

## ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ Γ ΜΕ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ

**ΚΑΡΙΝΙΩΤΑΚΗΣ ΚΩΣΤΑΣ**

### Περίληψη

Στην παρούσα εργασία περιγράφονται συνοπτικά οι δοκιμές που έγιναν σε στοιχεία σκυροδέματος διατομής Γ, περισφιγμένα με ινοπλισμένα πολυμερή και παρατίθενται τα πειραματικά αποτελέσματα των δοκιμών αυτών. Ακόμη, γίνεται αναφορά στον μηχανισμό περισφιγξης του σκυροδέματος συναρτήσει της διατομής των δοκιμών. Τέλος, παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα δοκιμών για διαφορετικές διατομές και συγκρίνεται η απόδοση της περισφιγξης τους με αυτήν των διατομών Γ της παρούσας εργασίας.

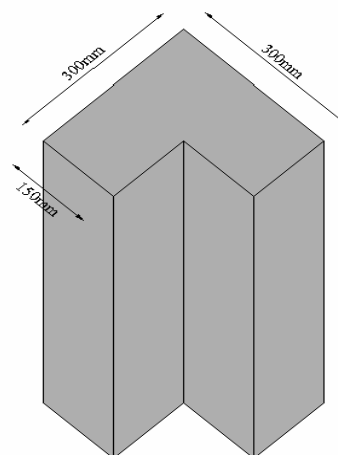
### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια η χρήση των ινοπλισμένων πολυμερών (ΙΟΠ), σε επεμβάσεις και ενισχύσεις υφισταμένων κτιρίων, αυξάνεται συνεχώς. Μια από τις σημαντικότερες εφαρμογές τους είναι η περισφιγξη στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η χρήση των ΙΟΠ έναντι των παραδοσιακών μεθόδων (μανδύες) αποδίδεται κυρίως στο σχετικά χαμηλό κόστος και την ευκολία εφαρμογής.

Η πειραματική διερεύνηση όσο αναφορά την περισφιξη υποστυλωμάτων με ΙΟΠ, περιορίζεται κυρίως σε δομικά στοιχεία κυκλικής διατομής. Μικρότερος είναι ο αριθμός των δοκιμών τετραγωνικής διατομής και περισσότερο περιορισμένος ο αριθμός των ορθογωνικών διατομών. Στοιχεία για διατομές σχήματος Γ, οι οποίες είναι αρκετά συνηθισμένες σε γωνιακά κυρίως υποστυλώματα, δεν διατίθενται. Πρόγραμμα δοκιμών που γίνεται στο ΕΜΠ (Ε.Βιντζηλαίου)<sup>4</sup>, μελετά την περισφιξη στοιχείων σκυροδέματος διατομής Γ. Παράλληλα εξετάζονται δοκίμια ορθογωνικής διατομής για διάφορους λόγους πλευρών.

### 2. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ<sup>4</sup>

- Οι διαστάσεις των δοκιμών ήταν 2 x 150 x 300 mm, με ύψος διπλάσιο του μήκους της μεγάλης πλευράς δηλ. 600 mm. Τα δοκίμια ήταν άοπλο σκυρόδεμα.
- Για την αποφυγή της πρόωρης αστοχίας του ΙΟΠ στις θέσεις των γωνιών, έγινε στρογγύλευση όλων των εξεχουσών γωνιών διαμέτρου 25.4 mm.
- Το σκυρόδεμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν χαμηλής αντοχής,  $f_c=13$  MPa.
- Για την περισφιξη χρησιμοποιήθηκαν ίνες άνθρακα και ίνες ύαλου, μιας διεύθυνσης.

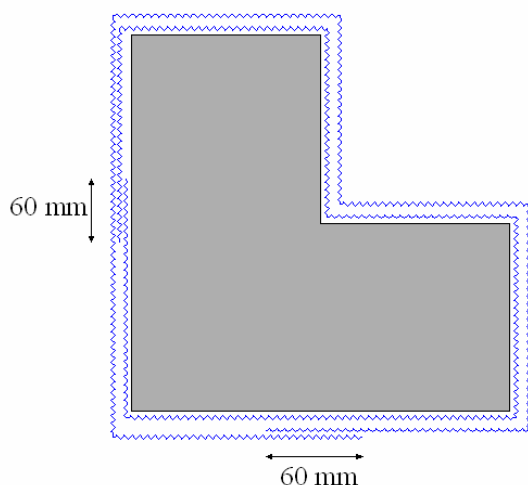


Σχ. 1

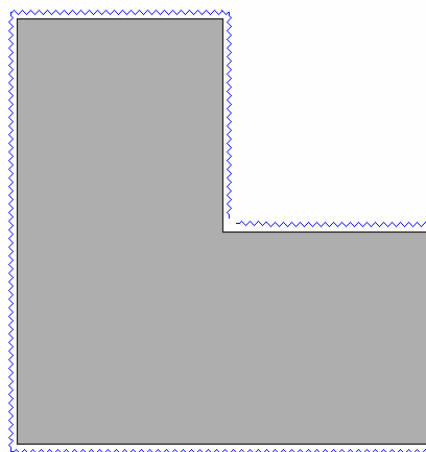
Σχ. 2 Χαρακτηριστικά των υλικών περισφίξεως

Είδος ινών	Πάχος (mm)	Εφελκυστική αντοχή (MPa)	Μέτρο ελαστικότητας (Gra)
άνθρακας	0.13	3500	230
ύαλος	0.17	2250	70

Η τοποθέτηση των υφασμάτων έγινε με δύο εναλλακτικούς τρόπους. Κατά τον τρόπο τοποθέτησεως I, το ύφασμα τυλίσσεται γύρω από την διατομή και το τέλος του με την αρχή αλληλεπικαλύπτονται κατά 60 mm (Σχ.3). Στην περίπτωση των δοκιμών με περισσότερες από μια στρώσεις, η αλληλοεπικάλυψη γίνεται εναλλάξ στις εξωτερικές πλευρές. Κατά τον τρόπο τοποθέτησεως II, το σύνθετο υλικό τυλίσσεται γύρω από την διατομή και τα δύο άκρα του απλώς συναντώνται στην εισέχουσα γωνία της διατομής (Σχ.4). Αναμενόμενη είναι η πτωχή συμπεριφορά των δοκιμών με τύπο αγκύρωσης II.



Σχ. 3 Τρόπος τοποθέτησης I



Σχ. 4 Τρόπος τοποθέτησης II

Για κάθε συνδυασμό παραμέτρων εξετάστηκαν 3 δοκίμια. Επίσης προβλέφθηκαν και 3 δοκίμια αναφοράς (A) χωρίς περίσφιξη.

Οι παράμετροι των δοκιμών ήταν : το υλικό περίσφιξης, ο τύπος αγκύρωσης και οι στρώσεις του ΙΟΠ που χρησιμοποιήθηκαν.

Συγκεκριμένα δοκιμάστηκαν τα εξής δοκίμια:

Όνομα	Είδος ινών	Πλήθος στρώσεων
A	-	-
AC2I	άνθρακας	2
AC2II	άνθρακας	2
AC4I	άνθρακας	4
AG5I	ύαλος	5
AG5II	ύαλος	5

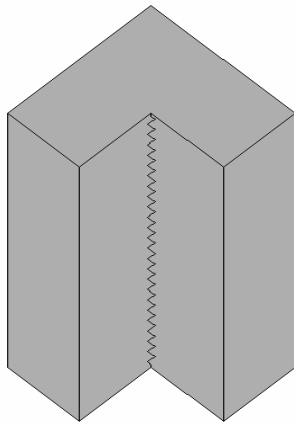
Όνομα ομάδας πειραμάτων (A) ; ίνες υφάσματος (C-carbon, G-glass) ; αριθμός στρώσεων (2,4,5) ; τύπος αγκύρωσης ΙΟΠ (I,II)

### 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

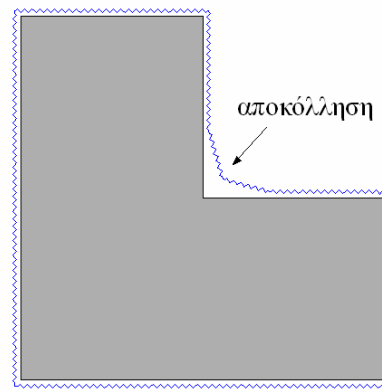
Στα δοκίμια χωρίς περίσφιξη, κατά την αστοχία, παρατηρήθηκε κατακόρυφη ρωγμή στην εισέχουσα γωνία (Σχ.5).

