

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΕΠΑΡΚΩΝ ΜΗΚΩΝ ΜΑΤΙΣΗΣ ΡΑΒΔΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΜΕΣΩ ΠΕΡΙΣΦΙΞΗΣ ΜΕ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΥΛΙΚΑ

ΜΕΛΑΝΗ ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός του απαιτούμενου μεγέθους ενίσχυσης υποστρωμάτων με ανεπαρκή μήκη μάτισης των διαμηκών ράβδων οπλισμού. Το απαιτούμενο μέγεθος ενίσχυσης υπολογίζεται σε όρους απαιτούμενου πάχους υλικού περίσφιξης, t_s , για μεταβαλλόμενη τιμή μήκους μάτισης ράβδων (κανονικοποιημένο ως προς τη διάμετρο των διαμηκών ράβδων, l/d_b). Η ενίσχυση εκτελείται μέσω περίσφιξης με ινοπλισμένα πολυμερή υλικά. Για το σκοπό αυτό υιοθετούνται οκτώ διαφορετικά προσομοιώματα, μεταξύ των οποίων τα δύο προσομοιώματα που υπάρχουν στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Τα προσομοιώματα αυτά αξιολογούνται και συγκρίνονται μεταξύ τους. Παράλληλα, μέσω μιας παραμετρικής διερεύνησης, εξετάζεται ο τρόπος επιρροής βασικών παραμέτρων στο κάθε προσομοίωμα ξεχωριστά.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη σύγχρονη πραγματικότητα της χώρας μας, και όχι μόνο, παρουσιάζεται ένας μεγάλος όγκος υφιστάμενων κατασκευών οι οποίες είναι σχεδιασμένες στη βάση παλαιότερων κανονισμών, με κύριο σκοπό την ανάλψη των φορτίων βαρύτητας. Οι εν λόγω κατασκευές παρουσιάζουν ανεπάρκεια αντοχής σε σεισμικά φορτία. Συγκεκριμένες παράμετροι και υποδείξεις οι οποίες πλέον συμπεριλαμβάνονται στους σύγχρονους αντισεισμικούς κώδικες, απουσιάζουν από τα υπάρχοντα δομήματα. Στη συντριπτική πλειοψηφία τους, τα υποστρώματα των υφιστάμενων κατασκευών δεν παρουσιάζουν καθόλου αντισεισμική ικανότητα. Ένας από τους λόγους της περιορισμένης αντοχής των υποστρωμάτων των υφιστάμενων κατασκευών στη σεισμική φόρτιση, είναι η ανεπάρκεια του μηχανισμού μεταφοράς των δυνάμεων μεταξύ των ράβδων οπλισμού στη βάση τους, λόγω της ελλιπούς μάτισης. Έχει παρατηρηθεί πως, σε αυτές τις περιπτώσεις, η αστοχία εκδηλώνεται μέσω της ολίσθησης των ματισμένων ράβδων. Μια από τις πλέον διαδεδομένες μεθόδους ενίσχυσης υποστρωμάτων με ανεπαρκή μήκη μάτισης είναι η περίσφιξη με τη χρήση ινοπλισμένων πολυμερών υλικών. Το υλικό περίσφιξης ενεργοποιείται κυρίως, λόγω της εγκάρσιας διόγκωσης η οποία προκαλείται από τη σχετική ολίσθηση των ματιζομένων ράβδων καθώς παρασύρεται το γύρω σκυρόδεμα. Ο μηχανισμός διόγκωσης προκαλεί την ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων στο υλικό περισφίξεως. Πολλά προσομοιώματα υπολογισμού απαιτούμενου μεγέθους ενίσχυσης μέσω εξωτερικής περίσφιξης, παρουσιάζονται στη σύγχρονη βιβλιογραφία. Στη συγκεκριμένη εργασία προτείνονται και εξετάζονται οκτώ από αυτά. Για κάθε προσομοίωμα, προσδιορίζονται τα όρια μέσα στα οποία απαιτείται ενίσχυση και μπορεί να εφαρμοσθεί η περίσφιξη. Πιο συγκεκριμένα, η παρούσα εργασία εξετάζει υποστύλωμα τετράγωνης διατομής το οποίο ενισχύεται με ινοπλισμένα πολυμερή υλικά. Από την έρευνα που γίνεται, εξάγονται διαγράμματα απαιτούμενου μεγέθους ενίσχυσης για μεταβαλλόμενη τιμή μήκους μάτισης ράβδων διαμήκους οπλισμού. Ακόμη, τροποποιώντας βασικές παραμέτρους (ανάμεσά τους και το υλικό περίσφιξης το οποίο εφαρμόζεται) προκύπτουν συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά των προσομοιωμάτων τα οποία εξετάζονται. Επιπρόσθετα διερευνάται ο τρόπος επιρροής της κάθε παραμέτρου στο κάθε ένα προσομοίωμα ξεχωριστά.

2.ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΥΛΙΚΟΥ ΠΕΡΙΣΦΙΞΗΣ ΓΙΑ ΑΠΟΦΥΓΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Πολλά από τα προσομοιώματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη εργασία ακολουθούν τον ίδιο μηχανισμό τριβής. Η γενική θεώρηση η οποία υιοθετείται είναι πως η δύναμη που αναπτύσσεται στις ματισμένες ράβδους θα εξισορροπηθεί από τη δύναμη τριβής η οποία αναπτύσσεται στη διεπιφάνεια ολίσθησης της ρωγμής. Για αποφυγή ολίσθησης, θα πρέπει η εφελκυστική ικανότητα της ράβδου (F_s) να είναι τουλάχιστον ίση με τη δύναμη τριβής η οποία αναπτύσσεται στην επιφάνεια της ρωγμής, δηλαδή:

$$T = F_s \quad (1)$$

Από την πιο πάνω θεώρηση, μπορεί να αποδειχθεί η γενική σχέση υπολογισμού του απαιτούμενου μεγέθους ενίσχυσης η οποία είναι η ακόλουθη:

$$t_j = \frac{(1 - \lambda_s) \cdot A_s \cdot f_{sy}}{\beta \cdot \mu \cdot \sigma_j \cdot l_s} \quad (2)$$

Όπου:

- t_j είναι το απαιτούμενο πάχος του μανδύα (περίπτωση συνεχούς εξωτερικού μανδύα από ινοπλισμένο ύφασμα).
- $A_s = \frac{\pi \cdot d_b^2}{4}$ είναι το εμβαδόν μιας ματιζομένης ράβδου.
- f_{sy} είναι το όριο διαρροής του χάλυβα των ματιζομένων ράβδων.
- σ_j είναι η αναπτυσσόμενη τάση στο υλικό περίσφιξης.
- l_s είναι το μήκος μάτισης των διαμηκών ράβδων.
- $\lambda_s = \frac{l_s}{l_o}$ (3)

είναι συντελεστής που εκφράζει το μέγεθος της συνεισφοράς της συνάφειας του ήδη διατιθέμενου μήκους μάτισης, με l_o το απαιτούμενο μήκος μάτισης το οποίο υπολογίζεται από την *παράγραφο §8.7.3 του EN1992-1-1*. Ο συνυπολογισμός αυτής της συνεισφοράς λαμβάνεται υπόψη εφόσον στην περιοχή της μάτισης διατίθεται τουλάχιστον το 50% των συνδετήρων που απαιτούνται *σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στον EN1998-1 (§ 5.6.3)* για τις περιοχές ματίσματος.

- $\beta = b_f/B$ όπου b_f είναι το πλάτος της ζώνης τριβής πάνω στη ρωγμή κατά μήκος των ματιζομένων ράβδων και B το πλάτος κατανομής της συνολικής θλιπτικής δύναμης που εισάγεται από την επιστρατευόμενη αξονική δύναμη του υλικού περίσφιξης, F_j .
- μ είναι ο συντελεστής τριβής που μπορεί να επιστρατευθεί στη δυνητική διεπιφάνεια ολίσθησης, στη θέση της αναμενόμενης ρηγμάτωσης. Εξαρτάται από το μέγεθος της θλιπτικής τάσης στη διεπιφάνεια της ρηγμάτωσης (σ_N), 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 ορισθούν εμπειρικά με ακρίβεια.

Στην παρούσα εργασία ο προσδιορισμός του απαιτούμενου πάχους υλικού περίσφιξης εκτελείται μέσω της χρήσης οκτώ διαφορετικών προσομοιωμάτων από την υπάρχουσα βιβλιογραφία. Αυτά είναι τα ακόλουθα:

2.1 Βασικό προσομοίωμα ΚΑΝ.ΕΠΕ. [1]

Το βασικό προσομοίωμα ΚΑΝ.ΕΠΕ. υιοθετεί τη γενική σχέση προσδιορισμού του απαιτούμενου μεγέθους ενίσχυσης. Η παραδοχή που γίνεται στο εν λόγω προσομοίωμα είναι πως το πλάτος της ζώνης τριβής, b_f , επεκτείνεται σε όλο το πλάτος κατανομής της συνολικής θλιπτικής δύναμης, B , δηλαδή $b_f = B$.

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

Όπου:

- $\sigma_{jd} = E_j \cdot \varepsilon_{jd}$ είναι η επιστρατευόμενη αξονική τάση σχεδιασμού των στοιχείων της περίσφιξης. Ελλείψει ακριβέστερων στοιχείων η παραμόρφωση σχεδιασμού, ε_{jd} , μπορεί να προσδιορισθεί από τη σχέση: $\varepsilon_{jd} = \frac{\sqrt{2} \cdot w_d}{\bar{b}}$, όπου $w_d = 0,6 \cdot s_d^{2/3}$ είναι το

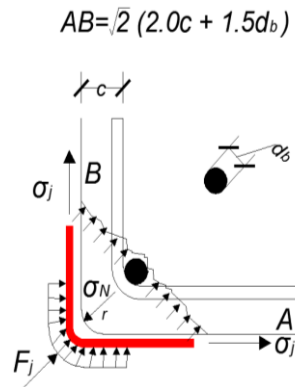
εύρος ρωγμής που αντιστοιχεί στο αποδεκτό μέγεθος της σχετικής ολίσθησης s_d των ράβδων. Σύμφωνα με τα σχόλια της §8.2.1.2β(ii), η τιμή της αποδεκτής σχετικής ολίσθησης των ματιζομένων ράβδων για κατηγορία στάθμης επιτελεστικότητας Α θα πρέπει να περιορίζεται μέχρι την τιμή $s_d = 0,3\text{mm}$ ενώ για τις κατηγορίες στάθμης επιτελεστικότητας Β,Γ θα πρέπει να περιορίζεται μέχρι την τιμή $s_d = 0,4\text{mm}$.

$\bar{b} = \frac{B+H}{2}$, όπου Β και Η είναι οι διαστάσεις του υποστυλώματος. Για υποστύλωμα τετράγωνης διατομής, $\bar{b} = B$.

Σύμφωνα με το σχόλιο της §8.2.1.2(β)ii του ΚΑΝ.ΕΠΕ., όταν η ενίσχυση γίνεται με στοιχεία από ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ), η διαθέσιμη για την περίσφιξη αντοχή του ΙΟΠ, θεωρείται μειωμένη κατά 25%, δηλαδή $f_u = 0,75 \cdot E_j \cdot \varepsilon_{ju}$, 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 (ασυμβατότητα τελικού μήκους ράβδου και του σκυροδέματος που την περιβάλλει).

- Ο συντελεστής λ_s σύμφωνα με τα σχόλια της §8.2.1.2β(ii) του ΚΑΝ.ΕΠΕ., συνίσταται να λαμβάνεται ως: $\lambda_s = 0$.
- Η τιμή του συντελεστή β , σύμφωνα με το σχόλιο της §8.2.1.2β(ii) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. είναι κοντά στην μονάδα 1, ιδίως όταν: $\frac{c}{d_b} \leq 2$.
- Ο συντελεστής μ , σύμφωνα με τα σχόλια της §8.2.1.2β(ii) του ΚΑΝ.ΕΠΕ., συνίσταται να λαμβάνεται ως: $\mu = 1$.
- $\gamma_{Rd} = 1,5$ είναι αυξητικός συντελεστής ασφαλείας για τυχόν αβεβαιότητες (σχόλιο §8.2.1.2β(ii) του ΚΑΝ.ΕΠΕ.).

2.2 Προσομοίωμα Τάσιου - ΚΑΝ.ΕΠΕ.[1]



Σχήμα 1: Μηχανισμός περίσφιξης ματίσεων σύμφωνα με το προσομοίωμα που προτείνει ο Τάσιος [2]

Σύμφωνα με τα *σχόλια της παραγράφου §8.2.1.2β(ii) του ΚΑΝ.ΕΠΕ.*, ο υπολογισμός του απαιτούμενου πάχους υλικού περίσφιξης επιτυγχάνεται μέσω της *εξίσωσης Σ8.1 α και Σ8.1 β*. Οι εξισώσεις Σ8.1 α και Σ8.1 β, προκύπτουν από τη γενική εξίσωση και από το σχετικό προσομοίωμα το οποίο έχει προταθεί από τον Τάσιο υιοθετώντας κάποιες παραδοχές.

Οι παραδοχές που υιοθετούνται από τον Τάσιο είναι οι εξής: Το συγκεκριμένο προσομοίωμα αναφέρεται στην περίπτωση γωνιακών ράβδων οπλισμού. Επιπρόσθετα, ο Τάσιος, θεωρεί πως το πλάτος της ζώνης τριβής επεκτείνεται σε όλο το πλάτος της ρωγμής και πως η αξονική, θλιπτική δύναμη των υλικών περίσφιξης, F_j , ισούται με $F_j = \sqrt{2} \cdot \sigma_j \cdot t_j \cdot 1_s$. Ακόμη, για το συγκεκριμένο προσομοίωμα γίνεται η παραδοχή πως η αγκύρωση του υλικού περίσφιξης επιτυγχάνεται μέσω της πρόσφυσης μεταφοράς δυνάμεων στο υπόστρωμα του σκυροδέματος. Τέλος, θεωρεί πως η τιμή της αποδεκτής σχετικής ολίσθησης των ματιζομένων ράβδων για κατηγορία στάθμης επιτελεστικότητας Α θα πρέπει να περιορίζεται μέχρι την τιμή $s_d = 0,3\text{mm}$ ενώ για τις κατηγορίες στάθμης επιτελεστικότητας Β,Γ θα πρέπει να περιορίζεται μέχρι την τιμή $s_d = 0,4\text{mm}$. Ο συντελεστής τριβής, μ , για αυτό το προσομοίωμα προσδιορίζεται από την ακόλουθη σχέση.

$$\mu = 0,44 \cdot \left(\frac{f_c}{\sigma_N} \right)^{2/3} \quad (\text{σύμφωνα με το σχήμα Σ6.1 της §6.1.1.4. του ΚΑΝ.ΕΠΕ.})$$

$$t_j = 1,3 \cdot \left[k_1 \cdot \left(\frac{f_{sy}}{f_c} \cdot \frac{d_b}{1_s} \right) - 0,4 \cdot \frac{c}{d_b} - 0,30 \right]^2 \cdot \frac{f_c^2 \cdot d_b^2}{k_2 \cdot E_j \cdot f_{ctm}} \quad (\text{σχέση Σ8.1 α του ΚΑΝ.ΕΠΕ.})$$

Όπου:

- f_{ctm} είναι η μέση εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος που λαμβάνεται ίση με $f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}$ (πίνακας 3.1, §3.1.3(2) του EN1992-1-1)
- E_j είναι το μέτρο ελαστικότητας του υλικού περίσφιξης.
- d_b είναι η διάμετρος των ματιζομένων ράβδων.
- c είναι η μικρότερη επικάλυψη ματιζομένης ράβδου.
- k_1 είναι ο δείκτης που εκφράζει τον αποδεκτό βαθμό βλάβης πριν από την αστοχία και μπορεί να ληφθεί ίσος με $k_1 = 1,7$ για στάθμη επιτελεστικότητας Α και $k_1 = 1,5$

για στάθμη επιτελεστικότητας Β,Γ. Ο συντελεστή k_2 μπορεί να ληφθεί ίσος με $k_2 = 0,3$ για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας, *σύμφωνα με τα σχόλια της §8.2.1.2β(ii)*.

Η σχέση Σ8.1 α μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπό την προϋπόθεση ότι η απαιτούμενη τάση του υλικού περίσφιξης δεν ξεπερνά το όριο αντοχής ή διαρροής του (f_u) για ανεκτή ολίσθηση ράβδων (s_d) *(σύμφωνα με το σχόλιο της §6.3. ΚΑΝ.ΕΠΕ.)*.

Η σχέση Σ8.1 β μπορεί να εφαρμοσθεί υπό την προϋπόθεση ότι το υλικό περίσφιξης έχει φτάσει στο όριο αντοχής ή διαρροής του (f_u) για ολίσθηση μικρότερης της ανεκτής (ανάλογα με την κατηγορία στάθμης επιτελεστικότητας) ολίσθηση (s_d) *(σύμφωνα με το σχόλιο της §6.3. ΚΑΝ.ΕΠΕ.)*.

$$t_j = \frac{12}{(s_d : s_u)} \cdot \left(\frac{f_{sy}^3}{f_u \cdot f_c^2} \right) \cdot \left(\frac{d_b^2}{\alpha_N \cdot I_s} \right)^3 \cdot \alpha_N \quad (\text{σχέση } \Sigma 8.1 \beta \text{ του ΚΑΝ.ΕΠΕ.})$$

Όπου:

- s_u είναι η κρίσιμη ολίσθηση τριβής και λαμβάνεται ίση με 2mm *σύμφωνα με τα σχόλια της §8.2.1.2β(ii)*
- s_d είναι η αποδεκτή σχετική ολίσθηση των ματιζομένων ράβδων, ανάλογα με την κατηγορία στάθμης επιτελεστικότητας και *σύμφωνα με τα σχόλια της §8.2.1.2β(ii)*, παίρνει τις ακόλουθες τιμές,

$s_d = 0,3\text{mm}$ Για κατηγορία στάθμης επιτελεστικότητας Α.

$s_d = 0,4\text{mm}$ Για κατηγορία στάθμης επιτελεστικότητας Β,Γ.

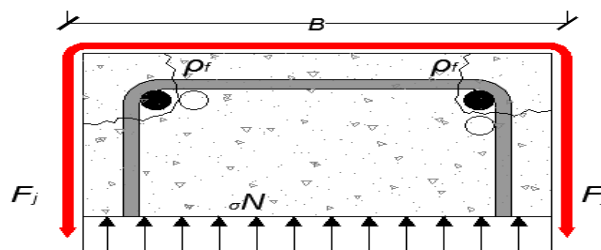
- f_u το όριο αντοχής ή διαρροής του υλικού περίσφιξης
- α_N είναι το μήκος της ρωγμής ΑΒ (Σχήμα 1) και ισούται με:

$$\alpha_N = \sqrt{2} \cdot (2c + 1,5d_b) \quad (4)$$

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

Σύμφωνα με το *σχόλιο της §8.2.1.2β(ii) του ΚΑΝ.ΕΠΕ.*, αν δεν γίνουν ειδικότεροι έλεγχοι για την εκτίμηση της επιστρατευόμενης τάσης του υλικού περίσφιξης, ως απαιτούμενο πάχος υλικού περίσφιξης επιλέγεται η μεγαλύτερη τιμή που θα προκύψει από τις δύο εξισώσεις.

2.3 Προσομοίωμα Pristley[3]



Σχήμα 2: Μηχανισμός περίσφιξης μάτισης σύμφωνα με το προσομοίωμα Pristley[3]

Το προσομοίωμα του Pristley θεωρεί πως οι εφελκυστικές δυνάμεις του εξωτερικού οπλισμού εξισορροπούν την εγκάρσια δύναμη που ασκείται από την παράπλευρη τάση σ_N (Σχήμα 2). Από τα πιο πάνω, και σύμφωνα με το προσομοίωμα Pristley μπορεί να αποδειχθεί πως:

$$t_j = \frac{(1 - \lambda_s) \cdot A_s \cdot f_{sy}}{\mu \cdot \sigma_j \cdot I_s \cdot \left(\frac{2 \cdot b_f}{B} \right)} \quad (5)$$

Οι παραδοχές που γίνονται σε αυτό το προσομοίωμα είναι ότι η θλιπτική τάση, σ_N , ασκείται σε όλο το μήκος B . Επιπρόσθετα, θεωρεί πως η ολίσθηση κατά μήκος μιας κρίσιμης ρωγμής διάρρηξης στην μεταξύ των ράβδων περιοχή, ξεκινά όταν η παραμόρφωση του υλικού περίσφιξης (και επομένως η εγκάρσια παραμόρφωση διόγκωσης του σκυροδέματος) έχει μέγεθος 0,1%. Λόγω αυτού, η τάση περίσφιξης υπολογίζεται ως :

$$\sigma_j = 0,001 \cdot E_j \quad (6)$$

Ακόμη, η τιμή του συντελεστή τριβής μ , σε αυτό το προσομοίωμα, θεωρείται σταθερή και ίση με $\mu = 1,4$. Τέλος, το πλάτος της ζώνης τριβής πάνω στη ρωγμή κατά μήκος των ματιζομένων ράβδων ισούται με: $b_f = \left[2\sqrt{2}(c + d_b) \right]$ (7)

2.4 Βασικό προσομοίωμα Ευρωκώδικα[4]

Στο συγκεκριμένο προσομοίωμα υιοθετούνται οι ίδιες παραδοχές με το προσομοίωμα του Priestley με τη μόνη διαφορά να παρουσιάζεται στην τιμή του συντελεστή τριβής, μ , ο οποίος θεωρείται ίσος με $\mu = 1,0$. Επιπρόσθετα, σύμφωνα με το βασικό προσομοίωμα του Ευρωκώδικα, το πλάτος της ζώνης τριβής πάνω στη ρωγμή κατά μήκος των ματιζομένων ράβδων ισούται με: $b_f = \left[\frac{p}{2n} + 2(c + d_b) \right]$ (8)

Σύμφωνα με την §A.4.4.4 του πληροφοριακού παραρτήματος A του EN 1998-3, η ολίσθηση των ενώσεων με υπερκάλυψη μπορεί να αποφευχθεί με την άσκηση μιας πλευρικής πίεσης σ_1 μέσω των μανδύων FRP. Για τετράγωνα υποστυλώματα διάστασης B , το απαραίτητο πάχος μπορεί να υπολογίζεται ως:

$$t_j = \frac{B \cdot (\sigma_1 - \sigma_{sw})}{2 \cdot E_j \cdot 0,001} \quad (\text{σχέση A.37 της §A.4.4.4 του EN 1998-3})$$

Όπου:

- σ_{sw} είναι η τάση περίσφιξης η οποία οφείλεται στους συνδετήρες υπό ανηγμένη παραμόρφωση 0,001 ($\sigma_{sw} = 0,001 \cdot \rho_w \cdot E_s$), ή η ενεργός πίεση από την τσιμεντένεση μεταξύ του FRP και του υποστυλώματος, αν υπάρχει.
- σ_1 αντιπροσωπεύει την τάση περίσφιξης σε όλο το μήκος της υπερκάλυψης I_s και ισούται με:

$$\sigma_1 = \frac{A_s \cdot f_{sy}}{\left[\frac{p}{2n} + 2(d_b + c) \right] I_s} \quad (\text{σχέση A.38 της §A.4.4.4 του EN 1998-3})$$

Όπου:

- p είναι η περίμετρος της διατομής του υποστυλώματος μετρούμενη στο εσωτερικό του διαμήκους χάλυβα.
- n είναι ο αριθμός των υπερκαλυπτόμενων ράβδων κατά μήκος του p .

2.5 Εναλλακτικό προσομοίωμα Ευρωκώδικα[4]

Σύμφωνα με την §A.4.4.3(β) του πληροφοριακού παραρτήματος A του EN 1998-3, για στοιχεία με ορθογωνική διατομή και με γωνίες στρογγυλεμένες προτείνεται εναλλακτικός τρόπος επίλυσης, ο οποίος περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση.

$$l_s = \frac{d_b \cdot f_{sy}}{\left[\left(1,05 + 14,5 \cdot \alpha_{1,f} \cdot \rho_j \cdot \frac{f_{f,e}}{f_c} \right) \cdot \sqrt{f_c} \right]} \quad (9)$$

Όπου:

- $\rho_j = \frac{2 \cdot t_j}{B}$ είναι το ποσοστό του FRP παράλληλα προς την κατεύθυνση της φόρτισης (σύμφωνα με την §A4.4.3.6(α)).

- $\alpha_{1,f} = \alpha_1 \cdot \left(\frac{4}{n} \right)$, (όπως ορίζεται σύμφωνα με την παράγραφο A.4.4.3(6) σε συνδυασμό με την τροποποίηση (10) που αναφέρεται στην § A.4.4.4) με:

α_1 ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιξης ο οποίος σύμφωνα με τη ακόλουθη σχέση ισούται με:

$$\alpha_1 = 1 - \frac{(B - 2 \cdot R)^2 + (H - 2 \cdot R)^2}{3 \cdot B \cdot H} \quad (\text{σχέση A.36 §A.4.4.3.6(γ)})$$

με R να είναι η ακτίνα της στρογγυλεμένης γωνίας της διατομής. Η τιμή της ακτίνας R, θεωρείται ίση με 50mm.

- $f_{f,e}$ είναι η ενεργή τάση η οποία ισούται με :

$$f_{f,e} = \min(f_u; \varepsilon_{u,f} \cdot E_j) \cdot \left(1 - 0,7 \min(f_u; \varepsilon_{u,f} \cdot E_j) \cdot \frac{\rho_f}{f_c} \right) \quad (\text{σχέση A.35 §A.4.4.3.6 (β)})$$

- $\varepsilon_{u,f}$ είναι μια οριακή ανηγμένη παραμόρφωση όπου σύμφωνα με τα σχόλια της §A.4.4.3.6(β) ισούται με:

$$\varepsilon_{u,f} = 0,015 \text{ για CFRP ή AFRP}$$

$$\varepsilon_{u,f} = 0,020 \text{ για GFRP}$$

2.6 Προσομοίωμα Ευρωκώδικα-Φαρδή[4]

Η ίδια λογική, όπως και στο εναλλακτικό προσομοίωμα του Ευρωκώδικα, ακολουθείται και στο προσομοίωμα Ευρωκώδικα-Φαρδή. Η διαφορά έγκειται στον υπολογισμό της ενεργής τάσης. Ο συγκεκριμένος ορισμός της ενεργής τάσης προτάθηκε από τους Μπισκίνη και Φαρδή [5].

$$f_{f,e} = \min(f_u; \varepsilon_{u,f} \cdot E_j) \cdot \left(1 - \min \left[0,5; 0,7 \cdot \min(f_u; \varepsilon_{u,f} \cdot E_j) \cdot \frac{\rho_f}{f_c} \right] \right) \quad (10)$$

2.7 Προσομοίωμα Elsanadedy[6]

Σύμφωνα με το προσομοίωμα Elsanadedy, το απαιτούμενο μέγεθος ενίσχυσης, υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$t_j = \left(\frac{4}{\pi} \right)^{1/2} \cdot \frac{B}{4} \cdot \frac{2}{1,4} \cdot \left[f_{sy} \cdot d_b : 4 \cdot (l_s - 0,022 \cdot f_{sy} \cdot d_b) - 20 \cdot \sqrt{f_c} : d_b \right] : 0,0015 E_j \quad (11)$$

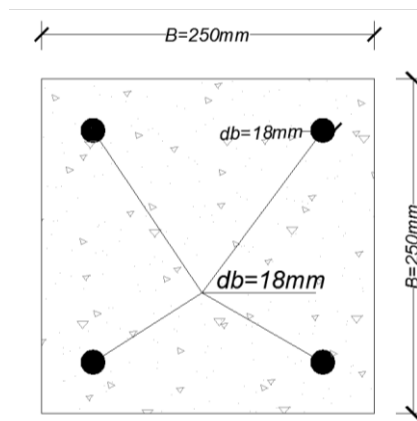
2.8 Προσομοίωμα Harajli[7]

Το αναλυτικό προσομοίωμα Harajli, βασίζεται στις διατάξεις της ACI Committee 408 (2003). Αξιοποιώντας μία σειρά από πειραματικά δεδομένα προκύπτει η ακόλουθη σχέση προσδιορισμού του απαιτούμενου πάχους υλικού περίσφιξης.

$$t_j = \frac{3775}{E_j \cdot \sqrt[4]{f_c}} \left[0,6 \cdot \left(\frac{f_{sy}}{\sqrt[4]{f_c}} - 50,3 \right) \cdot \frac{d_b}{l_s} - \frac{c}{d_b} \right] \cdot d_b \quad (12)$$

3.ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου μεγέθους ενίσχυσης εκτελείται με τη χρήση όλων των προσομοιωμάτων τα οποία παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 2. Η βασική εφαρμογή που εξετάζεται αναφέρεται σε υποστυλώμα τετράγωνης διατομής, διάστασης $B=250\text{mm}$. Το υποστυλώμα είναι οπλισμένο με 4 ράβδους διαμέτρου $d_b = 18\text{mm}$ (Σχήμα 3). Η ενίσχυση γίνεται με τη χρήση σύνθετου υλικού από ίνες άνθρακα (CFRP), με μέτρο ελαστικότητας $E_j = 235\text{GPa}$ και τάση αστοχίας ίση με $f_u = 2850\text{MPa}$. Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή και για τις ανάγκες του ΚΑΝ.ΕΠΕ., θεωρήθηκε κατηγορία στάθμης επιτελεστικότητας B (σύμφωνα με την §2.2.2 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.). Έχοντας ως σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την επιρροή συγκεκριμένων παραμέτρων στα προσομοιώματα καθώς και τη σύγκριση και αξιολόγηση των προσομοιωμάτων, στη συνέχεια της παραμετρικής διερεύνησης που έγινε τροποποιήθηκαν οι εξής παράμετροι: η διάμετρος των διαμηκών ράβδων, η διάσταση του υποστυλώματος, το υλικό περίσφιξης και η κατηγορία στάθμης επιτελεστικότητας. Το σχήμα 3 παρουσιάζει την κύρια διατομή που εξετάστηκε. Για κάθε επαναληπτική διατομή που εξετάζεται, τροποποιείται μια συγκεκριμένη παράμετρος.



Σχήμα 3: Διατομή του προς εξέταση υποστυλώματος

Σε όλες τις εφαρμογές που εκτελέστηκαν, θεωρήθηκε σκυρόδεμα κατηγορίας C12/15 με μέση αντοχή, η οποία προέκυψε από επί τόπου μετρήσεις, ίση με $f_{cm} = 18,18\text{MPa}$. Ο χάλυβας διαμήκους οπλισμού θεωρείται πως έχει μέση αντοχή $f_{ym} = 450\text{MPa}$ (χάλυβας S400). Η κάλυψη του σκυροδέματος λαμβάνεται ίση με $c = 20\text{mm}$. Για όλες τις εφαρμογές αγνοείται η επίδραση του εγκάρσιου οπλισμού (συνδετήρων).

3.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ΜΗΚΟΥΣ ΜΑΤΙΣΗΣ, l_s , ΕΝΤΟΣ ΤΩΝ ΟΠΟΙΩΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ ΕΝΙΣΧΥΧΗ ΚΑΙ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΕΦΑΡΜΟΣΘΕΙ ΠΕΡΙΣΦΙΞΗ

Σύμφωνα με την §8.7.3 του EN1992-1-1[8], το απαιτούμενο μήκος υπερκάλυψης σχεδιασμού υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$l_o = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,reqd} \geq l_{o,min} \quad (\text{σχέση } 8.10 \text{ της } §8.7.3 \text{ του EN1992-1-1})$$

$$\text{με: } l_{b,reqd} = \frac{d_b}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \quad (\text{σχέση } 8.3 \text{ της } §8.4.3(2) \text{ του EN1992-1-1})$$

και: $f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$ (σχέση 8.2 της §8.4.2(2) του EN1992-1-1)

Η τιμή της f_{ctd} είναι η τιμή σχεδιασμού της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος και ορίζεται ως:

$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05} / \gamma_c$ (σχέση 3.16 της παραγράφου §3.1.6(2) του EN 1992-1-1)

Όπου:

- γ_c είναι ο μερικός συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα, $\gamma_c = 1,5$ και
- α_{ct} είναι συντελεστής που συνεκτιμά μακροχρόνιες επιδράσεις στην αντοχή σε εφελκυσμό και δυσμενείς επιρροές που προκύπτουν από τον τρόπο με τον οποίο επιβάλλεται το φορτίο.
- $f_{ctk,0,05} = 0,7 \cdot f_{ctm}$ (σύμφωνα με τον πίνακα 3.1, του EN1992-1-1)

Για τιμές $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_5 = 1$ και $\alpha_6 = 1,5$ (σύμφωνα με τους πίνακες 8.2 και 8.3 της §8.4.4(2) και §8.7.3 (1) αντίστοιχα του EN1992-1-1), το απαιτούμενο μήκος υπερκάλυψης σχεδιασμού προκύπτει ίσο με: $l_o = 100d_b$.

Επιπρόσθετα, σύμφωνα με την παράγραφο §8.2.1.2β(iii) του ΚΑΝ.ΕΠΕ., η εφαρμογή της περίσφιξης μπορεί να εξασφαλίσει την αποφυγή αστοχίας της συνάφειας των ματιζομένων ράβδων, εφόσον το διατιθέμενο μήκος αλληλοκάλυψης l_s , είναι μεγαλύτερο από $0,3l_o$ και $15d_b$. Η τιμή του αναγκαίου μήκους παράθεσης, l_o , σε υφιστάμενα δομήματα επιτρέπεται να υπολογίζεται ίσο με το μήκος αγκύρωσης, όπως προβλέπεται από την §8.4.3.2 του EN1992-1-1 χωρίς άλλους συντελεστές ασφαλείας, και χωρίς οποιονδήποτε πολλαπλασιαστικό συντελεστή υπερκάλυψης. Σύμφωνα με πιο πάνω υπολογισμούς: $l_{b,rqd} = 67d_b$. Οπότε, $l_s > \max(0,3 \cdot 67d_b, 15d_b) \Rightarrow l_s > 20d_b$.

Επιπλέον, σύμφωνα με την εξίσωση (Σ.9) του σχολίου της §7.2.4.1β(iv) του Κεφαλαίου 7 του ΚΑΝ.ΕΠΕ., το ελάχιστο, απαιτούμενο μήκος μάτισης ράβδων έτσι ώστε ο χάλυβας στην περιοχή της μάτισης να έχει ικανότητα παραμόρφωση ίση με αυτή που θα υπήρχε αν ο οπλισμός ήταν συνεχής, χωρίς ματίσεις ισούται με :

$$l_{su,min} = \frac{d_b \cdot f_{sy}}{\left(1,05 + 14,5 \cdot \alpha_1 \cdot \rho_s \cdot \frac{f_{yw}}{f_c}\right) \cdot \sqrt{f_c}} \quad (13)$$

Από τους σχετικούς υπολογισμούς προκύπτει ότι: $l_{su,min} = 100d_b$.

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου μεγέθους ενίσχυσης εκτελείται για εύρος τιμών μήκους μάτισης, $l_s = 15d_b - 100d_b$. Το συγκεκριμένο εύρος τιμών τροποποιείται σε προσομοιώματα όπου προκύπτει κάποιος περιορισμός είτε στην ακραία τιμή μήκους μάτισης ράβδων κάτω από την οποία απαιτείται ενίσχυση, $l_{s,max}$, είτε στην ακραία τιμή μήκους μάτισης ράβδων για την οποία μπορεί να εφαρμοσθεί και να είναι αποδοτική η περίσφιξη, $l_{s,min}$. Να σημειωθεί πως, αν και σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., ενίσχυση μπορεί να εφαρμοσθεί για τιμή μήκους μάτισης $l_s > 20d_b$, οι υπολογισμοί εκτελέστηκαν και για τιμή $l_s = 15d_b$ για περεταίρω διερεύνηση των προσομοιωμάτων.

Σύμφωνα με την εξίσωση Σ8.1 α του ΚΑΝ.ΕΠΕ., και με κριτήριο τον μηδενισμό της τιμής του απαιτούμενου πάχους υλικού περίσφιξης, t_j , προκύπτει πως ενίσχυση απαιτείται για τιμές μήκους μάτισης ράβδων:

$$l_s \leq \frac{1}{\left(0,4 \cdot \frac{c}{d_b} + 0,3\right) \cdot \frac{f_c}{k_1 \cdot f_{sy} \cdot d_b}} \quad (14)$$

Σύμφωνα με το εναλλακτικό προσομοίωμα του Ευρωκώδικα, και με κριτήριο τον μηδενισμό της τιμής του απαιτούμενου πάχους υλικού περίσφιξης, t_j , ενίσχυση απαιτείται για τιμές μήκους μάτισης ράβδων:

$$l_s \leq \frac{f_{sy} \cdot d_b}{1,05 \cdot \sqrt{f_c}} \quad (15)$$

Επιπρόσθετα, σύμφωνα με το εναλλακτικό προσομοίωμα του Ευρωκώδικα, περίσφιξη μπορεί να εφαρμοσθεί για τιμές πάχους υλικού περίσφιξης:

$$t_j \leq \frac{B \cdot f_c}{2 \cdot 0,7 \cdot \varepsilon_{u,f} \cdot E_j} \quad (16)$$

Η συγκεκριμένη οριακή τιμή πάχους υλικού περίσφιξης προκύπτει με κριτήριο το μηδενισμό της τιμής της ενεργής τάσης του υλικού περίσφιξης, $f_{t,e}$. Επί της ουσίας, εφαρμόζοντας υλικό περίσφιξης μεγαλύτερου πάχους από τη συγκεκριμένη οριακή τιμή, η περίσφιξη δεν μπορεί να προσφέρει περεταίρω.

Από την εξαγωγή των διαγραμμάτων απαιτούμενου μεγέθους ενίσχυσης, φαίνεται πως το συγκεκριμένο προσομοίωμα, παρουσιάζει μια παράξενη συμπεριφορά για τιμές απαιτούμενου πάχους περίσφιξης : $t_j \geq \frac{0,5 \cdot B \cdot f_c}{2 \cdot 0,7 \cdot \varepsilon_{u,f} \cdot E_j}$. Ως εκ τούτου, σαν όριο τιμής

απαιτούμενου πάχους ενίσχυσης προκύπτει η τιμή :

$$t_j \leq \frac{0,5 \cdot B \cdot f_c}{2 \cdot 0,7 \cdot \varepsilon_{u,f} \cdot E_j} \quad (17)$$

Σύμφωνα με το προσομοίωμα Ευρωκώδικα-Φαρδή, ενίσχυση απαιτείται, όπως και στο εναλλακτικό προσομοίωμα του Ευρωκώδικα για τιμή μήκους μάτισης ράβδων μικρότερης της οριακής τιμής η οποία ορίζεται από την εξίσωση (15). Επιπρόσθετα, περίσφιξη μπορεί να εφαρμοσθεί για τιμές πάχους υλικού περίσφιξης, όπως και στο εναλλακτικό προσομοίωμα του Ευρωκώδικα, :

$$t_j \leq \frac{0,5 \cdot B \cdot f_c}{2 \cdot 0,7 \cdot \varepsilon_{u,f} \cdot E_j} \quad (17)$$

Η συγκεκριμένη οριακή τιμή πάχους υλικού περίσφιξης, για το συγκεκριμένο προσομοίωμα, προκύπτει με κριτήριο το μηδενισμό της τιμής της ενεργής τάσης του υλικού περίσφιξης, $f_{t,e}$. Να σημειωθεί πως στο εναλλακτικό προσομοίωμα Ευρωκώδικα και στο προσομοίωμα Ευρωκώδικα-Φαρδή, ως ελάχιστη τιμή μήκους μάτισης ράβδων για την οποία μπορεί να εφαρμοσθεί περίσφιξη προκύπτει η τιμή $l_{s,min} = 21,17d_b$.

Σύμφωνα με το προσομοίωμα Elsanadedy, και με κριτήριο τον μηδενισμό του απαιτούμενου πάχους υλικού ενίσχυσης, t_j , προκύπτει πως ενίσχυση απαιτείται για τιμές μήκους μάτισης ράβδων:

$$l_s \leq \frac{f_{sy} \cdot d_b^2}{80 \cdot \sqrt{f_c}} + 0,022 \cdot f_{sy} \cdot d_b \quad (18)$$

Σύμφωνα με το προσομοίωμα Harajli, και με κριτήριο τον μηδενισμό του απαιτούμενου πάχους υλικού ενίσχυσης, t_j , προκύπτει πως ενίσχυση απαιτείται για τιμές μήκους μάτισης ράβδων:

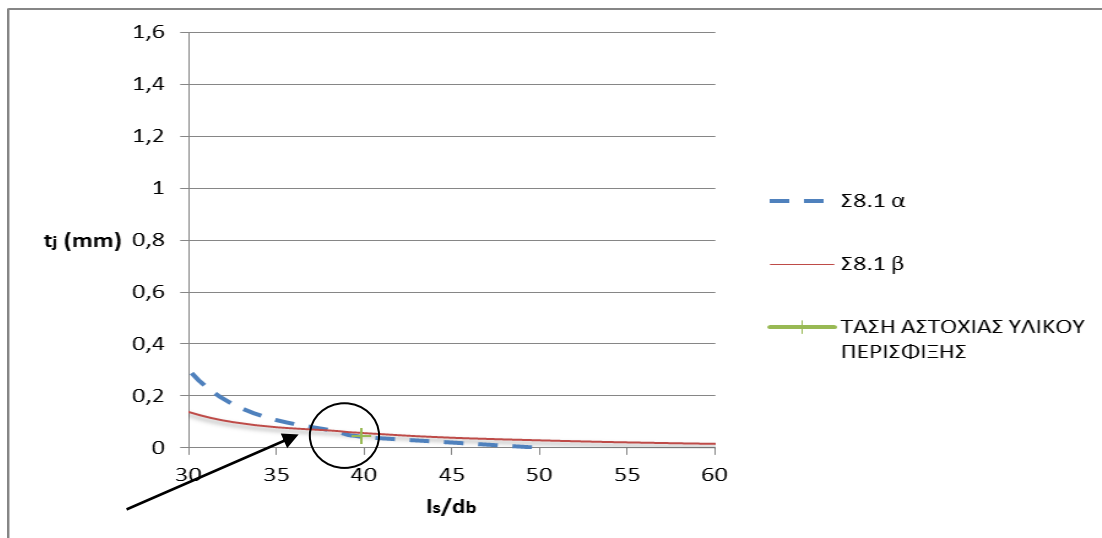
$$l_s \leq \frac{0,6 \cdot d_b^2 \cdot \left(\frac{f_{sy}}{\sqrt[4]{f_c}} - 50,3 \right)}{c} \quad (19)$$

4.ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα της έρευνας που διεξήχθη. Η διερεύνηση που ακολουθήθηκε μπορεί να χωριστεί σε δύο ξεχωριστές κατηγορίες:

- ✓ Στη διερεύνηση και αξιολόγηση σχολίων – υποδείξεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και,
- ✓ Στη σύγκριση – αξιολόγηση των προσομοιωμάτων προσδιορισμού του απαιτούμενου μεγέθους ενίσχυσης και στη διερεύνηση του τρόπου επιρροής των διαφόρων παραμέτρων που εμπλέκονται στα προσομοιώματα.

Ένας από τους σκοπούς της έρευνας που διεξήχθη ήταν η διερεύνηση του *σχολίου της §8.2.1.2β(ii) του ΚΑΝ.ΕΠΕ.* σύμφωνα με το οποίο, αν δεν γίνουν ειδικότεροι έλεγχοι για την εκτίμηση της επιστρατευόμενης τάσης του υλικού περίσφιξης, ως απαιτούμενο πάχος υλικού περίσφιξης επιλέγεται η μεγαλύτερη τιμή που θα προκύψει από της εξισώσεις Σ8.1 α και Σ8.1 β, ανεξαρτήτως της τιμής της τάσης που αναπτύσσεται στο υλικό περίσφιξης.



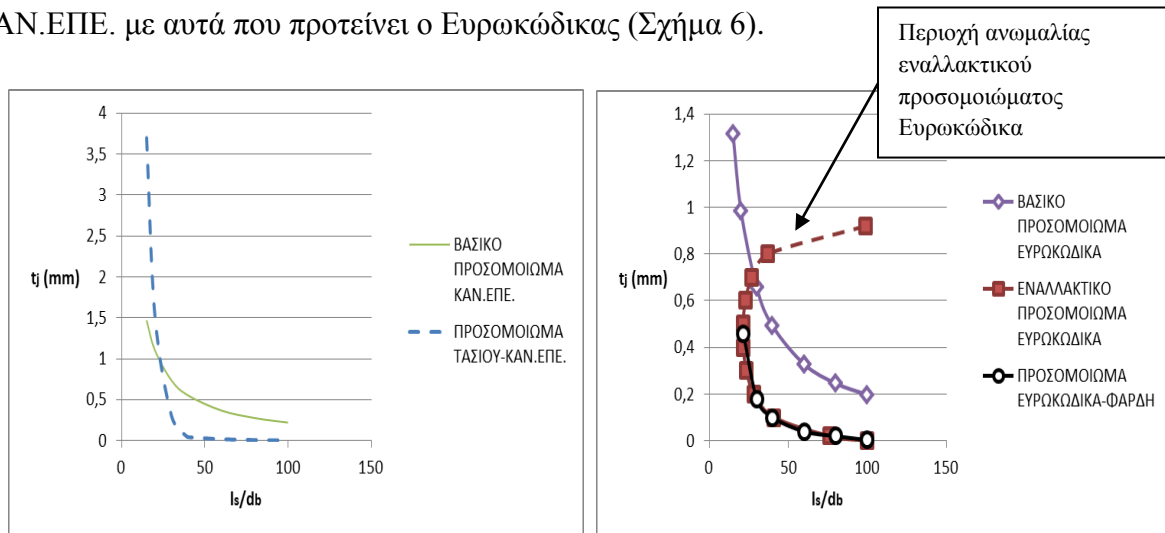
Σχήμα 4 :Καμπύλη απαιτούμενου μεγέθους ενίσχυσης σύμφωνα με της σχέσεις Σ8.1 α και Σ8.1 β.

Όπως γίνεται αντιληπτό από το σχήμα 4, παρουσιάζεται μια μικρή περιοχή τιμών μήκους μάτισης ράβδων, όπου το *σχόλιο της §8.2.1.2β(ii) του ΚΑΝ.ΕΠΕ.* δεν ισχύει. Ωστόσο, οι αποκλίσεις που παρατηρούνται στα αποτελέσματα είναι πολύ μικρές και το εύρος τιμών μήκους μάτισης στο οποίο υφίσταται η πιο πάνω παρατήρηση πολύ περιορισμένο ($l_s \approx 1d_b - 2d_b$).

Από τον προσδιορισμό του απαιτούμενου μεγέθους ενίσχυσης με τη χρήση όλων των προσομοιωμάτων που προτάθηκαν, προκύπτουν διαγράμματα απαιτούμενου μεγέθους ενίσχυσης, σε όρους πάχους υλικού περίσφιξης, t_j , για μεταβαλλόμενη τιμή του μήκους μάτισης ράβδων. Να σημειωθεί πως για σκοπούς καλύτερης σύγκρισης η παράμετρος του μήκους μάτισης ράβδων, θεωρείται κανονικοποιημένη ως προς τη διάμετρο διαμήκους οπλισμού, l_s/d_b . Η παραμετρική διαδικασία που ακολουθήθηκε περιελάμβανε την τροποποίηση κάθε φορά και μιας διαφορετικής παραμέτρου. Πιο κάτω ακολουθούν εκτεταμένες συγκρίσεις από τις οποίες εξάγονται ενδιαφέρον συμπεράσματα.

Α) Σύγκριση προσομοιωμάτων

Η συγκεκριμένη ενότητα καταπιάνεται με τη σύγκριση όλων των προσομοιωμάτων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν (Σχήμα 7). Επιπρόσθετα, συγκρίνονται μεταξύ τους τα προσομοιώματα που προτείνονται από τον ίδιο κανονισμό (ΚΑΝ.ΕΠΕ., και Ευρωκώδικα-Σχήμα 5). Παράλληλα, γίνεται σύγκριση μεταξύ των προσομοιωμάτων τα οποία προτείνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. με αυτά που προτείνει ο Ευρωκώδικας (Σχήμα 6).



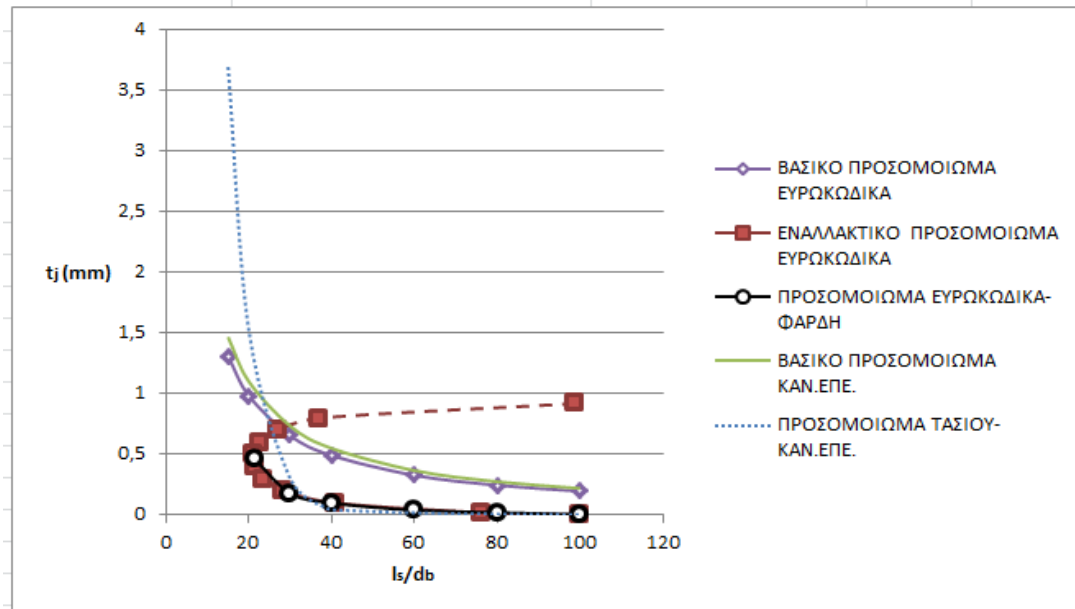
Σχήμα 5: Καμπύλη απαιτούμενου πάχους υλικού περίσφιξης για μεταβαλλόμενη τιμή μήκους μάτισης ράβδων - Προσομοιώματα ΚΑΝ.ΕΠΕ. (αριστερά) και Προσομοιώματα Ευρωκώδικα (δεξιά).

Σχετικά με τα προσομοιώματα που προτείνονται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. γίνονται οι εξής παρατηρήσεις: Για μικρές τιμές μήκους μάτισης ράβδων, $l_s \leq 20d_b$ και σύμφωνα με το προσομοίωμα Τάσιου-ΚΑΝ.ΕΠΕ., προκύπτει μεγάλη απαίτηση πάχους υλικού περίσφιξης, t_j , αρκετά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη που προκύπτει από το βασικό προσομοίωμα του ΚΑΝ.ΕΠΕ.. Αντίθετα, για εύρος τιμών μήκους μάτισης ράβδων, $l_s \geq 30d_b$, και σύμφωνα με το προσομοίωμα Τάσιου-ΚΑΝ.ΕΠΕ., προκύπτει μικρότερη απαίτηση ενίσχυσης σε σχέση με την αντίστοιχη που προκύπτει από το βασικό προσομοίωμα ΚΑΝ.ΕΠΕ..

Σχετικά με τα προσομοιώματα που προτείνονται από τον Ευρωκώδικα γίνονται οι εξής παρατηρήσεις: Το βασικό προσομοίωμα του Ευρωκώδικα είναι το πλέον συντηρητικό προσομοίωμα που προτείνεται. Ακόμη, το εναλλακτικό προσομοίωμα του Ευρωκώδικα δεν παρουσιάζει την αναμενόμενη συμπεριφορά πάνω από συγκεκριμένη τιμή πάχους υλικού περίσφιξης (περιοχή ανωμαλίας). Επιπρόσθετα, το προσομοίωμα Ευρωκώδικα - Φαρδή ταυτίζεται πλήρως με το εναλλακτικό προσομοίωμα του Ευρωκώδικα για τιμές απαιτούμενου πάχους υλικού περίσφιξης μικρότερες από την οριακή τιμή για την οποία

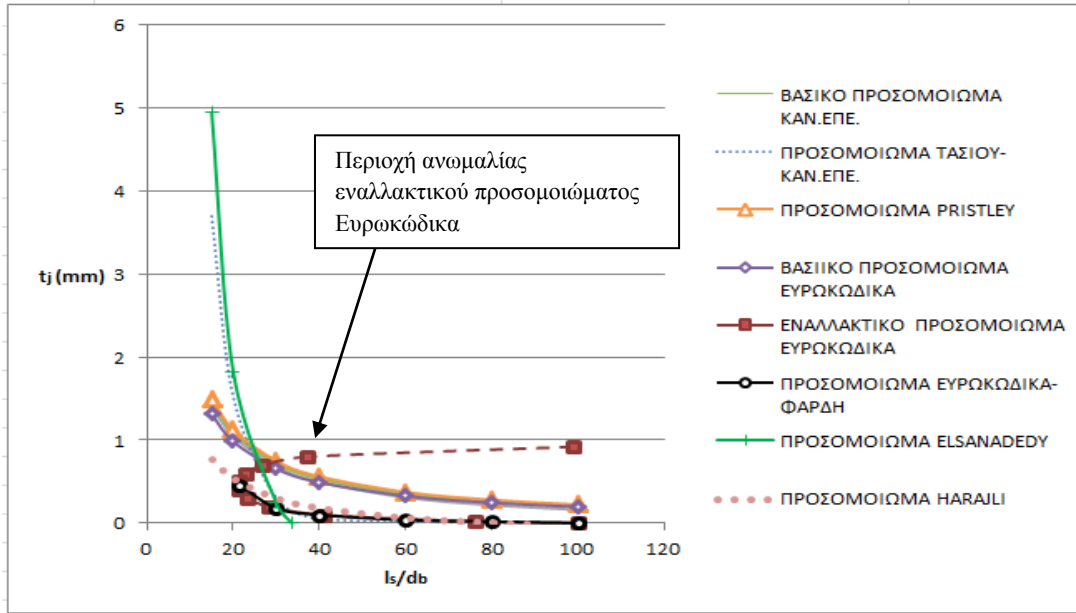
μπορεί να εφαρμοσθεί και να είναι αποδοτική η περίσφιξη (οριακή τιμή απαιτούμενου πάχους υλικού περίσφιξης για το προσομοίωμα Ευρωκώδικα-Φαρδή).

Συγκρίνοντας τα προσομοιώματα που προτείνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ., με τα προσομοιώματα τα οποία προτείνει ο Ευρωκώδικας προκύπτει το συμπέρασμα πως το βασικό προσομοίωμα του ΚΑΝ.ΕΠΕ., σχεδόν ταυτίζεται με το βασικό προσομοίωμα του Ευρωκώδικα (Σχήμα 6).



Σχήμα 6: Σύγκριση προσομοιωμάτων ΚΑΝ.ΕΠΕ. και Ευρωκώδικα.

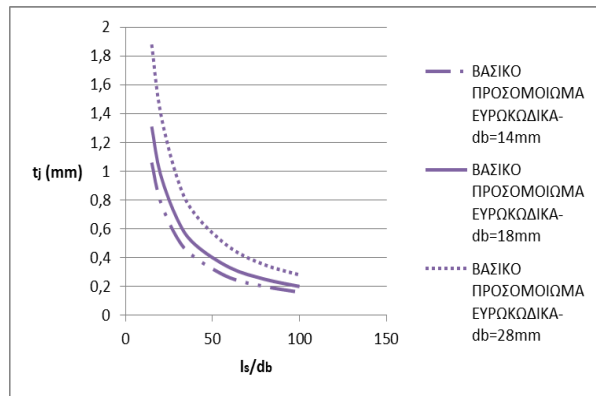
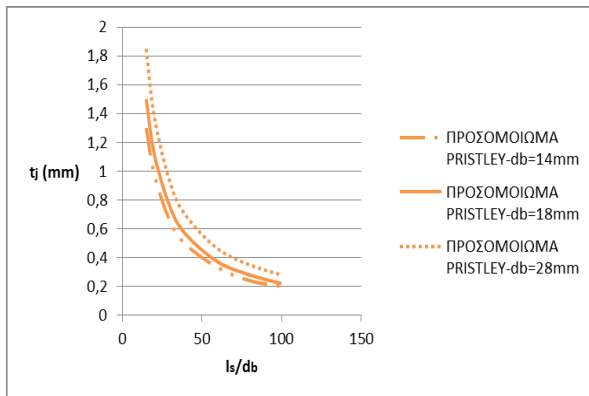
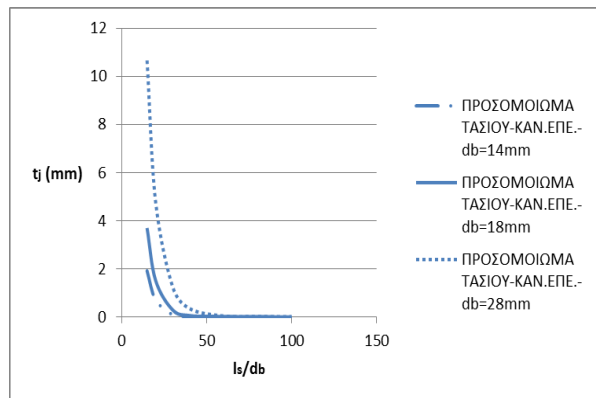
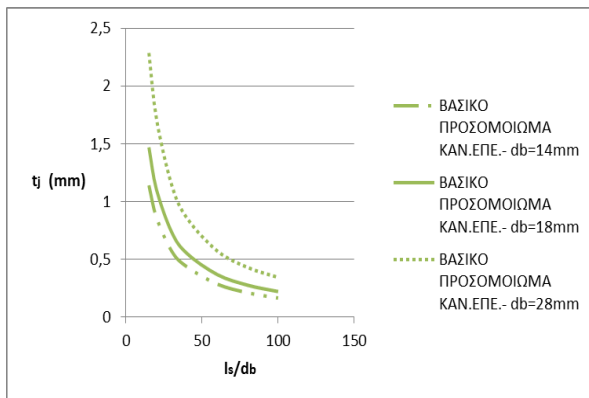
Ακολουθεί η σύγκριση όλων των προσομοιωμάτων μεταξύ τους (Σχήμα 7). Το πιο συντηρητικό προσομοίωμα προκύπτει να είναι το προσομοίωμα του Pristley. Με πάρα πολύ μικρή διαφορά ακολουθεί το βασικό προσομοίωμα του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και έπειτα το βασικό προσομοίωμα του Ευρωκώδικα. Το προσομοίωμα του Elsanadedy δίνει πολύ μεγάλες τιμές απαιτούμενου μεγέθους ενίσχυσης. Επιπρόσθετα, το συγκεκριμένο προσομοίωμα εφαρμόζεται για ένα πολύ μικρό εύρος τιμών μήκους μάτισης. Τέλος, το μέγεθος ενίσχυσης που προκύπτει πως απαιτείται σύμφωνα με το προσομοίωμα του Harajli για όλο το εύρος τιμών μήκους μάτισης ράβδων οπλισμού στο οποίο δουλεύει, είναι μικρό.

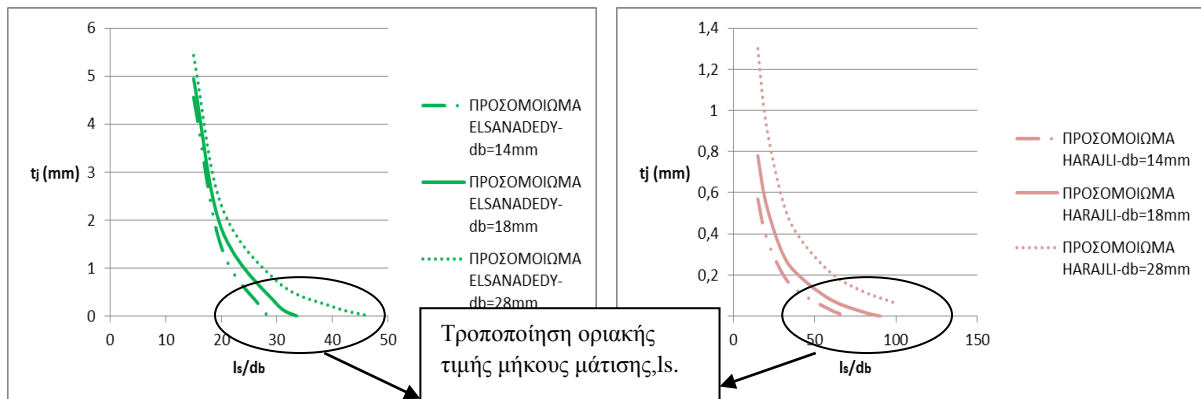


Σχήμα 7: Καμπύλη απαιτούμενου πάχους υλικού περίσφιξης για μεταβαλλόμενη τιμή μήκους μάτισης ράβδων –Σύγκριση όλων των προσομοιωμάτων

Β) Τροποποίηση διαμέτρου διαμήκους οπλισμού, d_b -Σύγκριση αποτελεσμάτων

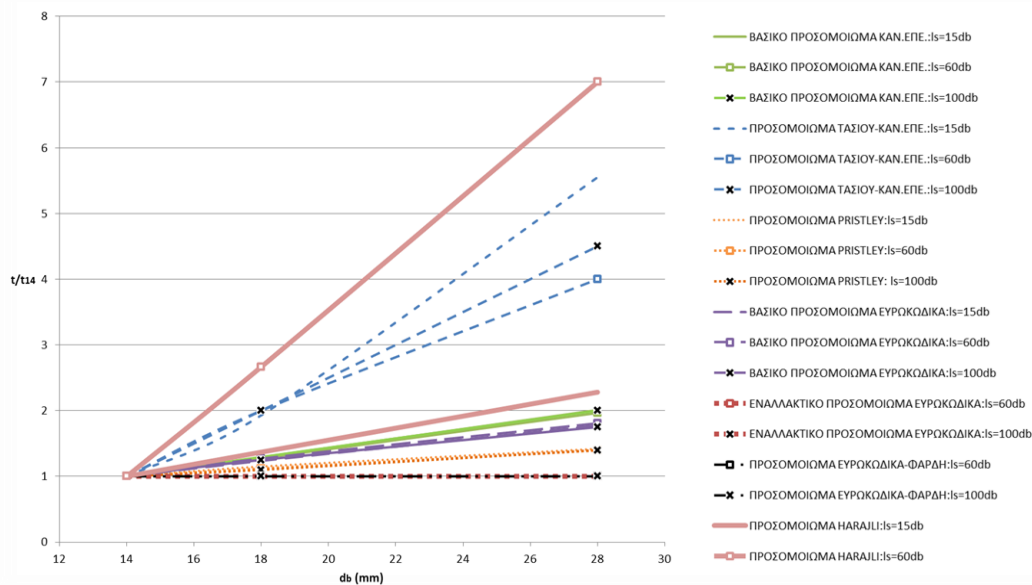
Στη συγκεκριμένη υποενοότητα εξετάζεται η επιρροή της παραμέτρου της διαμέτρου ράβδων του διαμήκους οπλισμού, d_b , στα προσομοιώματα. Η διερεύνηση εκτελείται για τιμές διαμέτρου ράβδων διαμήκους οπλισμού, $d_b = 14\text{mm}$, $d_b = 18\text{mm}$ και $d_b = 28\text{mm}$.





Σχήμα 8: Καμπύλη απαιτούμενου πάχους υλικού περίσφιξης για μεταβαλλόμενο μήκος μάτισης - Τροποποίηση τιμής διαμέτρου διαμήκους οπλισμού.

Αύξηση στην τιμή της διαμέτρου του διαμήκους οπλισμού, προκαλεί αύξηση στο απαιτούμενο μέγεθος ενίσχυσης. Αυτό παρατηρείται σε όλα τα προσομοιώματα εκτός από το εναλλακτικό προσομοίωμα Ευρωκώδικα και το προσομοίωμα Ευρωκώδικα-Φαρδή όπου, για σταθερό λόγο, l_s/d_b , τροποποίηση της τιμής της διαμέτρου, δεν επηρεάζει τα προκύπτων αποτελέσματα. Όσον αφορά το προσομοίωμα του Elsanadedy και το προσομοίωμα του Harajli, τροποποίηση της τιμής της διαμέτρου των ράβδων του διαμήκους οπλισμού, τροποποιεί την οριακή τιμή μήκους μάτισης ράβδων, $l_{s,max}$ κάτω από την οποία απαιτείται ενίσχυση.



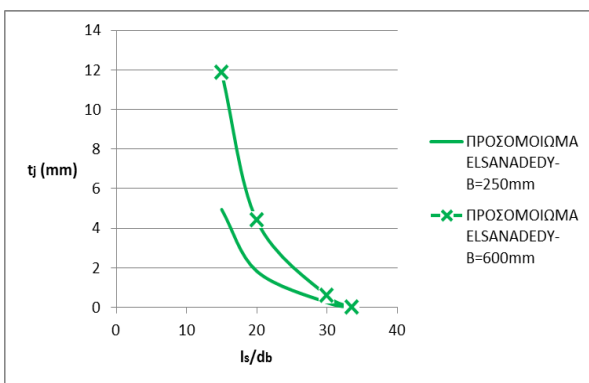
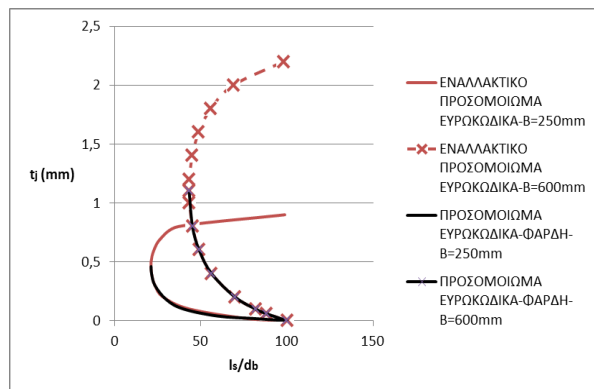
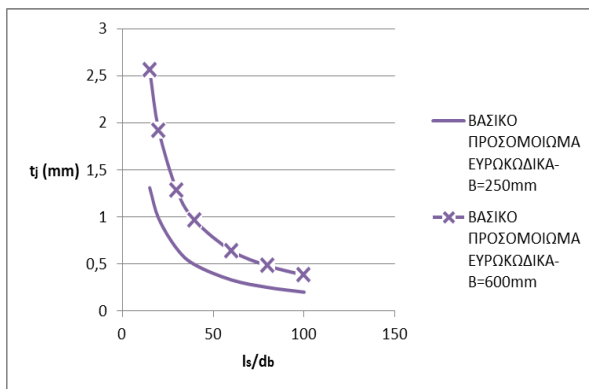
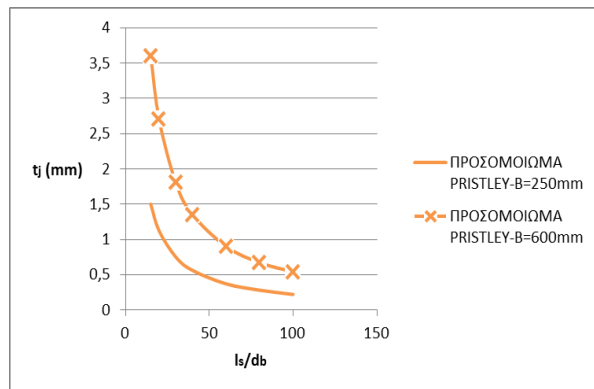
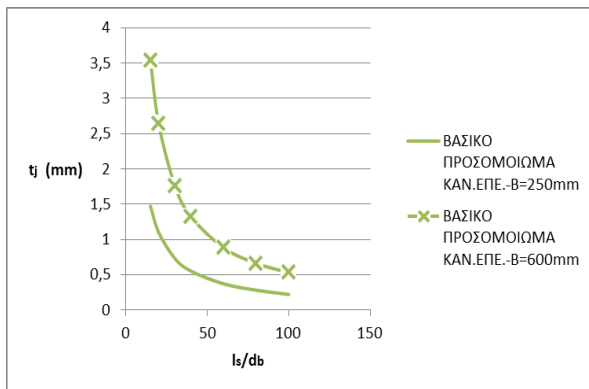
Σχήμα 9: Κανονικοποιημένη τιμή απαιτούμενου πάχους υλικού περίσφιξης (t/t_{14}) ως προς τη διάμετρο διαμηκών ράβδων για τις τιμές μήκους μάτισης ράβδων, $l_s = 15d_b$, $l_s = 60d_b$ και $l_s = 100d_b$.

Από το σχήμα 9 προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις: Ο τρόπος επιρροής της παραμέτρου της διαμέτρου των ράβδων του διαμήκους οπλισμού, στο προσομοίωμα Τάσιου-ΚΑΝ.ΕΠΕ. και στο προσομοίωμα Harajli, δεν είναι σταθερός για όλο το εύρος τιμών μήκους μάτισης, l_s . Αντιθέτως, το βασικό προσομοίωμα του ΚΑΝ.ΕΠΕ., το προσομοίωμα του Pristley και το

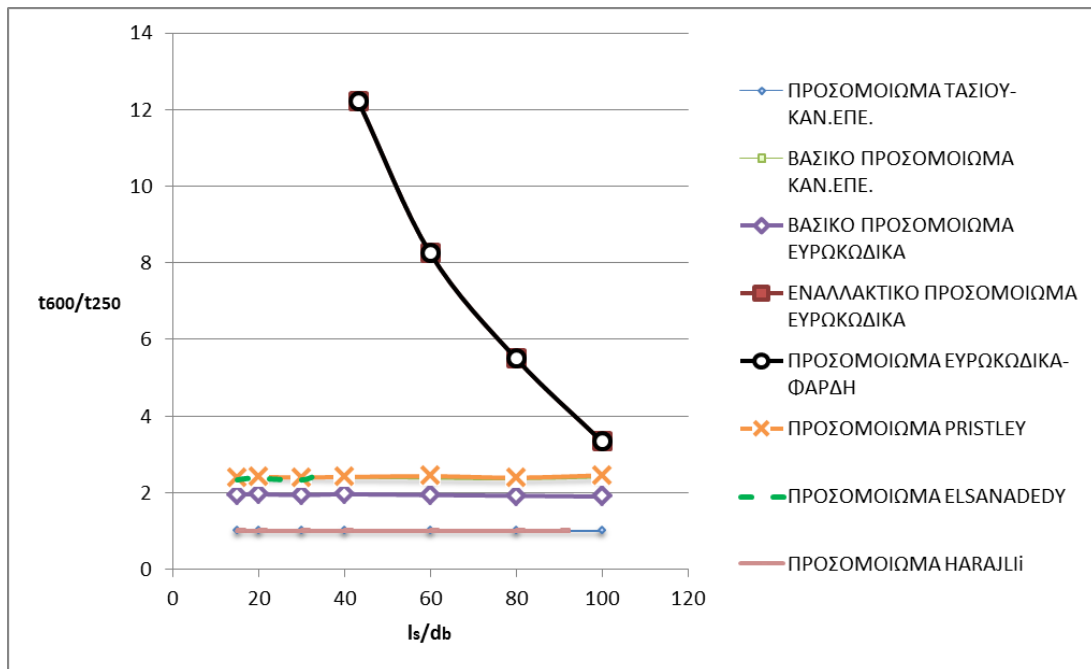
βασικό προσομοίωμα του Ευρωκώδικα, επηρεάζονται με τον ίδιο τρόπο σε όλο το εύρος τιμών μήκους μάτισης ράβδων διαμήκους οπλισμού, l_s λόγω τροποποίησης της τιμής της διαμέτρου, d_b . Σχετικά με το βασικό προσομοίωμα ΚΑΝ.ΕΠΕ., για δεδομένη αλλαγή στην τιμή της διαμέτρου, μεταβάλλεται αναλόγως και με τον ίδιο τρόπο, η απαίτηση στο μέγεθος ενίσχυσης. Για 30% αύξηση στην τιμή της διαμέτρου ράβδων του διαμήκους οπλισμού: σύμφωνα με το βασικό προσομοίωμα ΚΑΝ.ΕΠΕ., το απαιτούμενο μέγεθος ενίσχυσης αυξάνεται κατά 30%, σύμφωνα με το προσομοίωμα του Pristley κατά 15% και σύμφωνα με το βασικό προσομοίωμα Ευρωκώδικα αυξάνεται κατά 25%.

Γ) Τροποποίηση διάστασης υποστυλώματος-Σύγκριση αποτελεσμάτων

Σε αυτό το σημείο της εργασίας, τροποποιείται η παράμετρος της διάστασης του τετράγωνου υποστυλώματος. Συγκεκριμένα συγκρίνονται τα αποτελέσματα τα οποία προκύπτουν για περίπτωση εφαρμογής τετράγωνου υποστυλώματος διάστασης $B=250\text{ mm}$ και για την περίπτωση εφαρμογής τετράγωνου υποστυλώματος διάστασης $B=600\text{ mm}$ (αύξηση τιμής διάστασης κατά 140%).



Σχήμα 10: Καμπύλη απαιτούμενου πάχους υλικού περίσφιξης για μεταβαλλόμενο μήκος μάτισης-
Τροποποίηση τιμής της διάστασης του υποστυλώματος.



Σχήμα 11: Κανονικοποιημένη τιμή απαιτούμενου πάχους υλικού περίσφιξης (t_{600}/t_{250}) για μεταβαλλόμενη τιμή μήκους μάτισης ράβδων (l_s/d_b)-Τροποποίηση διάστασης υποστυλώματος.

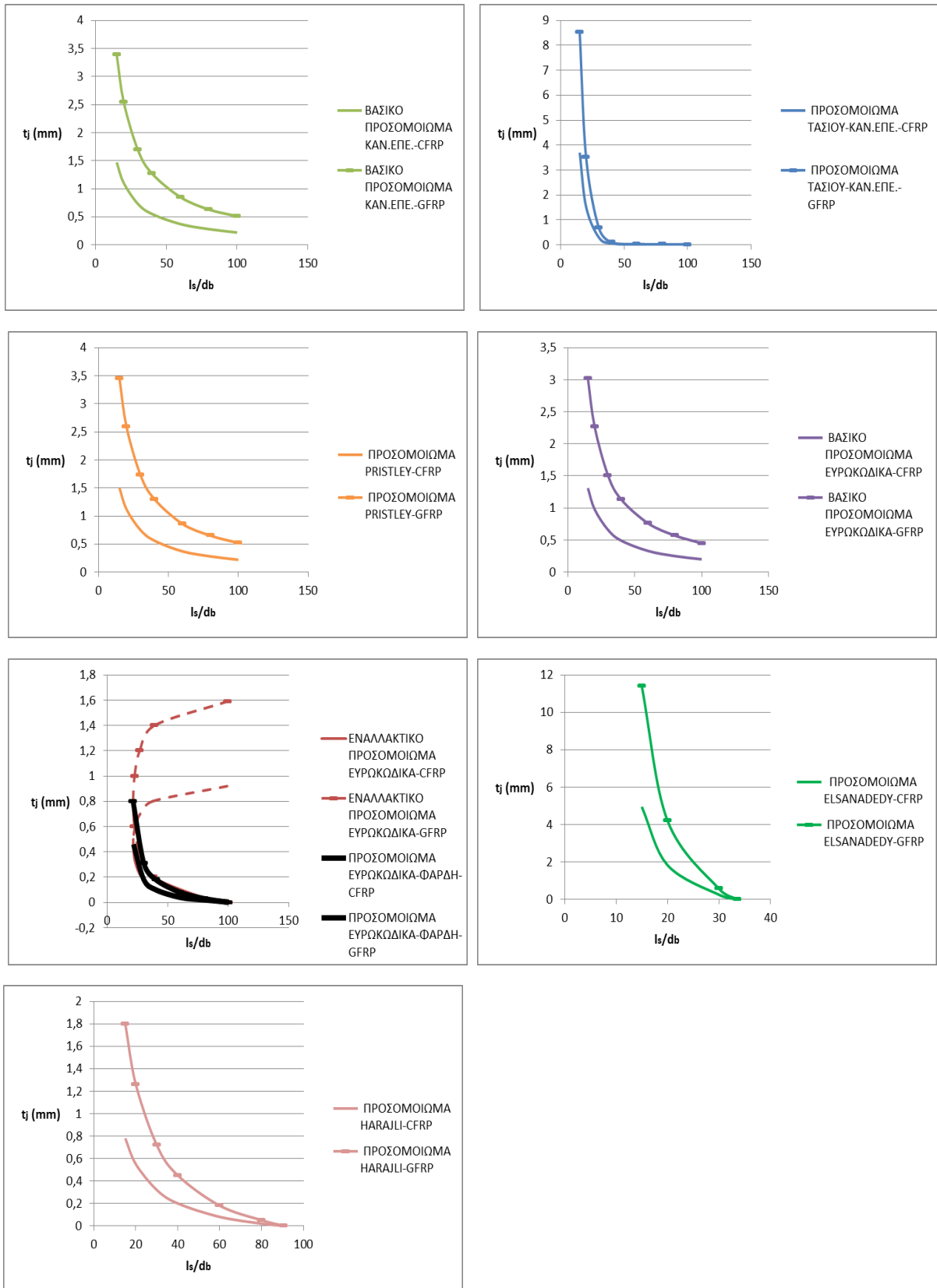
*Σημείωση: t_{600} θεωρείται η τιμή απαιτούμενου πάχους υλικού περίσφιξης που προκύπτει για περίπτωση διάστασης τετράγωνου υποστυλώματος $B=600\text{mm}$. Αντιστοίχως και για t_{250} .

Σύμφωνα με το σχήμα 11, αυξάνοντας τη διάσταση του τετράγωνου υποστυλώματος, B , κατά 140% (από 250mm σε 600mm): το προσομοίωμα Τάσιου-ΚΑΝ.ΕΠΕ. και το προσομοίωμα Harajli, δεν επηρεάζονται καθόλου από τη συγκεκριμένη αλλαγή, ενώ το βασικό προσομοίωμα ΚΑΝ.ΕΠΕ., το προσομοίωμα του Pristley και το προσομοίωμα του Elsanadedy επηρεάζονται σε όλο το εύρος τιμών του μήκους μάτισης, ανάλογα, με τον ίδιο ρυθμό τροποποίησης της διάστασης (αύξηση απαιτούμενου μεγέθους ενίσχυσης κατά 140%). Επιπρόσθετα, το εναλλακτικό προσομοίωμα του Ευρωκώδικα και το προσομοίωμα Ευρωκώδικα-Φαρδή, δεν επηρεάζονται με τον ίδιο τρόπο σε όλο το εύρος τιμών μήκους μάτισης ράβδων, l_s .

Δ) Τροποποίηση υλικού περίσφιξης-Σύγκριση αποτελεσμάτων

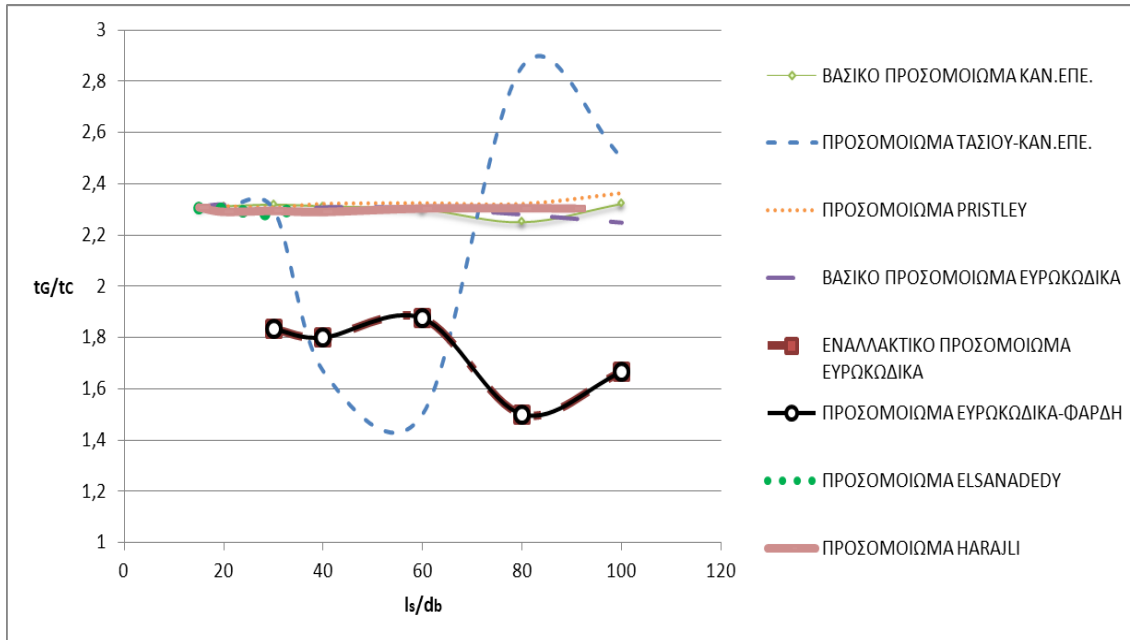
Σε αυτή την ενότητα, η σύγκριση που γίνεται σχετίζεται με το υλικό περίσφιξης το οποίο χρησιμοποιείται για την ενίσχυση. Η σύγκριση γίνεται μεταξύ σύνθετου υλικού από ίνες άνθρακα (CFRP- $E_j = 235\text{GPa}$) και σύνθετου υλικού από ίνες γυαλιού (GFRP- $E_j = 102\text{GPa}$).

Το σχήμα 12 παρουσιάζει τις συγκριτικές καμπύλες απαιτούμενου μεγέθους ενίσχυσης οι οποίες προκύπτουν αν σαν υλικό περίσφιξης χρησιμοποιηθούν ινοπλισμένα πολυμερή από ίνες άνθρακα (CFRP) και αν σαν υλικό περίσφιξης χρησιμοποιηθούν ινοπλισμένα πολυμερή από ίνες γυαλιού (GFRP). Και αυτή τη φορά, η διαδικασία που ακολουθείται επαναλαμβάνεται για όλα τα προσομοιώματα.



Σχήμα 12: Καμπύλη απαιτούμενου πάχους υλικού περίσφιξης για μεταβαλλόμενο μήκος μάτισης-Τροποποίηση υλικού περίσφιξης

Όπως γίνεται αντιληπτό από το σχήμα 13, σε όλα τα προσομοιώματα, η χρήση ινοπλισμένων πολυμερών από ίνες γυαλιού σαν υλικό περίσφιξης, αυξάνει την απαίτηση του πάχους υλικού περίσφιξης, t_j .

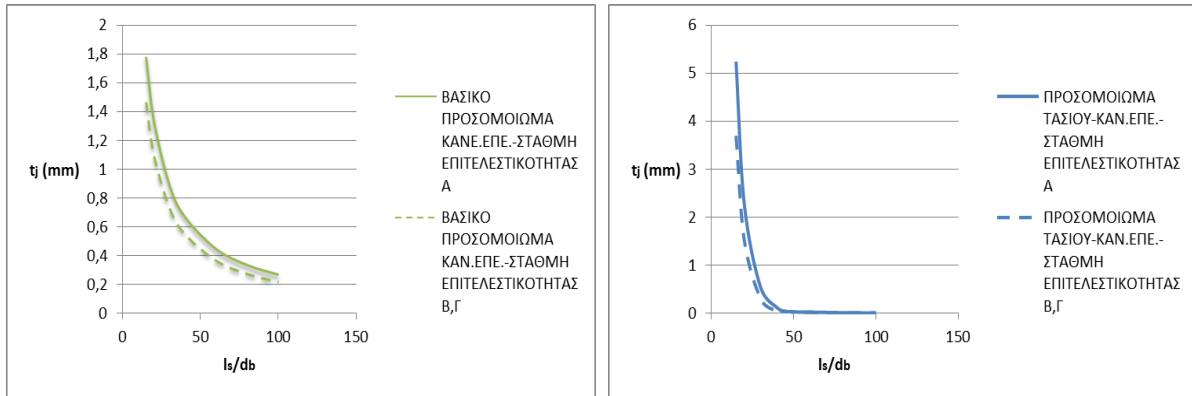


Σχήμα 13: Κανονικοποιημένη τιμή απαιτούμενου πάχους υλικού περίσφιξης (t_G/t_C) για μεταβαλλόμενη τιμή μήκους μάτισης ράβδων (l_s/d_b) -Τροποποίηση υλικού περίσφιξης.

*Σημείωση: t_G θεωρείται η τιμή απαιτούμενου πάχους υλικού περίσφιξης που προκύπτει για περίπτωση χρήσης υλικού περίσφιξης, GFRP. Αντιστοίχως και για t_C .

Το σχήμα 13, παρουσιάζει συγκεντρωτικά, τον τρόπο επιρροής του υλικού περίσφιξης στα προσομοιώματα που εξετάζονται. Χρησιμοποιώντας ως υλικό περίσφιξης, σύνθετο υλικό από ίνες γυαλιού αντί αυτού από ίνες άνθρακα (μείωση μέτρου ελαστικότητας κατά 130%) προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις: Για το βασικό προσομοίωμα ΚΑΝ.ΕΠΕ., το προσομοίωμα του Pristley, το βασικό προσομοίωμα του Ευρωκώδικα, το προσομοίωμα του Elsanadedy και το προσομοίωμα του Harajli, η απαίτηση του μεγέθους ενίσχυσης αυξάνεται αναλογικά κατά 130%. Το προσομοίωμα Τάσιου-ΚΑΝ.ΕΠΕ., το εναλλακτικό προσομοίωμα του Ευρωκώδικα και το προσομοίωμα Ευρωκώδικα-Φαρδή, δεν επηρεάζονται με σταθερό ρυθμό για όλο το εύρος του μήκους μάτισης ράβδων, από αλλαγή στο υλικό περίσφιξης.

Ε) Τροποποίηση κατηγορίας στάθμης επιτελεστικότητας- Σύγκριση αποτελεσμάτων
Στο συγκεκριμένο σημείο της εργασίας, εξετάζεται ο τρόπος επιρροής της κατηγορίας στα προσομοιώματα. Για αυτό το σκοπό τροποποιείται η στάθμη επιτελεστικότητας, από κατηγορία στάθμης Β, σε κατηγορία στάθμης Α. Να σημειωθεί πως μόνο τα προσομοιώματα που προτείνονται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., που επηρεάζονται από την κατηγορία στάθμης επιτελεστικότητας.



Σχήμα 14: Καμπύλη απαιτούμενου πάχους υλικού περίσφιξης για διαφορετική κατηγορία στάθμης επιτελεστικότητας- Προσομοιώματα ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Σύμφωνα με το σχήμα 14 παρατηρείται αύξηση απαιτούμενου μεγέθους ενίσχυσης λόγω επιλογής κατηγορίας στάθμης επιτελεστικότητας Α. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με το βασικό προσομοίωμα ΚΑΝ.ΕΠΕ., παρατηρείται μια σταθερή αύξηση στην τιμή του απαιτούμενου πάχους υλικού περίσφιξης, για όλο το εύρος τιμών μήκους μάτισης, της τάξεως του 20%. Όσον αφορά το προσομοίωμα Τάσιου-ΚΑΝ.ΕΠΕ., η αλλαγή που παρατηρείται στα αποτελέσματα δεν είναι σταθερή για όλο το εύρος τιμών του μήκους μάτισης.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρατίθενται συγκεντρωτικά κάποια συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν σύμφωνα με την έρευνα που ακολουθήθηκε, στη βάση της σύγκρισης και αξιολόγησης των προσομοιωμάτων απαιτούμενου μεγέθους ενίσχυσης που υπάρχουν στη σύγχρονη βιβλιογραφία καθώς και στη βάση προσδιορισμού του τρόπου επιρροής βασικών παραμέτρων στα προσομοιώματα. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στα προσομοιώματα τα οποία προτείνονται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (σχόλια και υποδείξεις ΚΑΝ.ΕΠΕ.). Ως εκ τούτου από την παρούσα εργασία προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- ✓ Τα όρια τιμών μήκους μάτισης ράβδων, l_s , μέσα στα οποία απαιτείται ενίσχυση και μπορεί να εφαρμοσθεί η περίσφιξη επηρεάζονται από τα χαρακτηριστικά του υφιστάμενου μέλους (διάσταση, όπλιση) και από τα χαρακτηριστικά του υλικού με το οποίο εφαρμόζεται η ενίσχυση (μέτρο ελαστικότητας, οριακή ανηγμένη παραμόρφωση).
- ✓ Διερευνώντας το σχόλιο της παραγράφου §8.2.1.2β(ii), επιβεβαιώνεται η ορθότητά του αφού οι αποκλίσεις που παρατηρούνται είναι πολύ μικρές και παρουσιάζονται σε πολύ περιορισμένο εύρος τιμών μήκους μάτισης ράβδων, l_s .
- ✓ Συγκεντρωτικά, το βασικό προσομοίωμα ΚΑΝ.ΕΠΕ., το βασικό προσομοίωμα του Ευρωκώδικα και το προσομοίωμα του Pristley παρουσιάζουν (σχεδόν) την ίδια συντηρητική συμπεριφορά.
- ✓ Το εναλλακτικό προσομοίωμα Ευρωκώδικα, παρουσιάζει μια παράξενη συμπεριφορά πάνω από μια συγκεκριμένη τιμή του απαιτούμενου πάχους υλικού περίσφιξης, t_j .
- ✓ Το προσομοίωμα Ευρωκώδικα-Φαρδή, επί της ουσίας, διορθώνει την ανωμαλία που παρατηρείται στο εναλλακτικό προσομοίωμα του Ευρωκώδικα μέσω του καθορισμού ενός κάτω ορίου για την τιμή της ενεργούς τάσης του υλικού περίσφιξης.

- ✓ Το προσομοίωμα Ευρωκώδικα-Φαρδή και το προσομοίωμα Harajli, δίδουν σταθερά, για όλες τις υπό εξέταση εφαρμογές και για όλο το εύρος τιμών μήκους μάτισης ράβδων, τις πιο μικρές τιμές απαιτούμενου μεγέθους ενίσχυσης. Να σημειωθεί πως ο ορισμός των συγκεκριμένων προσομοιωμάτων προκύπτει από πειραματικά δεδομένα.
- ✓ Μόνο τα προσομοιώματα που προτείνονται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., λαμβάνουν υπόψη της παράμετρο της κατηγορίας στάθμης επιτελεστικότητας.
- ✓ Το προσομοίωμα Τάσιου-ΚΑΝ.ΕΠΕ. καθώς και το προσομοίωμα του Harajli, δεν επηρεάζονται από τη διάσταση του υποστυλώματος Β.
- ✓ Η εξίσωση Σ8.1 α (προσομοίωμα Τάσιου-ΚΑΝ.ΕΠΕ.), επηρεάζεται από την τιμή της παραμέτρου της μέσης, εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος, f_{cm} .
- ✓ Την επιρροή της παρουσίας (υπαρχόντων) συνδετήρων στον υπολογισμό του απαιτούμενου μεγέθους ενίσχυσης μόνο το βασικό προσομοίωμα την λαμβάνει υπόψη. Στα υπόλοιπα προσομοιώματα δεν προβλέπεται.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]: ΚΑΝ.ΕΠΕ. (2013), «Κανονισμός Επεμβάσεων», Ο.Α.Σ.Π., Αθήνα, ΦΕΚ 2187/Β/05-09-2013.
- [2]: Τάσιος Θ., (2011) «Θεωρία σχεδιασμού επισκευών και ενισχύσεων», Εθνικό Μ.Πολυτεχνείο, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών.
- [3]: Pristley M.J.N., Seible E., Calvi E.M.: “Seismic design and retrofit of bridges”, J. Wiley, New York, 1996.
- [4]: Ευρωκώδικας 8-Μέρος 3: Αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας και ενισχύσεις κτιρίων.
- [5]: Fardis M.N., “Seismic Design, Assessment and Retrofitting of Concrete Buildings”, Springer, 2009.
- [6]: Elsanadedy H.M., Haroun M.A.: “Seismic design criteria for circular lap-spliced RC bridge columns with fiber reinforced polymer jackets”, AO Struct. J., May June 2005.
- [7]: Harajli M.H., Hamad B.S., Rteil A.A.: “Effect of Confinement of bond strength between steel bars and concrete”, ACI Struct. J., October 2004.
- [8]: Ευρωκώδικας 2-Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια.

