

## ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ.

### ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΝ.ΕΠΕ. ΚΕΦ. 7-§7.2.4.1 ΜΕ ΚΕΦ. 8-§8.2.3 ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΣΤΟΧΕΥΜΕΝΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΣΤΡΟΦΗΣ ΧΟΡΔΗΣ $\Theta_d$ .

ΑΝΔΡΕΟΠΟΥΛΟΣ ΜΑΡΙΟΣ

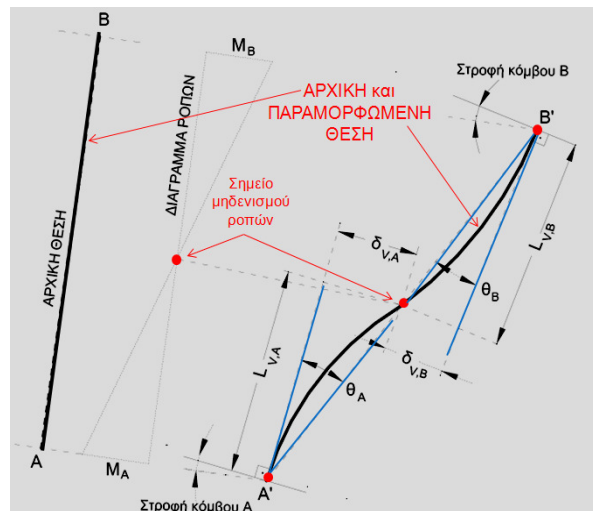
ΚΑΒΒΑΔΑ ΙΩΑΝΝΑ

#### Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει στόχο την σύγκριση των αποτελεσμάτων που εξάγονται με χρήση των μεθόδων που περιγράφονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2012, Κεφάλαιο 8, §8.2.3 και κεφάλαιο 7, §7.2.4.1, σχέση Σ.8 και αφορούν στον προσδιορισμό του απαιτούμενου υλικού περισφιγξης υποστυλώματος, όταν δίνεται στοχευμένη γωνία στροφής χορδής  $\theta$ . Η εργασία περιλαμβάνει παραμετρική διερεύνηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις δύο μεθόδους και προσπάθεια εξαγωγής συμπερασμάτων.

#### 1. ΟΡΙΣΜΟΣ

Η ικανότητα παραμόρφωσης των δοκών, των υποστυλωμάτων και των τοίχων ορίζεται σε όρους στροφής χορδής  $\theta$ , δηλ. της γωνίας μεταξύ της εφαπτομένης στον άξονα στο άκρο υπό διαρροή και της χορδής που συνδέει το άκρο αυτό με το άκρο του ανοίγματος διάτμησης, δηλ. το σημείο μηδενισμού των ροπών. Η στροφή χορδής είναι επίσης ίση με τον λόγο της σχετικής παραμόρφωσης του στοιχείου, δηλ. της κατακόρυφης παραμόρφωσης στο άκρο του ανοίγματος διάτμησης ως προς την εφαπτομένη στον άξονα στο άκρο υπό διαρροή, δια του ανοίγματος διάτμησης. [1]



#### 2. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΥΡΕΣΗΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ

##### Δεδομένα:

Ορθογωνικό υποστύλωμα ύψους ορόφου:

$h = 3 \text{ m}$

Διατομή:

$b_c = 0.4 \text{ m}$ ,  $d_c = 0.4 \text{ m}$

Για το σκυρόδεμα προέκυψαν οι εξής τιμές:

Μέση τιμή αντοχής:

$f_{ctm} = 18.4 \text{ MPa}$

Χαρακτηριστική τιμή αντοχής:

$f_{ck} = 16 \text{ MPa}$

Μέτρο Ελαστικότητας Σκυροδέματος:

$E_c = 30 \text{ GPa}$

Διαμήκης Οπλισμός:

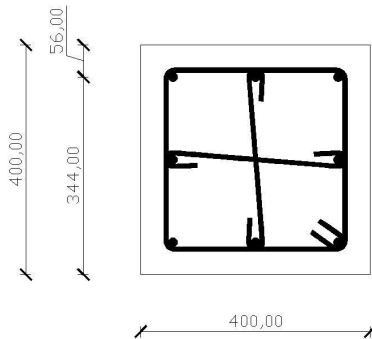
S400, 8φ16

Επικάλυψη οπλισμού:

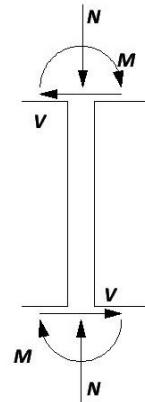
$c = 0.04 \text{ m}$

Ο χάλυβας αναγνωρίστηκε ως:  
 Τάση διαρροής Χάλυβα:  
 Μέτρο Ελαστικότητας Χάλυβα:

S400  
 $f_y = 400 \text{ MPa}$   
 $E_s = 200 \text{ GPa}$



Σχήμα 1: Διαστάσεις Διατομής



Σχήμα 2: Εντατικά μεγέθη υποστυλώματος

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΥΡΕΣΗΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΠΕΡΙΣΦΙΓΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΓΩΝΙΑΣ ΣΤΡΟΦΗΣ ΧΟΡΔΗΣ  $\theta_d$  ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΣΤΟΧΙΑ (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §8.2.3)**

**Επιπλέον Δεδομένα:**

Επιθυμητή γωνία στροφής χορδής:

$\theta_d = 0.04 \text{ rad}$

**Λύση**

Για την αποτίμηση της αντοχής του υποστυλώματος σε κάμψη ακολουθείται η εξής διαδικασία:

Αρχικά, υπολογίζεται το εμβαδόν του διαμήκη οπλισμού.

$$A_{stot} = 8 \times \pi \times 16^2 / 4 = 1608.5 \text{ mm}^2.$$

Ισχύει ότι :

$$\omega_{tot} = A_{stot} / (b \times h) \times f_{yd} / f_{cd} \tag{1}$$

Άρα, για το συγκεκριμένο παράδειγμα, αντικαθιστώντας προκύπτει ότι  $\omega_{tot} = 0.3278$ .

Από το διάγραμμα αλληλεπίδρασης ορθογωνικών διατομών σε μονοαξονική κάμψη και για οπλισμό S500 συγκεντρωμένο κοντά στις πλευρές που είναι παράλληλες στο διάνυσμα της ροπής και για  $d_1/h = 0.10$ , για τιμή του  $\nu = -0.42$  στο «γόνατο» του διαγράμματος, λαμβάνεται τιμή  $\mu = 0.235$ . [2]

Όμως,  $\nu = N_d / (bh \times f_{cd}) \rightarrow N_d = \nu \times (bh \times f_{cd})$  και  $\mu = M_d / (bh^2 \times f_{cd}) \rightarrow M_d = \mu \times (bh^2 \times f_{cd})$ .

Έτσι, αντικαθιστώντας προκύπτει ότι  $N_d = 716.8 \text{ kN}$  και  $M_d = 160.4 \text{ kNm}$  την στιγμή της αστοχίας σε κάμψη.

Από ισορροπία, και θεωρώντας ότι το υποστυλώμα είναι πλήρως πακτωμένο στα δύο άκρα του ισχύει ότι:

$$V_1 \times h - M_1 + M_2 = 0 \rightarrow V_1 = (M_1 - M_2) / h \rightarrow V_1 = 2 M_d / h \text{ και}$$

$$V_1 = V_2$$

Άρα,  $V_d = 2 \times M_d / h$  και αντικαθιστώντας προκύπτει ότι  $V_d = 107 \text{ kN}$ .

Σύμφωνα με ΚΑΝ.ΕΠΕ., §6.5, για την επιθυμητή γωνία στροφής χορδής  $\theta_d$  ισχύει ότι

$$\theta_d = \mu_\theta \theta_y \tag{2}$$

όπου  $\theta_y$  η γωνία στροφής χορδής.

Σύμφωνα με τη σχέση Σ.2 ΚΑΝ.ΕΠΕ. §7.2.2 υπολογίζεται ότι:

$$\theta_y = (1/r)_y (L_s + a_{vz}) / 3 + 0.0014 (1 + 1.5 h/L_s) + (1/r)_y d_b f_y / (8 \sqrt{f_c}), \tag{3}$$

όπου η τιμή  $(1/r)_y$  λαμβάνεται ως η μικρότερη των τιμών  $(1/r)_y$  από τις:

$$(1/r)_y = f_y / (E_s(1-\xi_y)d) \quad (\text{KAN.ΕΠΕ. Παράρτημα 7A, Σχέση (A.1)})$$

αν η διαρροή διατομής οφείλεται σε διαρροή του εφελκόμενου οπλισμού και

$$(1/r)_y = \epsilon_c / (\xi_y d) = 1.8 f_c / (E_c \xi_y d) \quad (\text{KAN.ΕΠΕ. Παράρτημα 7A, Σχέση (A.2)})$$

αν η διαρροή διατομής οφείλεται σε μη - γραμμικότητα των παραμορφώσεων του θλιβόμενου σκυροδέματος.

Το ύψος της θλιβόμενης ζώνης στη διαρροή  $\xi_y$ , ανηγμένο στο στατικό ύψος  $d$  που απαιτείται για τον υπολογισμό των τιμών  $(1/r)_y$  είναι:

$$\xi_y = (a^2 A^2 + 2aB)^{1/2} - aA \quad (\text{KAN.ΕΠΕ. Παράρτημα 7A, Σχέση (A.3)}), \text{ όπου:}$$

αν η διαρροή ελέγχεται από τον εφελκόμενο οπλισμό τότε (KAN.ΕΠΕ. Παράρτημα 7A, Σχέση (A.4)):

$$A = \rho + \rho' + \rho_v + N/(bdf_y), \quad B = \rho + \rho' \delta' + 0.5\rho_v(1+\delta') + N/(bdf_y) \quad \text{και}$$

αν η διαρροή ελέγχεται από το θλιβόμενο σκυροδέμα τότε (KAN.ΕΠΕ. Παράρτημα 7A, Σχέση (A.5)):

$$A = \rho + \rho' + \rho_v - N/(\epsilon_c E_s b d) = \rho + \rho' + \rho_v - N/(1.8abf_c), \quad B = \rho + \rho' \delta' + 0.5\rho_v(1+\delta')$$

και  $a = E_s/E_c = 6.67$ .

Στις Εξ. (A.4), (A.5) τα  $\rho$ ,  $\rho'$ ,  $\rho_v$  είναι τα ποσοστά του εφελκόμενου, του θλιβόμενου και του μεταξύ τους κατανεμημένου οπλισμού (ανηγμένα στο  $bd$ ),  $\delta' = d'/d$ , όπου  $d'$  η απόσταση από το κέντρο του θλιβόμενου οπλισμού μέχρι την ακραία θλιβόμενη ίνα σκυροδέματος,  $b$  το πλάτος της θλιβόμενης ζώνης και  $N$  το αξονικό φορτίο (θετικό σε θλίψη).

Έτσι,  $\rho = 0.0044$ ,  $\rho' = 0.0044$ ,  $\rho_v = 0.0029$ ,  $d' = 0.056$  m,  $d = 0.344$  m,  $\delta' = 0.1628$ ,  $b = 0.4$  m

Αντικαθιστώντας προκύπτει ότι:  $\xi_{yi} = 0.3731$  και  $\xi_{yii} = 0.3951$  αντίστοιχα.

Επομένως,  $(1/r)_{yi} = 0.0107$  και  $(1/r)_{yii} = 0.0089$

Άρα,  $(1/r)_y = 0.0089$

Επίσης, για τον υπολογισμό του  $\theta_y$  απαιτείται ο υπολογισμός των:

$L_s = M/V = 1.5$ ,  $z = \max(\zeta \times d, d-d_2) = 0.307$  m, όπου  $d_2$  η απόσταση του θλιβόμενου οπλισμού από τη θλιβόμενη ίνα,  $a_v = 0$ , αφού  $V_{sd} < V_{rd1}$ .

Άρα αντικαθιστώντας προκύπτει ότι:  $\theta_y = 0.012$

Λόγω της (2) ισχύει ότι:  $\mu_\theta = \theta_d / \theta_y$ . Άρα,  $\mu_\theta = 3.3461$

Η τεχνική της επιβολής εξωτερικής περισφιγξης για την αύξηση της τοπικής πλαστιμότητας ραβδόμορφων δομικών στοιχείων είναι ευχερής σε στοιχεία με κυκλική διατομή ή ορθογωνική διατομή σχετικά μικρών διαστάσεων, με λόγο πλευρών που δεν ξεπερνά το 2 : 1. (KAN.ΕΠΕ., §8.2.3(α)).

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, ο λόγος πλευρών του υποστυλώματος είναι:

$$d_c / b_c = 0.4 / 0.4 = 1 < 2, \text{ άρα η τεχνική είναι ευχερής.}$$

Θεωρώντας ότι στο συγκεκριμένο παράδειγμα τα κατακόρυφα στοιχεία του δομήματος έχουν επαρκή αντοχή ώστε να αποφεύγεται ο σχηματισμός πλαστικού μηχανισμού ορόφου ή ορόφων, η δε απαίτηση ανελαστικών παραμορφώσεων διασπείρεται περίπου ομοιόμορφα καθ' ύψος του δομήματος, τότε σύμφωνα με τον KAN.ΕΠΕ. §7.2.6.2(β), ο απαιτούμενος δείκτης πλαστιμότητας συνολικών μεταθέσεων του δομήματος  $\mu_\delta$ , μεταφράζεται σε δείκτη πλαστιμότητας  $\mu_\theta$  τοπικών σχετικών μετακινήσεων ή παραμορφώσεων ως  $\mu_\delta = \mu_\theta$ .

Στην περίπτωση που θα ήταν πιθανός ο σχηματισμός πλαστικού μηχανισμού σε έναν όροφο του δομήματος (σε ύψος  $H_{op}$ ), τότε θα ίσχυε  $\mu_\delta = \mu_\theta \times H_{op}/H_{tot}$ , όπου  $H_{tot}$  το ολικό ύψος του δομήματος και  $H_{op}$  το ύψος του ορόφου όπου φαίνεται πιθανός ο σχηματισμός πλαστικού μηχανισμού.

Η απαιτούμενη τιμή του δείκτη πλαστιμότητας σε όρους καμπυλοτήτων  $\mu_{1/r}$  για την κρίσιμη διατομή του υποστυλώματος υπολογίζεται (KAN.ΕΠΕ. §8.2.3(δ)(iv)):

$$\mu_{1/r} = 3\mu_\delta - 2 \quad (4)$$

Άρα  $\mu_{1/r} = 8.0382$

Η απαιτούμενη τιμή μέγιστης θλιπτικής παραμόρφωσης του σκυροδέματος είναι, για  $\nu > 0.2$  (KAN.ΕΠΕ. εξίσωση (Σ8.11)):

$$\varepsilon_{cu,c} = 2.2 \times \mu_{1/r} \times \varepsilon_{sy} \times \nu \quad (5)$$

όπου  $\varepsilon_{sy}$  η παραμόρφωση διαρροής του διαμήκους οπλισμού του στοιχείου και  $\nu$  η ανηγμένη αξονική θλιπτική δύναμη, υπολογιζόμενες με χρήση μέσων τιμών υλικών του υπόψη στοιχείου. Λαμβάνεται  $f_{ym} = 1.15 f_{yk}$ .

Αυτό σημαίνει ότι:

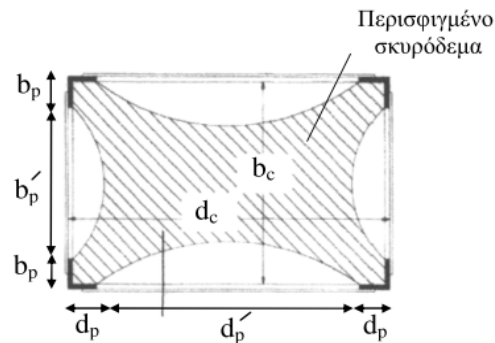
$$\nu = N/(b \times d \times f_{ctm}) \quad (6)$$

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα:

$\nu > 0.2$  και άρα  $\varepsilon_{cu,c} = 0.0099$

### Εφαρμογή ενίσχυσης

- Χαλύβδινη περίσφιγξη (μεταλλικός κλωβός)



Σχήμα 3: Περίσφιγξη με μεταλλικό κλωβό [3]

Η εφαρμογή του μεταλλικού κλωβού ακολουθεί τις διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. της §Σ8.2.3, §6.2.2 και §Σ6.2.2.

$$A_c = b_c \times d_c = 0.4 \times 0.4 = 0.16 \text{ m}^2 \quad (\text{KAN.ΕΠΕ. §Σ6.2.2β})$$

Για το μεταλλικό κλωβό θα χρησιμοποιηθούν 4 γωνιακά L50×50×5mm που θα τοποθετηθούν σε όλο το ύψος του υποστυλώματος και ελάσματα ανά αποστάσεις  $s$  όλα ποιότητας γάλυβα Fe360 ( $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ )

Σύμφωνα με ΚΑΝ.ΕΠΕ. §Σ6.2.2β ισχύει ότι:

$$\beta = 2 \times b_p / b_c = 2 \times 50 / 400 = 0.25$$

$$\gamma = 2 \times d_p / d_c = 2 \times 50 / 400 = 0.25$$

$$a_n = 1 - 1 / (3 \times A_c) \times [b_c^2 (1 - \beta)^2 + d_c^2 (1 - \gamma)^2] \quad (\text{KAN.ΕΠΕ. εξίσωση (Σ6.13)})$$

Αντικαθιστώντας προκύπτει ότι:

$$a_n = 0.625 \text{ και}$$

$$\alpha = a_n \times a_s \rightarrow \alpha = 0.5625 \quad (a_s = 0.9 \text{ από ΚΑΝ.ΕΠΕ. §Σ6.2.2β})$$

Υπολογίζεται το  $\omega_{wd}$ :

$$\varepsilon_{cu,c} = 0.0035 + 0.1 \alpha \omega_{wd} \quad (\text{KAN.ΕΠΕ. εξίσωση (8.18)})$$

Αντικαθιστώντας προκύπτει ότι:

$$\alpha \omega_{wd} = 0.064 \text{ και } \omega_{wd} = 0.1138$$

Όμως ισχύει ότι:

$$\omega_{wd} = 2 \times \rho_{\min} \times f_{yd} / f_{cd} \quad (\text{ΕΚΩΣ 2000 §18.4.4.2})$$

όπου  $\rho_{\min} = \min(\rho_b, \rho_h) = \min[n_b A_{sw}^{\sigma_k} / (b \times s), n_h A_{sw}^{\sigma_k} / (h \times s)] = A_{sw}^{\sigma_k} / s \times \min(n_b / b, n_h / h)$

Άρα,  $A_{sw}^{\sigma_k} / s = 0.0006$

Έστω ελάσματα πλάτους 25mm και πάχους 4mm

Οι αποστάσεις προκύπτουν:

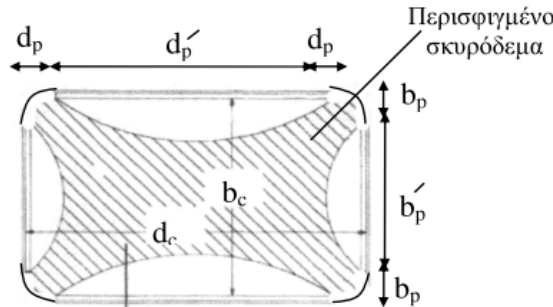
$$s = A_{sw} / (A_{sw}^{\sigma_k} / s) = 0.1683 \text{ m} \leq 0.5 b_c = 0.5 \times 0.4 = 0.2 \text{ m}$$

Από ΚΑΝ.ΕΠΕ. §8.2.3ζ στην περίπτωση του μεταλλικού κλωβού αρκεί η ικανοποίηση της σχέσης  $s \leq 0.5 b_c$ .

Επομένως επιλέγονται να τοποθετηθούν οριζόντια χαλύβδινα ελάσματα  $b_w \times t_w = 25\text{mm} \times 4\text{mm}$  ανά 168 mm καθ' ύψος του υποστύλωματος.

- Περίσφιγξη με επικολητά υφάσματα ΙΟΠ άνθρακα

Ακολουθούνται οι διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. §Σ.8.2.3.(α),(δ) και §6.2.3.



Σχήμα 4: Περίσφιγξη με ινοπλισμένα πολυμερή [3]

Γίνεται εξομάλυνση γωνιών σε μήκος  $b_p = d_p = 50\text{mm}$

Όπως υπολογίστηκε και προηγουμένως  $a_n = 0.625$  και  $\alpha_s = 1.0$  επειδή το ύφασμα είναι συνεχές.

Σύμφωνα με ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (8.19) ισχύει ότι:

$$\varepsilon_{cu,c} = 0.0035 (f_{c,c} : f_c)^2 \quad (7)$$

Θα χρησιμοποιηθούν υφάσματα ινοπλισμένων πολυμερών με ίνες άνθρακα με  $E_j = 231 \text{ GPa}$  και  $f_u = 3800 \text{ MPa}$ .

$$\text{Λόγω της (7) ισχύει ότι: } f_{c,c}^2 = \varepsilon_{cu,c} \times f_c^2 / 0.0035 \quad (8)$$

$$\text{Όμως, } f_{c,c} = (1.125 + 1.25 \times \alpha \omega_{wd}) f_c \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (6.21)})$$

Αντικαθιστώντας προκύπτει ότι:

$$\alpha \omega_{wd} = 0.4457 \quad \text{και} \quad \omega_{wd} = 0.7131$$

$$\text{Επίσης, } f_{jd} = f_u / 1.2 \quad (\text{Λαμβάνεται } \gamma_m = 1.2) \quad (9)$$

$$\text{Επομένως: } t_{ol} = A_{sw}^{\sigma_k} / s = (\omega_{wd} \times f_{cd}) / [2 \min(n_b/b, n_h/h) f_{jd}] = 0.0002\text{m}$$

Άρα, μπορούν να τεθούν 1 στρώσεις υφάσματος με πάχος ινών 0.2mm.

Για την σχέση πάχους  $t_{ol}$  με το  $\omega_{wd}$  χρησιμοποιείται ο τύπος του ΕΚΩΣ 2000 (§18.4.4.2) όπου αντί του  $f_{yd}$  τίθεται η εφελκυστική αντοχή  $f_{jd}$  των ΙΟΠ εφόσον το πλήθος  $\kappa$  των στρώσεων ΙΟΠ είναι  $\leq 3$ . Διαφορετικά αν ήταν  $\kappa \geq 4$  θα ετίθετο:

$$f_{jd} = f_{jd} \times \psi \quad \text{όπου } \psi = \kappa^{-1/4} \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. §6.2.3}).$$

- Περίσφιγξη ΙΟΠ με ίνες γυαλιού

Ακολουθούνται οι διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. §Σ.8.2.3.(α),(δ) και §6.2.3.

Γίνεται εξομάλυνση γωνιών σε μήκος  $b_p = d_p = 50\text{mm}$

Όπως υπολογίστηκε και προηγουμένως  $a_n = 0.625$  και  $\alpha_s = 1.0$  επειδή το ύφασμα είναι συνεχές.

Σύμφωνα με ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (8.20) ισχύει ότι:

$$\varepsilon_{cu,c} = 0.007 (f_{c,c} : f_c)^2 \quad (10)$$

Θα χρησιμοποιηθούν υφάσματα ινοπλισμένων πολυμερών με ίνες γυαλιού με  $E_j = 88 \text{ GPa}$  και  $f_u = 4000 \text{ MPa}$ .

$$\text{Λόγω της (10) ισχύει ότι: } f_{c,c}^2 = \varepsilon_{cu,c} \times f_c^2 / 0.007 \quad (11)$$

$$\text{Όμως, } f_{c,c} = (1.125 + 1.25 \times \alpha \omega_{wd}) \times f_c \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (6.21)})$$

Αντικαθιστώντας προκύπτει ότι:

$$\alpha \omega_{wd} = 0.0515 \quad \text{και} \quad \omega_{wd} = 0.0825$$

$$\text{Επίσης, } f_{jd} = f_u / 1.2 \quad (\text{Λαμβάνεται } \gamma_m = 1.2)$$

$$\text{Επομένως: } t_{ol} = A_{sw}^{\sigma_k} / s = (\omega_{wd} \times f_{cd}) / [2 \min(n_b/b, n_h/h) f_{jd}] = 0.00003\text{m}$$

Άρα, μπορεί να τεθεί 1 στρώση υφάσματος με πάχος ινών 0.03 mm.

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΥΡΕΣΗΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΣΤΡΟΦΗΣ ΧΟΡΔΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ  $\theta_{um}$  ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΣΤΟΧΙΑ (ΚΑΝ.ΕΠΕ. ΣΧΕΣΗ Σ.8α, §7.2.4.1**

**Επιπλέον Δεδομένα:**

Επιθυμητή μέση τιμή γωνίας στροφής χορδής:  $\theta_{um} = 0.04 \text{ rad}$

**Λύση**

Όπως υπολογίστηκε προηγουμένως, στο παράδειγμα εύρεσης απαιτούμενης περίσφιγξης υποστυλώματος με απαίτηση γωνίας στροφής χορδής στην αστοχία  $\theta_d$ , προκύπτει ότι την στιγμή της αστοχίας:

$$N_d = 716.8 \text{ kN}$$

$$M_d = 160.4 \text{ kNm}$$

$$V_d = 107 \text{ kN.}$$

Για τη μέση τιμή της γωνίας στροφής χορδής  $\theta_{um}$  κατά την αστοχία υποστυλωμάτων που έχουν διαστασιολογηθεί και κατασκευασθεί με τις μετά το 1985 διατάξεις για αντισεισμικότητα ισχύει ότι (ΚΑΝ.ΕΠΕ. Σχέση Σ.8α §7.2.4.1(β)):

$$\theta_{um} = 0.016 \times 0.3^v \times [\max(0.01, \omega') / \max(0.01, \omega) \times f_c]^{0.225} \times (\alpha_s)^{0.35} \times [25^{(\alpha_s f_{yw} / f_c)}] \times 1.25^{(100 \times \rho_d)} \quad (12)$$

όπου,

$\alpha_s$  ο λόγος διάτμησης για τον οποίο ισχύει ότι  $\alpha_s = M / (V \times h) \rightarrow \alpha_s = 3.75$ ,

$\omega$  και  $\omega'$  το μηχανικό ποσοστό εφελκόμενου και θλιβόμενου οπλισμού (ο ενδιάμεσος διαμήκης οπλισμός μεταξύ εφελκόμενου και θλιβόμενου πέλματος θεωρείται ως εφελκόμενος),

$v = N / (b h f_c) \rightarrow v = 0.243$ , όπου  $b$  το πλάτος θλιβόμενης ζώνης,

$\rho_s$  το γεωμετρικό ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού παράλληλα στη διεύθυνση της φόρτισης

$\rho_d$  το γεωμετρικό ποσοστό τυχόν δισδιαγώνιου οπλισμού, άρα  $\rho_d = 0$ .

Για δεδομένο  $\theta_{um} = 0.04$  προκύπτει ότι  $\alpha \times \rho_s \times f_y / f_c = 0.0641$

Όμως,  $\omega_{wd} = 2 \times \rho_s \times f_{yd} / f_{cd} = 2 \times \rho_s \times f_y / f_c \times \gamma_c / \gamma_s$ .

Άρα,  $\alpha \times \rho_s \times f_y / f_c = \alpha \times \omega_{wd} \times 0.5 \times \gamma_s / \gamma_c \rightarrow$

$$\alpha \times \omega_{wd} = \alpha \times \rho_s \times f_y \times \gamma_c / (0.5 \times f_c \times \gamma_s) \quad (13)$$

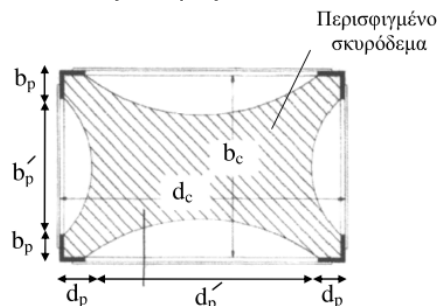
Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, προκύπτει ότι:

$$\alpha \times \omega_{wd} = 0.1673$$

Χρησιμοποιώντας την τιμή  $\alpha \omega_{wd}$  που υπολογίστηκε, θα συνεχίσω υπολογίζοντας τις απαραίτητες ποσότητες υλικού περισφιγξέως που απαιτούνται σύμφωνα με τις διατάξεις ΚΑΝ.ΕΠΕ. της §8.2.3.

**Εφαρμογή ενίσχυσης**

- Χαλύβδινη περισφιγξη (μεταλλικός κλωβός)



Σχήμα 5: Περίσφιγξη με μεταλλικό κλωβό [3]

Η εφαρμογή του μεταλλικού κλωβού ακολουθεί τις διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. της §8.2.3, §6.2.2 και §6.2.2.

Για το μεταλλικό κλωβό θα χρησιμοποιηθούν 4 γωνιακά L50×50×5mm που θα τοποθετηθούν σε όλο το ύψος του υποστύλωματος και ελάσματα ανά αποστάσεις  $s$  όλα ποιότητας χάλυβα Fe360 ( $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ )

Όπως υπολογίστηκε προηγουμένως, στο παράδειγμα εύρεσης απαιτούμενης περίσφιγξης υποστύλωματος με απαίτηση γωνίας στροφής χορδής στην αστοχία  $\theta_d$ , προκύπτει ακολουθώντας ακριβώς την ίδια διαδικασία ότι:

$$A_c = b_c \times d_c = 0.4 \times 0.4 = 0.16 \text{ m}^2 \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. §6.2.2β})$$

Σύμφωνα με ΚΑΝ.ΕΠΕ. §6.2.2β ισχύει ότι:

$$\beta = 2 \times b_p / b_c = 2 \times 50 / 400 = 0.25$$

$$\gamma = 2 \times d_p / d_c = 2 \times 50 / 400 = 0.25$$

$$a_n = 1 - 1 / (3 \times A_c) \times [b_c^2 (1-\beta)^2 + d_c^2 (1-\gamma)^2] \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (Σ6.13)})$$

Αντικαθιστώντας προκύπτει ότι:

$$a_n = 0.625 \text{ και}$$

$$\alpha = a_n \times a_s \rightarrow \alpha = 0.625 \quad (a_s = 0.9 \text{ από ΚΑΝ.ΕΠΕ. §6.2.2β})$$

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, αφού  $\alpha \times \omega_{wd} = 0.167$  και  $\alpha = 0.625$  τότε:

$$\omega_{wd} = 0.298$$

Όμως ισχύει ότι:

$$\omega_{wd} = 2 \times \rho_{\min} \times f_{yd} / f_{cd} \quad (\text{ΕΚΩΣ 2000 §18.4.4.2})$$

$$\text{όπου } \rho_{\min} = \min(\rho_b, \rho_h) = \min[n_b A_{sw}^{\text{σκ}} / (b \times s), n_h A_{sw}^{\text{σκ}} / (h \times s)] = A_{sw}^{\text{σκ}} / s \times \min(n_b / b, n_h / h)$$

$$\text{Άρα, } A_{sw}^{\text{σκ}} / s = 0.00155$$

Εστω ελάσματα πλάτους 25mm και πάχους 4mm

Οι αποστάσεις προκύπτουν:

$$s = A_{sw} / (A_{sw}^{\text{σκ}} / s) = 0.064 \text{ m} \leq 0.5 b_c = 0.5 \times 0.4 = 0.2 \text{ m}$$

Από ΚΑΝ.ΕΠΕ. §8.2.3ζ στην περίπτωση του μεταλλικού κλωβού αρκεί η ικανοποίηση της σχέσης  $s \leq 0.5 b_c$ .

Επομένως επιλέγονται να τοποθετηθούν οριζόντια χαλύβδινα ελάσματα  $b_w \times t_w = 25 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$  ανά 65 mm καθ' ύψος του υποστύλωματος.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο υπολογισμός της απαιτούμενης περίσφιγξης για τον προσδιορισμό στοχευμένου  $\theta_d$  και ο υπολογισμός της απαιτούμενης περίσφιγξης βάσει της παραγράφου §7.2.4.1 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. επαναλήφθηκαν χρησιμοποιώντας ως δεδομένα διαφορετικές τιμές  $\theta_d$  και  $\theta_{um}$  αντίστοιχα. Στην συνέχεια, οι παραπάνω διαδικασίες επαναλήφθηκαν για διαφορετικά δεδομένα των υποστύλωματων. Πιο συγκεκριμένα, έγινε αλλαγή της ποιότητας του σκυροδέματος, της ποιότητας του χάλυβα, της γεωμετρίας του υποστύλωματος (π.χ. αντί για τετραγωνικό υποστύλωμα, ορθογωνικό όπου  $b_c \neq d_c$ ) και της ποσότητας του διαμήκους οπλισμού.

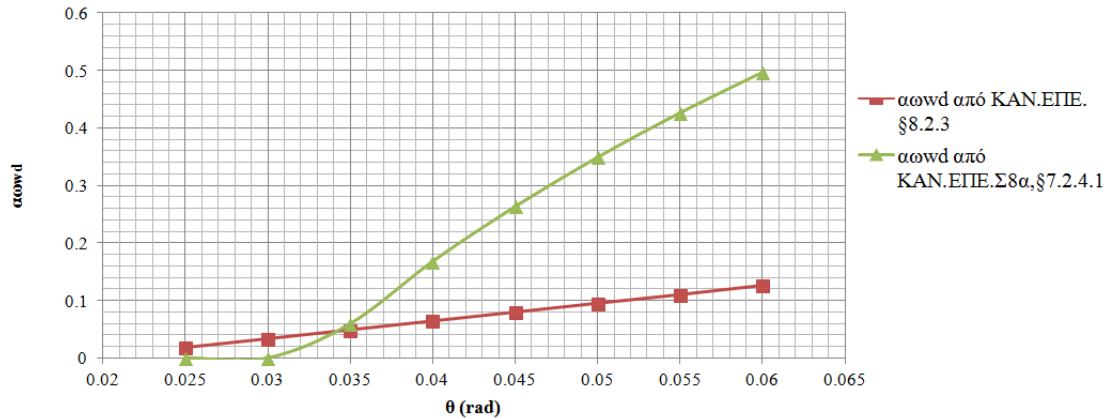
Τα αποτελέσματα των υπολογισμών καθώς και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα αυτά παρατίθενται παρακάτω.

#### Αποτελέσματα από μεταβολή της παραμέτρου $\theta$

Στο παρακάτω διάγραμμα, στον οριζόντιο άξονα είναι η γωνία στροφής χορδής  $\theta$  και στον κατακόρυφο άξονα είναι το μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό του οπλισμού περίσφιγξης επί τον συντελεστή αποδοτικότητας δηλαδή το γινόμενο  $\alpha \omega_{wd}$ .

Για τετραγωνικό υποστύλωμα διατομής 0.4m×0.4m, με διαμήκη οπλισμό 8φ16 ποιότητας χάλυβα S400, σκυρόδεμα με χαρακτηριστική τιμή 16MPa, και ύψος ορόφου 3m προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα:

**Διάγραμμα  $\theta - \alpha_{\omega_{wd}}$   
για υποστύλωμα (0.4×0.4)m με 8φ16,  $f_{ck}=16\text{MPa}$ , S400,  $h=3\text{m}$**



Σχήμα 6: Διάγραμμα  $\theta - \alpha_{\omega_{wd}}$ , για υποστύλωμα (0.4×0.4)m με 8φ16, S400,  $f_{ck}=16\text{MPa}$ ,  $h=3\text{m}$

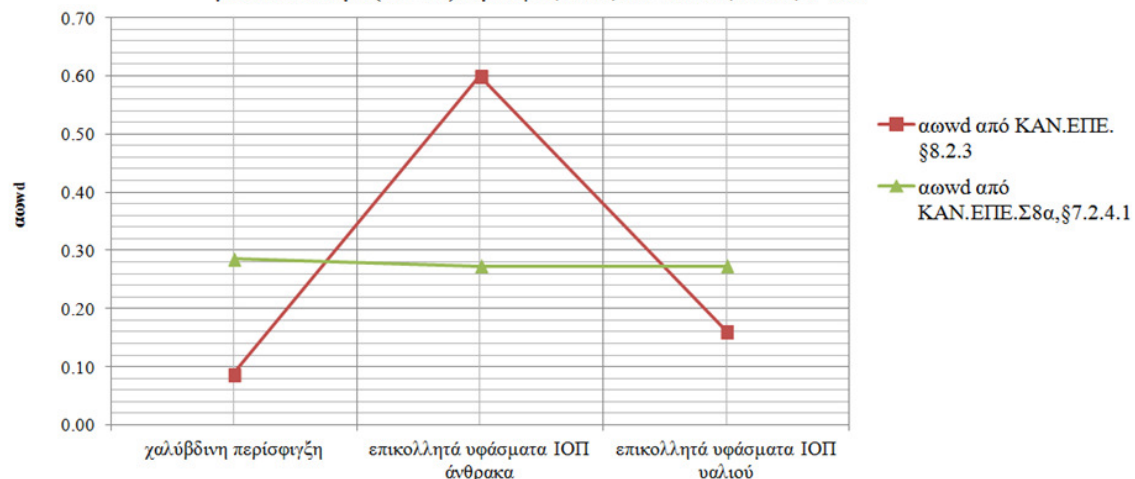
### Συμπεράσματα των αποτελεσμάτων από μεταβολή της παραμέτρου $\theta$

Παρατηρείται ότι η αλλαγή της απαιτούμενης γωνίας στροφής χορδής  $\theta$  επηρεάζει τα αποτελέσματα και των δύο σχέσεων. Ωστόσο φαίνεται να επηρεάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό τα αποτελέσματα της σχέσης Σ.8α, §7.2.4.1 συγκριτικά με τα αποτελέσματα της μεθόδου του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Κεφ. 8-§8.2.3. Επίσης, παρατηρείται σημαντικά μεγαλύτερη απαίτηση περίσφιξης υποστύλωματος με χρήση της μεθόδου του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Κεφ. 7-§7.2.4.1 συγκριτικά με την μέθοδο του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Κεφ. 8-§8.2.3 για μεγάλες τιμές της γωνίας  $\theta$  (για  $\theta > 0.03$  rad).

### Αποτελέσματα από μεταβολή του υλικού περίσφιξης

Για τετραγωνικό υποστύλωμα διατομής 0.4m×0.4m, με διαμήκη οπλισμό 8φ16 ποιότητας χάλυβα S400, σκυρόδεμα με χαρακτηριστική τιμή 16MPa, ύψος ορόφου 3m και  $\theta=0.05$  rad προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα:

**Διάγραμμα υλικού περίσφιξης -  $\alpha_{\omega_{wd}}$   
για υποστύλωμα (0.4×0.4)m με 8φ16, S400,  $f_{ck}=16\text{MPa}$ ,  $h=3\text{m}$ ,  $\theta=0.05$**



Σχήμα 7: Διάγραμμα υλικού περίσφιξης -  $\alpha_{\omega_{wd}}$  για υποστύλωμα (0.4×0.4)m με 8φ16, S400,  $f_{ck}=16\text{MPa}$ ,  $h=3\text{m}$ ,  $\theta=0.05$

### Συμπεράσματα των αποτελεσμάτων από μεταβολή του υλικού περίσφιξης

Η επιλογή του υλικού περίσφιξης επηρεάζει αισθητά τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη χρήση της μεθόδου που προτείνεται στην §8.2.3, αφού για διαφορετικό υλικό χρησιμοποιείται και ξεχωριστή σχέση για υπολογισμό της τιμής  $\alpha_{\omega_{wd}}$  (σχέσεις (8.18), (8.19), (8.20)). Ωστόσο, τα αποτελέσματα της σχέσης Σ.8α, §7.2.4.1 επηρεάζονται ελάχιστα

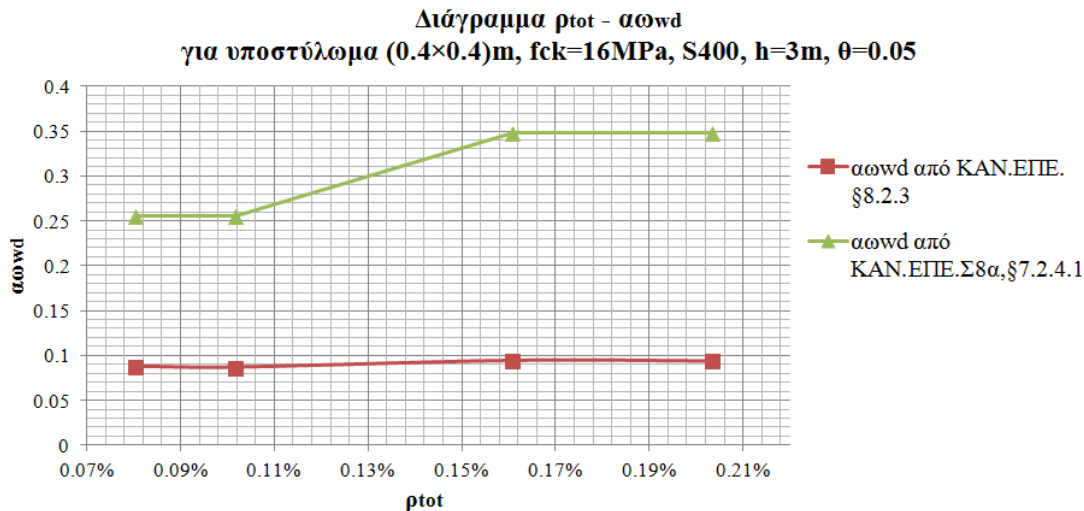


από την αλλαγή του υλικού περίσφιγξης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η διαφορά στο είδος του υλικού περίσφιγξης αντιπροσωπεύεται στη σχέση Σ.8α, §7.2.4.1 μόνο με το λόγο των συντελεστών ασφαλείας των υλικών (βλ. αντίστοιχο παράδειγμα) και καθόλου από τις ιδιότητες του εκάστοτε υλικού, όταν πρόκειται να υπολογιστεί η τιμή  $\alpha_{wd}$ . Σημαντικό είναι το γεγονός ότι η διαφορά στο είδος των ινοπλισμένων υλικών δεν φαίνεται στα αποτελέσματα της Σ.8α, §7.2.4.1. Δεδομένης της αδυναμίας της σχέσης Σ.8α, §7.2.4.1 στη διάκριση μεταξύ υλικών περίσφιγξης, θεωρήθηκε σωστότερος ο περιορισμός της σύγκρισης των δύο εξεταζόμενων μεθόδων μόνο στα αποτελέσματα που προκύπτουν για χαλύβδινη περίσφιγξη, εφόσον η Σ.8α, §7.2.4.1 αναφέρεται σε οπλισμό διάτμησης από χάλυβα.

#### Αποτελέσματα από μεταβολή της παραμέτρου $\rho_{tot}$

Για τετραγωνικό υποστύλωμα διατομής 0.4m×0.4m, με διαμήκη οπλισμό ποιότητας χάλυβα S400, σκυρόδεμα με χαρακτηριστική τιμή 16MPa, και ύψος ορόφου 3m και  $\theta=0.05$  προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα:

Στο παρακάτω διάγραμμα στον οριζόντιο άξονα είναι το γεωμετρικό ποσοστό διαμήκους οπλισμού δηλαδή το  $\rho_{tot}$  και στον κατακόρυφο άξονα είναι το  $\alpha_{wd}$ .



Σχήμα 8: Διάγραμμα  $\rho_{tot} - \alpha_{wd}$  για υποστύλωμα (0.4×0.4)m,  $f_{ck}=16\text{MPa}$ , S400,  $h=3\text{m}$ ,  $\theta=0.05$

#### Συμπεράσματα αποτελεσμάτων από μεταβολή της παραμέτρου $\rho_{tot}$

Παρατηρείται ότι η αύξηση του γεωμετρικού ποσοστού διαμήκους οπλισμού  $\rho_{tot}$  στο υποστύλωμα χωρίς την προσθήκη ενδιάμεσου κατανεμημένου οπλισμού οδηγεί σε μείωση του απαιτούμενου υλικού περίσφιγξης κατά πολύ μικρό ποσοστό όταν το απαιτούμενο υλικό περίσφιγξης υπολογίζεται βάσει της ΚΑΝ.ΕΠΕ. §8.2.3. Για παράδειγμα, η αύξηση του ποσοστού διαμήκους οπλισμού  $\rho_{tot}$  κατά 25% οδηγεί σε μείωση του απαιτούμενου μηχανικού ογκομετρικού ποσοστού οπλισμού περίσφιγξης κατά 0.5 – 1%.

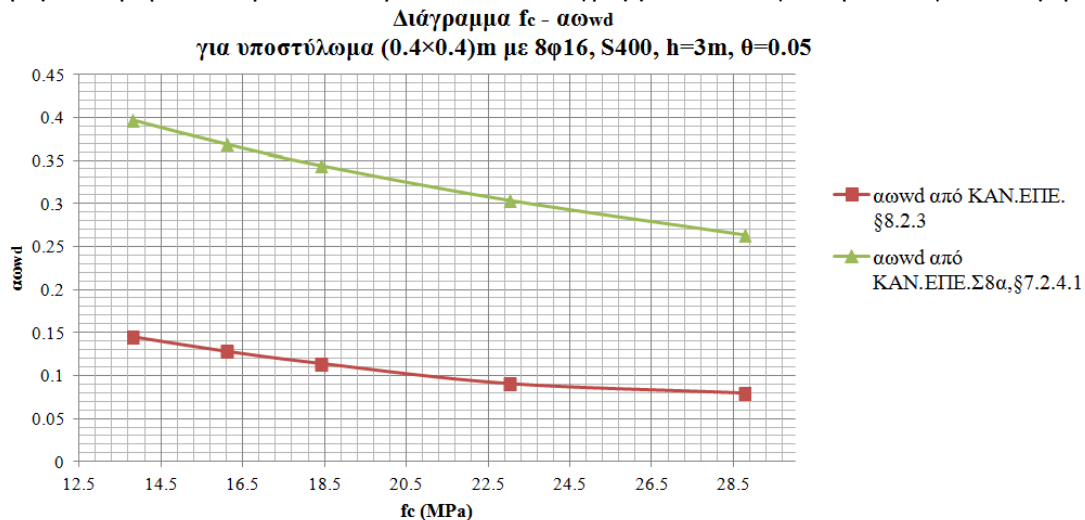
Όταν γίνεται υπολογισμός του απαιτούμενου υλικού περίσφιγξης με απαίτηση για τη μέση τιμή της γωνίας στροφής χορδής υποστυλωμάτων  $\theta_{um}$  κατά την αστοχία βάσει της ΚΑΝ.ΕΠΕ. σχέση Σ.8α, §7.2.4.1(β) η αύξηση του διαμήκους οπλισμού χωρίς την προσθήκη ενδιάμεσου οπλισμού δεν οδηγεί σε μεταβολή του απαιτούμενου υλικού περίσφιγξης.

Αντίθετα, παρατηρείται ότι η αύξηση του γεωμετρικού ποσοστού διαμήκους οπλισμού  $\rho_{tot}$  στο υποστύλωμα με προσθήκη ενδιάμεσου κατανεμημένου οπλισμού οδηγεί σε αύξηση του απαιτούμενου υλικού περίσφιγξης κατά σημαντικό ποσοστό με τη χρήση οποιασδήποτε εκ των 2 μεθόδων. Για παράδειγμα, η αύξηση του ποσοστού διαμήκους οπλισμού  $\rho_{tot}$  κατά 60% με προσθήκη ενδιάμεσου κατανεμημένου οπλισμού οδηγεί σε αύξηση του απαιτούμενου υλικού περίσφιγξης κατά 8.5% βάσει των υπολογισμών σύμφωνα με ΚΑΝ.ΕΠΕ. §8.2.3 και κατά 35% βάσει των υπολογισμών σύμφωνα με ΚΑΝ.ΕΠΕ. σχέση

Σ.8α, §7.2.4.1. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η αύξηση του γεωμετρικού ποσοστού διαμήκους οπλισμού με την προσθήκη ενδιάμεσου κατανεμημένου οπλισμού επηρεάζει κατά μεγαλύτερο βαθμό τα αποτελέσματα σύμφωνα με ΚΑΝ.ΕΠΕ. σχέση Σ.8α, §7.2.4.1.

#### Αποτελέσματα από μεταβολή της παραμέτρου $f_c$

Για να εξεταστεί η επιρροή της ποιότητας του σκυροδέματος στα αποτελέσματα των δύο μεθόδων θεωρήθηκε υποστύλωμα ύψους 3m με τετραγωνική διατομή (0.4×0.4)m, οπλισμένο με ομοιόμορφα κατανεμημένο οπλισμό 8φ16 από χάλυβα S400, με σταθερό ανηγμένο στην επιφάνεια θλιπτικό αξονικό φορτίο  $\nu=0.24$  και επιθυμητή γωνία στροφής χορδής  $\theta_d=0.05$  rad. Οι υπολογισμοί έγιναν για χαρακτηριστικές τιμές θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος  $f_{ck} = \{12,14,16,20,25\}$  MPa, οι οποίες πολλαπλασιάστηκαν επί συντελεστή 1.15 για να προκύψουν οι μέσες τιμές θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος  $f_c$  που χρησιμοποιήθηκαν. Παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα  $f_c$ - $\alpha_{\omega_{wd}}$  για την εν λόγω διατομή.



Σχήμα 9: Διάγραμμα  $f_c$ - $\alpha_{\omega_{wd}}$  για υποστύλωμα (0.4×0.4)m με 8φ16, S400, h=3m,  $\theta=0.05$

#### Συμπεράσματα αποτελεσμάτων από μεταβολή της παραμέτρου $f_c$

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, απαιτείται λιγότερο υλικό περίσφιγξης. Για αύξηση της θλιπτικής αντοχής κατά 108% (αύξηση χαρακτηριστικής τιμής θλιπτικής αντοχής από 12MPa σε 25 MPa) παρατηρείται μείωση της απαίτησης σε υλικό περίσφιγξης κατά 41% σύμφωνα με ΚΑΝ.ΕΠΕ. σχέση (8.18), §8.2.3 και κατά 33% σύμφωνα με ΚΑΝ.ΕΠΕ. σχέση Σ.8α, §7.2.4.1. Συνεπώς φαίνεται να μην υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ των δύο εξεταζόμενων σχέσεων ως προς την επιρροή των αποτελεσμάτων τους από την αλλαγή της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος.

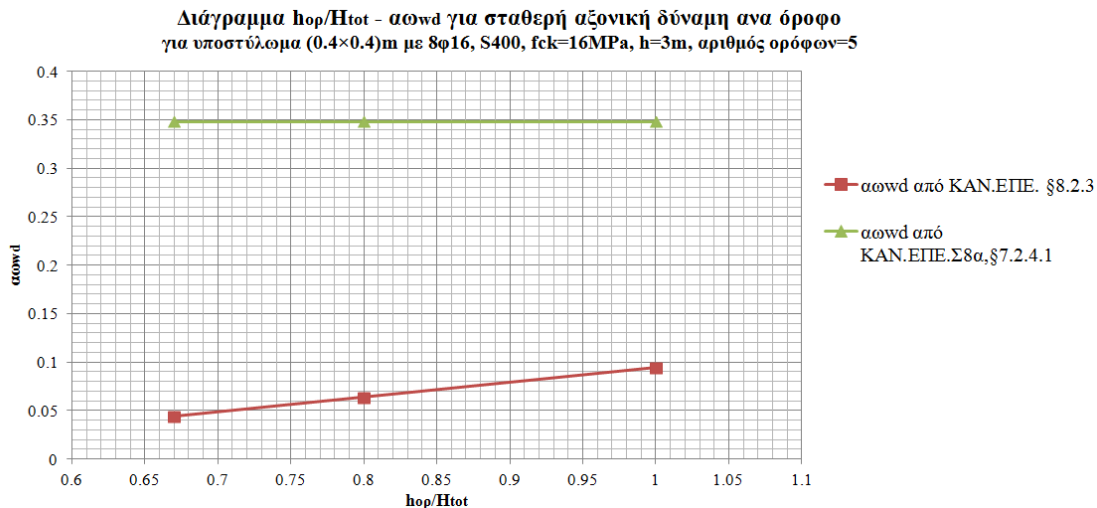
#### Αποτελέσματα από μεταβολή του τρόπου αστοχίας του δομήματος και της αξονικής δύναμης των υποστυλωμάτων

Σύμφωνα με την ΚΑΝ.ΕΠΕ. §7.2.6.2,β, ο τρόπος αστοχίας της κατασκευής επηρεάζει τη σχέση μεταξύ δείκτη πλαστιμότητας συνολικών μεταθέσεων  $\mu_\delta$  και δείκτη πλαστιμότητας τοπικών σχετικών μετακινήσεων ή παραμορφώσεων  $\mu_\theta$ . Συγκεκριμένα, αν είναι πιθανός ο σχηματισμός πλαστικού μηχανισμού σε έναν όροφο του δομήματος (σε ύψος  $h_{op}$ ), ισχύει:  $\mu_\delta = \mu_\theta \times h_{op} / H_{tot}$ , όπου  $H_{tot}$  το ολικό ύψος του δομήματος και  $h_{op}$  το ύψος του ορόφου όπου φαίνεται πιθανός ο σχηματισμός πλαστικού μηχανισμού.

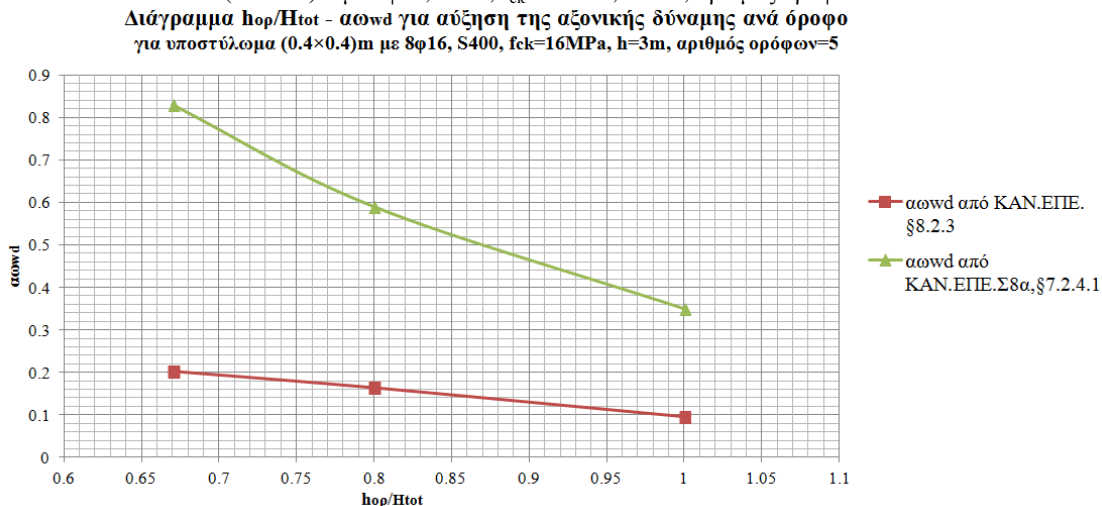
Αν τα κατακόρυφα στοιχεία του δομήματος έχουν επαρκή αντοχή, ώστε να αποφευχθεί η άνω περίπτωση, τότε ισχύει  $\mu_\delta = \mu_\theta$ . Για την διερεύνηση αυτής της παραμέτρου, θεωρήθηκε πενταόροφο κτίριο με υποστυλώματα τετραγωνικής διατομής (0.4×0.4)m και ύψος ορόφου 3m. Το υποστύλωμα που εξετάζεται είναι οπλισμένο με ομοιόμορφα κατανεμημένο οπλισμό 8φ16 από χάλυβα S400 και είναι κατασκευασμένο από σκυρόδεμα

χαρακτηριστικής αντοχής 16 MPa. Η επιθυμητή γωνία στροφής χορδής θεωρήθηκε 0.05 rad και το ανηγμένο στη επιφάνεια αξονικό φορτίο  $\nu=0.243$ . Οι σχέσεις ΚΑΝ.ΕΠΕ. σχέση (8.18), §8.2.3 και ΚΑΝ.ΕΠΕ. σχέση Σ.8α, §7.2.4.1 εφαρμόστηκαν για πιθανό σχηματισμό πλαστικού ορόφου στον 3<sup>ο</sup>, 4<sup>ο</sup> και 5<sup>ο</sup> όροφο του κτιρίου. Ωστόσο θεωρήθηκε ότι θα ήταν παράλειψη αν δεν συμπεριλαμβανόταν και η γραμμική αύξηση του αξονικού φορτίου των υποστυλωμάτων, καθώς το ύψος του ορόφου μειώνεται. Θεωρήθηκε δηλαδή ότι το αξονικό φορτίο του υποστύλωματος στον 4<sup>ο</sup> όροφο είναι διπλάσιο από από του 5<sup>ου</sup> ορόφου και ότι του 3<sup>ου</sup> ορόφου είναι τριπλάσιο από από του 5<sup>ου</sup>.

Παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα  $\alpha_{\omega_{wd}} - h_{op}/H_{tot}$  για το εν λόγω υποστύλωμα, χωρίς την υπόθεση της ισχύος της θεωρήσης περί αύξησης του αξονικού φορτίου υποστύλωματος ανά όροφο και στη συνέχεια το ίδιο διάγραμμα με την υπόθεση της ισχύος της άνω θεώρησης.