Στα περισφιγμένα δοκίμια, τύπου αγκύρωσης I, παρατηρήθηκε αποκόλληση του ΙΟΠ από το σκυρόδεμα στην εισέχουσα γωνία (Σχ.6,7), καθ' όλο το ύψος του δοκιμίου. Ακολούθησε η αστοχία του σκυροδέματος. Παρόμοια ήταν τα αποτελέσματα για τον τύπο αγκύρωσης II.

Λόγω της πρόωρης αποκόλλησης του ΙΟΠ από το σκυρόδεμα (Σχ.6,7), δεν επιτρέπεται η ουσιαστική αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, ούτε της ανηγμένης θλιπτικής παραμόρφωσης.



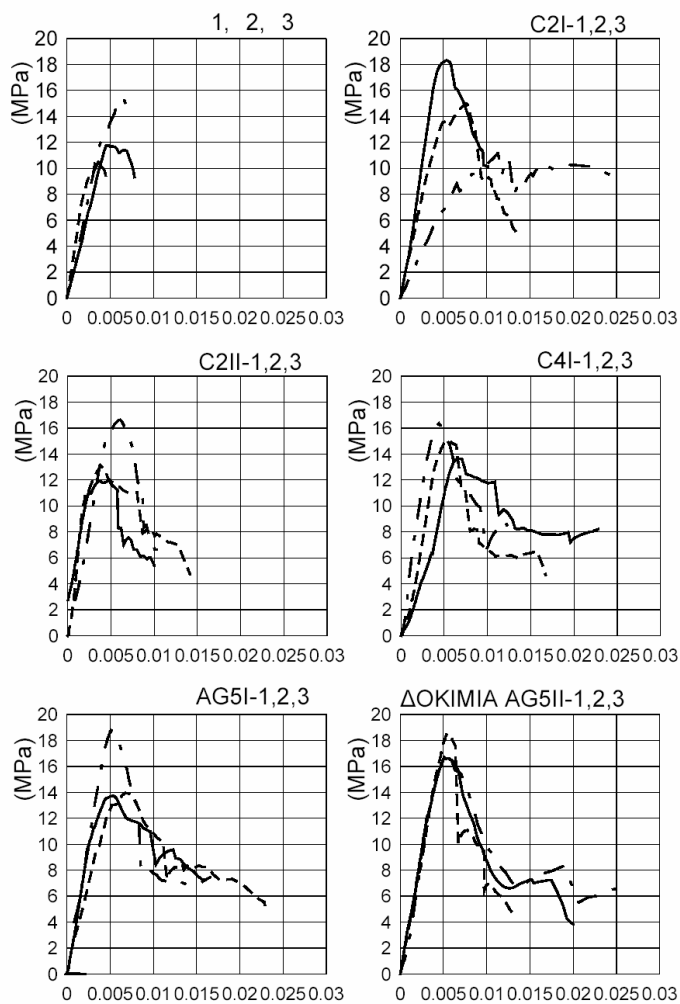
Σχ. 5 Αστοχία απερίσφιγκτου δοκιμίου



Σχ. 6 Αποκόλληση ΙΟΠ



Σχ. 7 Αποκόλληση ΙΟΠ<sup>4</sup>



Σχ. 8 Διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων<sup>4</sup>

Σχ. 9

Όνομα	Μέγιστη τάση (MPa)	Παραμόρφωση κατά τη μέγιστη τάση(‰)	% αύξησης αντοχής
A	12.4	5.0	-
AC2I	14.7	7.8	19
AC2II	13.8	5.2	11
AC4I	15.0	5.5	21
AG5I	15.5	5.7	25
AG5II	17.3	5.5	40

(Οι τιμές έχουν βρεθεί γραφικά από τα διαγράμματα)

Από τα παραπάνω αποτελέσματα των πειραμάτων, παρατηρείται πως οι θλιπτικές αντοχές που μετρήθηκαν έχουν μέση τιμή 15.26 MPa (μικρή αύξηση αντοχής) και μεγάλη διασπορά. Έτσι η περίσφιξη διατομών Γ με σύνθετα υλικά είναι πρακτικώς αναποτελεσματική και για τους 2 τρόπους τοποθέτησης.




