν.3.3.3).

		$\mu \rho_f = 210 \text{ mm}$		$\mu \rho_f = 91 \text{ mm}$	
		Φ14	Φ20	Φ14	Φ20
$\sigma_h / f_{ck}$	$\sigma_h$ (MPa)	$l_b^*$	$l_b^*$	$l_b^*$	$l_b^*$
0,01	0,16	2750	5607	6346	12940
0,02	0,32	1375	2804	3173	6470
0,03	0,48	917	1869	2115	4313
0,04	0,64	688	1402	1587	3235
0,05	0,8	550	1121	1269	2588
0,1	1,6	275	561	635	1294
0,2	3,2	138	280	317	647
0,3	4,8	92	187	212	431
0,4	6,4	69	140	159	323
0,5	8	55	112	127	259
0,6	9,6	46	93	106	216
0,7	11,2	39	80	91	185
0,8	12,8	34	70	79	162
0,9	14,4	31	62	71	144
1,00	16,00	28	56	63	129

Πίνακας 3.3.3: Επιρροή περίσφιγξης στο μήκος ματίσματος με βάση τα προσομοιώματα της τριβής και με σταθερό συντελεστή τριβής

Η απεικόνιση των παραπάνω αποτελεσμάτων φαίνεται στις καμπύλες (Priestley et al, 1996 - Priestley and Seible, 1995) του Σχήματος 3.3.7.

**Προτάσεις A1 έως A5 με Συντελεστή Τριβής που Εξαρτάται από την  $\sigma_N$  (Ομάδα Προτάσεων Αμ)**

Χρησιμοποιείται η προηγούμενη σχέση θεωρώντας όμως ότι ο συντελεστής τριβής εξαρτάται από την κάθετη προς την διεπιφάνεια τάση  $\sigma_h$  σύμφωνα με

τη σχέση:  $\mu = \mu_o \left( \frac{f_{ck}}{\sigma_h} \right)^{2/3}$

Έτσι το μήκος ματίσματος προκύπτει:  $l_b^* = \gamma_{Rd} \frac{A_s f_{yu}}{\mu_o \rho_f} \left( \frac{\sigma_h}{f_{ck}} \right)^{2/3}$

Στην συνέχεια τα αποτελέσματα εξάγονται για τιμές  $\mu_o \rho_f = 26 \text{ mm}$  και  $\mu_o \rho_f = 60 \text{ mm}$  που αντιστοιχούν σε μήκος ρωγμής  $\rho_f = 65 \text{ mm}$  και  $150 \text{ mm}$  αντιστοίχως, λαμβάνοντας  $\mu_o = 0,4$  (Πιν.3.3.4).

				$\mu_o \rho_f = 60 \text{ mm}$		$\mu_o \rho_f = 26 \text{ mm}$	
				Φ14	Φ20	Φ14	Φ20
$\sigma_h/f_{ck}$	$\sigma_h$ (MPa)	$f_{ck}^{2/3}$ (MPa)	$\sigma_2^{1/3}$ (MPa)	$l_b^*$	$l_b^*$	$l_b^*$	$l_b^*$
0,01	0,16	6,35	0,54	449	916	1036	2113
0,02	0,32	6,35	0,68	357	727	823	1678
0,03	0,48	6,35	0,78	311	634	718	1463
0,04	0,64	6,35	0,86	282	575	651	1327
0,05	0,8	6,35	0,93	261	532	602	1227
0,1	1,6	6,35	1,17	207	423	478	975
0,2	3,2	6,35	1,47	165	336	381	776
0,3	4,8	6,35	1,69	144	293	331	675
0,4	6,4	6,35	1,86	130	266	301	614
0,5	8	6,35	2	121	247	280	571
0,6	9,6	6,35	2,13	114	232	263	536
0,7	11,2	6,35	2,24	108	221	250	509
0,8	12,8	6,35	2,34	104	211	239	488
0,9	14,4	6,35	2,43	100	203	230	470
1	16	6,35	2,52	96	196	222	453

Πίνακας 3.3.4: Επιρροή περίσφιγξης στο μήκος ματίσματος με βάση τα προσομοιώματα της τριβής και συντελεστή τριβής

$$\mu = \mu_o \left( \frac{f_{ck}}{\sigma_h} \right)^{2/3}$$

Η απεικόνιση των παραπάνω αποτελεσμάτων φαίνεται στις καμπύλες (Priestley and Fardis, 1991 - Seible et al, 1997) του Σχήματος 3.3.7.

### Πρόταση Β.1

Λαμβάνεται:  $l_b^* = l_b (1 - 0,04\sigma_h)$  [ΕΚΩΣ 2000, παρ. 17.5] όπου:

$l_b = 608,80 \text{ mm}$  για  $\Phi 14$

$l_b = 869,60 \text{ mm}$  για  $\Phi 20$

		$\Phi 14$	$\Phi 20$
$\sigma_h / f_{ck}$	$\sigma_h$ (MPa)	$l_b^*$	$l_b^*$
0	0	609	870
0,01	0,16	605	864
0,02	0,32	601	858
0,03	0,48	597	853
0,04	0,64	593	847
0,05	0,8	589	842
0,1	1,6	570	814
0,2	3,2	531	758
0,3	4,8	492	703
0,4	6,4	453	647
0,5	8	414	591
0,6	9,6	375	536
0,7	11,2	336	480
0,8	12,8	297	424
0,9	14,4	258	369
1	16	219	313

Πίνακας 3.3.5: Επιρροή περίσφιγξης στο μήκος ματίσματος ράβδου κατά Πρόταση Β1

Η απεικόνιση των παραπάνω αποτελεσμάτων φαίνεται στην καμπύλη (Chai et al, 1991) του Σχήματος 3.3.7.

### Πρόταση Β.2.α

Περίσφιγξη με Χαλύβδινα Ελάσματα [ΕΚΩΣ 2000 & ΚΑΝΕΠΕ Κεφ.6]

Λαμβάνεται:

$$f_{ck}^* / f_{ck} = \begin{cases} 1 + 5 \frac{\sigma_h}{f_{ck}} & \text{για } \frac{\sigma_h}{f_{ck}} \leq 0,05 \\ 1,125 + 2,5 \frac{\sigma_h}{f_{ck}} & \text{για } \frac{\sigma_h}{f_{ck}} \geq 0,05 \end{cases}$$

$$f_{bd} = \frac{2,25}{1,5} f_{ctk0,05} = \frac{2,25}{1,5} \times 0,7 f_{ctm} = \frac{2,25}{1,5} \times 0,7 \times 0,3 f_{ck}^{2/3} = 0,315 f_{ck}^{2/3}$$

$$\frac{f_{bd}^*}{f_{bd}} = \left( \frac{f_{ck}^*}{f_{ck}} \right)^{2/3}$$

$$\frac{l_b^*}{l_b} = \frac{1}{(f_{bd}^*/f_{bd})}$$

					Φ14	Φ20
$\sigma_h/f_{ck}$	$\sigma_h$	$f_{ck}^*/f_{ck}$	$f_{bd}^*/f_{bd}$	$l_b^*/l_b$	$l_b^*$ (mm)	$l_b^*$ (mm)
0	0	1	1	1	609	870
0,01	0,16	1,05	1,03	0,97	590	843
0,02	0,32	1,1	1,07	0,93	566	809
0,03	0,48	1,15	1,1	0,91	554	791
0,04	0,64	1,2	1,13	0,88	536	765
0,05	0,8	1,25	1,16	0,86	523	748
0,1	1,6	1,38	1,24	0,81	493	704
0,2	3,2	1,63	1,38	0,72	438	626
0,3	4,8	1,88	1,52	0,66	402	574
0,4	6,4	2,13	1,65	0,61	371	530
0,5	8	2,38	1,78	0,56	341	487
0,6	9,6	2,63	1,9	0,53	323	461
0,7	11,2	2,88	2,02	0,5	304	435
0,8	12,8	3,13	2,14	0,47	286	409
0,9	14,4	3,38	2,25	0,44	268	383
1	16	3,63	2,36	0,42	256	365

Πίνακας 3.3.6: Περίσφιγξη με χαλύβδινα στοιχεία. Επιρροή περίσφιγξης στο μήκος ματίσματος με βάση τη Πρόταση Β2.

Η απεικόνιση των παραπάνω αποτελεσμάτων φαίνεται στην καμπύλη (Daudey and Filiatrault, 2000) του Σχήματος 3.3.7.

### Πρόταση Β.2.β

**Περίσφιγξη με Ινοπλισμένα Πολυμερή [ΕΚΩΣ 2000 & ΚΑΝΕΠΕ Κεφ.6]**  
Λαμβάνεται:

$$\frac{f_{ck}^*}{f_{ck}} = 1 + 2,3 \frac{\sigma_h}{f_{ck}} \quad \text{για} \quad \frac{\sigma_h}{f_{ck}} \leq 1,0$$

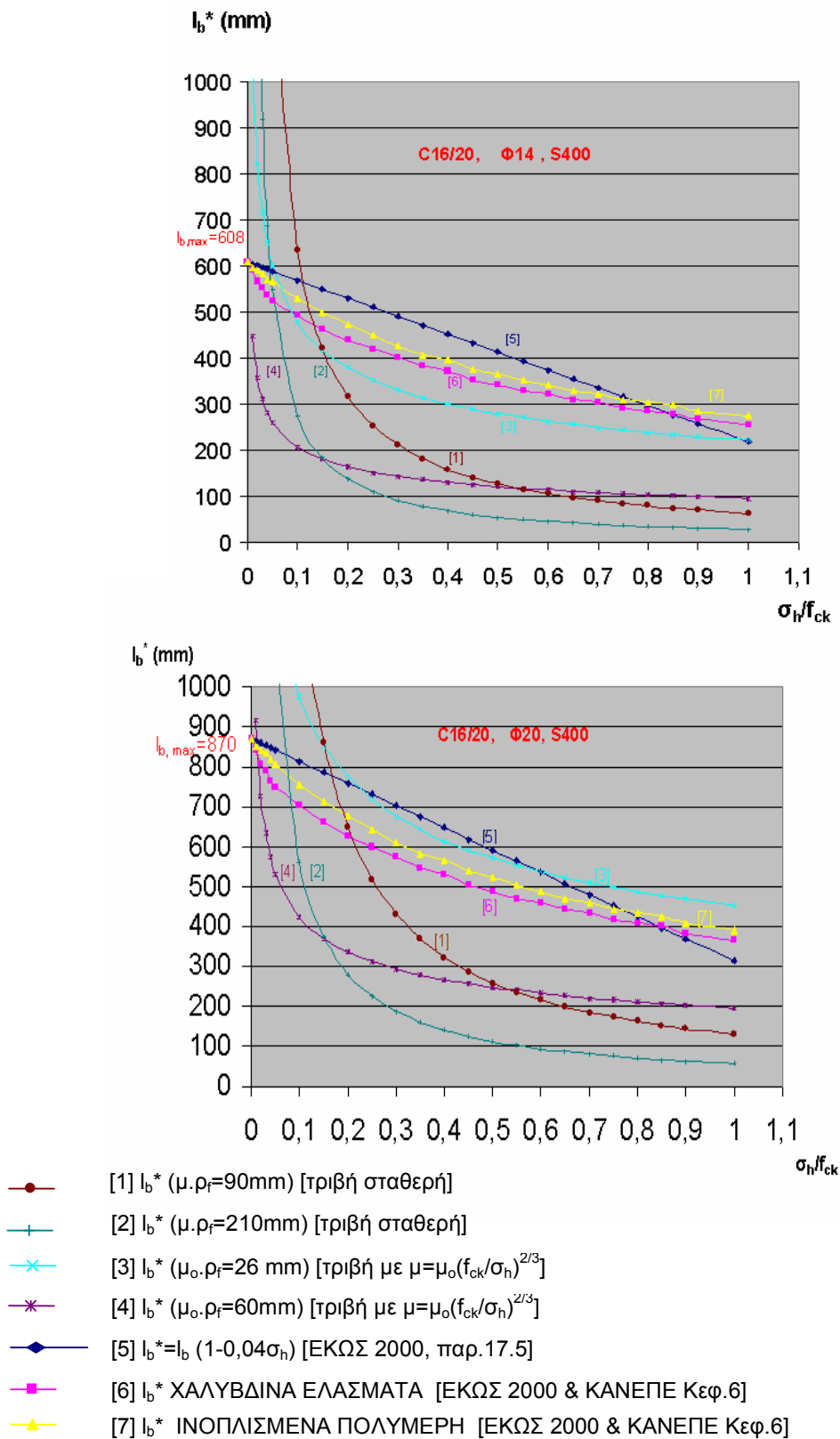
$$f_{bd} = \frac{2,25}{1,5} f_{ctk0,05} = \frac{2,25}{1,5} \times 0,7 f_{ctm} = \frac{2,25}{1,5} \times 0,7 \times 0,3 f_{ck}^{2/3} = 0,315 f_{ck}^{2/3}$$

$$\frac{f_{bd}^*}{f_{bd}} = \left( \frac{f_{ck}^*}{f_{ck}} \right)^{2/3} \quad \frac{l_b^*}{l_b} = \frac{1}{(f_{bd}^* / f_{bd})}$$

