

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ

Θεοδωρακοπούλου Νίκη
Χατζηγηρηγορίου Μαρία

Περίληψη εργασίας

Σε αυτή την εργασία γίνεται παρουσίαση της ενίσχυσης υποστυλωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα με επιβολή εξωτερικής περίσφιγξης. Αναφέρονται αναλυτικά οι μέθοδοι εφαρμογής της και οι παράμετροι που την καθιστούν περισσότερο αποτελεσματική καθώς και οι λόγοι που οδηγούν στην αναγκαιότητα της. Γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στην βελτίωση των χαρακτηριστικών του υποστυλώματος όπως αυτό αποδεικνύεται από πειραματικές μελέτες.

1.Εισαγωγή

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει επιφέρει στον τομέα των κατασκευών βελτιστοποίηση των ήδη υπάρχοντων υλικών και δημιουργία νέων σύνθετων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι νέες κατασκευές να καθίστανται πιο ανθεκτικές σε ανασταλτικούς παράγοντες όπως η διάβρωση του οπλισμού, η αύξηση των κινητών φορτίων και σε τυχηματικούς όπως η θερμοκρασιακή μεταβολή και προπάντων η σεισμική δράση. Έτσι γίνεται κατανοητή η ανάγκη εφαρμογής μεθόδων ενίσχυσης και επισκευής των ήδη υπάρχοντων για να καταστούν και αυτές το ίδιο ασφαλείς. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στα υποστυλώματα καθώς αποτελούν τα δομικά αυτά στοιχεία που καταπονούνται σε σημαντικότερο βαθμό. Για το λόγο αυτό πραγματοποιείται ενίσχυση τους με την τεχνική μανδύων από οπλισμένο σκυρόδεμα ή με την μέθοδο της εξωτερικής περίσφιγξης κατά την οποία δεν αυξάνεται η διατομή του υποστυλώματος. Οι διαδικασίες επιβολής της είναι οι εξής :

- Με χρήση ινοπλισμένων πολυμερών (FRP) σε μορφή λωρίδων, φύλλων ή σπειροειδούς οπλισμού.
- Με χρήση μεταλλικών στοιχείων (χαλύβδινων) σε μορφή επικολλητών ελασμάτων ή φύλλων ή σπειροειδούς οπλισμού.
- Με χρήση μεταλλικού κλωβού.

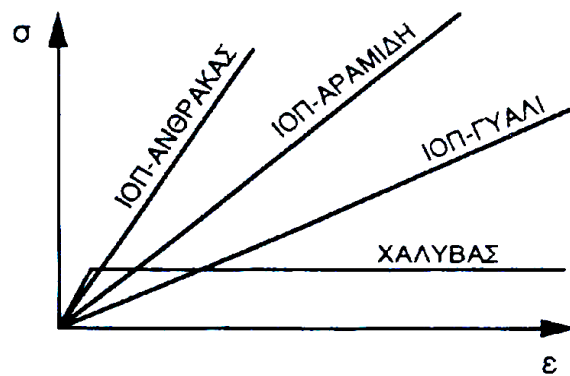
2.ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (FIBER REINFORCED POLYMERS-FRP)

A. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

Τα σύνθετα υλικά αποτελούνται από συνεχείς ίνες συνήθως άνθρακα η γυαλιού και σπανιότερα αρμιδιού σε συνδυασμό με εποξειδική ρητίνη. Διατίθενται σε μορφή σχετικά «δύσκαμπτων» λωρίδων (πάχους της τάξεως του 1mm) ή εύκαμπτων «υφασμάτων» (πάχους της τάξεως των 0,1-0,4mm) με ίνες σε μια «κατά κανόνα» ή περισσότερες διευθύνσεις. Το μητρικό υλικό (ρητίνη) έχει φτωχές μηχανικές ιδιότητες και η συμπεριφορά του εξαρτάται από το είδος και τη διάρκεια της φόρτισης καθώς και από τη θερμοκρασία.

Βασικά χαρακτηριστικά των σύνθετων υλικών είναι η εξαιρετικά μεγάλη εφελκυστική αντοχή (σε συνδυασμό με μέτρο ελαστικότητας E που μπορεί να είναι από 30-300 Gpa,

ανάλογα με τις απαιτήσεις της μελέτης), το χαμηλό βάρος (περίπου 1/4 του βάρους του χάλυβα) και η ανθεκτικότητα σε διάρκεια (εξαιρετική για υλικά με ίνες άνθρακα και μέτρια-καλή για υλικά με ίνες γυαλιού οι οποίες προσβάλλονται από το αλκαλικό περιβάλλον του σκυροδέματος αν τυχόν είναι σε άμεση επαφή με αυτό αλλά και από ορισμένα οξείδια). Για τη συνηθέστερη περίπτωση τους, που αποτελούνται από συνεχείς ίνες μιας διεύθυνσης σε αναλογία 50-70% κατ' όγκο, οι μηχανικές ιδιότητες τους συγκρίνονται (προσεγγιστικά) ως εξής με αυτές του χάλυβα : μέτρο ελαστικότητας = 50 GPa, 65-120 GPa και 135-190 GPa , παραμόρφωση θραύσης= 3% , 2-3% και 1-1.5% για υλικά με ίνες γυαλιού , αραμιδής και άνθρακα αντίστοιχα, έναντι 200 GPa και 10% περίπου για χάλυβα (η τελευταία τιμή είναι περίπου 3-5% για χάλυβα υψηλής αντοχής). Η εφελκυστική αντοχή τους για βραχυχρόνια φόρτιση είναι της τάξης 1400-2100 MPa (έναντι π.χ. 400 MPa ή 1700 MPa για κοινό χάλυβα ή χάλυβα προέντασης αντίστοιχα) ενώ για μακροχρόνια φόρτιση μειώνεται στο 35-50% , 50-60% και 70-90% της αρχικής τιμής για ίνες γυαλιού , αραμιδής και άνθρακα αντίστοιχα. Τυπικές σχέσεις τάσης - παραμόρφωσης για σύνθετα υλικά (εν συγκρίση με τον κοινό χάλυβα) σε εφελκυσμό δίνει το Σχ.1 (Τριανταφύλλου 2000[2]).Ενώ στον Πιν.1.