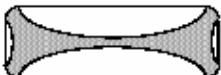

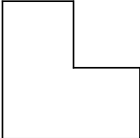
Πιθανόν με την εξασφάλιση πρόσθετης αγκύρωσης των ΙΟΠ στην εισέχουσα γωνία, θα μπορούσε να είναι αποδοτική η περίσφιξη.

Η τιμή της παραμόρφωσης αστοχίας είναι χαμηλή και ανεξάρτητη του τρόπου τοποθέτησης.

#### 4. ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Με την χρήση των ΙΟΠ στην περίσφιξη δομικών στοιχείων, αυξάνουμε την αντοχή του σκυροδέματος καθώς και βελτιώνουμε τα χαρακτηριστικά πλαστιμότητάς τους.

Τα πειράματα που έχουν γίνει σε κυλινδρικά δοκίμια είναι πολύ θετικά, καθώς το σύνολο του στοιχείου που περιβάλλεται από το ΙΟΠ βρίσκεται υπό συνθήκες τριαξονικής θλίψεως. Αντιθέτως στην περίπτωση ορθογωνικών διατομών, η λειτουργία των ΙΟΠ είναι παρόμοια με την λειτουργία των συνδετήρων. Παρατηρείται μεγάλη συγκέντρωση τάσεων στις γωνίες (έστω και στρογγυλεμένες) που οδηγεί στην θραύση του υφάσματος υπό παραμόρφωση μικρότερη από αυτήν της αστοχίας του. Έτσι τμήμα μόνο της διατομής βρίσκεται τριαξονική θλίψη, το οποίο τμήμα μειώνεται αυξανόμενου του λόγου των πλευρών της διατομής.

	<i>Λόγος πλευρών</i>	$\alpha_n$
		1
	1:1	0.4-0.5
	1:2	0.33
	1:3	0.19
	1:5	$\approx 0$
		$\approx 0$

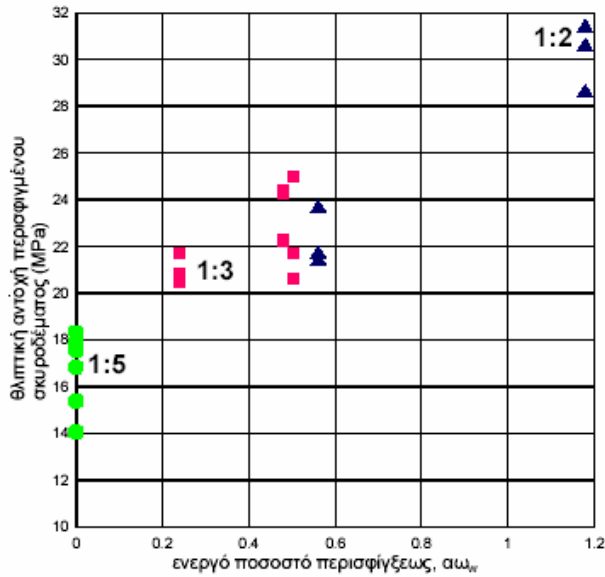
Σχ. 10 Αποδοτικότητα περισφίξεως μέσω ΙΟΠ<sup>1</sup>

Όπως είναι γνωστό και από τις δοκιμές στοιχείων κυκλικής ή τετραγωνικής διατομής, η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος αυξάνεται αυξανόμενου του ενεργού ποσοστού περισφίξεως ( $\alpha_w$ )

όπου  $\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s$  με  $\alpha_s=1$  (συνεχής μανδύας)

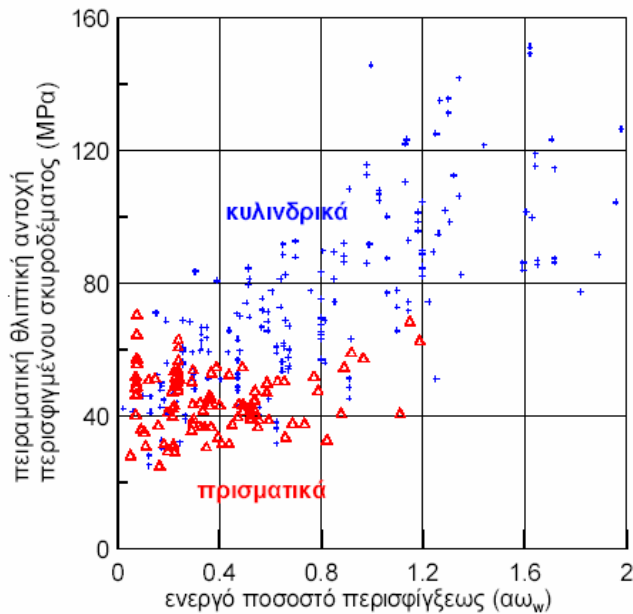
**5. ΑΛΛΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

Στο ίδιο πρόγραμμα δοκιμών (ΕΜΠ) εξετάστηκαν στοιχεία ορθογωνικής διατομής με λόγο πλευρών 1:2,1:3,1:5. Παρατίθεται το διάγραμμα θλιπτικής αντοχής περισιφιγμένου σκυροδέματος συναρτήσει του ποσοστού περισιφίξεως που σχεδίασε η ομάδα μελέτης των πειραμάτων :



Σχ. 11 Θλιπτική αντοχή περισιφιγμένου σκυροδέματος συναρτήσει του % περισιφίξεως (σημειώνεται ο λόγος των πλευρών)<sup>1</sup>

Ακολουθεί παρόμοιο διάγραμμα παλαιότερων δημοσιευμένων εργασιών για κυλινδρικά και πρισματικά δοκίμια :



Σχ. 12 Μεταβολή της θλιπτικής αντοχής πειραματιμένου σκυροδέματος συναρτήσει του % περισιφίξεως

**ΔΟΚΙΜΙΑ**

- Κυλινδρικής διατομής (Μάνος, Σταύρου, Κουρτίδης, Μητσαράκης, Δημοσθένους)<sup>2</sup>  
 $E_c = 223 \text{ GPa}$ ,  $\sigma_u = 2014 \text{ MPa} \Rightarrow \varepsilon = 1 \%$  (το ΙΟΠ φέρεται ελαστικά μέχρι την θραύση του)  
 B,C: κυλινδρικό δοκίμιο 150x300 mm

Σχ. 13

Όνομα	Μέγιστη τάση (MPa)	Παραμόρφωση κατά τη μέγιστη τάση (‰)	% αύξησης αντοχής
B	26.1	6.0	-
BC1	54.9	6.3	110
BC2	78.8	13.5	202
C	29.7	2.0	-
CC1	53.0	14.0	78
CC2	86.0	27.5	190

- Τετραγωνικής διατομής (Καραμπίνης, Ρουσακής)<sup>3</sup>  
 $E_c = 240 \text{ GPa}$ ,  $\varepsilon = 1.6 \%$   $\Rightarrow \sigma_u = 3840 \text{ MPa}$   $E_G = 65 \text{ GPa}$ ,  $\varepsilon = 2.8 \%$   $\Rightarrow \sigma_u = 1820 \text{ MPa}$   
 K: τετραγωνικό δοκίμιο 200x200 mm

Σχ. 14

Όνομα	Μέγιστη τάση (MPa)	Παραμόρφωση κατά τη μέγιστη τάση (‰)	% αύξησης αντοχής
K	33.0	1.7	-
KC1	38.4	4.5	16
KC3	45.9	7.7	39
KC5	55.6	11	68
KG3	42.6	4.2	29
KG6	44.4	7.7	35
KG9	51.9	10.4	57

- Ορθογωνικής διατομής (Βιντζηλαίου, Σιγάλας)<sup>4</sup>  
 P2 : ορθογωνικό δοκίμιο (λόγος πλευρών 1:2) 120x255 mm  
 P3 : ορθογωνικό δοκίμιο (λόγος πλευρών 1:3) 120x350 mm  
 $E_c = 230 \text{ GPa}$ ,  $\sigma_u = 3500 \text{ MPa}$ ,  $E_G = 70 \text{ GPa}$ ,  $\sigma_u = 2250 \text{ MPa}$

Σχ. 15

Όνομα	Μέγιστη τάση (MPa)	Παραμόρφωση κατά τη μέγιστη τάση (‰)	% αύξησης αντοχής
P2	13.5	6	-
P2C2	22.3	27	94
P2G5	30.3	42	124
P3	15.3	6	-
P3C2	21.0	7.5	37
P3C4	22.3	9	46
P3G5	25.6	5	67

(Οι τιμές έχουν βρεθεί γραφικά από τα διαγράμματα)

Τα παραπάνω πειραματικά αποτελέσματα (Σχ.9,13,14,15) δεν μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους λόγω του ότι η ποιότητα του σκυροδέματος διαφέρει σε κάθε περίπτωση. Και γνωρίζουμε πως η περίσφιξη είναι αντιστρόφως ανάλογη της αντοχής του σκυροδέματος για ίδια ποσοστά περισφίξεως.

