

## ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΕΠΑΡΚΩΝ ΜΗΚΩΝ ΠΑΡΑΘΕΣΗΣ ΡΑΒΔΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

### ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΥ ΣΩΤΗΡΙΑ

#### Περίληψη

*Η παρούσα εργασία στοχεύει στην παρουσίαση μίας ολοκληρωμένης εφαρμογής για αποκατάσταση περιοχής με ανεπαρκή μήκη μάτισης διαμήκων οπλισμών τόσο με τη χρήση σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. όσο και με τη χρήση σχέσεων του Ευρωκώδικα. Περιέχει δε και εκτεταμένες συγκρίσεις μεταξύ των διαφορετικών σχέσεων που χρησιμοποιούνται, ομοιότητες και διαφορές αυτών ενώ προσδιορίζονται και παράμετροι των σχέσεων που μπορεί να λειτουργούν καθοριστικά για τα αποτελέσματα που δίνουν οι σχέσεις αυτές.*

#### 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ύπαρξη ανεπαρκών μηκών μάτισης σε διαμήκης οπλισμούς υποστυλωμάτων είναι ένα πάρα πολύ συχνό φαινόμενο, στην χώρα μας, που συναντάται τόσο σε υφιστάμενες κατασκευές κτισμένες πριν το 1984, δηλαδή παλιά κτίρια, που έχουν άμεση ανάγκη από γενικότερη ενίσχυση, όσο και σε νεότερες κατασκευές κτισμένες με τους κανονισμούς μετά το 1984 η ακόμα και με τους νεότερους κανονισμούς μετά το 1995.Στις καινούργιες κατασκευές βέβαια το πρόβλημα εντοπίζεται κατά κύριο λόγο στις αναμονές για την μελλοντική προέκταση ,δημιουργία δηλαδή πρόσθετου ορόφου, μίας υφιστάμενης κατασκευής. Στην περίπτωση αυτή είτε αφήνονται μικρού μήκους αναμονές, είτε δεν εφαρμόζονται μέθοδοι προστασίας αυτών έναντι φαινομένων που εμφανίζονται κατά την διάρκεια του χρόνου με σπουδαιότερο τη διάβρωση, είτε φυσικά και τα δύο. Ένα πιθανό μέτρο πρόληψης έναντι τέτοιων φαινομένων είναι να εγκιβωτιστούν οι ράβδοι με σκυρόδεμα μικρής αντοχής, ώστε να είναι εύκολη η θραύση του όταν απαιτηθεί. Σε κάθε περίπτωση όμως κρίνεται αναγκαία η ενίσχυση αυτών των περιοχών ώστε να μεταφέρονται με ασφάλεια οι δυνάμεις υποστυλωμάτων από όροφο σε όροφο.

Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, οι διαθέσιμοι κανονισμοί σε ισχύ ,τη παρούσα χρονική περίοδο στην Ελλάδα, είναι δύο. Μπορεί λοιπόν να γίνει χρήση τόσο του Ευρωκώδικα, όσο και του ΚΑΝ.ΕΠΕ (ελληνικός κανονισμός επεμβάσεων ).Στον ΚΑΝ.ΕΠΕ συγκεκριμένα προτείνονται δύο τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος: η ηλεκτροσυγκόλληση και η εφαρμογή εξωτερικής περίσφιξης στο στοιχείο. Για την ηλεκτροσυγκόλληση απαιτείται η εφαρμογή των Προσωρινών Εθνικών Τεχνικών Προδιαγραφών (ΠΕΤΕΠ), συγκεκριμένες δηλαδή τεχνικές ,ειδικοί εξοπλισμοί, εξειδικευμένοι εργάτες καθώς και ειδικές συνθήκες εφαρμογής, κάτι που φυσικά είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί σε συνθήκες εργοταξίου. Ένα ακόμη ζήτημα που τίθεται ως εμπόδιο στην εφαρμογή της εν λόγω μεθόδου είναι ότι οι χάλυβες στα παλιά κτίρια, κατά κύριο λόγο, δεν είναι συγκολλησιμοι ενώ η μέθοδος είναι εφαρμόσιμη μόνο σε κτίρια με αναμονές για δημιουργία πρόσθετου ορόφου. Συνίσταται λοιπόν εν γένει να αποφεύγεται με αποτέλεσμα να γίνεται εν τέλει χρήση κυρίως της δεύτερης μεθόδου. Η δεύτερη μέθοδος της εξωτερικής περίσφιξης μπορεί να εφαρμοστεί με οποιονδήποτε τρόπο (μανδύες, κολάρα, εξωτερικοί συνδετήρες) από χάλυβα ή ινοπλισμένα υλικά FRP (υλικά οπλισμένα με ίνες

μεγάλης εφελκυστικής αντοχής) καθώς και με μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Από την άλλη πλευρά ο Ευρωκώδικας δίνει μοναδική επιλογή την ενίσχυση με μανδύες FRP.

Στη παρούσα εργασία συνεπώς επιλέγεται η ενίσχυση με εξωτερική περίσφιξη σε υποστύλωμα υφιστάμενης κατασκευής ενώ για να είναι εφικτή η σύγκριση αποτελεσμάτων των σχέσεων των δύο αυτών κανονισμών επιλέγεται ως κοινό υλικό περίσφιξης μανδύας FRP.