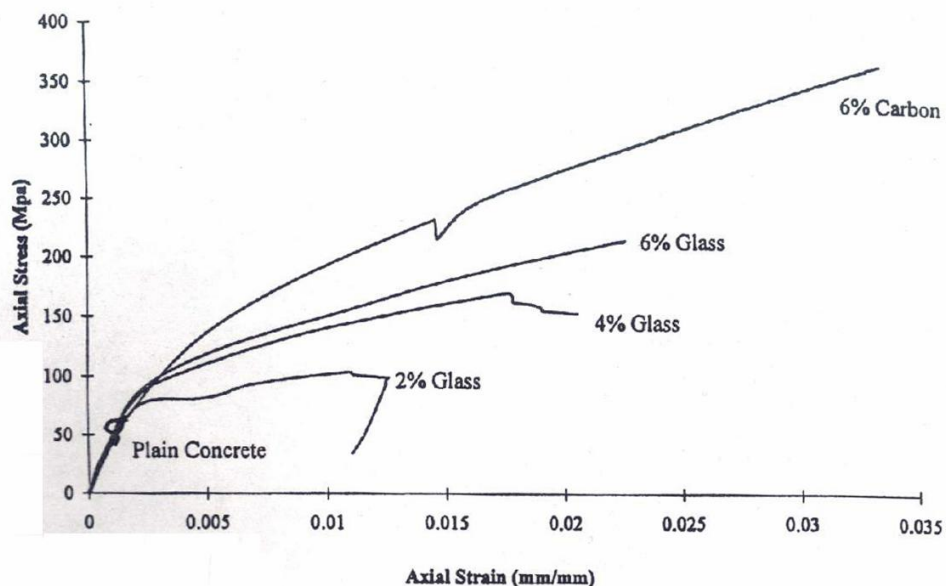
Σχ.1

Κριτήριο	Συντελ. βάρους	Αξιολόγηση πολυμερών με ίνες:		
		Ανθρακα	Αραμιδής	Γυαλιού
Εφελκυστική αντοχή	3	9	9	9
Μέτρο ελαστικότητας	3	9	6	3
Παραμόρφωση θραύσης	3	6	9	9
Συμπεριφορά σε μακροχρόνιες δράσεις	3	9	6	3
Κόστος	3	6	6	9
Ανθεκτικ. σε διάρκεια	2	6	4	2
Πυκνότητα	2	4	6	2
Συμπεριφορά σε κόπωση	2	6	4	2
Σύνολο		55	50	39
Αξιολόγηση		1	2	3

Πιν.1

Η αξιολόγηση γίνεται βάση του τύπου ινών (γυαλί, αραμίδης, άνθρακας) και οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα υλικά με ίνες άνθρακα πλεονεκτούν έναντι των υπολοίπων παρά το μεγάλο κόστος τους.

Σημαντική είναι η ποικιλία τιμών ακαμψίας του περισφιγμένου σκυροδέματος που οφείλεται στα διαφορετικά μηχανικά ογκομετρικά ποσοστά αλλά και στα διαφορετικά υλικά που επιλέγονται κάθε φορά. Αυτό οφείλεται στο ότι η ακαμψία περισφιγξης εξαρτάται από την ακαμψία του σύνθετου υλικού (η ακαμψία της ρητίνης είναι μικρή σε σχέση με του σύνθετου υλικού γι'αυτό και αγνοείται). Στο Σχ.2 δίνεται το διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης για διαφορετικά υλικά και διαφορετικά ποσοστά αυτών (Harmon, Slattery, Ramakrishnan 1995[5]).

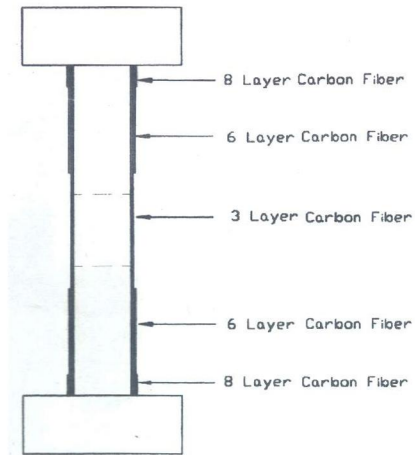


Σχ.2

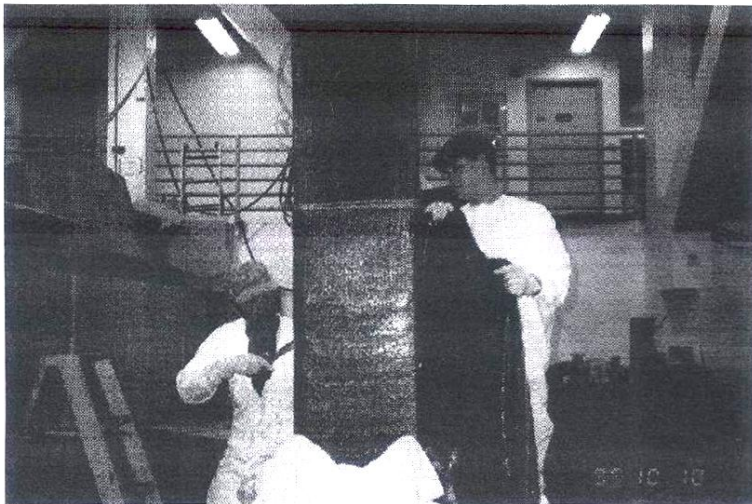
B. ΟΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

Η επιβολή της εξωτερικής περισφιγξης υποστυλωμάτων εφαρμόζεται με τις εξής τεχνικές :

- Ολόσωμο μανδύα σύνθετου υλικού (FRP) που περιβάλλει το υποστύλωμα ή από την κορυφή μέχρι τη βάση του ή στην περιοχή της βλάβης σε επαρκή μήκη εκατέρωθεν αυτής. Στα κρίσιμα σημεία διαρροής του υποστυλώματος το πάχος του σύνθετου υλικού είναι μεγαλύτερο και επιτυγχάνεται με χρήση περισσότερων από ένα φύλλων όπως φαίνεται στο Σχ.3 [12]. Στο Σχ.4 [12] παρουσιάζεται η διαδικασία περισφιγξης με μανδύα.
- Λωρίδες FRP .
- Σπειροειδή οπλισμό από FRP.



Σχ.3



Σχ.4

Προεντεταμένα Σύνθετα Υλικά (Τριαντάφυλλου 2000 [2])

Ειδικότερα για τη μέθοδο ενίσχυσης με οριζόντιες Λωρίδες προσφέρεται η δυνατότητα προέντασης, ώστε ο οπλισμός ενίσχυσης να λειτουργεί «παθητικά» ή «ενεργητικά» αναλόγως των απαιτήσεων βελτίωσης του υποστυλώματος. Η εφαρμογή της μεθόδου σε στοιχεία κυκλικής διατομής δεν παρουσιάζει προβλήματα, ενώ αν τα υπό ενίσχυση υποστυλώματα είναι ορθογωνικής διατομής απαιτείται πρώτα «στρογγύλεμα» των γωνιών τους.

Η τέμνουσα δύναμη V_{fc} που αναλαμβάνει ο προσθετός εξωτερικός οπλισμός σε υποστυλώματα κυκλικής διατομής με ενίσχυση προεντεταμένων και μη λωρίδων είναι:

$$V_{fc} = [(t_e E_e + t_\pi E_\pi) \varepsilon_\pi + T_\varepsilon] \pi R c \cot \theta$$

όπου:

E_e : μέτρο ελαστικότητας ενεργητικού (προεντεταμένου) οπλισμού ενίσχυσης

E_π : μέτρο ελαστικότητας παθητικού (μη προεντεταμένου) οπλισμού ενίσχυσης

ε_π : επιτρεπόμενη παραμόρφωση του οπλισμού από σύνθετα υλικά (συντηρητικά μπορεί να θεωρηθεί 0.005)

T_ε : η δύναμη προέντασης ανά μονάδα μήκους του υποστυλώματος

θ : η γωνία μεταξύ του άξονα του υποστυλώματος και της διεύθυνσης των διαγώνιων ρωγμών (μπορεί να θεωρηθεί $\theta=30^\circ$, Priestley-Seible, 1991)

Εκτός από το υλικό των ινών που θα επιλεγεί, σημαντικό ρόλο παίζει και η τεχνική που θα εφαρμοστεί καθώς και η προένταση ή όχι του όπλισμου περίσφιγξης. Συγκεκριμένα οι προεντεταμένες λωρίδες προσδίδουν στο στοιχείο αυξημένη αντοχή και πλαστιμότητα συγκριτικά με τις μη. Στον Πιν.2 [7] παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα για την αντοχή (θλιπτική και εφελκυστική) του υποστυλώματος για διαφορετικές τεχνικές και χρησιμοποιούμενου τύπου ινών.

Τύπος οπλισμού FRP	Υλικό	Πάχος (mm)	Θλιπτική Αντοχή	Ποσοστό Εφελκυστικής Αντοχής
Λωρίδες	Άνθρακας	6	-7992	28
		8	-21904	34
		10	-44561	50
	Αραμιδής	6	-2167	6
		8	-9012	12
		10	-11131	11
Σπειροειδής	Άνθρακας	6	-13180	48
		10	-36824	39
		Αραμιδής	6	-3275
		8	-6159	13
		10	-11287	11
	Γυαλί	6	-4511	29
		8	-14073	41
10		-28547	44	
Μανδύας	Άνθρακας	8	-12749	41
		10	-16809	36
		13	-3124	40
	Γυαλί	6	-22948	100
		8	-33735	123
		10	-48376	113
	Γυαλί - Άνθρακας	6	-23536	91
		8	-34519	92
	10	-47170	90	

Πιν.2

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα ο άνθρακας υπερέχει έναντι του αραμιδίου και του γυαλιού καθώς για την ίδια τεχνική προσδίδει μεγαλύτερη θλιπτική ικανότητα στο υποστύλωμα. Όσο αυξάνεται το πάχος του σύνθετου υλικού αυξάνεται και η ικανότητα του στην ανάληψη θλιπτικού φορτίου. Για την τεχνική του μανδύα, το σύνθετο υλικό με ίνες γυαλιού και μέγιστο πάχος προσφέρει στο στοιχείο την μεγαλύτερη θλιπτική αντοχή. Φυσικά όταν γίνεται συνδιασμός ινών γυαλιού και άνθρακα τα αποτελέσματα είναι υψηλότερα.

Γ. ΔΡΑΣΕΙΣ

Ανάληψη διατμητικού φορτίου

Σημαντική δράση είναι η ανάληψη του διατμητικού φορτίου που εισάγεται με τους εγκάρσιους οπλισμούς που λειτουργούν ως πρόσθετοι εξωτερικοί συνδετήρες. Η συνολική τέμνουσα εκτιμάται ως το άθροισμα των τεμνουσών που αναλαμβάνονται αφενός μεν από τους υπάρχοντες συνδετήρες αφετέρου δε από τους νέους. Η τέμνουσα που αναλαμβάνεται δίνεται από τη σχέση {1} (Τριανταφύλλου 2000[2]) για υποστύλωμα ορθογωνικής διατομής με λωρίδες FRP

$$V_{fc} = t_p E_p e_p b \cot \theta$$

ή πιο συντηρητικά με χρήση μειωτικού συντελεστή ασφαλείας για το υλικό γ_f από τη σχέση {2} για ορθογωνικής διατομής υποστύλωμα με μανδύα.

$$V_{fc} = \frac{2 t_p E_p e_p b \cot \theta}{\gamma_f}$$

(Δρίτσος 2000[3])

όπου:

Το 2 εκφράζει τις δύο απέναντι πλευρές του μανδύα από σύνθετο υλικό

t_p : πάχος λωρίδας ή μανδύα FRP

E_p : μέτρο ελαστικότητας οπλισμού περίσφιγξης

e_p : επιτρεπόμενη παραμόρφωση οπλισμού FRP

b : μήκος της πλευράς του υποστυλώματος που αντιστοιχεί στη διεύθυνση της τέμνουσας

θ : γωνία μεταξύ του άξονα υποστυλώματος και της διεύθυνσης των διαγώνιων ρωγμών. Σύμφωνα με Priestley και Seible 1991 μπορεί να θεωρηθεί ίση με 30°.

γ_f : συντελεστής υλικού του μανδύα που συμπεριλαμβάνει τον μειωμένο βαθμό επιστράτευσης της φέρουσας ικανότητας του ίσος με 2.5.

Διατμητική αντοχή (R.Ma , Y.Xiao , K.N.Li 2000[12])

Για τη διατμητική αντοχή που ανταποκρίνεται σε μια εύθραυστη κατάσταση διατμητικής αστοχίας του μοντέλου ο Priestley πρότεινε τη σχέση {3}

$$V = V_c + V_s + V_p = 0.29\sqrt{f_c}A_e + \frac{A_{sh}f_{yh}D}{s} \cot 30^\circ + 0.1P$$

όπου :

V_c : τέμνουσα που αναλαμβάνει το σκυρόδεμα

V_s : τέμνουσα που αναλαμβάνει ο εγκάρσιος οπλισμός

V_p : τέμνουσα που αναλαμβάνει ο οπλισμός περίσφιξης

Για ευκολία η V_p λαμβάνεται ίση με 0.1MPa

Με βάση τη σχέση αυτή η διατμητική δύναμη που δύναται να αναλάβει το μοντέλο – υποστύλωμα του πειράματος εκτιμήθηκε ίση με 406.2KN δηλαδή μεγαλύτερη από την τελική απαιτούμενη $H=478.3KN$. Θεωρώντας τώρα μια καμπτική διατμητική αστοχία για το μοντέλο με δείκτη πλαστιμότητας μ ίσο με 3.2 και χρησιμοποιώντας τη σχέση {4}

$$V = V_c + V_s + V_p = \left(0.29 - \frac{m - 2.3}{24} \right) \sqrt{f_c} A_e + \frac{A_{sh} f_{yh} D}{s} \cot 30^\circ + 0.1P$$

η διατμητική δύναμη βρέθηκε ίση με 331KN δηλαδή μικρότερη από την H . Έτσι η διατμητική αστοχία σε περιορισμένη καμπτική πλαστιμότητα θα συμβεί πριν να αναπτύξει το υποστύλωμα την μέγιστη παραμόρφωση σε κάμψη.

Καμπτική πλαστιμότητα (R.Ma , Y.Xiao , K.N.Li 2000 [12])

Η απόκριση κάμψης του υποστηλώματος μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας μια διγραμμική προσέγγιση βασισμένη σε αποτελέσματα καμπλών ανάλυσης. Η οριζόντια δύναμη διαρροής στη διγραμμική προσέγγιση πάρθηκε ως η ιδανική (μέγιστη) ικανότητα H . Υποθέτοντας μια ελαστική συμπεριφορά του υποστυλώματος μέχρι την πρώτη διαρροή του διαμήκους οπλισμού του, η μετακίνηση του στη πρώτη διαρροή δίνεται από την σχέση {5}:

όπου

f_y : η καμπυλότητα στη πρώτη διαρροή

h_e : το αποτελεσματικό ύψος υποστυλώματος

Η επίδραση της ολίσθησης του κατακόρυφου οπλισμού και της διαρροής λόγω διείδυσης στο κάτω πέλμα λαμβάνεται υπόψη εισάγοντας την έννοια του αποτελεσματικού ύψους, που ορίζεται από την σχέση {6}:

$$h_e = h + 2 * 0.022 d_{lb} f_y$$

Όπου

h : το ύψος του υποστυλώματος

d_{lb} : η ονομαστική (μη πραγματική) διάμετρος του κατακόρυφου οπλισμού

f_y : η δύναμη διαρροής της ράβδου

Έλεγχος στη διεπιφάνεια

Η απαιτούμενη τάση περισφίξης για την αποφυγή αστοχίας στη διεπιφάνεια υπολογίζεται από την σχέση {8} που προτάθηκε από τους Priestley και Seible :

$$f_1 = \frac{A_{lb} f_y}{[2(d_{lb} + c) + 0.5 s_{lb}] L_s}$$

Όπου

A_{lb} : το εμβαδόν διατομής μιας από τις ράβδους οπλισμού διαμέτρου d_{lb} οι ράβδοι είναι διατεταγμένες σε απόσταση s_{lb}

L_s : το μήκος αστοχίας της διεπιφάνειας

c : η επικάλυψη του κατακόρυφου οπλισμού

Δ. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (Τριανταφύλλου 2000 [2])

Η τεχνική ενίσχυσης υποστυλωμάτων με χρήση ινοπλισμένων πολυμερών FRP σε μορφή φύλλων , λωρίδων ή σπιράλ η οποία συνίσταται στη μεσώ εποξειδικών ρητινών επικόλληση των σύνθετων υλικών στην εξωτερική επιφάνεια του δομικού στοιχείου χαρακτηρίζεται από ευκολία, ευελιξία και ταχύτητα εφαρμογής, Ταυτόχρονα αυξάνει την αντοχή και την παραμορφωσιμότητα των υποστυλωμάτων.

Για την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση των ευεργετικών ιδιοτήτων των σύνθετων υλικών η εφαρμογή τους πρέπει να διέπεται από συγκεκριμένους κανόνες που παρατίθενται παρακάτω:

-απαιτείται επιμελημένη προετοιμασία της επιφάνειας επικόλλησης (αφαίρεση χαλαρών τμημάτων, πλήρωση ρωγμών, εξασφάλιση επιπέδου και υγιούς στρώματος). Στην περίπτωση εύκαμπτων υφασμάτων η εφαρμογή τους θα πρέπει να γίνεται έτσι ώστε οι ίνες να έχουν τη μεγαλύτερη δυνατή τάνυση.

-για τα εύκαμπτα υφάσματα (ανθρακονήματα ή υαλοφάσματα) οι υπολογισμοί θα πρέπει να γίνονται με βάση την ονομαστική διατομή και όχι τη διατομή του «τελειωμένου» σύνθετου υλικού λόγω της αβεβαιότητας ως προς το βαθμό εμποτισμού της ρητίνης .

-ο βαθμός ενίσχυσης (π.χ. για την περίπτωση ενίσχυσης σε κάμψη, ο λόγος της ροπής αντοχής μετά την ενίσχυση προς την αρχική) θα πρέπει να περιορίζεται έτσι ώστε σε περίπτωση αστοχίας των οπλισμών ενίσχυσης (π.χ. πυρκαγιά) το στοιχείο να αναλαμβάνει τουλάχιστον τα μόνιμα φορτία.

-η καλή αγκύρωση των οπλισμών ενίσχυσης (στα άκρα τους) είναι απαραίτητη για την εξασφάλιση της ικανότητας ανάληψης σημαντικών δυνάμεων από τα σύνθετα υλικά.

3. ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Παρά την εισαγωγή νέων σύνθετων υλικών για την εξ. περίσφιγξη υποστηλωμάτων σημαντική εξακολουθεί να είναι η χρήση μεταλλικών στοιχείων (χαλύβδινων) με τις εξής μορφές: ολόσωμου μανδύα από φύλλα χάλυβα, επικολλητών χαλύβδινων κολλάρων, σπειροειδούς οπλισμού και μεταλλικού κλωβού. (Δρίτσος ,Φράγκου ,Πιλακούτας)

A. ΟΛΟΣΩΜΟΣ ΧΑΛΥΒΔΙΝΟΣ ΜΑΝΔΥΑΣ

Η τεχνική εφαρμόζεται με επικόλληση λεπτού χαλύβδινου φύλλου σε μικρή απόσταση από τις παρειές του βλαμμένου στοιχείου χρησιμοποιώντας εποξειδική ρητίνη που απλώνεται στο φύλλο και στην επιφάνεια του σκυροδέματος.Οι κόλλες είναι εποξειδικές ρητίνες δύο συστατικών που είναι χημικά αδρανείς, παρουσιάζουν άριστη πρόσφυση τόσο με το χάλυβα όσο με το μπετό και έχουν πολύ καλά μηχανικά χαρακτηριστικά (D.Van Gemert).Τα μεταλλικά φύλλα τοποθετούνται και με σφικτήρες για τουλάχιστον 24 ώρες. Η τεχνική είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική όταν ο μεταλλικός μανδύας έχει κυκλική ή ελλειπτική μορφή.

B. ΧΑΛΥΒΔΙΝΑ ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΑ ΕΛΑΣΜΑΤΑ

Μεταλλικές λωρίδες σε μορφή κολλάρων τοποθετούνται γύρω από το υποστώλωμα σε ολο το ύψος για ασθενή υποστώλωματα ή μόνο τοπικά π.χ. πάνω κάτω και σε μήκος τουλάχιστον δύο φορές το πλάτος του . Οι λωρίδες παρέχονται σε ποικιλία υλικών , πάχους , πλάτους και τάσης . Ο καθοριστικός παράγοντας για χρήση της μεταλλικής λωρίδας είναι η ευκολία κάμψης της , γι' αυτό και το πάχος και πλάτος της περιορίζονται στο 1mm και 30mm αντίστοιχα .(Δρίτσος, Φράγκου, Πιλακούτας [13]).

Η πρακτική εφαρμογή της εργασίας χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην προετοιμασία των επιφανειών για την συγκόλληση. Η επιφάνεια του σκυροδέματος πρέπει να λειανθεί ή να αμμοβοληθεί, ώστε να αφαιρεθεί το «γάλα» του τσιμέντου που έχει μείνει και να αποκαλυφθεί καθαρή και γερή επιφάνεια για τη συγκόλληση. Η μεταλλική επιφάνεια πρέπει να αμμοβοληθεί καλά πριν τη συγκόλληση για να αποφευχθεί η οξείδωση του χάλυβα.

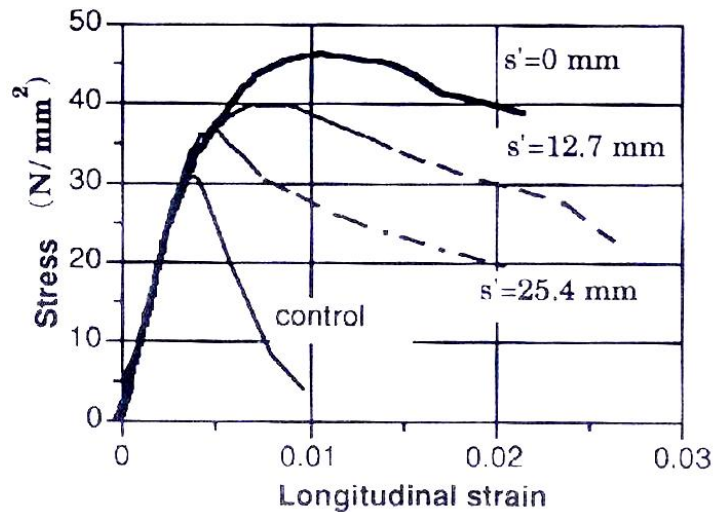
Για καλύτερη ενεργοποίηση των κολλάρων και βελτίωση της αντοχής και πλαστιμότητας του υποστυλώματος πρέπει να τηρούνται οι παρακάτω συστάσεις (Χρονόπουλος) :

- υποστυλώματα περίπου τετραγωνικά $b*b$ (max 350*350mm) με επαρκή διαμήκη οπλισμό.
- αποστάσεις κολλάρων $s < b/2$ (max 150mm) πρακτικώς 50-100mm .
- μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό κολλάρων .Σχεση {9}

$$w_s = r_s \frac{b_e}{b_d} = \frac{4bF_{es}}{esb^2} \frac{b_e}{b_d} > 0.2$$

οπου: β_e : αντοχή χάλυβα σε εφελκυσμό
 β_d : αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη
(για να επιστρατεύεται πλευρική πίεση $> 0.1 * \beta_d$)

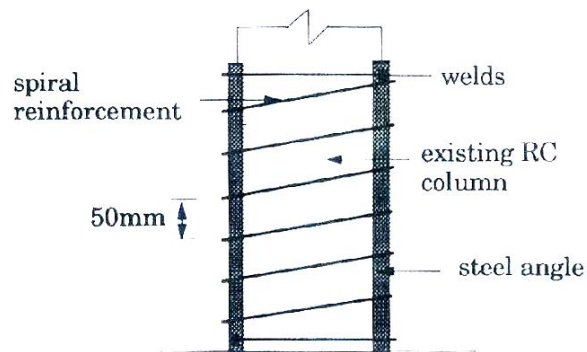
Ανάλογα με τις απαιτήσεις για βελτίωση των τελικών χαρακτηριστικών επιλέγεται και η κατάλληλη απόσταση λωρίδων s . Η μεταβολή της οποίας αποδεικνύεται πειραματικά ότι επηρεάζει σημαντικά την αναλαμβανόμενη τάση και την παραμόρφωση του στοιχείου (Φράγκου, Πιλακούτας, Δρίτσος [13]). Στο Σχ.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τριών δοκιμών κυλινδρικών περισφιγμένων με λωρίδες (τύπου Bryten) που υποβλήθηκαν σε θλίψη. Οι λωρίδες έχουν πλάτος 12.7mm και 0.5mm πάχος ενώ οι αποστάσεις μεταξύ των λωρίδων ήταν 0.00mm , 12.70mm και 25.40mm για τα δοκίμια 1,2,3 αντίστοιχα. Τα δοκίμια συγκρίνονται με δείγμα ελέγχου που υποβλήθηκε και αυτό στην ίδια καταπόνηση. Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η μεταξύ των λωρίδων απόσταση s αυξάνεται θλιπτική αντοχή του δοκιμίου. Έτσι μέχρι την τιμή τάσης $30N/mm^2$ (θλιπτική δύναμη του δείγματος ελέγχου) όλα παρουσιάζουν γραμμική ελαστική συμπεριφορά και στη συνέχεια παραβολική μέχρι τις μέγιστες θλιπτικές τάσεις $3.70N/mm^2$ για το 3 , $40.00N/mm^2$ για το 2 και $46.00N/mm^2$ για το 1.



Σχ.5

Γ. ΣΠΕΙΡΟΕΙΔΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ

Οι μανδύες εμφανίστηκαν πρώτοι στην αγορά και ακολούθησε η καινοτομία των θωράκων που συνίσταται στη βιομηχανική παραγωγή μονοκόμματων συνδετήρων όπως οι σπειροειδής οπλισμοί, οι οποίοι καλύπτουν ολόκληρα δομικά στοιχεία από τη μια ως την άλλη τους άκρη. Μαλακές χαλύβδινες, κυκλικές ράβδοι θερμαίνονται και σφυρηλατούνται ώστε να δημιουργηθεί μια σπείρα γύρω από το υποστύλωμα που έχει υποστεί βλάβη. Οι ράβδοι μπορούν να συγκολληθούν σε γωνιακά μεταλλικά ελάσματα τα οποία είναι τοποθετημένα στις γωνίες του υποστυλώματος. Σχ.6 (Δρίτσος, Πιλακούτας, Φράγκου 1995[13]).

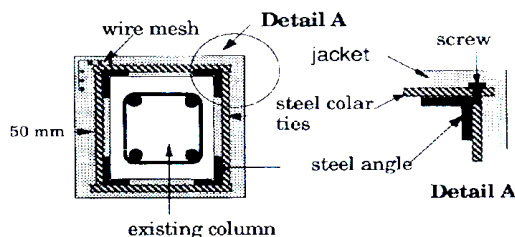


Σχ.6

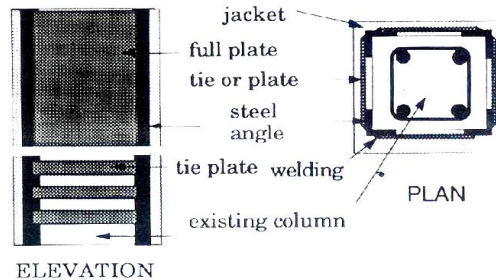
Δ. ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΣ ΚΛΩΒΟΣ

Η τεχνική του μεταλλικού κλωβού είναι η συνηθέστερη μέθοδος επιβολής περισφίγξης. Η διαδικασία συνίσταται στην προσαρμογή τεσσάρων μεταλλικών γωνιακών ελασμάτων και στη συγκόλληση πάνω στα γωνιακά οριζόντιων μεταλλικών ελασμάτων (κολάρων) ή ράβδων από δομικό χάλυβα Σχ.7a. Πριν την συγκόλληση πραγματοποιείται σύσφιγξη των γωνιακών ελασμάτων με ειδικά κλειδιά ή εναλλακτικά ο οριζόντιος σπλισμός προθερμαίνεται στους 200-400 βαθμούς Κέλσιου έτσι ώστε να δημιουργηθεί περισφίγξη με την συστολή που επέρχεται όταν γίνει απόψυξη. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα γωνιακά και τα οριζόντια ελάσματα δεν ηλεκτροσυγκολλούνται αλλά χρησιμοποιούνται βίδες. Όταν το ύψος του υποστρώματος είναι σχετικά μικρό ($h/d < 3$) τα κολάρια -που χρησιμοποιούνται όταν $h/d > 4$ - αντικαθίστανται συνήθως με χαλύβδινα φύλλα Σχ.7b. Το κενό μεταξύ μεταλλικού κλωβού και σκυροδέματος συμπληρώνεται με ένα μη συρρικνούμενο κονίαμα ή εποξειδική κόλλα ενώ η τελική επιφάνεια δημιουργείται με ισχυρή τσιμεντοκονία ,οπλισμένη με ελαφρύ πλέγμα (Δρίτσος, Φράγκου, Πιλακούτας 1995[13])

Η δράση του αποτελεί σύνθεση τριών επιμέρους μικρότερων δράσεων. Συγκεκριμένα αφορά την παραλαβή αξονικού φορτίου , την παραλαβή τέμνουσας δύναμης και τη δράση τριαξονικής θλίψης. Η ανάληψη μεταφοράς τμήματος των κατακόρυφων φορτίων του υποστρώματος αποτελεί βασικό πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής έναντι των υπόλοιπων. Ταυτόχρονα η ταχύτητα εφαρμογής της την καθιστά την πλέον κατάλληλη προσωρινή λύση άμεσης ανάληψης κατακόρυφων φορτίων σε υποστρώματα που αδυνατούν πλέον να μεταφέρουν τα αξονικά τους φορτία.



Σχ.7a



Σχ.7b

4. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ

Στον υπολογισμό των μεγεθών του υποστρώματος μετά την εφαρμογή περισφίγξης γίνεται η εισαγωγή του συντελεστή α που εκφράζει το βαθμό αποδοτικότητας της. Σύμφωνα με τον EC8 η τιμή του α προσδιορίζεται ως εξής :

$$\alpha = \alpha_s * \alpha_n \quad \text{Σχέση \{10\}}$$

Όπου

α_n : μειωτικός συντελεστής που εκφράζει την αποτελεσματικότητα της περίσφιγξης στο οριζόντιο επίπεδο. Σχετίζεται με τον τρόπο με τον οποίο τοποθετούνται οι συνδετήρες και την κατανομή της διαμήκουσ όπλισης στην διατομή.

α_s : μειωτικός συντελεστής που εκφράζει την αποτελεσματικότητα της περίσφιγξης στο κατακόρυφο επίπεδο. Σχετίζεται με την καθ' ύψος κλιμάκωση των συνδετήρων.

Κατά προσέγγιση παρόμοια με αυτή του Mander η περιοχή του αποτελεσματικά περισφιγμένου σκυροδέματος , μπορεί να υπολογιστεί υποθέτοντας μια δράση λυγισμού με μορφή παραβολής δεύτερου βαθμού, με αρχική κλίση 45°. Σχ 8 . Για το λόγο αυτό το α_n μπορεί να υπολογιστεί θεωρώντας τη δράση λυγισμού στο οριζόντιο επίπεδο, ως εξής :

$$\alpha_n = A_e / A_c \quad \text{Σχέση \{11\}}$$

όπου

A_e : περιοχή αποτελεσματικά περισφιγμένου σκυροδέματος και δίνεται ως:

$$A_e = b*d - 2[(b^2/6) + (d^2/6)]$$

A_c : συνολική περιοχή περισφιγμένου σκυροδέματος και δίνεται ως:

$$A_c = b*d - A_s \quad (\text{το } A_s \text{ μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο)}$$

A_s : εμβαδόν διαμήκουσ όπλισμού

Για το λόγο αυτό για ένα τετραγωνικό υποστύλωμα όπου $b=d$ $\alpha_n=1/3$ και για κυκλικό $\alpha_n=1.0$. έτσι αποδεικνύεται ότι η εφαρμογή περίσφιγξης σε κυκλικά υποστυλώματα είναι περισσότερο αποτελεσματική εν σύγκριση με υποστυλώματα ορθογωνικής ή τετραγωνικής διατομής.

Η τιμή του α_s εκτιμάται λογαριάζοντας τη δράση λυγισμού καθ' ύψος και λαμβάνοντας υπ' όψη την καθαρή απόσταση μεταξύ των συνδετήρων. Η απόσταση αυτή χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό όπως υποδεικνύεται στον EC8 για τις εφαρμογές. Δίνεται από τη σχέση :

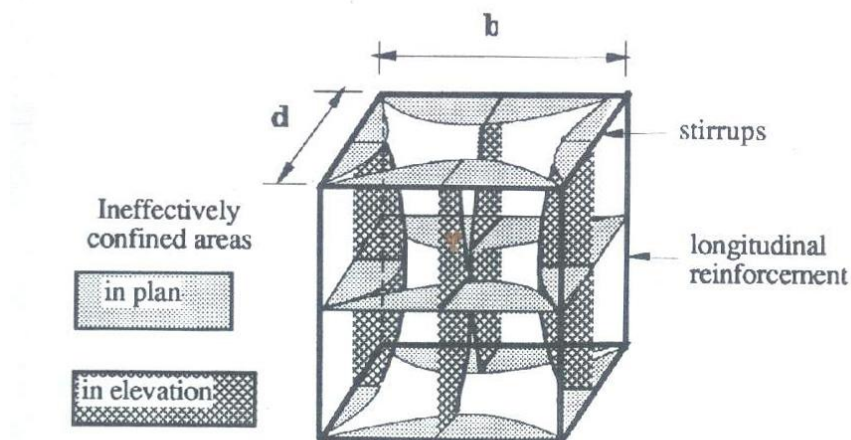
$$\alpha_s = A_e / A_c \quad \text{σχέση \{12\}}$$

όπου

$$A_e = \left(\frac{b-s}{2} \right) \left(\frac{d-s}{2} \right)$$

$$A_c = bd \quad (\text{συνολική διατομή})$$

Για ολόσωμους μανδύες είτε από χάλυβα είτε από FRP $\alpha_s=1.0$



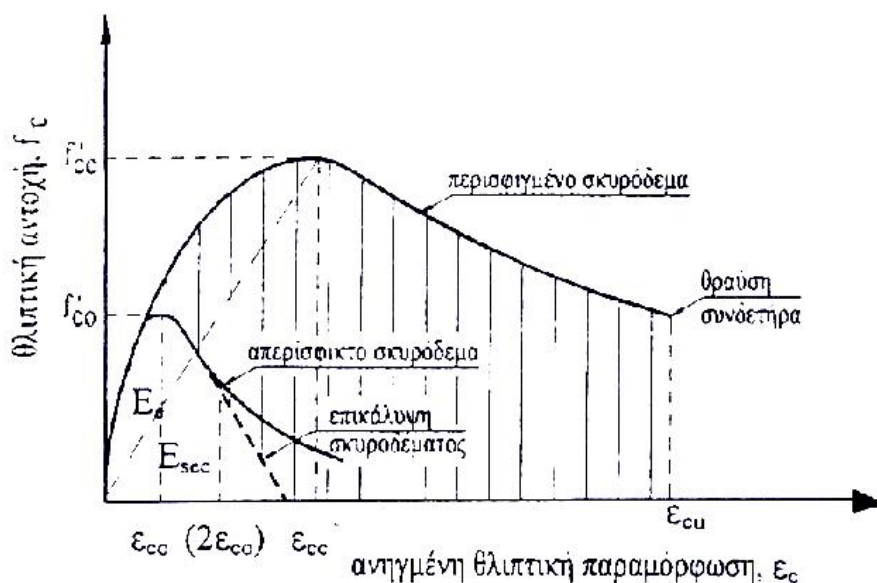
Σχ.8

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η επιλογή ενός υλικού ή μιας από τις τεχνικές της επιβολής εξωτερικής περίσφιγξης ως άριστη, είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί. Τα τελικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται για το υποστύλωμα, το μέγεθος των βλαβών που αυτό μπορεί να έχει υποστεί, το κόστος του κάθε υλικού αλλά και τεχνικής και η απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού, είναι σημαντικές παράμετροι που πρέπει να λαμβάνονται υπ'οψηφ και συνδυάσθηκα να καθορίζουν την μέθοδο.

