

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ ΑΠΟ ΙΟΠ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΑΝΕΠΑΡΚΩΝ ΜΗΚΩΝ ΠΑΡΑΘΕΣΗΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ Η ΓΙΑ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ

ΣΤΑΥΡΗΣ ΜΙΧΑΗΛ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Προπτυχιακός Φοιτητής Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστήμιο Πατρών, mgstavris@gmail.com

ΜΑΡΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Προπτυχιακός Φοιτητής Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστήμιο Πατρών, marakis244@gmail.com

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μία διερεύνηση της επιρροής των παραμέτρων που επηρεάζουν την αύξηση της πλαστιμότητας μέσω περίσφιγξης ή την αποκατάσταση περιοχών με ανεπαρκή μήκη μάτισης οπλισμών σε υποστυλώματα υφιστάμενων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος, με χρήση Ινοπλισμένων Πολυμερών (FRPs). Η διερεύνηση πραγματοποιείται με βάση το πρόσφατο αναθεωρημένο κείμενο του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (2022) και με εφαρμογή των σχέσεων που προτείνονται στο σχέδιο του Ευρωκώδικα 8 - Μέρος 3 (Σχέδιο 2022). Διερευνάται η επιρροή του πλήθους των στρώσεων ΙΟΠ, του αξονικού φορτίου υποστυλώματος, της αντοχής σκυροδέματος, του μήκους παράθεσης των οπλισμών στις περιοχές ματισμάτων και της διαμέτρου των ματιζόμενων ράβδων οπλισμού. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα δύο κανονιστικά συγκρίνονται και σχολιάζονται οι συγκλίσεις και οι αποκλίσεις. Επισημαίνονται τυχόν ασάφειες ή αποτελέσματα που δημιουργούν εύλογα ερωτήματα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι υφιστάμενες κατασκευές στην Ελλάδα έχουν ως επί το πλείστον κατασκευαστεί με παλαιούς κανονισμούς ή ακόμα και ελλείπει κανονισμών, με αποτέλεσμα να εμφανίζουν σοβαρές αδυναμίες όσον αφορά τα θέματα της πλαστιμότητας των μελών, καθώς και των μηκών παράθεσης στα υποστυλώματα.

Η πλαστιμότητα σαν ιδιότητα ενός μέλους ορίζεται ως η δυνατότητα του μέλους να αναπτύσσει πλαστικές παραμορφώσεις, μετά το πέρας της διαρροής του, ανακατανέμοντας τα φορτία της κατασκευής, με αποτέλεσμα την καλύτερη σεισμική απόκριση και την αποφυγή άμεσης κατάρρευσης.

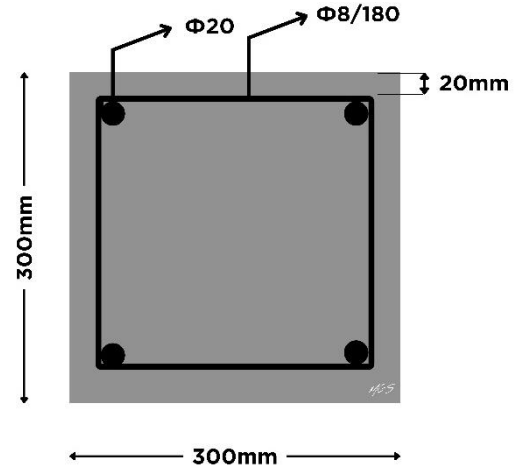
Η ανεπάρκεια των μηκών παράθεσης σε συνδυασμό με ελλειπή οπλισμό περίσφιγξης έχουν σαν αποτέλεσμα την αδυναμία μεταφοράς δυνάμεων μεταξύ των διαμήκων ράβδων οπλισμού υποστυλωμάτων, το οποίο οδηγεί σε ολίσθηση των ράβδων και συνεπώς σε δημιουργία ρωγμών στο περιβάλλον σκυρόδεμα.

Τα παραπάνω θέματα αντιμετωπίζονται με εφαρμογή εξωτερικής περίσφιγξης στο υπό ενίσχυση στοιχείο. Στην προκειμένη περίπτωση εφαρμόζεται περίσφιγξη, με τη χρήση υφασμάτων από άνθρακα με τις ίνες κατά μήκος της περιμέτρου του. Στην πρώτη περίπτωση με σκοπό την απόκτηση ικανότητας πλαστιμότητας και στην δεύτερη περίπτωση τη βελτίωση των συνθηκών συνάφειας μεταξύ των διαμήκων ράβδων και του σκυροδέματος, ώστε να εμποδιστεί η διάνοιξη ρωγμών.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της επιρροής των παραμέτρων που επηρεάζουν την αποκατάσταση περιοχών με ανεπαρκή μήκη μάτισης οπλισμών σε υποστυλώματα υφιστάμενων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος ή την αύξηση της πλαστιμότητας μέσω περίσφιγξης, με χρήση Ινοπλισμένων Πολυμερών (FRPs). Η διερεύνηση πραγματοποιείται με βάση το πρόσφατο αναθεωρημένο κείμενο του ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2022 [1] και με εφαρμογή των σχέσεων που προτείνονται στο σχέδιο του Ευρωκώδικα 8 - Μέρος 3 (2022)[2], όπως αναλυτικά παρουσιάζονται στο [3]. Η διερεύνηση πραγματοποιείται επί ενός τυπικού υποστυλώματος μίας υφιστάμενης πλαισιακής κατασκευής πολυώροφου κτιρίου, καθαρού ύψους $H_{cl}=3.3m$, διατομής $300 \times 300mm$, με διαμήκη οπλισμό 4Φ20 και συνδετήρες Φ8 ανά 180mm και λοιπά δεδομένα που έχουν προκύψει με ΣΑΔ Ικανοποιητική και παρουσιάζονται στην συνέχεια.

Δεδομένα υφισταμένου στοιχείου:

- Μέση αντοχή σκυροδέματος: $f_{cm} = 17\text{MPa}$.
- Τυπική απόκλιση: $\sigma = 4\text{MPa}$.
- Χάλυβας S400: $f_{yk} = 400\text{MPa}$, $f_{ym} = 460\text{MPa}$.
- Συντελεστής ασφαλείας ΙΟΠ: $\gamma_{\text{ΙΟΠ}} = 1.15$ (για μέσες αντοχές), $\gamma_{\text{ΙΟΠ}} = 1.05 \cdot 1.2 = 1.26$ (για χαρακτηριστικές αντοχές).
- Συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος: $\gamma_c = 1.1$ (για μέσες αντοχές), $\gamma_c = 1.3$ (για χαρακτηριστικές αντοχές).
- Συντελεστής ασφαλείας χάλυβα: $\gamma_s = 1.1$ (για μέσες αντοχές), $\gamma_s = 1.15$ (για χαρακτηριστικές αντοχές).
- Εξομάλυνση των γωνιών: $R = 50\text{mm}$.
- Διαθέσιμο μήκος μάτισης διαμήκων ράβδων οπλισμού: $l_s = 650\text{mm}$.



Χαρακτηριστικά υλικού ενίσχυσης [4]:

- Ύφασμα ινών άνθρακα.
- Πάχος στρώσης ΙΟΠ: $t = 0.167\text{mm}$.
- Εφελκυστική αντοχή ΙΟΠ: $f_{ju} = 3500\text{MPa}$.
- Μέτρο ελαστικότητας ΙΟΠ: $E_{ju} = 225\text{GPa}$.
- Επιμήκυνση θραύσης φύλλων: $\epsilon_{u,j} = 0.0156$

2. ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΕΠΑΡΚΩΝ ΜΗΚΩΝ ΠΑΡΑΘΕΣΗΣ ΡΑΒΔΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2022

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 περίσφιγξης μπορεί να υπολογίζεται από τη σχέση:

$$t_j = \gamma_{Rd} \frac{(1-\lambda_s) 1}{\beta} \frac{f_{yk} A_b}{\mu \sigma_{jd} l_s}$$

(σχέση 8.3 της §8.2.1.2(β)(i) του ΚΑΝ. ΕΠΕ.)

όπου:

- t_j είναι το πάχος του μανδύα (στην περίπτωση συνεχούς εξωτερικού μανδύα από ινοπλισμένο ύφασμα), στην περίπτωση k επαλλήλων στρώσεων ινοπλισμένου υφάσματος πάχους t_{j1} λαμβάνεται $t_j = \psi k t_{j1}$, όπου $\psi < 1$ είναι ο μειωτικός συντελεστής αποδοτικότητας όταν οι στρώσεις είναι περισσότερες από 3 που λαμβάνεται $\psi = k^{-1/4}$ διαφορετικά $\psi = 1$ (§6.2.3. σχόλιο του ΚΑΝ.ΕΠΕ.).
- γ_{Rd} είναι ο συντελεστής αβεβαιότητας του προσομοιώματος και μπορεί να ληφθεί ίσος με 1,50. Αν έχει θεωρηθεί $\lambda_s = 0$, η τιμή του γ_{Rd} μπορεί να ληφθεί ίση με 1.35,
- $A_b = \pi d_s^2 / 4$ είναι το εμβαδόν της λεπτότερης 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 Α και 0,4 mm για στάθμη επιτελεστικότητας Β και Γ), $\bar{b} = (b_1 + b_2) / 2$, όπου b_1 και b_2 οι 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% ($\sigma_{j,max} = 0.75E_j\epsilon_{ju}$), προκειμένου να ληφθεί υπόψη η πρόσθετη τοπική επιπόνηση του ΙΟΠ λόγω της καμπύλωσης του υλικού και της προς τα έξω παραμόρφωσης μιας γωνιακής ράβδου.

- $l_s = l_s l_{so}$ 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 Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 1 (2005) [5] για τις περιοχές ματισμάτων) και συνιστάται να λαμβάνεται $l_s = 0$,
- β είναι συντελεστής που συσχετίζει την θλιπτική δύναμη που εισάγεται στο σκυρόδεμα με την επιστρατευόμενη εφελκυστική δύναμη του υλικού περίσφιγξης. Οι τιμές του β , στην περίπτωση γωνιακών ράβδων δομικών στοιχείων ορθογωνικής διατομής, ιδίως όταν αν $c/d_s \leq 2$, μπορεί να θεωρηθεί ότι κυμαίνονται από 1 έως 1.4 και συνιστάται να λαμβάνεται $\beta=1$,
- μ είναι ο συντελεστής τριβής που μπορεί να επιστρατευθεί στην δυναμική 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 περισφιγξέως 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 περισφιγξής 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 $s_u = 2,0\text{mm}$:

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

(σχέση (Σ8.1α) του ΚΑΝ. ΕΠΕ.)

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

$$(t_j)_{\text{απ.}} = \frac{12}{(s_d : s_u)} \left(\frac{f_{sy}^3}{f_u f_c^2} \right) \left(\frac{d_s^2}{\alpha_N l_s} \right)^2 (a_N)$$

(σχέση (Σ8.1β) του ΚΑΝ. ΕΠΕ.)

Όπου:

- $\alpha_N = \sqrt{2}(2c + 1.5d_s)$
- 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 περισφιγξής) 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 σ_j, \max , ως $(t_j)_{\text{απ}}$ επιλέγεται η μεγαλύτερη τιμή που θα προκύψει από τις παραπάνω σχέσεις (Σ8.1α) και (Σ8.1β).

Το διατιθέμενο μήκος μάτισης των ράβδων οπλισμού, στις περιοχές ενώσεων, θεωρείται επαρκές αν είναι καταρχήν μεγαλύτερο από το (l_{so}) , σύμφωνα με τα αναφερόμενα στις σχετικές Κανονιστικές διατάξεις για τον σχεδιασμό των νέων κτιρίων:

Το ελάχιστο μήκος υπερκάλυψης διαμήκων ράβδων (με ραβδώσεις), το οποίο είναι αναγκαίο για να αναπτυχθεί η δύναμη διαρροής στις ράβδους είναι:

$$l_{b, \min} = 0.3 d_b f_y / \sqrt{f_c}$$

(σχέση (Σ.1) της §7.2.1(δ)(ii) του ΚΑΝ. ΕΠΕ.)

