

ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ ΜΕ FRP ΜΕ ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΟ ΣΤΟΧΟ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ $\mu_{\phi,tar}$ (EC8-3 §A.4.4.3 σελ. 52-53)

**ΜΙΧΑΗΛ ΑΓΓΕΛΟΣ
ΦΙΛΙΠΠΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ**

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει στόχο την συγκριτική μελέτη των διατάξεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ και του EC8-3 σχετικά με την περίσφιγξη με ινοπλισμένα πολυμερή (FRP) με επιδιωκόμενο στόχο συγκεκριμένη τιμή της πλαστιμότητας καμπυλοτήτων $\mu_{\phi,tar}$. Η εργασία περιλαμβάνει τις μεθόδους υπολογισμού του υλικού περίσφιγξης για στοχευμένη πλαστιμότητα σε δομικά στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα(κυρίως σε υποστυλώματα), τις κύριες παραμέτρους που επηρεάζουν καθοριστικά τις μεθόδους αυτές και τις διαφορές που προκύπτουν στα αποτελέσματα των δυο κανονισμών.

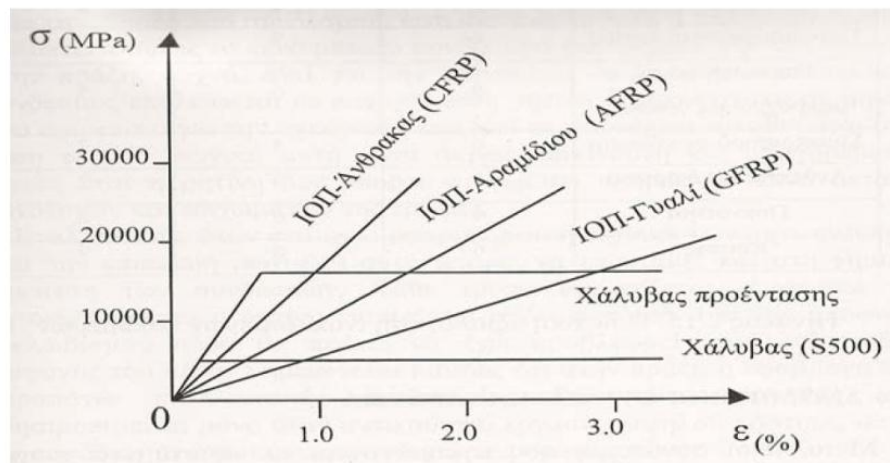
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενίσχυση κατασκευών με σύνθετα υλικά αποτελεί μια νέα τεχνική η οποία διαδίδεται με μεγάλη ταχύτητα και βρίσκει όλο και μεγαλύτερη εφαρμογή. Τα σύνθετα υλικά που σήμερα χρησιμοποιούνται στις κατασκευές, αποτελούνται από ίνες υψηλής εφελκυστικής αντοχής εμποτισμένες με “θερμοσκληρυνόμενη” ρητίνη [1]. Οι συνήθεις τύποι ινών που χρησιμοποιούνται είναι από γυαλί, αραμιδίδιο ή άνθρακα. Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα ινοπλισμένα πολυμερή είναι η εξαιρετικά υψηλή εφελκυστική αντοχή τους (Σχήμα 1), το μικρό βάρος, η αντοχή σε διάβρωση και το γεγονός ότι δεν επηρεάζονται από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Τα κύρια μειονεκτήματα τους είναι η παντελής έλλειψη ολκιμότητας, η χαμηλή αντίσταση σε μέτριες και υψηλές θερμοκρασίες και η σημαντική μείωση της αντοχής τους όταν βρίσκονται σε μόνιμη τάση καθώς και το υψηλό κόστος. Τα FRP εφαρμόζονται με στόχο την βελτίωση της αντοχής των δομικών στοιχείων και την αύξηση της παραμόρφωσης αστοχίας τους. Έτσι χρησιμοποιούνται κυρίως για καμπτική ή διατμητική ενίσχυση αλλά και για περίσφιγξη σε υποστυλώματα. Η τελευταία που αποτελεί και το βασικό αντικείμενο της εργασίας βρίσκει ευρεία χρήση λόγω της ευκολίας, της ευελιξίας και της ταχύτητας εφαρμογής της.

Η περίσφιγξη σε υποστυλώματα έχει ως στόχο την αύξηση της πλαστιμότητας τους. Η πλαστιμότητα για μέλη και κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι η ικανότητα τους να παραμορφώνονται πέραν του ορίου διαρροής, δηλαδή μεγάλες σχετικά παραμορφώσεις χωρίς σημαντική μείωση της αντοχής τους [2]. Ορίζεται ως η οριακή παραμόρφωση προς την παραμόρφωση διαρροής που αντιστοιχεί στην διαρροή του χάλυβα και διακρίνεται σε πλαστιμότητα σε όρους μετακινήσεων, σε όρους καμπυλοτήτων και σε όρους γωνίας στροφής χορδής. Για την παρούσα εργασία το κρίσιμο μέγεθος είναι η πλαστιμότητα καμπυλοτήτων ($\mu_{\phi} = \phi_u / \phi_y$). Η πλαστιμότητα είναι μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους με βάση την οποία ο μηχανικός σχεδιάζει τα κτίρια καθώς χάρη σε αυτήν τα δομικά μέλη και επακόλουθα οι κατασκευές στο σύνολό τους εμφανίζουν μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις προτού φτάσουν στην οριακή τους κατάσταση. Έτσι αποτελεί κύριο θέμα το πως σε παλαιότερα κτίρια, κτισμένα με κανονισμούς που δεν περιείχαν διατάξεις για να προσδώσουν αυτό το βασικό πλέον στοιχείο, θα επιτευχθεί μια στοχευμένη πλαστιμότητα.

Η εργασία αυτή έχει στόχο να εφαρμόσει τους δύο κανονισμούς και τις διατάξεις τους σε διάφορα παραδείγματα με σκοπό να αναδείξει τυχόν προβλήματα στην εφαρμογή τους αλλά και για να συγκρίνει τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον καθένα. Έτσι στο κύριο μέρος θα αναλυθεί η ακριβής διαδικασία υπολογισμού του ογκομετρικού ποσοστού και εν τέλει και του πάχους του σύνθετου υλικού περίσφιγξης και θα προσδιοριστεί ο τρόπος που επηρεάζουν τα αποτελέσματα παράγοντες όπως :

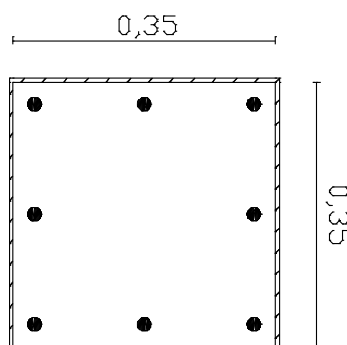
- Η ύπαρξη εγκάρσιου οπλισμού
- Η ανηγμένη θλιπτική δύναμη
- Η γεωμετρία της διατομής του υποστυλώματος
- Το υλικό περίσφιγξης που θα χρησιμοποιηθεί



Σχήμα 1: Σχέσεις τάσης-παραμόρφωσης για σύνθετα υλικά σε εφελκυσμό. [3]

2. ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ

Για τον ακριβή προσδιορισμό του υλικού περίσφιγξης θα θεωρηθούν δεδομένα η γεωμετρία της διατομής, οι κατηγορίες των υλικών του οπλισμένου σκυροδέματος και το αξονικό φορτίο που ασκείται στο υποστύλωμα. Έτσι γίνεται η υπόθεση μιας τετραγωνικής διατομής με διαστάσεις 0,35m x 0,35m και αξονικό θλιπτικό φορτίο 1000 KN. Το σκυρόδεμα που χρησιμοποιήθηκε είναι κατηγορίας C16/20 και ο διαμήκης οπλισμός S400. Σκοπός της εφαρμογής είναι ο υπολογισμός του ογκομετρικού ποσοστού περίσφιγξης (α_{wd}), επομένως και του πάχους του σύνθετου υλικού που θα χρησιμοποιηθεί (το σύνθετο υλικό είναι το γραμμοσκιασμένο μέρος στο Σχήμα 2). Πρέπει να σημειωθεί ότι για αυτή την εφαρμογή δεν έχει υποτεθεί οπλισμός περίσφιγξης. Στην πλειονότητα των υφιστάμενων κτιρίων που χρίζουν επισκευής (κυρίως τα κτίρια που κατασκευάστηκαν πριν από το 1983) είναι αμφίβολο το ποσοστό οπλισμού περίσφιγξης και η τεχνική εφαρμογής του και άρα δεν θα ήταν μια ρεαλιστική προσέγγιση. Η επικάλυψη της διατομής έστω ότι είναι $d_1=20$ mm.



Σχήμα 2: Η διατομή της πρώτης εφαρμογής

• ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΚΑΝ.ΕΠΕ

Ο Κανονισμός Επεμβάσεων στη παράγραφο 8.2.3 προτείνει να αναζητηθεί υπολογιστικώς η τιμή α_{wd} με την οποία το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων (M-φ) της υπόψη διατομής θα παρουσιάζει την τιμή $\varphi_u/\varphi_y = \mu_{\varphi, απαιτ.}$. [4]. Προς τούτο ο ΚΑΝ.ΕΠΕ δίνει τις παρακάτω

εξισώσεις με τις οποίες μπορεί να υπολογιστεί η παραμόρφωση αστοχίας του περισφιγμένου σκυροδέματος:

1. Περίσφιγξη με ΙΟΠ με ίνες άνθρακα:

$$\varepsilon_{cu,c} = 0,0035 \left(\frac{f_{c,c}}{f_c} \right)^2 \quad (\text{KAN.EΠE. εξίσωση (8.19)}) \quad (1)$$

2. Περίσφιγξη με ΙΟΠ με ίνες γυαλιού:

$$\varepsilon_{cu,c} = 0,007 \left(\frac{f_{c,c}}{f_c} \right)^2 \quad (\text{KAN.EΠE. εξίσωση (8.20)}) \quad (2)$$

$$\text{Όπου } f_{c,c} = (1,125 + 1,25 \alpha \omega_{wd}) f_c \quad (3)$$

Σκοπός της επέμβασης στο δομικό μέλος του Σχήματος 2 είναι η αύξηση της τοπικής πλαστιμότητας με επιβολή εξωτερικής περισφιγξης με ινοπλισμένα πολυμερή για την επίτευξη μιας επιθυμητής τιμής της πλαστιμότητας ίση με $\mu_{\phi,tar}$. Όμως εξαιτίας της πολυπλοκότητας των εξισώσεων ο απευθείας υπολογισμός του $\alpha \omega_{wd}$ για στοχευμένη πλαστιμότητα καθίσταται αδύνατος καθώς οι παραπάνω εξισώσεις για τον προσδιορισμό της παραμόρφωσης αστοχίας είναι συναρτήσεως του ογκομετρικού οπλισμού περισφιγξης που είναι και το ζητούμενο. Για το λόγο αυτό θα ακολουθηθεί η αντίστροφη διαδικασία κατά την οποία εκλέγοντας διάφορες τιμές του $\alpha \omega_{wd}$ καταλήγουμε στις αντίστοιχες τιμές πλαστιμότητας καμπυλοτήτων και η οποία θα παρουσιασθεί αναλυτικά παρακάτω.

