

ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΕΠΑΡΚΩΝ ΜΗΚΩΝ ΠΑΡΑΘΕΣΗΣ ΜΕ FRP. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΝ.ΕΠΕ. ΚΑΙ ΕΚ8-3

**ΔΟΥΛΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ
ΚΑΛΛΙΩΡΑΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ**

Περίληψη

Η μελέτη για επέμβαση είναι πολύ διαφορετική από τη μελέτη σχεδιασμού ενός νέου κτιρίου. Το σχετικό νέο αυτό αντικείμενο των επεμβάσεων, κυρίως λόγω της δυσκολίας του, μέχρι σήμερα δεν καλυπτόταν κανονιστικά στη χώρα μας. Ο δρόμος άνοιξε με την πρώτη έκδοση του Ευρωκώδικα 8 - Μέρος 3, το οποίο όμως δεν διαθέτει την πληρότητα την οποία απαιτούν οι καθημερινές πρακτικές εφαρμογές. Για την αντιμετώπιση των προαναφερθέντων θεμάτων ήταν αναγκαία η ύπαρξη ενός Κανονισμού Επεμβάσεων σε υφιστάμενες κατασκευές (ΚΑΝ.ΕΠΕ.).

Ο κύριος σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η σύγκριση και η αξιολόγηση των σχέσεων που προτείνουν ο Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) και ο Ευρωκώδικας 8 - Μέρος 3 (EN 1998-3), για τον προσδιορισμό του απαιτούμενου πάχους μανδύα από ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs) για την αποτροπή της αστοχίας στις περιοχές ματίσεων στις βάσεις των υποστυλωμάτων.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε υφιστάμενες κατασκευές σχεδιασμένες με παλαιούς κανονισμούς, ένας από τους λόγους μη ικανοποιητικής συμπεριφοράς σε σεισμική διέγερση μπορεί να είναι η ανεπάρκεια του μηχανισμού μεταφοράς δυνάμεων μεταξύ των ράβδων οπλισμού στις περιοχές ματίσεων (υπερκάλυψης) στις βάσεις των υποστυλωμάτων. Στις κατασκευές αυτές συχνά απαντώνται ματιζόμενοι οπλισμοί με μικρά μήκη παράθεσης, ελλειπή οπλισμό περίσφιξης (συνδετήρες) και έχουν σχεδιαστεί για να ανταπεξέλθουν κυρίως στα φορτία βαρύτητας. Σε αυτές τις περιπτώσεις η αστοχία που έχει παρατηρηθεί μετά από ισχυρές σεισμικές διεγέρσεις είναι ψαθυρού τύπου και εκδηλώνεται με ολίσθηση των ματιζομένων ράβδων. Μια από τις κύριες τεχνικές ενίσχυσης υποστυλωμάτων με ανεπαρκή μήκη παράθεσης των ράβδων οπλισμού στις περιοχές των ενώσεων είναι η εφαρμογή εξωτερικής περίσφιξης στο στοιχείο με τη χρήση υφασμάτων από σύνθετα υλικά με τις ίνες κατά μήκος της περιμέτρου του [4].

Σκοπός της περίσφιξης είναι η παρεμπόδιση της πρόωρης αστοχίας της περιοχής μάτισης από διάρρηξη του περιβάλλοντος την ράβδο σκυροδέματος, (άρα αστοχίας του μηχανισμού μεταφοράς δυνάμεων μεταξύ των ράβδων) και, τελικά, από ολίσθηση κατά μήκος της κρίσιμης ρωγμής που θα έχει δημιουργηθεί μεταξύ των ράβδων, πριν οι ράβδοι φθάσουν στη διαρροή τους.

Η εξωτερική περίσφιξη ενεργοποιείται κυρίως λόγω της εγκάρσιας διόγκωσης η οποία προκαλείται από τη σχετική ολίσθηση των ματιζομένων ράβδων. Η σχετική ολίσθηση των ματιζομένων ράβδων προκαλεί την εμφάνιση ρωγμής ολίσθησης. Το εμποδιζόμενο άνοιγμα αυτής της ρωγμής προκαλεί την ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων στο υλικό της εξωτερικής περίσφιξης, οι οποίες με τη σειρά τους οδηγούν σε θλιπτικές τάσεις στο σκυρόδεμα, στην περιοχή των ράβδων, βελτιώνοντας τις συνθήκες συνάφειας [1].

2. ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΕΠΑΡΚΩΝ ΜΗΚΩΝ ΠΑΡΑΘΕΣΗΣ ΡΑΒΔΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2012 [1]

Σύμφωνα με το κεφάλαιο 8 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. που ασχολείται με τη διαστασιολόγηση των επεμβάσεων και πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με την §8.2.1.2 (Αποκατάσταση ανεπαρκών μηκών παράθεσης ράβδων οπλισμού), ο απαιτούμενος οπλισμός περίσφιξης μπορεί να υπολογίζεται από τη σχέση:

$$t_j = \gamma_{Rd} \frac{(1 - \lambda_s) 1 f_{yk} A_b}{\beta \mu \sigma_{jd} l_s} \quad (\text{σχέση (8.3 της §8.2.1.2(β)(ii) του ΚΑΝ. ΕΠΕ.)})$$

όπου:

t_j είναι το πάχος του μανδύα (στην περίπτωση συνεχούς εξωτερικού μανδύα από ινοπλισμένο ύφασμα),

$\gamma_{Rd} = 1,5$ είναι ο πρόσθετος αυξητικός συντελεστής ασφαλείας για τις επιπλέον αβεβαιότητες των προσομοιωμάτων αντίστασης ενισχυμένων κρίσιμων περιοχών,

$A_b = \pi d_s^2/4$ είναι το εμβαδόν μιας ματιζόμενης ράβδου,

l_s είναι το διατιθέμενο μήκος μάτισης των ράβδων,

$\sigma_{jd} = E_j \epsilon_{jd}$ είναι η επιστρατευόμενη αξονική τάση σχεδιασμού των στοιχείων της περίσφιγξης. Ελλείψη ακριβέστερων στοιχείων η παραμόρφωση σχεδιασμού ϵ_{jd} μπορεί να προσδιοριστεί από τη σχέση $\epsilon_{jd} = \sqrt{2} w_d / \bar{b}$, όπου:

$w_d = 0.6 s_d^{2/3}$ είναι το εύρος ρωγμής που αντιστοιχεί στο αποδεκτό μέγεθος της σχετικής ολίσθησης s_d των ράβδων (το s_d επιλέγεται 0,3 mm για στάθμη επιτελεστικότητας A και 0,4 mm για στάθμη επιτελεστικότητας B και Γ),

$\bar{b} \cong \frac{b_1+b_2}{2}$ όπου b_1 και b_2 οι δύο διαστάσεις της διατομής.

❖ Όταν η περίσφιγξη γίνεται με στοιχεία από ΙΟΠ, η επιστρατευόμενη τάση σχεδιασμού σ_{jd} δεν πρέπει να υπερβαίνει τη διαθέσιμη για την περίσφιγξη αντοχή του ΙΟΠ, που θεωρείται μειωμένη κατά 25% ($\sigma_{j,max} = 0.75 E_j \epsilon_{ju}$), προκειμένου να ληφθεί υπ' όψιν η πρόσθετη τοπική επιπόνηση του ΙΟΠ λόγω της καμπύλωσης του υλικού και της προς τα έξω παραμόρφωσης μιας γωνιακής ράβδου.