					Φ14	Φ20
$\sigma_h / f_{ck}$	$\sigma_h$	$f_{ck}^* / f_{ck}$	$f_{bd}^* / f_{bd}$	$l_b^* / l_b$	$l_b^* \text{ (mm)}$	$l_b^* \text{ (mm)}$
0	0	1	1	1	609	870
0,01	0,16	1,02	1,02	0,98	597	852
0,02	0,32	1,05	1,03	0,97	590	843
0,03	0,48	1,07	1,05	0,96	584	835
0,04	0,64	1,09	1,06	0,94	572	817
0,05	0,8	1,12	1,08	0,93	566	809
0,1	1,6	1,23	1,15	0,87	530	757
0,2	3,2	1,46	1,29	0,78	475	678
0,3	4,8	1,69	1,42	0,7	426	609
0,4	6,4	1,92	1,54	0,65	396	565
0,5	8	2,15	1,67	0,6	365	522
0,6	9,6	2,38	1,78	0,56	341	487
0,7	11,2	2,61	1,9	0,53	323	461
0,8	12,8	2,84	2,01	0,5	304	435
0,9	14,4	3,07	2,11	0,47	286	409
1	16	3,3	2,22	0,45	274	391

Πίνακας 3.3.7: Περίσφιγξη με ινοπλισμένα πολυμερή. Επιρροή περίσφιγξης με βάση τη Πρόταση Β.2β.

Η απεικόνιση των παραπάνω αποτελεσμάτων φαίνεται στην καμπύλη (Hawkins et al, 2000) του Σχήματος 3.3.7.



Σχήμα 3.3.7: Συγκριτική παρουσίαση αποτελεσματικότητας περίσφιγξης στο απαιτούμενο μήκος ματίσματος, για τις ομάδες προτάσεων Α, Αμ και Β.

Από τα προηγούμενα αποτελέσματα προκύπτει ότι:

- (α) Οι προτάσεις της ομάδας Β προβλέπουν πολύ μικρή επίδραση της περίσφιγξης στο απαιτούμενο μήκος ματίσματος, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες των ομάδων Α και Αμ. Τα αποτελέσματα αυτά είναι ίσως εξωπραγματικά. Μια ουσιαστικότερη κριτική γι' αυτό γίνεται στην συνέχεια όταν γίνονται συγκρίσεις με διατιθέμενα πειραματικά αποτελέσματα.
- (β) Οι προτάσεις της ομάδας Αμ (δηλ. οι τροποποιημένες προτάσεις της ομάδας Α όπου ο συντελεστής τριβής εξαρτάται από την κάθετη προς την διεπιφάνεια τάση) προβλέπουν μία ηπιότερη επίδραση της ενεργούς περίσφιγξης στο απαιτούμενο μήκος ματίσματος που δείχνει ρεαλιστικότερη. Η αξιοπιστία της παραπάνω παραδοχής ελέγχεται λεπτομερέστερα στην συνέχεια, με βάση τα διατιθέμενα πειραματικά δεδομένα.

### Συγκριτική Παρουσίαση Μεγίστων Και Ελαχίστων Προβλέψεων για Όλες τις Προτάσεις

Από τα προηγούμενα, φαίνεται ότι τα αποτελέσματα που προκύπτουν για όλες τις προτεινόμενες σχέσεις εξαρτώνται ιδιαίτερα από επιλογές των τιμών  $\mu$  και  $\rho_f$ , η εκτίμηση των οποίων γίνεται με μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας. Κρίνεται ως εκ τούτου σκόπιμο να εξεταστεί στη συνέχεια η επιρροή των παραπάνω αβεβαιοτήτων στο απαιτούμενο μήκος ματίσματος, εκτιμώντας τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές που προβλέπει κάθε πρόταση.

Εκτίμηση  $\frac{l_b^*}{l_b}$  ως Συνάρτηση  $\frac{\sigma_h}{f_{ck}}$

Προτάσεις Ομάδας Α για σταθερό  $\mu$

$$l_b^* = \frac{A_b f_{yk}}{\mu \rho_f \sigma_h} = \frac{l_b \pi \Phi f_{bd}}{\mu \rho_f \sigma_h}$$

$$f_{bd} = 1,05 \quad f_{ctm} = 0,315 f_{ck}^{2/3}$$

Επομένως:

$$\frac{l_b^*}{l_b} = \frac{\pi \Phi 0,315 f_{ck}^{2/3}}{\mu \rho_f \sigma_h} = \frac{\Phi f_{ck}^{2/3}}{\mu \rho_f \sigma_h} = \frac{\Phi}{\mu \rho_f f_{ck}^{1/3}} \left( \frac{f_{ck}}{\sigma_h} \right) \leq 1$$

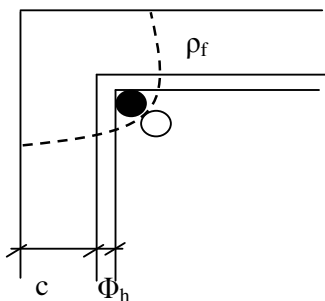
**Πρόταση Α1:** Πρόταση Priestley et al (Priestley et al, 1996)

$\mu = 1,0$  έως  $1,4$

$$\min \rho_f = 2(\Phi + \Phi_h + c) \cong 2(\Phi + \Phi/2 + \Phi/2) = 4\Phi$$

$$\max \rho_f = 2(\Phi + \Phi_h + c) \times 1,25 \cong 2(\Phi + \Phi/2 + 1,5\Phi) \times 1,25 \cong 7,5\Phi$$





Επομένως:

$$\min \mu \rho_f = 4\Phi$$

$$\max \mu \rho_f = 1,4 \times 7,5 \quad \Phi = 10,5 \Phi \quad \text{που καταλήγει}$$

$$\max \frac{l_b^*}{l_b} = \frac{0,25}{f_{ck}^{1/3}} \left( \frac{f_{ck}}{\sigma_h} \right)$$

$$\max \frac{l_b^*}{l_b} = \frac{0,10}{f_{ck}^{1/3}} \left( \frac{f_{ck}}{\sigma_h} \right)$$

όπου:

$$\sigma_h = \sigma_2 = \left( \frac{A_j}{s} \right) \frac{\sigma_j}{(b/2)}$$

**Πρόταση Α2:** Πρόταση Θ.Τ. (Τάσιος, 2003)

$$\mu = 0,4 \quad \text{έως} \quad 0,8$$

$$\rho_f = 2,5\Phi \quad \text{Έστω} \quad \min \rho_f = 2\Phi \quad \text{και} \quad \max \rho_f = 3\Phi$$

Επομένως:

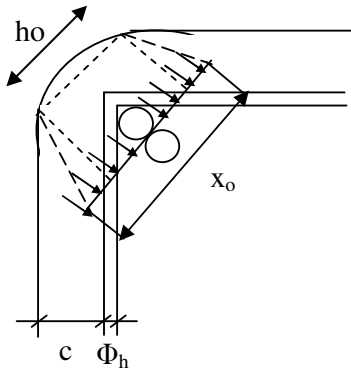
$$\min \mu \rho_f \cong 1,0\Phi \rightarrow \max \frac{l_b^*}{l_b} = \frac{1}{f_{ck}^{1/3}} \left( \frac{f_{ck}}{\sigma_h} \right)$$

$$\max \mu \rho_f \cong 2,5\Phi \rightarrow \min \frac{l_b^*}{l_b} = \frac{0,4}{f_{ck}^{1/3}} \left( \frac{f_{ck}}{\sigma_h} \right)$$

όπου:

$$\sigma_h \neq \sigma_2 \quad \sigma_h = \left( \frac{A_j}{s} \right) \frac{\sigma_j}{(x_o / \sqrt{2})}$$

**Πρόταση Α3: Πρόταση Θ.Τ.(δ)**



$\mu=0,6 \quad \text{έως} \quad 1,2$

$$\rho_f = x_o = h_o + (c + \Phi_h)\sqrt{2} + \Phi$$

$$\min \rho_f = \sqrt{2} \Phi + (1/2\Phi + 1/2\Phi)\sqrt{2} + \Phi \cong 4\Phi$$

$$\max \rho_f = \sqrt{2} \times 1,5\Phi + (1,5\Phi + 1/2\Phi)\sqrt{2} + \Phi \cong 6\Phi$$

Επομένως:

$$\min \mu \rho_f \cong 2,5 \Phi$$

$$\min \mu \rho_f \cong 7,0 \Phi$$

που καταλήγει:

$$\max l_b^*/l_b = \frac{0,40}{f_{ck}^{1/3}} \left( \frac{f_{ck}}{\sigma_h} \right)$$

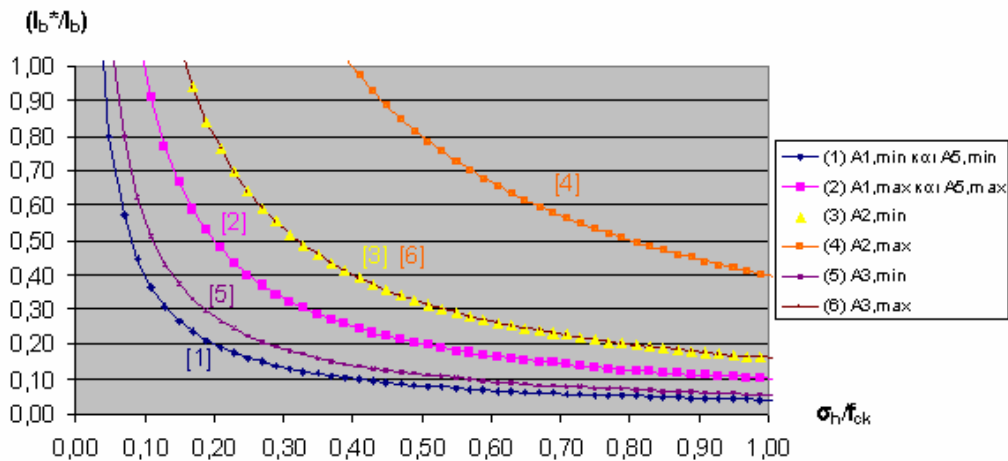
$$\min l_b^*/l_b = \frac{0,14}{f_{ck}^{1/3}} \left( \frac{f_{ck}}{\sigma_h} \right)$$

**όπου:**

$$\sigma_h \neq \sigma_2 \text{ kai } \sigma_h = \left( \frac{A_j}{s} \right) \frac{\sigma_j}{(x_o / \sqrt{2})}$$

Στο Σχήμα 3.3.8 παρουσιάζονται οι καμπύλες μεταβολής των παραπάνω συναρτήσεων στις ακραίες τους τιμές. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί σε όλες τις προτάσεις το εύρος των τιμών  $\frac{l_b^*}{l_b}$ , είναι ιδιαίτερα μεγάλο και συναρτάται έντονα με σχετικές "αυθαίρετες" παραδοχές. Έτσι οι καμπύλες ουσιαστικά συμπίπτουν με αυτές της πρότασης A1.

Επίσης είναι σαφές ότι οι προτάσεις A1 και A5 αποτιμούν περισσότερο την επίδραση της περίσφιγξης στο απαιτούμενο μήκος ματίσματος απ' ότι οι υπόλοιπες. Ο μικρότερος βαθμός επίδρασης φαίνεται να προκύπτει από τις προβλέψεις της πρότασης A2.