Καταρχάς εκλέγεται μια τιμή $\alpha \omega_{wd}$ και από τις εξισώσεις (1) ή (2) (8.19 και 8.20 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.) υπολογίζουμε το $\varepsilon_{cu,c}$. Στην συνέχεια υπολογίζουμε την συνάρτηση της ανηγμένης αξονικής δύναμης συναρτήσεως του ανηγμένου ύψους θλιβόμενης ζώνης με βάση την εξίσωση:

$$v_d = 0,85 f_{cd} \alpha \xi, \quad \alpha = \left(1 - \frac{2}{3000 \varepsilon_{cu,c}} \right) \quad (4)$$

Υπολογίζουμε το οριακό σημείο κατά το οποίο ο χάλυβας διαρρέει και η παραμόρφωση του σκυροδέματος είναι $\varepsilon_{cu,c}$. Στο σημείο αυτό το ανηγμένο ύψος θλιβόμενης ζώνης και το ανηγμένο θλιπτικό φορτίο είναι:

$$\xi_b = \frac{\varepsilon_{cu,c} \left(1 - \frac{d_1}{h} \right)}{\varepsilon_{cu,c} + \frac{f_{yd}}{E_s}}, \quad f_{yd} = \text{όριο διαρροής χάλυβα} \quad (5)$$

$$v_b = (0,85 f_{cd} \alpha) \xi_b \quad (6)$$

Υπολογίζουμε ακόμα την τιμή του v κατά την οποία διαρρέει μόνο ο θλιβόμενος χάλυβας η οποία μαζί με την τιμή v_b θα είναι τα όρια που θα καθορίσουν την διαδικασία που θα ακολουθηθεί.

$$v_{es2} = \frac{0,85 f_{cd} \alpha (d_1/h)}{1 - (f_{yd}/700)} \quad (7)$$

Έτσι ανάλογα με την τιμή v_d διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

$$1. \quad v_d > v_b : v_d = 0,85 f_{cd} \alpha \xi + 0,5 \omega_{tot} \left(1 - \frac{700}{f_{yd}} \frac{1 - \xi - d_1/h}{\xi} \right) \quad (8)$$

$$2. \quad v_d < v_b : v_d = 0,85 f_{cd} \alpha \xi \quad (9)$$

$$3. \quad v_d < v_{es2} : v_d = 0,85 f_{cd} \alpha \xi + 0,5 \omega_{tot} \left(\frac{700}{f_{yd}} \frac{\xi - d_1/h}{\xi} - 1 \right) \quad (10)$$

Από τις εξισώσεις (8), (9), (10) προσδιορίζεται το ανηγμένο ύψος θλιβόμενης ζώνης και άρα και η καμπυλότητα στην αστοχία καθώς

$$\varphi_u = \frac{\varepsilon_{cu,c}}{\xi * d} \quad (11)$$

Η καμπυλότητα διαρροής μπορεί να υπολογιστεί είτε από τους αναλυτικούς τύπους είτε από τους εμπειρικούς τύπους στο *Κεφάλαιο 7, Παράρτημα 7α, ΚΑΝ.ΕΠΕ.* Έτσι $\varphi_y = 1,77 f_y / (E_s h)$. *(KAN.EΠE. εξίσωση (A.7a))* (12)

Με την παραπάνω διαδικασία προσδιορίζεται το μ_{ϕ} .

Παράδειγμα 1: Έστω $\alpha \omega_{wd} = 0,5$. Από (4) προκύπτει ότι:

$$v_d = 0,797 \xi \quad (13)$$

Στην συνέχεια υπολογίζονται τα όρια :

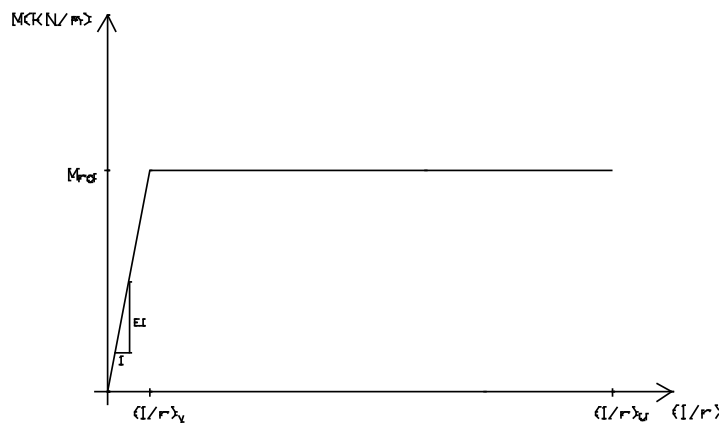
$$\xi_b = 0,83, \nu_b = 0,662$$

Από το αξονικό φορτίο δρα στην διατομή του Σχήματος 1 προκύπτει ότι το ανηγμένο θλιπτικό φορτίο σχεδιασμού είναι :

$$\nu_d = 0,765$$

Το $\nu_d > \nu_b$ και άρα από την εξίσωση (8) υπολογίζεται το $\xi = 0,77$. Τέλος από τις εξισώσεις (11) και (12) έχουμε $\varphi_u = 0,042$ και $\varphi_y = 0,0088$ αντίστοιχα. (βλ. Σχήμα 2)

Άρα το $\mu_\varphi = 0,042/0,0088 = 4,77$.



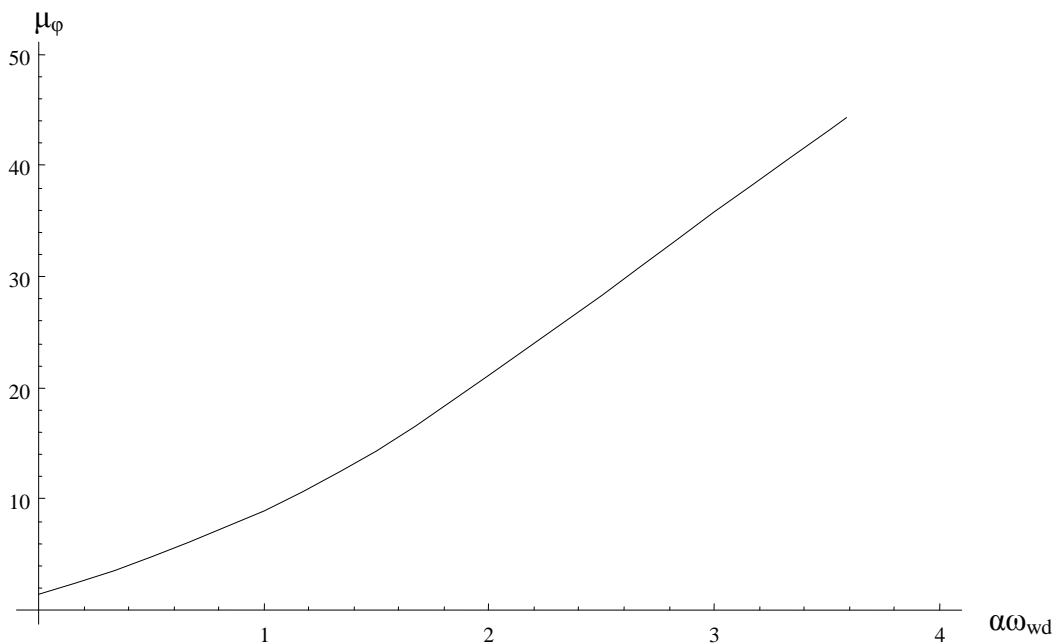
Σχήμα 3: Διγραμμικό διάγραμμα Ροπών-Καμπυλοτήτων

Με την ίδια διαδικασία προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

$\alpha\omega_{wd}$	0	0,5	1	2	4
μ_φ	1,45	4,77	8,98	21,14	49,89

Πίνακας 1: Ογκομετρικό ποσοστό σύνθετου υλικού-πλαστιμότητας

Έχοντας προσδιορίσει τις πιο πάνω τιμές μπορεί με ευκολία να βρεθεί με παρεμβολή η καμπύλη η οποία περνάει από τα σημεία αυτά και αντιπροσωπεύει την συνάρτηση $\mu_\varphi(\alpha\omega_{wd})$.



Σχήμα 4: Διάγραμμα $\mu_\varphi - \alpha\omega_{wd}$ για την διατομή της πρώτης εφαρμογής

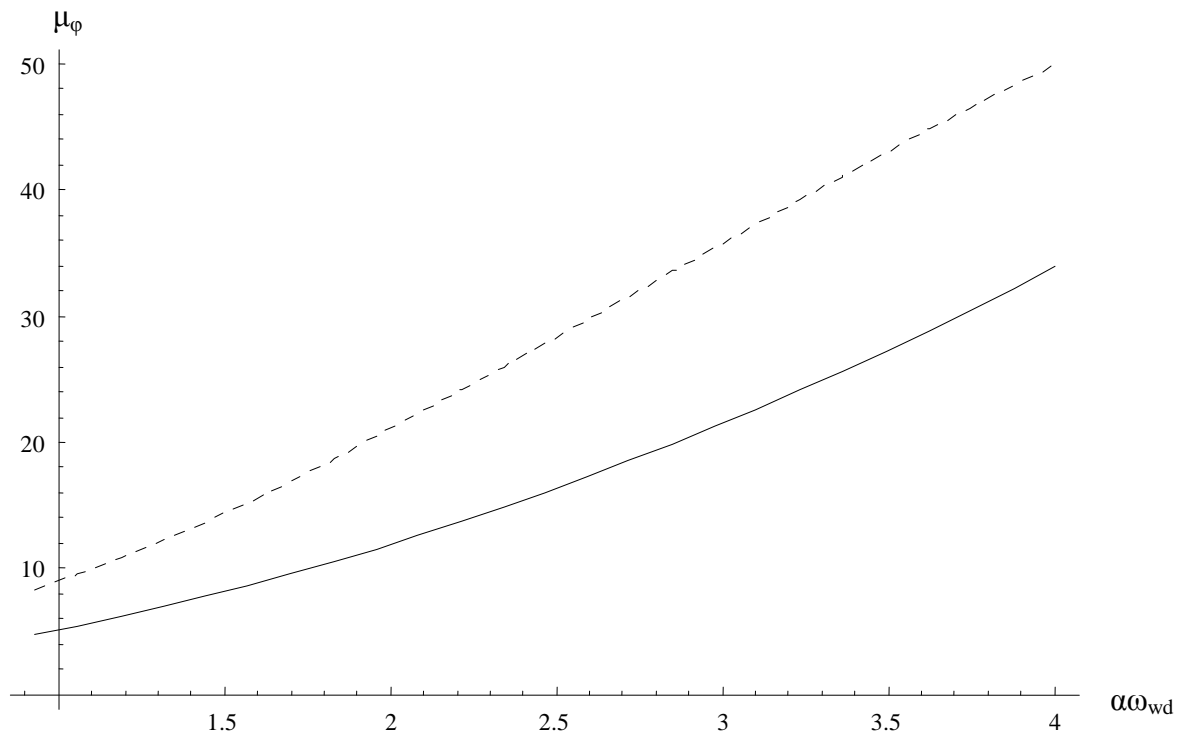
Έτσι, με το πιο πάνω διάγραμμα μπορεί να υπολογισθεί για οποιαδήποτε τιμή της στοχευόμενης πλαστιμότητας το υλικό περίσφιγξης που πρέπει να εφαρμοστεί. Για παράδειγμα αν το $\mu_{\phi,σπαιτ} = 14$ το ογκομετρικό ποσοστό του υλικού περίσφιγξης που πρέπει να εφαρμοστεί είναι $\alpha\omega_{wd} = 1,5$.