$\lambda_s = l_s/l_{s0}$ είναι ο συντελεστής που εκφράζει το μέγεθος της συνεισφοράς της συνάφειας του ήδη διατιθέμενου μήκους μάτισης, (ο συνυπολογισμός αυτής της συνεισφοράς λαμβάνεται υπόψη εφόσον στην περιοχή μάτισης διατίθεται τουλάχιστον το 50% των συνδετήρων που απαιτούνται *σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στον EN 1998-1 (§5.6.3) για τις περιοχές ματισμάτων*) και συνιστάται να λαμβάνεται $\lambda_s = 0$,

$\beta = b_f/B \leq 1$ (8.4), όπου b_f είναι το πλάτος της ζώνης τριβής πάνω στη ρωγμή κατά μήκος των ματιζόμενων ράβδων, και B είναι το πλάτος κατανομής της συνολικής θλιπτικής δύναμης που εισάγεται από την επιστρατευόμενη αξονική δύναμη του υλικού περίσφιγξης πάνω στην ίδια ρωγμή (οι τιμές του β είναι κοντά στη μονάδα, ιδίως όταν $c/d_s \leq 2$, όπου c είναι η μικρότερη επικάλυψη ματιζόμενης ράβδου),

μ είναι ο συντελεστής τριβής που μπορεί να επιστρατευθεί στην δυνητική διεπιφάνεια ολίσθησης, στη θέση της αναμενόμενης ρηγμάτωσης (εξαρτάται από το μέγεθος της θλιπτικής τάσης στην διεπιφάνεια της ρηγμάτωσης, καθώς και από την ανεκτή σχετική ολίσθηση κατά μήκος της ρωγμής, μειώνεται δε με την ανακύκλιση των επιβαλλόμενων ολισθήσεων). Οι τιμές του μ μπορεί να κυμαίνονται πρακτικά μεταξύ 0,4 και 2,0 και δεν είναι εύκολο να οριστούν εμπειρικά με ακρίβεια. Ελλείψει άλλων στοιχείων θα μπορούσε αδρομερώς να θεωρηθεί $\mu = 1$.

Επιπλέον σύμφωνα με *το σχόλιο της §8.2.1.2(β)(ii) του ΚΑΝ.ΕΠΕ.*, στην περίπτωση γωνιακών ράβδων δομικών στοιχείων ορθογωνικής διατομής, για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μεγέθους εξωτερικής περισφίξεως μπορούν να εφαρμόζονται *οι σχέσεις (Σ6.14α) και (Σ6.14β) της § Σ6.3* υπό τις αναφερόμενες εκεί προϋποθέσεις, και συγκεκριμένα:

υπό την προϋπόθεση ότι η απαιτούμενη τάση του υλικού περίσφιγξης δεν ξεπερνά το όριο αντοχής ή διαρροής του (f_u), για ανεκτή ολίσθηση ράβδων s_d (όπως ορίστηκε παραπάνω, ανάλογα με τη στάθμη επιτελεστικότητας) και για $s_u = 2,0$ mm:

$$(t_j)_{\text{απ.}} = 1.3 \left[k_1 \left(\frac{f_{sy} d_s}{f_c l_s} \right) - 0.4 \frac{c}{d_s} - 0.30 \right]^2 \frac{f_c^2 d_s^2}{k_2 E_j f_{ctm}} \quad (\text{σχέση (Σ8.1α) του ΚΑΝ.ΕΠΕ.})$$

ενώ, αν το υλικό περίσφιγξης φτάνει στο όριο αντοχής ή διαρροής του (f_u) για ολίσθηση μικρότερη της ανεκτής ολίσθησης s_d ισχύει:

$$(t_j)_{\text{απ.}} = \frac{12}{(s_d : s_u)} \left(\frac{f_{sy}^3}{f_u f_c^2} \right) \left(\frac{d_s^2}{a_N l_s} \right)^2 (a_N) \quad (\text{σχέση (Σ8.1β) του ΚΑΝ.ΕΠΕ.})$$

όπου:

$$a_N = \sqrt{2}(2c + 1,5d_s),$$

k_1 είναι δείκτης που εκφράζει τον αποδεκτό βαθμό βλάβης πριν από την αστοχία, και μπορεί να ληφθεί ίσος με 1,7 για στάθμη επιτελεστικότητας Α ή 1,5 για στάθμη επιτελεστικότητας Β ή Γ,

$k_2 = 0,3$ για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας,

ενώ τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών (f_c για σκυρόδεμα, f_{sy} για ματιζόμενες ράβδους, f_u για το υλικό περίσφιγξης) εισάγονται με τις διαπιστωμένες μέσες τιμές τους, *σύμφωνα με την §4.5.3.3.*

- ❖ Αν δεν γίνουν ειδικότεροι έλεγχοι για την εκτίμηση της επιστρατευόμενης τάσης του υλικού περίσφιγξης $\sigma_{j,max}$, ως $(t_j)_{\text{απ.}}$ επιλέγεται η μεγαλύτερη τιμή που θα προκύψει από τις παραπάνω σχέσεις (Σ8.1α) και (Σ8.1β).

3. ΣΥΣΦΙΞΗ ΤΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΜΕ ΥΠΕΡΚΑΛΥΨΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΝ 1998-3 [2]

Σύμφωνα με την §Α.4.4.4 (Σύσφιξη των ενώσεων με υπερκάλυψη) του Πληροφοριακού Παραρτήματος Α του ΕΝ 1998-3, η ολίσθηση των ενώσεων με υπερκάλυψη μπορεί να αποφευχθεί εφαρμόζοντας μια πλευρική πίεση σ_1 μέσω των μανδύων FRP. Για ορθογωνικά υποστυλώματα, το απαραίτητο πάχος μπορεί να υπολογίζεται ως:

$$t_f = \frac{D(\sigma_1 - \sigma_{sw})}{2E_f \cdot 0.001} \quad (\text{σχέση (Α.37) της §Α.4.4.4(1) του ΕΝ 1998 – 3})$$

όπου:

D είναι το μεγαλύτερο πλάτος της διατομής (σύμφωνα με το Α.4.4.4(2))

σ_{sw} είναι η τάση σύσφιγξης η οποία οφείλεται στους συνδετήρες υπό ανηγμένη παραμόρφωση 0,001 ($\sigma_{sw} = 0,001\rho_w E_s$),

το σ_1 αντιπροσωπεύει την απαιτούμενη τάση σύσφιγξης η οποία εφαρμόζεται από το φύλλο FRP σε όλο το μήκος υπερκάλυψης L_s (κατάλληλα πολλαπλασιασμένη με το συντελεστή $k_s = (1 - 2R_c/D)$, σύμφωνα με το Α.4.4.4(2) για την περίπτωση των ορθογωνικών διατομών στις οποίες οι γωνίες είναι στρογγυλεμένες έτσι ώστε να επιτρέπουν την τύλιξη του FRP γύρω από αυτές) και δίδεται από:

$$\sigma_1 = \frac{A_s f_{yL}}{\left[\frac{p}{2n} + 2(d_{bL} + c) \right] L_s} \quad (\text{σχέση (Α.38) της §Α.4.4.4(1) του ΕΝ 1998 – 3})$$

όπου:

A_s είναι το εμβαδόν κάθε διαμήκου ράβδου που υπερκαλύπτεται,

f_{yL} είναι το όριο διαρροής του χάλυβα του διαμήκου οπλισμού, που λαμβάνεται ίσο με τη μέση τιμή που προκύπτει από επί τόπου δοκιμές και από συμπληρωματικές πηγές πληροφόρησης, κατάλληλα πολλαπλασιασμένη με το συντελεστή εμπιστοσύνης, CF , που δίδεται στον Πίνακα 3.1 της §3.3.1(4) για το κατάλληλο επίπεδο γνώσης (§2.2.1(5)P),

p είναι η περίμετρος της διατομής του υποστυλώματος μετρούμενη στο εσωτερικό του διαμήκου χάλυβα,

n είναι ο αριθμός των υπερκαλυπτόμενων ράβδων κατά μήκος του p , d_{bL} είναι η μεγαλύτερη διάμετρος των διαμήκων χαλύβδινων ράβδων, και c είναι το πάχος της επικάλυψης του σκυροδέματος.

4. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΙΟΠ

Για την εκτίμηση του απαιτούμενου πάχους του υλικού περίσφιγξης, στα πλαίσια της παρούσας εργασίας εκλέγονται και συγκρίνονται οι σχέσεις που αναλυτικά παρουσιάστηκαν παραπάνω και συγκεκριμένα:

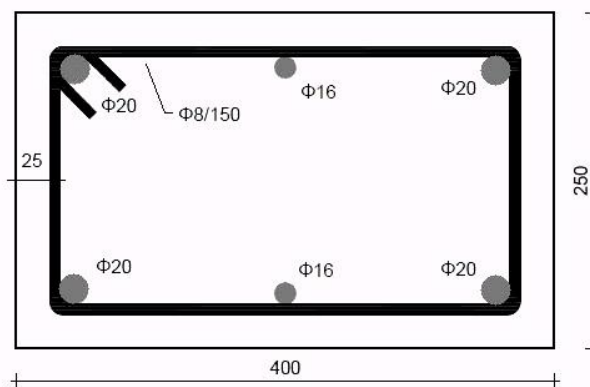
- η σχέση (8.3) της §8.2.1.2(β)(ii) του ΚΑΝ.ΕΠΕ.,
- η σχέση (Σ8.1.α) στο σχόλιο της §8.2.1.2(β)(ii) του ΚΑΝ.ΕΠΕ.,
- η σχέση (Σ8.1.β), επίσης στο σχόλιο της §8.2.1.2(β)(ii) του ΚΑΝ.ΕΠΕ., και
- η σχέση (Α.37) της §Α.4.4.4(1) του EN 1998-3.

Μέσω του παρακάτω υποθετικού παραδείγματος ενός υποστυλώματος με απαίτηση ενίσχυσης των ματίσεων, έγιναν παραμετρικές αναλύσεις για την αξιολόγηση των παραπάνω σχέσεων που προτείνουν οι δύο κανονισμοί (ΚΑΝ.ΕΠΕ. και EN 1998-3) και την επισημάνση εκείνων των οποίων οι προβλέψεις βρίσκονται σε καλύτερη συμφωνία μεταξύ τους.

Συγκεκριμένα, με βάση τις σχέσεις αυτές, σχεδιάστηκαν οι καμπύλες εκτίμησης πάχους μανδύα (t_j) συναρτήσει διαφόρων κάθε φορά παραμέτρων. Οι παράμετροι αυτές αφορούν το διατιθέμενο μήκος μάτισης (l_s), τη χαρακτηριστική τιμή αντοχής του σκυροδέματος (f_{ck}), τη χαρακτηριστική τιμή διαρροής του χάλυβα διαμήκους οπλισμού (f_{yk}), τη διάμετρο των ματιζόμενων ράβδων (d_s), το πάχος της επικάλυψης σκυροδέματος (c) και το μέτρο ελαστικότητας του υλικού του μανδύα περίσφιγξης (E_j).

Γενικά όσον αφορά την τεχνική ενίσχυσης με σύνθετα υλικά, το ερώτημα που τίθεται είναι ποιο είναι το κατάλληλο και καλύτερο υλικό ίνας που πρέπει να επιλεγεί στην εκάστοτε περίπτωση που αποφασιστεί η χρήση της. Συνήθως, τα σύνθετα υλικά με ίνες άνθρακα αποτελούν τη βέλτιστη λύση, σε σχέση με τις ίνες γυαλιού, γιατί οι ίνες άνθρακα παρουσιάζουν μεγάλο μέτρο ελαστικότητας, με αποτέλεσμα να απαιτούνται μικρού πάχους μανδύες, καθώς κι εξαιρετική ανθεκτικότητα έναντι διαβρωτικών παραγόντων. Κύριο πλεονέκτημα των ινών με γυαλί αποτελεί το χαμηλότερο κόστος ανά μονάδα αντοχής, το οποίο μάλλον δε θα ισχύει για πολύ καιρό ακόμα, λόγω της ολοένα αυξανόμενης χρήσης ινών άνθρακα, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την ανάλογη μείωση του κόστους τους [5].

Για τους παραπάνω λόγους, εξετάστηκε αποκλειστικά η εφαρμογή υφάσματος από ίνες άνθρακα (CFRP).



Σχήμα 1. Διατομή του προς ενίσχυση υποστυλώματος.

Το στοιχείο - υποστύλωμα που εξετάζεται είναι ορθογωνικής διατομής διαστάσεων 250 mm × 400 mm με διαμήκη οπλισμό 4Φ20 και 2Φ16, και εγκάρσιο οπλισμό συνδετήρων Φ8/150 με επικάλυψη 25 mm (Σχήμα 1).

Για τις σχέσεις μεταξύ μέσων και χαρακτηριστικών τιμών των υλικών θεωρείται ότι: $f_{ym} = 1.15f_{yk}$ (δηλαδή, με τη μέση τάση διαρροής του χάλυβα, f_{ym} , να ξεπερνά τη χαρακτηριστική, f_{yk} , κατά περίπου 15% - 20%) και $f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa).

Επομένως, ο χάλυβας διαμήκους και εγκάρσιου (συνδετήρες) οπλισμού έχει μέση τιμή διαρροής $f_{ym} = 460$ MPa (θεωρώντας ποιότητα χάλυβα S400) ενώ το σκυρόδεμα έχει μέση θλιπτική αντοχή $f_{cm} = 28$ (σκυρόδεμα ποιότητας C20/25).

Για την ενίσχυση του υποστυλώματος χρησιμοποιείται ανθρακούφασμα (CFRP) με μέτρο ελαστικότητας $E_f = 260$ GPa, εφελκυστική αντοχή $f_u = 3400$ MPa και παραμόρφωση αστοχίας $\varepsilon_{uf} = 1,50$ % [6].

Θεωρείται επίσης ότι πριν την εφαρμογή του εξωτερικού μανδύα έχουν καμπυλωθεί οι γωνίες με ακτίνα καμπύλωσης $R_c = 25$ mm (ευεργετική επίδραση της εξομάλυνσης - στρογγύλευσης των ακμών του στοιχείου στην αποδοτικότητα της περίσφιγξης (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §6.2.3)).

Επιπλέον, (για τις ανάγκες του ΚΑΝ.ΕΠΕ. §2.2.2) θεωρείται στάθμη επιτελεστικότητας φέροντος οργανισμού, «Προστασία ζωής» (B).

Η τιμή του συντελεστή εμπιστοσύνης λαμβάνεται για επίπεδο πλήρους γνώσης (KL 3, σύμφωνα με EN 1998-3 §3.3) κι επομένως $CF_{EF3} = 1,00$ (αντίστοιχα, υψηλή στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων, σύμφωνα με ΚΑΝ.ΕΠΕ. §3.6.2).

Γενικά (βάσει του σχολίου της §8.2.1.2(β)(i) του ΚΑΝ.ΕΠΕ.), η συμμετοχή των συνδετήρων του υφιστάμενου στοιχείου στην περίσφιγξη αγνοείται, εκτός εάν οι συνδετήρες είναι πυκνοί και καλά αγκυρωμένοι (με τα προβλεπόμενα από τον EN 1998-1 (§5.6.1(2)) άγκιστρα, ή με άλλη κατάλληλη κατασκευαστική διάταξη).

Για τις παρακάτω περιπτώσεις διερεύνησης του απαιτούμενου πάχους μανδύα περίσφιγξης, αγνοείται η συμμετοχή των συνδετήρων, (σύμφωνα με το παραπάνω σχόλιο του ΚΑΝ.ΕΠΕ.).