## 2.ΕΦΑΡΜΟΓΗ

### ΔΕΔΟΜΕΝΑ:

Υποστύλωμα διώροφου κτιρίου διαστάσεων 300×300 mm, το οποίο έχει ύψος 6m, είναι οπλισμένο με 4Φ22 που τρέχουν σε όλο το μήκος του. Τα σίδερα που έρχονται από το υποστύλωμα του κάτω ορόφου, ο οποίος έχει ύψος 3m, έχουν μήκος 3,7m. Το υποστύλωμα έχει επικάλυψη  $c=20\text{mm}$  ενώ έχει χρησιμοποιηθεί σκυρόδεμα C12/15 και χάλυβας S500. Η στάθμη επιτελεστικότητας είναι Β.

### ΖΗΤΟΥΜΕΝΑ:

Έλεγχος για τυχόν ανεπαρκές μήκος μάτισης και ενίσχυση της περιοχής αυτής.

### ΕΠΙΛΥΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ:

- **Μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών**

Χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο οι μέσες τιμές της αντοχής των υλικών.

Η μέση τιμή  $f_{cm}$  της αντοχής του σκυροδέματος υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8\text{MPa} = 12 + 8 = 20\text{MPa}. \quad (\text{EN1992-1-1 §3.1.3, πίνακας 3.1})$$

Η μέση τιμή της αντοχής του χάλυβα είναι ίση με :  $500 \cdot 1,15 = 575\text{MPa}$ .

- **Έλεγχος για τυχόν ανεπαρκές μήκος μάτισης**

Το αναγκαίο μήκος μάτισης είναι:  $l_{so} = \frac{f_{sd}}{f_{bd}} = \frac{22}{4} \cdot \frac{500 \cdot 1,15}{334} = 894\text{ mm} \quad (\text{EK2§8.4.3})$

Όπου:  $f_{sd}$  είναι η μέση τιμή της αντοχής του χάλυβα

και  $f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{cm} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2,25 \cdot 0,30 \cdot 12^{2/3} = 3,54\text{ MPa}$

όπου  $f_{cm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad (\text{EN1992-1-1 §3.1.3, πίνακας 3.1})$

Το διαθέσιμο όμως μήκος μάτισης είναι  $l_s = 700\text{mm} < l_{so}$  άρα απαιτείται ενίσχυση στη περιοχή μάτισης

- **Έλεγχος προϋποθέσεων εφαρμογής εξωτερικής ενίσχυσης**

1) Πρέπει να ισχύει:

$$l_s \geq \max(0,3l_{sc}, 15d_s) = \max(0,3 \cdot 894, 15 \cdot 22) = \max(268,16, 303) = 303\text{ mm}$$

άρα ισχύει

$$(\text{KAN.EΠΕ. §8.2.1(β)(iii)})$$

2) Το μήκος εφαρμογής της περίσφιξης πρέπει να είναι τουλάχιστον :

$$l = \max(h_{kp}, 1,3l_s, 600) = \max(600, 1,3 \cdot 700, 600) = 910\text{ mm}$$

$$(\text{KAN.EΠΕ. §8.2.1(β)(iv)})$$

Συνεπώς θα ενισχύσουμε τη κολόνα μέχρι ύψος 910 mm

- **Επιλογή υλικού περίσφιξης**

Επιλέγεται ινοπλισμένο υλικό και συγκεκριμένα ανθρακούφασμα με τις εξής ιδιότητες:

$E=350 \text{ GPa}$  ,  $\varepsilon_u = 0,5\%$  και  $f_u = 2500 \text{ MPa}$

• **Εφαρμογή ενίσχυσης σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.**

Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. μας δίνει τη δυνατότητα να υπολογίσουμε το υλικό περίσφιξης μέσω δύο εξισώσεων, τις (8.3) και (Σ8.1). Εφαρμόζουμε και τις δύο και παίρνουμε αυτή που μας δίνει την οικονομικότερη διατομή.

**Πρώτος τρόπος**

Ο απαιτούμενος οπλισμός ενίσχυσης υπολογίζεται ως εξής:

$$\frac{A_I}{s} = \gamma_{rd} \cdot \frac{(1-\lambda_s)}{\beta} \cdot \frac{1}{\mu} \cdot \frac{f_{yk}}{\sigma_{jd}} \cdot \frac{A_b}{l_s} = 1,5 \cdot 1 \cdot \frac{300}{338} \cdot \frac{380}{700} = 0,76 \text{ mm} \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. (8.3)})$$

Όπου :  $A_b = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 22^2}{4} = 380 \text{ mm}^2$

και σύμφωνα με (ΚΑΝ.ΕΠΕ. (8.4))

$$\beta = \frac{b_f}{b} \leq 1 \text{ και λαμβάνεται } \beta=1 \text{ αφού } c/d_s = 20/22 = 0,91 \leq 2$$

$\gamma_{rd} = 1,5$  ,  $s_d = 0,4 \text{ mm}$  για στάθμη B

$\lambda_s = 0$  και  $\mu=1$  λόγω έλλειψη στοιχείων για το πλήθος των συνδετήρων που βρίσκονται στην περιοχή μάτισης καθώς και τον υπολογισμό του συντελεστή τριβής.