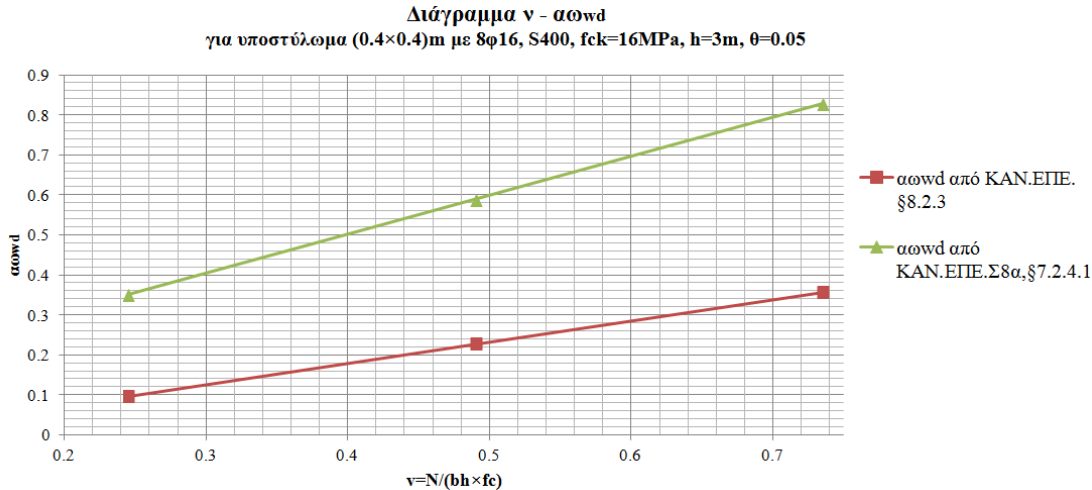


Σχήμα 10: Διάγραμμα  $h_{op}/H_{tot} - \alpha_{\omega_{wd}}$  για σταθερή αξονική δύναμη ανα όροφο για υποστύλωμα (0.4×0.4)m με 8φ16, S400,  $f_{ck}=16\text{MPa}$ ,  $h=3\text{m}$ , αριθμός ορόφων=5



Σχήμα 11: Διάγραμμα  $h_{op}/H_{tot} - \alpha_{\omega_{wd}}$  για αύξηση της αξονικής δύναμης ανά όροφο για υποστύλωμα (0.4×0.4)m με 8φ16, S400,  $f_{ck}=16\text{MPa}$ ,  $h=3\text{m}$ , αριθμός ορόφων=5,  $\theta=0.05$

Στην περίπτωση που ο σχηματισμός πλαστικού ορόφου θεωρηθεί απίθανος, τότε ισχύει  $\mu_{\theta}=\mu_{\delta}$ . Τότε, αν υπάρχει αύξηση του αξονικού φορτίου ανά όροφο κατά τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω ισχύει για τη θεωρημένη διατομή το παρακάτω γράφημα.



Σχήμα 12: Διάγραμμα  $v - \alpha\omega_{wd}$  για υποστυλώμα (0.4×0.4)m με 8φ16, S400,  $f_{ck}=16\text{MPa}$ ,  $h=3\text{m}$

### Συμπεράσματα αποτελεσμάτων από μεταβολή του τρόπου αστοχίας του δομήματος και της αξονικής δύναμης των υποστυλωμάτων

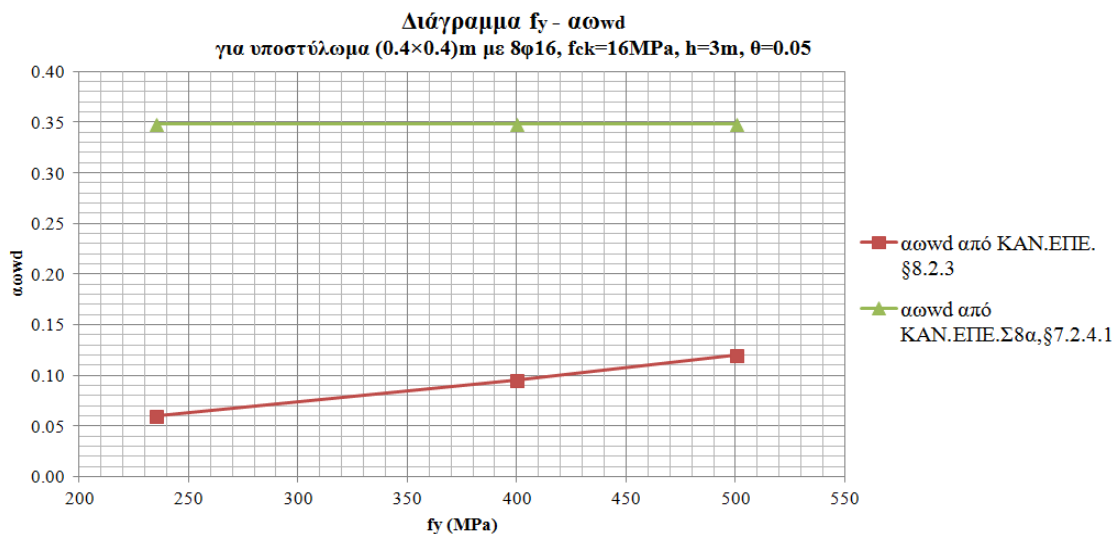
Παρατηρείται ότι ο τρόπος αστοχίας του δομήματος μέσω δημιουργίας πλαστικού ορόφου δεν επηρεάζει καθόλου τα αποτελέσματα της ΚΑΝ.ΕΠΕ. σχέση Σ.8α, §7.2.4.1. Αντίθετα, παρατηρείται γραμμική επιρροή στα αποτελέσματα της ΚΑΝ.ΕΠΕ. σχέση (8.18) §8.2.3 με κλίση  $\Delta y/\Delta x=0.155$ .

Αν όμως θεωρηθεί ότι υπάρχει γραμμική αύξηση του αξονικού φορτίου καθώς το  $h_{op}$  ελαττώνεται, παρατηρείται αύξηση της απαίτησης σε οπλισμό περισφιγξης και από τις δύο σχέσεις. Η σχέση Σ.8α, §7.2.4.1 ΚΑΝ.ΕΠΕ. φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο από την αύξηση του αξονικού φορτίου από την ΚΑΝ.ΕΠΕ. σχέση (8.18) §8.2.3.

Το γεγονός ότι η Σ.8α, §7.2.4.1 ΚΑΝ.ΕΠΕ επηρεάζεται περισσότερο από την αύξηση του αξονικού φορτίου φαίνεται ακόμη πιο καθαρά στο σχήμα (12), όπου έχει θεωρηθεί ότι δεν σχηματίζεται πλαστικός όροφος και συνεπώς εξετάζεται η επιρροή της αξονικής δύναμης στα αποτελέσματα των δύο συγκρινόμενων μεθόδων. Παρατηρείται μεγαλύτερη επιρροή στα αποτελέσματα της μεθόδου ΚΑΝ.ΕΠΕ. Κεφ. 7-§7.2.4.1 (μεγαλύτερη κλίση της καμπύλης στο γράφημα).

### Αποτελέσματα από μεταβολή της παραμέτρου $f_y$ , δηλαδή της ποιότητας του χάλυβα του διαμήκους οπλισμού του υποστυλώματος

Για να εξεταστεί η επιρροή της ποιότητας του σκυροδέματος στα αποτελέσματα των δύο μεθόδων θεωρήθηκε υποστυλώμα ύψους 3m με τετραγωνική διατομή (0.4×0.4)m, οπλισμένο με ομοιόμορφα κατανομημένο οπλισμό 8φ16, με σταθερό ανηγμένο στην επιφάνεια θλιπτικό αξονικό φορτίο  $v=0.24$  και επιθυμητή γωνία στροφής χορδής  $\theta_d=0.05$  rad. Η ποιότητα σκυροδέματος ήταν C16 με μέση θλιπτική αντοχή  $f_c=18.4$  MPa. Οι υπολογισμοί έγιναν για χαρακτηριστικές τιμές του ορίου διαρροής των διαμήκων οπλισμών  $f_{yk}=\{235,400,500\}$  MPa, οι οποίες πολλαπλασιάστηκαν επί συντελεστή 1.15 για να προκύψουν οι μέσες τιμές ορίων διαρροής  $f_y$  που χρησιμοποιήθηκαν. Παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα  $f_y-\alpha\omega_{wd}$  για την εν λόγω διατομή.



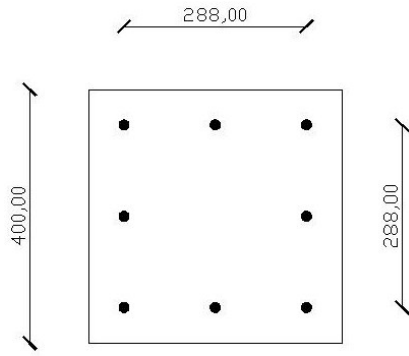
Σχήμα 13: Διάγραμμα  $f_y - \alpha_{\omega_{wd}}$  για υποστυλώμα (0.4×0.4)m με 8φ16,  $f_{ck}=16\text{MPa}$ ,  $h=3\text{m}$ ,  $\theta=0.05$

### Συμπεράσματα από μεταβολή της παραμέτρου $f_y$ , δηλαδή της ποιότητας του χάλυβα του διαμήκους οπλισμού του υποστυλώματος

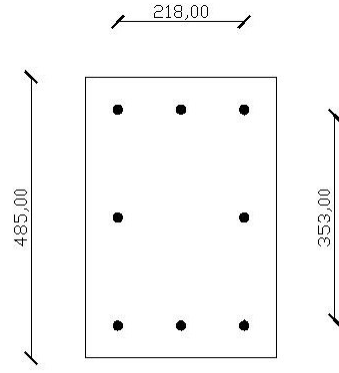
Παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα της ΚΑΝ.ΕΠΕ. σχέση Σ.8α, §7.2.4.1. δεν επηρεάζονται από την αλλαγή της ποιότητας του χάλυβα. Ωστόσο, τα αποτελέσματα της ΚΑΝ.ΕΠΕ. σχέση (8.18), §8.2.3 επηρεάζονται. Με αύξηση του ορίου διαρροής του διαμήκους οπλισμού κατά 113% (από 235 MPa σε 500 MPa) απαιτείται, σύμφωνα με την ΚΑΝ.ΕΠΕ. σχέση (8.18), §8.2.3, αύξηση του υλικού περίσφιγξης κατά 100%.

### Αποτελέσματα από μεταβολή της παραμέτρου $b/h$ , δηλαδή του λόγου των πλευρών της διατομής του υποστυλώματος

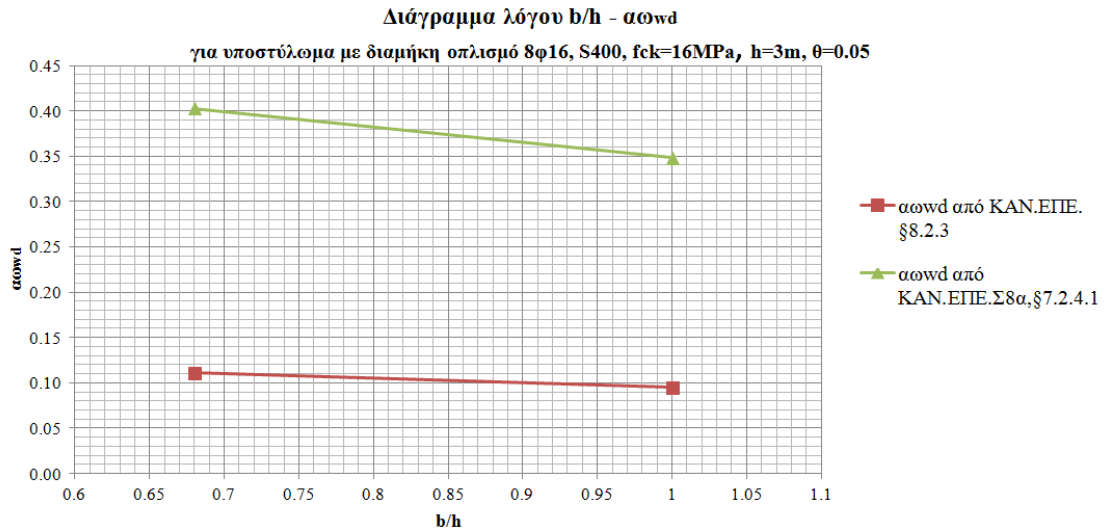
Για να εξεταστεί η επιρροή του λόγου  $b/h$  (όταν  $0.5 < b/h < 1$ ) στα αποτελέσματα των ΚΑΝ.ΕΠΕ. σχέση Σ.8α, §7.2.4.1 και ΚΑΝ.ΕΠΕ. σχέση (8.18), §8.2.3 χρησιμοποιήθηκαν δύο διατομές, μία τετραγωνική διαστάσεων (0.4×0.4)m και μία ορθογωνική διαστάσεων (0.485×0.33)m, έτσι ώστε να είναι ίδιο το εμβαδό της διατομής. Και τα δύο υποστυλώματα οπλίστηκαν με 8φ16 κατανεμημένα όπως στο σχήμα (14) και (15) αντίστοιχα. Ο οπλισμός είναι ποιότητας S400 και η ποιότητα σκυροδέματος είναι C16. Επιθυμητή γωνία στροφής χορδής θεωρήθηκε η  $\theta_d=0.05$  rad και το ανηγμένο στην επιφάνεια θλιπτικό αξονικό φορτίο είναι  $\nu=0.243$ . Ωστόσο, πέρα από το ογκομετρικό ποσοστό οπλισμού περίσφιγξης  $\omega_{wd}$ , επηρεάζεται λόγω της αλλαγής της γεωμετρίας της διατομής και η αποδοτικότητα της περίσφιγξης. Έτσι κρίθηκε σκόπιμο να γίνουν τα διαγράμματα λόγου  $b/h - \alpha_{\omega_{wd}}$  και λόγου  $b/h - \omega_{wd}$  για να εξεταστεί και η επιρροή της αποδοτικότητας περίσφιγξης στην απαίτηση οπλισμού περίσφιγξης. Παρακάτω απεικονίζονται οι διατομές με τον τρόπο κατανομής του διαμήκους οπλισμού τους και στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα λόγου  $b/h - \alpha_{\omega_{wd}}$  και λόγου  $b/h - \omega_{wd}$ .



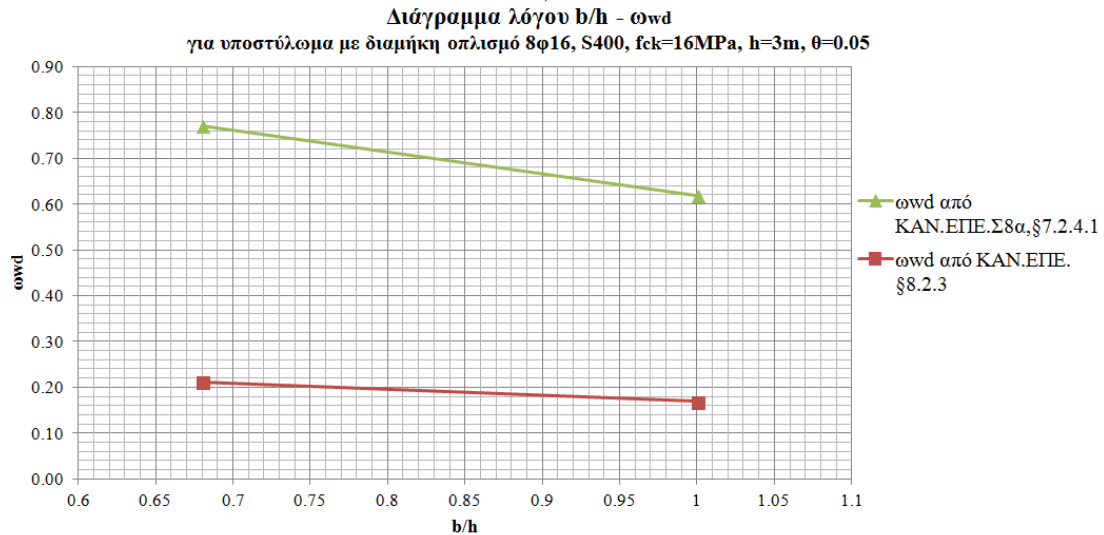
Σχήμα 14: Τετραγωνική διατομή υποστυλώματος (0.4x0.4)m με διαμήκη οπλισμό 8φ16



Σχήμα 15: Ορθογωνική διατομή υποστυλώματος (0.485x0.33)m με διαμήκη οπλισμό 8φ16



Σχήμα 16: Διάγραμμα λόγου b/h -  $\alpha\omega_{wd}$  για υποστυλώμα με διαμήκη οπλισμό 8φ16, S400,  $f_{ck}=16\text{MPa}$ ,  $h=3\text{m}$ ,  $\theta=0.05$



Σχήμα 17: Διάγραμμα λόγου b/h -  $\omega_{wd}$  για υποστυλώμα με διαμήκη οπλισμό 8φ16, S400,  $f_{ck}=16\text{MPa}$ ,  $h=3\text{m}$ ,  $\theta=0.05$

### **Συμπεράσματα από μεταβολή της παραμέτρου $b/h$ , δηλαδή του λόγου των πλευρών της διατομής του υποστυλώματος**

Παρατηρείται ότι η αύξηση του λόγου  $b/h$  (μέχρι τη μονάδα) οδηγεί σε μείωση του γινομένου  $\omega_{wd}$  και για τις δύο μεθόδους. Ωστόσο, παρατηρείται μεγαλύτερη επιρροή στα αποτελέσματα της μεθόδου ΚΑΝ.ΕΠΕ. Κεφ. 7-§7.2.4.1 με μεταβολή του λόγου  $b/h$ , καθώς ο λόγος διάτμησης του ορθογωνικού υποστυλώματος είναι μικρότερος από αυτόν του τετραγωνικού. Εάν ληφθεί υπόψη και η αποδοτικότητα της περίσφιγξης, η οποία εξαρτάται από την γεωμετρία της διατομής και επηρεάζει με τον ίδιο τρόπο τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων, παρατηρείται περεταίρω μείωση της απαιτούμενης περίσφιγξης με χρήση και των δύο μεθόδων για αύξηση του λόγου  $b/h$  (για  $0.5 \leq b/h \leq 1$ ).

### **4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Η σχέση Σ.8α, §7.2.4.1 ΚΑΝ.ΕΠΕ. δεν λαμβάνει υπόψη στον υπολογισμό του γινομένου  $\omega_{wd}$  (συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιγξης επί το μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό οπλισμού περίσφιγξης) το είδος του υλικού περίσφιγξης, καθώς επηρεάζεται μόνο από τους συντελεστές ασφαλείας των υλικών περίσφιγξης. Ακόμη, δεν λαμβάνει υπόψη τον τρόπο αστοχίας του δομήματος δηλαδή την πιθανότητα σχηματισμού πλαστικού μηχανισμού σε κάποιον όροφο καθώς και την ποιότητα του χάλυβα του διαμήκους οπλισμού του υποστυλώματος.

Τα αποτελέσματα της μεθόδου ΚΑΝ.ΕΠΕ. Κεφ. 7-§7.2.4.1 συγκριτικά με αυτά της μεθόδου ΚΑΝ.ΕΠΕ. Κεφ. 8-§8.2.3 επηρεάζονται σε σημαντικότερο βαθμό από τη μεταβολή της απαιτούμενης γωνίας στροφής χορδής κατά την αστοχία, την ύπαρξη ενδιάμεσου καταναμημένου διαμήκους οπλισμού στο υποστυλώμα, τη μεταβολή του αξονικού φορτίου του υποστυλώματος, καθώς και τη γεωμετρία της διατομής του υποστυλώματος (μεταβολή του λόγου  $b/h$ ).

Επίσης, τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων φαίνεται να επηρεάζονται με παρόμοιο τρόπο από τη μεταβολή της ποιότητας σκυροδέματος του υποστυλώματος.

Επομένως, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η μέθοδος υπολογισμού του απαιτούμενου οπλισμού περίσφιγξης που προτείνεται στην §8.2.3 λαμβάνει υπόψη περισσότερες παραμέτρους από τη σχέση Σ.8α, §7.2.4.1.

Τέλος, η μέθοδος του Κεφ. 7 παράγει πιο συντηρητικά αποτελέσματα καθώς η απαίτηση για περίσφιγξη με χρήση της μεθόδου ΚΑΝ.ΕΠΕ. Κεφ. 7-§7.2.4.1 είναι μεγαλύτερη από αυτή της μεθόδου ΚΑΝ.ΕΠΕ. Κεφ. 8-§8.2.3 σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία.

### **5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] EN-1998-3:2005, Παράρτημα Α, Α.3.2.1
- [2] Φαρδής Μ.Ν., Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος, Μέρος Ι, 2011
- [3] Δρίτσος Σ.Η., Ασκήσεις ΚΑΝ.ΕΠΕ, Επεμβάσεις με Στόχο την Αύξηση της Τοπικής Πλαστιμότητας (Παρουσίαση)
- [4] ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2012