Σχήμα 3.3.8: Εκτίμηση εύρους τιμών για το απαιτούμενο αδιάστατο μήκος  $\frac{l_b^*}{l_b}$  για τις προτάσεις της ομάδας Α (με σταθερό συντελεστή τριβής)

#### Πρόταση Α5: Πρόταση Σ.Δ.

$\mu=0,4$  έως  $0,8$

$\min \rho_f = 2(\Phi + \Phi) = 4\Phi$

$\max \rho_f = 5$  έως  $6\Phi$

$\min \mu \rho_f = 4$

$\max \mu \rho_f = 10$  έως  $12$

#### Εκτίμηση Ελάχιστου Πάχους Υλικού Περίσφιγξης

Για να υπάρξει μείωση του απαιτούμενου μήκους "ματίσματος" το ελάχιστο πάχος του υλικού περίσφιγξης μπορεί να εκτιμηθεί (για κάθε μία από τις διαφορετικές προτάσεις) ως εξής:

#### Πρόταση Α1:

$\mu=1,0$  έως  $1,4$

$\rho_f = 4\Phi$  έως  $7,5\Phi$

$b=300\text{ mm}$  έως  $600\text{ mm}$

$\sigma_j = 250\text{ MPa}$  έως  $500\text{ MPa}$

#### Ευμενέστερη Περίπτωση

$$\min \frac{l_b^*}{l_b} = \frac{1}{1,4 \times 7,5} \frac{16^{2/3} \times (300/2)}{\left( \frac{A_j}{s} \right) \times 500}$$

Επομένως για να υπάρξει ευεργετική επίδραση πρέπει:

$$\left(\frac{A_j}{s}\right) \geq \frac{16^{2/3} \times (300/2)}{1,4 \times 7,5 \times 500} = 0,183 \text{ mm}$$

Δηλαδή απαιτούνται τουλάχιστον 2 φύλλα ΙΟΤΠ άνθρακα πάχους 0,125mm.

#### **Πρόταση Α2:**

$$\mu = 0,4 \text{ έως } 0,8$$

$$\rho_f = 2\Phi \text{ έως } 3\Phi$$

$$x_o = 4\Phi \text{ έως } 6\Phi$$

$$\sigma_j = 250 \text{ mm έως } 500 \text{ MPa}$$

$$\sigma_h = \left(\frac{A_j}{s}\right) \frac{\sigma_j}{(x_o / \sqrt{2})}$$

#### **Ευμενέστερη Περίπτωση**

$$\min \frac{l_b^*}{l_b} = \frac{1}{0,8 \times 3,0} \frac{16^{2/3} \times 2,85 \times 1,4}{\left(\frac{A_j}{s}\right) \times 500} \rightarrow \frac{A_j}{s} \geq 0,213 \text{ mm}$$

Δηλαδή απαιτούνται τουλάχιστον 2 φύλλα ΙΟΤΠ άνθρακα πάχους 0,125mm.

#### **Πρόταση Α3:**

$$\mu = 0,6 \text{ έως } 1,2$$

$$\rho_f = x_o = 4,0 \text{ έως } 6,0\Phi$$

$$x_o = 4\Phi \text{ έως } 6\Phi$$

$$\sigma_j = 250 \text{ mm έως } 500 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{A_j}{s}\right) \geq \frac{14}{1,2 \times \rho_f} \frac{16^{2/3} \times \rho_f}{500 \times \sqrt{2}} = 0,105 \text{ mm}$$

Δηλαδή τουλάχιστον 1 φύλλο ΙΟΤΠ άνθρακα πάχους 0,125mm.

#### **Προτάσεις Ομάδας Α για μεταβλητό μ (Ομάδα Αμ)**

$$\text{Θεωρώντας } \mu = \gamma_{cycl} \mu_o \left(\frac{f_{ck}}{\sigma_h}\right)^{2/3}$$

$$\frac{l_b^*}{l_b} = \frac{\Phi}{\mu \rho_f f_{ck}^{1/3}} \left(\frac{f_{ck}}{\sigma_h}\right)$$

Επομένως

$$\frac{l_b^*}{l_b} = \frac{\Phi}{\mu \gamma_{cycl} \rho_f} \sigma_h^{1/3} = \frac{\Phi}{\mu_o \gamma_{cycl} \rho_f} \frac{1}{f_{ck}^{1/3}} \left(\frac{f_{ck}}{\sigma_h}\right)^{1/3}$$

τίθεται  $(MR)_o = \frac{\Phi}{\mu_o \gamma_{cycl} \rho_f}$  και

λαμβάνοντας  $\mu_o = 0,44$  και  $\gamma_{cycl} = 2/3$  προκύπτει

$$l_b^* / l_b = (MR)_o \frac{1}{f_{ck}^{1/3}} \left( \frac{f_{ck}}{\sigma_h} \right)^{1/3}$$

Λαμβάνοντας υπ' όψη τα όρια του  $\rho_f$  όπως περιγράφονται στην προηγούμενη παράγραφο προκύπτουν οι παρακάτω τιμές του  $(MR)_o$ .

#### Προτάσεις Ομάδας Α1μ

$(MR)_o = 0,45$  έως  $0,85$

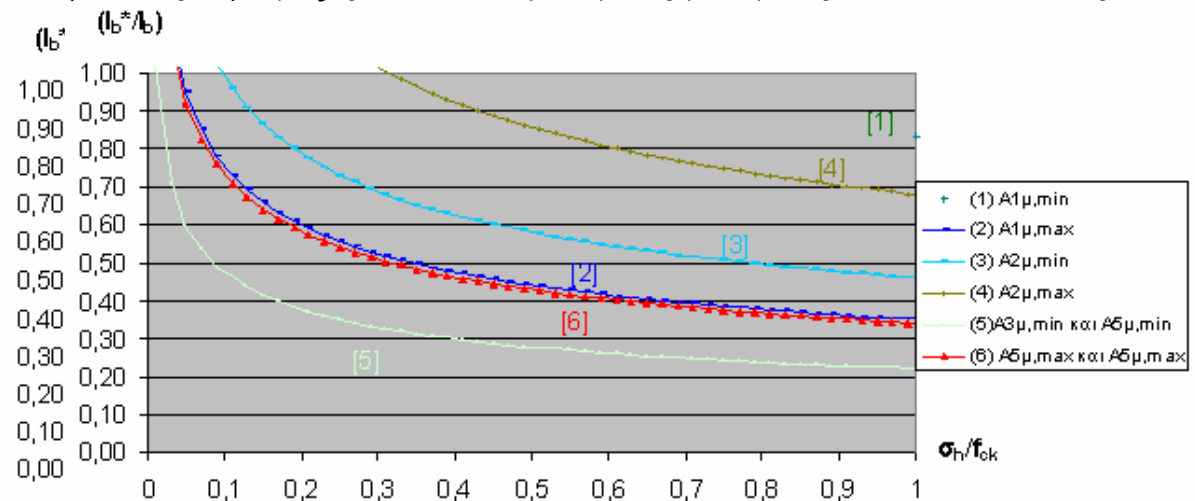
#### Προτάσεις Ομάδας Α2μ

$(MR)_o = 1,15$  έως  $1,70$

#### Προτάσεις Ομάδας Α3μ και Α5μ

$(MR)_o = 0,55$  έως  $0,85$

Στο Σχήμα 3.3.9 παρουσιάζονται οι καμπύλες μεταβολής των παραπάνω συναρτήσεων στις ακραίες τους τιμές. Όπως μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί το εύρος των τιμών  $l_b^* / l_b$  είναι και στη παρούσα περίπτωση μεγάλο, όμως σημαντικά μικρότερο απ' ότι προηγουμένως όπου ο συντελεστής τριβής ελαμβάνετο σταθερός. Επίσης είναι σαφές ότι οι προτάσεις Α3μ και Α5μ αποτιμούν περισσότερο την επίδραση της περίσφιγξης στο απαιτούμενο μήκος ματίσματος απ' ότι οι υπόλοιπες.



Σχήμα 3.3.9: Εκτίμηση εύρους τιμών για το απαιτούμενο αδιάστατο μήκος  $l_b^* / l_b$  για

τις προτάσεις της ομάδας Αμ (με συντελεστή τριβής που εξαρτάται από την  $\sigma_h$ )

## Προτάσεις Ομάδας Β

### Πρόταση Β1:

$$l_b^*/l_b = 1 - 0,04 \sigma_h = 1 - 0,04 f_{ck} \left( \frac{\sigma_h}{f_{ck}} \right)$$

$$\sigma_h = \sigma_2 = \left( \frac{A_j}{s} \right) \left( \frac{b}{2} \right) \sigma_j$$

### Πρόταση Β2:

$$l_b^*/l_b = \beta^{-\frac{2}{3}}$$

όπου α)  $\beta = 1 + 5 \frac{\sigma_h}{f_{ck}}$  για  $\frac{\sigma_h}{f_{ck}} \leq 0,05$

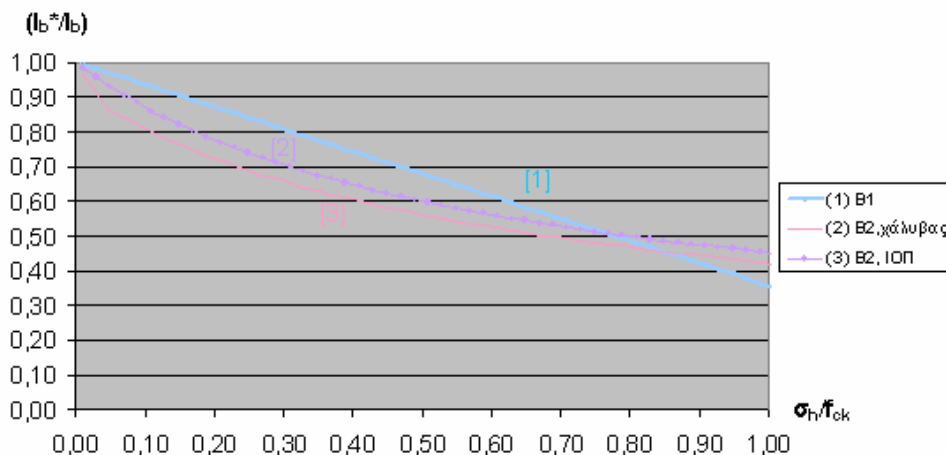
$\beta = 1,125 + 2,5 \frac{\sigma_h}{f_{ck}}$  για  $\frac{\sigma_h}{f_{ck}} > 0,05$

για χάλυβα

β)  $\beta = 1 + 2,3 \frac{\sigma_h}{f_{ck}}$

για ΙΟΠ

όπου:  $\sigma_h = \sigma_2 = \left( \frac{A_j}{s} \right) \left( \frac{b}{2} \right) \sigma_j$

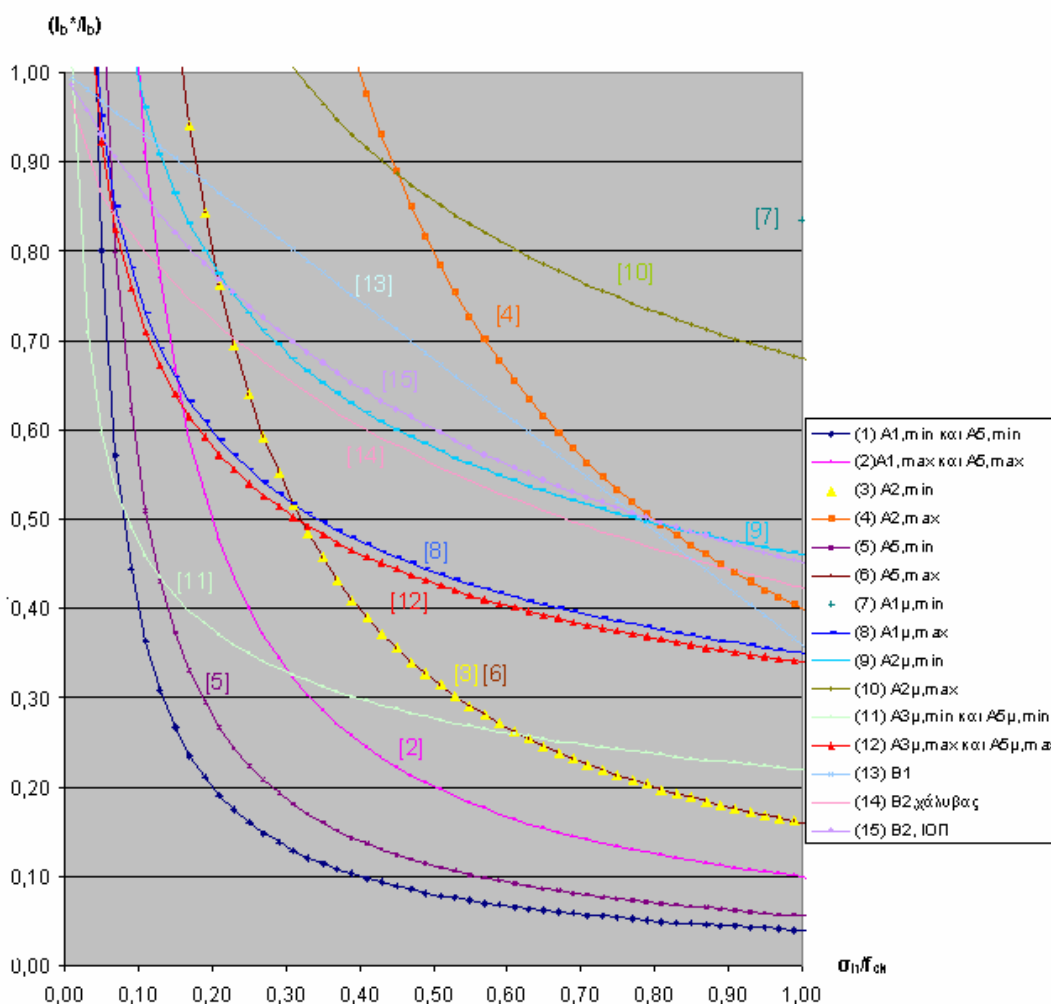


Σχήμα 3.3.10: Εκτίμηση εύρους τιμών για το απαιτούμενο αδιάστατο μήκος  $l_b^*/l_b$  για τις προτάσεις της ομάδας Β.

Στο Σχήμα 3.3.10 παρουσιάζονται οι καμπύλες μεταβολής των παραπάνω συναρτήσεων στις ακραίες τους τιμές. Όπως μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί, οι καμπύλες αυτής της ομάδας πλεονεκτούν έναντι των αντίστοιχων της ομάδας Α

επειδή δεν απαιτούν αβέβαιες επιλογές. Όμως προκύπτει σαφώς ότι, αποτιμούν σημαντικά λιγότερο την επίδραση της περίσφιξης στο απαιτούμενο μήκος ματίσματος σε σχέση με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις που προκύπτουν με βάση τις προτάσεις των ομάδων Α και Αμ.

Για εποπτικούς λόγους στο Σχήμα 3.3.11 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά όλες οι καμπύλες μεταβολής των παραπάνω συναρτήσεων στις ακραίες τους τιμές, επιβεβαιώνοντας το σύνολο των σχολίων της παρούσας παραγράφου.



Σχήμα 3.3.11: Εκτίμηση εύρους τιμών για το απαιτούμενο αδιάστατο μήκος  $\frac{l_b^*}{l_b}$  για τις όλες τις προτάσεις.

### Εκτίμηση $\frac{l_b^*}{l_b}$ ως Συνάρτηση $\sigma_j$ ή $\varepsilon_j$

Στην συνέχεια επιχειρείται μία εκτίμηση του μεγέθους  $\frac{l_b^*}{l_b}$  ως συνάρτηση της ενεργού τάσης του υλικού περίσφιγξης ( $\sigma_j$ ) δεδομένου ότι η συσχέτιση που παρουσιάστηκε προηγουμένως  $\frac{l_b^*}{l_b} = f(\sigma_h)$  επηρεάζεται έντονα από τον διαφορετικό τρόπο που συναρτάται, στις διαφορετικές προτάσεις, η  $\sigma_h$  από την  $\sigma_j$

### Εκτίμηση Τάξης Μεγέθους $\sigma_h$ ως Συνάρτηση του $\sigma_j$

Κωδικοποιώντας τη σχέση  $\sigma_h = f(\sigma_j)$ , όπως ισχύει για όλες τις προτάσεις, μπορεί να γραφεί:

$$\sigma_h = \left( \frac{A_j}{s} \right) \frac{\sigma_j}{B}$$

όπου

$$B = \frac{b}{2} \quad \text{στις προτάσεις A1, B1 και B2}$$

$$B = \frac{x_0}{\sqrt{2}} \quad \text{στις προτάσεις A2 και A3}$$

$$B = c_\Phi \quad \text{στη πρόταση A5}$$

$$\sigma_j = \varepsilon_j E_j = \left( 1 - 2 \frac{0}{00} \right) E_j \cong 250 \text{ έως } 500 \text{ MPa για ΙΟΠ από άνθρακα ή για χάλυβα.}$$

Άλλου είδους ΙΟΠ (π.χ. από γυαλί ή αραμίδιο) δεν είναι πρόσφορο να χρησιμοποιηθούν λόγω των μικρότερων τους μέτρων Ελαστικότητας.

Στη συνέχεια η διερεύνηση γίνεται για συνήθεις διαστάσεις υποστυλωμάτων  $b = 300 - 600 \text{ mm}$ , και συνήθεις τιμές μεγεθών  $x_0$  και  $c_\Phi$

$$x_0 = (4,0 - 6,0)\Phi, \quad c_\Phi = (2,0 - 3,0)\Phi$$

Το εύρος τιμών της παραμέτρου B προκύπτει:

$$\text{Πρόταση A1, B1 και B2:} \quad B = 150 \text{ έως } 300 \text{ mm}$$

$$\text{Πρόταση A2 και A3:} \quad B = 40 \text{ έως } 90 \text{ mm}$$

$$\text{Πρόταση A5:} \quad B = 28 \text{ έως } 60 \text{ mm}$$

Έστω ότι χρησιμοποιούνται φύλλα ΙΟΠ πάχους 0,125mm. Οι εκτιμήσεις στη συνέχεια γίνονται για δύο φύλλα ΙΟΠ και για οκτώ φύλλα ΙΟΠ (ή 4 φύλλα  $E_f$ ) που ισοδυναμούν από απόψεως δυσκαμψίας με μανδύα από χάλυβα παχους 1mm.



Πρόταση	2 Φύλλα ΙΟΠ άνθρακα συνήθους μέτρου Ελαστικότητας πάχους $t=0,125\text{mm}$	8 Φύλλα ΙΟΠ ή 4 Φύλλα ΙΟΠ άνθρακα υψηλού $E_f$ ή χάλυβας $t=1\text{mm}$ .
A1,A1μ, B1 και B2	$(0,8 \text{ έως } 1,6) \frac{0}{00} \sigma_j$	$(3,3 \text{ έως } 6,7) \frac{0}{00} \sigma_j$
	$(0,2 \text{ έως } 0,8) \text{ MPa}$	$(0,8 \text{ έως } 3,2) \text{ MPa}$
A2, A2μ,A3 και A3μ	$(2,8 \text{ έως } 6,2) \frac{0}{00} \sigma_j$	$(1,15 \text{ έως } 25) \frac{0}{00} \sigma_j$
	$(0,7 \text{ έως } 3,0) \text{ MPa}$	$(2,8 \text{ έως } 12,5) \text{ MPa}$
A5 και A5μ	$(4,2 \text{ έως } 8,9) \frac{0}{00} \sigma_j$	$(16,8 \text{ έως } 35) \frac{0}{00} \sigma_j$
	$(1,05 \text{ έως } 4,45) \text{ MPa}$	$(4,20 \text{ έως } 17,8) \text{ MPa}$

Πίνακας 3.3.8 : Όρια τιμών της επιτυγχανόμενης θλιπτικής τάσης  $\sigma_h$ .

Εισάγοντας τις οριακές τιμές του Πίνακα 3.3.8 στις εξισώσεις που διατυπώθηκαν για τα ελάχιστα και τα μέγιστα σε κάθε πρόταση, προκύπτουν τα διαγράμματα που παρουσιάζονται στα Σχήματα 3.3.12 και 3.3.13, ως συνάρτηση της ενεργούς παραμόρφωσης του υλικού ενίσχυσης. Τα διαγράμματα έχουν σχεδιαστεί για ενίσχυση με φύλλα ΙΟΠ με  $E_j=250 \text{ GPa}$  και συνολικό ισοδύναμο πάχος  $t_{eq}=0,25 \text{ mm}$  (Σχ.3.3.12) και  $t_{eq}=1,00 \text{ mm}$  (Σχ.3.3.13) όμως μπορεί να θεωρηθεί ότι έχουν ισχύ και για κάθε άλλη περίπτωση αρκεί να τεθεί στον άξονα x η τιμή που προκύπτει από τη σχέση:

$$\epsilon_j = \frac{t_{j,eq} \text{ (mm)}}{t_{j,διαγρ.}} \frac{E_j \text{ (GPa)}}{259} \epsilon_{j,real}$$

όπου:

$\epsilon_{j,read}$  είναι η πραγματική ενεργή παραμόρφωση του υλικού περίσφιγξης

$t_{j,διαγρ.}$  είναι το πάχος  $t_{j,eq.}$  που χρησιμοποιήθηκε για τις καμπύλες κάθε διαγράμματος (0,25mm στο Σχήμα 3.3.12 και 1,0 mm στο Σχήμα 3.3.13).

Στη περίπτωση που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.3.12, και στη πράξη αφορά την ενίσχυση με δύο φύλλα ΙΟΠ από άνθρακα, η μείωση του απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης εκτιμώμενη από το λόγο  $\frac{l_b^*}{l_b}$  προκύπτει ακολούθως:

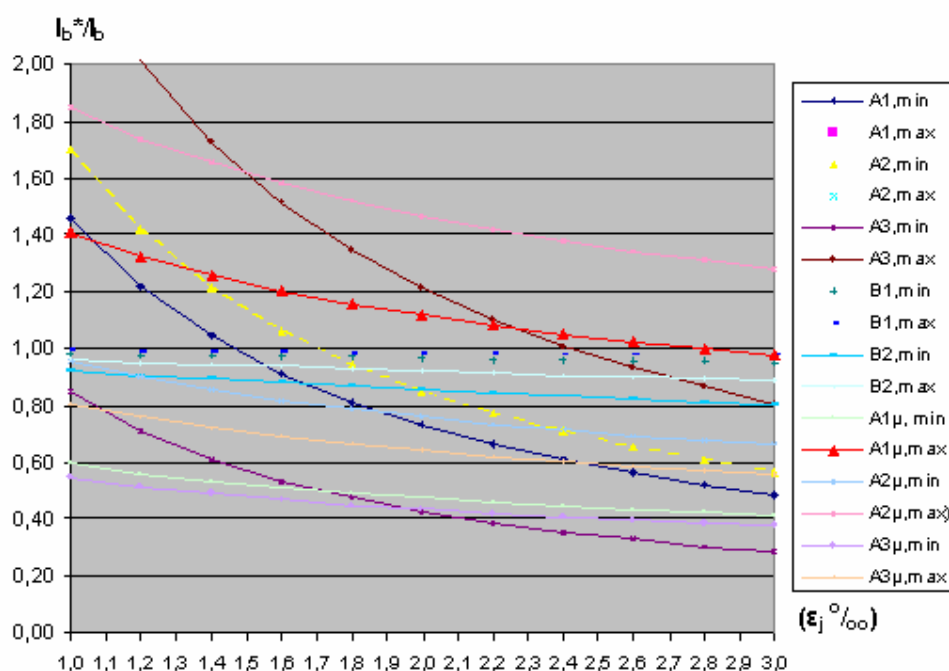
Πρόταση	A1	:	0,98 έως >2,0	δηλ. μηδενική μείωση
Πρόταση	A2	:	1,12 έως >2,0	δηλ. μηδενική μείωση
Πρόταση	A3	:	0,58 έως 1,60	
Πρόταση	A5	:	0,20 έως 1,00	
Πρόταση	A1μ	:	0,52 έως 1,22	
Πρόταση	A2μ	:	0,83 έως 1,60	
Πρόταση	A3μ	:	0,48 έως 0,70	