Σύμφωνα δε με ΚΑΝ.ΕΠΕ (§Σ8.2.1.2(β)(ii))

$$W_{rd} = 0,6 \cdot s_d^{\frac{2}{3}} = 0,6 \cdot 0,4^{\frac{2}{3}} = 0,33 \text{ mm και } \varepsilon_{jd} = \frac{\sqrt{2} \cdot w_{jd}}{300} = \frac{\sqrt{2} \cdot 0,33}{300} = 0,00154$$

$$\sigma_{j,max} = 0,75 \cdot E \cdot \varepsilon_u = 0,75 \cdot 350000 \cdot 0,005 = 1312,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{jd} = E_j \cdot \varepsilon_{jd} = 350000 \cdot 0,00154 = 538 \text{ KN} \leq \sigma_{jd,max} \cdot \text{Άρα } \sigma_{jd}=538 \text{ MPa}$$

Δεδομένου βέβαια ότι τα υλικά κυκλοφορούν στο εμπόριο διατίθεται με πάχος στρώσης έως 1,3 mm επιλέγεται μία στρώση με πάχος που να ξεπερνά τα 0,76 mm.

**Δεύτερος τρόπος**

Αυτός ο τρόπος επίλυσης χρησιμοποιείται μόνο στην περίπτωση που έχω γωνιακές ράβδους δομικών στοιχείων ορθογωνικής διατομής, όπως δηλαδή στην εν λόγω εφαρμογή.

Ισχύουν λοιπόν οι σχέσεις:

α) Πρώτη σχέση

$$\begin{aligned} \frac{A_I}{s} &= 1,3 \cdot \left[ k_1 \cdot \left( \frac{f_{sy}}{f_{cm}} \cdot \frac{d_s}{l_s} \right) - 0,4 \cdot \frac{c}{d_s} - 0,3 \right]^2 \cdot \frac{f_{cm}^2 \cdot d_s^2}{k_2 \cdot E_j \cdot f_{ctm}} \\ &= 1,3 \cdot \left[ 1,5 \cdot \frac{575}{20} \cdot \frac{22}{700} - 0,4 \cdot \frac{20}{22} - 0,3 \right]^2 \cdot \frac{20^2 \cdot 22^2}{0,3 \cdot 350000 \cdot 1,57} \\ &= 0,73 \text{ mm} \quad \text{ΚΑΝ.ΕΠΕ(Σ.8.1α)} \end{aligned}$$

όπου

$k_1=1,5$  για στάθμη επιτελεστικότητας B και  $k_2=0,3$  σύμφωνα με ΚΑΝ.ΕΠΕ.(§8.2.1.2(β)(ii))

$$\text{και } f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,30 \cdot 12^{\frac{2}{3}} = 1,57 \quad (\text{EN1992-1-1 §3.1.3, πίνακας 3.1})$$

Ενώ τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών ( $f_c$  ,  $f_u$  και  $f_{sy}$  ) εισάγονται με τις διαπιστωμένες μέσες τιμές τους όπως αναφέρεται στον:

ΚΑΝ.ΕΠΕ(6.3)

B )Δεύτερη σχέση

$$\left(\frac{A_f}{s}\right)_{\text{απ}} = \frac{12}{s_d \cdot s_u} \cdot \frac{f_{fy}^2}{F_u \cdot f_c^2} \cdot \left(\frac{d_s^2}{\alpha_N \cdot l_s}\right)^3 \cdot \alpha_N = \frac{12}{0,4 \cdot 2} \cdot \frac{375^2}{338 \cdot 20^2} \cdot \left(\frac{22^2}{103,24 \cdot 70}\right)^3 \cdot 103,24 =$$

**1,65 mm** **ΚΑΝ. ΕΠΕ. (§8.1.α)**

όπου  $s_d=0,4$  για στάθμη επιτελεστικότητας B

$$\text{και } \alpha_N = \sqrt{2} \cdot (2 \cdot c + 1,5d_s) = \sqrt{2} \cdot (2 \cdot 20 + 1,5 \cdot 22) = 103,24 \quad \text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. (§6.3)}$$

Από τις τιμές που προκύπτουν από τις παραπάνω σχέσεις επιλέγεται η μεγαλύτερη.

$$\text{Συνεπώς } \left(\frac{A_f}{s}\right)_{\text{απ}} = \max(0,73, 1,65) = 1,65 \text{ mm} \quad \text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. (§8.2.1.2(β)(ii))}$$

Δεδομένου ότι τα υλικά που κυκλοφορούν στο εμπόριο διατίθενται με πάχος στρώσης έως 1,3mm, επιλέγονται 2 στρώσεις με πάχος που να ξεπερνά τα 0,83mm

• **Εφαρμογή ενίσχυσης σύμφωνα με τον ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ**

**Κύριος τύπος επίλυσης**

Ισχύουν οι σχέσεις της παραγράφου §A.4.4.4. του Ευρωκώδικα EN1998-3

Ισχύει δηλαδή οι σχέσεις:

$$t_f = \frac{D \cdot (\sigma_1 - \sigma_{sw})}{2E_f \cdot 0,001} \quad \text{EK8-3 (§A.4.4.4(1) σχέση (A37))}$$

$$\text{όπου } \sigma_1 = \frac{A_s \cdot f_{yl}}{\left[\frac{D^2}{2H} + 2 \cdot (d_{s1} + e)\right] \cdot l_s} \quad \text{EK8-3 (§A.4.4.4(1) σχέση (A38))}$$