Όμως, το παραπάνω μήκος δεν εξασφαλίζει παραμορφωσιμότητα στην περιοχή. Ως εκ τούτου το ελάχιστο μήκος υπερκάλυψης ράβδων για την ανάπτυξη πλήρους παραμόρφωσης αστοχίας θ_u , δηλαδή το μήκος ώστε να εξασφαλιστεί στην περιοχή η ίδια παραμορφωσιμότητα που θα εξασφαλιζονταν, αν οι οπλισμοί ήταν συνεχείς (χωρίς υπερκάλυψη) δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$l_{bu, \min} = \frac{\Phi f_y}{\left(1.05 + 14.5 \alpha_1 \rho_s \frac{f_{yw}}{f_c}\right) \sqrt{f_c}}$$

(σχέση (Σ.12) της §7.2.4.1(β)(iii) του ΚΑΝ. ΕΠΕ.)

Όπου:

- f_c , f_y , f_{yw} , είναι οι αντιπροσωπευτικές τιμές αντοχής των υλικών σε MPa, με συντελεστές ασφαλείας υλικού κατά την §4.5.3 του ΚΑΝ. ΕΠΕ., όπου με βάση αυτήν στην περίπτωση μας λαμβάνεται $\gamma_c = 1.30$ και $\gamma_s = 1.15$ εφόσον η στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων είναι ικανοποιητική.
- $\rho_s = A_{sh} / b_w s_h$ το γεωμετρικό ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού παράλληλα στην διεύθυνση της φόρτισης.
- $\alpha_1 = \left(1 - \frac{s_h}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s_h}{2h_o}\right) \frac{n_{rest}}{n_{tot}}$
 - ✓ Όπου s_h η αξονική απόσταση των συνδετήρων, b_o και h_o οι διαστάσεις του πυρήνα, n_{tot} ο συνολικός αριθμός διαμήκων ράβδων στην περίμετρο της διατομής που ενώνονται με παράθεση των άκρων τους και n_{rest} ο αριθμός των ανωτέρω ράβδων που συγκρατούνται σε γωνία συνδετήρα ή από άγκιστρο σιγμοειδούς εγκάρσιου συνδέσμου.

3. ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΕΠΑΡΚΩΝ ΜΗΚΩΝ ΠΑΡΑΘΕΣΗΣ ΡΑΒΔΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8-ΜΕΡΟΣ 3 (ΣΧΕΔΙΟ 2022)

Σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο σχέδιο του Ευρωκώδικα 8 - Μέρος 3 (2022), η ενίσχυση και η βελτίωση της ικανότητας παραμόρφωσης των περιοχών με ανεπαρκή μήκη μάτισης, μπορεί να επιτευχθεί μέσω της εξωτερικής περίσφιγξης. Ως οπλισμός μπορούν να χρησιμοποιηθούν χάλυβας ή ινοπλισμένα υλικά, υπό μορφή μανδύα. Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου οπλισμού περίσφιγξης στην περίπτωση ενίσχυσης με ινοπλισμένα υλικά (ΙΟΠ) υιοθετείται το προσομοίωμα όπως παρουσιάζεται αναλυτικά παρακάτω.

Με στόχο να μπορεί να αναπτυχθεί η ροπή διαρροής στην περιοχή της μάτισης θα πρέπει $l_s \geq l_{by, \min}$ και τότε το απαιτούμενο πάχος του υλικού ενίσχυσης προκύπτει:

$$t_j \geq \frac{R E_c}{4 E_j} \left(\sqrt{\frac{0.25 d_b f_y}{l_s \max\left(\frac{c_{\min}}{d_b}; 0.7\right) f_{ct}}} - 1 \right)$$

(σχέση Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 (σχέδιο 2022))

Αντίστοιχα, το απαιτούμενο πάχος του υλικού ενίσχυσης, για να μπορεί να αναπτυχθεί (στην περιοχή της μάτισης) ικανότητα παραμόρφωσης στην αστοχία ίδια με αυτή που θα αντιστοιχούσε αν οι οπλισμοί ήταν συνεχείς, προκύπτει μέσω της απαίτησης $l_s \geq l_{bu,min}$ από την παρακάτω ανίσωση:

$$l_s \geq \frac{d_{bl} f_y}{\left(1 + a_c a_n \sqrt{\frac{d_{bl}}{2R}} \min\left(3, \frac{p_c}{f_{ct}}\right) \left(1 - \frac{1}{6} \min\left(3, \frac{p_c}{f_{ct}}\right)\right)\right) f_{ct}}$$

$$p_c = \frac{t_j f_{u,j}}{R}$$

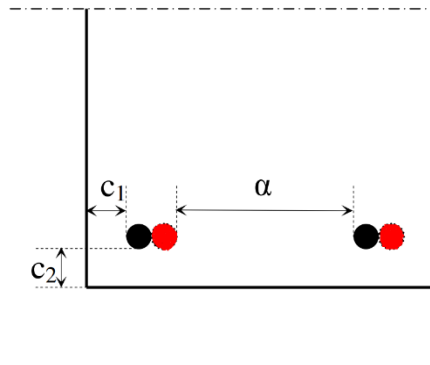
(σχέση Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 (σχέδιο 2022))

με μέγιστο όριο στην αποδοτικότητα της περίσφιγξης, ώστε να μπορεί να ληφθεί πλήρως η παραμόρφωση αστοχίας $t_{j,lim} = \frac{3Rf_{ct}}{f_{u,j}}$.

Όπου:

- d_{bl} , η διάμετρος της ματιζομένης ράβδου. Στην περίπτωση όπου, οι ματιζόμενες ράβδοι είναι διαφορετικής διαμέτρου, θα ήταν εύλογο, κατά την κρίση του συγγραφέα να λαμβάνεται στους υπολογισμούς η μικρότερη διάμετρος, επειδή η μέγιστη δύναμη στην περιοχή μάτισης καθορίζεται από τον οπλισμό που μεταφέρει την μικρότερη εφελκυστική δύναμη.
- f_y , η μέση τιμή της τάσης διαρροής του χάλυβα
- f_{ct} , η μέση τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος και δίνεται από στην σχέση $f_{ct} = 0.3(f_c)^{2/3}$, με f_c την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, η οποία συνιστάται να λαμβάνεται ως η αντίστοιχη μέση τιμή.

$c_{min} = \min(c, a/2)$, με c την μικρότερη επικάλυψη ματιζομένης ράβδου (δηλ. $c = \min(c_1, c_2)$), και a η καθαρή απόσταση από την πλησιέστερη ματιζόμενη ράβδο (Σχήμα 4.32). Δεδομένου ότι σε υφιστάμενες διατομές, για τις οποίες συνιστάται η ενίσχυση, δεν συναντάται πυκνός διαμήκης οπλισμός, η απόσταση $a/2$ θα είναι πάντα μεγαλύτερη από την ελάχιστη επικάλυψη οπλισμού, οπότε συνιστάται κατά την κρίση του συγγραφέα να λαμβάνεται $c_{min} = c$.



Σχήμα 1: Διατομή στοιχείου με ματιζόμενες ράβδους

Στο σχέδιο του Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 (2022), το ελάχιστο μήκος υπερκάλυψης διαμήκων ράβδων (με ραβδώσεις), το οποίο απαιτείται ώστε να αναπτυχθεί πλήρως η τάση διαρροής στις ράβδους δίνεται από την σχέση:

$$l_{by,min} = \frac{d_{bL} f_y}{\max\left(\frac{c_{min}}{d_{bL}}; 0.7\right) f_{ct}}$$

(σχέση Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 (σχέδιο 2022))

Οπου:

- ✓ f_{ct} , είναι η εφελεκυστική αντοχή του σκυροδέματος όπως έχει οριστεί παραπάνω.
- ✓ c_{min} , είναι η μικρότερη τιμή μεταξύ της ελάχιστης επικάλυψης σκυροδέματος των ενωμένων με παράθεση ράβδων και της μισής καθαρής απόστασης από την πλησιέστερη ενωμένη με παράθεση ράβδο.
- ✓ d_{bL} , f_y όπως ορίστηκαν παραπάνω.

Το ελάχιστο μήκος υπερκάλυψης διαμήκων ράβδων (με νευρώσεις), που απαιτείται ώστε να εξασφαλιστεί στην περιοχή η ίδια παραμορφωσιμότητα αστοχίας που θα εξασφαλιζόνταν, αν οι οπλισμοί ήταν συνεχείς δίνεται από την σχέση:

$$l_{bu,min} = \frac{d_{bL} f_y}{\left(1 + a_c a_1 \sqrt{\frac{d_{bL}}{2R_c}} \min\left(3; \frac{p_c}{f_{ct}}\right) \left(1 - \frac{1}{6} \min\left(3, \frac{p_c}{f_{ct}}\right)\right)\right) f_{ct}}$$

(σχέση Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 (σχέδιο 2022))

Οπου:

- $a_c=7.5$ για περίσφιγξη με συνδετήρες,
- R_c , η ακτίνα του μέσου περίσφιγξης που ισούται με τη ακτίνα κάμψης του χαλύβδινου συνδετήρα που περισφίγγει τις ματιζόμενες ράβδους,
- $p_c = \frac{t_j f_{u,j}}{R}$, η τάση περίσφιγξης που ασκείται στην μάτιση,
- a_1 , f_y , d_{bL} και f_{ct} όπως έχουν οριστεί παραπάνω.

4. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΑΝΕΠΑΡΚΗ ΜΗΚΗ ΜΑΤΙΣΗΣ. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΚΑΝ.ΕΠΕ.– ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8-ΜΕΡΟΣ 3 (ΣΧΕΔΙΟ 2022)

4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΜΗΚΩΝ ΥΠΕΡΚΑΛΥΨΕΩΣ

Σύμφωνα με τα δεδομένα της άσκησης υπολογίζουμε αρχικά τα ελαχιστα απαιτούμενα μήκη υπερκαλύψεως διαμήκων ράβδων ώστε να αναπτυχθεί πλήρως η τάση διαρροής στις ράβδους και να εξασφαλιστεί η ίδια παραμορφωσιμότητα που θα εξασφαλιζόνταν αν οι οπλισμοί ήταν συνεχείς. Τα μεγάθη αυτά υπολογίζονται με τους αντίστοιχους τύπους του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και του ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ, όπως αυτοί παρουσιάστηκαν παραπάνω και συγκρίνονται:

ΚΑΝ.ΕΠΕ.		ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ	
$l_{b,min}$	669.4 mm	$l_{by,min}$	990 mm
$l_{bu,min}$	1118.2 mm	$l_{bu,min}$	1541.19 mm

Πίνακας 1: Ελαχιστα απαιτούμενα μήκη υπερκαλύψεως διαμήκων ράβδων

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα γίνεται αντιληπτό πως:

1. Λαμβάνοντας υπ όψιν ότι στις παλιές κατασκευές (προ του 1985), οι συνδετήρες ήταν μικρής διατομής, χωρίς κλειστά άκρα και σε μεγάλες σχετικά αποστάσεις s_h , προκύπτει ότι το απαιτούμενο $l_{bu,min}$ είναι μεγαλύτερο του $l_{b,min}$, τιμή που είναι πολύ κοντά στα απαιτούμενα από τους σύγχρονους κανονισμούς μήκη υπερκάλυψης των ράβδων στο σχεδιασμό των νέων κατασκευών.

2. Το απαιτούμενο μήκος υπερκάλυψης το οποίο απαιτείται ώστε να αναπτυχθεί πλήρως η τάση διαρροής στις ράβδους με βάση τον ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ είναι προσαυξημένο περίπου κατά 50% σε σύγκριση με εκείνο του ΚΑΝ.ΕΠΕ.
3. Το απαιτούμενο μήκος υπερκάλυψης που απαιτείται ώστε να εξασφαλιστεί στην περιοχή η ίδια παραμορφωσιμότητα αστοχίας που θα εξασφαλιζόνταν αν οι οπλισμοί ήταν συνεχείς, βάσει του ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ αποκλίνει από αυτό του ΚΑΝ.ΕΠΕ., καθώς του ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ είναι προσαυξημένο κατά περίπου 72% από αυτό του ΚΑΝ.ΕΠΕ..