Πρόταση A5μ : 0,42 έως 0,62

Πρόταση B1 : 0,97 έως 0,98

Πρόταση B2 : 0,90 έως 0,95

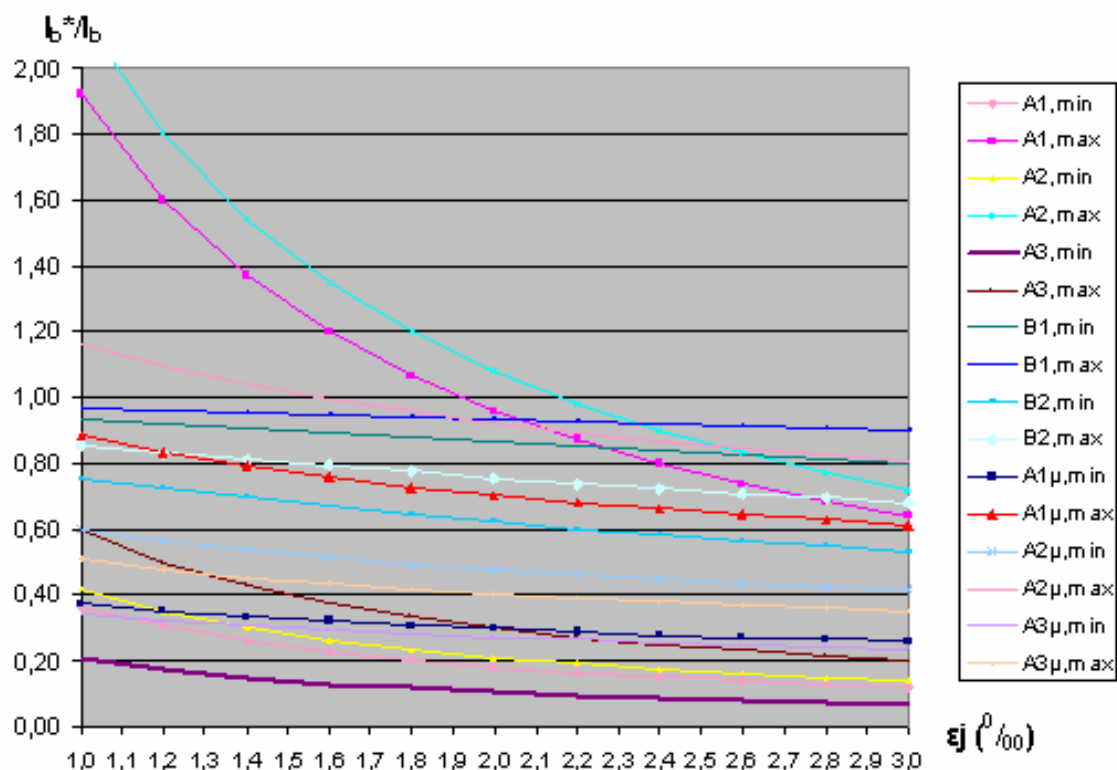
Οι παραπάνω τιμές έχουν προκύψει για ενεργή τάση του υλικού περίσφιγξης  $\varepsilon_j = 1,5 \frac{0}{00}$  και ισχύουν διαιρεμένες δια 4 και για την περίπτωση που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.3.13.



Σχήμα 3.3.12: Εκτίμηση εύρους τιμών για το απαιτούμενο αδιάστατο μήκος  $\frac{l_b^*}{l_b}$  για  
ένιση με υλικό μέτρου Ελαστικότητας  $E_j = 250 GPa$  και πάχους  
 $t_{j,eq.} = 0,25$

Από τις παραπάνω τιμές αλλά και γενικότερα εκτιμώντας τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων των Σχημάτων 3.3.12 και 3.3.13, προκύπτει ότι οι προβλέψεις των προτάσεων της ομάδας Αμ (εκεί που δηλαδή ο συντελεστής τριβής συναρτάται με την κάθετη προς την επιφάνεια της ρωγμής θλιπτική τάση) έχουν την μικρότερη διασπορά (με ελαχιστοποίηση στις ομάδες Α3μ και Α5μ) και επομένως εξαρτώνται λιγότερο από αβέβαιες επιλογές. Εξάλλου οι τιμές που προκύπτουν σ' αυτές τις περιπτώσεις δείχνουν ρεαλιστικότερες. Επίσης ιδιαίτερα μικρή αποτελεσματικότητα της περίσφιγξης, που απέχει σημαντικά από λογικές προβλέψεις, φαίνεται να προκύπτει από τις προτάσεις της ομάδας Β.

Η επιβεβαίωση των παραπάνω παρατηρήσεων, καθώς και η αξιολόγηση των επικρατέστερων επιμέρους προτάσεων θα ερευνηθούν στη συνέχεια με διαθέσιμα πειραματικά αποτελέσματα.



Σχήμα 3.3.13: Εκτίμηση εύρους τιμών για το απαιτούμενο αδιάστατο μήκος  $\frac{l_b^*}{l_b}$  για ενίσχυση με υλικό μέτρου Ελαστικότητας  $E_j=250GPa$  και πάχους  $t_{j,eq.}=1,00$

### 3.3.3. Σύγκριση Προβλέψεων με Πειραματικά Αποτελέσματα

Στη συνέχεια επιχειρείται μία αξιολόγηση των προτάσεων που διατυπώθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προβλέπουν με διαθέσιμα αποτελέσματα από πειραματικής έρευνας που έχουν διεξαχθεί στο Πανεπιστήμιο Lehigh των ΗΠΑ και στο Πανεπιστήμιο Πατρών.

## 1. Πειραματική Έρευνα στο LEHIGH UNIVERSITY (Harries et al, 2003)

### Δεδομένα:

$$E_f = 78 \text{ MPa}$$

$$t_f = 2 \times 0,165 \text{ mm}$$

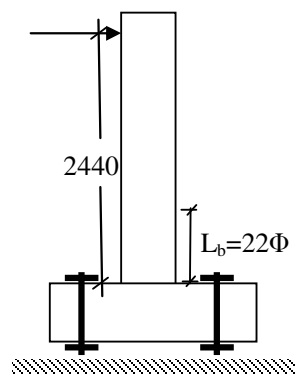
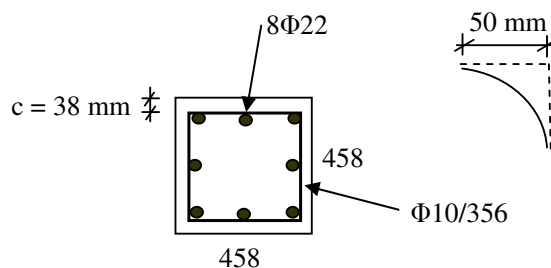
$$f_y / f_t = 470 / 690$$

$$f_{yw} / f_{tw} = 530 / 745$$

$$f_c = 25 - 28,5 \text{ MPa}$$

$$c = 38 + \Phi_h = 48 \text{ mm}$$

$$r = 50 \text{ mm}$$



### Αποτελέσματα:

	Χωρίς ματίσματα	22Φ	Τύπος ενίσχυσης
Φορτίο	$P_{max}$	83% $P_{max}$	Χωρίς περίσφιγξη
Σχ.μετακίνηση (drift)	2%	1,55%	
Φορτίο	108,5% $P_{max}$	97,5% $P_{max}$	4 φύλλα ΙΟΠ με $t=0,165\text{mm}$ και $E_f=78 \text{ MPa}$
Σχ.μετακίνηση (drift)	6,5%	5,2%	

## 2. Πειραματική Έρευνα στο ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ (Bousias and Fardis, 2003)

### Δεδομένα:

$$E_f = 230 \text{ GPa}$$

$$t_f = 0,13 \text{ mm}$$

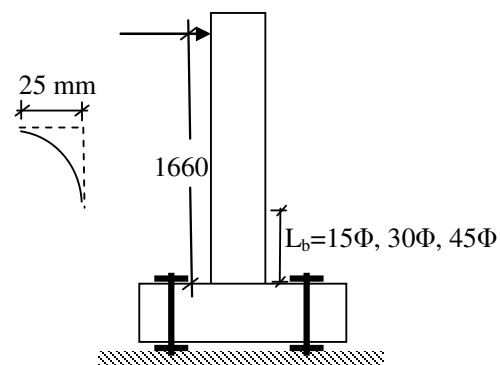
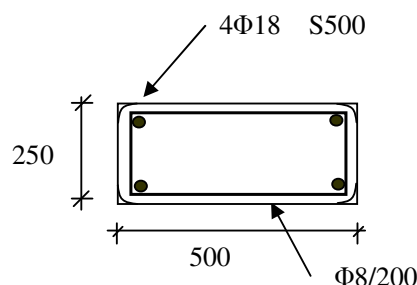
$$f_y / f_t = 514 / 659$$

$$f_{yw} / f_{tw} = 425 / 596$$

$$f_c = 18 - 30 \text{ MPa}$$

$$c = 20 \text{ mm}$$

$$r = 25 \text{ mm}$$



### Αποτελέσματα:

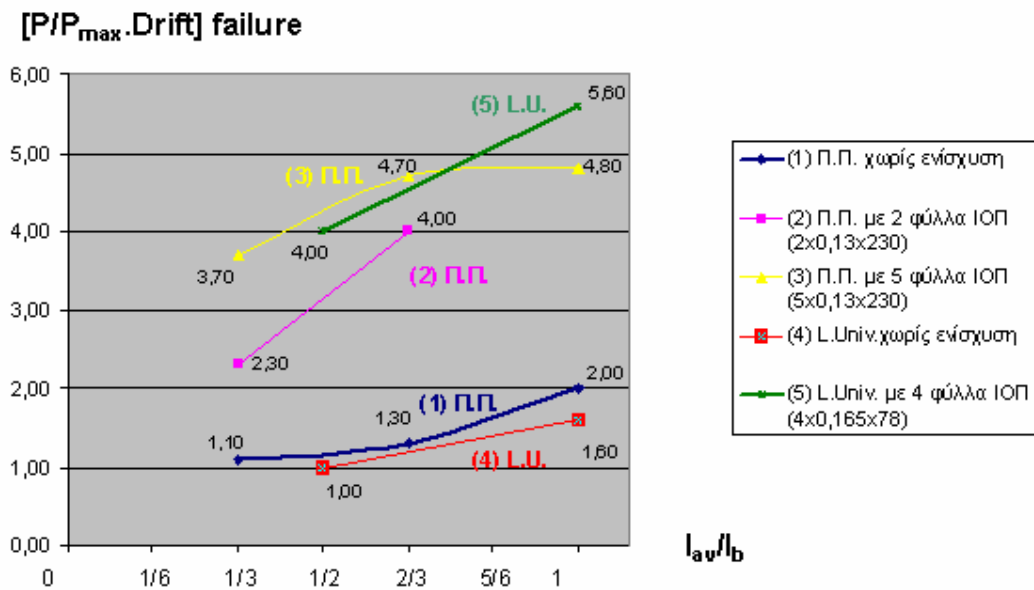
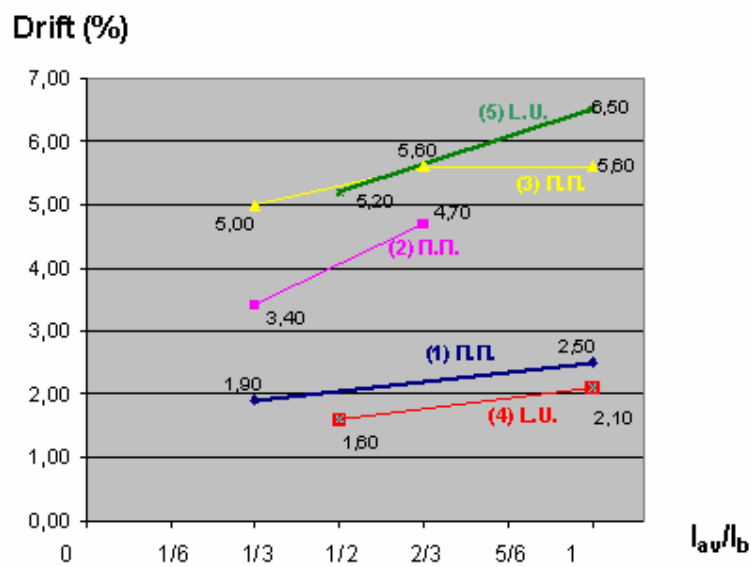
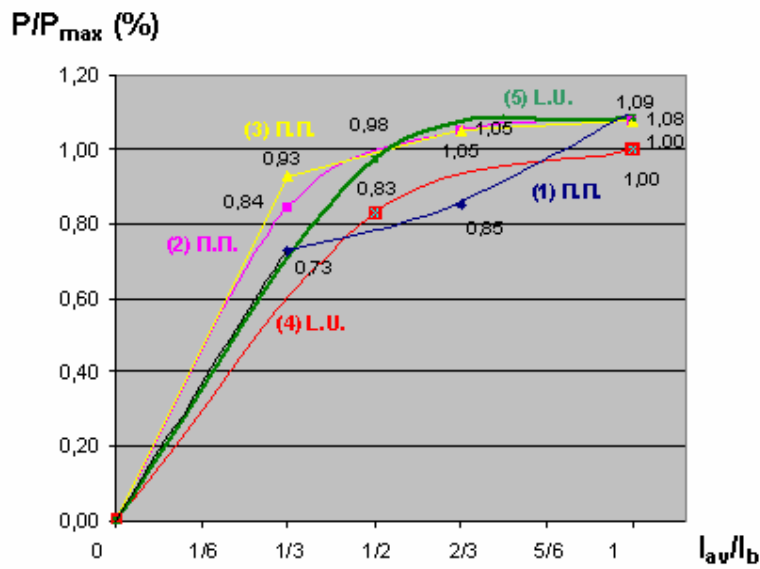
	45Φ ή χωρίς ματίσματα	30Φ	15Φ	Τύπος ενίσχυσης
Φορτίο	$P_{max}$	85% $P_{max}$	72,5% $P_{max}$	Χωρίς περίσφιγξη
Σχ.μετακ. (drift)	2,5%	1,9%	1,9%	
Φορτίο	-	107% $P_{max}$	84% $P_{max}$	2 φύλλα ΙΟΠ με $t=0,13 \text{ mm}$ και $E_f=230 \text{ GPa}$
Σχ.μετακ. (drift)	-	4,7%	3,4%	
Φορτίο	107% $P_{max}$	105% $P_{max}$	92,5% $P_{max}$	5 φύλλα ΙΟΠ με $t=0,13 \text{ mm}$ και $E_f=230 \text{ GPa}$
Σχ.μετακ. (drift)	5,6 %	5,6%	5,0%	

Τα παραπάνω αποτελέσματα αναπαριστώνται γραφικά στα Σχήματα που ακολουθούν, ως συνάρτηση του διατιθέμενου μήκους  $l_{av}$  προς αυτό που απαιτείται για να αναπτυχθεί το μέγιστο φορτίο που αντιστοιχεί σε δοκίμιο χωρίς ματίσματα και χωρίς ενίσχυση.

Στο Σχήμα 3.3.14α αναπαριστάται το μέγιστο αναλαμβανόμενο φορτίο σε κάθε περίπτωση ανηγμένο στο μέγιστο φορτίο που αναλαμβάνεται από το αντίστοιχο δοκίμιο χωρίς ματίσματα και χωρίς ενίσχυση.

Στο Σχήμα 3.3.14β αναπαριστάται η μετακίνηση κορυφής του υποστυλώματος ανηγμένη στο ύψος του (drift), όπως μετρήθηκε στη φάση αστοχίας του οριζομένης ως στιγμή που  $P_u=0,8 P_{max}$ .

Στο Σχήμα 3.3.14γ αναπαριστάται το γινόμενο των παρακάτω μεγεθών, που εκφράζει ένα μέτρο εκτίμησης της συνολικής ικανότητας του στοιχείου σε όρους αντοχής και πλαστιμότητας συγχρόνως.



Σχήμα 3.3.14: Διαγράμματα  $l_{av}/l_b$  συναρτήσει  $P/P_{max}$ , drift,  $[P/P_{max} \cdot drift]$  failure

Για να συγκριθούν τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις προτάσεις με τα αντίστοιχα πειράματα χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς οι μέσες τιμές αντοχής των υλικών.

$$f_{bk} = 2,25 f_{ck} = 2,25 \times 0,7 f_{ctm} = 2,25 \times 0,7 \times 0,3 f_{ck}^{2/3} = 0,47 f_{ck}^{2/3}$$

για περιοχή συνάφειας II  $f_{bk} = 0,7 \times 0,47 f_{ck}^{2/3} = 0,33 f_{ck}^{2/3}$

$$f_{bm} = 1,3 f_{bk} = 0,43 f_{ck}^{2/3}$$

$$A_b f_{st} = \pi \Phi f_{bm} l_b$$

$$A_b f_{st} = \mu \rho_f \sigma_h l_b^* = 0,44 \times \gamma_{cycl} \times \left( \frac{f_c}{\sigma_h} \right)^{2/3} \sigma_h l_b^*$$

για  $\gamma_{cycl} = 0,75$

$$\lambda^* = \frac{l_b^*}{l_b} = \frac{\Phi}{0,25 \rho_f} \frac{B^{1/3}}{\sigma_j^{1/3}} \frac{1}{t_{j,eq}^{1/3}}$$

$$\sigma_h = \frac{t_j \sigma_j}{B} \quad \text{όπου} \quad B = \begin{cases} b/2 & (\text{Πρόταση A1, A1}\mu) \\ x_o / \sqrt{2} & (\text{Πρόταση A3, A3}\mu) \\ c_\Phi & (\text{Πρόταση A5, A5}\mu) \end{cases}$$

**Συγκρίσεις με τα Πειραματικά Αποτελέσματα του LEHIGH UNIVERSITY**  
(Harries et al, 2003)

#### Πρόταση A1

$$\rho_f = (48 + 22) \times 2 \times 1,2 = 168 \text{ mm}$$

$$\lambda^* = \frac{22}{1,4 \times 168} \frac{125 \times 25^{2/3}}{2,0 \times 78} \frac{1}{t_{j,eq}} = \frac{0,637}{t_{j,eq}}$$

$$t_{j,eq} = 0,925^3 \times 4 \times 0,1625 = 0,52 \text{ mm}$$

$$\lambda^* = 1,23!$$

#### Πρόταση A3

$$\lambda^* = \frac{22}{1,5 \times 1,41 \times 2,0 \times 78} \frac{25^{2/3}}{t_{j,eq}} \frac{1}{t_{j,eq}} = \frac{0,566}{t_{j,eq}}$$

$$t_{j,eq} = 0,52 \text{ mm} \rightarrow \lambda^* = 1,09!$$

#### Πρόταση A5

$$\lambda^* = \frac{22}{1,5 \times 2 \times 2,0 \times 78} \frac{25^{2/3}}{t_{j,eq}} \frac{1}{t_{j,eq}} = \frac{0,40}{t_{j,eq}}$$

$$t_{j,eq} = 0,52 \text{ mm} \rightarrow \lambda^* = 0,77$$

### Πρόταση A1μ

$$\lambda^* = \frac{22}{0,25 \times 168} \left( \frac{125}{2,0 \times 78} \right)^{1/3} \frac{1}{t_{j,eq}^{1/3}} = \frac{0,486}{t_j^{1/3}}$$

Για  $t_{j,eq} = 0,52 \text{ mm} \rightarrow \lambda^* = 0,60$

### Πρόταση A3μ

$$\rho_f = x_o = \sqrt{2} \times 48 + \frac{50\sqrt{2}}{2} + \frac{22}{2}(\sqrt{2} + 1) = 129,4 \text{ mm}$$

$$\lambda^* = \frac{22}{0,25 \times 129,4} \left( \frac{129,4/\sqrt{2}}{2,0 \times 78} \right)^{1/3} \frac{1}{t_{j,eq}^{1/3}} = \frac{0,567}{t_{j,eq}^{1/3}}$$

Για  $t_{j,eq} = 0,52 \text{ mm} \rightarrow \lambda^* = 0,70$

### Πρόταση A5μ

$$c_\Phi = 48 + 22 = 70 \text{ mm}$$

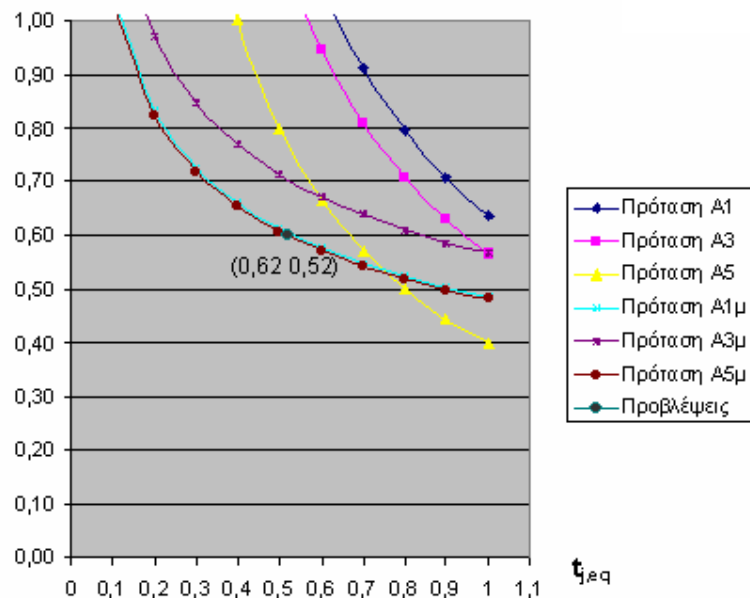
$$\rho_f = 2 \times 70 = 140 \text{ mm}$$

$$\lambda^* = \frac{22}{0,25 \times 140} \left( \frac{70}{2,0 \times 78} \right)^{1/3} \frac{1}{t_{j,eq}^{1/3}} = \frac{0,481}{t_j^{1/3}}$$

Για  $t_{j,eq} = 0,52 \text{ mm} \rightarrow \lambda^* = 0,60$

Στο Σχήμα 3.3.15 αναπαριστώνται οι σχετικές καμπύλες των ανωτέρω προτάσεων σε σύγκριση με τα πειραματικά δεδομένα που μπορούν να αναπαρασταθούν από το σημείο  $t_{j,eq} = 0,52 \text{ mm} \quad \lambda^* = \frac{27}{45} = 0,60$

$\lambda^*$  Πειραματικά Αποτελέσματα Lehigh University (Harries et al, 2003)



Σχήμα 3.3.15: Σύγκριση προβλέψεων με πειραματικά αποτελέσματα



Όπως μπορεί να παρατηρηθεί υπάρχει πολύ καλή συμφωνία με τα αποτελέσματα των προτάσεων A1μ και A5μ ενώ ακολουθούν αυτά της πρότασης A3μ. Τα αποτελέσματα της ομάδας A δείχνουν αρκετά μεγάλες αποκλίσεις με εξαίρεση τη πρόταση A5.

### Συγκρίσεις με τα Πειραματικά Αποτελέσματα του ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ (Bousias and Fardis, 2003)

#### Πρόταση A1

$$\rho_f = (20+18) \times 2 \times 1,2 = 91,2 \text{ mm}$$

$$\lambda^* = \frac{\Phi}{\mu \rho_f} \frac{(b/2) f_{ck}^{2/3}}{\sigma_j t_j} = \frac{18}{1,4 \times 91,2} \frac{125 \times 25^{2/3}}{2,0 \times 230} \frac{1}{t_{j,eq}} = \frac{0,325}{t_{j,eq}}$$

$$\text{Για τα 2 φύλλα ΙΟΠ } t_{j,eq} = 0,925 \times 2 \times 0,13 = 0,24 \text{ mm} \rightarrow \lambda^* = 1,35!$$

$$\text{Για τα 5 φύλλα ΙΟΠ } t_{j,eq} = 0,925^4 \times 5 \times 0,13 = 0,48 \text{ mm} \rightarrow \lambda^* = 0,68$$

#### Πρόταση A3 για $\mu=1,5$

$$\lambda^* = \frac{18}{1,5 \sqrt{2} \times 2,0 \times 230} \frac{25^{2/3}}{t_{j,eq}} = \frac{0,157}{t_{j,eq}}$$

$$\text{Για } t_{j,eq} = 0,24 \text{ mm} \rightarrow \lambda^* = 0,65$$

$$t_{j,eq} = 0,48 \text{ mm} \rightarrow \lambda^* = 0,33$$

#### Πρόταση A5 για $\mu=1,5$

$$\lambda^* = \frac{18}{1,5 \times 2 \times 2,0 \times 230} \frac{25^{2/3}}{t_{j,eq}} = \frac{0,111}{t_{j,eq}}$$

$$\text{Για } t_{j,eq} = 0,24 \text{ mm} \rightarrow \lambda^* = 0,47$$

$$t_{j,eq} = 0,48 \text{ mm} \rightarrow \lambda^* = 0,24!$$

#### Πρόταση A1μ

$$\lambda^* = \frac{18}{0,25 \times 91,2} \left( \frac{125}{2 \times 230} \right) \frac{1}{t_{j,eq}^{1/3}} = \frac{0,511}{t_{j,eq}^{1/3}}$$

$$\text{Για } t_{j,eq} = 0,24 \text{ mm} \rightarrow \lambda^* = 0,81$$

$$t_{j,eq} = 0,48 \text{ mm} \rightarrow \lambda^* = 0,65$$

#### Πρόταση A3μ

$$\rho_f = x_o = \sqrt{2} c + \frac{h_o}{2} + \frac{d_s}{2} (\sqrt{2} + 1) = \sqrt{2} \times 20 + 25 \times \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{18}{2} (\sqrt{2} + 1) = 67,5 \text{ mm}$$

$$\lambda^* = \frac{18}{0,25 \times 67,5} \left( \frac{67,5 / \sqrt{2}}{2,0 \times 230} \right)^{1/3} \frac{1}{t_{j,eq}^{1/3}} = \frac{0,50}{t_{j,eq}^{1/3}}$$

$$\text{Για } t_{j,eq} = 0,24 \text{ mm} \rightarrow \lambda^* = 0,80$$

$$t_{j,eq} = 0,48 \text{ mm} \rightarrow \lambda^* = 0,63$$

#### Πρόταση Α5μ

$$c_\phi = 20 + 18 = 38 \text{ mm}$$

$$\rho_f = 2 \times 38 = 76 \text{ mm}$$

$$\lambda^* = \frac{18}{0,25 \times 76} \left( \frac{38}{2,0 \times 230} \right)^{1/3} \frac{1}{t_{j,eq}^{1/3}} = \frac{0,412}{t_{j,eq}^{1/3}}$$

$$\text{Για } t_{j,eq} = 0,24 \text{ mm} \rightarrow \lambda^* = 0,66$$

$$t_{j,eq} = 0,48 \text{ mm} \rightarrow \lambda^* = 0,53$$

#### Πρόταση Β1

$$\lambda^* = 1 - 0,04 \sigma_h = 1 - 0,04 \times \frac{(2,0 \times 230)}{125} t_{j,eq} = 1 - 0,147 t_{j,eq}$$

$$\text{Για } t_{j,eq} = 0,24 \text{ mm} \rightarrow \lambda^* = 0,96$$

$$t_{j,eq} = 0,48 \text{ mm} \rightarrow \lambda^* = 0,93$$

#### Πρόταση Β2

$$\lambda^* = \left( 1 + 2,3 \frac{\sigma_h}{f_c} \right)^{-2/3} = \left( 1 + 2,3 \times \frac{2,0 \times 230}{125 \times 25} t_{j,eq} \right)^{-2/3} = \left( 1 + 0,34 t_{j,eq} \right)^{-2/3}$$

$$\text{Για } t_{j,eq} = 0,24 \text{ mm} \rightarrow \lambda^* = 0,95$$

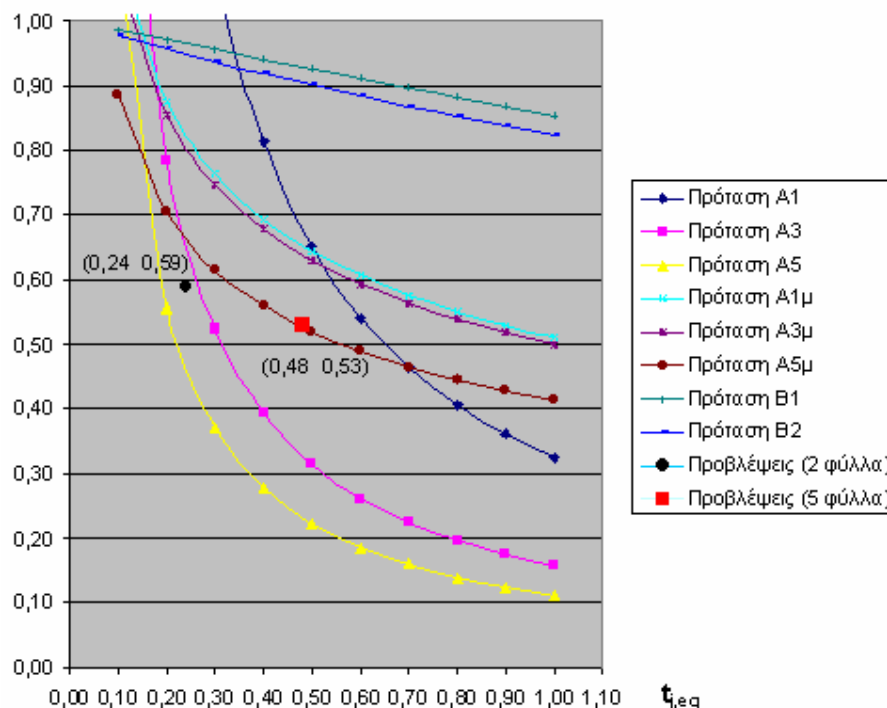
$$t_{j,eq} = 0,48 \text{ mm} \rightarrow \lambda^* = 0,90$$

Οι παραπάνω προβλέψεις συγκρίνονται με τα πειραματικά αποτελέσματα που αναπαριστώνται από τα σημεία  $t_{j,eq} = 0,24 \text{ mm}$   $\lambda^* = \frac{26,5}{45} = 0,59$  και

$$t_{j,eq} = 0,48 \text{ mm} \quad \lambda^* = \frac{24}{45} = 0,53$$

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, σε καλή συμφωνία με το πρώτο σημείο βρίσκονται οι προβλέψεις των προτάσεων Α5μ, Α3 και Α5 ενώ για το δεύτερο σημείο μόνο η Α5μ δίνει πολύ καλή πρόβλεψη. Εξάλλου εξωπραγματικές φαίνεται να είναι οι προβλέψεις των προτάσεων της ομάδας Β. Τελικά λαμβάνοντας υπ' όψη το σύνολο των πραγματικών αποτελεσμάτων που η πρόταση Α5μ φαίνεται να υπερτερεί.

### Λ\* Πειραματικά Αποτελέσματα Παν. Πατρών (Bousias and Fardis, 2003)



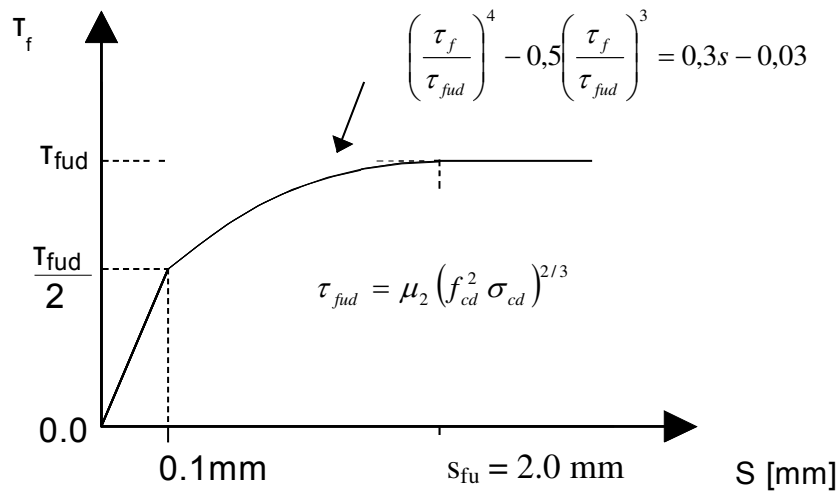
Σχήμα 3.3.16: Σύγκριση προβλέψεων με πειραματικά αποτελέσματα

#### 3.3.4. Προτάσεις με Βάση Ένα Αποδεκτό Μέγεθος Ολίσθησης των Ράβδων και Εκτίμηση του Εύρους Ρωγμής

Σε όλες τις προτάσεις που προηγήθηκαν τα αποτελέσματα εξαρτώντο από την αποδοχή μιας μέγιστης αποδεκτής τιμής ενεργούς παραμόρφωσης του υλικού ενίσχυσης ( $\epsilon_j$ ), για την εξασφάλιση της ικανότητας ματισμένης περιοχής. Η τιμή αυτή, σύμφωνα με πειραματικές ενδείξεις, θεωρείται ότι κυμαίνεται μεταξύ 1% έως 2%. Είναι πάντως προφανές ότι η τιμή αυτή θα πρέπει να συναρτάται με ένα αποδεκτό μέγεθος ολίσθησης των ράβδων και επομένως με ένα αντίστοιχο άνοιγμα ρωγμής.

Επιπλέον είναι γνωστό ότι η επιστρατευόμενη διατμητική αντίσταση τριβής και κατ' επέκταση ο αντίστοιχος συντελεστής τριβής εξαρτάται από το μέγεθος της σχετικής ολίσθησης των παρειών της ρωγμής που μπορεί να θεωρηθεί ίδια με την σχετική ολίσθηση των ματιζομένων ράβδων.

Στο Σχήμα 3.3.17 παρουσιάζεται η σχέση μεταβολής της επιστρατευόμενης αντίστασης τριβής ανάλογα με την σχετική ολίσθηση.



Σχήμα 3.3.17: Απλοποιημένο υπολογιστικό προσομοίωμα για το μηχανισμό τριβής σε τραχεία διεπιφάνεια

Η παραπάνω λογική υιοθετείται στις συστάσεις του Illinois Department of Transportation (IDOT) (Hawkins et al, 2000) και προτείνεται η παραπάνω διαδικασία για τον υπολογισμό του απαιτούμενου οπλισμού ενίσχυσης.

- Θεωρείται  $w = D' \varepsilon_d / 2$  και  $w \leq 0.75 \text{ mm} \rightarrow \varepsilon_d = \frac{2w}{D'} \leq \frac{1.5}{D'} (\text{mm})$

Όπου  $D'$  η διάμετρος του ιδεατού κύκλου που περνά από το κ.β. των ράβδων αναμονών σε κυκλικό υποστύλωμα.

$w$  = εύρος ρωγμής,  $\varepsilon_d$  = εγκάρσια διόγκωση  $\leq 3\%$

- Υπολογίζεται η διατμητική αντίσταση  $V_{cim}$  :

$$V_{cim} = 120 f_c / [0.31 + 24w / (a + 0.63)]$$

$V_{cim}$  = μέγιστη διατμητική αντίσταση στην διεπιφάνεια που μπορεί να αναπτυχθεί για απεριορίστως μεγάλη κάθετη (προς την διεπιφάνεια) δύναμη

$a$  = μέγιστος κόκκος αδρανών

Οι τιμές των  $w$  και  $a$  τίθενται σε ίντσες.

- Η απαιτούμενη διατμητική αντίσταση  $V_{ci}$  εκτιμάται από τη σχέση:

$$V_{ci} = A_b f_s / \rho_f l_s$$

όπου:

$$\rho_f = \frac{\pi D'}{n} - d_{b1} - d_{b2} + c$$

$\rho_f$  = εγκάρσιο μήκος ρωγμής

$d_{b1}$  ,  $d_{b2}$  = διάμετροι ματιζομένων ράβδων

$n$  = πλήθος ματιζομένων ζευγών ράβδων

- Η απαιτούμενη κάθετη (προς την διεπιφάνεια) τάση  $\sigma_h$  υπολογίζεται:

- $\frac{\sigma_h}{V_{cim}} = 1 - \varnothing (1,22 - 1,22 \frac{V_{ci}}{V_{cim}}) \sigma_h$  τουλάχιστον 0,25 MPa

- Υπολογίζεται ο απαιτούμενος οπλισμός περίσφιγξης από τη σχέση:

$$t_j = \left( \frac{A_j}{S} \right)_{\alpha\pi} t = \frac{D \sigma_h}{2 \varepsilon_d E_j}$$

Κατ' αναλογία θα μπορούσε να προταθεί η παρακάτω σχετική διαδικασία, εκτιμώντας προηγουμένως την ενεργή παραμόρφωση του υλικού ενίσχυσης με βάση ένα εύρος ρωγμής που να αντιστοιχεί σε ένα αποδεκτό μέγεθος ολίσθησης των ράβδων.

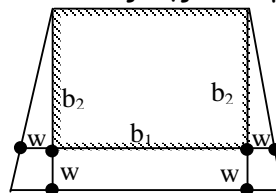
Η δρώσα τάση  $\sigma_j$  στη θέση της ρωγμής μπορεί να εκτιμηθεί κατά προσέγγιση από ένα μέγιστο εύρος ρωγμής διάρρηξης πέραν του οποίου η ολίσθηση των ματιζομένων ράβδων ξεπερνά ένα αποδεκτό όριο που κρίνεται συμβατό για τον στόχο επιτελεσματικότητας που γίνεται ο ανασχεδιασμός.

Ως αποδεκτό μέγεθος ολίσθησης των ράβδων ( $\delta$ ) μπορούν να θεωρηθούν οι τιμές 0,30 mm, 0,55mm και 0,80 mm για τους στόχους επιτελεσματικότητας Α, Β και Γ αντίστοιχα. Το αποδεκτό εύρος ρωγμής προσδιορίζεται από τη σχέση  $w=0,6 \delta^{2/3}$  και είναι αντιστοίχως 0,22, 0,40, 0,50 mm. Προφανώς ο καθορισμός των παραπάνω ορίων είναι σχετικά αυθαίρετος, αλλά μάλλον συντηρητικός. Για παράδειγμα η τιμή που προτείνεται στις συστάσεις IDOT (Hawkins et al, 2000)  $w=0,75$ mm είναι κατ'α 50% μεγαλύτερη απ' αυτή που αντιστοιχεί στο στόχο επιτελεσματικότητας Γ ("πριν την κατάρρευση").

Με βάση τα παραπάνω, μπορεί να γίνει μια εκτίμηση της ενεργούς τάσης  $\sigma_j$  του υλικού περίσφιγξης (βλ. Σχήμα 3.3.18):

$$\sigma_j = \frac{4w}{b_1 + 2b_2} E_j \quad \text{όπου } b_1 \text{ το μήκος της εφελκυσμένης πλευράς}$$

$b_2$  το πλάτος της διατομής



Σχήμα 3.3.18: Παραμορφωσιακή εικόνα διατομής για ανοίγματα ρωγμής  $w$  στην πλευρά  $b_1$

(1)

$$w_{\text{αποδ}} \xleftrightarrow{w=0,6\delta^{2/3}} \delta_{\text{αποδ.}} \quad \varepsilon_j = \frac{4w}{b_1 + 2b_2}$$

$$(2) \frac{\delta_{\text{αποδ}}}{\delta_u = 2\text{mm}} \xrightarrow{\frac{\tau_f}{\tau_{fu}} = f(\delta/\delta_u)} \frac{\tau_f}{\tau_{fu}}$$

(3) Απαιτούμενη δύναμη τριβής  $\tau = A_b f_{su}$

$$\text{Επομένως } (\tau_f)_{\alpha\pi} = \frac{A_b f_{su}}{\rho_f l_s}$$

$\rho_f l_s =$  επιφάνεια τριβής

Αν  $(\tau_f)_{\alpha\pi} > 0,3 f_c$  Αδύνατον λόγω "ψαλιδισμού υπόβαθρου" (βλ. Τάσιος, 2003)

Διαφορετικά η διαδικασία συνεχίζεται.

(4) Από (2) και (3)  $\rightarrow (\tau_{fu})_{\alpha\pi}$

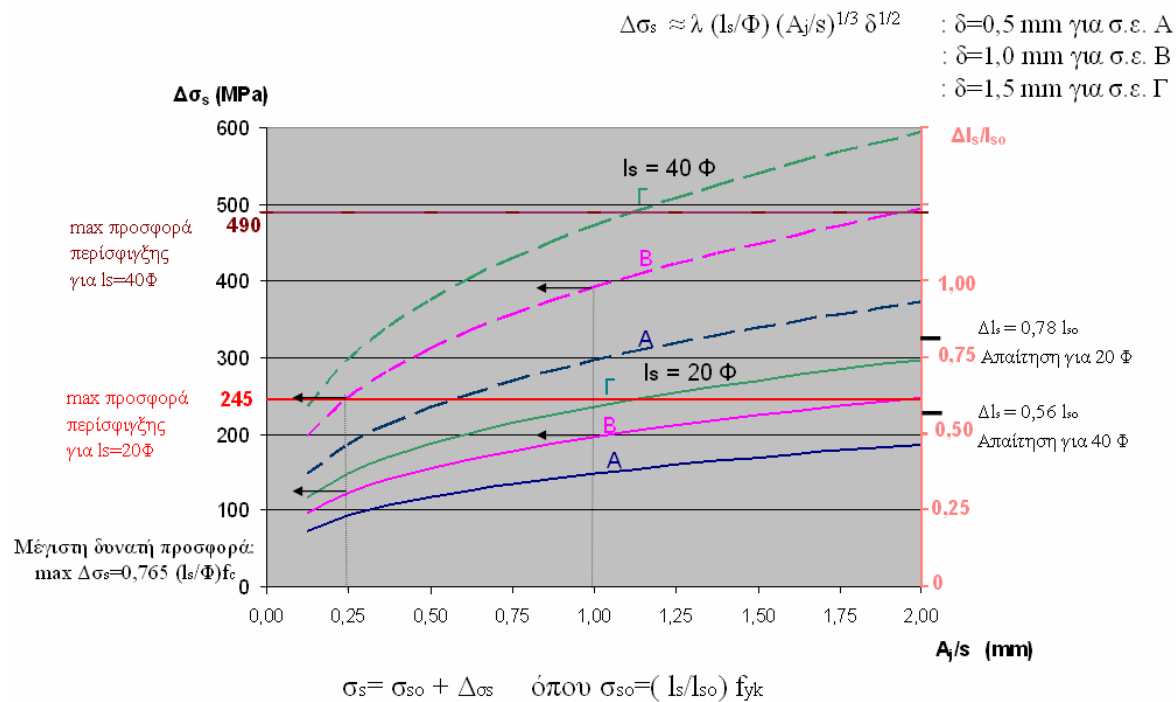
$$(5) (\tau_{fu})_{\alpha\pi} \xrightarrow{\tau_{fuc} = \gamma_{cycl} 0,44 \sqrt[3]{f_c^2 \sigma_h}} (\sigma_h)_{\alpha\pi}$$

(6) Απαιτούμενος οπλισμός περίσφιγξης

$$t_j = \left( \frac{A_j}{s} \right)_{\alpha\pi} = B \frac{(\sigma_h)_{\alpha\pi}}{\varepsilon_j E_j}$$

όπου  $\sigma_j = A_j E_j$

όπου το B λαμβάνει τιμές ανάλογα με την πρόταση που θα επιλεγεί. Επιλέγοντας την πρόταση Α5μ λαμβάνεται  $B = c_\Phi$ .



Σχήμα 3.3.19: Προσφορά περίσφιγξης σε περιοχές με ανεπαρκή μήκη ματίσματος:  
(Εφαρμογή για C16/20, S400,  $E_j = 200 \text{ GPa}$ ,  $b=300 \text{ mm}$ ,  $c+\Phi=40 \text{ mm}$ ,  $l_{so} = 91\Phi$ )

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Έστω  $\rho_f = 5\Phi$ ,  $d_s : \Phi 20$ ,  $l_s = 20\Phi$ ,  $f_{su} = 600 \text{ MPa}$ , διατομή στοιχείου  $350 \times 350$ ,  $E_f = 250 \text{ MPa}$

Για  $w = 0,75 \text{ mm} \Rightarrow \delta = 1,4 \text{ mm}$

$$\frac{\delta}{\delta_u} = \frac{1,4}{2} = 0,7 \Rightarrow \frac{\tau_f}{\tau_{fu}} = 0,94$$

$$(\tau_f)_{\alpha\pi} = \frac{\pi \frac{20^2}{4} 600}{5 \times 20 \times 20 \times 20} = 4,71 \text{ MPa} < 0,3 f_c = 0,3 \times 16 = 4,8 \text{ MPa} \quad (\text{οριακά})$$

$$(\tau_{fu})_{\alpha\pi} = \frac{4,71}{0,94} = 5,01 \text{ MPa}$$

Για  $\gamma_{cycl} = 0,75$

$$(\sigma_h)_{\alpha\pi} = \frac{\tau_{fu}^3}{0,33^3 \times f_{ck}^2} = \frac{5,33^3}{0,33^3 \times 16^2} = 16,45 \text{ MPa}!!! \gg f_c \quad \rightarrow \mu = \frac{5,01}{16,45} = 0,30!!$$

$$\varepsilon_j = \frac{4 \times 0,75}{3 \times 350} = 2,85\text{‰}_0$$

$$t_{j,\alpha\pi} = \left( \frac{A_j}{s} \right)_{\alpha\pi} = 38 \times \frac{16,45}{2,85 \times 250} = 0,88 \text{ mm}$$

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 3.3-1 **Τάσιος Θ.** (2003), Θεωρία Σχεδιασμού Επισκευών και Ενισχύσεων, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Ε.Μ.Π.
- 3.3-2 **Τάσιος Θ.** (2003), Προσωπική Επικοινωνία.
- 3.3-3 **Aboutaha R.S., Engelhardt M.D., Jirsa J.O. & Kreger M.** (1994), ACI SP 160-2 Seismic Retrofit of R/C Columns Using Steel Jackets, Seismic Rehabilitation of Concrete Structures, p.p.59-72.
- 3.3-4 **Aboutaha R.S., Engelhardt M.D., Jirsa J.O. & Kreger M.** (1999), "Experimental Investigation of Seismic Repair of Lap Splice Failures in Damaged Concrete Columns", ACI Structural Journal, Vol.96, No.2, p.p. 297-306.
- 3.3-5 **Bousias S., Fardis M.** (2003), Experimental Research on Vulnerability and Retrofitting of Old Type of Columns Under Cyclic Loading, Proc. of Science for Peace Workshop, Kluwer Academies Publishers.

- 3.3-6 **Chai Y.H., Priestley M.J.N. & Seible F.** (1991), "Seismic Retrofit of Circular Bridge Columns for Enhanced Flexural Performance", *ACI Structural Journal*, p.p. 572-584.
- 3.3-7 **Daudey X., Filiatrault A.** (2000), "Seismic Evaluation and Retrofit With Steel Jackets of Reinforced Concrete Bridge Piers Detailed With Lap-Splices", *Can.J.Civ.Eng.* Vol.27, p.p.1-16.
- 3.3-8 **Fib Bulletin 24** (2003), *Seismic Assessment and Retrofit of Reinforced Concrete Buildings, State-of-Art Report*, Lausanne, Switzerland.
- 3.3-9 **Ghobarah A., Biddah A. & Mahgoub M.** (1997), *Rehabilitation of Reinforced Concrete Columns Using Corrugated Steel Jacketing*, *Journal of Earthquake Engineering*, Vol.1., No.4, p.p 651-673.
- 3.3-10 **Harries K.A., Ricles J.R., Pessiki S. & Sause R.** (2003), "Rehabilitation of Lap-Splices in Non-Ductile Reinforced Concrete Columns Using CFRP Jackets", *Structural Faults and Repair*, International Conference, London.
- 3.3-11 **Harries K., Ricles J., Pessiki S. & Sause B.** (2003), "Rehabilitation of Lap Splices in Non-Ductile R.C. Columns Using CFRP Jackets" 7<sup>th</sup> International Conference Faults and Repairs, London.
- 3.3-12 **Hawkins N.M., Gamble W.L., Shkurti F.P. & Lin Y.** (2000), "Seismic Strengthening of Inadequate Length Lap Splices", *CD Proc. of 12WCEE*, No.1755.
- 3.3-13 **Lynn A., Moehle J.P., Mahin S. & Homes W.** (1996), "Seismic Evaluation of Existing R.C. Building Columns", *EERI, Earthquake Spectra*, Vol.12, No.4, p.p. 715-739.
- 3.3-14 **Mccabe S.L.** (2000), *The Performance of Mechanical Splices*, *CD Proc. of 12WCEE*, No.2579.
- 3.3-15 **Paulay T.** (1982), "Lapped Splices in Earthquake-Resisting Columns", *ACI Journal*, No.79-44, p.p. 458-469.
- 3.3-16 **Priestley M.J.N., Seible F. & Calvi G.** (1996), "Seismic Design and Retrofit of Bridges", John Wiley and Sons.
- 3.3-17 **Priestley M.J.N., Seible F.** (1991), "Research into Seismic Retrofit of Reinforced Concrete Bridge Columns", *Pacific Conference on Earthquake Engineering*, p.p. 335-346, New Zealand.
- 3.3-18 **Priestley M.J.N., Seible F.** (1995), "Design of Seismic Retrofit Measures for Concrete and Masonry Structures", *Construction and Building Materials*, Vol.9, No.6, p.p. 365-377.
- 3.3-19 **Saadatmanesh H., Ehsani M.R. & Jin L.** (1997), "Repair of Earthquake -Damaged RC Columns with FRP Wraps", *ACI Journal*, Vol.94, No.2, p.p.206-215.



- 3.3-20 **Saadatmanesh H., Ehsani M.R. & Jin L.,** (1996), "Seismic Strengthening of Circular Bridge Pier Modelus with Fiber Composites", *ACI Journal*, Vol.93, No.6, p.p.639-647.
- 3.3-21 **Seible F., Priestley M.J.N., Hegemier G.A. & Innamorato D.,** (1997), "Seismic Retrofit of RC Columns With Continuous Carbon Fiber Jackets" , *Journal of Composites for Construction*, p.p. 52-62.
- 3.3-22 **Valluvan R., Kreger M. & Jirsa J.O.** (1993), "Strengthening of Columns Splices for Seismic Retrofit of Nonductile Reinforced Concrete Frames", *ACI Structural Journal*, Vol.90, No.4, p.p. 432-440.