Ποιοτικά όμως μπορούμε να παρατηρήσουμε την μείωση της αποδοτικότητας του ΙΟΠ όσο μειώνεται το ποσοστό περισφίξεως όπως αναφέραμε παραπάνω. Εκτός όμως από τα δοκίμια τετραγωνικής διατομής (Σχ.14), τα οποία σε σχέση με αυτά της ορθογωνικής διατομής εμφανίζουν μικρότερη απόδοση ενώ θα έπρεπε να συμβαίνει το αντίθετο. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι τα πολύ μεγάλης αντοχής δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν σε σχέση με αυτά των ορθογωνικών.

Μπορούμε να συγκρίνουμε όμως τα αποτελέσματα από τα δοκίμια ορθογωνικής διατομής και διατομής Γ (Σχ.9,15) που προέρχονται από το ίδιο πρόγραμμα πειραμάτων με ίδια χαρακτηριστικά υλικών.

Τα δοκίμια P2C2, P3C2, AC2I που αντιστοιχούν σε λόγο πλευρών 1:2,1:3, διατομή Γ με 2 στρώσεις ανθρακούφασματος, παρουσιάζουν αντίστοιχα % αύξησης αντοχής 94,37,19. Βλέπουμε πως όσο αυξάνεται ο λόγος των πλευρών, μειώνεται η αποδοτικότητα της περισφίξης (συντελεστής  $a_n$ ) με αποτέλεσμα την μείωση της ενεργού περισφίξεως. Άρα μειώνεται και η αύξηση της αντοχής, για σταθερή τιμή του ογκομετρικού μηχανικού ποσοστού περισφίξεως.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- α. Λόγω της πρόωρης αποκόλλησης των ΙΟΠ από το σκυρόδεμα σε στοιχεία διατομής Γ, η αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος είναι πολύ μικρή. Έτσι εφ' όσον δεν έχει γίνει πρόσθετη αγκύρωση, η χρήση των ΙΟΠ είναι αναποτελεσματική.
- β. Η μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών του σκυροδέματος (αντοχή, πλαστιμότητα) μετά από περισφίξη, εξαρτάται από τον λόγο των πλευρών της διατομής. Η αποδοτικότητα των ΙΟΠ μειώνεται αυξανόμενου του λόγου των πλευρών.
- γ. Η τιμή της παραμόρφωσης αστοχίας στα στοιχεία διατομής Γ είναι χαμηλή και ανεξάρτητη του τρόπου τοποθέτησης του ΙΟΠ.
- δ. Η αποτελεσματικότητα της περισφίξεως είναι αντιστρόφως ανάλογη της αντοχής του σκυροδέματος.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Τα ινοπλισμένα πολυμερή στις επεμβάσεις σε κατασκευές από ωπλισμένο σκυρόδεμα, Ε.Βιντζηλαίου, 14<sup>ο</sup> Συνέδριο σκυροδέματος 2003 (Κως)
2. Πειραματική και υπολογιστική διερεύνηση της επισκευής και ενίσχυσης δομικών στοιχείων Ο/Σ με τη χρήση ινοπλισμένων πολυμερών, Γ.Χ.Μάνος, Δ.Σ.Σταύρου, Β.Κουρτίδης, Χ.Μητσαράκης, Μ.Δημοσθένους, 14<sup>ο</sup> Συνέδριο σκυροδέματος 2003 (Κως)
3. Στοιχεία σκυροδέματος τετραγωνικής διατομής περισφιγμένα με σύνθετα υφάσματα, Α.Ι.Καραμπίνης, Θ.Χ.Ρουσάκης, 14<sup>ο</sup> Συνέδριο σκυροδέματος 2003 (Κως)
4. Περίσφιξη στοιχείων σκυροδέματος διατομής Γ ή ορθογωνικής διατομής μέσω ινοπλισμένων πολυμερών, Ε.Βιντζηλαίου, Ε.Σιγάλας, 14<sup>ο</sup> Συνέδριο σκυροδέματος 2003 (Κως)