

ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΚΑΝ.ΕΠΕ. ΚΑΙ EC8 ΓΙΑ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΤΟΠΙΚΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ

ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΥ ΣΩΤΗΡΙΑ

Περίληψη

Η παρούσα εργασία στοχεύει στη παρουσίαση και τη σύγκριση των δύο διαθέσιμων κανονισμών, ΚΑΝ.ΕΠΕ. και Ευρωκώδικα, για τις επεμβάσεις σε υφιστάμενα ραβδόμορφα δομικά στοιχεία με στόχο την αύξηση της τοπικής τους πλαστιμότητας. Μέσω της σύγκρισης αυτής επιδιώκεται, σ' ένα πρώτο επίπεδο, να αποσαφηνιστούν τυχόν ασάφειες των κανονισμών, και να εντοπιστούν αδυναμίες των σχέσεων που υιοθετούνται. Σ' ένα δεύτερο επίπεδο, η εργασία στοχεύει στην αξιοποίηση όλων αυτών των αποτελεσμάτων, των συγκρίσεων, για την βελτίωση των σχέσεων (όπου απαιτείται), μέσω διόρθωσης ή οριοθέτησής τους. Προς το σκοπό αυτό οι σχέσεις δεν συγκρίνονται μόνο μεταξύ τους αλλά και με ακριβέστερες λύσεις, όπως αναλυτικές λύσεις από κατάλληλα λογισμικά προγράμματα. Τέλος, μέσω της εργασίας αυτής, δίνεται η δυνατότητα να αποκτήσει κανείς μία πλήρη εικόνα για την πλαστιμότητα ενός μέλους (πριν ή μετά την ενίσχυση) αλλά και των διαθέσιμων μέσων υπολογισμού της.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πλαστιμότητα ενός στοιχείου είναι η ικανότητα του στοιχείου να αναπτύσσει παραμένουσες παραμορφώσεις, μετά το πέρας της μέγιστης αντοχής του και χωρίς αυτή να αυξάνεται περεταίρω. Οι παραμορφώσεις αυτές μπορούν να μετριοούνται είτε σε όρους μετακινήσεων, δ (σπανιότερα), είτε σε όρους στροφής χορδής, θ , είτε σε όρους καμπυλότητας, φ , και κατά συνέπεια η πλαστιμότητα να συμβολίζεται ως μ_δ , μ_θ ή μ_φ , αντίστοιχα. Ως πλαστιμότητα ορίζεται, ουσιαστικά ο λόγος της τιμής του μεγέθους (δ ή θ ή φ) στην αστοχία προς την αντίστοιχη τιμή του στη διαρροή. Η ύπαρξη αυτής της ιδιότητας στα μέλη μίας κατασκευής που υπόκειται σε σεισμικά φορτία προσδίδει στην κατασκευή καλύτερη απόκριση σε σεισμό αλλά και τη δυνατότητα της ανακατανομής των φορτίων κι ως εκ τούτου την αποφυγή άμεσης κατάρρευσης της κατασκευής αλλά και την προστασία της ανθρώπινης ζωής. Η φιλοσοφία αυτή, των πλάστιμων μελών, αναπτύχθηκε και υιοθετήθηκε από τους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς, των τελευταίων δεκαετιών. Κατά συνέπεια, οι υφιστάμενες κατασκευές, στην Ελλάδα, που είναι κτισμένες με παλαιούς κανονισμούς ή ακόμη και απουσία κανονισμού, υπολείπονται αυτών των πλεονεκτημάτων της πλαστιμότητας και χρήζουν άμεσης ενίσχυσης για την βελτίωση της απόδοσής τους. Τόσο λοιπόν ο Ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.), όσο και ο Ευρωκώδικας που αποτελούν τους σε ισχύ κανονισμούς αυτή τη στιγμή στον Ελλαδικό χώρο, έχουν μεριμνήσει και περιλάβει διατάξεις για την αποκατάσταση αυτών των αδυναμιών. Και για τους δύο κανονισμούς η αποκατάσταση επέρχεται με την περίσφιγξη του υφιστάμενου μέλους με κατάλληλη ποσότητα υλικού, η οποία θα επιτύχει συγκεκριμένη τιμή στην πλαστιμότητα. Σημειώνεται, πως ο Ευρωκώδικας, εν αντιθέσει με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., ως μοναδικό υλικό περίσφιγξης αποδέχεται τα σύνθετα υλικά (Fiber Reinforced Polymers, FRPs) τα οποία χρησιμοποιούνται και στην εν λόγω εργασία, με τη μορφή μανδύων, ως κοινό υλικό για την σύγκριση των δύο κανονισμών. Τα υλικά αυτά, που γνωρίζουν ιδιαίτερη ανάπτυξη τις τελευταίες δεκαετίες και τυγχάνουν εξαιρετικά ευρείας χρήσης στο χώρο των επισκευών και ενισχύσεων, έχουν χαρακτηριστικά πλεονεκτήματα την υψηλή εφελκυστική αντοχή, το χαμηλό βάρος, την ανθεκτικότητα σε διάβρωση (και όχι μόνο) με βασικό, όμως, μειονέκτημα την παντελή έλλειψη ολκιμότητας^[10]. Διατίθενται, κυρίως, υπό τη μορφή ελασμάτων ή υφασμάτων, και αποτελούνται από ίνες σε (συνήθως) πολυμερική μήτρα (που αποτελεί τη συγκολλητική ύλη μεταξύ των ινών)^[10]. Οι ίνες, συνήθως, προέρχονται από άνθρακα(CFRP), γυαλί(GFRP) ή αραμίδιο(AFRP).

2. ΔΙΑΤΟΜΗ ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗ

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στο προσδιορισμό της πλαστιμότητας που διαθέτει ένα υφιστάμενο μέλος, πριν αυτό ακόμα ενισχυθεί. Ο προσδιορισμός της διαθέσιμης πλαστιμότητας αυτής μπορεί να γίνει, σε όρους καμπυλοτήτων, είτε με βάσει κλειστούς τύπους του ΚΑΝ.ΕΠΕ., είτε με τη δημιουργία του πλήρες διαγράμματος ροπών-καμπυλοτήτων, Μ-φ, που εν γένει αποτελεί τον βασικό και αναλυτικό τρόπο προσδιορισμού, αλλά απαιτεί τη χρήση υπολογιστικών προγραμμάτων ανάλυσης διατομής. Για την αποτελεσματική σύγκριση αλλά και τον έλεγχο της ακρίβειας των σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ., η καμπυλότητα, στην εργασία αυτή, προσδιορίζεται και με τους δύο τρόπους ενώ για τον δεύτερο γίνεται χρήση των προγραμμάτων ΒΙΑΧ και ΧTRACT. Από τα προγράμματα αυτά το ΧTRACT δίνει απευθείας τη τιμή του δείκτη πλαστιμότητας. Αντίθετα, το ΒΙΑΧ δίνει το διάγραμμα ροπών-καμπυλοτήτων στο οποίο γίνεται προσαρμογή μιας «ισοδύναμης» ελαστοπλαστικής καμπύλης, με βάση την αρχή των ίσων εμβαδών και με χρήση κατάλληλου προγράμματος, ΒΙΛΙΝ. Από τη διαδικασία αυτή προσδιορίζονται οι καμπυλότητες στα δύο σημεία της καμπύλης, στην αστοχία και την διαρροή, αλλά και ο λόγος αυτών, ως δείκτης πλαστιμότητας. Ως ο λόγος της καμπυλότητας στην αστοχία προς τη καμπυλότητα στη διαρροή προσδιορίζεται ο δείκτης πλαστιμότητας και κατά τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί πως, για τον καλύτερο έλεγχο των σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ., οι υφιστάμενοι εσωτερικοί συνδετήρες λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς, ενώ αυτό ισχύει μόνο για το κεφάλαιο αυτό. *(για προσαρμογή ελαστοπλαστικής καμπύλης, βλ. ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013.^[1] σχόλια §7.2.1.(α))*

2.1.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1.1.Προσδιορισμός προσομοιώματος διατομής

Μηχανικά χαρακτηριστικά περισφιγμένου πυρήνα διατομής

Από όλα τα διαθέσιμα προσομοιώματα για ένα στοιχείο που περισφίγγεται μέσω χαλύβδινων συνδετήρων, επιλέγεται στην εν λόγω εργασία, το προσομοίωμα του ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Σχέδιο 2016^[2] (έχει υιοθετηθεί και παρουσιαστεί και στο Model Code 2010^[7]), βάσει του οποίου τα μηχανικά χαρακτηριστικά της διατομής προσδιορίζονται από τις ακόλουθες εξισώσεις: *(βλ. ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013^[2]-Σχέδιο 2016 §7.2.4.1.α εξισώσεις (Σ.6) και (Σ.7))*

Η βράχυνση αστοχίας της ακραίας θλιβόμενης ίνας σκυροδέματος για απερίσφικτο σκυρόδεμα είναι ίση με: $\varepsilon_{cu}=0.004$ (1)

ενώ η βράχυνση αστοχίας της ακραίας θλιβόμενης ίνας του περισφιγμένου πυρήνα μπορεί να εκτιμηθεί από τη σχέση: $\varepsilon_{cu,c} = 0.004 + 0.4 \frac{\alpha \rho_{sx} f_{yw}}{f_{cc}}$ (2)

όπου f_{yw} είναι η τάση διαρροής των συνδετήρων, $\rho_{sx} = A_{sx}/b_w s_h$ είναι το ποσοστό του εγκάρσιου οπλισμού παράλληλα προς την κατεύθυνση x της φόρτισης (s_h η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων), f_{cc} και α , είναι η αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος και ο συντελεστής αποδοτικότητας της περισφιγξης, αντίστοιχα τα οποία μπορούν να υπολογιστούν από τους ακόλουθους τύπους:

$$f_{cc} = f_c(1 + k) = f_c \left(1 + 3.5 \left(\frac{\alpha \rho_{sx} f_{yw}}{f_c} \right)^{3/4} \right) \quad (3)$$

$$\alpha = \alpha_s \cdot \alpha_n = \left(1 - \frac{s}{2b_o} \right) \left(1 - \frac{s}{2h_o} \right) \left(1 - \frac{\sum b_i^2/6}{b_o h_o} \right) \quad (4)$$

όπου b_o και h_o οι διαστάσεις του πυρήνα (με $h_o \leq 1.5 \div 2.0 b_o$) και b_i οι περίπου ίσες αποστάσεις των διαμήκων ράβδων που συγκρατούνται από συνδετήρα ή άγκιστρο σιγμοειδούς εγκάρσιου συνδέσμου, κατά την περίμετρο της διατομής. ($b_o = b - 2c - 2\phi_h/2$, $h_o = h - 2c - 2\phi_h/2$ και $b_i = b - 2c - 2\phi_h - 2\phi_L/2$ με ϕ_h και ϕ_L είναι η διάμετρος του εγκάρσιου και διαμήκη οπλισμού αντίστοιχα). Αν οι συνδετήρες δεν κλείνουν με άγκιστρο προς το εσωτερικό του σκυροδέματος

($\geq 135^\circ$ στις γωνίες και $\geq 90^\circ$ στο ενδιάμεσο των πλευρών), συνίσταται να αμελείται η περισφιγξη και ο συντελεστής α να λαμβάνεται ίσος με 0.

Η παραμόρφωση, ε_{cc} , μέχρι την οποία το διάγραμμα σ - ε του περισφιγμένου σκυροδέματος λαμβάνεται παραβολικό είναι ίση με : $\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}(1 + 5k)$ (5)

Η αντίστοιχη παραμόρφωση, ε_{co} , για το διάγραμμα σ - ε του απερίσφικτου σκυροδέματος είναι ίση με: $\varepsilon_{co} = 0.002$ (6)

Λοιπά μηχανικά χαρακτηριστικά διατομής

Για τον προσδιορισμό της καμπυλότητας στην αστοχία παρακάτω είναι ανάγκη να ορισθούν και ορισμένα επιπλέον χαρακτηριστικά μεγέθη. Συγκεκριμένα, για την εν λόγω εργασία θεωρείται πως ο χάλυβας που χρησιμοποιείται γενικά σε παλιές κατασκευές είναι κατηγορίας πλαστιμότητας B και σύμφωνα με μία συλλογή δεδομένων για τους χάλυβες εποχής^[8] λαμβάνεται εν τέλει στην εργασία:

ονομαστική τιμή της παραμόρφωσης αστοχίας χάλυβα, $\varepsilon_{su,nominal} = 0.09$

και λόγος μέγιστης αντοχής προς αντοχή διαρροής χάλυβα, $f_t/f_y = 1,15$ (7)

Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. η ομοιόμορφη μήκυνση αστοχίας του εφελκόμενου οπλισμού, ε_{su} , σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση θα πρέπει να λαμβάνεται μειωμένη σε σχέση με την ονομαστική τιμή, $\varepsilon_{su,nominal}$, όπως αυτή προκύπτει από τη κορυφή του διαγράμματος σ - ε του χάλυβα κατά την τυποποιημένη δοκιμή ράβδων οπλισμού σκυροδέματος σε εφελκυσμό. Συγκεκριμένα προτείνεται να λαμβάνεται από τη σχέση: (βλ. ΚΑΝ.ΕΠΕ.^[2]-Σχέδιο 2016 §7.2.4.1.a εζ.(Σ.7δ))

$$\varepsilon_{su} = (3/8) \varepsilon_{su,nominal} = (3/8)0.09 = 0.034 \quad (8)$$

$$\varepsilon_{sh} = 5\varepsilon_y, \text{ όπου } \varepsilon_y \text{ είναι η παραμόρφωση διαρροής του χάλυβα } (\varepsilon_y = f_y/E_s \text{ με } E_s = 200\text{GPa}^{[4]}) \quad (9)$$

Άλλα προσομοιώματα περισφιγμένης διατομής

Όπως έχει ήδη διευκρινιστεί όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά της διατομής ορίστηκαν σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. -Σχέδιο 2016^[2] αλλά κρίνεται σκόπιμο, να αναφερθεί και το παλιό προσομοίωμα που χρησιμοποιούνταν από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013^[1](§6.2), ο οποίος αποτελεί και την τελευταία επίσημη έκδοση κατά τη περίοδο εκπόνησης αυτής της εργασίας. Το προσομοίωμα αυτό αναφέρεται μόνο για λόγους πληρότητας της εργασίας ενώ δεν χρησιμοποιείται καθόλου ούτε στα επόμενα κεφάλαια. Σύμφωνα, λοιπόν, μ' αυτό ισχύουν οι ακόλουθοι τύποι: (ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013^[1] §6.2.1 εξισώσεις (6.17) με (6.20))

Η αντοχή περισφιγμένου (μέσω συνδετήρων από χάλυβα) σκυροδέματος, υπολογίζεται ως:

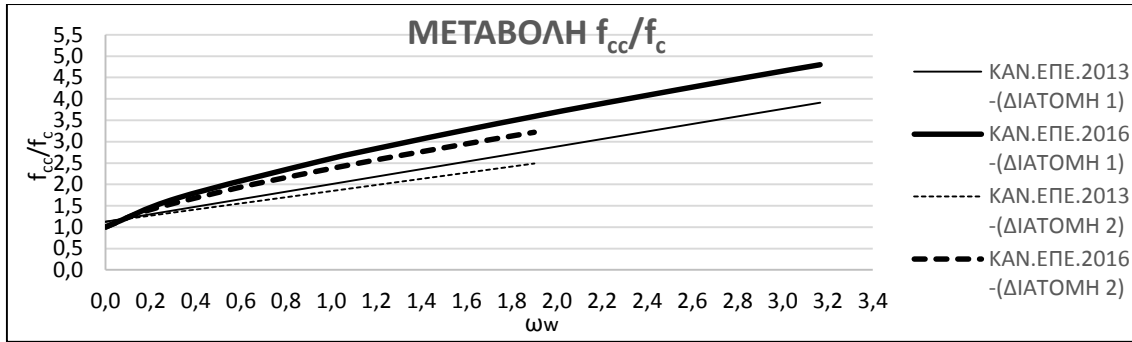
$$f_{cc} = f_c(1.125 + 1.25a\omega_w), \text{ για } a\omega_w > 0.10 \text{ ή} \quad (10\alpha)$$

$$f_{cc} = f_c(1 + 2.5a\omega_w), \text{ για } a\omega_w < 0.10 \quad (10\beta)$$

Ενώ η παραμόρφωση στην αστοχία και η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη μέγιστη τάση f_{cc} , υπολογίζονται από τους τύπους:

$$\varepsilon_{cu,c} = 0.0035 + 0.1a\omega_w, \text{ και } \varepsilon_{cc} = 0.002(f_{cc}/f_c)^2, \text{ αντίστοιχα.} \quad (11)$$

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα διάγραμμα για την μεταβολή της αντοχής (και συγκεκριμένα του λόγου της αντοχής της περισφιγμένης προς την απερίσφικτη διατομή) σε σχέση με το ογκομετρικό ποσοστό, όταν αυτή υπολογίζεται από το παραπάνω προσομοίωμα του ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013 και όταν υπολογίζεται από τη σχέση εξ.(3) του ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Σχέδιο 2016.



Διάγραμμα 1. Μεταβολή της αντοχής σε σχέση με το ογκομετρικό ποσοστό περίσφιγξης, όταν αυτή υπολογίζεται από το προσομοίωμα του ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013 και όταν υπολογίζεται από την εξ.(3) κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Σχέδιο 2016.

Από το παραπάνω διάγραμμα εντοπίζεται έντονη διαφορά στα δύο προσομοιώματα με το νέο προσομοίωμα κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Σχέδιο 2016^[2] να δίνει μεγαλύτερες τιμές για την αντοχή περισιφγμένης διατομής, κατά περίπου 20-30% σε σχέση με αυτή του παλιού προσομοιώματος κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013^[1].

2.1.2. Προσδιορισμός της πλαστιμότητας σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Καμπυλότητα στη διαρροή

Για τον προσδιορισμό της καμπυλότητας διαρροής, φ_y , διατομής οπλισμένου σκυροδέματος με ορθογωνική θλιβόμενη ζώνη, ο ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013^[1] υιοθετεί μία αναλυτική διαδικασία, με τους παρακάτω κλειστούς τύπους, οι οποίοι βασίζονται στις παραδοχές επιπεδότητας διατομών κατά Navier-Bernoulli και γραμμικής σχέσης σ - ϵ των υλικών (χάλυβα και σκυροδέματος) μέχρι τη διαρροή. Κριτήριο, δε, της διαρροής είναι: η εξάντληση της τάσης διαρροής του χάλυβα, f_y , ή η βράχυνση της ακραίας θλιβόμενης ίνας $\epsilon_c = 1.8f_c/E_c$. (βλ. ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013^[1] Παράρτημα 7Α, εξισώσεις (Α.1)-(Α.5))

Εάν η διαρροή οφείλεται σε διαρροή του εφελκόμενου οπλισμού, η καμπυλότητα δίνεται από τη σχέση:
$$\varphi_y = \frac{f_y}{E_s(1-\xi_y)d} \quad (12)$$

Εάν η διαρροή οφείλεται σε μη-γραμμικότητα των παραμορφώσεων του θλιβόμενου σκυροδέματος (για παραμόρφωση ακραίας θλιβόμενης ίνας πέραν του), η καμπυλότητα δίνεται από τη σχέση:
$$\varphi_y = \frac{1.8f_c}{E_c\xi_y d} \quad (13)$$

με ανηγμένο (στο στατικό ύψος d) ύψος της θλιβόμενης ζώνης: $\xi_y = (a^2A^2 + 2aB)^{\frac{1}{2}} - aA$ όπου,

- $\alpha = E_s/E_c$, είναι ο λόγος του μέτρου ελαστικότητας του χάλυβα προς το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος
- A, B παράμετροι που προσδιορίζονται ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο διαρρέει το στοιχείο, δηλαδή:

$$A = \rho + \rho' + \rho_v + \frac{N}{bdf_y}, \quad B = \rho + \rho'\delta' + 0,5\rho_v(1 + \delta') + \frac{N}{bdf_y} \quad (14)$$

εάν η διαρροή ελέγχεται από τον εφελκόμενο οπλισμό (διαρροή λόγω χάλυβα), ή

$$A = \rho + \rho' + \rho_v - \frac{N}{1,8abd f_c}, \quad B = \rho + \rho'\delta' + 0,5\rho_v(1 + \delta') \quad (15)$$

εάν η διαρροή ελέγχεται από το θλιβόμενο σκυρόδεμα (διαρροή λόγω παραμορφώσεων σκυροδέματος)

όπου,

ρ, ρ', ρ_v είναι τα ποσοστά του εφελκόμενου, του θλιβόμενου και του μεταξύ τους κατανεμημένου οπλισμού (ανηγμένα στο bd)

$$\delta = d'/d$$

d', b είναι η απόσταση από το κέντρο του θλιβόμενου οπλισμού μέχρι την ακραία θλιβόμενη ίνα σκυροδέματος και είναι το πλάτος της θλιβόμενης ζώνης, αντίστοιχα

N είναι το αξονικό φορτίο (θετικό σε θλίψη)

Ως τελική τιμή για την καμπυλότητα αστοχίας επιλέγεται η μικρότερη από τις δύο τιμές των εξ.(12) και εξ.(13) (που έχουν συνδυαστεί αντίστοιχα με τις εξ.(14) και εξ.(15))

Αναφέρει δε, εναλλακτικά ο ΚΑΝ.ΕΠΕ., ότι προσεγγιστικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι ημι-εμπειρικές σχέσεις: (βλ. ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Σχέδιο 2016^[2] Παράρτημα 7Α, εξισώσεις (Α.7.α)-(Α.7.β))

Ημι-εμπειρική σχέση 1: $\varphi_y = 1.75 f_y / E_s h$ (16)

Ημι-εμπειρική σχέση 2: $\varphi_y = 1.54 f_y / E_s d$ (17)

Καμπυλότητα στην αστοχία

Για τον προσδιορισμό της καμπυλότητας στην αστοχία, φ_u , διατομής οπλισμένου σκυροδέματος με ορθογωνική θλιβόμενη ζώνη ο ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Σχέδιο 2016^[2], υιοθετεί μία αναλυτική διαδικασία με κλειστούς τύπους από ανάλυση διατομής χωρίς να απαιτείται το πλήρες διάγραμμα ροπών-καμπυλοτήτων. (ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Σχέδιο 2016^[2] Παράρτημα 7Ε, εξισώσεις (Ε.1)-(Ε.19) και εφαρμογή Διαγράμματος ροής 1 και 2)

Ο υπολογισμός της καμπυλότητας στην αστοχία, φ_u , και της ροπής αντοχής, M_u , μπορεί να βασιστεί στις ίδιες αρχές με τον υπολογισμό της καμπυλότητας διαρροής, φ_y και στους ακόλουθους νόμους τάσεων-παραμορφώσεων, σ - ϵ , των υλικών:

- Για το σκυρόδεμα: Το απερίσφικτο σκυρόδεμα έχει παραβολικό διάγραμμα σ - ϵ μέχρι την αντοχή f_c και τη παραμόρφωση $\epsilon_{co}=0.002$. Πέρα από αυτό το σημείο το διάγραμμα σ - ϵ είναι οριζόντιο μέχρι παραμόρφωση αστοχίας $\epsilon_{cu}=0.004$. Στο πυρήνα του σκυροδέματος, εντός των συνδετήρων, οι τιμές των ϵ_{co} και ϵ_{cu} και η αντοχή του σκυροδέματος πρέπει να λαμβάνονται αυξημένες λόγω της περισφιγξης από την εξ(5) και εξ.(2), αντίστοιχα
- Για τον χάλυβα: ο νόμος σ - ϵ του χάλυβα οπλισμού λαμβάνεται ελαστικός-πλήρως πλαστικός για μικρές παραμορφώσεις, όπως αυτές που συναντώνται για θραύση του σκυροδέματος στη θλιβόμενη ζώνη. Για μεγάλες παραμορφώσεις χάλυβα, όπως αυτές που συναντώνται για αστοχία λόγω θραύσης του εφελκόμενου οπλισμού, ο ελαστικός κλάδος ακολουθείται από πλατό διαρροής με σταθερή τάση f_y μέχρι παραμόρφωση ϵ_{sh} (βλ.εξ.(9)). Λαμβάνεται γραμμική σχέση κράτυνσης από τάση f_y , για παραμόρφωση ϵ_{sh} , μέχρι τη μέγιστη τάση f_t που αντιστοιχεί στην οριακή παραμόρφωση ϵ_{su} (βλ.εξ.(8)).

Αύξηση της παραμόρφωσης πέρα από το όριο διαρροής έχει ως αποτέλεσμα η κρίσιμη διατομή να φθάσει σε οριακή κατάσταση κάτω από ένα από τα δύο παρακάτω ενδεχόμενα: (βλ. σχόλια ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013.^[1] §7.2.4.1.(α) εξισώσεις (Σ.4) και (Σ.5) ή ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Σχέδιο 2016^[2] Παράρτημα 7Ε, εξισώσεις (Ε.1),(Ε.2))

A. Θραύση του εφελκόμενου οπλισμού όταν εξαντλείται η μέγιστη παραμόρφωση του χάλυβα, ϵ_{su} . Η καμπυλότητα στην αστοχία υπολογίζεται ως: $\varphi_{su} = \frac{\epsilon_{su}}{(1-\xi_{su})d}$ (18)

B. Αποδιοργάνωση της θλιβόμενης ζώνης η οποία λαμβάνει χώρα όταν οι ακραία θλιβόμενη ίνα φθάνει τη μέγιστη παραμόρφωση, ϵ_{cu} . Η καμπυλότητα στην αστοχία υπολογίζεται τότε από την εξίσωση: $\varphi_{cu} = \frac{\epsilon_{cu}}{\xi_{cu}d}$ (19)

όπου, για τα ξ_{su}, ξ_{cu} διατίθεται μία σειρά εξισώσεων, που δεν παρουσιάζονται όμως (λόγω εκτεταμένης έκτασης) στην εργασία, από τις οποίες επιλέγεται κάθε φορά μία ανάλογα με τις τιμές των παραμέτρων: d' (ή δ με $\delta=d'/d$), $v=N/bdf_c$, $\omega_1=\rho_1 f_{y1}/f_c$, $\omega_2=\rho_2 f_{y2}/f_c$, $\omega_v=\rho_v f_{yv}/f_c$ αλλά και τα χαρακτηριστικά μεγέθη των διαγραμμάτων σ - ϵ των υλικών.

Οι δύο παραπάνω τρόποι αστοχίας^[5] μπορούν να συμβούν σε ένα από τα παρακάτω στάδια:

1. Πριν, ή κατά τη διάρκεια αποφλοιώσης της αποφλοιώσης του απερίσφικτου σκυροδέματος της επικάλυψης, δηλαδή σε επίπεδο πλήρους διατομής με τις πλήρεις διαστάσεις, b , h , d , ή
2. Σε επίπεδο διατομής του περισφιγμένου πυρήνα, μετά την αποφλοιώση του σκυροδέματος της επικάλυψης. Σ' αυτή τη περίπτωση η διατομή είναι αυτή του περισφιγμένου πυρήνα) και το σκυρόδεμα να έχει τις ιδιότητες του περισφιγμένου σκυροδέματος, f_{cc} , ϵ_{cc} , $\epsilon_{cu,c}$ (από τις εξ.(3), εξ.(5) και εξ.(2) αντίστοιχα), αντί για f_c , ϵ_{co} , ϵ_{cu} . Εάν συμβεί θραύση της επικάλυψης σκυροδέματος πριν την θραύση του εφελκόμενου οπλισμού, υπάρχει η πιθανότητα η ροπή αντοχής του περισφιγμένου πυρήνα, M_{Ro} , να ξεπερνά το 80% της ροπής αντοχής της πλήρους διατομής, M_{Rc} , (όπου το 80% είναι το όριο της συμβατικής αστοχίας.) Στην περίπτωση αυτή η διατομή φτάνει σε οριακή κατάσταση αστοχίας σε κάμψη μετά την αποφλοιώση του σκυροδέματος, κατά τα ενδεχόμενα πάλι Α ή Β, παραπάνω.

Δείκτης πλαστιμότητας σε όρους καμπυλοτήτων

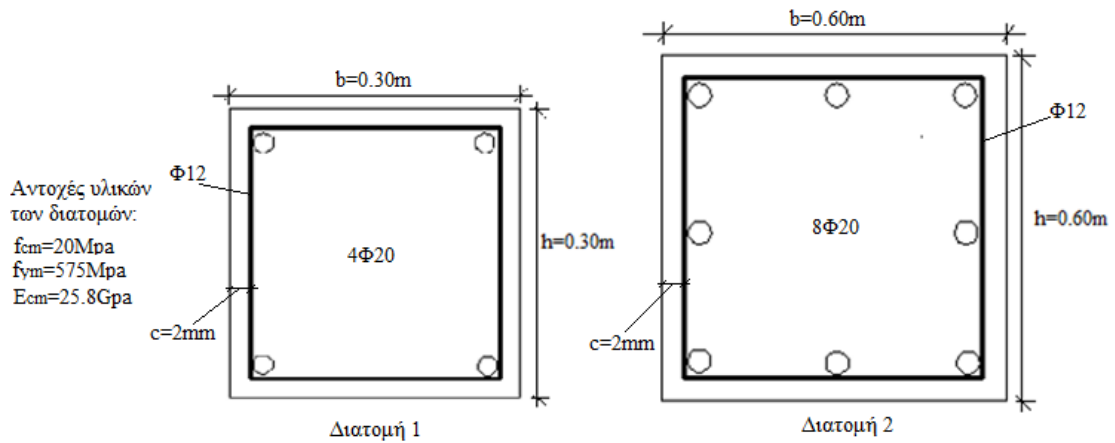
Ο δείκτης πλαστιμότητας σε όρους καμπυλοτήτων, μ_ϕ , προκύπτει κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. ως ο λόγος της καμπυλότητας της διατομής στην αστοχία προς τη καμπυλότητα στη διαρροή, (όπως αυτή υπολογίζεται από την αναλυτική διαδικασία (βλ. εξ.(12) έως (15)).

2.1.3. Προσδιορισμός της πλαστιμότητας μέσω Διαγραμμάτων Μ-φ

Στο ΒΙΑΧ είναι ενσωματωμένο το προσομοίωμα περίσφιγξης που περιγράφηκε από τις εξ.(10)-(11)^[6] αντί του επιθυμητού κατά τις εξ.(2),(3),(5). Με στόχο την επίτευξη συγκεκριμένης παραμόρφωσης αστοχίας, $\epsilon_{cu,c}$ της εξ.(2), γίνεται κατάλληλη προσαρμογή του προγράμματος μέσω των δεδομένων που εισάγονται. Ανάλογα, αλλά με πιο εύκολο τρόπο, εισάγεται το επιθυμητό προσομοίωμα και στο XTRACT. Σημειώνεται, μόνο πως για την διγραμμικοποιημένη καμπύλη Μ-φ του ΒΙΑΧ, ως αστοχία ορίζεται το σημείο όπου ένα από τα δύο υλικά, χάλυβας και περισφιγμένο σκυρόδεμα, φτάσουν τις οριακές τους παραμορφώσεις ϵ_{su} , $\epsilon_{cu,c}$, αντίστοιχα, ή όταν η ροπή αστοχίας υπολείπεται της ροπής διαρροής κατά ποσοστό μεγαλύτερο του 20%. *(για ορισμό σημείου αστοχίας βλ. ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013^[1] §6.4. (β))*

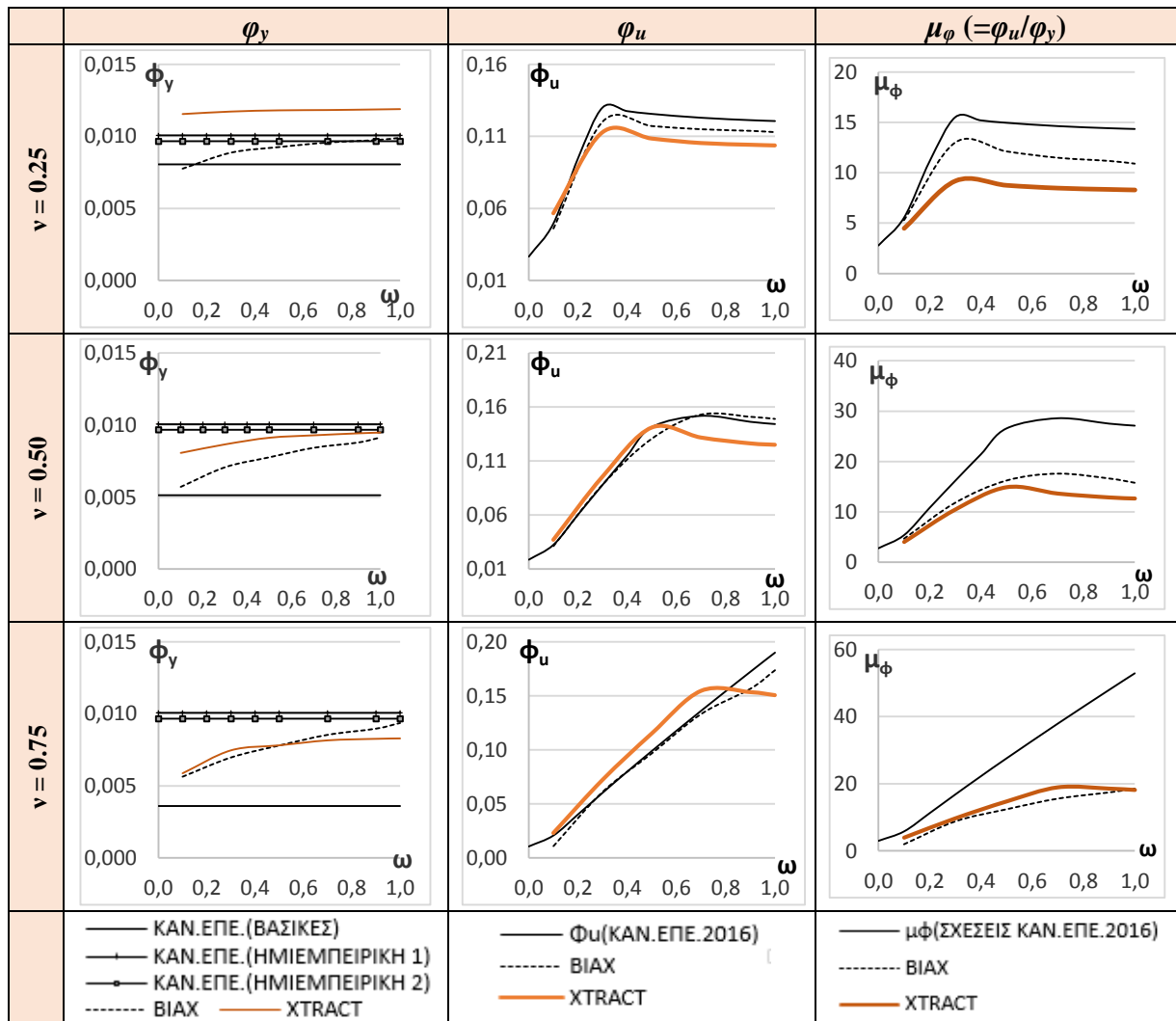
2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Επιλέγονται δύο υποστυλώματα ύψους 3m, με αντιπροσωπευτικές διατομές (συνήθης για υφιστάμενες κατασκευές), Διατομή 1 και Διατομή 2, με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα. Τα υποστυλώματα αυτά αποτελούν κύρια σεισμικά στοιχεία για το δόμημα στο οποίο ανήκουν ενώ έχουν κατάλληλες διαμορφώσεις λεπτομερειών για αντοχή σε σεισμό. Οι ράβδοι του υποστυλώματος θεωρούνται θερμικής κατεργασίας και ότι είναι συνεχής χωρίς παράθεση. Για την αποτελεσματική σύγκριση των σχέσεων, οι διατομές φορτίζονται με ανηγμένα αξονικά φορτία, $\nu=0.25$, $\nu=0.50$ και $\nu=0.75$ ενώ θεωρείται ότι περισφίγγονται με υφιστάμενους συνδετήρες σε ογκομετρικά ποσοστά: $\omega_w=0.1$, $\omega_w=0.3$, $\omega_w=0.7$, $\omega_w=0.9$ και $\omega_w=1.0$. Αντιπροσωπευτικά, παρουσιάζονται παρακάτω στο Πίνακα 1, τα διαγράμματα που προέκυψαν για τη Διατομή 2, (ανάλογα προκύπτουν και για τη Διατομή 1).



Σχήμα 1. Αντιπροσωπευτικές τετραγωνικές διατομές: Διατομή 1 και Διατομή 2

2.2.1. Έλεγχος εγκυρότητας των σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τον προσδιορισμό της διαθέσιμης πλαστιμότητας



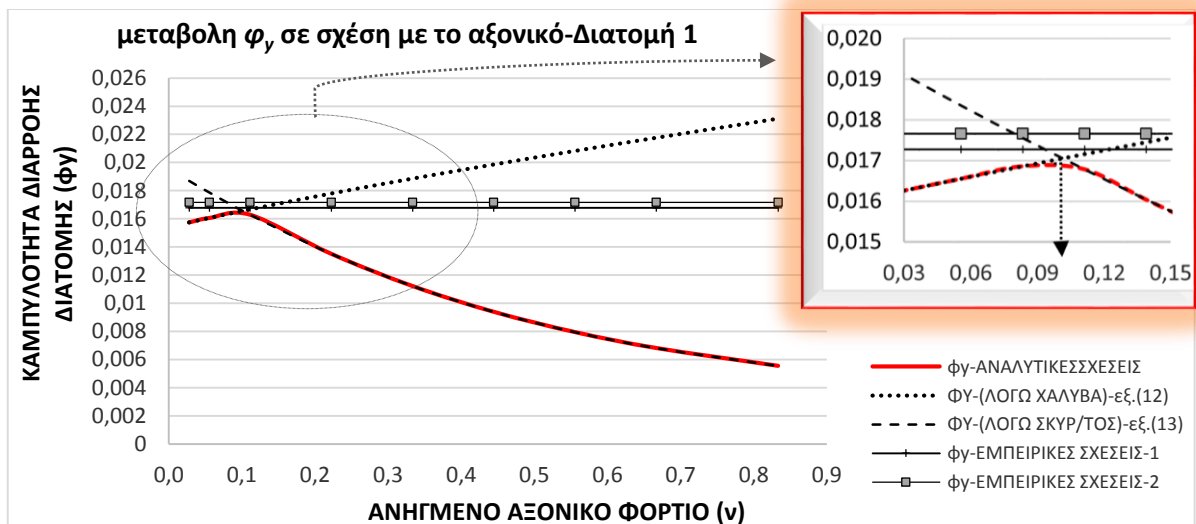
Πίνακας 1. Διαγράμματα μεταβολής των μεγεθών ϕ_y , ϕ_u και μ_ϕ , σε σχέση με το ογκομετρικό ποσοστό συνδετήρων, ω , για διάφορες τιμές του ανηγμένου αξονικού, ν , για τη Διατομή 2

Από τα διαγράμματα του Πίνακα 1, συμπεραίνεται ότι:

- Οι κλειστοί τύποι υπολογισμού της καμπυλότητας στη διαρροή και στην αστοχία, κατά τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. φαίνεται να δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα, καθώς είναι αρκετά κοντά στα ακριβή αποτελέσματα των προγραμμάτων, με μοναδικό μελανό σημείο την καμπυλότητα στην διαρροή, η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις διαφοροποιείται από τα προγράμματα.
- Η καμπυλότητα στη διαρροή κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ, βέβαια φαίνεται να είναι πάντα σταθερή και ανεξάρτητη από το ογκομετρικό ποσοστό περίσφιγξης, εν αντιθέσει με τα προγράμματα όπου επηρεάζεται από αυτό. Η διαφορά αυτή είναι και ο λόγος που στα διαγράμματα, $\mu_\phi-\omega$, οι καμπύλες δεν είναι τόσο κοντά παρόλο που στα διαγράμματα, $\phi_u-\omega$, σχεδόν ταυτίζονται
- Οι διαφορές των καμπύλων στα διαγράμματα, $\mu_\phi-\omega$, είναι αισθητές για ογκομετρικά ποσοστά πάνω από 0.4-0.5. Δεδομένου όμως ότι το εύρος, 0-0.5, είναι το ρεαλιστικό εύρος τιμών για το ογκομετρικό ποσοστό στους συνδετήρες, θα μπορούσε κανείς να πει ότι εν τέλει, τα αποτελέσματα των δύο διαφορετικών λύσεων είναι εν γένει κοντά.
- Τέλος, το ανηγμένο αξονικό φορτίο επηρεάζει και την καμπυλότητα στη διαρροή, ϕ_y , και στην αστοχία, ϕ_u . Παρόλα αυτά, παρατηρείται πως ο λόγος τους (δηλαδή ο δείκτης πλαστιμότητας), για το εύρος ρεαλιστικών τιμών (ω μέχρι 0.4) δεν επηρεάζεται από το ανηγμένο αξονικό φορτίο. Αυτό συμβαίνει γιατί μέχρι αυτή τη τιμή τα ϕ_u και ϕ_y μεταβάλλονται κατά τρόπο ανάλογο, αφήνοντας ανεπηρέαστο το λόγο τους.

2.2.2. Σύγκριση προσεγγιστικών και αναλυτικών σχέσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.), υπολογισμού του ϕ_y

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι αναλυτικές (εξ.(12),(13)) και οι προσεγγιστικές (εξ.(16),(17)) σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τον προσδιορισμό της καμπυλότητας ϕ_y , για τη Διατομή 1, συναρτήσει του ανηγμένου αξονικού φορτίου, ν , με σκοπό τη μεταξύ τους σύγκριση.



Διάγραμμα 2. Μεταβολή των προσεγγιστικών (εξ.(16)-(17)) και των αναλυτικών (εξ.(12)-(13)) σχέσεων, σε σχέση με το ανηγμένο αξονικό φορτίο, για τη Διατομή 1

Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνεται ότι για το μεγαλύτερο εύρος τιμών του ανηγμένου αξονικού φορτίου, ν , οι προσεγγιστικές διαφέρουν από την αναλυτική λύση για την οποία υπενθυμίζεται ότι προκύπτει ως η ελάχιστη των εξ.(12)-(13). Παρατηρείται μάλιστα, πως στο μεγαλύτερο εύρος η εξ.(13), που αφορά το σκυρόδεμα, δίνει την ελάχιστη τιμή από τις δύο καθορίζοντας έτσι και την τελική τιμή της καμπυλότητας. Το σημείο αυτό πέρα από το οποίο

καθοριστικός της διαρροής είναι το σκυρόδεμα προσδιορίστηκε για τη Διατομή 1, ίσο με $v=0.10$.

Το σημείο αυτό, για τη Διατομή 2, προσδιορίστηκε ίσο με $v=0.18$, που σημαίνει ότι η τιμή του μεταβάλλεται ανάλογα τη διατομή.

Από περαιτέρω διερεύνηση των σχέσεων και εφαρμογή τους και για άλλες διατομές με άλλα υλικά και ποσοστά όπλισης, αλλά και με τη θεώρηση ότι οι προσεγγιστικές σχέσεις είναι μακριά από τις αναλυτικές όταν διαφέρουν σε ποσοστό μεγαλύτερο από 40%, προκύπτει ότι:

- Για χαμηλή αντοχή χάλυβα (π.χ. χάλυβα S220 με $f_{cm}=253\text{Mpa}$), οι προσεγγιστικές σχέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί των αναλυτικών, (χωρίς να διαφέρουν πολύ από αυτές), υπό οποιαδήποτε τιμή του ανηγμένου αξονικού φορτίου, του ποσοστού όπλισης και της αντοχής του σκυροδέματος.
- Όταν η αντοχή του χάλυβα είναι μεγάλη, οι προσεγγιστικές είναι κοντά στις αναλυτικές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί αυτών, μόνο για ένα εύρος τιμών του ανηγμένου αξονικού φορτίου. Το εύρος αυτό μειώνεται όσο η αντοχή του χάλυβα αυξάνεται. Ιδιαίτερα σε εκείνες τις περιπτώσεις διατομών, όπου η υψηλή αντοχή του χάλυβα (π.χ. S500) συνδυάζεται με χαμηλή ποιότητα σκυροδέματος (π.χ. $f_{cm}<20\text{Mpa}$) το εύρος του αξονικού φορτίου μειώνεται δραματικά (π.χ. $0<v<0.18$). Εάν αυτή η υψηλή αντοχή χάλυβα συνδυάζεται με υψηλή αντοχή σκυροδέματος (π.χ. $f_{cm}=40\text{Mpa}$) το εύρος του αξονικού μειώνεται και πάλι αλλά σε μικρότερο βαθμό (π.χ. $0<v<0.50$).
- Η σύγκλιση των σχέσεων επηρεάζεται εν τέλει πολύ από τις αντοχές των υλικών και ιδιαίτερα του χάλυβα, ενώ το ποσοστό του οπλισμού, οι διαστάσεις και το σχήμα της διατομής δεν παίζουν καθοριστικό ρόλο.

3.ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΔΙΑΤΟΜΗ

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στο προσδιορισμό της πλαστιμότητας για διατομή μέλους που ενισχύεται μέσω περίσφιγξης. Η πλαστιμότητα που επιτυγχάνεται προσδιορίζεται κατά τους κανονισμούς είτε σε όρους καμπυλοτήτων, μ_ϕ , είτε σε όρους στροφής χορδής, μ_θ , (μέσω στροφής χορδής στην αστοχία, θ_u).

Για τη πρώτη περίπτωση ο Ευρωκώδικας προσδιορίζει τη πλαστιμότητα μέσω μιας αναλυτικής σχέσης (EN1998-3)^[3], ενώ ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. μέσω μιας προσεγγιστικής σχέσης (ΚΑΝ.ΕΠΕ.(κεφ.8)) για την οποία, μάλιστα, έχει γίνει και παρουσιάζεται και παρακάτω, μία προσπάθεια έκφρασής της με ακριβέστερο τρόπο αποφεύγοντας τους προσεγγιστικούς-εμπειρικούς συντελεστές. Στην εργασία αυτή εξετάζεται και το ενδεχόμενο προσδιορισμού της στοχευόμενης πλαστιμότητας με ακριβέστερο τρόπο μέσω των κλειστών τύπων για τις καμπυλότητες, στην αστοχία και τη διαρροή, κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. (που αναφέρθηκαν στην §2.1) αλλά και μέσω του ΒΙΑΧ, αφότου και τα δύο προσαρμοστούν κατάλληλα για τη περίπτωση περίσφιγξης με FRP, για την οποία δεν είναι μελετημένα.

Για τη δεύτερη περίπτωση, της στροφής χορδής στην αστοχία, ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. υιοθετεί και πάλι κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. (κεφ.8), δύο προσεγγιστικές σχέσεις εν αντιθέσει με τον Ευρωκώδικα που υιοθετεί μία αναλυτική σχέση. Για τη σχέση αυτή του Ευρωκώδικα γίνεται μια περαιτέρω διερεύνηση, ελέγχοντας την εγκυρότητα αλλά και τη συμβατότητα της σχέσης με άλλες μεταγενέστερες εξισώσεις, που έχουν αναπτυχθεί, για τον προσδιορισμό της ενεργής της τάσης. Τέλος, υπογραμμίζεται πως σ' αυτό το κεφάλαιο (εν αντιθέσει με το προηγούμενο) αγνοείται η ύπαρξη υφιστάμενων συνδετήρων, ως πιο απλή αλλά και αντιπροσωπευτική εικόνα των πραγματικών υφιστάμενων κατασκευών στην Ελλάδα.

3.1 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

3.1.1. Προσδιορισμός προσομοιώματος διατομής, περισφιγμένης με FRP

Η περισφιγξη δομικού στοιχείο μέσω ινοπλισμένου πολυμερούς (ΙΟΠ) προσδίδει στο σκυρόδεμα διαφορετικά μηχανικά χαρακτηριστικά από την περισφιγξη π.χ. με χάλυβα προσδιορίστηκε στην §2.1. Συγκεκριμένα:

Ο συντελεστής αποδοτικότητας περισφιγξης $\alpha = \alpha_s \alpha_n$ λαμβάνεται ίσος με $\alpha = \alpha_n$ (η ύπαρξη συνεχούς μανδύα σημαίνει $\alpha_s = 1.0$), όπου πλέον συνεκτιμάται η ευεργετική επίδραση της εξομάλυνσης (στρογγύλευσης) των ακμών του στοιχείου μέσω της σχέσης: *(για τον συντελεστή απόδοσης περισφιγξης βλ. ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013^[1] §6.2.2 σχέση (Σ6.13))*

$$\alpha_n = 1 - \frac{1}{3A_c} [b_c^2(1 - \beta)^2 + d_c^2(1 - \gamma)^2], \text{ όπου } \beta = \frac{2b_p}{b_c}, \gamma = \frac{2d_p}{d_c}, A_c = b_c d_c \quad (20)$$

με b_p, d_p είναι τα μήκη στρογγύλευσης των πλευρών b_c και d_c αντίστοιχα.

Η αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος δίνεται πάλι από την εξ.(3), με τα f_{yw}, ρ_{sx} και α να αναφέρονται πλέον στο FRP, δηλαδή με $f_{yw} = f_u$ (=αντοχή του FRP(Mpa)) και με $\rho_{sx} = \rho_f = \frac{2 t_f}{b_w}$ που είναι το ποσοστό του FRP παράλληλα προς την κατεύθυνση x . Η σχέση εν τέλει γίνεται:

$$f_{cc} = f_c(1 + k) = f_c \left(1 + 3.5 \left(\frac{\alpha \rho_f f_u}{f_c} \right)^{3/4} \right) \quad (21)$$

Η παραμόρφωση αστοχίας είναι: *(βλ. ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013^[1] §8.2.3.δ(v) σχέση (8.19)-(8.20) ή §6.2.3 σχέση 6.22)*

$$\varepsilon_{cu,c} = 0,0035(f_{cc}/f_{cd})^2 \text{ για ΙΟΠ με ίνες άνθρακα} \quad (22a)$$

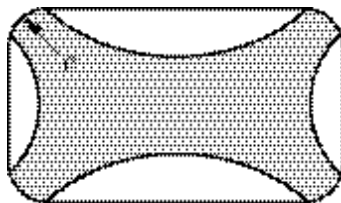
$$\varepsilon_{cu,c} = 0,0070(f_{cc}/f_{cd})^2 \text{ για ΙΟΠ με ίνες γυαλιού} \quad (22b)$$

Για τη περίπτωση περισφιγξης μέσω ΙΩΠ, ο μηχανισμός αστοχεί όταν αστοχεί το περισφιγγον σύνθετο υλικό Ακολουθεί φθιτός κλάδος πολύ μεγάλης κλίσεως, ο οποίος δε μπορεί να ληφθεί υπόψη. Έτσι ως παραμόρφωση αστοχίας του περισφιγμένου σκυροδέματος λαμβάνεται η $\varepsilon_{c2,c}$, δηλαδή η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος $f_{cd,c}$. Ισχύει δηλαδή: $\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{cu,c}$ *(βλ. σχόλια ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013^[1] (§6.2.3)^[1])* (23)

Υπογραμμίζεται πως, όλα τα παραπάνω είναι σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Ο Ευρωκώδικας^[3] προσδιορίζει το συντελεστή περισφιγξης (καθώς μόνο αυτός απαιτείται στις εμπλεκόμενες σχέσεις της εργασίας) για διατομές από ΙΟΠ ίσο με: $\alpha = 1 - \frac{(b-2R)^2 + (h-2R)^2}{3bh}$, με R, b, h η ακτίνα στρογγύλλευσης και οι πλήρεις διαστάσεις της διατομής αντίστοιχα. Η εξίσωση αυτή, όμως είναι ίση με την εξ.(20) που αναφέρει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. και κατά συνέπεια και για τους δύο κανονισμούς τα μηχανικά χαρακτηριστικά ,που απαιτούνται για την εργασία, προσδιορίζονται από τις παραπάνω εξισώσεις. *(για συντελεστή απόδοσης περισφιγξης βλ. EN1998-3^[3]:A.4.4.3 σχέση (A36))*

Το ογκομετρικό ποσοστό περισφιγξης, ω_w , για τετραγωνική διατομή $b_w \cdot b_w$, που περισφιγγεται με FRP πάχους, t_f ορίζεται ως ο λόγος: $\omega_w = \frac{4 t_f f_u}{b_w f_c}$ (24)

Τα υπόλοιπα μηχανικά χαρακτηριστικά που επηρεάζονται από την περισφιγξη με ΙΟΠ, παραμένουν ως έχουν. Ισχύουν δηλαδή οι εξ.(1), εξ.(7), εξ.(8) και εξ.(9).



Σχήμα 2. Στρογγύλλευση γωνιών ορθογωνικής διατομής για εφαρμογή περισφιγξης με ΙΟΠ^[3]

3.1.2. Προσδιορισμός στοχευόμενης πλαστιμότητας σε όρους καμπυλοτήτων, μ_φ

Προσεγγιστικός υπολογισμός κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. (κεφ.8)

Για $\nu > 0.2$, ο επιδιωκόμενος δείκτης πλαστιμότητας καμπυλότητας (μ_φ) επιτρέπεται να υπολογίζεται από την ακόλουθη προσεγγιστική σχέση: (ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013^[1] (§8.2.3.(δ) (Σ8.11))

$$\varepsilon_{cu,c} = 2,2 \mu_\varphi \varepsilon_{sy} \nu \Rightarrow \mu_\varphi = \frac{\varepsilon_{cu,c}}{2,2 \varepsilon_{sy} \nu}, \text{ όπου} \quad (25)$$

$\varepsilon_{sy} = f_{ym}/E_s$ και $\nu = N/bhf_{cm}$, είναι η παραμόρφωση διαρροής του διαμήκου οπλισμού και η ανηγμένη αξονική θλιπτική δύναμη, αντίστοιχα, υπολογισμένα με τις μέσες τιμές των υλικών.

$\varepsilon_{cu,c}$ υπολογίζεται από την εξ.(22α) ή την εξ.(22β), ενώ πρέπει να ισχύει και $\varepsilon_{cu,c} > 0.004$

Σημειώνεται πως για τα διαγράμματα που παρουσιάζονται παρακάτω χρησιμοποιείται ο λόγος της στοχευόμενης (εξ.(25)) προς τη διαθέσιμη, με τη δεύτερη να υπολογίζεται από την αναλυτική διαδικασία με τους κλειστούς τύπους του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (βλ. §2.1 παραπάνω).

Τέλος αναφέρεται ότι, σε μία αναλυτικότερη έρευνα που έχει γίνει πάνω στο θέμα, έχει προκύψει ότι η προσεγγιστική εξ.(25) μπορεί να λάβει με κάποιες παραδοχές-υποθέσεις την ακόλουθη μορφή: $\mu_\varphi = \frac{f_{cc}}{f_c} \frac{\varepsilon_{cu,c}}{2.6 \nu \varepsilon_y}$ (26)

με $\varepsilon_{cu,c}$ από την εξ.(22α, β). Παρατηρείται βέβαια, πως η εξ.(26) δεν είναι και πολύ διαφορετική από την προηγούμενη (εξ.(25)) ενώ ειδικά για χαμηλές τιμές περισφιγξης, όπου ο λόγος f_{cc}/f_c προκύπτει ελαφρώς μεγαλύτερος της μονάδας (π.χ. ίσως με 1.2) ο διαιρέτης παραμένει κοντά στη τιμή «2.2».

Αναλυτικός υπολογισμός κατά Ευρωκώδικα (EN1998-3)

Η εφαρμογή περισφιγξης από μανδύες FRP γύρω από τη περιοχή της εν δυνάμει πλαστικής άρθρωσης ενός στοιχείο από σκυρόδεμα βελτιώνει την ικανότητα παραμόρφωσης, επιτυγχάνοντας συγκεκριμένο $I_x = \mu_{\varphi,tar}/\mu_{\varphi,ava}$ (λόγος επιδιωκόμενης προς διαθέσιμης πλαστιμότητας καμπυλότητας) (EN1998-3^[3] §A.4.4.4. σχέση (A34) και σχόλια (1), (2), (4) και (5))

Το απαραίτητο μέγεθος της πίεσης περισφιγξης για την επίτευξη συγκεκριμένου I_x , μπορεί να υπολογισθεί ως εξής: $f_1 = 0,4 I_x^2 \frac{f_c \cdot \varepsilon_{cu}^2}{\varepsilon_{ju}^{1,5}}$ (27)

$$\text{υπολογισθεί ως εξής: } f_1 = 0,4 I_x^2 \frac{f_c \cdot \varepsilon_{cu}^2}{\varepsilon_{ju}^{1,5}} \quad (27)$$

όπου:

- f_c είναι η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος (MPa) (ως μέση τιμή από επί τόπου δοκιμές, και από πρόσθετες πηγές πληροφόρησης, διαιρεμένες κατάλληλα με τους συντελεστές εμπιστοσύνης, λαμβάνοντας υπόψη το επίπεδο αποκτηθείσας γνώσης.
- ε_{cu} είναι η οριακή ανηγμένη παραμόρφωση του σκυροδέματος από την εξ.(1).
- ε_{ju} είναι η οριακή ανηγμένη παραμόρφωση του μανδύα FRP που λαμβάνεται υπόψη, η οποία είναι χαμηλότερη από την οριακή ανηγμένη παραμόρφωση του FRP ε_{fu} , η οποία ισούται με 0.015 για CFRP ή AFRP και 0.02 για GFRP

Για την περίπτωση των ορθογωνικών διατομών στις οποίες οι γωνίες είναι στρογγυλεμένες έτσι ώστε να επιτρέπουν την τύλιξη του FRP γύρω από αυτές, η πίεση περισφιγξης στην εξ.(27) υπολογίζεται ως: $f_1 = k_s f_1'$ με $k_s = 2R_c/D$ και $f_1' = 2E_f \varepsilon_{ju} t_f / D$, όπου D είναι το μεγαλύτερο πλάτος της διατομής. Σημειώνεται βέβαια πως για την εργασία αυτή το k_s αγνοείται θεωρώντας πως για τις εφαρμογές που ακολουθούν χρησιμοποιείται τάση στην οποία έχει ληφθεί υπόψη η απομείωση αυτή. Η σχέση αυτή, συναρτήσσει του ογκομετρικού ποσοστού περισφιγξης ω_w , θα είναι ίση με: $f_1 = \frac{2E_f \varepsilon_{ju} t_f}{D} = \frac{2f_u t_f}{D} \Rightarrow \frac{f_1}{f_c} = \frac{f_u}{f_c} \frac{2t_f}{D}$ και τελικά $\frac{f_1}{f_c} = \frac{\omega_w}{2}$, έχοντας θεωρήσει φυσικά ότι η αντοχή του υλικού περισφιγξης είναι ίση με $f_u = E_f \varepsilon_{ju}$, ενώ ω_w είναι το ογκομετρικό ποσοστό περισφιγξης του FRP (ορισμένο στην εξ.(24)). Βάσει αυτού η εξ.(27), μπορεί να λάβει

την παρακάτω τελική μορφή, για την περίπτωση ορθογωνικής διατομής (συναρτήσει του ογκομετρικού ποσοστού περίσφιξης, ω_w):

$$\frac{\mu_{\phi,tar}}{\mu_{\phi,ava}} = I_x = \sqrt{\frac{\varepsilon_{ju}^{1,5} \omega_w}{0,8\varepsilon_{cu}^2}} \quad (28)$$

Αναλυτικός υπολογισμός κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.(κεφ.7)

Η πλαστιμότητα υπολογίζεται ως ο λόγος των καμπυλοτήτων στην αστοχία προς τη διαρροή. Η καμπυλότητα στη διαρροή δε μεταβάλλεται, με την περίσφιξη της από στρώσεις ινοπλισμένου μανδύα κι ως εκ τούτου λαμβάνεται όπως προσδιορίστηκε προηγουμένως. (δηλ. κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013^[1] Παράρτημα 7Α, εξισώσεις (Α.1)-(Α.7))

Εν αντιθέσει με τη καμπυλότητα στη διαρροή η καμπυλότητα αστοχίας, όπως είναι φυσικό, μεταβάλλεται με την περίσφιξη του υλικού, από στρώσεις εξωτερικού ινοπλισμένου μανδύα. Στη περίπτωση αυτή, εξωτερικής περίσφιξης, υπολογίζεται πάλι από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Σχέδιο 2016^[2], που παρουσιάστηκε σε προηγούμενη παράγραφο §2.1.2, προσαρμόζοντας, όμως κατάλληλα τις σχέσεις που χρησιμοποιούνται. Συγκεκριμένα, κατά τα αναφερόμενα στη παράγραφο αυτή, αποκλείεται το ενδεχόμενο η αστοχία να συμβεί στο στάδιο της αποφλοίωσης εφόσον δεν υπάρχει επικάλυψη πλέον στη διατομή, λόγω εξωτερικής περίσφιξης. Ως εκ τούτου η αστοχία αφορά πάντα τη περισφιγμένη διατομή, ενώ όλοι οι απαραίτητοι υπολογισμοί γίνονται με τις πλήρεις διαστάσεις της διατομής και με τα χαρακτηριστικά της (αντοχή $f_{c,c}$ και παραμόρφωση $\varepsilon_{cu,c}$) να προκύπτουν από την εξ.(21) και εξ.(22). (για πλαστιμότητα από περίσφιξη με ΙΟΠ βλ. διαδικασία ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013^[1] §6.4.(γ) και σχέσεις ΚΑΝ.ΕΠΕ.^[2]-Σχέδιο 2016 Παράρτημα 7Ε, εξισώσεις (Ε.1)-(Ε.19) με εφαρμογή απευθείας του Διαγράμματος ροής 2)

Ακριβής υπολογισμός μέσω διαγράμματος Μ-φ

Για τον υπολογισμό των ακριβών διαγραμμάτων Μ-φ, γίνεται χρήση του προγράμματος ΒΙΑΧ, αφού πρώτα προσαρμοστεί κατάλληλα ώστε να περιλαμβάνει και τη περίπτωση περίσφιξης με FRP για την οποία δεν είναι όμως προμελετημένο.

3.1.3.Προσδιορισμός στοχευόμενης στροφής χορδής στην αστοχία, θ_u

Προσεγγιστικός υπολογισμός κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.(κεφάλαιο 8)

Σύμφωνα με τον κανονισμό ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013^[1] όταν ο στόχος ανασχεδιασμού εκφράζεται σε όρους επιθυμητής γωνίας στροφής χορδής « θ_u », τότε η αναγκαία ανά δομικό στοιχείο πλαστιμότητα μ_{ϕ} σε όρους καμπυλοτήτων, επιτρέπεται να υπολογίζεται μέσω αξιόπιστων συσχετίσεων των μ_{ϕ} και μ_{θ} , προκειμένου να υπολογιστεί η αναγκαία περίσφιξη μέσω της εξ.(25) (βλ.ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013^[1] §8.2.3.στ)

Ως συσχέτιση των μ_{ϕ} και μ_{θ} , μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία από τις ακόλουθες σχέσεις: (βλ. ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013^[1] §8.2.3.δ(iv))

$$\mu_{\phi} = 3\mu_{\theta} - 2 \text{ (Σχέση Α)} \quad \text{ή} \quad \mu_{\phi} = 2\mu_{\theta} - 1 \text{ (Σχέση Β)} \quad (29\alpha,\beta)$$

Θεωρείται ότι:

$\mu_{\delta}=\mu_{\theta}$, εφόσον τα κατακόρυφα στοιχεία του δομήματος έχουν επαρκή αντοχή ώστε να αποφεύγεται ο σχηματισμός πλαστικού μηχανισμού ορόφου ή ορόφων ενώ η απαίτηση ανελαστικών παραμορφώσεων διασπείρεται περίπου ομοιόμορφα καθ' ύψος του δομήματος και (για ισότητα $\mu_{\theta}=\mu_{\delta}$ βλ. ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013^[1] §7.2.6.2(β))

$\theta_u=\mu_{\theta}\cdot\theta_y$, όπου θ_y είναι η στροφή διατομής στη διαρροή και προσδιορίζεται από την ακόλουθη σχέση (για ορισμό $\theta_u=\mu_{\theta}\cdot\theta_y$, βλ. ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013^[1] §6.5 και για σχέση θ_y βλ ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013 σχόλια §7.2.2(δ) και σχέση (Σ2))

$$\theta_y = \varphi_y \frac{L_s + \alpha_v z}{3} + 0.0014 \left(1 + 1,5 \frac{h}{L_s} \right) + 0.125 \varphi_y \frac{d_b L_f y}{\sqrt{f_c}} \quad (30)$$

όπου:

- ο φ_y είναι η καμπυλότητα διατομής στη διαρροή, υπολογιζόμενη κατά τις εξ.(12)-(15)

- ο d_{bL} , d και d' είναι η διάμετρος διαμήκους οπλισμού και οι θέσεις του εφελκόμενου και του θλιβόμενου οπλισμού, αντίστοιχα
- ο z είναι το μήκος του εσωτερικού μοχλοβραχίονα (= $d' - d$ σε δοκούς, υποστυλώματα)
- ο μήκος L_s είναι ο λόγος M/V στην ακραία διατομή του στοιχείου (δηλ. η απόσταση της ακραίας διατομής από το σημείο μηδενισμού των ροπών). Για τα υποστυλώματα, το L_s λαμβάνεται ως το μισό του καθαρού ύψους (δηλ. $L_s = L/2$) μέσα στο υπόψη κατακόρυφο επίπεδο κάμψης, όπως αυτό ορίζεται, π.χ. από το πέλμα της υποκειμένης δοκού. (βλ. ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013^[1] §7.2.4.1. (β) και σχόλια §7.2.3)
- ο όρος $\alpha_v z$ εκφράζει την επιρροή του «μήκους μετάθεσης» των ροπών κάμψης με α_v συντελεστής που ισούται με 1 (όπως για τη περίπτωση της εν λόγω εργασίας) εάν η τέμνουσα, V_{Rl} , που προκαλεί λοξή ρηγματώση του στοιχείου, υπολείπεται της τιμής της τέμνουσας κατά την καμπτική διαρροή $V_{Mu} = M_y/L_s$. Ειδικά ισούται με μηδέν

Συνεπώς, βάσει της σχέσης, $\theta_u = \mu \theta_y$, και της εξ.(29α,β) με μ_ϕ από την εξ.(25), προσδιορίζεται η συνολική στροφή διατομής μέσω των ακόλουθων προσεγγιστικών σχέσεων:

$$\theta_u = \frac{\frac{\varepsilon_{cu,c}}{2.2 \varepsilon_{sy} \nu} + 2}{3} \theta_y \quad \theta_u = \frac{\frac{\varepsilon_{cu,c}}{2.2 \varepsilon_{sy} \nu} + 1}{2} \theta_y \quad (31\alpha, \beta)$$

με το θ_y να λαμβάνεται από την εξ.(30) και το $\varepsilon_{cu,c}$ από την εξ.(22α,β)

Αναλυτικός υπολογισμός κατά Ευρωκώδικα (EN1998-3)

Κατά τον ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ^[3] μπορεί να υπολογιστεί η πλαστιμότητα και μέσω της συνολικής ικανότητας στροφής της χορδής θ_u (εναλλακτικά της εξ.(28) μέσω του δείκτη μ_ϕ), για την περίπτωση της ορθογωνικής διατομής με στρογγυλεμένες τις γωνίες χρησιμοποιώντας την εξ.(32) με κατάλληλη προσαύξηση στον εκθέτη. (βλ. EN1998-3^[3] § A.4.4.4. σχόλιο (6))

Εν γένει, η συνολική ικανότητα στροφής της χορδής, θ_u , μελών από σκυρόδεμα υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση υπολογίζεται από τη σχέση: (EN1998-3^[3], A.3.2.2.(A.1))

$$\theta_{um} = \frac{1}{\gamma_{el}} 0,016 \cdot (0,3^\nu) \left[\frac{\max(0,01;\omega')}{\max(0,01;\omega)} f_c \right]^{0,225} \left(\frac{L_v}{h} \right)^{0,35} 25^{\alpha \rho_{sx}} \frac{f_{yw}}{f_c} (1,25^{100 \rho_d}) \quad (32)$$

όπου:

- ο γ_{el} ισούται με 1.5 για κύρια σεισμικά στοιχεία και 1.0 για δευτερεύοντα σεισμικά φορτία αλλά αγνοείται γιατί θεωρείται πως με το συντελεστή αυτό η στροφή αυτή αφορά την αστοχία στην «οριακή κατάσταση οιονεί κατάρρευσης(NC)»(δηλ. Γ Στάθμη επιτελεστικότητας) και όχι την αστοχία αυτή καθ' αυτή (κατάρρευση), όπως θα έπρεπε κατ' αντιστοιχία όλων των μεγεθών που έχουν ορισθεί μέχρι τώρα.
- ο h είναι το ύψος της διατομής.
- ο $L_v (=M/V)$, f_c και f_{yw} (ως μέσες τιμές), έχουν ήδη ορισθεί σε προηγούμενες ενότητες
- ο $\nu = N/bhf_c$ (με b : πλάτος θλιβόμενης ζώνης και N : αξονική δύναμη, θετική για θλίψη)
- ο ω και ω' είναι το μηχανικό ποσοστό οπλισμού του εφελκόμενου (συμπεριλαμβανομένου του οπλισμού κορμού) και του θλιβόμενου διαμήκη οπλισμού αντίστοιχα.
- ο $\rho_{sx} = A_{sx}/b_w s_h$ και ρ_d είναι το ποσοστό εγκάρσιου και του διαγώνιου οπλισμού, αντίστοιχα.
- ο α είναι ο συντελεστής αποτελεσματικότητας της περίσφιξης από εγκάρσιο οπλισμό (εξ.(4))

Για την παραπάνω σχέση θα πρέπει να σημειωθεί ότι για τις περιπτώσεις που χρησιμοποιείται εν ψυχρώ κατεργασμένος ψαθυρός χάλυβας, ή λείες ράβδοι, ή εάν οι ράβδοι δεν είναι εν συνεχεία αλλά σε παράθεση ή τα μέλη είναι χωρίς τις διαμορφώσεις λεπτομερειών που προβλέπονται για αντοχή σε σεισμούς τότε η τιμή της εξ.(32) θα πρέπει να πολλαπλασιάζεται με κατάλληλο συντελεστή (βλ. EN1998-3^[2] § A.3.2.2. σχόλιο (1), (3), (4), (5))

Για να ληφθεί βέβαια στην παραπάνω συνολική ικανότητα στροφής χορδής (εξ.(32)), η συνεισφορά της περίσφιξης με FRP θα πρέπει κατά τον κανονισμό^[3] να προστεθεί στη δύναμη του 25 ο όρος: « $\alpha \rho_f f_{fe}/f_c$ », όπου:

- ο α' είναι ο συντελεστής αποδοτικότητας πείσιφιξης και δίνεται από την εξ(20)
- ο $\rho_f = 2t_f/b_w$ είναι το ποσοστό του FRP παράλληλα προς τη κατεύθυνση της φόρτισης και
- ο $f_{fe} = \min(f_{uf}, \varepsilon_{uf} \cdot E_f) \left(1 - 0.7 \min(f_{uf}, \varepsilon_{uf} \cdot E_f) \frac{\rho_f}{f_c}\right)$ (33)
είναι μία ενεργή τάση με την οποία το υλικό τελικά περισιφίγγει τη διατομή, όπου, το f_{uf} και E_f είναι η αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας του FRP και το ε_{uf} είναι μία οριακή ανηγμένη παραμόρφωση, ίση με 0.015 για CFRP ή AFRP και 0.02 για GFRP

Σημειώνεται πως ο όρος « $\alpha' \rho_f f_{fe}$ » μπορεί να γραφτεί συναρτήσει του ογκομετρικού ποσοστού περίσιφίξης με FRP, ω_w ως: $\alpha' \cdot \rho_f \cdot \frac{f_{fe}}{f_c} = \alpha' \cdot \frac{\omega_w}{2} \cdot (1 - 0.35\omega_w)$ (34)

λαμβάνοντας υπόψη την εξ.(24) και ότι: $f_u = \min(f_{uf}, \varepsilon_{uf} \cdot E_f)$

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη την εξ.(34) αλλά και το γεγονός ότι στις περισσότερες –αν όχι όλες– διατομές, που συναντώνται στη πράξη, δεν υπάρχει διαγώνιος οπλισμός αλλά ούτε και συνδετήρες (κι αν υπάρχουν είναι σε χαμηλό ποσοστό ή κακώς αγκυρωμένοι οπότε αγνοούνται άρα τα ποσοστά, ρ_d και ρ_{sx} , θεωρούνται μηδέν με τον όρο « $1.25^{100\rho_d}$ » να γίνεται μονάδα), η εξ(32), λαμβάνει την ακόλουθη τελική μορφή:

$$\theta_{um} = 0.016 \cdot (0.3)^v \cdot \left(\frac{\max(0.01; \omega')}{\max(0.01; \omega)} f_c\right)^{0.225} \cdot \left(\frac{L_v}{h}\right)^{0.35} 25^{\alpha' \cdot \frac{\omega_w}{2} (1-0.35\omega_w)} \quad (35)$$

Υπολογισμός κατά Ευρωκώδικα (EN1998-3) με βελτιωμένες σχέσεις

Μία βελτιωμένη, ακριβώς ανάλογη, έκφραση της σχέσης της προηγούμενης παραγράφου (εξ(35)) για τον υπολογισμό της συνολικής στροφής χορδής για περισφιγμένη με FRP διατομή, δίνεται από τον Michael N. Fardis [9]. Η σχέση ισχύει για μέλη με ορθογωνική θλιβόμενη ζώνη και λεπτομέρειες όπλισης για αντοχή σε σεισμό (συμπεριλαμβανομένης της χρήσης διαμήκων ράβδων οπλισμού με νευρώσεις), και δίνεται από την ακόλουθη έκφραση:

$$\theta_u = a_{st} (1 - 0.43 a_{cy}) \left(1 + \frac{a_{sl}}{2}\right) (1 - 0.42 a_{w,r}) \left(1 - \frac{2}{7} a_{w,nr}\right) \cdot (0.3^v) \left[\frac{\max(0,01;\omega_2)}{\max(0,01;\omega_1)} f_c\right]^{0.225} \left[\min\left(9; \frac{L_v}{h}\right)\right]^{0.35} 25^{a_{ps} \frac{f_{yw}}{f_c} + a_f \rho_f \frac{f_u}{f_c} (1,25^{100\rho_d})} \quad (36)$$

όπου:

- ο $a_{st} = 0.0185$ για θερμής κατεργασίας χάλυβα και $a_{st} = 0.0115$ για ψυχρής κατεργασίας χάλυβα,
- ο $a_{cy} = 0$ για μονοτονική φόρτιση ή $a_{cy} = 1$ για κυκλική φόρτιση,
- ο $a_{sl} = 1$ αν υπάρχει ολίσθηση στο διαμήκη οπλισμό και $a_{sl} = 0$ αν δεν υπάρχει,
- ο $a_{w,r} = 1$ για ορθογωνικούς τοίχους και $a_{w,r} = 0$ για άλλες περιπτώσεις,
- ο $a_{w,nr} = 1$ για τοιχώματα διατομής T-H-U ή κοίλης ορθογωνικής διατομής και $a_{w,nr} = 0$ για όλα τα υπόλοιπα μέλη,
- ο $\omega_1 = \omega = (\rho_l + \rho_v) f_{yl} / f_c$ μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό του εφελκόμενου διαμήκους οπλισμού συμπεριλαμβανομένου και του οπλισμού κορμού,
- ο $\omega_2 = \omega' = \rho_2 f_{yl} / f_c$ ογκομετρικό ποσοστό θλιβόμενου διαμήκους οπλισμού,
- ο Τα μεγέθη: $v, f_c, f_{yw}, L_v, \rho_{sx}$ και ρ_d ορίστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο
- ο Ο όρος « $\alpha_f \rho_f f_u / f_c$ » στον εκθέτη του όρου «25» αναφέρεται στην συνεισφορά της περίσιφίξης από FRP, ενώ για τον προσδιορισμό του διατίθενται οι τρεις ακόλουθοι τρόποι:

Η σχέση αυτή είναι αντίστοιχη της εξ.(32) του Ευρωκώδικα θεωρώντας: $a_{st} = 0.0185$, $a_{cy} = a_{sl} = 1$ και φυσικά $a_{w,r} = a_{w,nr} = 0$

Περίπτωση 1: Ο όρος, « $\alpha_f \rho_f f_u / f_c$ », υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη:

- f_u είναι η ενεργή αντοχή του υλικού περίσφιγξης η οποία λαμβάνεται ίση με:

$$f_{f,e} = \min(f_{u,nom}; \varepsilon_{uf} \cdot E_f) \left(1 - \min \left[0.5 ; 0.7 \min(f_{u,nom}; \varepsilon_{uf} \cdot E_f) \frac{\rho_f}{f_c} \right] \right) \quad (37)$$
 όπου $\varepsilon_{u,f}$ είναι η οριακή παραμόρφωση του FRP με $\varepsilon_{u,f}=0.015$ για CFRP ή AFRP και $\varepsilon_{u,f}=0.02$ για GFRP και $f_{u,nom}$ και E_f είναι η ονομαστική αντοχή και μέτρο ελαστικότητας, αντίστοιχα του υλικού περίσφιγξης.
- $\rho_f = 2t_f/b_w$ το γεωμετρικό ποσοστό του FRP στη διεύθυνση παράλληλα στη φόρτιση
- α_f ο συντελεστής περίσφιγξης που δίνεται από την εξ.(20)

Περίπτωση 2: Ο όρος, « $\alpha_f \rho_f f_u / f_c$ », δίνεται από την σχέση:

$$\left(\alpha \frac{\rho_f f_u}{f_c} \right)_{f,ef} = \alpha_f \min \left[1.0 ; \min(f_{u,nom}; \varepsilon_{uf} \cdot E_f) \frac{\rho_f}{f_c} \right] \cdot \left(1 - 0.4 \min \left[1.0 ; \min(f_{u,nom}; \varepsilon_{uf} \cdot E_f) \frac{\rho_f}{f_c} \right] \right), \quad \text{όπου } \varepsilon_{u,f}=0.015 \quad (38)$$

Περίπτωση 3: Ο όρος, « $\alpha_f \rho_f f_u / f_c$ », δίνεται από την σχέση:

$$\left(\alpha \frac{\rho_f f_u}{f_c} \right)_{f,ef} = \alpha_f c_f \min \left[0.4 ; \frac{\rho_f \cdot f_{uf,L\&T}}{f_c} \right] \left(1 - 0.5 \min \left[0.4 ; \frac{\rho_f \cdot f_{uf,L\&T}}{f_c} \right] \right) \quad (39)$$

όπου $f_{uf,L\&T} = E_f \varepsilon_{u,f}$ με $\varepsilon_{u,f}$ περίπου ίσο με το 60% της ονομαστικής τιμής της παραμόρφωσης αστοχίας και $c_f = 1.80$ για CFRP και $c_f=0.8$ για GFRP ή AFRP

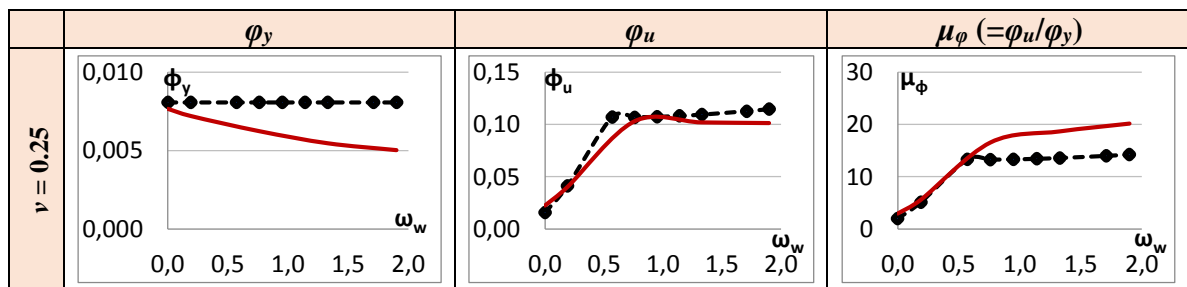
3.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

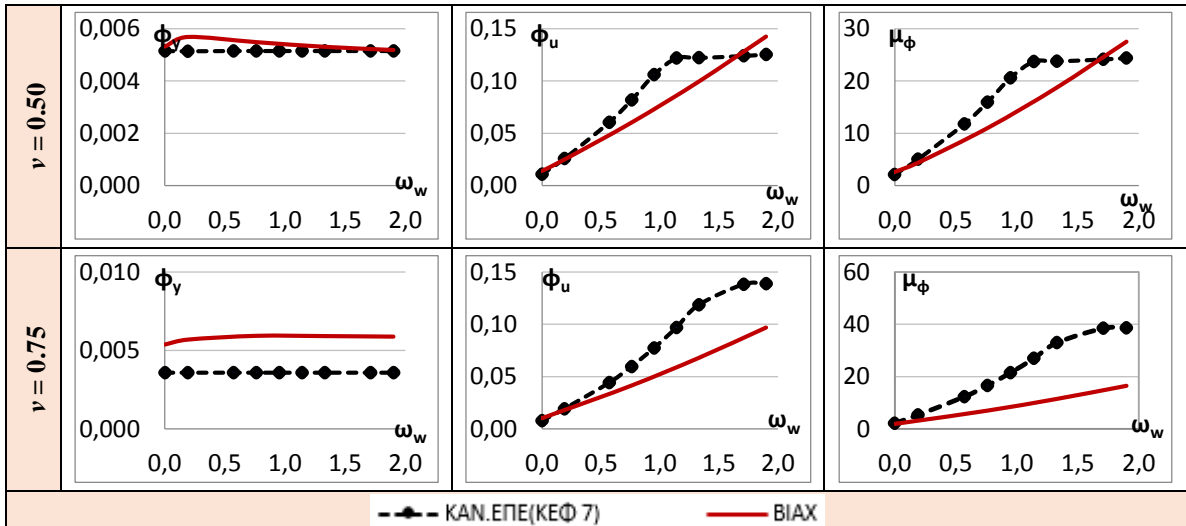
Η εφαρμογή της περίσφιγξης της διατομής γίνεται με χρήση του ακόλουθου επιλεγμένου FRP:
 ✓ Μανδύας CFRP, μέτρου ελαστικότητας $E=235\text{GPa}$, αντοχής $f_u=3800\text{MPa}$ και οριακής παραμόρφωσης $\varepsilon_{ju}=1.5\%$. Το ονομαστικό πάχος t_f του υλικού είναι ίσο με 0.125mm .

Πριν την εφαρμογή του και για αποδοτικότερη λειτουργία του υφάσματος, η τετραγωνική διατομή στρογγυλοποιείται στις γωνίες με ακτίνα στρογγυλοποίησης: $R_c=50\text{mm}$. Για την αποτελεσματική σύγκριση των σχέσεων, οι διατομές φορτίζονται με ανηγμένα αξονικά φορτία, $\nu=0.25$, $\nu=0.50$ και $\nu=0.75$ ενώ θεωρείται ότι περισφίγγονται από 1 έως 10 στρώσεις μανδύα

3.2.1. Έλεγχος εγκυρότητας των αναλυτικών σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για την πλαστιμότητα μ_ϕ

Στα διαγράμματα του Πίνακα 2, που ακολουθεί, συγκρίνεται ο αναλυτικός υπολογισμός της πλαστιμότητας, μέσω των κλειστών τύπων του ΚΑΝ.ΕΠΕ.(κεφ. 7) για τις καμπυλότητες, με τον ακριβή υπολογισμό μέσω διαγραμμάτων M-φ (χρήση προγράμματος BIAx), όπως αυτοί προσδιορίστηκαν στη §3.1.2. Τα διαγράμματα αυτά αφορούν τη Διατομή 2 (ενώ είναι ακριβώς ανάλογα για την Διατομή 1) υπό ανηγμένο αξονικό φορτίο ίσο με 0.25, 0.50 και 0.75.



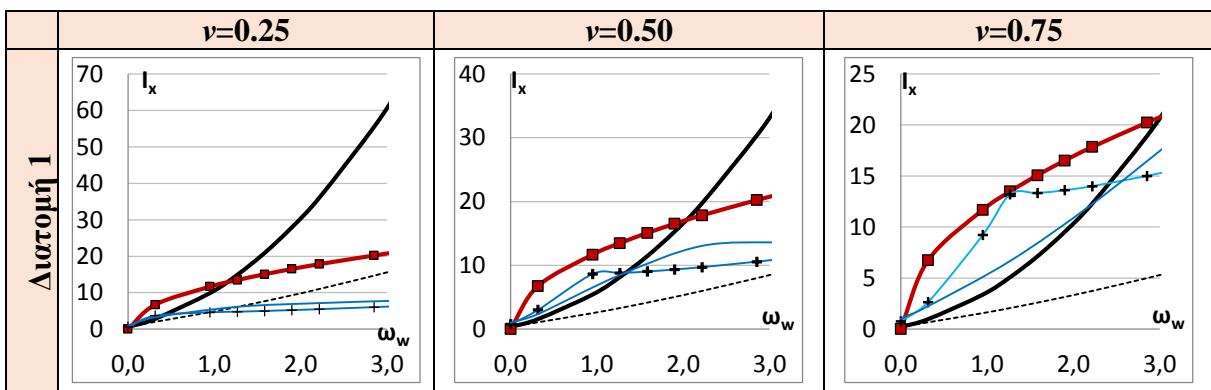


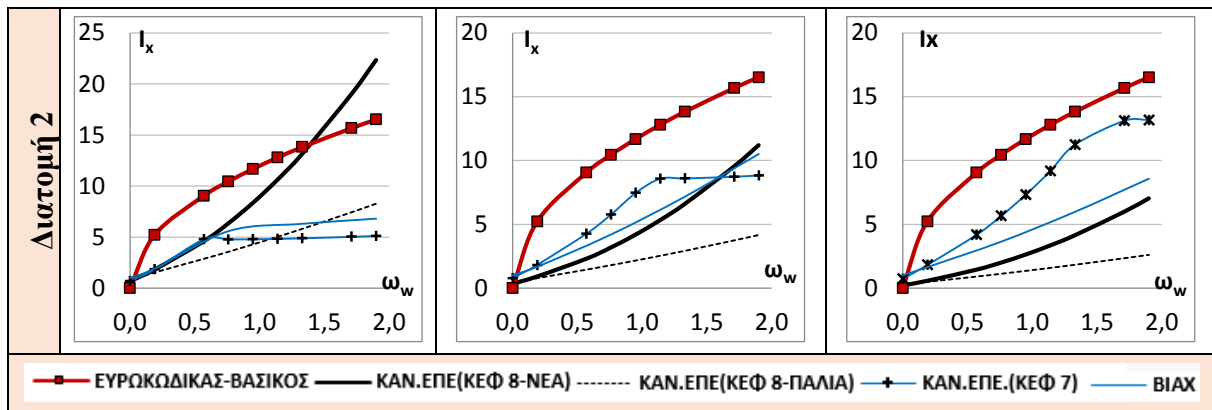
Πίνακας 2. Μεταβολή των μεγεθών ϕ_y , ϕ_u και μ_ϕ , με το ογκομετρικό ποσοστό περίσφιξης CFRP, για την ενισχυμένη Διατομή 2 και σύγκριση με την αντίστοιχη ακριβή λύση του BIAX

Τα συμπεράσματα από τη σύγκριση των διαγραμμάτων του Πίνακα 2 είναι ακριβώς ανάλογα με τα αντίστοιχα της σύγκρισης για την διατομή πριν την ενίσχυση, που παρουσιάστηκαν στην §2.2.1, με βασικό συμπέρασμα ότι οι κλειστοί τύποι του ΚΑΝ.ΕΠΕ. δίνουν πολύ κοντινά αποτελέσματα στα ακριβή αποτελέσματα κατά BIAX. Οι όποιες διαφορές υπάρχουν στο δείκτη πλαστιμότητας μ_ϕ , οφείλονται στην διαφορά του ϕ_y .

3.2.2. Σύγκριση σχέσεων για την πλαστιμότητα σε όρους μ_ϕ

Συγκρίνεται η προσεγγιστική σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξ.(25) (η οποία παρακάτω διαγράμματα αναφέρεται ως «ΚΑΝ.ΕΠΕ.(κεφ.8)-παλιά») και η βελτιωμένη έκδοσή της εξ.(26) (η οποία στα παρακάτω διαγράμματα αναφέρεται ως «ΚΑΝ.ΕΠΕ.(κεφ.8)-νέα»), με την σχέση του Ευρωκώδικα εξ(28), αλλά και με τις ακριβέστερες λύσεις κατά BIAX και μέσω των κλειστών τύπων του ΚΑΝ.ΕΠΕ.(κεφ.7), όπως αυτά προσδιορίστηκαν στην §3.2.1. Τα αποτελέσματα από τη σύγκριση αυτή, τόσο για τη Διατομή 1 όσο και για τη Διατομή 2, για διάφορες τιμές του αξονικού, παρουσιάζονται στο Πίνακα 3, που ακολουθεί.



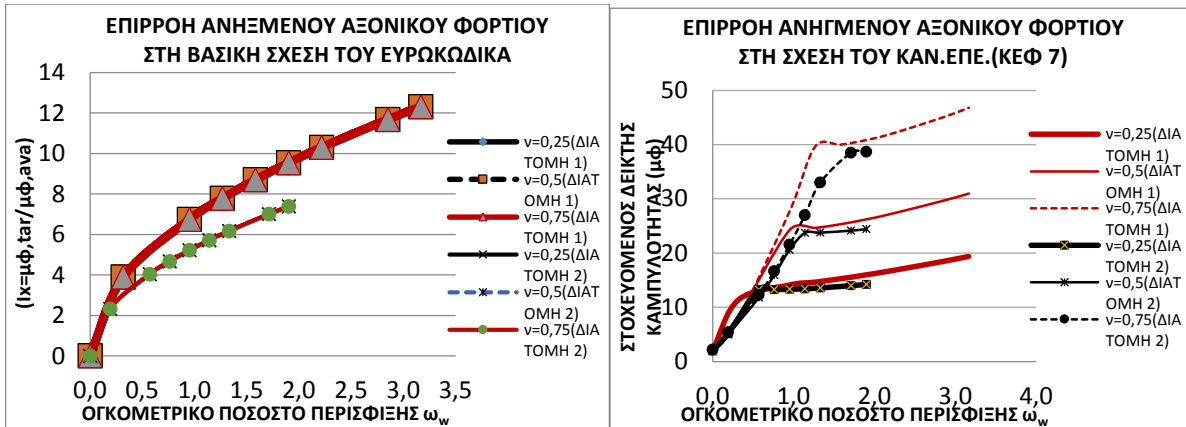


Πίνακας 3. Μεταβολή της πλαστιμότητας μ_ϕ , με το ογκομετρικό ποσοστό περίσφιγξης CFRP, ω_w , για την ενισχυμένη Διατομή 1 και 2 και για διάφορες τιμές του ανηγμένου αξονικού, ν

Από τα διαγράμματα του Πίνακα 3, διαπιστώνεται ότι:

- Η καμπύλη της σχέσης του Ευρωκώδικα είναι πολύ κοντά στις καμπύλες των ακριβών λύσεων (κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.(κεφ.7) και ΒΙΑΧ). Αντίθετα, η καμπύλη της προσεγγιστικής σχέσης του ΚΑΝ.ΕΠΕ. είναι κοντά σ' αυτές μόνο για ανηγμένο αξονικό φορτίο ίσο με 0.25, ενώ απομακρύνεται αισθητά για τις υπόλοιπες τιμές.
- Η καμπύλη της παλιάς προσεγγιστικής σχέσης του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (εξ.(25)) είναι σχεδόν πάντα η πιο συντηρητική, δίνοντας τις μικρότερες τιμές από όλες ενώ επηρεάζεται πολύ έντονα από το ανηγμένο αξονικό φορτίο, ν , παρουσιάζοντας πολύ μεγάλες πτώσεις της καμπύλης, όσο το ν αυξάνει. Αυτό βέβαια ήταν αναμενόμενο δεδομένου ότι κατά την εξ.(25) το μ_ϕ , και το ν έχουν άμεση σχέση και συγκεκριμένα είναι αντιστρόφως ανάλογα.
- Η καμπύλη αυτή έχει πολύ μεγάλη κλίση που σημαίνει ότι δίνει πολύ μεγάλες μεταβολές στις τιμές του μ_ϕ , ακόμα και για μικρές μεταβολές του ογκομετρικού ποσοστού, ω . Η κλίση αυτή, για μεγάλες τιμές του ανηγμένου αξονικού (π.χ. $\nu=0.75$) μειώνεται αισθητά. Οι έντονες αυτές μεταβολές προσδίδουν μία αναξιοπιστία στη σχέση.
- Η νέα σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ.(εξ.(26)) έχει σαφώς βελτιωμένη συμπεριφορά, με την καμπύλη της να είναι πλέον πολύ πιο κοντά στις καμπύλες των υπόλοιπων σχέσεων. Εξάιρεση φαίνεται να αποτελεί η περίπτωση που το ανηγμένο αξονικό φορτίο έχει πολύ μικρές τιμές (π.χ. $\nu=0.25$), όπου η καμπύλη, για ογκομετρικά ποσοστά πάνω από τη μονάδα, δείχνει να δίνει πολύ υψηλότερες τιμές σε σχέση με τις υπόλοιπες καμπύλες. Αυτό ισχύει τόσο για τη Διατομή 1, όσο και τη Διατομή 2 ενώ δεδομένου ότι ρεαλιστικές τιμές του ογκομετρικού ποσοστού είναι μέχρι 1.5, θεωρείται ανεκτή αυτή η απόκλιση γι' αυτό το αξονικό φορτίο.
- Η συμπεριφορά των σχέσεων είναι ανάλογη για τις δύο διατομές.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η επιρροή του ανηγμένου αξονικού φορτίου στις εκάστοτε σχέσεις (πέραν της προσεγγιστικής σχέσης του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για την οποία φάνηκε η επιρροή από το αξονικό φορτίο), για τη Διατομή 1 και τη Διατομή 2.



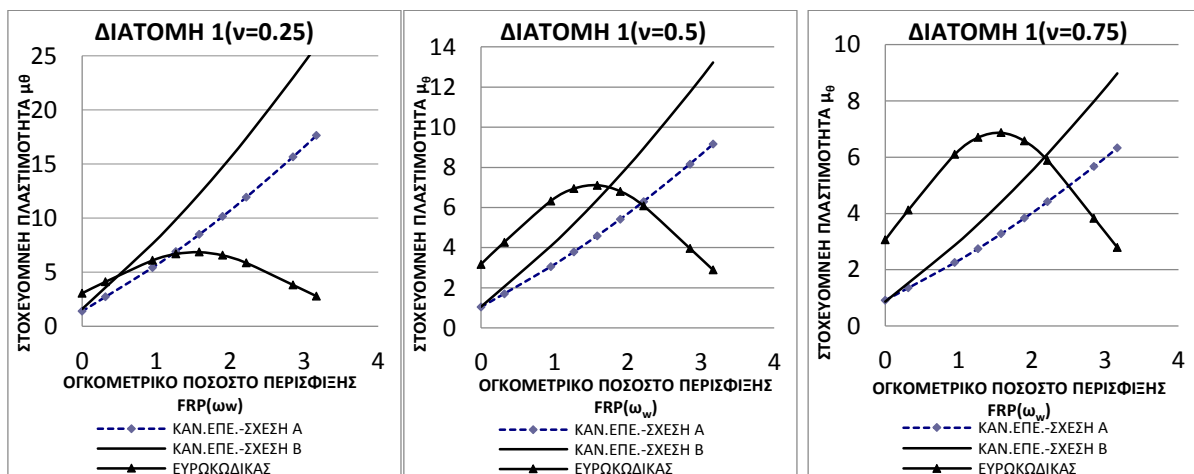
Διάγραμμα 3. Επιρροή των σχέσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.(κεφ.7) και Ευρωκώδικα) προσδιορισμού της πλαστιμότητας σε όρους μ_{ϕ} , από το ανηγμένο αξονικό φορτίο, για τη Διατομή 1 και Διατομή 2

Για την επιρροή του αξονικού φορτίου παρατηρείται, εν τέλει, ότι:

- Η βασική σχέση του Ευρωκώδικα είναι η μόνο που δεν επηρεάζεται καθόλου από το αξονικό φορτίο. (βλ. Διάγραμμα 3)
- Για τις υπόλοιπες σχέσεις παρατηρείται ότι όσο το αξονικό φορτίο αυξάνεται δίνουν μικρότερες τιμές για την καμπυλότητα, πράγμα που φαίνεται λογικό. (βλ. Πίνακα 3)
- Εξάιρεση αποτελεί η αναλυτική λύση του ΚΑΝ.ΕΠΕ.(κεφ. 7), για τιμές του ογκομετρικού ποσοστού πέρα από τη μονάδα (δηλαδή πολύ μεγάλες τιμές για τη πράξη), όπου η αύξηση του αξονικού προκαλεί και αύξηση της πλαστιμότητας. Μέχρι τη μονάδα, βέβαια, δείχνει να μην επηρεάζεται από το αξονικό. (βλ. Διάγραμμα 3)

3.2.3. Σύγκριση σχέσεων για την πλαστιμότητα σε όρους μ_{ϕ}

Συγκρίνονται οι προσεγγιστικές σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ.(κεφ. 8) εξ.(31α,β) με την αναλυτική σχέση του Ευρωκώδικα (EN1998-3) εξ(35), όπως αυτές προσδιορίστηκαν κατά την §3.1.3. Σημειώνεται δε πως, για να προκύψει δείκτης πλαστιμότητας όλες οι σχέσεις για τον προσδιορισμό του θ_u , διαιρέθηκαν με την εξ.(30) που 'ναι κοινή για τους δύο κανονισμούς, ΚΑΝ.ΕΠΕ. και Ευρωκώδικα. Τα αποτελέσματα από τη σύγκριση αυτή, είναι ανάλογα για τη Διατομή 1 και τη Διατομή 2, οπότε ενδεικτικά παρουσιάζονται για τη Διατομή 1 και για τιμές του ανηγμένου αξονικού φορτίου $v=0.25$, $v=0.50$ και $v=0.75$.

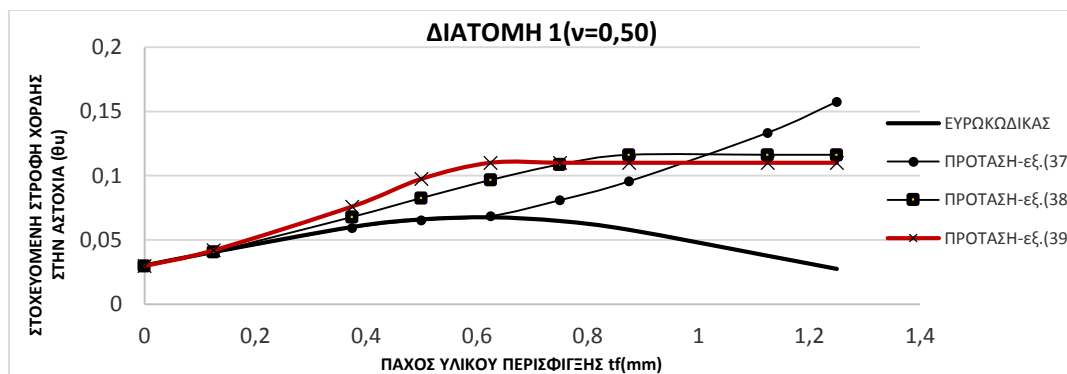


Διάγραμμα 4. Μεταβολή της στοχευόμενης πλαστιμότητας, μ_{ϕ} , σε σχέση με το ογκομετρικό ποσοστό περίσφιξης και σύγκριση των σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και Ευρωκώδικα, για την ενισχυμένη Διατομή 1 και διάφορες τιμές του ανηγμένου αξονικού φορτίου

Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνονται τα εξής σημεία:

- Η καμπύλη της σχέση του Ευρωκώδικα παρουσιάζει το παράδοξο, ότι πέραν από ένα ποσοστό περίσφιξης, η περαιτέρω αύξηση του υλικού περίσφιξης προκαλεί πτώση στην στοχευόμενη πλαστιμότητα μ_{θ} . Το σημείο καμπής, από όπου η καμπύλη γίνεται φθίνουσα είναι κοντά στο 1.5 κι αυτή η τιμή είναι ίδια για τη Διατομή 1 και Διατομή 2, καθώς είναι ανεξάρτητη από τα χαρακτηριστικά των διατομών. Σ' αυτό το σημείο υπενθυμίζεται η εξ.(35): $f_{fe} = \min(f_{uf}, \varepsilon_{uf} \cdot E_f) \left(1 - 0.7 \min(f_{uf}, \varepsilon_{uf} \cdot E_f) \frac{\rho_f}{f_c}\right) = f_u(1 - 0.35\omega_w)$. Από την εξίσωση αυτή παρατηρείται πως για $\omega_w=1.5$ η παρένθεση ισούται με 0.5 άρα για τιμές του ω_w μεγαλύτερες του 1.5 η παρένθεση δίνει αρνητικό αριθμό ο οποίος θα είναι στον εκθέτη της σχέσης του Ευρωκώδικα (εξ.(35)) με αποτέλεσμα να δίνει φθίνοντα αποτελέσματα. Είναι λοιπόν προφανές ότι η παραπάνω εξίσωση θα πρέπει να διορθωθεί κατάλληλα για να βελτιωθεί και η απόδοση της καμπύλης.
- Επιπλέον οι καμπύλες των σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ., δεν είναι τόσο κοντά όσο θα περίμενε κανείς, εφόσον δίνονται και οι δύο χωρίς κάποιο περιορισμό ή διαχωρισμό τους. Αν' αυτού, διαφοροποιούνται αισθητά, με τη Σχέση Α να δίνει πάντα συντηρητικότερα αποτελέσματα.
- Τέλος, επικεντρώνοντας τα συμπεράσματα για ένα ρεαλιστικό εύρος τιμών, δηλαδή για μικρά ποσοστά περίσφιξης (<1.5) και μικρά ανηγμένα αξονικά φορτία (<0.5), οι τρεις καμπύλες δίνουν πολύ κοντινά αποτελέσματα, με τις προσεγγιστικές σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. να είναι σχεδόν πάντα οι πιο συντηρητικές.

Στην προσπάθεια βελτίωσης της απόδοσης της αναλυτικής σχέσης του Ευρωκώδικα (EN1998-3) εξ(36), εφαρμόζεται η βελτιωμένη εξ.(36) σε συνδυασμό με τις εξ.(37), εξ.(38) και εξ.(39). Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή και την μεταξύ τους σύγκριση παρουσιάζονται παρακάτω, ενδεικτικά για τη Διατομή 1 υπό ανηγμένο αξονικό φορτίο ίσο 0.50. Ανάλογα βέβαια διαγράμματα προκύπτουν και για άλλες τιμές του αξονικού αλλά και για τη Διατομή 2.



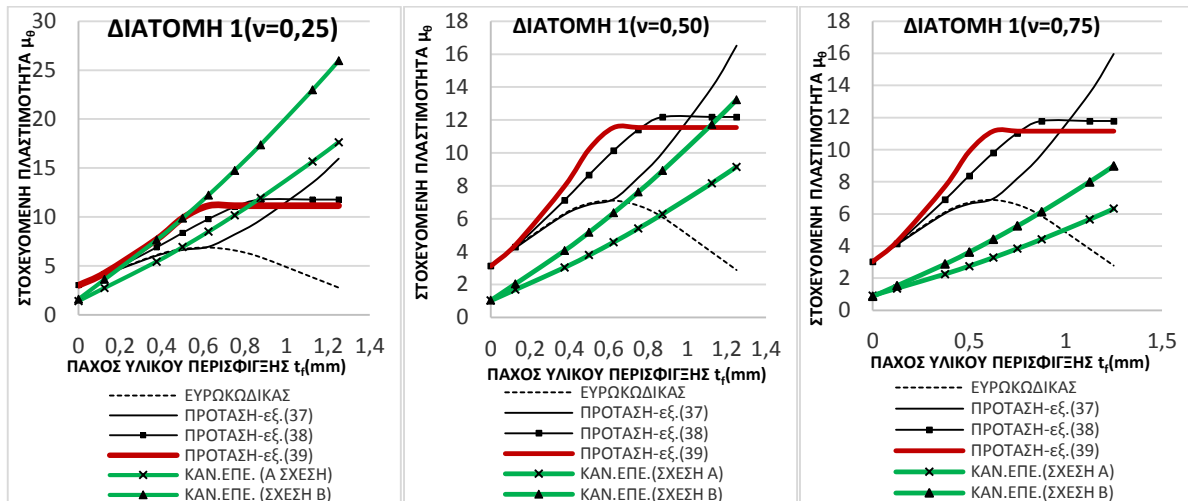
Διάγραμμα 5. Σύγκριση της εξ.(36) (σε συνδυασμό με τις εξ.(37), εξ.(38) και εξ.(39)) και της εξ.(35) του Ευρωκώδικα, για την ενισχυμένη Διατομή 1 και ανηγμένου αξονικού $\nu=0.50$

Από το διάγραμμα αυτό συμπεραίνεται ότι:

- Η εξ.(37) δείχνει να αντιδρά καλύτερα στην αύξηση του πάχους υλικού περίσφιξης, δίνοντας αυξανόμενες τιμές, εν αντιθέσει με τον Ευρωκώδικα που δίνει μειούμενες τιμές (πέρα από κάποιο όριο)
- Τόσο η εξ.(38) όσο και η εξ.(39) έχουν κάποιο οριακό σημείο πέραν του οποίου οριζοντιώνεται η καμπύλη, δίνοντας σταθερή τιμή για την καμπυλότητα αστοχίας ανεξάρτητα από την τιμή του ογκομετρικού ποσοστού περίσφιξης (δηλαδή στο πάχος υλικού περίσφιξης). Υποδεικνύουν, δηλαδή, οι σχέσεις αυτές ότι πάνω από κάποιο όριο η επιπλέον περίσφιξη δεν επιφέρει ουσιαστικά αποτελέσματα.

- Για τη πρόταση εξ.(39) παρατηρείται πως το σημείο από το οποίο αρχίζει να σταθεροποιείται είναι σε σχετικά μικρό πάχος υλικού περίσφιγξης ενώ δίνει τις υψηλότερες τιμές από όλες.
- Παρόλο που η εξ.(39) αποτελεί την πιο βελτιωμένη έκφραση, φαίνεται πως η καμπύλη για τη εξ.(37) είναι πιο κοντά στην καμπύλη του Ευρωκώδικα (μέχρι ένα πάχος υλικού, τουλάχιστον).

Συγκρίνοντας τις παραπάνω σχέσεις και με τις σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. προκύπτουν διαγράμματα όπως τα ακόλουθα.



Διάγραμμα 6. Σύγκριση των βελτιωμένων σχέσεων με την παλιά σχέση του Ευρωκώδικα αλλά και τις σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ., για την ενισχυμένη Διατομή 1 και διάφορες τιμές του ανηγμένου αξονικού

Από το διάγραμμα αυτό συμπεραίνεται ότι:

- Η εξ.(39) έχει καμπύλη ανάλογης μορφής με τα καμπύλες των σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. με την μόνη διαφορά ότι αυτή οριζοντιώνεται με το πέρας συγκεκριμένου πάχους υλικού.
- Όσο το αξονικό φορτίο αυξάνει οι σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. απομακρύνονται καθώς επηρεάζονται περισσότερο από όλες από αυτό και για μεγάλα αξονικά φορτία γίνονται οι πιο συντηρητικές.
- Για μικρά αξονικά φορτία οι σχέσεις δίνουν κοντινά αποτελέσματα ή μπορεί και να ταυτίζονται (όπως π.χ. στη Διατομή 1 για $v=0.25$ και μικρό αριθμό στρώσεων).

4.ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Από τον ορισμό των σχέσεων στο κεφάλαιο 3, διαπιστώθηκε ότι η τιμή ορισμένων παραμέτρων (και κυρίως η παραμόρφωση αστοχίας) επηρεάζονται ιδιαίτερα από τον τύπο του υλικού που επιλέγεται. Προς τούτο κρίνεται σκόπιμο να ελεγχθεί η εγκυρότητα των παραπάνω αποτελεσμάτων με την εφαρμογή GFRP, αντί CFRP. Επιλέγεται λοιπόν το υλικό:

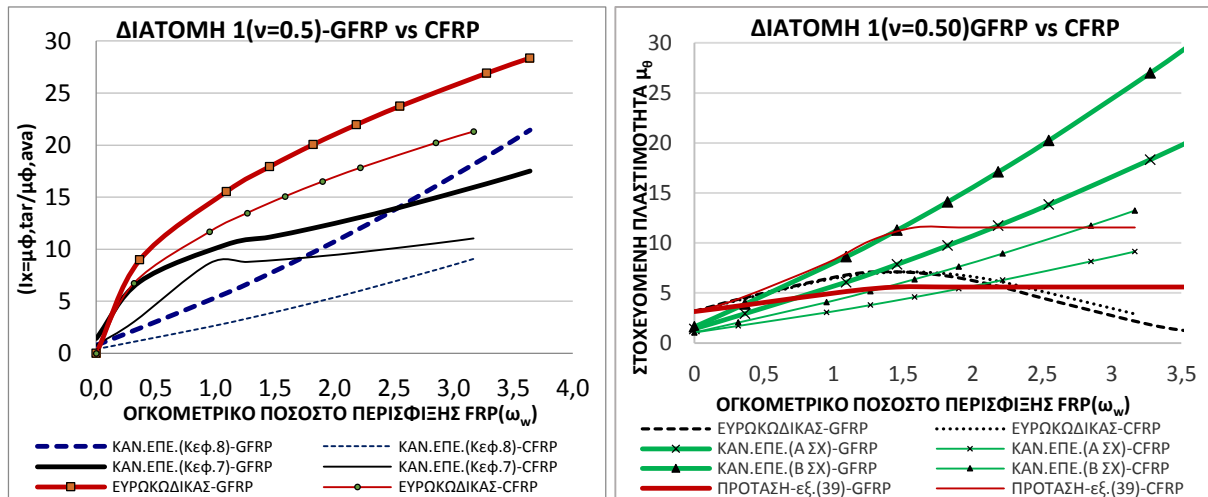
- ✓ Μανδύας GFRP, μέτρου ελαστικότητας $E=105\text{GPa}$, αντοχής $f_u=2100\text{MPa}$ και οριακής παραμόρφωσης $\epsilon_{ju}=2.0\%$. Το ονομαστικό πάχος t_f του υλικού είναι ίσο με 0.26mm .

Από την εφαρμογή του υλικού αυτού (στη Διατομή 1 και 2, για διάφορες τιμές του ανηγμένου αξονικού και του πάχους t_f), προκύπτει ότι τα συμπεράσματα που έχουν ήδη προκύψει για τα CFRP δεν αλλάζουν ιδιαίτερα. Οι σχέσεις αποκρίνονται με τον ίδιο τρόπο που αποκρίνονταν στη περίπτωση εφαρμογής μανδύα CFRP με μοναδικές εξαιρέσεις τις ακόλουθες:

- Τη προσεγγιστική σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ.(εξ.(25), για προσδιορισμό μ_ϕ , και κατ' επέκταση εξ.(31α,β) για προσδιορισμό θ_u), η οποία επηρεάζεται άμεσα από την παραμόρφωση αστοχίας, $\epsilon_{cu,c}$. Η παραμόρφωση αυτή, κατά τις εξ.(21) και εξ.(22α,β), για το ίδιο

ογκομετρικό ποσοστό περίσφιγξης θα προκύψει διπλάσια για το GFRP από το CFRP με αποτέλεσμα η σχέση να δίνει υψηλότερα αποτελέσματα. (βλ. Διάγραμμα 8, αριστερά για τη σύγκριση σε όρους μ_ϕ).

- ο Την βελτιωμένη εξ.(39) για τον προσδιορισμό του θ_u (μέσω εξ.(36)) η οποία δίνει πολύ μικρότερα αποτελέσματα, λόγω μείωσης του συντελεστή c_f από 1.8 σε 0.8. (βλ. Διάγραμμα 8, δεξιά για τη σύγκριση σε όρους θ_u).



Διάγραμμα 7. Σύγκριση σχέσεων για τον προσδιορισμό της πλαστιμότητας, σε όρους μ_ϕ (αριστερά) και σε όρους μ_θ (δεξιά), για την περίπτωση περίσφιγξης με CFRP και GFRP, για τη Διατομή 1 και ανηγμένο αξονικό $\nu=0.5$

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αρχικά συμπεράσματα της εργασίας είναι ότι:

1. οι σχέσεις συγκλίνουν για ένα ρεαλιστικό εύρος τιμών, δηλαδή για μικρά ποσοστά περίσφιγξης (<1.0-1.5) και μικρά ανηγμένα αξονικά φορτία (<0.50)
2. Οι πιο συντηρητικές από όλες είναι οι σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και σε όρους μ_ϕ , και σε όρους θ_u , εξαιτίας της προσεγγιστικής σχέσης για τον υπολογισμό του δείκτη μ_ϕ , (η οποία περιλαμβάνεται και στην σχέση για το θ_u), ενώ είναι και οι σχέσεις που επηρεάζονται περισσότερο από το αξονικό φορτίο
3. Οι κλειστοί τύποι που δίνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τον υπολογισμό της διαθέσιμης πλαστιμότητας, μ_ϕ (μέσω της καμπυλότητας στη διαρροή, ϕ_y , και στην αστοχία, ϕ_u) διατομής οπλισμένου σκυροδέματος δίνουν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα καθώς είναι πολύ κοντά σε αυτά που προκύπτουν από Διαγράμματα Μ-φ με χρήση προγραμμάτων ανάλυσης διατομής, ΒΙΑΧ και ΧTRACT. Το ίδιο διαπιστώθηκε ότι ισχύει και για τον προσδιορισμό της στοχευόμενης πλαστιμότητας για διατομή που ενισχύεται με FRP. Όποτε τα αποτελέσματα αυτά διαφοροποιούνται αυτό οφείλεται αποκλειστικά στο ϕ_y ,

Όσον αφορά τη διατομή πριν την ενίσχυση, διαπιστώθηκε ότι:

4. Οι προσεγγιστικές (ημι-εμπειρικές) σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ για την καμπυλότητα στη διαρροή δίνουν κοντινά αποτελέσματα με τις αναλυτικές σχέσεις του κανονισμού, μόνο όταν η διαρροή καθορίζεται από τον χάλυβα (και όχι το σκυρόδεμα). Οι προσεγγιστικές σχέσεις μπορούν απευθείας να χρησιμοποιηθούν, αντί των αναλυτικών στη περίπτωση ο χάλυβας έχει χαμηλή αντοχή (π.χ. S220 με $f_{ym}=253\text{Mpa}$) και ανεξαρτήτως της τιμής του αξονικού φορτίου, της αντοχής του σκυροδέματος, του ποσοστού όπλισης και των διαστάσεων και του σχήματος της διατομής. Για μεγαλύτερη αντοχή του χάλυβα, οι προσεγγιστικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί των αναλυτικών μόνο για συγκεκριμένα εύρη τιμών του ανηγμένου αξονικού φορτίου, τα οποία περιορίζονται ιδιαίτερα όταν ο ισχυρός χάλυβας συνδυαστεί με χαμηλής ποιότητας σκυρόδεμα.

Όσον αφορά την ενισχυμένη διατομή, διαπιστώθηκε ότι:

5. Η προσεγγιστική σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τη πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων, μ_{ϕ} , παρουσιάζει μία ιδιόζουσα συμπεριφορά δίνοντας πάντα πολύ χαμηλές τιμές (με εξαίρεση την περίσφιγξη από GFRP σε αξονικό $\nu=0.25$) ενώ παρουσιάζει μεγάλη επιρροή από τη τιμή του ογκομετρικού ποσοστού περίσφιγξης, από τη τιμή του ανηγμένου αξονικού φορτίου αλλά και από τον τύπο του FRP που χρησιμοποιείται (CFRP, GFRP, AFRP κ.α.).
6. Η απόδοση αυτής της σχέσης βελτιώθηκε αντικαθιστώντας το συντελεστή «2.2» με « $f_c/2.6f_{cc}$ », δίνοντας μία καμπύλη που είναι πιο συμβατή στις υπόλοιπες και φυσικά στη σχέση του Ευρωκώδικα. Μειονέκτημα συνεχίζει να αποτελεί η άμεση επιρροή από το αξονικό φορτίο με αποτέλεσμα να διαφοροποιείται από τις υπόλοιπες σχέσεις για κάποιες οριακές (αλλά όχι τόσο συχνές) περιπτώσεις.
7. Η σχέση του Ευρωκώδικα για τη στροφή χορδής στην αστοχία, θ_u παρουσιάζει το παράδοξο να δίνει όλο και μικρότερες τιμές με την αύξηση του ογκομετρικού ποσοστού πέραν από μια τιμή (κοντά στο 1.5) με τη τιμή αυτή να είναι σταθερή και ανεξάρτητη από τα χαρακτηριστικά των διατομών. Το ίδιο κι εντονότερο πρόβλημα διαπιστώνεται και με την αλλαγή του υλικού περίσφιγξης από CFRP σε GFRP.
8. Η απόδοσή της βελτιώνεται με την εφαρμογή της εξ.(39) του Michael N. Fardis^[9], η οποία μάλιστα, έχει καμπύλη ανάλογης μορφής με τις καμπύλες των σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. με την μόνη διαφορά ότι αυτή οριζοντιώνεται με το πέρασ συγκεκριμένου πάχους υλικού, λαμβάνοντας έτσι υπόψη το γεγονός ότι δεν γίνεται να αυξάνεται ες αι η πλαστιμότητα όσο κι αν αυξάνεται η περίσφιγξη.
9. Όσον αφορά τις σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ., για τη πλαστιμότητα σε όρους στροφή χορδής, μ_{θ} δεν είναι τόσο κοντά όσο θα περίμενε κανείς, εφόσον δίνονται και οι δύο χωρίς κάποιο περιορισμό ή διαχωρισμό τους. Αν' αυτού, διαφοροποιούνται αισθητά, με τη Σχέση Α να δίνει πάντα συντηρητικότερα αποτελέσματα.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. «ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013, Κανονισμός Επεμβάσεων», ΟΑΣΠ, ΦΕΚ 2187/Β/05-09-2013
- [2]. «ΚΑΝ.ΕΠΕ-Σχέδιο 2016», (υπό διαμόρφωση-Προσωπική επικοινωνία με Σ. Δρίτσος)
- [3]. Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός Σχεδιασμός- Μέρος 3: Αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας και ενισχύσεις κτιρίων, EN1998-3:2005
- [4]. Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός φορέων από Σκυρόδεμα- Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια, EN1992-1-1:2004
- [5]. Διονύσιος Ε. Μπισκίνης «Αντοχή και ικανότητα παραμόρφωσης μελών οπλισμένου σκυροδέματος, με ή χωρίς ενίσχυση», Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πάτρα 2007
- [6]. Μ. Γ. Σφακιανάκης, «Πρόγραμμα ΒΙΑΧ-οδηγίες χρήσης», Πάτρα 2015
- [7]. federation international du beton, «fib Model Code for Concrete Structures 2010», Lausanne, 2010
- [8]. Νέζης Χρήστος, «Χάλυβες Οπλισμού, Συμπεριφορά κατά τη Συγκόλληση και μελέτη της Ολκιμότητάς τους», Διπλωματική εργασία, Πάτρα, Ιούνιος 2006
- [9]. Michael N. Fardis «Seismic design, assessment and retrofitting of Concrete Buildings, based on EN-Eurocode8», Springer, 2009
- [10]. Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, «Ενισχύσεις Κατασκευών Οπλισμένου σκυροδέματος και Φέρουσας Τοιχοποιίας με Σύνθετα Υλικά», Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πάτρα 2006