

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ FRP. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΝ.ΕΠΕ. ΚΑΙ ΕΚ8-3

**ΚΑΛΠΥΡΗ ΜΑΡΙΑ
ΧΑΡΑΜΑΡΑ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ**

Περίληψη

Η εργασία που ακολουθεί εξετάζει τους διαφορετικούς τρόπους ενίσχυσης έναντι τέμνουσας με Ινοπλισμένα Πολυμερή (ΙΟΠ-FRP) βάσει του ΚΑΝ.ΕΠΕ. αλλά και του Ευρωκώδικα (EC8). Σκοπός της είναι η σύγκριση των διαφόρων μεθόδων και των δύο Κανονισμών. Το περιεχόμενο της παρούσας εργασίας χωρίζεται σε δύο βασικές ενότητες, η πρώτη αφορά την περιγραφή των μεθόδων ενίσχυσης, ενώ στη δεύτερη γίνεται ανάλυση υφιστάμενων δομικών μελών και εξάγονται αποτελέσματα και συμπεράσματα, για τη σύγκριση των δύο Κανονισμών.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην Ελλάδα συναντά κανείς πληθώρα κτιριακών κατασκευών η ανέγερση των οποίων έχει στηριχθεί σε κανονισμούς οι οποίοι στερούνταν βασικών κατασκευαστικών λεπτομερειών όπλισης. Η έλλειψη βασικού Αντισεισμικού Κανονισμού πριν το 1985 δημιούργησε την ανάγκη ενίσχυσης των συγκεκριμένων κατασκευών με την πάροδο του χρόνου. Ένα από τα σημαντικότερα καταγραφέντα προβλήματα είναι ότι δεν υπήρχε η απαιτούμενη επάρκεια έναντι τέμνουσας, λόγω του μικρού ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού, τόσο σε δοκούς όσο και σε υποστυλώματα (συγκεκριμένα συνδετήρες λείων ράβδων χάλυβα διαμέτρου 6mm ανά 300mm ή και περισσότερο). Επί χρόνια μελετήθηκαν διάφοροι τρόποι βελτίωσης της φέρουσας ικανότητας των υφιστάμενων κτιρίων μέσω της ενίσχυσης των δομικών μελών τους. Τα υλικά που χρησιμοποιούνταν ήταν κυρίως σκυρόδεμα ή χάλυβας με τη μορφή μανδύων ή ελασμάτων αντίστοιχα. Τις τελευταίες δεκαετίες, όμως, προτείνεται ένας νέος τρόπος ενίσχυσης, αυτός με Ινοπλισμένα Πολυμερή (ΙΟΠ-FRP).



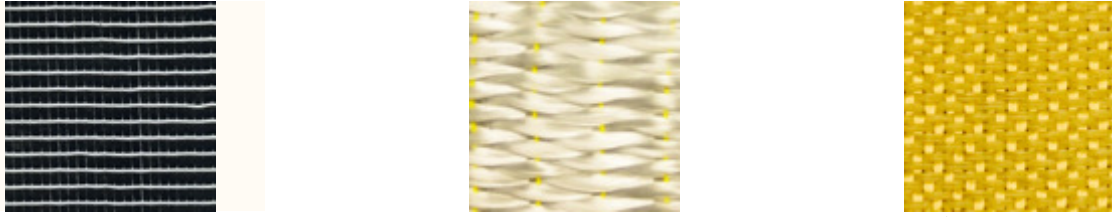
Σχήμα 1: Εικόνα αστοχίας κόμβου οπλισμένου σκυροδέματος [6]

2. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ FRP

Η μέθοδος ενίσχυσης με FRP (Fiber Reinforced Polymers) αποτελεί την πλέον σύγχρονη τεχνική υπερισχύοντας της έως τώρα πιο διαδεδομένης τεχνικής των χαλύβδινων επικολητών ελασμάτων.

Τα σύνθετα υλικά προέρχονται από συνδυασμό ινών (γυαλιού, άνθρακα και αραμιδίου) σε μήτρα εποξειδικής ρητίνης. Οι ίνες αποτελούν το φορέα ανάληψης δυνάμεων (κατά κανόνα εφελκυστικών) παράλληλα στη διεύθυνσή τους. Η μήτρα αποτελεί τη συγκολλητική ουσία μεταξύ των ινών, τις προστατεύει και εξασφαλίζει τη μεταφορά δυνάμεων σε αυτές. Τα FRPs κατασκευάζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο ινών από τις οποίες είναι κατασκευασμένα :

- GFRP από ίνες γυαλιού
- CFRP από ίνες άνθρακα
- AFRP από ίνες αραμιδίου [3]



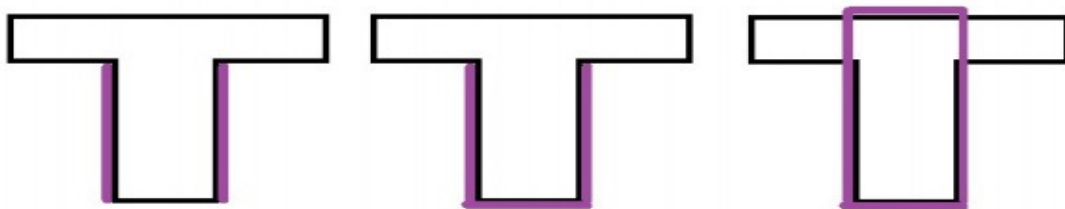
Σχήμα 2: Κομμάτια υφασμάτων CFRP, GFRP, AFRP[5]

Το ενδιαφέρον προκαλεί η τεχνική ενίσχυσης με ινοπλισμένα πολυμερή, διότι καλύπτει τις αδυναμίες αυτής των χαλύβδινων ελασμάτων. Αυτό οφείλεται στις εξαιρετικά υψηλές εφελκυστικές αντοχές τους και στη δυνατότητα παραγωγής προϊόντων ανάλογα με τις απαιτήσεις των έργων όσον αφορά τον τύπο των ινών, το ογκομετρικό ποσοστό καθώς και τη διεύθυνσή τους. Επίσης υπερέχουν στο ότι είναι πολύ πιο ελαφριά σε σχέση με τους μεταλλικούς οπλισμούς, ιδιότητα που διευκολύνει κατά πολύ την τοποθέτησή τους και μειώνει το κόστος μεταφοράς.



Σχήμα 3: Διαδικασία τοποθέτησης υφάσματος FRP σε δομικά μέλη[5]

Στη δοκό της παραπάνω εικόνας εφαρμόζεται μια κλασική μορφή “ανοιχτής” ενίσχυσης με ύφασμα ΙΟΠ-FRP. Τα φύλλα τοποθετούνται με τις ίνες τους σε οριζόντια διεύθυνση συμβάλλοντας έτσι ιδιαίτερα, στον εγκιβωτισμό του στοιχείου και στην αύξηση της διατμητικής του αντοχής. Ενδεικτικά οι τρεις βασικοί τρόποι ενίσχυσης που χρησιμοποιούνται είναι (α) η δίπλευρη ενίσχυση (side bonded FRP strips or sheets), (β) η “ανοιχτή” ενίσχυση ή ενίσχυση σε μορφή U (U-shaped jackets) και τέλος (γ) η “κλειστή” ενίσχυση (fully wrapped jackets). [4]



Σχήμα 4: Ενδεικτικοί τρόποι ενίσχυσης σε διάτμηση [7]

Οι παραπάνω τρόποι ενίσχυσης μπορούν να εφαρμοστούν είτε με τη μορφή συνεχών υφασμάτων (sheets) είτε με τη μορφή λωρίδων με ορισμένο κενό ανάμεσά τους (strips).

Τέλος, μια σημαντική παρατήρηση που δεν πρέπει να παραληφθεί, όσον αφορά τη διατμητική ενίσχυση, είναι ότι στη διαδικασία ανάληψης τέμνουσας μέσω FRP η δίπλευρη μορφή ενίσχυσης έχει κριθεί ως αναποτελεσματική. Ως αποτέλεσμα αποφεύγεται πλέον η εφαρμογή της παρόλο που κανονισμοί όπως ο EC8 εμπεριέχουν σχέσεις που αφορούν τη μορφή αυτή ενίσχυσης.

3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

- ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)-(Με βάση το ΦΕΚ 42/Β/20-1-2012) [1]

Ο Ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων προτείνει για την τέμνουσα που αναλαμβάνει ο νέος οπλισμός διάτμησης (*ΚΑΝ.ΕΠΕ εξίσωση (8.13)*) :

$$V_{jd} = \sigma_{jd} \rho_j b_w h_{j,ef} (\cot\theta + \cot\alpha) \sin^2\alpha \quad (1)$$

όπου:

θ είναι η γωνία μεταξύ του άξονα του στοιχείου και της διεύθυνσης των αναμενόμενων λοξών ρωγμών η οποία μπορεί να θεωρηθεί ίση προς 45° ,

α είναι η γωνία της διεύθυνσης των ινών ως προς τον άξονα του στοιχείου,

$h_{j,ef}$ είναι το ενεργό (για την ανάληψη τέμνουσας) ύψος της ενίσχυσης, το οποίο λαμβάνεται ίσο $h_{j,ef} = 2/3 d$ (d το στατικό ύψος)

ρ_j το γεωμετρικό ποσοστό του εξωτερικού οπλισμού που στην γενική περίπτωση ισούται με (*ΚΑΝ.ΕΠΕ εξίσωση (Σ8.8)*) :

$$\rho_j = \frac{2 t_j w_j}{s_j b_w \sin \alpha} \quad (2)$$

με το t_j , να αποτελεί το πάχος του συνθέτου υλικού ίσο με $t_j = \psi k t_{j1}$ (*ΚΑΝ.ΕΠΕ §8.2.2.2(B)*)

όπου ψ ο μειωτικός συντελεστής πολλαπλών στρώσεων, ίσος με 1.0 αν ο αριθμός στρώσεων $k \leq 4$, αλλιώς $\psi = k^{0.25}$ (*ΚΑΝ.ΕΠΕ §6.2.3*)

το w_j συμβολίζει το πλάτος μιας λωρίδας κάθετα στη διεύθυνση των ινών και το s_j την απόσταση μεταξύ των κέντρων βάρους των λωρίδων (παράλληλα στον άξονα του στοιχείου).