Εμπειρική Σχέση

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. προβλέπει την δυσκολία της πιο πάνω διαδικασίας και παραθέτει έναν εμπειρικό τύπο υπολογισμού του ογκομετρικού υλικού περίσφιγξης.

$$\varepsilon_{cu,c} = 2,2 \mu_{\phi} \varepsilon_{sy} \nu, \quad \nu > 0,2. \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (Σ8.11)}) \quad (14)$$

Στην εξίσωση (14) το ε_{sy} είναι η παραμόρφωση διαρροής του χάλυβα. Με τον παραπάνω τύπο υπολογίζεται η παραμόρφωση αστοχίας του σκυροδέματος και μετά από τις εξισώσεις (1) και (2) (8.19-8.20 ΚΑΝ.ΕΠΕ) υπολογίζεις εύκολα το υλικό περίσφιγξης. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται σε ένα κοινό διάγραμμα τα αποτελέσματα που δίνει η αναλυτική διαδικασία με αυτά που δίνει ο εμπειρικός τύπος:



Σχήμα 5: Διάγραμμα $\mu_{\phi} - \alpha\omega_{wd}$ με βάση την αναλυτική και την εμπειρική σχέση (Με διακεκομμένη είναι η αναλυτική διαδικασία)

Από το συγκεκριμένο διάγραμμα προκύπτει ότι η εμπειρική σχέση που δίνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ είναι κατά 50% περίπου πιο συντηρητική. Έτσι π.χ. για πλαστιμότητα $\mu_{\phi} = 20$ η αναλυτική δίνει αποτέλεσμα γύρω στο 1,95 ενώ η εμπειρική γύρω στ 2,9. Αυτό το γεγονός είναι εύλογο καθώς ο κανονισμός προνοεί για τυχόν λάθη στην διαδικασία υπολογισμού ή/και στην διαδικασία εφαρμογής του υλικού.

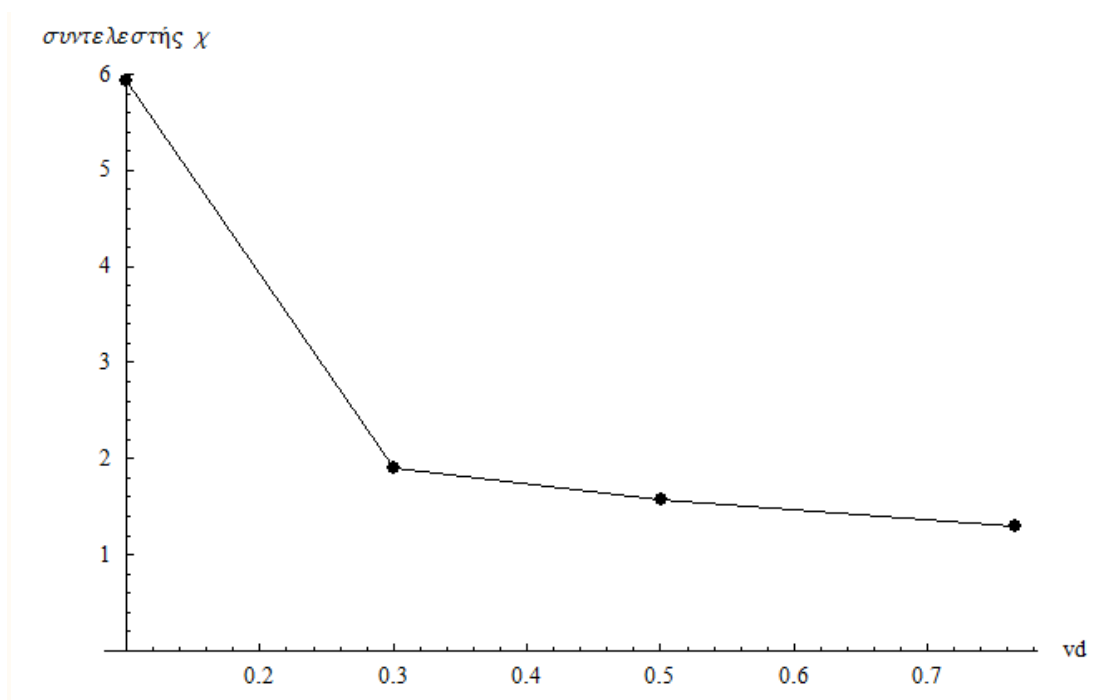
Ακόμα, στην εμπειρική σχέση (14) ο περιορισμός που αφορά την ανηγμένη θλιπτική δύναμη υπάρχει καθώς για τιμές του ν μικρότερες του 0,2 είναι πιθανόν να δώσουν αρνητική τιμή του ογκομετρικού ποσοστού περίσφιγξης $\alpha\omega_{wd}$.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΙΜΗΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΕΜΠΕΙΡΙΚΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Προκειμένου η εμπειρική σχέση να δίνει πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα (και όχι τόσο συντηρητικά) σχετικά με το απαιτούμενο ογκομετρικό ποσοστό υλικού περίσφιγξης, διερευνήθηκε το πεδίο τιμών του συντελεστή χ της σχέσης (2,2 στην εξίσωση Σ8.11), έτσι ώστε τα αποτελέσματα της εμπειρικής σχέσης να συγκλίνουν με τα αποτελέσματα της αναλυτικής διαδικασίας.

Προς το σκοπό αυτό για την αρχική εφαρμογή του τετραγωνικού υποστηλώματος του Σχήματος 2 αρχικά υπολογίστηκαν με την αναλυτική διαδικασία για διάφορες τιμές του $\alpha\omega_{wd}$ οι αντίστοιχες πλαστιμότητες μ_{ϕ} που επιτυγχάνονται. Στη συνέχεια για κάθε ζεύγος τιμών $\alpha\omega_{wd} - \mu_{\phi}$ προσδιορίστηκε το ζεύγος τιμών $\epsilon_{cu,c} - \mu_{\phi}$ με βάση τις εξισώσεις (1) και (3). Θέτοντας στην εμπειρική σχέση Σ8.11 αντί για το συντελεστή 2,2 μια μεταβλητή χ , υπολογίστηκε η τιμή της για το κάθε ζεύγος $\epsilon_{cu,c} - \mu_{\phi}$. Ο νέος συντελεστής τελικά προέκυψε από τον μέσο όρο των τιμών της μεταβλητής χ . Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε για τέσσερις τιμές αξονικού φορτίου v_d .

v_d	0,1	0,3	0,5	0,765
Συντελεστής χ	5,93	1,9	1,57	1,3

Πίνακας 2: ανηγμένη αξονική δύναμη v_d -συντελεστής χ 

Σχήμα 6: Διάγραμμα ανηγμένης αξονικής δύναμης- συντελεστή εμπειρικής σχέσης

Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ παραθέτει την εμπειρική σχέση με συντελεστή 2,2 για τιμές ανηγμένης αξονικής δύναμης μεγαλύτερες του 0,2. Ο μέσος όρος των τριών τιμών χ που υπολογίστηκαν για τιμές $v_d=0,3, 0,5, 0,765$ είναι 1,59. Προτείνοντας όμως σαν νέο συντελεστή την τιμή του μέσου όρου 1,59, για τιμές του v_d μικρότερες του 0,45 δεν εξασφαλίζεται το απαραίτητο υλικό περίσφιγξης για στοχευμένη πλαστιμότητα καθώς η γραφική σχέση προέκυψε με στόχο την ταύτιση της εμπειρικής σχέσης με την αναλυτική διαδικασία. Είναι προτιμότερο λοιπόν είτε να χρησιμοποιείται το διάγραμμα είτε ο συντελεστής να πάρει την τιμή 2 για $v_d > 0,3$ αν και ακόμα θα προκύπτουν συντηρητικά αποτελέσματα.

• **ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ EC8-3**

Για τον προσδιορισμό του υλικού περίσφιγξης η παράγραφος A.4.4.3 του κειμένου του EC8-3 θέτει ως βασικό παράγοντα τον υπολογισμό του λόγου I_{χ} , που αντιπροσωπεύει το λόγο της τιμής της στοχευμένης πλαστιμότητας προς την τιμή της διαθέσιμης πλαστιμότητας της διατομής $I_{\chi} = \frac{\mu_{\phi,tar}}{\mu_{\phi,ava}}$ [7]. Ο λόγος αυτός υπολογίζεται μέσω της εξίσωσης:

$$f_1 = 0,4 I_{\chi}^2 \frac{f_c \varepsilon_{cu}^2}{\varepsilon_{ju}^{1,5}} \quad (EC8- \text{Μέρος A.4.4.3 Εξίσωση (A.34)}) \quad (15)$$

όπου f_1 ορίζεται η απαιτούμενη πίεση (τάση) που θα ασκεί η περίσφιγξη στη διατομή και ε_{ju} η εφελκυστική αντοχή του ινοπλισμένου πολυμερούς. Κρίσιμος παράγοντας για τη διαδικασία επίλυσης είναι ο προσδιορισμός της διαθέσιμης πλαστιμότητας $\mu_{\phi,ava}$ της διατομής που εξετάζουμε. Για την εύρεση της ακολουθείτε η μέθοδος που αναφέρθηκε προηγούμενα κατά τις εξισώσεις (4) έως (12) για $\alpha\omega_{wd} = 0$.

Για την εύρεση της απαιτούμενης τάσης περίσφιγξης f_1 , το κείμενο του Ευρωκώδικα διακρίνει τις εξής παρακάτω περιπτώσεις ανάλογα με α) τη γεωμετρία της διατομής και β) τον τρόπο εφαρμογής της περίσφιγξης. Σχετικά με τη **γεωμετρία** της διατομής ισχύει :

• Για κυκλικές διατομές : $f_1 = \frac{1}{2} \rho_f E_f \varepsilon_{ju}$ (16)

και $t_f = \rho_f D / 4$ (17)

(EC8-3 Μέρος A.4.4.3 Παράγραφος (3))

όπου t_f το πάχος του σύνθετου υλικού, ρ_f το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού του σύνθετου υλικού, E_f το μέτρο ελαστικότητας του και D η διάμετρος του περισφιγμένου υποστηλώματος.

• Για ορθογωνικές διατομές : $f'_1 = k_s f_1$ (18)

όπου $k_s = 2 R_c / D$ (19)

και $f_1 = 2 E_f \varepsilon_{ju} t_f / D$ (20)

(EC8-3 Μέρος A.4.4.3 Παράγραφος (4))

όπου R_c η ακτίνα στρογγύλευσης των γωνιών της διατομής και D το μήκος της μεγαλύτερης πλευράς.

Σχετικά με τον τρόπο εφαρμογής της περίσφιγξης ο Ευρωκώδικας προβλέπει ότι στην περίπτωση που το σύνθετο υλικό εφαρμοστεί κατά λωρίδες (και όχι σαν ολόσωμος μανδύας) τότε ισχύουν τα εξής:

$f'_1 = k_g f_1$ (21)

Όπου $k_g = (1 - s_f / 2D)^2$ (22)

(EC8-3 Μέρος A.4.4.3 Παράγραφος (5))

όπου s_f η απόσταση μεταξύ των κέντρων δυο διαδοχικών λωρίδων σύνθετου υλικού.

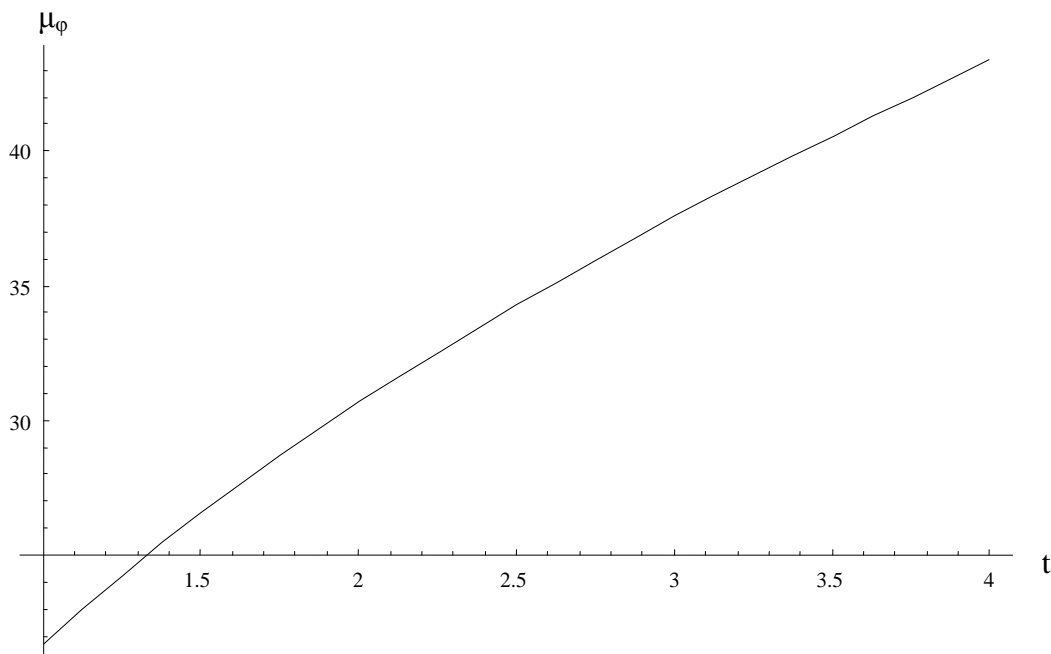
Παράδειγμα 2: Για το τετραγωνικό υποστήλωμα του Σχήματος 2 και χωρίς το συνυπολογισμό οπλισμού περίσφιγξης η διαθέσιμη πλαστιμότητα είναι όπως υπολογίστηκε με την διαδικασία που αναφέρθηκε στο Παράδειγμα 1:

$$\mu_{\phi,ava} = 1,45.$$

Για σύνθετο υλικό από ίνες άνθρακα με μέτρο ελαστικότητας $E_f = 190$ GPa και παραμόρφωση αστοχίας ίση με $\varepsilon_{ju} = 0.02$ προκύπτει από τη χρήση των εξισώσεων (15) και (18) έως (20), η παρακάτω εξίσωση:

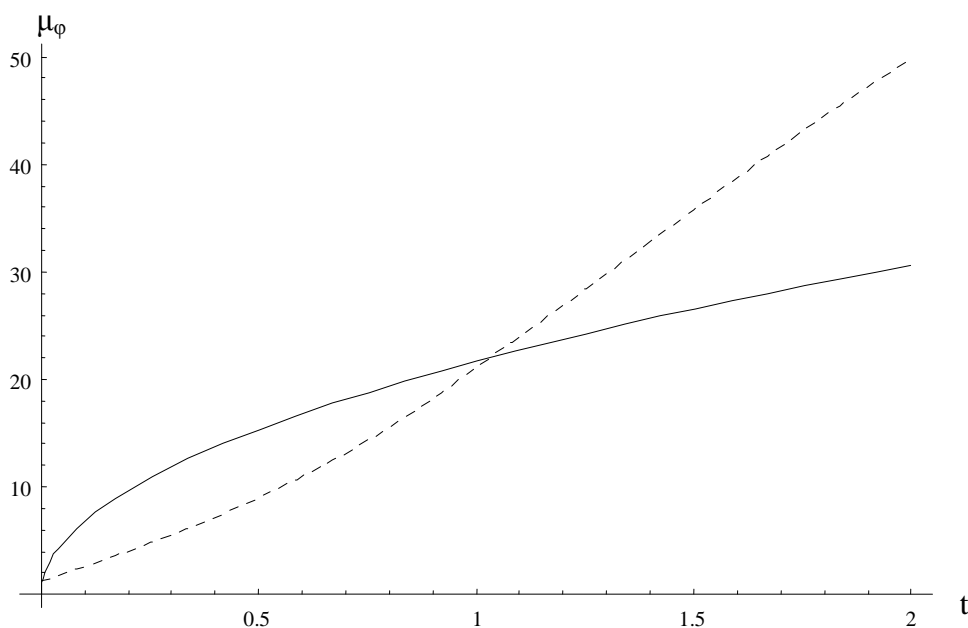
$$\mu_{\phi,tar} = \sqrt{\frac{0,5 \mu_{\phi,ava}^2 E_f \varepsilon_{ju}^{2,5} t_f}{h^2 f_c \varepsilon_{cu}^2 1000}} \quad (23)$$

που εκφράζει τη σχέση μεταξύ στοχευμένης πλαστιμότητας και πάχους t_f του σύνθετου υλικού.



Σχήμα 7: Διάγραμμα μ_ϕ – t με βάση EC8

Στο επόμενο διάγραμμα φαίνονται από κοινού τα αποτελέσματα που προκύπτουν για την εύρεση του απαραίτητου πάχους του σύνθετου υλικού περίσφιγξης με στοχευμένο δείκτη πλαστιμότητας $\mu_{\phi,tar}$, με τις διαδικασίες που προτείνουν ο ΚΑΝ.ΕΠΕ.(αναλυτικές σχέσεις) και ο EC8-3 αντίστοιχα. Για το λόγο αυτό υποτέθηκε υλικό περίσφιγξης με ίνες άνθρακα και με μηχανικά χαρακτηριστικά τα εξής : Αντοχή $f_i = 3800$ MPa και παραμόρφωση αστοχίας $\epsilon_{ju} = 0,02$ και μέτρο ελαστικότητας $E_f = 190000$ MPa.



Σχήμα 8: Διάγραμμα μ_ϕ – t
(Με διακεκομμένη είναι με βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ)

Σαν άμεσο συμπέρασμα από τη σύγκριση των δυο καμπυλών προκύπτει ότι για ένα μεγάλο πεδίο τιμών (που είναι συνήθεις στόχοι επιθυμητών πλαστιμοτήτων) για την ίδια τιμή του δείκτη πλαστιμότητας $\mu_{\phi,tar}$ ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. προτείνει **μεγαλύτερο** πάχος για την στρώση του σύνθετου υλικού περίσφιγξης από ότι ο EC8-3. Οι διαφορές μεταξύ των τιμών που προκύπτουν μας δείχνουν ότι ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. οδηγεί σε πιο συντηρητικά αποτελέσματα, με σαφή κατεύθυνση προς την πλευρά της ασφάλειας των κατασκευών. Αυτό όμως που είναι περίεργο και πρέπει να σημειωθεί είναι το γεγονός ότι ο EC8 έχει ανάποδα κοίλα από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Δηλαδή ενώ στον ΚΑΝ.ΕΠΕ όσο περισσότερο υλικό βάζεις τόσο ανεβαίνει και η πλαστιμότητα στον EC8 υπάρχει ένα σημείο, περίπου για πάχος 2 και πλαστιμότητα 40 που το διάγραμμα γίνεται οριζόντιο και ουσιαστικά η πλαστιμότητα ανεξαρτητοποιείται του υλικού περίσφιγξης.

3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Παρακάτω θα αναλυθούν κάποιες βασικές παράμετροι που επηρεάζουν το ποσοστό περίσφιγξης και τον τρόπο υπολογισμού. Έτσι θα είναι δυνατόν να εκτιμηθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων και να συγκριθούν οι διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ με αυτές του EC8-3.

1. Ύπαρξη εγκάρσιου οπλισμού (Πέριςφιγξη μέσω συνδετήρων)

Στην προηγούμενη ενότητα και στην εφαρμογή του Σχήματος 1 υποτέθηκε διατομή χωρίς συνδετήρες. Στην περίπτωση όμως που υπάρχει εγκάρσιος οπλισμός πρέπει να συνυπολογιστεί η αύξηση των μηχανικών χαρακτηριστικών του σκυροδέματος, λόγω των συνδετήρων, προτού ακολουθηθεί η πιο πάνω διαδικασία, με βάση τις εξισώσεις:

$$f_{cd,c} = (1 + 2,5\alpha\omega_{wd}) f_{cd}, \text{ για } \alpha\omega_{wd} \leq 0,10 \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (6.17)}) \quad (24)$$

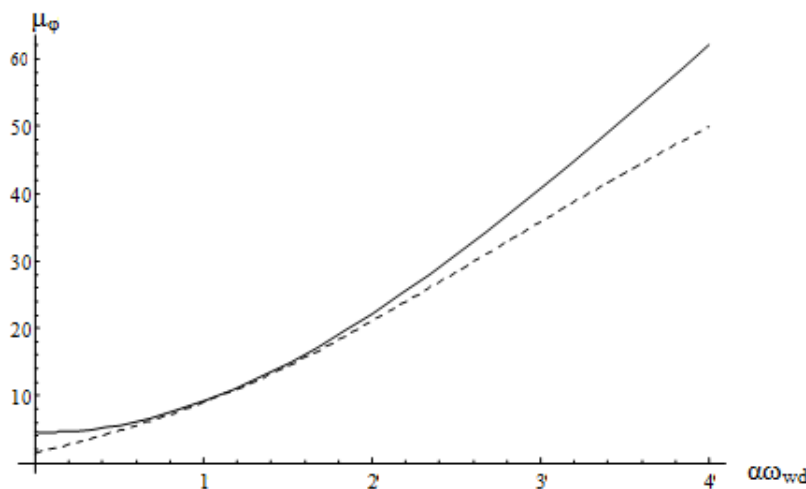
$$f_{cd,c} = (1,125 + 1,25\alpha\omega_{wd}) f_{cd}, \text{ για } \alpha\omega_{wd} \geq 0,10 \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (6.18)}) \quad (25)$$

$$\epsilon_{cu,c} = 0,0035 + 0,1\alpha\omega_{wd} \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (6.20)}) \quad (26)$$

Έτσι, για την εφαρμογή του σχήματος 2, αν υποτεθούν συνδετήρες $\Phi 8/100$ (αρκετά πυκνοί συνδετήρες και επομένως μια ακραία υπόθεση για τα υφιστάμενα κτίρια που χρίζουν ενίσχυσης) από τις παραπάνω εξισώσεις υπολογίζεται $f_{cd,c} = 18,16 \text{ MPa}$ και $\epsilon_{cu,c} = 0.0089$. Στην συνέχεια ακολουθείται η αναλυτική διαδικασία του ΚΑΝ.ΕΠΕ και προκύπτει :

$\alpha\omega_{wd}$	0	0,5	1	2	4
μ_{ϕ}	4,6	5,6	9,12	22,12	62

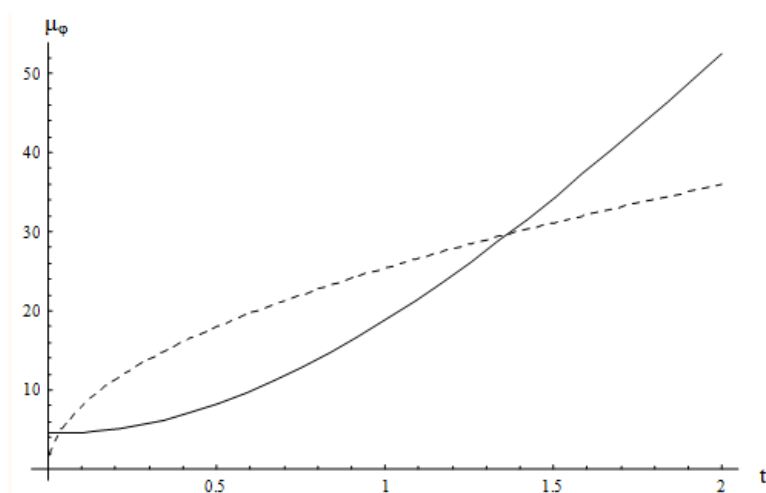
Πίνακας 3: Ογκομετρικό ποσοστό σύνθετου υλικού-πλαστιμότητας



Σχήμα 9: Διάγραμμα $\mu_{\phi} - \alpha\omega_{wd}$ με βάση τον εγκάρσιο οπλισμό (Με διακεκομμένη είναι για διατομή χωρίς συνδετήρες)

Από το άνω διάγραμμα παρατηρείται μια μικρή διαφορά μεταξύ της ύπαρξης ή όχι εγκάρσιου οπλισμού η οποία όμως είναι πολύ μικρή και καθιστά έγκυρη την αρχική μας υπόθεση.

Με τον EC8-3 η διαδικασία είναι ακριβώς η ίδια με το προηγούμενο εδάφιο με μια διαφορά όμως στον συνυπολογισμό της αύξησης της αντοχής και της παραμόρφωσης αστοχίας του σκυροδέματος. Δηλαδή στον τύπο (15) το f_c και το ϵ_{cu} πρέπει να αντικατασταθούν από τα $f_{cd,c}$ και $\epsilon_{cu,c}$ αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα των δύο κανονισμών φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.

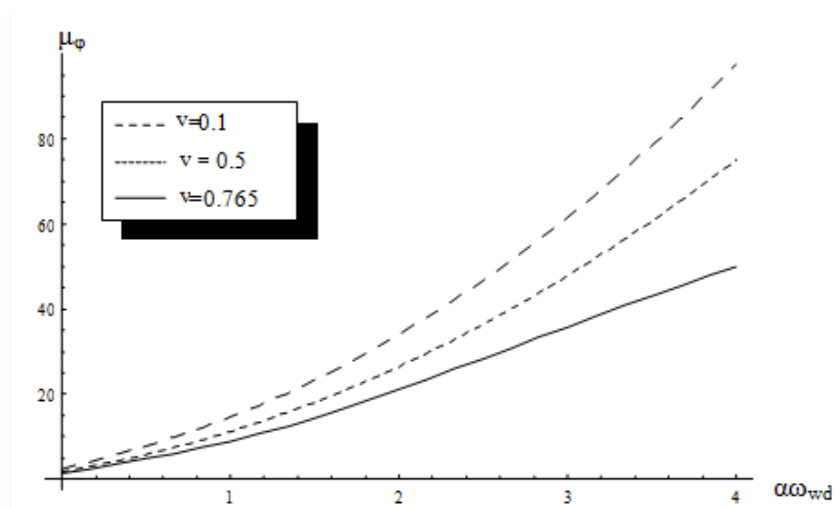


Σχήμα 10: Διάγραμμα μ_ϕ -τ για διατομή με εγκάρσιο οπλισμό για ΚΑΝ.ΕΠΕ και EC8
(Με διακεκομμένη είναι με βάση τα αποτελέσματα του EC8-3)

Προκειμένου να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα σε ένα κοινό διάγραμμα υποτέθηκε υλικό περίσφιγξης με ίνες άνθρακα και με μηχανικά χαρακτηριστικά τα εξής : Αντοχή $f_j = 3800$ MPa και παραμόρφωση αστοχία $\epsilon_{ju} = 0,02$.

2. Ανηγμένη θλιπτική δύναμη

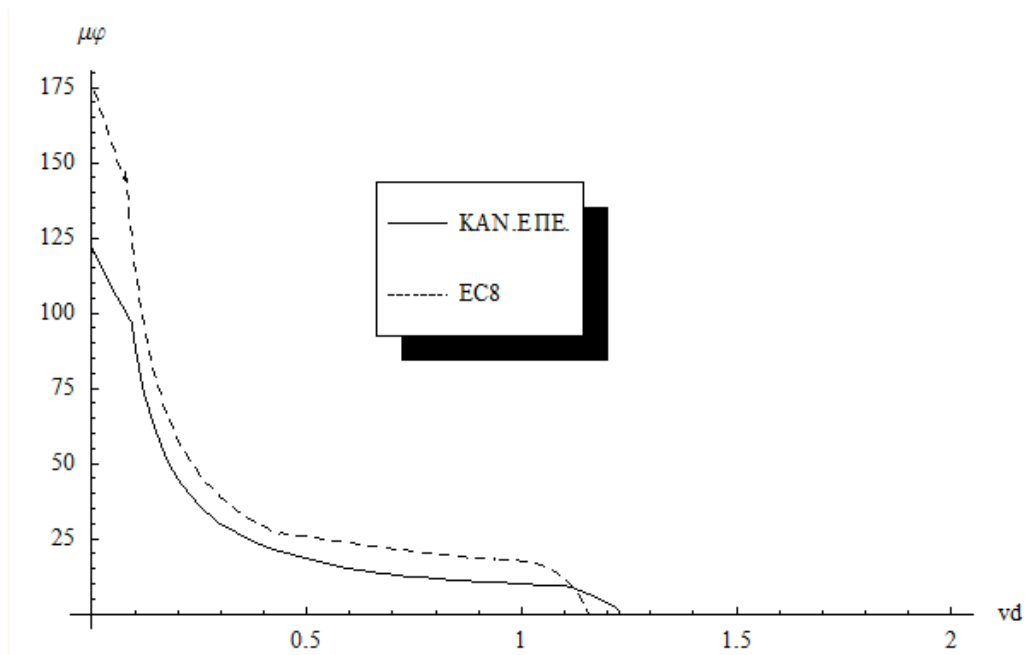
Το σημαντικότερο μέγεθος που επηρεάζει την πλαστιμότητα άρα και τους υπολογισμούς για το υλικό περίσφιγξης είναι η θλιπτική δύναμη που δρα στην διατομή. Έτσι υπολογίστηκαν για τρεις διαφορετικές τιμές της ανηγμένης θλιπτικής δύναμης, $v_d = 0,1$, $v_d = 0,5$ και $v_d = 0,765$ για τη διατομή του Σχήματος 2 οι σχέσεις πλαστιμότητας συναρτήσεως του σύνθετου υλικού.



Σχήμα 11: Διάγραμμα μ_ϕ - $\alpha\omega_{wd}$ για διάφορες τιμές θλιπτικής δύναμης

Από το παραπάνω σχήμα γίνεται φανερό ότι για δεδομένη στοχευμένη πλαστιμότητα η διατομή που καταπονείται σε μεγαλύτερη θλιπτική δύναμη απαιτεί και το περισσότερο ογκομετρικό ποσοστό σύνθετου υλικού.

Επίσης αποδεικνύεται το γεγονός ότι η πλαστιμότητα σε οποιαδήποτε διατομή μειώνεται όσο αυξάνεται το ανηγμένο θλιπτικό φορτίο. Ο ακριβής τρόπος που συμβαίνει αυτό προσδιορίστηκε στην διατομή του Σχήματος 1, για δεδομένο ποσοστό σύνθετου υλικού $\alpha\omega_{wd} = 1,5$, με βάση και τον ΚΑΝ.ΕΠΕ αλλά και με τον EC8-3 και παρουσιάζεται παρακάτω.



Σχήμα 12: Διάγραμμα $\mu_{\phi}-v_d$ για ΚΑΝ.ΕΠΕ και EC8

Με βάση το Σχήμα 12 η ανηγμένη θλιπτική δύναμη επηρεάζει τα αποτελέσματα της διαδικασίας υπολογισμού του σύνθετου υλικού με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, τόσο στον EC8 όσο και στον ΚΑΝ.ΕΠΕ καθώς οι καμπύλες είναι παράλληλες, αν και δεν είναι ακριβώς ταυτόσημες. (υπάρχει διαφορά στις τιμές που δίνουν αντίστοιχα)

Αξίζει ακόμα να σημειωθεί η ειδική περίπτωση της δοκού, στην οποία η αξονική θλιπτική δύναμη είναι μηδενική ($v_d = 0$). Σε περίπτωση δοκού λοιπόν, παρατηρούνται πάρα πολύ υψηλές τιμές της πλαστιμότητας, ακόμα και χωρίς την επιβολή εξωτερικής περισφιγξης. Αυτό το γεγονός είναι ικανό από μόνο του να αποδείξει την καθοριστική σημασία που έχει η αξονική δύναμη του στοιχείου που μελετάμε.

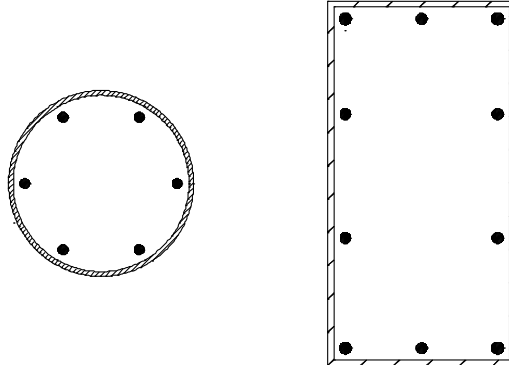
$\alpha\omega_{wd}$	0	0,5	1	1,5	2
μ_{ϕ}	12,96	40,9	76,14	121	177,79

Πίνακας 4 : Τιμές πλαστιμότητας για διάφορες τιμές $\alpha\omega_{wd}$ σε περίπτωση δοκού

3. Διατομή

Η επέμβαση με στόχο την αύξηση της τοπικής πλαστιμότητας εφαρμόζεται σε στοιχεία με κυκλική διατομή ή ορθογωνική διατομή σχετικά μικρών διαστάσεων, μελόγο πλευρών που δεν ξεπερνά το 2:1, ΚΑΝ.ΕΠΕ., Σ§8.2.3(α). Σε περίπτωση ορθογωνικής ή τετραγωνικής διατομής στην οποία εφαρμόζεται περισφιγξη με ινοπλισμένα πολυμερή απαιτείται στρογγύλευση των γωνιών περίπου 50 mm. (ΚΑΝ.ΕΠΕ., Σ§6.2.2.)

Για να ελεγχθεί ο τρόπος με τον οποίο η διατομή επηρεάζει την διαδικασία επιλέχθηκαν δύο επιπλέον διαφορετικές διατομές καταπονούμενες από την ίδια ανηγμένη θλιπτική δύναμη $\nu_d = 0,765$ και υπολογίστηκαν οι πλαστιμότητες για διάφορες τιμές του $\alpha\omega_{wd}$. Οι διατομές φαίνονται στο Σχήμα 9. Η πρώτη είναι κυκλική με διάμετρο $d=0,3m$ και η δεύτερη ορθογωνική και έχει λόγο πλευρών $h/b=2$ με $h=0,6m$ και $b=0,3m$.

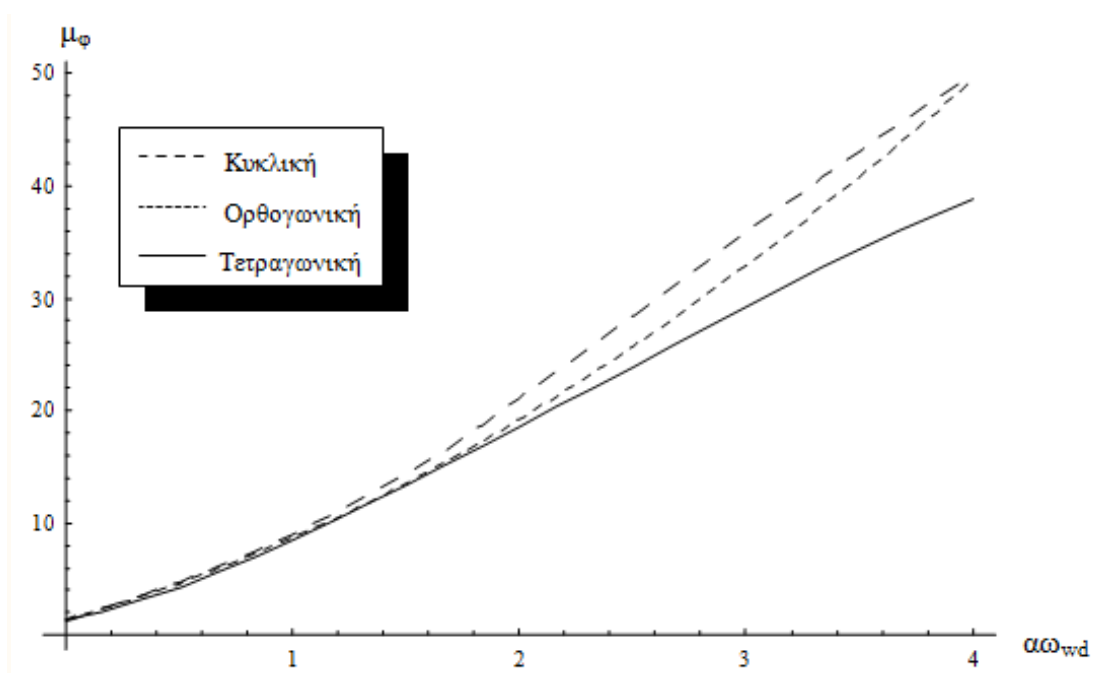


Σχήμα 13: Κυκλική και ορθογωνική διατομή

Τα αποτελέσματα της διαδικασίας φαίνονται στο παρακάτω πίνακα.

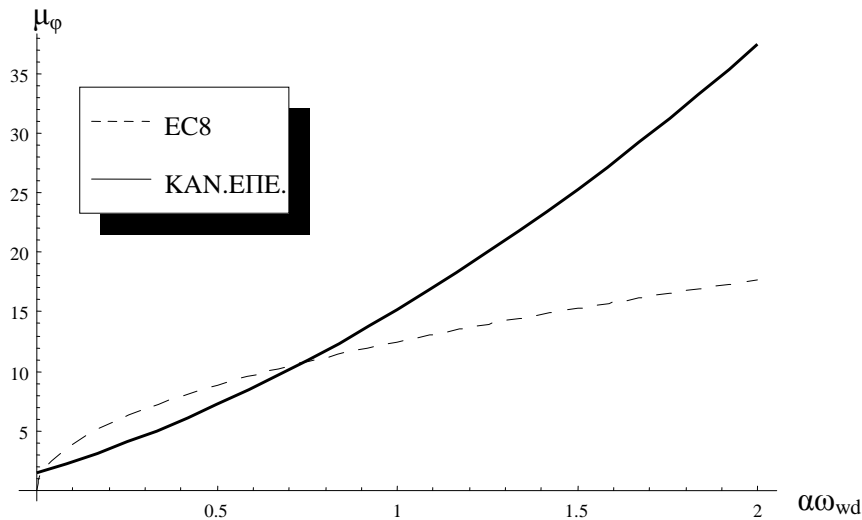
	Πλαστιμότητα μ_ϕ		
	Κυκλική	Ορθογωνική	Τετραγωνική
$\alpha\omega_{wd}= 0$	1,34	1,43	1,45
$\alpha\omega_{wd}= 0,5$	4,25	4,6	4,77
$\alpha\omega_{wd}= 1$	8,43	8,63	8,98
$\alpha\omega_{wd}= 2$	18,5	19,2	21,14
$\alpha\omega_{wd}= 4$	38,9	49,4	49,89

Πίνακας 5 : Τιμές πλαστιμότητας για διάφορες διατομές

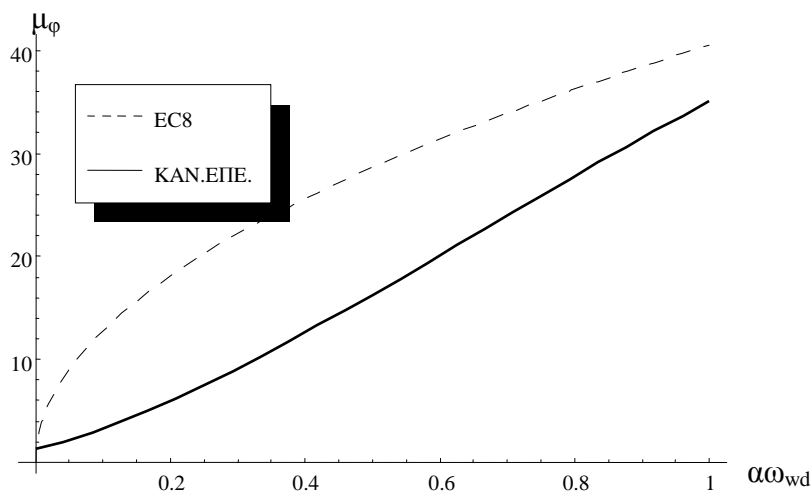


Σχήμα 14: Σχέση μ_ϕ - $\alpha\omega_{wd}$ για κυκλική, ορθογωνική και τετραγωνική διατομή

Από το Σχήμα 9 και τον Πίνακα 5 φαίνεται ότι η κυκλική διατομή χρειάζεται το περισσότερο ογκομετρικό ποσοστό σύνθετου υλικού για την επίτευξη μιας δεδομένης πλαστιμότητας, αν και οι διαφορές είναι μικρές. Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι η εφαρμογή των FRP σε κυκλικές διατομές είναι σαφώς πιο εύκολη από ότι σε ορθογωνικές. Στη συνέχεια υπολογίστηκε τα αντίστοιχα πάχη σύνθετου υλικού με βάση τον EC8-3 και για υλικό ξανά από ίνες άνθρακα με τα πιο πάνω χαρακτηριστικά (Αντοχή $f_i = 3800$ GPa και παραμόρφωση αστοχία $\epsilon_{ju} = 0,02$) και συγκρίνονται με τα αποτελέσματα του ΚΑΝ.ΕΠΕ.



Σχήμα 15: Σύγκριση EC8-ΚΑΝ.ΕΠΕ για ορθογωνική διατομή



Σχήμα 16: Σύγκριση EC8-ΚΑΝ.ΕΠΕ για κυκλική διατομή

Από τα σχήματα 15 και 16 επιβεβαιώνεται πάλι το γεγονός ότι οι δύο κανονισμοί έχουν αντίθετα κοίλα και τέμνονται γύρω στο 1mm υλικού (σε αντίθεση με πριν που τέμνονταν στο 1,5 mm. Αυτό είναι λογικό καθώς στους υπολογισμούς της πρώτης παραμέτρου συνηπολογίστηκε το ποσοστό των συνδετήρων).

4. Σύνθετο υλικό

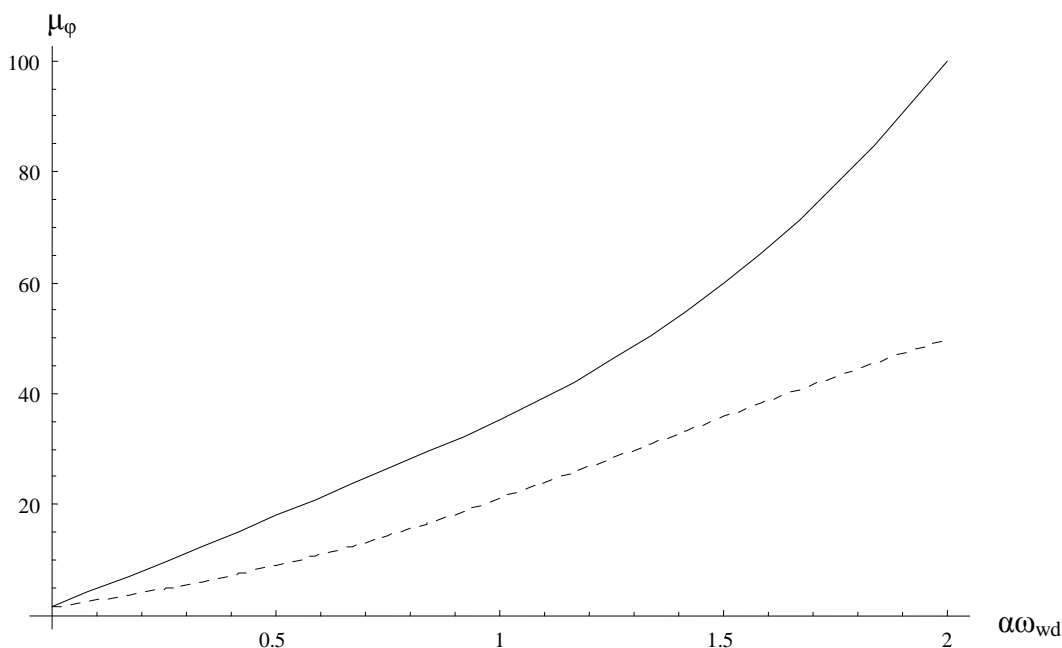
Τα σύνθετα υλικά που κυκλοφορούν στην αγορά αποτελούνται από ίνες που προέρχονται κυρίως από 3 υλικά: άνθρακα, γυαλί και αραμίδιο. Για το τελευταίο δεν υπάρχουν σε κανένα από τους δύο κανονισμούς ειδικές διατάξεις που να διαφοροποιούν τη διαδικασία υπολογισμού τους.

Όσον αφορά τον άνθρακα και το αραμίδιο, οι δύο κανονισμοί που εξετάζουμε έχουν διαφορές μεταξύ τους αλλά με μία σημαντική παρατήρηση. Ενώ ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. διαχωρίζει τα δύο υλικά με δυο διαφορετικές εξισώσεις για την παραμόρφωση αστοχίας τους (βλ. παρακάτω), ο EC8-3 περιορίζεται στο διαχωρισμό αυτό μόνο για μία από τις μεθόδους υπολογισμού κ συγκεκριμένα για την περίπτωση της γωνίας στροφής χορδής. Για το κύριο θέμα της εργασίας που είναι η στοχευμένη πλαστιμότητα καμπυλοτήτων λοιπόν μόνο ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. έρχεται να προσθέσει τις δύο διαφορετικές εξισώσεις (1) και (2) που έχουν παρουσιασθεί στο δεύτερο μέρος της εργασίας. Αν και παρατηρώντας τις δύο εξισώσεις :

$$(1) \text{ IOΠ άνθρακα} : \varepsilon_{cu,c} = 0,0035 \left(\frac{f_{c,c}}{f_c} \right)^2 \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (8.19)})$$

$$(2) \text{ IOΠ γυαλιού} : \varepsilon_{cu,c} = 0,007 \left(\frac{f_{c,c}}{f_c} \right)^2 \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (8.20)})$$

μπορούμε να υποθέσουμε ότι για την περίπτωση του γυαλιού οι τιμές της τοπικής πλαστιμότητας θα προκύπτουν περίπου διπλάσιες από αυτές του άνθρακα, αυτό δεν ισχύει παρά μόνο για ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών

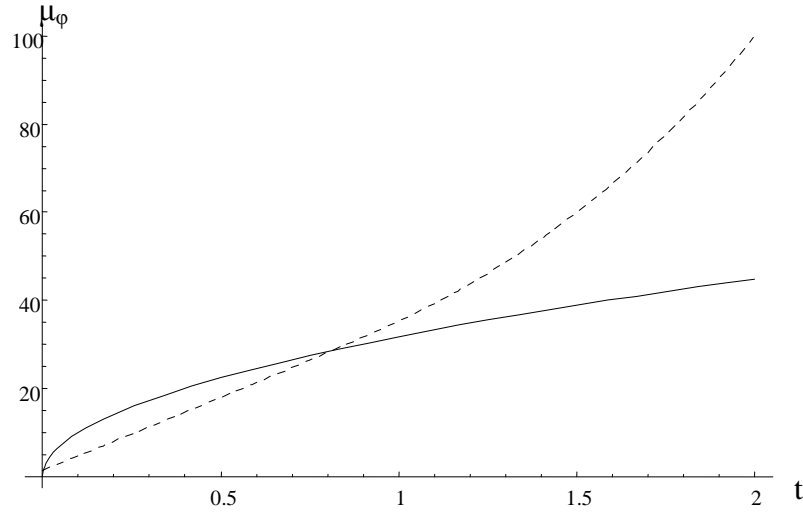


Σχήμα 17: Διάγραμμα μ_ϕ - $\alpha\omega_{wd}$ για IOΠ γυαλιού και για IOΠ άνθρακα
(Με διακεκομμένη είναι για ίνες άνθρακα)

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα οι τιμές $\mu_{\phi,tar}$ για IOΠ γυαλιού παύουν να είναι σχεδόν διπλάσιες από αυτές για IOΠ άνθρακα για $\alpha\omega_{wd} = 2,5$ mmγογκομετρικό ποσοστό περίσφιγξης.

Για να συγκρίνουμε την εξίσωση (2) που ξεχωριστά προβλέπει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. για σύνθετα υλικά με ίνες γυαλιού με τον EC8-3, θα ακολουθήσουμε για τον δεύτερο την διαδικασία που προβλέπει και έχει ήδη αναφερθεί πιο πάνω. Έτσι υποθέτοντας ότι εφαρμόζεται IOΠ γυαλιού με τα εξής χαρακτηριστικά, $E_f = 63 \text{ GPa}$ και $\varepsilon_{ju} = 0,04$ και $f_j = 2500 \text{ MPa}$, υπολογίστηκε το

πάχος του σύνθετου υλικού που απαιτείται και τα αποτελέσματα που προκύπτουν, με βάση τους δύο κανονισμούς παρουσιάζονται από κοινού στο παρακάτω διάγραμμα :



Σχήμα 18: Διάγραμμα μ_{ϕ} - t για ΙΟΠ γυαλιού
(Με διακεκομμένη είναι τα αποτελέσματα του ΚΑΝ.ΕΠΕ)

3. ΓΩΝΙΑ ΣΤΡΟΦΗΣ ΧΟΡΔΗΣ

Εκτός από τη χρήση των διαγραμμάτων ροπών-καμπυλοτήτων και τη διαδικασία που αναφέραμε προηγουμένως (τόσο για ΚΑΝ.ΕΠΕ. όσο και για EC8-3), ο υπολογισμός της στοχευμένης πλαστιμότητας μπορεί να γίνει και με τη χρήση της γωνίας στροφής χορδής.

Κατά τον ΚΑΝ.ΕΠΕ, η στοχευμένη πλαστιμότητα καμπυλοτήτων μπορεί να υπολογίζεται μέσω αξιόπιστων συσχετίσεων μ_{ϕ} και μ_{θ} όταν ο στόχος ανασχεδιασμού εκφράζεται σε όρους επιθυμητής γωνίας στροφής θ_d [4]. Για τις συσχετίσεις αυτές χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις :

$$\mu_{\phi} = 3 \mu_{\theta} - 2 \quad (\text{KAN.EΠΕ. Σχόλια Σελ. 3185 και 3278}) \quad (27)$$

$$\text{και } \theta_d = \mu_{\theta} \theta_y \quad (28)$$

όπου θ_y η γωνία στροφής χορδής κατά την καμπτική διαρροή.

Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιείται η εξίσωση:

$$\theta_y = \varphi_y \frac{L_s + a_v z}{3} + 0,0014 (1 + 1,5 \frac{h}{L_s}) + \frac{\varphi_y a_b f_y}{8 \sqrt{f_c}} \quad (\text{KAN.EΠΕ. Σ.2 ΠΑΡ 7.2.2}) \quad (29)$$

όπου L_s σε υποστηλώματα μπορεί να λαμβάνεται ως το μισό του καθαρού ύψους μεταξύ δοκών με τις οποίες το υποστήλωμα συνδέεται μονολιθικά, z ο μοχλοβραχίονας, a_v ισούται με 1 εάν η τέμνουσα V_{R1} είναι μικρότερη της τέμνουσας κατά την διαρροή $V_{Mu} = M_y / L_s$ και 0 αν είναι μεγαλύτερη, a_b η διάμετρος των διαμήκων ράβδων.

Κατά τον EC8-3 [7] η επιθυμητή γωνία στροφής υπολογίζεται από την σχέση

$$\theta_d = \frac{1}{\gamma} 0,016 (0,3^v) \left[\frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} f_c \right] \left(\frac{L_s}{h} \right) 25^{\alpha \rho_f f_{f,e}} (1,25)^{100 \rho_d} \quad (30)$$

(EC8-3 Μέρος A.3.2.2 Παράγραφος (1))

Όπου $\gamma = 1,5$ για πρωτεύοντα στοιχεία, ω και ω' το ποσοστό του εφελκόμενου και του θλιβόμενου χάλυβα, f_c η αντοχή του σκυροδέματος και ρ_d το ποσοστό του δισδιαγώνιου οπλισμού.

$$\text{Ακόμα : } \rho_f = 2t_f / b_w \quad (\text{EC8-3 Μέρος A.3.3.2 Παράγραφος (6)-(a)}) \quad (31)$$

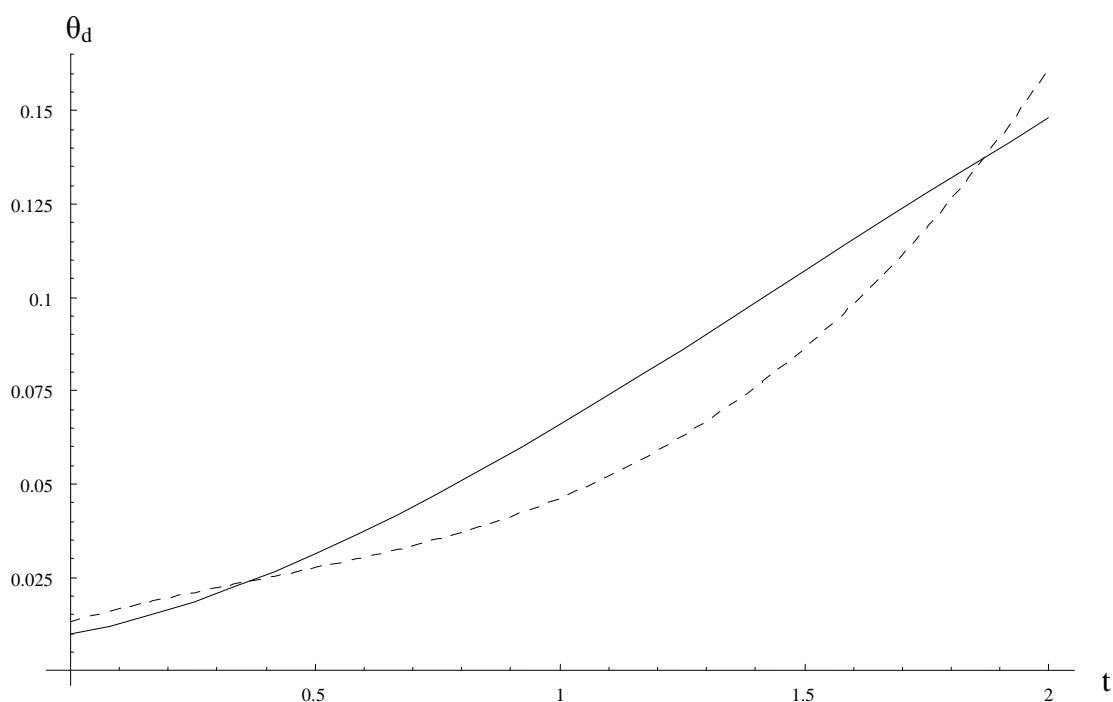
$$f_{f,e} = \min(f_{u,f}, \varepsilon_{u,f} E_f) (1 - \min(0,5; 0,7 \min(f_{u,f}, \varepsilon_{u,f} E_f) \rho_f / f_c) \quad (32)$$

$$\alpha = 1 - \frac{(b-2r)^2 + (h-2r)^2}{3bh} \quad (\text{EC8-3 Εξ. (A.36)}) \quad (33)$$

Για την εύρεση του όρου $f_{f,e}$ χρησιμοποιήθηκε η βελτιωμένη σχέση των Μπισκίνη-Φαρδή (2009) [6]. Έτσι εφαρμόζοντας τις διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ και του EC8 για τη διατομή του Σχήματος 2, θεωρώντας το δομικό μέλος πρωτεύων χωρίς δισδιαγώνιο οπλισμό, με συνολικό ύψος υποστυλώματος 3 m και θεωρώντας ότι το στοιχείο έχει επαρκή αντοχή ώστε να αποφεύγεται ο σχηματισμός πλαστικού μηχανισμού ορόφου προκύπτουν τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα. (Το υλικό που θεωρήθηκε είναι ΙΟΠ με ίνες άνθρακα και χαρακτηριστικά τα εξής : $f_j = 3800 \text{ GPa}$, $\epsilon_{ju} = 0,02$, $E_f = 190 \text{ GPa}$)

	t (mm)	0	0,25	0,5	1	2
ΚΑΝ.ΕΠΕ	θ_d (rad)	0,0098	0,0184	0,0313	0,0659	0,1479
EC8		0,0132	0,0275	0,0461	0,0862	0,1613

Πίνακας 6 : Τιμές γωνίας στροφής για διάφορα πάχη σύνθετου υλικού



Σχήμα 19: Διάγραμμα θ_d -t για ΙΟΠ άνθρακα (Με διακεκομμένη είναι τα αποτελέσματα του EC8-3)

Από το παραπάνω σχήμα γίνεται ξεκάθαρο ότι οι δύο κανονισμοί διαφέρουν στα αποτελέσματά τους και για στοχευόμενη πλαστιμότητα σε όρους γωνίας στροφής χορδής. Σε αντίθεση όμως με την πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων, στη γωνία στροφής πιο συντηρητικός είναι ο EC8.

Αξίζει ακόμα να αναφερθεί το γεγονός πως για την συγκεκριμένη παράγραφο και σε αντίθεση με όλα τα παραπάνω, με βάση τον EC8, οι τιμές της γωνίας στροφής χορδής αυξάνονται εκθετικά με την αύξηση του πάχους του υλικού περίσφιγξης. Τέλος είναι πολύ σημαντικό να αναφερθεί ότι σε αντίθεση με τον Ευρωκώδικα , ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξετάζει την πιθανότητα σχηματισμού πλαστικού μηχανισμού ορόφου μετατρέποντας στην περίπτωση αυτή τη συσχέτιση μεταξύ μ_ϕ και μ_θ . Για την περίπτωση λοιπόν που θεωρούμε ότι είναι πιθανός ο σχηματισμός πλαστικού μηχανισμού σε έναν όροφο του υπό εξέταση δομήματος η συσχέτιση μεταξύ μ_δ και μ_θ παίρνει την μορφή:

$$\mu_{\delta} = \mu_{\theta} \frac{H_{op}}{H_{tot}} \quad (\text{KAN.EΠE Παράγραφος 7.2.6 Εξίσωση (8)}) \quad (34)$$

όπου H_{tot} το ολικό ύψος του δομήματος και H_{op} το ύψος του ορόφου όπου φαίνεται πιθανός ο σχηματισμός πλαστικού μηχανισμού. Για το παράδειγμα ενός τετραώροφου δομήματος με κίνδυνο σχηματισμού πλαστικού μηχανισμού στον 2^ο όροφο χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (34) και (27) έχουμε: $\mu_{\theta} = \frac{2}{3}(\mu_{\phi} + 2)$. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι :

$\alpha\omega_{wd}$	0	0,5	1	1,5	2
θ_d	0,0197	0,0386	0,0626	0,1319	0,2958

Πίνακας 7: Τιμές $\alpha\omega_{wd}-\theta_d$ για πιθανότητα σχηματισμού πλαστικού μηχανισμού

Ενώ για την περίπτωση που για τον ίδιο όροφο θεωρήσουμε τα κατακόρυφα στοιχεία με αρκετή αντοχή ώστε να μην είναι πιθανός ο σχηματισμός πλαστικού μηχανισμού έχουμε:

$\alpha\omega_{wd}$	0	0,5	1	1,5	2
θ_d	0,0098	0,0184	0,03123	0,0659	0,1479

Πίνακας 8: Τιμές $\alpha\omega_{wd}-\theta_d$ χωρίς πιθανότητα σχηματισμού πλαστικού μηχανισμού

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τις δύο περιπτώσεις η πιθανότητα σχηματισμού πλαστικού μηχανισμού για το συγκεκριμένο παράδειγμα (2^{ος} όροφος ενός τετραώροφου δομήματος) δίνει τιμές διπλάσιες σε σχέση με τις τιμές χωρίς πιθανότητα σχηματισμού μηχανισμού.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Καταλήγοντας από τη σύγκριση μεταξύ ΚΑΝ.ΕΠΕ. και EC8-3 που παρουσιάστηκε παραπάνω συμπεραίνουμε ότι ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. στο σύνολο των περιπτώσεων για συγκεκριμένο επιθυμητό δείκτη πλαστιμότητας οδηγεί σε μεγαλύτερα πάχη σύνθετου υλικού περίσφιγξης από ότι ο EC8-3, αποτελέσματα τα οποία είναι πιο συντηρητικά. Για την ύπαρξη εγκάρσιου οπλισμού σε ένα δομικό στοιχείο προκύπτει ότι για την δεδομένη αύξηση της διαθέσιμης πλαστιμότητας που αυτή προσφέρει, τα αποτελέσματα των δύο κανονισμών δεν παρουσιάζουν μεγάλη διαφορά μεταξύ τους. Η αξονική θλιπτική δύναμη είναι η μόνη παράμετρος από αυτές που εξετάστηκαν για την οποία ο EC8-3 εμφανίζεται πιο συντηρητικός από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Για την περίπτωση των διαφορετικών διατομών τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ενώ για κυκλικές διατομές ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. εμφανίζει για συγκεκριμένο $\mu_{\phi,tar}$ μεγαλύτερα πάχη υλικών, στις ορθογωνικές διατομές αυτό γίνεται μέχρι ένα σημείο μετά από το οποίο τα αποτελέσματα αντιστρέφονται. Ο τύπος ινών του σύνθετου υλικού (άνθρακας ή γυαλί) παρουσιάζει τις διαφορές που προέκυψαν και σε άλλα παραδείγματα δηλαδή τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. πιο συντηρητικό. Τέλος η εμπειρική σχέση που προτείνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. απλοποιεί τη διαδικασία υπολογισμού και προτείνει αισθητά μεγαλύτερα πάχη του σύνθετου υλικού περίσφιγξης.

5.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Δρίτσος Σ., “Τα Σύνθετα Υλικά στις Κατασκευές”, 15^ο Συνέδριο Σκυροδέματος ,ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Αλεξανδρούπολη , 25-27 Οκτωβρίου 2006
- [2] Γιαννόπουλος Π., “Πλαστιμότητα Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα”, 14^ο Συνέδριο Σκυροδέματος ,ΤΕΕ, ΕΤΕΚ ,Κως 15-17 Οκτωβρίου 2003
- [3] Δρίτσος Σ., “Ενισχύσεις- Επισκευές Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος” ,Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2011, Σελ. 85
- [4]Ομάδα Μελέτης για τη Σύνταξη Κανονισμού Επεμβάσεων σε Κτίρια από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, ”Κανονισμός Επεμβάσεων-(ΚΑΝ.ΕΠΕ.)”,Ο.Α.Σ.Π. ,Κεφάλαιο 8.2.3 –Σελ. 3274-3278
- [5] Μπισκίνης Δ. , “Αντοχή και Ικανότητα Παραμόρφωσης Μελών Οπλισμένου Σκυροδέματος ,Με ή Χωρίς Ενίσχυση” , Διδακτορική Διατριβή , Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2007
- [6] Μπισκίνης Δ.-Φαρδής Μ., “Παραμόρφωση Αστοχίας Μελών Ο.Σ. Περισφιγμένων με ΙνοπλισμέναΠολυμερή(ΙΟΠ) “, 16^ο Συνέδριο Σκυροδέματος ,ΤΕΕ ,ΕΤΕΚ , 21-23/10/2009, Πάφος, Κύπρος
- [7] CEN, European Standard EN 1998-3:2005 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting of buildings, Comite EuropeendeNormalisation, 2005, Brusells