4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΙΟΠ

Σύμφωνα με τα δεδομένα της άσκησης υπολογίζουμε το απαιτούμενο πάχος ενίσχυσης με ΙΟΠ, με χρήση και των πέντε σχέσεων που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Έπειτα, διερευνάται το πλήθος των στρώσεων, που θα τοποθετηθούν ώστε να καλυφθεί η απαίτηση για την κάθε σχέση (για πλήθος στρώσεων > 3 εφαρμόζεται ο μειωτικός συντελεστής ψ όπως αυτός ορίστηκε παραπάνω).

ΣΧΕΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ	ΠΛΗΘΟΣ ΣΤΡΩΣΕΩΝ	Ψ ΜΕΙΩΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΑΧΟΣ
ΚΑΝ.ΕΠΕ. (ΣΧΕΣΗ 8.3)	0.76 mm	8	0.595	0.794 mm
ΚΑΝ.ΕΠΕ. (ΣΧΕΣΗ Σ.8.1α)	0.203 mm	2	1	0.334 mm
ΚΑΝ.ΕΠΕ. (ΣΧΕΣΗ Σ.8.1β)	0.153 mm	1	1	0.167 mm
MAX (ΣΧΕΣΗ Σ.8.1)	0.203 mm	2	1	0.334 mm
EK 8 - 3 (2022) θγ	0.355 mm	3	1	0.501 mm
EK 8 - 3 (2022) θι	Δεν μπορεί να ενισχυθεί	-	-	-

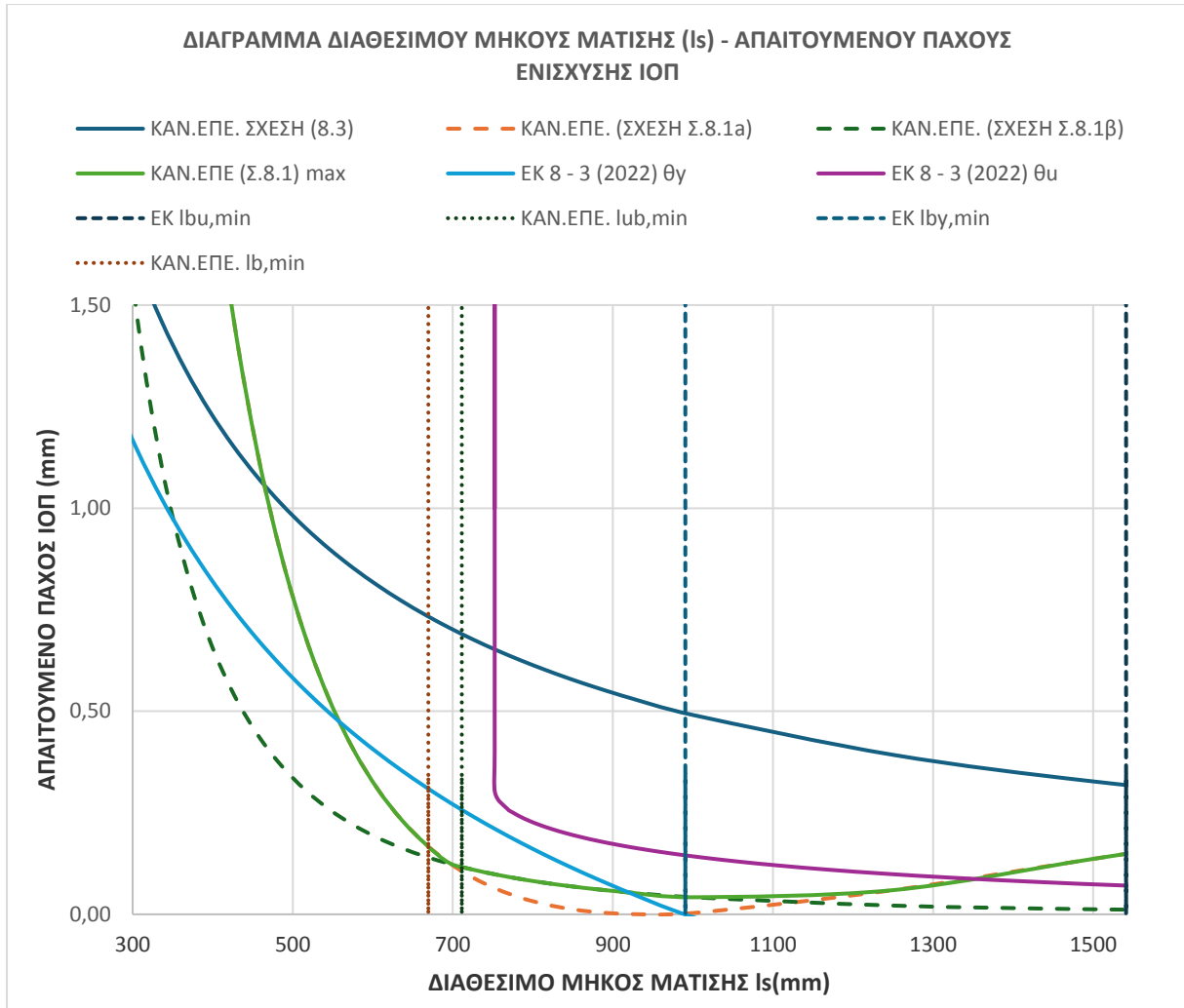
Πίνακας 2: Αποτελέσματα απαιτούμενων παχών και τοποθετούμενων στρώσεων ΙΟΠ

Από τον παραπάνω πίνακα συμπεραίνονται τα εξής:

1. Η σχέση του ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ (2022) για παραμορφωσιμότητα θι δεν μας έδωσε κάποιο αποτέλεσμα διότι η σχέση δε λύνεται αν δεν υπάρχει διαθέσιμο $l_s \geq 752.325$ mm, δηλαδή θα πρέπει να έχει διαθέσιμο τουλάχιστον το μισό μήκος υπερκάλυψης από αυτό που απαιτείται για εξασφάλιση παραμορφωσιμότητας των ράβδων, το οποίο θα σχολιαστεί παρακάτω.
2. Η σχέση 8.3 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (2022) φαίνεται να αποτελεί την πιο συντηρητική λύση, με την πιο υψηλή απαίτηση σε πάχος ενίσχυσης, του οποίου η απαίτηση λόγω του μειωτικού συντελεστή ψ (απώλεια λόγω σχετικής ολίσθησης από 3 και άνω στρώσεις ΙΟΠ) θα αυξηθεί κι άλλο.

4.3 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 ($t_{\text{απ}}$) συναρτήσκει του διατιθέμενου μήκους μάτισης (με εύρος τιμών από το ελάχιστο δυνατό ($\max(0.3l_{so}, 15d_{bL}) = 300$ mm (§8.2.1.2(β)(iii) του ΚΑΝ.ΕΠΕ.) έως το απαιτούμενο μήκος $l_{bu, \min}$ (Ευρωκώδικας 8 – Μέρος 3 (σχέδιο 2022))) παρουσιάζει και για τις τέσσερις σχέσεις την αναμενόμενη μορφή (μειωμένο μήκος l_s συνεπάγεται αυξημένο απαιτούμενο πάχος μανδύα) καθώς και τα όρια για τα ελάχιστα απαιτούμενα μήκη εξασφάλισης διαρροής και παραμορφωσιμότητας του διαμήκη οπλισμού.



Σχήμα 2: Διάγραμμα εκτιμώμενου πάχους ΙΟΠ ($t_{j\alpha\pi}$) – διατιθέμενου μήκους παράθεσης (l_s).

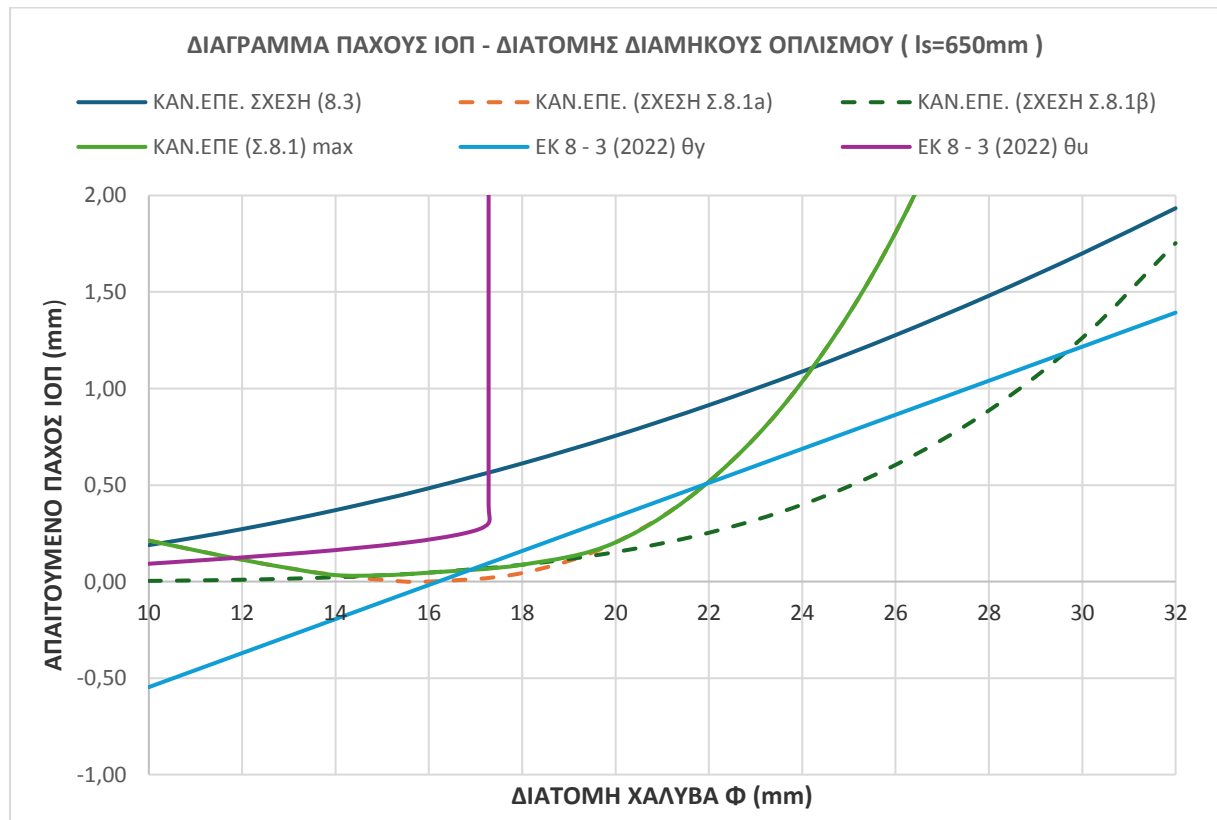
Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνονται τα εξής:

1. Παρατηρούμε κατευθείαν πως η σχέση του ΕΩΡΩΚΩΔΙΚΑ (2022) για το θ_u δεν δίνει λύση για διαθέσιμο μήκος μάτισης $l_s \leq 752.325$ mm. Δηλαδή παρατηρούμε ότι για να υπολογίσει η παραπάνω σχέση απαιτούμενο πάχος ενίσχυσης, θα πρέπει να υπάρχει διαθέσιμο μήκος υπερκαλύψεως των διαμήκων ράβδων τουλάχιστον ίσο με το μισό του απαιτούμενου μήκους υπερκαλύψεως για εξασφάλιση της ίδιας παραμορφωσιμότητας των διαμήκων ράβδων ($l_{bu,min} = 1541.19$ mm). Το παραπάνω μήκος ($l_s \leq 752.325$ mm) σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. αν ήταν διαθέσιμο δεν θα χρειαζόταν ενίσχυση. Αυτό οφείλεται στον παρανομαστή του τύπου ο οποίος περιέχει ελάχιστη τιμή ($\min\left(3; \frac{P_c}{f_{ct}}\right)$). Οπότε θα λέγαμε πως αυτό φαίνεται να αποτελεί την κύρια παρατήρηση πιθανής αδυναμίας του παραπάνω τύπου καθώς για διαθέσιμο μήκος μάτισης $l_s \geq 752.325$ mm οι τιμές των απαιτούμενων παχών ΙΟΠ που δίνονται φαίνονται να είναι λογικές, αφού σε σύγκριση με τους υπόλοιπους διαθέσιμους τύπους ο παραπάνω αποτελεί μία μέση λύση των υπολοίπων.
2. Πιο συντηρητική σχέση από όλες αποδεικνύεται πως είναι η ΣΧΕΣΗ (8.3) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. καθώς βρίσκεται διαρκώς προσαυξημένη κατά τουλάχιστον 50% έως και 350% σε σύγκριση με τις υπόλοιπες, εκτός από εκείνες τις τιμές του διαθέσιμου μήκους μάτισης που είναι μικρότερες των 450mm. Για μικρές τιμές μήκους μάτισης, δηλαδή κοντά στο όριο ενίσχυσης (μικρότερες των 450mm) πιο συντηρητική σχέση είναι η ΣΧΕΣΗ (Σ. 8.1 α) του ΚΑΝ.ΕΠΕ.
3. Η ΣΧΕΣΗ (Σ. 8.1 β) κατά κύριο λόγο φαίνεται να υποεκτιμά (εκτός από λίγα σημεία) το απαιτούμενο πάχος ΙΟΠ συγκριτικά με τις υπόλοιπες σχέσεις.

4. Παρατηρείται πιθανή ανωμαλία στην ΣΧΕΣΗ (Σ 8.1 α) καθώς η σχέση μηδενίζεται για εύρος τιμών διαθέσιμου μήκους υπερκάλυψης l_s από 900mm έως 1000mm το οποίο φαίνεται λογικό, αφού αν έχω επαρκές μήκος μάτισης δεν χρειάζεται ενίσχυση, αλλά από εκεί και έπειτα αρχίζει αύξουσα πορεία για το απαιτούμενο πάχος ΙΟΠ το οποίο αποτελεί την ανωμαλία της προαναφερθείσας σχέσης, οπου δεν μπορούμε να απορρίψουμε διότι σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. πρέπει να κρατήσουμε τις μέγιστες τιμές μεταξύ των σχέσεων (Σ. 8.1 α) και (Σ. 8.1 β).
5. Η σχέση του ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ (2022) για θ_γ , παρουσιάζει λογικά αποτελέσματα αφού ούτε υπερεκτιμά, ούτε και υποεκτιμά το απαιτούμενο πάχος ενίσχυσης με ΙΟΠ και όταν είναι διαθέσιμο το ελάχιστο μήκος υπερκάλυψης ώστε να αναπτυχθεί πλήρως η τάση διαρροής αυτή μηδενίζεται, όπως αναμένουμε να γίνει. Σε αντίθεση με την σχέση του ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ (2022) για το θ_u , όπου όταν είναι διαθέσιμο το ελάχιστο μήκος υπερκάλυψης που απαιτείται ώστε να εξασφαλιστεί στην περιοχή η παραμορφωσιμότητα αστοχίας αυτή δεν μηδενίζεται.

4.4 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟ ΤΩΝ ΜΑΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΡΑΒΔΩΝ

Μια επιπλέον παράμετρος που υπεισέρχεται σε όλες τις εξεταζόμενες σχέσεις για την εύρεση του απαιτούμενου πάχους ($t_{j\alpha\pi}$) είναι η διάμετρος των ματιζόμενων ράβδων d_{bL} . Οι καμπύλες σχεδιάστηκαν για εύρος τιμών 10 mm έως 32 mm, και δείχνουν καθαρά τη σχέση εξάρτησης του απαιτούμενου πάχους μανδύα και της διαμέτρου των ματιζόμενων ράβδων (μεγαλύτερης διαμέτρου ράβδοι οπλισμού συνεπάγεται αυξημένο απαιτούμενο μήκος παράθεσης και κατά συνέπεια μεγάλη πάχη μανδύα περισφιγξης).



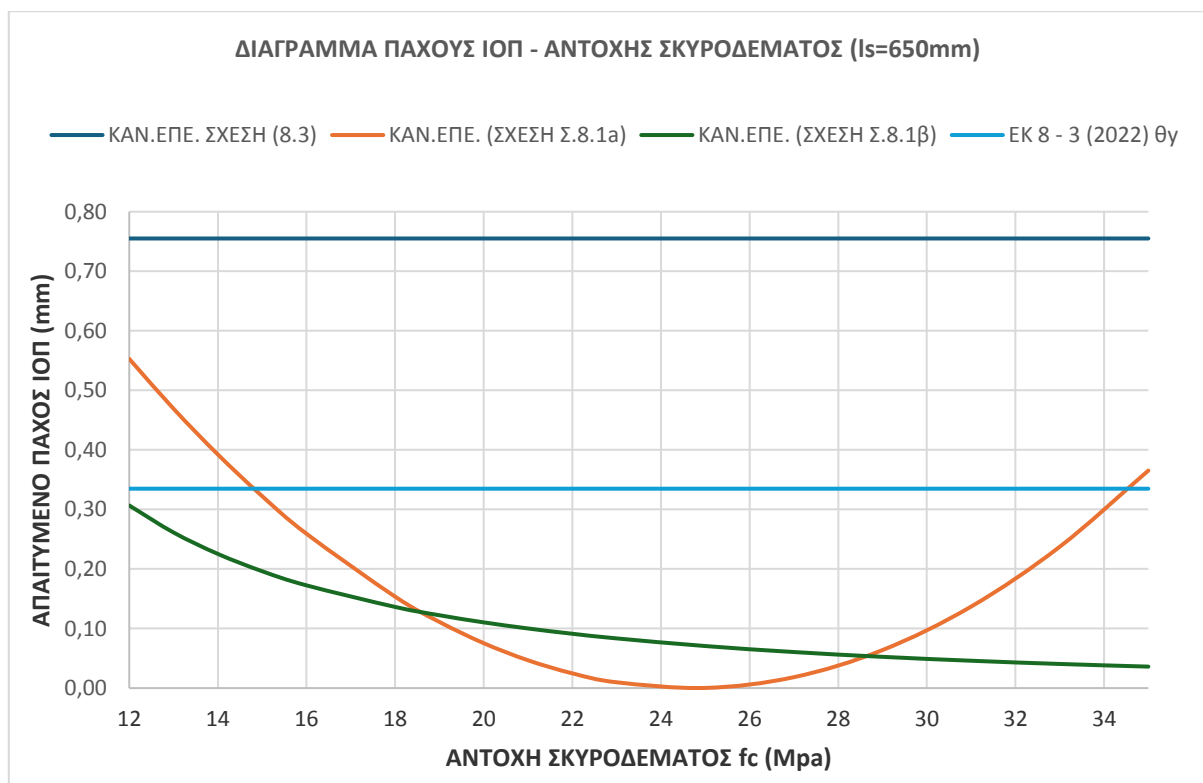
Σχήμα 3: Διάγραμμα εκτιμώμενου πάχους μανδύα ($t_{j\alpha\pi}$) - διαμέτρου ματιζόμενης ράβδου (d_{bL}).

1. Παρατηρούμε ξανά πως η σχέση του ΕΚ8-3 (2022) για το θ_u , δεν υπολογίζει τιμές του πάχους ενίσχυσης για διάμετρο διαμήκους οπλισμού μεγαλύτερη των 17mm, αυτό γίνεται διότι η παραπάνω σχέση για να υπολογίσει αποτελέσματα πιθανόν να χρειάζεται περισσότερο διαθέσιμο μήκος μάτισης.

2. Πιο συντηρητική σχέση είναι και πάλι η ΣΧΕΣΗ (8.3) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. καθώς βρίσκεται διαρκώς προσαυξημένη σε σύγκριση με τις υπόλοιπες, εκτός των διαμέτρων που είναι μεγαλύτερες των 24mm. Για εκείνες τις διαμέτρους πιο συντηρητική σχέση είναι η ΣΧΕΣΗ (Σ. 8.1 α) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Παρατηρούμε λοιπόν πολλά κοινά με το 1^ο διάγραμμα.
3. Επίσης η ΣΧΕΣΗ (Σ. 8.1 β) φαίνεται να ακολουθεί μία περιέργη πορεία καθώς από διαμέτρους των 10mm μέχρι διαμέτρους των 16mm φθίνει το απαιτούμενο πάχος ενίσχυσης (θα έπρεπε να έχει αύξουσα πορεία). Από την στιγμή που το απαιτούμενο πάχος ενίσχυσης μηδενίζει (16mm) και έπειτα η καμπύλη ακολουθεί μία υπερβολικά αύξουσα πορεία, η οποία ξεφεύγει από τις υπόλοιπες. Σε αντίθεση με την ΣΧΕΣΗ (Σ 8.1 α) που διατηρεί μία σταθερά αυξανόμενη πορεία χωρίς υπερβολικές αυξομειώσεις. Αυτό μας κάνει να αναρωτηθούμε αν πρέπει να κρατάμε την μέγιστη τιμή απαιτούμενου πάχους ενίσχυσης από τις δύο σχέσεις ή αν θα έπρεπε να υπάρχει ένα επιπλέον κριτήριο για την τιμή που θα κρατάμε τελικά.
4. Τέλος για την σχέση του ΕΚ8-3 (2022) για θ_y παρατηρούμε ότι παρόλο που αυξάνεται γραμμικά, οι τιμές τις για διάμετρο μικρότερη των 16mm είναι αρνητικές.

4.5 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Στη συνέχεια μελετάται η καμπύλη του απαιτούμενου πάχους ($t_{\alpha\pi}$) θεωρώντας μεταβλητή την ποιότητα του σκυροδέματος f_{ck} (με εύρος τιμών 12 MPa έως 35 MPa).



Σχήμα 4: Διάγραμμα εκτιμώμενου πάχους μανδύα ($t_{\alpha\pi}$) - χαρακτηριστικής τιμής αντοχής σκυροδέματος (f_{ck}).

1. Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως η σχέση (8.3) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. καθώς και αυτή του σχεδίου του ΕΚ8-3 (2022) για θ_y , πέραν του ότι κι εδώ η (8.3) είναι πάλι πιο συντηρητική, 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} .

2. Αντίθετα η ΣΧΕΣΗ (Σ. 8.1 β) λαμβάνει υπόψη την αντοχή σκυροδέματος. Παρόλο που δίνει χαμηλές τιμές πάχους φθίνει ομαλά όπως και αναμένουμε αφού η αυξημένη ποιότητα σκυροδέματος μειώνει το απαιτούμενο μήκος υπερκάλυψης.
3. Τέλος η ΣΧΕΣΗ (Σ 8.1 α) φαίνεται να είναι σωστή μέχρι την τιμή που μηδενίζει (25 MPa) από εκεί και έπειτα αρχίζει να αυξάνεται το απαιτούμενο πάχος ΙΟΠ μαζί με την αύξηση της αντοχής το οποίο δεν είναι λογικό, καθώς τα δύο μεγέθη είναι αντιστρόφως ανάλογα και όχι ανάλογα.

5. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΤΟΠΙΚΗ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΚΑΝ.ΕΠΕ.– ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8-ΜΕΡΟΣ 3 (ΣΧΕΔΙΟ 2022)

5.1 ΤΟΠΙΚΗ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

5.1.1 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΚΑΝ.ΕΠΕ

Στα υφιστάμενα στοιχεία η πλαστιμότητα μθ ορίζεται μέσω του λόγου της στροφής χορδής στη διαρροή και στην αστοχία : $\mu_{\theta} = \frac{\theta_u}{\theta_y}$. Οι εξισώσεις των θ_y , θ_u παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

$$\theta_y = \varphi_y \frac{L_s + a_v z}{3} + 0,0014 \left(1 + 1,5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\varphi_y d_b f_y}{8 \sqrt{f_c}} \quad (\text{εξ.Σ.2α ΚΑΝ.ΕΠΕ})$$

Αν η διαρροή της διατομής οφείλεται στη διαρροή του εφελκόμενου οπλισμού:

$$\varphi_y = \frac{f_y}{E_s(1-\xi_y)d} \quad (\text{Σ4. του ΚΑΝ.ΕΠΕ})$$

$$\xi_y = (a^2 A^2 + 2aB)^{1/2} - aA \quad (\text{Παράρτημα 7. Α.3 του ΚΑΝ.ΕΠΕ})$$

$$A = \rho + \rho' + \rho_v + \frac{N}{bdf_y} \quad (\text{Παράρτημα 7. Α.4α. του ΚΑΝ.ΕΠΕ})$$

$$B = \rho + \rho' \delta' + 0,5\rho_v(1 + \delta') + \frac{N}{bdf_y} \quad (\text{Παράρτημα 7. Α.4α. του ΚΑΝ.ΕΠΕ})$$

$$\delta' = \frac{d'}{d}$$

$$a = \frac{E_s}{E_c}$$

$$L_s = \frac{L}{2}$$

$$\alpha_v = 0$$

$$\text{Επειδή } V_{R,C} > V_{M,u} = \frac{M_y}{L_s}$$

$$M_y = A_s z f_y$$

$$V_y = \frac{M_y}{L_s}$$

$$\frac{V_{RC}}{b_w d} = \left[180(100\rho_L)^{\frac{1}{3}}, 35 \sqrt{1 + \sqrt{\frac{0,2}{d}} f_c^{\frac{1}{6}}} \right] \left(1 + \sqrt{\frac{0,2}{d}} \right) f_c^{\frac{1}{3}} + 0,15 \frac{N}{A_c} \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ.Σ.3})$$

Αν η διαρροή της διατομής οφείλεται στη μη γραμμικότητα των παραμορφώσεων του σκυροδέματος:

$$\varphi_y = \frac{1,8f_c}{E_c \xi_y d} \quad (\text{Σ.5 του ΚΑΝ.ΕΠΕ})$$

$$A = \rho + \rho' + \rho_v - \frac{N}{1,8abdf_y} \quad (\text{Παράρτημα 7. Α.5α. του ΚΑΝ.ΕΠΕ})$$

$$B = \rho + \rho' \delta' + 0,5\rho_v(1 + \delta') \quad (\text{Παράρτημα 7. Α.5α. του ΚΑΝ.ΕΠΕ})$$

Η καμπυλότητα διαρροής προκύπτει ως η μικρότερη από τις 2 περιπτώσεις και στη προκειμένη περίπτωση η διαρροή της διατομής είναι μικρότερη, όταν οφείλεται στη μη γραμμικότητα των παραμορφώσεων του σκυροδέματος.

Η γωνία στροφής στην αστοχία θ_u προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση:

$$\theta_u = 0,016(0,3^v) \left[\frac{\max(0,01;\omega')}{\max(0,01;\omega_{tot}-\omega')} f_c \right]^{0,225} a_s^{0,35} 25^{(a_{\rho_s} \frac{f_{yw}}{f_c})} 1,25^{(100\rho_d)} \quad (\Sigma.11\alpha \text{ του ΚΑΝ.ΕΠΕ})$$

$$\omega' = \frac{A_s 2 f_{yd}}{b h f_{cd}}$$

$$\omega_{tot} = \frac{A_{stot} f_{yd}}{b h f_{cd}}$$

φ_y : η καμπυλότητα διαρροής

ξ_y : το ύψος της θλιβόμενης ζώνης ανοιγμένο στο στατικό ύψος d

ρ : το εφελκόμενο ποσοστό οπλισμού

ρ' : το θλιβόμενο ποσοστό οπλισμού

ρ_n : το ενδιάμεσο ποσοστό οπλισμού

N: η αξονική δύναμη

d_{bl} : η διάμετρος του διαμήκους οπλισμού

E_s : το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα

V_{RC} : η αντοχή της διατομής σε λοξή ρηγμάτωση

V_y : η τέμνουσα στην καμπτική διαρροή

a_{vz} : το μήκος μετάθεσης στο διάγραμμα καμπτικών ροπών

α : ο λόγος των μέτρων ελαστικότητας (στην εξίσωση του θ_y)

ω_{tot} : το συνολικό μηχανικό ποσοστό του οπλισμού

ω' : το μηχανικό ποσοστό του θλιβόμενου οπλισμού

α_s : ο λόγος διάτμησης

α : ο συντελεστής περίσφιξης (στην εξίσωση του θ_u)

f_{yw} : η τάση διαρροής συνδετήρων

ρ_d : το ποσοστό δισδιαγώνιου οπλισμού

5.1.2 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8 -ΜΕΡΟΣ 3 (ΣΧΕΔΙΟ 2022):

$$\theta_y = \varphi_y \frac{L_s + a_{vz}}{3} + 0,0019 \left(1 + \frac{h}{1,6L_s} \right) + \frac{\varphi_y d_{bl} f_y}{8\sqrt{f_c}} \quad (\sigma\chi\acute{\epsilon}\sigma\eta \text{ Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 (σχέδιο 2022)})$$

$$\theta_u = \theta_y + \theta_u^{pl} \quad (\sigma\chi\acute{\epsilon}\sigma\eta \text{ Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 (σχέδιο 2022)})$$

$$\theta_u^{pl} = \kappa_{conform} * \kappa_{axial} * \kappa_{rein} * \kappa_{concrete} * \kappa_{shearspan} * \kappa_{confinement} * \theta_{u0}^{pl} \quad (\sigma\chi\acute{\epsilon}\sigma\eta \text{ Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 (σχέδιο 2022)})$$

$\kappa_{conform}$: 1 θεωρώντας ότι η κατασκευή έχει σχεδιασθεί αντισεισμικά

$$\kappa_{axial} = 0,2^v$$

$$\kappa_{rein} = \left[\frac{\max(0,01;\omega')}{\max(0,01;\omega_{tot}-\omega')} \right]^{0,225}$$

$$\kappa_{concrete} = \left(\min \left(2, \frac{f_c}{25} \right) \right)^{0,1}$$

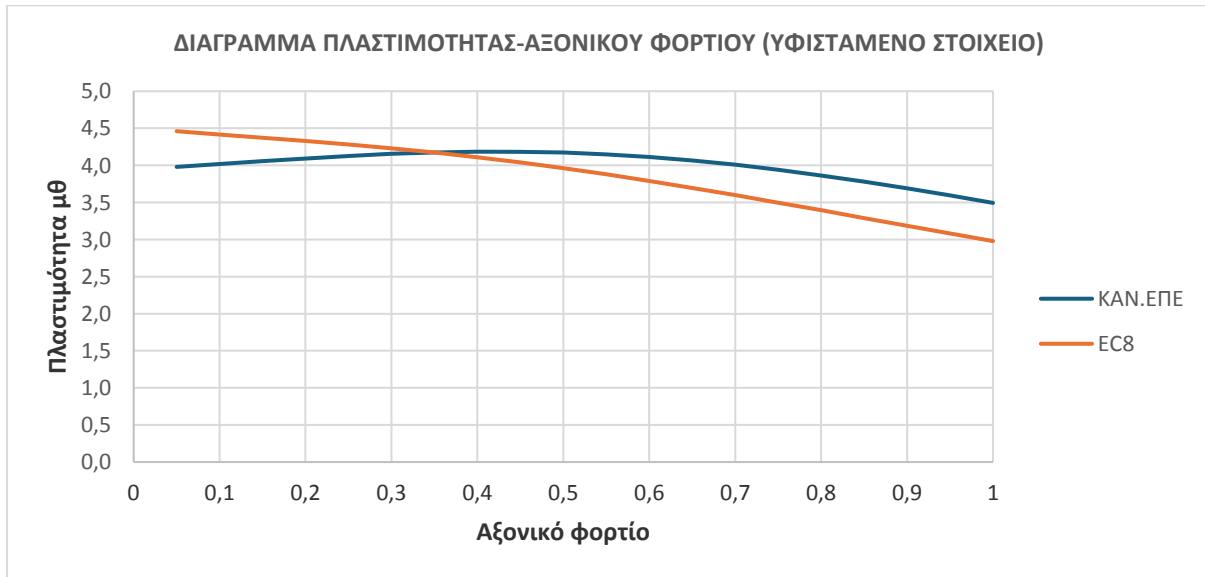
$$\kappa_{shearspan} = \left[\frac{1}{2,5} \min \left(9, \frac{L_s}{h} \right) \right]^{0,35}$$

$$\kappa_{confinement} = 24^{\max \left(\left(\frac{\alpha_{\rho_s} f_{yw}}{f_c} \right), \left(\frac{\alpha \rho f_u}{f_c} \right) \right)}$$

$\theta_{u0}^{pl} = 0,039$ για υποστύλωματα και δοκούς ορθογωνικής διατομής: Είναι μία τιμή της πλαστικής γωνίας στροφής για ένα μέλος θεωρώντας ότι 1) έχει σχεδιασθεί αντισεισμικά, 2) η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος είναι 25MPa, 3) $\frac{L_s}{h} = 2,5$ για μέγιστη ροπή 4) έχει μηδενική αξονική δύναμη 5) έχει συμμετρικό οπλισμό κατανεμημένο στα άκρα της διατομής.

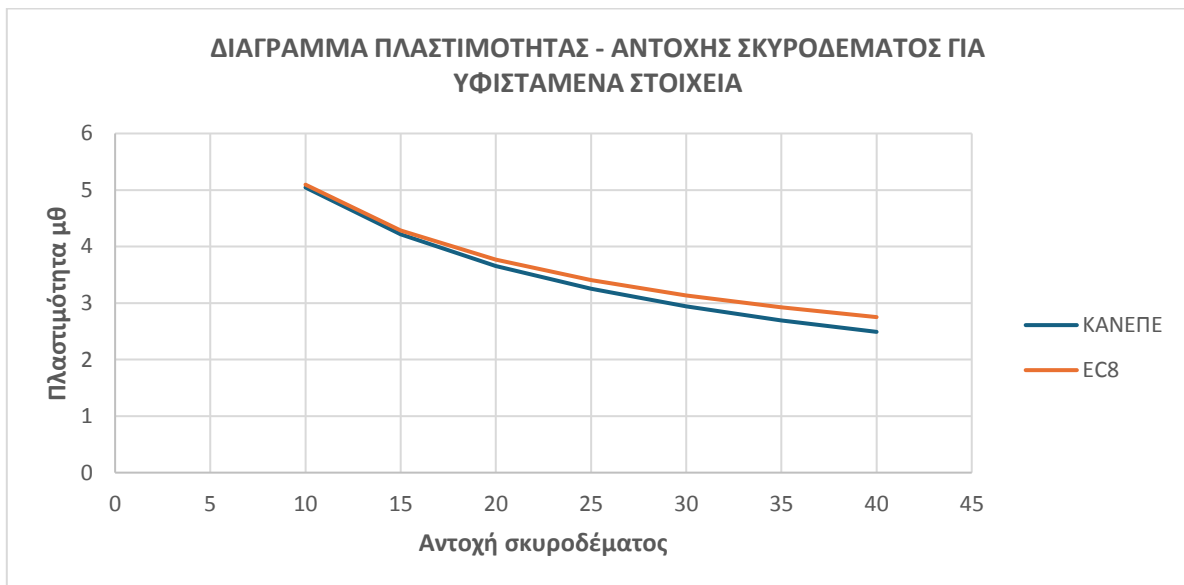
$\kappa_{conform}, \kappa_{axial}, \kappa_{rein}, \kappa_{concrete}, \kappa_{shearspan}, \kappa_{confinement}$: Είναι συντελεστές διόρθωσης της θ_{u0}^{pl} , ώστε να ανταποκρίνεται στη πραγματικότητα.

5.1.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ – ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΟΠΙΚΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ – ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΤΩΝ 2 ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ:



Σχήμα 5: Διάγραμμα πλαστιμότητας – αξονικού φορτίου για το υφιστάμενο στοιχείο.

Το συμπέρασμα που βγαίνει από το διάγραμμα είναι ότι και στους 2 κανονισμούς το αξονικό φορτίο έχει πολύ μικρή επιρροή στην πλαστιμότητα στα στοιχεία που δεν έχουν ενισχυθεί. Η καμπύλη του ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ φαίνεται να είναι πιο λογική, καθώς βλέπουμε μια ομαλή πτώση της πλαστιμότητας όσο αυξάνεται το αξονικό φορτίο, ενώ στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. δε βγαίνει ξεκάθαρο συμπέρασμα, αφού η καμπύλη αρχικά αυξάνεται και έπειτα μειώνεται.



Σχήμα 6: Διάγραμμα πλαστιμότητας – αντοχής σκυροδέματος για το υφιστάμενο στοιχείο.

Στο παραπάνω διάγραμμα οι καμπύλες των 2 κανονισμών σχεδόν ταυτίζονται, το οποίο είναι λογικό λόγω το ότι οι εξισώσεις που τις παρήγαγαν είναι παρόμοιες. Επίσης προκαλεί εντύπωση το γεγονός, ότι η αύξηση της αντοχής σκυροδέματος μειώνει την πλαστιμότητα και αυτό οφείλεται στο ότι η αύξηση της αντοχής του αυξάνει δυσανάλογα το σημείο διαρροής και το σημείο αστοχίας του στοιχείου.

5.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ ΣΤΟ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ

5.2.1 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΚΑΝ.ΕΠΕ:

Σε όρους καμπυλοτήτων η πλαστιμότητα για ενίσχυση με ΙΟΠ εκφράζεται ως εξής:

$$\mu_{\varphi} = \frac{f_{cc} * \varepsilon_{cu,c}}{f_c * 2,6 * \nu * \varepsilon_{sy}} \quad (\Sigma 6.15\beta \text{ του ΚΑΝ. ΕΠΕ.})$$

Όπου : $\mu_{\varphi} = 3\mu_{\theta} - 2$ (Σχόλιο της §6.5 του ΚΑΝ. ΕΠΕ.)

Σε όρους στρωφής χορδής :

$$\mu_{\theta} = \frac{\frac{f_{cc} * \varepsilon_{cu,c}}{f_c * 2,6 * \nu * \varepsilon_{sy}} + 2}{3}$$

$$\frac{f_{cc}}{f_c} = 1 + K \quad (\sigma\chi\acute{\epsilon}\sigma\eta 6.20 \text{ του ΚΑΝ. ΕΠΕ.})$$

Για περίσφιγξη με ΙΟΠ με ίνες άνθρακα :

$$\varepsilon_{cu,c} = 0,0035 * (1 + K)^2 \quad (\sigma\chi\acute{\epsilon}\sigma\eta 6.21 \text{ του ΚΑΝ. ΕΠΕ.})$$

$$K = 3,5 * \Lambda^{3/4}$$

$$\Lambda = \alpha * \rho_{jx} * f'_{ju} / f_c$$

$$\rho_{jx} = \frac{2kt}{b}$$

$$\alpha = \alpha_n * \alpha_s$$

$$\alpha_s = 1 \quad (\text{για ενίσχυση με ΙΟΠ})$$

$$\alpha_n = 1 - \frac{1}{3 * A_c} [b_c^2 (1 - \beta)^2 + d_c^2 (1 - \gamma)^2] = 0,7 \quad (\Sigma 6.13\beta \text{ του ΚΑΝ. ΕΠΕ.})$$

$$A_c = b_c * d_c$$

$$\beta = \frac{2b_p}{b_c}$$

$$\gamma = \frac{2d_p}{d_c}$$

$$F_{ju,res} = \varepsilon_{ju,res} * E_j = (\varepsilon_u - \varepsilon_0) E_j = (\varepsilon_u - \frac{t_1}{2R}) E_j = (f_{ju} - \frac{t_1 * E_j}{2R}) \quad (\sigma\chi\acute{\epsilon}\sigma\eta \text{ της } \S 4.4.3 \text{ (ε) του ΚΑΝ. ΕΠΕ.})$$

Για μεγάλο πλήθος στρώσεων ΙΟΠ : $f'_{ju} = f_{ju,res} * \psi$, όπου $\psi = k^{-1/4} \geq \frac{3}{k}$

Για $k \geq 4$ και $\psi=1$ για $k \leq 3$ (σχόλιο της §6.2.3 του ΚΑΝ. ΕΠΕ.)

Όπου :

f_{cc} : η αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος

α : ο συντελεστής περίσφιγξης της διατομής

ρ_{jx} : το γεωμετρικό ποσοστό του ΙΟΠ στη διατομή

k : το πλήθος στρώσεων ΙΟΠ

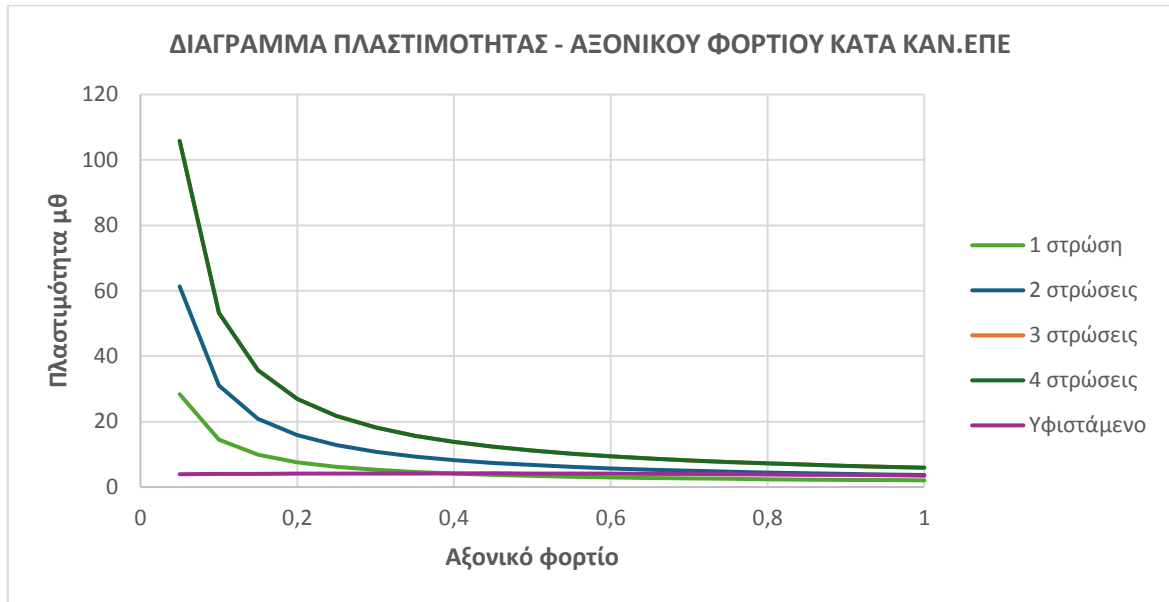
t : το πάχος των στρώσεων ΙΟΠ

b : το πλάτος της διατομής

$F_{ju,res}$: η μειωμένη αντοχή του ΙΟΠ λόγω εξομάλυνσης των γωνίων

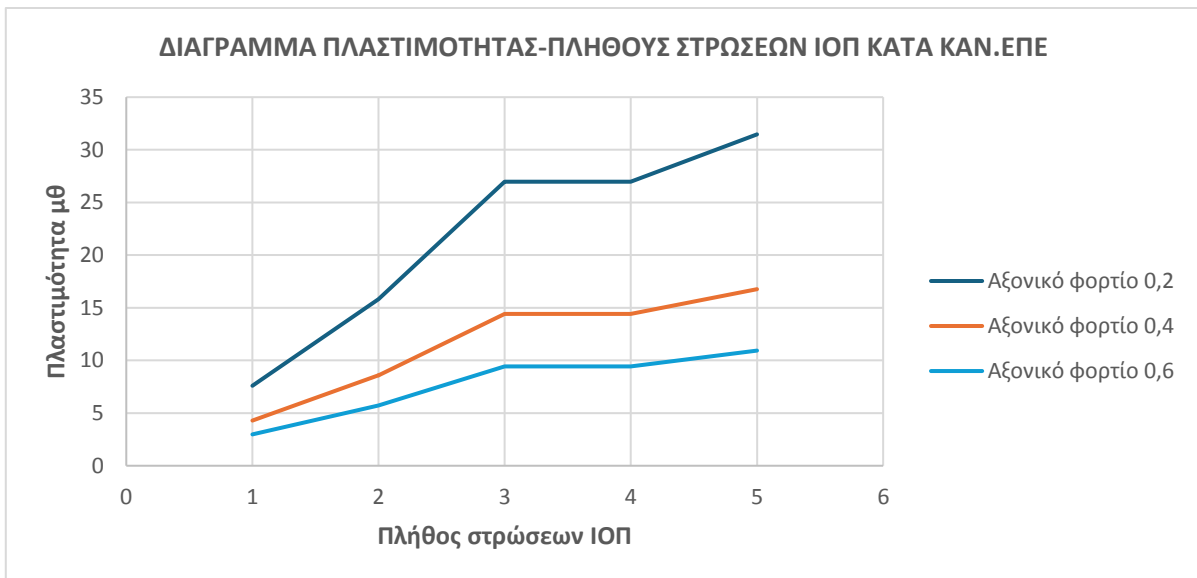
ψ : μειωτικός συντελεστής λόγω εφαρμογής πολλών στρώσεων

5.2.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ – ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΟΠΙΚΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΚΑΝ.ΕΠΕ:



Σχήμα 7: Διάγραμμα πλαστιμότητας – αξονικού φορτίου για το ενισχυμένο στοιχείο (ΚΑΝ.ΕΠΕ.).

Για χαμηλές τιμές αξονικού φορτίου $v < 0,4$, η προσθήκη στρώσης ΙΟΠ αυξάνει κατά πολύ την πλαστιμότητα ενώ για τιμές $v > 0,4$ οι καμπύλες τείνουν να ταυτιστούν οδηγώντας μας στο συμπέρασμα, ότι το αξονικό φορτίο σταματάει να επηρεάζει σημαντικά το αποτέλεσμα. Παρατηρούμε επίσης ότι όταν η διατομή δεν ενισχύεται η πλαστιμότητα είναι ανεξάρτητη του αξονικού φορτίου δίνοντας μία σχεδόν οριζόντια καμπύλη, καθώς και ότι η καμπύλη των 3 στρώσεων δε φαίνεται στο διάγραμμα και αυτό συμβαίνει διότι ταυτίζεται με την καμπύλη των 4 στρώσεων λόγω της ύπαρξης του συντελεστή ψ .



Σχήμα 8: Διάγραμμα πλαστιμότητας – πλήθους στρώσεων ΙΟΠ για το ενισχυμένο στοιχείο για διάφορες τιμές του αξονικού φορτίου. (ΚΑΝ.ΕΠΕ.).

Σε αυτό το διάγραμμα εξετάζεται η επιρροή του πλήθους στρώσεων ΙΟΠ στην πλαστιμότητα ανάλογα με το δεδομένο αξονικό φορτίο και αυτό που παρατηρούμε είναι ότι όσο περισσότερες στρώσεις τοποθετηθούν, τόσο μεγαλύτερη πλαστιμότητα επιτυγχάνεται. Από το σχήμα βγαίνουν αλλά 2 συμπεράσματα όπως το ότι η προσθήκη της 4^{ης} στρώσης δεν αλλάζει την πλαστιμότητα, το οποίο

συμβαίνει όπως και πριν λόγω του συντελεστή ψ και ότι στην εφαρμογή των αρχικών στρώσεων η τιμή της πλαστιμότητας αυξάνεται ταχύτερα από ότι στην εφαρμογή της τελευταίας στρώσης και παλι λόγω του συντελεστή ψ .