Η εφαρμογή της περίσφιγξης μπορεί να εξασφαλίσει την αποφυγή αστοχίας της συνάφειας των ματιζομένων ράβδων, εφόσον το διατιθέμενο μήκος αλληλοκάλυψης l_s είναι μεγαλύτερο από $0,30l_{so}$ και $15d_s$ (όπου η τιμή του αναγκαίου μήκους παράθεσης l_{so} , σύμφωνα με το σχόλιο της §8.2.1.2, επιτρέπεται να υπολογίζεται ίσο με το μήκος αγκύρωσης όπως προβλέπεται από τον EN 1992-1 (§8.4) [3], δηλαδή:

$$l_{so} = l_{b,rqd} = \frac{\sigma_{sd}}{4 f_{bd}} \quad (\text{σχέση (8.3) της §8.4.3(2)})$$

με

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} \quad (\text{σχέση (8.2) της §8.4.2(2)})$$

όπου οι αντοχές των υλικών εισάγονται με τις μέσες τιμές τους, χωρίς οποιονδήποτε πολλαπλασιαστικό συντελεστή). Διαφορετικά, θεωρείται ότι η περίσφιγξη δε μπορεί να προσφέρει (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §8.2.1.2(β)(iii)).

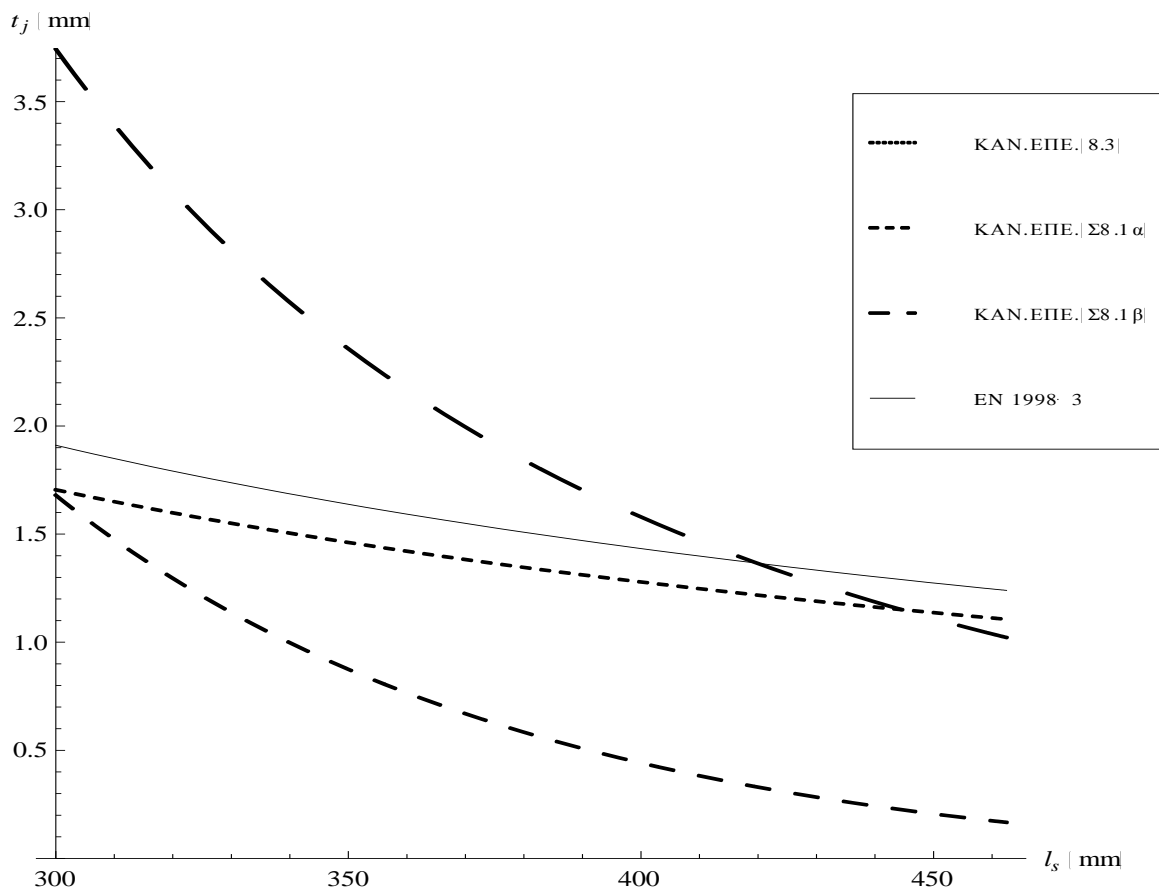
Για όλες τις παρακάτω περιπτώσεις διερεύνησης του απαιτούμενου πάχους μανδύα περίσφιγξης, υποτίθεται δεδομένο διατιθέμενο μήκος παράθεσης (l_s), το ελάχιστο δυνατό για το οποίο θεωρείται αποτελεσματική η εφαρμογή της περίσφιγξης, σύμφωνα με την προαναφερόμενη διάταξη του ΚΑΝ.ΕΠΕ., εκτός φυσικά από την εξεταζόμενη περίπτωση κατά την οποία το μήκος l_s αποτελεί μεταβλητή τιμή.

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΚΑΝ.ΕΠΕ. & EN 1998-3 - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα διαγράμματα που προκύπτουν από την ανωτέρω διαδικασία παρατίθενται ακολούθως:

I. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΔΙΑΤΙΘΕΜΕΝΟ ΜΗΚΟΣ ΜΑΤΙΣΗΣ

Η μεταβλητή που εξετάζεται στη συγκεκριμένη παράγραφο είναι το διατιθέμενο μήκος μάτισης l_s . Πρόκειται για μια παράμετρο που υπεισέρχεται σε όλες τις υπό διερεύνηση σχέσεις και συνεπώς επηρεάζει σε σπουδαίο βαθμό το αποτέλεσμα καθεμιάς από αυτές. Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 2) η μεταβολή του απαιτούμενου πάχους μανδύα $(t_j)_{απ.}$ συναρτήσει του διατιθέμενου μήκους μάτισης (με εύρος τιμών από το ελάχιστο δυνατό έως το απαιτούμενο μήκος l_{s0}) παρουσιάζει και για τις τέσσερις σχέσεις την αναμενόμενη μορφή (μειωμένο μήκος l_s συνεπάγεται αυξημένο απαιτούμενο πάχος μανδύα).



Σχήμα 2. Διάγραμμα εκτιμώμενου πάχους μανδύα $(t_j)_{απ.}$ - διατιθέμενου μήκους παράθεσης (l_s). Σύγκριση προβλέψεων των σχέσεων ΚΑΝ.ΕΠΕ. και EN 1998-3 αγνοώντας τη συμμετοχή του εγκάρσιου οπλισμού στην περίσφιγξη.

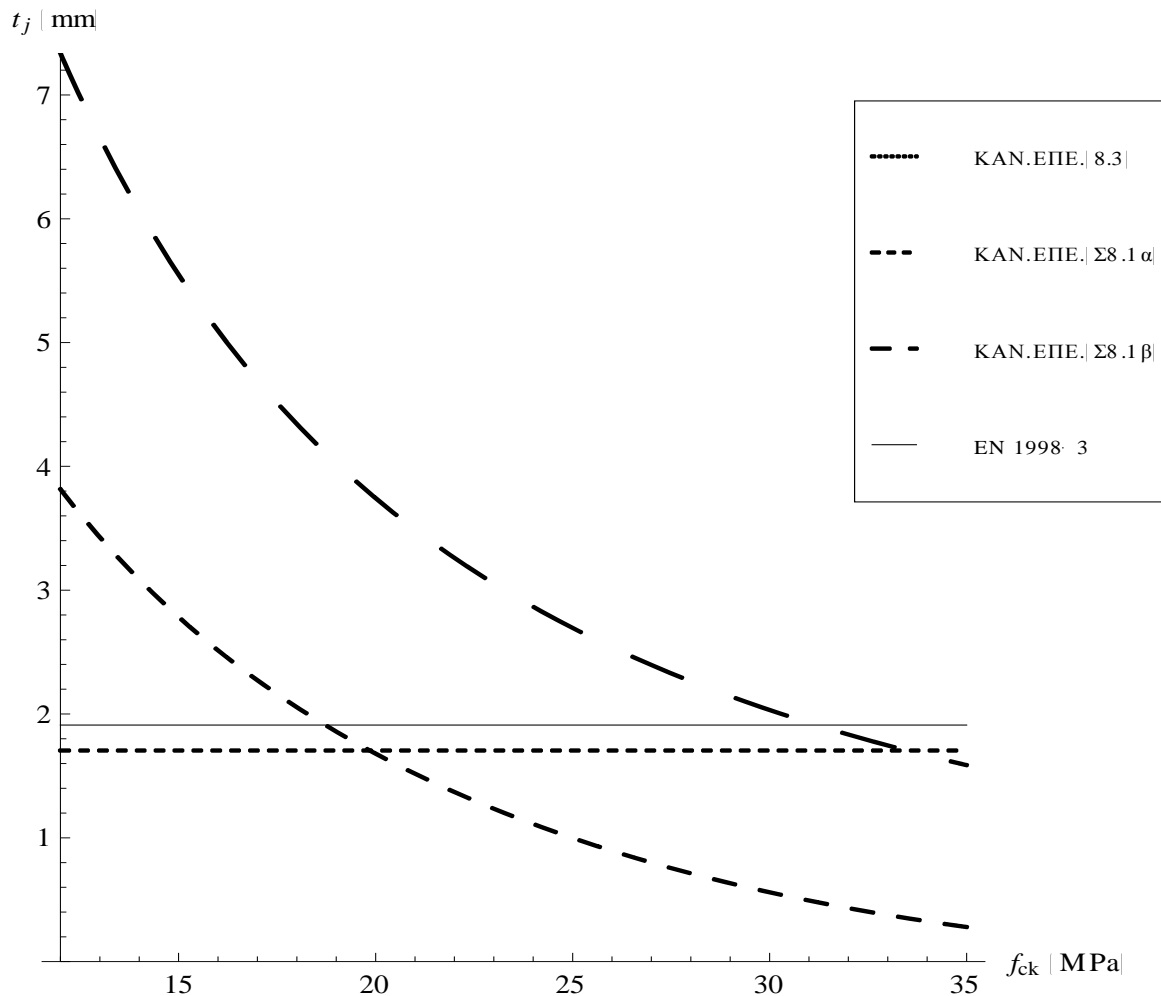
Ένα από τα πιο σημαντικά συμπεράσματα που προκύπτουν είναι η ικανοποιητική συμφωνία που παρουσιάζουν η σχέση (8.3) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. με τη σχέση (A.37) που προτείνει ο EN 1998-3. Παρατηρείται ότι οι καμπύλες τους μεταβάλλονται κατά τον ίδιο τρόπο, δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα για το απαιτούμενο πάχος μανδύα.

Από την άλλη, οι δύο σχέσεις (Σ8.1α) και (Σ8.1β) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. δίνουν αποτελέσματα τα οποία στο μεγαλύτερο εύρος τιμών του l_s είτε υποεκτιμούν (Σ8.1α) είτε υπερεκτιμούν (Σ8.1β) το απαιτούμενο πάχος σε σχέση με τις δύο προηγούμενες.

Επιπλέον παρατηρείται πόσο σημαντική θεωρείται από τους κανονισμούς η δράση του εγκάρσιου οπλισμού (συνδετήρες) καθώς και η παράλειψη αυτού, μιας και για διατιθέμενο μήκος μάτισης περίπου ίσο του απαιτούμενου l_{s0} , προκύπτουν σχετικά υψηλές τιμές απαιτούμενου πάχους μανδύα.

II. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Στη συνέχεια μελετάται η καμπύλη του απαιτούμενου πάχους $(t_j)_{\alpha\pi.}$ θεωρώντας μεταβλητή την ποιότητα του σκυροδέματος f_{ck} (με εύρος τιμών 12 MPa (C12/16) έως 35 MPa (C35/40)).



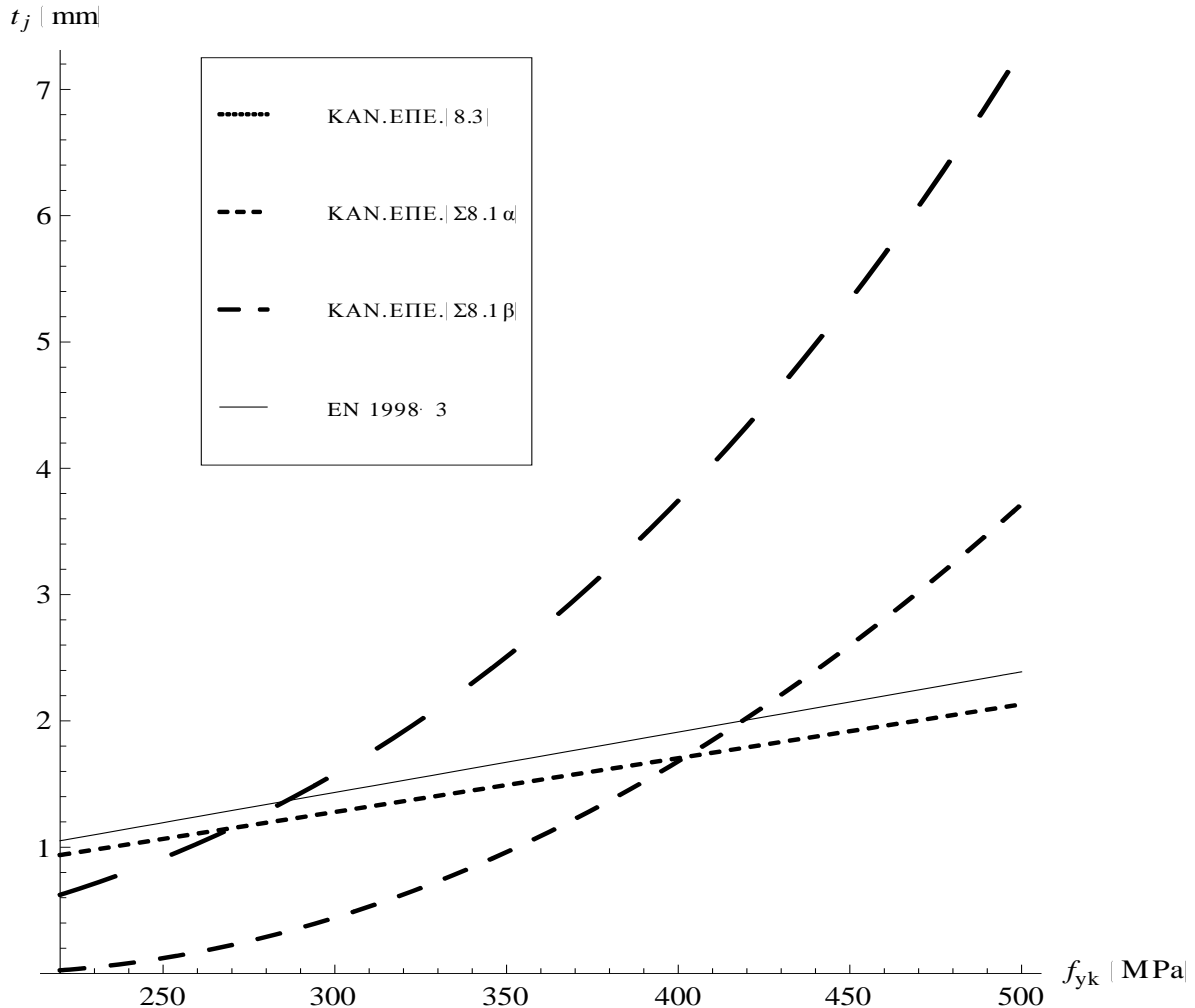
Σχήμα 3. Διάγραμμα εκτιμώμενου πάχους μανδύα $(t_j)_{\alpha\pi.}$ - χαρακτηριστικής τιμής αντοχής σκυροδέματος (f_{ck}). Σύγκριση προβλέψεων των σχέσεων ΚΑΝ.ΕΠΕ. και EN 1998-3 αγνοώντας τη συμμετοχή του εγκάρσιου οπλισμού στην περίσφιγξη.

Στο παραπάνω διάγραμμα (Σχήμα 3) παρατηρείται πως η σχέση (8.3) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. καθώς και αυτή του EN 1998-3, πέραν του ότι κι εδώ βρίσκονται σε σχετική συμφωνία αποτελεσμάτων, δίνουν επιπλέον σταθερή τιμή του απαιτούμενου πάχους μανδύα ανεξαρτήτως της ποιότητας σκυροδέματος. Αυτό συμβαίνει διότι καμία από τις δύο σχέσεις δε λαμβάνει άμεσα υπόψη την f_{ck} .

Αντιθέτως, οι σχέσεις (Σ8.1α) και (Σ8.1β) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. δίνουν συγκρίσιμα αποτελέσματα με τις δύο πρώτες σχέσεις μόνο για συγκεκριμένα εύρη τιμών του f_{ck} . Υπενθυμίζεται ότι και οι δύο αυτές εξισώσεις λαμβάνουν υπόψη τους την αντοχή

IV. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Η παράμετρος που εξετάζεται στην παρούσα παράγραφο είναι η χαρακτηριστική τιμή διαρροής (f_{yk}) του χάλυβα διαμήκους οπλισμού (για τιμές μεταξύ 220 MPa και 500 MPa).



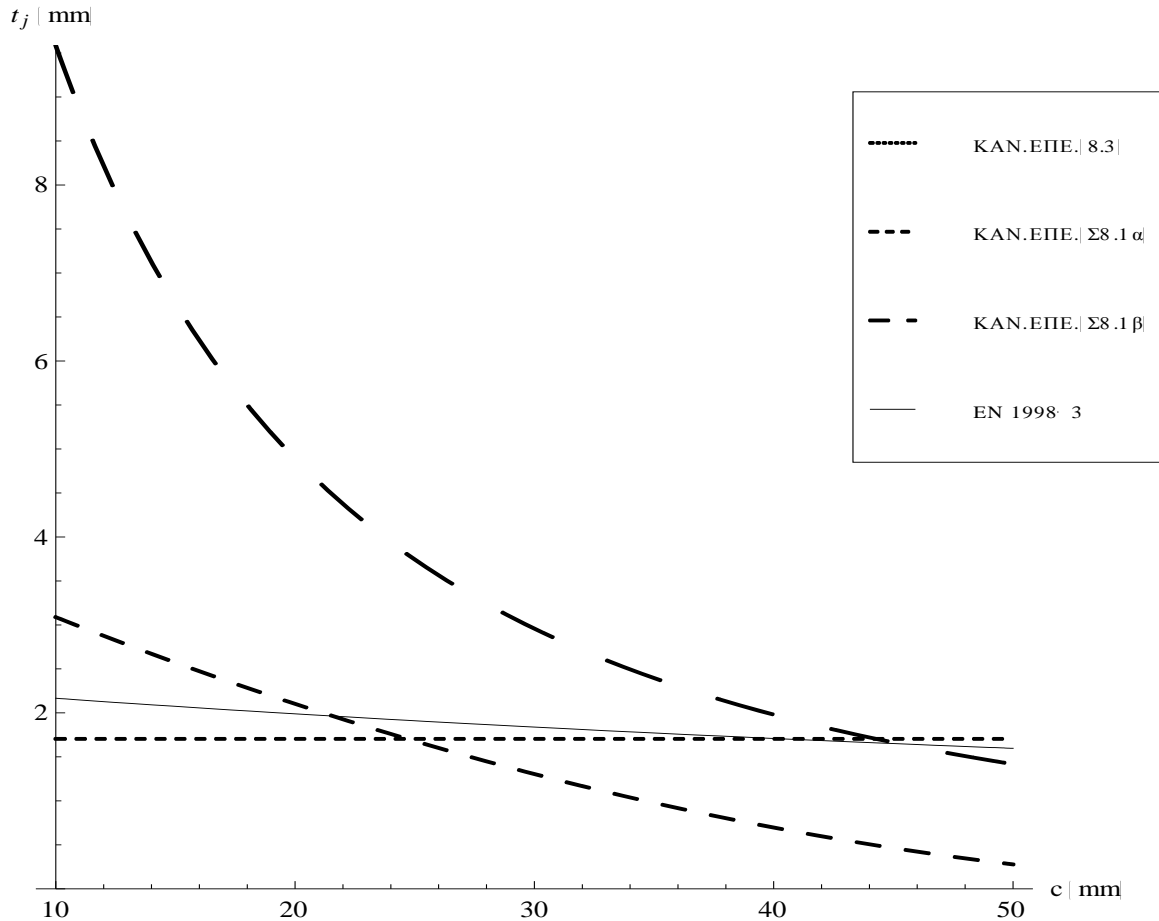
Σχήμα 5. Διάγραμμα εκτιμώμενου πάχους μανδύα (t_j)_{απ.} - χαρακτηριστικής τιμής διαρροής χάλυβα διαμήκους οπλισμού (f_{yk}). Σύγκριση προβλέψεων των σχέσεων ΚΑΝ.ΕΠΕ. και EN 1998-3 αγνοώντας τη συμμετοχή του εγκάρσιου οπλισμού στην περίσφιγξη.

Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από το διάγραμμα (Σχήμα 5) είναι και τα προσδοκώμενα αφού η αύξηση του απαιτούμενου πάχους μανδύα περίσφιγξης οφείλεται κατά κύριο λόγο στο μέγεθος του απαιτούμενου μήκους υπερκάλυψης l_{so} , το οποίο αυξάνει όσο μεγαλώνει και η τιμή διαρροής του χάλυβα οπλισμού (ώστε η διαρροή του οπλισμού να προηγείται της αστοχίας των ενώσεων).

Επιπροσθέτως, οι σχέσεις (Σ8.1α) και (Σ8.1β) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. δίνουν για ακόμη μια φορά διαφορετικές τιμές (με την (Σ8.1β) να είναι κι εδώ η πιο συντηρητική) σε σχέση με τη σχέση (8.3) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. καθώς και αυτή του EN 1998-3, οι οποίες και σε αυτή την περίπτωση δίνουν συγκρίσιμα αποτελέσματα.

V. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΠΑΧΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Πρόκειται για μια παράμετρο με σημαντική συνεισφορά στο μηχανισμό μεταφοράς δυνάμεων μεταξύ των ράβδων και η οποία δε λαμβάνεται πουθενά άμεσα υπόψη από τη σχέση (8.3) του ΚΑΝ.ΕΠΕ.



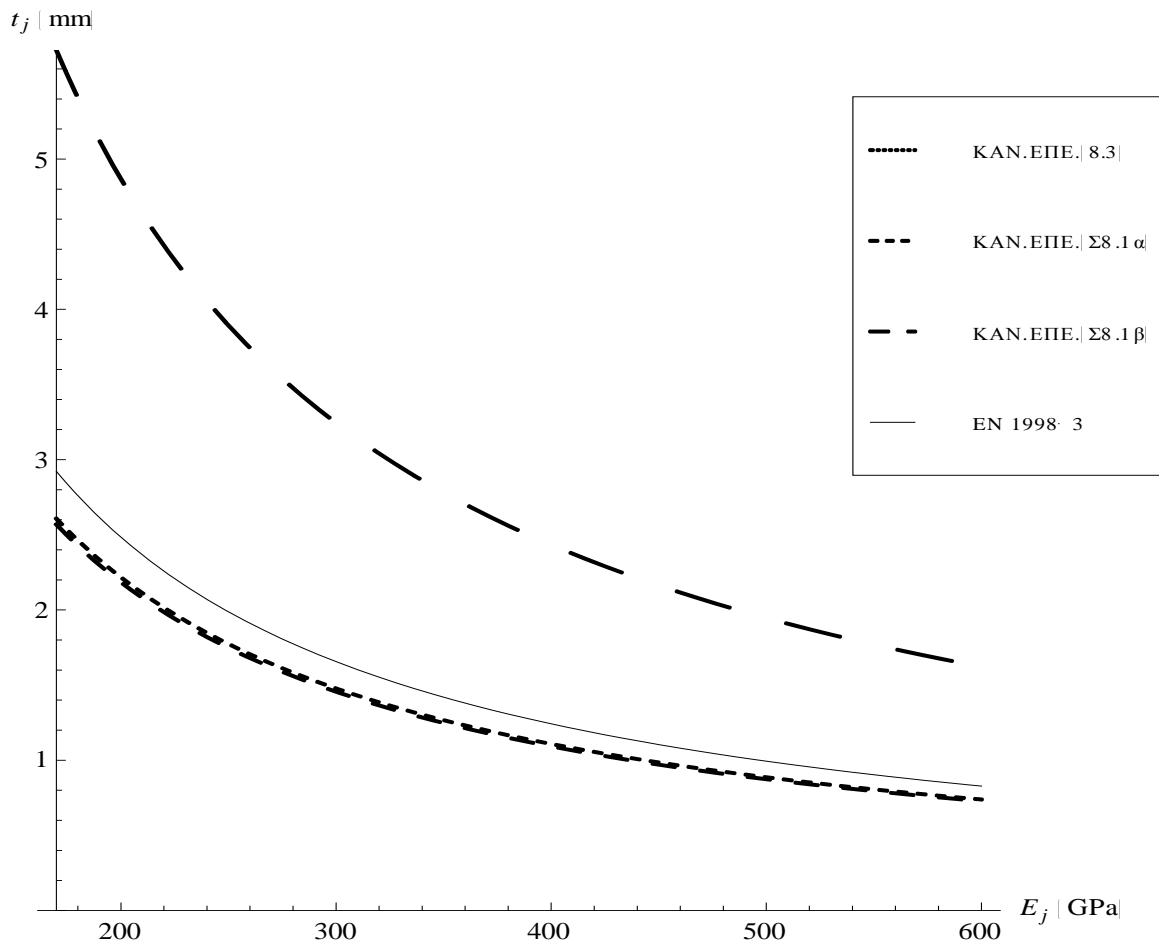
Σχήμα 6. Διάγραμμα εκτιμώμενου πάχους μανδύα (t_j)_{απ.} - πάχους επικάλυψης σκυροδέματος (c). Σύγκριση προβλέψεων των σχέσεων ΚΑΝ.ΕΠΕ. και EN 1998-3 αγνοώντας τη συμμετοχή του εγκάρσιου οπλισμού στην περίσφιγξη.

Παρατηρείται ότι η σχέση του EN 1998-3, η οποία ωστόσο λαμβάνει υπόψη της την τιμή της επικάλυψης, παρουσιάζει και εδώ εκτιμήσεις για το απαιτούμενο πάχος μανδύα αρκετά κοντά με αυτές της σχέσης (8.3) του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Από την άλλη, η σχέση (Σ8.1β) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. παρουσιάζει για ακόμη μια φορά τα πιο συντηρητικά αποτελέσματα, ενώ η (Σ8.1α) πλησιάζει τις εκτιμήσεις των δύο πρώτων σχέσεων για τις συνηθέστερα απαντώμενες τιμές επικάλυψης (15 mm έως 35 mm).

VI. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΤΟΥ ΜΑΝΔΥΑ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ

Πρόκειται για μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους που διερευνήθηκαν καθώς η επιλογή του υλικού περίσφιγξης αποτελεί ένα από τα κύρια θέματα που καλείται να αντιμετωπίσει ο μηχανικός στην πράξη. Για τους λόγους που αναφέρθηκαν προηγουμένως, επιλέχθηκε μανδύας αποτελούμενος από ίνες άνθρακα (CFRP) με εύρος τιμών για το μέτρο ελαστικότητας μεταξύ 170 GPa και 600 GPa.



Σχήμα 7. Διάγραμμα εκτιμώμενου πάχους μανδύα $(t_j)_{απ.}$ - μέτρου ελαστικότητας του υλικού περίσφιξης (E_j). Σύγκριση προβλέψεων των σχέσεων ΚΑΝ.ΕΠΕ. και EN 1998-3 αγνοώντας τη συμμετοχή του εγκάρσιου οπλισμού στην περίσφιξη.

Η μορφή των καμπύλων του διαγράμματος (Σχήμα 7) προκύπτει κι εδώ απόλυτα λογική (εφαρμογή σύνθετων υλικών υψηλού μέτρου ελαστικότητας συνοδεύεται με μικρότερο απαιτούμενο πάχος μανδύες περίσφιξης).

Παρατηρούμε πόσο "κοντινά" αποτελέσματα εξακολουθούν να δίνουν οι σχέσεις (Α.37) της §Α.4.4.4(1) του EN 1998-3 και (8.3) του ΚΑΝ.ΕΠΕ., ενώ επιπλέον, εδώ η δεύτερη δείχνει να παράγει αποτελέσματα που σχεδόν ταυτίζονται με εκείνα της σχέσης (Σ8.1α).

Αντιθέτως προς τη συμφωνία των παραπάνω εξισώσεων, η σχέση (Σ8.1β) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξακολουθεί να προβλέπει συντηρητικά το απαιτούμενο πάχος μανδύα περίσφιξης.

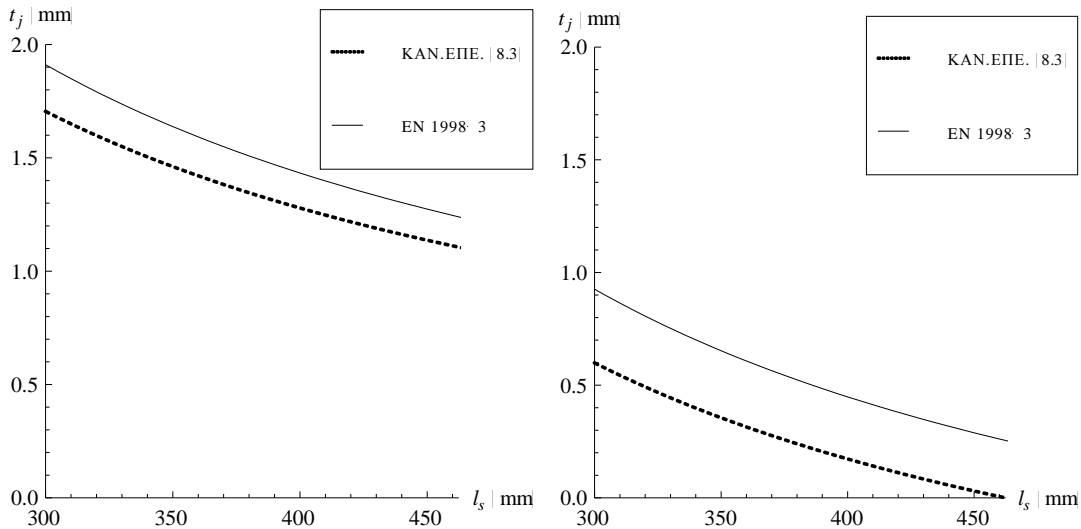
VII. ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΣ ΥΠΟΨΗ ΤΟΥΣ ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ

Σε όλα τα προηγούμενα αγνοήθηκε παντελώς η συνεισφορά του εγκάρσιου οπλισμού του στοιχείου στην περίσφιξη (και αυτό διότι αποτελεί τη συνήθη πρακτική). Σε τούτη την παράγραφο ωστόσο, γίνεται μία απόπειρα αξιολόγησης των σχέσεων των δύο κανονισμών, και συγκεκριμένα των σχέσεων (8.3) της §8.2.1.2 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και της (Α.37) της §Α.4.4.4(1) του EN 1998-3, λαμβάνοντας υπόψη αυτή την φορά και την δράση των συνδετήρων.

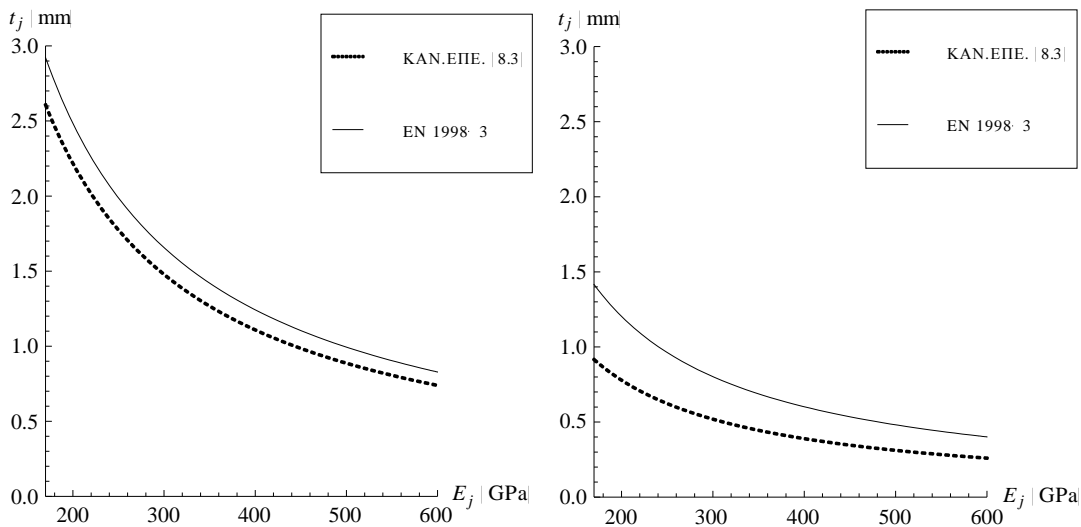
Οι παραπάνω δύο σχέσεις, είναι και οι μοναδικές που μας δίνουν τη δυνατότητα αυτή, η μεν πρώτη ((8.3) του ΚΑΝ.ΕΠΕ.) μέσω της παραμέτρου λ_s (λαμβάνοντας υπόψη τη συνεισφορά του διατιθέμενου μήκους μάτισης, εμμέσως δε και τη συμμετοχή των

συνδετήρων *βάσει της §8.2.1.2(β)(ii)*), ενώ η δεύτερη (EN 1998-3) μέσω τις παραμέτρου σ_{sw} , που έως τώρα λαμβάνονταν και οι δύο μηδέν.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι καμπύλες εκτίμησης του απαιτούμενου πάχους μανδύα περίσφιγξης και για τις δύο περιπτώσεις υπολογισμού (αγνοώντας αρχικά, ή συνυπολογίζοντας τον εγκάρσιο οπλισμό) και για εξεταζόμενες παραμέτρους το l_s (Σχήμα 8) και το E_j (Σχήμα 9):



Σχήμα 8. Διαγράμματα εκτιμώμενου πάχους μανδύα (t_j)_{απ.} - διατιθέμενου μήκους παράθεσης (l_s). Σύγκριση προβλέψεων των σχέσεων ΚΑΝ.ΕΠΕ. και EN 1998-3: (α) αγνοώντας τη συμμετοχή του εγκάρσιου οπλισμού, και (β) με συνυπολογισμό της συμμετοχής του εγκάρσιου οπλισμού στην περίσφιγξη.



Σχήμα 9. Διαγράμματα εκτιμώμενου πάχους μανδύα (t_j)_{απ.} - μέτρου ελαστικότητας του υλικού περίσφιγξης (E_j). Σύγκριση προβλέψεων των σχέσεων ΚΑΝ.ΕΠΕ. και EN 1998-3: (α) αγνοώντας τη συμμετοχή του εγκάρσιου οπλισμού, και (β) με συνυπολογισμό της συμμετοχής του εγκάρσιου οπλισμού στην περίσφιγξη.

Παρατηρείται, λοιπόν πως ο συνυπολογισμός των συνδετήρων στην περίσφιγξη μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα (ανάλογα και με την ποσότητα του εγκάρσιου οπλισμού) τον, κατά

μεγάλο ποσοστό, περιορισμό της απαίτησης σε περίσφιγξη στις περιοχές ανεπαρκών ματίσεων. Και η συνεισφορά αυτή δείχνει να λαμβάνεται κατά παρόμοιο τρόπο υπόψη από τη σχέση (8.3) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και από αυτήν του EN 1998-3.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία αξιολογήθηκαν οι σχέσεις που προτείνουν ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. και ο EN 1998-3 και αφορούν την περίσφιγξη υποστρωμάτων που παρουσιάζουν μικρά μήκη παράθεσης διαμήκων ράβδων οπλισμού, με χρήση μανδύα ΙΟΠ. Από τη σύγκριση των καμπύλων εκτίμησης του απαιτούμενου πάχους μανδύα που δίνει κάθε μία από τις σχέσεις αυτές μπορούν να συνοψιστούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- ✓ πρώτο και ίσως το πιο σημαντικό είναι η ικανοποιητική συμφωνία, ως προς τα αποτελέσματα που παράγουν, της σχέσης (8.3) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. με τη σχέση (Α.37) του EN 1998-3.
Οι εκτιμήσεις των σχέσεων αυτών θα μπορούσαν να πετύχουν ακόμη μεγαλύτερη σύγκλιση σε κάθε περίπτωση, αν δεν είχε αυθαίρετα θεωρηθεί τιμή ίση με τη μονάδα για τον συντελεστής τριβής μ στη σχέση (8.3) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. *σύμφωνα με το σχόλιο της §8.2.1.2(β)(ii)*. Για παράδειγμα, για συντελεστή $\mu = 0,9$ οι εκτιμήσεις των σχέσεων θα ταυτίζονταν απόλυτα.
- ✓ η σχέση (Σ8.1β) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. αποδεικνύεται η πιο συντηρητική στις εκτιμήσεις της, ενώ η σχέση Σ(8.1.α) παρουσιάζει συγκρίσιμα αποτελέσματα σε σχέση με τους EN 1998-3 και ΚΑΝ.ΕΠΕ. (8.3) για συγκεκριμένα εύρη τιμών ανά εξεταζόμενη κάθε φορά παράμετρο. Επιπλέον, οι σχέσεις (Σ8.1α) και (Σ8.1β) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. δε λαμβάνουν πουθενά υπόψη τους τη συμμετοχή των συνδετήρων. Η παρουσία του εγκάρσιου οπλισμού, ωστόσο, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, λαμβάνεται κατά παρόμοιο τρόπο υπόψη τόσο από τη σχέση (8.3) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. όσο και από τη σχέση του EN 1998-3, ενώ η συνεισφορά του στην περίσφιγξη κάθε άλλο παρά αμελητέα μπορεί να θεωρείται.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΚΑΝ. ΕΠΕ. 2012
- [2] Ευρωκώδικας 8 - Μέρος 3: Αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας και ενίσχυσης κτιρίων.
- [3] Ευρωκώδικας 2 - Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια.
- [4] Αντύπας Β. Σ., “Αποκατάσταση ανεπαρκών αναμονών υποστρωμάτων μέσω περίσφιγξης”, Διατριβή διπλώματος ειδίκευσης, Πανεπιστήμιο Πατρών 2006.
- [5] Κωνσταντακόπουλος Γ., Συμεωνόγλου Ι., “Ενίσχυση υποστρωμάτων με χρήση FRP”, 7^ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών '01», Πάτρα, 2001.
- [6] SINTECNO Hellas ABETE, www.sintecno.gr.