Τα ινοπλισμένα πολυμερή παρουσιάζουν αυξημένη αντοχή και προσδίδουν μεγάλη παραμορφωσιμότητα στο στοιχείο χωρίς να μεταβάλλουν την γεωμετρία και να αυξάνουν τη δυσκαμψία του, έναντι του χάλυβα που συγκριτικά υστερεί σε αντοχή και πλαστικότητα. Όμως και σύγκριση μεταξύ των σύνθετων υλικών αποδεικνύει τα διαφορετικά χαρακτηριστικά τους. Έτσι για το FRP με ίνες γυαλιού η αντοχή είναι μεγαλύτερη απ'ότι με ίνες άνθρακα. Όμως ο άνθρακας έχει μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας όποτε στην περίπτωση του απαιτείται μικρότερο πάχος οπλισμού. Οι ίνες γυαλιού έχουν μεγαλύτερη παραμορφωσιμότητα η οποία όμως σπανίως επιτυγχάνεται λόγω πρόωρων αποκολλήσεων. Σημαντικές είναι και οι διαφορές που παρατηρούνται από τεχνική σε τεχνική. Έτσι αποτελεσματικότερος παρουσιάζεται ο σπειροειδής οπλισμός είτε από χάλυβα είτε από FRP. Σύγκριση μεταξύ λωρίδων και μανδύα αποδεικνύει ότι ο μανδύας προσδίδει μεγαλύτερη θλιπτική αντοχή στο υποστύλωμα όπως φαίνεται στο Σχ.5. Η χρήση μεταλλικού κλωβού είναι εύκολη και ταχύτερη στην εφαρμογή της γι'αυτό και προτιμάται συχνότερα. Ανταγωνιστικά όμως δρα και η εφαρμογή λωρίδων γιατί μπορεί να γίνει σε μικρό χρονικό διάστημα και με ελάχιστη παραγωγή σκόνης και θορύβου. Μειονέκτημα της είναι η χρησιμοποίηση ειδικευμένου προσωπικού και η ανάγκη μεγάλης προσοχής στην εκτέλεση. Οι δυο αυτοί παράγοντες είναι εξίσου σημαντικοί και για την περίσφιγξη με φύλλα από FRP που ως νέο υλικό, η διαδικασία εφαρμογής του δεν είναι ευρέως γνωστή στους τεχνικούς. Παρ'όλ'αυτά χαρακτηρίζεται από μεγάλη ευκολία, ευελιξία και ταχύτητα εφαρμογής.

Όσον αφορά το κόστος είναι προφανής η διάφορα στην τιμή των σύνθετων υλικών έναντι του χάλυβα λόγω της μειωμένης χρήσης και επομένως μειωμένης παραγωγής τους. Η απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού αποτελεί προσθετή επιβάρυνση στο κόστος για την εφαρμογή λωρίδων και FRP. Βέβαια τα δεδομένα αυτά αλλάζουν συνεχώς εφόσον σήμερα οι εφαρμογές των σύνθετων υλικών αριθμούνται σε περίπου 6000-7000 διεθνώς και σε πολλές δεκάδες στη χώρα μας, ενώ συνεχίζουν να αυξάνουν ραγδαία.



Σχ.9

6. ANTI ΕΠΙΛΟΓΟΥ

Η εξωτερική περίσφιξη είναι ιδιαίτερα σημαντική για την ενίσχυση υποστυλωμάτων ανεξάρτητα της επιβαλλόμενης τεχνικής και του επιλεγμένου υλικού Σχ.9. Δίνει λύσεις σε πολλές περιπτώσεις αρκεί να γίνεται σωστή εκτίμηση των απαιτήσεων του υπό βλάβη στοιχείου, να ακολουθούνται οι κατασκευαστικές διατάξεις και να αποφεύγονται οι κακοτεχνίες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Van Gemert, Κουντούρης, Πολυζωίδης «Μέθοδος διαστασιολόγησης ενισχύσεως στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα με χαλύβδινα επικολλητά ελάσματα» 7^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Σκυροδέματος.
2. Τριανταφύλλου «Προηγμένες τεχνολογίες υλικών και κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα» Πάτρα 2000
3. Δρίτσος «Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα» Πάτρα 2000
4. Χρονόπουλος «Συστάσεις και πρακτικοί κανόνες για τον επανέλεγχο επισκευασμένων/ενισχυμένων υποστυλωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα» 7^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Σκυροδέματος
5. Harmon, Slattery, Ramakrishnan «The effect of confinement stiffness on confined concrete» Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures.
6. Saadatmanesh «Wrapping with composite materials» Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures.
7. Kobayashi , Fujisaki «Compressive behaviour of FRP reinforcement in non-prestressed concrete members» Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures.
8. Φράγκου, Πιλακούτας «Ενίσχυση γραμμικών στοιχείων από Ο.Σ. με περιφερειακή περίσφιξη» 12^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Σκυροδέματος.
9. Δημόπουλος, Κιούσης, Καραμπίνης «Αποτελεσματικότητα του οπλισμού περίσφιξης σε στοιχεία σκυροδέματος» 13^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Σκυροδέματος.
10. Τσώνος, Στυλιανίδης «Προσεισμική και μετασεισμική ενίσχυση δομικών υποσυνόλων Ο.Σ. με χρήση FRP» 13^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Σκυροδέματος.
11. Τριανταφύλλου «Ενισχύσεις κατασκευών με σύνθετα υλικά» Δελτίο Σ.Π.Μ.Ε 2000
12. Ma, Xiao, Li «Full scale testing of a parking structure column retrofitted with carbon fiber reinforced composites» Construction and Building MATERIALS . Volume 14 no.2 2000.
13. Fragou, Pilakoutas, Dritsos «Structural repair–strengthening of RC columns» Construction and Building MATERIALS . Volume 9 no.5 1995.