Στην περίπτωση χρήσης συνεχούς υφάσματος ισχύει, $w_j = s_j$.

Για $\theta=45^\circ$ και $\alpha=90^\circ$: (*ΚΑΝ.ΕΠΕ §8.2.2.2,(Σ8.9)*)

$$V_{jd} = \sigma_{jd} \rho_j b_w h_{j,ef} = \frac{2 A_j}{s_j} h_{j,ef} \sigma_{jd} \quad (3)$$

όπου $A_j = t_j w_j$: (*ΚΑΝ.ΕΠΕ §8.2.2.2*)

Η τιμή σχεδιασμού της ενεργού τάσης σ_{jd} , του νέου οπλισμού διάτμησης, εκτιμάται με βάση μία κρίσιμη τάση $\sigma_{j,crit}$ ή της παραμορφώσεως $\varepsilon_{j,crit}$ του υλικού ενίσχυσης, η οποία εξαρτάται από τη μορφή αστοχίας. Ως τιμή σχεδιασμού σ_{jd} θεωρείται αυτή που αντιστοιχεί στη δυσμενέστερη από τις ακόλουθες δύο μορφές αστοχίας:

A) Αστοχία του ίδιου του υλικού

Συνοπτικά οι σχέσεις υπολογισμού είναι οι εξής:

$$\sigma_{jd} = \frac{f_{jk}}{\gamma_m} \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ §8.2.2.2 εξίσωση(8.14)})$$

Στην περίπτωση που το υλικό ενίσχυσης είναι ΙΟΠ λαμβάνεται $\gamma_m = \gamma_{IOΠ} = 1,2$ (εφαρμοζόμενων αναλόγως και των προβλέψεων της §4.5.3.2β)

$$f_{jk} = E_j \varepsilon_{j,crit}$$

$$\epsilon_{j,crit} = k_v \epsilon_{j,max}$$

Ο συντελεστής k_v εκφράζει την περίπου τριγωνική κατανομή των παραμορφώσεων κατά μήκος της κρίσιμης λωξής ρωγμής και λαμβάνεται $k_v = 1/2$

$$\epsilon_{j,max} = \epsilon_{ju} \psi \leq 1,5\%$$

όπου E_j είναι το μέτρο ελαστικότητας του υλικού ενίσχυσης και ϵ_{ju} η παραμόρφωση αστοχίας του υλικού (παραμόρφωση θραύσης)

Β) Αστοχία λόγω πρόωρης αποκόλλησης

Συνοπτικά οι σχέσεις υπολογισμού είναι οι εξής: (KAN.EΠΕ §8.2.2.2 εξίσωση (8.15))

$$\sigma_{jd} = \frac{\sigma_{j,crit}}{\gamma_{Rd}} \quad (4)$$

Ο συντελεστής αβεβαιότητας του προσομοιώματος γ_{Rd} λαμβάνεται ίσος με 1,2.

$$\sigma_{j,crit} = k_v \sigma_{j,max}$$

όπου $k_v = 0,40 + 0,25\lambda \leq 0,65$ για $\lambda = (2/3 d)/L_e$

με το L_e , τον αντίστοιχο ενεργό μήκος αγκύρωσης, να υπολογίζεται από τη σχέση: (KAN.EΠΕ §8.2.2.2)

$$L_e = \sqrt{\frac{E_j t_j}{2 f_{ctm}}} \quad (5)$$

και

$$\sigma_{j,max} = \frac{t_b^{max}}{t_j} L_e \quad (KAN.EΠΕ §8.2.2.2 εξίσωση (Σ8.10)) \quad (6)$$

$$t_b^{max} = f_{ctm}$$

με $\beta = \beta_w \beta_L$

όπου

$$\beta_w = \sqrt{\frac{2 - w_j / s_j \sin \alpha}{1 + w_j / s_j \sin \alpha}} \quad (KAN.EΠΕ §8.2.2.2) \quad (7)$$

Για συνεχή φύλλα το β_w ορίζεται ίσο με $1/\sqrt{2}$

και

$$\beta_L = \sin(\pi \lambda / 2) \approx \lambda (2 - \lambda) \quad (KAN.EΠΕ §8.2.2.2) \quad (8)$$

$\beta_L = 1$ αν $\lambda \geq 1,0$

Για στοιχεία με κυκλική διατομή ισχύει: (KAN.EΠΕ §8.2.2.2(v))

$$V_{jd} = \sigma_{jd} \rho_j \frac{1 \pi D^2}{4} (\cot \theta + \cot \alpha) \sin^2 \alpha \quad (KAN.EΠΕ §8.2.2.2 εξίσωση (8.16)) \quad (9)$$

Στην περίπτωση λωρίδων είναι $\rho_j = \frac{4 A_j}{D s_j \sin \alpha}$ ενώ στην περίπτωση μανδύα είναι $\rho_j = \frac{4 t_j}{D \sin \alpha}$

όπου

D , η διάμετρος της διατομής

Η τιμή σχεδιασμού της ενεργού τάσης σ_{jd} του οπλισμού διάτμησης υπολογίζεται σύμφωνα με τα αναφερόμενα στην §(iv). (KAN.EΠΕ §8.2.2.2(iv))

- Eurocode 8-Part-3 Design Proposal (EN 1998-3:2005, March 2005) [2]

Παρακάτω παρατίθενται οι σχέσεις που υπολογίζουν την τέμνουσα που αναλαμβάνει το σύνθετο υλικό:

- Για κλειστή ή τρίπλευρη ενίσχυση, η V_f υπολογίζεται από τη σχέση:

$$V_{Rd,f} = 0,9 d f_{fd,e} 2 t_j \left(\frac{w_j}{s_j} \right)^2 (\cot \theta + \cot \beta) \sin \beta \quad (10)$$

Όπου

θ είναι γωνία μεταξύ του άξονα του στοιχείου και της διεύθυνσης των αναμενόμενων λοξών ρωγμών η οποία μπορεί να θεωρηθεί ίση προς 45° ,

β είναι η γωνία της διεύθυνσης των ινών του υφάσματος ή των λωρίδων ως προς τον άξονα του στοιχείου ενώ το

w_f για συνεχή φύλλα προκύπτει από τη σχέση $w_f = \min(0,9d, h_w) \sin(\theta + \beta) / \sin\theta$.

Η ενεργός τάση σχεδιασμού δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις, αναλόγως της διάταξης ενίσχυσης.

- Για κλειστή ενίσχυση (W – Full Wrapping):

$$f_{fdd,e,W} = f_{fdd} \left[1 - k \frac{L_e \sin\beta}{2z} \right] + \frac{1}{2} (f_{fu,W(R)} - f_{fdd}) \left[1 - \frac{L_e \sin\beta}{z} \right] \quad (11)$$

όπου $z = 0.9d$

$$k = \left(1 - \frac{z}{\alpha} \right)$$

$$f_{fdd} = \frac{1}{\gamma_{fd}} \sqrt{0,6 \frac{E_f f_{ctm} k_b}{t_f}} \quad (12)$$

Σημείωση : Η τιμή για το γ_{fd} σε κάθε χώρα βρίσκεται από το αντίστοιχο National Annex της. Προτεινόμενη τιμή για το γ_{fd} είναι $\gamma_{fd} = 1,5$.

Ο συντελεστής κάλυψης k_b δίνεται από τη σχέση :

$$k_b = \sqrt{1,5 \frac{\left(2 - \frac{w_f}{s_f} \right)}{\left(1 - \frac{w_f}{100 \text{ mm}} \right)}} \quad (13)$$

Η τάση εφαρμογής του υφάσματος ή της λωρίδας FRP τυλιγμένη γύρω από τη γωνία του δομικού μέλους με ακτίνα R, δίνεται από τη σχέση:

$$f_{fu,w}(R) = f_{fdd} + (n_R f_u - f_{fdd}) \quad (14)$$

όπου ο όρος (\cdot) χρησιμοποιείται μόνο στην περίπτωση που είναι θετικός και ισούται με:

$$n_R = 0,2 + 1,6 \frac{R}{b_w} \quad 0 \leq \frac{R}{b_w} \leq 0,5 \quad (15)$$

Το ενεργό μήκος αγκύρωσης (effective bond length) :

$$L_e = \sqrt{\frac{E_f t_f}{\sqrt[4]{\tau_{max}}}} \quad (14)$$

με $\tau_{max} = 1,8 f_{ctm} k_b$, η μέγιστη τάση αγκύρωσης.

-Για τρίπλευρη ενίσχυση (U-Jacketing):

$$f_{fdd,e,U} = f_{fdd} \left[1 - k \frac{L_e \sin\beta}{z} \right] \quad (16)$$

με τις μεταβλητές να αναλύονται στην προηγούμενη παράγραφο.