Στην εν λόγω περίπτωση όμως η διατομή του υποστυλώματος είναι ορθογωνική άρα σύμφωνα με **EK8-3 (§A.4.4.4(2))** παίρνω  $D=b_w$  (ίσο δηλαδή με το μεγαλύτερο πλάτος της διατομής). Ενώ η τάση  $\sigma_1$  πολλαπλασιάζεται με κατάλληλο μειωτικό συντελεστή  $k_s$ , λαμβάνοντας έτσι υπόψη τη στρογγυλοποίηση των γωνιών για την εφαρμογή του FRP

όπου  $k_s = 2R_c/D$

$$\text{EK8-3 (§A.4.4.3(4))}$$

θεωρώντας  $R_c = 40\text{mm}$  προκύπτει  $k_s = 2 \cdot 40/300 = 0,267$

ενώ η περίμετρος είναι ίση με  $p = 4(300 - 2(22 + 20)) = 864\text{mm}$

$$\text{άρα } \sigma_1 = \frac{380 \cdot 375}{\left[\frac{300^2}{2 \cdot 4} + 2 \cdot (22 + 20)\right] \cdot 700} = 1,625 \text{ MPa} \quad \text{και} \quad \sigma_1' = \sigma_1 \cdot k_s = 0,267 \cdot 1,625 = 0,433 \text{ MPa}$$

$$\text{και τελικά } t_f = \frac{300 \cdot 0,433}{2 \cdot 350000 \cdot 0,001} = 0,19 \text{ mm}$$

Δεδομένου ότι τα υλικά που κυκλοφορούν στο εμπόριο διατίθενται με πάχος στρώσης έως 1,3mm, επιλέγεται 1 στρώση με πάχος που να ξεπερνά τα 0,19mm

**Εναλλακτικός τύπος επίλυσης**

Σύμφωνα με παραπομπή της ίδιας παραγράφου (§A.4.4.4. του Ευρωκώδικα EN1998-3) μπορώ να βρω το απαιτούμενο πάχος του υλικού περίσφιξης με εναλλακτικό τρόπο όπως περιγράφεται στη περίπτωση (3).

Σύμφωνα μ' αυτό το πάχος  $t$  μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$l_{u, \text{min}} = \frac{d_{b1} \cdot f_{yl}}{(1,05 + 14,5 \cdot \alpha_1 \cdot \rho_f \cdot \frac{f_{fy}}{f_c}) \cdot \sqrt{f_c}} \quad \text{EK8-3 (§A.4.4.4(3)(b))}$$

όπου

$$f_{f,e} = \min(f_{u,f}, \epsilon_{u,f} \cdot E_f) \cdot \left(1 - 0,7 \cdot \min(f_{u,f}, \epsilon_{u,f} \cdot E_f) \cdot \frac{\rho_f}{f_c}\right) = \min(2500, 0,015 \cdot 350000) \cdot \left(1 - 0,7 \cdot \min(2500, 0,015 \cdot 350000) \cdot \frac{\rho_f}{20}\right) = 2500 \cdot \left(1 - 0,7 \cdot 2500 \cdot \frac{\rho_f}{20}\right)$$

EK8-3(§A.4.4.3(6)(β))-σχέση (A.35)

με  $f_{u,f}$  και  $E_f$  την αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας του FRP

και  $\epsilon_{u,f}=0,015$  εφόσον χρησιμοποιείται ανθρακούφασμα

EK8-3(§A.4.4.3.(6)(β))

$$\text{ενώ } \rho_f = \frac{a \cdot \epsilon_f}{b_{wv}} = \frac{a \cdot \epsilon_f}{300} = \frac{\epsilon_f}{150}$$

EK8-3(§A.4.4.3(6)(α))

$$l_{u,min} = l_{so} = 894 \text{ mm}$$

$$\text{και } \alpha_{1,f} = \frac{4}{n_{tot}} = \frac{4}{4} = 1$$

EK8-3(§A.4.4.4(3)(b))

άρα τελικά από η αρχική σχέση γίνεται:

$$31,53 \cdot t_f^2 - 54,023 \cdot t_f + 9,454 = 0$$

και λύνοντας αυτή τη δευτεροβάθμια εξίσωση προκύπτει:

$$t_{f1} = 0,198 \text{ mm και } t_{f2} = 1,51 \text{ mm}$$

από τα οποία επιλέγω το μεγαλύτερο πάχος. (Αν και το πρώτο πάχος φαίνεται να συμφωνεί περισσότερο με το αποτέλεσμα της πρώτης λύσης του Ευρωκώδικα).

Δεδομένου ότι τα υλικά που κυκλοφορούν στο εμπόριο διατίθενται με πάχος στρώσης έως 1,3mm, επιλέγονται 2 στρώσεις με πάχος που να ξεπερνά τα 0,76mm.

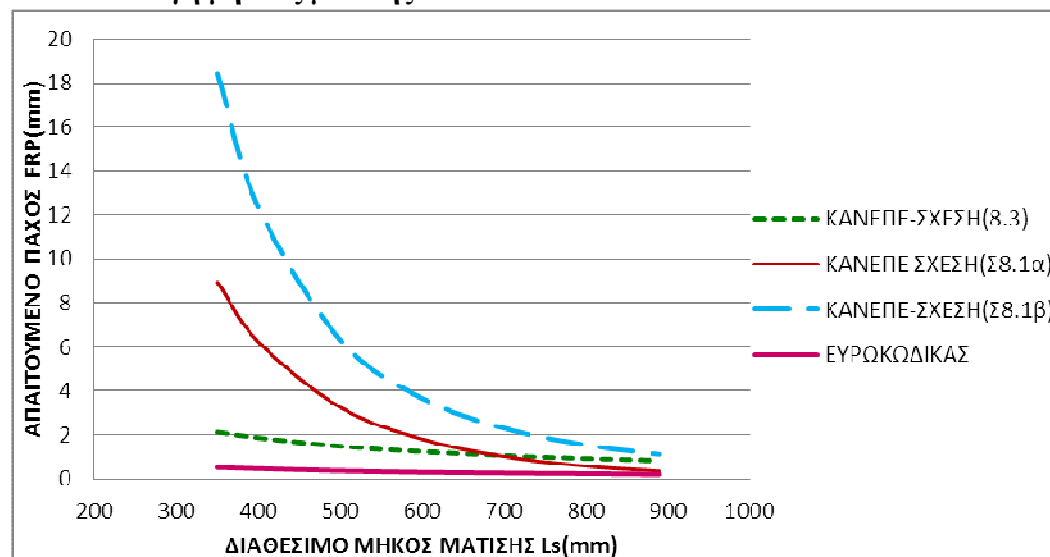
- Συνοπτικά τα αποτελέσματα της εφαρμογής είναι:

ΚΑΝ.ΕΠΕ-ΣΧΕΣΗ 1	ΚΑΝ.ΕΠΕ-ΣΧΕΣΗ 2	ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ-ΣΧΕΣΗ 1	ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ-ΣΧΕΣΗ 2
0,76 mm	1,65 mm	0,19 mm	1,51 mm

### 3.ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΣΧΕΣΕΩΝ ΚΑΝΕΠΕ ΚΑΙ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ

Αλλάζοντας κάθε φορά μία παράμετρο από τα δεδομένα της εφαρμογής, παρατηρούνται αλλαγές στις διάφορες σχέσεις ΚΑΝ.ΕΠΕ και Ευρωκώδικα όπως φαίνεται παρακάτω. Στις συγκρίσεις που γίνονται χρησιμοποιείται μόνο ο βασικός τύπος του Ευρωκώδικα.

- Αλλαγή μήκους μάτισης



Σχήμα 1: Καμπύλες μεταβολής του πάχους  $t$  για αλλαγή του μήκους  $l_s$ , για τις διάφορες σχέσεις ΚΑΝ.ΕΠΕ και ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ

Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνονται τα εξής:

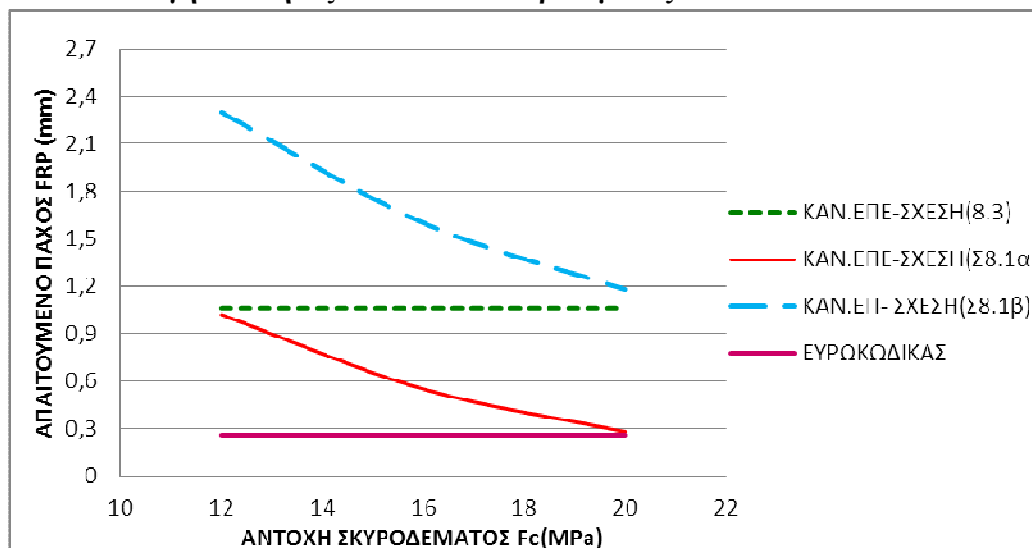
1) Στην δεύτερη σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ.(Σ8.1) ο δεύτερος τύπος(Σ8.1β) είναι καθοριστικός για τον προσδιορισμό του πάχους, αφού δίνει πάντα μεγαλύτερες τιμές (παίρνω το max από τα δύο πάχη).

2) Η πρώτη σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ.(8.3) δίνει πολύ μικρότερες τιμές από τη δεύτερη σχέση (σχέση 2β). Για μικρά  $I_s$  η διαφορά τους είναι πραγματικά τεράστια ενώ μειώνεται περίπου στο 80% όσο αυξάνει το  $I_s$ .

3) Η διαφορά τους αυτή οφείλεται στην έντονη μεταβολή της δεύτερης σχέσης του ΚΑΝ.ΕΠΕ(Σ8.1). Μειώνεται έντονα όσο αυξάνεται το  $I_s$ .

4) Η σχέση του Ευρωκώδικα δίνει τιμές πολύ κοντά στην πρώτη σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ(8.3). με σταθερή περίπου διαφορά μεταξύ τους, ενώ οι τιμές τους δεν αλλάζουν σημαντικά από τη μεταβολή του  $I_s$ .

- **Αλλαγή ποιότητας του υλικού σκυροδέματος**



Σχήμα 2: Καμπύλες μεταβολής του πάχους  $t$  για αλλαγή της αντοχής του σκυροδέματος, για τις διάφορες σχέσεις ΚΑΝ.ΕΠΕ και ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ

Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνονται τα εξής:

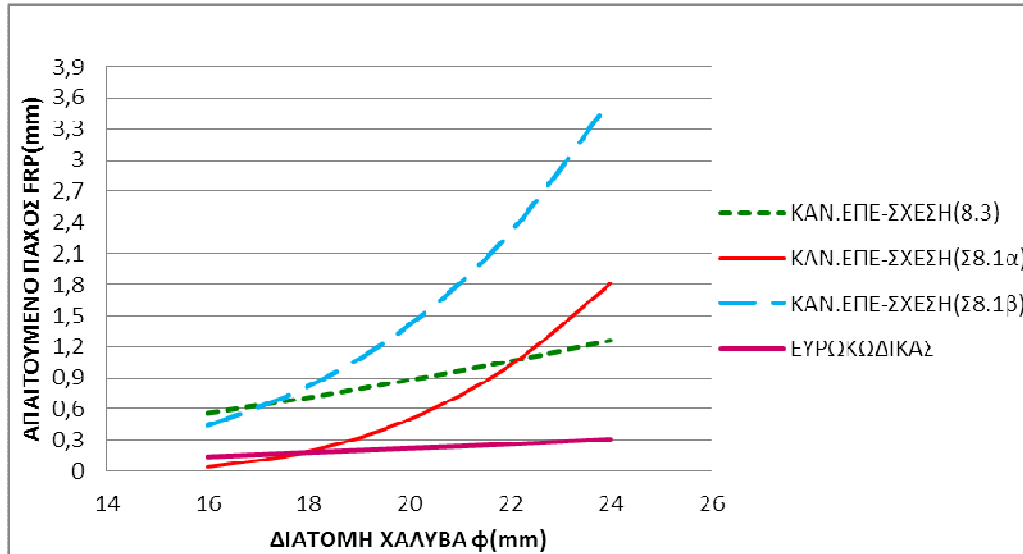
1) Η σχέση του Ευρωκώδικα και η πρώτη σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ(8.3) δεν επηρεάζονται καθόλου από την ποιότητα του σκυροδέματος στο υπάρχον υποστύλωμα.

2) Η πρώτη σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ(8.3) είναι πιο κοντά στη σχέση(Σ8.1α) για μικρές αντοχές σκυροδέματος ενώ για μεγάλες αντοχές είναι πιο κοντά στη σχέση(Σ8.1β).

3) Από τους δύο τύπους της δεύτερης σχέσης του ΚΑΝ.ΕΠΕ(Σ8.1) καθοριστικός για την τελική τιμή (παίρνω το max από τους δύο τύπους) είναι ο δεύτερος τύπος(Σ8.1β) που δίνει αρκετά μεγαλύτερες τιμές.

4) Η σχέση του Ευρωκώδικα δίνει τις χαμηλότερες τιμές από όλους τους τύπους ενώ για μεγάλες αντοχές δίνει τιμές πολύ κοντά στη (Σ8.1α) του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

- **Αλλαγή διατομής χάλυβα διαμήκους οπλισμού**

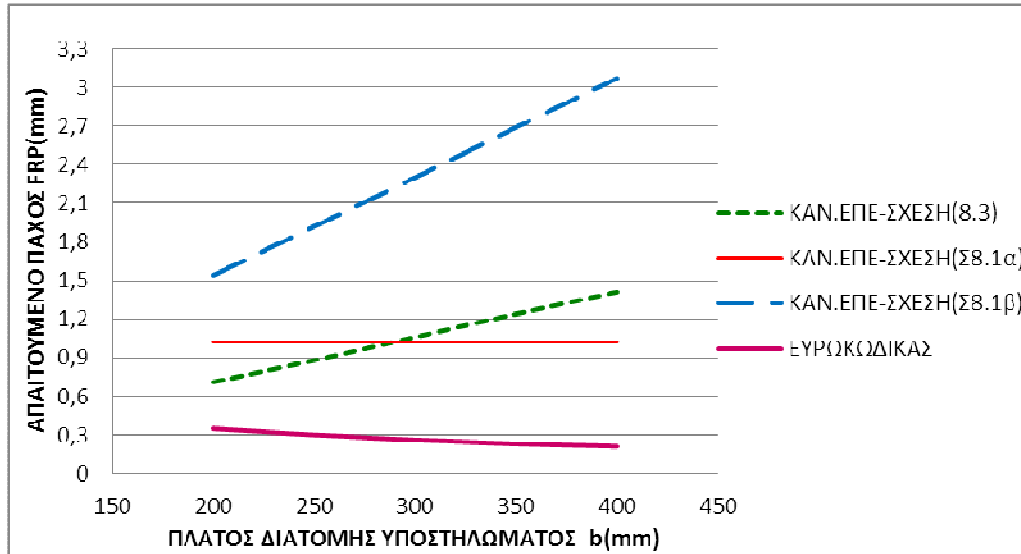


Σχήμα 3: Καμπύλες μεταβολής του πάχους  $t$  για αλλαγή της διατομής του χάλυβα, για τις διάφορες σχέσεις ΚΑΝ.ΕΠΕ και ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ

Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνονται τα εξής:

- 1) Από τους δύο τύπους της δεύτερης σχέσης του ΚΑΝ.ΕΠΕ(Σ8.1) καθοριστικός για την τελική τιμή (παιρνω το max από τους δύο τύπους) είναι ο δεύτερος τύπος(Σ8.1β) που δίνει αρκετά μεγαλύτερες τιμές.
- 2)Ο τρόπος μεταβολής των δύο τύπων της δεύτερης σχέσης του ΚΑΝ.ΕΠΕ(Σ8.1α και Σ8.1β) είναι περίπου όμοιος απλά οι τιμές τους διαφέρουν κατά ένα σημαντικό μεν αλλά σταθερό δε ποσοστό.
- 3)Η σχέση του Ευρωκώδικα μεταβάλλεται περίπου όπως και η πρώτη σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ(8.3) απλά οι τιμές του Ευρωκώδικα είναι κατά ένα σημαντικό αλλά σταθερό ποσοστό μικρότερες.
- 4)Για μικρές διατομές χάλυβα (μικρές για την εν λόγω εφαρμογή) οι τέσσερις σχέσεις δίνουν τιμές αρκετά κοντά, τιμές δηλαδή που ανήκουν σε ένα διάστημα μικρού εύρους.
- 5)Για μικρές διατομές χάλυβα η πρώτη σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ(8.3) είναι πιο κοντά στη σχέση (Σ8.1β) ενώ για πιο μεγάλες είναι πιο κοντά στη (Σ8.1α).
- 6)Για μικρές διατομές χάλυβα η σχέση του Ευρωκώδικα δίνει τιμές κοντά στη σχέση (Σ8.1α).

- **Αλλαγή διατομής υποστρώματος**

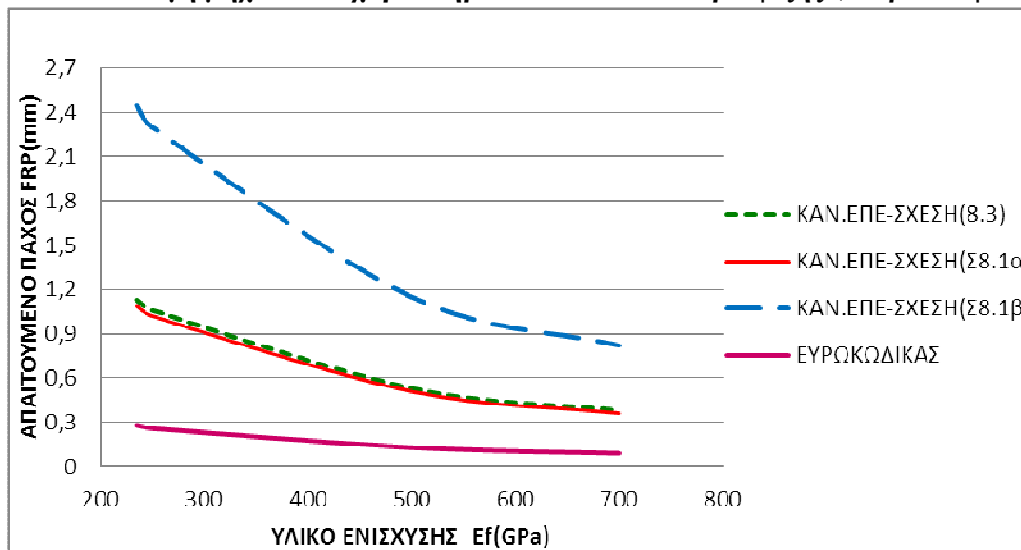


Σχήμα 4: Καμπύλες μεταβολής του πάχους  $t$  για αλλαγή της διατομής του υποστρώματος, για τις διάφορες σχέσεις ΚΑΝ.ΕΠΕ και ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ

Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνονται τα εξής:

- 1) Στη δεύτερη σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ(Σ8.1), καθοριστικός είναι ο δεύτερος τύπος(Σ8.1β) που δίνει τιμές πολύ μεγαλύτερες τιμές από τον πρώτο και μάλιστα αυξάνονται οι τιμές όσο αυξάνει πλάτος της διατομής του υποστρώματος.
- 2) Στη δεύτερη σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ(Σ8.1), ο πρώτος τύπος(Σ8.1α) δεν επηρεάζεται από τις διαστάσεις του υποστρώματος.
- 3) Η σχέση του Ευρωκώδικα έχει σταθερά μικρότερες τιμές από τις άλλες σχέσεις και δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες αλλαγές με την μεταβολή των διαστάσεων του υποστρώματος.
- 4) Η πρώτη σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ(8.3) δίνει τιμές πολύ πιο κοντά στον πρώτο τύπο της δεύτερης σχέσης(Σ8.1α), παρά στον δεύτερο τύπο(Σ8.1β) της ίδιας σχέσης, και ταυτίζονται κίελας σε ένα σημείο.