5.2.3 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8 - ΜΕΡΟΣ 3 (ΣΧΕΔΙΟ 2022):

Όταν εφαρμόζεται περίσφιγξη σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα ακολουθείται η ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε παραπάνω στο υφιστάμενο στοιχείο με τη διαφοροποίηση, ότι ως αντοχή σκυροδέματος λαμβάνεται η αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος όπως ορίζεται παρακάτω:

$$f_{cc} = 1 + 3,3 \left(\frac{b_x}{b_y} \right)^2 \left(\frac{\alpha \rho_{jx} f_{u,j}}{f_c} \right) \text{ (σχέση Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 (σχέδιο 2022))}$$

$$f_{u,j} = E_j (k_{eff} * \epsilon_{u,j}) \text{ (σχέση Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 (σχέδιο 2022))}$$

$$k_{eff} = 0,6 \text{ για CFRP}$$

$\epsilon_{u,j}$: Λαμβάνεται το μικρότερο των 0,015 και της παραμόρφωσης θραύσης που ορίζει ο προμηθευτής

$$\rho_{jx} = \frac{2kt}{b}$$

$$\frac{\alpha \rho_{jx}}{f_c} = \alpha * c_j * \lambda * (1 - 0,5\lambda)$$

$$\lambda = \min \left(0,4, \frac{k_{eff} * \epsilon_{u,j} * E_j \rho_{jx}}{f_c} \right)$$

$$c_j = 1,9 \text{ για CFRP}$$

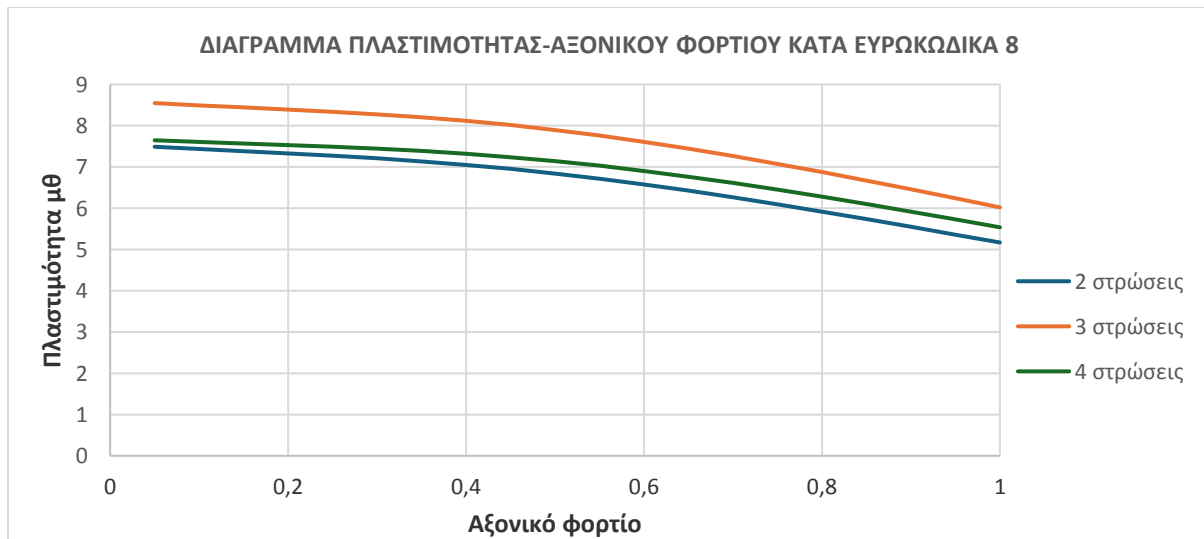
Όπου :

k_{eff} : ένας συντελεστής αποδοτικότητας του ΙΟΠ

$\epsilon_{u,j}$: η παραμόρφωση αστοχίας του ΙΟΠ

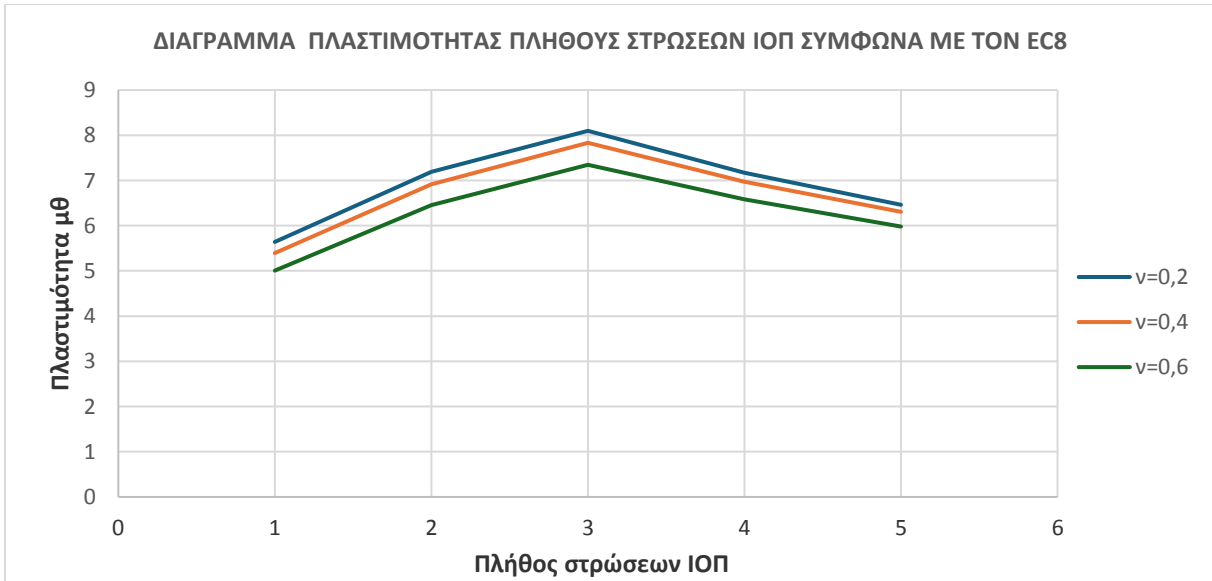
c_j : ένας συντελεστής που εξαρτάται από το υλικό

5.2.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ – ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΟΠΙΚΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8 - ΜΕΡΟΣ 3 (ΣΧΕΔΙΟ 2022):



Σχήμα 9: Διάγραμμα πλαστιμότητας – αξονικού φορτίου για διάφορες στρώσεις ΙΟΠ (ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ).

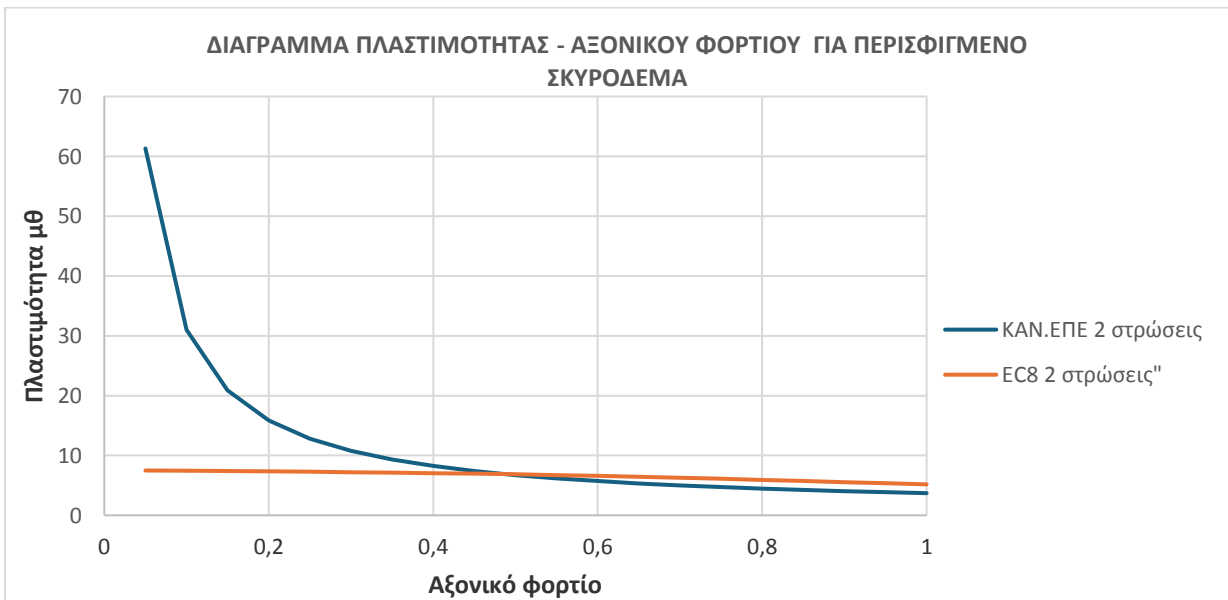
Στο διάγραμμα βλέπουμε μία ομαλότητα στην πτώση της πλαστιμότητας όσο μεγαλώνει το αξονικό φορτίο, παρόλα αυτά η πτώση αυτή είναι της τάξεως των 2 μονάδων σε όλες τις περιπτώσεις οδηγώντας μας στο συμπέρασμα ότι το αξονικό φορτίο δεν επηρεάζει σημαντικά την πλαστιμότητα μθ.



Σχήμα 10: Διάγραμμα πλαστιμότητας – πλήθους στρώσεων ΙΟΠ για διάφορες τιμές του αξονικού φορτίου (ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ).

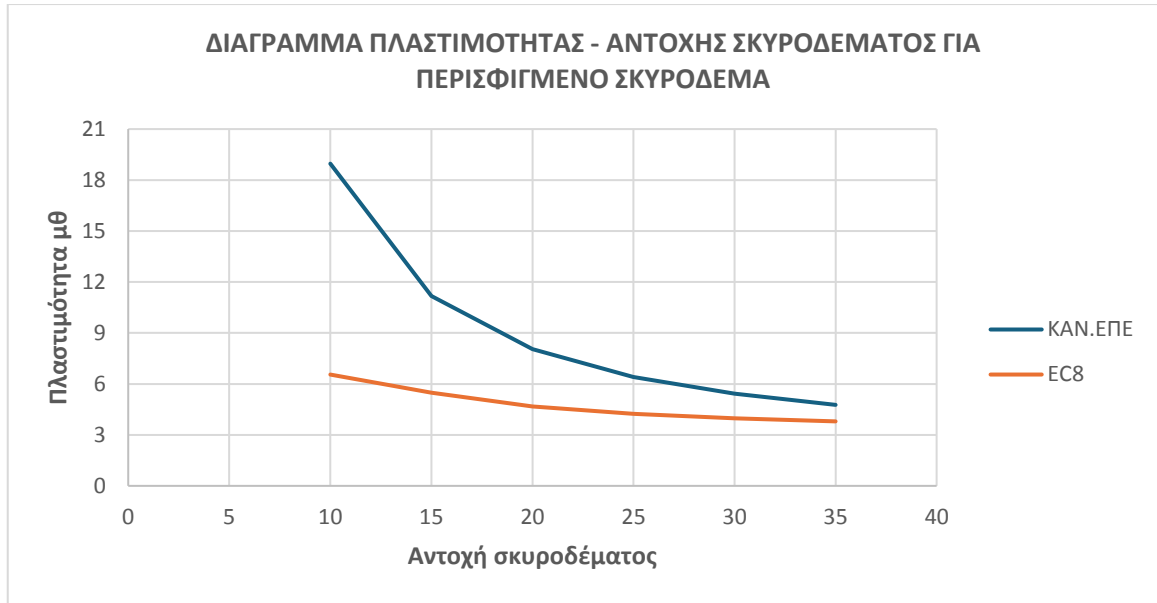
Εδώ παρατηρούμε μία τελείως διαφορετική εξάρτηση της πλαστιμότητας με το πλήθος των στρώσεων ΙΟΠ σε σχέση με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ όπου η πλαστιμότητα αυξάνεται μέχρι την 3^η στρώση και ύστερα μειώνεται μέχρι την Πέμπτη στρώση. Αυτό συμβαίνει διότι οι γωνίες στροφής χορδής στη διαρροή και στην αστοχία μεταβάλλονται δυσανάλογα.

5.2.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ – ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΟΠΙΚΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ – ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΤΩΝ 2 ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ



Σχήμα 11: Διάγραμμα πλαστιμότητας – αξονικού φορτίου για σύγκριση ΚΑΝ.ΕΠΕ. - ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ.

Στα διαγράμματα βλέπουμε σημαντικές διαφορές στους 2 κανονισμούς ειδικά για τιμές του αξονικού φορτίου $v < 0.4$ όπου ο ΚΑΝ.ΕΠΕ έχει μία πολύ μεγάλη πτώση από τιμές $\mu\theta = 60$ σε τιμές $\mu\theta = 10$, ενώ ο ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ δε μεταβάλλεται σχεδόν καθόλου.



Σχήμα 12: Διάγραμμα πλαστιμότητας – μέσης αντοχής σκυροδέματος για σύγκριση ΚΑΝ.ΕΠΕ. – ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ.

Σε αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε ότι για την ίδια ενίσχυση οι 2 κανονισμοί παρουσιάζουν πολύ διαφορετική εξάρτηση από την αντοχή σκυροδέματος. Συγκεκριμένα ο ΚΑΝ.ΕΠΕ για τιμές μέσης αντοχής σκυροδέματος μικρότερες των 20MPa δίνει τιμές πλαστιμότητες υπερδιπλάσιες του ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζουμε τις διαφορές παρατηρήσεις που αναλύθηκαν παραπάνω επιμένοντας σε αυτές που θεωρήσαμε πιο σημαντικές, οι οποίες και παρουσιάζονται παρακάτω:

6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΝΟΤΗΤΑ 4

1. Το απαιτούμενο μήκος υπερκαλύψεως ώστε να εξασφαλιστεί στην περιοχή η ίδια παραμορφωσιμότητα αστοχίας που θα εξασφαλιζόταν αν οι οπλισμοί ήταν συνεχείς, βάσει του ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ αποκλίνει από αυτό του ΚΑΝ.ΕΠΕ., καθώς του ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ είναι προσαυξημένο κατά περίπου 72% από αυτό του ΚΑΝ.ΕΠΕ.
2. Το απαιτούμενο μήκος υπερκάλυψης ώστε να αναπτυχθεί πλήρως η τάση διαρροής των διαμήκων ράβδων με βάση τον ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ είναι προσαυξημένο περίπου κατά 50% σε σύγκριση με εκείνο του ΚΑΝ.ΕΠΕ.
3. Η σχέση του ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ που υπολογίζει το απαιτούμενο πάχος ενίσχυσης με ΙΟΠ για την εξασφάλιση της ίδιας παραμορφωσιμότητας αστοχίας (θ_u) που θα εξασφαλιζόταν αν οι οπλισμοί ήταν συνεχείς, δεν υπολογίζει λύση για τιμές διαθέσιμου μήκους μάτισης $l_s \leq 752.325\text{mm}$. Δηλαδή παρατηρούμε ότι για να υπολογίσει η παραπάνω σχέση απαιτούμενο πάχος ενίσχυσης, θα πρέπει να υπάρχει διαθέσιμο μήκος υπερκάλυψης των διαμήκων ράβδων τουλάχιστον ίσο με το μισό του απαιτούμενου μήκους υπερκάλυψης για εξασφάλιση της ίδιας παραμορφωσιμότητας των διαμήκων ράβδων ($l_{bu,min} = 1541.19\text{mm}$). Το παραπάνω μήκος ($l_s = 752.325\text{mm}$) σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. αν ήταν διαθέσιμο δεν θα χρειαζόταν ενίσχυση. Παρατηρούμε επίσης πως η παραπάνω σχέση φαίνεται να μην υπολογίζει τιμές του πάχους ενίσχυσης για διάμετρο διαμήκους οπλισμού μεγαλύτερη των 17mm, πιθανόν για να υπολογίσει αποτελέσματα θα έπρεπε για αυξημένες διαμέτρους διαμήκη οπλισμού να έχω και αυξημένο διαθέσιμο μήκος υπερκαλύψεως.

4. Πιο συντηρητική σχέση από όλες αποδεικνύεται πως είναι η ΣΧΕΣΗ (8.3) του ΚΑΝ.ΕΠΕ., καθώς το απαιτούμενο πάχος ενίσχυσης για διάφορα διαθέσιμα μήκη υπερκαλύψεως υπολογίζεται διαρκώς προσαυξημένο κατά τουλάχιστον 50% έως και 350% σε σύγκριση με το αντίστοιχο των υπολοίπων σχέσεων. Για μικρές τιμές μήκους μάτισης, δηλαδή κοντά στο όριο ενίσχυσης (μικρότερες των 450mm) πιο συντηρητική σχέση είναι η ΣΧΕΣΗ (Σ.8.1 α) του ΚΑΝ.ΕΠΕ.
5. Παρατηρείται πιθανή ανωμαλία στην ΣΧΕΣΗ (Σ 8.1 α) υπολογισμού απαιτούμενου πάχους ενίσχυσης με ΙΟΠ, καθώς το απαιτούμενο πάχος ενίσχυσης μηδενίζεται για εύρος τιμών διαθέσιμου μήκους υπερκάλυψης l_s από 900mm έως 1000mm, το οποίο φαίνεται λογικό, αφού αν έχω επαρκές μήκος μάτισης το στοιχείο δεν χρίζει ενίσχυσης. Όμως για τιμές διαθέσιμου μήκους υπερκαλύψεως l_s μεγαλύτερες των 1000mm παρατηρείται αύξουσα πορεία για το απαιτούμενο πάχος ΙΟΠ το οποίο αποτελεί πιθανή ανωμαλία της προαναφερθείσας σχέσης, την οποία δεν μπορούμε να απορρίψουμε διότι σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. πρέπει να κρατήσουμε τις μέγιστες τιμές απαιτούμενου πάχους ενίσχυσης μεταξύ των σχέσεων (Σ.8.1 α) και (Σ.8.1 β). Επίσης παρόμοιο κόλλημα παρατηρείται ξανά στην ΣΧΕΣΗ (Σ.8.1 α) όταν αυτή διερευνάται ως προς διάφορες τιμές της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, αφού τα αποτελέσματα του απαιτούμενου πάχους ενίσχυσης φαίνονται να είναι σωστά μέχρι την τιμή που μηδενίζονται (25 MPa), από εκεί και έπειτα όμως καθώς αυξάνεται η θλιπτική αντοχή σκυροδέματος παρατηρείται αύξουσα πορεία του απαιτούμενου πάχους ενίσχυσης με ΙΟΠ, το οποίο δεν είναι λογικό, καθώς τα δύο μεγέθη είναι αντιστρόφως ανάλογα και όχι ανάλογα.
6. Τελικώς για τις σχέσεις υπολογισμού του απαιτούμενου πάχους ενίσχυσης με ΙΟΠ, με βάση την παραπάνω διερεύνηση, συμπεραίνουμε τα παρακάτω. Για τις ΣΧΕΣΕΙΣ (Σ.8.1 α) και (Σ.8.1 β) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. εκ των οποίων κρατείται σαν τοποθετούμενο πάχος ενίσχυσης με ΙΟΠ το μέγιστο, θα ήταν εύλογη η παρατήρηση πως υπάρχει περίπτωση να οδηγηθούμε σε υπερβολικά αυξημένα πάχη ΙΟΠ και ίσως για μεγάλες και μικρές τιμές του διαθέσιμου μήκους υπερκαλύψεως να μην ήταν υποχρεωτική η τοποθέτηση της μέγιστης τιμής εκ των δύο σχέσεων. Η ΣΧΕΣΗ (8.3) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. συγκριτικά με τις υπόλοιπες φαίνεται να είναι η πιο συντηρητική αλλά και αξιόπιστη, καθώς στην διερεύνηση δεν παρατηρήθηκε κάποια ανωμαλία. Η σχέση του ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ για θ_y , φαίνεται να είναι επίσης αξιόπιστη αφού ούτε υπερεκτιμά, ούτε και υποεκτιμά το απαιτούμενο πάχος ενίσχυσης με ΙΟΠ και όταν είναι διαθέσιμο το ελάχιστο μήκος υπερκάλυψης ώστε να αναπτυχθεί πλήρως η τάση διαρροής στις ράβδους αυτή μηδενίζεται, όπως αναμένουμε να γίνει. Τέλος σύμφωνα με τις παραπάνω παρατηρήσεις η πιο δύσκολη σε χρήση σχέση για την εύρεση του απαιτούμενου πάχους ενίσχυσης με ΙΟΠ φαίνεται να είναι η σχέση του ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ για θ_u .

6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΝΟΤΗΤΑ 5

1. Όπως φαίνεται στο σχήμα 7, στα ενισχυμένα στοιχεία, οι εξισώσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ επηρεάζονται σημαντικά από το αξονικό φορτίο που φέρει το υποστύλωμα δίνοντας πολύ μεγάλες τιμές πλαστιμότητας για χαμηλά αξονικά φορτία, σε αντίθεση με τον Ευρωκώδικα που από το σχήμα 9 φαίνεται ότι η επιρροή του αξονικού φορτίου είναι αρκετά μικρή, αφού η αύξησή του δε μειώνει σημαντικά την πλαστιμότητα.
2. Στα σχήματα 7 & 8 παρατηρείται, πως οι καμπύλες, οι οποίες αφορούν την εφαρμογή 3 & 4 στρώσεων ΙΟΠ δίνουν ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα, λόγω της ύπαρξης του συντελεστή ψ . Πιθανώς η εφαρμογή αυτού του συντελεστή θα μπορούσε να γίνει με πιο ομαλό τρόπο δίνοντας μία αύξηση στην πλαστιμότητα από την 3^η στην 4^η στρώση.
3. Βλέποντας το σχήμα 12 εξάγεται το συμπέρασμα, ότι η αύξηση της αντοχής σκυροδέματος προκαλεί μείωση της πλαστιμότητας και στους 2 κανονισμούς με διαφορετική κλίση

βέβαια στον καθένα. Αυτό μπορεί να φανεί παράλογο στην αρχή, αλλά εξηγείται μέσω της δυσανάλογης αύξησης της γωνίας στροφής στη διαρροή και της γωνίας στροφής στην αστοχία. Σε αυτό έρχεται να προστεθεί, ότι ο ΚΑΝ.ΕΠΕ επηρεάζεται πολύ περισσότερο από την αντοχή του σκυροδέματος σε σχέση με τον Ευρωκώδικα και αυτό φαίνεται στο σχήμα 12 μέσω της πολύ μεγαλύτερης κλίσης που έχει η καμπύλη του.

4. Ως ένα ευρύτερο συμπέρασμα που αποκομίστηκε από την εκπόνηση της εργασίας, είναι ότι οι 2 κανονισμοί μοιάζουν αρκετά ως προς τα αποτελέσματα που δίνουν, όταν εφαρμόζονται σε στοιχεία χωρίς ενίσχυση και παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές, όταν εφαρμόζονται σε ενισχυμένα στοιχεία. Από την παραμετρική διερεύνηση που έγινε παραπάνω και με τους 2 κανονισμούς, ο ΚΑΝ.ΕΠΕ φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο από τις παραμέτρους που εξετάστηκε κάθε φορά καθιστώντας τον πιο «ευαίσθητο», ως προς αυτές, σε σχέση με τον Ευρωκώδικα, του οποίου η κάθε παράμετρος φαίνεται να είναι έτσι διαμορφωμένη, ώστε η μεταβολή της να μην ασκεί σημαντική επίδραση στο αποτέλεσμα.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΚΑΝ.ΕΠΕ. (2022).
- [2] Ευρωκώδικας 8 – Μέρος 3, (Σχέδιο 2022).
- [3] Στέφανος Η. Δρίτσος, "Ενισχύσεις-Επισκευές κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος - Σημειώσεις", Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, (2023).
- [4] SIKΑ HELLAS, www.sika.gr
- [5] Ευρωκώδικας 8 – Μέρος 1, (2005).

8. ΕΠΙΒΛΕΨΗ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος Ενισχύσεις – Επισκευές Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος υπό την επίβλεψη του Ομότιμου Καθηγητή Στέφανου Η. Δρίτσου, στον οποίο και απευθύνονται ευχαριστίες για την καθοδήγηση του.