-Για στοιχεία με κυκλική διατομή (members with circular section):

$$V_f = 0,5 A_c \rho_f E_f \varepsilon_{f,ed} \quad (17)$$

όπου

$$\varepsilon_{f,ed} = 0,004,$$

A_c η διατομή του στοιχείου με ακτίνα D,

$$\rho_f = 4 t_f / D.$$

4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η παρούσα εργασία μελετά την περίπτωση ενίσχυσης έναντι τέμνουσας τόσο σε δοκούς όσο και σε υποστυλώματα υφιστάμενων κτιρίων. Όπως προαναφέρθηκε, επειδή τα περισσότερα κτίρια που έχουν κατασκευαστεί πριν το 1985 έχουν μικρή διατμητική φέρουσα ικανότητα, απαιτούν πρόσθετο οπλισμό διάτμησης χωρίς, όμως, να έχουν υποστεί κατ' ανάγκη φθορές. Εξετάστηκαν, λοιπόν, τα δύο αυτά βασικά μέλη κατασκευασμένα κατά ΕΑΚ 1985 (διαμήκης οπλισμός: 2Ø14 στο εφελκόμενο πέλμα, εγκάρσιος οπλισμός με τη μορφή συνδετήρων: Ø6/200 με λείο χάλυβα S220) και προσδιορίστηκε το μέτρο της πρόσθετης τέμνουσας που χρειάζονται τόσο βάσει του ΚΑΝ.ΕΠΕ. όσο και βάσει του EC-8. Η πρόσθετη αυτή τέμνουσα παραλαμβάνεται από υφάσματα ή λωρίδες FRP.

Αρχικά, εξετάστηκε η περίπτωση μιας αμφιέριστης δοκού υφιστάμενου κτιρίου και εκτιμήθηκαν οι δυνατοί τρόποι ενίσχυσής της. Παρατηρήθηκε ότι σε ήδη κατασκευασμένα κτίρια είναι σχεδόν αδύνατο να χρησιμοποιηθεί ενίσχυση κλειστού τύπου (fully wrapped-closed). Αυτό συμβαίνει λόγω της ύπαρξης πλάκας στο πάνω μέρος της δοκού. Επομένως, εφαρμόστηκε μόνο η ανοιχτή μέθοδος ενίσχυσης (τρίπλευρη ενίσχυση – U shaped jackets) με συνεχή υφάσματα αλλά και με λωρίδες. Δόθηκε βάση κυρίως στις κρίσιμες περιοχές των δοκών (σε απόσταση 2h από την παρειά για δοκούς με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας) και δεν ενισχύθηκε όλο το μήκος της δοκού. Οι δοκοί εκτός από τις σταθερές τέμνουσες λόγω σεισμού πάσχουν περισσότερο στις κρίσιμες περιοχές.

Στη συνέχεια, εκτιμήθηκε η πρόσθετη τέμνουσα από την ενίσχυση σε υποστυλώμα υφιστάμενου κτιρίου. Εδώ εφαρμόστηκε εκτός από τρίπλευρη ενίσχυση και κλειστή ενίσχυση. Αυτό γιατί τα υποστυλώματα μπορούν πιο εύκολα να απομονωθούν από τα δομικά στοιχεία που περιβάλλονται (κυρίως τοιχοποιία). Μελετήθηκαν δύο περιπτώσεις, ορθογωνικού υποστυλώματος αλλά και κυκλικού. Σημειώνεται ότι τα υποστυλώματα, σε αντίθεση με τη δοκό, απαιτούν ενίσχυση σε όλο το ύψος τους και όχι μόνο στις κρίσιμες περιοχές του διότι η καταπόνηση είναι σχεδόν ομοιόμορφη σε κρίσιμη και μη κρίσιμη περιοχή.

Οι υπολογισμοί έγιναν βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ. και EC-8 και μετά από δοκιμές προέκυψαν ορισμένα αποτελέσματα. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα έγινε προσπάθεια σύγκρισης των δύο κανονισμών αλλά και των διαφορετικών μεθόδων ενίσχυσης. Τα δεδομένα αναλύθηκαν με τη βοήθεια υπολογιστικών φύλλων Excel και η εξαγωγή των διαγραμμάτων έγινε μέσω Origin.



Σχήμα 4: Ανοιχτή μέθοδος ενίσχυσης U-shape σε υφιστάμενη δοκό [8]

Τα σύνθετα υλικά (υφάσματα εμποτισμένα με κατάλληλη εποξειδική ρητίνη) που χρησιμοποιήθηκαν για την ενίσχυση των φέροντων στοιχείων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Όνομα Προϊόντος	Τύπος Ινών	Εφελκυστική Αντοχή (Μρα)	Μέτρο ελαστικότητας (Γρα)	Πάχος υφάσματος (mm)	Παραμόρφωση, εμ
CFRP-1 (230 C/45)	Άνθρακας	4300	238	0.131	0.018067227
CFRP-2 (600 C/120)	Άνθρακας	3800	242	0.337	0.015702479
GFRP (930 G/45)	Υάλου, Τύπου E	2300	76	0.358	0.030263158
AFRP (300 A)	Αραμίδιο	2880	100	0.206	0.028800000

Πίνακας 1: Ιδιότητες σύνθετων υλικών[9]

ΔΟΚΟΣ

- Διατομή 250/500, C16/20, S220, L=3000mm, Τρίπλευρη Ενίσχυση U-Shape

Η κρέμαση της δοκού που ενισχύεται υπολογίζεται αφαιρώντας το πάχος της πλάκας που υπάρχει στο πάνω μέρος αυτής και ισούται με $h=500-160=340\text{mm}$. Για επικάλυψη οπλισμού ίση με 20mm, το στατικό ύψος της δοκού ισούται με $d=340-20=320\text{mm}$. Για τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. το πλάτος υφάσματος για συνεχή φύλλα 300mm ενώ για λωρίδες το πλάτος λωρίδας 150mm και 150mm κενό μεταξύ τους. Για τον EC8 από υπολογισμούς προέκυψε πλάτος υφάσματος για συνεχή φύλλα 288mm και θεωρήθηκε 150mm για τις λωρίδες με 150mm κενό.

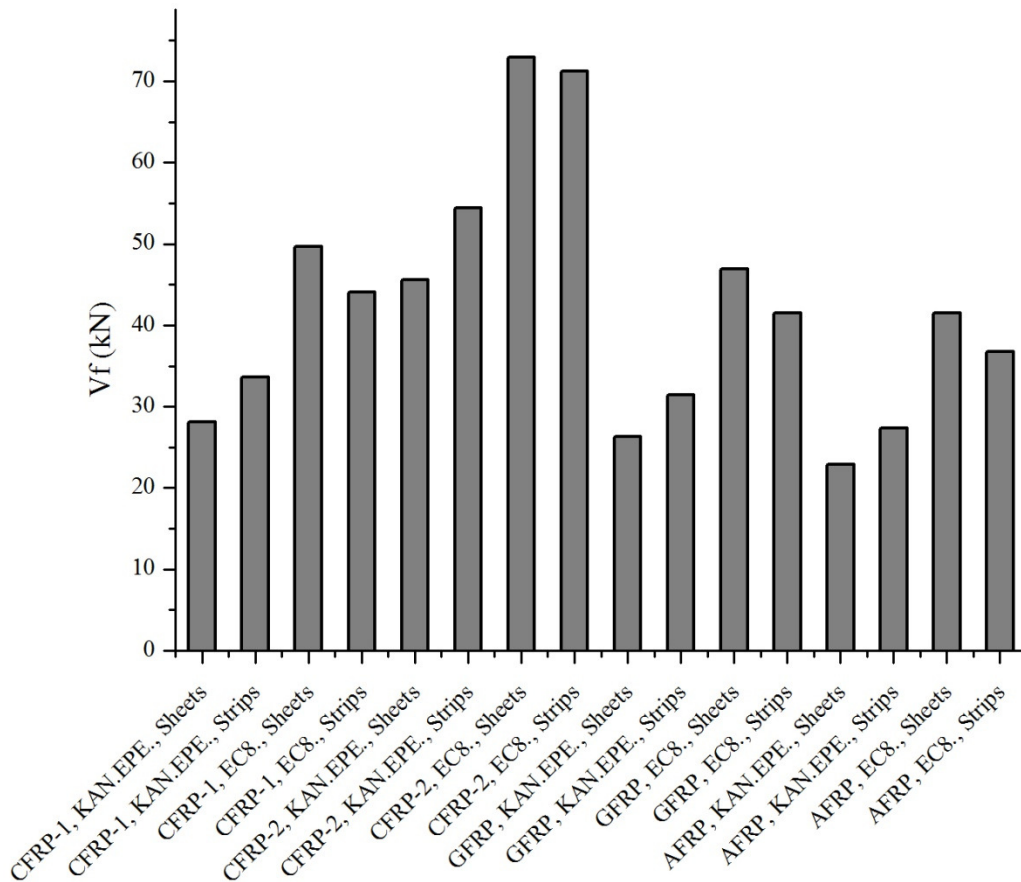
Αριθμός στρώσεων	CFRP-1				CFRP-2			
	ΚΑΝ.ΕΠΕ.		EC8		ΚΑΝ.ΕΠΕ.		EC8	
	Συνεχή	Λωρίδες	Συνεχή	Λωρίδες	Συνεχή	Λωρίδες	Συνεχή	Λωρίδες
1	28,161	33,66	49,713	44,073	45,546	54,44	72,969	17,281
2	39,826	47,6	65,944	58,901	64,411	76,99	91,786	95,263
3	48,776	58,3	76,665	68,918	72,235	86,34	101,69	111,46
4	47,361	56,61	84,536	76,444	71,394	85,33	106,99	123,63
5	51,495	61,55	90,584	82,378	73,641	88,02	109,34	133,23