- **Αλλαγή μηχανικών χαρακτηριστικών υλικού περίσφιξης (ανθρακοϋφάσματος)**





Σχήμα 5: Καμπύλες μεταβολής του πάχους  $t$  για αλλαγή της ποιότητας υλικού ενίσχυσης, για τις διάφορες σχέσεις ΚΑΝ.ΕΠΕ και ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ. Μεταβλήθηκε το υλικό της εφαρμογής σε: υψηλής αντοχής (με  $\epsilon_u = 2\%$ ), πολύ υψηλής αντοχής (με  $\epsilon_u = 2,3\%$ ), υψηλού μέτρου ελαστικότητας (με  $\epsilon_u = 0,90\%$ ) και πολύ υψηλού μέτρου ελαστικότητας (με  $\epsilon_u = 0,4\%$ ).

Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνονται τα εξής:

- 1) Η πρώτη σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ(8.3) με τον πρώτο τύπο της δεύτερης σχέσης του ΚΑΝ.ΕΠΕ(Σ8.1α) σχεδόν ταυτίζονται.
- 2) Η σχέση του Ευρωκώδικα δίνει τις πιο χαμηλές τιμές από όλες τις σχέσεις.
- 3) Καθοριστικός τύπος στη δεύτερη σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ(Σ8.1) είναι ο δεύτερος(Σ8.1β).

#### 4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Οι τρεις σχέσεις εν γένει διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους .
- Από τους δύο τύπους της δεύτερης σχέσης του ΚΑΝ.ΕΠΕ(Σ8.1), ο δεύτερος τύπος(Σ8.1β) έχει πάντοτε μεγαλύτερες τιμές, άρα είναι και ο καθοριστικός τύπος για την τελική τιμή της σχέσης αυτής όταν φυσικά έχω περίσφιξη με μανδύα FRP.(Ο τύπος αυτός είναι πιο απλός σε σχέση με τον πρώτο ενώ περιλαμβάνει κυρίως μόνο τα γεωμετρικά και τα μηχανικά χαρακτηριστικά όλων των υλικών).
- Η δεύτερη σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ.(Σ8.1) (με τους δύο τύπους ) έχει πολύ έντονες μεταβολές στις αλλαγές των μηχανικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Μεταβάλλεται έντονα ακόμα και για μικρές αλλαγές (ιδιαίτερα ο δεύτερος τύπος(Σ8.1.β)) κάτι που είναι λογικό καθώς προσδιορίζεται κυρίως από αυτά τα χαρακτηριστικά. Όλες οι υπόλοιπες σχέσεις μεταβάλλονται με ένα πιο σταθερό ρυθμό.
- Η πρώτη σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ(8.3) δίνει τιμές αρκετά κοντά στον πρώτο τύπο της δεύτερης σχέσης(Σ8.1.α)(που όμως δεν χρησιμοποιείται εν τέλει) ενώ αποκλίνει από αυτή αρκετά για ιδιαίτερα μικρά μήκη μάτισης ,για μεγάλη αντοχή σκυροδέματος και μικρή διατομή χάλυβα .Άρα αν δεν υπήρχε ο δεύτερος τύπος(Σ8.1.β) αυτής της σχέσης οι δύο σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ (8.3 και Σ8.1)θα έδιναν τιμές χωρίς τις μεγάλες διαφορές που παρουσιάζουν τώρα.
- Η σχέση του Ευρωκώδικα λειτουργεί όπως η πρώτη σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ(8.3), δηλαδή με την προσεγγιστική σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ. στην οποία πολλοί παράγοντες τις είχαν προσδιοριστεί εμπειρικά. Οι τιμές τους διαφέρουν σε σταθερό αλλά σημαντικό ποσοστό(βέβαια όχι τόσο όσο διαφέρει με την ακριβή σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ(Σ8.1) ).
- Τέλος η σχέση του Ευρωκώδικα δίνει τις πιο χαμηλές τιμές από όλες τις σχέσεις πιθανότατα λόγω του συντελεστή μείωσης  $k_s$ , ο οποίος μείωνε στο 70% με 80% τις τιμές, όσο περίπου δηλαδή διαφέρει ο Ευρωκώδικας από τις άλλες σχέσεις. (Ο συντελεστής χρησιμοποιήθηκε επειδή ο αρχικός τύπος του ευρωκώδικα αναφέρεται σε κυκλικές κολώνες ενώ στην εφαρμογή η κολώνα ήταν ορθογωνικής διατομής) .Αν μειώνονταν λοιπόν οι τιμές κατά  $(1-k_s)$  δηλαδή κατά 20% με 30% τότε σίγουρα θα έδινε τιμές πιο κοντά στις τιμές των άλλων σχέσεων.

## **5.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] “ΚΑΝ.ΕΠΕ.2012 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ”, με βάση το ΦΕΚ 42/Β/20-1-2012 & Διορθώσεις Σ.Η.Δρίτσου, Πάτρα 2012,Πανεπιστήμιο Πατρών
- [2] “ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ”,ΕΝ1992, ΕΝ1998: 2005(Ε)
- [3]<https://eclass.upatras.gr/courses/ARCH148/>(ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ/ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ)