

ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΕ ΡΑΒΔΟΜΟΡΦΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΝ.ΕΠΕ. ΚΑΙ EN 1998-3.

ΖΑΧΑΡΟΠΟΥΛΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

Περίληψη

Με την εργασία αυτή έγινε μία προσπάθεια προσέγγισης και εφαρμογής σε θεωρητικό επίπεδο των μεθόδων επέμβασης και ενίσχυσης σε δοκούς και υποστυλώματα, στα λεγόμενα δηλαδή και ως ραβδόμορφα δομικά στοιχεία σε υφιστάμενες κατασκευές. Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η χρησιμοποίηση εξισώσεων και σχέσεων που περιλαμβάνονται τόσο στον Κανονισμό Επεμβάσεων 2013 (ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013), όσο και στο Παράρτημα Α (Κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα) του Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 (EN 1998-3:2005), η υλοποίησή τους με αριθμητικά δεδομένα και η εξαγωγή των αντίστοιχων συμπερασμάτων βάσει των προκύπτων αποτελεσμάτων. Επιπλέον γίνεται και μία σχετικά σύντομη παρουσίαση και περιγραφή των εφαρμοζόμενων τεχνικών και μεθόδων στο πεδίο των ενισχύσεων και επισκευών ραβδόμορφων στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι διαδικασίες αποτίμησης και ανασχεδιασμού των υφιστάμενων κατασκευών αποτελούν αναντίρρητα καθοριστικής σημασίας τακτικές που ακολουθούνται στην αντιμετώπιση και επίλυση προβλημάτων τα οποία παρουσιάζονται στα υπάρχοντα δομήματα και αφορούν αδυναμίες σχετιζόμενες με την ομαλή λειτουργία του φέροντα οργανισμού τους. Με την εφαρμογή κατάλληλων και απαιτούμενων ανά περίπτωση δομικού στοιχείου και βλάβης του τεχνικών, το αρχικά βλαμμένο φέρον στοιχείο της κατασκευής αποκτά βελτιωμένη συμπεριφορά έναντι τυχηματικών δράσεων (σεισμός) καθώς και ενισχύεται ως προς την αντίστασή του (καμπτική, διατμητική αντοχή, δυσκαμψία) στις δρώσες εντάσεις που το καταπονούν.

Στις μέρες μας άλλωστε λαμβάνοντας υπόψη και τις επικρατούσες κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες είναι επιβεβλημένη η κατεύθυνση αυτή στη διατήρηση και επισκευή ή ενίσχυση των ήδη υπαρχόντων δομημάτων, συμπεριλαμβανομένου φυσικά και του παράγοντα του κόστους της επέμβασης ώστε να είναι πραγματικά οικονομικά ωφέλιμη. Επομένως η σπουδαιότητα της ύπαρξης ενός εξειδικευμένου κανονιστικού κειμένου στο πεδίο των επεμβάσεων είναι πολύ μεγάλη. Η σύσταση του Κανονισμού Επεμβάσεων έδωσε λύση στη συγκεκριμένη ανάγκη προσφέροντας στους επαγγελματίες μηχανικούς που δραστηριοποιούνται στο πεδίο αυτό την απαραίτητη κατάρτιση και υποδομή θεσμοθετώντας κριτήρια για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας υφιστάμενων κατασκευών και κανόνων εφαρμογής για τον αντισεισμικό ανασχεδιασμό τους, καθώς και για ενδεχόμενες επεμβάσεις, επισκευές ή ενισχύσεις.

Επιπροσθέτως του Κανονισμού Επεμβάσεων στον τομέα αυτόν των επισκευών ή ενισχύσεων ο ενδιαφερόμενος να δώσει λύση στην απαιτούμενη επέμβαση έχει στη διάθεσή του να χρησιμοποιήσει τον Ευρωκώδικα 8 και συγκεκριμένα το μέρος 3 που εξειδικεύεται στην αποτίμηση και ενίσχυση κτιρίων (EN 1998-3) [5].

Αξιοσημείωτο είναι ότι η στρατηγική που ακολουθείται για τις συγκεκριμένες επεμβάσεις είναι αρκετά διαφορετική από εκείνη για το σχεδιασμό των νέων κατασκευών. Ο ακολουθούμενος τρόπος εργασίας στην υλοποίηση των καινούργιων οικοδομημάτων βασίζεται σε νέους αξιόπιστους και ενημερωμένους κανονισμούς και με δεδομένη τη γνώση των αντιστάσεων και αντοχών σχεδιασμού των δομικών μελών τους από τη φάση της μελέτης. Στη λύση όμως της επέμβασης ο μηχανικός έχει να αντιμετωπίσει σειρά αβεβαιοτήτων αναφορικά με τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών που είχαν χρησιμοποιηθεί κατά τον χρόνο κατασκευής, τις τυχούσες κρυμμένες ατέλειες του φορέα και με τον προσδιορισμό της αρχικής γεωμετρίας του κατά το δυνατόν ακριβέστερα. Η

διαδικασία προσέγγισης είναι επομένως διαφορετική και στοχεύει στην τεκμηρίωση του υφιστάμενου φορέα [5].

Η επιλογή της λύσης επέμβασης που θα υιοθετηθεί σε κάθε περίπτωση ποικίλει αναλόγως της μορφής του δομικού στοιχείου (ραβδόμορφο, επιφανειακό), καθώς και των διατιθέμενων από τους κανονισμούς μεθόδων που μπορούν να εφαρμοστούν σε αυτή την κατηγορία στοιχείου οπλισμένου σκυροδέματος.

2. ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΣΕ ΡΑΒΔΟΜΟΡΦΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣ ΕΠΕΜΒΑΣΗ

Σε κάθε δομικό μέλος μίας υφιστάμενης κατασκευής που χρειάζεται μία λύση επέμβασης επιλέγεται ποια είναι η προσφορότερη και καταλληλότερη τεχνική για να εφαρμοστεί. Καταληκτική σημασία στην παραπάνω επιλογή έχει ο χρόνος που απαιτείται να εκτελεστεί (εργατοώρες εξειδικευμένου συνεργείου), η χρηματική δαπάνη για την προμήθεια των υλικών, καθώς και η επερχόμενη όχληση που θα προκληθεί στη χρήση της κατασκευής έως ότου ολοκληρωθούν οι εργασίες.

Τόσο ο Κανονισμός Επεμβάσεων όσο και ο Ευρωκώδικας 8 – Μέρος 3 υπαγορεύουν υλικά και τεχνολογίες επεμβάσεων πέραν των ήδη χρησιμοποιούμενων στις νέες κατασκευές. Τα παραδοσιακά υλικά της οικοδομής (σκυρόδεμα και χάλυβας) εξακολουθούν να κατέχουν καίρια σημασία στην όλη διαδικασία, όμως απαιτείται η συνεισφορά και άλλων υλικών και τεχνικών που εφαρμόζονται κάτω από ειδικές συνθήκες και απαιτείται η διασφάλιση ενός συστήματος ποιοτικού ελέγχου σε επίπεδο σημαντικά ανώτερο από εκείνο που υιοθετείται στα καινούργια δομήματα [1]. Στη συνέχεια παρατίθενται οι κοινές χρησιμοποιούμενες μέθοδοι και υλικά κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 και κατά EN 1998-3 σε δοκούς και υποστυλώματα ακολουθούμενα συμπληρωματικά με μία συνοπτική περιγραφή για κάθε περίπτωση.

Η χρήση χαλύβδινων επικολητών φύλλων (ελασμάτων) σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος αποτελεί μία μέθοδο που στοχεύει στην ενίσχυση του δομικού μέλους μέσω συμπλήρωσης με καινούργιους οπλισμούς υπό μορφή ελασμάτων του αρχικού ελλείμματος αντοχής εξαιτίας της απουσίας του αναγκαίου οπλισμού στην υφιστάμενη κατασκευή. Η μέθοδος αυτή δρα ευεργετικά αυξάνοντας την καμπτική και διατμητική αντοχή δοκών, ενώ μεταλλικά φύλλα με τη μορφή κλειστών μανδύων συμβάλλουν στην ενίσχυση υποστυλωμάτων μέσω της περίσφιγξης που επιτυγχάνεται. Για την επικόλληση των ελασμάτων αυτών χρησιμοποιείται κατάλληλη εποξειδική ρητίνη (κόλλα) με πλάσσιμη συμπεριφορά ως συγκολλητικό μέσο ανάμεσα στο φύλλο και στην επιφάνεια του σκυροδέματος που χρήζει ανάγκη ενίσχυσης σε επίπεδο παράλληλο εκείνου που υστερεί σε αντοχή. Τα ελάσματα εφαρμόζονται σε στρώσεις περισσότερες της μίας και χαρακτηρίζονται από μικρό πάχος της τάξης του 1-1,5 mm, ενώ συχνά για καλύτερη σύνδεσή τους χρησιμοποιούνται πρόσθετα στοιχεία αγκύρωσης (βλήτρα) [1].



Εικόνα 1: Ενίσχυση δοκού με χαλύβδινα ελάσματα [5]

Η χρήση φύλλων από ινοπλισμένα πολυμερή FRPs (Fiber Reinforced Polymers) αποτελεί την εναλλακτική λύση στην τεχνική εφαρμογής χαλύβδινων επικολητών φύλλων. Σημειώνεται ότι η χρήση σύνθετων υλικών (FRPs) υπερτερεί συγκριτικά εκείνης των χαλύβδινων ελασμάτων εξαιτίας των χαρακτηριστικών και της συμπεριφοράς των υλικών αυτών. Τα ινοπλισμένα πολυμερή αποτελούνται από ίνες σημαντικά μεγάλης εφελκυστικής αντοχής που έχουν εμποτιστεί με "θερμοσκληρυνόμενη" ρητίνη. Το υλικό των ινών μπορεί να είναι γυαλί (GFRP), αραμίδιο (AFRP) ή άνθρακας (CFRP), ενώ η ρητίνη λόγω της καύσης της σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 250° C δεν παρουσιάζει ανθεκτικότητα σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα FRPs διακρίνονται από πολύ μικρό βάρος, υψηλές τιμές εφελκυστικών αντοχών και σε αντίθεση με το χάλυβα είναι ανθεκτικά σε διάβρωση [1]. Αξιοσημείωτη είναι επίσης η ευκολία εφαρμογής της μεθόδου, ο περιορισμένος χρόνος ολοκλήρωσής της και η λύση που έδωσε η συγκεκριμένη τεχνολογία σε επεμβάσεις όπως οι ενισχύσεις κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων, στις οποίες η χρήση χαλύβδινων φύλλων ήταν περιορισμένη. Για τη συγκόλληση των FRPs στην επιφάνεια του δομικού στοιχείου που επρόκειτο να ενισχυθεί η οποία μπορεί να γίνει σε στρώσεις περισσότερες της μίας, χρησιμοποιείται εποξειδική ρητίνη ως συγκολλητικό μέσο, ενώ προηγείται μία τυπική διαδικασία προετοιμασίας του στοιχείου [1]. Με τη χρήση σύνθετων υλικών επιτυγχάνεται βελτίωση της διατμητικής ικανότητας σε δοκούς και υποστυλώματα, σύσφιξη των ενώσεων σιδηροπλισμού με υπερκάλυψη μέσω αυξημένης περίσφιξης της υπερκάλυψης με τις ίνες των FRPs, ενώ στην περίπτωση εφαρμογής τους υπό τη μορφή κλειστού μανδύα σε υποστυλώματα επιδιώκεται η αύξηση της πλαστιμότητας και της απορρόφησης σεισμικής ενέργειας που συνεπάγεται. Επίσης για την αύξηση αντοχής σε κάμψη δοκών μπορούν να χρησιμοποιηθούν επικολητά φύλλα από ινοπλισμένα πολυμερή, και απαιτείται να γίνει με ιδιαίτερη επιμέλεια η αγκύρωση των άκρων του φύλλου.



Εικόνα 2: Ενίσχυση υποστυλώματος με ολόσωμο μανδύα από FRP με ίνες άνθρακα [7]

Η τεχνική επέμβασης με μεταλλικούς μανδύες σε ραβδόμορφα δομικά στοιχεία επιδιώκει την αύξηση της διατμητικής αντοχής του στοιχείου, συνάμα με την σύσφιξη των ενώσεων με υπερκάλυψη του σιδηροπλισμού. Επιπλέον αποτελεί μία διαδικασία επιβολής εξωτερικής περίσφιξης στα υποστυλώματα ανάλογης εκείνης που προσδίδουν οι ολόσωμοι μανδύες από σύνθετα υλικά (FRPs), η χρήση επικολητών κολλάρων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή, η χρήση προεντεταμένων κολλάρων από χάλυβα ή σύνθετα υλικά, η εφαρμογή μεταλλικού κλωβού από κατακόρυφα γωνιακά ελάσματα και οριζόντια μεταλλικά κολλάρα, καθώς και η χρήση σπειροειδούς οπλισμού από μεταλλικό έλασμα ή από FRPs. Η περίσφιξη με γενικό (ολόσωμο) μανδύα από χάλυβα υλοποιείται με τοποθέτηση των χαλύβδινων φύλλων σε μικρή απόσταση από τις παρειές του υποστυλώματος και συμπλήρωση του δημιουργούμενου κενού με μη-συρρικνούμενο κονίαμα για αποφυγή της συστολής ξήρανσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη επέμβαση αποδίδει πολύ

καλύτερα στην περίπτωση που ο μεταλλικός μανδύας έχει κυκλική ή ελλειπτική μορφή, διαφοροποιώντας με τον τρόπο αυτό τη γεωμετρία του υποστρώματος [1].



Εικόνα 3: Ενίσχυση υποστρώματος με μεταλλικό μανδύα [7]

Για την εκτέλεση των προαναφερθέντων τεχνολογιών επεμβάσεων σε δομικά στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος συνιστάται η εφαρμογή των Εθνικών Τεχνικών Προδιαγραφών (Ε.Τ.Ε.Π.) για επεμβάσεις. Άλλωστε έχουν υποχρεωτική εφαρμογή στο σύνολο των δημόσιων έργων από τις 30 Σεπτεμβρίου 2012 [5].

3. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ (ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ) ΒΑΣΕΙ ΤΟΥ ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 ΚΑΙ ΤΟΥ EN 1998-3:2005

1. Επιβολή εξωτερικής περίσφιξης (αύξηση της πλαστιμότητας) με χρήση σύνθετων υλικών. Υποστύλωμα οπλισμένου σκυροδέματος ορθογωνικής διατομής διαστάσεων 500mm*350mm, κατηγορίας σκυροδέματος C16/20 και χάλυβα οπλισμού S500. Το υποστύλωμα φορτίζεται με ροπή $M_d=150$ KNm και αξονικό θλιπτικό φορτίο $N_d=800$ KN. Με το συγκεκριμένο παράδειγμα υπολογίζεται ο δείκτης πλαστιμότητας σε όρους καμπυλοτήτων $\mu_\varphi = \varphi_u / \varphi_y$ συναρτήσεως του πάχους του σύνθετου υλικού t_f χρησιμοποιώντας τις σχέσεις που προτείνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 και ο EN 1998-3. Προσδίδοντας στις κατασκευές πλαστιμότητα επιτυγχάνουμε τόσο τα δομικά μέλη όσο και η κατασκευή στην ολότητά της να διακρίνεται από μεγάλες παραμορφώσεις στην πλαστική περιοχή προτού επέλθει η αστοχία. Επομένως το έλλειμμα σε πλαστιμότητα που παρουσιάζουν οι προγενέστερες κατασκευές (προ του 1985 απουσίας αντισεισμικού κανονισμού) καλύπτεται με τον προσδιορισμό ενός στοχευόμενου (απαιτούμενου) δείκτη πλαστιμότητας καμπυλοτήτων.

Υπολογισμός με ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 [6]

Επιλογή τιμής απαιτούμενου δείκτη πλαστιμότητας του υποστρώματος $\mu_{\delta i}$, έστω $\mu_{\delta, \alpha\pi} = \mu_{\delta i} = 3,5$ και υπολογισμός της τιμής του δείκτη πλαστιμότητας καμπυλοτήτων $\mu_{1/r}$ για την κρίσιμη διατομή του υποστρώματος από τη σχέση (**ΚΑΝ.ΕΠΕ. §8.2.3 δ (iv)**):

$$(\mu_{1/r} - 1) / (\mu_{\delta} - 1) = 3 \Rightarrow (\mu_{1/r} - 1) / (3,5 - 1) = 3 \Rightarrow \mu_{1/r} = 8,5 \quad (1)$$

Η απαιτούμενη τιμή μέγιστης θλιπτικής παραμόρφωσης του σκυροδέματος υπό την προϋπόθεση ότι $\nu > 0,2$ (παρακάτω υπολογίζεται το ανηγμένο αξονικό φορτίο) δίνεται από τη σχέση (**ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (Σ8.11)**):

$$\varepsilon_{cu,c} = 2,2 * \mu_{1/r} * \varepsilon_{sy} * \nu_d = 2,2 * 8,5 * (500 * 1,15 / 200000) * 0,24 \approx 0,013 \quad (2)$$

όπου η ανηγμένη αξονική θλιπτική δύναμη ν υπολογιζόμενη με χρήση μέσων τιμών υλικών ομοίως με την παραμόρφωση διαρροής του διαμήκους οπλισμού του στοιχείου ε_{sy} :

$$\nu_d = N_d / (b * h * f_{cm}) \Rightarrow \nu_d = 800 / (0,5 * 0,35 * 19000) = 0,24 > 0,2$$

και η μέση τιμή της ονομαστικής τιμής του χάλυβα είναι $f_{ym}=1,15 \cdot f_{yk}$, ενώ η μέση τιμή της ονομαστικής τιμής του σκυροδέματος για κατηγορία C16/20 εκτιμήθηκε σε $f_{cm}=19\text{MPa}$
Για τον υπολογισμό του συντελεστή αποδοτικότητας της περίσφιξης $\alpha=\alpha_n \cdot \alpha_s$, απαιτούνται οι όροι α_n και α_s .

όπου $\alpha_s=1,0$ και α_n από τη σχέση (ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (Σ6.13)):

$$\alpha_n = 1 - \frac{1}{3 A_c} [b_c^2 (1 - \beta)^2 + d_c^2 (1 - \gamma)^2] \quad (3)$$

με $A_c=b_c \cdot d_c=0,35 \cdot 0,50=0,175\text{m}^2$, $\beta=2b_p/b_c=2 \cdot 50/350=0,286$ και $\gamma=2d_p/d_c=2 \cdot 50/500=0,20$

$$\alpha_n = 1 - \frac{1}{3 \cdot 0,175} [0,35^2 (1 - 0,286)^2 + 0,50^2 (1 - 0,20)^2]$$

αντικαθιστώντας προκύπτει

$$\Rightarrow \alpha_n=0,576$$

Άρα ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιξης α :

$$\alpha=\alpha_n \cdot \alpha_s=0,576 \cdot 1,0 \Rightarrow \alpha=0,576$$

Η οριακή τιμή παραμόρφωσης $\epsilon_{cu,c}$ για περίσφιξη ΙΟΠ με ανθρακονήματα με $f_{jd}=2700\text{MPa}$ δίνεται από τη σχέση (ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (8.19)):

$$\epsilon_{cu,c}=0,0035 \cdot (f_{c,c}/f_c)^2 \quad (4)$$

$$\text{όπου } f_{c,c}=(1,125+1,25\omega_{wd})f_c \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. §8.2.3 } \delta(v)) \quad (5)$$

Συνδυάζοντας τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει:

$$\epsilon_{cu,c}=0,0035 \cdot ((1,125+1,25\omega_{wd})f_c/f_c)^2, \text{ αντικαθιστώντας και λύνοντας ως προς το μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό οπλισμού περίσφιξης } \omega_{wd} \Rightarrow 0,013=0,0035 \cdot (1,125+1,25 \cdot 0,576\omega_{wd})^2$$

$$\Rightarrow \omega_{wd}=1,232$$

Το απαιτούμενο πάχος του ΙΟΠ με ίνες άνθρακα είναι:

$$t = \frac{A_{sw}^{\sigma_k}}{s} = \frac{\omega_{wd}}{2 \min \left(\frac{n_b}{b}, \frac{n_h}{h} \right)} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{jd}}$$

Απαιτείται ο υπολογισμός των σκελών n_b και n_h του συνδετήρα του υποστυλώματος με την ακόλουθη διαδικασία:

Για ροπή $M_d=150\text{KNm}$ και αξονικό θλιπτικό φορτίο $N_d=800\text{KN}$ με επικάλυψη $c=25\text{mm} \Rightarrow d_1=c+\Phi_h+\Phi_{L/2}=25+8+(16/2)=41\text{mm} \approx 40\text{mm}$, $d=h-d_1=500-40=460\text{mm}$, $y_{s1}=h/2-d_1=500/2-40=210\text{mm}$, $M_{sd}=M_d-y_{s1}N_d=150-0,21 \cdot (-800)=318\text{KNm}$,

$$\mu_d=M_{sd}/(b \cdot h^2 \cdot f_{cd})=318 \cdot 1,5/(0,35 \cdot 0,50^2 \cdot 16000)=0,341,$$

$$\nu_d=N_d/(b \cdot h \cdot f_{cd})=800 \cdot 1,5/(0,35 \cdot 0,50 \cdot 16000)=0,429,$$

με λόγο $d_1/h \approx 0,10$ από διάγραμμα αλληλεπίδρασης $\omega_{tot}=0,66 [3] \Rightarrow$

$$A_{stot}=\omega_{tot} \cdot (f_{cd}/f_{yd}) \cdot b \cdot h=0,66 \cdot (16 \cdot 1,5/500 \cdot 1,5) \cdot 350 \cdot 500=2834\text{mm}^2$$

άρα διαμήκης οπλισμός υποστυλώματος 6Φ20 και 4Φ18(=2900mm²)

Επομένως με αντικατάσταση στη σχέση για το απαιτούμενο πάχος του σύνθετου υλικού

$$t = \frac{1,232}{2 \min \left(\frac{3}{350}, \frac{5}{500} \right)} \cdot \frac{16 \cdot 1,2}{2700 \cdot 1,5}$$

$$\Rightarrow t=0,34\text{mm}$$

Υπολογισμός με EN 1998-3

Για τη βελτίωση της ικανότητας παραμόρφωσης του δομικού μέλους μέσω περίσφιξης κατά EN 1998-3 εφαρμόζονται τα εξής ακόλουθα:

Η πίεση περίσφιξης που θα πρέπει να εφαρμοστεί δίνεται από τη σχέση (EN 1998-3 εξίσωση (A.34)):

$$f_1 = 0,4 \cdot I_{\chi}^2 \cdot \frac{f_c \cdot e_{cu}^2}{e_{ju}^{1,5}} \quad (6)$$

όπου ο λόγος $I_{\chi}=\mu_{\phi,tar}/\mu_{\phi,ava}$ μεταξύ της επιδιωκόμενης πλαστιμότητας καμπυλότητας $\mu_{\phi,tar}$ και της διαθέσιμης πλαστιμότητας καμπυλότητας $\mu_{\phi,ava}$

Υπολογισμός της διαθέσιμης πλαστιμότητας καμπυλότητας $\mu_{\phi,ava}$:

Με $\varepsilon_{cu,c}=0,013$ και για αδιάστατο ύψος θλιβόμενης ζώνης ξ να προσδιορίζεται από τη σχέση

$$v_d = 0, 85 * f_{cd} * \alpha * \xi + 0, 5 * \omega_{tot} * \left(1 - \frac{700}{f_{yd}} * \frac{1 - \xi - \frac{d_1}{h}}{\xi} \right) \quad [3]$$

όπου $\alpha=1-(2/3000\varepsilon_c)=0,949$, επιλύοντας την παραπάνω σχέση ως προς ξ
 $\Rightarrow \xi=0,475$, η καμπυλότητα στην αστοχία είναι $(1/r)_{cu}=\varepsilon_{cu}/(\xi_{cu}*d) \Rightarrow (1/r)_{cu}=0,059$

και η καμπυλότητα στη διαρροή είναι $(1/r)_y=1,77f_y/(E_s*h) \Rightarrow (1/r)_y=0,010$

Η διαθέσιμη πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων $\mu_{\phi,ava}$ είναι :

$$\mu_{\phi,ava}=(1/r)_{cu}/(1/r)_y=0,059/0,010 \Rightarrow \mu_{\phi,ava}=5,9$$

Για χρήση σύνθετου υλικού από ίνες άνθρακα με οριακή παραμόρφωση $\varepsilon_{ju}=0,012$ και μέτρο ελαστικότητας $E_f=230GPa$ από τη σχέση (EN 1998-3 §A.4.4.3 (4)) το απαιτούμενο πάχος του σύνθετου υλικού είναι:

$$t_f = \frac{f_1 * h}{2 * E_f * \varepsilon_{ju}} \quad (7)$$

και με επίλυση ως προς f_1 για $t_f=0,34mm$ υπολογίζεται η απαιτούμενη πίεση περίσφιγξης \Rightarrow

$$0, 34 = \frac{f_1 * 500}{2 * 230000 * 0, 012}$$

δηλαδή $f_1=3,75MPa$

Από την εξίσωση (EN 1998-3 εξίσωση (A.34)) προσδιορίζεται ο λόγος I_χ :

$$3, 75 = 0, 4 * I_\chi^2 \frac{19 * 0, 012^2}{0, 012^{1,5}}$$

και προκύπτει $I_\chi=2,122$, όμως ισχύει $I_\chi=\mu_{\phi,tar}/\mu_{\phi,ava} \Rightarrow 2,122=\mu_{\phi,tar}/5,9 \Rightarrow \mu_{\phi,tar}=12,5$

Μέχρι τώρα υπολογίστηκε η απαιτούμενη τιμή του πάχους t_f του ανθρακονήματος για στοχευόμενο δείκτη πλαστιμότητας καμπυλοτήτων $\mu_{1/r}=8,5$ πραγματοποιώντας τους υπολογισμούς με βάση τις αναλυτικές σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013, καθώς και η απαιτούμενη πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων με χρήση των εξισώσεων του EN 1998-3 για συγκεκριμένη τιμή πάχους t_f του ινοπλισμένου πολυμερούς. Στη συνέχεια θα ακολουθηθεί η ίδια υπολογιστική διαδικασία για διαφορετικές τιμές απαιτούμενου δείκτη πλαστιμότητας καμπυλοτήτων και πάχους t_f του ανθρακονήματος, και τα προσδιορισθέντα αριθμητικά αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω σε πινακοποιημένη μορφή.

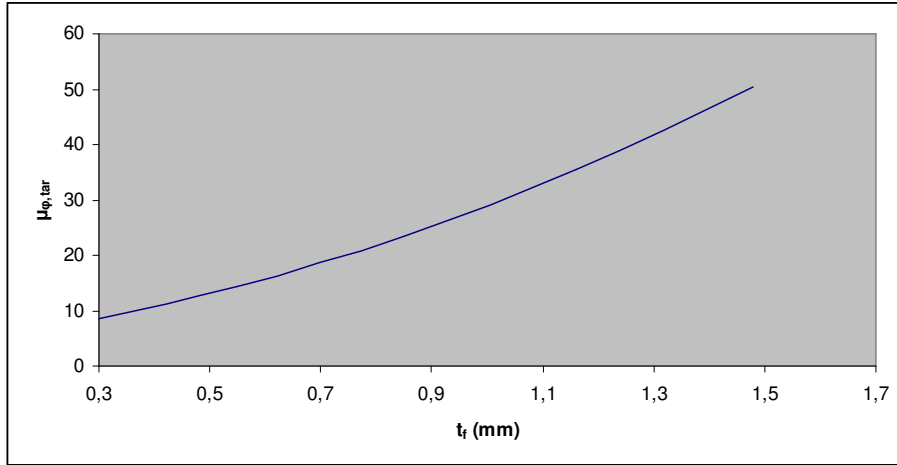
t_f (mm)	$\mu_{\phi,tar}$
0,34	8,50
0,59	14,50
0,89	23,50
1,20	35,50
1,52	50,50

Πίνακας 1: Στοχευόμενη πλαστιμότητα καμπυλοτήτων συναρτήσει του πάχους του FRP (βάσει του ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013)

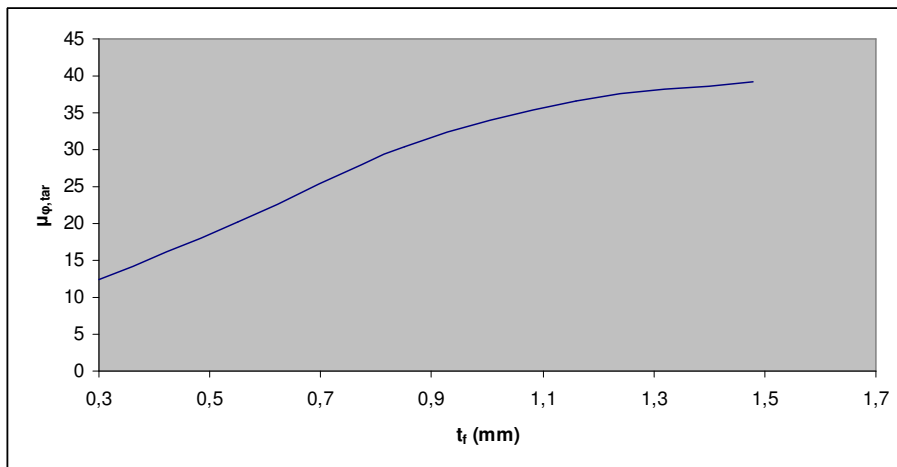
t_f (mm)	$\mu_{\phi,tar}$
0,34	12,50
0,59	20,30
0,89	30,50
1,20	36,70
1,52	39,20

Πίνακας 2: Στοχευόμενη πλαστιμότητα καμπυλοτήτων συναρτήσει του πάχους του FRP (βάσει του EN 1998-3)

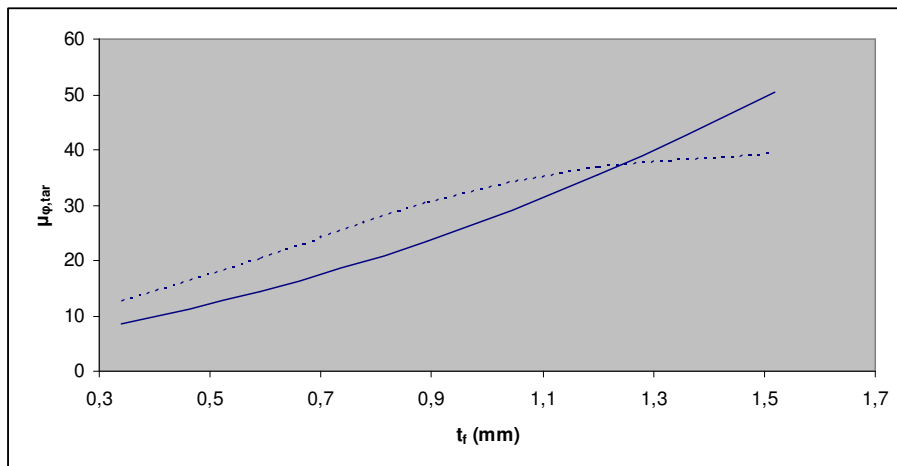
Με δεδομένα τα παραπάνω πινακοποιημένα αποτελέσματα σχεδιάστηκαν τα γραφήματα που παρατίθενται στη συνέχεια.



Σχήμα 1: Γράφημα απαιτούμενης πλαστιμότητας καμπυλοτήτων $\mu_{\phi,tar}$ συναρτήσει του πάχους t_f του FRP (βάσει του ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013)



Σχήμα 2: Γράφημα απαιτούμενης πλαστιμότητας καμπυλοτήτων $\mu_{\phi,tar}$ συναρτήσει του πάχους t_f του FRP (βάσει του EN 1998-3)



Σχήμα 3: Γράφημα στοχευόμενου δείκτη $\mu_{\phi,tar}$ συναρτήσει του πάχους t_f του FRP αποτελεσμάτων με βάση ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 και EN 1998-3 (με διακεκομμένη γραμμή βάσει του EN 1998-3)

Η γραφική παράσταση του σχήματος 3 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τα αριθμητικά αποτελέσματα των αναλυτικών σχέσεων ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 και EN 1998-3.

2. Αύξηση της διατμητικής αντίστασης υποστύλωματος με εφαρμογή μανδύα από χάλυβα. Υποστύλωμα οπλισμένου σκυροδέματος ορθογωνικής διατομής διαστάσεων 500mm*350mm, κατηγορίας σκυροδέματος C16/20 και χάλυβα οπλισμού S500. Το υποστύλωμα φέρει διαμήκη οπλισμό 8Φ20 και εγκάρσιο οπλισμό Φ8/100.

Υπολογισμός με ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013

Στην περίπτωση ενίσχυσης με εξωτερικά στοιχεία από χάλυβα η τέμνουσα που αναλαμβάνει ο νέος οπλισμός διάτμησης δίνεται από τη σχέση (ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (8.13)):

$$V_{jd} = \sigma_{jd} \cdot \rho_j \cdot b_w \cdot h_{j,ef} \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) \cdot \sin^2\alpha \quad (8)$$

ή με την απλοποιημένη της μορφή για γωνία $\theta=45^\circ$ (θ : η γωνία μεταξύ του άξονα του στοιχείου και της διεύθυνσης των αναμενόμενων λοξών ρωγμών) και για γωνία $\alpha=90^\circ$ (α : η γωνία του εξωτερικού οπλισμού διάτμησης ως προς τον διαμήκη άξονα του δομικού στοιχείου) προκύπτει η εξίσωση (ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (Σ8.9)):

$$V_{jd} = \sigma_{jd} \cdot \rho_j \cdot b_w \cdot h_{j,ef} = (2A_j/s_j) \cdot h_{j,ef} \cdot \sigma_{jd} \quad (9)$$

όπου για συνεχή χαλύβδινα φύλλα $t_j = A_j/s_j$, $w_j = s_j$

με t_j : το πάχος του εξωτερικού οπλισμού, w_j , s_j : το πλάτος και η αξονική απόσταση του εξωτερικού οπλισμού διάτμησης στην περίπτωση χαλύβδινων λωρίδων

όπου για σ_{jd} : η τιμή σχεδιασμού της ενεργού τάσης του εξωτερικού οπλισμού διάτμησης

$h_{j,ef}$: το ενεργό για την ανάληψη τέμνουσας ύψος της ενίσχυσης, μπορεί να θεωρηθεί $h_{j,ef} = (2/3) \cdot d$

Για τον προσδιορισμό της τιμής σχεδιασμού της ενεργού τάσης σ_{jd} του εξωτερικού οπλισμού διάτμησης απαιτείται η ακόλουθη διερεύνηση συναρτήσει της μορφής αστοχίας (αστοχία του ίδιου του υλικού ενίσχυσης ή πρόωρη αποκόλληση του υλικού ενίσχυσης λόγω ανεπαρκούς αγκύρωσης των άκρων του). Η εκτίμηση της σ_{jd} γίνεται βάσει μίας κρίσιμης τιμής της τάσης $\sigma_{j,crit}$ ή της παραμόρφωσης $\epsilon_{j,crit}$ του υλικού ενίσχυσης αναλόγως της μορφής αστοχίας, και λαμβάνεται για σ_{jd} η δυσμενέστερη που θα προκύψει από τις δύο μορφές αστοχίας.

α) Για αστοχία του ίδιου του υλικού ενίσχυσης ισχύει η σχέση (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §8.2.2.2 (iv) (8.14)):

$\sigma_{jd} \leq f_{jk} / \gamma_m$, όπου f_{jk} : η χαρακτηριστική τιμή αντοχής του υλικού ενίσχυσης (για χάλυβα $f_{jk} = f_{syk}$), γ_m : ο συντελεστής ασφάλειας για το υλικό ενίσχυσης (για χάλυβα $\gamma_m = 1,2$)

β) Πρόωρη αποκόλληση του υλικού ενίσχυσης λόγω ανεπαρκούς αγκύρωσης των άκρων του.

Έναντι της συγκεκριμένης μορφής αστοχίας ισχύει η σχέση (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §8.2.2.2 (iv) (8.15)):

$\sigma_{jd} \leq \sigma_{j,crit} / \gamma_{Rd}$, όπου γ_{Rd} : κατάλληλος συντελεστής αβεβαιότητας του προσομοιώματος. Όμως αφορά μόνον τις κατά παρέκκλιση επιτρεπόμενες ανοικτές ενισχύσεις χωρίς πρόσθετα ακραία στοιχεία αγκύρωσης, και δεν αντιστοιχεί αυτή η μορφή αστοχίας στην κλειστή ενίσχυση που πραγματεύεται το συγκεκριμένο αριθμητικό παράδειγμα.

Επομένως ο υπολογισμός της πρόσθετης τέμνουσας που αναλαμβάνεται από το μεταλλικό μανδύα θα πραγματοποιηθεί λαμβάνοντας υπόψη την τιμή σχεδιασμού της ενεργού τάσης σ_{jd} του εξωτερικού οπλισμού διάτμησης για αστοχία του ίδιου του υλικού ενίσχυσης.

Χρήση χαλύβδινων συνεχών ελασμάτων χαρακτηριστικής τιμής αντοχής διαρροής του χάλυβα $\sigma_{jk} = 400\text{MPa}$ και πάχους 1,5mm. Με στατικό ύψος $d = 0,46\text{m}$ και αντικατάσταση στην εξίσωση (ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (Σ8.9)) υπολογίζεται η τέμνουσα που παραλαμβάνει ο καινούργιος οπλισμός διάτμησης:

$$V_{jd} = (2A_j/s_j) \cdot h_{j,ef} \cdot (f_{jk}/\gamma_m) = 2 \cdot 1,5 \cdot (2/3) \cdot 460 \cdot (400/1,2) \Rightarrow V_{jd} = 307\text{KN}$$

Υπολογισμός με EN 1998-3

Η εφαρμογή χαλύβδινου μανδύα σε υποστύλωματα ομοίως με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 δρα συμπληρωματικά του αρχικού μηχανισμού διατμητικής αντοχής (συνδετήρες του αρχικού στοιχείου), υπό την προϋπόθεση ότι ο μανδύας παραμένει εντός της ελαστικής περιοχής. Η

επιπρόσθετη διατμητική δύναμη V_j που παραλαμβάνει ο μανδύας από χάλυβα, εάν χρησιμοποιείται μόνο το 50% της αντοχής διαρροής του μανδύα, προσδιορίζεται από την εξίσωση (EN 1998-3 εξίσωση (A.21)) :

$$V_j = 0,5 \cdot h \cdot (2t_j \cdot b/s) \cdot f_{y,j,d} \cdot (\cot\theta + \cot\beta) \cdot \sin\beta \quad (10)$$

όπου για h : το ύψος της διατομής, t_j : το πάχος των χαλύβδινων ελασμάτων, $b/s=1$ για συνεχή χαλύβδινα ελάσματα, $f_{y,j,d}$: η αντοχή διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα του μανδύα, θ : η γωνία κλίσης των θλιβόμενων διαγωνίων σκυροδέματος (για απλοποίηση $\theta=45^\circ$), $\beta=90^\circ$ στην περίπτωση συνεχούς χαλύβδινου μανδύα.

Χρησιμοποιώντας χαλύβδινα συνεχή ελάσματα χαρακτηριστικής τιμής αντοχής διαρροής χάλυβα $f_{y,j,k}=400\text{MPa}$ και πάχους 1,5mm, με αντικατάσταση στην παραπάνω εξίσωση (EN 1998-3 εξίσωση (A.21)) :

$$V_j = 0,5 \cdot 500 \cdot (2 \cdot 1,5) \cdot (400/1,15) \cdot (\cot 45^\circ + \cot 90^\circ) \cdot \sin 90^\circ \Rightarrow V_j = 261\text{KN}$$

3. Ενίσχυση της διατμητικής αντοχής υποστύλωματος με εφαρμογή μανδύα από σύνθετα υλικά. Υποστύλωμα οπλισμένου σκυροδέματος κυκλικής διατομής διαμέτρου 400mm, κατηγορίας σκυροδέματος C16/20 και χάλυβα οπλισμού S500. Το υποστύλωμα φέρει διαμήκη οπλισμό 6Φ18 και εγκάρσιο οπλισμό Φ8/80.

Υπολογισμός με ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013

Για στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος κυκλικής διατομής η τέμνουσα που αναλαμβάνει ο νέος οπλισμός διάτμησης δίνεται από τη σχέση (KAN.ΕΠΕ. εξίσωση (8.16)):

$$V_{jd} = \sigma_{jd} \cdot \rho_j \cdot 0,5 \cdot (\pi \cdot D^2/4) \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) \cdot \sin^2\alpha \quad (11)$$

όπου ρ_j : το ογκομετρικό ποσοστό του εξωτερικού οπλισμού διάτμησης για ολόσωμο μανδύα $\rho_j = 4t_j/(D \cdot \sin\alpha)$, D : η διάμετρος της διατομής, σ_{jd} : η τιμή σχεδιασμού της ενεργού τάσης του εξωτερικού οπλισμού διάτμησης και για την κλειστή ενίσχυση (ολόσωμος μανδύας υποστύλωματος) της συγκεκριμένης εφαρμογής προσδιορίζεται από την αστοχία του ίδιου του υλικού ενίσχυσης (KAN.ΕΠΕ. §8.2.2.2 (iv) (8.14)), δηλαδή $\sigma_{jd} \leq f_{jk}/\gamma_m$, με γ_m : $\gamma_{IOΠ}=1,2$ για χρήση σύνθετου υλικού για την ενίσχυση.

Για τον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής τιμής αντοχής f_{jk} του υλικού ενίσχυσης στην περίπτωση που το υλικό που χρησιμοποιείται είναι ινοπλισμένο πολυμερές ισχύει η σχέση (KAN.ΕΠΕ. §8.2.2.2): $f_{jk} = E_j \cdot \epsilon_{j,crit}$, όπου E_j : το μέτρο ελαστικότητας του υλικού ενίσχυσης, $\epsilon_{j,crit} = k_v \cdot \epsilon_{j,max}$ με $k_v = 1/2$ και $\epsilon_{j,max}$: το γινόμενο της μέγιστης εφελκυστικής παραμόρφωσης του ΙΟΠ επί ένα μειωτικό συντελεστή ψ πολλών στρώσεων του υλικού ενίσχυσης (για μία στρώση $\psi=1$) με τον περιορισμό να μην υπερβαίνει την τιμή 1,5%, δηλαδή $\epsilon_{j,max} = \epsilon_{j,u} \cdot \psi \leq 1,5\%$

Χρήση ολόσωμου μανδύα από FRP με ίνες γυαλιού (GFRP) εφελκυστικής παραμόρφωσης $\epsilon_{ju}=2,8\%$, μέτρου ελαστικότητας $E_j=70\text{GPa}$ και πάχους $t_j=0,2\text{mm}$.

Η χαρακτηριστική τιμή αντοχής f_{jk} του υλικού ενίσχυσης προκύπτει:

$$\epsilon_{j,max} = \epsilon_{j,u} \cdot \psi = 2,8\% \cdot 1 = 2,8\% \quad \text{όμως } \epsilon_{j,max} \leq 1,5\% \Rightarrow \epsilon_{j,max} = 1,5\%$$

$$\epsilon_{j,crit} = k_v \cdot \epsilon_{j,max} = (1/2) \cdot 1,5\% \Rightarrow$$

$$f_{jk} = E_j \cdot \epsilon_{j,crit} = 70 \cdot 10^3 \cdot (1/2) \cdot 1,5\% \Rightarrow f_{jk} = 525\text{MPa}$$

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (KAN.ΕΠΕ. εξίσωση (8.16)) υπολογίζεται η τέμνουσα που παραλαμβάνει ο καινούργιος οπλισμός διάτμησης:

Χάριν απλοποίησης οι γωνίες θ και α 45° και 90° αντίστοιχα.

$$V_{jd} = (525/1,2) \cdot [(4 \cdot 0,2)/(400 \cdot \sin 90^\circ)] \cdot 0,5 \cdot (\pi \cdot 400^2/4) \cdot (\cot 45^\circ + \cot 90^\circ) \cdot \sin^2 90^\circ$$

$$\Rightarrow V_{jd} = 55\text{KN}$$

Υπολογισμός με EN 1998-3

Για δομικά μέλη με κυκλική διατομή διαμέτρου D η συνεισφορά του FRP στη διατμητική ικανότητα υπολογίζεται από τη σχέση (EN 1998-3 εξίσωση (A.32)) :

$$V_f = 0,5 \cdot A_c \cdot \rho_f \cdot E_f \cdot \epsilon_{f,ed} \quad (12)$$

όπου A_c : η επιφάνεια της διατομής του υποστυλώματος

ρ_f : το ογκομετρικό ποσοστό του FRP και ισούται με $4t_f/D$, και $\varepsilon_{f,cd}=0,004$

Χρησιμοποιώντας ολόσωμο μανδύα από FRP με ίνες γυαλιού (GFRP), μέτρου ελαστικότητας $E_j=70\text{GPa}$ και πάχους $t_f=0,2\text{mm}$. Με αντικατάσταση στην εξίσωση (EN 1998-3 εξίσωση (A.32)) υπολογίζεται η πρόσθετη διατμητική αντίσταση που συνεισφέρει ο μανδύας από το σύνθετο υλικό στο κυκλικό υποστύλωμα:

$$V_f=0,5*(\pi*400^2/4)*[(4*0,2)/400]*70*10^3*0,004 \Rightarrow V_f=35 \text{ KN}$$

4. ΣΧΟΛΙΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αριθμητικά παραδείγματα τα οποία προηγήθηκαν και αποτελούν ένα μικρό μέρος του πεδίου των ενισχύσεων σε δομικά μέλη (υποστυλώματα) από οπλισμένο σκυρόδεμα, προκύπτουν οι ακόλουθες διαπιστώσεις και συγκρίσεις σχετικά με τα εξαγόμενα αποτελέσματα που δίνει η εφαρμογή των εξισώσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 και του EN 1998-3 αντίστοιχα:

α) Στην επιβολή εξωτερικής περισφιγξης (1ο αριθμητικό παράδειγμα) με σκοπό την αύξηση της πλαστιμότητας χρησιμοποιώντας σύνθετα υλικά παρατηρήθηκε ότι από την αντιπαραβολή των αποτελεσμάτων των δύο κανονιστικών κειμένων, μέσω των γραφικών παραστάσεων στοχευόμενου δείκτη πλαστιμότητας καμπυλοτήτων $\mu_{\phi,tar}$ συναρτήσει του πάχους t_f του FRP τα αποτελέσματα του ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 είναι πιο συντηρητικά έναντι εκείνων που προέρχονται από τις αναλυτικές σχέσεις του EN 1998-3. Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 προτείνει για επιδίωξη συγκεκριμένων ανοδικών τιμών πλαστιμότητας σταδιακά αυξανόμενα πάχη σύνθετων υλικών, ενώ παρατηρείται ότι ο EN 1998-3 αρχικά προτείνει μικρότερες τιμές παχών για επιδίωξη δεδομένων πλαστιμοτήτων, παρότι ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 θέτει μεγαλύτερες. Όμως σε μεγαλύτερες τιμές πλαστιμοτήτων το διάγραμμά του EN 1998-3 σχετικά οριζοντιώνεται προκαλώντας αβεβαιότητα ως προς την ασφάλεια των συμπερασμάτων. Άλλωστε τα αποτελέσματα με βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 είναι υπέρ της ασφαλείας αφού για ένα σημαντικό εύρος τιμών πλαστιμοτήτων τα αναγκαία πάχη t_f του FRP τα οποία προσδίδουν στο δομικό μέλος την αντίστοιχη πλαστιμότητα μέσω περισφιγξης είναι σαφώς μεγαλύτερα των υπολογισθέντων βάσει του EN 1998-3.

β) Στην εφαρμογή μανδύα από χάλυβα (2ο αριθμητικό παράδειγμα) στοχεύοντας στην αύξηση της διατμητικής αντίστασης υποστυλώματος και υιοθετώντας τις προτεινόμενες εξισώσεις των ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 και EN 1998-3 αντίστοιχα για την υλοποίηση της συγκεκριμένης ενίσχυσης, το αποτέλεσμα που έδωσε ο EN 1998-3 ($V_j=261\text{KN}$) είναι λίγο περισσότερο συντηρητικό του αντίστοιχου του ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 ($V_{jd}=307\text{KN}$) αναλόγως των σχέσεων που προτείνονται. Απαιτείται να επισημανθεί ότι ο EN 1998-3 εξαντλεί μόνον το 50% της αντοχής διαρροής χάλυβα υλικού του μανδύα, σε αντίθεση με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 ο οποίος χρησιμοποιεί το 100% της τιμής σχεδιασμού της ενεργού τάσης του εξωτερικού οπλισμού διάτμησης, λαμβάνοντας υπόψη ότι πρόκειται για διαφορετικά δομημένες σχέσεις ως προς τις ποσότητές τους. Επομένως δεδομένου αυτής της παραμέτρου ο EN 1998-3 οδηγεί σε μικρότερες τιμές συνεισφέρουσας διατμητικής αντοχής στο δομικό μέλος έναντι των υπολογισθέντων με βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013, και υπό την προϋπόθεση που θέτει ο EN 1998-3 για παραμονή του μανδύα μέσα στην ελαστική περιοχή.

γ) Για την ενίσχυση της διατμητικής αντοχής υποστυλώματος (3ο αριθμητικό παράδειγμα) με εφαρμογή μανδύα από σύνθετα υλικά και υπολογισμό της πρόσθετης διατμητικής δύναμης που παραλαμβάνει ο εξωτερικός μανδύας, το αποτέλεσμα που προέκυψε βάσει του EN 1998-3 ($V_f=35 \text{ KN}$) είναι μικρότερο του αντίστοιχου του ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 ($V_{jd}=55\text{KN}$). Αξιοσημείωτο είναι ότι ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. στην διαδικασία προσδιορισμού (χρησιμοποιούμενες σχέσεις) της χαρακτηριστικής τιμής της ενεργού τάσης f_{jk} του υλικού του μανδύα λαμβάνει υπόψη με το μειωτικό συντελεστή ψ τη συμβολή περισσότερων της μίας στρώσεων σύνθετου υλικού στην ενίσχυση, και για μέγιστη τιμή παραμόρφωσης $\varepsilon_{j,max}$ του υλικού ενίσχυσης θέτει

τη συνθήκη $\varepsilon_{j,max} \leq 1,5\%$ που στοχεύει στον περιορισμό του ανοίγματος μίας κρίσιμης λοξής ρωγμής πέραν της οποίας μειώνεται η συμβολή του σκυροδέματος στη διατμητική αντίσταση του δομικού μέλους. Επίσης ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. μεριμνά ώστε η αστοχία να συμβαίνει προτού επέλθει η εξάντληση της αντοχής του υλικού ενίσχυσης. Σε αντίθεση ο EN 1998-3 δεν υπαγορεύει ανάλογες παραμέτρους, αλλά παραθέτει αριθμητικά δεδομένα προς εφαρμογή χωρίς να ακολουθηθεί κάποια διερεύνηση.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Στέφανος Η. Δρίτσος, “Ενισχύσεις-Επισκευές Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος”, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πάτρα 2009.
- [2] Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013), Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πάτρα 2013, §8.2.2.2, §8.2.3, §8.2.3.
- [3] Μιχαήλ Ν. Φαρδής, “Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος”, Μέρος Ι, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Κατασκευών, Πάτρα 2011.
- [4] Ευρωκώδικας 8-Μέρος 3 (EN 1998-3:2005), Παράρτημα Α (Πληροφοριακό), Κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, §Α.4.3.2, §Α.4.4.2, §Α.4.4.3.
- [5] www.episkeves.civil.upatras.gr
- [6] www.eclass.upatras.gr (Ενισχύσεις&Επισκευές Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος)
- [7] sideris-konstantinos.blogspot.gr (Λήψη Φωτογραφικού Υλικού)