Πίνακας 2: Τέμνουσα V_f (kN) – Σύνθετο υλικό: Άνθρακας

Αριθμός στρώσεων	GFRP				AFRP			
	ΚΑΝ.ΕΠΕ.		EC8		ΚΑΝ.ΕΠΕ.		EC8	
	Συνεχή	Λωρίδες	Συνεχή	Λωρίδες	Συνεχή	Λωρίδες	Συνεχή	Λωρίδες
1	26,307	31,44	46,898	41,531	22,891	27,36	41,542	36,715
2	37,204	44,47	62,518	55,743	32,372	38,69	55,867	49,658
3	45,565	54,46	72,992	65,46	39,648	47,39	65,715	58,69
4	44,243	52,88	80,802	72,851	38,497	46,01	73,245	65,698
5	48,105	57,5	86,91	78,754	41,857	50,03	79,294	71,412

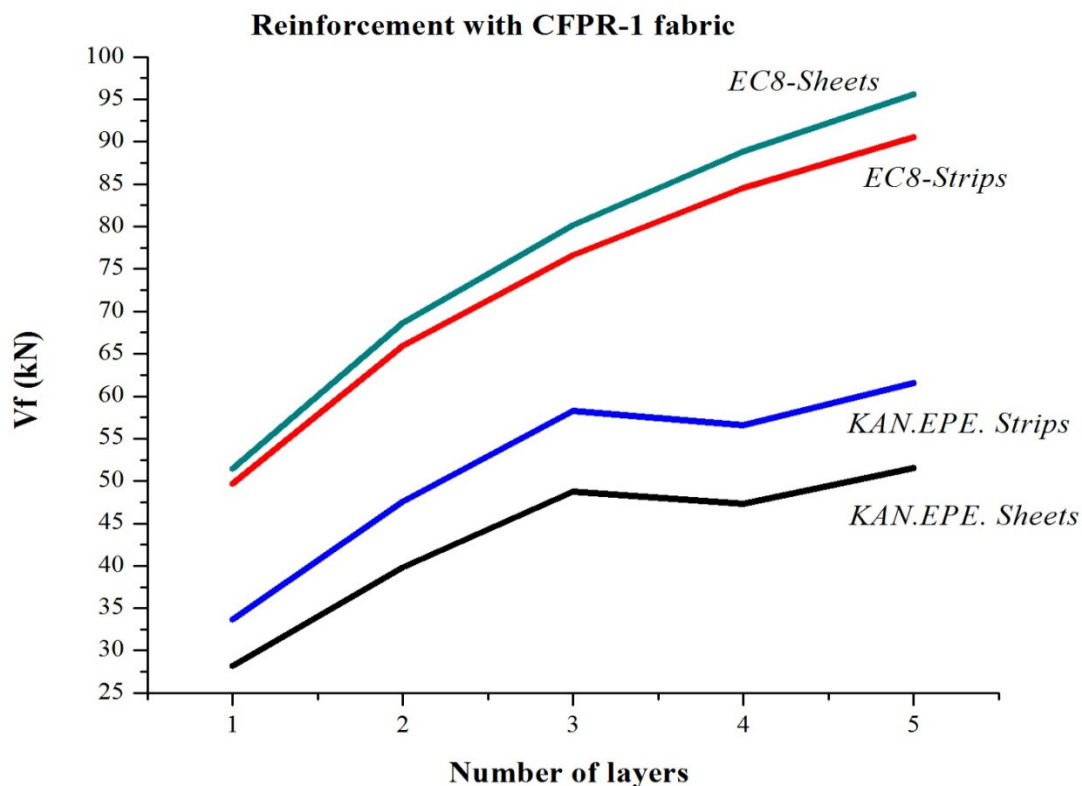
Πίνακας 3: Τέμνουσα V_f (kN) – Σύνθετα υλικά: Γυαλί και Αραμίδιο

Ενδεικτικά για μια στρώση υφάσματος παρουσιάζονται οι τιμές της πρόσθετης τέμνουσας ανάλογα με τα υλικά ενίσχυσης και των δύο διαφορετικών κανονισμών.



Σχήμα 5: Ραβδόγραμμα για τις πρόσθετες τέμνουσες, V_f (kN)

Από το διάγραμμα προκύπτουν τρία βασικά συμπεράσματα για την ενίσχυση δοκού. Πρώτον, είναι εμφανές ότι ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. δίνει πιο συντηρητικές τιμές για την πρόσθετη τέμνουσα από τον EC8. Δηλαδή, από τον EC8 υποστηρίζεται ότι το σύνθετο υλικό μπορεί να παραλάβει περισσότερη τέμνουσα με ασφάλεια σε σχέση με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Επιπλέον, ο EC8 αγνοεί τον έλεγχο πρόωρης αποκόλλησης λόγω ανεπαρκούς αγκύρωσης σε αντίθεση με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. που καλύπτει αυτό το ενδεχόμενο. Έτσι παρατηρείται ότι ενώ στην περίπτωση υπολογισμού με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. η τέμνουσα των λωρίδων είναι μεγαλύτερη από αυτή των συνεχών φύλλων, στον EC8 συμβαίνει το αντίθετο. Αυτό ίσως να οφείλεται, σύμφωνα με την άποψη των συγγραφέων, στο ότι η ενίσχυση με λωρίδες είναι ανθεκτικότερη στην αποκόλληση από αυτή με συνεχές ύφασμα. Τέλος, αποδεικνύεται πόσο σημαντικό είναι το πάχος υφάσματος και το μέτρο ελαστικότητας των υλικών στην ανάληψη πρόσθετης τέμνουσας. Εμφανέστατα εδώ τις μεγαλύτερες τέμνουσες παραλαμβάνει το δεύτερο ανθρακούφασμα. Από δοκιμές, μάλιστα, προέκυψε ότι ίσως ο σημαντικότερος παράγοντας για την αύξομείωση της τέμνουσας είναι το πάχος του υλικού. Αυτό μπορεί να αυξηθεί εκτός από την επιλογή διαφορετικού υφάσματος και με την αύξηση των στρώσεων. Ακολουθεί το αντίστοιχο διάγραμμα.



Σχήμα 6: Τέμνουσες V_f (kN) – στρώσεις μανδύα

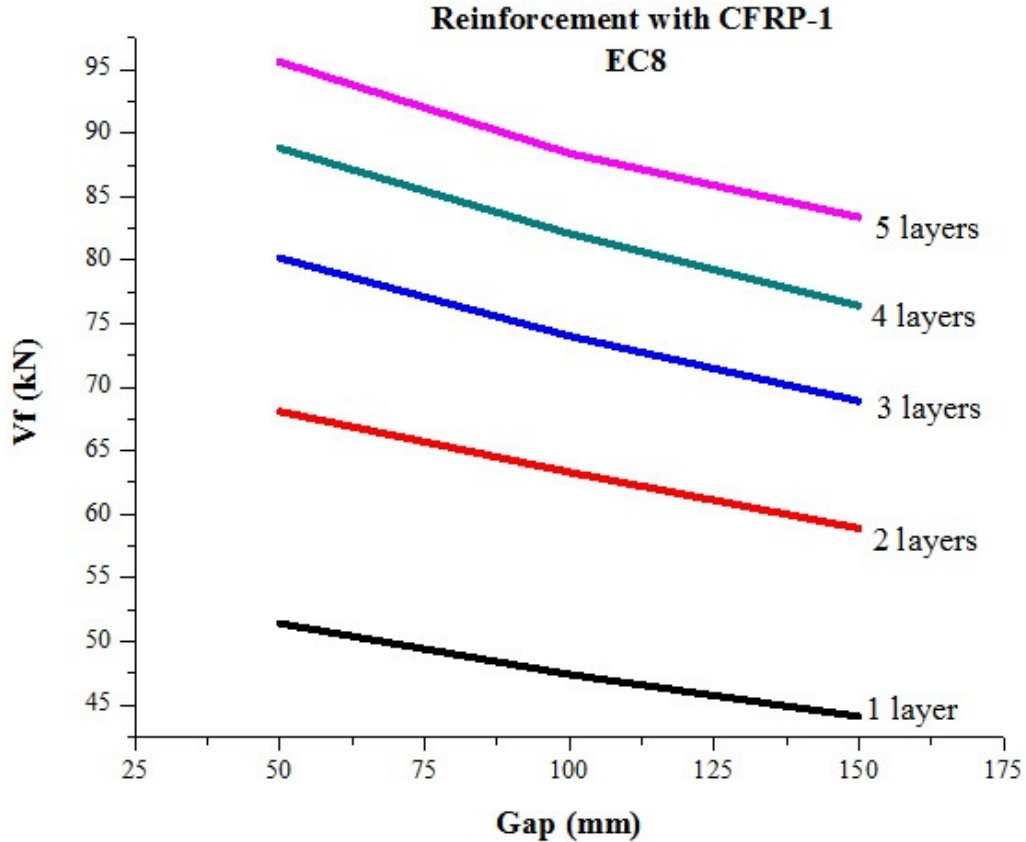
Για το παραπάνω διάγραμμα χρησιμοποιήθηκε ενδεικτικά ανθρακούφασμα CFRP-1 και αλλάχθηκε τον αριθμό των στρώσεων. Με μια πρώτη ματιά, παρατηρεί κανείς πως η αύξηση της τέμνουσας γίνεται αναλογικά με την αύξηση του αριθμού των στρώσεων και κατά συνέπεια του πάχους. Αυτό είναι και το αναμενόμενο μιας και η τέμνουσα είναι ανάλογη του πάχους στρώσης του υλικού (Εξ. (3)- (KAN.EΠΕ §8.2.2.2,(Σ8.9)), Εξ.(10)). Παρόλα αυτά, μια μικρή μείωση σημειώνεται από τις τρεις στις τέσσερις στρώσεις στην περίπτωση του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Αυτό οφείλεται στο μειωτικό συντελεστή, ψ (KAN.EΠΕ §6.2.3), ο οποίος λαμβάνεται υπόψιν στους υπολογισμούς και με την αύξηση των στρώσεων από τρεις σε τέσσερις μειώνεται.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσίασε η μεταβολή της τέμνουσας λόγω της αλλαγής του κενού μεταξύ των λωρίδων του υφάσματος στην περίπτωση εφαρμογής αυτής της μεθόδου. Τα απαραίτητα δεδομένα για την εξαγωγή διαγραμμάτων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

Κενό	ΚΑΝ.ΕΠΕ.					ΕΚ8				
	Στρώσεις υφάσματος					Στρώσεις υφάσματος				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
50	33.66	47.6	58.3	56.61	61.55	51.415	68.09	80.172	88.821	95.608
100	37.25	52.68	64.53	62.65	68.15	47.399	63.311	74.041	82.09	88.425
150	39.83	56.32	68.98	66.98	72.83	44.073	58.901	68.918	76.444	83.378

Πίνακας 4: Τέμνουσα V_f (kN) –Μεταβολή κενού μεταξύ των στρώσεων

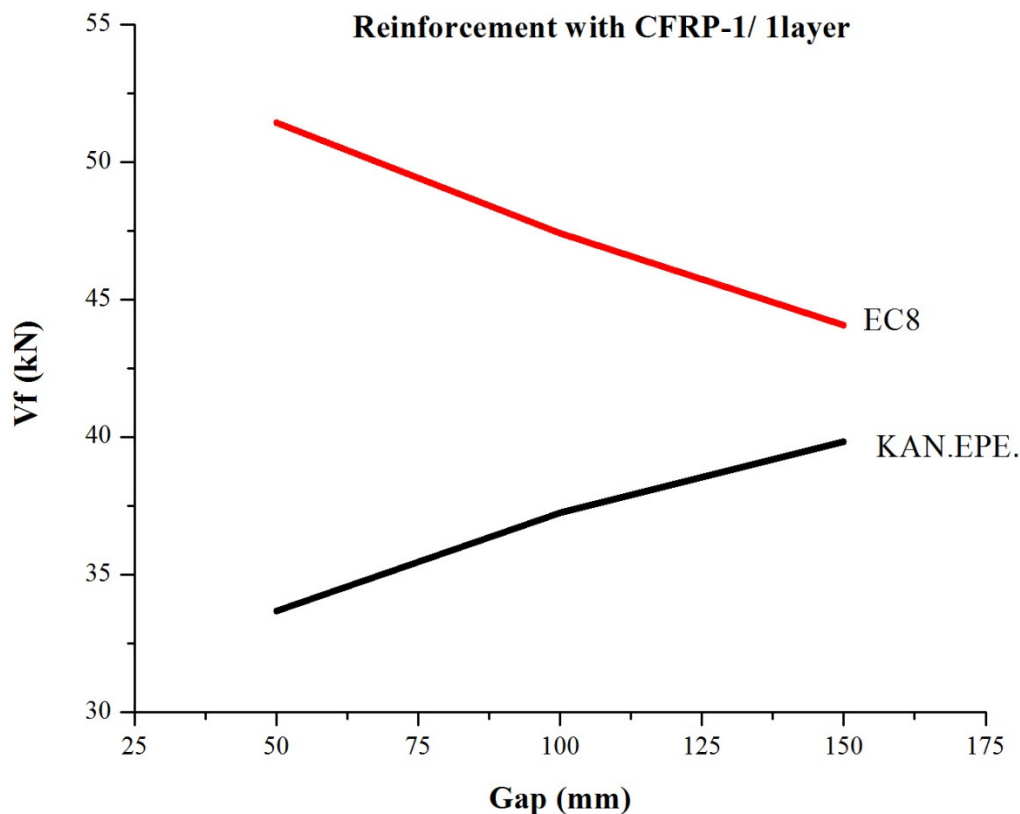
Βάσει του παραπάνω πίνακα προκύπτουν τα εξής δύο διαγράμματα :



Σχήμα 7: Τέμνουσες V_f (kN) – κενά μεταξύ στρώσεων βάσει EC8

Όπως ήταν αναμενόμενο, η αύξηση του κενού μεταξύ των στρώσεων προκάλεσε τη μείωση της πρόσθετης τέμνουσας. Παρατηρείται, επιπλέον, ότι έχει μεγαλύτερη επίδραση το κενό μεταξύ των στρώσεων (μεταβάλλεται το s_f) και όχι οι στρώσεις, κάτι που φαίνεται από το ότι ο ρυθμός μείωσης της τέμνουσας είναι κοινός για οποιοδήποτε συνδυασμό στρώσεων.

Αντίθετα όμως με την κοινή λογική, ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. φαίνεται να δίνει τα αντίθετα αποτελέσματα σε σχέση με τον EC8.



Σχήμα 8: Τέμνουσες V_f (kN) – κενά μεταξύ στρώσεων. Σύγκριση ΚΑΝ.ΕΠΕ. – EC8

Για την ίδια μεταβολή κενού παρατηρούμε αύξηση της τέμνουσας κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ συγκριτικά με τον EC8 όπου μειώνεται. Σύμφωνα με την άποψη των συγγραφέων, η αύξηση αυτή δεν είναι παράλογη. Αλλά φαίνεται να οφείλεται στην πιθανότητα πρόωρης αποκόλλησης του υλικού ενίσχυσης, έλεγχος που εξετάζεται μόνο από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Αυτό ενώ πρακτικά δε γίνεται εύκολα κατανοητό, αποδεικνύεται μαθηματικά αν εξετάσει κανείς τις σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Όσο το κενό αυξάνεται, αυξάνεται και το s_j , αντίστοιχα και το β_w άρα κατά συνέπεια και το $\sigma_{j,crit}$. (ΚΑΝ.ΕΠΕ §8.2.2.2(B))

Ένας άλλος παράγοντας που θα μπορούσε να επηρεάσει το μέτρο της πρόσθετης τέμνουσας είναι η ποιότητα σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των κτιρίων. Καθώς, όμως, τα κτίρια που εξετάζονται είναι σχεδιασμένα κατά ΕΑΚ 1985 η καλύτερη ποιότητα που θα μπορούσε να παρατηρηθεί είναι C20/25. Η ποιότητα σκυροδέματος είναι αυτή που μεταβάλλει το f_{ctm} που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς. Λόγω της μικρής μεταβολής, όμως, του f_{ctm} οι τέμνουσες δεν παρουσίασαν κάποια ιδιαίτερη αλλαγή ύστερα από υπολογισμούς και δεν θεωρήθηκαν άξιες αναφοράς στην παρούσα εργασία.

ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ

- Διατομή 400/600, C16/20, S220, $h=3600\text{mm}$
 Το καθαρό ύψος υποστυλώματος το οποίο, όπως προαναφέρθηκε ενισχύεται εξολοκλήρου υπολογίζεται σε $h_{καθ}=3000\text{mm}$. Για επικάλυψη οπλισμού ίση με 40mm, το στατικό ύψος του

υποστρώματος ισούται με $d=600-40=560\text{mm}$. Για τον ΚΑΝ.ΕΠΕ, το πλάτος υφάσματος για συνεχή φύλλα επιλέχθηκε 508mm, που ισούται με αυτό που έχει υπολογιστεί βάσει EC8, ενώ για λωρίδες το πλάτος λωρίδας 150mm και 150mm κενό μεταξύ τους και για τους δύο κανονισμούς.

(α) Κλειστή ενίσχυση (fully wrapped)

Αριθμός λωρίδων	CFRP-1				CFRP-2			
	ΚΑΝ.ΕΠΕ.		EC8		ΚΑΝ.ΕΠΕ.		EC8	
	Συνεχή	Λωρίδες	Συνεχή	Λωρίδες	Συνεχή	Λωρίδες	Συνεχή	Λωρίδες
1	145.50	72.75	113.22	33.14	380.59	190.29	205.97	59.90
2	290.00	145.50	185.95	53.67	761.17	380.59	317.05	92.05
3	436.49	218.25	245.07	70.39	1141.76	570.88	387.00	113.26
4	350.50	175.25	294.45	84.46	796.82	398.41	425.72	126.32
5	391.87	195.93	335.91	96.42	890.87	445.43	438.28	132.62

Πίνακας 5: Τέμνουσα V_f (kN) – Σύνθετο υλικό: Άνθρακας

Αριθμός λωρίδων	GFRP				AFRP			
	ΚΑΝ.ΕΠΕ.		EC8		ΚΑΝ.ΕΠΕ.		EC8	
	Συνεχή	Λωρίδες	Συνεχή	Λωρίδες	Συνεχή	Λωρίδες	Συνεχή	Λωρίδες
1	126.97	63.49	139.90	39.46	96.13	48.07	109.46	31.20
2	253.94	126.97	235.81	65.59	192.27	96.13	185.37	52.00
3	380.91	190.46	315.00	87.17	288.40	144.20	249.84	69.61
4	359.13	179.56	381.86	105.45	271.91	135.95	306.05	84.97
5	424.55	212.28	438.52	121.07	321.44	160.72	355.55	98.55

Πίνακας 6: Τέμνουσα V_f (kN) – Σύνθετα υλικά: Γυαλί-Αραμίδιο

(β) Ανοιχτή ενίσχυση (U-Shaped jackets)

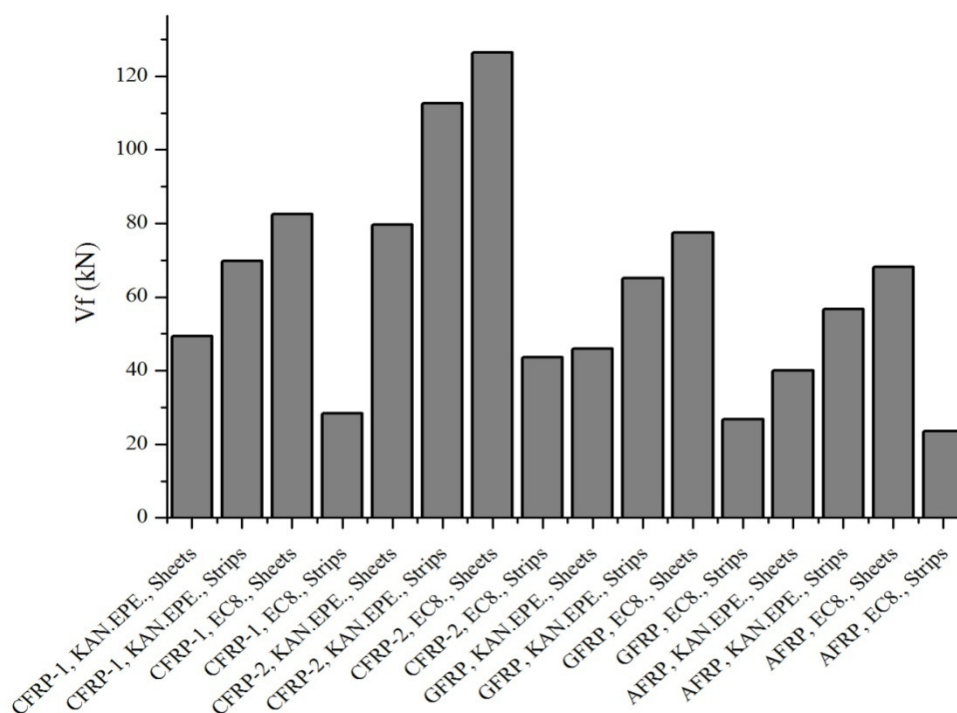
Αριθμός λωρίδων	CFRP-1				CFRP-2			
	ΚΑΝ.ΕΠΕ.		EC8		ΚΑΝ.ΕΠΕ.		EC8	
	Συνεχή	Λωρίδες	Συνεχή	Λωρίδες	Συνεχή	Λωρίδες	Συνεχή	Λωρίδες
1	49.28	69.7	82.51	28.46	79.7	112.72	126.41	43.60
2	69.70	98.56	112.55	38.82	112.72	159.41	167.97	57.94
3	85.36	120.72	133.97	46.21	138.05	195.24	195.58	67.46
4	82.88	117.21	150.92	52.06	134.05	189.57	215.96	74.49
5	90.12	127.44	165.02	56.92	145.75	206.12	231.72	79.93

Πίνακας 7: Τέμνουσα V_f (kN) – Σύνθετο υλικό: Άνθρακας

Αριθμός λωρίδων	GFRP				AFRP			
	ΚΑΝ.ΕΠΕ.		ΕΚ8		ΚΑΝ.ΕΠΕ.		ΕΚ8	
	Συνεχή	Λωρίδες	Συνεχή	Λωρίδες	Συνεχή	Λωρίδες	Συνεχή	Λωρίδες
1	46.04	65.11	77.51	26.73	40.06	56.65	68.14	23.50
2	65,11	92.07	106.01	36.57	56.65	80.12	93.63	32.30
3	79.74	112.77	126.45	43.62	69.38	98.12	112.11	38.67
4	77.43	109.50	142.72	49.23	67.37	95.28	126.96	43.79
5	84.18	119.05	156.32	53.92	73.25	103.59	139.49	48.12

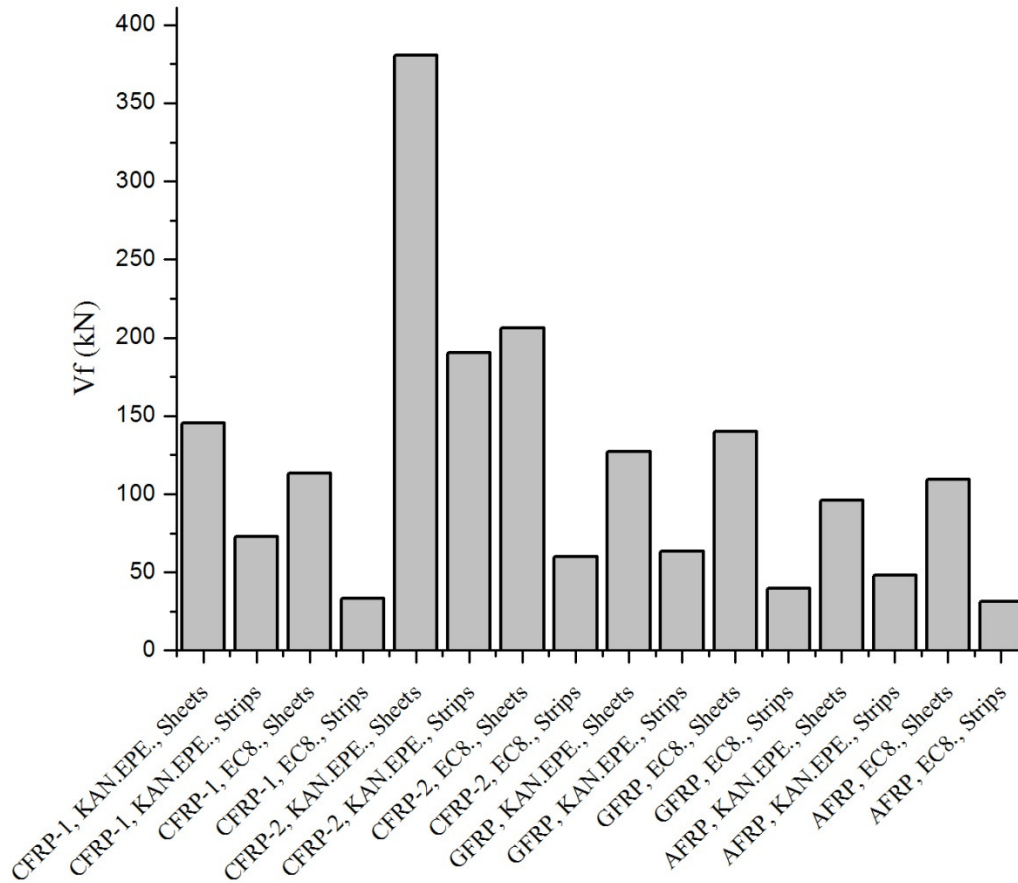
Πίνακας 8: Τέμνουσα V_f (kN) – Σύνθετα υλικά: Γυαλί-Αραμίδιο

Ενδεικτικά για μια στρώση υφάσματος και ενίσχυση ανοιχτού τύπου παρουσιάζονται οι τιμές της πρόσθετης τέμνουσας ανάλογα με τα υλικά ενίσχυσης και των δύο διαφορετικών κανονισμών



Σχήμα 9: Ραβδόγραμμα για τις πρόσθετες τέμνουσες, V_f (kN)-Ανοιχτή ενίσχυση

Η μορφολογία του παραπάνω διαγράμματος συμπίπτει με το αντίστοιχο(Σχήμα 5) για τη δοκό με ανοιχτή ενίσχυση. Συμπεραίνουμε έτσι, ότι δεν έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η περαιτέρω εξέταση της ανοιχτής ενίσχυσης. Επομένως, ακολουθεί η σχηματική απεικόνιση των πρόσθετων τεμνουσών για την περίπτωση της κλειστής ενίσχυσης.



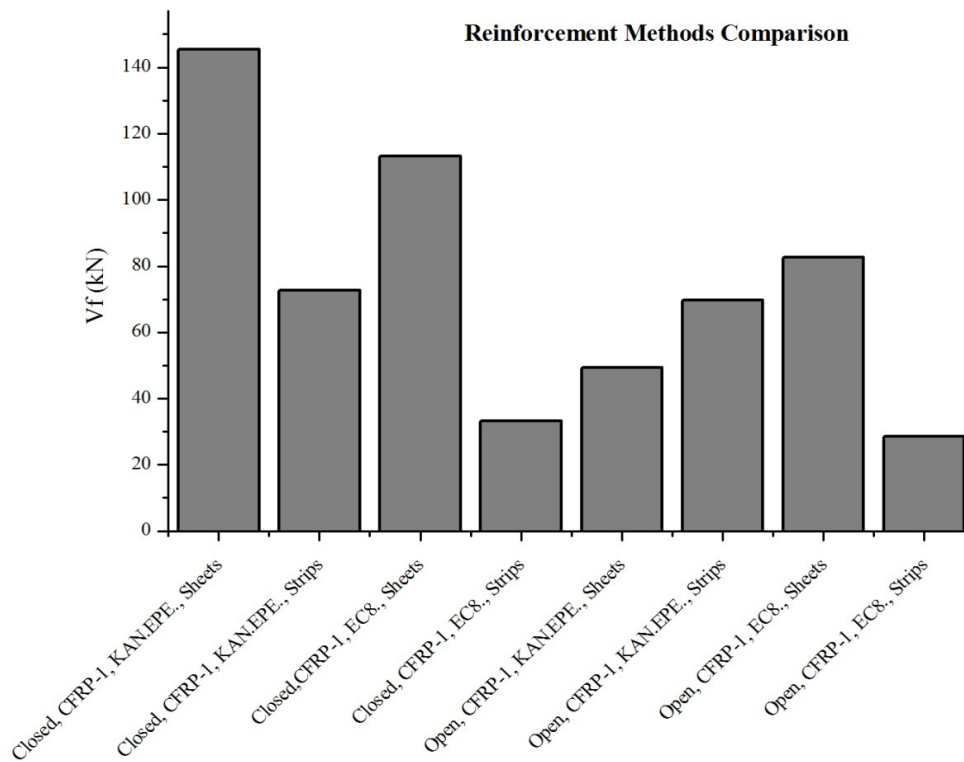
Σχήμα 10: Ραβδόγραμμα για τις πρόσθετες τέμνουσες, V_f (kN)-Κλειστή ενίσχυση

Βασική ομοιότητα με την ανοιχτή ενίσχυση, φαίνεται πως είναι η σημαντική επιρροή του πάχους και του μέτρου ελαστικότητας του υλικού ενίσχυσης, πράγμα που φαίνεται από τη μεγάλη τέμνουσα που υπολογίζεται ότι παραλαμβάνει το δεύτερο ανθρακούφασμα. Εδώ σε κάθε περίπτωση η τέμνουσα που παραλαμβάνουν τα συνεχή φύλλα υφάσματος, ξεπερνά την τιμή αυτής με λωρίδες. Αυτό συμβαίνει γιατί, κατά την κλειστή ενίσχυση δεν ελέγχεται ο κίνδυνος αστοχίας από πρόωρη αποκόλληση, λόγω της ύπαρξης του μήκους υπερέκλυσης του υφάσματος (περί τα 150mm). Επιπλέον, σε αντίθεση με ό,τι παρατηρήθηκε στην περίπτωση ανοιχτής ενίσχυσης, εδώ ο EC8 φαίνεται πιο συντηρητικός έναντι του ΚΑΝ.ΕΠΕ., καθώς δίνει μικρότερες τιμές για την πρόσθετη τέμνουσα. Τέλος, μία σημαντική παρατήρηση είναι πως οι τέμνουσες που αναλαμβάνουν οι νέοι οπλισμοί διάτμησης στην κλειστή ενίσχυση, είναι φανερά μεγαλύτερες συγκριτικά με την ανοιχτή.

Μια προσπάθεια απεικόνισης της σύγκρισης των μεθόδων παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα. Τα δεδομένα για την εξαγωγή του διαγράμματος εμφανίζονται στον Πίνακα 9.

w _j	ΚΑΝ.ΕΠΕ.		ΕΚ8	
	Κλειστή	Ανοιχτή	Κλειστή	Ανοιχτή
50	36.37	82.46	9.08	8.40
100	58.20	74.51	22.05	19.60
150	72.75	69.70	33.14	28.46
200	83.14	66.45	42.00	35.08

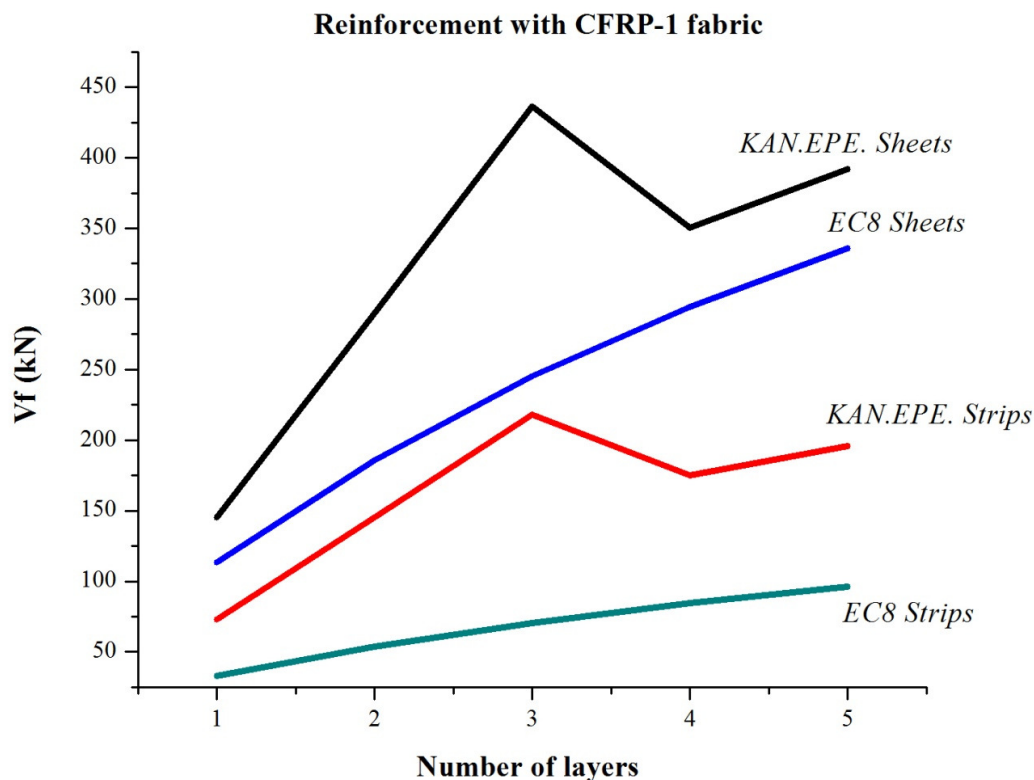
Πίνακας 9: Τέμνουσα V_f (kN) –Πλάτος στρώσης



Σχήμα 11: Ραβδόγραμμα σύγκρισης κλειστής με ανοιχτή ενίσχυση

Για το παραπάνω διάγραμμα χρησιμοποιήθηκε ενδεικτικά ανθρακούφασμα CFRP-1 και αλλάχθηκε τον αριθμό των στρώσεων. Με μια πρώτη ματιά, παρατηρείται πως η αύξηση της τέμνουσας γίνεται αναλογικά με την αύξηση των στρώσεων και κατά συνέπεια του πάχους. Αυτή τη φορά, όμως, γίνεται με πιο έντονο ρυθμό πράγμα που φαίνεται από την κλίση των ευθειών και την απότομη αλλαγή από τις τρεις στις τέσσερις στρώσεις στην περίπτωση του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Η αλλαγή οφείλεται, όπως και στις δοκούς, στην εμφάνιση του μειωτικού συντελεστή ψ στους υπολογισμούς (ΚΑΝ.ΕΠΕ §6.2.3). Για μια ακόμη φορά, δικαιολογείται η

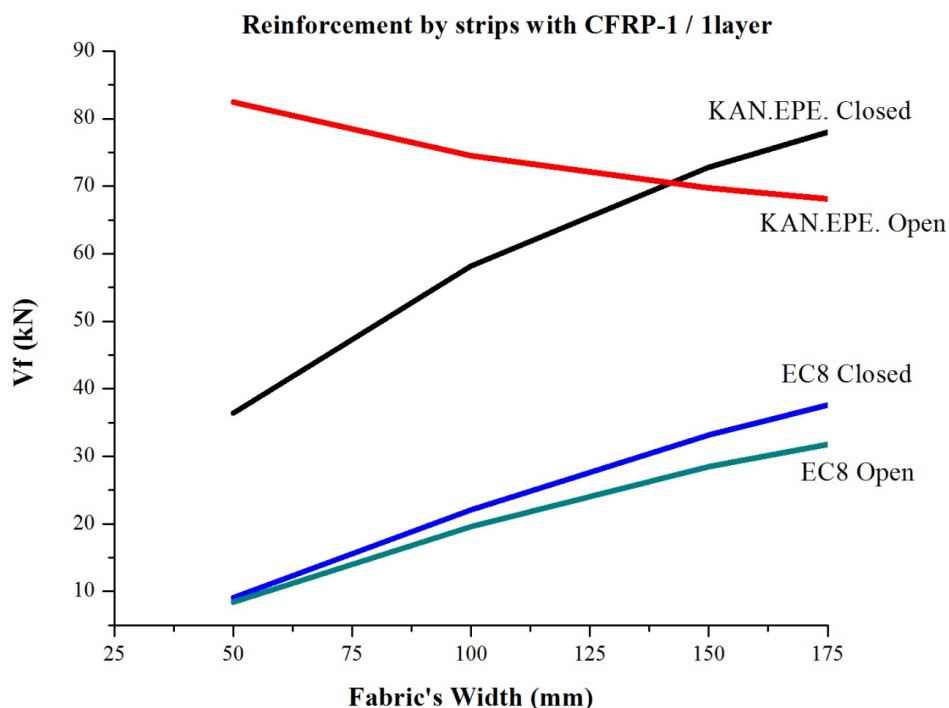
άποψη ότι ο Ευρωκώδικας δίνει πιο συντηρητικές τιμές στην περίπτωση της κλειστής ενίσχυσης απ' ότι ο ΚΑΝ.ΕΠΕ.



Σχήμα 12: Τέμνουσες V_f (kN) – στρώσεις μανδύα

Ενώ για τη δοκό εξετάστηκε η αλλαγή του κενού μεταξύ των λωρίδων στην ανοιχτή ενίσχυση, στο υποστύλωμα επιλέχθηκε να μεταβληθεί το πλάτος των λωρίδων του υφάσματος σε κλειστή αλλά και σε ανοιχτή ενίσχυση. Αυτή η επιλογή επηρέασε διαφορετικά την πρόσθετη τέμνουσα πράγμα που φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Με την αύξηση του πλάτους ο EC8 έδωσε, όπως είναι και λογικά αναμενόμενο, μεγαλύτερες τιμές για την τέμνουσα τόσο στην κλειστή όσο και στην ανοιχτή ενίσχυση. Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. όμως παρουσίασε μια μεταβολή που αξίζει να σημειωθεί. Παρατηρήθηκε ότι στην ανοιχτή ενίσχυση η πρόσθετη τέμνουσα μειώνεται με την αύξηση του πλάτους των λωρίδων. Κάτι τέτοιο μπορεί να αντιτίθεται στη λογική, αλλά οφείλεται στον έλεγχο για την πρόωρη αποκόλληση του υλικού που εφαρμόζει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. Δηλαδή υποστηρίζεται ότι όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος της λωρίδας του υφάσματος τόσο πιο εύκολα θα αποκολληθεί γιατί προσεγγίζει τη μορφολογία συνεχούς υφάσματος.

Οι δύο Κανονισμοί δεν παραλείπουν την περίπτωση κυκλικού υποστυλώματος σε κτιριακές κατασκευές. Παρόλα αυτά, μέσω της ανάλυσης των δεδομένων για την εργασία αυτή, δε συμπεραίνεται κάτι ιδιαίτερα ενδιαφέρον για αυτή την περίπτωση ή κάτι το οποίο δεν έχει προκύψει από τους παραπάνω υπολογισμούς.



Σχήμα 13: Τέμνουσες (kN) – πλάτος στρώσεων. Σύγκριση ΚΑΝ.ΕΠΕ. – EC8

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση των δεδομένων και των αποτελεσμάτων βοήθησε στο να προκύψουν τα παρακάτω συμπεράσματα. Αρχικά, ίσως ο κυριότερος παράγοντας που επηρεάζει την πρόσθετη τέμνουσα φαίνεται να είναι το πάχος του νέου οπλισμού διάτμησης. Με μια πρώτη ματιά, μπορεί κανείς να υποθέσει ότι το πάχος είναι αυτό που θα προκαλέσει τις μεγαλύτερες αλλαγές στην τέμνουσα. Τελικά, αυτό αποδεικνύεται και μαθηματικά μέσα από την εφαρμογή των εξισώσεων και των δύο Κανονισμών. Από τις αριθμητικές δοκιμές που έγιναν στις διάφορες μεταβλητές των εξισώσεων, τη μεγαλύτερη μεταβολή της πρόσθετης τέμνουσας προκάλεσε η αλλαγή των στρώσεων και κατ' επέκταση του πάχους του εφαρμοζόμενου υλικού. Ο παράγοντας που ενδεχομένως να επηρέασε λιγότερο, βρέθηκε πως είναι η ποιότητα του σκυροδέματος. Τονίζεται ότι δεν έγιναν δοκιμές με υψηλής ποιότητας σκυροδέματα, καθώς ο σχεδιασμός των δομικών μελών που εξετάστηκαν, θεωρήθηκε ότι έχει γίνει κατά ΕΑΚ 1985.

Οι τιμές των τεμνουσών που παραλαμβάνονται με συνεχή φύλλα και με λωρίδες βρέθηκαν αισθητά μεγαλύτερες στην περίπτωση της κλειστής ενίσχυσης, από τα ραβδογράμματα και των δύο Κανονισμών (Σχήμα 5, Σχήμα 9, Σχήμα 10). Οι μεγαλύτερες, δε, τέμνουσες υπολογίστηκαν ότι αναλαμβάνονται από κλειστή ενίσχυση με συνεχή φύλλα. Ανάμεσα στους δύο Κανονισμούς, την υψηλότερη τέμνουσα με σημαντική διαφορά δίνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. Οι αισθητά μεγάλες τέμνουσες, λόγω των παραπάνω, ενδέχεται να κινούνται έναντι της ασφάλειας γιατί το υλικό ίσως να μην καταφέρει τις παραλάβει. Επιπλέον, στην περίπτωση ορθών υπολογισμών, η ασφάλεια επηρεάζεται και από την έλλειψη εξίσωσης στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τον προσδιορισμό του πλάτους των υφασμάτων (w_j).

Ελλείψεις, όμως, παρατηρήθηκαν και στον Ευρωκώδικα. Σε αντίθεση με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. ο Ευρωκώδικας φαίνεται να μη λαμβάνει υπόψη του τον έλεγχο για πρόωρη αποκόλληση του

υλικού λόγω ανεπαρκούς αγκύρωσης των άκρων του στην περίπτωση της ανοιχτής ενίσχυσης. Εκεί οφείλεται και η διαφορά των αποτελεσμάτων κατά EC8 και κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ στη μεταβολή της πρόσθετης τέμνουσας κατά την αλλαγή του κενού μεταξύ των στρώσεων του υλικού και του πλάτους του υφάσματος.(Σχήμα 8, Σχήμα 13). Ίσως, αυτό, να επηρεάζει, εν μέρει, τα σημεία στα οποία φαίνεται πιο συντηρητικός ο εκάστοτε Κανονισμός.

Συμπερασματικές παρατηρήσεις ως αναφορά το ποιος κανονισμός είναι περισσότερο υπέρ της ασφάλειας είναι οι εξής: Στην ανοιχτή ενίσχυση είτε με επικολλητά συνεχή φύλλα είτε με λωρίδες, ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. καταλήγουμε πως είναι αρκετά πιο συντηρητικός από την αντίστοιχη περίπτωση κατά EC8. Στην κλειστή ενίσχυση συναντήθηκε το αντίθετο φαινόμενο, δηλαδή, ο EC8 βρέθηκε να τάσσεται υπέρ της ασφάλειας και να μας δίνει αισθητά μικρότερες τιμές για την πρόσθετη τέμνουσα.

Μια έλλειψη ακόμα για τον Ευρωκώδικα φαίνεται πως είναι η απουσία μειωτικού συντελεστή για τις επάλληλες στρώσεις. Αυτό, προκαλεί και τη διαφορά στα διαγράμματα των Σχημάτων 6 και 12. Από αυτά φαίνεται ότι για τον Ευρωκώδικα όσο αυξάνεται ο αριθμός των στρώσεων, μεγαλώνει ανάλογα και η τέμνουσα. Στον ΚΑΝ.ΕΠΕ., όμως, αυτό συμβαίνει μέχρι τις τρεις στρώσεις. Στο μεταβατικό σημείο από τρεις σε τέσσερις στρώσεις παρατηρείται μια μείωση της τέμνουσας που στη συνέχεια γίνεται αύξηση με χαμηλότερο ρυθμό. Ο ρυθμός αύξησης της τέμνουσας στον Ευρωκώδικα είναι σταθερός, πράγμα που ίσως τον καθιστά αντιοικονομικό.

Τέλος, βλέποντας κανείς το μοντέλο του Ευρωκώδικα θα υπέθετε ότι με τη συνεχή αύξηση των στρώσεων, το υλικό ενίσχυσης θα παραλάμβανε όλο και μεγαλύτερη τέμνουσα. Στην πραγματικότητα, όμως, αυτό δεν είναι γενικός κανόνας, καθώς, όσο οι στρώσεις του σύνθετου υλικού απομακρύνονται από τον άξονα του δοκιμίου ένα μέρος της φέρουσας ικανότητας τους χάνεται. Αυτό, όμως, λαμβάνεται υπόψη στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. όπως προαναφέρθηκε και ενδεχομένως τον καθιστά ικανό να προτείνει τη βέλτιστη οικονομική λύση.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) Τελικό Σχέδιο 3 – Φεβρουάριος 2009
- [2] Eurocode 8: “Design of Structures for Earthquake Resistance” - Part 3: “Assessment and Retrofitting of Buildings”, *EN 1998-3: 2005*, March 2005, 48-52
- [3] <http://www.spme.gr/uploads/524237a79e4c8896.pdf>
- [4] Δρίτσος Σ. Η.(2006), «Ενισχύσεις/Επισκευές κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα», Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, σ. 111-112, 146-147
- [5] <http://1569.sv.all.biz/el/> (Λήψη φωτογραφικού υλικού)
- [6] <http://www.epidomos.gr/files/topikes-episkeyes7.jpg> (Λήψη φωτογραφικού υλικού)
- [7] <http://www.episkeves.civil.upatras.gr/ergasies%202010/11.%20%CE%A0%CE%95%CE%A4%CE%A1%CE%9F%CE%A7%CE%95%CE%99%CE%9B%CE%9F%CE%A3%20%CE%A3..pdf> (Λήψη φωτογραφικού υλικού)
- [8] http://www.epidomos.gr/page.php?id=49&lang=&p_id=29 (Λήψη φωτογραφικού υλικού)
- [9] “Δομητικές Ενισχύσεις με Συστήματα Υφασμάτων SikaWrap”, http://grc.sika.com/el/solutions_products/document_download/construction_download1/cat_domitiki_enisxisi.html
- [10] Κούτας Α.Ν. (2010), «Ενίσχυση Πλακοδοκών Οπλισμένου Σκυροδέματος σε τέμνουσα με μανδύες Ινοπλισμένων Πολυμερών και αγκύρια ινών» *Διατριβή Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης*, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα ΠολιτικώνΜηχανικών