



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

---

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

‘Θεωρητική διερεύνηση εφαρμογής  
ινοπλισμένων πολυμερών στην  
περίσφιγξη κυλίνδρων σκυροδέματος’

Παπαϊωάννου Θ. Αγγελική

Βόλος, Νοέμβριος 2008



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 6816/1

Ημερ. Εισ.: 13-03-2009

Δωρεά: Συγγραφέας

Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΠΜ

2009

ΠΑΠ



“ Θεωρητική διερεύνηση εφαρμογής  
ινοπλισμένων πολυμερών στην περίσφιγξη  
κυλίνδρων σκυροδέματος ”

**Φοιτήτρια: Παπαϊωάννου Αγγελική**

**Επιβλέπουσα:** Μωρέττη Μαρίνα, Επίκουρος Καθηγήτρια Π.Θ.

**Εξεταστική επιτροπή:**

Μωρέττη Μαρίνα, Επίκουρος Καθηγήτρια Π.Θ.

Περδικάρης Φίλιππος, Καθηγητής Π.Θ.

Τσόπελας Παναγιώτης, Αναπληρωτής Καθηγητής Π.Θ.

**Βόλος, Νοέμβριος 2008**

## Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

### Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο εργασίας.....	1
1.2 Περί ινοπλισμένων πολυμερών.....	1
1.3 Υλικά.....	3
1.3.1 Ύνες.....	3
1.3.1α Ύνες γυαλιού.....	3
1.3.1β Ύνες άνθρακα.....	4
1.3.1γ Ύνες αραμιδίου.....	5
1.3.2 Μήτρες σύνθετων υλικών.....	7
1.3.3 Τρόπος παρασκευής σύνθετου υφάσματος.....	8
1.3.4 Κόλλες για την εφαρμογή των σύνθετων υλικών.....	10
1.4 Τρόπος εφαρμογής ινοπλισμένων πολυμερών.....	10
1.5 Μηχανικές ιδιότητες ινοπλισμένων πολυμερών.....	11
1.6 Φυσικές ιδιότητες ινοπλισμένων πολυμερών.....	12
1.7 Παράμετροι που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα των σύνθετων υλικών.....	13
1.8 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα.....	14
1.9 Ενίσχυση έναντι κάμψη.....	16
1.10 Ενίσχυση έναντι τέμνουσας.....	17
1.11 Εφαρμογή περίσφιγξης μέσω ινοπλισμένων πολυμερών.....	19
1.11.1 Περίσφιγξη σκυροδέματος με συμβατικό σπλισμό.....	19
1.11.2 Περίσφιγξη σκυροδέματος με ινοπλισμένα πολυμερή.....	22

### Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ ΜΕΣΩ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΣΕ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥΣ ΥΠΟ ΑΞΟΝΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ

2.1 Γενικά.....	27
2.2 Προσομοίωμα Samaan et al (1998).....	27
2.3 Προσομοίωμα H.Toutanji (1999).....	33
2.4 Προσομοίωμα fib (2001).....	41
2.5 Προσομοίωμα Wu – Lü - Wu (2006).....	45
2.6 Άλλα προσομοιώματα.....	54

### 1.1 Αντικείμενο εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της εφαρμογής ινοπλισμένων πολυμερών στην περίσφιγξη κυλίνδρων σκυροδέματος. Εξετάζονται τα αποτελέσματα πέντε πειραματικών διαδικασιών, καθώς και αναλυτικά προσομοιώματα που εφαρμόζονται σε κυλίνδρους σκυροδέματος ενισχυμένων με ΙΟΠ. Στην συνέχεια γίνεται σύγκριση των προβλέψεων των αναλυτικών προσομοιωμάτων με τα πειραματικά αποτελέσματα.

Η ανάπτυξη προσομοιωμάτων για ενίσχυση με ΙΟΠ είναι ακόμη σχετικά καινούριο αντικείμενο και δεν υπάρχει ευρέως αποδεκτό προσομοίωμα αναλυτικών προβλέψεων. Έτσι, λοιπόν, σκοπός μας σε αυτή την εργασία είναι ο προσδιορισμός της ακρίβειας των προτεινόμενων προσομοιωμάτων στην πρόβλεψη της αντοχής και της παραμόρφωσης θραύσης των ενισχυμένων κυλίνδρων. Θα γίνει παρακάτω η παρουσίαση τεσσάρων διαφορετικών προσομοιωμάτων που έχουν κατα καιρούς προταθεί στην διεθνή βιβλιογραφία και των αποτελεσμάτων πέντε πειραματικών ερευνών.

### 1.2 Περί ινοπλισμένων πολυμερών

Η χρήση φύλλων ινοπλισμένων πολυμερών αποτελεί την πιο σύγχρονη τεχνική στην αποκατάσταση ή ενίσχυση της φέρουσας ικανότητας κατασκευών. Ουσιαστικά είναι η εξέλιξη της τεχνικής των χαλύβδινων επικολλητών ελασμάτων, υπερκαλύπτοντας τις αδυναμίες αυτής της τεχνικής καθώς απαιτούσε σημαντικό χρόνο και κόπο για να εφαρμοστεί.

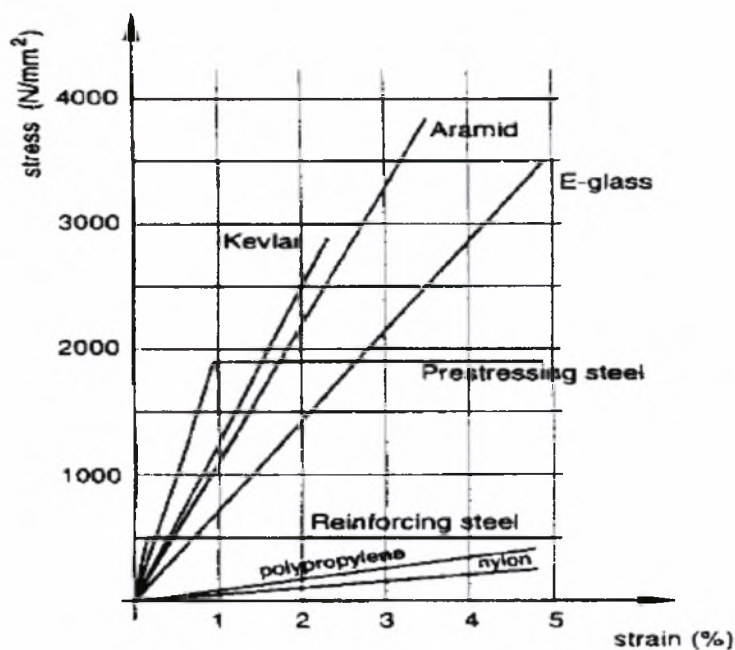
Τα ΙΟΠ κυρίως εφαρμόζονται σε δύο τύπους. Ο ένας είναι σε λεπτές στρώσεις φύλλων ΙΟΠ για επισκευές ή ενισχύσεις βλαμμένων υποστρωμάτων, κυρίως, σκυροδέματος. Ο άλλος είναι υπό μορφή σωλήνων για ανακατασκευή στοιχείων σκυροδέματος ή καινούριες κατασκευές. Η διαφορά μεταξύ των δύο τύπων είναι προφανής.

Στην περίπτωση επισκευής με μανδύα το σύνθετο υλικό εφαρμόζεται στην επιφάνεια ενός υπάρχοντος υποστρώματος και μόνο μια μικρή αξονική δύναμη μεταφέρεται στον μανδύα μέσω της συνάφειας ή της δύναμης της τριβής. Εξαιτίας αυτού τοποθετούνται κυρίως στην εγκάρσια διεύθυνση του προς ενίσχυση στοιχείου. Στην περίπτωση των σωλήνων, η αξονική δύναμη εφαρμόζεται κατευθείαν στον σωλήνα εκτός από τον σωλήνα σκυροδέματος.

Τα σχετικά καινούρια παραπάνω υλικά, είναι σύνθετα υλικά τα οποία αποτελούνται από ινώδη οπλισμένα πολυμερή εμποτισμένα σε ειδικές εποξικές, συνήθως, ρητίνες (μήτρες) ώστε να σχηματίζουν αντίστοιχα δύσκαμπτα ελάσματα ή εύκαμπτα υφάσματα μίας ή δύο διευθύνσεων ( Ινοπλισμένα Πολυμερή (ΙΟΠ) ή Fiber Reinforced Polymers (FRP)). Τα υφάσματα αυτά τοποθετούνται στις επιφάνειες των δομικών στοιχείων με προσανατολισμό ινών τέτοιο ώστε να παραλαμβάνουν εφελκυστικές δυνάμεις αποτελώντας εξωτερικό οπλισμό και μόνιμη ενίσχυση τους.

Οι βασικές αρχές για τον σχεδιασμό μανδύων ΙΟΠ είναι αντίστοιχες με αυτές των μεταλλικών μανδύων. Σε αντιπαράθεση όμως των παραπάνω συστημάτων ενίσχυσης, οι μανδύες από σύνθετα υλικά παρουσιάζουν εξαιρετικά υψηλή εφελκυστική αντοχή, ακόμη πιο σημαντικός είναι όμως ο υψηλός λόγος αντοχής προς βάρους και τέλος δεν πρέπει να παραλήψουμε την ευκολία τοποθέτησης που παρουσιάζουν αφού αυτό κυρίως είναι το γεγονός που τα καθιέρωσε στον τομέα των ενισχύσεων.

Παρά το γεγονός ότι παρουσιάζουν όλες τις παραπάνω βελτιωμένες ιδιότητες σε σχέση με τον χάλυβα (σχ. 1.2.1) η χρήση των ινοπλισμένων πολυμερών παρουσιάζεται επιφυλακτική κυρίως λόγω της έλλειψης κανονιστικού πλαισίου. Εξίσου σημαντικό μειονέκτημα όμως είναι και η γραμμικά ελαστική συμπεριφορά τους έως την θραύση, γεγονός που καθιστά απαγορευτική την χρήση τους σε περίπτωση μη ύπαρξης συμβατικού χάλυβα που θα εξασφαλίσει την πλάστικη συμπεριφορά του μέλους που πρόκειται να ενισχυθεί. Τέλος πρέπει να αναφερθεί το αυξημένο κόστος των σύνθετων υλικών σε σχέση με τον χάλυβα.



**Σχήμα 1.2.1:** Καμπύλη σ-ε για σύνθετα υλικά και χάλυβα (συμβατικό ή προεντεταμένο) [17]

## 1.3 Υλικά

### 1.3.1. Ίνες

Τα βασικά συστατικά των σύνθετων υλικών ως σύστημα ενίσχυσης είναι οι ίνες σε πολυμερική μήτρα και η κόλλα για την εφαρμογή τους στις επιφάνειες των μελών προς ενίσχυση. Οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες ίνες είναι:

#### 1.3.1α Ίνες γυαλιού

Πάνω από το 90% των ινών που χρησιμοποιούνται στην ενίσχυση είναι ίνες γυαλιού, αφού είναι υλικό φθινό, εύκολο στην παραγωγή και έχει υψηλή αντοχή και δυσκαμψία. Η μικρή πυκνότητα του, η ανθεκτικότητα του σε χημικά και η άριστη θερμική και ηλεκτρική μονωτική του ικανότητα καθώς και το γεγονός ότι δεν παρουσιάζει σημαντικές ερπυστικές παραμορφώσεις είναι μερικά από τα κύρια χαρακτηριστικά του.

Υπάρχουν 4 τύποι υαλονημάτων:

τύπου E με μειονέκτημα τη μείωση της αντοχής στο αλκαλικό περιβάλλον του σκυροδέματος,

τύπου C με μεγάλη αντοχή σε αλκαλικό περιβάλλον, [16]  
 τύπου S με υψηλή αντοχή και υψηλό μέτρο ελαστικότητας [14]



**Εικόνα 1.3.1:** Ίνες E-glass [16]

**Πίνακας 1.3.1:** Ιδιότητες υάλου–E και υάλου–S .[14]

Είδος Υαλονήματος	Εφελκυστική αντοχή σε MPa	Μέτρο Ελαστικότητας σε GPa	Επιμήκυνση Θραύσης (%)	Πυκνότητα g/cm <sup>3</sup>
Ύαλος-E	2000 - 3000	70 - 75	3.0 - 4.5	2.54
Ύαλος-S	3500 - 4800	85 - 90	4.5 - 5.5	2.48

### 1.3.1β Ίνες άνθρακα

Οι ίνες άνθρακα παρασκευάζονται συνήθως από πολυ-ακρυλο-νιτρίλιο ( polyacrylonitrile, PAN) ή πίσσα και χαρακτηρίζονται από υψηλή αντοχή και μέτρο ελαστικότητας, χαμηλή πυκνότητα και έχουν διάμετρο 5-8  $\mu\text{m}$ . Διακρίνονται σύμφωνα με τις χαρακτηριστικές τους ιδιότητες σε ίνες : υψηλής αντοχής (high strength HS), μέσου μέτρου ελαστικότητας (intermediate modulus IM), υψηλού μέτρου ελαστικότητας (high modulus HM) και πολύ υψηλού μέτρου ελαστικότητας. (ultra high modulus UHM).



Οι ίνες άνθρακα έχουν την υψηλότερη ειδική δυσκαμψία (**δυσκαμψία / πυκνότητα**) σε σχέση με τις άλλες ίνες και πολύ υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό και θλίψη καθώς επίσης είναι ανθεκτικές σε διάβρωση, ερπυσμό, κόπωση και σε υψηλές θερμοκρασίες. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωριστά ή από κοινού με τις ίνες γυαλιού ως υβρίδιο για να αυξηθεί η ακαμψία ενός δομικού μέλους



**Εικόνα 1.3.2:** Ίνες άνθρακα [16]

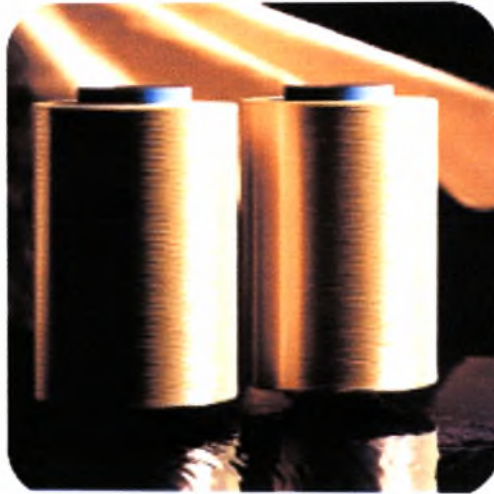
### 1.3.1γ Ίνες αραμιδίου

Οι ίνες αραμιδίου παρασκευάζονται από αρωματικά πολυαμίδια (μακριές πολυμερικές αλυσίδες με αρωματικούς δακτυλίους). Προσφέρουν καλές μηχανικές ιδιότητες σε χαμηλή πυκνότητα. Χαρακτηρίζονται από υψηλή εφελκυστική αντοχή, υψηλό μέτρο ελαστικότητας και χαμηλό βάρος. Η πυκνότητα των ινών αραμιδίου είναι μικρότερη από αυτή των ινών γυαλιού και άνθρακα. Έχουν υψηλή ανθεκτικότητα τόσο σε πυρκαγιά όσο και σε υψηλές θερμοκρασίες, καθώς επίσης είναι απρόσβλητες από οργανικούς διαλύτες

Η πιο επιτυχής οργανική ίνα που παρασκευάστηκε βιομηχανικά είναι εκείνη με την επωνυμία Kevlar.

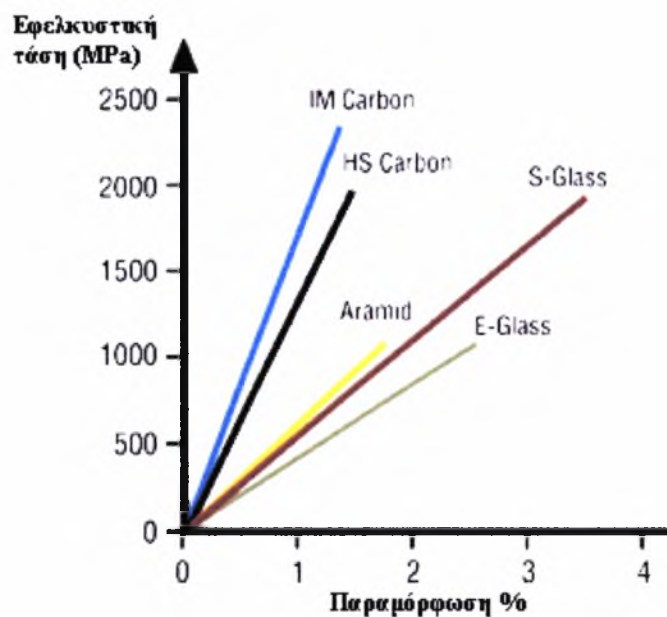
Τέλος υπάρχουν και άλλοι τύποι ινών που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές πολιτικού μηχανικού και είναι οι ακόλουθες: [14]

- Ίνες γραφίτη: παράγονται όπως οι ίνες άνθρακα με πυρόλυση

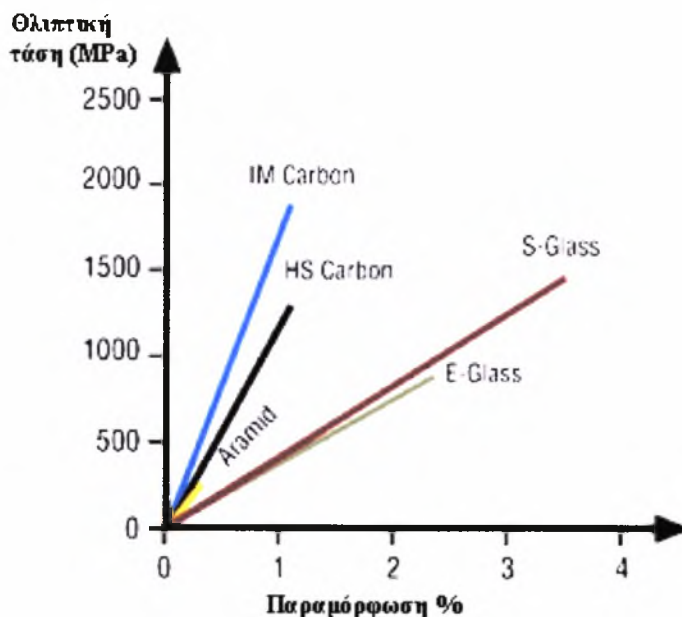


**Εικόνα 1.3.3:** Ίνες αραμιδίου [16]

- Ίνες βορίου: έχουν την μεγαλύτερη διάμετρο από όλες τις υπόλοιπες ίνες (0.05-0.2mm). Η αντοχή και η ακαμψία τους είναι μεγαλύτερες από αυτές των ινών γραφίτη.
- Ίνες από καρβίδιο του πυριτίου: Έχουν υψηλή αντοχή σε οξείδωση και ανθεκτικότητα στις υψηλές θερμοκρασίες.



**Σχήμα 1.3.1:** Συμπεριφορά σε εφελκυσμό διαφόρων τύπων ινών [16]



Σχήμα 1.3.2: Συμπεριφορά σε θλίψη διαφόρων τύπων ινών [16]

### 1.3.2 Μήτρες σύνθετων υλικών

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι πολυμερών που χρησιμοποιούνται ως μήτρες για την παραγωγή σύνθετων υλικών ινών: τα θερμοσκληρυνόμενα και τα θερμοπλαστικά. Τα θερμοσκληρυνόμενα χρησιμοποιούνται στον κλάδο των οικοδομικών και τεχνικών έργων και είναι οι εποξικές ρητίνες και σπανιότερα ο πολυεστέρας ή βινυλεστέρας.

Οι εποξικές ρητίνες υπερέχουν των άλλων τύπων μήτρας λόγω των εξαιρετικών μηχανικών χαρακτηριστικών και της μεγάλης ανθεκτικότητας σε δυσμενείς περιβαλλοντικές επιδράσεις. Προσφάτως έχουν γίνει προσπάθειες αντικατάστασης των πολυμερικών μητρών με υλικά βασισμένα στο τσιμέντο (τσιμεντο-κονιάματα τροποποιημένα με πολυμερή, TRM)

Πίνακας 1.3.2: Ιδιότητες ρητινών [14]

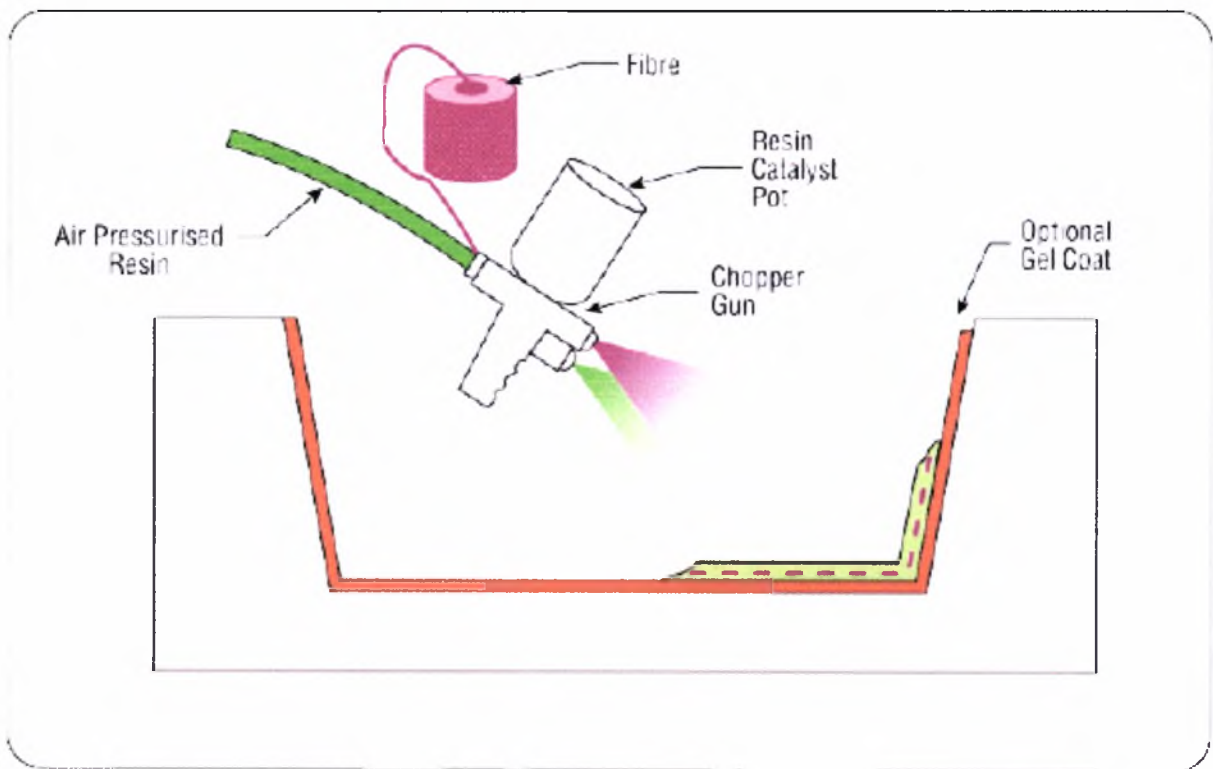
Είδος ρητίνης	Εφελκυστική αντοχή MPa	Μέτρο ελαστικότητας GPa	Επιμήκυνση Θράυσης (%)	Ποκνότητα g/cm <sup>3</sup>
Εποξική	55 - 130	2.0 - 4.5	4.0 - 14.0	1.2 - 1.3
Πολυεστερική	35 - 104	2.1 - 4.1	< 5.0	1.1 - 1.46
Βινυλεστερική	73 - 81	3.0 - 3.6	3.5 - 5.5	1.12 - 1.32

### 1.3.3 Τρόποι παρασκευής του σύνθετου υλικού

Τα σύνθετα υλικά έχουν διάφορες μορφές, ανάλογα με την μέθοδο κατασκευής τους. Οι πιο συνηθισμένες τεχνικές κατασκευής ινοπλισμένων πολυμερών είναι οι παρακάτω:

#### α) Εφαρμογή με ψεκασμό

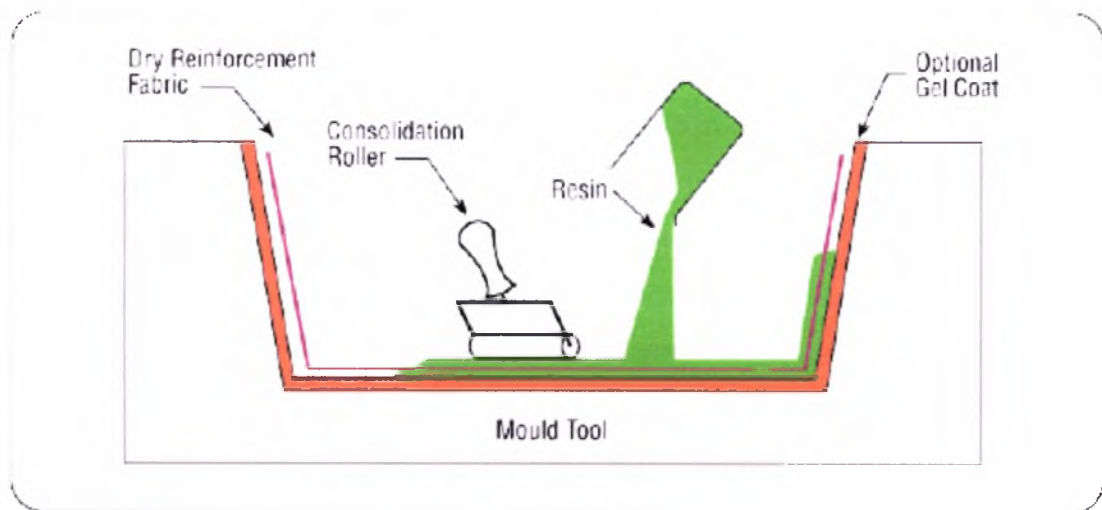
Οι ίνες κόβονται μέσα στο χειροκίνητο 'πιστόλι'(βλέπε Σχ 1.3.3) και στην συνέχεια τροφοδοτούνται μέσω της, ύπο μορφή σπρέι, ρητίνης κατευθείαν στο καλούπι. Το εναποτεθέν υλικό αφήνεται να ωριμάσει υπο κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες.



Σχήμα 1.3.3: Εφαρμογή με ψεκασμό [16]

#### β) Εφαρμογή με το χέρι

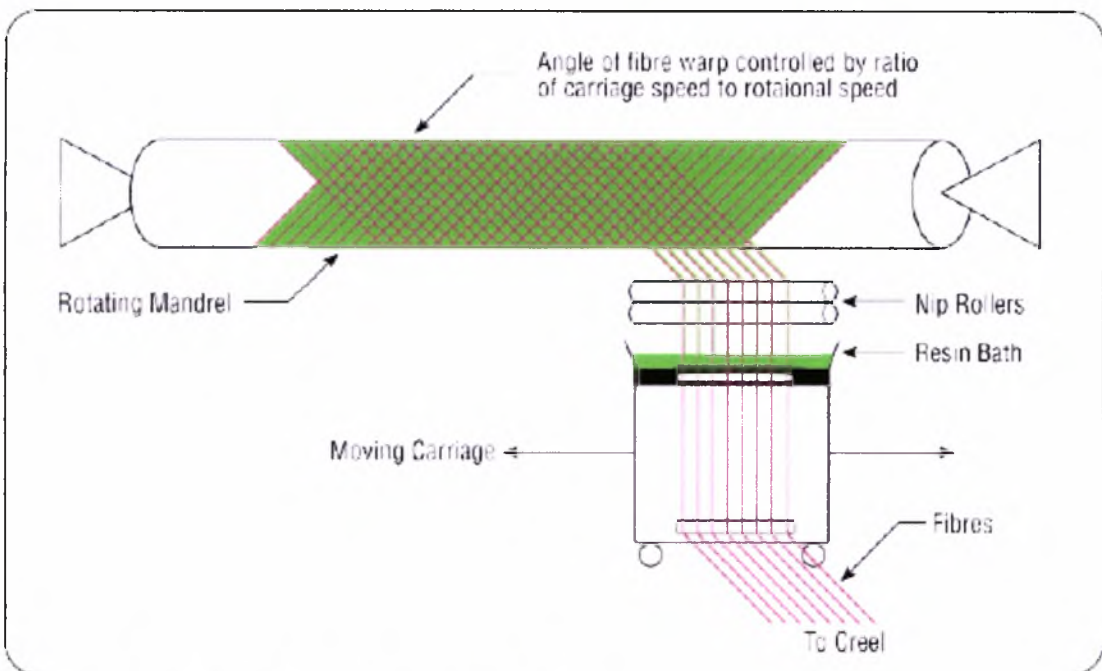
Η ρητίνη εμποτίζεται με το χέρι μεταξύ των ινών, οι οποίες βρίσκονται σε πλεκτή μορφή. Η τελική διαμόρφωση γίνεται με ρολλά ή βούρτσες και το προϊόν αφήνεται όπως πριν να ωριμάσει σε κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες



**Σχήμα 1.3.4:** Εφαρμογή με το χέρι [16]

γ) Περιέλιξη νήματος ηλεκτρονικής λυχνίας

Αυτή η διαδικασία αρχικά χρησιμοποιήθηκε για κοίλες, κυκλικές ή οβάλ διατομές όπως σωλήνες και δεξαμενές. Οι ίνες περνούν διαμέσου ενός ‘λουτρού’ ρητίνης προτού την περιέλιξη πάνω σε έναν άξονα σε διάφορες κατευθύνσεις, ελεγχόμενες από τον μηχανισμό τροφοδοσίας ινών και τον ρυθμό περιστροφής του άξονα.



**Σχήμα 1.3.5:** Περιέλιξη ινών σε άξονα [16]

### **1.3.4 Κόλλες για την εφαρμογή των σύνθετων υλικών**

Κατά κανόνα χρησιμοποιείται ως κόλλα εποξική ρητίνη δυο συστατικών που εφαρμόζεται μεταξύ του υποστρώματος και του σύνθετου υλικού, εξασφαλίζοντας έτσι τη συνεργασία τους και τη μεταφορά τάσεων από το πρώτο στο δεύτερο. Η χρήση εποξικών ρητινών στις κατασκευές προϋποθέτει την κατανόηση τριών βασικών εννοιών: χρόνος εργασιμότητας (pot life), χρόνος εφαρμογής (open time), θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης  $T_g$ , δηλαδή το σημείο πέρα από το οποίο η συμπεριφορά του ινοπλισμένου πολυμερούς αλλοιώνεται δραματικά παρουσιάζοντας σημαντική μείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του.

### **1.4 Τρόπος εφαρμογής ινοπλισμένων πολυμερών**

Η διαδικασία εφαρμογής των ΙΟΠ αρχικά περιλαμβάνει το στάδιο προετοιμασίας της επιφάνειας του σκυροδέματος. Η προετοιμασία αυτή έχει γενικά πολύ μεγάλη επίδραση στην μακρόχρονη αντοχή της σύνδεσης. Γίνεται αντιληπτό, λοιπόν, πως η προσεκτική προετοιμασία της επιφάνειας του δομικού στοιχείου συνδέεται άμεσα με την συμπεριφορά του ενισχυμένου δομικού στοιχείου με την πάροδο του χρόνου.

Αρχικά λοιπόν γίνεται απομάκρυνση του βλαμμένου σκυροδέματος ή του σκυροδέματος που δεν ικανοποιεί τις προδιαγραφές και αντικαθίστανται με υλικό καλής ποιότητας. Το υψηλής περιεκτικότητας σε τσιμέντο, σκυρόδεμα πρέπει να απομακρύνεται με αμμοβολή. Στην συνέχεια με την χρήση πεπιεσμένου αέρα απομακρύνονται τα θραύσματα και η σκόνη.

Το χρονικό περιθώριο μεταξύ προετοιμασίας της επιφάνειας και επικόλλησης των σύνθετων υλικών πρέπει να είναι εξαιρετικά μικρό για την αποφυγή πιθανής ενανθράκωσης του σκυροδέματος.

Η διαδικασία εφαρμογής των ΙΟΠ ξεκινά με την επάλειψη της επιφάνειας του δομικού στοιχείου με εποξική, κυρίως, ρητίνη. Στην συνέχεια τοποθετείται η πρώτη στρώση του σύνθετου υλικού και επαναλαμβάνεται η διαδικασία με την τοποθέτηση επιπλέον στρώσεων, σύμφωνα με την μελέτη επισκευής – ενίσχυσης.

## 1.5 Μηχανικές Ιδιότητες ινοπλισμένων πολυμερών

### 1.5.1 Γενικά για τις μηχανικές ιδιότητες των ΙΟΠ

Τα FRP χαρακτηρίζονται από μεγάλη εφελκυστική αντοχή της τάξης των 1500-3000 MPa που είναι 3-10 φορές μεγαλύτερη από αυτή του κοινού χάλυβα S500 (σχήμα 1.2.1). Οι τιμές αυτές των αντοχών ισχύουν κατά κύριο λόγο για βραχυχρόνια φόρτιση ενώ για μακροχρόνια οι τιμές μειώνονται σημαντικά ανάλογα με το είδος της ίνας. Συγκεκριμένα στις ίνες γυαλιού που το μέτρο ελαστικότητας έχει τη μικρότερη τιμή  $\approx 50$  GPa και η παραμόρφωση αστοχίας του έχει μεγαλύτερη τιμή ίση με 3%, η εφελκυστική τους αντοχή σε μακροχρόνια φόρτιση μειώνεται κατά περίπου 80% της αρχικής. Στις ίνες αραμιδίου οι οποίες έχουν μια ενδιάμεση τιμή μέτρου ελαστικότητας (65-120 GPa) και παραμόρφωσης (2-3%) η εφελκυστική αντοχή με το χρόνο μειώνεται μέχρι το 50-65%. Τέλος για τις ίνες άνθρακα που έχουν το μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας (35-190 GPa) και τη μικρότερη παραμόρφωση αστοχίας (1-1,5%) η εφελκυστική τους αντοχή μπορεί να μειωθεί μακροχρόνια μέχρι και 75-95%. Από το σχήμα 1.2.1 παρατηρείται ότι τα σύνθετα υλικά συμπεριφέρονται τελείως πλαστικά μέχρι την αστοχία τους [20].

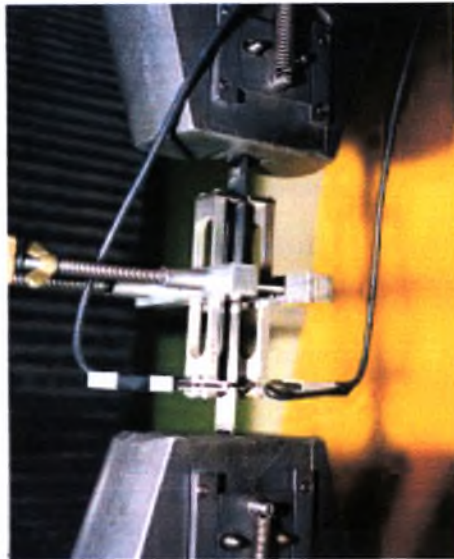
### 1.5.2 Τρόπος προσδιορισμού μηχανικών ιδιοτήτων ΙΟΠ

Οι ιδιότητες των ινοπλισμένων πολυμερών λαμβάνονται από δοκιμές εφελκυσμού και εξαρτώνται από την ρητίνη επικόλλησης που χρησιμοποιείται καθώς και από τις διαδικασίες που ακολουθούνται κατά την διάρκεια των δοκιμών

Συγκεκριμένα παρασκευάζονται δοκίμια υπό μορφής ελάσματος, χρησιμοποιώντας ίδιες ίνες και ρητίνη με εκείνες που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν καθώς και την ίδια διαδικασία συντήρησης. Στις άκρες τοποθετείται μια μπάρα αλουμινίου. Στην συνέχεια δοκιμάζεται σε μηχανή εφελκυσμού( βλέπε Σχ. 1.5.1, 1.5.2, 1.5.3)



**Σχήμα 1.5.1:** Δείγμα ΙΟΠ για τον προσδιορισμό της εφελκυστικής αντοχής του



**Σχήμα 1.5.2:** Πραγματοποίηση δοκιμής εφελκυσμού σε δείγματα ΙΟΠ



**Σχήμα 1.5.3:** Αστοχία δείγματος ΙΟΠ.

### 1.6 Φυσικές Ιδιότητες ινοπλισμένων πολυμερών

Μερικές από τις βασικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών όλων των τύπων ινών παρατίθενται παρακάτω:

- ⇒ Δεν προσβάλλονται από τα χλωριόντα και έχουν αντοχή σε όξινα περιβάλλοντα
- ⇒ Βάρος περίπου ίσο με το  $1/4 - 1/5$  του βάρους των μεταλλικών οπλισμών και προφανώς εξαρτάται από το υλικό των ινών
- ⇒ Δεν επηρεάζονται από μαγνητικά πεδία και ραδιοσυχνότητες
- ⇒ Κακοί αγωγοί της θερμότητας και του ηλεκτρισμού

Επιπλέον κάποιες ιδιότητες που αφορούν συγκεκριμένους τύπους ινών είναι:



- ⇒ Μειωμένη αντοχή των ινών γυαλιού σε αλκαλικό περιβάλλον όπως αυτό του σκυροδέματος
- ⇒ Πολύ καλή συμπεριφορά των ινών αραμιδίου σε κρουστικά φορτία

## **1.7 Παράμετροι που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα των σύνθετων υλικών**

### α) Ερπυσμός

Σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη μακροχρόνια συμπεριφορά των σύνθετων υλικών είναι ο ερπυσμός. Τα ανθρακονήματα και τα υαλονήματα φαίνεται να έχουν πρακτικά μηδενικές ερπυστικές παραμορφώσεις ενώ οι ίνες πολυαραμιδίου και οι ρητινούχες μήτρες παρουσιάζουν ερπυσμό. Ο βαθμός του ερπυσμού είναι συνάρτηση του υλικού της ίνας και του προσανατολισμού της σε σχέση με την εφαρμοζόμενη ένταση.

### β) Θερμοκρασία

Η αύξηση της θερμοκρασίας πέρα από κάποια τιμή μπορεί να προκαλέσει σημαντική υποβάθμιση των ευεργετικών ιδιοτήτων των σύνθετων υλικών. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι θερμοκρασίες της τάξης των 50-80 °C μειώνουν σημαντικά την ικανότητα ανάληψης δυνάμεων στις ρητίνες και άρα στους σύνθετους οπλισμούς. Είναι προφανές ότι υψηλότερες θερμοκρασίες όπως αυτές που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς, προκαλούν πλήρη αποσύνθεση των ρητινών και επομένως τα ΙΟΠ δεν μπορούν να φέρουν τάσεις. Ωστόσο κατάρρευση της κατασκευής αναμένεται σε πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες.

### γ) Υγρασία

Γενικά τα σύνθετα υλικά έχουν καλή συμπεριφορά σε συνθήκες υγρασίας. Ωστόσο μετά από μακροχρόνια έκθεση κάποιοι συνδυασμοί ινών-ρητινών μπορεί να παρουσιάσουν προβλήματα. Μετά το πέρας μιας εξαιρετικής μακράς περιόδου, οι χημικές αλυσίδες των πολυμερών είναι πλήρως υδατοδιαλυτές και όσον αφορά στις ίνες, ειδικά τα υαλονήματα γίνονται εξαιρετικά εύθραυστα. Η λύση για την προστασία ινοπλισμένων πολυμερών που εφαρμόζονται σε κατασκευές που είναι μέσα στο νερό, είναι η επιλογή κατάλληλης ρητίνης.

#### δ) Όξινο περιβάλλον

Η παρουσία διαφόρων τύπων αλάτων σε συνδυασμό με θερμοκρασιακούς παράγοντες μπορούν να προκαλέσουν υποβάθμιση των μηχανικών χαρακτηριστικών των ράβδων.

#### ε) Αλκαλικό περιβάλλον

Έκθεση ινοπλισμένων πολυμερών από αραμίδιο σε αλκαλικά διαλύματα οδηγεί σε 10%-50% μείωση της αντοχής τους και 0-20% μειωμένο μέτρο ελαστικότητας. Μεγαλύτερες τιμές (έως 75%) διαπιστώθηκαν στις αντίστοιχες ίνες GFRP ενώ τα ΙΟΠ άνθρακα θεωρούνται πρακτικά απρόσβλητα καθώς δεν παρατηρείται πτώση της αντοχής πάνω από 20%.

#### στ) Υπεριώδης ακτινοβολία

Η υπεριώδης ακτινοβολία επηρεάζει την εξωτερική στρώση ρητίνης επιφέροντας ενδεχομένως μείωση της αντοχής των σύνθετων υλικών μέχρι και 40%. Μικρορηγματώσεις και χρωματικές αλλοιώσεις είναι τα χαρακτηριστικά που εμφανίζονται σε επιφάνειες εκτεθειμένες σε υπεριώδη ακτινοβολία. Για την προστασία προτείνεται η εφαρμογή επιχρισμάτων ή ειδικών βαφών

### **1.8 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα χρήσης ινοπλισμένων πολυμερών**

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της χρήσης σύνθετων υλικών για την επισκευή και ενίσχυση κατασκευών σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους επισκευής και ενίσχυσης με χρήση συμβατικών υλικών είναι τα εξής:

- Μεγάλη εφελκυστική αντοχή ιδιαίτερα στην διεύθυνση των ινών (μέχρι 3000 MPa) και μέτρο ελαστικότητας .
- Αύξηση καμπτικής και διατμητικής αντοχής των υποστυλωμάτων .
- Έχουν χαμηλό βάρος (1/4 του χάλυβα).
- Πρόκειται για σύστημα ενίσχυσης που μπορεί να εφαρμοστεί σε πάσης φύσεως διατομές.
- Παρέχουν την δυνατότητα στον μελετητή να χρησιμοποιήσει τα ΙΟΠ σε όποια κατεύθυνση κρίνει ότι χρειάζεται, λόγω των πολλών και διαφορετικών τρόπων διάταξης των ινών μέσα στο υλικό.

- Παρέχουν μεγαλύτερη παθητική περίσφιγξη σκυροδέματος από το χάλυβα και έμμεση βελτίωση του δεσμού σκυροδέματος και οπλισμού.
- Ευκολία τοποθέτησης λόγω του ότι διατίθενται σε μεγάλα μήκη (αντίθετα με τα χαλύβδινα ελάσματα και τις χαλύβδινες βέργες οπλισμού).
- Δεν αυξάνουν τη μορφή και τις διαστάσεις των ενισχυμένων στοιχείων λόγω του ότι το πάχος τους είναι της τάξης του χλυστού.
- Η εγκατάστασή τους δεν προκαλεί κίνδυνο φθοράς ή αποδυνάμωση της υφιστάμενης κατασκευής καθώς δεν αυξάνεται το βάρος της.
- Η μορφή αστοχίας από ψαθυρή (ξαφνική) γίνεται ψευδοπλαστική (πιο σταδιακή).
- Είναι αποτελεσματικά στην προστασία από διάβρωση.
- Προσφέρουν εσπευσμένη αντισεισμική ενίσχυση στοιχείων παλαιότερων κατασκευών με ανεπαρκή οπλισμό.

Παρόλες τις υψηλές προσδοκίες που έχουν καλλιεργηθεί, η χρήση των ΙΟΠ πρέπει να γίνεται με προσοχή καθώς παρουσιάζουν αρκετά μειονεκτήματα μερικά από τα οποία είναι τα παρακάτω:

- Απότομη πτώση της εφελκυστικής αντοχής, ακαμψίας και ικανότητας απορρόφησης ενέργειας μετά από μακροχρόνια φόρτιση λόγω αστοχίας των αγκυρώσεων των λωρίδων ενίσχυσης με FRP .
- Έχουν ιδιαίτερα υψηλό κόστος (ειδικά το CFRP) περίπου 9 φορές μεγαλύτερο από το κόστος του Fe 360.
- Πρόκειται για νέο υλικό οπότε πρέπει να είμαστε επιφυλακτικοί ως προς τα αποτελέσματα ενίσχυσης.
- Συμπεριφέρονται πλήρως ελαστικά (έλλειψη πλαστικότητας) μέχρι την αστοχία τους που σημαίνει αδυναμία απορρόφησης ενέργειας .
- Χαμηλό μέτρο ελαστικότητας (ως προς τον χάλυβα) εκτός του CFRP.
- Το GFRP δεν έχει καλά χαρακτηριστικά κόπωσης .
- Η έκθεση σε περιβαλλοντικές συνθήκες όπως η υγρασία, η δράση χημικών, οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας και η υπεριώδης ακτινοβολία επιδρά αρνητικά στην απόδοση των φύλλων ΙΟΠ εξαιτίας της εξασθένησης της ένωσης των φύλλων με το σκυρόδεμα (μείωση συνάφειας).
- Τα σύνθετα υλικά μπορούν να αναλάβουν φορτία μόνο κατά τη διεύθυνση των ινών τους.

## 1.9 Ενίσχυση έναντι κάμψης

Η εφαρμογή σύνθετων υλικών για ενισχύσεις έναντι κάμψης γίνεται μέσω ελασμάτων ή υφασμάτων τα οποία επικολλούνται στο εφελκόμενο πέλμα με διεύθυνση ινών τέτοια ώστε να παραλαμβάνουν τις λόγω κάμψης εφελκυστικές δυνάμεις. Η εφαρμογή σε υποστυλώματα όμως με τους δύο παραπάνω τρόπους είναι γενικά δύσκολη, δεδομένου ότι στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να εξασφαλισθεί η αγκύρωση των οπλισμών εντός των κόμβων.

Ο μηχανισμός αστοχίας σε κάμψη (υπό την προϋπόθεση επαρκούς αγκύρωσης) θα είναι :

- 1) Διαρροή εφελκόμενου χάλυβα, σύνθλιψη σκυροδέματος
- 2) Διαρροή εφελκόμενου χάλυβα, αποκόλληση ή θραύση σύνθετων υλικών
- 3) Σύνθλιψη σκυροδέματος

**Ο πιο επιθυμητός τρόπος αστοχίας είναι ο πρώτος** σύμφωνα με τον οποίο έχουμε πρώτα διαρροή του διαμήκους οπλισμού σε εφελκισμό και ακολούθως σύνθλιψη του σκυροδέματος στη θλιβόμενη ζώνη, χωρίς να υπάρχει αστοχία ή κάποιου είδους αποκόλληση στα σύνθετα υλικά. Ο υπολογισμός της ροπής αντοχής στην κρίσιμη διατομή του υποστυλώματος (στην βάση του δηλαδή) για αυτό το μηχανισμό αστοχίας γίνεται βάσει ισορροπίας των εσωτερικών δυνάμεων και του συμβιβαστού των παραμορφώσεων.

**Ο δεύτερος τρόπος αστοχίας** είναι και ο **πιο σπάνιος** και ενδέχεται να εμφανιστεί μόνο αν το εμβαδό της διατομής των σύνθετων υλικών είναι πάρα πολύ μικρό.

Σύμφωνα με τον **τρίτο μηχανισμό**, η θραύση σκυροδέματος στη θλιβόμενη ζώνη προηγείται οποιασδήποτε άλλης αστοχίας και αντιστοιχεί σε ψαθυρή συμπεριφορά. Αυτός ο τρόπος **δεν είναι αποδεκτός**.

Η αποτελεσματικότητα των σύνθετων υλικών στην αύξηση της ροπής αντοχής εξαρτάται σημαντικά από το μέγεθος του αξονικού φορτίου, και πάντα μειώνεται όσο αυτό αυξάνεται.

Οπότε σαν γενικό συμπέρασμα μπορούμε να αναφέρουμε ότι η εφαρμογή των σύνθετων υλικών για την αύξηση της καμπτικής αντοχής υποστυλωμάτων δεν είναι πάντοτε πρακτικά (κατασκευαστικά) εφικτή, ενώ είναι γενικά περιορισμένης αποτελεσματικότητας, εκτός αν η αξονική δύναμη διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα.

### 1.10 Ενίσχυση έναντι τέμνουσας

Η ενίσχυση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος σε διάτμηση με σύνθετα υλικά επιτυγχάνεται μέσω της επικόλλησης υφασμάτων ή σπανιότερα ελασμάτων, τα οποία επικολλούνται στις εξωτερικές επιφάνειες με τις ίνες κατά το δυνατόν παράλληλες στις τροχιές των κύριων τάσεων, δηλαδή περίπου κάθετα στις ρωγμές.

Βέβαια δεν είναι γενικά εφικτό, γ'αυτό, όπως στην περίπτωση της χρήσης συνδετήρων, οι ίνες εφαρμόζονται στις πιο πολλές περιπτώσεις με διεύθυνση κάθετη στον άξονα των δομικών μελών.

Η τέμνουσα δύναμη που λαμβάνεται από μανδύα FRP δίνεται σε αναλογία με τους συνδετήρες από τη σχέση:

$$V_{fd} = 2 * t_f * d_f * (\epsilon_{fe,d} * E_f) * (\cot\theta + \cot\alpha) * \sin^2 \alpha \quad (1.10.1)$$

όπου:

$d_f$  = ύψος του μανδύα που διαπερνάται από τη ρωγμή, μετρούμενο από τη στάθμη του διαμήκους οπλισμού και ίσος με  $0.9d$  αν ο μανδύας καλύπτει πλήρως τις πλευρές.

$\alpha = 90^\circ$  γιατί συνήθως οι ίνες εφαρμόζονται κάθετα στον άξονα του υποστυλώματος

$\theta = 45^\circ$  γωνία ρωγμής ως προς τον άξονα του μέλους

Με τις παραδοχές αυτές καταλήγουμε στη σχέση:

$$V_{fd} = 2 * t_f * (0.9d) * \epsilon_{fe,d} * E_f \quad (1.10.2)$$

Άρα:

$$t_f = V_{fd} / 2 * (0.9d) * \epsilon_{fe,d} * E_f \quad (1.10.3)$$

$\epsilon_{fe,d}$  = μέση τιμή κατά μήκος της ρωγμής, της παραμόρφωσης στα σύνθετα υλικά παράλληλα στη διεύθυνση των ινών, κατά την οριακή κατάσταση αστοχίας λόγω τέμνουσας (“ενεργή” παραμόρφωση)

$$\epsilon_{fe,d} = (1 - 0.5d_f / 0.9d) \epsilon_{fd,max}$$

Όπου  $\epsilon_{fd,max}$  η μέγιστη παραμόρφωση σχεδιασμού σύνθετων υλικών.

Υπάρχουν τρεις τρόποι αστοχίας λόγω τέμνουσας:

### 1. Θραύση των σύνθετων υλικών

Αναμένεται να συμβεί κατά κανόνα σε επαρκώς αγκυρωμένους μανδύες. Στην περίπτωση αυτή :  $\varepsilon_{fd,max} = f_{fde} / E_f$  (1.10.4)

όπου:

$f_{fde}$  : είναι η (μειωμένη ως προς των εφελκυστική αντοχή λόγω συγκεντρώσεων τάσεων στις γωνίες του μέλους) αντοχή σχεδιασμού που προκύπτει από τη σχέση :

$$f_{fde} = \eta_e f_{fd} \quad (1.10.5)$$

Λόγω έλλειψης περισσότερων στοιχείων θεωρούμε  $\eta_e = 0.8$ .

$$\text{Οπότε μετά από πράξεις } t_f = V_{fd} / 2 (0.9d) (1 - 0.5d_f / 0.9d) 0.8 f_{fd} \quad (1.10.6)$$

### 2. Αποκόλληση των σύνθετων υλικών

Μεγαλύτερη πιθανότητα για να συμβεί τέτοιου είδους αστοχία είναι οι **μη επαρκώς αγκυρωμένοι μανδύες**, όπως είναι οι τρίπλευροι και δίπλευροι, οπότε και η πιθανότητα αστοχίας απο θραυση είναι σχετικά μικρή. Αυτός ο τρόπος αστοχίας είναι σχετικά απίθανος για τα υποστυλώματα μιας και είναι επαρκώς αγκυρωμένος ο μανδύας αφού θα είναι κλειστού τύπου.

### 3. Πρόωρη αστοχία λόγω μεγάλου ανοίγματος της λοξής ρωγμής

Η ανάπτυξη μεγάλου ανοίγματος ρωγμής ενδέχεται να μειώσει σημαντικά τη συνεισφορά των μηχανισμών ανάληψης τέμνουσας (λόγω σημαντικής μείωσης της αλληλεμπλοκής των αδρανών και/ή της θλιβόμενης ζώνης), με αποτέλεσμα να βρεθεί στην οριακή κατάσταση αστοχίας λόγω τέμνουσας πριν αστοχήσουν (λόγω θραύσης ή αποκόλλησης) τα σύνθετα υλικά.

**Συμπερασματικά ο μόνος πιθανός μηχανισμός αστοχίας είναι ο πρώτος και το απαιτούμενο πάχος μανδύα είναι:**

$$t_f = V_{fd} / 2 (0.9d) (1 - 0.5d_f / 0.9d) 0.8 f$$

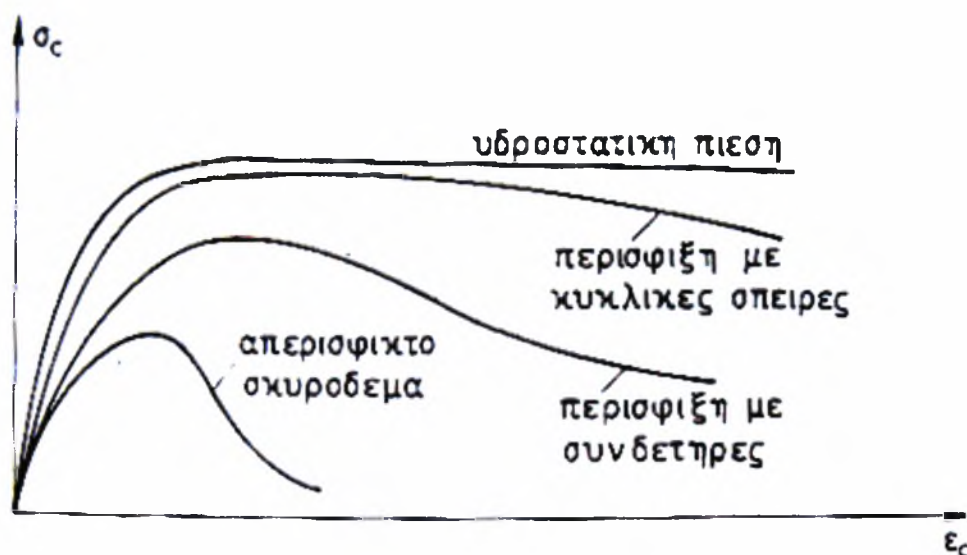
## 1.11 Εφαρμογή Περίσφιξης μέσω ΙΟΠ

### 1.11.1 Περίσφιξη σκυροδέματος με συμβατικό χαλύβδινο οπλισμό

Η περίσφιξη του σκυροδέματος είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που λαμβάνεται υπόψιν κατά τον σχεδιασμό υποστυλωμάτων σκυροδέματος, υπό αξονική καταπόνηση.

Σύμφωνα με τον Ε.Α.Κ.- Ε.Κ.Ω.Σ. 2000 ο οπλισμός περίσφιξης οφείλει να είναι επαρκής:

1. για την αντιστάθμιση της απώλειας εμβαδού διατομής σκυροδέματος έξω από τους συνδετήρες, μετά την υπέρβαση της κρίσιμης παραμόρφωσης του μη-περίσφιγμένου σκυροδέματος («αποφλοιώση») και



**Σχήμα 1.11.1:** Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων για διάφορους τύπους περίσφιξης με συμβατικό οπλισμό [37]

2. για την πρόσδοση αρκετής ικανής στροφής της κρίσιμης περιοχής του υποστυλώματος («πλαστιμότητα»), έτσι ώστε η στροφή αυτή να είναι συμβιβαστή με την προεκτιμηθείσα στάθμη συνολικής απορρόφησης ενέργειας του δομήματος, όπως εκφράζεται από τον δείκτη σεισμικής συμπεριφοράς.

Η αποδοτικότητα της περισφίξεως εξαρτάται τόσο από τις αποστάσεις των συνδετήρων καθ' ύψος του στοιχείου ( $\alpha_s$ ), όσο και από την διάταξη των συνδετήρων μέσα στην διατομή ( $\alpha_n$ ).

Ως περισφιγμένο θεωρούμε το σκυρόδεμα το οποίο βρίσκεται μεταξύ των συνδετήρων και στο οποίο μπορούμε να υποθέσουμε ότι αναπτύσσονται τριαξονικές συνθήκες εντάσεως. Τόσο καθ' ύψος, όσο και μέσα στην διατομή, υπάρχει τμήμα του σκυροδέματος που δεν 'απολαμβάνει περιφίξεως'.

Ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιξης εκτιμάται βάση του ΕΚΩΣ 2000 ως εξής:

- Ανάλογα με την διάταξη των συνδετήρων:

$$\alpha_n = 1 - \sum_1^n \frac{b_i^2}{6A_o} \quad (1.11.1)$$

όπου:

$n$ : ο αριθμός κορυφών συνδετήρων ή κόμβων με εγκάρσιους συνδέσμους που συγκρατούν διαμήκεις ράβδους

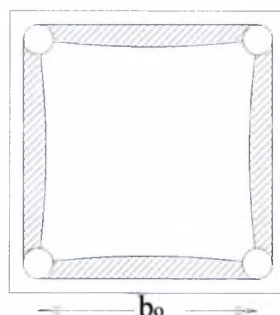
$b_i$ : η απόσταση μεταξύ διαδοχικών κορυφών ή κόμβων, όχι μεγαλύτερη από 200mm ή 300mm

➔ Για κυκλικά υποστυλώματα:  $\alpha_n = 1$

- Ανάλογα της απόστασης των συνδετήρων:

⇒ Για τετραγωνικής διατομής υποστυλώματα ισχύει

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s'}{2b_o}\right) * \left(1 - \frac{s'}{2b_o}\right) = \left(1 - \frac{s'}{2b_o}\right)^2 \quad (1.11.2)$$

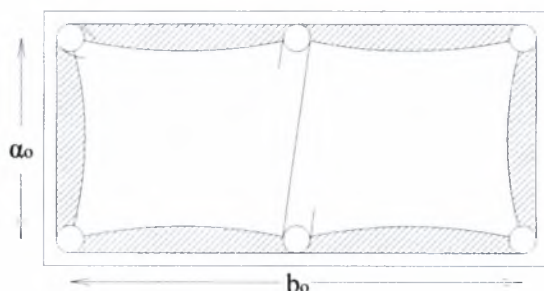


**Σχήμα 1.11.2:** Περίσφιξη τετραγωνικής διατομής με τετραγωνικό συνδετήρα



⇒ Για ορθογωνικής διατομής υποστυλώματα ισχύει

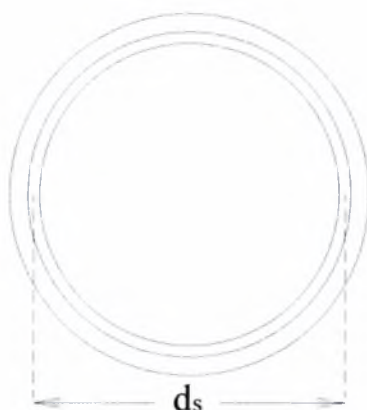
$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s'}{2\alpha_o}\right) * \left(1 - \frac{s'}{2b_o}\right) \quad (1.11.3)$$



**Σχήμα 1.11.3:** Περίσφιγξη ορθογωνικής διατομής υποστυλώματος με τετραγωνικό συνδετήρα

⇒ Για κυκλικής διατομής υποστυλώματα ισχύει:

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s'}{2d_s}\right) \quad (1.11.4)$$



**Σχήμα 1.11.4:** Περίσφιγξη κυκλικής διατομής με κυκλική σπείρα

Τέλος η επιτυγχάνομενη μέση εγκάρσια πίεση στον πυρήνα λόγω περισφίξεως είναι περίπου:

$$\sigma_3 = f_l = \frac{1}{2} \cdot a \cdot \omega_{wd} \cdot f_{cd} \quad (1.11.5)$$

όπου:

$$a = a_n \cdot \alpha_s \quad (1.11.6)$$

Το μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό του οπλισμού περίσφιγξης  $\omega_{wd}$  εκφράζεται ως:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{όγκος κλειστών συνδετήρων} \cdot f_{yd}}{\text{όγκος σκυροδέματος πυρήνα} \cdot f_{cd}} \quad (1.11.7)$$

### 1.11.2 Περίσφιγξη σκυροδέματος με Ινοπλισμένα Πολυμερή

Ο οπλισμός περίσφιγξης, όπως είδαμε είναι πολύ σημαντικός σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος για την επίτευξη πλαστιμότητας. Ιδιαίτερη μέριμνα δίνεται στην περίπτωση ελλειπών συνδετήρων. Στις περιπτώσεις αυτές υπάρχουν οι παρακάτω περιπτώσεις ενίσχυσης:

1. Με χρήση ολόσωμου μανδύα από φύλλα χάλυβα ή ινοπλισμένου πολυμερούς, επικολητού επί των πλευρών του υποστυλώματος.
2. Η χρήση μεταλλικού κλωβού, ο οποίος υλοποιείται με προσαρμογή τεσσάρων μεταλλικών γωνιακών στις κορυφές του υποστυλώματος, τα οποία συσφίγγονται με με ειδικά κλειδιά, έτσι ώστε να επιβληθεί περίσφιγξη. Πάνω στα γωνιακά συγκολλούνται οριζόντια μεταλλικά ελάσματα.
3. Με χρήση επικολητών χαλύβδινων κολλάρων με σύνθετες πάχος 1-2 mm ή λωρίδες από ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs).
4. Με χρήση προεντεταμένων κολλάρων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή, που μπορεί να έχουν την μορφή ταινιών
5. Με χρήση σπειροειδούς οπλισμού που μπορεί να είναι από μεταλλικό έλασμα ή από ινοπλισμένο πολυμερές.

Οι μανδύες από ινοπλισμένα πολυμερή αποτελούν τον πλέον εύχρηστο τρόπο επιβολής της περίσφιγξης σε υποστυλώματα και βάθρα γεφυρών. Αύτος είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο η εφαρμογή αυτής της τεχνικής εξαπλώνεται ραγδαία, σε συνδυασμό με την εντυπωσιακή βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του σκυροδέματος που εφαρμόζεται και η οποία έχει τεκμηριωθεί από πλήθος πειραματικών δοκιμών στην διεθνή βιβλιογραφία.

Σε αυτές τις περιπτώσεις το υλικό του μανδύα ενδείκνυται να τοποθετείται με τις ίνες εγκάρσια στον διαμήκη άξονα του στοιχείου όπως παρατηρήθηκε και από πειράματα που έγιναν [9] και αναφέρονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Η μελέτη γύρω από τη περίσφιγξη που προφέρουν τα FRP τόσο σε διεθνή επίπεδο όσο και σε πανελλαδικό ξεκίνησε με δοκιμές σε άοπλα στοιχεία σκυροδέματος, αρχικά κυλινδρικού σχήματος και στην συνέχεια πρισματικού. Οι μεταβλητές που υπεισέρχονταν ήταν :

- ⇒ ο τύπος των ινών
- ⇒ ο αριθμός των στρώσεων
- ⇒ η κλίση των ινών ως προς τον διαμήκη άξονα του δοκιμίου
- ⇒ η χρήση ολόσωμης στρώσης ή σωλήνα ή λωρίδων
- ⇒ η γεωμετρία της κατασκευής (σε περίπτωση ορθογωνικών διατομών)
- ⇒ η ακτίνα καμπύλωσης των ακμών (σε περίπτωση ορθογωνικών διατομών)
- ⇒ η ποιότητα του σκυροδέματος
- ⇒ το είδος της φόρτισης (μονοτονική ή ανακυκλιζόμενη)

Διαπιστώθηκε λοιπόν, ότι αυτού του είδους η ενίσχυση είναι αποδοτικότερη για στοιχεία κυκλικής και τετραγωνικής διατομής. Για υποστυλώματα με ορθογωνική διατομή, η απόδοση της εφαρμογής μειώνεται όσο αυξάνεται ο λόγος των πλευρών της διατομής του υποστυλώματος. Προκειμένου να επιτευχθεί σχεδόν πλήρης περίσφιγξη σε ορθογωνική διατομή απαιτείται η τροποποίηση του σχήματος της διατομής, είτε με λάξευση των γωνιών της είτε με τοποθέτηση πρόσθετου σκυροδέματος, έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια συνεχής καμπύλη επιφάνεια πάνω στην οποία τοποθετείται ο μανδύας.

Μετα από τους τελευταίους καταστροφικούς σεισμούς που έγιναν άνα την υφήλιο, και την ευρεία χρήση των σύνθετων υλικών στις επισκευές και ενισχυσεις λόγω του ότι παρείχαν ευκολία στην τοποθέτηση τους, οι παραπάνω μελέτες τροποποιήθηκαν αφού ενσωμάτωσαν διαμήκη και εγκάρσιο οπλισμό στα στοιχεία σκυροδέματος και μελετήθηκε πάλι η συμπεριφορά των ΙΟΠ υπό τα νέα δεδομένα.

Η δράση των σύνθετων υλικών κατα την περίσφιγξη είναι εξαιρετικά ευνοϊκή και γενικά ευνοϊκότερη σε σχέση με αυτήν μεταλλικών μανδύων ίσης δυστένειας γιατί οι χαλύβδινοι μανδύες αναπτύσσουν περιορισμένη τάση περίσφιγξης λόγω διαρροής, ενώ οι μανδύες ΙΟΠ ως ελαστικά υλικά παρακολουθούν την διόγκωση για μεγάλη πλευρική παραμόρφωση (αλλά για μικρότερη από την ονομαστική παραμόρφωση θραύσης του σύνθετου υλικού  $\epsilon_{fu}$ ).

Κατα την αξονική καταπόνηση υποστυλωμάτων, το σκυρόδεμα διογκώνεται εγκάρσια με αποτέλεσμα ο μανδύας ΙΟΠ, να ενεργοποιείται (αφού αναπτύσσονται σε αυτόν εφελκυστικές παραμορφώσεις στις ίνες) επιβάλλοντας εγκάρσιες τάσεις

(τάσεις περίσφιγξης) κάθετα στον άξονα του μέλους, έως ότου αστοχήσει οπότε χάνεται η περίσφιγξη. Οι τάσεις περίσφιγξης, που προκαλεί αυτού του είδους η ενίσχυση έχουν ως αποτέλεσμα:

1. Αύξηση της θλιπτικής αντοχής και της παραμορφωσιμότητας του σκυροδέματος
2. Αύξηση της γωνίας στροφής ενός μέλους κατά την καμπτική αστοχία, δηλαδή αύξηση της πλαστιμότητας
3. Βελτίωση των συνθηκών συνάφειας μεταξύ ράβδων οπλισμού και σκυροδέματος σε περιοχές με ματίσεις και άρα παρεμπόδιση της ολίσθησης των διαμήκων ράβδων
4. Καθυστέρηση της εμφάνισης λυγισμού των διαμήκων ράβδων σε περιοχές με αραιούς συνδετήρες.[12]

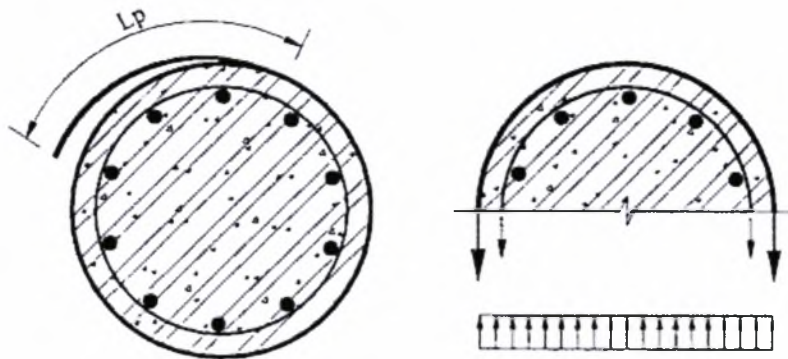
Η αποτελεσματικότητα ενός μανδύα σύνθετων υλικών στον εγκιβωτισμό του σκυροδέματος εξαρτάται:

- α) από το πάχος του μανδύα  $t_f$ , σε συνδυασμό με τον συνολικό αριθμο των στρώσεων
- β) από την εφελκυστική αντοχή των σύνθετων υλικών κατά την έννοια της περιμέτρου,  $f_{fd,c}$
- γ) από τη γεωμετρία της εγκιβωτισμένης διατομής (η αποδοτικότητα περίσφιγξης είναι 100% σε κυκλικά υποστυλώματα και περίπου 50% σε ορθογωνικά).

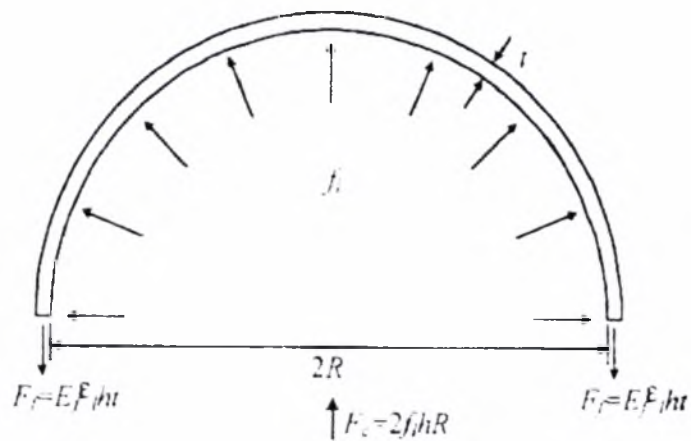
Η εφελκυστική αντοχή του μανδύα κατά την έννοια της περιμέτρου είναι γενικά μικρότερη από την εφελκυστική αντοχή των σύνθετων υλικών όπως αυτή μετράται μέσω δοκιμών εφελκυσμού.

Αυτό οφείλεται στην πολυαξονικότητα της εντατικής κατάστασης στον μανδύα (όπως φαίνεται στο σχήμα 5), σε τυχόν συγκεντρώσεις τάσεων σε γωνίες, στην ενδεχόμενη ύπαρξης πολλών στρώσεων αλλά και στην ποιότητα εφαρμογής του μανδύα. Για αυτό και στους υπολογισμούς μας χρησιμοποιούμε ένα μειωτικό συντελεστή στην εφελκυστική αντοχή του μανδύα και ο οποίος μπορεί να θεωρηθεί προσεγγιστικά ίσος με 0.7-0.9. [12]

Μπορούμε να επιτύχουμε περίσφιγξη σε υποστύλωμα με τρεις τρόπους. Ένας είναι με πλήρη κάλυψη του στοιχείου καθ'όλο το ύψος του (μανδύας), ο άλλος με περίσφιγξη με μανδύα μόνο στις κρίσιμες περιοχές (στα δύο άκρα του) και ο άλλος με λωρίδες ανά αποστάσεις όπως οι συνδετήρες κάτι που είναι σπάνιο.



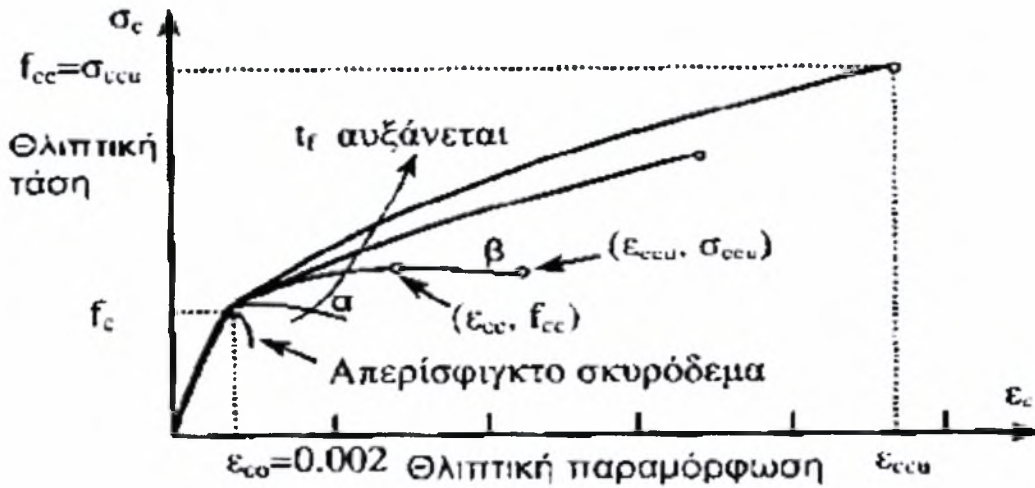
**Σχήμα 1.11.5:** Ενίσχυση κυκλικού υποστρώματος μέσω περισφιγξης με ΙΟΠ [17]



**Σχήμα 1.11.6:** Εγκάρσια πίεση που παραγεται λόγω περισφιγξης [18]

Η περισφιγξη γενικά ενεργοποιείται όταν η θλιπτική τάση στο σκυρόδεμα γίνεται ίση με την μονοαξονική θλιπτική του αντοχή.

Βάσει πειραμάτων μπορεί να διατυπώσει κανείς τις εξής παρατηρήσεις [12] :



Σχήμα 1.11.7: Καμπύλες  $\sigma - \epsilon$  για σκυρόδεμα απερίσφιγκτο και περισφιγμένο με ΙΟΠ [12]

- Γενικά η καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης είναι περίπου διγραμμική, με αλλαγή κλίσης στην παραμόρφωση ( $\epsilon_{co}=0.002$ ) που αντιστοιχεί στην αντοχή του απερίσφιγκτου σκυροδέματος ( $f_{co}$ )
- Μανδύες εξαιρετικά μικρού μήκους αυξάνουν μόνο την μέγιστη παραμόρφωση  $\epsilon_{cc,u}$  (σχήμα 6, καμπύλη α).
- Για μανδύες σχετικά μικρού πάχους η αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος  $f_{cc}$  αντιστοιχεί σε παραμόρφωση  $\epsilon_{cc}$  μικρότερη από τη μέγιστη ( $\epsilon_{cc,u}$ ) (σχήμα 6, καμπύλη β)
- Για δεδομένο τύπο σύνθετων υλικών, η αντοχή  $f_{cc}$  και η μέγιστη παραμόρφωση  $\epsilon_{cc,u}$  του περισφιγμένου σκυροδέματος αυξάνονται με το πάχος του μανδύα
- Για μανδύες ίσου πάχους αλλά διαφορετικού τύπου ινών, η αντοχή  $f_{cc}$  αυξάνεται με την αντοχή του μανδύα  $f_{fde}$  (εδώ πλεονεκτούν οι ίνες άνθρακα), ενώ η μέγιστη παραμόρφωση του σκυροδέματος  $\epsilon_{cc,u}$  αυξάνεται με την αντοχή του μανδύα  $f_{fde}$  αλλά κυρίως με την μέγιστη παραμόρφωση του (εδώ πλεονεκτούν οι ίνες γυαλιού)
- Για μανδύες ίσης δυστένειας ( $E_f \cdot t_f$ ), η αντοχή  $f_{cc}$  αυξάνεται με την οριακή παραμόρφωση του μανδύα  $\epsilon_{fue}$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ ΜΕΣΩ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΣΕ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥΣ ΥΠΟ ΑΞΟΝΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ

#### 2.1 Γενικά

Στην διεθνή βιβλιογραφία προτείνονται πολλά προσομοιώματα πρόβλεψης εντατικών μεγεθών, κυλίνδρων σκυροδέματος περισφιγμένων με ΙΟΠ. Γενικά και ειδικότερα τα προσομοιώματα που παρουσιάζονται στην συνέχεια λαμβάνουν υπ' όψιν τους:

- την αντοχή των σύνθετων υλικών  $f_f$
- το μετρο ελαστικότητας των σύνθετων υλικών  $E_f$
- το πάχος του μανδύα  $t_f$
- την αντοχή του απερίσφιγκτου κυλίνδρου  $f_{co}$  και
- την οριακή παραμόρφωση θραύσης του απερίσφιγκτου κυλίνδρου  $\epsilon_{co}$

Προβλέπουν:

- την θλιπτική τάση αστοχίας  $f_{cc,u}$
- την ανηγμένη αξονική παραμόρφωση κατά την αστοχία  $\epsilon_{cc,u}$
- την ανηγμένη εγκάρσια παραμόρφωση κατά την αστοχία  $\epsilon_{lat,cc,u}$

Γενικά η εφαρμογή των αναλυτικών προσομοιωμάτων είναι απλή. Αναλυτικότερα τα προσομοιώματα των ερευνητών που εξετάζονται στη παρούσα εργασία είναι τα παρακάτω:

#### 2.2 Προσομοίωμα M. Samaan – A. Mirmiran – M. Shahawy (1998) [3]

Το μοντέλο των Samaan et al (1998) υπολογίζει την αντοχή  $f_{cc,u}$  κατά την αστοχία ενισχυμένων κυλίνδρων σκυροδέματος την αξονική παραμόρφωση αστοχίας  $\epsilon_{cc,u}$  και επι πλέον την εγκάρσια παραμόρφωση αστοχίας  $\epsilon_{Lcc,u}$ .

Αρχικά οι Samaan et al πρότειναν την χρήση μιας εξίσωσης τεσσάρων παραμέτρων, η οποία είχε προταθεί και από τους Richard and Abbott το 1975, για τον υπολογισμό της αντοχής του σκυροδέματος όταν καταπονείται από αξονικά φορτία.

$$f_c = \frac{(E_1 - E_2)\epsilon_c}{\left[1 + \left(\frac{(E_1 - E_2)\epsilon_c}{f_o}\right)^n\right]^{1/n}} + E_2\epsilon_c \quad (MPa) \quad (2.2.1)$$

όπου:

$E_1 \rightarrow$  η κλίση της πρώτης ευθείας του δι-γραμμικού διαγράμματος τάσεων- παραμορφώσεων

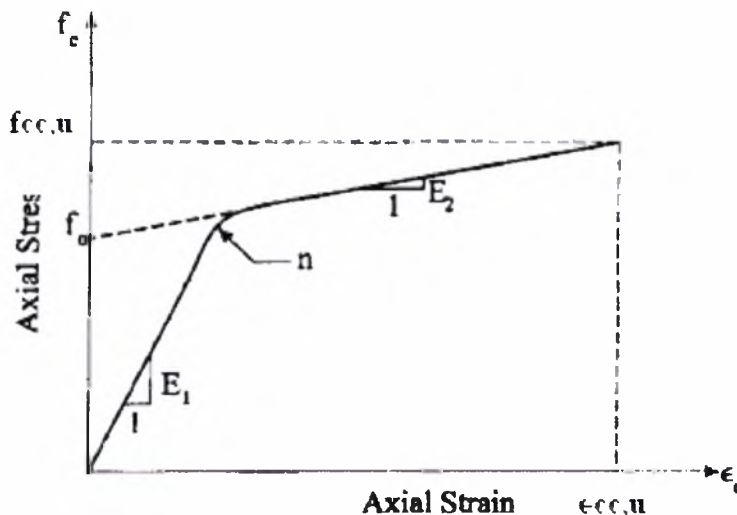
$E_2 \rightarrow$  η κλίση της δεύτερης ευθείας του δι-γραμμικού διαγράμματος τάσεων – παραμορφώσεων

$\epsilon_{cc} \rightarrow$  η αξονική παραμόρφωση του σκυροδέματος

$f_{cc} \rightarrow$  η τάση υπό αξονικό φορτίο του σκυροδέματος

$f_o \rightarrow$  η τάση που προκύπτει από την επέκταση της δεύτερης ευθείας της καμπύλης μέχρι τον άξονα των τάσεων

$n \rightarrow$  παράμετρος που περιγράφει την καμπύλωση της μεταβατικής περιοχής



**Σχήμα 2.2.1:** Διάγραμμα  $\sigma - \epsilon$  και τα στοιχεία που χρησιμοποιεί το προσομοίωμα των Samaan et al για τις προβλέψεις των εντατικών μεγεθών

Μπορεί να υποτεθεί ότι η αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος, σχετίζεται με την τάση της περίσφιγξης ως εξής:

$$f_{cc,u} = f_{co} + k_1 \cdot f_l \quad (MPa) \quad (2.2.2)$$



όπου:

$f_l \rightarrow$  η εγκάρσια τάση λόγω περίσφιγξης και υπολογίζεται ως εξής

$$f_l = \frac{2t_f f_f}{D} \text{ (MPa)} \quad (2.2.3)$$

$D \rightarrow$  η διάμετρος του κυλινδρικού στοιχείου σκυροδέματος

$t_f \rightarrow$  το πάχος του σωλήνα από ΙΟΠ ή των φύλλων ΙΟΠ

$f_f \rightarrow$  εφελκυστική αντοχή των σύνθετων υλικών

$k_l \rightarrow$  συντελεστής αποτελεσματικότητας της περίσφιγξης

Για τον υπολογισμό του συντελεστή  $k_l$  οι Samaan et al μελέτησαν παλαιότερα μοντέλα και βάση των πειραματικών αποτελεσμάτων κατέληξαν στην παρακάτω εξίσωση:

$$k_l = 6f_l^{-0.3} \text{ (MPa)} \quad (2.2.4)$$

Για την μοντελοποίηση της πρώτης ευθείας του δι-γραμμικού διαγράμματος τάσεων - παραμορφώσεων, προσδιορίστηκε η τιμή  $E_1$ :

$$E_1 = 3.950\sqrt{f_{co}} \text{ (GPa)} \quad (2.2.5)$$

και η τιμή  $E_2$  (κλίση δεύτερης ευθείας διαγράμματος τάσεων - παραμορφώσεων):

$$E_2 = 245.61 \cdot f_{co}^{0.2} + 1.3456 \frac{E_f \cdot t_f}{D} \text{ (GPa)} \quad (2.2.6)$$

Στην συνέχεια οι Samaan et al υπολόγισαν την εξίσωση που δίνει την τάση  $f_o$  και η οποία είναι συνάρτηση τόσο της αντοχής του απερίσφιγκτου σκυροδέματος  $f_{co}$ , όσο και της εγκάρσιας τάσης λόγω περίσφιγξης  $f_l$ :

$$f_o = 0.872 \cdot f_{co} + 0.371 \cdot f_l + 6.258 \text{ (MPa)} \quad (2.2.7)$$

Η οριακή παραμόρφωση αστοχίας  $\varepsilon_{cc,u}$ , προσδιορίζεται από την γεωμετρία του δι-γραμμικού διαγράμματος τάσεων - παραμορφώσεων και ισούται με:

$$\varepsilon_{cc,u} = \frac{f_{cc,u} - f_o}{E_2} \quad (2.2.8)$$

- Υπολογισμός παραμόρφωσης στην εγκάρσια διεύθυνση

Για την μοντελοποίηση της εγκάρσιας παραμόρφωσης, θεωρήθηκε ότι ισχύει το ίδιο δι-γραμμικό διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων, ισχύει δηλαδή η ίδια σχέση:

$$f_c = \frac{(E_{1l} - E_{2l}) \epsilon_{cl}}{\left[ 1 + \left( \frac{(E_{1l} - E_{2l}) \epsilon_{cl}}{f_{ol}} \right)^{nl} \right]^{1/nl}} + E_{2l} \epsilon_{cl} \quad (MPa) \quad (2.2.9)$$

όπου στην παραπάνω σχέση τα μεγεθη με δείκτη  $l$  υποδηλώνουν τα μεγέθη στην εγκάρσια (lateral) διεύθυνση.

Για τον υπολογισμό της πρώτης κλίσης  $E_{1l}$  χρησιμοποιήθηκε η σχέση που είχε προτείνει ο Ahmad(1981):

$$E_{1l} = \frac{E_1}{\nu} \quad (GPa) \quad (2.2.10)$$

όπου:

$\nu \rightarrow$  ο λόγος Poisson του σκυροδέματος που κυμαίνεται μεταξύ 0.15-0.22

Στην συνέχεια υπολογίστηκε ο ρυθμός διόγκωσης του πυρήνα σκυροδέματος από την σχέση:

$$\mu = - \frac{d\epsilon_l}{d\epsilon_c} \quad (2.2.11)$$

Οι Samaan et al όμως διαπίστωσαν ότι το  $\mu_{max}$  (μέγιστος ρυθμός διόγκωσης) και το  $\mu_u$  (οριακός ρυθμός διόγκωσης) εξαρτώνται από την δυσκαμψία του συστήματος περίσφιξης σύμφωνα με τις παρακάτω συναρτήσεις:

$$\mu_{max} = -0.997 \ln \left( \frac{2E_f t_f}{f_{co} D} \right) + 3.938 \quad (2.2.12)$$

$$\mu_u = -0.187 \ln \left( \frac{2E_f t_f}{f_{co} D} \right) + 0.881 \quad (2.2.13)$$

Αρα χρησιμοποιώντας τις παραπάνω σχέσεις το  $E_{2l}$  υπολογίζεται ως εξής:

$$E_{2l} = \frac{E_2}{\mu_u} \quad (GPa) \quad (2.2.14)$$

$$\text{Η τάση } f_{ol} \text{ ισούται με: } f_{ol} = 0.636 \cdot f_{co} + 0.222 \cdot f_l + 4.561 \quad (MPa) \quad (2.2.15)$$

Τελικά η εγκάρσια παραμόρφωση κατά την αστοχίας του μανδύα ΙΟΠ υπολογίζεται από τον λόγο:

$$\varepsilon_{l,cc,u} = \frac{f_{cc,u} - f_{o1}}{E_{2l}} \quad (2.2.16)$$

Οι Samaan et al για να την μοντελοποίηση των παραπάνω σχέσεων, χρησιμοποίησαν τα πειραματικά δεδομένα του Amir Mirmiran (1997). Το πείραμα περιελάμβανε, δοκιμές κυλίνδρων σύνθετων υλικών με την διαδικασία διάσπασης δακτυλίου (split-disk), δοκιμές μονοαξονικής θλίψης, δοκιμές σε δοκούς και υποστυλώματα, δοκιμές σε ψηλά και ευλύγιστα υποστυλώματα και τέλος δοκιμές καμπτο-διατμητικής αντοχής.

Συγκεκριμένα από τα όλα τα παραπάνω πειράματα που έγιναν και αναφέρονται στο κεφάλαιο 3, χρησιμοποίησε μόνο εκείνα που αναφέρονταν σε δοκιμές μονοαξονικής θλίψης.

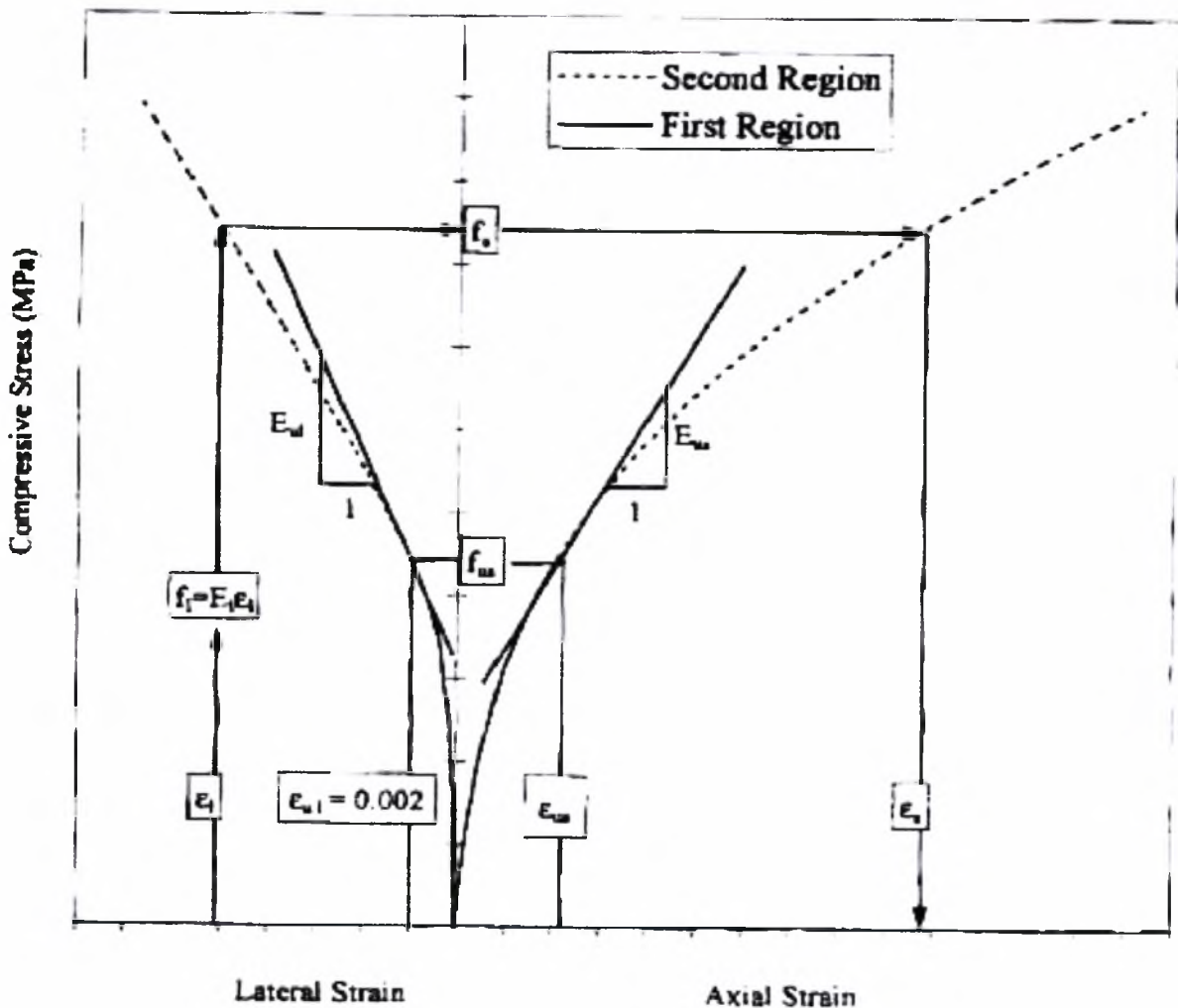
**Πίνακας 2.2.1:** Αποτελέσματα δοκιμών Mirmiran που χρησιμοποίησαν οι Samaan et al στο προσομοίωμα τους

Αριθμός στρώσεων	Αριθμός δοκιμίου	$t_f$ (mm)	$f_{co}$ MPa(ksi)	$f_{cc,\mu}$ MPa(ksi)	$\varepsilon_{cc,\mu}$ (%)	$\varepsilon_{lc,\mu}$ (%)
6	DA11	1.346	30.86 (4.476)	53.66 (7.782)	3.1	1.23
	DA13		30.86 (4.476)	56.50 (8.194)	3.3	1.77
	DB11		29.64 (4.299)	67.12 (9.735)	2.9	1.77
	DB12		29.64 (4.299)	55.29 (8.019)	3.8	1.56
	DB13		29.64 (4.299)	60.23 (8.735)	3.8	1.82
	DC11		31.97 (4.637)	59.06 (8.566)	3.4	1.92
	DC12		31.97 (4.637)	60.79 (8.816)	3.4	1.82
10	DA21	2.08	30.86 (4.476)	72.92 (10.567)	4.1	1.49
	DA22		30.86 (4.476)	65.67 (9.525)	2.9	1.15
	DA23		30.86 (4.476)	77.99 (11.311)	4.4	1.68
	DB21		29.64 (4.299)	74.56 (10.813)	4.3	1.59
	DB22		29.64 (4.299)	93.02 (13.491)	4.3	1.88
	DB23		29.64 (4.299)	71.74 (10.405)	3.9	1.49
	DC21		31.97 (4.637)	77.35 (11.218)	3.8	1.46
	DC22		31.97 (4.637)	77.08 (11.179)	3.8	1.35
14	DA31	2.997	30.86 (4.476)	85.72 (12.432)	4.4	1.37
	DA33		30.86 (4.476)	86.76 (12.583)	4.7	1.55
	DB31		29.64 (4.299)	86.22 (12.505)	4.6	1.26
	DB32		29.64 (4.299)	114.66 (16.629)	5.3	1.94
	DB33		29.64 (4.299)	87.44 (12.681)	4.1	1.45
	DC31		31.97 (4.637)	86.11 (12.489)	4.2	1.30
	DC32		31.97 (4.637)	83.99 (12.182)	4.3	1.29

### 2.3 Προσομοίωμα Η. Toutanji (1999) [18]

Ο Toutanji για το προσομοίωμα που ανέπτυξε στηρίχθηκε στο προσομοίωμα των Richard et al (1928) και στο ευρέως αποδεκτό μοντέλο των Mander et al (1988) τα οποία αναφέρονται στην περίσφιγξη του σκυροδέματος με συμβατικό χαλύβδινο οπλισμό.

Το προτεινόμενο μοντέλο αποτελείται από δύο ευδιάκριτες φάσεις (βλέπε σχήμα 2.3.1), την **Φάση I** (συνεχής γραμμή διαγράμματος) και την **Φάση II** (εστιγμένη γραμμή διαγράμματος)



Σχήμα 2.3.1: Αναλυτική παρουσίαση της καμπύλης τάσεων - παραμορφώσεων που πρότεινε ο Η. Toutanji

Η πρώτη φάση δρά κατά τον ίδιο περίπου τρόπο με την περίσφιγξη που προσφέρουν οι χαλύβδινοι συνδετήρες (μέχρι την στιγμή που τα φύλλα FRP δεν έχουν ενεργοποιηθεί, πριν την αρχή ρηγμάτωσης του σκυροδέματος). Σε παραμόρφωση περίπου 2% τα φύλλα ενεργοποιούνται και η καμπύλη τάσεων-

παραμορφώσεων εξαρτάται κυρίως από την ακαμψία των σύνθετων υλικών. Από την καμπύλη, λοιπόν, φαίνεται πως μετά την παραμόρφωση που αντιστοιχεί στο 2% ξεκινάει μια γραμμή με λίγο μικρότερη κλίση. Το απερίσφιγκτο υποστύλωμα αστοχεί όταν σε αντίστοιχα υποστύλωματα που έχουν ενισχυθεί με τα ινοπλισμένα πολυμερή ενεργοποιείται ο μανδύας των FRPs.

Ο Toutanji προσδιόρισε εξισώσεις που δίνουν αξιόπιστα αποτελέσματα για την αξονική τάση - αξονική παραμόρφωση και την αξονική τάση - εγκάρσια παραμόρφωση κυλίνδρων ενισχυμένων με ινοπλισμένα πολυμερή.

- Εξισώσεις Φάσης II:

Οι Richard et al με βάση τα πειράματα που έκαναν πρότειναν την ακόλουθη σχέση για καλά περισφιγμένο σκυρόδεμα:

$$f_{cc,u} = f_{co} + k_1 f_l \quad (MPa) \quad (2.3.1)$$

όπου:

$f_{co}$  → η αντοχή σε θλίψη του απερίσφιγκτου σκυροδέματος

$f_{cc,u}$  → η αντοχή σε θλίψη του περισφιγμένου σκυροδέματος

$f_l$  → η τάση που ασκείται λόγω περίσφιγξης (στην εγκάρσια διεύθυνση)

$k_1$  → ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιγξης

Ο Toutanji χρησιμοποίησε την παραπάνω σχέση αλλά λίγο τροποποιημένη. Συγκεκριμένα, ενώ πολλοί ερευνητές (Richard et al, Balmer, Saatcioglu and Razvi) είχαν προτείνει μια σταθερή τιμή για τον συντελεστή  $k_1$  (4.1 - 7.0), ο Toutanji πρότεινε μια εξίσωση για τον υπολογισμό του, η οποία προήλθε από παλινδρόμηση πειραματικών αποτελεσμάτων. Επι πλέον πολύ σημαντικό είναι το γεγονός ότι ο συντελεστής αποδοτικότητας είναι συνάρτηση του λόγου  $f_l / f_{co}$ , δηλαδή του λόγου της τάσης περίσφιγξης που ασκείται στον μανδύα των σύνθετων υλικών (ίση και αντίθετη ασκείται και στο σκυρόδεμα) προς την αντοχή του σκυροδέματος.

$f_l$  → η τάση που ασκείται λόγω περίσφιγξης με μανδύα σύνθετων υλικών στο σκυρόδεμα (στην εγκάρσια διεύθυνση), εξαρτάται από την εγκάρσια παραμόρφωση του μανδύα και από την ακαμψία του και υπολογίζεται από την σχέση:

$$f_l = E_l * \varepsilon_l \quad (MPa) \quad (2.3.2)$$

όπου:

$E_f \rightarrow$  είναι η ακαμψία του μανδύα FRP και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$E_f = \frac{1}{2} \rho_f E_f = \frac{1}{2} E_f \frac{4t_f}{D} = \frac{2E_f t_f}{D} = \frac{E_f t_f}{R} \quad (GPa) \quad (2.3.3)$$

και ισχύει για πλήρη κάλυψη των κυλίνδρων, ενώ στην περίπτωση μερικής περιτύλιξης (με λωρίδες ανά αποστάσεις) ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$E_f = \left( \frac{E_f A_f}{RS} \right) \left( 1 - \sqrt{\frac{S}{2.5R}} \right) \quad (GPa) \quad (2.3.4)$$

όπου:

$A_f \rightarrow$  το εμβαδόν της διατομή της ίνας των σύνθετων υλικών

$S \rightarrow$  η καθαρή απόσταση των λωρίδων

$t_f \rightarrow$  το πάχος του υφάσματος

$E_f \rightarrow$  το μέτρο ελαστικότητας των ινών

$R \rightarrow$  η ακτίνα του κυλινδρικού δοκιμίου

Τέλος ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιγξης υπολογίζεται από την σχέση:

$$k_1 = 3.5 \left( \frac{f_l}{f_{co}} \right)^{-0.15} \quad (2.3.5)$$

και αντικαθιστώντας την εξίσωση (2.3.5) στην (2.3.1) προκύπτει:

$$f_{cc,u} = f_{co} + k_1 f_l \Rightarrow f_{cc,u} = f_{co} \left( 1 + k_1 \frac{f_l}{f_{co}} \right) \Rightarrow f_{cc,u} = f_{co} \left( 1 + 3.5 \left( \frac{f_l}{f_{co}} \right)^{0.85} \right) \quad (MPa) \quad (2.3.6)$$

Για να υπολογίσει την αξονική παραμόρφωση σε κυλίνδρους σκυροδέματος ο Toutanji αναφέρθηκε πάλι στα προσομοιώματα των Mander et al (1988) και των Richart et al (1928).

Οι Richart et al (1928) από τα πειράματα τους διαπίστωσαν ότι η αξονική παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος αυξάνεται όσο αυξάνεται η τάση περίσφιγξης  $f_l$  και έτσι κατέληξαν στην σχέση:

$$\varepsilon_{cc,u} = \varepsilon_{co} \left[ 1 + 5k_1 \left( \frac{f_l}{f_{co}} \right) \right] \quad (2.3.7)$$

Ενώ οι Mander et al (1988) διαπίστωσαν ότι η αξονική παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση της αντοχής του περισφιγμένου σκυροδέματος

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[ 1 + 5 \left( \frac{f_{cc}}{f_{co}} - 1 \right) \right] \quad (2.3.8)$$

Ο Toutanji με βάση τα αποτελέσματα των πειραμάτων του, και τις δύο παραπάνω εξισώσεις και κυρίως των Mander et al, αντικατέστησε τον σταθερο συντελεστή 5 με την μεταβλητή  $k_2$  και η εξίσωση (2.3.8) έγινε:

$$\varepsilon_{cc,u} = \varepsilon_{co} \left[ 1 + k_2 \left( \frac{f_{cc,u}}{f_{co}} - 1 \right) \right] \quad (2.3.9)$$

Η εξίσωση που υπολογίζει την μεταβλητή  $k_2$  βασίστηκε πάλι σε πειραματικά αποτελέσματα και υπολογίστηκε ως:

$$k_2 = 310.57\varepsilon_l + 1.90 \quad (2.3.10)$$

όπου:

$\varepsilon_l \rightarrow$  είναι η εγκάρσια παραμόρφωση.

Αντικαθιστώντας την (2.3.10) στην (2.3.9) προκύπτει:

$$\varepsilon_{cc,u} = \varepsilon_{co} \left[ 1 + (310.57\varepsilon_l + 1.90) \left( \frac{f_{cc,u}}{f_{co}} - 1 \right) \right] \quad (2.3.11)$$

όπου:

$f_{co} \rightarrow$  είναι η αντοχή σε θλίψη του απερίσφιγκτου σκυροδέματος και

$f_{cc,u} \rightarrow$  η αντοχή σε θλίψη του περισφιγμένου με φύλλα FRP σκυροδέματος.

Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί, ότι από τις εξισώσεις (2.3.6) και (2.3.11) μπορεί να υπολογιστεί η τάση και η αξονική παραμόρφωση σε κάθε σημείο της δεύτερης φάσης, της καμπύλης τάσεων-παραμορφώσεων, αρκεί να γνωρίζουμε την εγκάρσια παραμόρφωση του μανδύα. Για αυτό τον λόγο ο Toutanji, δεν



χρησιμοποίησε τον συμβολισμό  $f_{cc,u}$  και  $\varepsilon_{cc,u}$  αλλά  $f_a$  και  $\varepsilon_{ca}$  (η διαδρομή υπολογισμού φαίνεται στο σχ. 2.3.1 με βελάκια)

Επισημαίνεται ότι το σημείο αλλαγής της καμπύλης τάσεων- παραμορφώσεων (φάση I  $\rightarrow$  φάση II) αντιστοιχεί σε εγκάρσια παραμόρφωση 2%, γιατί συνήθως σε σκυρόδεμα περισφιγμένο με συνδετήρες η παραμόρφωση και η αντίστοιχη αντοχή του σκυροδέματος, λαμβάνεται ως η τιμή που αντιστοιχεί στο σημείο που ο χάλυβας φτάνει την τάση διαρροής. Συνήθως ο χάλυβας φτάνει την τάση διαρροής σε παραμόρφωση περίπου 2% (2.17% για S500 και 1.74% για S400) .

- Εξισώσεις Φάσης I

Ο Toutanji τροποποιώντας λίγο την μέθοδο που είχαν προτείνει οι Ahmad και Shah (1982) για σκυρόδεμα περισφιγμένο με συνδετήρες δημιούργησε τις παρακάτω εξισώσεις, για τον υπολογισμό της θλιπτικής αντοχής και της αντίστοιχης παραμόρφωσης περισφιγμένου σκυροδέματος με σύνθετα υλικά για την Φάσης I της καμπύλης τάσεων-παραμορφώσεων.

$$f_a = \frac{A_i \varepsilon_i}{1 + C_i \varepsilon + D_i \varepsilon_i^2} \quad (MPa) \quad (2.3.12)$$

όπου :

$A_i = E_{ii}$  είναι η κλίση της φάσης I και ισχύει:

$$\begin{array}{|c} f_a=0 \\ \varepsilon_i=0 \end{array} \Rightarrow \frac{df_a}{d\varepsilon_i} = E_{ti}$$

στην αξονική διεύθυνση ( $E_{ia}$ ) και

στην εγκάρσια διεύθυνση ( $E_{ii}$ ) με  $E_{ii} = 51000(f_{co})^{1/3}$

$$C_i = \frac{E_{ii}}{f_{ua}} - \frac{2}{\varepsilon_{ui}} + \frac{E_{ui} E_{ii} \varepsilon_{ui}}{f_{uc}^2}$$

$$D_i = \frac{1}{\varepsilon_{ui}^2} - \frac{E_{ui} E_{ii}}{f_{ua}^2}$$

για το  $E_{ui}$  ισχύει:

$$\boxed{\begin{matrix} f_a = f_{ua} \\ \varepsilon_i = \varepsilon_{ui} \end{matrix}} \rightarrow \frac{df_a}{d\varepsilon_i} = E_{ui}$$

$E_{ui}$  είναι η κλίση της καμπύλης στην Φάση II

- στην αξονική διεύθυνση ( $E_{ua}$ )
- στην εγκάρσια διεύθυνση ( $E_{ui}$ )

$\varepsilon_{ui}$  είναι η οριακή παραμόρφωση

- στην αξονική ( $\varepsilon_{ua}$ ) και
- στην εγκάρσια διεύθυνση ( $\varepsilon_{ui}$ ) με  $\varepsilon_{ui} = 2\%$

$f_{ua}$  είναι η αντοχή στην αξονική διεύθυνση

Οι υπόλοιπες μεταβλητές υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις

$$\varepsilon_{ua} = \varepsilon_o \left[ 1 + 0.0448 \left( \frac{E_l}{f_{co}} \right)^{0.85} \right] \quad (2.3.13)$$

$$f_{ua} = f_{co} \left[ 1 + 0.0178 \left( \frac{E_l}{f_{co}} \right)^{0.85} \right] \quad (MPa) \quad (2.3.14)$$

$$E_{ui} = 7.55 E_l \left( \frac{f_{co}}{E_l} \right)^{0.15} \quad (GPa) \quad (2.3.15)$$

$$E_{ua} = 0.3075 \left( \frac{f_{co}}{\varepsilon_o} \right) \quad (GPa) \quad (2.3.16)$$

### **ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΤΟΥΤΑΝΤΣΙ**

Το μοντέλο που πρότεινε ο Toutanji βασίστηκε στα πειραματικά δεδομένα που πήρε από 18 κυλίνδρους σκυροδέματος, διαστάσεων  $D = 76 \text{ mm}$  και  $H = 305 \text{ mm}$  ( 3 x 12 in).

Τα πειράματα περιελάμβαναν 12 κυλίνδρους με μανδύα FRP και 6 απερίσφιγκτους κυλίνδρους σκυροδέματος. Το σκυρόδεμα που χρησιμοποιήθηκε είχε τις παρακάτω αναλογίες:

**ΤΣΙΜΕΝΤΟ : ΑΜΜΟΣ : ΑΔΡΑΝΗ : ΝΕΡΟ**

1 : 2 : 3 : 0.5

Κάθε κύλινδρος που ενισχύθηκε με μανδύα από 2 στρώσεις υφάσματος μιας κατεύθυνσης. Το ύφασμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν τριών τύπων: C1, C5 (από ίνες άνθρακα) και GE (από ίνες γυαλιού). Στον πίνακα 2.3.1 φαίνονται οι μηχανικές ιδιότητες των φύλλων FRP και της εποξικής ρητίνης.

Για την προετοιμασία του μανδύα εφάρμοσε κόλλα σε στεγνή και καθαρή επιφάνεια σκυροδέματος, στην συνέχεια εφάρμοσε την πρώτη στρώση του υφάσματος εξασφαλίζοντας ότι δεν είχε αφήσει κανένα κενό μεταξύ του σύνθετου υλικού και της επιφάνειας του σκυροδέματος.

Έπειτα εφάρμοσε άλλη μια στρώση κόλλας πάνω στην πρώτη στρώση υφάσματος και ακολούθησε η δεύτερη στρώση. Μετά την τοποθέτηση της τελευταίας στρώσης υφάσματος, προσθέσε και πάλι κόλλα στην εξωτερική επιφάνεια του μανδύα. Όλα τα δοκίμια διαμορφώθηκαν με προσανατολισμό ινών 0°. Σε όλα τα δοκίμια η τελική στρώση επεκτάθηκε με επικάλυψη 76 mm, για να εξασφαλίσει πλήρως την αναπύξη της αντοχής του σύνθετου υλικού. Στις άκρες των κυλίνδρων εφαρμόστηκε μια λεπτή στρώση από θειάφι, για να εξασφαλιστεί ο παραλληλισμός των επιφανειών και να γίνει με αυτό τον τρόπο ομοιόμορφη κατανομή των τάσεων.

Οι κύλινδροι σκυροδέματος, δοκιμάστηκαν υπό μονοαξονική θλίψη σε υδραυλική μηχανή φόρτισης με ρυθμό εφαρμογής φορτίου 0.22MPa/sec και τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.3.2.

**Πίνακας 2.3.1:** Μηχανικές Ιδιότητες FRP και ρητίνης

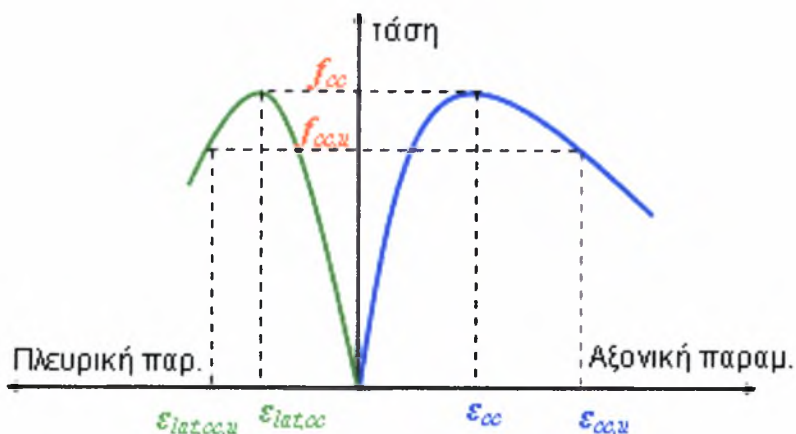
Ιδιότητες Υλικό	Εφελκυστική Αντοχή (MPa)	Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)	Παραμόρφωση Θραύσης (%)	Πάχος (mm)
GE	1518	72.9	21	0.118
C1	3485	230.5	15	0.110
C5	2940	372.8	8	0.165
Εποξική Ρητίνη	55.9	2.35	24	----

**Πίνακας 2.3.2:** Πειραματικά αποτελέσματα Toutanji

Ιδιότητες Υλικό	Αντοχή σε θλίψη (MPa) ( $f_{cc}$ )	Μέγιστη αξονική παραμόρφωση (%)	Μέγιστη εγκάρσια παραμόρφωση (%)	Μέτρο ελαστικότητας $E_f$ (GPa)	Μέγιστη εγκάρσια τάση (MPa)
Απερίσφιγκτος κύλινδρος	30.93	1.9	1.8	----	----
GE	60.82	15.3	16.3	72.6	7.33
C1	95.02	24.5	12.5	230.5	16.64
C5	94.01	15.5	5.5	372.8	17.76

## 2.4 Προσομοίωμα *fib* (2001) [12]

Το αναλυτικό προσομοίωμα σχεδιασμού μανδύα σύνθετων υλικών, για τον υπολογισμό της μέγιστης θλιπτικής αντοχής  $f_{cc}$  και της αντίστοιχης παραμόρφωσης  $\epsilon_{cc}$ , καθώς και της οριακής αντοχής  $f_{cc,u}$  και της οριακής παραμόρφωσης  $\epsilon_{cc,u}$  ανάλογα με το πάχος του μανδύα  $t_f$ , που έχει προταθεί από την *fib* (2001) παρουσιάζεται ακολούθως και βασίζεται στο μοντέλο των Mander et al [22]:



**Σχήμα 2.4.1:** Διάγραμμα τάσεων – αξονικής παραμόρφωσης - πλευρικής παραμορφωσης

Το αρχικό μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος είναι  $E_c$  και είναι ίσο με

$$E_c = 1.05 * 9500 * (f_{ck} + 8)^{1/3} \quad (GPa) \quad (2.4.1)$$

Ο συντελεστής αποδοτικότητας του μανδύα  $\alpha_f$  ισούται με:

$$\alpha_f = \alpha_n * \alpha_s * \alpha_a \leq 1 \quad (2.4.2)$$

και εξαρτάται από:

- την γεωμετρία της διατομής ,
- τον βαθμό περιτύλιξης (κάλυψης) του σκυροδέματος
- την διεύθυνση των ινών σε σχέση με τον άξονα του περισφιγμένου μέλους

όπου :

$$\alpha_n \rightarrow \text{είναι ο συντελεστής διατομής: } \alpha_n = \frac{A_e}{A_g} \quad (2.4.3)$$

για κυκλικές διατομές  $\alpha_n = 1$

$$\alpha_s \rightarrow \text{είναι ο συντελεστής κάλυψης: } \alpha_s = \frac{\left(1 - \frac{s'_f}{2d}\right)^2}{1 - \frac{A_s}{A_g}} \quad (2.4.4)$$

για πλήρη κάλυψη  $\alpha_s=1$

$$\alpha_a \rightarrow \text{είναι ο συντελεστής διεύθυνσης: } \alpha_a = \frac{1}{1 + (\tan \beta_f)^2} \quad (2.4.5)$$

για οριζόντια διάταξη ινών  $\alpha_a=1$

$A_g \rightarrow$  εμβαδόν διατομής

$A_s \rightarrow$  εμβαδόν διατομής διαμήκους οπλισμού

$A_e \rightarrow$  εμβαδόν περισφιγμένου σκυροδέματος, στην διατομή

$s'_f \rightarrow$  καθαρή απόσταση λωρίδων σε περίπτωση μερικής περιτύλιξης

$d \rightarrow$  μήκος μικρότερης πλευράς (ή διάμετρος κυκλικής διατομής)

$\beta_f \rightarrow$  γωνία ινών ως προς την κάθετο στον άξονα του μέλους

Η μέση τάση περίσφιγξης (κατά την θραύση του μανδύα) είναι ίση (για κυκλικό υποστύλωμα) με:

$$f_l = (\sigma_{lud}) = \alpha_f \frac{2t_f}{D} f_{fde} \quad (MPa) \quad (2.4.6)$$

όπου:

$f_{fde} \rightarrow$  η αντοχή του μανδύα

$\alpha_f \rightarrow$  ο συντελεστής αποδοτικότητας του μανδύα

$f_l \rightarrow$  η τάση λόγω περίσφιγξης που ασκείται στην εγκάρσια διεύθυνση του κυλίνδρου

Σημειώνεται ότι η εφελκυστική αντοχή του μανδύα κατά την έννοια της περιμέτρου είναι μικρότερη από την εφελκυστική αντοχή των σύνθετων υλικών όπως αυτή μετράται μέσω δοκιμών εφελκυσμού. Αυτό οφείλεται στην πολυαξονικότητα της εντατικής κατάστασης στον μανδύα, στην ενδεχόμενη συγκέντρωση τάσεων σε υπάρχουσες γωνίες σε περίπτωση τετραγωνικών υποστυλωμάτων, στην ποιότητα εφαρμογής του μανδύα και τέλος στην ύπαρξη αρκετών στρώσεων. Η μείωση αυτή λαμβάνεται υπόψιν μέσω ενός μειωτικού συντελεστή  $\eta_e$  ο οποίος παίρνει τιμές μεταξύ 0.6-0.9.

$$f_{f_{de}} = \eta_e f_{rd} \quad (MPa) \quad (2.4.7)$$

Στην συνέχεια με βάση τις παραμέτρους της καμπύλης τάσεων παραμορφώσεων των Mander et al (1988) γίνονται οι εξής υπολογισμοί:

$$\alpha_{1d} = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_l}{f_{co}} - 2 \frac{f_l}{f_{co}}} - 1.254 \quad (2.4.8)$$

όπου  $\alpha_{1d}$  είναι ο λόγος  $\frac{f_{cc}}{f_{co}}$ .

$$\alpha_{2d} = 1 - \left( 0.6 \left( \frac{d}{b} \right)^2 - 1.4 \left( \frac{d}{b} \right) + 0.8 \right) \sqrt{\frac{f_l}{f_{co}}} \quad (2.4.9)$$

$\alpha_{2d} = 1$  για κυκλικά υποστυλώματα και τετραγωνικά υποστυλώματα, αφού d, b είναι οι χαρακτηριστικές διαστάσεις της διατομής του υποστυλώματος.

Επίσης με βάση το μοντέλο των Mander et al (1988) η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στο σημείο απόκτησης της αντοχής του περισφιγμένου σκυροδέματος δίνεται από την σχέση:

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left( 1 + 5 \left( \frac{f_{cc}}{f_{co}} - 1 \right) \right) \quad (2.4.10)$$

Αντικαθιστώντας στην (25) την (24) και την (23) και με την παραδοχή ότι υπό κεντρική θλίψη, η παραμόρφωση θραύσης του σκυροδέματος είναι  $\varepsilon_{co} = 0.002$  καταλήγουμε στην παρακάτω σχέση:

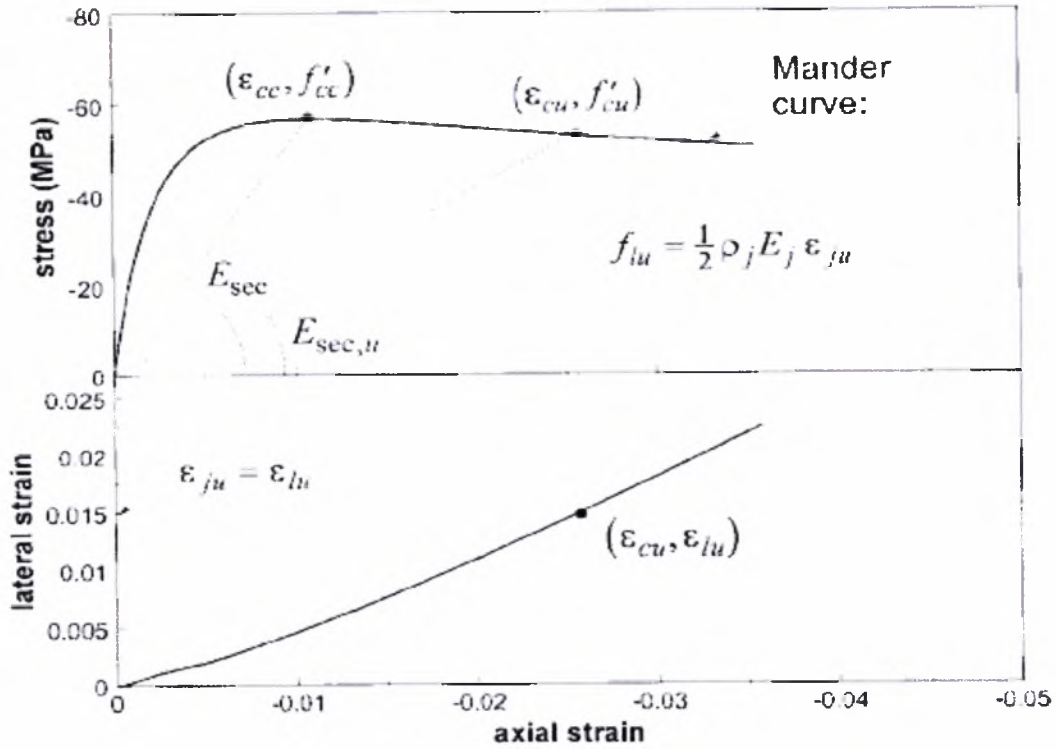
$$\varepsilon_{cc} = 0.002(1 + 5(\alpha_{1d}\alpha_{2d} - 1)) \quad (2.4.11)$$

Το επιβατικό (τέμνον) μέτρο ελαστικότητας στην οριακή κατάσταση αστοχίας ισούται με:

$$E_{sec,ud} = \frac{E_c}{1 + 2\beta \frac{f_{fde}}{E_f}} \quad GPa \quad (2.4.12)$$

$$\text{όπου: } \beta = \frac{E_c}{f_{co}} - \frac{1}{\varepsilon_{co}} \quad (\varepsilon_{co} = 0.002) \quad (2.4.13)$$

Στο σχήμα (2.4.2) το  $E_{sec,ud}$ , συμβολίζεται  $E_{sec,u}$



**Σχήμα 2.4.2:** Διάγραμμα που παριστά το τέμνον μέτρο ελαστικότητας στην αστοχία και στο σημείο της αντοχής σύμφωνα με τους Mander et al (1988)

Τέλος για το  $E_{sec,Md}$ , το τέμνον μέτρο ελαστικότητας στο σημείο που πραγματοποιείται η αντοχή που στο σχήμα (2.4.2) συμβολίζεται απλώς ως  $E_{sec}$  και ισχύει:

$$E_{sec,Md} = \frac{f_{cc}}{\epsilon_{cc}} = \frac{\alpha_{1d} \alpha_{2d} f_{cd}}{0.002[1 + 5(\alpha_{1d} \alpha_{2d} - 1)]} \text{ (GPa)} \quad (2.4.14)$$

Άρα η οριακή παραμόρφωση  $\epsilon_{cc,u}$  και η αντίστοιχη τάση  $f_{cc,u}$  που αντιστοιχεί στην θραύση του περισφιγμένου με μανδύα σύνθετων υλικών σκυροδέματος:

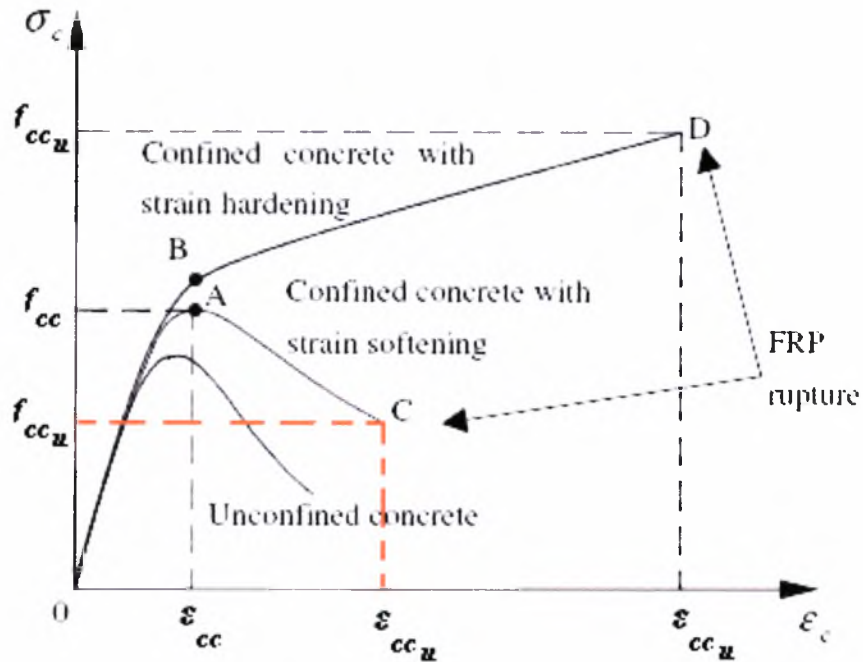
$$\epsilon_{cc,u} = 0.002[1 + 5(\alpha_{1d} \alpha_{2d} - 1)] * \left[ \frac{E_{sec,Md} (E_c - E_{sec,ud})}{E_{sec,ud} (E_c - E_{sec,Md})} \right]^{E_{sec,Md}/E_c} \quad (2.4.15)$$

$$f_{cc,u} = E_{sec,ud} * \epsilon_{cc,u} \geq f_{cd} \text{ (MPa)} \quad (2.4.16)$$



## 2.5 Προσομοίωμα G. Wu, Z.T. Lü, Z.S. Wu (2006) [10]

Το μοντέλο των Wu et al (2006) υπολογίζει την αντοχή  $f_{cc}$  και την αντίστοιχη  $\varepsilon_{cc}$  για περισφιγμένο σκυρόδεμα και το σημείο έναρξης της αστοχίας  $f_{cc,u}$ ,  $\varepsilon_{cc,u}$  ανάλογα με την απόκριση του διαγράμματος  $\sigma$ - $\varepsilon$ .



**Σχήμα 2.5.1:** Διάγραμμα  $\sigma$ - $\varepsilon$  πειραμάτων Wu et al για κράτυνση και μείωση της αποκρίσεως μανδύα

Συγκεκριμένα για τον υπολογισμό της αντοχής του μανδύα οι παραπάνω ερευνητές διέκριναν δύο κατηγορίες, ανάλογα με το αν η καμπύλη  $\sigma - \varepsilon$  του περισφιγμένου στοιχείου παρουσιάζει κράτυνση ή μείωση της αποκρίσεως για  $\varepsilon_c > \varepsilon_{cc}$ .

1. Για την κατηγορία που το περισφιγμένο στοιχείο παρουσιάζει κράτυνση ισχύει  $f_i/f_{co} > \lambda$

όπου:

$\lambda = 0.13$  για FRP με σύνηθες μέτρο ελαστικότητας

$\lambda = 0.13 * \sqrt{250/E_f}$  για FRP υψηλό μέτρο ελαστικότητας

Διακρίνουμε τις παρακάτω κατηγορίες, αναλογά με το εάν η αντοχή  $f_f$  των φύλλων ΙΟΠ προσδιορίζεται από τους κατασκευαστές ή από πειραματικές δοκιμές διότι σε μερικές περιπτώσεις η εφελκυστική αντοχή των FRPs που προκύπτει από τις δοκιμές ίσως είναι μεγαλύτερη από τη αντοχή που παρέχεται από τους

κατασκευαστές λόγω του ότι υπάρχουν διαφορετικοί συντελεστές ασφαλείας στα διάφορα εργοστάσια.

Συνεπώς προτείνεται η εφελκυστική αντοχή να προσδιορίζεται από δοκιμές επίπεδου εφελκυσμού.

- **Εξισώσεις υπολογισμού αντοχής μανδύα ΙΟΠ**

**α) Η οριακή αντοχή του μανδύα ΙΟΠ, προσδιορίζεται από δοκιμές εφελκυσμού σε δείγματα από το σύνθετο υλικό που θα χρησιμοποιηθεί:**

(Σε παρένθεση αναγράφεται ενδεικτικά ο συντελεστής συσχέτισης  $R^2$  που προέκυψε από την πολυωνυμική παλινδρόμηση των πειραματικών δεδομένων που είχαν στην διαθεσή τους οι Wu et al)

**α<sub>1</sub>) Για σύνηθες μέτρο ελαστικότητας των φύλλων CFRP (σχ. 2.5.2)**

$$\frac{f_{cc,u}}{f_{co}} = 0.745 + 3.357 \frac{f_l}{f_{co}} - 1.053 \left( \frac{f_l}{f_{co}} \right)^2 \quad (R^2=0.9) \quad (2.5.1)$$

Και μπορεί να απλοποιηθεί με εξίσωση γραμμικής παλινδρόμησης:

$$\frac{f_{cc,u}}{f_{co}} = 2 \frac{f_l}{f_{co}} + 1 \quad (R^2=0.89) \quad (2.5.2)$$

**α<sub>2</sub>) Για υψηλό μέτρο ελαστικότητας φύλλων CFRP ( $378 \text{ GPa} \leq E_{f, \text{άνθρακα}} \leq 640$  GPa) (σχ. 2.5.3)**

$$\frac{f_{cc,u}}{f_{co}} = 1 + 2.755 \frac{f_l}{f_{co}} - 0.6 \left( \frac{f_l}{f_{co}} \right)^2 \quad (R^2=0.93) \quad (2.5.3)$$

Και μπορεί να απλοποιηθεί σε:

$$\frac{f_{cc,u}}{f_{co}} = 2.4 \frac{f_l}{f_{co}} + 1 \quad (R^2=0.91) \quad (2.5.4)$$

α<sub>3</sub>) Για ‘σώληνες’ FRP που χρησιμοποιούνται για περίσφιγξη σκυροδέματος:

Οι σώληνες FRP με σκυρόδεμα στο εσωτερικό τους, χρησιμοποιήθηκαν από τους Saafi et al, Mirmiran–Shahawy, και Tegola-Manni. (σχ. 2.5.4)

$$\frac{f_{cc,u}}{f_{co}} = 1.316 + 2.098 \frac{f_l}{f_{co}} - 0.317 \left( \frac{f_l}{f_{co}} \right)^2 \quad (R^2 = 0.91) \quad (2.5.5)$$

Και μπορεί να απλοποιηθεί σε:

$$\frac{f_{cc,u}}{f_{co}} = 2.5 \frac{f_l}{f_{co}} + 1 \quad (R^2 = 0.86) \quad (2.5.6)$$

β) Όταν η εφελκυστική αντοχή του σύνθετου υλικού προσδιορίζεται από τους κατασκευαστές:

Η οριακή αντοχή του φύλλου FRP μπορεί να προσδιοριστεί από τις ακόλουθες εξισώσεις (σχ. 2.5.5)

$$\frac{f_{cc,u}}{f_{co}} = 0.408 + 6.157 \frac{f_l}{f_{co}} - 3.25 \left( \frac{f_l}{f_{co}} \right)^2 \quad (R^2 = 0.96) \quad (2.5.7)$$

Και μπορεί να απλοποιηθεί σε:

$$\frac{f_{cc,u}}{f_{co}} = 3 \frac{f_l}{f_{co}} + 1 \quad (R^2 = 0.84) \quad (2.5.8)$$

- **Εξισώσεις υπολογισμού οριακής παραμόρφωσης κατά την αστοχία του μανδύα ΙΟΠ**

Από την μελέτη των πειραμάτων οι Wu et al διαπίστωσαν πώς ο λόγος Poisson κατά την αστοχία σχετίζεται με την οριακή παραμόρφωση, αφού ουσιαστικά είναι ο λόγος της εγκάρσιας προς την αξονική παραμορφωση. Έτσι υπολόγισαν και τον λόγο Poisson  $\nu_u$  για τον υπολογισμό του οποίου έγινε ένας παρόμοιος διαχωρισμός με αυτόν που έγινε για τον υπολογισμό των τάσεων.

**α<sub>1</sub>)** Για φύλλα CFRP κοινού μέτρου ελαστικότητας, φύλλα GFRP, AFRP προκύπτει (σχ. 2.5.6) :

$$v_u = 0.56 \left( \frac{f_l}{f_{co}} \right)^{-0.66} \quad (2.5.9)$$

**α<sub>2</sub>)** Για φύλλα CFRP υψηλού μέτρου ελαστικότητας, φύλλα GFRP, AFRP προκύπτει:

$$v_u = 0.56 k_l \left( \frac{f_l}{f_{co}} \right)^{-0.66} \quad (2.5.10)$$

όπου:

$k_l$  είναι ο συντελεστής επιρροής του μέτρου ελαστικότητας των ΙΟΠ

Προτείνεται να είναι:

$k_l = 1$  όταν  $E_f \leq 250$  GPa και

$$k_l = \sqrt{250/E_f} \quad \text{όταν } E_f > 250 \text{ GPa}$$

**α<sub>3</sub>)** Για ‘σωλήνες’ περίσφιγξης σκυροδέματος CFRP και GFRP διαπιστώθηκε ότι ο λόγος Poisson είναι μικρότερος από τον λόγο Poisson για φύλλα CFRP και GFRP αντίστοιχα. Προκύπτει λοιπόν (σχ. 2.5.7):

$$v_u = 0.33 \left( \frac{f_l}{f_{co}} \right)^{-0.35} \quad (2.5.11)$$

Η οριακή αξονική παραμόρφωση των ενισχυμένων, με σύνθετα υλικά, κυλίνδρων είναι αυτή για την οποία συμβαίνει διάρρηξη των FRPs. Αφού προσδιοριστεί ο λόγος Poisson κατά την αστοχία (σύμφωνα με τα παραπάνω) υπολογίζουμε την  $\varepsilon_{cc,u}$  ως εξής:

$$\varepsilon_{cc,u} = \frac{\varepsilon_{fu}}{v_u} \quad (2.5.12)$$

2. Εάν όμως  $\frac{f_l}{f_{co}} < \lambda$  οπότε η καμπύλη  $\sigma - \varepsilon$  παρουσιάζει μείωση αποκρίσεως, και ισχύει:

- για την μέγιστη τάση  $f_{cc}$  :

$$f_{cc} = f_{co} (1 + 0.002a\lambda_1) \quad (2.5.13)$$

- για την παραμόρφωση που συντιστοιχεί στην  $f_{cc}$ , δηλαδή την  $\varepsilon_{cc}$  :

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} (1 + 0.002a\lambda_1) \quad (2.5.14)$$

όπου:

$$\alpha = \frac{f_{c30}}{f_{co}} = \frac{30}{f_{co}} \quad (2.5.15)$$

$$\lambda_1 = \frac{\rho_f E_f}{\sqrt{f_{co}}} \quad (2.5.16)$$

- για την οριακή τάση κατά την αστοχία  $f_{cc,u}$  :

$$f_{cc,u} = f_{co} (0.75 + 2.5 \frac{f_l}{f_{co}}) \quad (2.5.17)$$

- για την παραμόρφωση θραύσης  $\varepsilon_{cc,u}$  :

$$\varepsilon_{cc,u} = \varepsilon_{co} (1.3 + 6.3 \frac{f_l}{f_{co}}) \quad (2.5.18)$$

Οι παραπάνω εξίσωσεις προέκυψαν χρησιμοποιώντας οι Wu et al πειράματα άλλων ερευνητών [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [2]

Το σκυρόδεμα που χρησιμοποιήθηκε είχε αντοχή 23 MPa <  $f_{co}$  < 75.4 MPa, οι κύλινδροι είχαν:

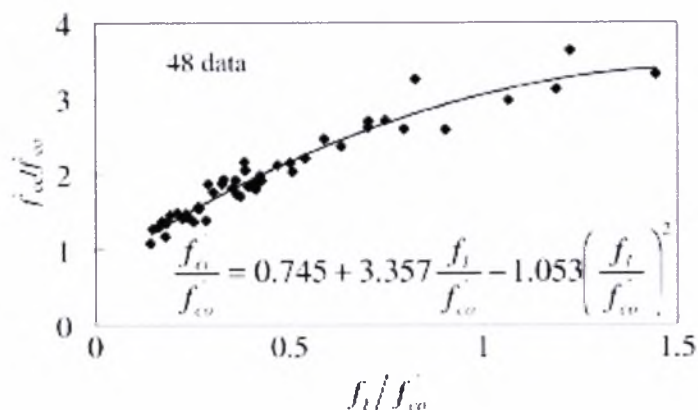
διαμέτρους  $75 \text{ mm} \leq D \leq 500 \text{ mm}$

και ύψη  $150 \text{ mm} \leq H \leq 1824 \text{ mm}$ .

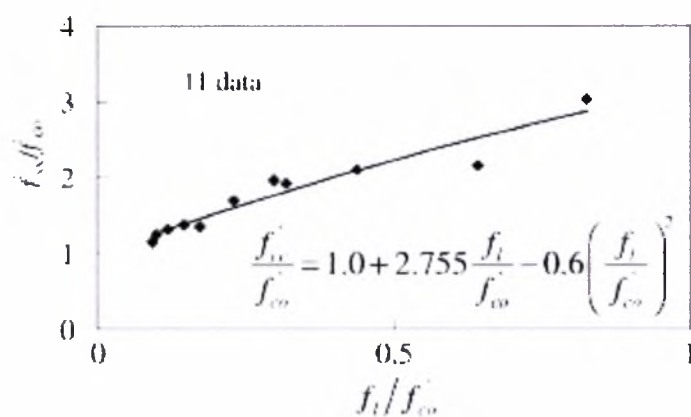
Επιπλέον τα σύνθετα υλικά περιλάμβαναν ίνες αραμιδίου, άνθρακα και γυαλιού. Συγκεκριμένα τα CFRP είχαν υψηλό  $E_f > 250 \text{ GPa}$  και σύνηθες μέτρο ελαστικότητας  $E_f \leq 250 \text{ GPa}$ . Πιο συγκεκριμένα το μέτρο ελαστικότητας ήταν μεταξύ 19.1 GPa και 640 GPa.

Τέλος η εφελκυστική αντοχή κυμαινόταν μεταξύ 330 MPa και 4433 MPa και το πάχος μεταξύ 0.11mm και 3.00mm

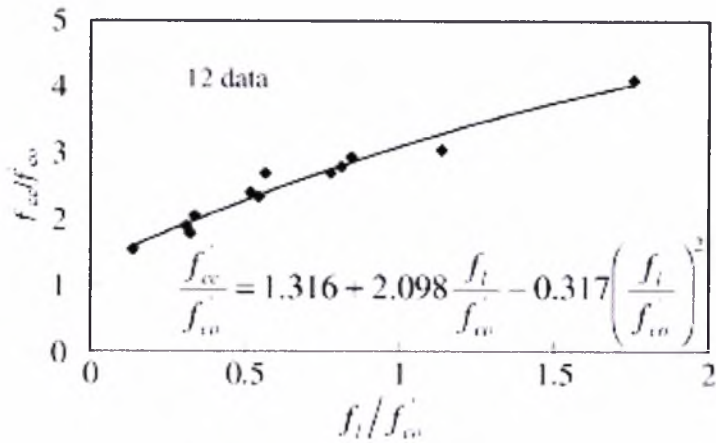
Τα παραπάνω πειραματικά δεδομένα οι Wu et al τα ταξινόμησαν και αφού εφάρμοσαν σε αυτά πολυωνυμική παλινδρόμηση προέκυψαν οι εξισώσεις (2.5.1) έως (2.5.12) με την βοήθεια των διαγραμμάτων για  $E_f \leq 250\text{GPa}$ , για  $E_f > 250\text{GPa}$  και για σωλήνες FRP.



**Σχήμα 2.5.2:** Πειραματικά δεδομένα φύλλα FRP με σύνηθες μέτρο ελαστικότητας (εξ. 2.5.1)



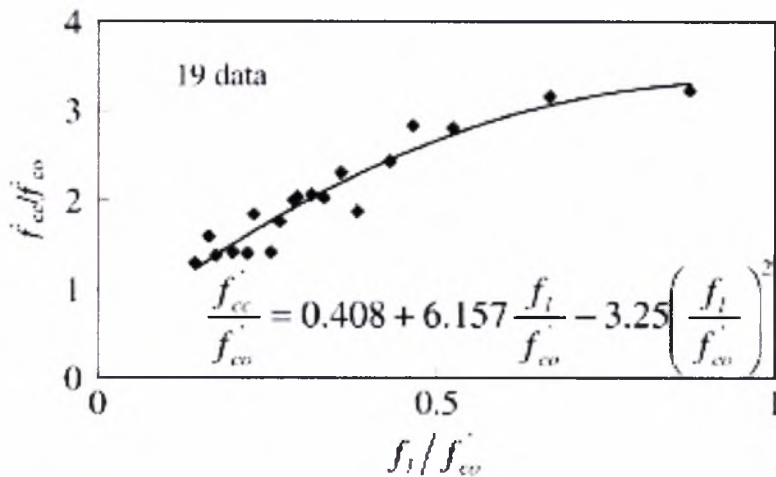
**Σχήμα 2.5.3:** Πειραματικά δεδομένα φύλλα FRP με υψηλό μέτρο ελαστικότητας (εξ. 2.5.3)



**Σχήμα 2.5.4:** Πειραματικά δεδομένα για σωλήνες FRP (FRP-tubes) (εξ. 2.5.5)

Στον άξονα X βρίσκονται οι τιμές του λόγου περίσφιγξης  $\frac{f_l}{f_{co}}$  και στον άξονα Y οι τιμές του λόγου  $\frac{f_{cc}}{f_{co}}$ .

Για όσα πειράματα η αντοχή των σύνθετων υλικών προσδιορίστηκε από τους κατασκευαστές χωρίς να γίνουν δοκιμές έγινε ξεχωριστή παλινδρόμηση.



**Σχήμα 2.5.5:** Πειραματικά δεδομένα, για φύλλα FRP, που τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά προσδιορίστηκαν από τον κατασκευαστή (εξ. 2.5.7)

Για τον υπολογισμό της οριακής παραμόρφωσης κατά την αστοχία, οι Wu et al παρατήρησαν ότι σχετίζεται με:

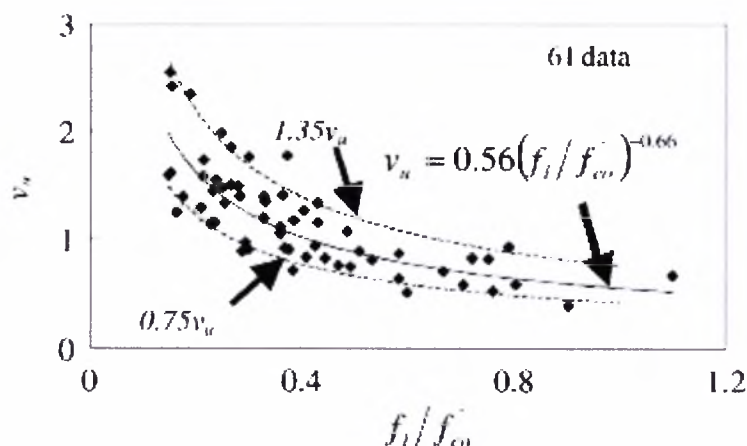
1. με τον λόγο  $E_l/f_{co}$
2. με τον λόγο  $f_l/f_{co}$
3. με την οριακή παραμόρφωση κατά την διάρρηξη των FRP
4. με τον τύπο των FRP
5. με το μέτρο ελαστικότητας των FRP.

Τα μοντέλα υπολογισμού της τιμής  $\varepsilon_{cc,u}$  που είχαν προταθεί κατά καιρούς δεν είχαν μελετήσει όλες τις παραπάνω παραμέτρους. Το νέο μοντέλο βασίστηκε στον υπολογισμό του λόγου Poisson.

Από τα πειραματικά δεδομένα που είχαν συγκεντρώσει έφτιαξαν τα παρακάτω διαγράμματα. Στον άξονα Y η τιμή  $\nu_u$  προσδιορίστηκε από τον λόγο  $\frac{\varepsilon_{u \text{ εγκάρσια}}}{\varepsilon_{u \text{ αξονική}}}$ , όπου οι τιμές αυτές είχαν μετρηθεί με μηκυνσιόμετρα που βρίσκονταν στην επιφάνεια των FRPs και περίπου στο μέσον του ύψους των κυλίνδρων.

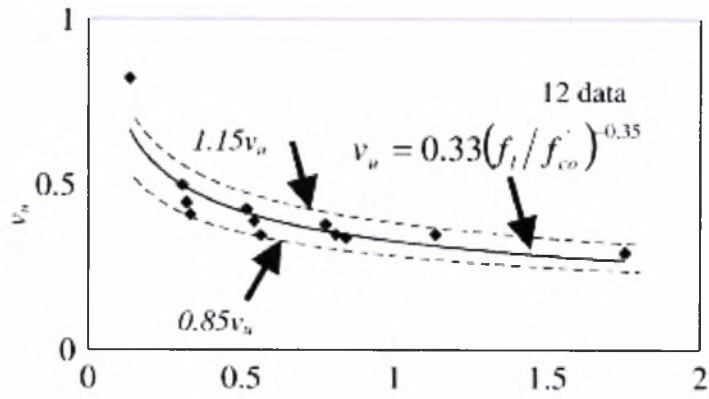
Έγινε πάλι πολυωνυμική παλινδρόμηση στα δεδομένα των διαγραμμάτων και έτσι προσδιορίστηκαν οι εξισώσεις (2.5.9), (2.5.10) και (2.5.11) για τον υπολογισμό του λόγου Poisson κατά την αστοχία του μανδύα.

Βασιζόμενοι στο γεγονός πως μετά την αστοχία της ενίσχυσης έχουμε αστοχία του στοιχείου υποστήριξαν ότι η οριακή παραμόρφωση αστοχίας υπολογίζεται από τον λόγο της παραμόρφωσης αστοχίας σε εφελκυσμό των σύνθετων υλικών προς τον λόγο Poisson κατά την αστοχία.



**Σχήμα 2.5.6:** Πειραματικά δεδομένα για FRP με σύνθετες μέτρο ελαστικότητας (εξ. 2.5.9)





**Σχήμα 2.5.7:** Πειραματικά δεδομένα για σωλήνες FRP (FRP-tubes) (εξ. 2.5.11)

2.6 Άλλα προσομοιώματα που έχουν προταθεί για περίσφιξη υποστυλωμάτων με ΙΟΠ

Model	$f_{cc,u}$ (MPa)	$\varepsilon_{cc,u}$
Fardis and Khalili	$\frac{f_{cc,u}}{f_{co}} = 1 + 3.7 \left( \frac{f_l}{f_{co}} \right)^{0.86}$	$\varepsilon_{cc,u} = \varepsilon_{co} + 0.0005 \frac{E_l}{f_{co}}$
Saadatmanesh et al	$\frac{f_{cc,u}}{f_{co}} = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \left( \frac{f_l}{f_{co}} \right)} - 2 \left( \frac{f_l}{f_{co}} \right) - 1.254$	$\frac{\varepsilon_{cc,u}}{\varepsilon_{co}} = 1 + 5 \left( \frac{f_{cc,u}}{f_{co}} - 1 \right)$
Saafi et al	$\frac{f_{cc,u}}{f_{co}} = 1 + 2.2 \left( \frac{f_l}{f_{co}} \right)^{0.84}$	$\frac{\varepsilon_{cc,u}}{\varepsilon_{co}} = 1 + (537 \varepsilon_{fu} + 2.6) \left( \left( \frac{f_{cc,u}}{f_{co}} \right) - 1 \right)$
Spoelstra and Mondt	$\frac{f_{cc,u}}{f_{co}} = 0.2 + 3 \left( \frac{f_l}{f_{co}} \right)^{0.50}$	$\varepsilon_{cc,u} = \varepsilon_{co} \left( 2 + 1.25 \frac{E_c}{f_{co}} \varepsilon_f \right) \sqrt{\frac{f_l}{f_{co}}}$
Xiao and Wu	$\frac{f_{cc,u}}{f_{co}} = 1.1 + \left[ 4.1 - 0.75 \left( \frac{f_{co}^2}{C_f} \right) \right] \left( \frac{f_l}{f_{co}} \right)$ <u>όπου <math>C_f = \Delta f / \Delta \varepsilon_f \rightarrow E</math></u>	$\varepsilon_{cc,u} = \frac{\varepsilon_{fu} - 0.0005}{7 \left( \frac{f_{co}}{C_f} \right)^{0.8}}$
Lam and Teng	$\frac{f_{cc,u}}{f_{co}} = 1 + 2 \left( \frac{f_l}{f_{co}} \right)$	<p>Για φύλλα CFRP</p> $\varepsilon_{cc,u} = 2\varepsilon_{co} + 15 \frac{f_l \cdot \varepsilon_{co}}{f_{co}}$ <p>Για σωλήνες GFRP</p> $\varepsilon_{cc,u} = 2\varepsilon_{co} + 27\varepsilon_{co} \left( \frac{f_l}{f_{co}} \right)^{0.7}$

## 2.7 Συμπεράσματα κάθε ερευνητής για το προσομοίωμα του

### α) Συμπεράσματα Samaan et al

Τα μοντέλα που προϋπήρχαν, σύμφωνα με τους Samaan et al, απέτυχαν στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς ενισχυμένων κυλίνδρων με ΙΟΠ κυρίως λόγω του ότι δεν λάμβαναν υπόψιν τους, την ακαμψία του συστήματος ενίσχυσης. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειχναν μια δι - γραμμική απόκριση όπου η αρχική κλίση αντιστοιχεί στην αντοχή του απερίσφιγκτου σκυροδέματος και η δεύτερη εξαρτάται από την ακαμψία του μανδύα (σχ. 2.2.1). Οι Samaan et al υποστηρίζαν πως το προσομοίωμα που προτείνουν έκτος του ότι είναι εξαιρετικά απλό, παρέχει καλή πρόβλεψη των εντατικών μεγεθών (ένταση – αξονική παραμόρφωση – πλευρική παραμόρφωση) περισφιγμένων κυλίνδρων.

Και συνεχίζουν, με σύγκριση των αναλυτικών προβλέψεων του προσομοιώματος με πειραματικά αποτελέσματα έκτος των πειραμάτων του Miramiran, όπου και διαπίστωσαν ότι όντως παρουσιάζει καλή συσχέτιση.

Τα πειράματα που σύγκριναν ήταν του Picher (1995), των Nanni and Bradford (1995) και τέλος του Mastrapa (1997) με εξίσου ικανοποιητικά συμπεράσματα.

### β) Συμπεράσματα Toutanji

Ο Toutanji διατυπώνοντας τα συμπεράσματα του τόνισε ευθύς εξ' αρχής πως το προσομοίωμα του περιορίζεται μόνο για κοντά κυλινδικά 'υποστυλώματα' στα οποία οι ίνες του μανδύα ΙΟΠ εφαρμόζονται σε κατεύθυνση κάθετη στον άξονα του στοιχείου. Παρατήρησε επίσης ότι οι προβλέψεις για τα δικά του πειραματικά δεδομένα παρουσίαζαν καλή συσχέτιση. Εφαρμόζοντας στο προσομοίωμα του και τις απαραίτητες μεταβλητές των πειραμάτων των Picher et al(1996), Harmon et al(1995), Miyauchi et al(1997) και των Miramiran – Shahawy [4] παρατήρησε ότι και πάλι το προσομοίωμα έδινε αποδεκτά αποτελέσματα.

Σύμφωνα πάντα με τον Toutanji το μόνο μειονέκτημα του νέου αυτού προσομοιώματος ήταν το ότι υπερεκτιμούσε το προσομοίωμα την αξονική ένταση των κυλίνδρων ΙΟΠ.

γ) Συμπεράσματα Wu et al

Από τα πειραματικά αποτελέσματα των πειραμάτων που εξέτασαν το συμπέραναν ήταν ότι η οριακή αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος εξαρτάται κυρίως από τον λόγο περισφιγξης  $\frac{f_l}{f_{co}}$  και σχετίζεται με το είδος των σύνθετων υλικών ενώ η αποδοτικότητα της περισφιγξης μπορεί να μειωθεί με την αύξηση του λόγου περισφιγξης  $\frac{f_l}{f_{co}}$  για τον ίδιο τύπο FRP.

Οι Wu et al από την μελέτη πολλών προσομοιωμάτων έβγαλαν το συμπέρασμα ότι σχεδόν τα περισσότερα από τα υπάρχοντα προέβλεπαν την οριακή αντοχή των περισφιγμένων κυλίνδρων σχεδόν επακριβώς, το πρόβλημα που παρουσίαζαν όμως ήταν η μεγάλη απόκλιση στην πρόβλεψη της παραμόρφωσης θραύσης. Σε σχέση με τα προσομοιώματα που εξετάζουμε στην παρούσα εργασία, οι Wu et al διαπίστωσαν πως εκείνο των Samaan et al υπολογίζει ικανοποιητικά την αντοχή και παραμόρφωση των σωλήνων ΙΟΠ δεν παρέχει όμως ακριβείς προβλέψεις για τους μανδύες.

Για να αποδείξουν ότι το προσομοίωμα τους είναι το ακριβέστερο για την πρόβλεψη οριακής παραμόρφωσης – αντοχής σύγκριναν τα πειραματικά αποτελέσματα που χρησιμοποίησαν με δεκατέσσερα (14) άλλα προσομοιώματα και τα αποτελέσματα καθώς και οι συγκρίσεις παρουσιάζονται παρακάτω

**Πίνακας 2.7.1:** Σύγκριση πειραματικών δεδομένων που χρησιμοποίησαν οι Wu et al με διάφορα αναλυτικά προσομοιώματα

	ΙΟΠ με σύνηθες μέτρο ελαστικότητας		ΙΟΠ υψηλού μέτρου ελαστικότητας		Σωλήνες ΙΟΠ	
	Μέσος όρος τιμών πειραμάτων					
Προσομοιώματα	Αντοχή	Παραμόρφωση	Αντοχή	Παραμόρφωση	Αντοχή	Παραμόρφωση
Ahmad et al	1.36	0.85	1.20	3.83	1.47	0.55
Saadatamanesh et al	1.32	1.08	1.23	1.88	1.16	0.52
Miyauchi et al	1.25	-	1.12	-	1.31	-
<b>Samaan et al</b>	<b>1.11</b>	<b>1.95</b>	<b>1.09</b>	<b>2.08</b>	<b>1.03</b>	<b>0.86</b>
<b>Toutanji</b>	<b>1.35</b>	<b>1.51</b>	<b>1.22</b>	<b>1.56</b>	<b>1.35</b>	<b>0.16</b>
Miyauchi et al	1.15	1.14	1.06	2.21	1.18	0.57
Saafi et al	1.07	1.56	0.82	1.55	1.00	0.88
<b>Spoelstra- Monti</b>	<b>1.07</b>	<b>1.86</b>	<b>0.94</b>	<b>1.85</b>	<b>1.01</b>	<b>0.92</b>
Xiao - Wu	1.12	0.97	1.16	1.44	1.36	0.56
Xiao - Wu	1.13	0.93	1.17	1.48	1.42	0.55
Lam-Teng	0.98	1.00	0.93	1.72	0.92	1.05
Lam-Teng	0.98	1.00	0.93	1.30	0.92	0.58
Lorentzis -Tepfers	-	0.71	-	1.15	-	0.43
Vintzileou	1.07	-	1.04	-	0.68	-
<b>Wu et al</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>0.94</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>
Παρουσίαση καλύτερων προβλέψεων						
1 <sup>ο</sup>	Wu et al	Wu et al	Wu et al	Wu et al	Wu et al	Wu et al
2 <sup>ο</sup>	Lam-Teng	Lam-Teng	Vintzileou	Lorentzis - Tepfers	Spoelstra - Monti	Spoelstra - Monti
3 <sup>ο</sup>	Spoelstra -Monti	Spoelstra- Monti	Saafi et al	Lam-Teng	Saafi et al	Saafi et al

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΠΕΡΙΣΦΙΓΜΕΝΩΝ ΜΕ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ

#### 3.1 Γενικά

Για την εφαρμογή και την διερεύνηση των αναλυτικών προσομοιωμάτων που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο λήφθηκαν πειραματικά αποτελέσματα από την διεθνή βιβλιογραφία.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται πέντε (5) πειραματικά προγράμματα, που έγιναν με σκοπό την διερεύνηση κυλίνδρων ενισχυμένων με ΙΟΠ. Οι ίνες των σύνθετων υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την ενίσχυση των δοκιμίων που εξετάζονται ήταν από άνθρακα, γυαλί και αραμίδιο. Επίσης παρουσιάζονται αποτελέσματα σωλήνων ΙΟΠ από ίνες γυαλιού με σκυρόδεμα στο εσωτερικό τους.

Η αντοχή του απερίσφιγκτου σκυροδέματος κυμαίνεται από 22.22 MPa έως 82.00 MPa.

Οι διαστάσεις των δοκιμίων που παρουσιάζονται είχαν στην πλειοψηφία τους διαστάσεις  $H=304\text{mm}$  και  $D=152\text{mm}$ , δηλαδή λόγο  $H/D=2$ . Επίσης υπήρχαν δοκίμια με ίδιο λόγο  $H/D$  αλλά με τις αμέσως μικρότερες διαστάσεις κυλίνδρου, δηλαδή  $H=200\text{mm}$  και  $D=100\text{mm}$  καθώς και κύλινδροι με λόγο  $H/D=1.6$  και διαστάσεις  $H=320\text{mm}$  και  $D=200\text{mm}$ .

Σε όλα τα δοκίμια μετρήθηκε η οριακή παραμόρφωση και αντοχή κατά την θραύση των κυλίνδρων.

Στην συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά τα πειράματα.

#### 3.2 Πειράματα P. Rochette – P. Labossiere [6]

Ο Pierre Rochette και ο Pierre Labossiere το 2000 στην εργασία που έκαναν ασχολήθηκαν με την συμπεριφορά δοκιμίων κυρίως, τετραγωνικής και ορθογωνικής διατομής ενισχυμένων με σύνθετα ινοπλισμένα πολυμερή από ίνες άνθρακα και αραμιδίου. Χρησιμοποιήθηκαν όμως και κάποια δοκίμια κυκλικής διατομής, τα οποία μας ενδιαφέρουν άμεσα στην παρούσα εργασία.

Αναλυτικότερα, για την παρασκευή των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε κανονικής αντοχής σκυρόδεμα, χωρίς προσθήκη αερακτικού. Το συγκεκριμένο σκυρόδεμα έφτανε μια μέση μονοαξονική αντοχή σε θλίψη περίπου  $f_{co} = 40$  MPa. Τα δύο σύνθετα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το υλικό Replark 20, (Χημική εταιρεία Mitsubishi, του Τόκιο) το οποίο αποτελείται από μίας κατεύθυνσης ίνες άνθρακα, και το άλλο από ύφασμα ινών αραμιδίου διπλής κατεύθυνσης.

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των παραπάνω σύνθετων υλικών προέκυψαν από μια σειρά πειραμάτων σε μονοαξονικό εφελκυσμό σε δείγματα ΙΟΠ (coupon tests) σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D3039-M89. Τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών παρουσιάζονται παρακάτω.

**Πίνακας 3.2.1:** Μηχανικά χαρακτηριστικά σύνθετων υλικών, όπως προέκυψαν από δοκιμές σε εφελκυσμό

Τύπος Ινών	$E_f$ GPa	$f_f$ MPa	$\varepsilon_{f,u}$ (%)	$t_f$ (mm)	$w$ (g/cm <sup>2</sup> )
Άνθρακας	82.7	1265	15	0.30	1.80
Αραμίδιο	13.6	230	16.9	0.42	----- (a)
(a) ΔΕΝ ΥΠΗΡΧΕ					

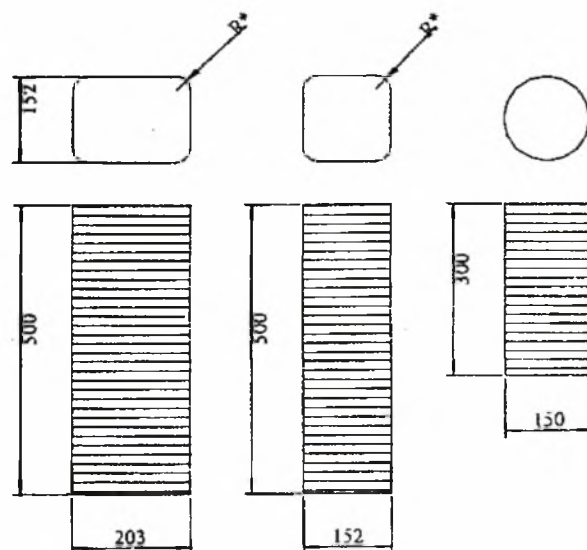
Μία σειρά δοκιμών διαφόρων σχημάτων (κυκλικής, ορθογωνικής, τετραγωνικής διατομής) ‘τυλίχθηκαν’ με δύο (2) έως πέντε (5) στρώσεις σύνθετων υλικών από ίνες άνθρακα. Επί πλέον μια άλλη σειρά δοκιμών που περιελάμβανε κυκλικά και τετραγωνικά υποστυλώματα ενισχύθηκε με τρεις (3), έξι (6), εννέα (9) και δώδεκα (12) στρώσεις σύνθετου υφάσματος αραμιδίου. Σε όλες τις περιπτώσεις η αρχική στρώση είχε διεύθυνση κάθετη στον άξονα του στοιχείου, δηλαδή 0°.

Οι διαστάσεις των δοκιμών φαίνονται παρακάτω (σχ.3.2.1).

Τα τετραγωνικά δοκίμια είχαν πλευρά 152mm και ύψος 500mm ενώ τα δοκίμια ορθογωνικής διατομής είχαν ύψος 500mm, πλευρές 152 x 203mm και διαφορετικές ακτίνες στρογγύλευσης των γωνιών.

Τα κυκλικά υποστυλώματα είχαν διαφορετικές διαστάσεις ανάλογα με το είδος του σύνθετου υλικού με το οποίο ενισχύονταν. Έτσι οι κύλινδροι που ενισχύθηκαν με δύο στρώσεις σύνθετου υλικού ινών άνθρακα είχαν διάμετρο 100mm και ύψος 200mm, ενώ οι κύλινδροι που ενισχύθηκαν με διάφορες στρώσεις αραμιδίου είχαν διάμετρο 150mm και ύψος 300mm.

Μετά και την εφαρμογή της τελικής στρώσης ενίσχυσης, τοποθετήθηκε στην αρχή και στο τέλος κάθε δοκιμίου μια λωρίδα πλάτους 25mm σύνθετου υλικού. Σκοπός αυτής της ‘τοπικής ενίσχυσης’ ήταν να αποφευχθούν τοπικές αστοχίες και να εξασφαλιστεί ότι η θλιπτική αστοχία θα συνέβαινε στο μέσον περίπου του ύψους του δοκιμίου.



\* R = 5, 25 or 38 mm

**Σχήμα 3.2.1:** Διαστάσεις ορθογωνικών, τετραγωνικών και κυλινδρικών δοκιμίων

Τα δοκίμια υπεβλήθησαν σε μονοαξονική θλιπτική φόρτιση ως την αστοχία. Η φόρτιση εφαρμόστηκε, ως ημι-στατική παραμόρφωση ρυθμού 10 με/sec με υδραυλική πρέσσα. Προηγούμενος είχε προστεθεί μια λεπτή στρώση θειαφιού στα δύο άκρα για να εξασφαλίσουν ότι οι επιφάνειες που θα έρχονταν σε επαφή με την μηχανή θλίψης θα ήταν επίπεδες και παράλληλες.

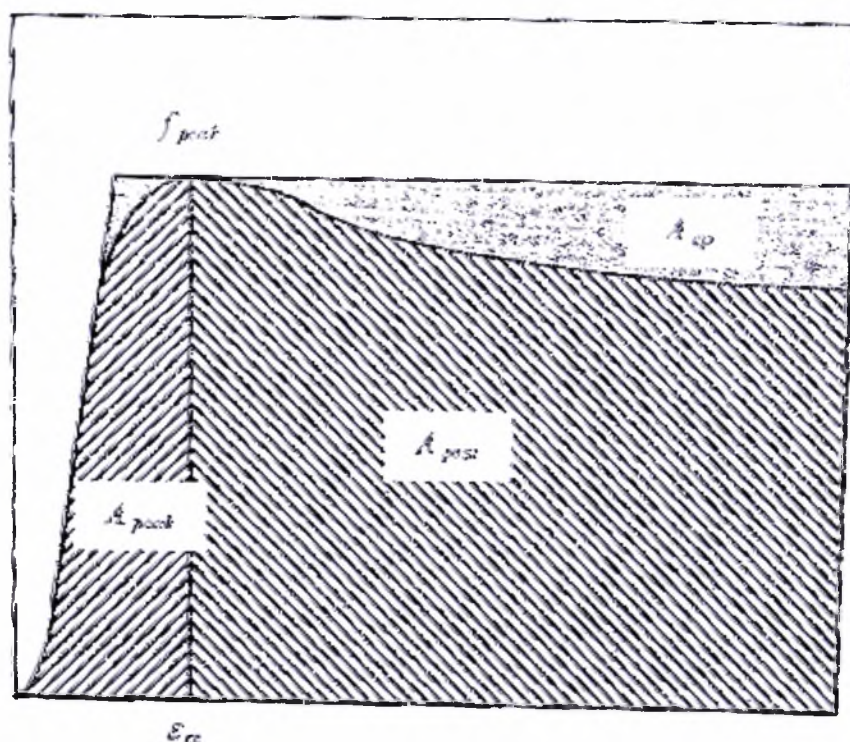
Η μεταβολή του συνολικού ύψους των δοκιμίων μετρήθηκε με μηκυσιόμετρα LVDT που είχαν τοποθετηθεί στους δύο δίσκους της μηχανής θλίψης, ενώ η εγκάρσια παραμόρφωση μετρήθηκε με μηκυσιόμετρα LVDT τα οποία είχαν στερεωθεί σε αλουμινένιο πλαίσιο.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες. Με έντονα γράμματα είναι τα αποτελέσματα στους κυλίνδρους (C). Τα υπόλοιπα αναφέρονται στα ορθογωνικά (R) και τετραγωνικά (S) δοκίμια.



**Πίνακας 3.2.2:** Αποτελέσματα δοκιμών μονοαξονικής θλίψης σε κυλίνδρους με ενίσχυση ΙΟΠ από ίνες αραμιδίου

Ιδιότητες υποστρωμάτων				Αξονικές Τάσεις		Παραμορφώσεις			Λόγοι πλαστιμότητας	
Δοκίμα	$\rho$ (%)	t (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$\frac{f_{cc,max}}{f_{co}}$	$\frac{f_{cc,u}}{f_{co}}$	$\epsilon_{c,ult}$ (%)	$\epsilon_{l,ult}$ (%)	$\epsilon_{f,ult}$ (%)	$\frac{A_{post}}{A_{peak}}$	$\frac{A_{tot}}{A_{ep}}$
				(α) Ίνες Αραμιδίου						
S5-A3	3.29	1.26	43.0	1.18	0.55	1.06	2.60	0.79	5.46	0.94
S5-A6	6.63	2.52	43.0	1.20	0.66	1.49	2.68	1.30	10.9	1.10
S5-A9	10.0	3.78	43.0	1.25	0.81	2.08	3.00	1.48	11.6	1.13
S5-A12	13.4	5.04	43.0	1.26	1.09	1.24	6.52	0.90	11.9	1.30
S25-A3	3.18	1.26	43.0	1.19	0.71	0.79	2.64	1.12	2.98	0.67
S25-A6	6.40	2.52	43.0	1.19	1.03	0.97	2.11	1.27	4.19	0.60
S25-A9	9.66	3.78	43.0	1.24	1.16	1.10	2.57	0.94	7.96	0.73
S25-A12	13.0	5.04	43.0	1.28	1.33	1.26	2.24	1.04	16.2	0.86
S38-A6	6.35	2.52	43.0	1.18	1.02	0.96	0.69	1.05	2.21	0.77
S38-A9	9.56	3.78	43.0	1.23	1.23	1.18	1.75	0.97	3.83	0.94
<b>C150-A3</b>	<b>3.39</b>	<b>1.26</b>	<b>43.0</b>	<b>1.10</b>	<b>1.01</b>	<b>1.11</b>	<b>1.55</b>	<b>1.53</b>	<b>4.76</b>	<b>0.98</b>
<b>C150-A6</b>	<b>6.83</b>	<b>2.52</b>	<b>43.0</b>	<b>1.37</b>	<b>1.37</b>	<b>1.47</b>	<b>1.39</b>	-	<b>6.79</b>	<b>1.09</b>
<b>C150-A9</b>	<b>10.3</b>	<b>3.78</b>	<b>43.0</b>	<b>1.65</b>	<b>1.65</b>	<b>1.69</b>	<b>1.33</b>	-	<b>3.73</b>	<b>0.95</b>
<b>C150-A12</b>	<b>13.9</b>	<b>5.04</b>	<b>43.0</b>	<b>1.73</b>	<b>1.73</b>	<b>1.74</b>	<b>1.18</b>	-	<b>5.72</b>	<b>1.02</b>



**Σχήμα 3.2.2:** Εμβαδά διαγράμματος  $\sigma - \epsilon$  για τον υπολογισμό των λόγων πλαστιμότητας

όπου:

$A_{peak}$ : το εμβαδόν κάτω από την πρώτη κλίση της καμπύλης  $\sigma$ - $\epsilon$

$A_{post}$ : το εμβαδόν κάτω από την δεύτερη κλίση της καμπύλης  $\sigma$ - $\epsilon$

$A_{tot}$ :  $A_{peak} + A_{post}$

$A_{ep}$ : το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη  $\sigma$ - $\epsilon$  για τελείως ελαστοπλαστικό υλικό

**Πίνακας 3.2.3:** Αποτελέσματα δοκιμών μονοαξονικής θλίψης σε κυλίνδρους με ενίσχυση ΙΟΠ από ίνες άνθρακα

Ιδιότητες υποστρωμάτων				Αξονικές Τάσεις		Παραμορφώσεις			Λόγοι πλαστιμότητας	
Δοκίμια	$\rho$ (%)	t (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$\frac{f_{cc,max}}{f_{co}}$	$\frac{f_{cc,u}}{f_{co}}$	$\epsilon_{c,ult}$ (%)	$\epsilon_{l,ult}$ (%)	$\epsilon_{f,ult}$ (%)	$\frac{A_{post}}{A_{peak}}$	$\frac{A_{tot}}{A_{ep}}$
(β) Ίνες Άνθρακα										
S-NC*	NC	0	42.0	0.99	-	-	-	-	-	-
		0	42.0	1.04	-	-	-	-	-	-
S5-C3	2.35	0.90	42.0	0.94	0.60	0.69	3.11	0.23	2.08	0.85
S25-C3	2.26	0.90	42.0	0.99	0.99	0.94	2.18	0.56	3.50	0.97
		0.90	42.0	1.03	1.01	0.89	1.56	0.63	3.62	1.02
S38-C3	2.25	0.90	42.0	1.13	1.13	1.08	1.99	0.71	5.04	1.03
		0.90	42.0	1.20	1.17	1.16	1.79	1.61	5.70	1.11
<b>C100-C2</b>	<b>2.41</b>	<b>0.60</b>	<b>42.0</b>	<b>1.75</b>	<b>1.75</b>	<b>1.60</b>	<b>0.89</b>	-	<b>12.6</b>	<b>1.40</b>
		<b>0.60</b>	<b>42.0</b>	<b>1.75</b>	<b>1.75</b>	<b>1.57</b>	<b>0.95</b>	-	<b>13.5</b>	<b>1.41</b>
		<b>0.60</b>	<b>42.0</b>	<b>1.61</b>	<b>1.61</b>	<b>1.35</b>	<b>0.80</b>	-	<b>11.1</b>	<b>1.34</b>
S5-C5	3.93	1.15	43.9	1.00	0.73	1.02	3.05	0.44	3.63	0.85
S25-C4	3.02	1.12	43.9	1.16	1.16	1.35	2.49	0.59	6.98	1.07
S25-C5	3.79	1.15	43.9	1.09	1.05	0.90	2.05	0.51	3.97	1.06
S-NC*	NC	0	35.8	0.97	-	-	-	-	-	-
		0	35.8	1.01	-	-	-	-	-	-
S25-C4	3.02	1.12	35.8	1.46	1.46	2.04	2.91	0.70	14.4	1.25
S25-C5	3.79	1.15	35.8	1.61	1.61	2.12	2.57	0.65	17.0	1.17
S38-C4	3.00	1.12	35.8	1.66	1.66	1.92	1.87	0.89	15.3	1.33
S38-C5	3.76	1.15	35.8	1.92	1.92	2.39	2.29	0.89	20.7	1.49
R-NC*	NC	0	42.0	1.00	-	-	-	-	-	-
R25-C3	1.99	0.90	42.0	1.00	0.70	0.79	2.88	0.74	2.71	0.90
R38-C3	1.97	0.90	42.0	1.04	1.00	0.85	2.04	0.68	3.63	1.01
R5-C5	3.44	1.15	43.9	1.01	0.62	0.98	2.17	0.43	3.53	0.82
R25-C4	2.66	1.12	43.9	1.01	0.96	0.93	3.10	0.53	3.69	0.99

\* NC → Δοκίμια στα οποία δεν εφαρμήκαν ΙΟΠ.

Ο λόγος  $\frac{A_{post}}{A_{peak}}$  παρέχει πληροφορίες για την απομένουσα παραμόρφωση μετά

την παραμόρφωση  $\varepsilon_{co}$ . Ο λόγος  $\frac{A_{tot}}{A_{ep}}$  όσο μεγαλύτερος είναι τόσο πιο πλάστιμο είναι

το στοιχείο. Οι κύλινδροι παρουσιάζουν μεγαλύτερη πλαστιμότητα σε σχέση με τα ορθογωνικά ή τετραγωνικά. Επι πλέον το ίδιο τετραγωνικό ή ορθογωνικό δοκίμιο είναι πιο πλάστιμο όταν η γωνία στρογγύλευσης των ακμών είναι μεγαλύτερη

### 3.3 Πειράματα Guoqiang Li [23]

Ο Guoqiang Li (2005) κατεσκεύασε 39 κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 152.4mm και ύψους 304.8mm, 15 σωλήνες από σύνθετο ινοπλισμένο πολυμερές που στην συνέχεια σκυροδετήθηκαν και τρεις απλούς οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν ως δοκίμια ελέγχου.

Για να διερευνηθεί η επίδραση της γωνίας των ινών στην αύξηση της αντοχής κυλίνδρων ενισχυμένων με ΙΟΠ από τους 39 κυλίνδρους που ενισχύθηκαν με μανδύα, οι 18 ενισχύθηκαν με 2 στρώσεις σύνθετων ινοπλισμένων πολυμερών και έξι διαφορετικούς συνδυασμούς προσανατολισμών ινών (πίν. 3.2.1). Επίσης υπήρχαν έξι κύλινδροι οι οποίοι ενισχύθηκαν με τέσσερις στρώσεις FRP με ίνες μόνο στην αξονική ή εγκάρσια διεύθυνση.

Οι πειραματικές παράμετροι για τις δοκιμές στους σωλήνες ήταν το πάχος και η αντοχή του σκυροδέματος καθώς και η συνάφεια μεταξύ των εσωτερικών επιφανειών που έρχονται σε επαφή (σωλήνας – επιφάνεια σκυροδέματος). Έτσι χρησιμοποιήθηκαν έξι ίδιοι σωλήνες, στους τρεις από τους οποίους πριν την σκυροδέτηση τοποθετήθηκε στην εσωτερική επιφάνεια πλαστικό φύλλο (διαγρ.3.3.3).

Για την παρασκευή των κυλίνδρων χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο τύπου Portland I, νερό αδρανή, φυσική άμμος, και αερακτικό DARAVAIR 1000. Προετοιμάστηκαν πέντε (5) ομάδες σκυροδέματος. Το σκυροδέμα διατηρήθηκε για 28 ημέρες σε χώρο με 100% σχετική υγρασία. Στις 28 ημέρες η θλιπτική αντοχή του απερίσφιγκτου σκυροδέματος ήταν για κάθε ομάδα:

1. 31.1 MPa
2. 35.2 MPa,

3. 46.1 MPa,
4. 49.5 MPa
5. 82.0 MPa,

Για την κατασκευή του μανδύα χρησιμοποιήθηκε σύνθετο υλικό E-glass 7715 με φαινόμενο βάρος  $w = 200\text{g/m}^2$ , η ρητίνη που χρησιμοποιήθηκε ως μήτρα ήταν βινυλεστερική υπεριώδους ακτινοβολίας.

Οι σωλήνες FRP προήλθαν από κοπή (με δισκοπρίοιο διαμαντιού) του σύνθετου σωλήνα FIBERBOND® 20 HV σε ύψος 304.8 mm και δύο πάχη 8.10 mm και 6.35 mm (πιν. 3.2.2). Οι αρχικοί σωλήνες είχαν κατασκευαστεί με περιέλιξη εμποτισμένων σε βινυλεστερική ρητίνη ίνων E-glass σε περιστρεφόμενο άξονα, με προσανατολισμό ινών  $\pm 54^\circ$  ως προς την αξονική διεύθυνση. Οι μηχανικές- φυσικές ιδιότητες των παραπάνω υλών παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2.3.

Οι κύλινδροι σκυρόδεματος με αντοχή  $f_{co} = 46.1$  MPa, ενισχύθηκαν με τον μανδύα πό ύφασμα E-Glass 7715. Ενώ στους σωλήνες ΙΟΠ εισήχθει σκυρόδεμα με θλιπτική αντοχή 31.1 MPa, 35.2 MPa, 49.5 MPa και 82 MPa.

**Πίνακας 3.3.1:** Ιδιότητες των κυλίνδρων που ενισχύθηκαν με φύλλα FRP

Αρ. Ομάδας	JG1	JG2	JG3	JG4	JG5	JG6	JG7	JG8
Προσανατολισμός ινών	90°/90°	60°/30°	45°/45°	-45°/45°	0°/90°	0°/0°	90°/90°/90°/90°	0°/0°/0°/0°
Πάχος(mm)	0.738	0.738	0.738	0.738	0.738	0.738	1.476	1.476

**Πίνακας 3.3.2:** Ιδιότητες των σωλήνων FRP

ΟΜΑΔΑ	EG1	EG2	EG3	EG4	EG5
Αντοχή απερίσφιγκτου σκυροδέματος(MPa)	31.1	35.2	49.5	82	31.1
Πάχος σωλήνα FRP(mm)	8.10*	6.35	6.35	6.35	8.10*

\* οι EG1 και EG2 διέφεραν μόνο στην συνάφεια των εσωτερικών επιφανειών

**Πίνακας 3.3.3:** Φυσικές - Μηχανικές ιδιότητες πρώτων υλών των σύνθετων υλικών

Υλικά	Ιξώδες στους 25°C (cps)	Εφελκυστική αντοχή (MPa)	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)
ΡητίνηUV Ακτινοβολίας	450	85	3.2
Υφασμα E-glass	----	3000	70.0

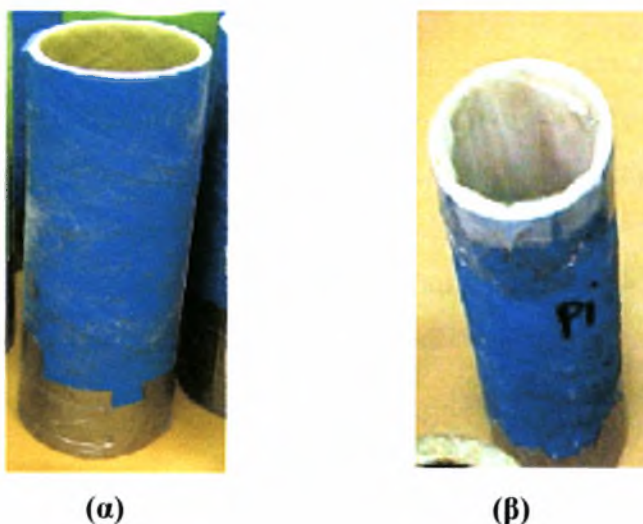
Οι ιδιότητες των μανδύων ΙΟΠ που χρησιμοποιήθηκαν για την ενίσχυση, παρασκευάστηκαν δοκίμια με μορφή ελάσματος, (πλάτους 25.4mm και μήκους 245mm) τέσσερις στρώσεις υφάσματος χρησιμοποιώντας ίδιες ίνες και ρητίνη με εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν στους κυλίνδρους καθώς και την ίδια διαδικασία συντήρησης. Στις άκρες τοποθετήθηκε μια μπάρα αλουμινίου πλάτους 25.4 mm και μήκους 50.8 mm (σχ.1.5.1). Το πάχος ήταν 1.476 mm και υπήρχαν τρεις προσανατολισμοί ινών 0°, 45°, 90° ως προς την διεύθυνση της φορτίσης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω (πιν 3.3.3).

Η δοκιμή για τον προσδιορισμό της εφελκυστικής αντοχής, του μέτρου ελαστικότητας και της οριακής παραμόρφωσης αστοχίας κατά ASTM D 3039 του σύνθετου μανδύα έγινε στη μηχανή Instron QUEST 150.

**Πίνακας 3.3.4:** Αποτελέσματα των FRP- coupons tests

Προσανατολισμός Ινών	Οριακή Παραμόρφωση(%)	Εφελκυστική Αντοχή(MPa)	Μέτρο Ελαστικότητας(GPa)
0°	2.32	320.2	15.1
45°	1.40	64.8	5.6
90°	0.85	39.3	3.9

Ανάλογα έπρεπε να προσδιοριστούν και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των σωλήνων FRP. Η δοκιμή αυτή πραγματοποιήθηκε με χρήση της συσκευής Instron 3200, η οποία εισάγει πίεση στον σωλήνα. Η πίεση συνεχώς αυξανόταν έως ότου ο σωλήνας έσπασε. Ο ρυθμός φόρτισης ήταν 0.14 MPa/sec. Δεν δίνονται όλα τα μηχανικά χαρακτηριστικά μόνο οι αντοχές οι οποίες ήταν 186 MPa και 182.5 MPa για πάχος σωλήνα 8.10mm και 6.35mm αντίστοιχα.



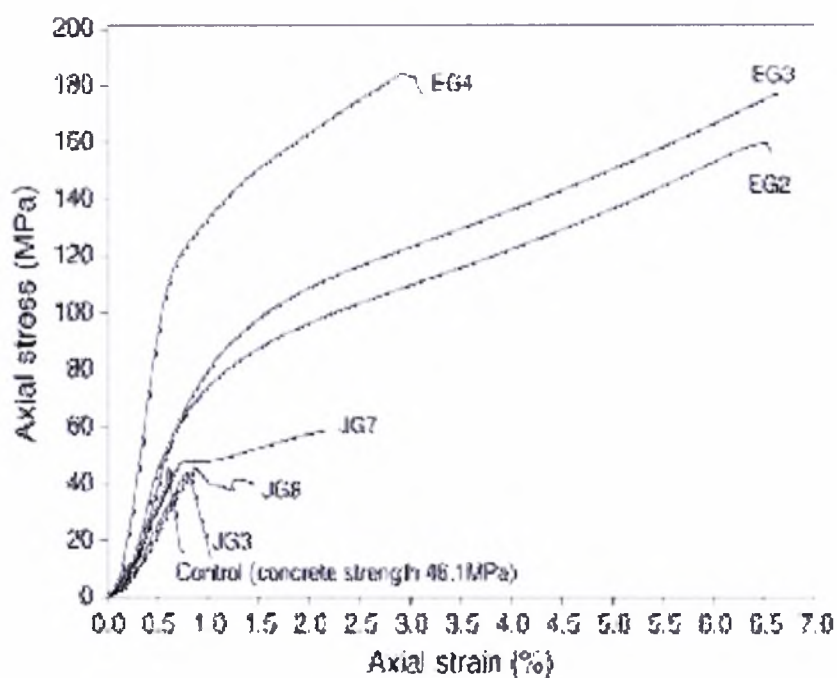
**Εικόνα 3.3.1:** Σωλήνας FRP (α) υψηλής συνάφειας και (β) χωρίς συνάφεια

Δοκιμές σε μονοαξονική θλίψη έγιναν τόσο στους περισφιγμένους κυλίνδρους σκυροδέματος, όσο και στα δοκίμια ελέγχου. Κατα την διάρκεια των δοκιμών θλίψης, κάθε δοκίμιο υποβλήθηκε σε μονοαξονική θλίψη με φορτίο περίπου ίσο με το 40% του οριακού φορτίου αστοχίας του απερίσφιγτου σκυροδέματος και στην συνέχεια αποφορτίστηκε για να εξασφαλιστεί η συνεργασία μεταξύ των συστατικών και να περιοριστούν λάθη στις μετρούμενες μετατοπίσεις. Έπειτα τα δοκίμια ξαναφορτίστηκαν έως την αστοχία.

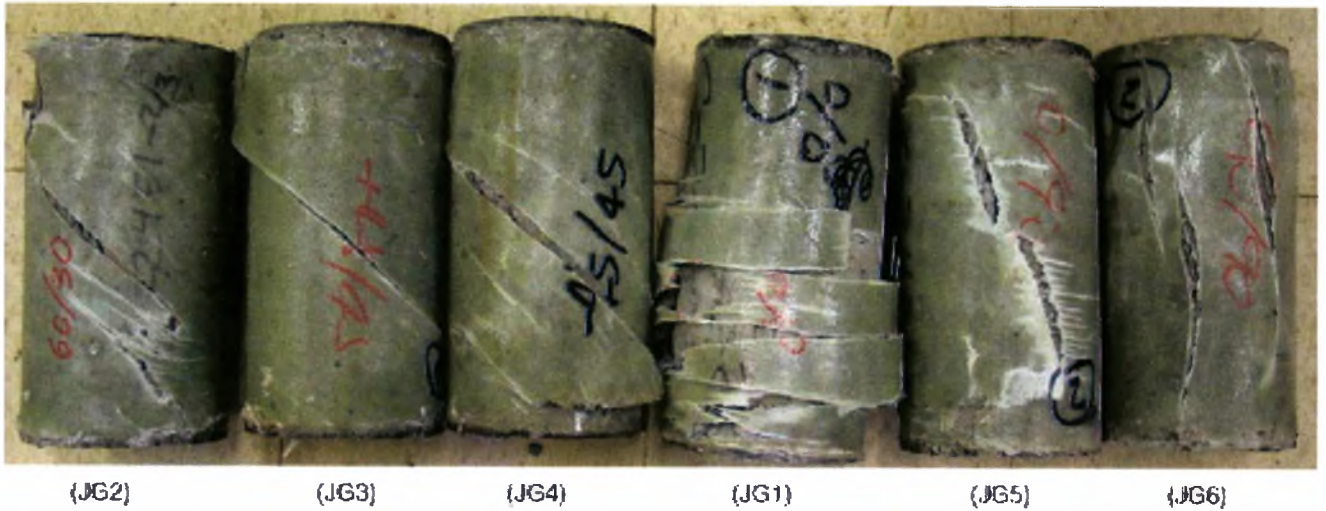
**Πίνακας 3.3.5:** Αποτελέσματα δοκιμών θλίψης (JG: μανδύας ινών γυαλιού – EG: σωλήνας ινών γυαλιού)

ΟΜΑΔΑ	$f_{cc}$ (MPa)	$\epsilon_{cc,\mu}$ (%)	$f_{co}$ (MPa)	$\epsilon_{co}$ (%)
JG1	49.4	0.72	46.1	0.41
JG2	46.1	0.71	46.1	0.41
JG3	46.8	0.75	46.1	0.41
JG4	46.7	0.73	46.1	0.41
JG5	48.7	0.76	46.1	0.41
JG6	47.6	0.68	46.1	0.41
JG7	<b>54.6</b>	1.91	46.1	0.41
JG8	48.9	0.81	46.1	0.41
EG1	141.2	5.10	31.1	0.43
EG2	152.1	6.31	35.2	0.43
EG3	175.5	6.43	49.5	0.40
EG4	<b>180.2</b>	3.52	82.0	0.38

Τα πειράματα θλίψης έγιναν σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C 39 χρησιμοποιώντας την μηχανή θλίψης FORNEY, η φέρουσα ικανότητα της οποίας είναι 2688 kN. Ο ρυθμός επιβολής του φορτίου ήταν 0.23 MPa/s. Συνοπτικά τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών στα κυλινδρικά δοκίμια παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2.4. Ο συμβολισμός JG αναφέρεται στους κυλίνδρους που ενισχύθηκαν με μανδύα σύνθετων υλικών, ενώ με EG συμβολίζονται οι σωλήνες ΙΟΠ στους οποίους εισήχθει σκυρόδεμα



Σχήμα 3.3.1 : Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων δοκιμίων με μανδύα σωλήνες ΙΟΠ



**Εικόνα 3.3.2:** Τρόπος αστοχίας του μανδύα ινοπλισμένων πολυμερών



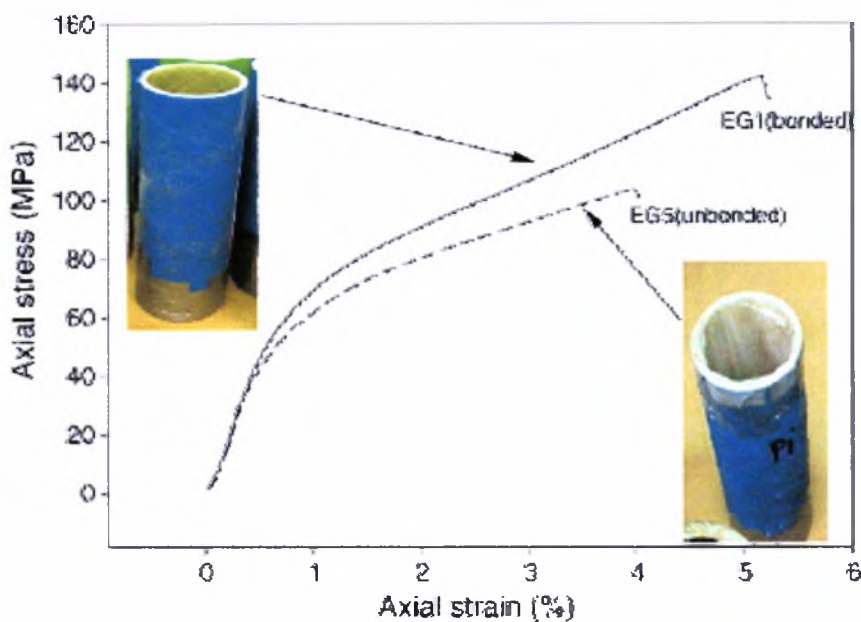
α) JG4



β) EG1

**Εικόνα 3.3.3:** Τρόπος αστοχίας του πυρινα σκυροδέματος όταν ενισχύθηκε με μανδύα (a) και όταν ενισχύθηκε με σωλήνα FRP(b)





**Σχήμα 3.3.2:** Διάγραμμα σ-ε σωλήνα με συνάφεια και χωρίς συνάφεια επιφάνειας σωλήνα - σκυροδέματος

Από τους πίνακες υπολογισμού των εντατικών μεγεθών κατά την αστοχία που παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β, διαπιστώνουμε πως όλοι οι ενισχυμένοι κύλινδροι με μανδύα παρουσιάζουν μείωση αποκρίσεων εκτός από τον JG8 (4στρώσεις γωνίας 0°) που παρουσιάζει κράτυνση.

Όσον αφορά τον επίδραση της διεύθυνσης των ινών στην περίσφιγξη κυλίνδρων σκυροδέματος με σύνθετα υλικά, ο Guoqiang Li διαπίστωσε πως οι μανδύες με οριζόντια διεύθυνση ινών παρέχουν μεαλύτερη περίσφιγξη. Αυτό οφείλεται στη μεγάλη εφελκυστική αντοχή των ΙΟΠ στην διεύθυνση των ινών τους.

Επίσης οι σωλήνες ΙΟΠ που περιέχουν σκυρόδεμα παρουσιάζουν μεγαλύτερες αντοχές και παραμόρφωσεις κατά την θραύση από τους κυλίνδρους με μανδύα ΙΟΠ. Η συνάφεια μεταξύ των εσωτερικών επιφανειών επηρεάζει την αύξηση της αντοχής στους ενισχυμένους κυλίνδρους με σωήνες ΙΟΠ(βλ. Σχ.3.3.2). Ενώ δεν επηρεάζει τόσο πολύ την αύξηση της  $f_{cc,u}$  και της  $\epsilon_{cc,u}$ , πιθανόν λόγω της μικρής αξονικής τάσης που επιβάλλεται στον μανδύα.

### 3.4 Πείραμα Α. Καραμπίνη - Θ. Ρουσάκη (2000) [11]

Οι Καραμπίνης-Ρουσάκης πραγματοποίησαν πειράματα σε 22 κυλινδρικά δοκίμια ενισχυμένα με ύφασμα από ανθρακονήματα δύο κατηγοριών σκυροδέματος και τρία διαφορετικά ποσοστά περίσφιγξης ( $f/f_{co}$ ) και άρα τριών διαφορετικών παχών μανδύα. Τα δοκίμια δοκιμάστηκαν σε μονοτονική αξονική παραμόρφωση έως την αστοχία.

Αναλυτικότερα χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές συνθέσεις σκυροδέματος, τύπου Α και τύπου Β με αντοχές (μέσος όρος τριών κύβων 150 X 150 X 150mm) 47.5 MPa και 43.5 MPa. Τα μέτρα ελαστικότητας των δύο τύπων σκυροδέματος ήταν (μέσος όρος δύο κυλίνδρων 150 X 300mm) 24.5 MPa και 23.5 MPa αντίστοιχα.

Δοκιμάστηκαν 22 κυλινδρικά δοκίμια με διαστάσεις 200 X 320 mm ( $H/D=1.6$ ). Από αυτά στα 18 χρησιμοποιήθηκε σύνθετο ύφασμα από ίνες άνθρακα (Carbon Fiber Reinforced Plastic) τύπου S&P C 240 (S&P-Sintecno, 1999) με ίνες μιας διεύθυνσης, σε μορφή ταινίας πλάτους 300mm και τα υπόλοιπα έμειναν απερίσφιγκτα για σύγκριση των εντατικών μεγεθών κατά την αστοχία.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά σύμφωνα με τον κατασκευαστή για τις ίνες άνθρακα είναι τα εξής:

**Πίνακας 3.4.1:** Φυσικές-Μηχανικές Ιδιότητες των πρώτων υλών των σύνθετων υλικών

Βάρος ( $gr/m^2$ )	Θεωρητικό πάχος ινών C (mm)	Μέτρο ελαστικότητας ινών C (GPa)	Επιμήκυνση θραύσης (%)
200	0.117	240	15.5

Χρησιμοποιήθηκαν 1, 2 και 3 στρώσεις ανθρακονήματος ανά τρία δοκίμια και δύο δοκίμια έμειναν απερίσφιγκτα για λόγους ελέγχου.

Για την επικόλληση χρησιμοποιήθηκε εποξική ρητίνη δύο συστατικών με αντοχή σε διατμηση στους 25°C και σε ηλικία 7 ημερών ίση με 539  $kr/cm^2$ , σύμφωνα με τον κατασκευαστή. Η ηλικία του σκυροδέματος την ημέρα πραγματοποίησης της δοκιμής ήταν 56 ημερών.

Σε όλα τα δοκίμια ο προσανατολισμός των ινών του συνθετικού υφάσματος ήταν 90° ως προς τον άξονα του δοκιμίου, που σημαίνει ότι η γωνία τους ήταν 0° ως προς τον οριζόντιο άξονα του δοκιμίου. Η εξωτερική στρώση αγκυρώθηκε με επιμήκυνση 160mm (1/4 της περιμέτρου του δοκιμίου).

Η επιβολή μονοτονικού αξονικού φορτίου έγινε μέχρι την αστοχία με σταθερή ταχύτητα παραμόρφωσης  $3 \cdot 10^{-5}$  mm/mm/sec. Η μέτρηση της εκάστοτε βράχυνσης έγινε με γραμμικό ηλεκτρονικό επιμηκυσιόμετρο (LVDT). Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρουσιάζονται παρακάτω.

**Πίνακας 3.4.2:** Πειραματικά αποτελέσματα σκυροδέματος  $f_{co}=38.5$  MPa Καραμπίνη – Ρουσαάκη

Τύπος A (C20/25)	Δοκίμιο		Οριακή Αντοχή $f_{cc,u}(max)$ (MPa)	Μέγιστη Αξονική Παραμόρφωση $\epsilon_{cc,u}(\%)$	$P_{cc,max}/P_{co}$ (Οριακό Φορτίο/Φορτίοαπερίσφιγκτου)	$\epsilon_{cc,u}/\epsilon_{co}$ (μεγ.παραμ./παραμ.απερίσφιγκτου)	Απορροφηθείσα ενέργεια (MJ/m <sup>3</sup> )
	A1		40.9	2.72	-	-	0.097
	A2		38.5	2.80	1.00	1.00	0.094
t = 0.117mm (1 στρώση)	C1	C1	43.0	7.96	1.12	2.84	0.288
		C2	41.6	7.14	1.08	2.55	0.236
		C3	46.0	3.49	1.19	1.25	0.123
t = 0.234mm (2 στρώσεις)	C7	C7	51.5	8.77	1.34	3.13	0.377
		C8	50.0	5.77	1.30	2.06	0.222
		C9	55.0	8.60	1.43	3.07	0.367
t = 0.351mm (3 στρώσεις)	C13	C13	67.0	17.60	1.74	6.29	0.897
		C14	51.5	10.90	1.34	3.89	0.447
		C15	45.0	6.72	1.17	2.40	0.221

**Πίνακας 3.4.3:** Πειραματικά αποτελέσματα σκυροδέματος  $f_{co}=35.7$  MPa Καραμπίνη – Ρουσαάκη

Τύπος B (C16/20)	Δοκίμιο		Οριακή Αντοχή $f_{cc,u}(max)$ (MPa)	Μέγιστη Αξονική Παραμόρφωση $\epsilon_{cc,u}(\%)$	$P_{cc,max}/P_{co}$ (Οριακό Φορτίο/Φορτίοαπερίσφιγκτου)	$\epsilon_{cc,u}/\epsilon_{co}$ (μεγ.παραμ./παραμ.απερίσφιγκτου)	Απορροφηθείσα ενέργεια (MJ/m <sup>3</sup> )
	B1		33.9	2.02	-	-	0.051
	B2		35.7	1.80	1.00	1.00	0.046
t = 0.117mm (1 στρώση)	C4	C4	42.5	8.59	1.19	4.77	0.322
		C5	42.0	12.38	1.18	6.88	0.457
		C6	41.0	2.96	1.15	1.64	0.083
t = 0.234mm (2 στρώσεις)	C10	C10	50.0	6.04	1.40	3.36	0.233
		C11	48.5	10.4	1.36	5.78	0.374
		C12	50.0	10.72	1.40	5.96	0.403
t = 0.351mm (3 στρώσεις)	C16	C16	63.0	17.18	1.76	9.54	0.824
		C17	67.5	17.05	1.89	9.47	0.817
		C18	65.5	16.86	1.83	9.37	0.801

### Παρατήρηση:

Στα δοκίμια C8 και C10 παρουσιάστηκε αστοχία της αγκύρωσης του ανθρακονήματος η οποία διαφοροποίησε την συμπεριφορά τους σε σχέση με τα υπόλοιπα του ίδιου τύπου και βαθμού περίσφιγξης. Στα δοκίμια C3 και C14 παρατηρήθηκε πρόωρη αστοχία, οφειλόμενη σε τοπική αστοχία του ανθρακονήματος περίσφιγξης (στους παραπάνω πίνακες τα συγκεκριμένα δοκίμια και τα αποτελέσματα τους φαίνονται είναι με κόκκινο χρώμα). Στην ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων τα δοκίμια αυτά δεν λήφθηκαν υπ' όψιν.

### **3.5 Πείραμα Amir Mirmiran (1996) [2]**

Ο Amir Mirmiran για να αποτιμήσει την συμπεριφορά που αποκτούν σύνθετα (υβριδικά) υποστυλώματα υπό μορφή σωλήνων FRP τα οποία στην συνέχεια σκυροδετούνται, έκαναν μια σειρά πειραμάτων που περιελάμβαναν μεταξύ άλλων τα παρακάτω:

- 1. Πειράματα σε μονοαξονική θλίψη για τον προσδιορισμό της επίδρασης της περίσφιγξης με ΙΟΠ στην αντοχή και πλαστιμότητα του σκυροδέματος**
- 2. Πειράματα διάσπασης δακτυλίου για τον προσδιορισμό της αντοχής και της ακαμψίας των σωλήνων ΙΟΠ**

Ειδικότερα τα πειράματα σε μονοαξονική θλίψη περιελάμβαναν 54 κυλίνδρους διαστάσεων  $D=152.4\text{mm}$  και  $H=304$ . Οι 42 κύλινδροι από αυτούς ήταν σωλήνες FRP στους οποίους εισήχθει σκυρόδεμα και οι υπόλοιποι 12 ήταν απλοί κύλινδροι σκυροδέματος. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στο πειραματικό πρόγραμμα ήταν:

- η διαφορετική αντοχή του σκυροδέματος (χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές ομάδες σκυροδέματος με διαφορετική αντοχή και διαφορετικό λόγο νερού: τσιμέντο)
- το πάχος του σωλήνα (εξετάστηκαν τρία διαφορετικά πάχη)

Για την παρασκευή του σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο Portland τύπου II. Οι σωλήνες FRP (ήταν από την εταιρεία Marine Muffer) αποτελούνταν από ίνες E-glass εμποτισμένες σε πολυεστερική ρητίνη και περιτυλιγμένες υπό γωνία και

$\pm 15^\circ$ . Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της ρητίνης και των ινών, όπως προσδιορίζονται από τον κατασκευαστή φαίνονται παρακάτω (πιν. 3.5.1).

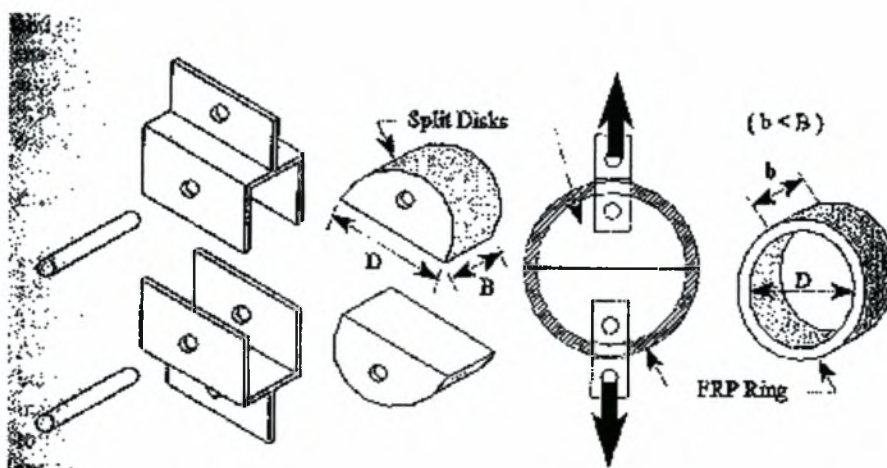
**Πίνακας 3.5.1:** Φυσικές - Μηχανικές Ιδιότητες των πρώτων υλών των σύνθετων υλικών

Ιδιότητες Υλικό	Εφελκυστική αντοχή (MPa)	Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)	Παραμόρφωση Θραύσης (%)
Πολυεστερική Ρητίνη DION 6692T	72	4.344	2.02
Vetrotex Certain Teed 67B R099 (ίνες γυαλιού)	2186	69.64	3.5

Για να προσδιοριστούν η αντοχή και η ακαμψία των σωλήνων ΙΟΠ έγιναν τα πειράματα διάσπασης δακτυλίου. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συνήθως για σωληνοειδή πλαστικά υλικά ώστε να προσδιοριστεί η φαινόμενη εφελκυστική αντοχή τους.

Μια άλλη μέθοδος προσδιορισμού της εφελκυστικής αντοχής πλαστικών σωλήνων είναι η εισαγωγή πίεσης μέσα στον σωλήνα έως ότου σπάσει( πείραμα Guoqiang Li). Η μέθοδος αυτή δίνει πιο ακριβή αποτελέσματα σε σχέση με την δοκιμή διάσπασης δακτυλίου. Είναι όμως ακριβή και εάν δεν εκτελεστεί σωστά ίσως τα αποτελέσματα να είναι μικρότερα λόγω διαρροής.

Για τον λόγο αυτό επιλέχθηκε η μέθοδος διάσπασης δακτυλίου για να ληφθεί μια προσεγγιστική τιμή της πραγματικής εφελκυστικής αντοχής, του μέτρου ελαστικότητας και της παραμόρφωσης κατά την θραύση των σωλήνων.



**Σχήμα 3.4.1:** Μέθοδος διάσπασης δακτυλίου (ASTM Standard D2290-92)

Οι δακτύλιοι που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα κόπηκαν από τους ίδιους σωλήνες που κόπηκαν και οι σωλήνες του πειράματος. Υπήρχαν δύο σειρές, η πρώτη σειρά δακτυλίων περιελάμβανε τα πάχη των σωλήνων που χρησιμοποιήθηκαν στις σειρές σκυροδέματος A και C ( $t = 1.88\text{mm}$ ,  $t = 3.302\text{mm}$  και  $t = 6.02\text{mm}$ ) ενώ η δεύτερη εκείνα της σειράς σκυροδέματος D ( $t = 1.346\text{mm}$ ,  $t = 2.08\text{mm}$  και  $t = 2.997\text{mm}$ )(βλέπε Πίν.3.5.4).

Η σειρά 1 περιελάμβανε 12 δακτύλιους . Οι πρώτοι 6 είχαν πλάτος  $b = 12.7\text{mm}$  (1/2 in) με πάχη 1.880 mm και 3.302mm ανα τρεις. Οι άλλοι 6 είχαν διπλάσιο πλάτος  $b = 25.4\text{mm}$  (1 in) και αντίστοιχα πάχη.

**Πίνακας 3.5.2:** Αποτελέσματα δοκιμών διασπασης δακτυλίου για 6-10-14 στρώσεις σύνθετου υλικού

$t$ (mm)	$f_{f,max}$ (MPa)	$E_{f,max}$ (GPa)	$\varepsilon_{,max}$ (‰)
1.346	525.00	37.23	14.05
2.08	579.16	40.35	14.51
2.997	641.22	40.75	15.75

Η σειρά 2 περιελάμβανε 14 δακτυλίους με πλάτος  $b = 25.4\text{ mm}$  (1 in) και πάχη 1.346 mm (6 στρώσεις) 2.08 mm (10 στρώσεις) και 2.997mm (14 στρώσεις). Τα αποτελέσματα των δοκιμών δίνονται στους επόμενους πίνακες

**Πίνακας 3.5.3:** Αποτελέσματα δοκιμών διασπασης δακτυλίου για  $t=1.880\text{mm}$  και  $t=3.302\text{mm}$

Δακτύλιος		$t$ (mm)	$P_{max}$ (kN)	$f_{f,max}$ (MPa)	$E_{f,max}$ (GPa)
πάχος 12.7 mm	A11	1.880	30.36	572.58	-
	A12	1.880	32.12	616.46	53.566
	A13	1.880	33.44	562.60	35.556
πάχος 25.4 mm	A21	1.880	60.104	523.80	-
	A22	1.880	52.65	505.68	41.900
	A23	1.880	60.72	558.88	40.335
πάχος 12.7 mm	B12	3.302	67.76	725.63	-
	B13	3.302	67.76	685.92	-
πάχος 25.4 mm	B21	3.302	101.2	545.69	53.207
	B22	3.302	111.76	636.48	43.941
	B23	3.302	110	721.97	-

**Πίνακας 3.5.4:** Ιδιότητες σκυροδέματος και σωλήνων δοκιμών

Σειρά δοκιμών	Ομάδα	$f_{co}$ MPa(ksi)	Συνολικός Αριθμός δοκιμών	Αναλογίες Μείγματος (κατά βάρος)				Πάχος Σωλήνα FRP (mm)			Αριθμός Στρώσεων		
				C	S	G	W	1	2	3	1	2	3
A	1	20.8(3)	4(3FRP,1Απλό)	1.0	1.65	2.96	<b>0.53</b>	1.880	3.302	6.020	9	16	28
	2	47(6.8)	4(3FRP,1Απλό)	1.0	1.65	2.96	<b>0.45</b>	1.880	3.302	6.020	9	16	28
	3	40.8(5.9)	4(3FRP,1Απλό)	1.0	1.65	2.96	<b>0.46</b>	1.880	3.302	6.020	9	16	28
C	1	36.7(5.3)	4(3FRP,1Απλό)	1.0	1.65	2.96	<b>0.47</b>	1.880	3.302	6.020	9	16	28
	2	31.2(4.5)	4(3FRP,1Απλό)	1.0	1.65	2.96	<b>0.48</b>	1.880	3.302	6.020	9	16	28
	3	45.7(6.6)	4(3FRP,1Απλό)	1.0	1.65	2.96	<b>0.45</b>	1.880	3.302	6.020	9	16	28
D	1(A)	31.2(4.5)	11(9FRP,2Απλά)	1.0	<b>1.80</b>	<b>3.52</b>	<b>0.58</b>	1.346	2.08	2.997	6	10	14
	2(B)	29.8(4.3)	11(9FRP,2Απλά)	1.0	<b>1.55</b>	<b>3.12</b>	<b>0.52</b>	1.295	2.108	2.997	6	10	14
	3(C)	31.8(4.6)	8(6FRP,2Απλά)	1.0	<b>1.66</b>	<b>3.30</b>	<b>0.55</b>	1.295	2.108	2.997	6	10	14

C: τσιμέντο S: άμμος G: αδρανή W: νερό

Τα δύο πρώτα δοκίμια της Α σειράς σκυροδέματος (Α10 και Α11) δοκιμάστηκαν στο UCF-CEEFL, χρησιμοποιώντας την μηχανή θλίψης UCF 250kip(= 1112 kN). Ο ρυθμός φόρτισης ήταν 4.45 kN/sec.

Όλα τα υπόλοιπα δοκιμάστηκαν 39 μέρες αργότερα. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε σε μηχανή θλίψης επιβαλλόμενης δύναμης 2669 kN (Forney). Ο ρυθμός φόρτισης όλων των κυλίνδρων ήταν 2.97 kN/sec. Τα αποτελέσματα της σειράς Α παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα (πιν 3.5.5)

**Πίνακας 3.5.5:** Αποτελέσματα δοκιμών στα δοκίμια σκυροδέματος τύπου Α

Δοκ.	Ηλικία δοκιμής σε μερες	Βάρος (kgr)	$D_{εξωτ}$ (mm)	$t_f$ (mm)	$D_{εσωτ}$ (mm)	$A_{εσωτ}$ (mm <sup>2</sup> )	Ποκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	Δύναμη (kN)	$f_{cc}$ (MPa)	$\frac{f_{cc}}{f_{co}}$
Α10	28	12.24	152.4	0	152.4	182.34	2202.75	378.25	20.69	1
Α11	28	11.79	148.59	1.88	144.78	164.64	2281.25	907.8	55.09	2.66
Α12	67	12.27	151.38	3.302	144.78	164.64	2292.46	1811.24	127	2.9
Α13	67	13.01	156.97	6.02	145	165.23	2276.44			
Α20	67	12.36	152.65	0	152.65	182.34	2215.57	858.8	46.89	1
Α21	67	11.86	148.59	1.88	144.78	164.64	2294.06	1277.73	77.57	1.65
Α22	67	12.20	151.64	3.302	145	165.23	2271.64	2066.14	125	2.67
Α23	67	13.08	156.97	6.02	145	165.23	2289.26			
Α30	67	12.20	152.65	0	152.65	183.03	2186.73	744.04	40.61	1
Α31	67	11.79	148.84	1.88	145	165.23	2273.24	1454.04	87.98	2.17
Α32	67	12.24	151.64	3.302	145	165.23	2279.65	2009	121.56	2.99
Α33	67	12.97	156.72	6.02	144.78	164.64	2274.84	>2544	>154.45	>3.80

Τέλος, οι κύλινδροι των σειρών C και D δοκιμάστηκαν σε μηχανή θλίψης φέρουσας ικανότητας 2446 kN (MTS). Ο ρυθμός φόρτισης, μετρήθηκε ως προς την επιβαλλόμενη αξονική παραμόρφωση ίσος με 0.093 mm/sec.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών μονοαξονικής θλίψης δίνονται στους παρακάτω πίνακες για τις σειρές C (πιν. 3.5.6) και D (πιν. 3.5.7)



**Πίνακας 3.5.6:** Αποτελέσματα δοκιμών στα δοκίμια σκυροδέματος τύπου C

Κύλινδρος	$t_i$ (mm)	$P_{max}$ (kN)	$\varepsilon_{cc,u}$ (%)	$f_{cc,u}$ (MPa)
C21	1.88	1054.65	1.53	63.11
C31	1.88	1023.5	1.49	61.05
C12	3.302	1677.67	2.61	101.49
C22	3.30	1472.95	2.35	88.54
C32	3.302	1472.95	2.68	101.97
C13	6.02	2055.9	3.45	125
C23	6.02	2247.25	*(έσπασε το μηκυνσιόμετρο)	135.87
C33	6.02	2064.8	4.04	125.88

**Πίνακας 3.5.7:** Αποτελέσματα δοκιμών στα δοκίμια σκυροδέματος τύπου D

Αριθμός στρώσεων	Αριθμός δοκιμίου	$t_f$ (mm)	$f_{co}$ MPa (ksi)	$f_{cc,u}$ MPa (ksi)	$\varepsilon_{cc,u}$ (%)	$\varepsilon_{lc,u}$ (%)
6	DA11	1.346	30.86(4.476)	53.66(7.782)	3.1	1.23
	DA13		30.86(4.476)	56.50(8.194)	3.3	1.77
	DB11		29.64(4.299)	67.12(9.735)	2.9	1.77
	DB12		29.64(4.299)	55.29(8.019)	3.8	1.56
	DB13		29.64(4.299)	60.23(8.735)	3.8	1.82
	DC11		31.97(4.637)	59.06(8.566)	3.4	1.92
	DC12		31.97(4.637)	60.79(8.816)	3.4	1.82
10	DA21	2.08	30.86(4.476)	72.92(10.567)	4.1	1.49
	DA22		30.86(4.476)	65.67(9.525)	2.9	1.15
	DA23		30.86(4.476)	77.99(11.311)	4.4	1.68
	DB21		29.64(4.299)	74.56(10.813)	4.3	1.59
	DB22		29.64(4.299)	93.02(13.491)	4.3	1.88
	DB23		29.64(4.299)	71.74(10.405)	3.9	1.49
	DC21		31.97(4.637)	77.35(11.218)	3.8	1.46
	DC22		31.97(4.637)	77.08(11.179)	3.8	1.35
14	DA31	2.997	30.86(4.476)	85.72(12.432)	4.4	1.37
	DA33		30.86(4.476)	86.76(12.583)	4.7	1.55
	DB31		29.64(4.299)	86.22(12.505)	4.6	1.26
	DB32		29.64(4.299)	114.66(16.629)	5.3	1.94
	DB33		29.64(4.299)	87.44(12.681)	4.1	1.45
	DC31		31.97(4.637)	86.11(12.489)	4.2	1.30
	DC32		31.97(4.637)	83.99(12.182)	4.3	1.29

### 3.6 Πείραμα Υ.Xiao - H.Wu

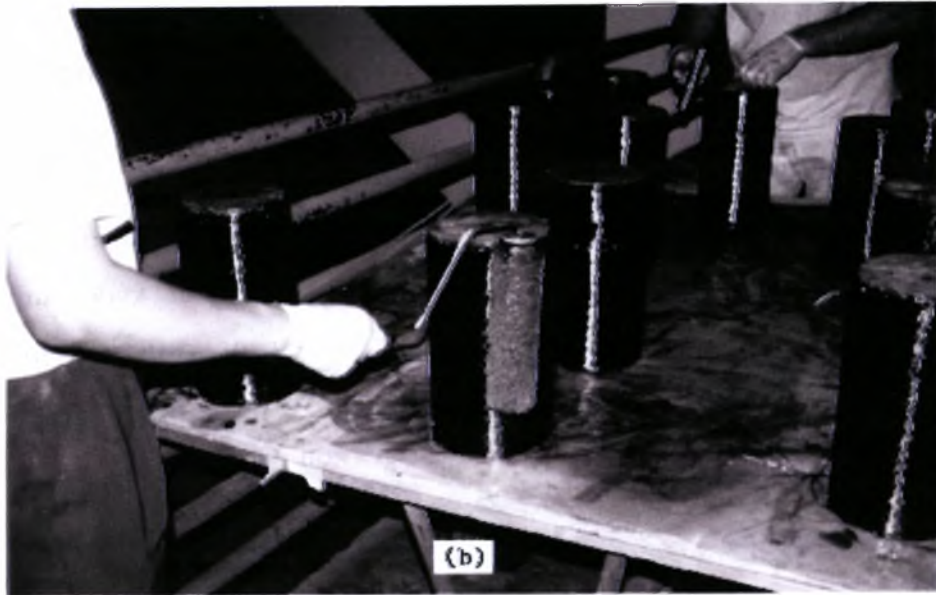
Οι Xiao-Wu, παρουσίασαν πειράματα σε μονοαξονικό εφελκυσμό σε 27 κυλίνδρους σκυροδέματος, περισφιγμένων με σύνθετο ύφασμα ινοπλισμένων πολυμερών ινών άνθρακα. Από τα πειράματα συμέραναν πώς οι ίνες άνθρακα μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την θλιπτική αντοχή και την πλαστιμότητα του σκυροδέματος των δοκιμίων. Με σκοπό να περιγράψουν τα κύρια μηχανικά χαρακτηριστικά του περισφιγμένου σκυροδέματος, πρότειναν ένα απλό διγραμμικό μοντέλο τάσεων-παραμορφώσεων βασιζόμενοι κυρίως στην θεωρία ελαστικότητας και σε ελάχιστο αριθμό εμπειρικών εξισώσεων που προσδιορίστηκαν από τα πειράματα.

Αναλυτικότερα, τα πειράματα περιελάμβαναν 36 κυλίνδρους σκυροδέματος διαμέτρου  $D=152\text{mm}$  και ύψους  $H=305\text{mm}$  ή 6in και 12in αντίστοιχα και τρεις διαφορετικές αντοχές σκυροδέματος. Για κάθε αντοχή σκυροδέματος υπήρχαν 12 κύλινδροι οι οποίοι ενισχύθηκαν με μία, δύο, τρεις στρώσεις ΙΟΠ άνθρακα και τρεις έμειναν απερίσφιγκτοι (πίν.3.6.2).

Στις παρακάτω φωτογραφίες παρουσιάζονται τα στάδια προετοιμασίας των κυλίνδρων του πειράματος.



**Εικόνα 3.6.1:** Προετοιμασία κόλλας για την εφαρμογή των ΙΟΠ



**Εικόνα 3.6.2:** Επάλειψη δοκιμίων με την κόλλα



**Εικόνα 3.6.3:** Εφαρμογή φύλλων ΙΟΠ



**Εικόνα 3.6.4:** Διαμόρφωση της τελικής επιφάνειας του ενισχυμένου κυλίνδρου

Για την παρασκευή των κυλίνδρων χρησιμοποιήθηκαν τρεις ομάδες σκυροδέματος, χαμηλής, μέσης και υψηλής αντοχής. Οι αναλογίες του κάθε μίγματος παρουσιάζονται στην συνέχεια (πιν.3.6.1).

**Πίνακας 3.6.1:** Αναλογίες μείγματος τσιμεντοπολτού

Σειρά σκυροδέματος	Αντοχή $f_{co}$ (MPa)	Νερό/ Τσιμέντο	Νερό $\text{Kg/m}^3$	Τσιμέντο $\text{Kg/m}^3$	Λεπτόκοκκα Αδρανή $\text{Kg/m}^3$	Χονδρόκοκκα Αδρανή $\text{Kg/m}^3$
Χαμηλής αντοχής	33.7	0.68	196	288	1087	853
Μέτριας αντοχής	43.8	0.48	196	408	986	853
Υψηλής αντοχής	55.2	0.38	197	515	857	853

**Πίνακας 3.6.2:** Αριθμός κυλίνδρων ανά στρώσεις και ανά αντοχή σκυροδέματος

Τύπος σύνθετου Υφάσματος	Αντοχή Σκυροδέματος MPa	Στρώσεις Υφάσματος	Αριθμός δοκιμίων
Μανδύας σύνθετου πολυμερους	33.68	Απερίσφιγκτο	3
		1 (0.381 mm)	3
		2 (0.762 mm)	3
		3 (1.143 mm)	3
	43.77	Απερίσφιγκτο	3
		1 (0.381 mm)	3
		2 (0.762 mm)	3
		3 (1.143 mm)	3
	55.21	Απερίσφιγκτο	3
		1 (0.381 mm)	3
		2 (0.762 mm)	3
		3 (1.143 mm)	3

Οι μηχανικές ιδιότητες των ανθρακονήματων που χρησιμοποιήθηκαν προσδιορίστηκαν (πιν. 3.6.3) από δοκιμές εφελκυσμού σε δείγματα ΙΟΠ (coupon tests).

**Πίνακας 3.6.3:** Ιδιότητες σύνθετου υλικού

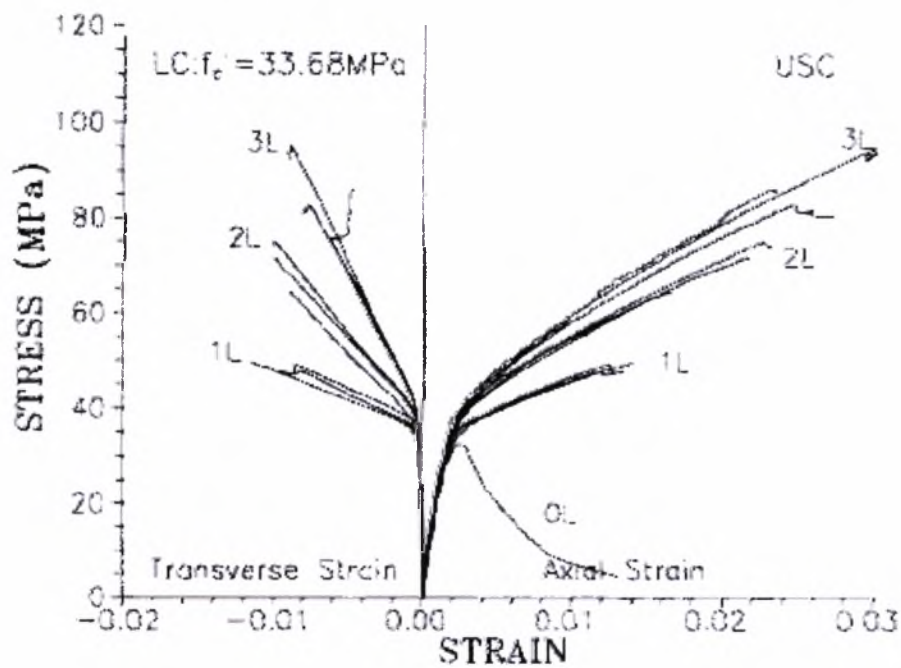
Πάχος ανά στρώση (mm)	Μέτρο ελαστικότητας(MPa)	Εφελκυστική αντοχή(MPa)	Επιμήκυνση Θράυσης
0.381	$1.05 \times 10^5$	1577	0.015

Οι κύλινδροι δοκιμάστηκαν έως την αστοχία σε μηχανή θλίψης, υψηλής αντοχής και ακαμψίας.

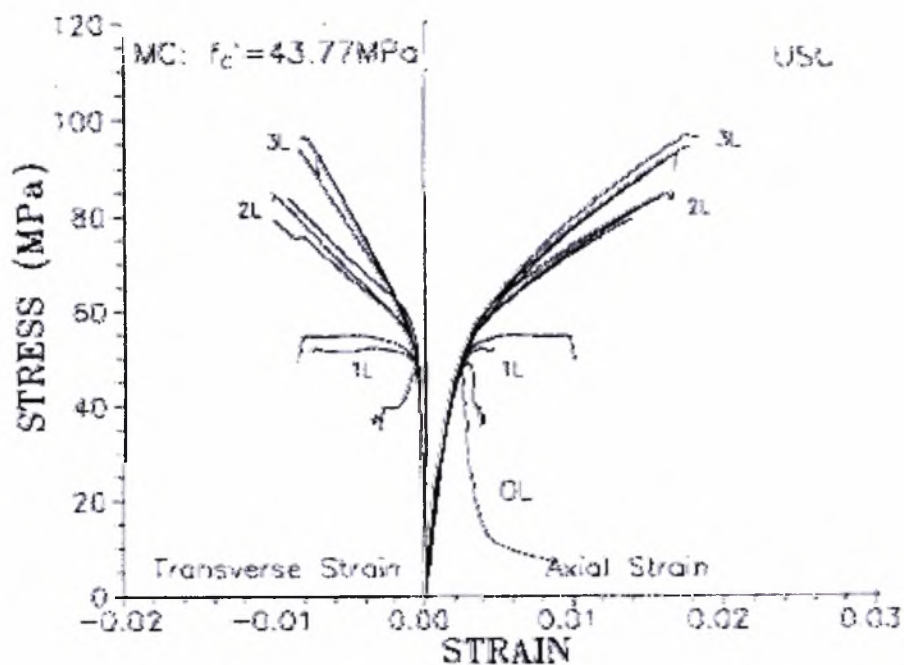
Δεν παρατίθενται αναλυτικότερα αποτελέσματα των πειραμάτων με αποτελέσματα παρά μόνο τα διαγράμματα τάσεων - αξονικών παραμορφώσεων - εγκάρσιων παραμορφώσεων για καθε έναν από τους τρεις τύπους σκυροδέματος. Καθώς και το διάγραμμα αξονικής-εγκάρσιας παραμόρφωσης. Έτσι οι τιμές που χρειαζόμαστε να ληφθούν απο τα διαγράμματα (σχ. 3.6.1, 3.6.2, 3.6.3, 3.6.4)



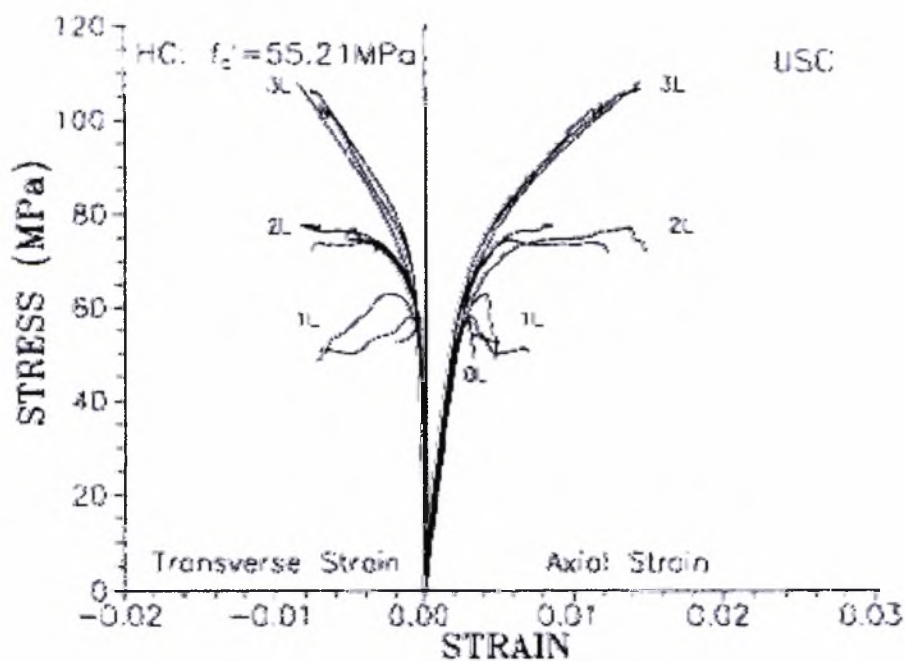
Εικόνα 3.6.5: Ενδεικτική αστοχία δοκιμίων



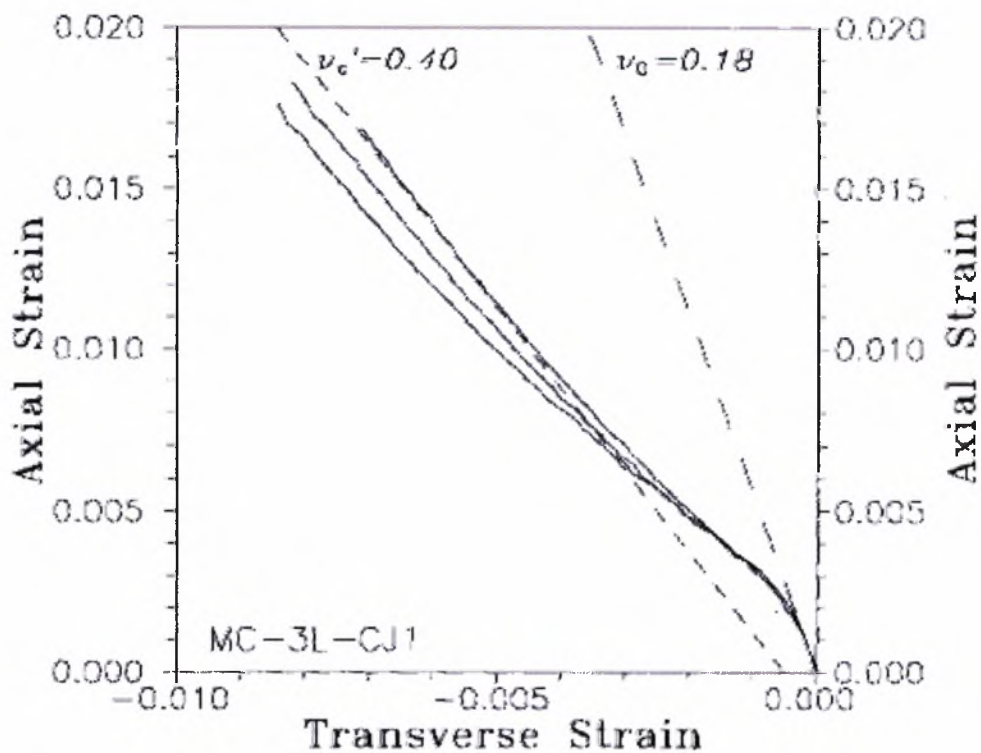
Σχήμα 3.6.1: Διάγραμμα τάσεων – αξονικής παραμόρφωσης – πλευρικής παραμόρφωσης για αντοχή  $f_{co} = 33.68 \text{ MPa}$



Σχήμα 3.6.2: Διάγραμμα τάσεων – αξονικής παραμόρφωσης – πλευρικής παραμόρφωσης για αντοχή  $f_{co} = 43.77 \text{ MPa}$



Σχήμα 3.6.3: Διάγραμμα τάσεων – αξονικής παραμόρφωσης – πλευρικής παραμόρφωσης για αντοχή  $f_{co} = 55.21 \text{ MPa}$



**Σχήμα 3.6.4:** Διάγραμμα αξονικής παραμόρφωσης – πλευρικής παραμόρφωσης

Από τα παραπάνω διαγράμματα (σχ. 6.3.1, 6.3.2 και 6.3.3) παρατηρούμε πως με την αύξηση της αντοχής οι ενισχυμένοι κύλινδροι γίνονται όλο και πιο ψαθυροί.

Συγκεκριμένα για  $f_{co}=33.68$  MPa παρατηρούμε πως η αξονική παραμόρφωση κατά την θραύση των κυλίνδρων με τρεις στρώσεις ΙΟΠ είναι περίπου 0.03, δηλαδή 3%, για  $f_{co}=43.77$  MPa η αντίστοιχη παραμόρφωση είναι 0.018 και τέλος για  $f_{co}=55.21$  MPa μειώνεται ακόμη και φτάνει 0.015! Ανάλογη μείωση συναρτήσει της αντοχής  $f_{co}$  σημειώνεται για μία και δύο στρώσεις. Αξίζει να σημειωθεί πως μέχρι την τιμή που αντιστοιχεί στην αντοχή των απερίσφιγκτων κυλίνδρων η παραμόρφωση είναι ίδια  $\approx 2\%$  αφού ο μανδύας αρχίζει να συνεισφέρει μετά την  $f_{co}$ .

Η εγκάρσια παραμόρφωση στην αστοχία μειώνεται και αυτή με την αύξηση της  $f_{co}$  με μικρότερο όμως ρυθμό από την αξονική παραμόρφωση. Ισχύει και εδώ πως η  $\epsilon_l$  είναι σταθερή μέχρι την αντοχή των απερίσφιγκτων κυλίνδρων αφού εξαρτάται από την  $\epsilon_{co}$  η οποία είναι 2% και από τον λόγο Poisson που για σκυρόδεμα είναι  $\nu \approx 0.18$ .

Όσον αφορά την μεταβολή των παραπάνω παραμορφώσεων συναρτήσει του πάχους του μανδύα, προκύπτει πως με αύξηση του πάχους γενικά αυξάνεται η αξονική παραμόρφωση. Όμως η διαφορά μεταξύ δύο και τριών στρώσεων μειώνεται για μέτρια και καταλήγει περίπου να μην υφίσταται για υψηλή αντοχή σκυροδέματος.



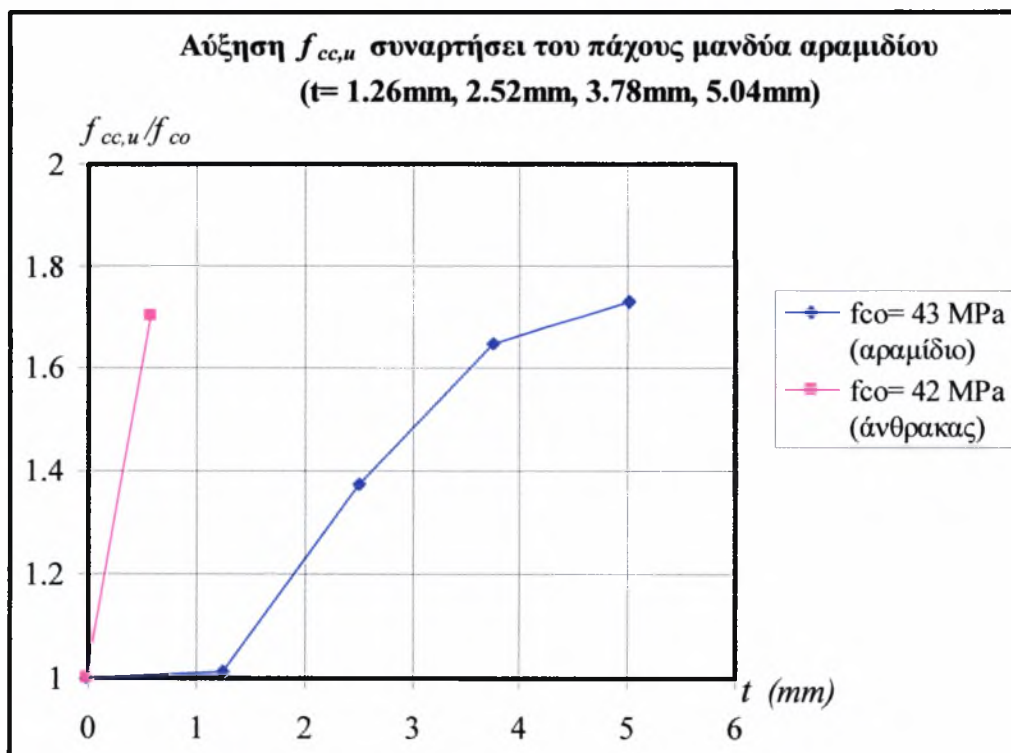
Απ' την άλλη η εγκάρσια παραμόρφωση στην θραύση δεν παρουσιάζει αξιοσημείωτες διαφορές για μεταβολή του πάχους, αν και φαίνεται να είναι ελάχιστα μεγαλύτερη (κατά μέσο όρο) στην περίπτωση των δύο στρώσεων.

### 3.7 Κοινά συμπεράσματα πειραματικών εργασιών που εξετάστηκαν

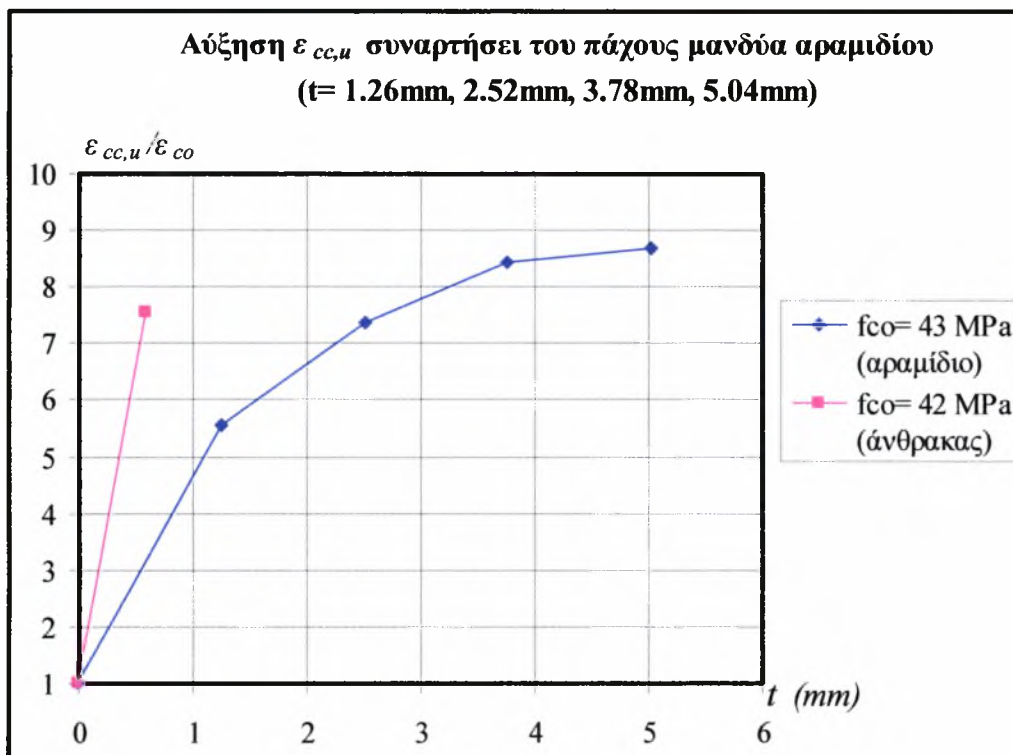
Από τα όλα τα παραπάνω πειραματικά αποτελέσματα μπορούμε να εξάγουμε ορισμένα κοινά συμπεράσματα όσον αφορά την επιρροή του πάχους του μανδύα και την διαφορετική αντοχή του σκυροδέματος στην τελική αύξηση της αντοχής και της αξονικής παραμόρφωσης κατά την θραύση κυλίνδρων σκυροδέματος ενισχυμένων με σύνθετα υλικά.

Στην συγκεκριμένη παράγραφο θα εξετάσουμε τα αποτελέσματα των πειραμάτων και ειδικότερα τους λόγους  $f_{cc,u}/f_{co}$ ,  $\varepsilon_{cc,u}/\varepsilon_{co}$  συναρτήσει του πάχους  $t$  του μανδύα ή του σωλήνα ΙΟΠ του κάθε ερευνητή με την σειρά που αυτά αναλύθηκαν παραπάνω.

#### α) P. Labossiere – P. Rochette



**Σχήμα 3.7.1:** Επιρροή ΙΟΠ άνθρακα –αραμιδίου στην αύξηση της  $f_{cc,u}$  κυλίνδρων [6] (100\*200 – 150\*300 αντίστοιχα) λόγω περίσφιγξης

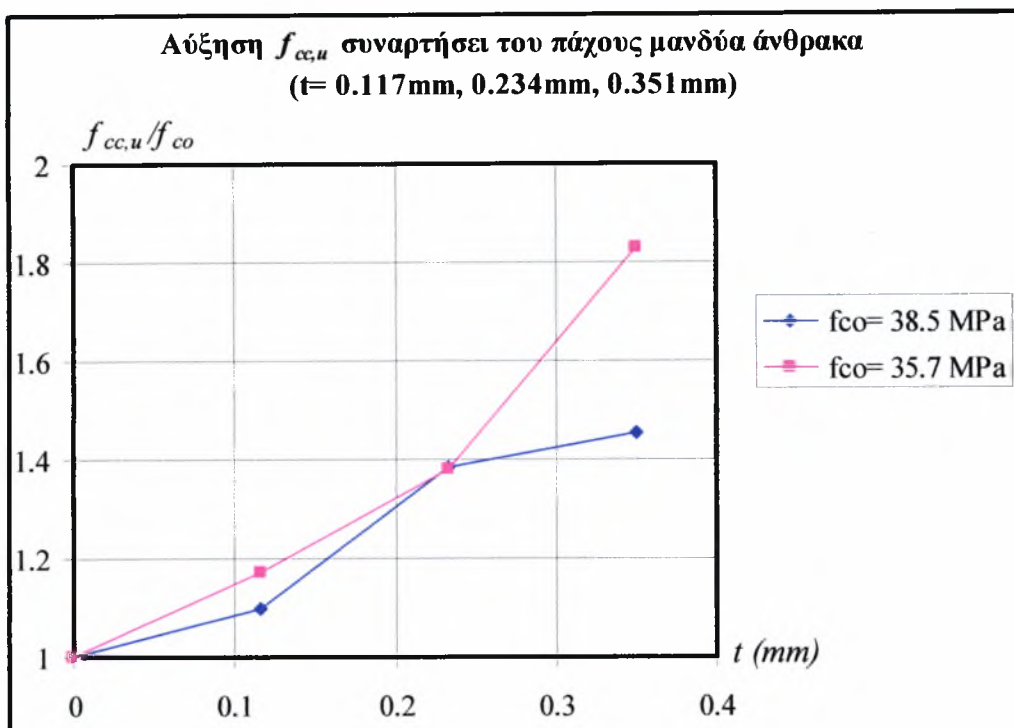


**Σχήμα 3.7.2:** Επιρροή ΙΟΠ άνθρακα –αραμιδίου στην αύξηση της  $\varepsilon_{cc,u}$  κυλίνδρων [6] (100\*200 – 150\*300 αντίστοιχα) λόγω περισφιγξης

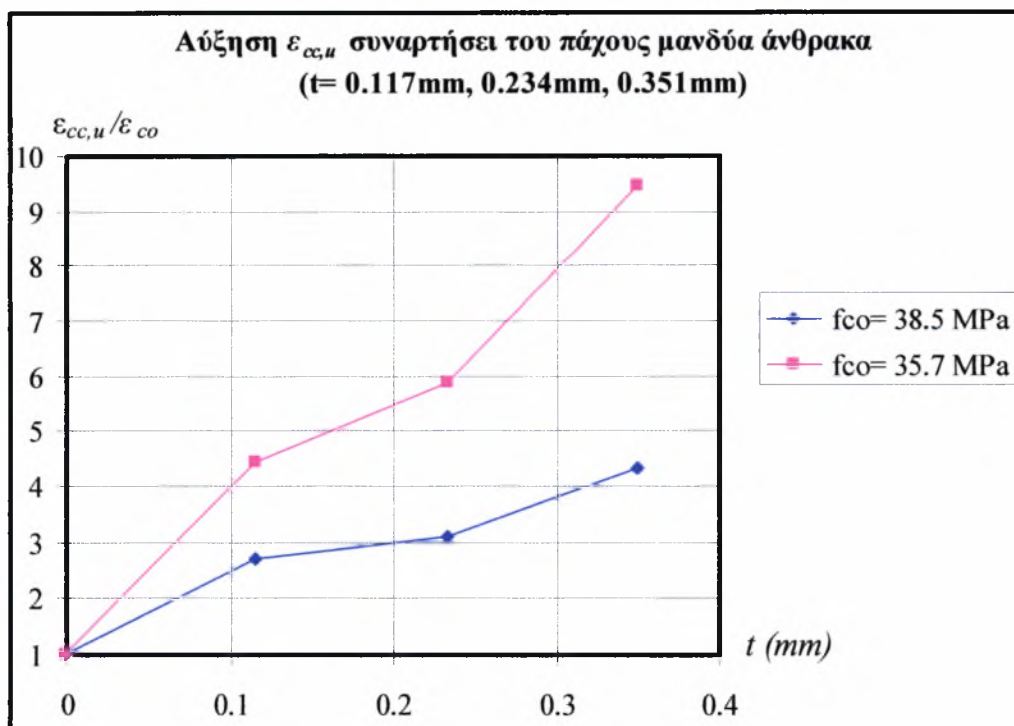
### γ) Καραμπίνη –Ρουσάκη

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων του συγκεκριμένου πειράματος παρέχει πληροφορίες για την αύξηση της  $f_{cc,u}$  και της  $\varepsilon_{cc,u}$  συναρτήσει της αντοχής των απερίσφιγκτων κυλίνδρων  $f_{co}$  και του πάχους του μανδύα.

Βέβαια τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τους κυλίνδρους σκυροδέματος  $f_{co} = 38.5\text{MPa}$  και ενίσχυση τριών στρώσεων ΙΟΠ δεν είναι αξιόπιστα προς σύγκριση λόγω της πρόωρης αστοχίας που συνέβη.



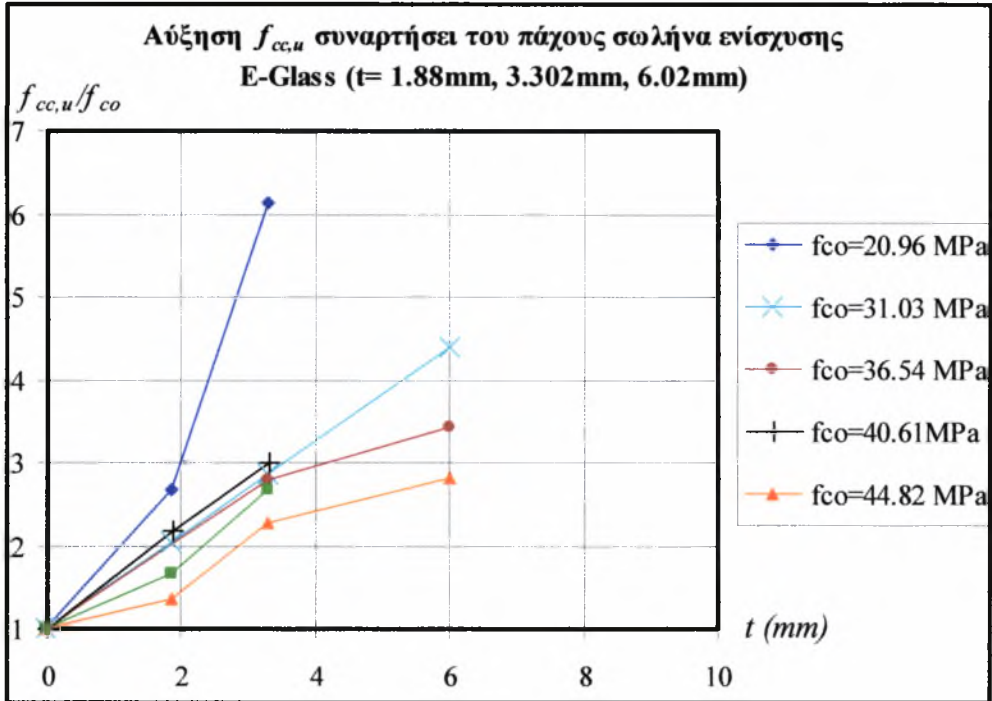
**Σχήμα 3.7.3:** Επιρροή ΙΟΠ άνθρακα στην αύξηση της  $f_{cc,u}$  κυλίνδρων [11] (200\*320mm) λόγω περίσφιγξης



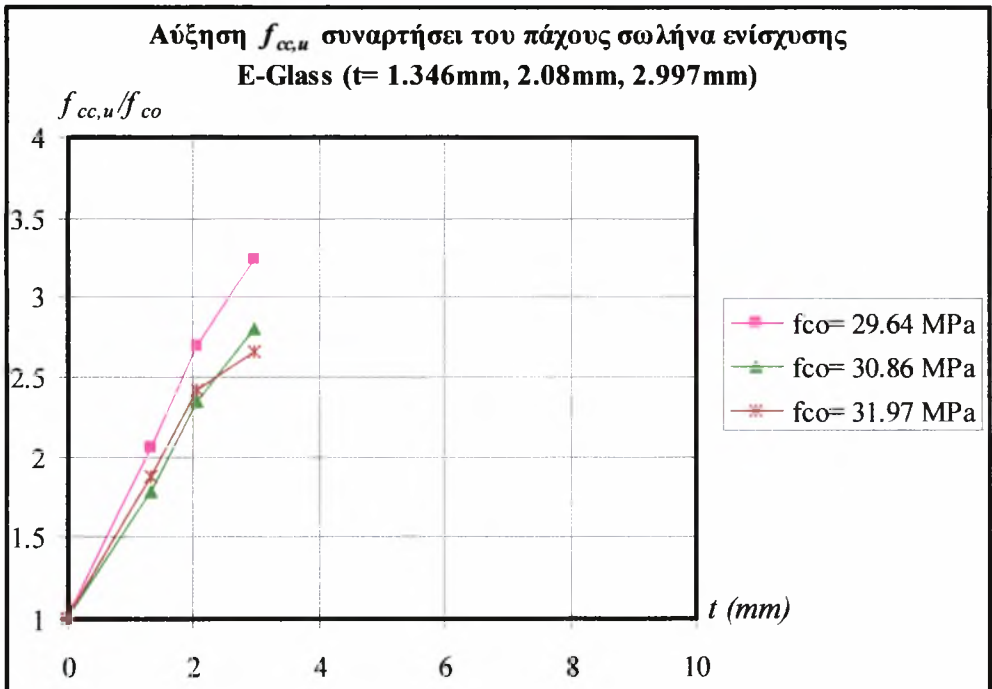
**Σχήμα 3.7.4:** Επιρροή ΙΟΠ άνθρακα στην αύξηση της  $\varepsilon_{cc,u}$  κυλίνδρων [11] (200\*320mm) λόγω περίσφιγξης

δ) A. Mirmiran

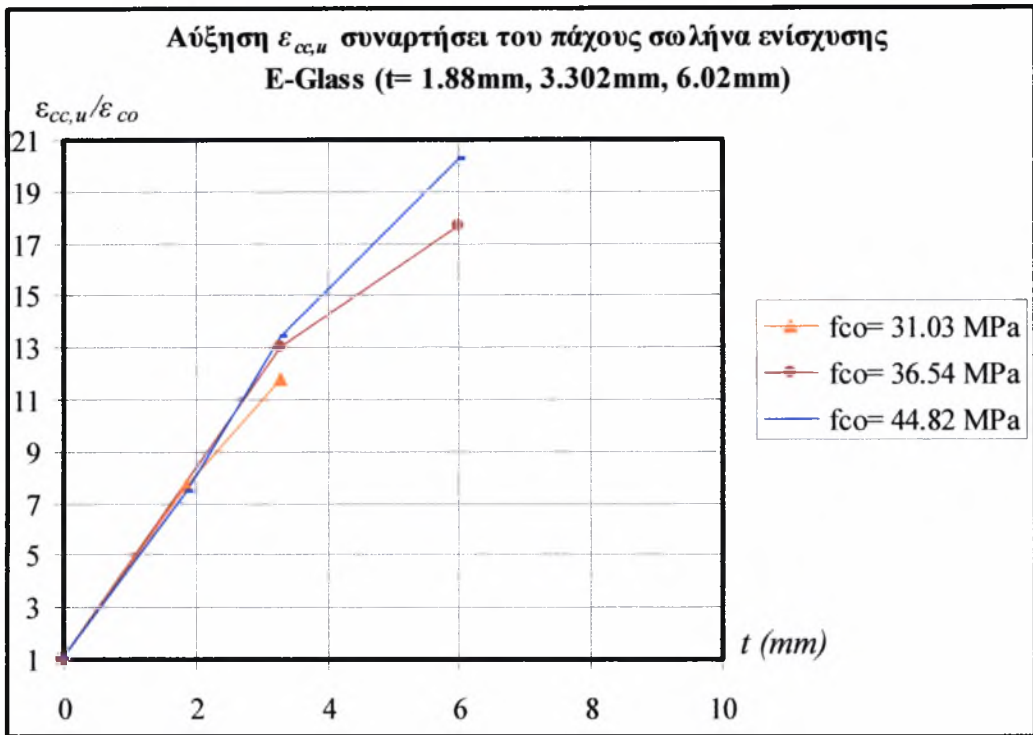
Στα πειράματα του Amir Mirmiran λόγω της ύπαρξης πολλών αντοχών και διαφορετικών παχών σωλήνων ΙΟΠ χωρίστηκαν τα αποτελέσματα σε δύο διαγράμματα, αναλογα με τα πάχη. Προέκυψαν λοιπόν τα παρακάτω διαγράμματα:



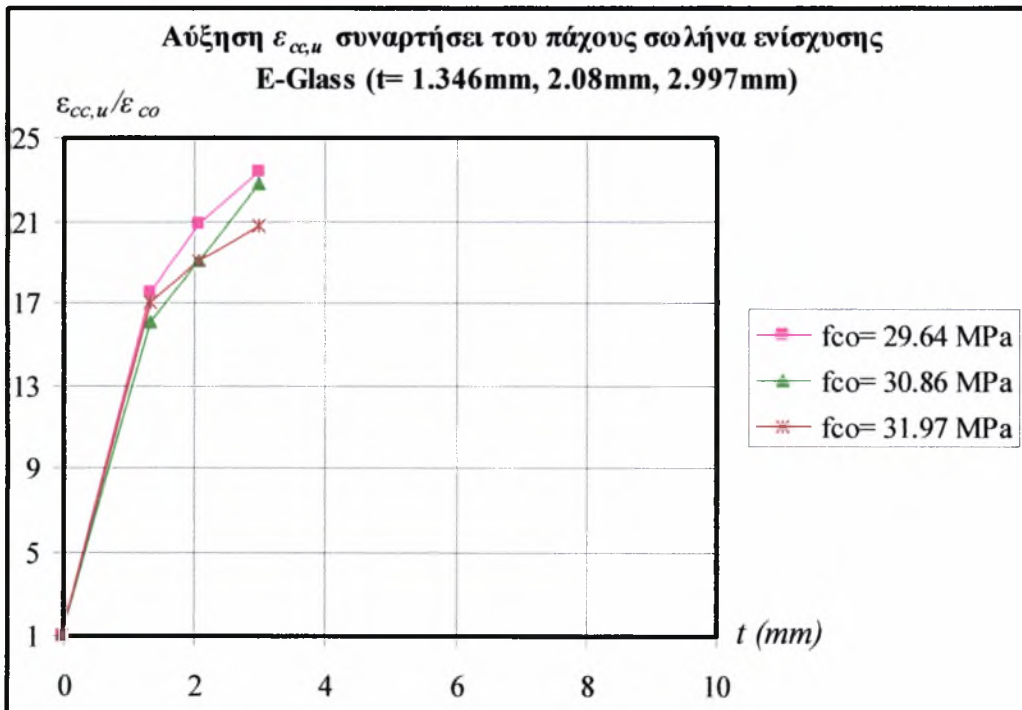
Σχήμα 3.7.5: Επιρροή σωλήνων ΙΟΠ στην αύξηση της  $f_{cc,u}$  κυλίνδρων [2] (150\*300mm) λόγω περίσφιγξης



Σχήμα 3.7.6: Επιρροή σωλήνων ΙΟΠ στην αύξηση της  $f_{cc,u}$  κυλίνδρων [2] (150\*300mm) λόγω περίσφιγξης



**Σχήμα 3.7.7:** Επιρροή σωλήνων ΙΟΠ στην αύξηση της  $\varepsilon_{cc,u}$  κυλίνδρων [2] (150\*300mm) λόγω περίσφιγξης

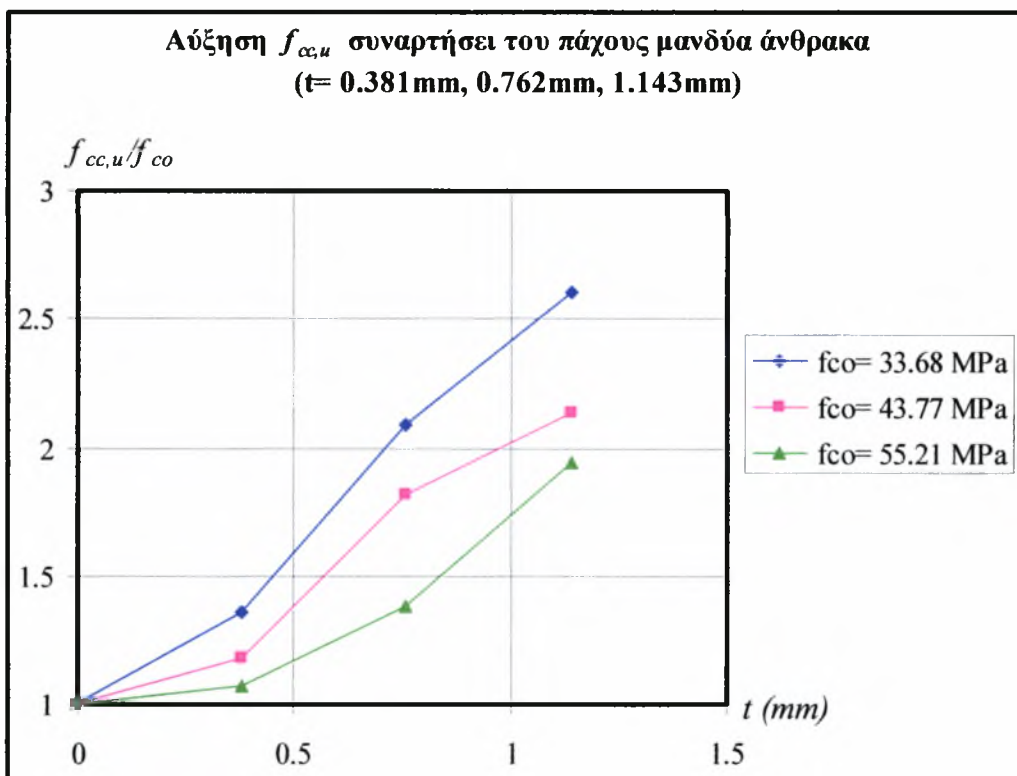


**Σχήμα 3.7.8:** Επιρροή σωλήνων ΙΟΠ στην αύξηση της  $\varepsilon_{cc,u}$  κυλίνδρων [2] (150\*300mm) λόγω περίσφιγξης

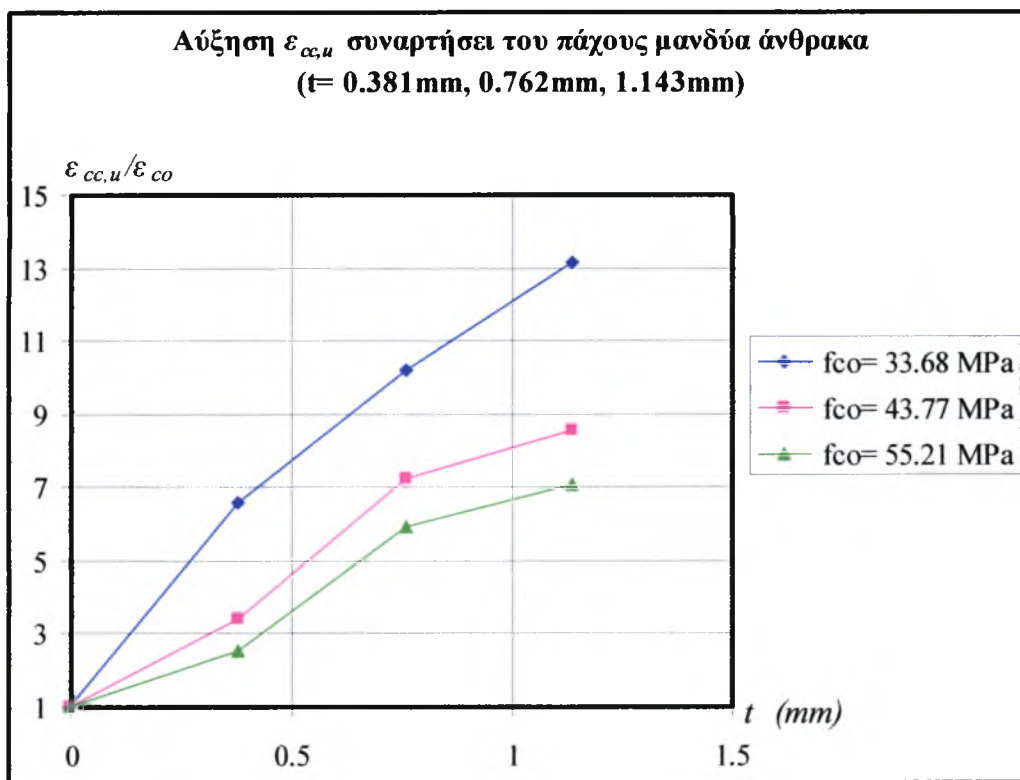
### ε) Xiao - Wu

Στα πειράματα τους οι Xiao - Wu χρησιμοποίησαν τρεις κατηγορίες σκυροδέματος με αντοχές 33.68MPa, 43.77MPa και 55.21MPa καθώς και τρία πάχη μανδύα από ίνες άνθρακα 0.381mm, 0.782mm και 1.143mm.

Όταν τα δοκίμια υπεβλήθησαν σε δοκιμές μονοαξονικής θλίψης παρατηρήθηκαν αύξεις στην αντοχή και παραμόρφωση κατά την αστοχία των κυλίνδρων οι οποίες υπολογίστηκαν παρακάτω συναρτήσει της αρχικής αντοχής  $f_{co}$  των απερίσφιγτων κυλίνδρων.



**Σχήμα 3.7.9:** Επίρροή μανδύα ΙΟΠ στην αύξηση της  $f_{cc,u}$  κυλίνδρων [1]  
(150\*300mm) λόγω περίσφιγξης



**Σχήμα 3.7.10:** Επιρροή μανδύα ΙΟΠ στην αύξηση της  $\varepsilon_{cc,u}$  κυλίνδρων [1]  
(150\*300mm) λόγω περισφιγής

Από τα παραπάνω διαγράμματα εξάγουμε το συμπέρασμα πως όσο αυξάνεται η αντοχή  $f_{co}$  του σκυροδέματος που χρησιμοποιείται, τόσο μειώνεται το ποσοστό αύξησης της οριακής αντοχής και παραμόρφωσης των περισφιγμένων κυλίνδρων.

Ανάλογα με το υλικό των ινών των ΙΟΠ παρατηρούμε πως όσον αφορά τις ίνες αραμιδίου (πιν. 3.7.1, 3.7.2) για πάχος 1.52mm η αύξηση της αντοχής είναι πολύ μικρή ενώ αντίθετα της παραμόρφωσης είναι 5.7 μεγαλύτερη από την αρχική. Στην συνέχεια ενώ ο ρυθμός αύξησης της αντοχής αυξάνεται έως  $t = 3.78\text{ mm}$  και μετά μειώνεται, ο ρυθμός αύξησης της παραμορφωσης αστοχίας συνεχώς μειώνεται.

Για τα σύνθετα υλικά ινών άνθρακα από τα διαγράμματα 3.7.3 και 3.7.9 αναφορικά με την αύξηση της  $f_{cc,u}$  παρατηρείται η τάση ο ρυθμός αύξησης της να αυξάνεται και φαίνεται πως αρχίζει να μειώνεται για πάχος μανδύα μεγαλύτερο από 0.762mm περίπου. Για τα διαγράμματα που προέκυψαν για κάθε μια από τις αντοχές σκυροδέματος των πειραμάτων Καραμπίνη – Ρουσάκη πρέπει να σημειωθεί πως δεν δικαιολογείται η εντελώς διαφορετική συμπεριφορά που παρουσιάζουν για πάχος μεγαλύτερο των 0.351mm, λόγω του ότι η διαφορά μεταξύ των αρχικών αντοχών

είναι μόλις 2.8 MPa. Από τα δύο παραπάνω διαγράμματα συγκρίνοντας τις αντοχές  $f_{co}$  (33.68 (Χiao – Wu) και 35.7(Καραμπίνη - Ρουσάκη)) και τα πάχη 0.351(Καραμπίνη - Ρουσάκη), 0.381(Χiao – Wu) η αντοχή αυξάνεται κατα 1.83 στο πείραμα των Καραμπίνη ενώ 1.17 στο πείραμα των Χiao, πράγμα που σημαίνει πως επηρεάζει:

- (α) ο αριθμός στρώσεων για να επιτευχθεί το αντίστοιχο πάχος μανδύα και
- (β) οι διαστάσεις των κυλίνδρων.

Επίσης συγκρίνοντας (σχ. 3.7.1) τα αποτελέσματα για ίνες άνθρακα των πειραμάτων των Labossiere - Rochette όπου  $f_{co}=42$  MPa και  $t= 0.6\text{mm}$ (2 στρώσεις) και (σχ. 3.7.9) τα αποτελέσματα για  $f_{co}= 43.77$  MPa και  $t= 0.762\text{mm}$ (2 στρώσεις) των πειραμάτων των Χiao- Wu στην πρώτη περίπτωση η αντοχή αυξάνεται κατά 1.7 φορές ενώ στην δευτερη κατά 1.82.

Ερχόμενοι στις παραμορφώσεις φαίνεται καθαρά πως ο ρυθμός αύξησης μειώνεται με την αύξηση των στρώσεων και την αύξηση των αντοχών. Ενώ για τις παραπάνω συγκρίσεις ισχύουν τα ίδια.

Μεταξύ άνθρακα και αραμίδιο για περίπου ίδια αντοχή και πάχος οι αντίστοιχες αυξήσεις είναι περίπου διπλάσιες.

Για τους κυλίνδρους ΙΟΠ από ίνες E-Glass τα συμπεράσματα είναι αντίστοιχα. Δηλαδή παρατηρείται μείωση του ρυθμού αύξησης της οριακής παραμόρφωσης θραύσης καθώς μεγαλώνει η αντοχή του απερίσφιγκτου σκυροδέματος και το πάχος του σωλήνα περίσφιγξης ΙΟΠ. Βεβαια μεταξύ της συμπεριφοράς για  $f_{co}=20.94\text{MPa}$  και  $f_{co}=31.03\text{MPa}$  δεν είναι λογικές οι διαφορές και θα έπρεπε να είχαν ανάλογη συμπεριφορά με τις αντοχές  $f_{co}=29.64\text{MPa}$  και  $f_{co}=30.86\text{MPa}$ .



ΣΥΓΚΡΙΣΗ  
ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ –  
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

#### 4.1 Γενικά

Όπως ειπώθηκε στην αρχή αυτής της εργασίας, στόχος μας είναι να προσδιορίσει μέσα από έναν αριθμό αναλυτικών προσομοιωμάτων το πιο αξιόπιστο για την πρόβλεψη της αύξησης της αντοχής και της παραμόρφωσης κατά την αστοχία κυλίνδρων σκυροδέματος όγω περίσφιγξης με ΙΟΠ. Στα τέσσερα προσομοιώματα που εξετάζονται, εφαρμόστηκαν τα απαραίτητα χαρακτηριστικά των σύνθετων υλικών και του σκυροδέματος των πέντε πειραμάτων που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3.

Για κάθε σειρά πειραματικών αποτελεσμάτων υπολογίστηκαν τα αντίστοιχα μεγέθη (αντοχή – παραμόρφωση θραύσης) που παρέχει η εφαρμογή του κάθε προσομοιώματος. Στην συνέχεια παρατίθενται διαγράμματα με τους λόγους  $f_{cc, mod} / f_{cc, exp}$  ή  $\epsilon_{cc, u, mod} / \epsilon_{cc, u, exp}$  ανάλογα με το πάχος  $t_f$  του μανδύα και τα διαγράμματα  $f_{cc, mod} - f_{cc, exp}$  και  $\epsilon_{cc, u, mod} - \epsilon_{cc, u, exp}$ .

Οι πίνακες υπολογισμού των εντατικών μεγεθών παρατίθενται στο Παράρτημα.

## 4.2 Σύγκριση $f_{cc,u}$ προβλέψεων προσομοιωμάτων και $f_{cc,u}$ πειραματικών αποτελεσμάτων συναρτήσει του πάχους του μανδύα ή του σωλήνα ενίσχυσης.

### 4.2.1 Σύγκριση των λόγων $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$

Πρέπει να σημειωθεί πως για την εφαρμογή των προσομοιωμάτων έπρεπε να προσδιοριστεί το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος, αφού δεν υπήρχε στα δεδομένα των πειραμάτων. Έτσι λοιπόν έγινε χρήση της σχέσης

$$E_c = 9500(f_{ck} + 8)^{1/3} \quad (4.2.1)$$

που προτείνεται από τον Ελληνικό Κανονισμό Ωπλισμένου Σκυροδέματος (2000) και αντιστοιχεί στο επιβατικό(τέμνον) μέτρο ελαστικότητας στις 28 ημέρες .

Οι συμβολισμοί που υπάρχουν παρακάτω δηλώνουν:

$C \rightarrow$  ίνες άνθρακα,

$A \rightarrow$  ίνες αραμιδίου,

$G \rightarrow$  ίνες E- Glass,

δείκτης  $j \rightarrow$  (jacket)μανδύας,

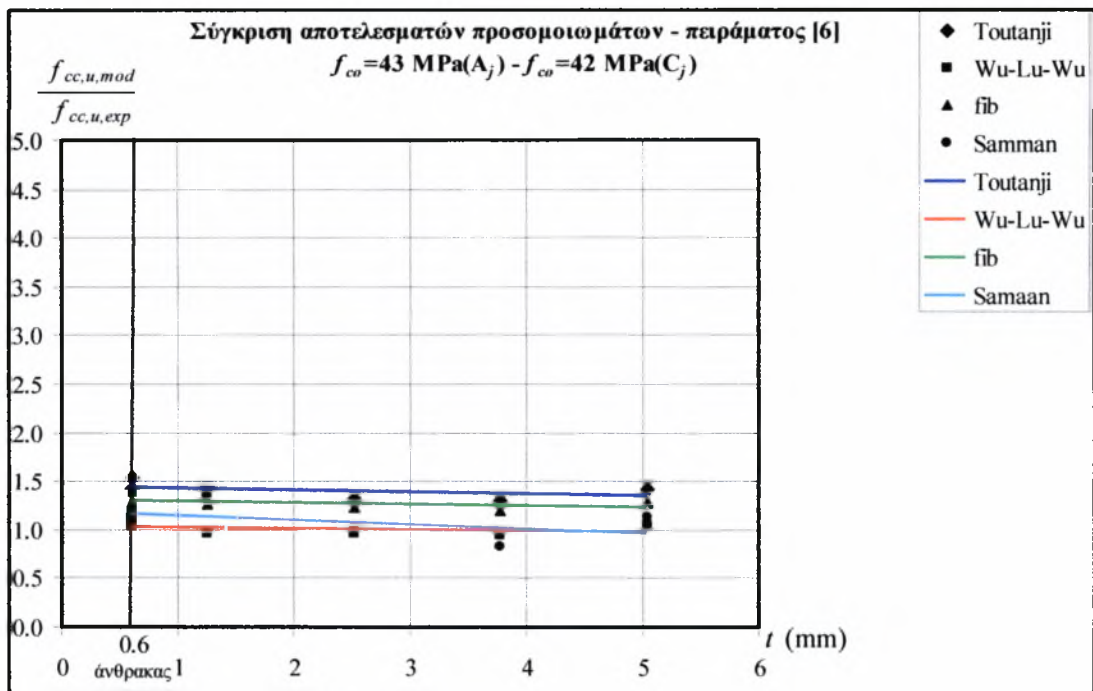
δείκτης  $t \rightarrow$  (tube)σωλήνας

λ.χ.  $A_j$  συμβολίζει μανδύα με ίνες αραμιδίου

### α) Πείραμα P. Rochette – P. Labossiere [6]

Οι P. Rochette και P. Labossiere κατά την εκτέλεση του πειραματικού προγράμματος μέτρησαν την μέγιστη τάση  $f_{cc,max}$  και την οριακή τάση και παραμόρφωση  $f_{cc,u}$   $\varepsilon_{cc,u}$ . Από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους πίνακες του 3<sup>ου</sup> κεφαλαίου (πίν. 3.2.2, πίν. 3.2.3) παρατηρούμε ότι διαφορές μεταξύ μέγιστης και οριακής τάσης δεν υπάρχουν, που σημαίνει ότι οι ενισχυμένοι κύλινδροι δεν παρουσιάζουν πλαστιμότητα

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για όλα τα προσομοιώματα που έχουν αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

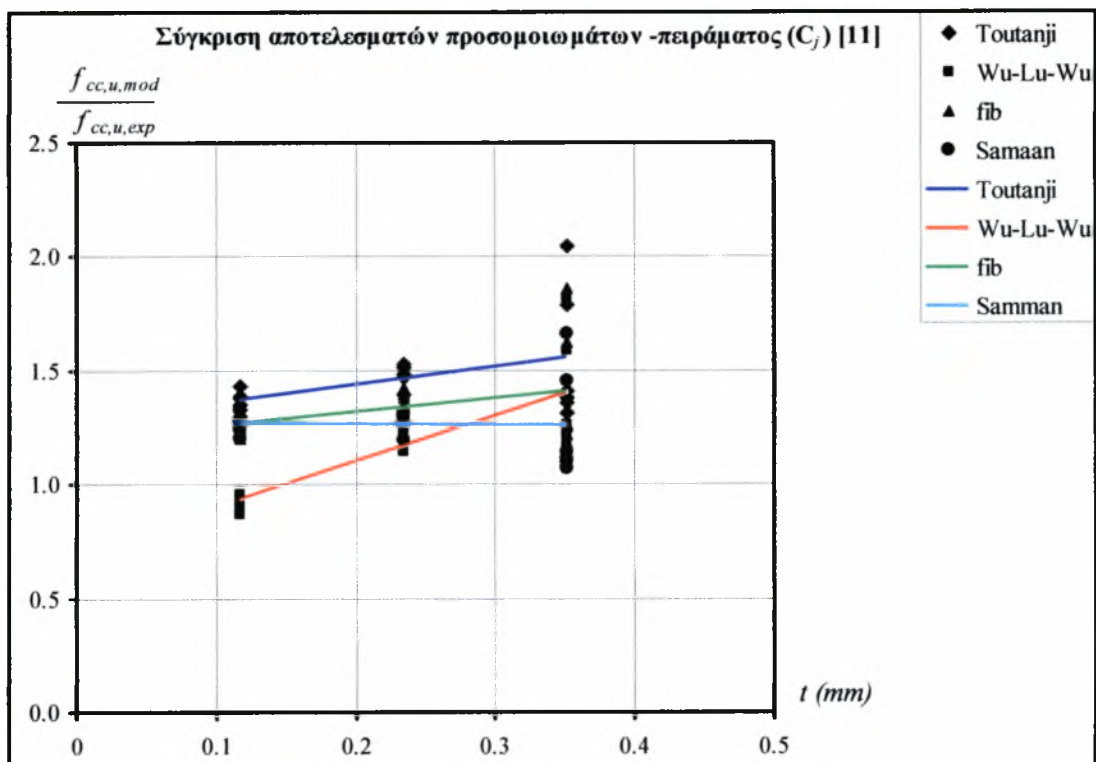


**Σχήμα 4.2.1:** Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp[6]}$  συναρτήσει του πάχους του μανδύα C, A  
(C):  $t=0.6\text{mm}$ ,  $f_{co}=43\text{MPa}$ ,  $D=100\text{mm}$ ,  $H=200\text{mm}$   
(A):  $t=1.26 - 5.04\text{mm}$ ,  $f_{co}=42\text{MPa}$ ,  $D=150\text{mm}$ ,  $H=300\text{mm}$

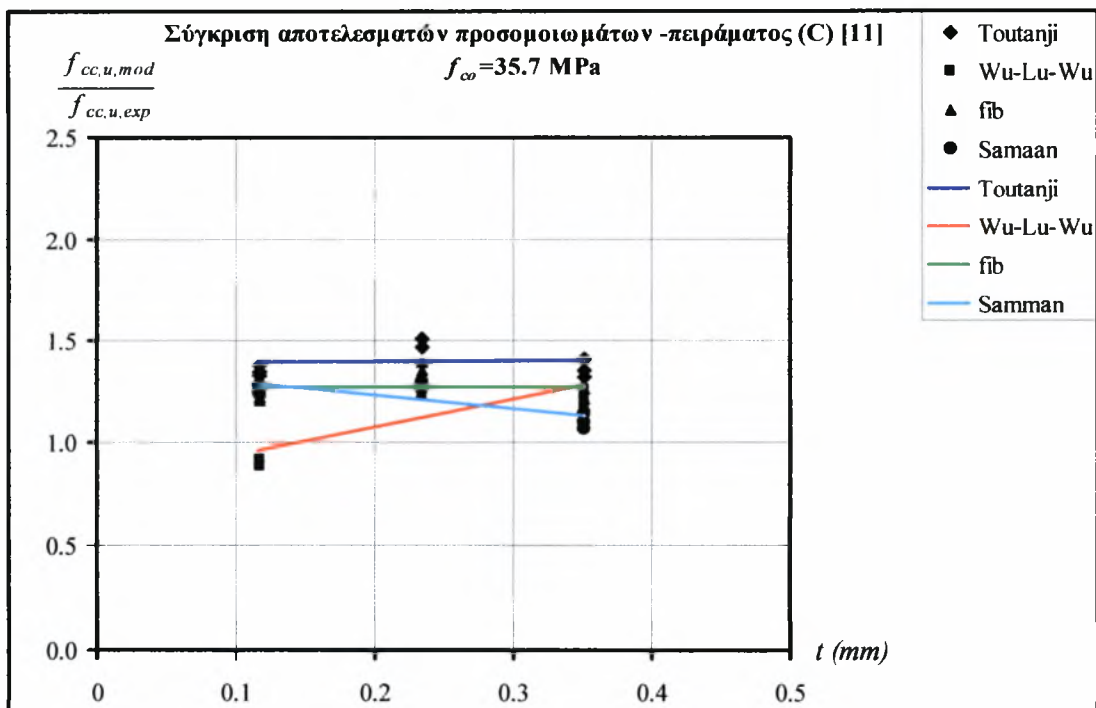
### β) Πείραμα Καραμπίνη – Ρουσάκη [11]

Οι Καραμπίνης – Ρουσάκης στα πειράματα μέτρησαν την οριακή τάση  $f_{cc,u}$  και παραμόρφωση  $\epsilon_{cc,u}$  κατά την αστοχία των κυλίνδρων άρα μπορούμε να εφαρμόσουμε τα τέσσερα προσομοιώματα που έχουν επιλεγεί. Από την εφαρμογή λοιπόν των προσομοιωμάτων καταλήγουμε στους παρακάτω λόγους  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για όλα τα προσομοιώματα.

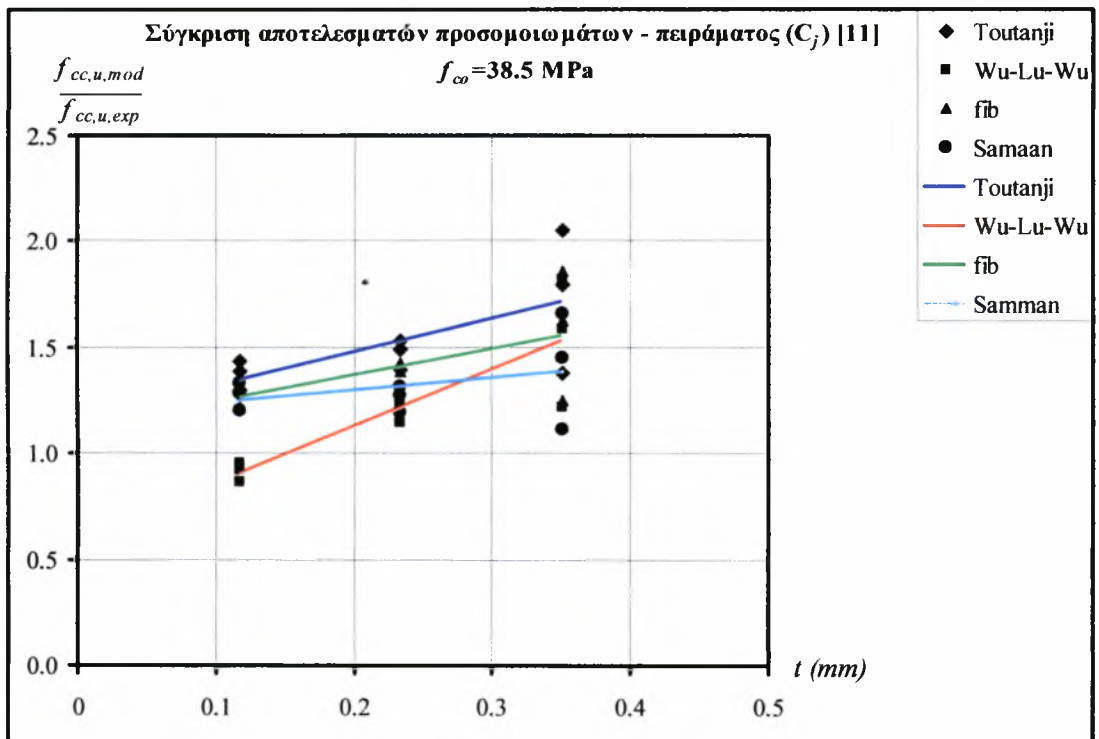
Λόγω του ότι οι παραπάνω ερευνητές είχαν επιλέξει δύο κατηγορίες σκυροδέματος θα χωρίσουμε τις τιμές για να δούμε την μεταβολή του λόγου  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  συναρτήσει του πάχους, για κάθε μια από τις δύο κατηγορίες αντοχής (C20/25) και (C16/20).



**Σχήμα 4.2.2:** Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp}$ [11] συναρτήσει του πάχους του μανδύα C ( $f_{co}=35.7$  &  $38.5$  MPa,  $t=0.117$ mm –  $0.351$ mm,  $D=200$ mm,  $H=320$ mm)



**Σχήμα 4.2.3:** Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp}$ [11] συναρτήσει του πάχους του μανδύα C ( $f_{co} = 35.7$  MPa,  $t=0.117$ mm –  $0.351$ mm,  $D=200$ mm,  $H=320$ mm)

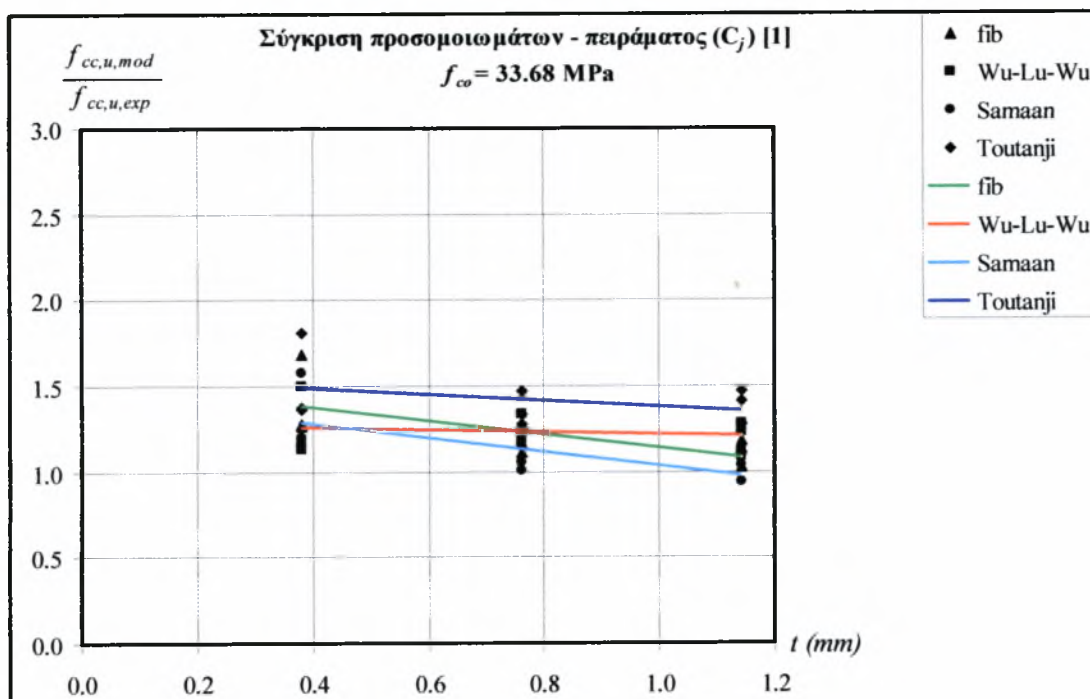


**Σχήμα 4.2.4:** Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp}$  συναρτήσει του πάχους του μανδύα C ( $f_{co} = 38.5 \text{ MPa}$ ,  $t=0.117\text{mm} - 0.351\text{mm}$ ,  $D=200\text{mm}$ ,  $H=320\text{mm}$ )

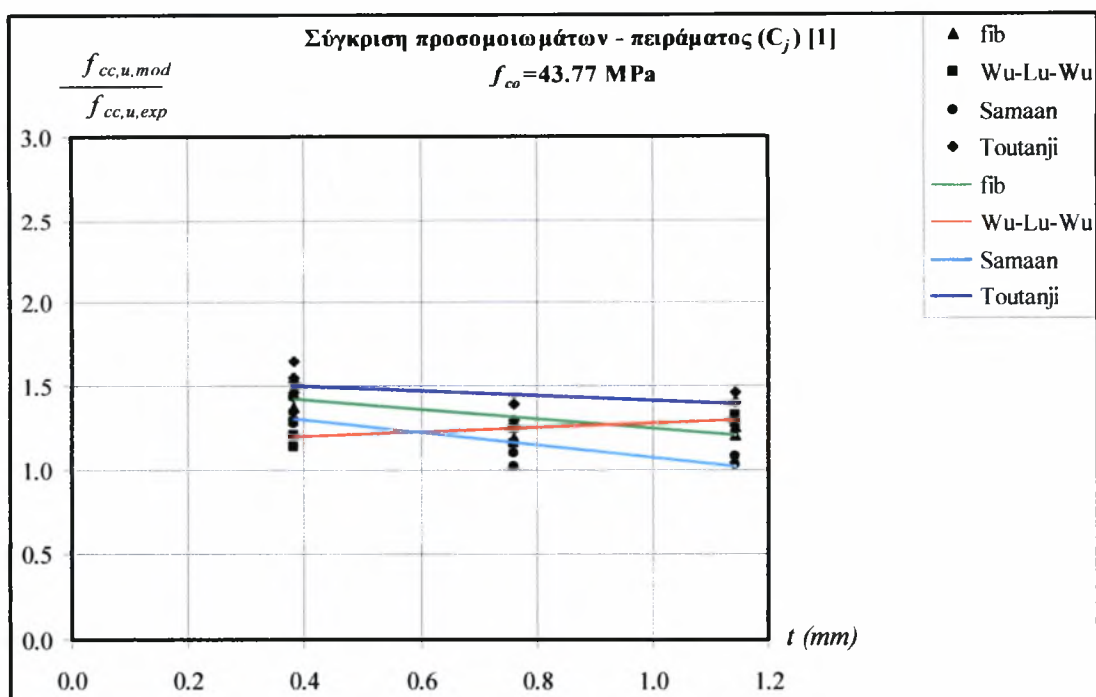
Παρατηρούμε πως παρουσιάζουν ορισμένες μικρές διαφορές οι λόγοι των αντοχών. Βέβαια το πιο σημαντικό είναι πως οι λόγοι για  $f_{co}=35.7 \text{ MPa}$  έχουν μικρότερη διασπορά σε σχέση με τους λόγους για αντοχή απερίσφιγτων κυλίνδρων  $f_{co}=38.5 \text{ MPa}$ .

### γ) Πείραμα Xiao – Wu [1]

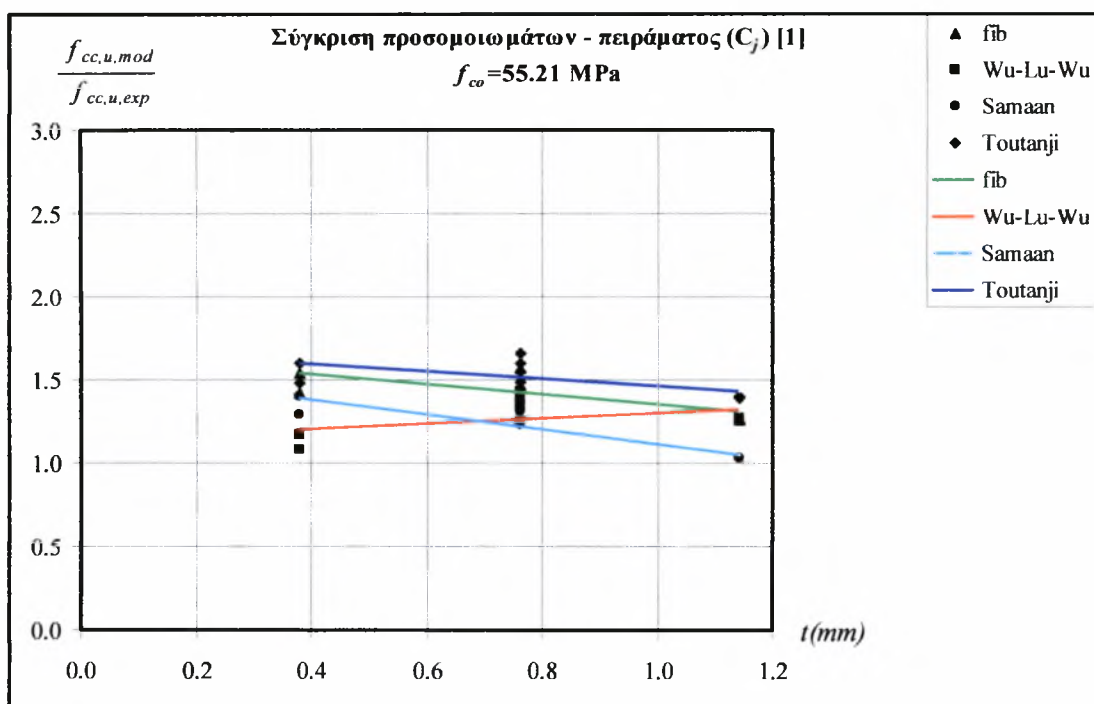
Στην εργασία των Xiao – Wu υπήρχαν μόνο διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων. Έτσι μετρήθηκαν οι τιμές  $f_{cc,u,exp}$  και  $\epsilon_{cc,u,exp}$  με πολλή προσοχή από τα διαγράμματα που υπήρχαν για κάθε αντοχή σκυροδέματος. Προκύπτουν λοιπόν οι παρακάτω λόγοι  $f_{cc, u,mod} / f_{cc,u,exp}$  για όλα τα προσομοιώματα συναρτήσει του πάχους του μανδύα ανά αντοχή απερίσφιγτου σκυροδέματος.



Σχήμα 4.2.5: Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp[1]}$  συναρτήσει του πάχους του μανδύα C ( $f_{co} = 33.68 \text{ MPa}$ ,  $t=0.381 \text{ mm} - 1.143 \text{ mm}$ ,  $D=150 \text{ mm}$ ,  $H=300 \text{ mm}$ )



Σχήμα 4.2.6: Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp[1]}$  συναρτήσει του πάχους του μανδύα C ( $f_{co} = 43.77 \text{ MPa}$ ,  $t=0.381 \text{ mm} - 1.143 \text{ mm}$ ,  $D=150 \text{ mm}$ ,  $H=300 \text{ mm}$ )



**Σχήμα 4.2.7:** Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp[1]}$  συναρτήσει του πάχους του μανδύα C ( $f_{co} = 55.21 \text{ MPa}$ ,  $t=0.381\text{mm} - 1.143\text{mm}$ ,  $D=150\text{mm}$ ,  $H=300\text{mm}$ )

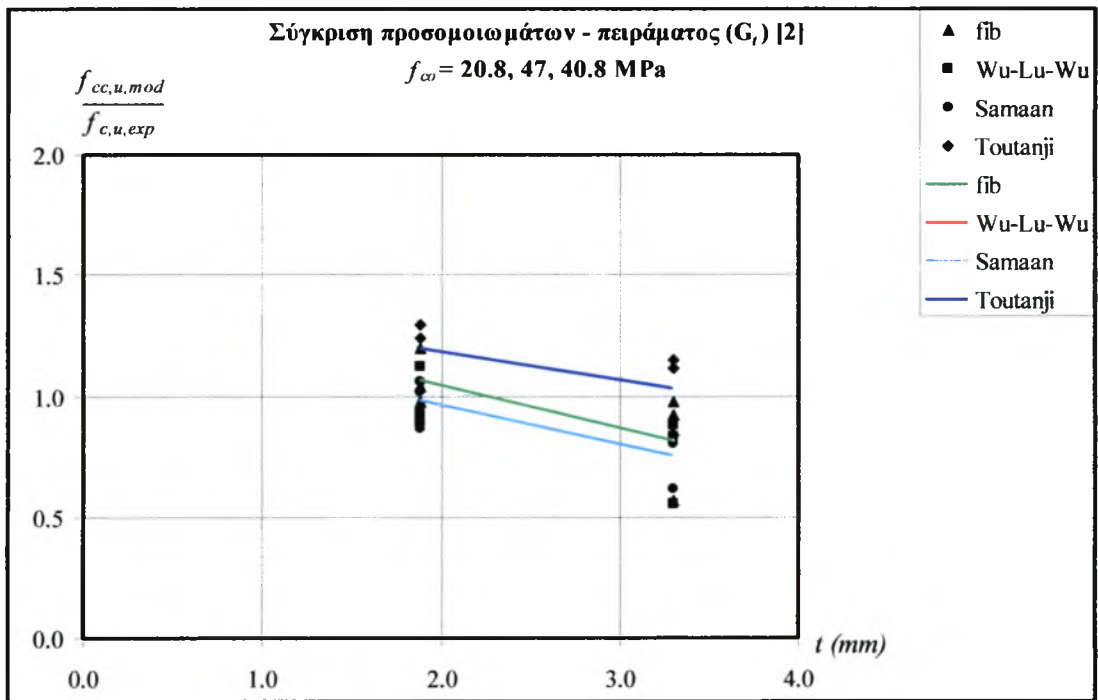
#### δ) Πείραμα A. Mirmiran [2]

Στα πειράματα που έκανε ο Mirmiran δοκίμασε κυλίνδρους πολλών διαφορετικών αντοχών  $f_{co}$ . Τα δοκίμια τα κατέταξε σε τρεις κατηγορίες.

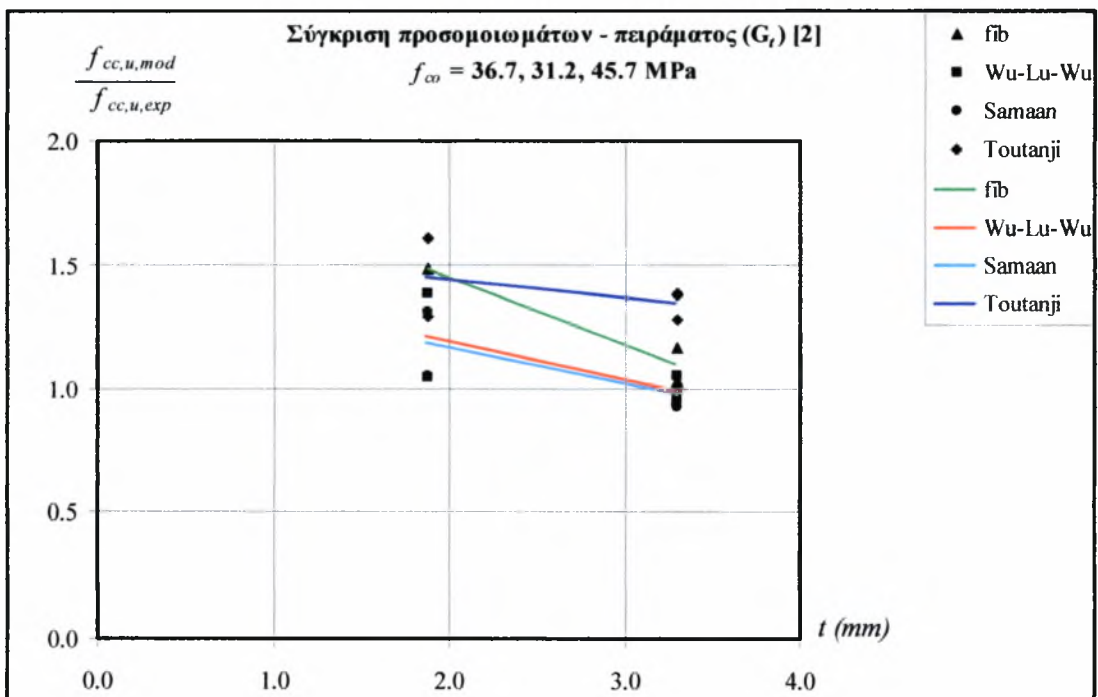
Η πρώτη (A) με την δεύτερη (C) δεν παρουσίαζαν καμία διαφορά ως προς την σύσταση του σκυροδέματος. Η κάθε κατηγορία με διαφοροποίηση του λόγου N/T είχε τρεις ίδιες υποκατηγορίες αντοχής. Η διαφοροποίηση τους όμως ήταν στην ημερομηνία δοκιμής και το γεγονός ότι δεν δοκιμάστηκαν στην ίδια μηχανή θλίψης.

Η τρίτη κατηγορία (D) είχε διαφορετική σύσταση από τις δύο προηγούμενες και περιείχε τρεις υποκατηγορίες αντοχής.

Άρα τα διάγραμμα θα γίνουν για κάθε μία κατηγορία ξεχωριστά. Δεν γίνεται ξεχωριστό διάγραμμα για κάθε αντοχή της ίδιας κατηγορίας σκυροδέματος, καθώς τα πειραματικά δεδομένα είναι ελάχιστα (συγκεκριμένα ένα για κάθε πάχος).

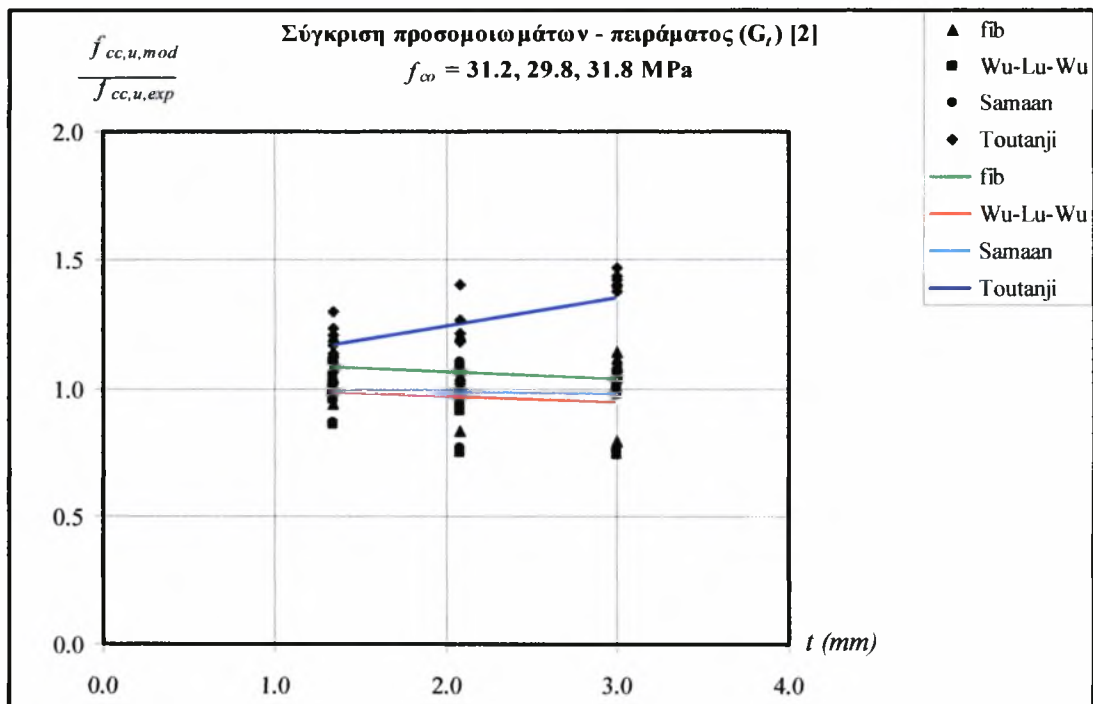


**Σχήμα 4.2.8:** Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp}$  συναρτήσει του πάχους του σωλήνα G (σκυρόδεμα τύπου A,  $t=1.88\text{mm}$ ,  $t= 3.302\text{mm}$ ,  $D=150\text{mm}$ ,  $H=300\text{mm}$ )



**Σχήμα 4.2.9:** Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp}$  συναρτήσει του πάχους του σωλήνα G (σκυρόδεμα τύπου C,  $t=1.88\text{mm}$ ,  $t= 3.302\text{mm}$ ,  $D=150\text{mm}$ ,  $H=300\text{mm}$ )





**Σχήμα 4.2.10:** Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp[2]}$  συναρτήσει του πάχους του σωλήνα  $G$  (σκυρόδεμα τύπου  $D$ ,  $t=1.342\text{mm}$ ,  $t=2.08\text{mm}$ ,  $t=2.997\text{mm}$ ,  $D=150\text{mm}$ ,  $H=300\text{mm}$ )

#### 4.2.2 Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω διαγράμματα σύγκρισης παρατηρούμε πως όλα τα προσομοιώματα παρέχουν υπερεκτιμημένες προβλέψεις αντοχής στην οριακή κατάσταση αστοχίας. Τις καλύτερες και λιγότερο υπερεκτιμημένες προβλέψεις δίνει το προσομοίωμα των Wu et al καθώς και -σε ορισμένες περιπτώσεις- το προσομοίωμα των Samaan. Αναλυτικά για κάθε τύπο ινών διαπιστώνουμε τα εξής:

##### α) Μανδύας ινών άνθρακα

Εξετάζοντας τους κυλίνδρους οι οποίοι είχαν ενισχυθεί με ανθρακονήματα διαπιστώνουμε πως σε όλα τα διαγράμματα υπάρχει ένα πάχος μανδύα, πέραν του οποίου το προσομοίωμα των Wu et al αρχίζει να υπερεκτιμά την αντοχή στην αστοχία των κυλίνδρων και την θέση του παίρνει εκείνο των Samaan.

Από τα παραπάνω διαγράμματα ( βλέπε σχ.4.2.5, 4.2.6, 4.2.7) είναι προφανές ότι όσο μικρότερη είναι η αντοχή του σκυροδέματος  $f_{co}$  τόσο πιο αριστερά είναι το σημείο τομής των γραμμών των Wu και Samaan et al, που συμβολίζουν την μέση τιμή των λόγων  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$ . Όσον αφορά το προσομοίωμα του Toutanji, παρέχει αρκετά υπερεκτιμημένες προβλέψεις ενώ εκείνο που προτείνεται από την fib παρέχει

καλύτερες εκτιμήσεις από του Toutanji για την αντοχή των κυλίνδρων στην οριακή κατάσταση αστοχίας.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των πειραμάτων των Xiao – Wu παρατηρούμε πως οι λόγοι των προβλεπόμενων τιμών αντοχής προς τις αντίστοιχες πειραματικές αυξάνονται με αύξηση της αντοχής των απερίσφιγκτων κυλίνδρων  $f_{cc}$ . Τέλος ενώ οι γραμμές παλινδρόμησης όλων των προσομοιωμάτων έχουν αρνητική κλίση, που σημαίνει ότι οι λόγοι μειώνονται αυξανόμενου του πάχους η αντίστοιχη των Wu et al έχει θετική κλίση, δηλαδή οι λόγοι αυξάνονται συναρτήσει του πάχους του μανδύα.

### β) Μανδύας ινών αραμιδίου

Για τους μανδύες από ίνες αραμιδίου παρατηρούμε πως τα προσομοιώματα έχουν την τάση, αυξανόμενου του πάχους της ενίσχυσης να μειώνουν την υπερεκτίμηση που παρέχουν ειδικά για 2.52mm και 3.58mm. Για την συμπεριφορά που παρουσίαζαν τα προσομοιώματα αναφορικά με την εγκυρότητα των προβλέψεων ισχύουν όσα αναφέρθηκαν παραπάνω για τις ίνες άνθρακα.

### γ) Σωλήνες ινών E-Glass

Τα προσομοιώματα εφαρμόστηκαν και για σωλήνες ΙΟΠ. Παρόλο που μόνο το προσομοίωμα των Wu et al ανέφερε εξισώσεις υπολογισμού για τον υπολογισμό της αντοχής κυλίνδρων ενισχυμένων με σωλήνες σύνθετων υλικών και εκείνο των Samaan et al είχε στηριχθεί πάνω πειραματικά αποτελέσματα του A. Mirmiran, αποφασίστηκε να εφαρμοστούν και τα άλλα δύο προσομοιώματα στα προηγούμενα πειραματικά δεδομένα.

Ο Toutanji πάντως ανέφερε πως το προσομοίωμα του υπερεκτιμά την  $f_{cc, u}$  των κυλίνδρων σε περιπτώσεις που περιβάλλονται από σωλήνα ΙΟΠ.

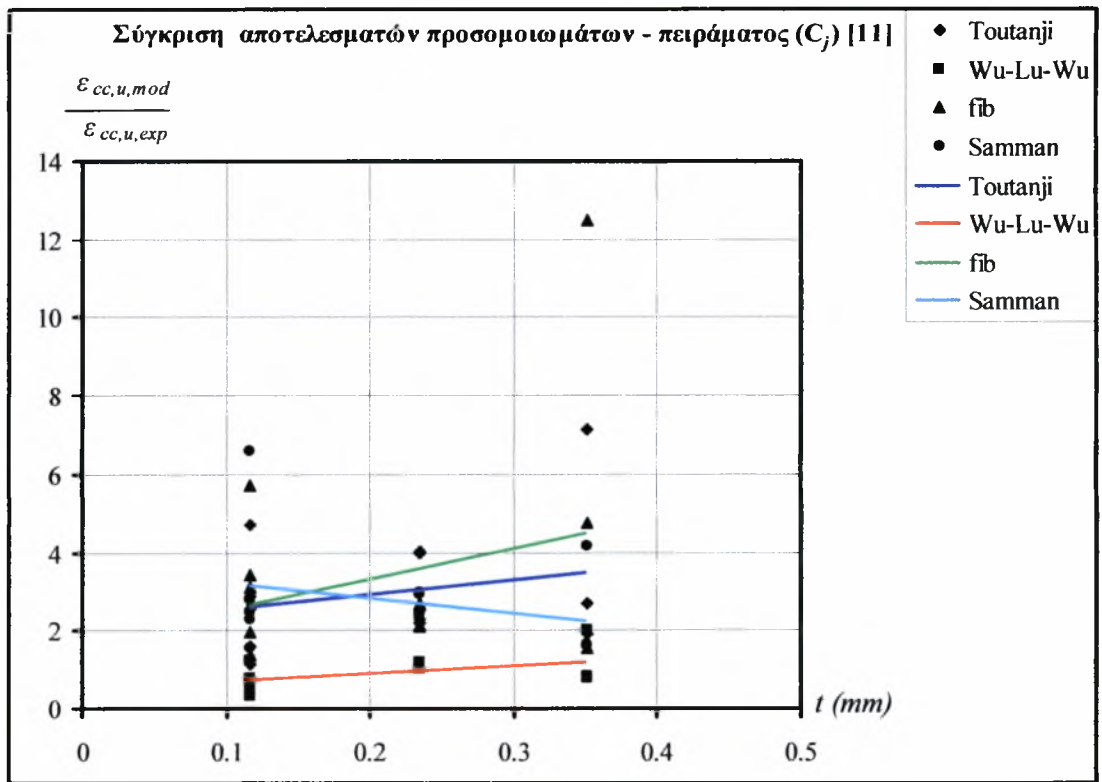
Από την εφαρμογή των προσομοιωμάτων διαπιστώθηκε ότι εκείνα των Samaan et al και Wu et al παρείχαν τις μικρότερες προβλέψεις. Ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις οι λόγοι  $f_{cc, u, mod} / f_{cc, u, exp}$  ήταν μικρότεροι της μονάδας.

Όσον αφορά τα άλλα δύο προσομοιώματα (fib και Toutanji) διαπιστώθηκε ότι υπερεκτιμούσαν την αντοχή των κυλίνδρων με ενίσχυση από σωλήνες ΙΟΠ, αλλά σε μικρότερο βαθμό από την αντοχή των κυλίνδρων ενισχυμένων με μανδύες ΙΟΠ, άρα δεν απορρίφθηκαν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή τους.

Τέλος συγκρίνοντας τους λόγους  $f_{cc, u, mod} / f_{cc, u, exp}$  συναρτήσει της αύξησης του πάχους του σωλήνα ΙΟΠ παρατηρούμε πως οι γραμμές παλινδρόμησης έχουν

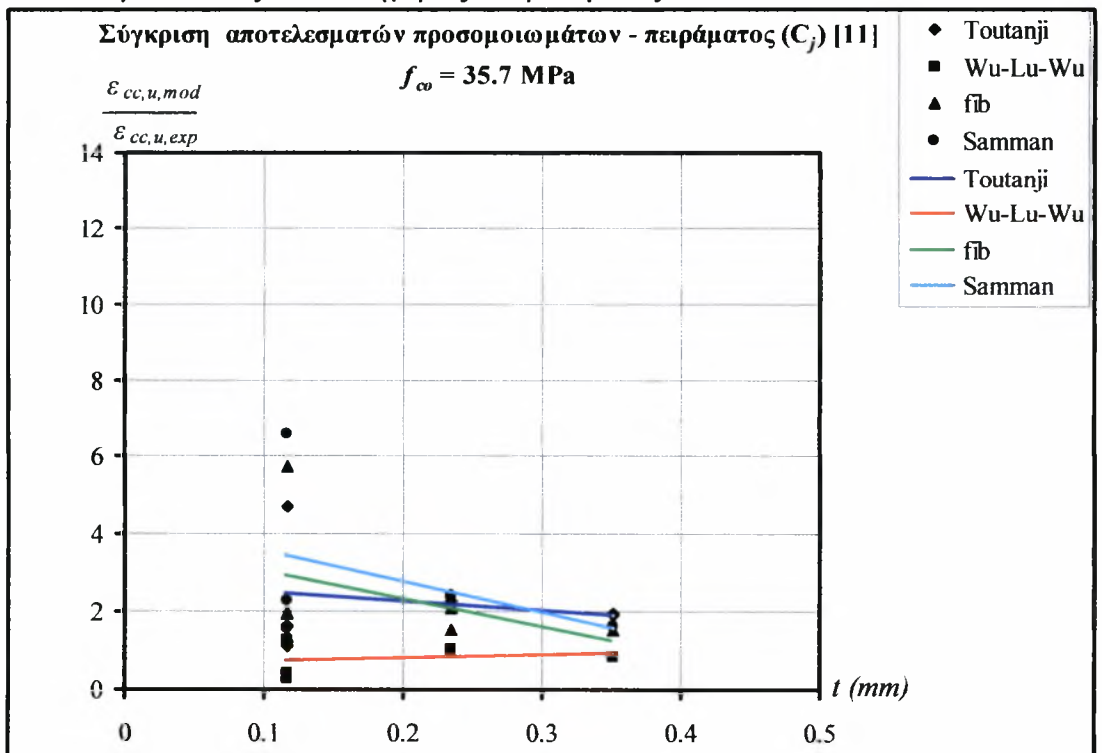


β) Πείραμα Καραμπίνη – Ρουσάκη [11]

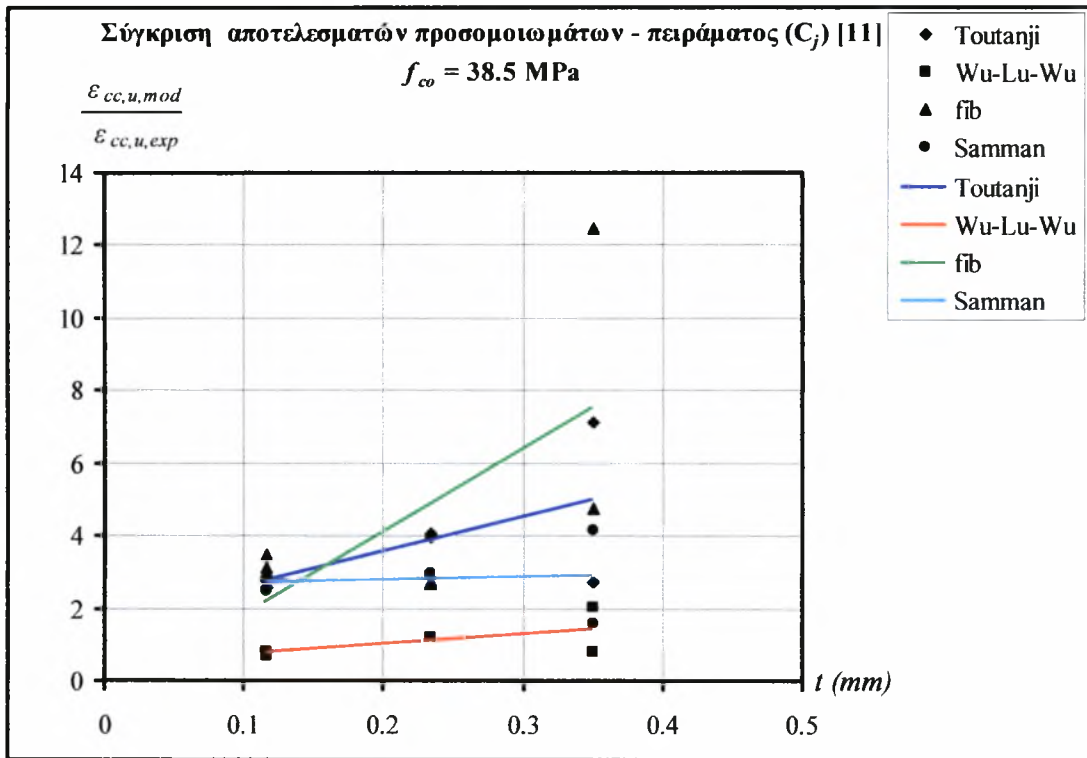


Σχήμα 4.3.2: Σύγκριση  $\epsilon_{cc,u,mod}$  με  $\epsilon_{cc,u,exp}$ [6] συναρτήσει του πάχους του μανδύα C ( $f_{co}=35.7\&38.5\text{MPa}$ ,  $t=0.117\text{mm} - 0.351\text{mm}$ ,  $D=200\text{mm}$ ,  $H=320\text{mm}$ )

Για κάθε μια από τις δύο κατηγορίες σκυροδέματος:



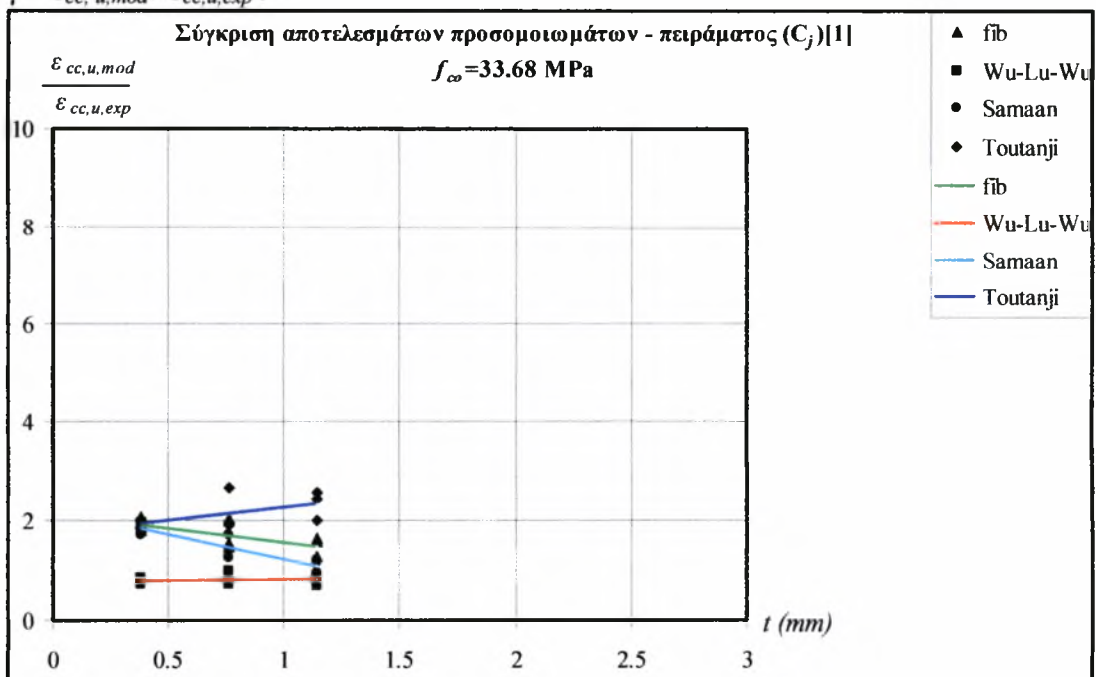
Σχήμα 4.3.3: Σύγκριση  $\epsilon_{cc,u,mod}$  με  $\epsilon_{cc,u,exp}$ [11] συναρτήσει του πάχους του μανδύα C ( $f_{co}=35.7 \text{ MPa}$ ,  $t=0.117\text{mm} - 0.351\text{mm}$ ,  $D=200\text{mm}$ ,  $H=320\text{mm}$ )



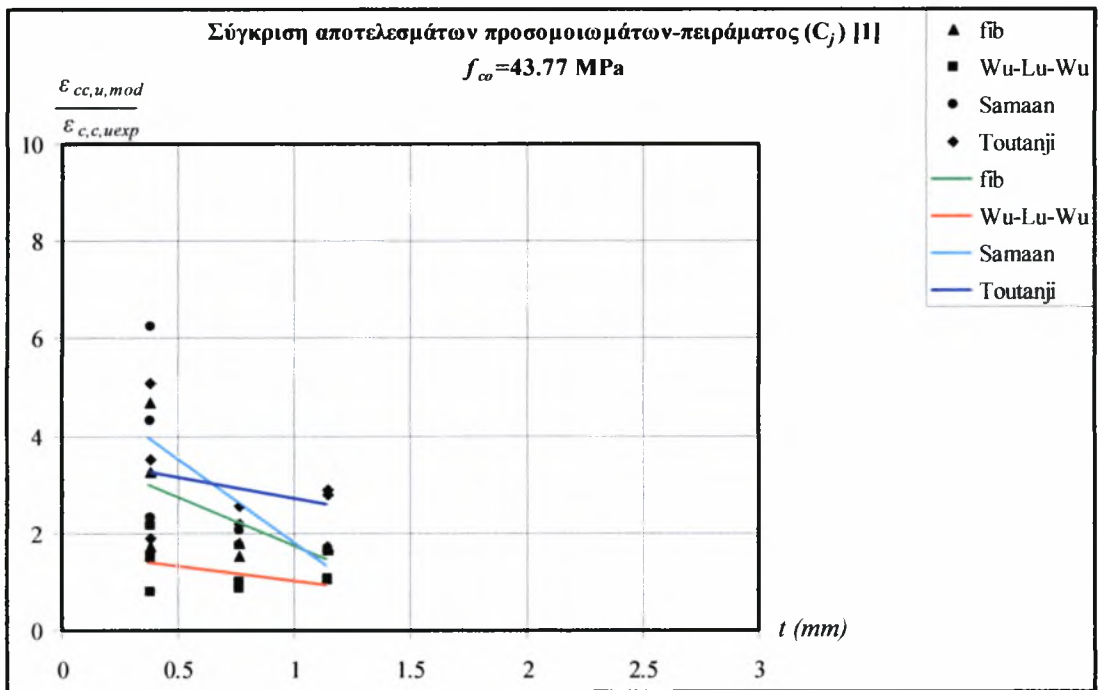
**Σχήμα 4.3.4:** Σύγκριση  $\epsilon_{cc,u,mod}$  με  $\epsilon_{cc,u,exp}$  [11] συναρτήσει του πάχους του μανδύα C ( $f_{co} = 38.5 \text{ MPa}$ ,  $t = 0.117 \text{ mm} - 0.351 \text{ mm}$ ,  $D = 200 \text{ mm}$ ,  $H = 320 \text{ mm}$ )

### γ) Πείραμα Χiao – Wu

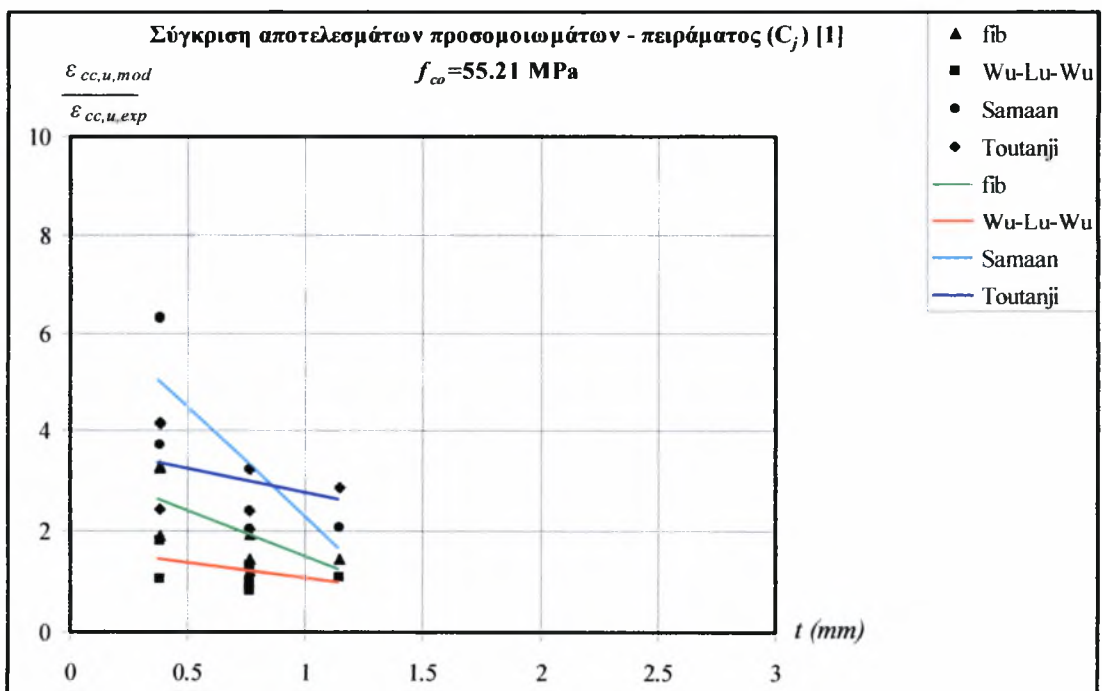
Για κάθε κατηγορία σκυροδέματος παρουσιάζονται παρακάτω οι αντίστοιχοι λόγοι  $\epsilon_{cc,u,mod} / \epsilon_{cc,u,exp}$ :



**Σχήμα 4.3.5:** Σύγκριση  $\epsilon_{cc,u,mod}$  με  $\epsilon_{cc,u,exp}$  [11] συναρτήσει του πάχους του μανδύα C ( $f_{co} = 33.68 \text{ MPa}$ ,  $t = 0.381 \text{ mm} - 1.143 \text{ mm}$ ,  $D = 150 \text{ mm}$ ,  $H = 300 \text{ mm}$ )



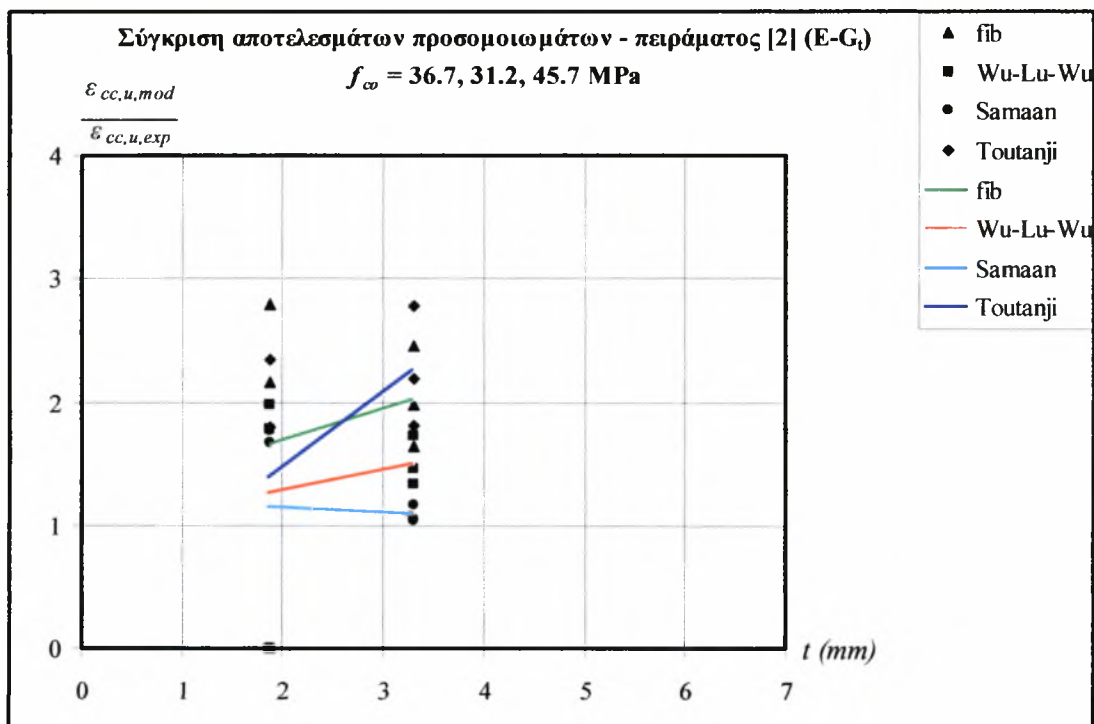
**Σχήμα 4.3.6:** Σύγκριση  $\varepsilon_{cc,u,mod}$  με  $\varepsilon_{cc,u,exp[1]}$  συναρτήσει του πάχους του μανδύα C ( $f_{co} = 43.77 \text{ MPa}$ ,  $t=0.381 \text{ mm} - 1.143 \text{ mm}$ ,  $D=150 \text{ mm}$ ,  $H=300 \text{ mm}$ )



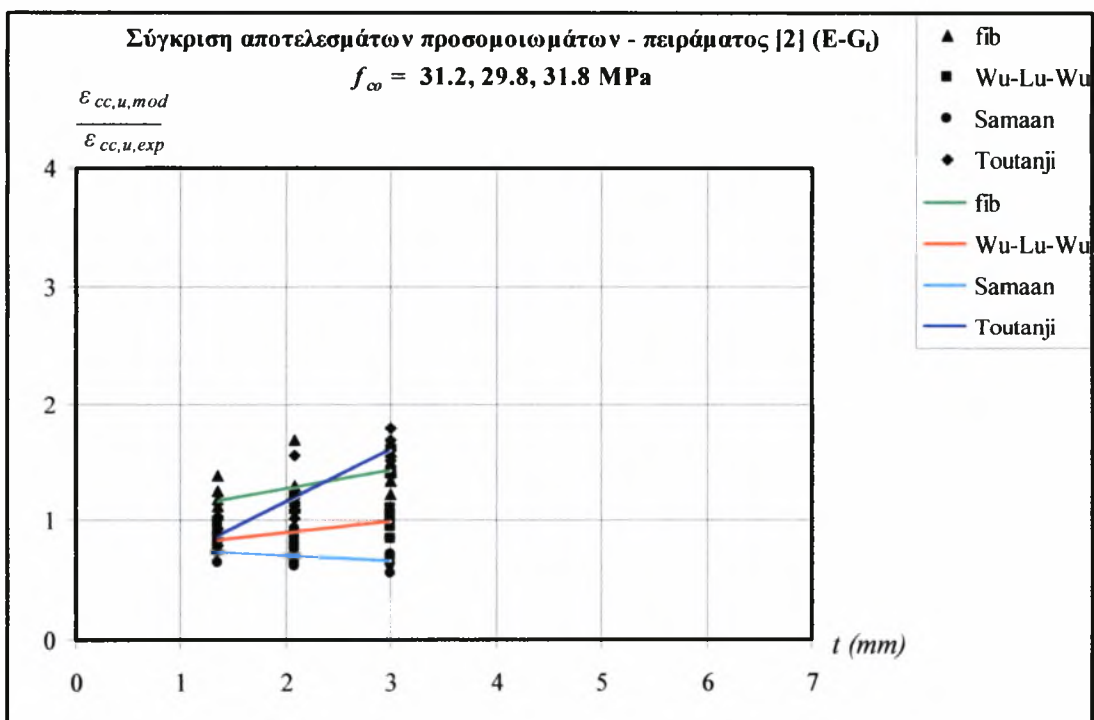
**Σχήμα 4.3.7:** Σύγκριση  $\varepsilon_{cc,u,mod}$  με  $\varepsilon_{cc,u,exp[1]}$  συναρτήσει του πάχους του μανδύα C ( $f_{co} = 43.77 \text{ MPa}$ ,  $t=0.381 \text{ mm} - 1.143 \text{ mm}$ ,  $D=150 \text{ mm}$ ,  $H=300 \text{ mm}$ )

### δ) Πείραμα Mirmiran

Πρέπει να σημειωθεί πως για το σκυρόδεμα τύπου Α δεν υπήρχαν πειραματικά αποτελέσματα όσον αφορά τις παραμορφώσεις.



Σχήμα 4.3.8: Σύγκριση  $\varepsilon_{cc,u,mod}$  με  $\varepsilon_{cc,u,exp}[2]$  συναρτήσει του πάχους του σωλήνα G (σκυρόδεμα τύπου C,  $t=1.88\text{mm}$ ,  $t= 3.302\text{mm}$ ,  $D=150\text{mm}$ ,  $H=300\text{mm}$ )



Σχήμα 4.3.9: Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp}[2]$  συναρτήσει του πάχους του σωλήνα G (σκυρόδεμα τύπου D,  $t=1.342\text{mm}$ ,  $t=2.08\text{mm}$ ,  $t=2.997\text{mm}$ ,  $D=150\text{mm}$ ,  $H=300\text{mm}$ )

### 4.3.2 Συμπεράσματα

Από τα διαγράμματα που προηγήθηκαν διαπιστώνουμε πως δεν υπάρχει ενιαία συμπεριφορά των προβλέψεων των προσομοιωμάτων όπως συνεβη με τις προβλέψεις των θλιπτικών αντοχών. Αναλυτικά για κάθε τύπο ινών συμπεραίνουμε:

#### α) Μανδύας ινών άνθρακα

Το προσομοίωμα των Wu et al για ίνες άνθρακα δίνει λόγο  $\varepsilon_{cc,u,mod} / \varepsilon_{cc,u,exp} \approx 1$  ενώ για τα υπόλοιπα προσομοιώματα ο αντίστοιχος λόγος είναι  $\geq 1.5$ .

Μια αξιοσημείωτη παρατήρηση αποτελεί το γεγονός πως για τις αντοχές  $f_{co} = 38.5, 35.7, 33.68$  MPa τα δύο προσομοιώματα που παρέχουν αξιόπιστες προβλέψεις είναι των Wu et al και εκείνο των Samaan et al. Για μεγαλύτερες αντοχές σκυροδέματος ( $f_{co} = 42, 43.77, 55.21$  MPa) τις καλύτερες προβλέψεις παρέχει πάλι των Wu et al και ακολουθεί το προσομοίωμα της fib.

Από την κλίση των γράμμων της γραμμικής παλινδρόμησης των διαγραμμάτων για ίνες άνθρακα (βλ. σχ. 4.3.3, 4.3.4, 4.3.5, 4.3.6, 4.3.7) είναι πρόδηλο πως με αύξηση του πάχους του σύνθετου μανδύα μειώνεται ο λόγος  $\varepsilon_{cc,u,mod} / \varepsilon_{cc,u,exp}$ , άρα οι προβλέψεις. Εξαιρέση αποτελεί το προσομοίωμα του Toutanji για  $f_{co} = 33.68$  MPa όπου παρουσιάζεται μια μικρή αύξηση καθώς και για  $f_{co} = 38.5$  MPa (πείραμα Καραμπίνη- Ρουσάκη, σχ. 4.3.3) που παρατηρείται μια γενική αύξηση του λόγου  $\varepsilon_{cc,u,mod} / \varepsilon_{cc,u,exp}$ , η οποία οφείλεται στην χαμηλή  $\varepsilon_{cc,u}$  λόγω πρόωρης αστοχίας των δοκιμίων.

#### β) Μανδύας ινών αραμιδίου

Στην περίπτωση μανδύα ΙΟΠ από ίνες αραμιδίου το προσομοίωμα των Wu et al προβλέπει καλύτερα (αν και λίγο υποεκτιμημένη) την παραμόρφωση κατά την θραύση του περισφιγμένου κυλίνδρου για πάχος μανδύα μικρότερο ή ίσο των 2.56mm. Για μεγαλύτερα πάχη από πια αξιόπιστες είναι οι προβλέψεις του προσομοιώματος της fib με μεγάλες όμως υποεκτιμήσεις κάτι που μας οδηγεί να μην το λαμβάνουμε υπόψιν μας.

Παρά το γεγονός πως στο συγκεκριμένο πείραμα υπάρχει μεγάλο εύρος πάχους μανδύα από 1.26 έως 5.04 οι λόγοι δεν παρουσιάζουν καμία αξιόλογη μεταβολή.



γ) Σωλήνες ινών E-Glass

Τέλος για ΙΟΠ γυαλιού με μορφή κυλίνδρων το προσομοίωμα των Samaan, το οποίο στηρίχθηκε πάνω στα συγκεκριμένα πειραματικά αποτελέσματα, είναι το πλέον ενδεδειγμένο για τον υπολογισμό της οριακής παραμόρφωσης κατά την αστοχία

Όσον αφορά την μεταβολή των λόγων σε σχέση με το πάχος, σημειώνεται πως αυξανόμενου του πάχους του σωλήνα οι λόγοι των προβλεπόμενων προς τις πειραματικές παραμορφώσεις μειώνεται για το προσομοίωμα των Samaan et al και αυξάνονται για τα υπόλοιπα. Ενώ με αύξηση της  $f_{co}$  οι παραπάνω λόγοι αυξάνονται.

#### 4.4 Διαγράμματα σύγκρισης προβλεπόμενων τιμών τάσης στην αστοχία και υπολογισμός συντελεστή $R^2$ πείραμα και προσομοίωμα

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστούν διαγράμματα  $f_{cc,u,mod} - f_{cc,u,exp}$  στα οποία για λόγους σύγκρισης. Για την εκτίμηση της απόκλισης των προβλεπόμενων τιμών από τις αντίστοιχες πειραματικές υπολογίζεται για κάθε προσομοίωμα ο συντελεστής  $R^2$  των προβλέψεων για κάθε προσομοίωμα χωριστά (με την χρήση των παρακάτω εξισώσεων):

$$R^2 = 1 - \frac{S^2_{y/x}}{S^2_y} \quad (4.4.1)$$

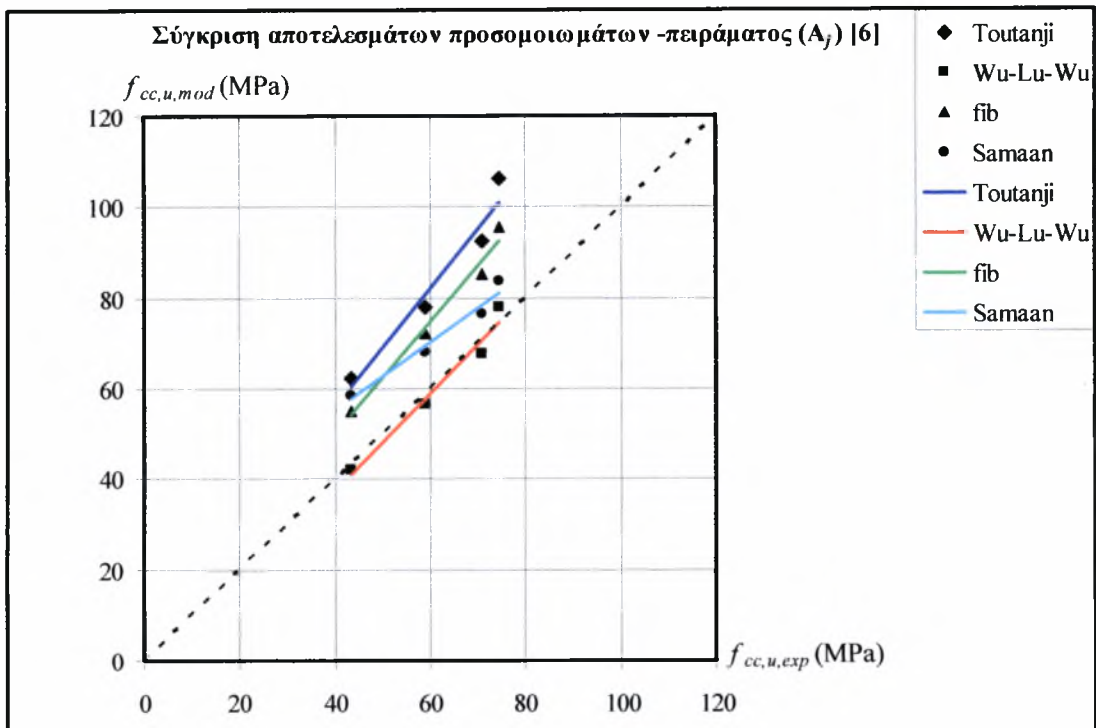
όπου:

$$S^2_y = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (4.4.2)$$

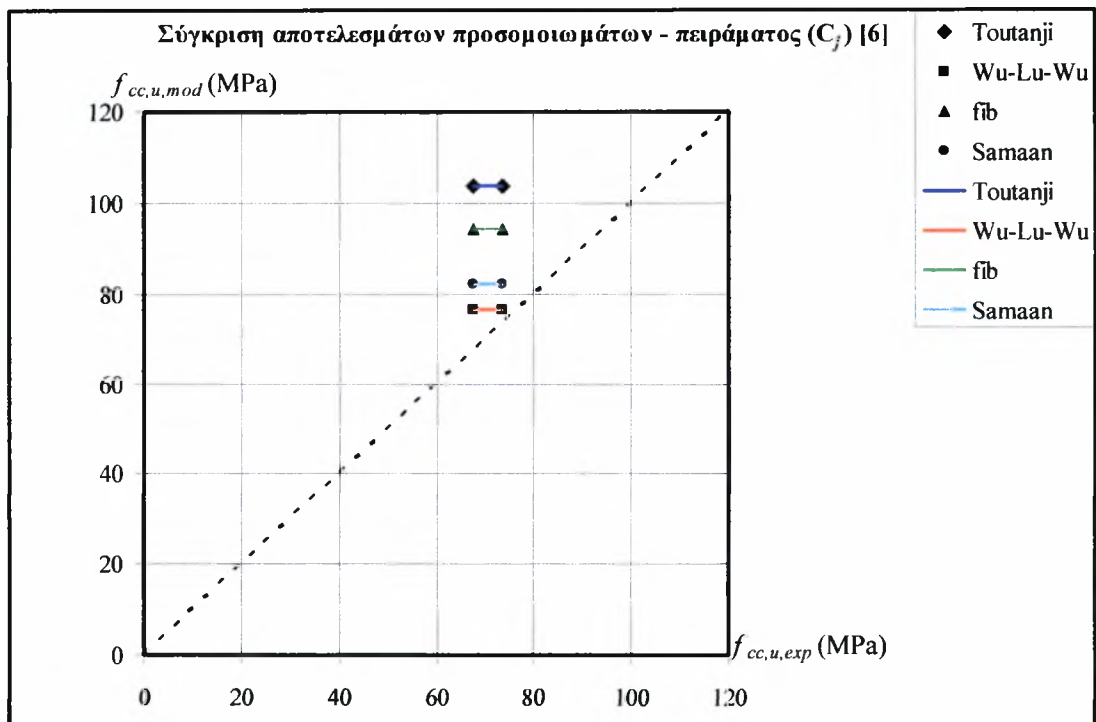
$$S^2_{y/x} = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2 \quad (4.4.3)$$

##### α) Πείραμα P. Rochette – P.Labossiere [6]

Αναλυτικά για τα δύο διαφορετικά σύνθετα υλικά ως προς το είδος της ίνας που χρησιμοποίησαν στο πειράμα τους οι P.Rochette - P.Labossiere δηλαδή ίνες αραμιδίου και άνθρακα, έγινε εξαγωγή των παρακάτω διαγραμμάτων

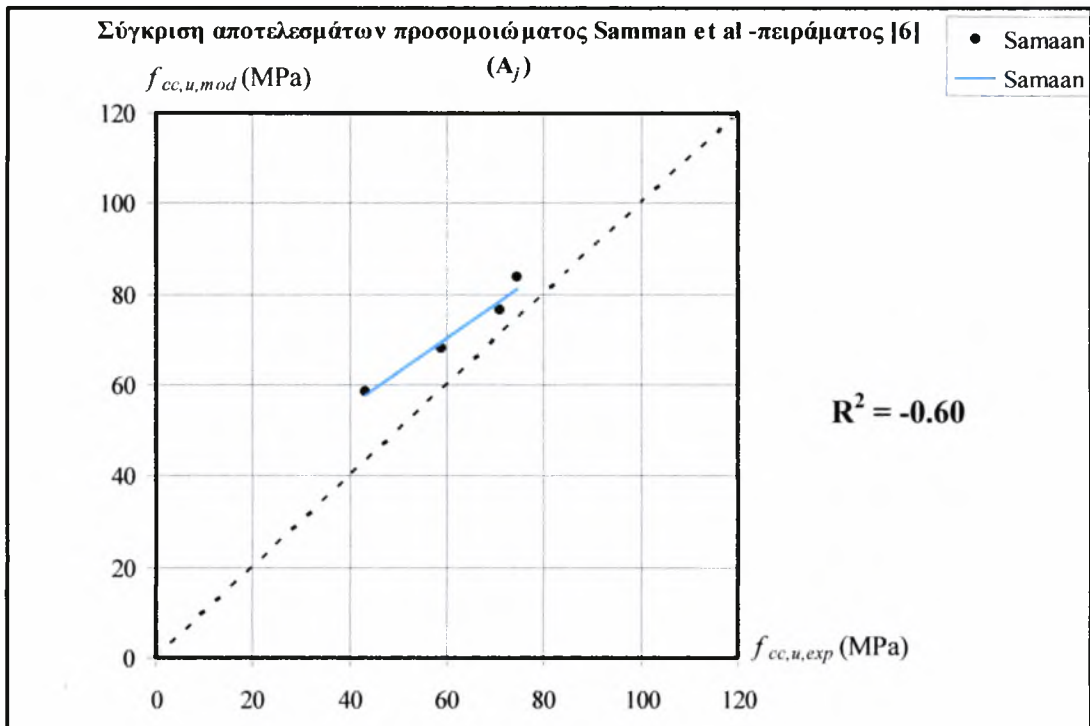


Σχήμα 4.4.1: Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιωμάτων ( $f_{cc,u,mod}$ ) και πειραματικών αποτελεσμάτων Rochette–Labossiere ( $f_{cc,u,exp}$ ) μανδύα  $A$



Σχήμα 4.4.2: Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιωμάτων ( $f_{cc,u,mod}$ ) και πειραματικών αποτελεσμάτων Rochette–Labossiere ( $f_{cc,u,exp}$ ) μανδύα  $C$

Στην συνέχεια για να γίνει συσχέτιση των αποτελεσμάτων που δίνουν τα προσομοιώματα και των πειραματικών αποτελεσμάτων, υπολογίστηκε για κάθε προσομοίωμα ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης.



**Σχήμα 4.4.3:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Samaan et al ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere – Rochette ( $f_{cc,u,exp}$ )

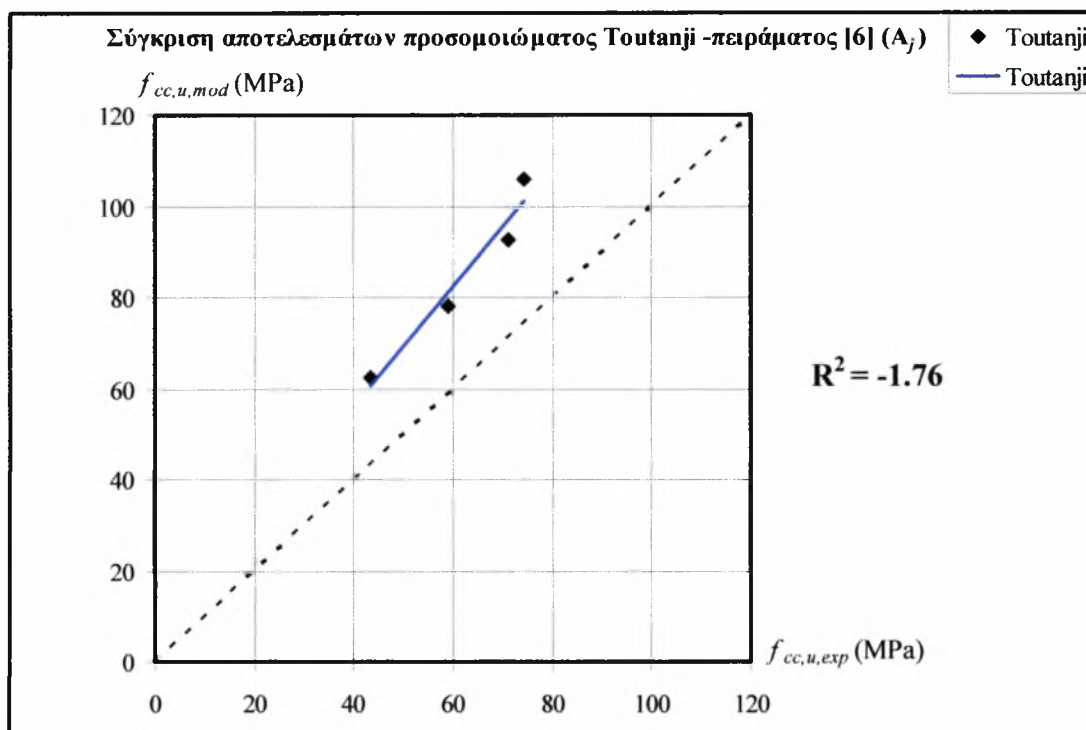
**Πίνακας 4.4.1:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Samaan et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Rochette-Labossiere[6]

Samaan et al						
Model(y)	Experimental(x)	y'	y-y'	(y-y') <sup>2</sup>	y-y <sub>m</sub>	(y-y <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>
58.46	43.43	43.43	15.03	225.76	-13.22	174.74
68.11	58.91	58.91	9.20	84.59	-3.57	12.72
76.35	70.95	70.95	5.40	29.13	4.67	21.84
83.79	74.39	74.39	9.40	88.30	12.11	146.71
<b>Σ =</b>	286.70	247.68	39.02	427.78	0.00	356.02
<b>n =</b>	4					
<b>M.O.=</b>	71.674	61.92				

$$S_y^2 = 89.00$$

$$S_{y/x}^2 = 142.59$$

$$R^2 = -0.60$$



Σχήμα 4.4.4: Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Toutanji ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere – Rochette ( $f_{cc,u,exp}$ )

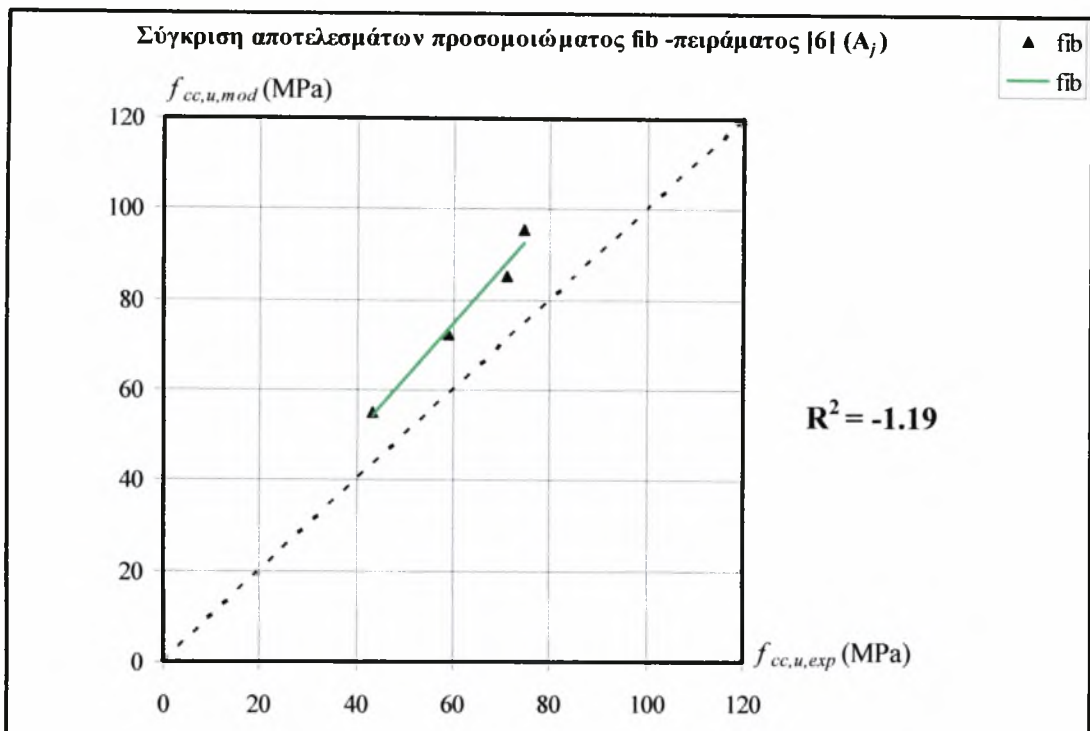
Πίνακας 4.4.2: Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Samaan et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Rochette-Labossiere[6]

Toutanji						
Model (y)	Experimental (x)	$y'$	$y-y'$	$(y-y')^2$	$y-y_m$	$(y-y_m)^2$
62.41	43.43	43.43	18.98	360.32	-22.30	497.42
77.99	58.91	58.91	19.08	364.05	-6.72	45.22
92.39	70.95	70.95	21.44	459.60	7.67	58.88
106.07	74.39	74.39	31.68	1003.60	21.35	456.02
<b>Σ =</b>	338.86	247.68	247.68	91.18	2187.57	0.00
<b>n =</b>	4					
<b>M.O.=</b>	84.715	61.92				

$$S_y^2 = 264.39$$

$$S_{y/x}^2 = 729.19$$

$$R^2 = -1.76$$



**Σχήμα 4.4.5:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος fib ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere – Rochette ( $f_{cc,u,exp}$ )

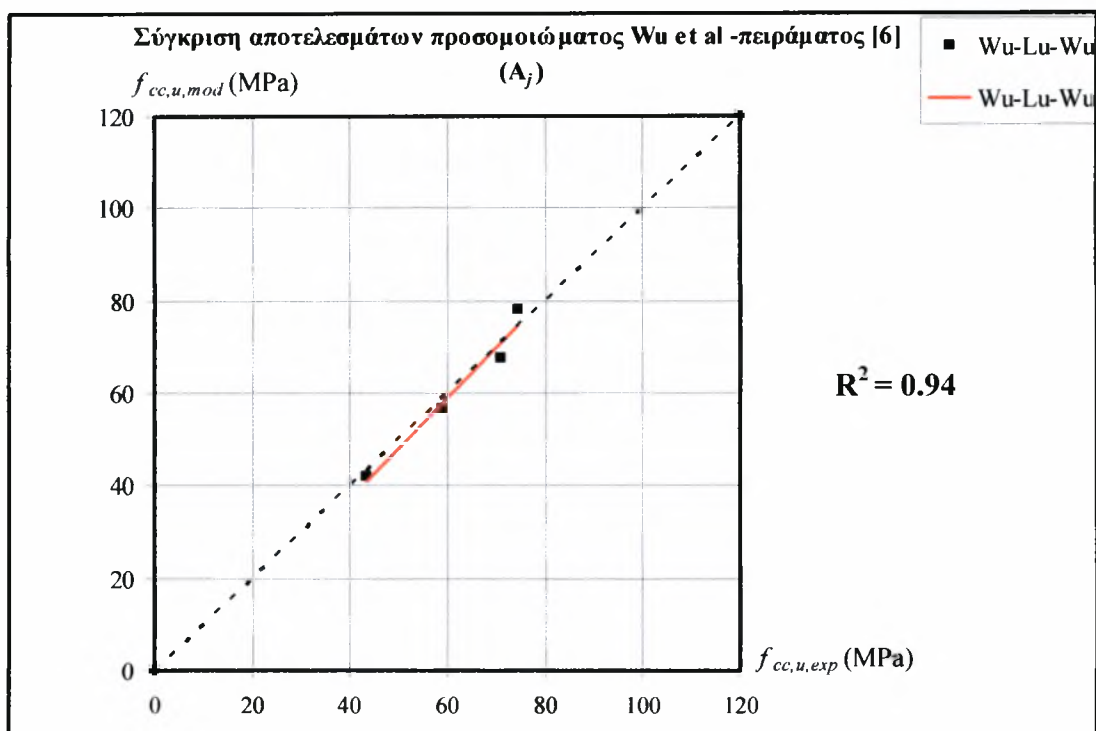
**Πίνακας 4.4.3:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Rochette-Labossiere[6]

fib							
Model (y)	Experimental (x)	$y'$	$y-y'$	$(y-y')^2$	$y-y_m$	$(y-y_m)^2$	
60.21	43.43	43.43	16.78	281.74	-15.48	239.51	
71.79	58.91	58.91	12.88	165.80	-3.90	15.25	
81.33	70.95	70.95	10.38	107.72	5.64	31.78	
89.43	74.39	74.39	15.04	226.34	13.74	188.88	
<b>Σ =</b>	302.76	247.68	247.68	55.08	781.59	0.00	475.42
<b>n =</b>	4						
<b>M.O.=</b>	75.691	61.92					

$$S_y^2 = 118.86$$

$$S_{y/x}^2 = 260.53$$

$$R^2 = -1.19$$



**Σχήμα 4.4.6:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Wu et al ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere – Rochette ( $f_{cc,u,exp}$ )

**Πίνακας 4.4.4:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Rochette-Labossiere[6]

Wu et al						
Model(y)	Experimental(x)	$y'$	$y-y'$	$(y-y')^2$	$y-y_m$	$(y-y_m)^2$
41.91	43.43	43.43	-1.52	2.31	-19.13	365.91
56.52	58.91	58.91	-2.39	5.73	-4.52	20.46
67.66	70.95	70.95	-3.29	10.83	6.62	43.82
78.07	74.39	74.39	3.68	13.55	17.03	290.09
<b>Σ =</b>	244.15	247.68			0.00	720.29
<b>n =</b>	4					
<b>M.O.=</b>	61.039	61.92				

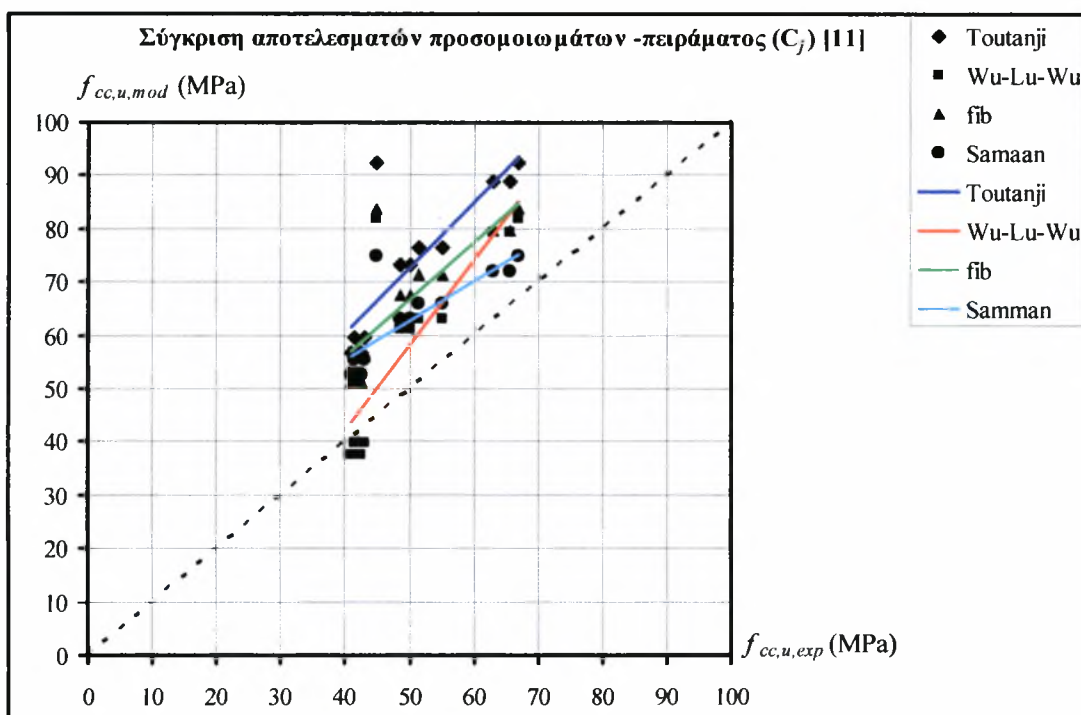
$$S_y^2 = 180.07$$

$$S_{y/x}^2 = 10.81$$

$$R^2 = 0.94$$

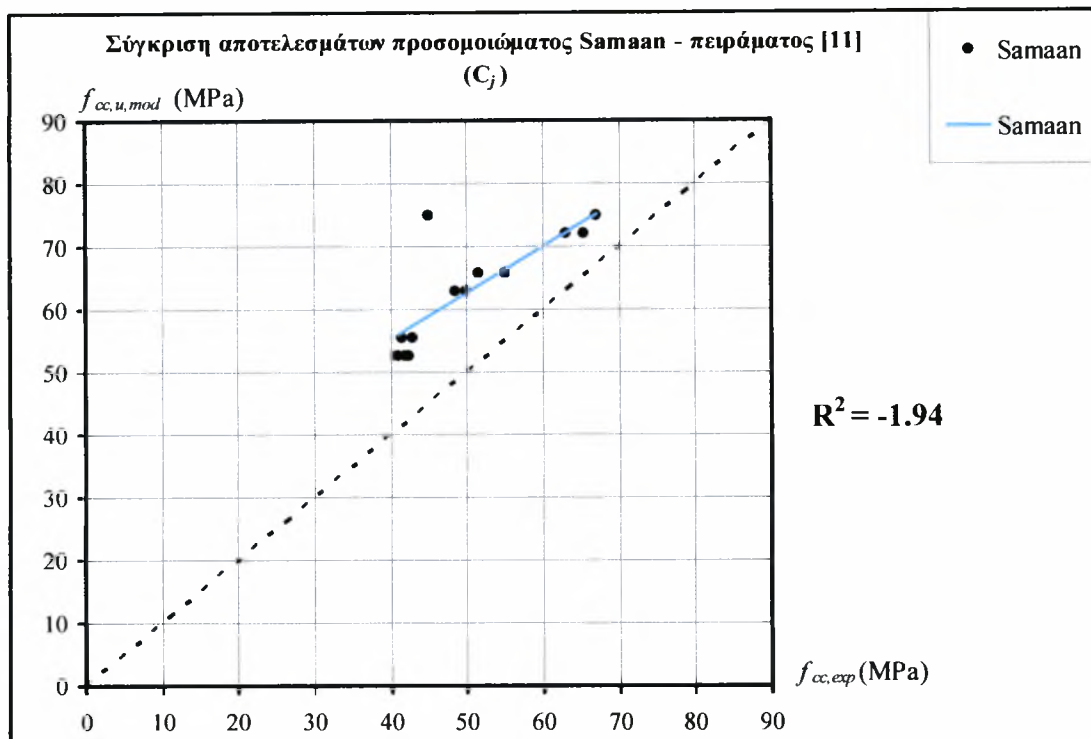
### β) Πείραμα Καραμπίνη – Ρουσάκη [11]

Οι τιμές δεν θα χωριστούν ανάλογα με την αντοχή του απερίσφιγκτου σκυροδέματος γιατί η διαφορά δεν είναι μεγάλη. Κάτι που δεν ίσχυε για την το πείραμα των Labossiere – Rochette όπου η αντοχή μεταξύ των δύο ειδών σύνθετου υλικού δεν μπορεί να αμεληθεί.



Σχήμα 4.4.7: Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιωμάτων ( $f_{cc,u,mod}$ ) και πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη -Ρουσάκη ( $f_{cc,u,exp}$ )μανδύα C





**Σχήμα 4.4.8:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Samman et al ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη - Ρουσάκη ( $f_{cc,u,exp}$ )

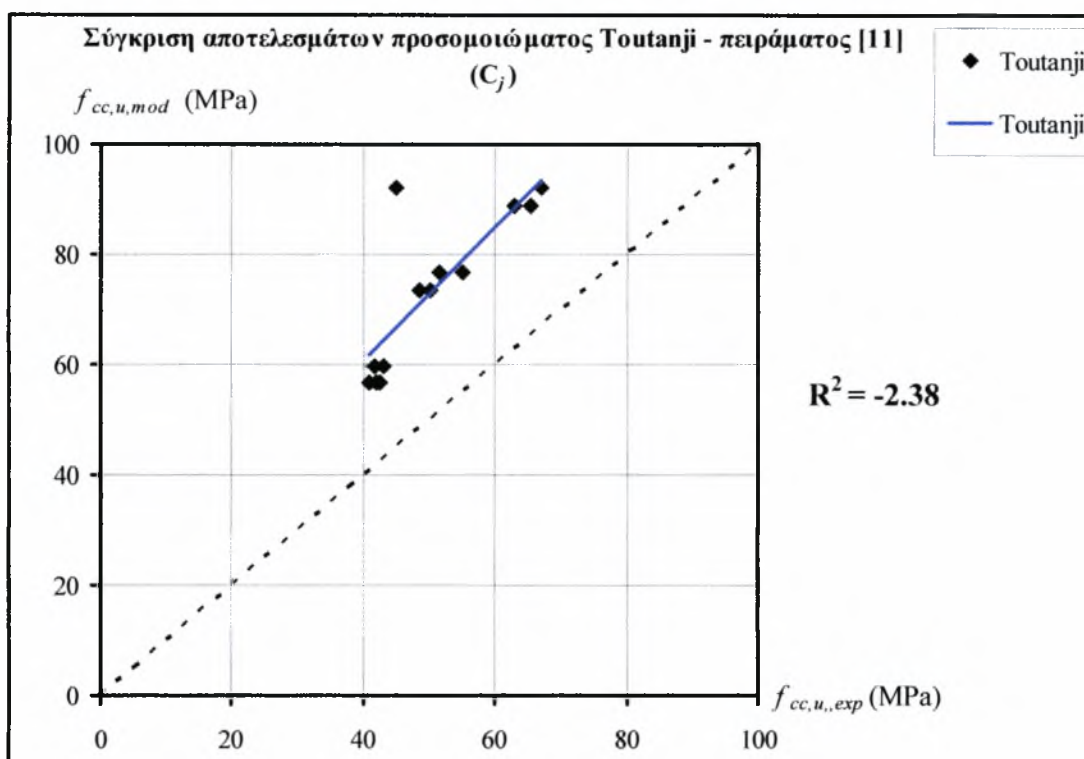
**Πίνακας 4.4.5:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Samaan et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Καραμπίνη- Ρουσάκη [11]

Samaan et al						
Model(y)	Experimental(x)	$y'$	$y-y'$	$(y-y')^2$	$y-y_m$	$(y-y_m)^2$
55.298	43	43.00	12.30	151.24	-7.70	59.35
55.298	41.6	41.60	13.70	187.64	-7.70	59.35
65.789	51.5	51.50	14.29	204.17	2.79	7.77
65.789	55	55.00	10.79	116.40	2.79	7.77
74.745	67	67.00	7.74	59.98	11.74	137.90
74.745	45	45.00	29.74	884.76	11.74	137.90
52.498	42.5	42.50	10.00	99.96	-10.50	110.33
52.498	42	42.00	10.50	110.21	-10.50	110.33
52.498	41	41.00	11.50	132.21	-10.50	110.33
62.989	48.5	48.50	14.49	209.92	-0.01	0.00
62.989	50	50.00	12.99	168.71	-0.01	0.00
71.945	63	63.00	8.94	80.01	8.94	79.98
71.945	65.5	65.50	6.44	41.54	8.94	79.98
<b>Σ =</b>	819.02	655.60	655.60	163.42	2446.74	0.00
<b>n =</b>	13.00					
<b>M.O. =</b>	63.00	50.43				

$$S_y^2 = 69.30$$

$$S_{y/x}^2 = 203.89$$

$$R^2 = -1.94$$



**Σχήμα 4.4.9:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Toutanji ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη - Ρουσαάκη ( $f_{cc,u,exp}$ )

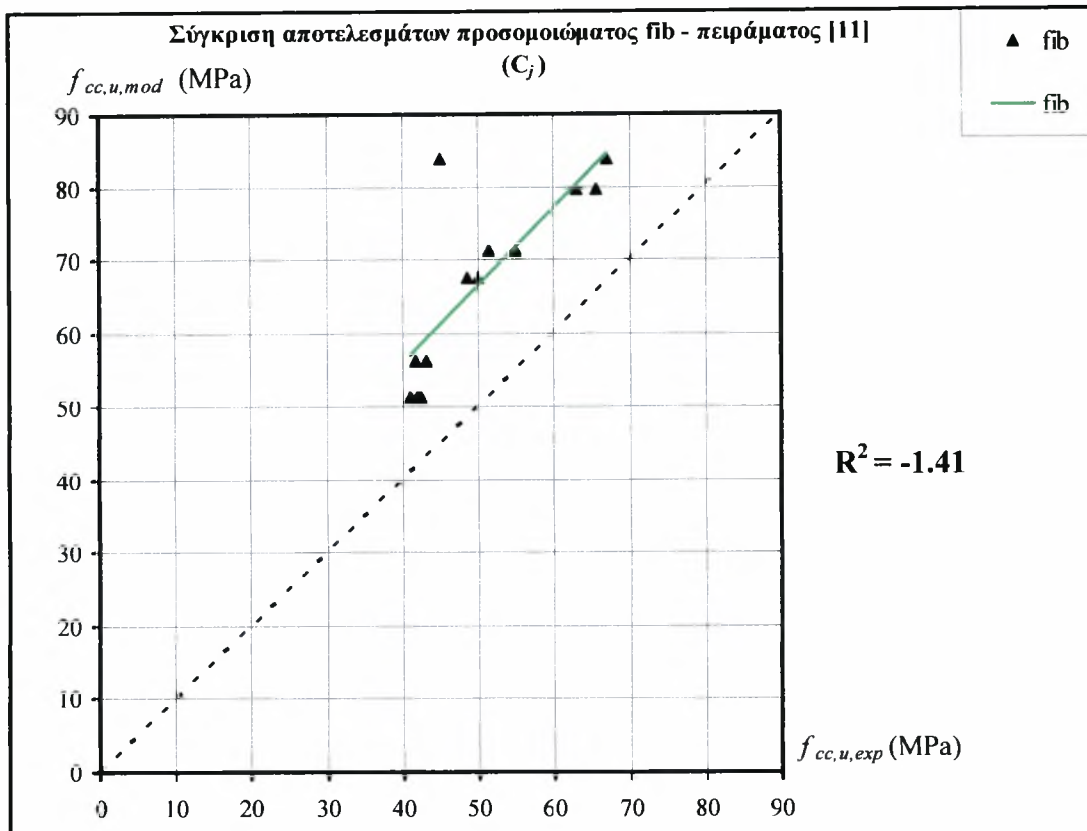
**Πίνακας 4.4.6:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Toutanji αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Καραμπίνη- Ρουσαάκη [11]

Toutanji							
Model(y)	Experimental(x)	y'	y-y'	(y-y') <sup>2</sup>	y-y <sub>m</sub>	(y-y <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>	
59.625	43	43.00	16.63	276.41	-13.53	183.12	
59.625	41.6	41.60	18.03	324.92	-13.53	183.12	
76.579	51.5	51.50	25.08	628.94	3.42	11.70	
76.579	55	55.00	21.58	465.64	3.42	11.70	
92.248	67	67.00	25.25	637.45	19.09	364.43	
92.248	45	45.00	47.25	2232.34	19.09	364.43	
56.588	42.5	42.50	14.09	198.46	-16.57	274.57	
56.588	42	42.00	14.59	212.80	-16.57	274.57	
56.588	41	41.00	15.59	242.97	-16.57	274.57	
73.350	48.5	48.50	24.85	617.52	0.19	0.04	
73.350	50	50.00	23.35	545.22	0.19	0.04	
88.842	63	63.00	25.84	667.83	15.68	246.01	
88.842	65.5	65.50	23.34	544.87	15.68	246.01	
<b>Σ =</b>	951.05	655.60	655.60	295.45	7595.35	0.00	2434.30
<b>n =</b>	13						
<b>M.O.=</b>	73.16	50.43					

$$S_y^2 = 187.25$$

$$S_{y/x}^2 = 632.95$$

$$R^2 = -2.38$$



**Σχήμα 4.4.10:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος fib ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη - Ρουσάκη ( $f_{cc,u,exp}$ )

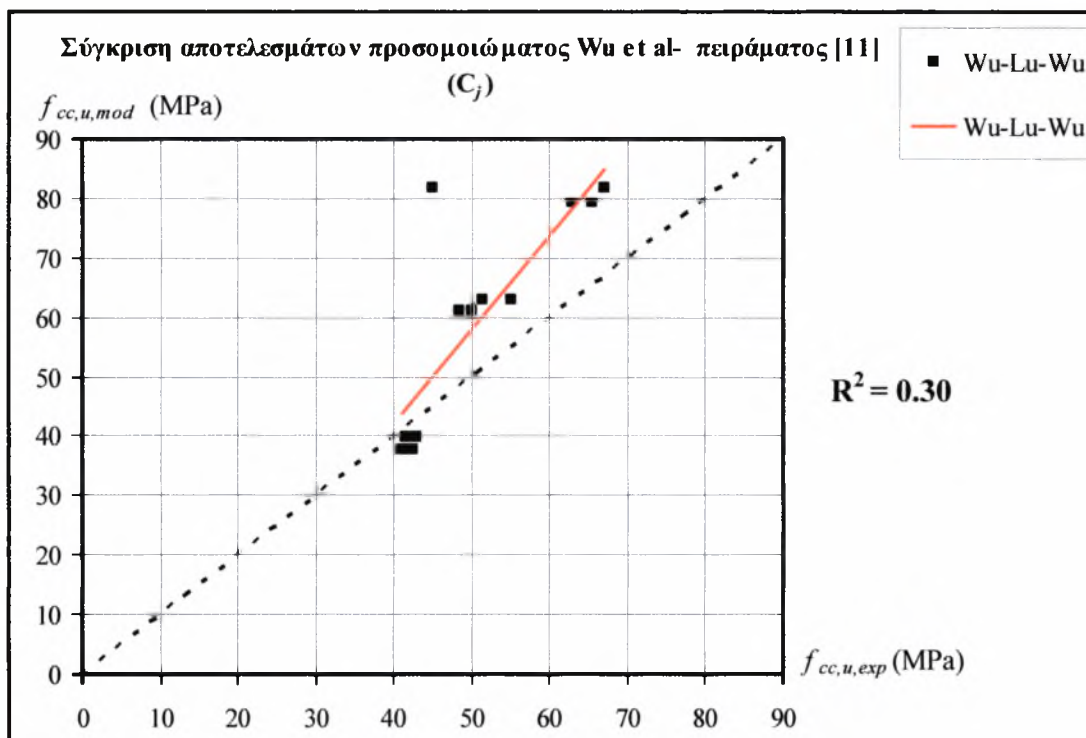
**Πίνακας:4.4.7:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Καραμπίνη- Ρουσάκη [11]

fib							
Model(y)	Experimental(x)	y'	y-y'	(y-y') <sup>2</sup>	y-y <sub>m</sub>	(y-y <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>	
56.180	43	43.00	13.18	173.72	-10.79	116.39	
56.180	41.6	41.60	14.58	212.59	-10.79	116.39	
71.196	51.5	51.50	19.70	387.95	4.23	17.87	
71.196	55	55.00	16.20	262.33	4.23	17.87	
83.833	67	67.00	16.83	283.35	16.86	284.40	
83.833	45	45.00	38.83	1508.00	16.86	284.40	
51.226	42.5	42.50	8.73	76.14	-15.74	247.84	
51.226	42	42.00	9.23	85.12	-15.74	247.84	
51.226	41	41.00	10.23	104.57	-15.74	247.84	
67.570	48.5	48.50	19.07	363.66	0.60	0.36	
67.570	50	50.00	17.57	308.70	0.60	0.36	
79.679	63	63.00	16.68	278.18	12.71	161.54	
79.679	65.5	65.50	14.18	201.03	12.71	161.54	
<b>Σ =</b>	870.59	655.60	655.60	214.99	4245.33	0.00	1904.65
<b>n =</b>	13						
<b>M.O.=</b>	66.97	50.43					

$$S_y^2 = 146.51$$

$$S_{y/x}^2 = 353.78$$

$$R^2 = -1.41$$



**Σχήμα 4.4.11:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Wu et al ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη - Ρουσάκη ( $f_{cc,u,exp}$ )

**Πίνακας 4.4.8:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Καραμπίνη- Ρουσάκη [11]

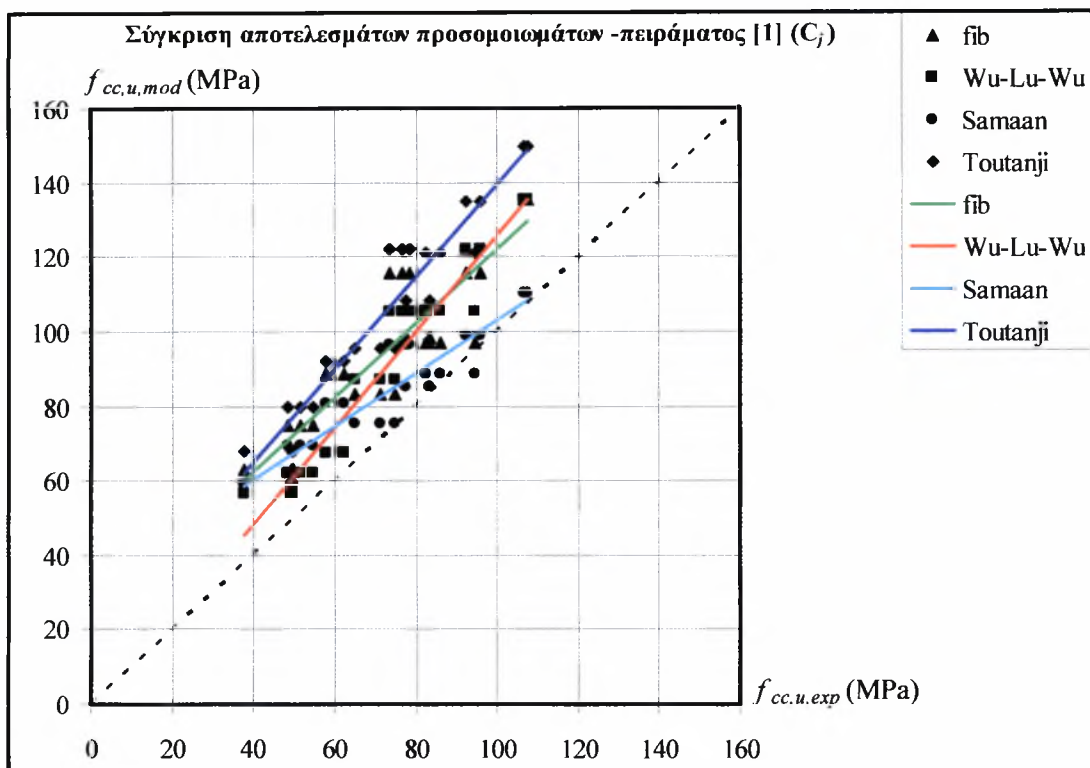
Wu et al							
Model(y)	Experimental(x)	y'	y-y'	(y-y') <sup>2</sup>	y-y <sub>m</sub>	(y-y <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>	
39.756	43	43.00	-3.24	10.52	-18.95	358.92	
39.756	41.6	41.60	-1.84	3.40	-18.95	358.92	
62.907	51.5	51.50	11.41	130.12	4.21	17.69	
62.907	55	55.00	7.91	62.52	4.21	17.69	
81.709	67	67.00	14.71	216.36	23.01	529.37	
81.709	45	45.00	36.71	1347.56	23.01	529.37	
37.656	42.5	42.50	-4.84	23.46	-21.05	442.89	
37.656	42	42.00	-4.34	18.87	-21.05	442.89	
37.656	41	41.00	-3.34	11.18	-21.05	442.89	
61.263	48.5	48.50	12.76	162.89	2.56	6.56	
61.263	50	50.00	11.26	126.85	2.56	6.56	
79.438	63	63.00	16.44	270.21	20.74	430.02	
79.438	65.5	65.50	13.94	194.27	20.74	430.02	
Σ =	763.11	655.60	655.60	107.51	2578.22	0.00	4013.80
n =	13						
M.O.=	58.70	50.43					

$$S_y^2 = 308.75$$

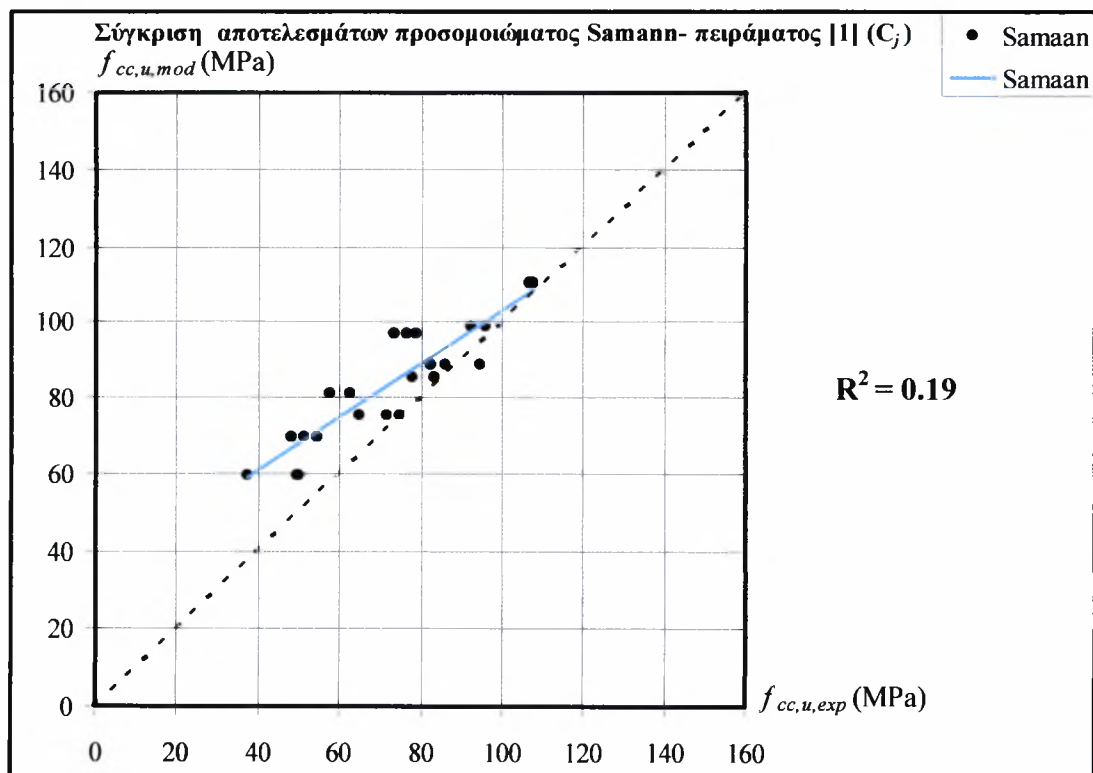
$$S_{y/x}^2 = 214.85$$

$$R^2 = 0.30$$

γ) Πείραμα Χiao – Wu



Σχήμα 4.4.12: Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματων ( $f_{cc,u,mod}$ ) και πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao - Wu ( $f_{cc,u,exp}$ ) μανδύα C



Σχήμα 4.4.13: Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Samaan et al ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao - Wu ( $f_{cc,u,exp}$ )

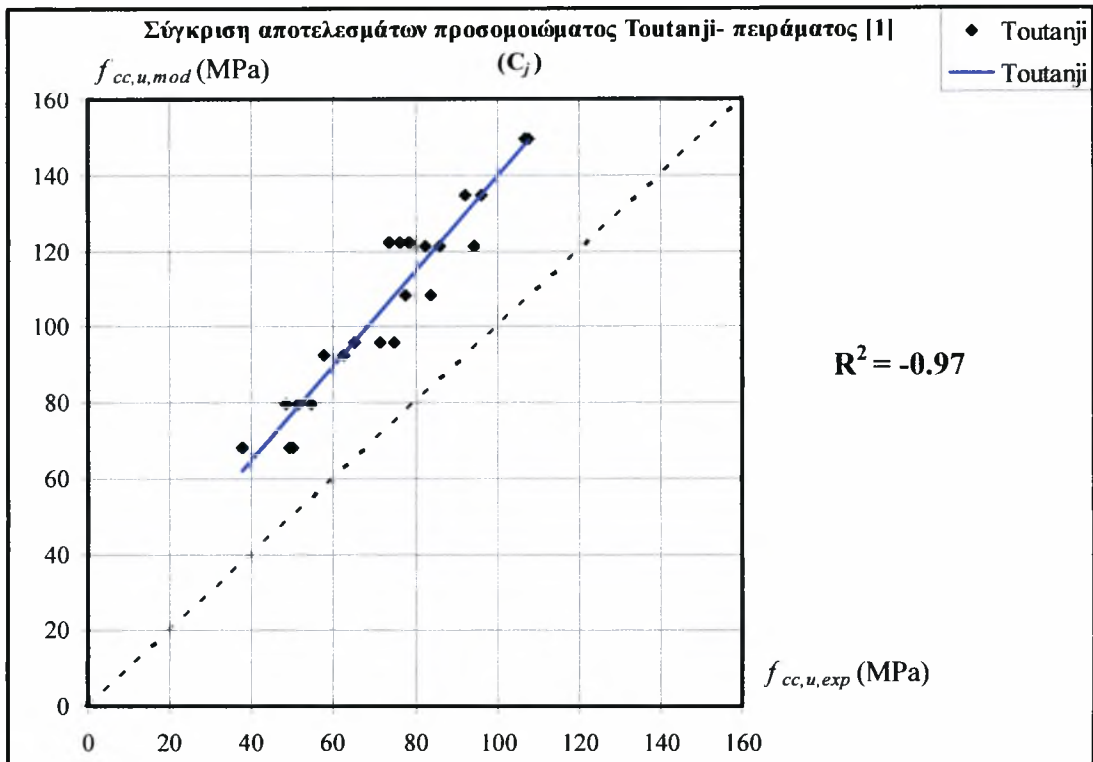
**Πίνακας 4.4.9:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Samaan et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Χiao – Wu [1]

Samaan et al							
Model(y)	Experimental(x)	y'	y-y'	(y-y') <sup>2</sup>	y-y <sub>m</sub>	(y-y <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>	
59.190	49.97	49.97	9.22	85.01	-25.69	660.20	
59.190	37.55	37.55	21.64	468.29	-25.69	660.20	
59.190	49.41	49.41	9.78	95.65	-25.69	660.20	
75.121	65	65.00	10.12	102.44	-9.76	95.32	
75.121	71.46	71.46	3.66	13.40	-9.76	95.32	
75.121	74.98	74.98	0.14	0.02	-9.76	95.32	
88.722	85.929	85.93	2.79	7.80	3.84	14.73	
88.722	82.614	82.61	6.11	37.31	3.84	14.73	
88.722	94.603	94.60	-5.88	34.58	3.84	14.73	
69.280	48.28	48.28	21.00	441.00	-15.60	243.50	
69.280	51.485	51.49	17.80	316.66	-15.60	243.50	
69.280	54.551	54.55	14.73	216.95	-15.60	243.50	
85.211	77.752	77.75	7.46	55.64	0.33	0.11	
85.211	77.752	77.75	7.46	55.64	0.33	0.11	
85.211	83.564	83.56	1.65	2.71	0.33	0.11	
98.812	92.275	92.28	6.54	42.74	13.93	193.98	
98.812	92.275	92.28	6.54	42.74	13.93	193.98	
98.812	96.052	96.05	2.76	7.62	13.93	193.98	
80.720	62.5	62.50	18.22	331.97	-4.16	17.34	
80.720	57.63	57.63	23.09	533.15	-4.16	17.34	
80.720	57.63	57.63	23.09	533.15	-4.16	17.34	
96.651	73.63	73.63	23.02	529.98	11.77	138.46	
96.651	76.45	76.45	20.20	408.09	11.77	138.46	
96.651	78.65	78.65	18.00	324.04	11.77	138.46	
110.252	107.5	107.50	2.75	7.57	25.37	643.52	
110.252	106.8	106.80	3.45	11.92	25.37	643.52	
110.252	107.5	107.50	2.75	7.57	25.37	643.52	
<b>Σ =</b>	2291.88	2013.79	2013.79	278.09	4713.65	0.00	6021.49
<b>n =</b>	27						
<b>M.O.=</b>	84.88	74.58					

$$S_y^2 = 223.02$$

$$S_{y/x}^2 = 181.29$$

$$R^2 = 0.19$$



**Σχήμα 4.4.14:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Toutanji ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao - Wu ( $f_{cc,u,exp}$ )

**Πίνακας 4.4.10:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Toutanji αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Xiao – Wu [1]

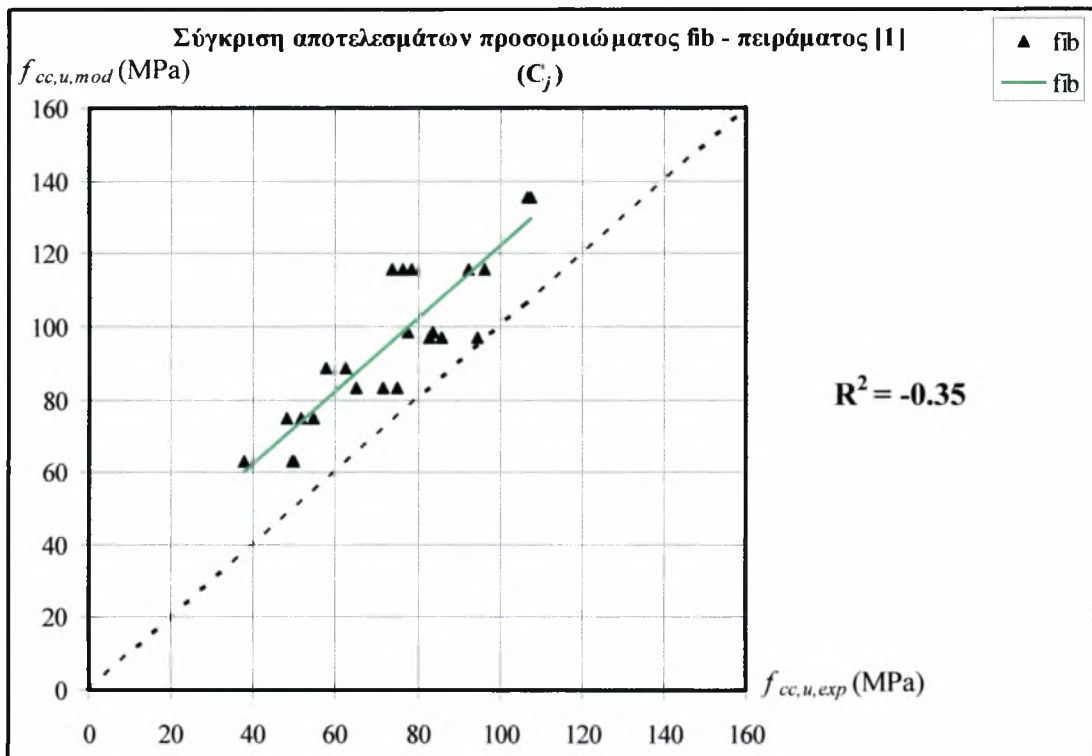
<b>Toutanji</b>							
Model(y)	Experimental(x)	y'	y-y'	(y-y') <sup>2</sup>	y-y <sub>m</sub>	(y-y <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>	
68.069	49.97	49.97	18.10	327.59	-39.83	1586.58	
68.069	37.55	37.55	30.52	931.44	-39.83	1586.58	
68.069	49.41	49.41	18.66	348.18	-39.83	1586.58	
95.667	65	65.00	30.67	940.47	-12.23	149.68	
95.667	71.46	71.46	24.21	585.98	-12.23	149.68	
95.667	74.98	74.98	20.69	427.95	-12.23	149.68	
121.174	85.929	85.93	35.25	1242.21	13.27	176.16	
121.174	82.614	82.61	38.56	1486.88	13.27	176.16	
121.174	94.603	94.60	26.57	706.02	13.27	176.16	
79.538	48.28	48.28	31.26	977.07	-28.36	804.47	
79.538	51.485	51.49	28.05	786.98	-28.36	804.47	
79.538	54.551	54.55	24.99	624.36	-28.36	804.47	
108.242	77.752	77.75	30.49	929.64	0.34	0.12	
108.242	77.752	77.75	30.49	929.64	0.34	0.12	
108.242	83.564	83.56	24.68	609.01	0.34	0.12	
134.772	92.275	92.28	42.50	1805.96	26.87	722.01	
134.772	92.275	92.28	42.50	1805.96	26.87	722.01	
134.772	96.052	96.05	38.72	1499.21	26.87	722.01	
92.246	62.5	62.50	29.75	884.82	-15.66	245.10	
92.246	57.63	57.63	34.62	1198.26	-15.66	245.10	
92.246	57.63	57.63	34.62	1198.26	-15.66	245.10	
121.967	73.63	73.63	48.34	2336.48	14.07	197.85	
121.967	76.45	76.45	45.52	2071.81	14.07	197.85	
121.967	78.65	78.65	43.32	1876.38	14.07	197.85	
149.437	107.5	107.50	41.94	1758.71	41.54	1725.21	
149.437	106.8	106.80	42.64	1817.91	41.54	1725.21	
149.437	107.5	107.50	41.94	1758.71	41.54	1725.21	
<b>Σ =</b>	2913.34	2013.79	2013.79	899.55	31865.90	0.00	16821.52
<b>n =</b>	27.00						
<b>M.O.=</b>	107.90	74.58					

$$S_y^2 = 623.02$$

$$S_{y/x}^2 = 1225.61$$

$$R^2 = -0.97$$





**Σχήμα 4.4.15:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος fib ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao - Wu ( $f_{cc,u,exp}$ )

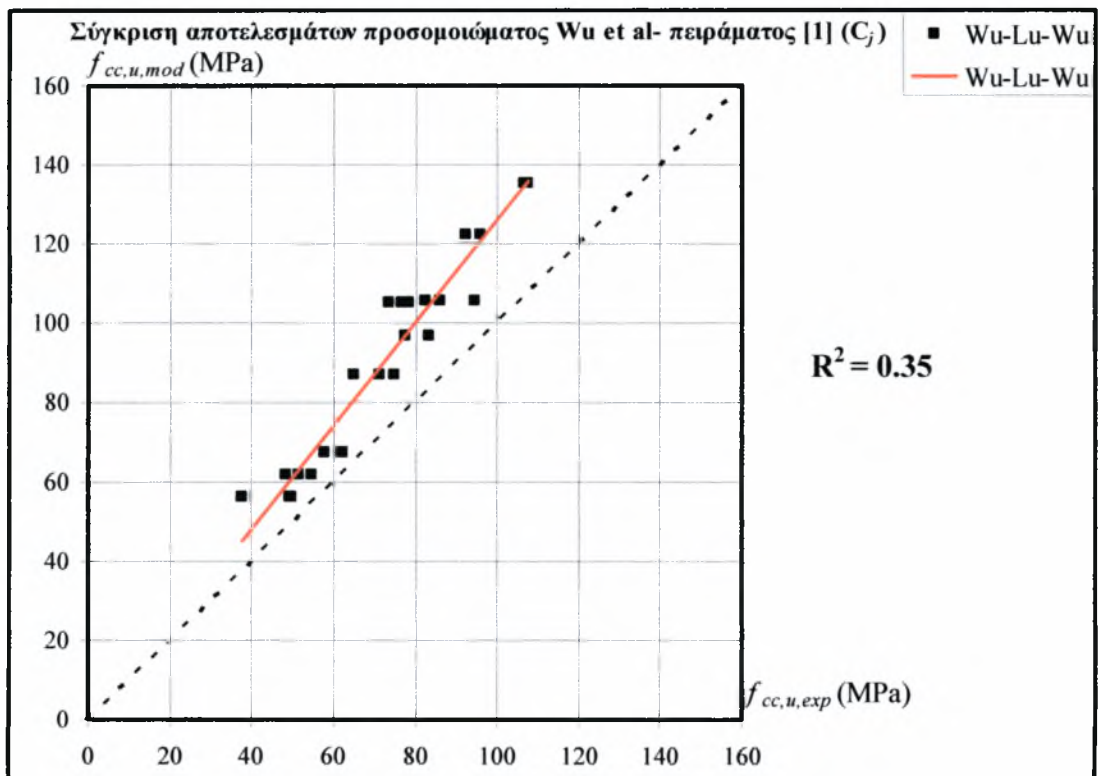
**Πίνακας 4.4.11:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Xiao – Wu [1]

fib							
Model(y)	Experimental(x)	y'	y-y'	(y-y') <sup>2</sup>	y-y <sub>m</sub>	(y-y <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>	
63.116	49.97	49.97	13.15	172.81	-33.83	1144.45	
63.116	37.55	37.55	25.57	653.61	-33.83	1144.45	
63.116	49.41	49.41	13.71	187.85	-33.83	1144.45	
83.295	65	65.00	18.29	334.69	-13.65	186.35	
83.295	71.46	71.46	11.83	140.06	-13.65	186.35	
83.295	74.98	74.98	8.31	69.13	-13.65	186.35	
97.146	85.929	85.93	11.22	125.83	0.20	0.04	
97.146	82.614	82.61	14.53	211.19	0.20	0.04	
97.146	94.603	94.60	2.54	6.47	0.20	0.04	
74.866	48.28	48.28	26.59	706.83	-22.08	487.50	
74.866	51.485	51.49	23.38	546.68	-22.08	487.50	
74.866	54.551	54.55	20.32	412.71	-22.08	487.50	
98.668	77.752	77.75	20.92	437.46	1.72	2.97	
98.668	77.752	77.75	20.92	437.46	1.72	2.97	
98.668	83.564	83.56	15.10	228.12	1.72	2.97	
115.648	92.275	92.28	23.37	546.28	18.70	349.77	
115.648	92.275	92.28	23.37	546.28	18.70	349.77	
115.648	96.052	96.05	19.60	383.99	18.70	349.77	
88.700	62.5	62.50	26.20	686.46	-8.25	67.98	
88.700	57.63	57.63	31.07	965.36	-8.25	67.98	
88.700	57.63	57.63	31.07	965.36	-8.25	67.98	
115.660	73.63	73.63	42.03	1766.58	18.72	350.26	
115.660	76.45	76.45	39.21	1537.48	18.72	350.26	
115.660	78.65	78.65	37.01	1369.79	18.72	350.26	
135.411	107.5	107.50	27.91	779.02	38.47	1479.59	
135.411	106.8	106.80	28.61	818.59	38.47	1479.59	
135.411	107.5	107.50	27.91	779.02	38.47	1479.59	
<b>Σ =</b>	2617.53	2013.79	2013.79	603.74	15815.10	0.00	12206.70
<b>n =</b>	27.00						
<b>M.O.=</b>	96.95	74.58					

$$S_y^2 = 452.10$$

$$S_{y/x}^2 = 608.27$$

$$R^2 = -0.35$$



Σχήμα 4.4.16: Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Wu et al ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Χίαο - Wu ( $f_{cc,u,exp}$ )

**Πίνακας 4.4.12:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Xiao – Wu [1]

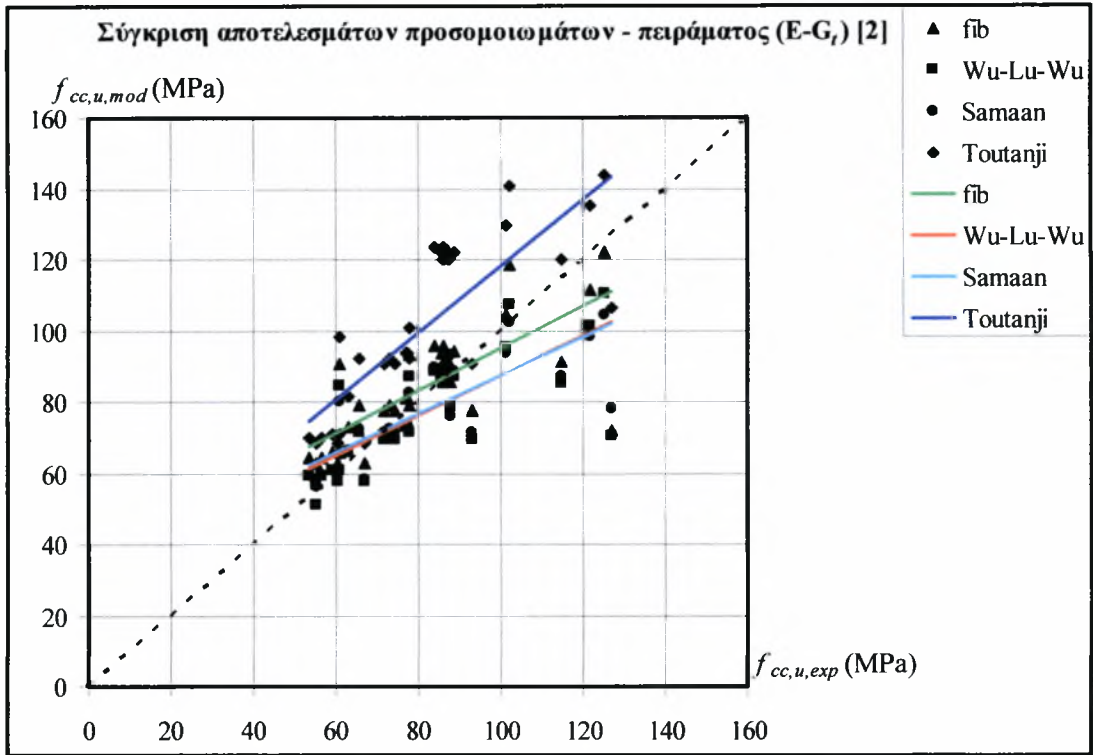
Wu et al							
Model(y)	Experimental(x)	$y'$	$y-y'$	$(y-y')^2$	$y-y_m$	$(y-y_m)^2$	
56.386	49.97	49.97	6.42	41.17	-36.68	1345.66	
56.386	37.55	37.55	18.84	354.80	-36.68	1345.66	
56.386	49.41	49.41	6.98	48.66	-36.68	1345.66	
86.968	65	65.00	21.97	482.61	-6.10	37.22	
86.968	71.46	71.46	15.51	240.51	-6.10	37.22	
86.968	74.98	74.98	11.99	143.72	-6.10	37.22	
105.489	85.929	85.93	19.56	382.58	12.42	154.24	
105.489	82.614	82.61	22.87	523.24	12.42	154.24	
105.489	94.603	94.60	10.89	118.49	12.42	154.24	
61.893	48.28	48.28	13.61	185.32	-31.18	971.95	
61.893	51.485	51.49	10.41	108.33	-31.18	971.95	
61.893	54.551	54.55	7.34	53.91	-31.18	971.95	
96.646	77.752	77.75	18.89	357.00	3.58	12.80	
96.646	77.752	77.75	18.89	357.00	3.58	12.80	
96.646	83.564	83.56	13.08	171.15	3.58	12.80	
122.118	92.275	92.28	29.84	890.61	29.05	843.83	
122.118	92.275	92.28	29.84	890.61	29.05	843.83	
122.118	96.052	96.05	26.07	679.44	29.05	843.83	
67.522	62.5	62.50	5.02	25.22	-25.55	652.65	
67.522	57.63	57.63	9.89	97.86	-25.55	652.65	
67.522	57.63	57.63	9.89	97.86	-25.55	652.65	
105.160	73.63	73.63	31.53	994.16	12.09	146.19	
105.160	76.45	76.45	28.71	824.28	12.09	146.19	
105.160	78.65	78.65	26.51	702.80	12.09	146.19	
135.440	107.5	107.50	27.94	780.65	42.37	1795.29	
135.440	106.8	106.80	28.64	820.26	42.37	1795.29	
135.440	107.5	107.50	27.94	780.65	42.37	1795.29	
<b>Σ =</b>	2512.87	2013.79	2013.79	499.08	11152.86	0.00	17879.51
<b>n =</b>	27.00						
<b>M.O.=</b>	93.07	74.58					

$$S_y^2 = 662.20$$

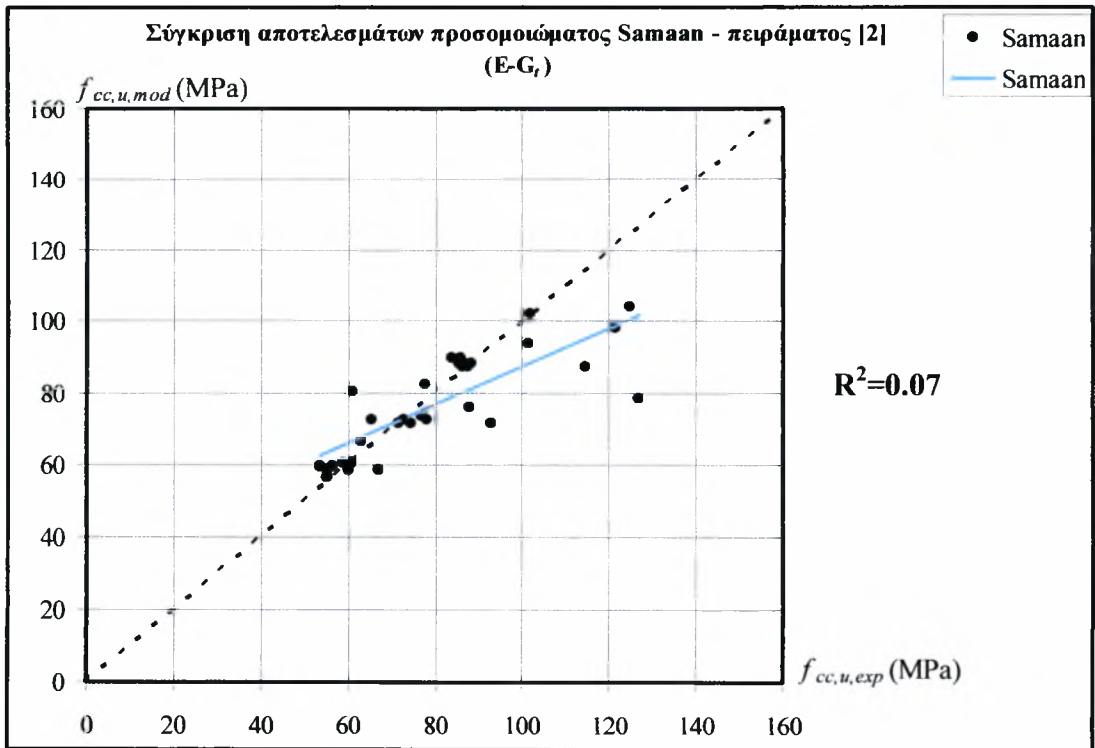
$$S_{y/x}^2 = 428.96$$

$$R^2 = 0.35$$

δ) Πείραμα Mirmiran



Σχήμα 4.4.17: Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιωμάτων ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Amir Mirmiran ( $f_{cc,u,exp}$ ) σωλήνων G



Σχήμα 4.4.18: Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Samaan et al ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Amir Mirmiran ( $f_{cc,u,exp}$ )

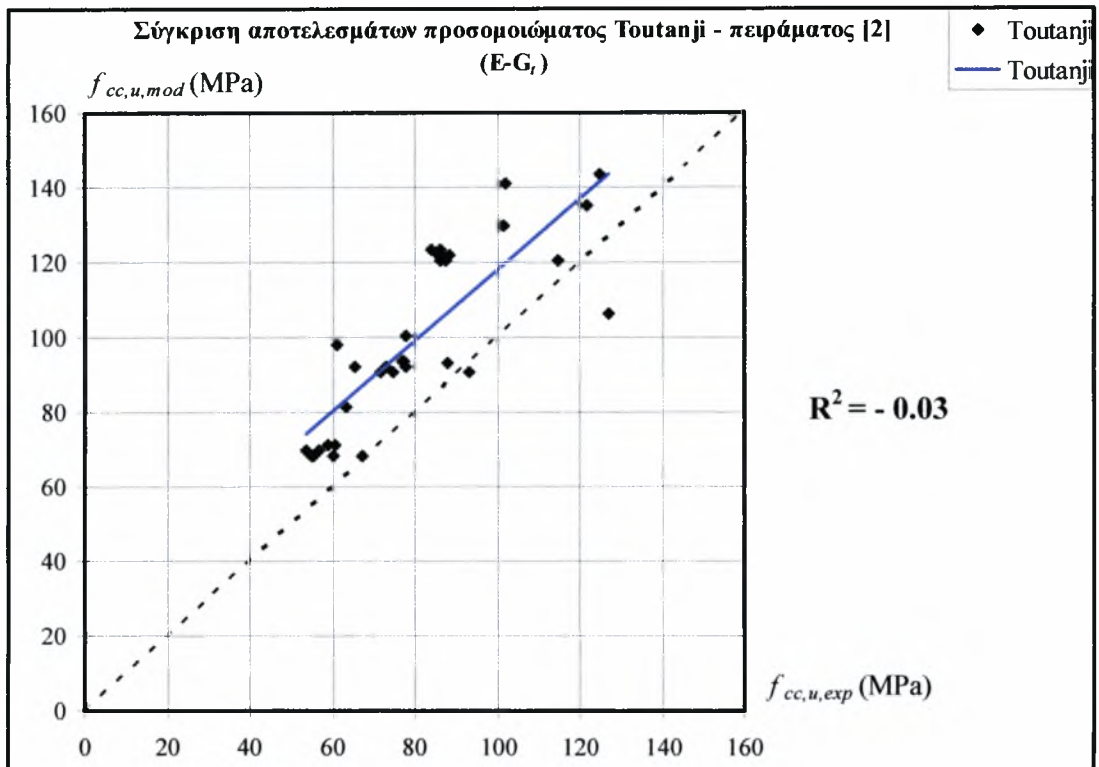
**Πίνακας 4.4.13:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Samaan et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Mirmiran [2]

Samaan et al							
Model(y)	Experimental(x)	$y'$	$y-y'$	$(y-y')^2$	$y-y_m$	$(y-y_m)^2$	
56.083	55.09	55.09	0.99	0.99	-20.74	430.04	
78.060	127	127.00	-48.94	2395.10	1.24	1.54	
82.283	77.89	77.89	4.39	19.30	5.46	29.84	
104.260	125	125.00	-20.74	430.14	27.44	752.93	
76.003	87.98	87.98	-11.98	143.44	-0.82	0.67	
97.980	121.56	121.56	-23.58	556.01	21.16	447.73	
93.913	101.49	101.49	-7.58	57.42	17.09	292.14	
66.420	63.11	63.11	3.31	10.95	-10.40	108.18	
88.397	88.54	88.54	-0.14	0.02	11.58	134.01	
80.209	61.05	61.05	19.16	367.08	3.39	11.48	
102.186	101.97	101.97	0.22	0.05	25.37	643.43	
59.399	53.66	53.66	5.74	32.94	-17.42	303.50	
59.399	56.5	56.50	2.90	8.41	-17.42	303.50	
72.365	72.92	72.92	-0.55	0.31	-4.46	19.85	
72.365	65.67	65.67	6.70	44.82	-4.46	19.85	
72.365	77.99	77.99	-5.62	31.64	-4.46	19.85	
88.412	85.72	85.72	2.69	7.25	11.59	134.37	
88.412	86.76	86.76	1.65	2.73	11.59	134.37	
58.179	67.12	67.12	-8.94	79.93	-18.64	347.49	
58.179	55.29	55.29	2.89	8.35	-18.64	347.49	
58.179	60.23	60.23	-2.05	4.20	-18.64	347.49	
71.145	74.56	74.56	-3.41	11.66	-5.68	32.21	
71.145	93.02	93.02	-21.87	478.51	-5.68	32.21	
71.145	71.74	71.74	-0.59	0.35	-5.68	32.21	
87.192	86.22	86.22	0.97	0.95	10.37	107.57	
87.192	114.66	114.66	-27.47	754.47	10.37	107.57	
87.192	87.44	87.44	-0.25	0.06	10.37	107.57	
60.509	59.06	59.06	1.45	2.10	-16.31	266.05	
60.509	60.79	60.79	-0.28	0.08	-16.31	266.05	
73.475	77.35	77.35	-3.87	15.02	-3.35	11.19	
73.475	77.08	77.08	-3.60	13.00	-3.35	11.19	
89.522	86.11	86.11	3.41	11.64	12.70	161.34	
89.522	83.99	83.99	5.53	30.61	12.70	161.34	
<b>Σ =</b>	2535.08	2664.56	2664.56	-129.48	5519.54	0.00	6126.26
<b>n =</b>	33.00						
<b>M.O.=</b>	76.82	80.74					

$$S_y^2 = 185.64$$

$$S_{y/x}^2 = 172.49$$

$$R^2 = 0.07$$



**Σχήμα 4.4.19:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Toutanji ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Amir Mirmiran ( $f_{cc,u,exp}$ )

**Πίνακας 4.4.14:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Toutanji αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Mirmiran [2]

Toutanji							
Model(y)	Experimental(x)	y'	y-y'	(y-y') <sup>2</sup>	y-y <sub>m</sub>	(y-y <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>	
68.264	55.09	55.09	13.17	173.54	-31.54	994.52	
106.213	127	127.00	-20.79	432.11	6.41	41.13	
100.675	77.89	77.89	22.79	519.17	0.88	0.77	
143.580	125	125.00	18.58	345.20	43.78	1916.70	
93.248	87.98	87.98	5.27	27.75	-6.55	42.93	
135.236	121.56	121.56	13.68	187.05	35.44	1255.78	
129.683	101.49	101.49	28.19	794.83	29.88	893.01	
81.581	63.11	63.11	18.47	341.19	-18.22	331.90	
121.909	88.54	88.54	33.37	1113.46	22.11	488.81	
98.238	61.05	61.05	37.19	1382.93	-1.56	2.44	
140.852	101.97	101.97	38.88	1511.81	41.05	1685.31	
69.756	53.66	53.66	16.10	259.08	-30.04	902.61	
69.756	56.5	56.50	13.26	175.72	-30.04	902.61	
92.154	72.92	72.92	19.23	369.94	-7.65	58.46	
92.154	65.67	65.67	26.48	701.39	-7.65	58.46	
92.154	77.99	77.99	14.16	200.61	-7.65	58.46	
122.019	85.72	85.72	36.30	1317.61	22.22	493.70	
122.019	86.76	86.76	35.26	1243.19	22.22	493.70	
68.301	67.12	67.12	1.18	1.40	-31.50	992.13	
68.301	55.29	55.29	13.01	169.30	-31.50	992.13	
68.301	60.23	60.23	8.07	65.15	-31.50	992.13	
90.564	74.56	74.56	16.00	256.13	-9.24	85.29	
90.564	93.02	93.02	-2.46	6.03	-9.24	85.29	
90.564	71.74	71.74	18.82	354.35	-9.24	85.29	
120.249	86.22	86.22	34.03	1157.97	20.45	418.18	
120.249	114.66	114.66	5.59	31.24	20.45	418.18	
120.249	87.44	87.44	32.81	1076.43	20.45	418.18	
71.073	59.06	59.06	12.01	144.31	-28.73	825.22	
71.073	60.79	60.79	10.28	105.74	-28.73	825.22	
93.590	77.35	77.35	16.24	263.72	-6.21	38.56	
93.590	77.08	77.08	16.51	272.57	-6.21	38.56	
123.613	86.11	86.11	37.50	1406.50	23.81	567.10	
123.613	83.99	83.99	39.62	1570.01	23.81	567.10	
<b>Σ =</b>	3293.38	2664.56	2664.56	628.82	17977.40	0.00	17969.86
<b>n =</b>	33.00						
<b>M.O.=</b>	99.80	80.74					

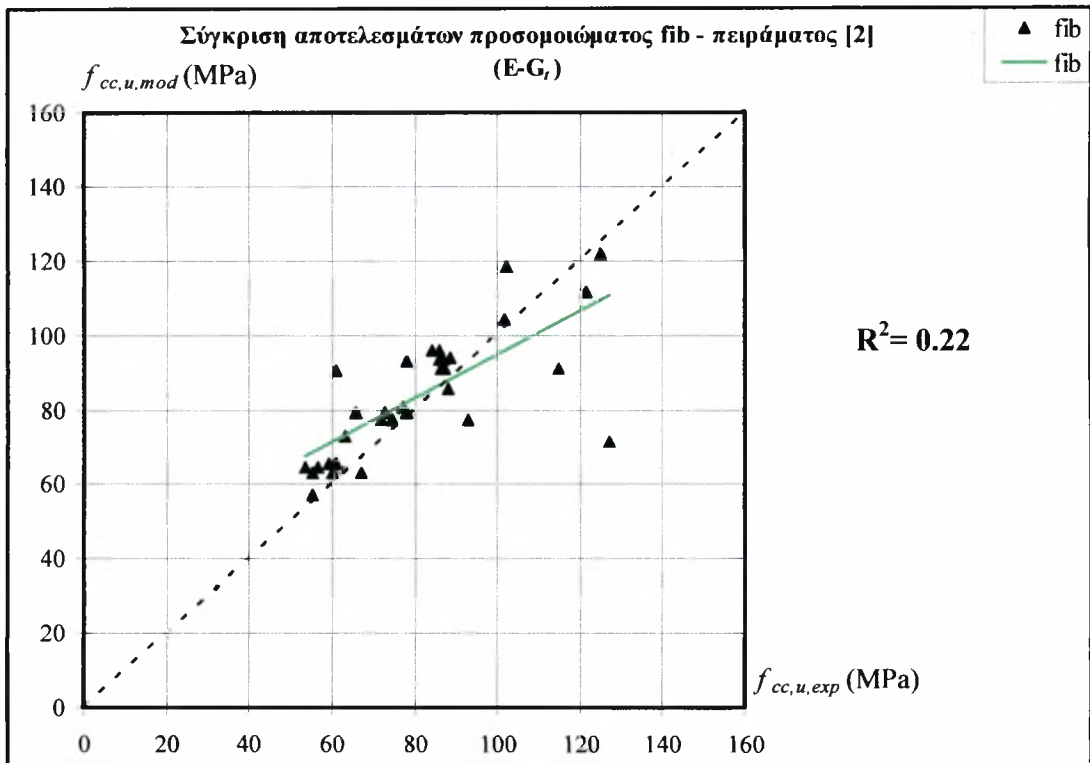
$$S_y^2 = 544.54$$

$$S_{y/x}^2 = 561.79$$

$$R^2 = -0.03$$







**Σχήμα 4.4.20:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος fib ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Amir Mirmiran ( $f_{cc,u,exp}$ )

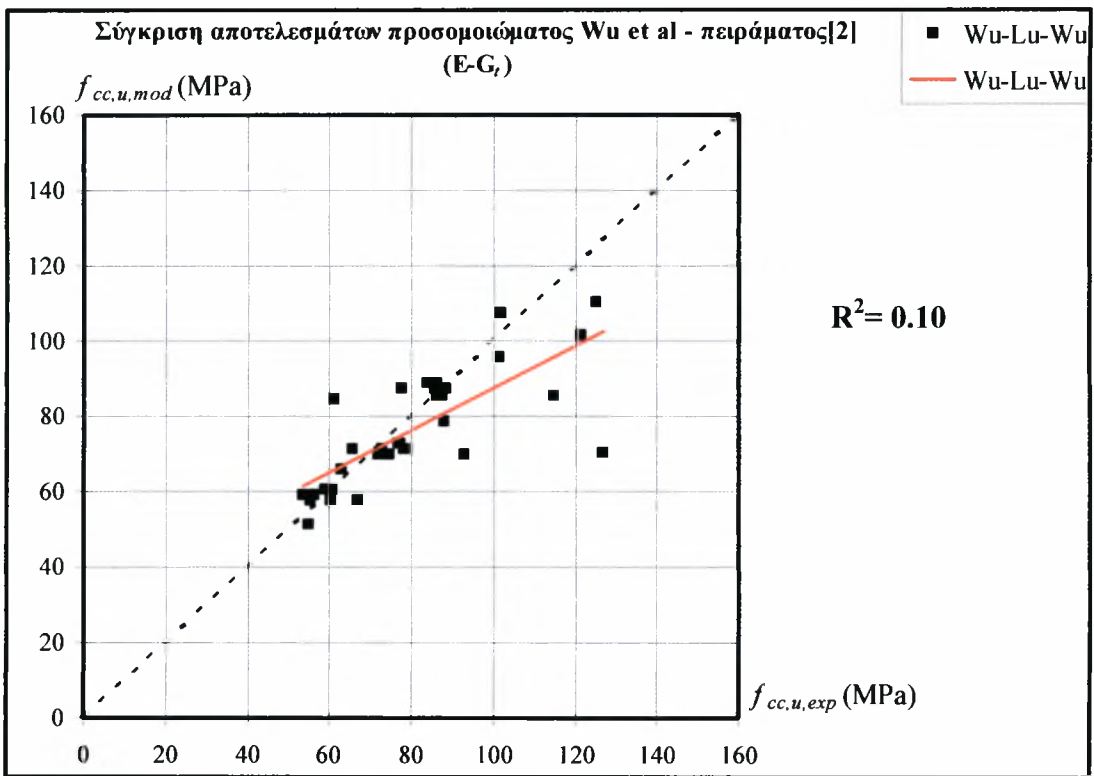
**Πίνακας 4.4.15:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Mirmiran [2]

fib							
Model(y)	Experimental(x)	$y'$	$y-y'$	$(y-y')^2$	$y-y_m$	$(y-y_m)^2$	
57.079	55.09	55.09	1.99	3.96	-26.39	696.44	
71.680	127	127.00	-55.32	3060.32	-11.79	139.00	
93.200	77.89	77.89	15.31	234.39	9.73	94.68	
121.916	125	125.00	-3.08	9.51	38.45	1478.15	
85.563	87.98	87.98	-2.42	5.84	2.09	4.38	
111.552	121.56	121.56	-10.01	100.17	28.08	788.60	
104.441	101.49	101.49	2.95	8.71	20.97	439.79	
72.946	63.11	63.11	9.84	96.74	-10.52	110.75	
94.128	88.54	88.54	5.59	31.23	10.66	113.60	
90.719	61.05	61.05	29.67	880.26	7.25	52.56	
118.564	101.97	101.97	16.59	275.36	35.09	1231.61	
64.394	53.66	53.66	10.73	115.21	-19.08	363.89	
64.394	56.5	56.50	7.89	62.31	-19.08	363.89	
79.224	72.92	72.92	6.30	39.75	-4.25	18.02	
79.224	65.67	65.67	13.55	183.72	-4.25	18.02	
79.224	77.99	77.99	1.23	1.52	-4.25	18.02	
93.603	85.72	85.72	7.88	62.14	10.13	102.69	
93.603	86.76	86.76	6.84	46.83	10.13	102.69	
62.883	67.12	67.12	-4.24	17.95	-20.59	423.82	
62.883	55.29	55.29	7.59	57.65	-20.59	423.82	
62.883	60.23	60.23	2.65	7.04	-20.59	423.82	
77.316	74.56	74.56	2.76	7.59	-6.15	37.87	
77.316	93.02	93.02	-15.70	246.63	-6.15	37.87	
77.316	71.74	71.74	5.58	31.09	-6.15	37.87	
91.204	86.22	86.22	4.98	24.84	7.73	59.82	
91.204	114.66	114.66	-23.46	550.18	7.73	59.82	
91.204	87.44	87.44	3.76	14.17	7.73	59.82	
65.746	59.06	59.06	6.69	44.71	-17.72	314.11	
65.746	60.79	60.79	4.96	24.57	-17.72	314.11	
80.929	77.35	77.35	3.58	12.81	-2.54	6.45	
80.929	77.08	77.08	3.85	14.82	-2.54	6.45	
95.741	86.11	86.11	9.63	92.76	12.27	150.59	
95.741	83.99	83.99	11.75	138.09	12.27	150.59	
$\Sigma =$	2754.49	2664.56	2664.56	89.93	6502.83	0.00	8643.60
n =	33.00						
M.O.=	83.47	80.74					

$$S_y^2 = 261.93$$

$$S_{y/x}^2 = 203.21$$

$$R^2 = 0.22$$



**Σχήμα 4.4.21:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Wu et al ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Amir Mirmiran ( $f_{cc,u,exp}$ )

**Πίνακας 4.4.16:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Wu et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Mirmiran [2]

Wu et al							
Model(y)	Experimental(x)	$y'$	$y-y'$	$(y-y')^2$	$y-y_m$	$(y-y_m)^2$	
51.267	55.09	55.09	-3.82	14.62	-25.30	640.05	
70.319	127	127.00	-56.68	3212.73	-6.25	39.02	
87.109	77.89	77.89	9.22	85.00	10.54	111.17	
110.219	125	125.00	-14.78	218.48	33.65	1132.53	
78.678	87.98	87.98	-9.30	86.52	2.11	4.46	
101.292	121.56	121.56	-20.27	410.78	24.73	611.40	
95.389	101.49	101.49	-6.10	37.22	18.82	354.33	
65.683	63.11	63.11	2.57	6.62	-10.88	118.44	
87.154	88.54	88.54	-1.39	1.92	10.59	112.11	
84.330	61.05	61.05	23.28	541.98	7.76	60.29	
107.292	101.97	101.97	5.32	28.32	30.73	944.08	
59.197	53.66	53.66	5.54	30.66	-17.37	301.67	
59.197	56.5	56.50	2.70	7.27	-17.37	301.67	
71.278	72.92	72.92	-1.64	2.70	-5.29	27.96	
71.278	65.67	65.67	5.61	31.45	-5.29	27.96	
71.278	77.99	77.99	-6.71	45.05	-5.29	27.96	
87.080	85.72	85.72	1.36	1.85	10.51	110.55	
87.080	86.76	86.76	0.32	0.10	10.51	110.55	
57.556	67.12	67.12	-9.56	91.48	-19.01	361.40	
57.556	55.29	55.29	2.27	5.13	-19.01	361.40	
57.556	60.23	60.23	-2.67	7.15	-19.01	361.40	
69.567	74.56	74.56	-4.99	24.94	-7.00	48.99	
69.567	93.02	93.02	-23.45	550.08	-7.00	48.99	
69.567	71.74	71.74	-2.17	4.73	-7.00	48.99	
85.205	86.22	86.22	-1.02	1.03	8.64	74.63	
85.205	114.66	114.66	-29.46	867.62	8.64	74.63	
85.205	87.44	87.44	-2.24	5.00	8.64	74.63	
60.689	59.06	59.06	1.63	2.65	-15.88	252.08	
60.689	60.79	60.79	-0.10	0.01	-15.88	252.08	
72.828	77.35	77.35	-4.52	20.45	-3.74	13.97	
72.828	77.08	77.08	-4.25	18.08	-3.74	13.97	
88.769	86.11	86.11	2.66	7.07	12.20	148.92	
88.769	83.99	83.99	4.78	22.84	12.20	148.92	
<b>Σ =</b>	2526.67	2664.56	2664.56	-137.89	6391.53	0.00	7321.22
<b>n =</b>	33.00						
<b>M.O.=</b>	76.57	80.74					

$$S_y^2 = 221.86$$

$$S_{y/x}^2 = 199.74$$

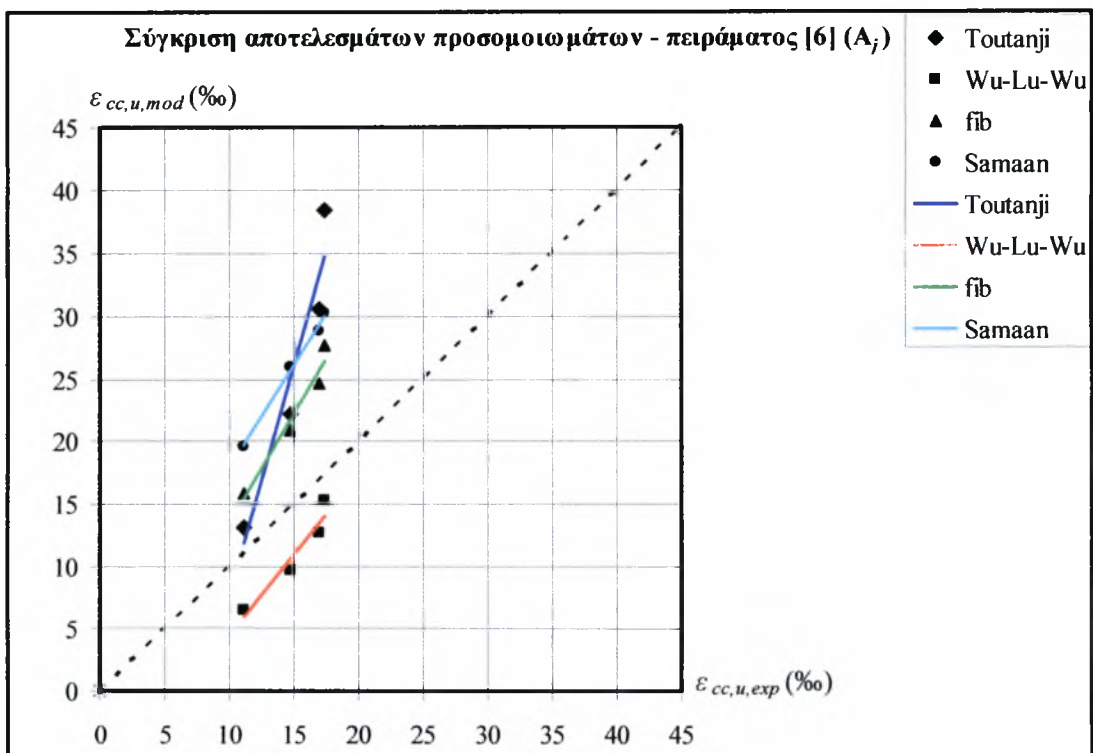
$$R^2 = 0.10$$

#### 4.5 Διαγράμματα σύγκρισης προβλεπόμενων τιμών παραμόρφωσης αστοχίας και υπολογισμός συντελεστή $R^2$ ανα πείραμα και προσομοίωμα

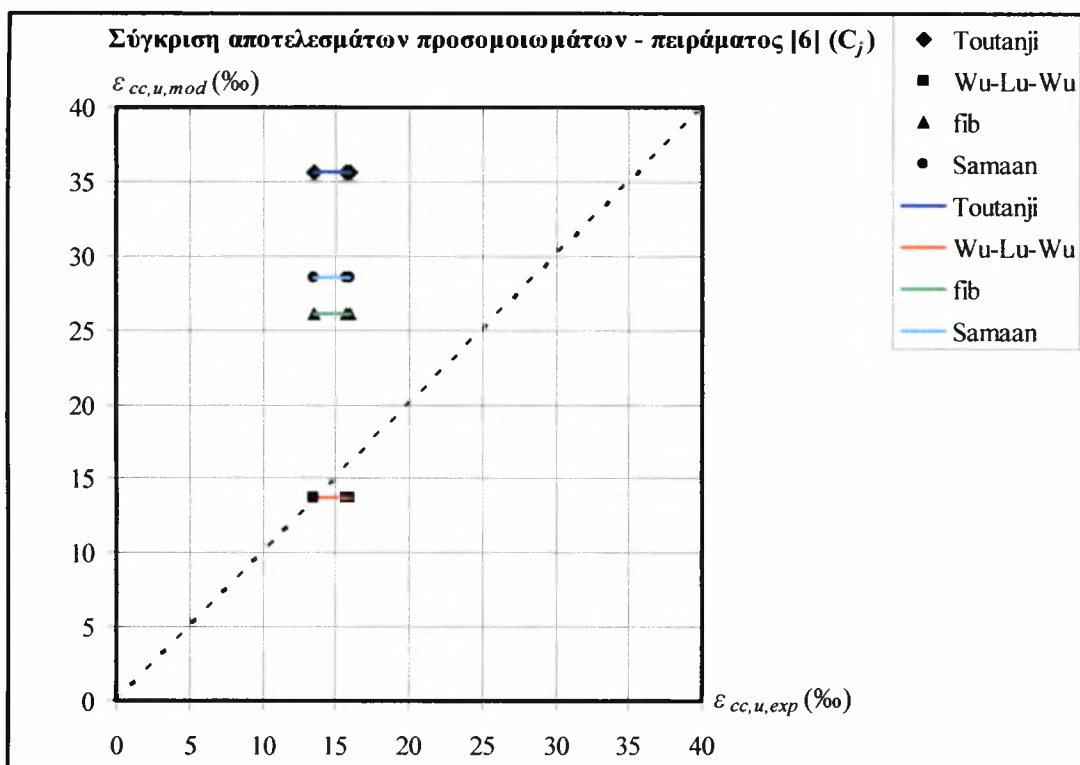
##### α) Πείραμα P. Rochette – P. Labossiere

Παρακάτω παρουσιάζονται διαγράμματα σύγκρισης των αξονικών παραμορφώσεων κατά την αστοχία των περισφιγμένων κυλίνδρων που προβλέπουν τα τέσσερα προσομοιώματα με τις αντίστοιχες πειραματικές τιμές

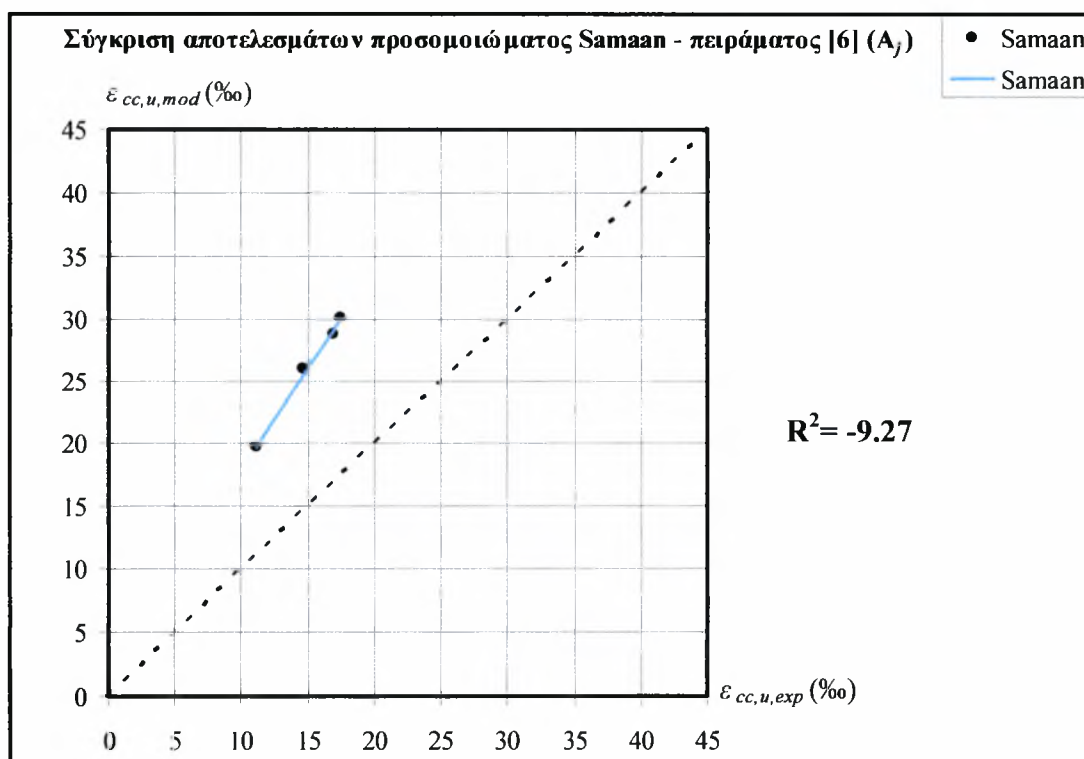
Στην συνέχεια γίνεται υπολογισμός των συντελεστών συσχέτισης  $R^2$  για κάθε προσομοίωμα όσον αφορά τις προβλέψεις για ίνες αραμιδίου (A) αφού για ίνες άνθρακα οι τιμές είναι μόνο τρεις με πολύ μικρές αποκλίσεις μεταξύ τους.



Σχήμα 4.5.1: Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιωμάτων ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Rochette-Labossiere ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ ) μανδύα A



**Σχήμα 4.5.2:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιωμάτων ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Rochette-Labossiere ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ ) μανδύα C



**Σχήμα 4.5.3:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Samaan et al ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Rochette- Labossiere ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )

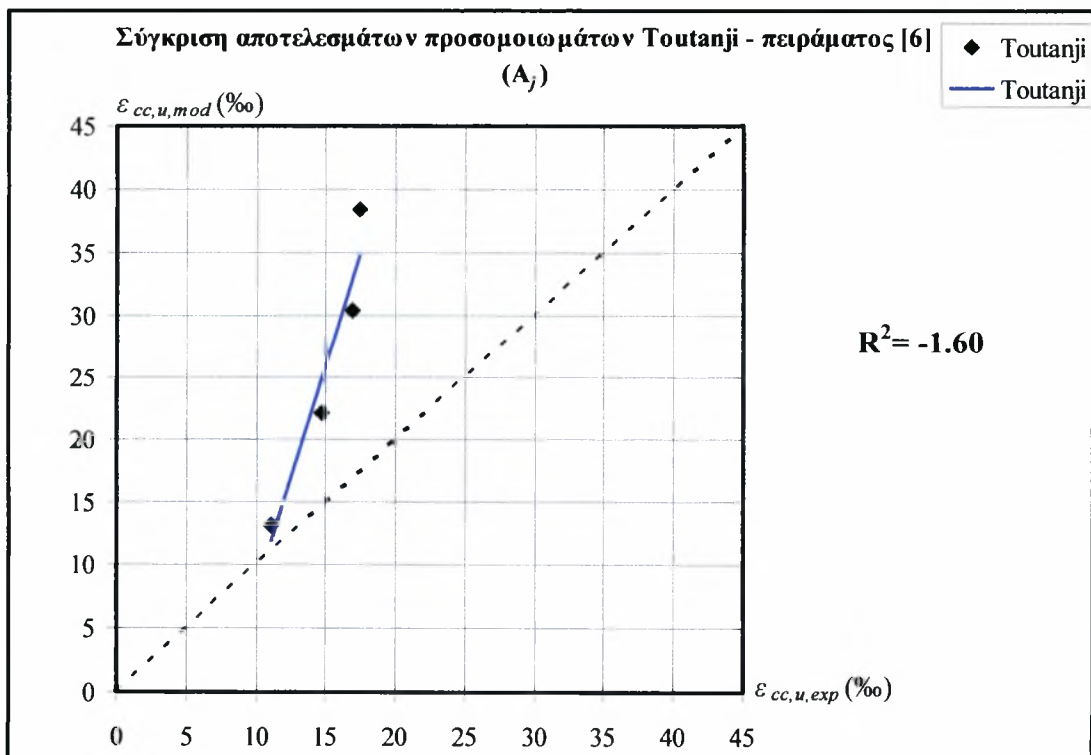
**Πίνακας 4.5.1:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Samaan et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Rochette – Labossiere [6]

Samaan et al						
Model(y)	Experimental(x)	$y'$	$y-y'$	$(y-y')^2$	$y-y_m$	$(y-y_m)^2$
19.66	11.10	11.10	8.56	73.28	-6.49	42.07
25.93	14.70	14.70	11.23	126.15	-0.22	0.05
28.80	16.90	16.90	11.90	141.68	2.66	7.06
30.19	17.40	17.40	12.79	163.64	4.05	16.36
<b>Σ =</b>	104.59	60.10	44.49	504.75	0.00	65.54
<b>n =</b>	4					
<b>M.O.=</b>	26.147	15.03				

$$S_y^2 = 16.38$$

$$S_{y/x}^2 = 168.25$$

$$R^2 = -9.27$$



**Σχήμα 4.5.4:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Toutanji ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Rochette - Labossiere ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )

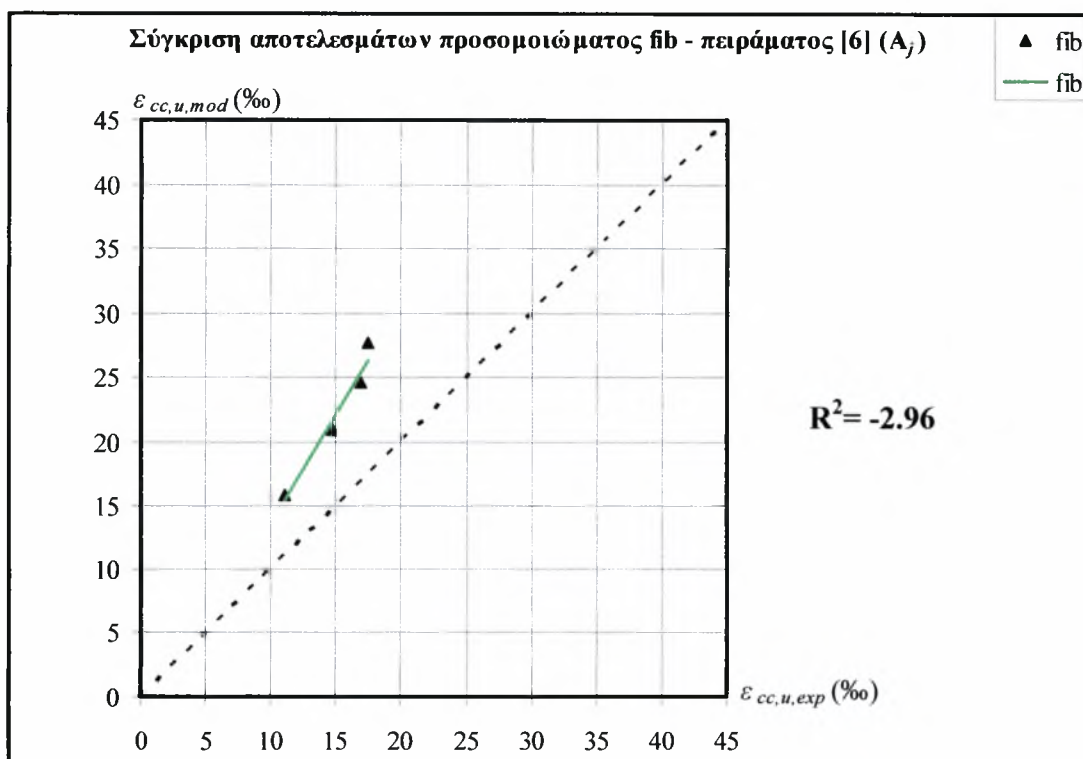
**Πίνακας 4.5.2:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Toutanji αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Rochette – Labossiere [6]

Toutanji							
Model(y)	Experimental(x)	$y'$	$y-y'$	$(y-y')^2$	$y-y_m$	$(y-y_m)^2$	
13.20	11.1	11.10	2.10	4.41	-12.87	165.58	
22.19	14.7	14.70	7.49	56.07	-3.88	15.05	
30.49	16.9	16.90	13.59	184.82	4.43	19.60	
38.39	17.4	17.40	20.99	440.52	12.32	151.80	
<b>Σ =</b>	104.27	60.10	60.10	44.17	685.81	0.00	352.04
<b>n =</b>	4						
<b>M.O.=</b>	26.068	15.03					

$$S_y^2 = 88.01$$

$$S_{y/x}^2 = 228.60$$

$$R^2 = -1.60$$



**Σχήμα 4.5.5:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος fib ( $\varepsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Rochette - Labossiere ( $\varepsilon_{cc,u,exp}$ )



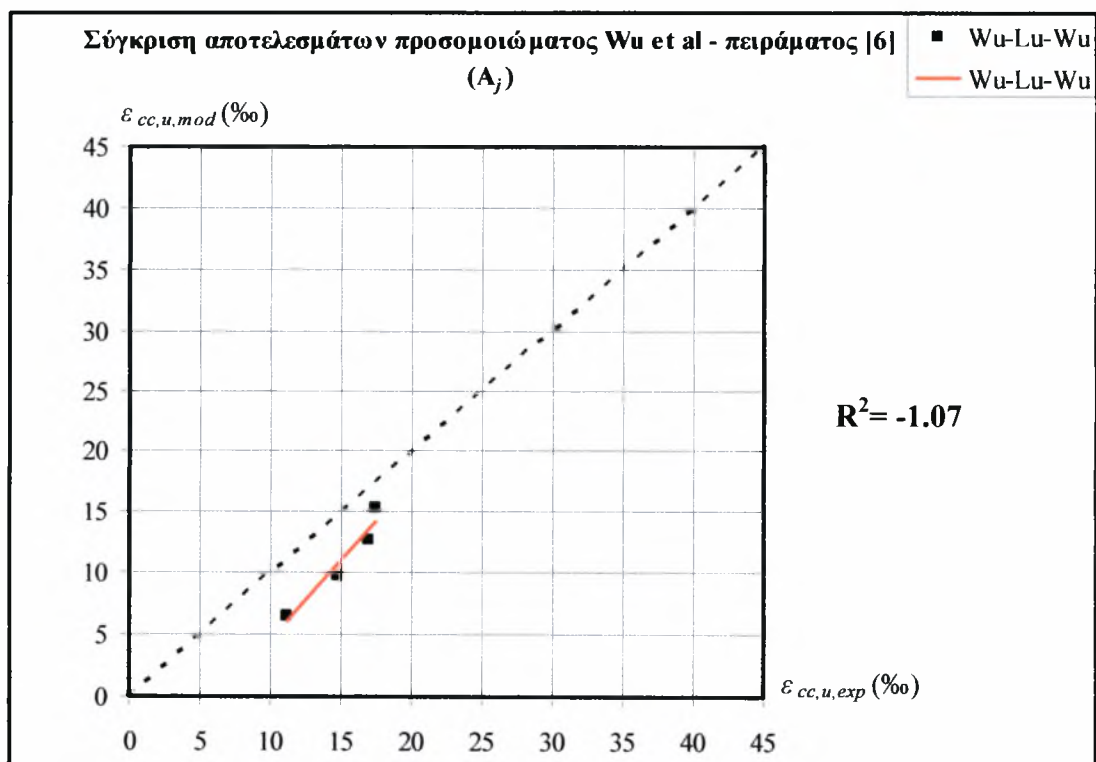
**Πίνακας 4.5.3:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Rochette – Labossiere [6]

fib							
	Model(y)	Experimental(x)	$y'$	$y-y'$	$(y-y')^2$	$y-y_m$	$(y-y_m)^2$
	15.96	11.1	11.10	4.86	23.58	-6.32	39.94
	20.89	14.7	14.70	6.19	38.34	-1.38	1.92
	24.61	16.9	16.90	7.71	59.40	2.33	5.43
	27.65	17.4	17.40	10.25	105.05	5.37	28.87
$\Sigma =$	89.10	60.10	60.10	29.00	226.37	0.00	76.16
$n =$	4						
<b>M.O.=</b>	22.276	15.03					

$$S_y^2 = 19.04$$

$$S_{y/x}^2 = 75.46$$

$$R^2 = -2.96$$



**Σχήμα 4.5.6:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Wu et al ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Rochette - Labossiere ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )

**Πίνακας 4.5.4:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Wu et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Rochette – Labossiere [6]

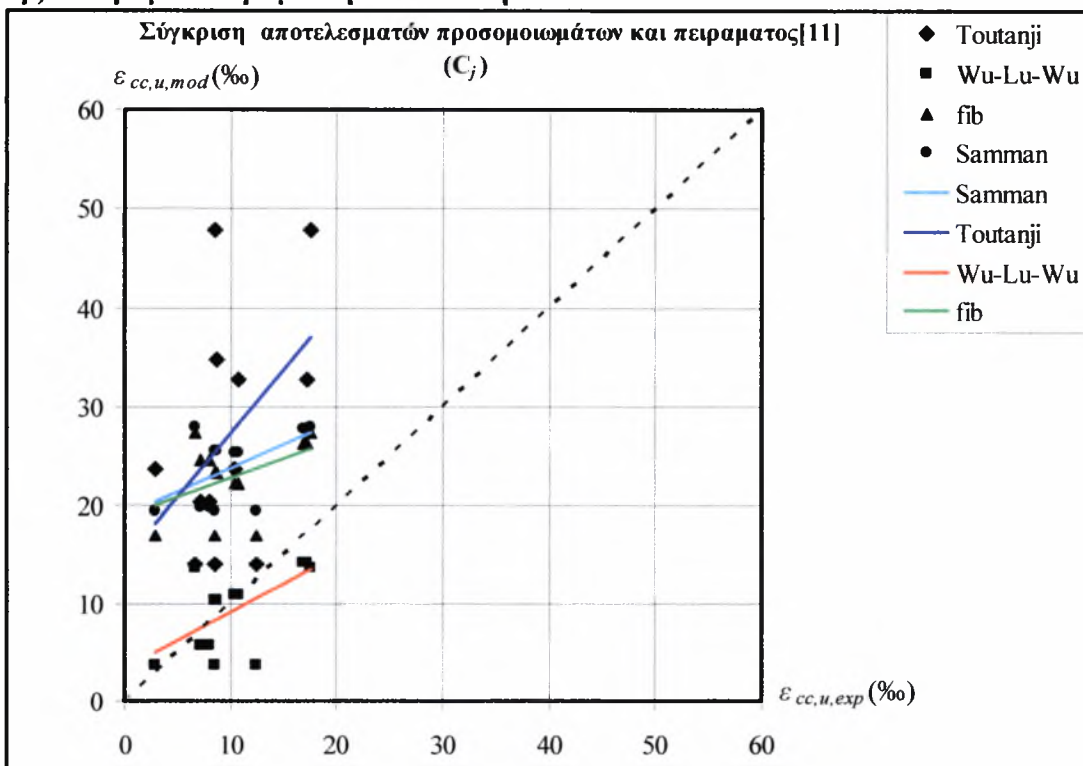
Wu et al						
Model(y)	Experimental(x)	$y'$	$y-y'$	$(y-y')^2$	$y-y_m$	$(y-y_m)^2$
6.53	11.10	11.10	-4.57	20.87	-4.55	20.69
9.72	14.70	14.70	-4.98	24.79	-1.36	1.84
12.70	16.90	16.90	-4.20	17.60	1.62	2.64
15.36	17.40	17.40	-2.04	4.16	4.28	18.33
$\Sigma =$	44.32	60.10	-15.78	67.42	0.00	43.50
$n =$	4					
<b>M.O.=</b>	11.080	15.03				

$$S_y^2 = 10.87$$

$$S_{y/x}^2 = 22.47$$

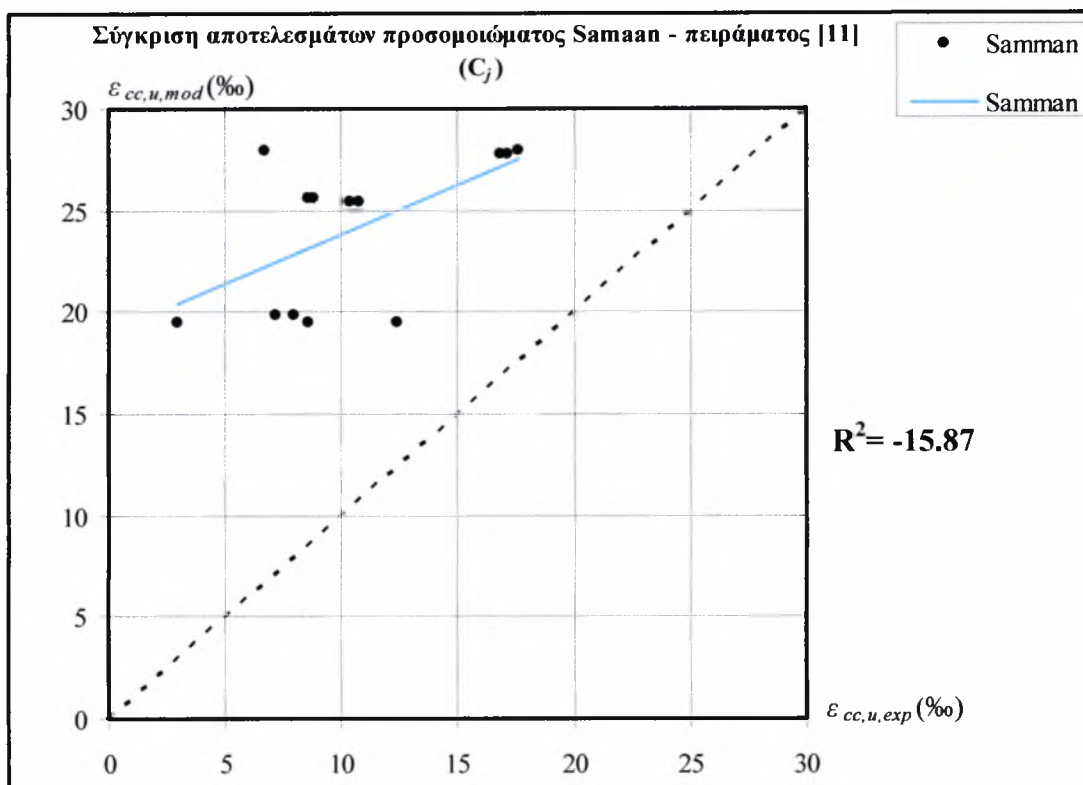
$$R^2 = -1.07$$

**β) Πείραμα Καραμπίνη – Ρουσάκη**



**Σχήμα 4.5.7:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιωμάτων ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη-Ρουσάκη ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ ) μανδύα C

Αναλυτικά για το κάθε προσομοίωμα υπολογίζουμε τον συντελεστή συσχέτισης:



Σχήμα 4.5.8: Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Samaan et al (ε<sub>cc,u,mod</sub>) πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη-Ρουσάκη (ε<sub>cc,u,exp</sub>)

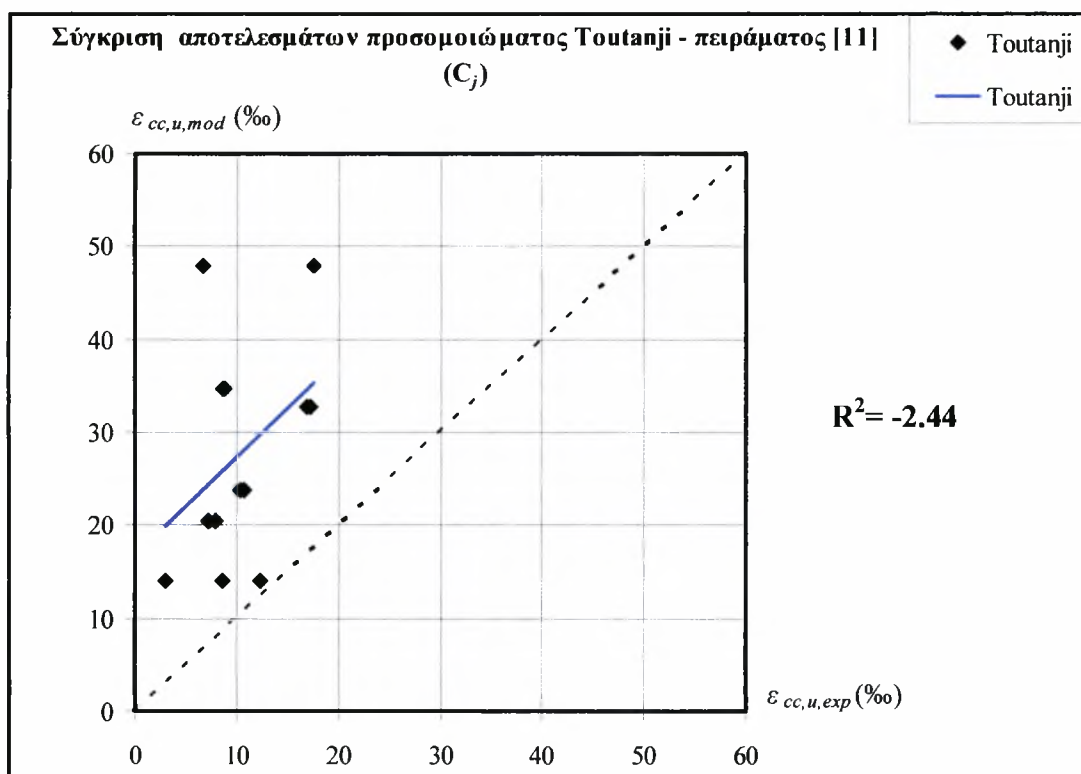
Πίνακας 4.5.5: Υπολογισμός R<sup>2</sup> για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Samaan et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Καραμπίνη – Ρουσάκη [11]

Samaan et al							
Model(y)	Experimental(x)	y'	y-y'	(y-y') <sup>2</sup>	y-y <sub>m</sub>	(y-y <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>	
19.829	7.96	7.96	11.87	140.87	-4.15	17.25	
19.829	7.14	7.14	12.69	161.01	-4.15	17.25	
25.608	8.77	8.77	16.84	283.53	1.63	2.64	
25.608	8.6	8.60	17.01	289.28	1.63	2.64	
27.934	17.6	17.60	10.33	106.79	3.95	15.61	
27.934	6.72	6.72	21.21	450.03	3.95	15.61	
19.529	8.59	8.59	10.94	119.67	-4.45	19.83	
19.529	12.38	12.38	7.15	51.11	-4.45	19.83	
19.529	2.96	2.96	16.57	274.54	-4.45	19.83	
25.423	10.4	10.40	15.02	225.70	1.44	2.08	
25.423	10.72	10.72	14.70	216.19	1.44	2.08	
27.798	17.18	17.18	10.62	112.75	3.82	14.56	
27.798	16.86	16.86	10.94	119.64	3.82	14.56	
Σ =	311.77	135.88	135.88	175.89	2551.11	0.00	163.78
n =	13						
M.O.=	23.98	10.45					

$$S_y^2 = 12.60$$

$$S_y/x^2 = 212.59$$

$$R^2 = -15.87$$



**Σχήμα 4.5.9:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Toutanji ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη-Ρουσάκη ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )

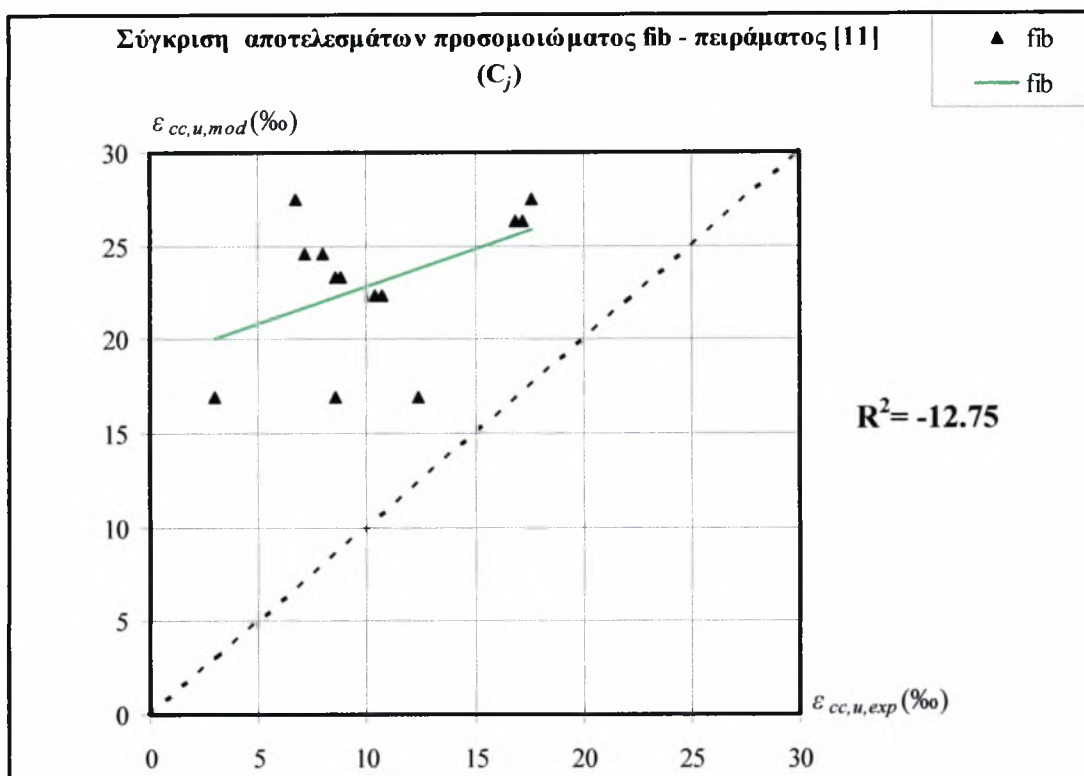
**Πίνακας 4.5.6:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Toutanji αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Καραμπίνη – Ρουσάκη [11]

Toutanji							
Model(y)	Experimental(x)	y'	y-y'	(y-y') <sup>2</sup>	y-y <sub>m</sub>	(y-y <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>	
20.51	7.96	7.96	12.55	157.53	-7.24	52.41	
20.51	7.14	7.14	13.37	178.79	-7.24	52.41	
34.72	8.77	8.77	25.95	673.62	6.97	48.63	
34.72	8.60	8.60	26.12	682.48	6.97	48.63	
47.86	17.60	17.60	30.26	915.71	20.11	404.43	
47.86	6.72	6.72	41.14	1692.56	20.11	404.43	
13.94	8.59	8.59	5.35	28.63	-13.81	190.72	
13.94	12.38	12.38	1.56	2.43	-13.81	190.72	
13.94	2.96	2.96	10.98	120.57	-13.81	190.72	
23.68	10.40	10.40	13.28	176.44	-4.07	16.54	
23.68	10.72	10.72	12.96	168.04	-4.07	16.54	
32.69	17.18	17.18	15.51	240.49	4.94	24.38	
32.69	16.86	16.86	15.83	250.52	4.94	24.38	
<b>Σ =</b>	360.76	135.88	135.88	224.88	5287.82	0.00	1664.93
<b>n =</b>	13						
<b>M.O.=</b>	27.75	10.45					

$$Sy^2 = 128.07$$

$$Sy/x^2 = 440.65$$

$$R^2 = -2.44$$



**Σχήμα 4.5.10:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος fib ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη-Ρουσάκη ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )

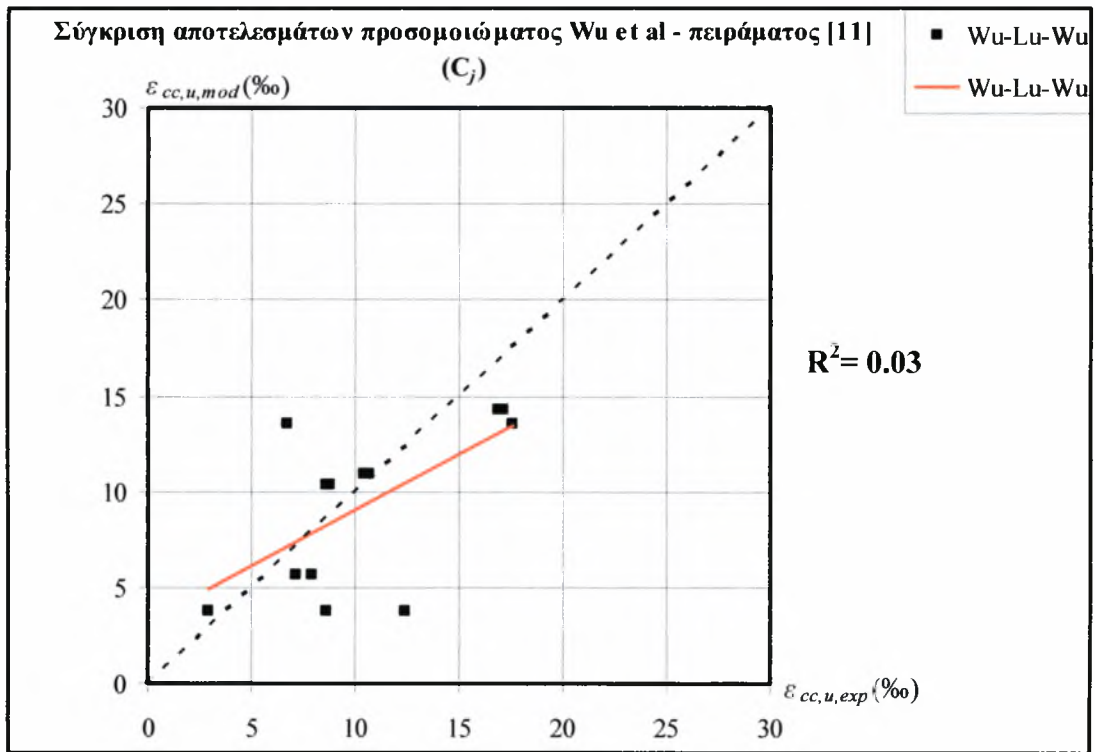
**Πίνακας 4.5.7:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Καραμπίνη – Ρουσάκη [11]

fib							
Model(y)	Experimental(x)	$y'$	$y-y'$	$(y-y')^2$	$y-y_m$	$(y-y_m)^2$	
24.62	7.96	7.96	16.66	277.52	1.61	2.60	
24.62	7.14	7.14	17.48	305.52	1.61	2.60	
23.35	8.77	8.77	14.58	212.70	0.35	0.12	
23.35	8.60	8.60	14.75	217.68	0.35	0.12	
27.50	17.60	17.60	9.90	97.99	4.49	20.20	
27.50	6.72	6.72	20.78	431.78	4.49	20.20	
16.93	8.59	8.59	8.34	69.56	-6.07	36.91	
16.93	12.38	12.38	4.55	20.70	-6.07	36.91	
16.93	2.96	2.96	13.97	195.17	-6.07	36.91	
22.33	10.40	10.40	11.93	142.37	-0.67	0.45	
22.33	10.72	10.72	11.61	134.84	-0.67	0.45	
26.33	17.18	17.18	9.15	83.79	3.33	11.08	
26.33	16.86	16.86	9.47	89.75	3.33	11.08	
<b>Σ =</b>	299.07	135.88	135.88	163.19	2279.37	0.00	179.63
<b>n =</b>	13						
<b>M.O. =</b>	23.01	10.45					

$$S_y^2 = 13.82$$

$$S_y/x^2 = 189.95$$

$$R^2 = -12.75$$



Σχήμα 4.5.11: Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Wu et al ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη-Ρουσάκη ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )

Πίνακας 4.5.8: Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Wu et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Καραμπίνη – Ρουσάκη [11]

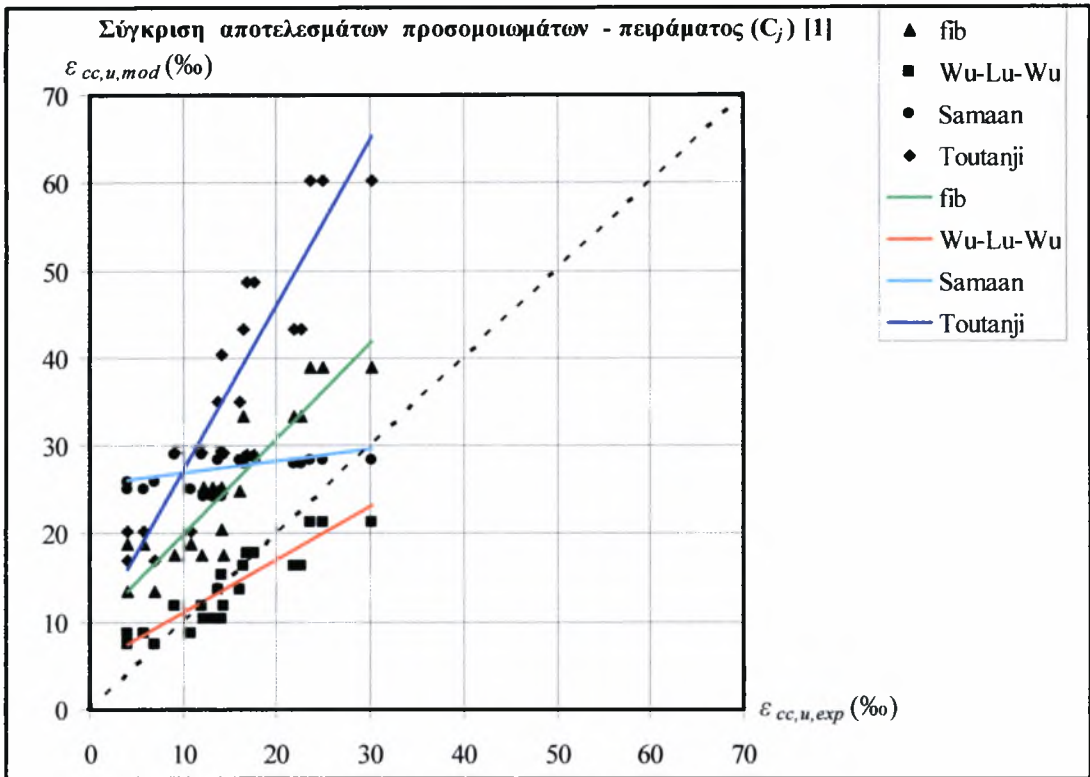
Wu et al						
Model(y)	Experimental(x)	$y'$	$y-y'$	$(y-y')^2$	$y-y_m$	$(y-y_m)^2$
5.634	7.96	7.96	-2.33	5.41	-3.64	13.28
5.634	7.14	7.14	-1.51	2.27	-3.64	13.28
10.375	8.77	8.77	1.60	2.58	1.10	1.20
10.375	8.6	8.60	1.77	3.15	1.10	1.20
13.558	17.6	17.60	-4.04	16.34	4.28	18.32
13.558	6.72	6.72	6.84	46.76	4.28	18.32
3.723	8.59	8.59	-4.87	23.69	-5.56	30.86
3.723	12.38	12.38	-8.66	74.95	-5.56	30.86
3.723	2.96	2.96	0.76	0.58	-5.56	30.86
10.905	10.4	10.40	0.50	0.25	1.63	2.65
10.905	10.72	10.72	0.18	0.03	1.63	2.65
14.251	17.18	17.18	-2.93	8.58	4.97	24.73
14.251	16.86	16.86	-2.61	6.81	4.97	24.73
<b>Σ =</b>	120.61	135.88	-15.27	191.40	0.00	212.94
<b>n =</b>	13					
<b>M.O. =</b>	9.28	10.45				

$$S_y^2 = 16.38$$

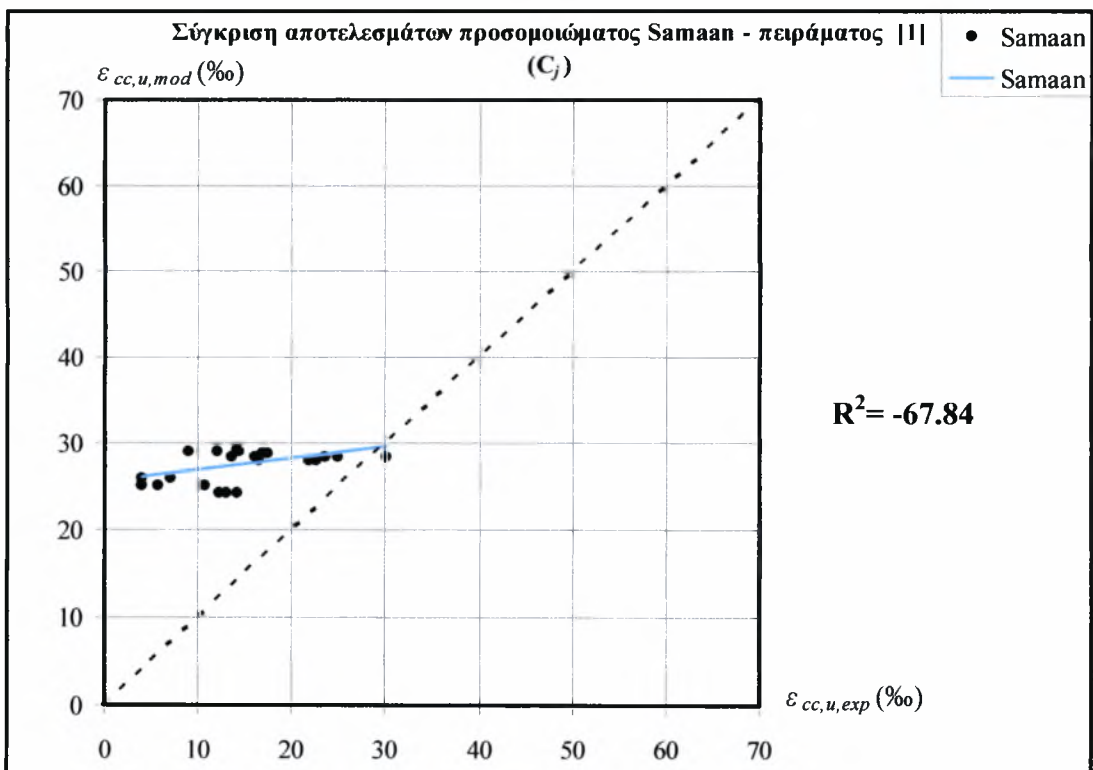
$$S_{y/x}^2 = 15.95$$

$$R^2 = 0.03$$

γ) Πείραμα Χiao – Wu



Σχήμα 4.5.12: Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιωμάτων ( $\varepsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao - Wu ( $\varepsilon_{cc,u,exp}$ ) μανδύα C



Σχήμα 4.5.13: Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Samaan et al ( $\varepsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao - Wu ( $\varepsilon_{cc,u,exp}$ )

**Πίνακας 4.5.9:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Samaan et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Χiao - Wu [1]

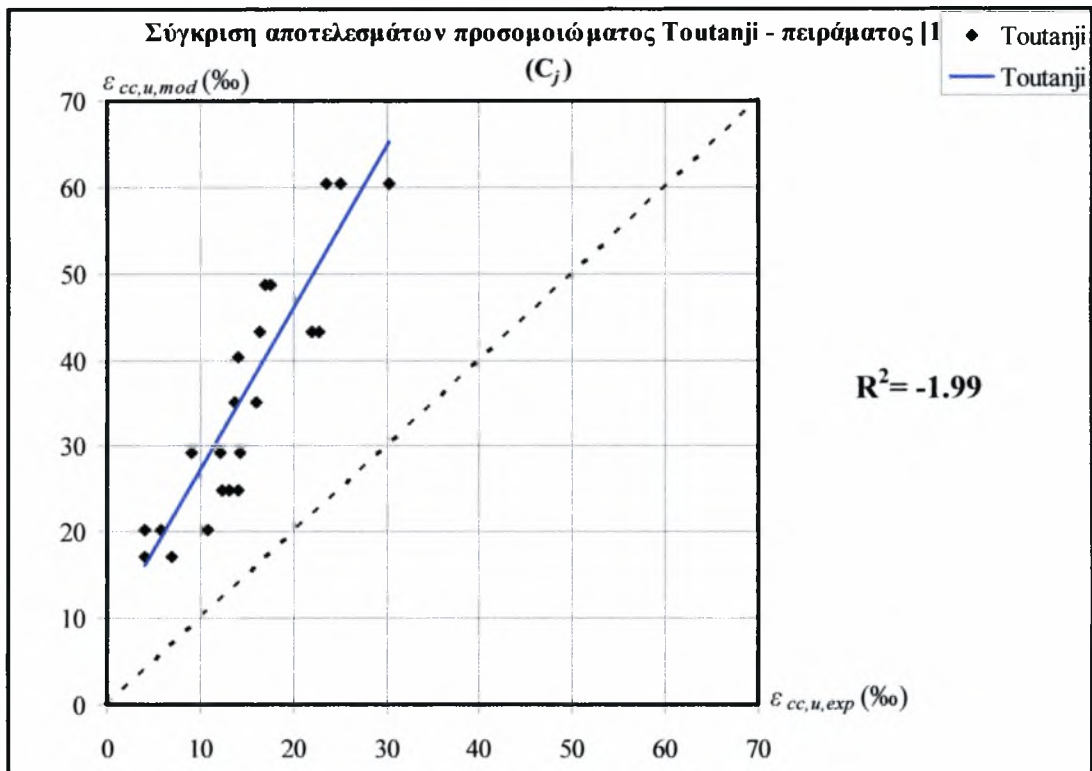
Samaan et al							
Model(y)	Experimental(x)	$y'$	$y-y'$	$(y-y')^2$	$y-y_m$	$(y-y_m)^2$	
24.259	12.25	12.25	12.01	144.21	-3.17	10.02	
24.259	13.1	13.10	11.16	124.51	-3.17	10.02	
24.259	14.1	14.10	10.16	103.20	-3.17	10.02	
27.917	16.4	16.40	11.52	132.64	0.49	0.24	
27.917	21.9	21.90	6.02	36.21	0.49	0.24	
27.917	22.7	22.70	5.22	27.22	0.49	0.24	
28.418	23.6	23.60	4.82	23.22	0.99	0.99	
28.418	25	25.00	3.42	11.68	0.99	0.99	
28.418	30.2	30.20	-1.78	3.17	0.99	0.99	
24.993	4	4.00	20.99	440.69	-2.43	5.91	
24.993	5.8	5.80	19.19	368.35	-2.43	5.91	
24.993	10.78	10.78	14.21	202.00	-2.43	5.91	
28.361	13.7	13.70	14.66	214.93	0.94	0.88	
28.361	13.7	13.70	14.66	214.93	0.94	0.88	
28.361	16.1	16.10	12.26	150.32	0.94	0.88	
28.754	16.9	16.90	11.85	140.52	1.33	1.77	
28.754	16.9	16.90	11.85	140.52	1.33	1.77	
28.754	17.5	17.50	11.25	126.66	1.33	1.77	
25.927	4.12	4.12	21.81	475.55	-1.50	2.24	
25.927	4.1	4.10	21.83	476.43	-1.50	2.24	
25.927	7	7.00	18.93	358.24	-1.50	2.24	
28.965	9	9.00	19.97	398.60	1.54	2.38	
28.965	12.07	12.07	16.90	285.44	1.54	2.38	
28.965	14.3	14.30	14.67	215.06	1.54	2.38	
29.220	14.1	14.10	15.12	228.61	1.80	3.23	
29.220	14.11	14.11	15.11	228.30	1.80	3.23	
29.220	14.12	14.12	15.10	228.00	1.80	3.23	
<b>Σ =</b>	740.44	387.55	387.55	352.89	5499.24	0.00	82.95
<b>n =</b>	27.00						
<b>M.O.=</b>	27.42	14.35					

$$S_y^2 = 3.07$$

$$S_{y/x}^2 = 211.51$$

$$R^2 = -67.84$$





**Σχήμα 4.5.14:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Toutanji ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao - Wu ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )

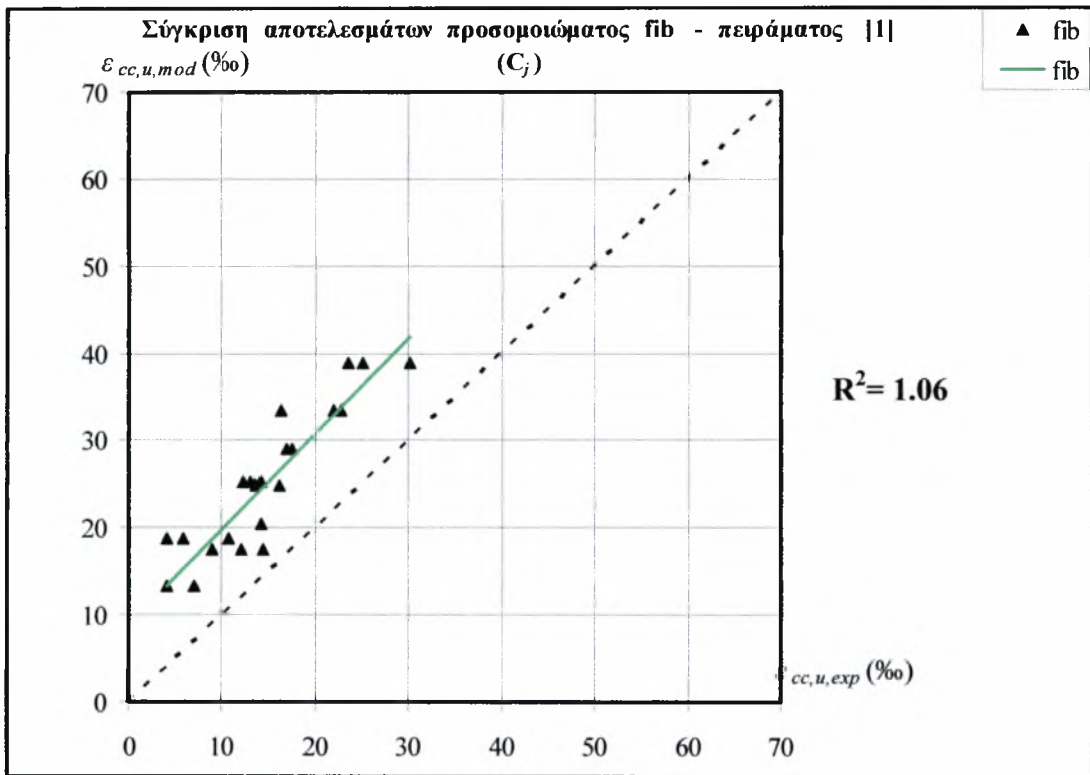
**Πίνακας 4.5.10:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Toutanji αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Xiao - Wu [1]

Toutanji							
Model(y)	Experimental(x)	y'	y-y'	(y-y') <sup>2</sup>	y-y <sub>m</sub>	(y-y <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>	
24.931	12.25	12.25	12.68	160.81	-10.54	111.18	
24.931	13.1	13.10	11.83	139.97	-10.54	111.18	
24.931	14.1	14.10	10.83	117.31	-10.54	111.18	
43.333	16.4	16.40	26.93	725.39	7.86	61.74	
43.333	21.9	21.90	21.43	459.38	7.86	61.74	
43.333	22.7	22.70	20.63	425.72	7.86	61.74	
60.341	23.6	23.60	36.74	1349.91	24.87	618.31	
60.341	25	25.00	35.34	1249.00	24.87	618.31	
60.341	30.2	30.20	30.14	908.49	24.87	618.31	
20.352	4.0	4.00	16.35	267.39	-15.12	228.71	
20.352	5.8	5.80	14.55	211.77	-15.12	228.71	
20.352	10.78	10.78	9.57	91.63	-15.12	228.71	
35.080	13.7	13.70	21.38	457.10	-0.40	0.16	
35.080	13.7	13.70	21.38	457.10	-0.40	0.16	
35.080	16.1	16.10	18.98	360.23	-0.40	0.16	
48.692	16.9	16.90	31.79	1010.72	13.22	174.68	
48.692	16.9	16.90	31.79	1010.72	13.22	174.68	
48.692	17.5	17.50	31.19	972.93	13.22	174.68	
17.065	4.12	4.12	12.95	167.58	-18.41	338.94	
17.065	4.1	4.10	12.97	168.09	-18.41	338.94	
17.065	7.0	7.00	10.07	101.31	-18.41	338.94	
29.155	9.0	9.00	20.15	406.22	-6.32	39.95	
29.155	12.07	12.07	17.08	291.89	-6.32	39.95	
29.155	14.3	14.30	14.85	220.67	-6.32	39.95	
40.329	14.1	14.10	26.23	687.95	4.85	23.56	
40.329	14.11	14.11	26.22	687.43	4.85	23.56	
40.329	14.12	14.12	26.21	686.91	4.85	23.56	
<b>Σ =</b>	957.83	387.55	387.55	570.28	13793.61	0.00	4791.65
<b>n =</b>	27.00						
<b>M.O.=</b>	35.48	14.35					

$$S_y^2 = 177.47$$

$$S_{y/x}^2 = 530.52$$

$$R^2 = -1.99$$



**Σχήμα 4.5.15:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος fib ( $\varepsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao - Wu ( $\varepsilon_{cc,u,exp}$ )

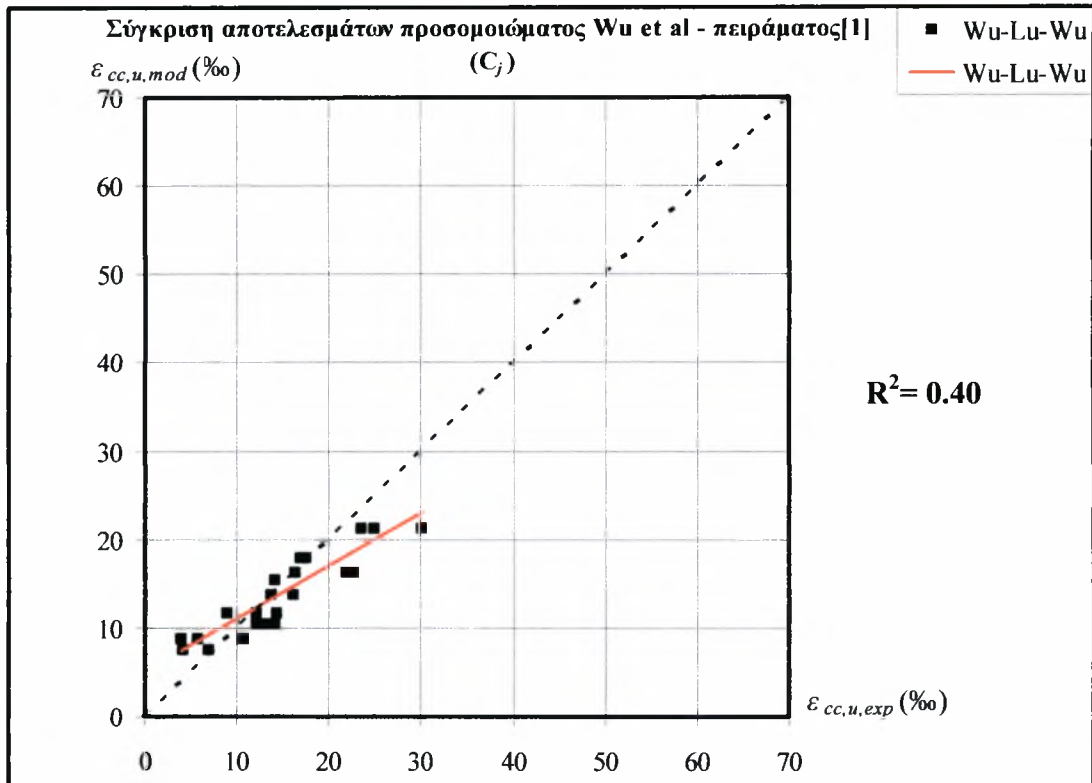
**Πίνακας 4.5.11:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Χiao - Wu [1]

fib							
Model(y)	Experimental(x)	y'	y-y'	(y-y') <sup>2</sup>	y-y <sub>m</sub>	(y-y <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>	
25.301	12.25	12.25	13.05	170.33	0.67	0.44	
25.301	13.1	13.10	12.20	148.87	0.67	0.44	
25.301	14.1	14.10	11.20	125.46	0.67	0.44	
33.390	16.4	16.40	16.99	288.66	8.76	76.66	
33.390	21.9	21.90	11.49	132.02	8.76	76.66	
33.390	22.7	22.70	10.69	114.28	8.76	76.66	
38.943	23.6	23.60	15.34	235.40	14.31	204.72	
38.943	25	25.00	13.94	194.40	14.31	204.72	
38.943	30.2	30.20	8.74	76.44	14.31	204.72	
18.792	4	4.00	14.79	218.82	-5.84	34.13	
18.792	5.8	5.80	12.99	168.80	-5.84	34.13	
18.792	10.78	10.78	8.01	64.20	-5.84	34.13	
24.767	13.7	13.70	11.07	122.48	0.13	0.02	
24.767	13.7	13.70	11.07	122.48	0.13	0.02	
24.767	16.1	16.10	8.67	75.11	0.13	0.02	
29.029	16.9	16.90	12.13	147.11	4.39	19.31	
29.029	16.9	16.90	12.13	147.11	4.39	19.31	
29.029	17.5	17.50	11.53	132.92	4.39	19.31	
13.441	4.12	4.12	9.32	86.89	-11.19	125.28	
13.441	4.1	4.10	9.34	87.26	-11.19	125.28	
13.441	7.0	7.00	6.44	41.49	-11.19	125.28	
17.527	9.0	9.00	8.53	72.71	-7.11	50.52	
17.527	12.07	12.07	5.46	29.78	-7.11	50.52	
17.527	14.3	14.30	3.23	10.41	-7.11	50.52	
20.520	14.1	14.10	6.42	41.22	-4.11	16.93	
20.520	14.11	14.11	6.41	41.09	-4.11	16.93	
20.520	14.12	14.12	6.40	40.96	-4.11	16.93	
<b>Σ =</b>	665.13	387.55	387.55	277.58	3136.69	0.00	1584.05
<b>n =</b>	27.00						
<b>M.O.=</b>	24.63	14.35					

$$S_y^2 = 58.67$$

$$S_{y/x}^2 = 120.64$$

$$R^2 = -1.06$$



Σχήμα 4.5.16: Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Wu et al ( $\varepsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao -Wu ( $\varepsilon_{cc,u,exp}$ )

**Πίνακας 4.5.12:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Wu et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Χiao - Wu [1]

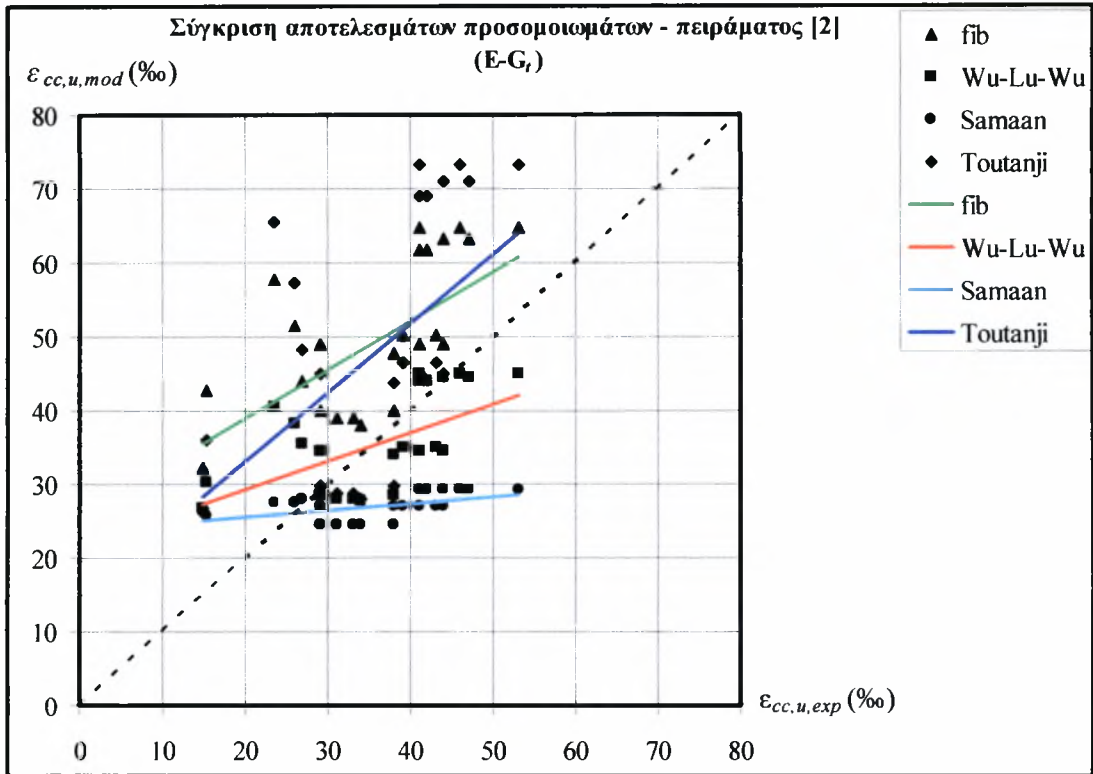
Wu et al							
Model(y)	Experimental(x)	$y'$	$y-y'$	$(y-y')^2$	$y-y_m$	$(y-y_m)^2$	
10.292	12.25	12.25	-1.96	3.84	-3.32	11.03	
10.292	13.1	13.10	-2.81	7.89	-3.32	11.03	
10.292	14.1	14.10	-3.81	14.50	-3.32	11.03	
16.261	16.4	16.40	-0.14	0.02	2.65	7.02	
16.261	21.9	21.90	-5.64	31.79	2.65	7.02	
16.261	22.7	22.70	-6.44	41.45	2.65	7.02	
21.251	23.6	23.60	-2.35	5.52	7.64	58.34	
21.251	25	25.00	-3.75	14.05	7.64	58.34	
21.251	30.2	30.20	-8.95	80.08	7.64	58.34	
8.657	4	4.00	4.66	21.69	-4.96	24.56	
8.657	5.8	5.80	2.86	8.16	-4.96	24.56	
8.657	10.78	10.78	-2.12	4.51	-4.96	24.56	
13.679	13.7	13.70	-0.02	0.00	0.07	0.00	
13.679	13.7	13.70	-0.02	0.00	0.07	0.00	
13.679	16.1	16.10	-2.42	5.86	0.07	0.00	
17.876	16.9	16.90	0.98	0.95	4.26	18.18	
17.876	16.9	16.90	0.98	0.95	4.26	18.18	
17.876	17.5	17.50	0.38	0.14	4.26	18.18	
7.427	4.12	4.12	3.31	10.94	-6.19	38.26	
7.427	4.1	4.10	3.33	11.07	-6.19	38.26	
7.427	7	7.00	0.43	0.18	-6.19	38.26	
11.735	9	9.00	2.74	7.48	-1.88	3.52	
11.735	12.07	12.07	-0.33	0.11	-1.88	3.52	
11.735	14.3	14.30	-2.56	6.58	-1.88	3.52	
15.336	14.1	14.10	1.24	1.53	1.72	2.97	
15.336	14.11	14.11	1.23	1.50	1.72	2.97	
15.336	14.12	14.12	1.22	1.48	1.72	2.97	
<b>Σ =</b>	367.54	387.55	387.55	-20.01	282.29	0.00	491.66
<b>n =</b>	27.00						
<b>M.O.=</b>	13.61	14.35					

$$S_y^2 = 18.21$$

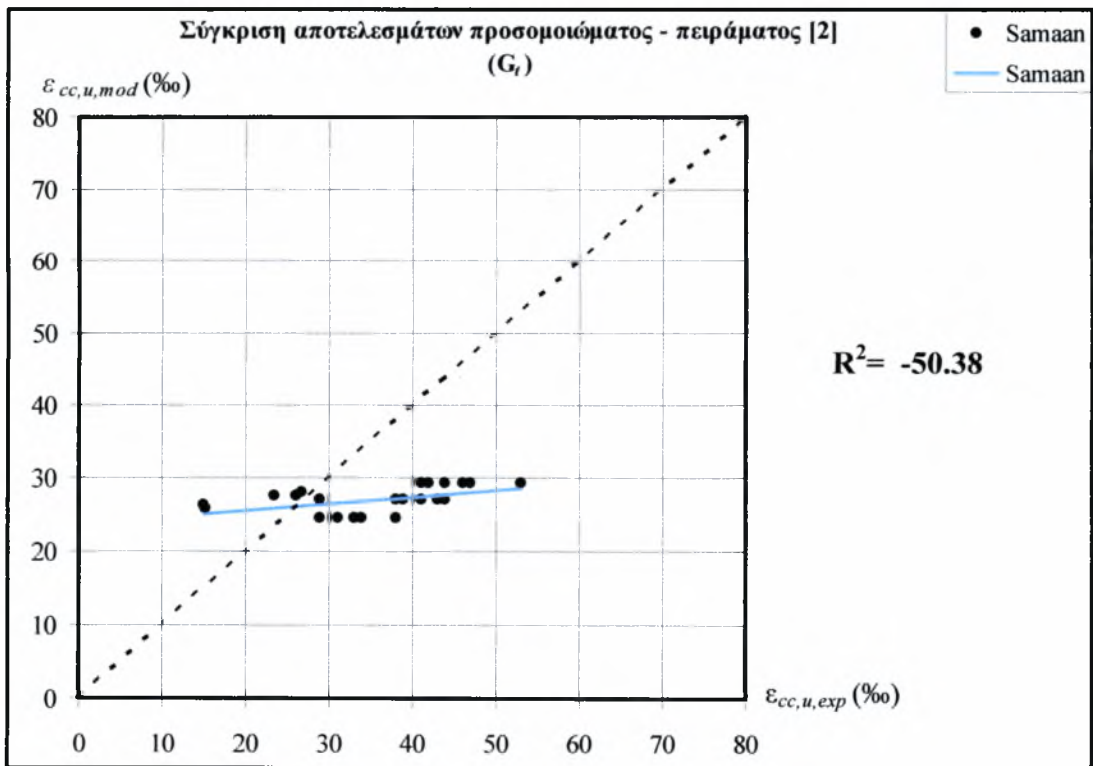
$$S_{y/x}^2 = 10.86$$

$$R^2 = 0.40$$

δ) Πείραμα Mirmiran



Σχήμα 4.5.17: Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao - Wu ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ ) σωλήνων G



Σχήμα 4.5.18: Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Samaan et al ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων A. Mirmiran ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )

**Πίνακας 4.5.13:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Samaan et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών A. Mirmiran [2]

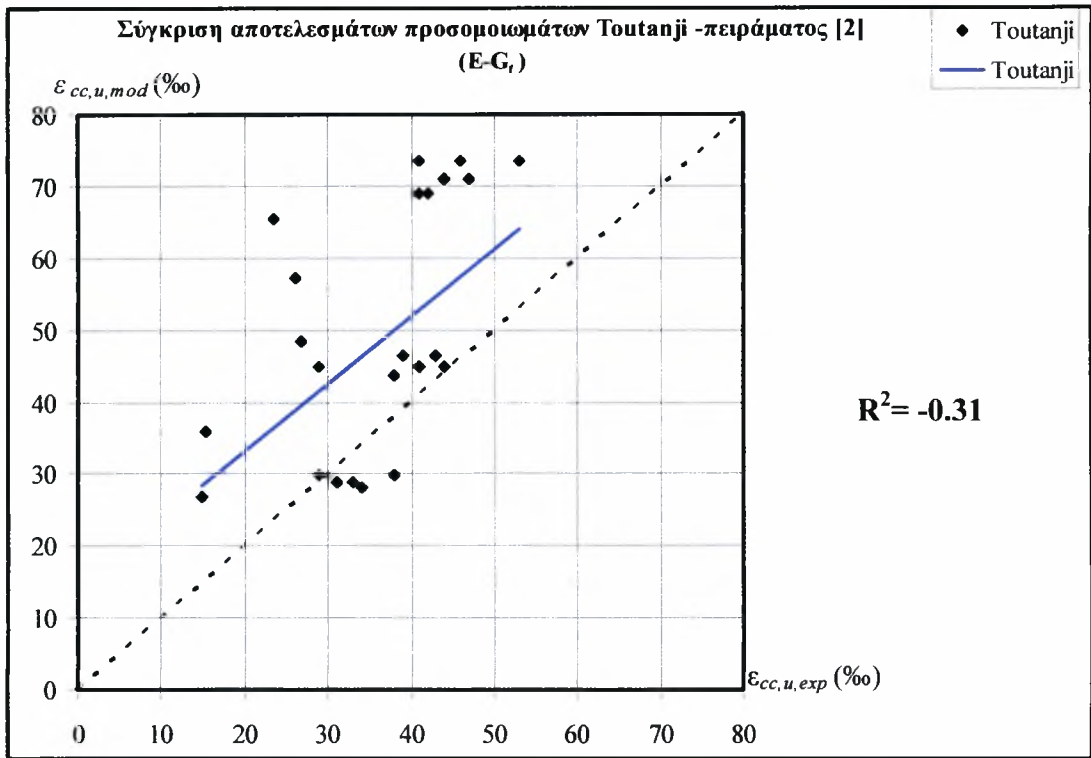
Samaan et al							
Model(y)	Experimental(x)	$y'$	$y-y'$	$(y-y')^2$	$y-y_m$	$(y-y_m)^2$	
27.594	26.1	26.10	1.49	2.23	0.65	0.43	
25.657	15.3	15.30	10.36	107.27	-1.28	1.64	
27.440	23.5	23.50	3.94	15.52	0.50	0.25	
26.364	14.9	14.90	11.46	131.42	-0.58	0.33	
27.875	26.8	26.80	1.08	1.16	0.94	0.88	
24.469	31	31.00	-6.53	42.65	-2.47	6.10	
24.469	33	33.00	-8.53	72.78	-2.47	6.10	
27.079	41	41.00	-13.92	193.79	0.14	0.02	
27.079	29	29.00	-1.92	3.69	0.14	0.02	
27.079	44	44.00	-16.92	286.31	0.14	0.02	
29.237	44	44.00	-14.76	217.95	2.30	5.28	
29.237	47	47.00	-17.76	315.53	2.30	5.28	
24.404	29	29.00	-4.60	21.12	-2.54	6.43	
24.404	38	38.00	-13.60	184.85	-2.54	6.43	
24.404	38	38.00	-13.60	184.85	-2.54	6.43	
27.038	43	43.00	-15.96	254.77	0.10	0.01	
27.038	43	43.00	-15.96	254.77	0.10	0.01	
27.038	39	39.00	-11.96	143.08	0.10	0.01	
29.210	46	46.00	-16.79	281.90	2.27	5.16	
29.210	53	53.00	-23.79	565.95	2.27	5.16	
29.210	41	41.00	-11.79	139.00	2.27	5.16	
24.530	34	34.00	-9.47	89.67	-2.41	5.80	
24.530	34	34.00	-9.47	89.67	-2.41	5.80	
27.118	38	38.00	-10.88	118.41	0.18	0.03	
27.118	38	38.00	-10.88	118.41	0.18	0.03	
29.263	42	42.00	-12.74	162.23	2.32	5.40	
29.263	41	41.00	-11.74	137.76	2.32	5.40	
<b>Σ =</b>	727.36	972.60	972.60	-245.24	4136.77	0.00	83.60
<b>n =</b>	27.00						
<b>M.O.=</b>	26.94	36.02					

$$S_y^2 = 3.10$$

$$S_{y/x}^2 = 159.11$$

$$R^2 = -50.38$$





**Σχήμα 4.5.19:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Toutanji ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων A. Mirmiran ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )

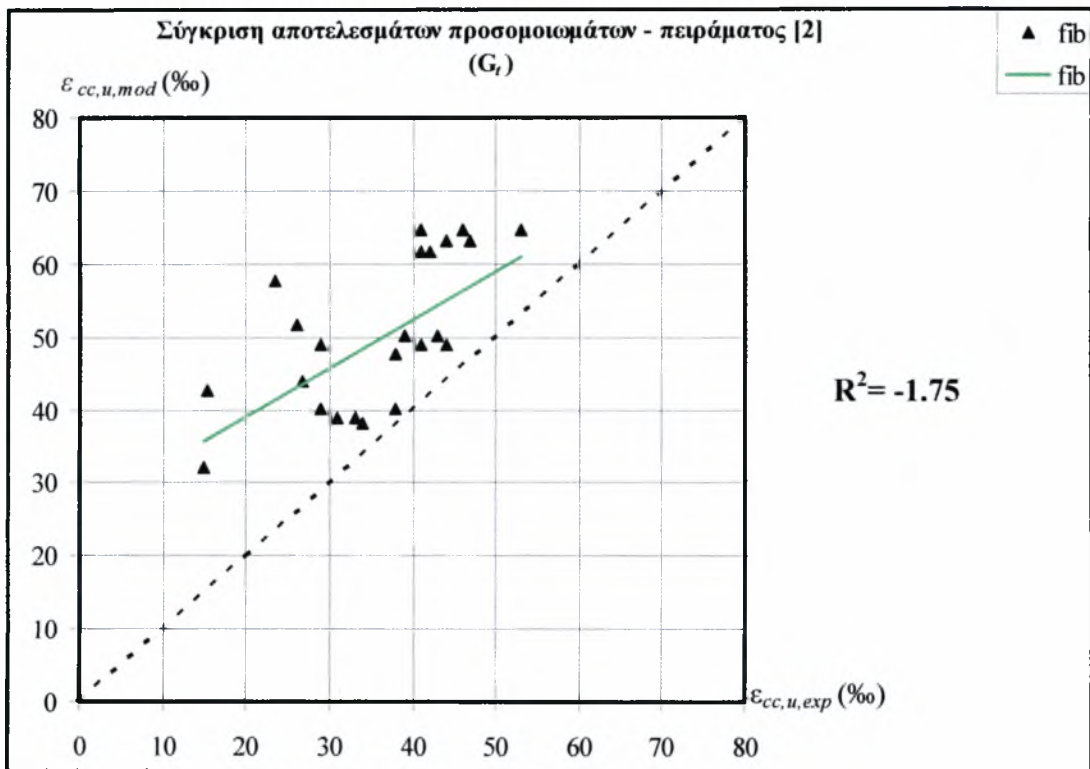
**Πίνακας 4.5.14:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Toutanji αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών A. Mirmiran [2]

<b>Toutanji</b>							
Model(y)	Experimental(x)	$y'$	$y-y'$	$(y-y')^2$	$y-y_m$	$(y-y_m)^2$	
57.151	26.1	26.10	31.05	964.17	9.07	82.32	
35.930	15.3	15.30	20.63	425.61	-12.15	147.57	
65.381	23.5	23.50	41.88	1754.01	17.30	299.38	
26.822	14.9	14.90	11.92	142.14	-21.26	451.82	
48.367	26.8	26.80	21.57	465.15	0.29	0.08	
28.826	31	31.00	-2.17	4.73	-19.25	370.67	
28.826	33	33.00	-4.17	17.43	-19.25	370.67	
44.966	41	41.00	3.97	15.73	-3.11	9.69	
44.966	29	29.00	15.97	254.90	-3.11	9.69	
44.966	44	44.00	0.97	0.93	-3.11	9.69	
70.950	44	44.00	26.95	726.30	22.87	523.11	
70.950	47	47.00	23.95	573.60	22.87	523.11	
29.761	29	29.00	0.76	0.58	-18.32	335.51	
29.761	38	38.00	-8.24	67.88	-18.32	335.51	
29.761	38	38.00	-8.24	67.88	-18.32	335.51	
46.464	43	43.00	3.46	12.00	-1.61	2.60	
46.464	43	43.00	3.46	12.00	-1.61	2.60	
46.464	39	39.00	7.46	55.72	-1.61	2.60	
73.355	46	46.00	27.35	748.29	25.28	638.91	
73.355	53	53.00	20.35	414.32	25.28	638.91	
73.355	41	41.00	32.35	1046.84	25.28	638.91	
28.032	34	34.00	-5.97	35.62	-20.05	401.86	
28.032	34	34.00	-5.97	35.62	-20.05	401.86	
43.694	38	38.00	5.69	32.43	-4.38	19.22	
43.694	38	38.00	5.69	32.43	-4.38	19.22	
68.910	42	42.00	26.91	724.13	20.83	433.95	
68.910	41	41.00	27.91	778.95	20.83	433.95	
<b>Σ =</b>	1298.11	972.60	972.60	325.51	9409.39	0.00	7438.95
<b>n =</b>	27.00						
<b>M.O.=</b>	48.08	36.02					

$$S_y^2 = 275.52$$

$$S_{y/x}^2 = 361.90$$

$$R^2 = -0.31$$



**Σχήμα 4.5.20:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος fib ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων A. Mirmiran ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )

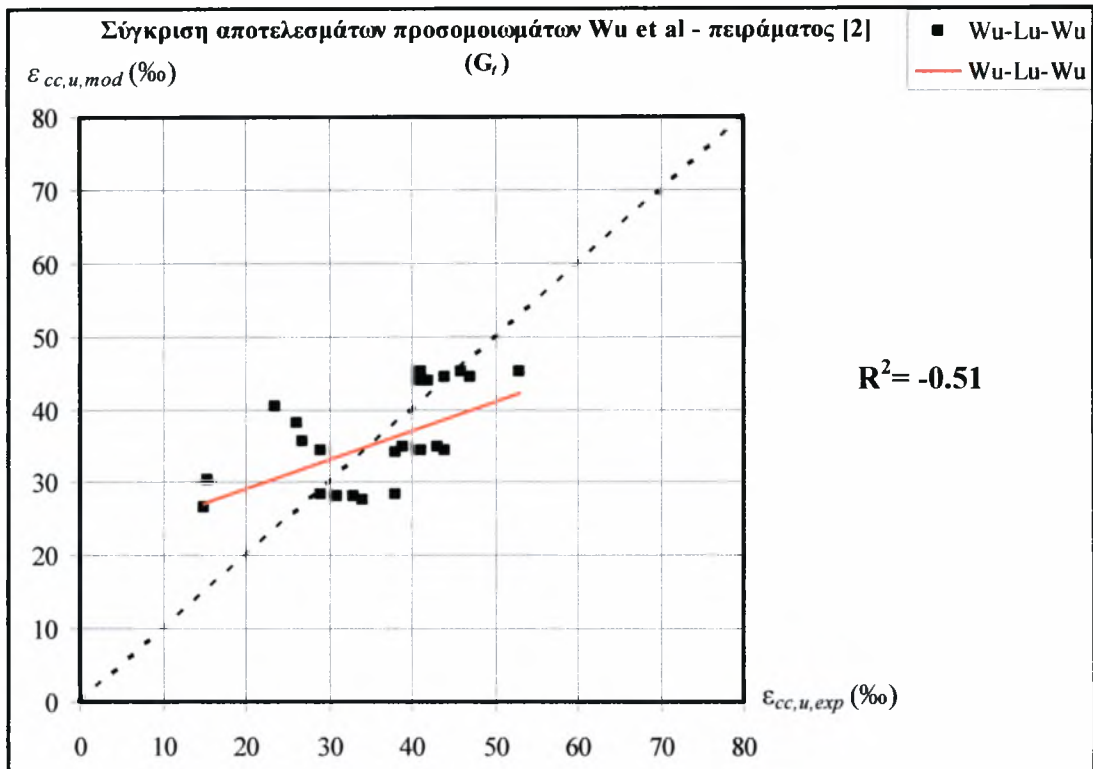
**Πίνακας 4.5.15:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών A. Mirmiran [2]

fib							
Model(y)	Experimental(x)	y'	y-y'	(y-y') <sup>2</sup>	y-y <sub>m</sub>	(y-y <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>	
51.623	26.1	26.10	25.52	651.41	2.02	4.07	
42.729	15.3	15.30	27.43	752.36	-6.88	47.30	
57.704	23.5	23.50	34.20	1169.89	8.10	65.57	
32.181	14.9	14.90	17.28	298.64	-17.43	303.63	
43.982	26.8	26.80	17.18	295.22	-5.62	31.63	
38.979	31	31.00	7.98	63.66	-10.63	112.95	
38.979	33	33.00	5.98	35.75	-10.63	112.95	
48.889	41	41.00	7.89	62.23	-0.72	0.52	
48.889	29	29.00	19.89	395.56	-0.72	0.52	
48.889	44	44.00	4.89	23.90	-0.72	0.52	
63.159	44	44.00	19.16	367.09	13.55	183.69	
63.159	47	47.00	16.16	261.13	13.55	183.69	
40.071	29	29.00	11.07	122.56	-9.54	90.93	
40.071	38	38.00	2.07	4.29	-9.54	90.93	
40.071	38	38.00	2.07	4.29	-9.54	90.93	
50.227	43	43.00	7.23	52.23	0.62	0.39	
50.227	43	43.00	7.23	52.23	0.62	0.39	
50.227	39	39.00	11.23	126.05	0.62	0.39	
64.794	46	46.00	18.79	353.21	15.19	230.66	
64.794	53	53.00	11.79	139.09	15.19	230.66	
64.794	41	41.00	23.79	566.15	15.19	230.66	
38.028	34	34.00	4.03	16.22	-11.58	134.06	
38.028	34	34.00	4.03	16.22	-11.58	134.06	
47.719	38	38.00	9.72	94.45	-1.89	3.56	
47.719	38	38.00	9.72	94.45	-1.89	3.56	
61.722	42	42.00	19.72	388.94	12.12	146.78	
61.722	41	41.00	20.72	429.39	12.12	146.78	
<b>Σ =</b>	1339.37	972.60	972.60	366.77	6836.62	0.00	2581.74
<b>n =</b>	27.00						
<b>M.O.=</b>	49.61	36.02					

$$S_y^2 = 95.62$$

$$S_{y/x}^2 = 262.95$$

$$R^2 = -1.75$$



**Σχήμα 4.5.21:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Wu et al ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων A. Mirmiran ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )

**Πίνακας 4.5.16:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Wu et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών A. Mirmiran [2]

<b>Wu et al</b>						
Model(y)	Experimental(x)	$y'$	$y-y'$	$(y-y')^2$	$y-y_m$	$(y-y_m)^2$
38.185	26.1	26.10	12.09	146.06	2.78	7.75
30.311	15.3	15.30	15.01	225.33	-5.09	25.92
40.436	23.5	23.50	16.94	286.83	5.03	25.34
26.651	14.9	14.90	11.75	138.08	-8.75	76.59
35.553	26.8	26.80	8.75	76.61	0.15	0.02
28.006	31	31.00	-2.99	8.97	-7.40	54.70
28.006	33	33.00	-4.99	24.94	-7.40	54.70
34.448	41	41.00	-6.55	42.93	-0.95	0.91
34.448	29	29.00	5.45	29.68	-0.95	0.91
34.448	44	44.00	-9.55	91.25	-0.95	0.91
44.452	44	44.00	0.45	0.20	9.05	81.91
44.452	47	47.00	-2.55	6.49	9.05	81.91
28.404	29	29.00	-0.60	0.36	-7.00	48.97
28.404	38	38.00	-9.60	92.08	-7.00	48.97
28.404	38	38.00	-9.60	92.08	-7.00	48.97
34.937	43	43.00	-8.06	65.01	-0.46	0.22
34.937	43	43.00	-8.06	65.01	-0.46	0.22
34.937	39	39.00	-4.06	16.51	-0.46	0.22
45.084	46	46.00	-0.92	0.84	9.68	93.75
45.084	53	53.00	-7.92	62.66	9.68	93.75
45.084	41	41.00	4.08	16.68	9.68	93.75
27.662	34	34.00	-6.34	40.18	-7.74	59.92
27.662	34	34.00	-6.34	40.18	-7.74	59.92
34.024	38	38.00	-3.98	15.81	-1.38	1.90
34.024	38	38.00	-3.98	15.81	-1.38	1.90
43.906	42	42.00	1.91	3.63	8.50	72.32
43.906	41	41.00	2.91	8.44	8.50	72.32
<b>Σ =</b>	955.85	972.60	972.60	1612.64	0.00	1108.65
<b>n =</b>	27.00					
<b>M.O.=</b>	35.40	36.02				

$$S_y^2 = 41.06$$

$$S_{y/x}^2 = 62.02$$

$$R^2 = -0.51$$

Συγκεφαλαιωτικά παρά τα συμπεράσματα που βγάλαμε στην παράγραφο 4.2 και 4.3 αναφορικά με το προσομοίωμα που παρέχει τις καλύτερες προβλέψεις για την οριακή αντοχή και παραμόρφωση των ενισχυμένων κυλίνδρων με σύνθετα υλικά, τα παραπάνω συμπεράσματα φαίνεται να αλλάζουν λίγο μετά τον υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης  $R^2$ .

Για την πρόβλεψη της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη το προσομοίωμα των Wu et al εμφανίζει τον μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης για μανδύα ΙΟΠ ινών αραμιδίου (0.94) και ινών άνθρακα (0.30 για τα πειράματα των Καραμπίνη – Ρουσάκη και 0.34 για τα πειράματα των Χiao – Wu). Τέλος για τους σωλήνες ινών γυαλιού τύπου E το προσομοίωμα με τον μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης είναι της fib (0.22).

Οι προβλέψεις των οριακών παραμορφώσεων παρουσιάζουν μικρότερη συσχέτιση από τις προβλέψεις των αντοχών, επιβεβαιώνοντας τα συμπεράσματα πολλών ερευνητών πως τα προσομοιώματα γενικά αποτυγχάνουν στην πρόβλεψη των παραμορφώσεων. Για μανδύα ΙΟΠ ινών αραμιδίου το προσομοίωμα των Wu et al εμφανίζει τον μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης(-1.07), καθώς και για μανδύα ινών άνθρακα (0.03 για τα πειράματα Καραμπίνη- Ρουσάκη και 0.40 για τα πειράματα των Χiao – Wu). Όσον αφορά την πρόβλεψη της παραμόρφωσης θραύσης σύνθετων κυλίνδρων από ίνες γυαλιού με σκυρόδεμα στο εσωτερικό τους το προσομοίωμα του Toutanji παρουσιάζει τον μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης(-0.31).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

#### 5.1 Γενικά

Όπως διαπιστώθηκε από την σύγκριση των τιμών της αντοχής και της παραμόρφωσης θραύσης των ενισχυμένων κυλίνδρων που προβλέπουν τα προσομοιώματα με τα πειραματικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την πραγματοποίηση των πειραμάτων, όλα τα προσομοιώματα υπερεκτιμούν την αντοχή και την παραμόρφωση θραύσης παρόλο που ο κάθε ερευνητής υποστηρίζει πως το προσομοίωμα που προτείνει περιγράφει την συμπεριφορά των περισφιγμένων κυλίνδρων καλλίτερα. Η υπερεκτίμηση του λόγου  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  και αντίστοιχα του λόγου  $\epsilon_{cc,u,mod}/\epsilon_{cc,u,exp}$  σημαίνει πως η πρόβλεψη είναι κατά της ασφαλείας. Δηλαδή για την επιτεύξη μιας συγκεκριμένης τάσης ή παραμόρφωσης, με βάση τα προσομοιώματα, θα χρειαστούν λιγότερες στρώσεις σύνθετου υλικού ή ΙΟΠ μικρότερης αντοχής.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα υπολογιστούν 'συντελεστές ασφαλείας'. Για τον προσδιορισμό των συντελεστών έγινε ταξινόμηση (βλ. Πιν.5.1.1) των πειραμάτων που αναλύονται στην παρούσα διπλωματική εργασία και στα οποία εφαρμόστηκαν τα προσομοιώματα:

Πίνακας 5.1.1: Ιδιότητες πειραμάτων

	P. Rochette- P. Labossiere	Guoqiang Li	A. Καραμπίνης- Θ. Ρουσάκης	A. Mirmiran	Y. Xiao- H. Wu
Ίνες Ανθρακα	•		•		•
Ίνες Αραμίδης	•				
Ίνες E-glass		•		•	
Δοκίμιο 150*300 mm	•	•		•	•
Δοκίμιο 100*200 mm	•				
Δοκίμιο 200*320 mm			•		
Μανδύας ΙΟΠ	•	•	•		•
Σωλήνας ΙΟΠ				•	



## 5.2 Συντελεστές ασφαλείας για ενίσχυση με μανδύα σύνθετων υλικών

### 5.2.1 Καθορισμός $\gamma_{cf}$ - $\gamma_{c,e}$

#### α) Καθορισμός $\gamma_{cf}$

Αρχικά έγινε προσπάθεια προσδιορισμού του συντελεστή ασφαλείας της αντοχής κυλίνδρων ενισχυμένων με μανδύα ΙΟΠ από ίνες άνθρακα. Συγκεντρώθηκαν όλα τα πειράματα και οι αντίστοιχες προβλέψεις (για κάθε πείραμα) που προέκυψαν από την εφαρμογή του κάθε προσομοιώματος.

Οι λόγοι  $f_{cc,u,mod} / f_{cc,u,exp}$  όπως έχει ειπωθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, αυξάνονται όσο αυξάνεται η αντοχή  $f_{co}$  του απερίσφιγκτου σκυροδέματος. Οι συντελεστες ασφαλείας λοιπόν, θα υιοθετηθούν ανάλογα με την  $f_{co}$ . Έτσι έως 50 MPa προτείνεται διαφορετικός συντελεστής από ότι για αντοχή >50 MPa .

Οι πίνακες που ακολουθούν είναι κατά αύξουσα σειρά αντοχής  $f_{co}$ .

**Πίνακας 5.2.1:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod} / f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 33.68$  MPa (ίνες C)

Πείραμα Χ i a o - W u				
$f_{co} = 33.68$ MPa				
	αριθμός δοκιμών ανά πάχος	$f_{cc,u,mod} / f_{cc,u,exp}$		
		t = 0.381 mm	t = 0.762 mm	t = 1.143 mm
Wu et al	3	1.26	1.24	1.21
fib	3	1.41	1.19	1.11
Samaan	3	1.32	1.07	1.01
Toutanji	3	1.52	1.36	1.39

**Πίνακας 5.2.2:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod} / f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 35.70$  MPa (ίνες C)

Πείραμα Κ α ρ α μ π ί ν η - Ρ ο υ σ ά κ η				
$f_{co} = 35.7$ MPa				
	αριθμός δοκιμών ανά πάχος	$f_{cc,u,mod} / f_{cc,u,exp}$		
		t = 0.117 mm	t = 0.234 mm	t = 0.351 mm
Wu et al	3-2-2	1(0.90)*	1.24	1.22
fib	3-2-2	1.23	1.37	1.22
Samaan	3-2-2	1.26	1.28	1.10
Toutanji	3-2-2	1.36	1.49	1.36

**Πίνακας 5.2.3:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 38.50$  MPa (ίνες C)

<b>Πείραμα Καραμπίνη - Ρουσάκη</b>				
$f_{co} = 38.5$ Mpa				
	αριθμός δοκιμών ανά πάχος	$f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$		
		t = 0.117 mm	t = 0.234 mm	t = 0.351mm
Wu et al	2	1(0.94)*	1.18	1.52
fib	2	1.33	1.34	1.56
Samaan et al	2	1.31	1.24	1.39
Toutanji	2	1.41	1.44	1.73

\* ο αντίστοιχος συντελεστής είναι <1 άρα ο συντελεστής ασφαλείας θα είναι 1

**Πίνακας 5.2.4 :** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 42.00$  MPa (ίνες C)

<b>Πείραμα Rochette - Labossiere</b>		
$f_{co} = 42$ MPa		
	αριθμός δοκιμών	$f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$
		t = 0.600 mm
Wu et al	3	1.07
Fib	3	1.32
Samaan	3	1.15
Toutanji	3	1.45

**Πίνακας 5.2.5:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 43.77$  MPa (ίνες C)

<b>Πείραμα Χιαο - Wu</b>				
$f_{co} = 43.77$ Mpa				
	Αριθμός δοκιμών ανά πάχος	$f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$		
		t = 0.381 mm	t = 0.762 mm	t = 1.143 mm
Wu et al	3	1.21	1.21	1.31
fib	3	1.46	1.24	1.24
Samaan	3	1.35	1.07	1.06
Toutanji	3	1.55	1.36	1.44

**Πίνακας 5.2.6:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 55.21$  MPa (ίνες C)

<b>Πείραμα Χιαο - Wu</b>				
$f_{co} = 55.21$ Mpa				
	Αριθμός δοκιμών ανά πάχος	$f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$		
		t = 0.381 mm	t = 0.762 mm	t = 1.143 mm
Wu et al	3	1.14	1.38	1.26
fib	3	1.50	1.52	1.26
Samaan	3	1.36	1.27	1.03
Toutanji	3	1.56	1.60	1.39

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή ασφαλείας  $\gamma_{cf}$  αρχικά υπολογίζουμε τους μέσους όρους κάθε προσομοιώματος

- Για το προσομοίωμα των Wu et al:

$$0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{cf} = (3*(1.26+1.24+1.21+1) + 2*(1.24+1.22+1+1.18) + 3*(1.07+1.22+1.38+1.26)) / 34 \rightarrow \gamma_{cf} = 1.20$$

$$f_{co} > 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{cf} = (1.14 + 1.38 + 1.26) / 3 \rightarrow \gamma_{cf} = 1.30$$

- Για το προσομοίωμα των Samaan et al:

$$0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{cf} = (3*(1.32+1.07+1.01+1.26) + 2*(1.28+1.10+1.31+1.24) + 3*(1.15+1.35+1.07+1.06)) / 32 \rightarrow \gamma_{cf} = 1.20$$

$$f_{co} > 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{cf} = (1.36 + 1.27 + 1.03) / 3 \rightarrow \gamma_{cf} = 1.25$$

- Για το προσομοίωμα του Toutanji :

$$0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{cf} = (3*(1.52+1.36+1.39+1.36) + 2*(1.49+1.36+1.41+1.44) + 3*(1.45+1.55+1.36+1.44)) / 32 \rightarrow \gamma_{cf} = 1.40$$

$$f_{co} > 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{cf} = (1.56 + 1.60 + 1.39) / 3 \rightarrow \gamma_{cf} = 1.50$$

- Για το προσομοίωμα που προτείνει η fib :

$$0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{cf} = (3*(1.41 + 1.19 + 1.11 + 1.23) + 2*(1.37+1.22 + 1.33 + 1.34) + 3*(1.32 + 1.46 + 1.24 + 1.24)) / 32 \rightarrow \gamma_{cf} = 1.30$$

$$f_{co} > 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{cf} = (1.50 + 1.52 + 1.26) / 3 \rightarrow \gamma_{cf} = 1.30$$

Παρατηρώντας τις τιμές των συντελεστών ασφαλείας κάθε προσομοιώματος συμπεραίνουμε πως για τα προσομοιώματα των Samaan et al και Wu et al θα επιλέξουμε ενιαίο συντελεστή ασφαλείας:

$$0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{cf} = 1.20$$

$$f_{co} > 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{cf} = 1.30$$

Για το προσομοίωμα του Toutanji και εκείνο που προτείνεται από την fib δεν μπορούμε να κάνουμε το ίδιο γιατί παρουσιάζουν αξιόλογες διαφορές έτσι κρατάμε τις τιμές που προέκυψαν από τις παραπάνω πράξεις.

### β) Καθορισμός $\gamma_{c,e}$

Στην συνέχεια θα προσδιορίσουμε με αντίστοιχο τρόπο του συντελεστές ασφαλείας για τις παραμορφώσεις  $\gamma_{c,e}$ .

**Πίνακας 5.2.7:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 33.68$  MPa (ίνες C)

<b>Πείραμα Χ i a ο - W u</b>				
$f_{co} = 33.68$ MPa				
	αριθμός δοκιμών ανά πάχος	$\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$		
		t = 0.381 mm	t = 0.762 mm	t = 1.143 mm
Wu et al	3	1(0.79)	1(0.82)	1(0.82)
fib	3	1.93	1.68	1.50
Samaan	3	1.85	1.40	1.09
Toutanji	3	1.90	2.18	2.32

**Πίνακας 5.2.8:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 35.70$  MPa (ίνες C)

<b>Πείραμα Κ α ρ α μ π ί ν η - Ρ ο υ σ ά κ η</b>				
$f_{co} = 35.7$ MPa				
	αριθμός δοκιμών ανά πάχος	$\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$		
		t = 0.117 mm	t = 0.234 mm	t = 0.351mm
Wu et al	3-2-2	1(0.66)	1.03	1(0.84)
fib	3-2-2	3.02	2.12	1.55
Samaan	3-2-2	3.48	2.41	1.63
Toutanji	3-2-2	2.49	2.24	1.92

**Πίνακας 5.2.9:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 38.50$  MPa (ίνες C)

<b>Πείραμα Κ α ρ α μ π ί ν η - Ρ ο υ σ ά κ η</b>				
$f_{co} = 38.5$ MPa				
	αριθμός δοκιμών ανά πάχος	$\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$		
		t = 0.117 mm	t = 0.234 mm	t = 0.351mm
Wu et al	2	1(0.75)	1.19	1.39
fib	2	3.27	2.69	8.62
Samaan et al	2	2.63	2.95	2.87
Toutanji	2	2.72	4.00	4.92

**Πίνακας 5.2.10:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod} / \varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 42.00$  MPa (ίνες C)

<b>Πείραμα Rochette - Labossiere</b>		
$f_{co} = 42$ MPa		
	αριθμός δοκιμίων	$\varepsilon_{cc,u,mod} / \varepsilon_{cc,u,exp}$
		t = 0.600 mm
Wu et al	3	1(0.91)
fib	3	1.64
Samaan	3	1.90
Toutanji	3	2.38

**Πίνακας 5.2.11:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod} / \varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 43.77$  MPa (ίνες C)

<b>Πείραμα Xiao - Wu</b>				
$f_{co} = 43.77$ MPa				
	αριθμός δοκιμίων ανά πάχος	$\varepsilon_{cc,u,mod} / \varepsilon_{cc,u,exp}$		
		t = 0.381 mm	t = 0.762 mm	t = 1.143 mm
Wu et al	3	1.49	1(0.95)	1.05
fib	3	3.23	1.72	1.70
Samaan	3	4.29	1.97	1.68
Toutanji	3	3.50	2.43	2.85

**Πίνακας 5.2.12:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod} / \varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 55.21$  MPa (ίνες C)

<b>Πείραμα Xiao - Wu</b>				
$f_{co} = 55.21$ MPa				
	αριθμός δοκιμίων ανά πάχος	$\varepsilon_{cc,u,mod} / \varepsilon_{cc,u,exp}$		
		t = 0.381 mm	t = 0.762 mm	t = 1.143 mm
Wu et al	3	1.46	1.03	1.09
fib	3	2.82	1.54	1.45
Samaan	3	5.44	2.55	2.56
Toutanji	3	3.58	2.56	2.86

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή ασφαλείας  $\gamma_{c,e}$  αρχικά υπολογίζουμε τους μέσους όρους κάθε προσομοιώματος

- Για το προσομοίωμα των Wu et al:

$$0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{c,f} = (3 \cdot (1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1.49 + 1 + 1.05) + (1.03 + 1 + 1 + 1.19) \cdot 2) / 32 \rightarrow \gamma_{c,f} = 1.05$$

$$f_{co} > 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{c,f} = (1.46 + 1.03 + 1.09) / 3 \rightarrow \gamma_{c,f} = 1.20$$

- Για το προσομοίωμα των Samaan et al:

$$0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{cf} = (3 * (1.85+1.40+1.09+1.90 +1.97+1.68+3.48+4.29) + (2.41 +1.63+2.63+2.95) * 2) / 32 \rightarrow \gamma_{cf} = 2.15$$

$$f_{co} > 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{cf} = (5.44+2.55+2.56) / 3 \rightarrow \gamma_{cf} = 3.50$$

- Για το προσομοίωμα του Toutanji:

$$0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{cf} = (3*(1.90+2.18+2.32+2.49+2.38+3.50+2.43+12.85)*3 + (2.24+1.92+2.72+4)*2) / 32 \rightarrow \gamma_{cf} = 2.40$$

$$f_{co} > 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{cf} = (3.58+2.56+2.86) / 3 \rightarrow \gamma_{cf} = 3.00$$

- Για το προσομοίωμα που προτείνει η fib :

$$0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{cf} = (3*(1.93+1.68+1.50+3.02+1.64+1.54+1.45+2.82)*3 + (2.12+ 1.55+3.27+2.69)*2) / 32 \rightarrow \gamma_{cf} = 2.00$$

$$f_{co} > 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{cf} = (2.82+1.54+1.45) / 3 \rightarrow \gamma_{cf} = 1.90 = 2.00$$

## 5.2.2 Καθορισμός $\gamma_{af} - \gamma_{a,\varepsilon}$

### α) Καθορισμός $\gamma_{af}$

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή ασφαλείας της αντοχής σε κυλίνδρους ενισχυμένους με μανδύα ΙΟΠ από ίνες αραμιδίου, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τα πειράματα των Pierre Rochette και Pierre Labossiere.

**Πίνακας 5.2.13:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 43.00 \text{ MPa}$  (ίνες A)

Πείραμα Rochette - Labossiere					
$f_{co} = 43 \text{ MPa}$					
	αριθμός δοκιμών	$f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$			
		t = 1.260 mm	t = 2.520 mm	t = 3.780 mm	t = 5.040 mm
Wu et al	1	0.97	0.96	0.95	1.05
fib	1	1.39	1.22	1.15	1.20
Samaan	1	1.35	0.99	0.82	1.13
Toutanji	1	1.44	1.32	1.30	1.43

- Για το προσομοίωμα των Wu et al :  
 $0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{af} = (0.97 + 0.96 + 0.95 + 1.05) / 4 \rightarrow \gamma_{af} = 1.00$
- Για το προσομοίωμα των Samaan et al :  
 $0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{af} = (1.35 + 0.99 + 0.82 + 1.13) / 4 \rightarrow \gamma_{af} = 1.10$
- Για το προσομοίωμα του Toutanji :  
 $0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{af} = (1.44 + 1.32 + 1.30 + 1.43) / 4 \rightarrow \gamma_{af} = 1.40$
- Για το προσομοίωμα που προτείνει το fib :  
 $0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{af} = (1.39 + 1.22 + 1.15 + 1.20) / 4 \rightarrow \gamma_{af} = 1.20$

### β) Καθορισμός $\gamma_{a,\varepsilon}$

Ακολούθως προσδιορίζεται ο συντελεστής ασφαλείας παραμορφώσεων για τις ίνες αραμιδίου από τα παρακάτω δεδομένα:

**Πίνακας 5.2.14:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod} / \varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 43.00 \text{ MPa}$  (ίνες Α)

Πείραμα Rochette - Labossiere					
$f_{co} = 43 \text{ MPa}$					
	αριθμός δοκιμίων	$\varepsilon_{cc,u,mod} / \varepsilon_{cc,u,exp}$			
		t = 1.260 mm	t = 2.520mm	t = 3.780 mm	t = 5.040 mm
Wu et al	1	1(0.59)	1(0.66)	1(0.75)	1(0.88)
fib	1	1.44	1.42	1.46	1.59
Samaan	1	1.77	1.34	1.16	1.74
Toutanji	1	1.19	1.51	1.80	2.21

Ακολούθως υπολογίζονται οι μέσοι όροι για κάθε προσομοίωμα, σημειώνεται ότι στο προσομοίωμα των Wu et al σε παρένθεση αναγράφεται ο πραγματικός λόγος  $\varepsilon_{cc,u,mod} / \varepsilon_{cc,u,exp}$ , αλλά επειδή δεν θα χρησιμοποιηθεί αυξητικός συντελεστής ο συντελεστής ασφαλείας λαμβάνεται ίσος με την μονάδα, ενώ για τα άλλα τρία υπολογίζουμε τους μέσους όρους.

- Για το προσομοίωμα της fib :  
 $0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{af} = (1.44 + 1.42 + 1.46 + 1.59) / 4 \rightarrow \gamma_{a,\varepsilon} = 1.477$   
 $\rightarrow \gamma_{a,\varepsilon} = 1.50$

- Για το προσομοίωμα των Samaan et al :

$$0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{a,f} = ( 1.77 + 1.34 + 1.16 + 1.74 ) / 4 \rightarrow \gamma_{a,\varepsilon} = 1.50$$

- Για το προσομοίωμα του Toutanji :

$$0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{a,f} = ( 1.19 + 1.51 + 1.80 + 2.21 ) / 4 \rightarrow \gamma_{a,\varepsilon} = 1.68$$

$$\rightarrow \gamma_{a,\varepsilon} = 1.70$$

### 5.3 Συντελεστές ασφαλείας για ενίσχυση με σωλήνα σύνθετων υλικών

Προσδιορίστηκε συντελεστής ασφαλείας και για κυλίνδρους, στους οποίους δεν χρησιμοποιήθηκε μανδύας ΙΟΠ αλλά σωλήνας σύνθετων υλικών. Τα πειραματικά στοιχεία που είχαμε στην διάθεση μας, περιλάμβαναν σύνθετο υλικό με ίνες E-glass. Τα παρακάτω στοιχεία προέρχονται από τα πειράματα των Amir Mirmiran. Οι πίνακες έχουν ταξινομηθεί κατά αύξουσα σειρά της αντοχής του απερίσφιγκτου σκυροδέματος  $f_{co}$ .

**Πίνακας 5.3.1:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 20.69 \text{ MPa}$  (σωλήνας E-Glass)

<b>Πείραμα Mirmiran</b>			
<b><math>f_{co} = 20.69 \text{ MPa}</math></b>			
	αριθμός δοκιμών	$f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$	
		t = 1.880 mm	t = 3.302 mm
Wu et al	1	1(0.931)	1(0.554)
fib	1	1.036	1(0.564)
Samaan	1	1.018	1(0.615)
Toutanji	1	1.23	1(0.836)

**Πίνακας 5.3.2:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 29.64 \text{ MPa}$  (σωλήνας E-Glass)

<b>Πείραμα M i r m i r a n</b>				
<b><math>f_{co} = 29.64 \text{ MPa}</math></b>				
	αριθμός δοκιμών ανά πάχος σωλήνα	$f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$		
		t = 1.346 mm	t = 2.080 mm	t = 2.997 mm
Wu et al	3	1(0.95)	1(0.88)	1(0.90)
fib	3	1.039	1(0.98)	1(0.97)
Samaan	3	1(0.96)	1(0.90)	1(0.92)
Toutanji	3	1.13	1.15	1.45



**Πίνακας 5.2.3:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 30.86$  MPa (σωλήνας E-Glass)

<b>Πείραμα Mirmiran</b>				
$f_{co} = 30.86$ MPa				
	αριθμός δοκιμίων	$f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$		
		t = 1.346 mm	t = 2.080 mm	t = 2.997 mm
Wu et al	2-3-2	1.08	1(0.99)	1.01
fib	2-3-2	1.17	1.10	1.09
Samaan	2-3-2	1.08	1.01	1.03
Toutanji	2-3-2	1.27	1.28	1.42

**Πίνακας 5.3.4:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 31.03$  MPa (σωλήνας E-Glass)

<b>Πείραμα Mirmiran</b>			
$f_{co} = 31.03$ MPa			
	αριθμός δοκιμίων	$f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$	
		t = 1.880 mm	t = 3.302 mm
Wu et al	1	1.04	1(0.98)
fib	1	1.16	1.06
Samaan	1	1.05	1(0.998)
Toutanji	1	1.29	1.38

**Πίνακας 5.3.5:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 31.97$  MPa (σωλήνας E-Glass)

<b>Πείραμα Mirmiran</b>				
$f_{co} = 31.97$ MPa				
	αριθμός δοκιμίων ανά πάχος σωλήνα	$f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$		
		t = 1.346 mm	t = 2.080 mm	t = 2.997 mm
Wu et al	2	1.01	1(0.94)	1.04
fib	2	1.10	1.05	1.13
Samaan	2	1.01	1(0.95)	1.05
Toutanji	2	1.19	1.21	1.45

**Πίνακας 5.3.6:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 36.54$  MPa (σωλήνας E-Glass)

<b>Πείραμα Mirmiran</b>			
$f_{co} = 36.54$ MPa			
	αριθμός δοκιμίων	$f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$	
		t = 1.880 mm	t = 3.302 mm
Wu et al	1	----	1(0.940)
fib	1	----	1.03
Samaan	1	----	1(0.93)
Toutanji	1	----	1.28

**Πίνακας 5.3.7:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 40.61$  MPa (σωλήνας E-Glass)

<b>Πείραμα Mirmiran</b>			
<b><math>f_{co} = 40.61</math> MPa</b>			
	αριθμός δοκιμίων	$f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$	
		t = 1.880 mm	t = 3.302 mm
Wu et al	1	1(0.89)	1(0.83)
fib	1	1(0.97)	1(0.92)
Samaan	1	1(0.86)	1(0.81)
Toutanji	1	1.06	1.11

**Πίνακας 5.3.8:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 44.82$  MPa (σωλήνας E-Glass)

<b>Πείραμα Mirmiran</b>			
<b><math>f_{co} = 44.82</math> MPa</b>			
	αριθμός δοκιμίων	$f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$	
		t = 1.880 mm	t = 3.302 mm
Wu et al	1	1.38	1.05
fib	1	1.49	1.16
Samaan	1	1.31	1.00
Toutanji	1	1.61	1.38

**Πίνακας 5.3.9:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 46.89$  MPa (σωλήνας E-Glass)

<b>Πείραμα Mirmiran</b>			
<b><math>f_{co} = 46.89</math> MPa</b>			
	αριθμός δοκιμίων	$f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$	
		t = 1.880 mm	t = 3.302 mm
Wu et al	1	1.12	1(0.88)
fib	1	1.20	1(0.98)
Samaan	1	1.06	1(0.83)
Toutanji	1	1.29	1.15

- Για το προσομοίωμα των Wu et al :

$$0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{g,f(t)} = (3*(1+1+1) + 2*(1.08+1.01)+3*1+ 1.04+ 1+ 2*(1.01+1+1.04)+1+1+1+1.38+1.05+1.12+1) / 33$$

$$\rightarrow \gamma_{g,f(t)} = 1.00$$

Άρα  $\gamma_{g,f(t)} = 1$ . Δηλαδή οι προβλέψεις του προσομοιώματος των Wu et al δεν χρειάζονται συντελεστή ασφαλείας.

- Για το προσομοίωμα των Samaan et al :

$$0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{g,f(t)} = (1.018+0.615 + 3*(0.96+0.90+0.92) + 2*(1.08+1.03) + 3*1.01 + 0.998 + 2*(1.01+0.95+1.05)+0.93 + 0.86 + 0.81+1.31 + 1+ 1.06+0.83)/33 \rightarrow \gamma_{g,f(t)} = 0.94 = 1$$

- Για το προσομοίωμα που προτείνει η fib :

$$0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{g,f(t)} = (1.036 + 0.564+3*(1.039+0.98+0.97) + 2*(1.17+1.09) + 3*1.10 + 1.16 + 1.06 + 2*(1.10+1.05+1.13) + 1.03 + 0.97+ 0.92+ 1.49+ 1.16+ 1.20+ 0.98) / 33 \rightarrow \gamma_{g,f(t)} = 1.02 = 1$$

- Για το προσομοίωμα του Toutanji :

$$0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow (1.23 + 0.836+ 3*(1.13+1.15+1.45) + 2*(1.27+1.42) + 3*1.28 + 1.29 + 1.38 + 2*(1.19+1.21+1.45) + 1.28 + 1.06+ 1.11+ 1.61+ 1.38+ 1.29+ 1.15) / 33 \rightarrow \gamma_{g,f(t)} = 1.24 = 1.20$$

Οι συντελεστές ασφαλείας θα προσδιοριστούν από τα αντίστοιχα αποτελεσμάτα για τις παραμορφώσεις. Οι πίνακες με τους λόγους  $\epsilon_{cc,u,mod} / \epsilon_{cc,u,exp}$  είναι οι παρακάτω:

**Πίνακας 5.3.10:** Λόγοι  $\epsilon_{cc,u,mod} / \epsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 20.69 \text{ MPa}$  (σωλήνας E-Glass)

Πείραμα Mirmiran			
$f_{co} = 20.69 \text{ MPa}$			
	αριθμός δοκιμίων	$\epsilon_{cc,u,mod} / \epsilon_{cc,u,exp}$	
		t = 1.880 mm	t = 3.302 mm
Wu et al	1	----	----
fib	1	----	----
Samaan	1	----	----
Toutanji	1	----	----

**Πίνακας 5.3.11:** Λόγοι  $\epsilon_{cc,u,mod} / \epsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 29.64 \text{ MPa}$  (σωλήνας E-Glass)

Πείραμα Mirmiran				
$f_{co} = 29.64 \text{ MPa}$				
	αριθμός δοκιμίων ανά πάχος σωλήνα	$\epsilon_{cc,u,mod} / \epsilon_{cc,u,exp}$		
		t = 1.346 mm	t = 2.080 mm	t = 2.997 mm
Wu et al	3	1(0.82)	1(0.84)	1(0.98)
fib	3	1.16	1.21	1.40
Samaan	3	1(0.71)	1(0.65)	1(0.63)
Toutanji	3	1(0.86)	1.12	1.59

**Πίνακας 5.3.12:** Λόγοι  $\epsilon_{cc,u,mod}/\epsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 30.86$  MPa (σωλήνας E-Glass)

<b>Πείραμα Mirmiran</b>				
$f_{co} = 30.86$ MPa				
	αριθμός δοκιμίων	$\epsilon_{cc,u,mod}/\epsilon_{cc,u,exp}$		
		t = 1.346 mm	t = 2.080 mm	t = 2.997 mm
Wu et al	2-3-2	1(0.88)	1(0.94)	1(0.98)
fib	2-3-2	1.22	1.33	1.39
Samaan	2-3-2	1(0.77)	1(0.74)	1(0.64)
Toutanji	2-3-2	1(0.90)	1.22	1.56

**Πίνακας 5.3.13:** Λόγοι  $\epsilon_{cc,u,mod}/\epsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 31.03$  MPa (σωλήνας E-Glass)

<b>Πείραμα Mirmiran</b>			
$f_{co} = 31.03$ MPa			
	αριθμός δοκιμίων	$\epsilon_{cc,u,mod}/\epsilon_{cc,u,exp}$	
		t = 1.880 mm	t = 3.302 mm
Wu et al	1	1.98	1.72
Fib	1	2.79	2.46
Samaan	1	1.68	1.17
Toutanji	1	2.35	2.78

**Πίνακας 5.3.14:** Λόγοι  $\epsilon_{cc,u,mod}/\epsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 31.97$  MPa (σωλήνας E-Glass)

<b>Πείραμα Mirmiran</b>				
$f_{co} = 31.97$ MPa				
	αριθμός δοκιμίων ανά πάχος σωλήνα	$\epsilon_{cc,u,mod}/\epsilon_{cc,u,exp}$		
		t = 1.346 mm	t = 2.080 mm	t = 2.997 mm
Wu et al	2	1(0.81)	1(0.90)	1.06
fib	2	1.12	1.26	1.49
Samaan	2	1(0.72)	1(0.71)	1(0.71)
Toutanji	2	1(0.82)	1.15	1.66

**Πίνακας 5.3.15:** Λόγοι  $\epsilon_{cc,u,mod}/\epsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 36.54$  MPa (σωλήνας E-Glass)

<b>Πείραμα Mirmiran</b>			
$f_{co} = 36.54$ MPa			
	αριθμός δοκιμίων	$\epsilon_{cc,u,mod}/\epsilon_{cc,u,exp}$	
		t = 1.880 mm	t = 3.302 mm
Wu et al	1	----	1.46
Fib	1	----	1.98
Samaan	1	----	1.06
Toutanji	1	----	2.19

**Πίνακας 5.3.16:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod} / \varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 40.61$  MPa (σολήνας E-Glass)

<b>Πείραμα Mirmiran</b>			
<b><math>f_{co} = 40.61</math> MPa</b>			
	αριθμός δοκιμίων	$\varepsilon_{cc,u,mod} / \varepsilon_{cc,u,exp}$	
		t = 1.880 mm	t = 3.302 mm
Wu et al	1	----	----
Fib	1	----	----
Samaan	1	----	----
Toutanji	1	----	----

**Πίνακας 5.3.17:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod} / \varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 44.82$  MPa (σολήνας E-Glass)

<b>Πείραμα Mirmiran</b>			
<b><math>f_{co} = 44.82</math> MPa</b>			
	αριθμός δοκιμίων	$\varepsilon_{cc,u,mod} / \varepsilon_{cc,u,exp}$	
		t = 1.880 mm	t = 3.302 mm
Wu et al	1	1.79	1.33
Fib	1	2.16	1.64
Samaan	1	1.77	1.04
Toutanji	1	1.80	1.81

**Πίνακας 5.3.18:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod} / \varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 46.89$  MPa (σολήνας E-Glass)

<b>Πείραμα Mirmiran</b>			
<b><math>f_{co} = 46.89</math> MPa</b>			
	αριθμός δοκιμίων	$\varepsilon_{cc,u,mod} / \varepsilon_{cc,u,exp}$	
		t = 1.880 mm	t = 3.302 mm
Wu et al	1	----	----
Fib	1	----	----
Samaan	1	----	----
Toutanji	1	----	----

- Για το προσομοίωμα των Wu et al :

$$0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{g,\varepsilon(t)} = (3*(0.82+0.84+0.98) + 2*(0.88+0.98) + 3*0.94 + 1.98+1.72+2*(0.81+0.90+1.06) + 1.46+1.79+1.33) / 27 \rightarrow \gamma_{g,\varepsilon(t)} = 1.04 = 1$$

- Για το προσομοίωμα των Samaan et al :

$$0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{g,\varepsilon(t)} = (3*(0.71+0.65+0.63) + 2*(0.77+0.64) + 3*0.74 + 1.68+1.17 + 2*(0.72+0.71+0.71) + 1.06+1.77+1.04) / 27 \rightarrow \gamma_{g,\varepsilon(t)} = 0.82 = 1$$

- Για το προσομοίωμα που προτείνει η fib :  
 $0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{g,\varepsilon(t)} = (3*(1.16+1.21+1.40) + 2*(1.22+1.39) + 3*1.33 + 2.79 + 2.46 + 2*(1.12+1.26+1.49) + 1.98+2.16+1.64) / 27 \gamma_{g,\varepsilon(t)} = 1.50$
- Για το προσομοίωμα του Toutanji :  
 $0 < f_{co} < 50 \text{ MPa} \rightarrow \gamma_{g,\varepsilon(t)} = (3*(1+1.12+1.59) + 2*(1+1.56) + 3*1.22 + 2.35 + 2.78 + 2*(1+1.15+1.66) + 2.19 + 1.80+1.81) / 27 \rightarrow \gamma_{g,\varepsilon(t)} = 1.40$

**Πίνακας 5.3.19:** Συντελεστές ασφαλείας για αντοχή σκυροδέματος  $f_{co} < 50 \text{ MPa}$

Προσομοίωμα \ Είδος ενίσχυσης		Μανδύας	Μανδύας	Σωλήνας
		ινών άνθρακα	ινών αραμιδίου	ινών γυαλιού- E
$\gamma_f$	Samaan et al	1.20	1.10	1.00
	Toutanji	1.40	1.40	1.20
	fib	1.30	1.20	1.00
	Wu et al	1.20	1.00	1.00
$\gamma_\varepsilon$	Samaan et al	2.15	1.50	1.00
	Toutanji	2.40	1.70	1.40
	fib	2.00	1.50	1.50
	Wu et al	1.00	1.00	1.00

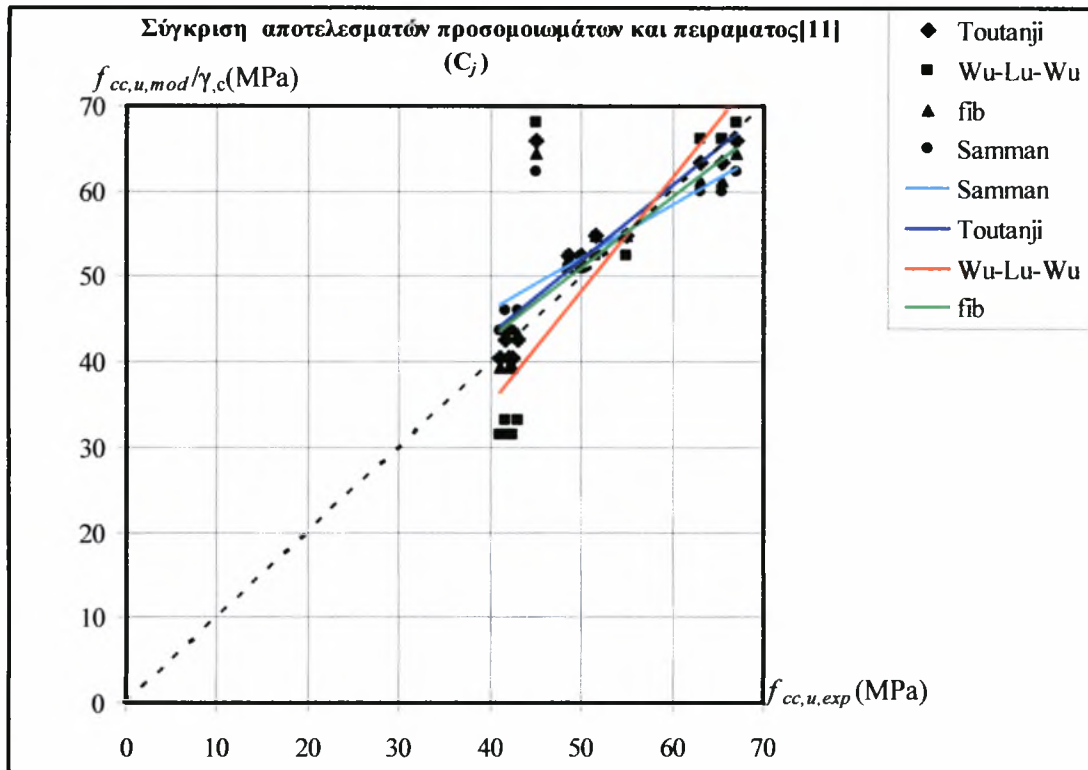
**Πίνακας 5.3.20:** Συντελεστές ασφαλείας για αντοχή σκυροδέματος  $f_{co} > 50\text{MPa}$

Προσομοίωμα	Είδος ενίσχυσης	Μανδύας ινών άνθρακα
	$\gamma_f$	Samaan et al
Toutanji		1.50
fib		1.30
Wu et al		1.30
$\gamma_e$	Samaan et al	3.50
	Toutanji	3.00
	fib	2.00
	Wu et al	1.20

#### 5.4 Εφαρμογή συντελεστών ασφαλείας στις προβλέψεις των αναλυτικών προσομοιωμάτων

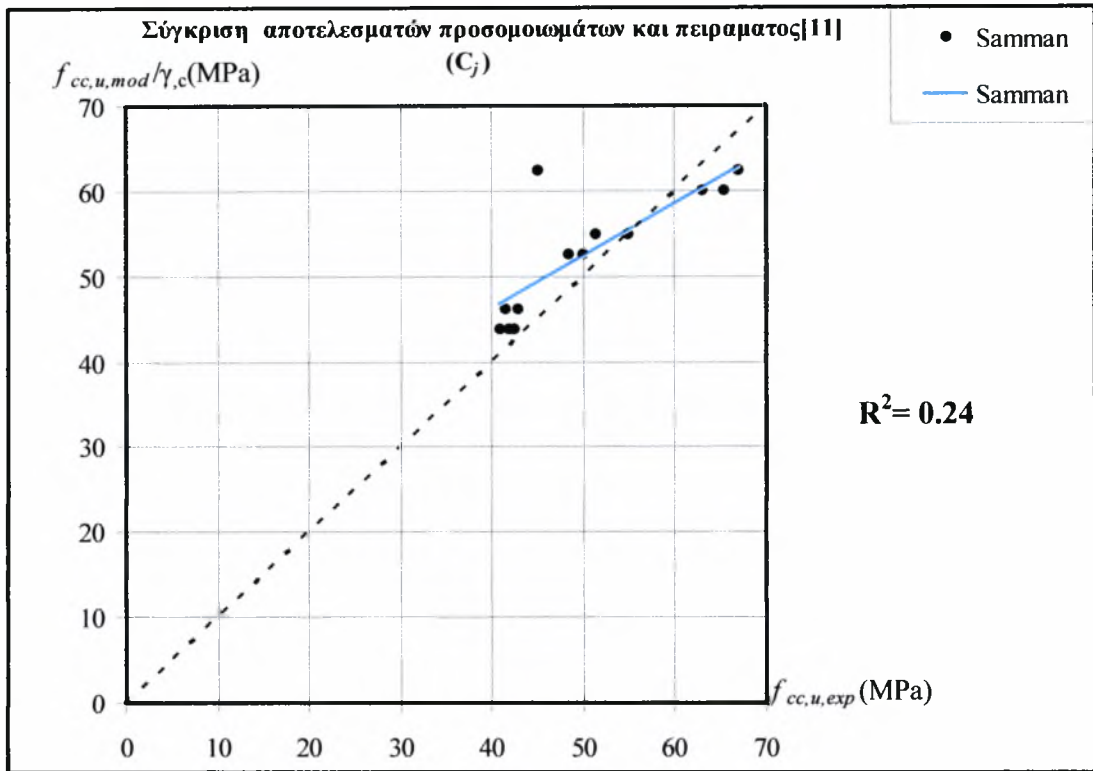
Το κατά πόσον οι συντελεστές ασφαλείας που υπολογίστηκαν παραπάνω οδηγούν σε βελτίωση των προβλέψεων ώστε να μπορούν να υιοθετηθούν μελλοντικά, εφαρμόστηκαν στα πειραματικά δεδομένα που έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια. Στην συνέχεια παρουσιάζονται διαγράμματα  $f_{cc,u,mod} / f_{cc,u,exp}$  και  $\varepsilon_{cc,u,mod} / \varepsilon_{cc,u,exp}$  όμοια με εκείνα 4<sup>ου</sup> κεφαλαίου τα οποία έχουν τροποποιηθεί με εφαρμογή των εκάστοτε συντελεστών ασφαλείας. Τέλος υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης  $R^2$ .

### 5.4.1 Πείραμα Καραμπίνη – Ρουσάκη

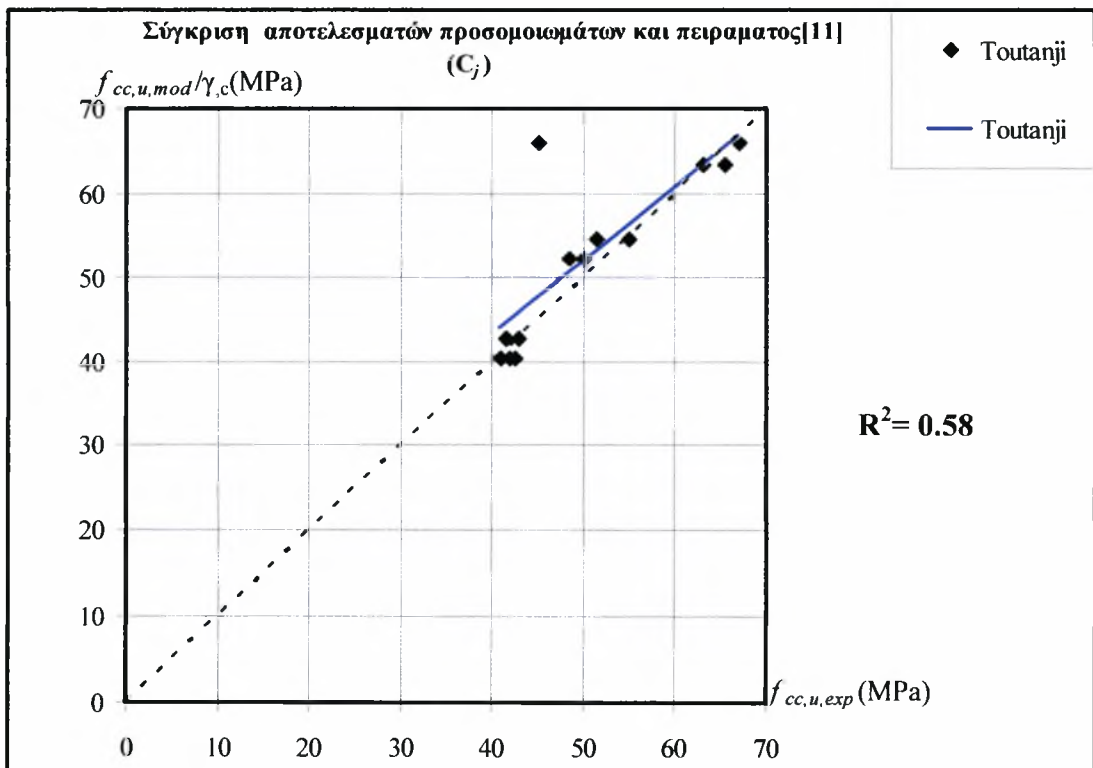


Σχήμα 5.4.1: Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη–Ρουσάκη [11] και των αντίστοιχων προβλέψεων των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν μετά την εφαρμογή των διορθωτικών συντελεστών  $\gamma_{c,f}$

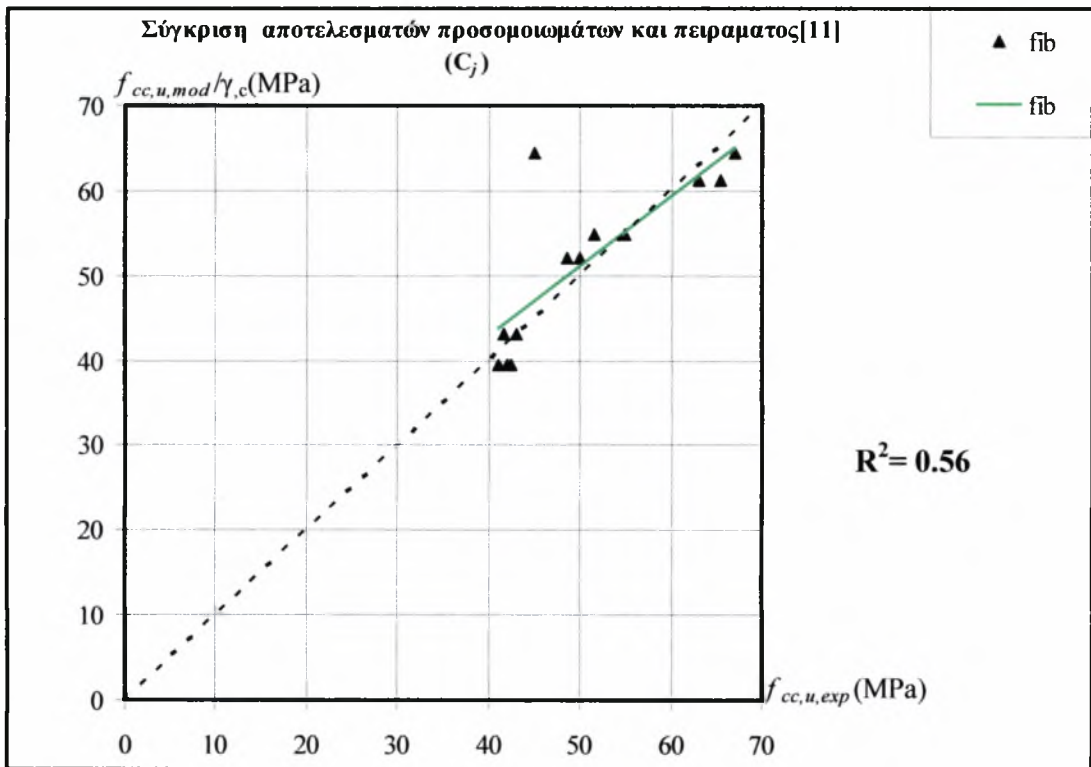




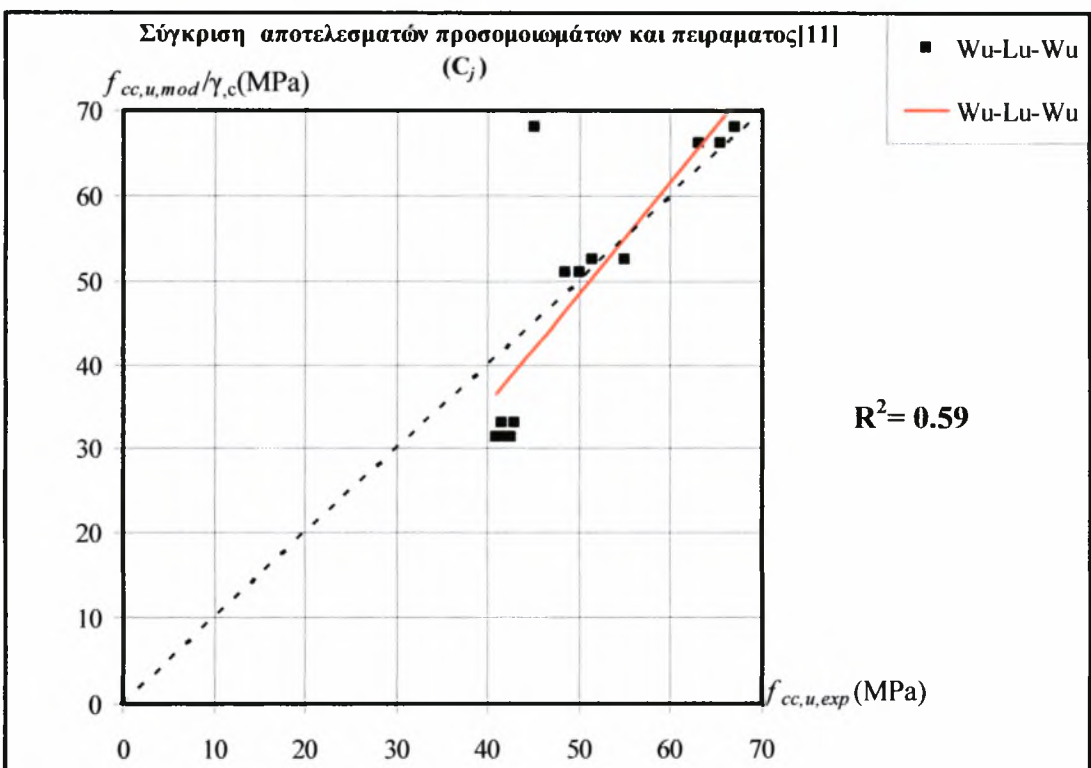
**Σχήμα 5.4.2:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη–Ρουσάκη [11] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Samaan et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f} = 1.20$



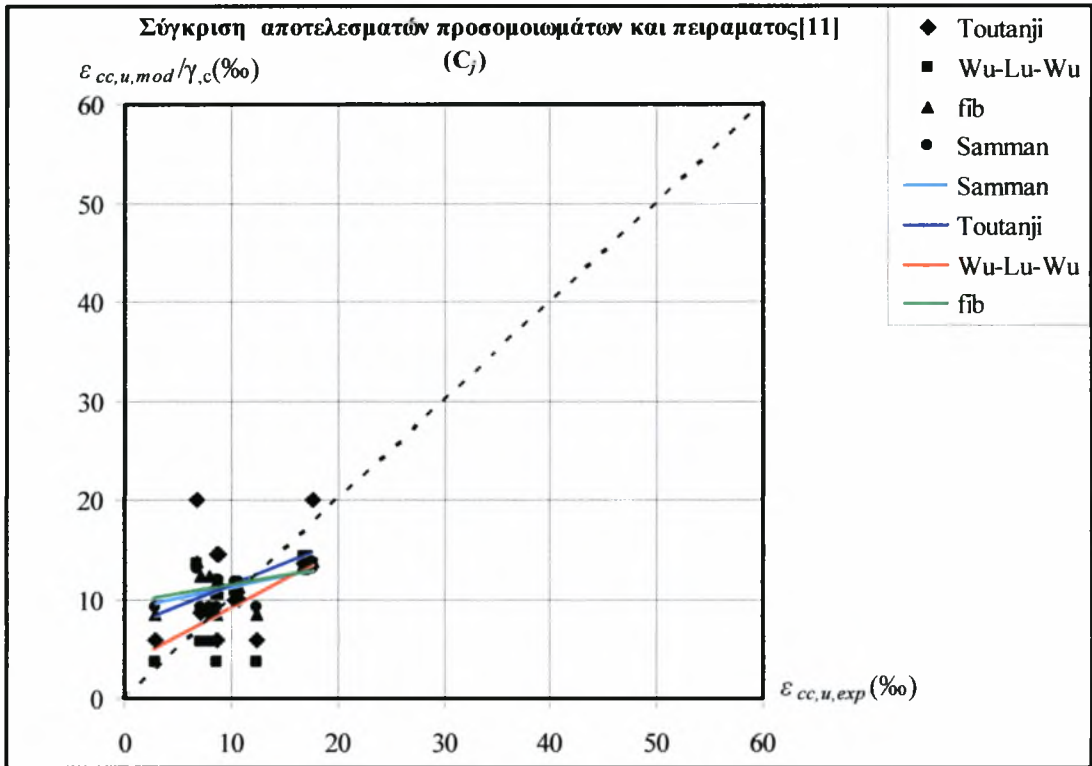
**Σχήμα 5.4.3:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη–Ρουσάκη [11] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος του Toutanji μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f} = 1.40$



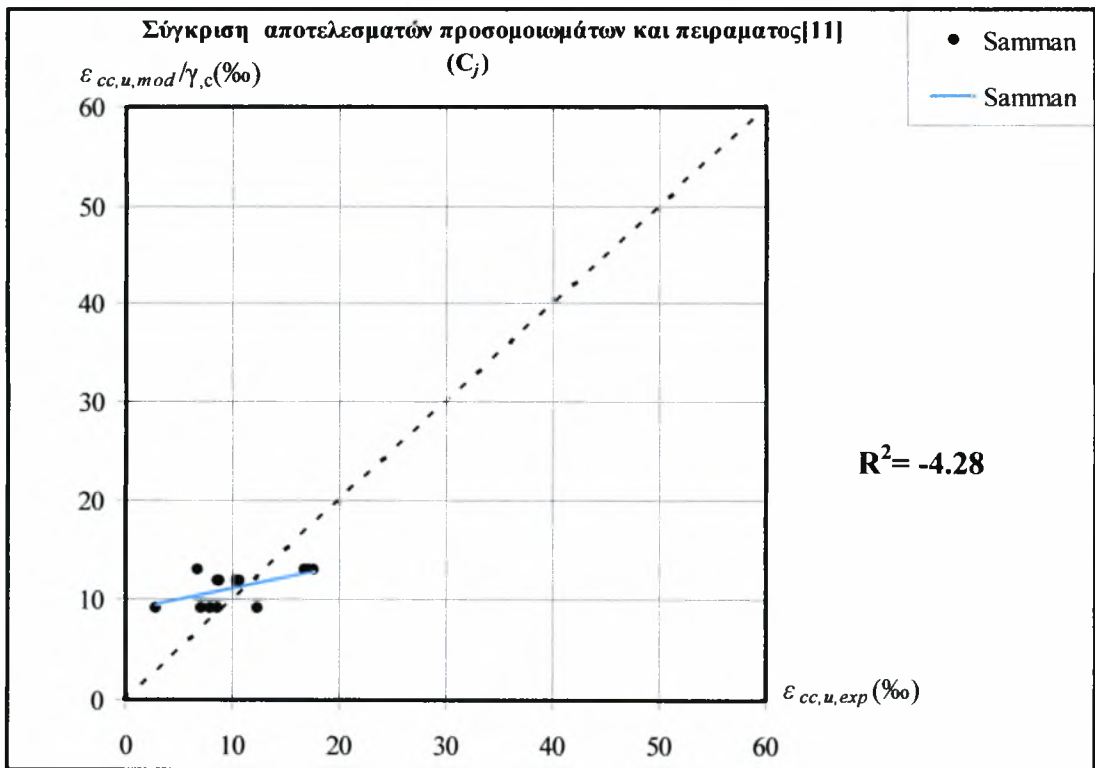
**Σχήμα 5.4.4:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη–Ρουσάκη [11] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος της fib μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{cf} = 1.30$



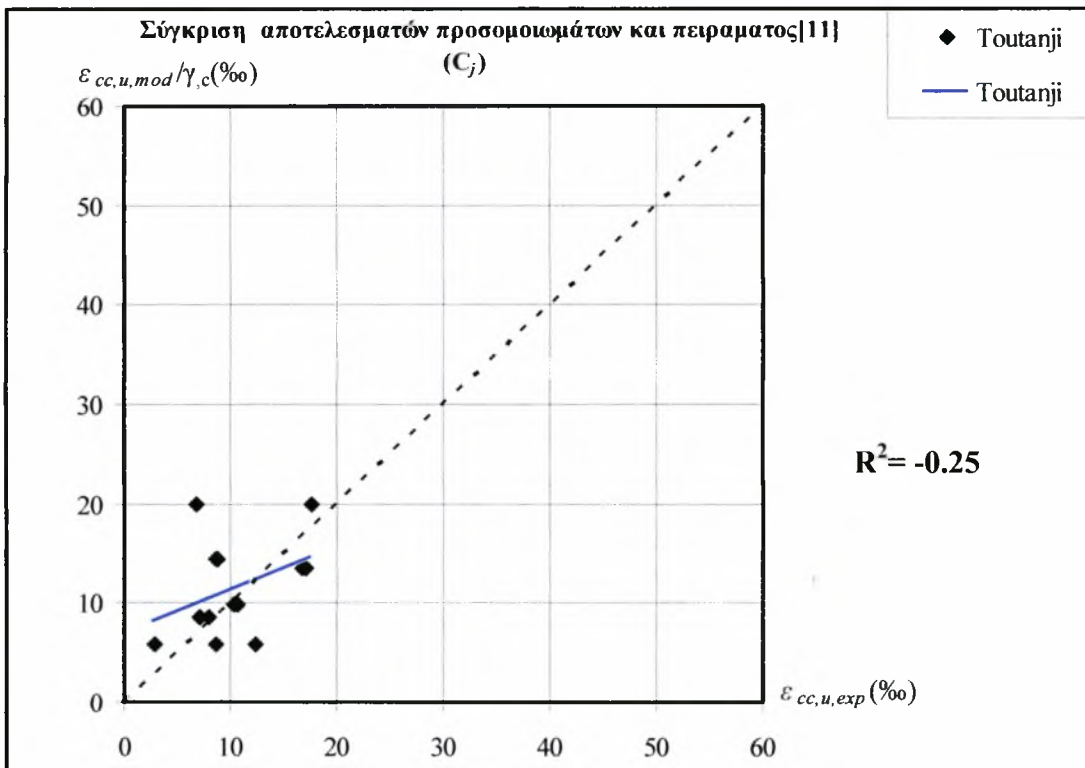
**Σχήμα 5.4.5:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη–Ρουσάκη [11] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Wu et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{cf} = 1.20$



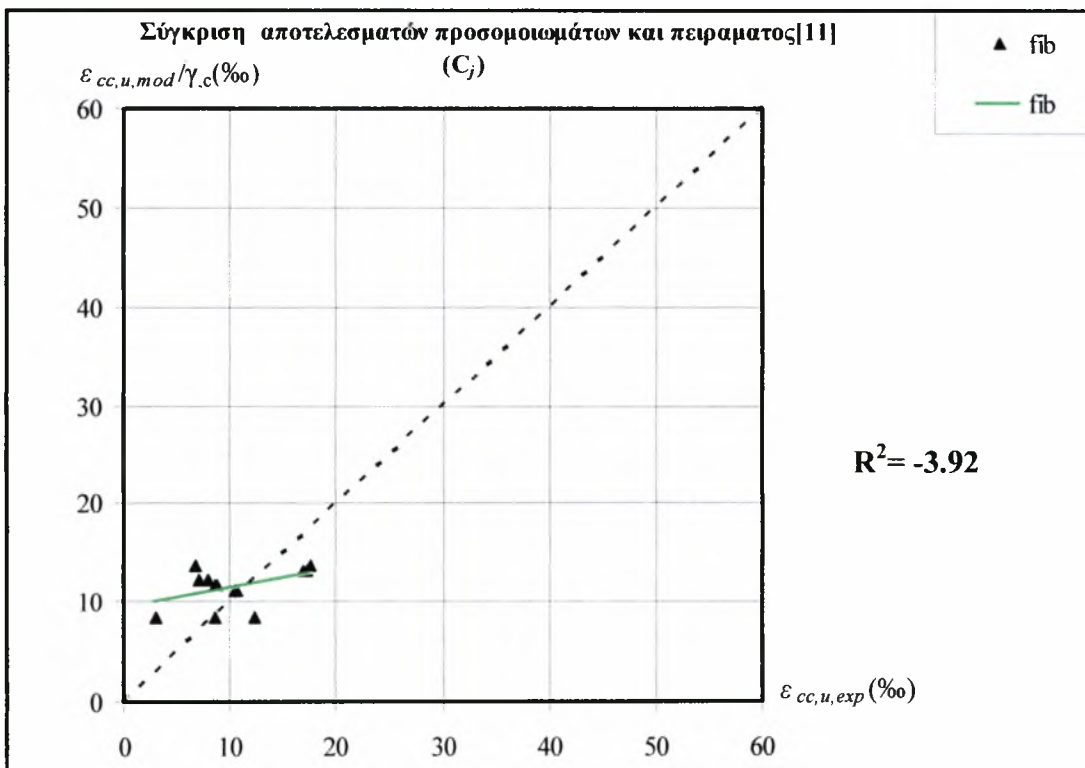
Σχήμα 5.4.6: Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη–Ρουσάκη [11] και των αντίστοιχων προβλέψεων των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν μετά την εφαρμογή των διορθωτικών συντελεστών  $\gamma_{c,\varepsilon}$



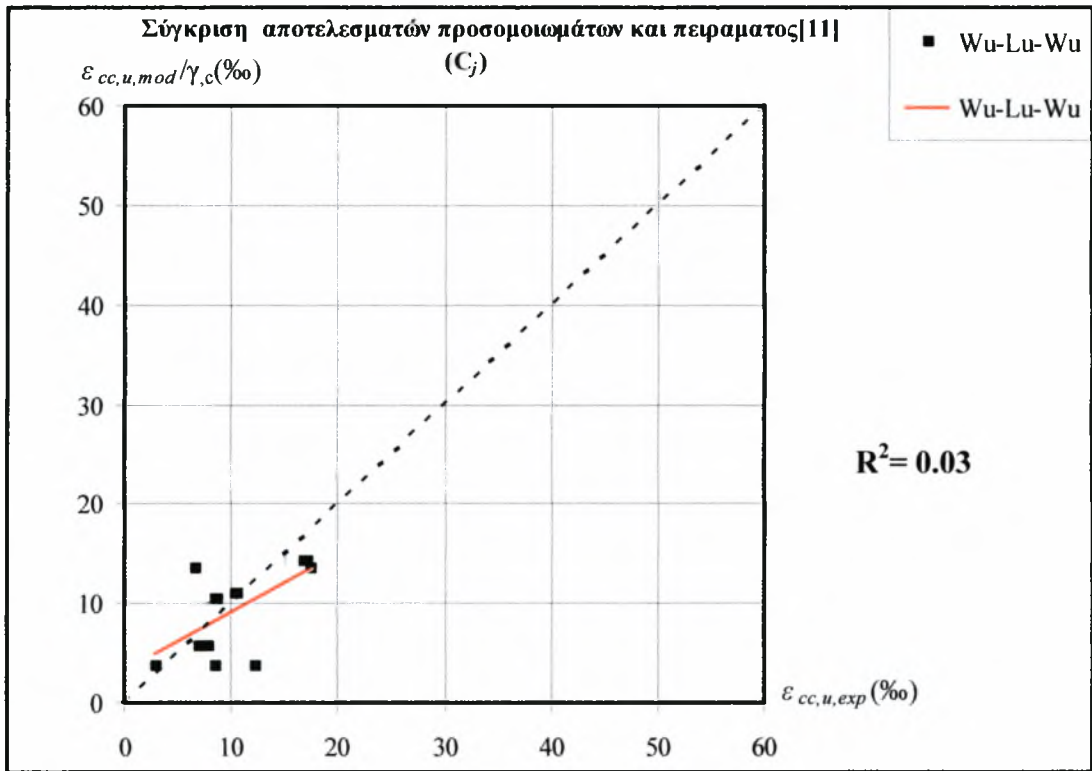
Σχήμα 5.4.7: Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη–Ρουσάκη [11] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Samaan et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\varepsilon} = 2.15$



**Σχήμα 5.4.8:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη–Ρουσάκη [11] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος του Toutanji μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\varepsilon} = 2.4$

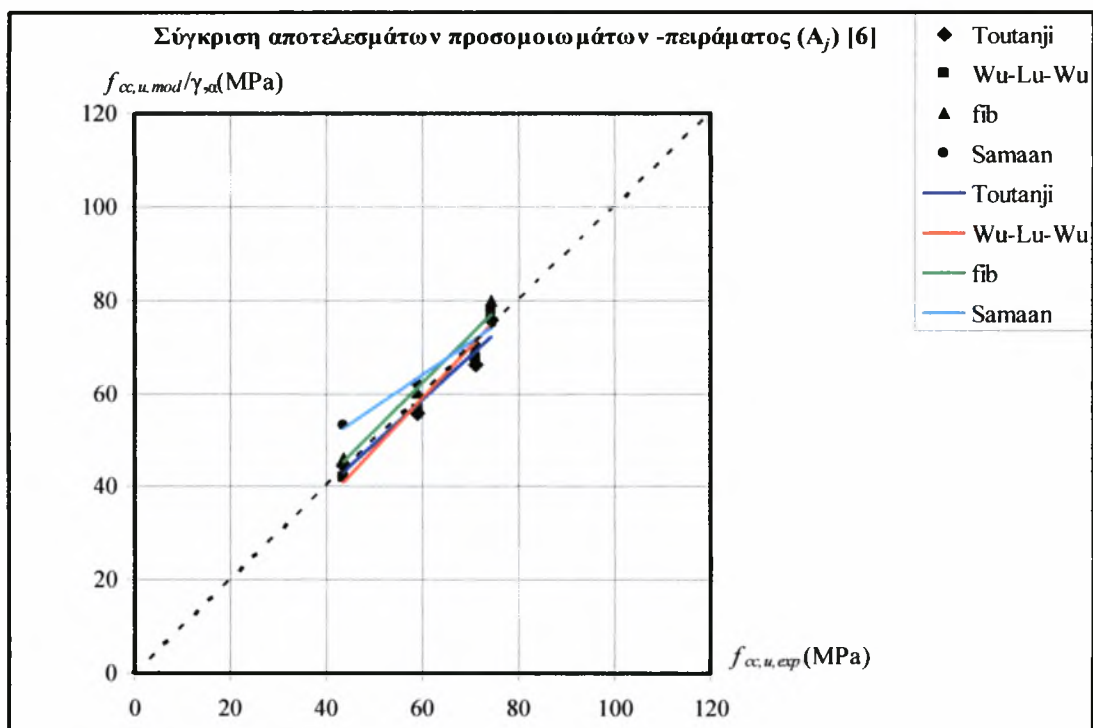


**Σχήμα 5.4.9:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη–Ρουσάκη [11] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος της fib μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\varepsilon} = 2.00$

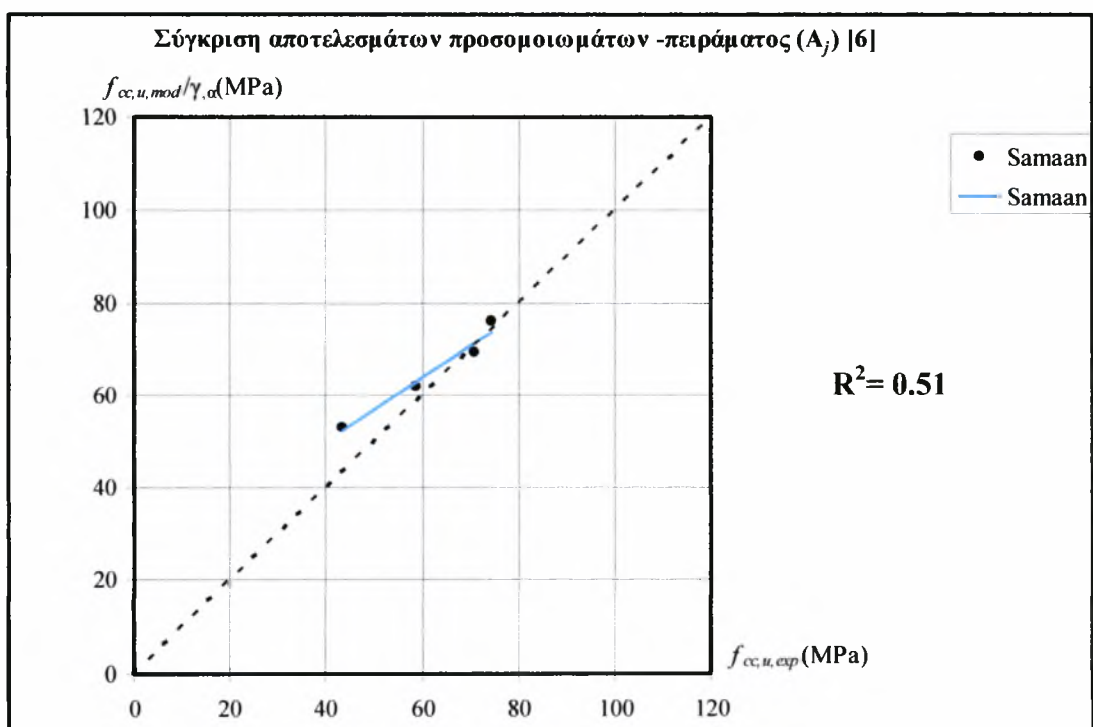


**Σχήμα 5.4.10:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη-Ρουσάκη [11] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Wu et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\varepsilon} = 1$

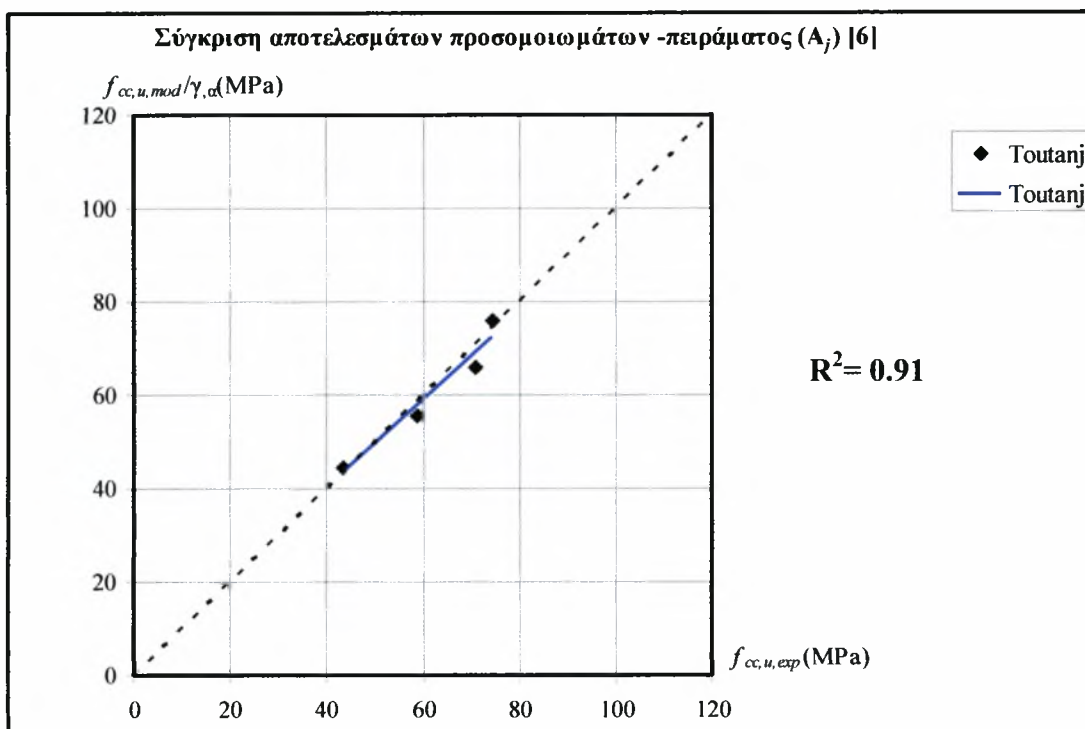
## 5.4.2 Πείραμα Labossiere – Rochette



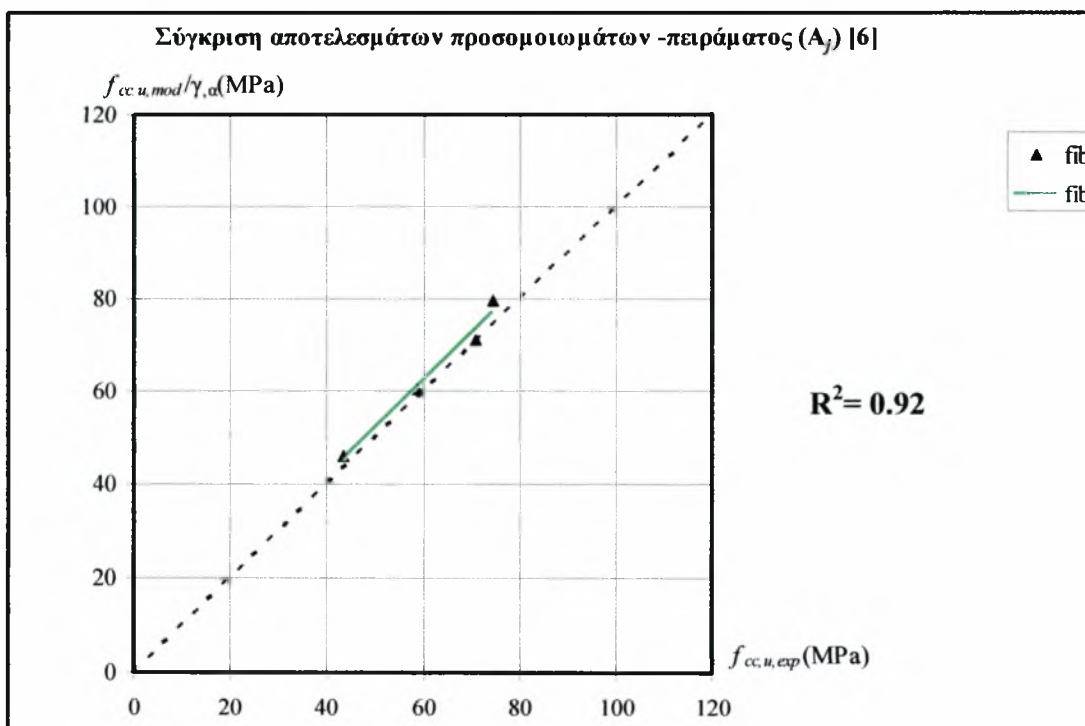
Σχήμα 5.4.11: Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere - Rochette [6] και των αντίστοιχων προβλέψεων των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν μετά την εφαρμογή των διορθωτικών συντελεστών  $\gamma_{c,f}$



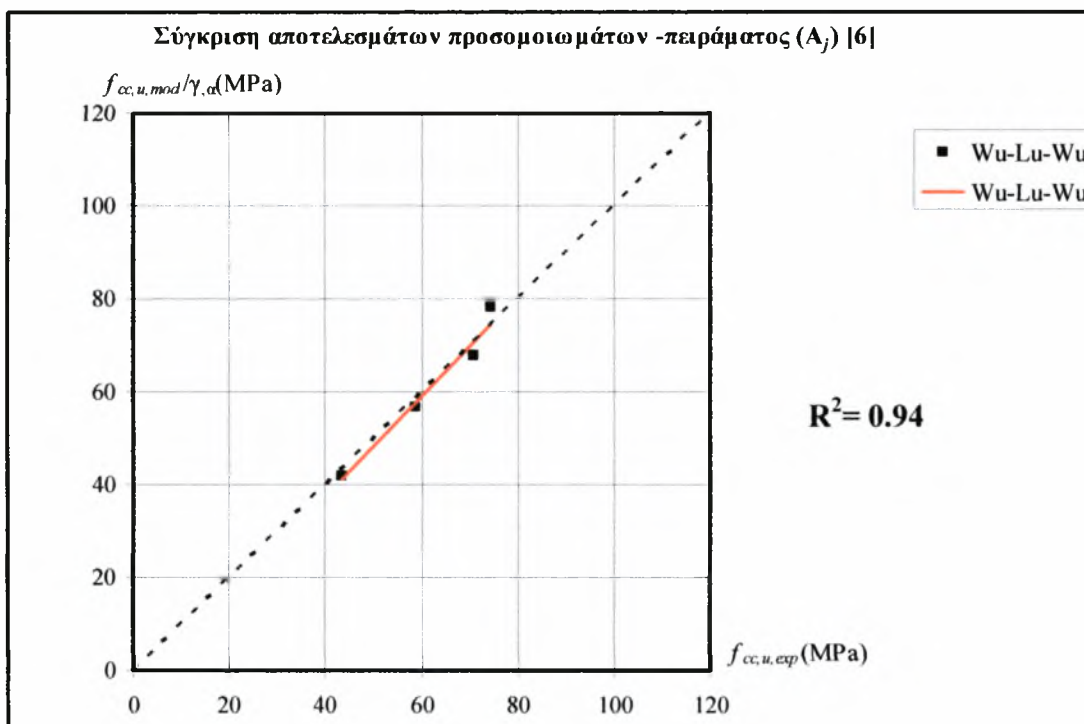
Σχήμα 5.4.12: Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere - Rochette [6] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Samaan et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f}=1.10$



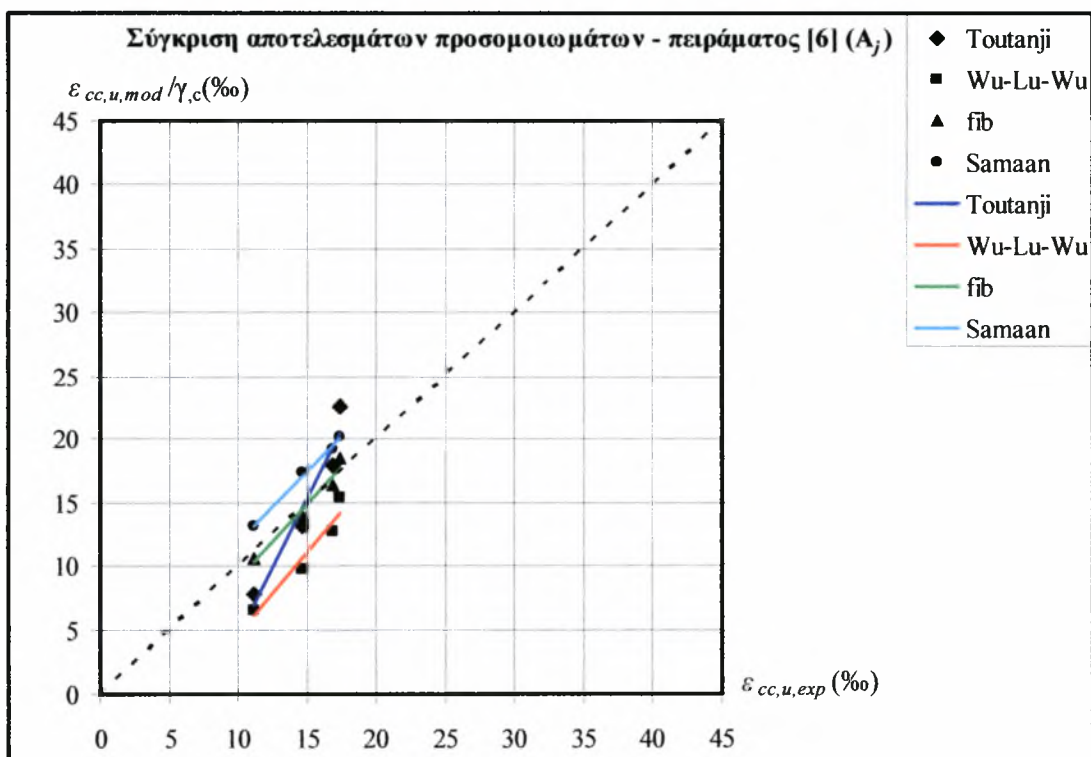
**Σχήμα 5.4.13:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere - Rochette [6] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος του Samaan et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f}=1.40$



**Σχήμα 5.4.14:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere - Rochette [6] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος της fib μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f}=1.20$

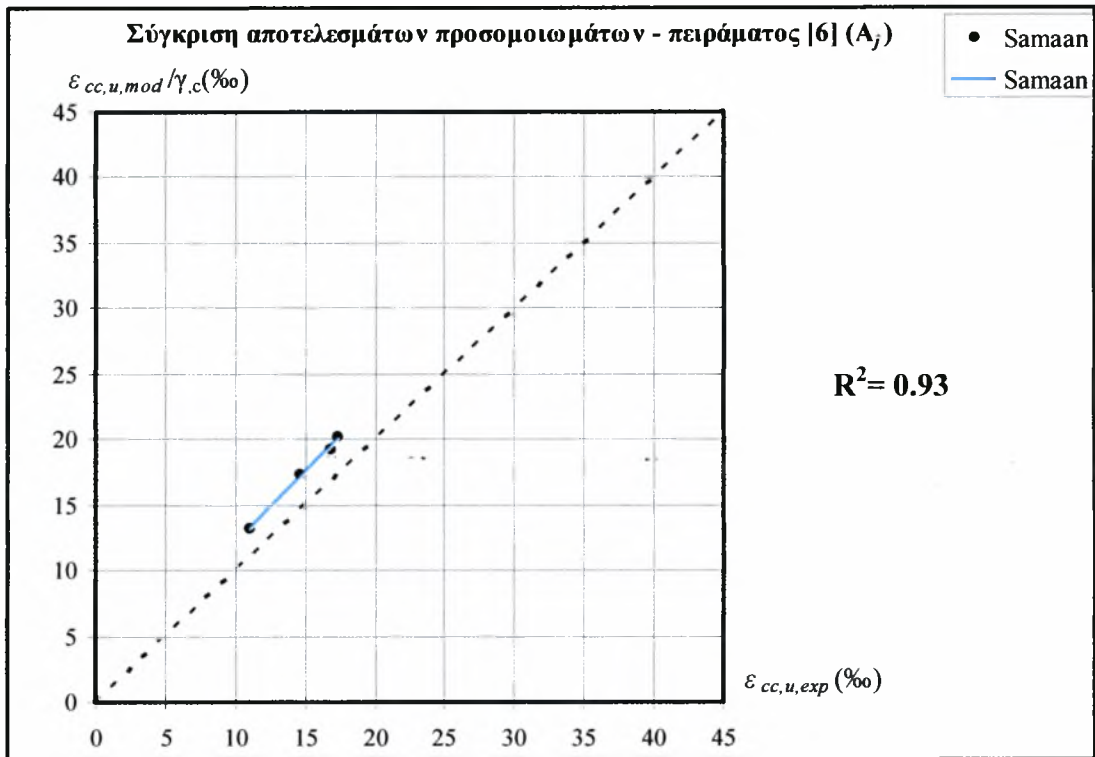


**Σχήμα 5.4.15:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere - Rochette [6] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Wu et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f}=1.00$

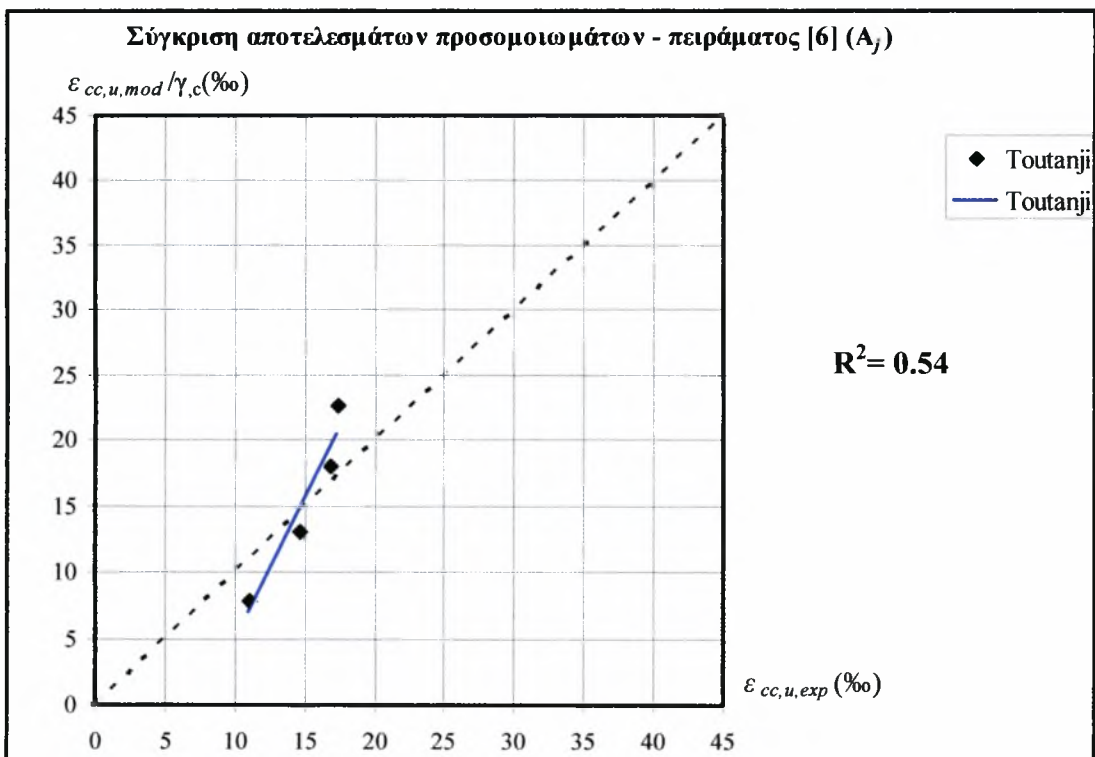


**Σχήμα 5.4.16:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere - Rochette [6] και των αντίστοιχων προβλέψεων των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν μετά την εφαρμογή των διορθωτικών συντελεστών  $\gamma_{c,e}$

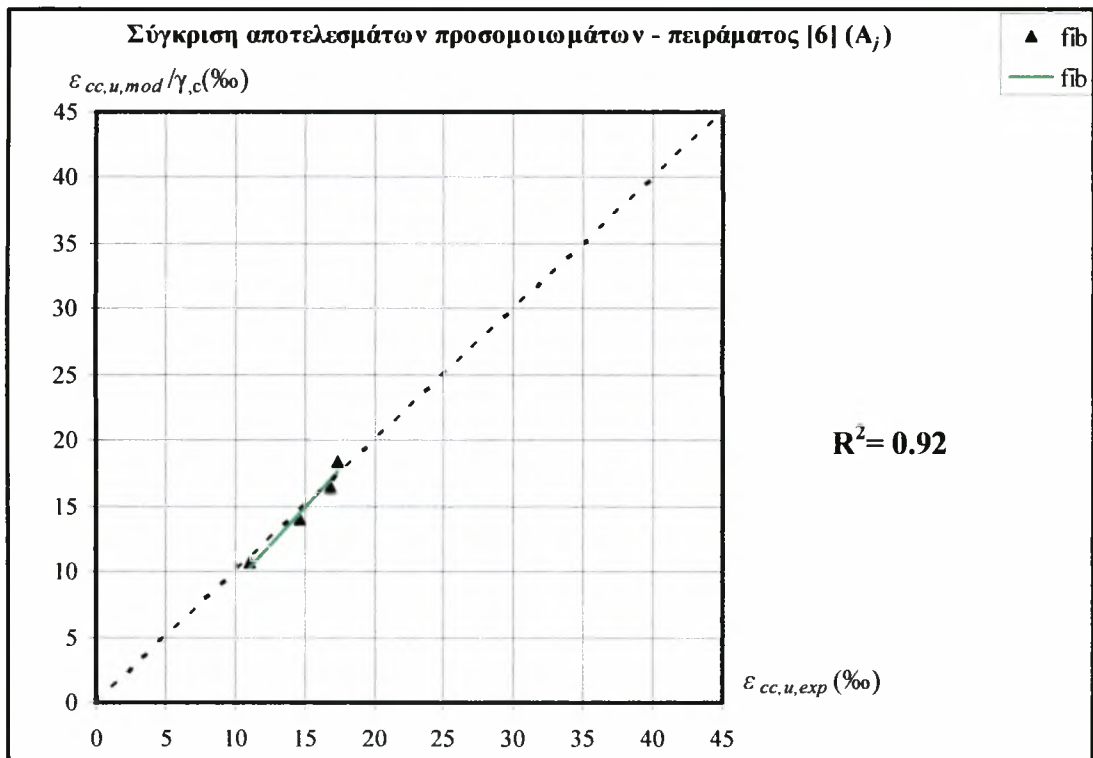




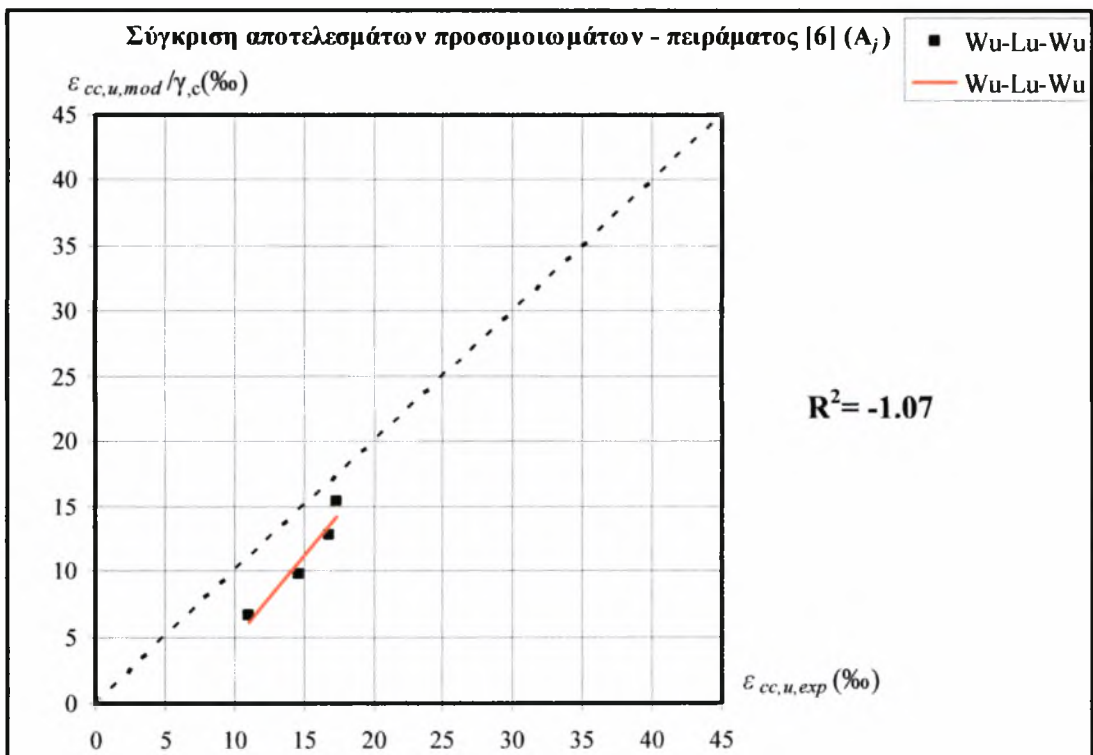
**Σχήμα 5.4.17:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere - Rochette [6] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Samaan et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\varepsilon} = 1.50$



**Σχήμα 5.4.18:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere - Rochette [6] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος του Toutanji μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\varepsilon} = 1.70$

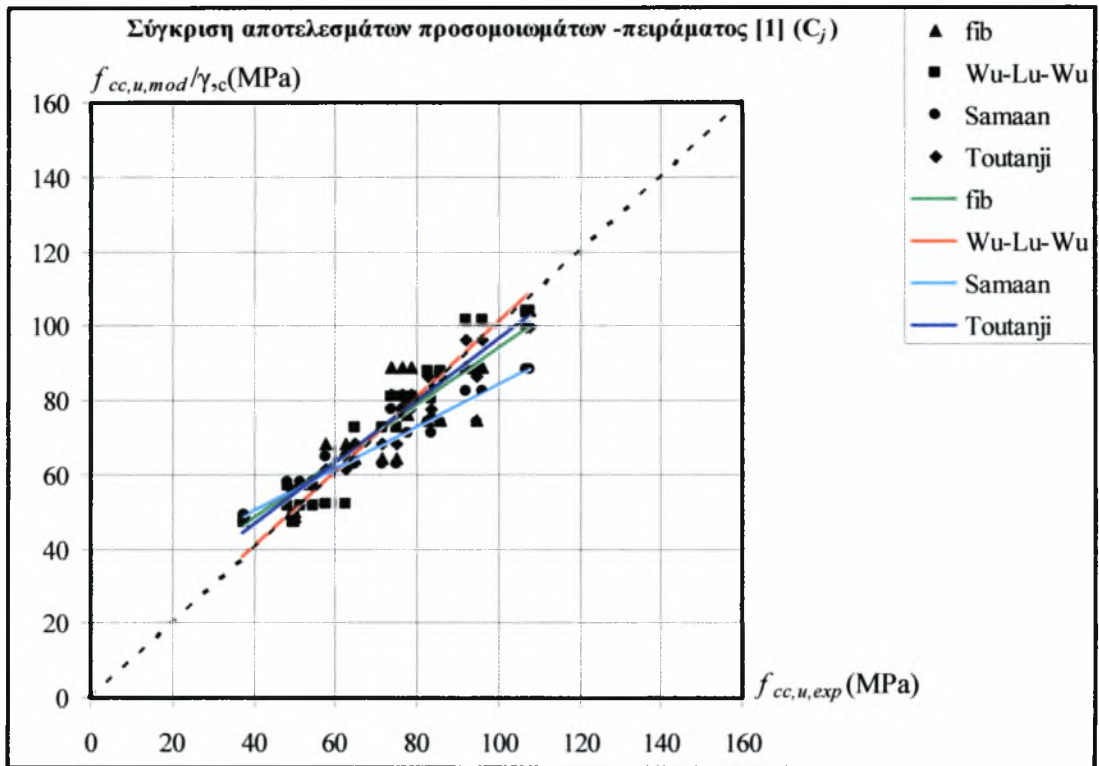


**Σχήμα 5.4.19:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere - Rochette [6] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος της fib μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\varepsilon} = 1.50$

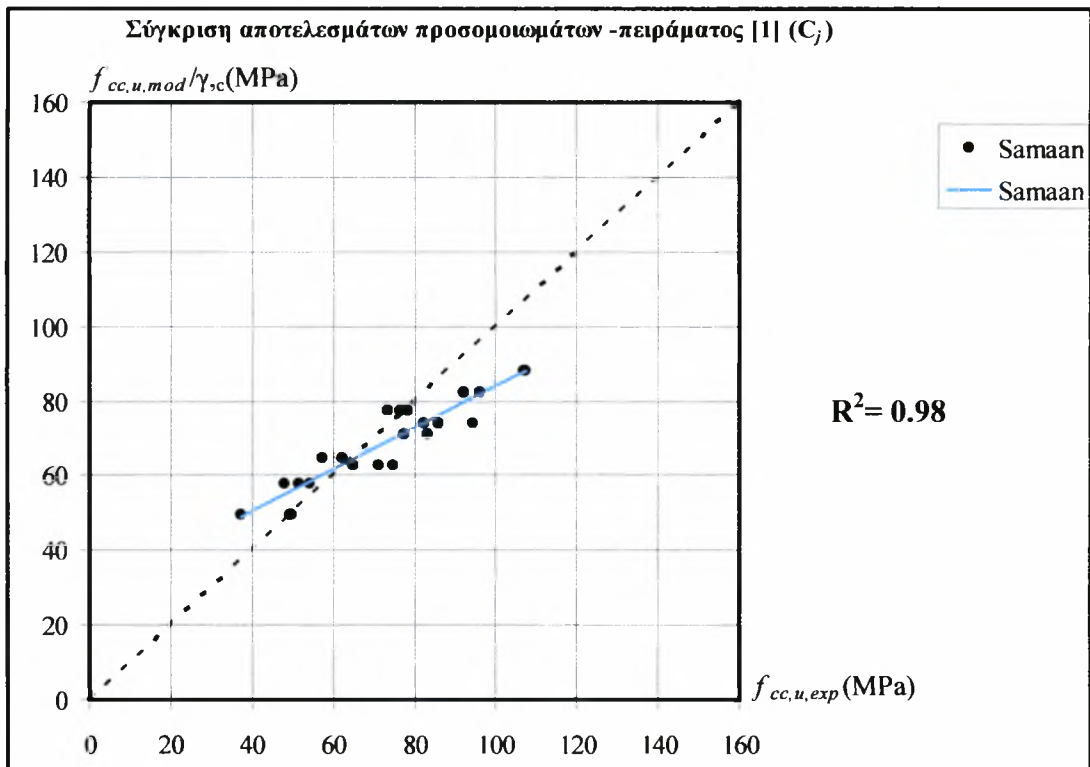


**Σχήμα 5.4.20:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere - Rochette [6] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Wu et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\varepsilon} = 1.00$

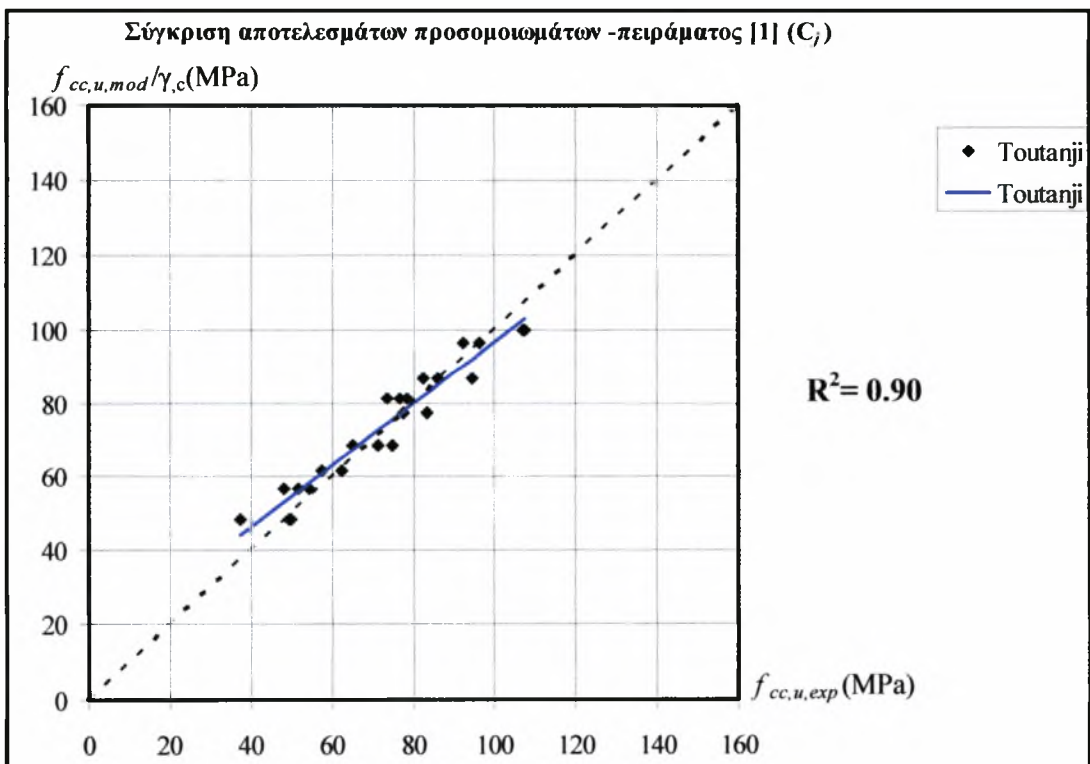
### 5.4.3 Πείραμα Xiao – Wu



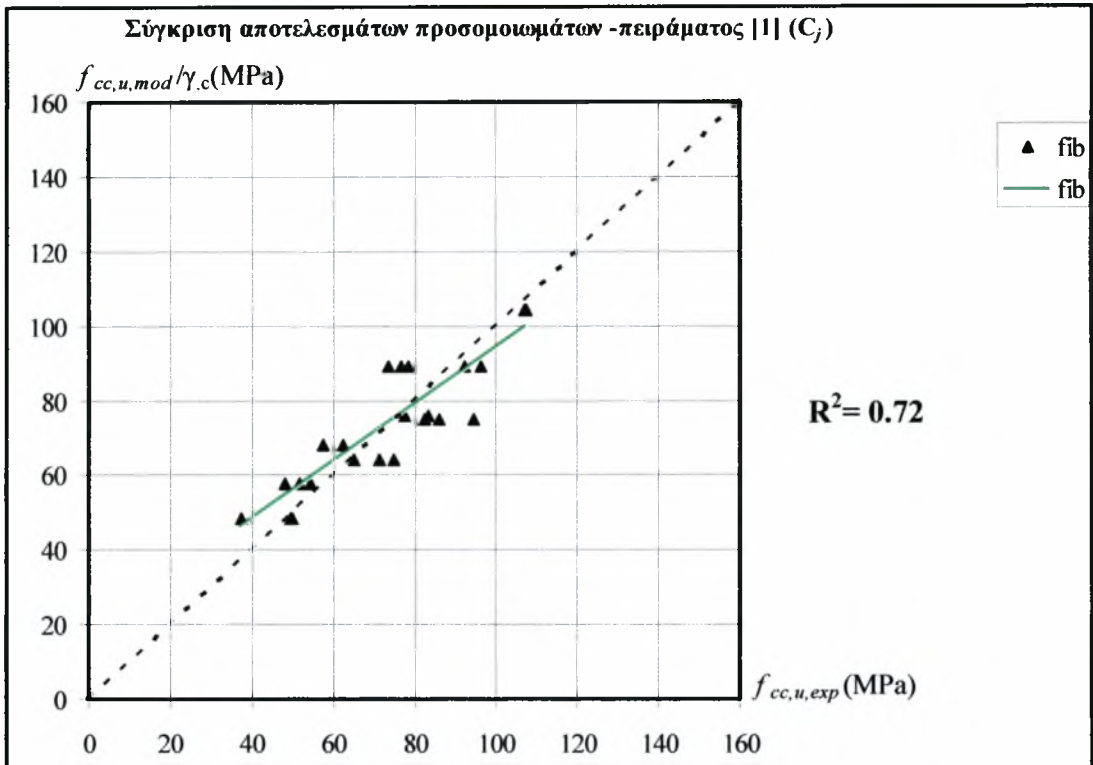
Σχήμα 5.4.21: Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Xiao – Wu [1] και των αντίστοιχων προβλέψεων των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν μετά την εφαρμογή των διορθωτικών συντελεστών  $\gamma_{c,f}$



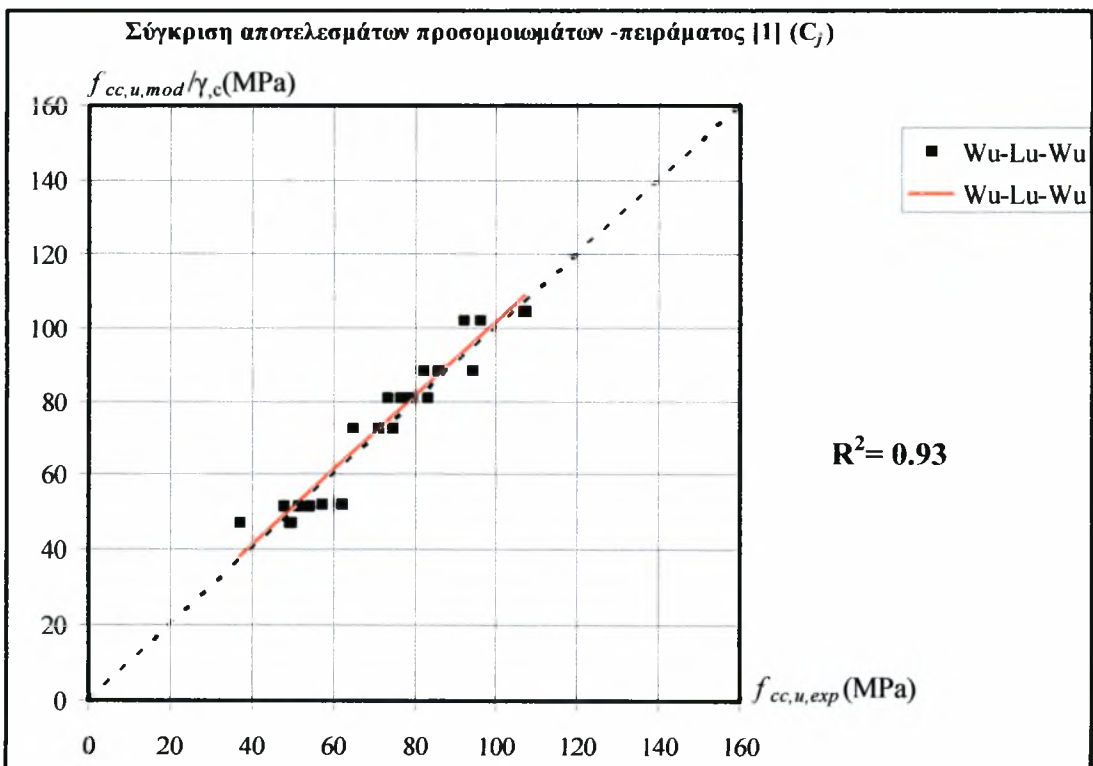
**Σχήμα 5.4.22:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao – Wu [1] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Samaan et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f} = 1.20(f_{co} < 50\text{MPa}) - \gamma_{c,f} = 1.25(f_{co} > 50\text{MPa})$



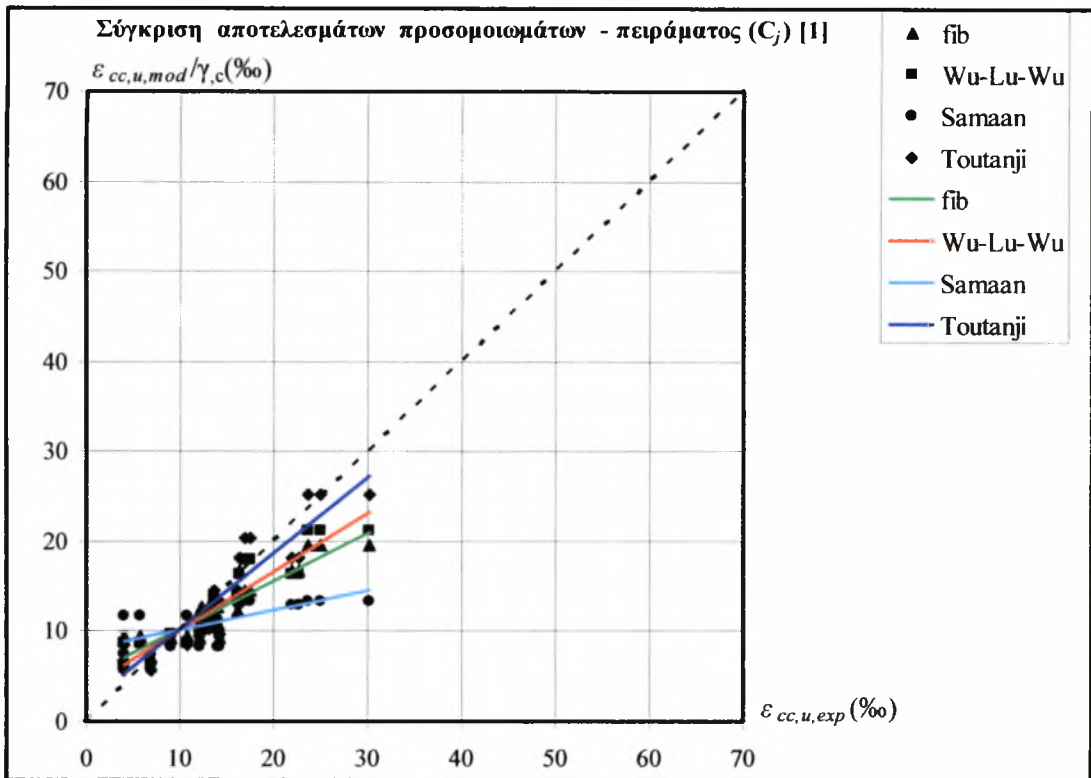
**Σχήμα 5.4.23:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao – Wu [1] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος του Toutanji μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f} = 1.40(f_{co} < 50\text{MPa}) - \gamma_{c,f} = 1.50(f_{co} > 50\text{MPa})$



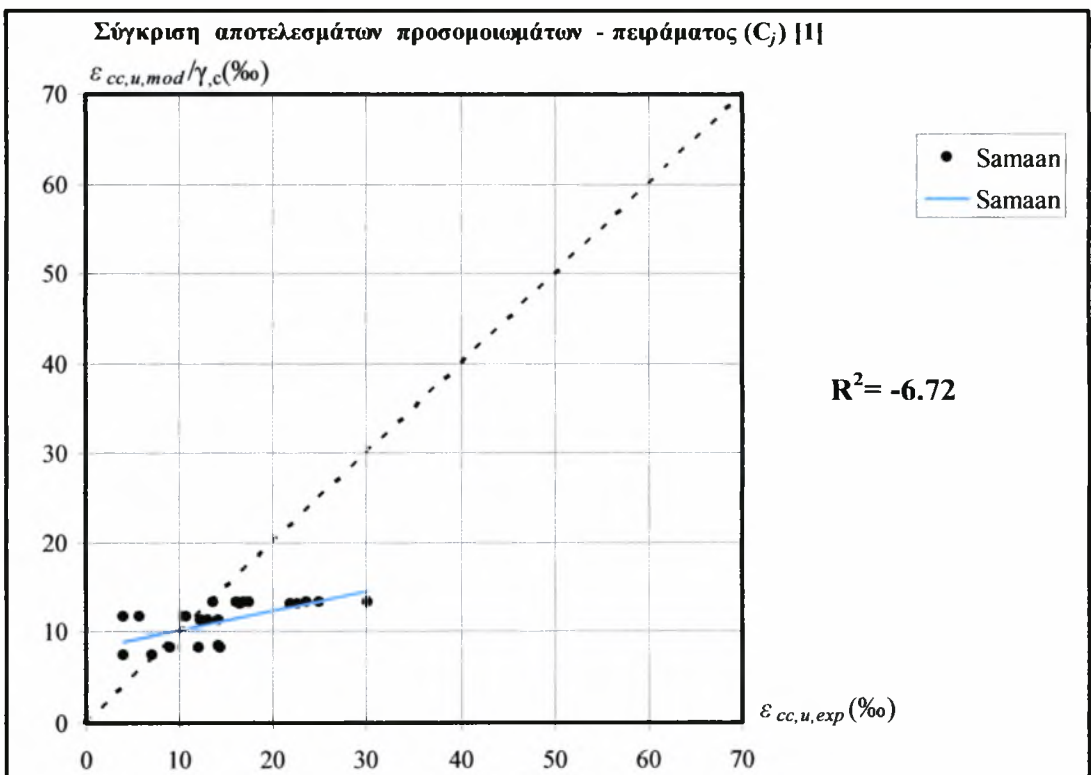
**Σχήμα 5.4.24:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao – Wu [1] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος της fib μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f} = 1.30(f_{co} < 50\text{MPa}) - \gamma_{c,f} = 1.30(f_{co} > 50\text{MPa})$



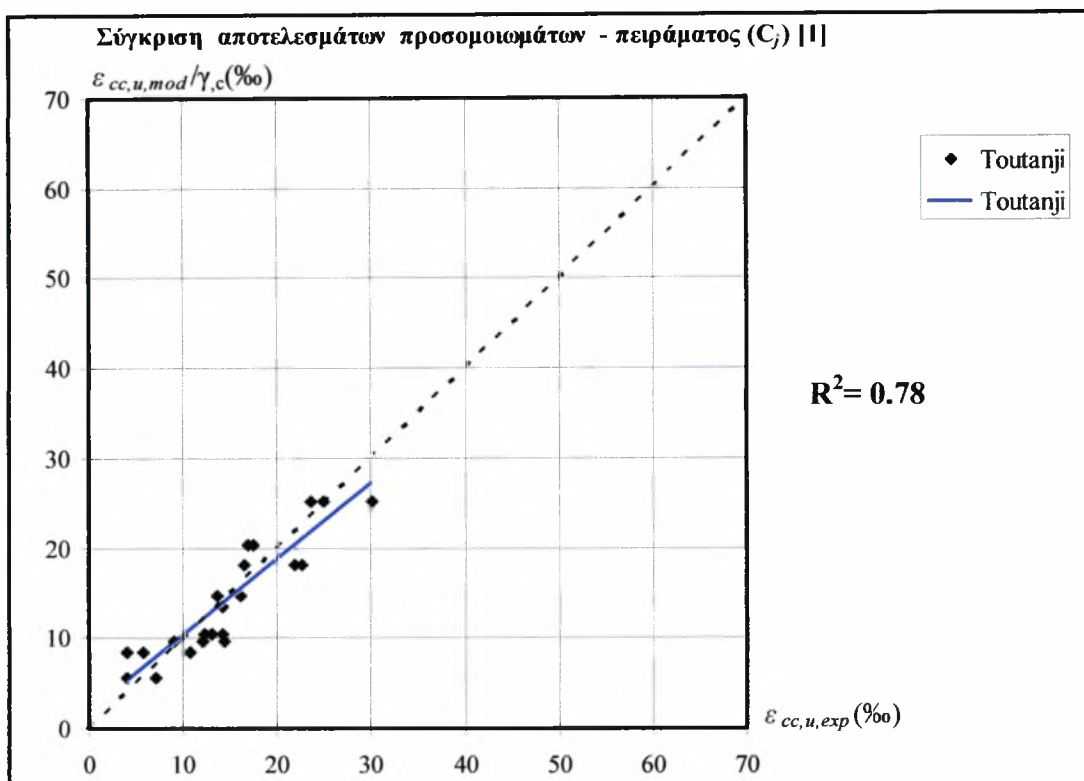
**Σχήμα 5.4.25:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao – Wu [1] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Wu μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f} = 1.20(f_{co} < 50\text{MPa}) - \gamma_{c,f} = 1.30(f_{co} > 50\text{MPa})$



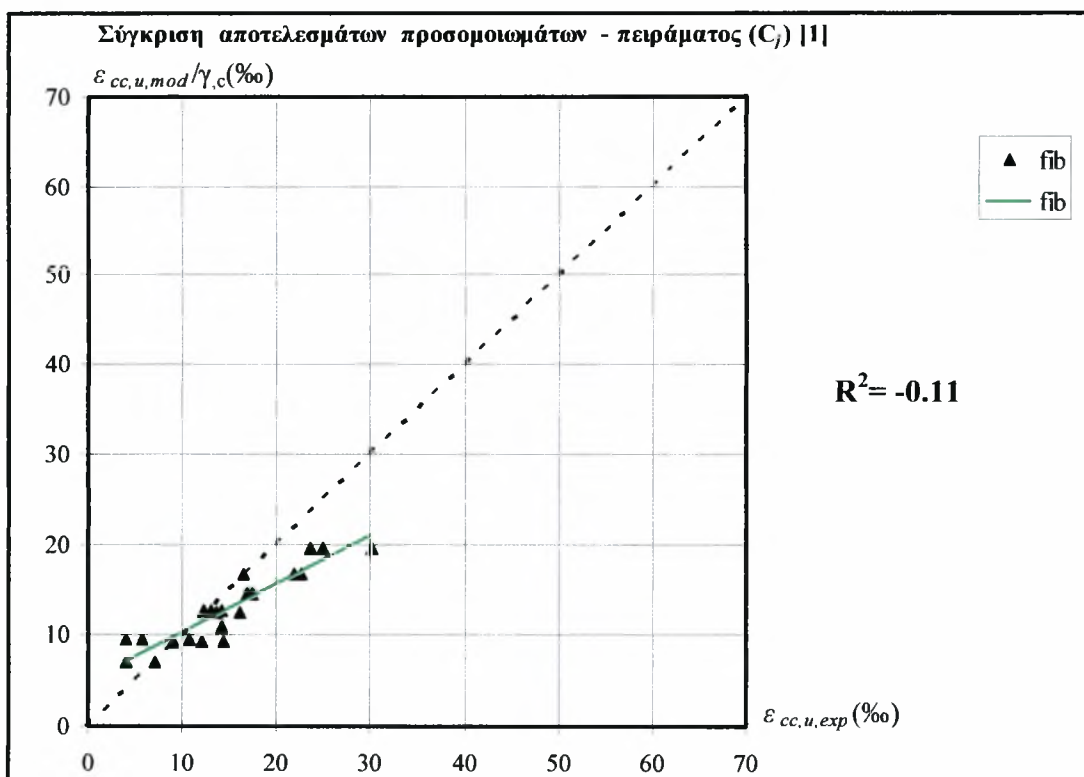
Σχήμα 5.4.26: Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao – Wu [1] και των αντίστοιχων προβλέψεων των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν μετά την εφαρμογή των διορθωτικών συντελεστών  $\gamma_{c,\varepsilon}$



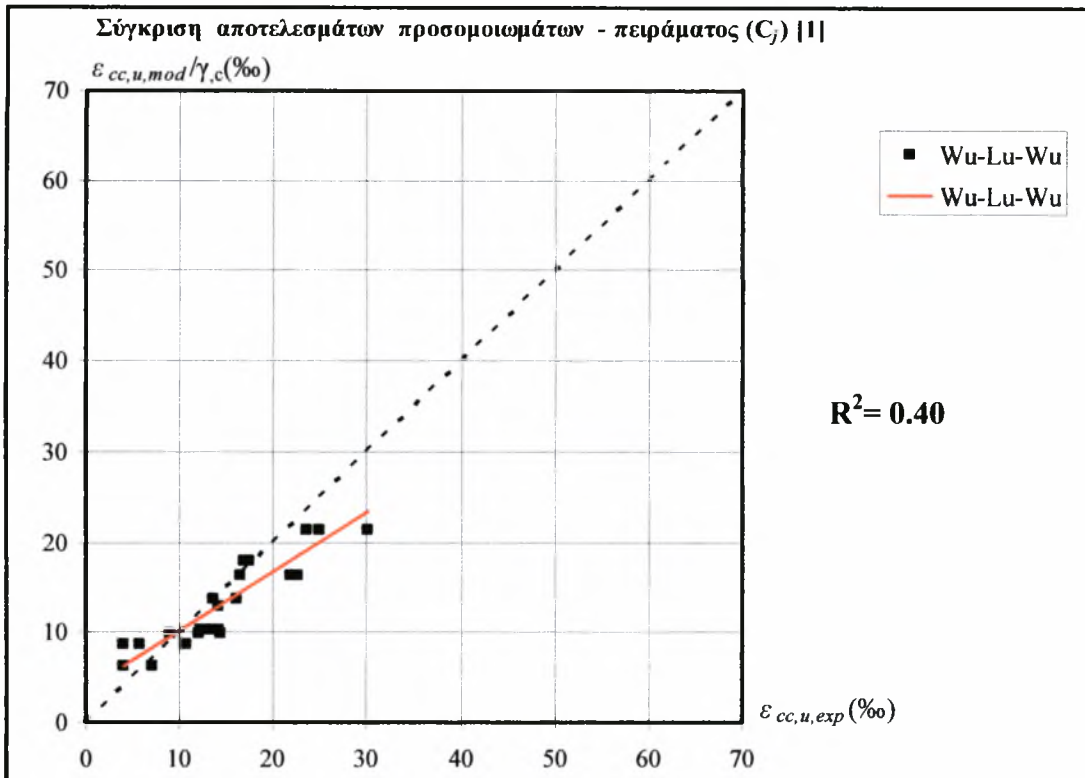
Σχήμα 5.4.27: Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao – Wu [1] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Samaan et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\varepsilon} = 2.15(f_{co} < 50\text{MPa}) - \gamma_{c,\varepsilon} = 3.50(f_{co} > 50\text{MPa})$



**Σχήμα 5.4.28:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Xiao – Wu [1] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος του Toutanji μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\varepsilon} = 2.40(f_{co} < 50\text{MPa}) - \gamma_{c,\varepsilon} = 3.00(f_{co} > 50\text{MPa})$



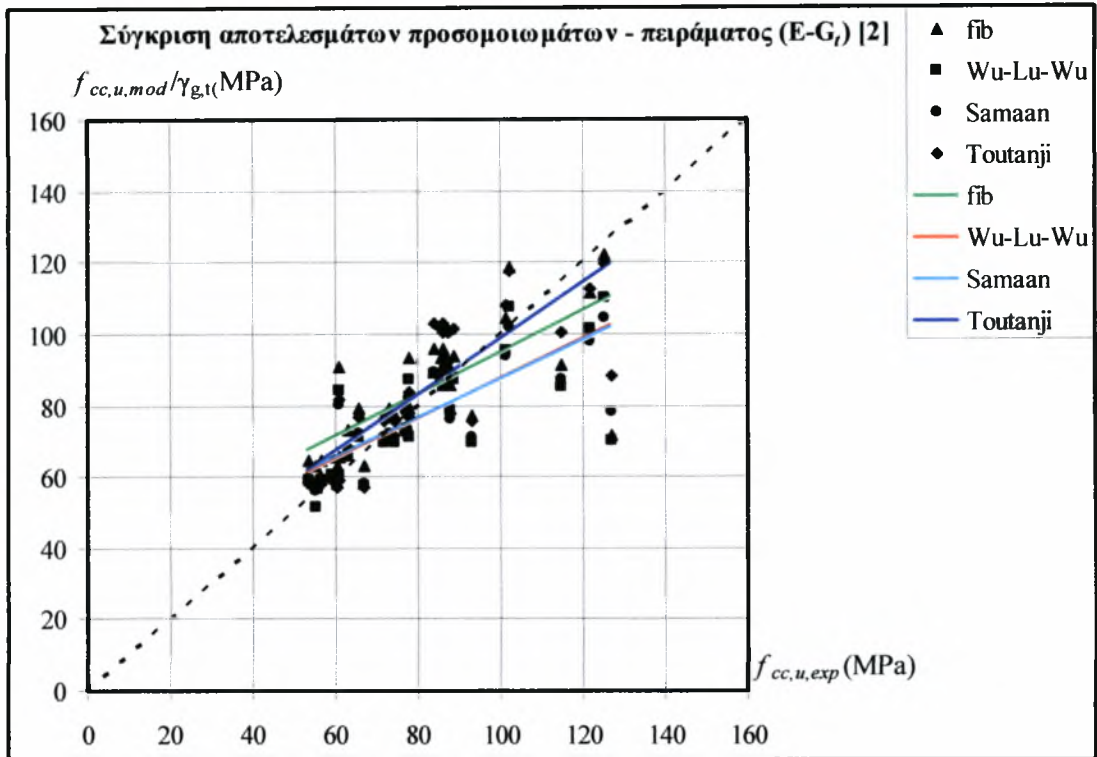
**Σχήμα 5.4.29:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Xiao – Wu [1] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος της fib μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\varepsilon} = 2.00(f_{co} < 50\text{MPa}) - \gamma_{c,\varepsilon} = 2.00(f_{co} > 50\text{MPa})$



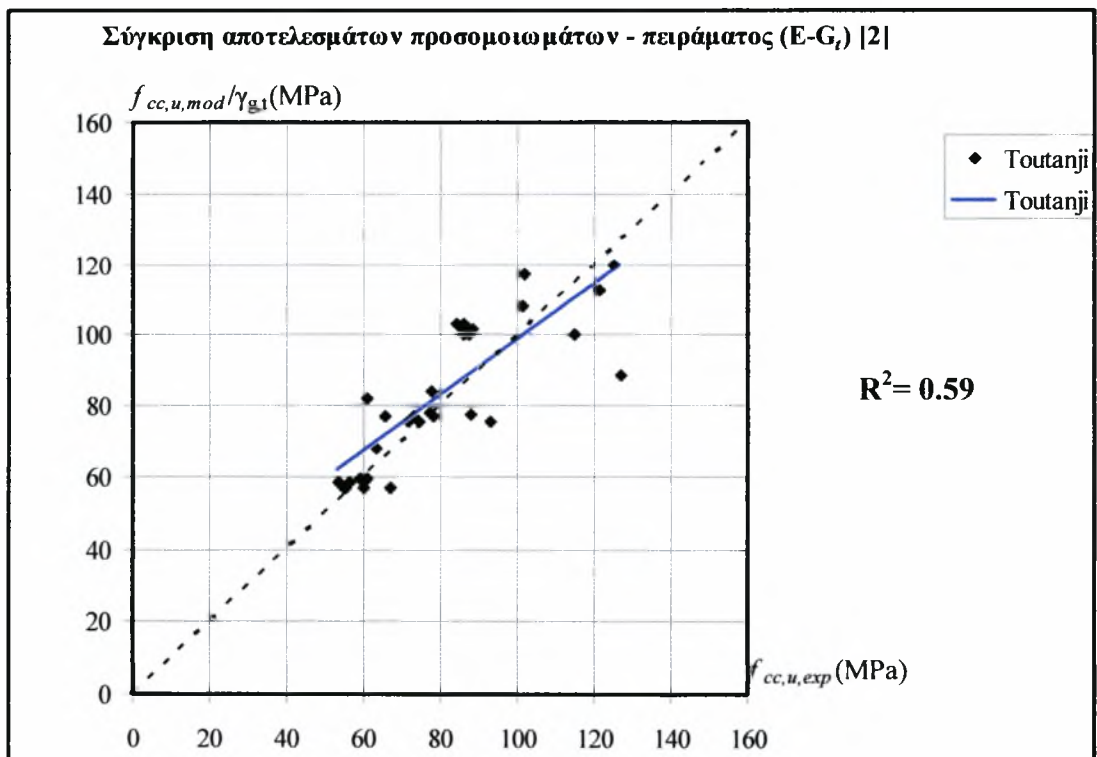
**Σχήμα 5.4.30:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao – Wu [1] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Wu et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,e} = 1.00 (f_{co} < 50 \text{MPa}) - \gamma_{c,e} = 1.20 (f_{co} > 50 \text{MPa})$



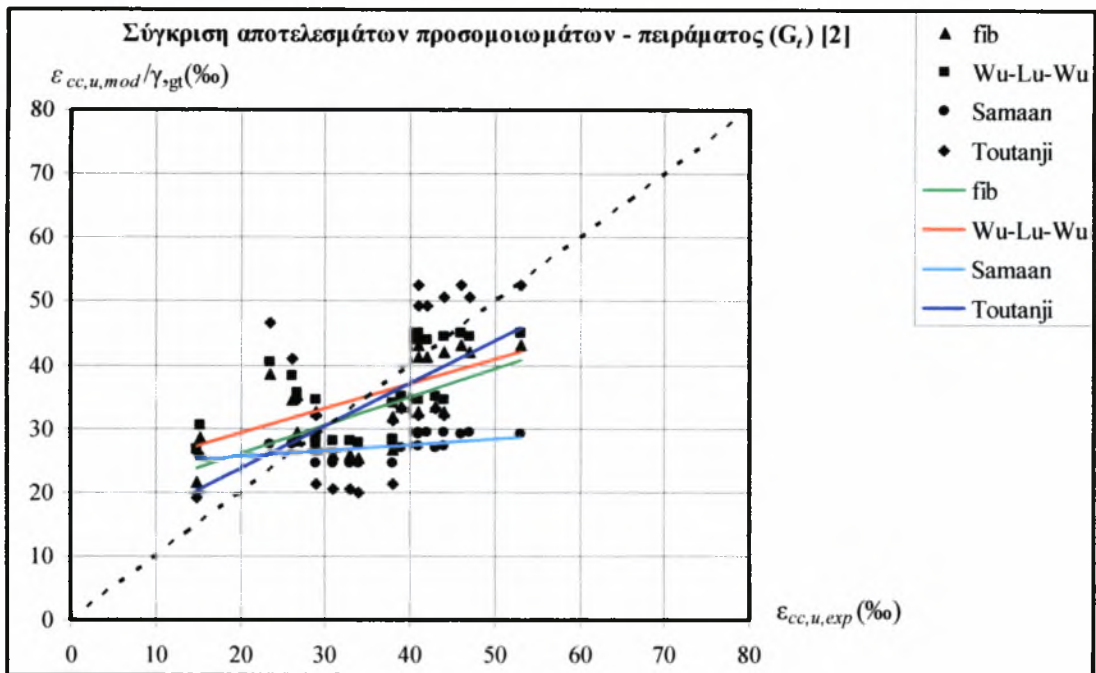
#### 5.4.4 Πείραμα Amir Mirmiran [2]



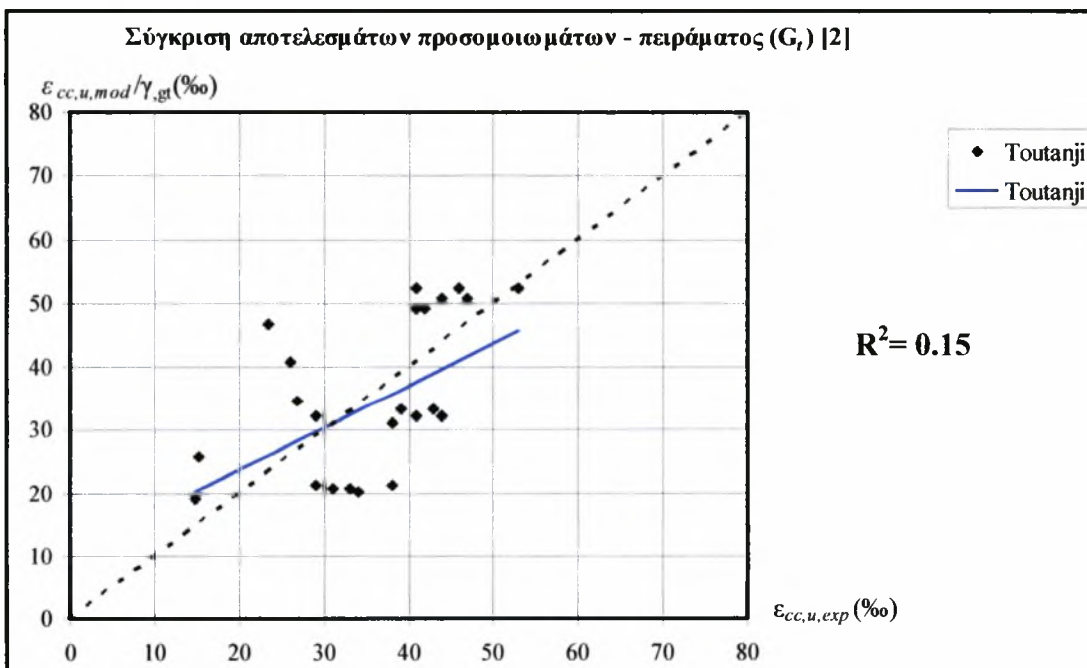
Σχήμα 5.4.31: Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Mirmiran [2] και των αντίστοιχων προβλέψεων των τεσσάρων προσομοιώματων που εξετάστηκαν μετά την εφαρμογή των διορθωτικών συντελεστών  $\gamma_{cf}$



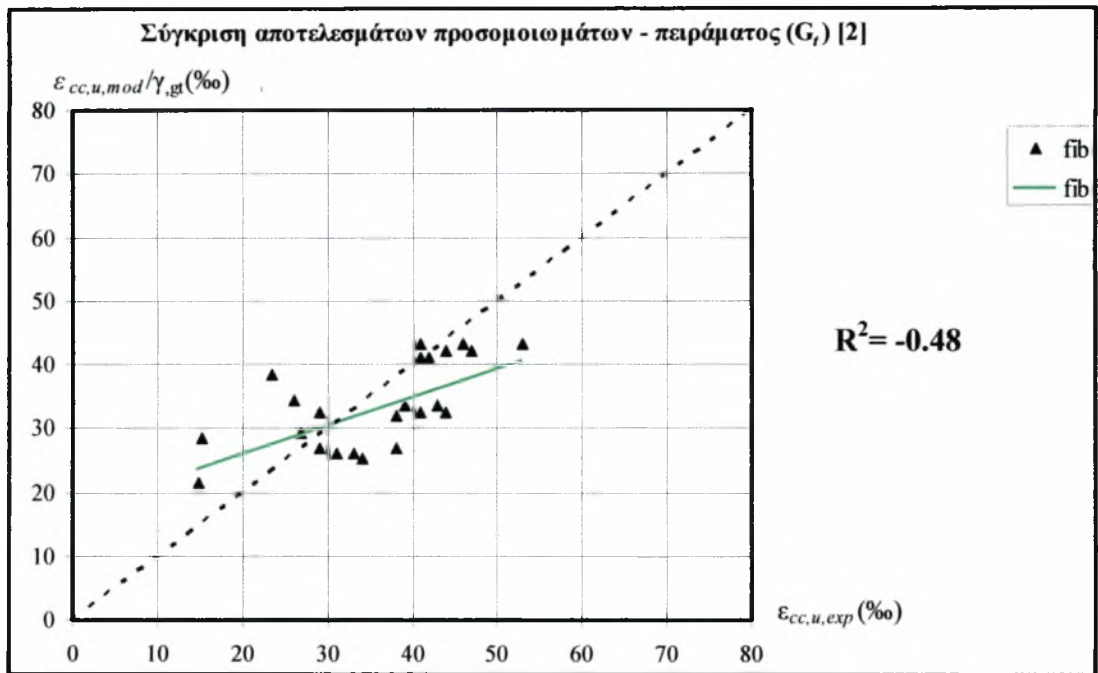
Σχήμα 5.4.32: Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Mirmiran [2] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος του Toutanji μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{cf}=1.20$



**Σχήμα 5.4.33:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Mirmiran [2] και των αντίστοιχων προβλέψεων των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν μετά την εφαρμογή των διορθωτικών συντελεστών  $\gamma_{c,\varepsilon}$



**Σχήμα 5.4.34:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Mirmiran [2] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος του Toutanji μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\varepsilon} = 1.40$



**Σχήμα 5.4.35:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Mirmiran [2] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος της fib μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{cf} = 1.50$

## 5.5 Συμπεράσματα

Από τους συντελεστές συσχέτισης που προκύπτουν μετά την εφαρμογή στις τιμές που προβλέπουν τα προσομοιώματα των συντελεστών ασφαλείας παρατηρούμε πως τα  $R^2$  βελτιώνονται σημαντικά. Αυτό σημαίνει πως οι προβλέψεις των προσομοιωμάτων γίνονται πιο αξιόπιστες.

Παρακάτω παρουσιάζονται για μανδύες ινών άνθρακα ,συγκριτικά, οι τιμές των συντελεστών συσχέτισης πριν και μετά την εφαρμογή του διορθωτικού συντελεστή:

**Πίνακας 5.5.1:** Βελτίωση  $R^2$  (μετά την εφαρμογή των συντελεστών ασφαλείας) πειραμάτων Καραμπίνη - Ρουσάκη

Καραμπίνης - Ρουσάκης (200mm*320mm)			
	Προσομοίωμα	Συντελεστής συσχέτισης πριν την εφαρμογή των $\gamma_c$	Συντελεστής συσχέτισης μετά την εφαρμογή των $\gamma_c$
$f_{cc,u}$	Samaan	$R^2 = -1.94$	$R^2 = 0.24$
	Toutanji	$R^2 = -2.38$	$R^2 = 0.58$
	fib	$R^2 = -1.41$	$R^2 = 0.56$
	Wu et al	$R^2 = 0.30$	$R^2 = 0.59$
$\epsilon_{cc,u}$	Samaan	$R^2 = -15.87$	$R^2 = -4.28$
	Toutanji	$R^2 = -2.44$	$R^2 = -0.25$
	fib	$R^2 = -12.75$	$R^2 = -3.92$
	Wu et al	$R^2 = 0.03$	$R^2 = 0.03$

**Πίνακας 5.5.2:** Βελτίωση  $R^2$  (μετά την εφαρμογή των συντελεστών ασφαλείας) πειραμάτων Xiao - Wu

<b>Xiao - Wu (150mm*300mm)</b>			
	Προσομοίωμα	Συντελεστής συσχέτισης πριν την εφαρμογή των $\gamma_c$	Συντελεστής συσχέτισης μετά την εφαρμογή των $\gamma_c$
$f_{cc,u}$	Samaan	$R^2 = 0.19$	$R^2 = 0.98$
	Toutanji	$R^2 = -0.97$	$R^2 = 0.90$
	fib	$R^2 = -0.35$	$R^2 = 0.72$
	Wu et al	$R^2 = 0.35$	$R^2 = 0.93$
$\epsilon_{cc,u}$	Samaan	$R^2 = -67.84$	$R^2 = -6.72$
	Toutanji	$R^2 = -1.99$	$R^2 = 0.78$
	fib	$R^2 = -1.06$	$R^2 = 0.11$
	Wu et al	$R^2 = 0.40$	$R^2 = 0.40$

Τα αποτελέσματα που υπολογίζει το κάθε προσομοίωμα επειδή εξετάζουμε μόνο ένα πάχος μανδύα ινών άνθρακα ήταν ίδια στα πειράματα των Labossiere – Rochette. Οπότε  $y = y_m$  και άρα δεν ήταν δυνατόν να υπολογιστεί συντελεστής συσχέτισης. Παρόλα αυτά παρουσιάζεται ο παρακάτω πίνακας όπου για λόγους σύγκρισης έγιναν οι διαιρέσεις των προβλεπόμενων, από τα προσομοιώματα, τιμών αντοχής και παραμόρφωσης θραύσης με τους μειωτικούς συντελεστές.

**Πίνακας 5.5.3:** Βελτίωση προβλεπόμενων τιμών αντοχής-παραμόρφωσης θραύσης (μετά την εφαρμογή των συντελεστών ασφαλείας) πειραμάτων Rochette - Labossiere

	$\epsilon_{cc,u,mod}$ (‰)	$\epsilon_{cc,u,exp}$ (‰)	$\epsilon_{cc,u,mod} / \gamma_c$ (‰)	$f_{cc,u,mod}$ (MPa)	$f_{cc,u,exp}$ (MPa)	$f_{cc,u,mod} / \gamma_c$ (MPa)
<b>f i b</b>	26.06	16	<b>13.03</b>	94.333	73.5	<b>72.56</b>
	26.06	15.7	<b>13.03</b>	94.333	73.5	<b>72.56</b>
	26.06	13.5	<b>13.03</b>	94.333	67.62	<b>72.56</b>
<b>W U - L U - W U</b>	13.68	16	<b>13.68</b>	76.47	73.5	<b>63.73</b>
	13.68	15.7	<b>13.68</b>	76.47	73.5	<b>63.73</b>
	13.68	13.5	<b>13.68</b>	76.47	67.62	<b>63.73</b>
<b>T O U T A N J I</b>	35.60	16	<b>14.83</b>	103.89	73.5	<b>74.21</b>
	35.60	15.7	<b>14.83</b>	103.89	73.5	<b>74.21</b>
	35.60	13.5	<b>14.83</b>	103.89	67.62	<b>74.21</b>
<b>S A M A A N</b>	28.458	16.00	<b>8.13</b>	82.276	73.5	<b>68.56</b>
	28.458	15.70	<b>8.13</b>	82.276	73.5	<b>68.56</b>
	28.458	13.50	<b>8.13</b>	82.276	67.62	<b>68.56</b>

Άρα για κυλίνδρους διαστάσεων μεγαλύτερων απο 150mm\*300mm ενισχυμένων με σύνθετο υλικό από ίνες άνθρακα προτείνεται τόσο για την πρόβλεψη της αντοχής όσο και της παραμόρφωσης κατά την θραύση τους το προσομοίωμα των Wu et al.

Για κυλίνδρους με το προαναφερθέν υλικό ενίσχυσης αλλά διαστάσεων 150mm\*300mm προτείνεται το προσομοίωμα των Samaan et al για την πρόβλεψη της αντοχής κατά την θραύση και το προσομοίωμα του Toutanji για την πρόβλεψη της παραμόρφωσης θραύσης με τους αντίστοιχους συντελεστές ασφαλείας(βλέπε Πιν:5.3.22 και Πιν: 5.3.23). Ενώ για κυλίνδρους 100mm\*200mm λιγότερο υπερεκτιμημένες είναι οι διορθωμένες προβλέψεις του προσομοιώματος της fib όσον αφορά την τάση κατά την αστοχία των κυλίνδρων, ενώ για την αντιστοιχη παραμόρφωση πιο αξιόπιστες είναι οι προβλέψεις του προσομοιώματος του Toutanji.

Για μανδύες ινών αραμιδίου οι συντελεστές συσχέτισης  $R^2$  παρουσιάζονται παρακάτω:

**Πίνακας 5.5.4:** Βελτίωση  $R^2$  (μετά την εφαρμογή των συντελεστών ασφαλείας) πειραμάτων Rochette - Labossiere

<b>Rochette - Labossiere (150mm*300mm)</b>			
	Προσομοίωμα	Συντελεστής συσχέτισης πριν την εφαρμογή των $\gamma_c$	Συντελεστής συσχέτισης μετά την εφαρμογή των $\gamma_c$
$f_{cc,u}$	Samaan	$R^2 = -0.60$	$R^2 = 0.51$
	Toutanji	$R^2 = -1.76$	$R^2 = 0.91$
	fib	$R^2 = -1.19$	$R^2 = 0.92$
	Wu et al	$R^2 = 0.94$	$R^2 = 0.94$
$\epsilon_{cc,u}$	Samaan	$R^2 = -9.27$	$R^2 = 0.93$
	Toutanji	$R^2 = -1.60$	$R^2 = 0.54$
	fib	$R^2 = -2.96$	$R^2 = 0.92$
	Wu et al	$R^2 = -1.07$	$R^2 = -1.07$

Η βελτίωση που παρουσιάζεται στις προβλέψεις είναι σημαντική όπως παρατηρείται από τον πίνακα που προηγήθηκε. Αξιοσημείωτη είναι η μεγάλη αύξηση του συντελεστή συσχέτισης του προσομοιώματος του Samaan για την πρόβλεψη της παραμόρφωσης κατά την θραύση των κυλίνδρων από  $-9.27 \rightarrow 0.93!$

Τέλος όσον αφορά τους σύνθετους σωλήνες με σκυρόδεμα λόγω του ότι το προσομοίωμα των Samaan et al και των Wu et al υποεκτιμούν την αντοχή και την παραμόρφωση θραύσης των σύνθετων κυλίνδρων που περιέχουν σκυρόδεμα και επειδή δεν χρησιμοποιούνται αυξητικοί συντελεστές αλλά μόνο μειωτικοί τις καλύτερες προβλέψεις μετά την διόρθωση παρέχει το προσομοίωμα του Toutanji.

**Πίνακας 5.5.5:** Βελτίωση  $R^2$  (μετά την εφαρμογή των συντελεστών ασφαλείας) πειραμάτων Mirmiran

<b>A. Mirmiran (150mm*300mm)</b>			
	Προσομοίωμα	Συντελεστής συσχέτισης πριν την εφαρμογή των $\gamma_c$	Συντελεστής συσχέτισης μετά την εφαρμογή των $\gamma_c$
$f_{cc,u}$	Samaan	$R^2= 0.07$	$R^2= 0.07$
	Toutanji	$R^2= -0.03$	$R^2= 0.59$
	fib	$R^2= 0.22$	$R^2= 0.22$
	Wu et al	$R^2= 0.10$	$R^2= 0.10$
$\epsilon_{cc,u}$	Samaan	$R^2= -50.38$	$R^2= -50.38$
	Toutanji	$R^2= -0.31$	$R^2= 0.15$
	fib	$R^2= -1.75$	$R^2= -0.48$
	Wu et al	$R^2= -0.51$	$R^2= -0.51$

Συγκεκριαίωτικά σημειώνεται πως οι συντελεστές ασφαλείας είναι πιο αξιόπιστοι λόγω των πολλών πειραματικών δεδομένων που είχαμε στην διάθεση μας.

### ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

#### 6.1 Είδος δοκιμών

Για τον έλεγχο των προσομοιωμάτων που αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 2 προβλέπεται να γίνουν αντίστοιχα πειράματα με εκείνα του Κεφαλαίου 3 στο Εργαστήριο Τεχνολογίας Οπλισμένου Σκυροδέματος του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Παν. Θεσσαλίας και θα εφαρμοστούν στα πειραματικά αποτελέσματα οι συντελεστές ασφαλείας.

Τα δοκίμια που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι κύλινδροι, αφού με βάσει κυλινδρικά δοκίμια έχουν εξαχθεί τα προσομοιώματα. Το εργαστήριο διαθέτει πληθώρα κυλινδρικών δοκιμών τεσσάρων (4) διαφορετικών μεγεθών με σταθερό λόγο ύψος προς διάμετρο ίσο με 2. Τα μεγέθη είναι τα εξής:

- 1) Κύλινδρος  $H = 12 \text{ in (30.48cm)}$ ,  $D = 6 \text{ in (15.24 cm)}$
  - 2) Κύλινδρος  $H = 8 \text{ in (20.32cm)}$ ,  $D = 4 \text{ in (10.16 cm)}$
  - 3) Κύλινδρος  $H = 6 \text{ in (15.24cm)}$ ,  $D = 3 \text{ in (7.62cm)}$
  - 4) Κύλινδρος  $H = 4 \text{ in (10.16cm)}$ ,  $D = 2 \text{ in (5.08 cm)}$
- όπου  $H$  και  $D$  το ύψος και η διάμετρος αντίστοιχα.

Επιλέχθηκαν να ελεγχθούν οι κύλινδροι των δύο πρώτων κατηγοριών  $304.8 * 152.4\text{mm}$  και  $203.2 * 101.6\text{mm}$  καθώς οι υπόλοιποι κρίθηκαν πολύ μικροί και θα παρουσίαζαν δυσκολία κατά την εφαρμογή των φύλλων ΙΟΠ στην επιφάνεια τους και πιθανώς σημαντικά φαινόμενα κλίμακας.

Για κάθε μία από τις δύο παραπάνω κατηγορίες κυλίνδρων προτείνεται η ενίσχυση 9 κυλίνδρων με διαφορετικές στρώσεις και κατά συνέπεια πάχους ενίσχυσης. Επίσης είναι απαραίτητη η δοκιμή τριών απλών (απερίσιφικτων) κυλίνδρων για λόγους ελέγχου.



## 6.2 Πρώτες ύλες

### 6.2.1 Σύνθεση σκυροδέματος

#### α) Αδρανή

Το γεγονός ύπαρξης δύο δοκιμών με διαφορετικές διαστάσεις , καθώς και το ότι η φόρτιση που θα εφαρμοστεί θα είναι θλιπτική μονοαξονική ένταση μας προβλημάτισε, γιατί θα είχε ως συνέπεια την εμφάνιση **φαινομένων κλίμακας**.

Συγκεκριμένα τα φαινόμενα κλίμακας αναφέρονται στη διαφορά που παρατηρείται στην αντοχή του σκυροδέματος μεταξύ δοκιμών διαφορετικού μεγέθους. Η διαφορά αυτή εκφράζεται με αύξηση της αντοχής με την μείωση του μεγέθους του δοκιμίου. Παρατηρείται τόσο στην εφελκυστική αντοχή όσο και στην θλιπτική. Το φαινόμενο αυτό δεν περιορίζεται μόνο στο σκυρόδεμα αλλά εμφανίζεται σε μεγάλο εύρος ημι-ψαθυρών υλικών.

Η όλη θεώρηση του παραπάνω φαινομένου περιορίζεται στην λογική ότι όσο πιο μεγάλο είναι το στοιχείο υπό εξέταση τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να υπάρχουν μικροατέλειες. Οι ατέλειες αυτές στην δομή του ετερογενούς υλικού επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την αντοχή του.

Γενικότερα η αντοχή δοκιμών, ίδιας γεωμετρίας και υλικού άλλα διαφορετικού μεγέθους επηρεάζεται από τους παρακάτω παράγοντες:

1. Διαφορετικός ρυθμός πήξης και σκλήρυνσης
2. Διαφορετική ποιότητα υλικού
3. Διαφορετικός ρυθμός ξήρανσης των δοκιμών
4. Διακυμάνσεις αντοχής λόγω διαφορετικού όγκου του υλικού
5. Ρυθμός Φορτισης
6. Στατιστικές διακυμάνσεις αντοχής λόγω διαφορετικού όγκου του υλικού
7. Μέθοδος φόρτισης
8. Διαφορετικές συνθήκες φόρτισης λόγω διαφορών στην ποιότητα του καπέλωματος

Επίσης τα φαινόμενα κλίμακας επηρεάζονται από πειραματικούς παράγοντες κατά την διάρκεια της δοκιμής. Αυτοί οι παράγοντες είναι:

1. Τυχαία αντοχή
2. Φαινόμενο 'τοίχου'

Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην διαφορετική σύσταση της επιφανειακής στρώσης σκυροδέματος από το εσωτερικό του δοκιμίου. Η στρώση αυτή έχει ουσιαστικά πάχος ίσο με τη διάσταση ενός αδρανούς.

### 3. Μέγεθος αδρανών

Ο νόμος των φαινομένων κλίμακας ισχύει μεταξύ δοκιμίων με το ίδιο σκυρόδεμα. Οπότε και μεταξύ δοκιμίων με το ίδιο μέγεθος αδρανών. Εάν μεταβληθεί το μέγεθος των αδρανών θα μεταβληθούν και οι παράμετροι που επηρεάζουν τα φαινόμενα κλίμακας.

### 4. Πυκνότητα συμπίκνωσης

### 5. Απώλεια νερού

Η απώλεια νερού από τα δοκίμια εξαρτάται από το μέγεθος τους, προκαλεί διαφορά στην ποιότητα του υλικού και άρα επηρεάζει την αντοχή του!

### 6. Ωρίμανση και ξήρανση δοκιμίων

### 7. Ρυθμός φόρτισης

Υψηλότερος ρυθμός φόρτισης εμφανίζει υψηλότερη αντοχή στο δοκίμιο. Είναι άρα επόμενο ότι τα μικρά δοκίμια λόγω του ότι παρουσιάζουν μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης των τάσεων θα παρουσιάζουν και υψηλότερη τελική αντοχή.

### 8. Είδος εντατικής κατάστασης

Όσον αφορά στην εντατική κατάσταση που προκαλείται από θλίψη η αντοχή των δοκιμίων επηρεάζεται σε πιθανή μη επιπεδότητα των ακμών και σε προβλήματα παραλληλισμού αυτών. Έτσι λοιπόν είναι φανερό πως επειδή σε μικρά δοκίμια το κατέλωμα γίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια και άρα έχει σαν αποτέλεσμα επιπεδότερες και πιο παραλληλισμένες ακμές η αντοχή που προκύπτει είναι υψηλότερη

### 9. Πρέσα και κεφαλές εμβόλων

Η δυσκαμψία των κεφαλών των εμβόλων και γενικά οι ιδιότητες της πρέσας επηρεάζουν τα αποτελέσματα της φόρτισης. Οι κεφαλές τείνουν να περιορίσουν εγκάρσιες μετακινήσεις στα άκρα των δοκιμίων με αποτέλεσμα να εμφανίζονται εγκάρσιες τάσεις. Οι τάσεις αυτές δημιουργούν συνθήκες τριαξονικής θλίψης στα δοκίμια. Σαν αποτέλεσμα παίρνουμε μεγαλύτερες αντοχές. Όσο μικρότερο λοιπόν είναι το δοκίμιο τόσο μεγαλύτερη θα είναι η αύξηση της αντοχής.

Έτσι λοιπόν για να μειωθεί η σημαντική επιρροή των φαινομένων κλίμακας κρίνεται απαραίτητη η επιλογή κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης.

Το εργαστήριο διαθέτει δύο κοκκομετρικές διαβαθμίσεις με διαφορά ως προς τον μέγιστο κόκκο. Για τη μεν πρώτη ο μέγιστος κόκκος αδρανούς είναι 5mm και για την δεύτερη 15mm.

Στην διπλωματική εργασία του Α. Κάνου ‘Πειραματική διερεύνηση της επίδρασης κλίμακας στη μηχανική συμπεριφορά σκυροδέματος’[21] που εκπονήθηκε το 2004, έγιναν πειράματα και έχουν εξαχθεί καμπύλες, διάμετρος κυλίνδρων – αντοχή κυλίνδρων για δύο κοκκομετρικές διαβαθμίσεις και για τα τέσσερα μεγέθη κυλίνδρων που διαθέτει το εργαστήριο. Οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις διέφεραν ως προς τον μέγιστο κόκκο αδρανούς και συγκεκριμένα

- η πρώτη (α’) είχε μέγιστο κόκκο 15 mm
- η δεύτερη (β’) είχε μέγιστο κόκκο 5 mm

και είχαν σκυροδέτηθει αντίστοιχα δύο ομάδες δοκιμών. Λόγω διαφοράς στην ημερομηνία δοκιμής των κυλίνδρων της πρώτης σειράς και άρα διαφοράς στην αντοχή σε θλίψη, η οποία έφτανε πάνω από 30%, χωρίστηκε σε δύο ομάδες. Στα παρακάτω διαγράμματα και τους πίνακες παρουσιάζονται οι μέσες τιμές αντοχής των κυλίνδρων σε θλίψη.

**Πίνακας 6.2.1:** Αποτελέσματα αντοχής σε θλίψη κυλίνδρων α’ ομάδας α’ κοκκομετρικής διαβάθμισης δοκιμών σε θλίψη [21]

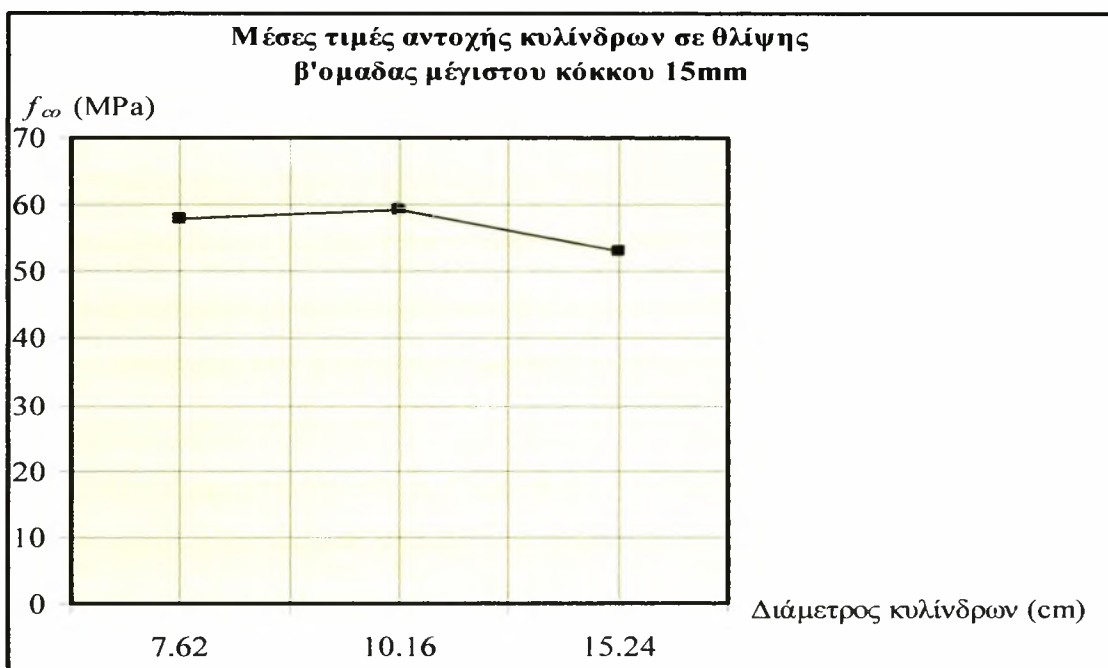
<b>Μέγιστο μέγεθος κόκκου <math>d_{max}=15</math> mm</b>	
<b>Διάμετρος κυλίνδρου D(cm)</b>	<b>Θλιπτική Αντοχή <math>f_{co}</math>(MPa)</b> Πειραματικά δεδομένα (μέσες τιμές)
7.62	47.76
<b>10.16</b>	<b>52.78</b>
<b>15.24</b>	<b>39.84</b>

**Πίνακας 6.2.2:** Αποτελέσματα αντοχής σε θλίψη κυλίνδρων β’ ομάδας α’ κοκκομετρικής διαβάθμισης [21]

<b>Μέγιστο μέγεθος κόκκου <math>d_{max}=15</math> mm</b>	
<b>Διάμετρος κυλίνδρου D(cm)</b>	<b>Θλιπτική Αντοχή <math>f_{co}</math>(MPa)</b> Πειραματικά δεδομένα (μέσες τιμές)
7.62	57.91
<b>10.16</b>	<b>59.14</b>
<b>15.24</b>	<b>52.91</b>



**Σχήμα 6.2.1:** Σχηματική αναπαράσταση αντοχής κυλίνδρων α' ομάδας α' κοκκομετρικής διαβάθμισης [21]



**Σχήμα 6.2.2:** Σχηματική αναπαράσταση αντοχής κυλίνδρων β' ομάδας α' κοκκομετρικής διαβάθμισης [21]

**Πίνακας 6.2.3:** Αποτελέσματα αντοχής κυλίνδρων σε θλίψη β' κοκκομετρικής διαβάθμισης [21]

Μέγιστο μέγεθος κόκκου $d_{max} = 5 \text{ mm}$	
Διάμετρος κυλίνδρου D(cm)	Θλιπτική Αντοχή $f_{co}$ (MPa) Πειραματικά δεδομένα (μέσες τιμές)
5.05	57.58
7.62	65.646
<b>10.16</b>	<b>59.756</b>
<b>15.24</b>	<b>58.642</b>



**Σχήμα 6.2.3:** Σχηματική αναπαράσταση αντοχής κυλίνδρων β' κοκκομετρικής διαβάθμισης δοκιμίων [21]

Τα δοκίμια που μας ενδιαφέρουν είναι αυτά με  $D=10.16\text{cm}$  και  $D=15.25\text{cm}$ . Παρατηρώντας τα αποτελέσματα βλέπουμε πως για τα δοκίμια με μέγιστο κόκκο αδρανών 15mm η θλιπτική αντοχή μεταξύ των δυο προαναφερθέντων διατομών παρουσιάζει σημαντικές διαφορές.

Στην α' ομάδα της α' κοκκομετρικής διαβάθμισης υπάρχει μείωση αντοχής λόγω φαινομένων κλίμακας από τον κύλινδρο με  $D=10.16\text{cm}$  στον κύλινδρο  $D=15.25\text{cm}$  είναι 25 % ενώ στην β' ομάδα της α' κοκκομετρικής διαβάθμισης η μείωση αντιστοιχεί σε 11 %. Στην δεύτερη κοκκομετρική διαβάθμιση ( $d_{max} = 5\text{mm}$ ) η μείωση της αντοχής είναι 1.9 % !

Οι διαφορές που σημειώνονται είναι αναμενόμενες λόγω των φαινομένων κλίμακας. Είναι προφανές πως όσο μεγαλύτερο κόκκο έχουμε, που σημαίνει ίσως μεγαλύτερα κενά στην μάζα του κυλίνδρου τόσο πιο σημαντική είναι η αύξηση της αντοχής των μικρότερων δοκιμών λόγω των φαινομένων κλίμακας. Αντίθετα τα ίδια δοκίμια με κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών μικρότερου μέγιστου κόκκου παρουσιάζουν μικρή ποσοστιαία αύξηση της αντοχής ίση με 1.9% στα δοκίμια με  $D=10.16m$ .

Συμπερασματικά προτείνεται να χρησιμοποιηθεί κοκκομετρική διαβάθμιση ανάλογη με αυτήν με μέγιστο κόκκο 5mm. Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά η συγκεκριμένη κοκκομετρική διαβάθμιση.

**Πίνακας 6.2.4: Κοκκομετρική διαβάθμιση**

Κοκκομετρική Καμπύλη 1/5"			
Κόσκινα	% Διερχόμενα	% Συγκρατούμενα	Βάρος (Kg)
1/2	100	0	0
3/8	100	0	0
4	100	0	0
8	75	25	29.25
16	53	22	25.74
30	34	19	22.23
50	16	18	21.06
80	8	8	9.36
100	4	4	4.68
200	1	3	3.51
Παιπάλη		1	1.17
Συνολικό Βάρος		100	117

## α2) Αναλογίες μίγματος

Επίσης προτείνεται να χρησιμοποιηθούν για το μίγμα του τσιμεντοπολλτού αναλογίες παρόμοιες με αυτές που είχαν χρησιμοποιηθεί στη εργασία του Α. Κάνου και οι οποίες ήταν **1 : 2 : 1 : 0.4** (Τσιμέντο : Αδρανή : Άμμο : Νερό) με τσιμέντο τύπου Portland. Ο ελάχιστος για την ενυδάτωση λόγος N / T είναι περίπου 0.42. Στην περίπτωση, όμως, υγρής συντήρησης η πλήρης ενυδάτωση επιτυγχάνεται για αρχικό λόγο N / T ίσο με 0.36. Έτσι λοιπόν προκύπτει ότι ο ελάχιστος λόγος N/T πρέπει να είναι 0.36-0.42.

### 6.2.2 Είδος και ιδιότητες σύνθετου υλικού

Το σύνθετο υλικό που προτείνεται είναι από ίνες άνθρακα, λόγω του ότι οι συντελεστές ασφαλείας είναι όπως προαναφέρθηκε περισσότερο αξιόπιστοι. Συγκεκριμένα προτείνεται το πλεκτό ύφασμα με ίνες άνθρακα Sika Wrap 230 C/45 της εταιρείας Sika, μιας κατεύθυνσης ινών. Οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των ινών δίνονται στην συνέχεια.

**Πίνακας 6.2.5:** Φυσικές ιδιότητες Sika Wrap 230 C/45

Βάρος Υφάσματος g/m <sup>2</sup>	Σχεδιαστικό πάχος υφάσματος (mm)	Πυκνότητα ινών g/cm <sup>2</sup>
230 ± 10	0.131	1.76

**Πίνακας 6.2.6:** Μηχανικές ιδιότητες Sika Wrap 230 C/45

Εφελκυστική αντοχή $f_f$ (MPa)	Μέτρο ελαστικότητας $E_f$ (GPa)	Οριακή παραμόρφωση $\epsilon_{f,u}$ (%)
4300	238	18

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 6.1 θα κατασκευαστούν κύλινδροι τριών διαφορετικών παχών. Για να διαπιστωθούν τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα πειραματικά αποτελέσματα των άλλων εργασιών που παρουσιάστηκαν για την μεταβολή της αντοχής και παραμόρφωσης από μία έως τρεις στρώσεις, προτείνεται να χρησιμοποιηθεί ο ίδιος αριθμός στρώσεων.

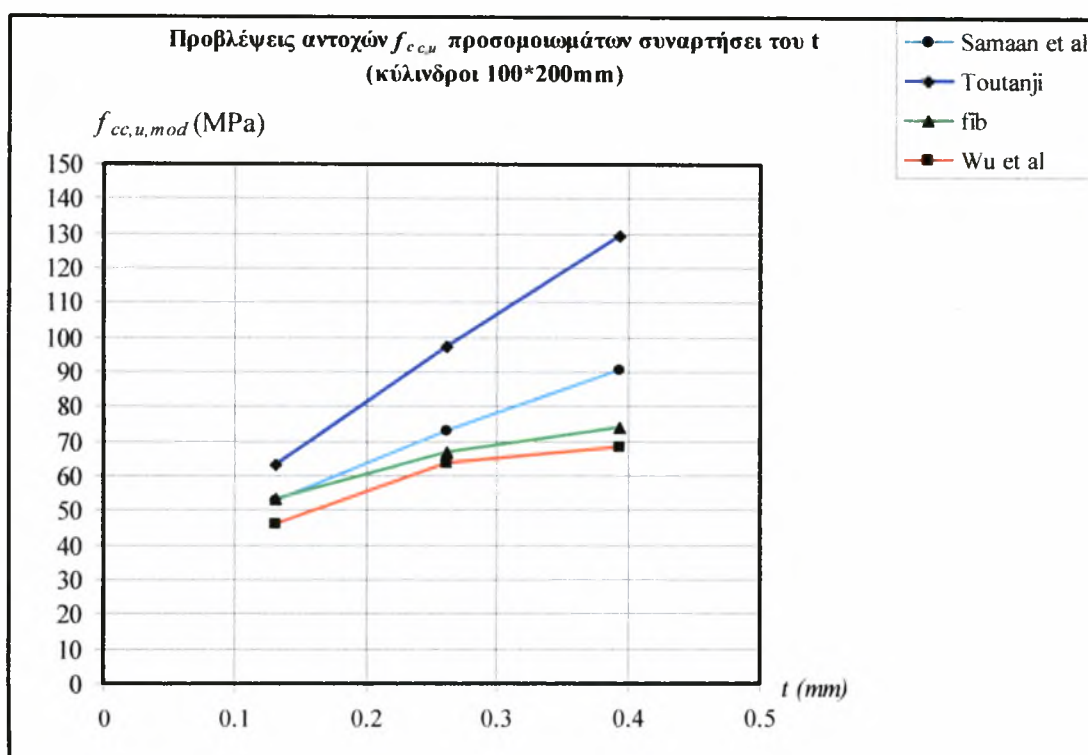
Άρα ο μανδύας ενίσχυσης θα έχει πάχος 0.131 mm (1 στρώση), 0,262 mm (2 στρώσεις) και 0.393mm ( 3 στρώσεις).

### 6.3 Προβλέψεις αντοχών και παραμορφώσεων θραύσης του πειραματικού προγράμματος

Από την εφαρμογή των μηχανικών ιδιοτήτων των ινών και του απερίσφιγκτου σκυροδέματος στα προσομοιώματα που εξετάσαμε στο κεφάλαιο 2 προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα για τις αντοχές και τις παραμορφώσεις των ενισχυμένων κυλίνδρων.

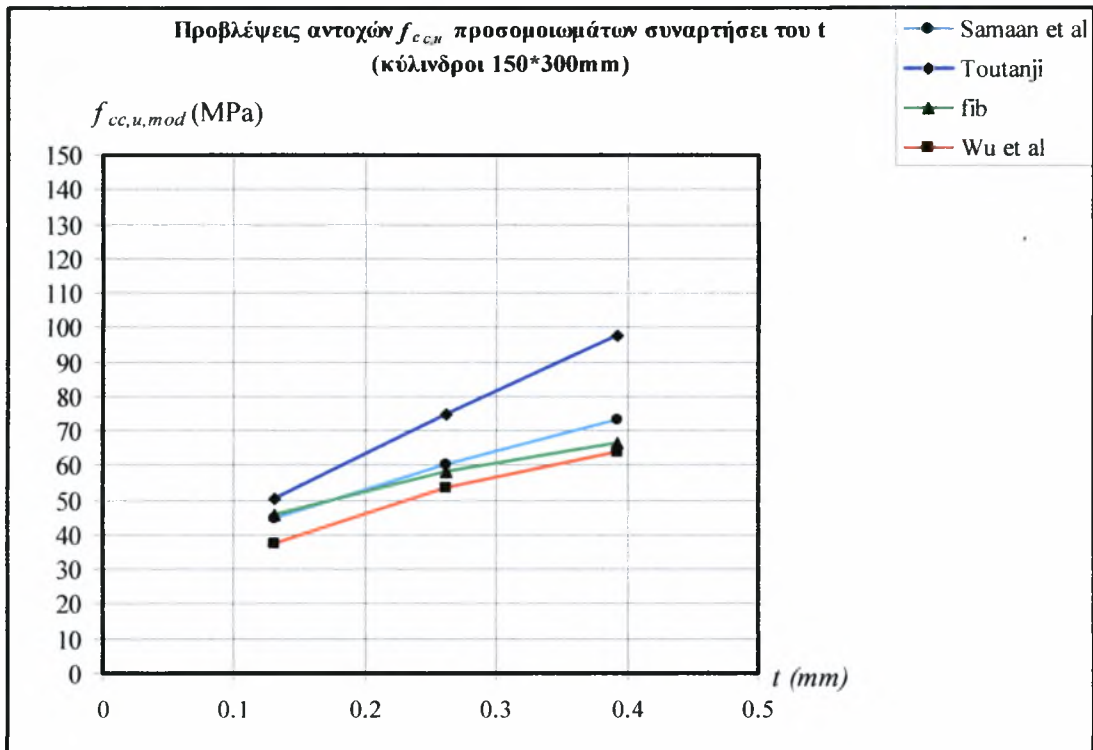
Επι πλέον εφαρμόστηκαν οι συντελεστές ασφαλείας που έχουν υπολογιστεί στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο και φαίνονται στον Πίνακα 5.3.22 και παρουσιάζονται στα σχήματα 6.3.3 και 6.3.4:

Τέλος δίνονται και οι πίνακες υπολογισμού για κάθε προσομοίωμα.

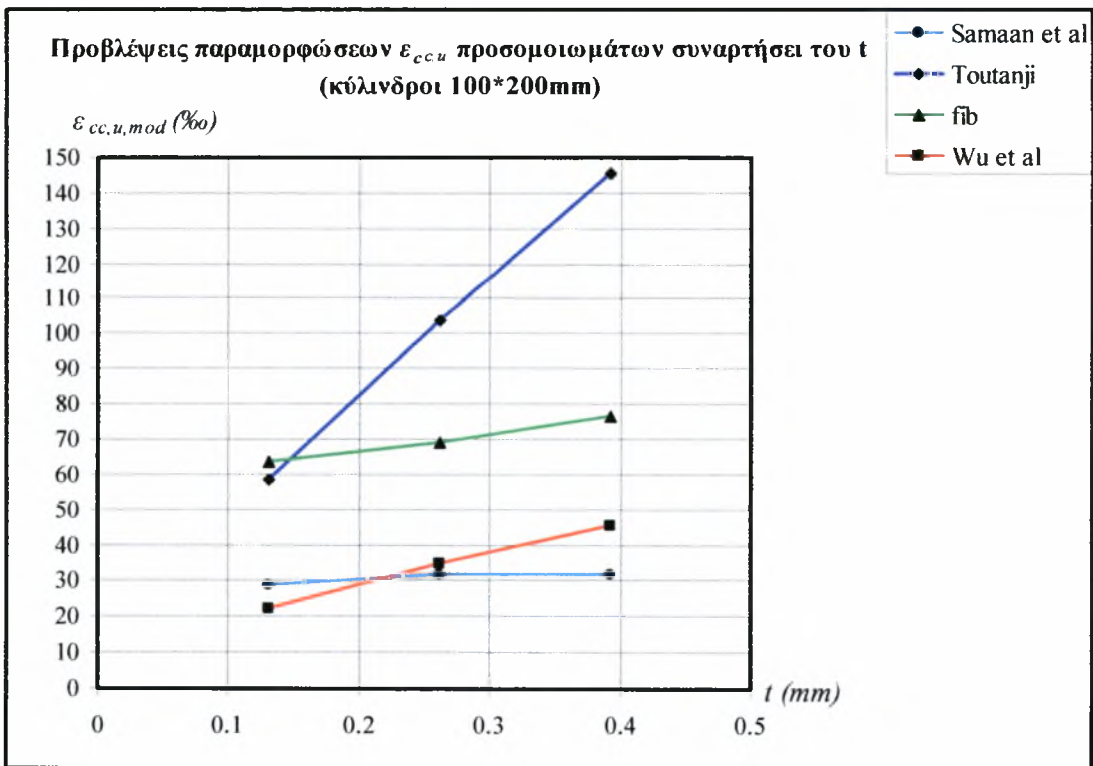


**Σχήμα 6.3.1:** Αντοχές περισφιγμένων κυλίνδρων 100\*200mm προτεινόμενου πειραματικού προγράμματος που προέκυψαν από την εφαρμογή των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν

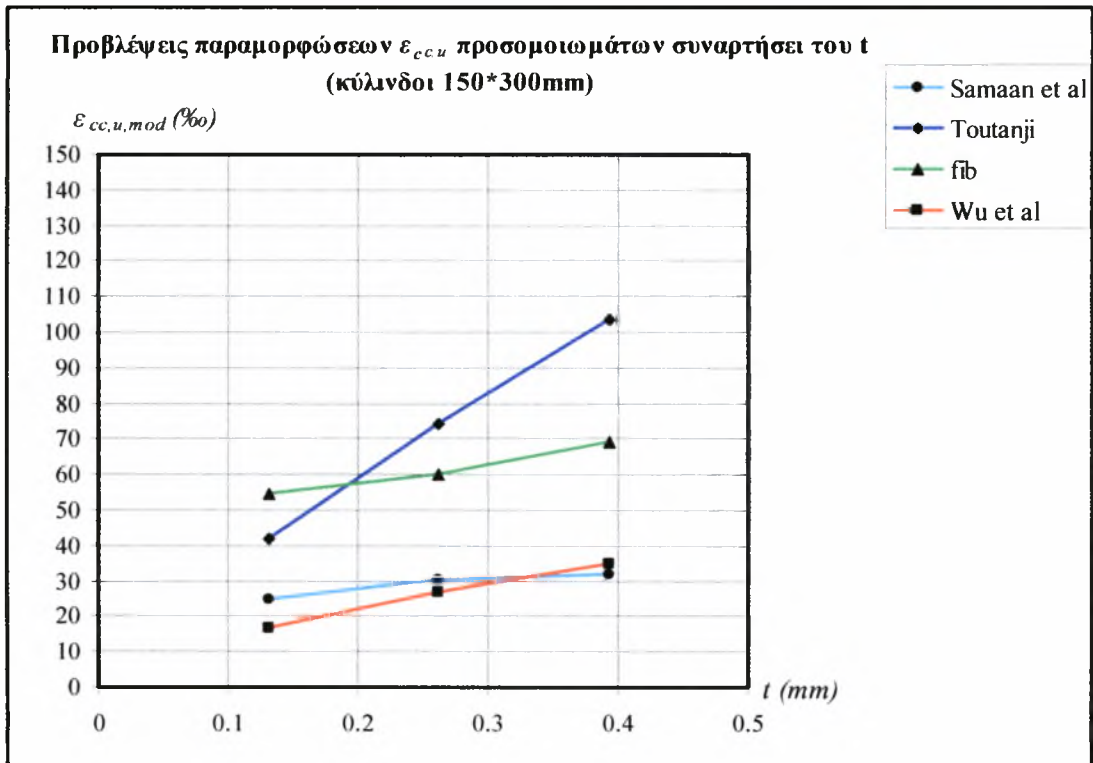




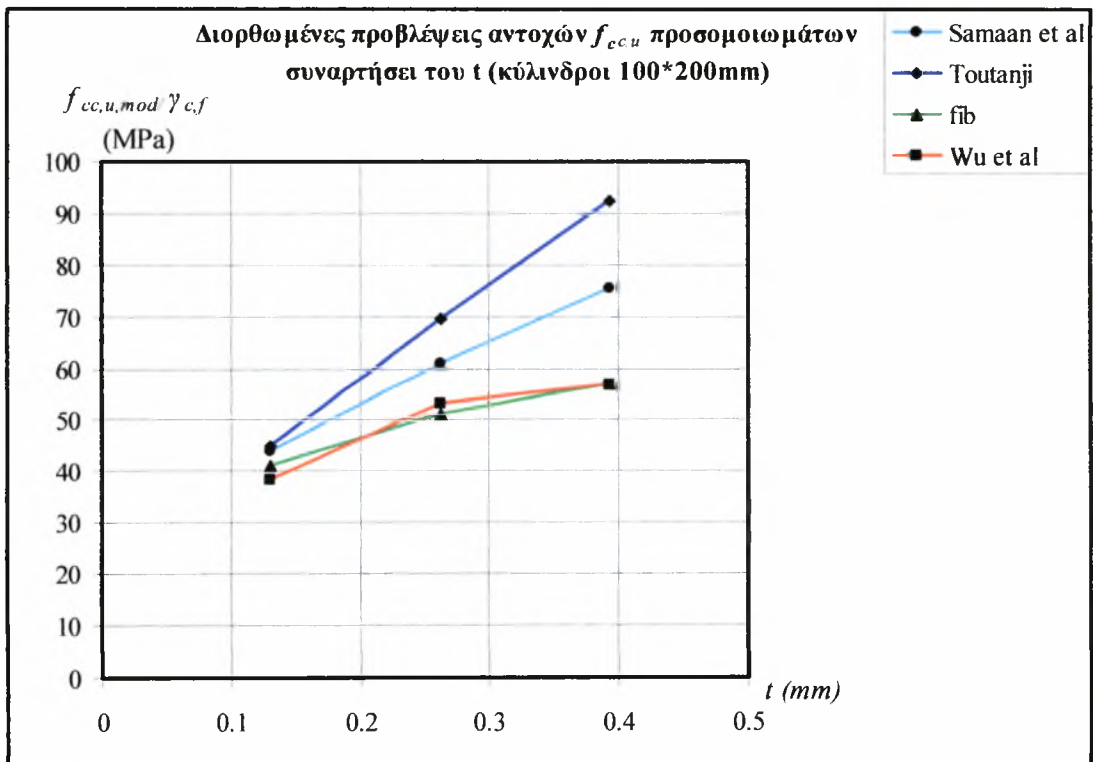
**Σχήμα 6.3.2:** Αντοχές περισφιγμένων κυλίνδρων 150\*300mm προτεινόμενου πειραματικού προγράμματος που προέκυψαν από την εφαρμογή των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν



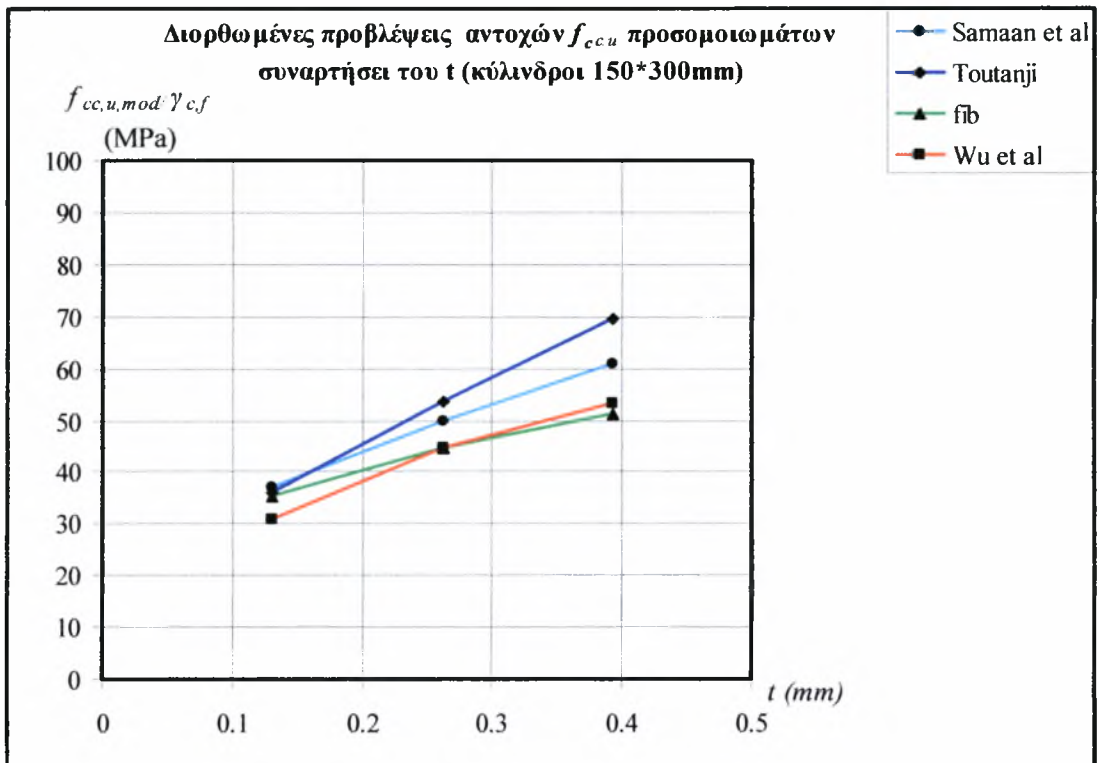
**Σχήμα 6.3.3:** Παραμορφώσεις περισφιγμένων κυλίνδρων 100\*200mm προτεινόμενου πειραματικού προγράμματος που προέκυψαν από την εφαρμογή των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν



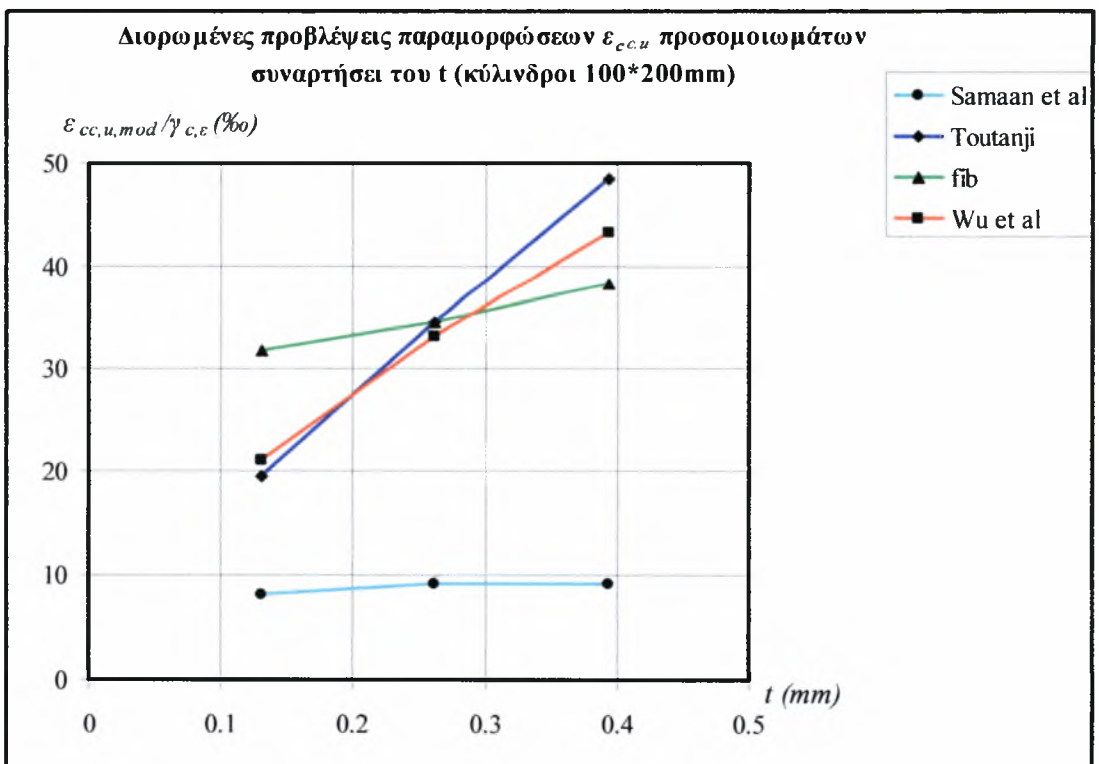
**Σχήμα 6.3.4:** Παραμορφώσεις περισφιγμένων κυλίνδρων 150\*300mm προτεινόμενου πειραματικού προγράμματος που προέκυψαν από την εφαρμογή των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν



**Σχήμα 6.3.5:** Διορθωμένες αντοχές περισφιγμένων κυλίνδρων 100\*200mm προτεινόμενου πειραματικού προγράμματος που προέκυψαν από την εφαρμογή τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν και των αντίστοιχων  $\gamma_{c,f}$



**Σχήμα 6.3.6:** Διορθωμένες αντοχές περισφιγμένων κυλίνδρων 150\*300mm προτεινόμενου πειραματικού προγράμματος που προέκυψαν από την εφαρμογή των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν και των αντίστοιχων  $\gamma_{c,f}$



**Σχήμα 6.3.7:** Διορθωμένες παραμορφώσεις περισφιγμένων κυλίνδρων 100\*200mm προτεινόμενου πειραματικού προγράμματος που προέκυψαν από την εφαρμογή των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν και των αντίστοιχων  $\gamma_{c,e}$

Πίνακας 6.3.1: Υπολογισμός προβλέψεων προσομοιώματος fib προτεινόμενου πειραματικού προγράμματος

for/funo	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$E_c$ (GPa)	$t_f$ (mm)	n	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\eta_c$	$f_{fde}$ (MPa)	$a_n$	$a_s$	$a_a$	$a_f$	$f_i(\sigma_{ind})$ (MPa)	$\alpha 1d$	$\alpha 2d$	$\alpha_{1d} \alpha_{2d} f_{co}$ (MPa)	$E_{sec, Mid}$ (MPa)	$E_{sec, ind}$ (MPa)	$f_{ecu, mod}$ (MPa)	$f_{ecu, mod} / \gamma_c$	$E_{ecu, mod}$ (‰)	$E_{ecu, mod} / \gamma_c$
A1A	150	300	20	28.85	0.13	1	238	4300	0.85	3655	1	1	1	1	6.384	2.345	1	46.903	2.168	0.840	45.685	35.142	54.370	27.185
																					45.685	35.142	54.370	27.185
																					45.685	35.142	54.370	27.185
A2A	150	300	20	28.85	0.13	2	238	4300	0.85	3655	1	1	1	1	12.768	3.022	1	60.439	2.720	0.963	58.131	44.716	60.342	30.171
																					58.131	44.716	60.342	30.171
																					58.131	44.716	60.342	30.171
A3A	150	300	20	28.85	0.13	3	238	4300	0.85	3655	1	1	1	1	19.152	3.442	1	68.842	2.606	0.963	66.498	51.152	69.026	34.513
																					66.498	51.152	69.026	34.513
																					66.498	51.152	69.026	34.513
A1A	100	200	20	28.85	0.13	1	238	4300	0.85	3655	1	1	1	1	9.576	2.728	1	54.551	2.021	0.840	53.393	41.072	63.545	31.772
																					53.393	41.072	63.545	31.772
																					53.393	41.072	63.545	31.772
A2A	100	200	20	28.85	0.13	2	238	4300	0.85	3655	1	1	1	1	19.152	3.442	1	68.842	2.606	0.963	66.498	51.152	69.026	34.513
																					66.498	51.152	69.026	34.513
																					66.498	51.152	69.026	34.513
A3A	100	200	20	28.85	0.13	3	238	4300	0.85	3655	1	1	1	1	28.728	3.812	1	76.239	2.531	0.963	73.840	56.800	76.648	38.324
																					73.840	56.800	76.648	38.324
																					73.840	56.800	76.648	38.324

Πίνακας 6.3.2: Υπολογισμός προβλεπόμενων προσομοιώματος Wu et al προτεινόμενου πειραματικού προγράμματος

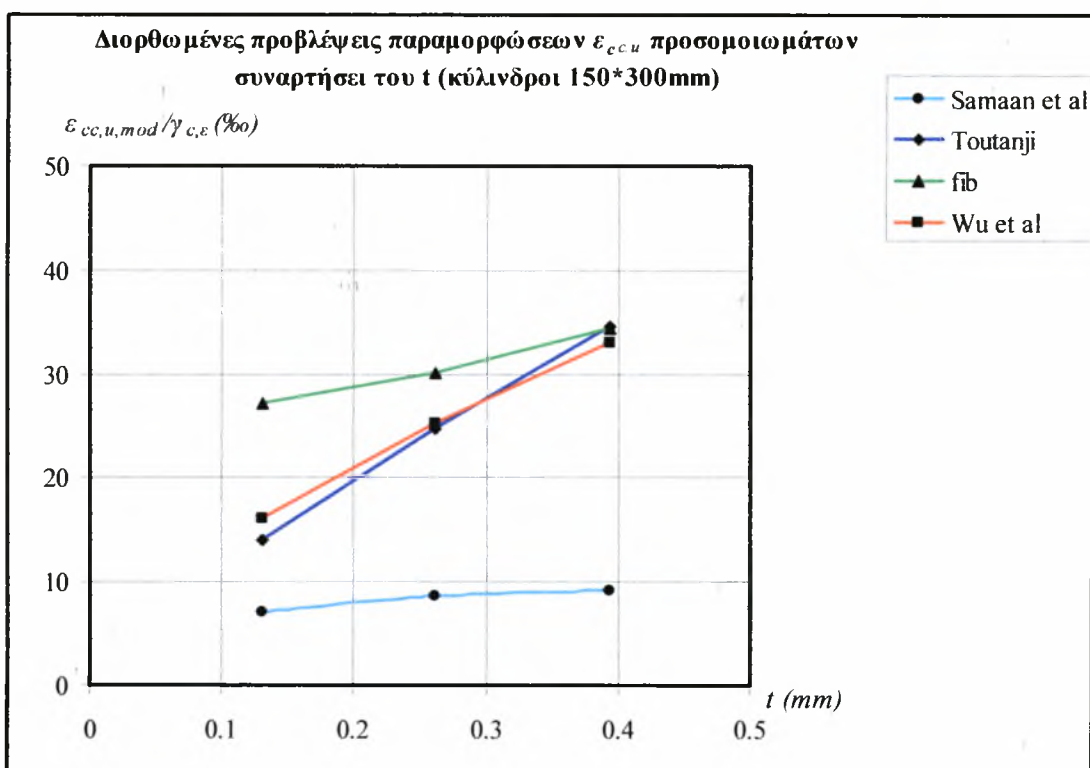
Δοκίμιο	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$\varepsilon_{co}$ (%)	$E_c$ (GPa)	$l_f$ (mm)	n	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\rho_f$	$f'_f$ (MPa)	$f_f/f_{co}$	$f_{cum}/f_{co}$	$f_{cum, mod}$ (MPa)	$f_{cum, mod}/\gamma_c$	$V_u$	$\varepsilon_{fu}$ (%)	$E_{cum, mod}$ (%)	$\varepsilon_{cum, mod}/\gamma_c$	
A1A	150	300	20	2	28.85	0.13	1	238	4300	0.0035	7.511	0.376	κρίτωση	1.857	37.143	30.953	1.069	18	16.840	16.038
														37.143	30.953			16.840	16.038	
A2A	150	300	20	2	28.85	0.13	2	238	4300	0.007	15.021	0.751	κρίτωση	2.672	53.447	44.539	0.676	18	26.609	25.342
														53.447	44.539			26.609	25.342	
A3A	150	300	20	2	28.85	0.13	3	238	4300	0.0105	22.532	1.127	κρίτωση	3.190	63.810	53.175	0.518	18	34.774	33.118
														63.810	53.175			34.774	33.118	
A1A	100	200	20	2	28.85	0.13	1	238	4300	0.0052	11.266	0.563	κρίτωση	2.302	46.037	38.365	0.818	18	22.008	20.960
														46.037	38.365			22.008	20.960	
A2A	100	200	20	2	28.85	0.13	2	238	4300	0.0105	22.532	1.127	κρίτωση	3.190	63.810	53.175	0.518	18	34.774	33.118
														63.810	53.175			34.774	33.118	
A3A	100	200	20	2	28.85	0.13	3	238	4300	0.0157	33.798	1.690	κρίτωση	3.411	68.218	56.848	0.396	18	45.444	43.280
														68.218	56.848			45.444	43.280	
														68.218	56.848			45.444	43.280	
														68.218	56.848			45.444	43.280	

Πίνακας 6.3.3: Υπολογισμός προβλέσεων προσομοιώματος Saman et al προτεινόμενου πειραματικού προγράμματος

Δοκίμιο	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$\epsilon_{co}$ (%)	$E_c$ (GPa)	$I_f$ (mm)	n	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\rho_f$	$f'_f$ (MPa)	$k_f$	$f_{cu}/f_{co}$	$f_{cu,mod}$ (MPa)	$f_{cu,mod}/\gamma_c$	$E_f$ (MPa)	$E_2$ (MPa)	$f_o$ (MPa)	$\epsilon_{cu,mod}$ (%)	$\epsilon_{cu,mod}/\gamma_c$
A1A	150	300	20	2	28.85	0.13	1	238	4300	0.003	7.511	3.277	2.231	44.611	37.176	17.665	726.836	26.484	24.939	7.125
														44.611	37.176				24.939	7.125
A2A	150	300	20	2	28.85	0.13	2	238	4300	0.007	15.021	2.662	2.999	59.980	49.984	17.665	1006.524	29.271	30.510	8.717
														59.980	49.984				30.510	8.717
A3A	150	300	20	2	28.85	0.13	3	238	4300	0.01	22.532	2.357	3.655	73.102	60.918	17.665	1286.211	32.057	31.911	9.118
														73.102	60.918				31.911	9.118
A1A	100	200	20	2	28.85	0.13	1	238	4300	0.005	11.266	2.901	2.634	52.688	43.907	17.665	866.680	27.878	28.627	8.179
														52.688	43.907				28.627	8.179
														52.688	43.907				28.627	8.179
A2A	100	200	20	2	28.85	0.13	2	238	4300	0.01	22.532	2.357	3.655	73.102	60.918	17.665	1286.211	32.057	31.911	9.118
														73.102	60.918				31.911	9.118
														73.102	60.918				31.911	9.118
A3A	100	200	20	2	28.85	0.13	3	238	4300	0.016	33.798	2.087	4.527	90.530	75.442	17.665	1705.742	36.237	31.830	9.094
														90.530	75.442				31.830	9.094
														90.530	75.442				31.830	9.094

Πίνακας 6.3.4: Υπολογισμός προβλέσεων προσομοιώματος Toutanji προτεινόμενου πειραματικού προγράμματος

Δοκίμιο	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$\epsilon_{co}$ (%)	$E_c$ (GPa)	$\eta_f$ (mm)	n	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\rho_f$	$f'_f$ (MPa)	$E'_f$ (GPa)	$k_1$	$f_{ccu} f_{co}$	$f_{ccu,mod}$ (MPa)	$f_{ccu,mod} / \gamma_{r,c}$	$E_{fu}$ (%)	$k_2$	$E_{ccu,mod}$ (%)	$E_{ccu,mod} / \gamma_{r,c}$
A1A	150	300	20	2	28.85	0.131	1	238	4300	0.003	7.511	0.208	4.054	2.522	50.447	36.034	18	13.122	41.954	13.985
															50.447	36.034			41.954	13.985
A2A	150	300	20	2	28.85	0.131	2	238	4300	0.007	15.021	0.416	3.654	3.744	74.881	53.487	18	13.122	74.017	24.672
															74.881	53.487			74.017	24.672
A3A	150	300	20	2	28.85	0.131	3	238	4300	0.01	22.532	0.624	3.438	4.873	97.464	69.617	18	13.122	103.651	34.550
															97.464	69.617			103.651	34.550
A1A	100	200	20	2	28.85	0.131	1	238	4300	0.005	11.266	0.312	3.815	3.149	62.976	44.983	18	13.122	58.394	19.465
															62.976	44.983			58.394	19.465
A2A	100	200	20	2	28.85	0.131	2	238	4300	0.01	22.532	0.624	3.438	4.873	97.464	69.617	18	13.122	103.651	34.550
															97.464	69.617			103.651	34.550
A3A	100	200	20	2	28.85	0.131	3	238	4300	0.016	33.798	0.935	3.235	6.467	129.340	92.386	18	13.122	145.479	48.493
															129.340	92.386			145.479	48.493
															129.340	92.386			145.479	48.493



**Σχήμα 6.3.4:** Διορθωμένες παραμορφώσεις περισφιγμένων κυλίνδρων 150\*300mm προτεινόμενου πειραματικού προγράμματος που προέκυψαν από την εφαρμογή των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν και των αντίστοιχων  $\gamma_{c,e}$

#### 6.4 Προμέτρηση υλικών που θα χρειαστούν

##### α) Ποσότητα σκυροδέματος

Αρχικά υπολογίζουμε τον όγκο του κυλίνδρου 4 in \* 8 in και του κυλίνδρου διαστάσεων 6 in \* 12 in, όπως φαίνεται παρακάτω:

**Πίνακας 6.4.1:** Υπολογισμός όγκου κυλίνδρων πειράματος

Κύλινδρος	D(in)	L(in)	D(cm)	L(cm)	V(m <sup>3</sup> )
K <sub>1</sub>	4	8	10.16	20.32	1.65x10 <sup>-3</sup>
K <sub>2</sub>	6	12	15.24	30.48	5.56x10 <sup>-3</sup>

Το πλήθος των κυλίνδρων, έχει επιλεχθεί σε δώδεκα για κάθε μέγεθος.

Άρα για τον K<sub>1</sub> → 12 \* K<sub>1</sub> = 1.65 \* 10<sup>-3</sup> \* 12 = **0.0198 m<sup>3</sup>**

και για τον K<sub>2</sub> → 12 \* K<sub>2</sub> = 5.56 \* 10<sup>-3</sup> \* 12 = **0.06672 m<sup>3</sup>**



Ο συνολικός όγκος σκυροδέματος που θα χρειαστεί για να γεμίσουν οι 24 κύλινδροι είναι  $0.0198 + 0.06672 = 0.08652 \text{ m}^3$

Υπολογίζουμε και προσαύξηση περίπου 35% →  **$0.116802 \text{ m}^3$**

Ο κανονισμός τεχνολογίας σκυροδέματος έχει προδιαγράψει ελαχιστη ποσοτητα τσιμέντου  $400 \text{ kg} / \text{m}^3$ . Άρα για τα  **$0.116802 \text{ m}^3$**  θα χρειαστούμε  $46.72 \text{ Kg}$  τσιμέντο τύπου Portland

Με βάση την αναλογία των συστατικών **1 : 2 : 1 : 0.4** θα χρειαστούν:

- $2 \cdot 46.72 \text{ kg} = 93.44 \approx 100 \text{ kg}$  αδρανή
- η αναλογία τσιμέντου προς άμμο είναι 1 άρα θέλουμε και  $46.72 \text{ kg}$  άμμου
- $0.4 \cdot 46.72 \text{ kg} = 18.688 \approx 18.7 \text{ kg}$  νερού.

β) Απαιτούμενο μήκος σύνθετου υφάσματος

Όπως διατυπώθηκε παραπάνω τα από τους 24 κύλινδρους που θα κατασκευαστούν οι τρεις από κάθε κατηγορία μεγέθους θα μένουν απερίσφιγκτοι και θα χρησιμοποιηθούν ως δοκίμια ελέγχου. Δηλαδή οι αντοχές των περισφιγμένων δοκίμιων θα συγκριθούν με τις αντοχές των δοκίμιων ελέγχου για να εκτιμήθει η επίδραση της περισφιγξης που προσφέρουν.

Σύμφωνα με όσα έχουμε αναφέρει στο υποκεφάλαιο 6.2.2 για τον αριθμό των στρώσεων κατασκευάζεται ο πίνακας:

**Πίνακας 6.4.2:** Υπολογισμός μήκους σύνθετου υλικού για την περιτύλιξη των κυλίνδρων

	Κύλινδρος	Στρώσεις FRP (n)	D (cm)	L (cm)	A <sub>FRP</sub> (m <sup>2</sup> )
1	K <sub>1</sub>	0	10.16	20.32	0
2	K <sub>1</sub>	0	10.16	20.32	0
3	K <sub>1</sub>	0	10.16	20.32	0
4	K <sub>1</sub>	1	10.16	20.32	0.064861
5	K <sub>1</sub>	1	10.16	20.32	0.064861
6	K <sub>1</sub>	1	10.16	20.32	0.064861
7	K <sub>1</sub>	2	10.16	20.32	0.129722
8	K <sub>1</sub>	2	10.16	20.32	0.129722
9	K <sub>1</sub>	2	10.16	20.32	0.129722
10	K <sub>1</sub>	3	10.16	20.32	0.194583
11	K <sub>1</sub>	3	10.16	20.32	0.194583
12	K <sub>1</sub>	3	10.16	20.32	0.194583
<hr/>					
1	K <sub>2</sub>	0	15.24	30.48	0
2	K <sub>2</sub>	0	15.24	30.48	0
3	K <sub>2</sub>	0	15.24	30.48	0
4	K <sub>2</sub>	1	15.24	30.48	0.145938
5	K <sub>2</sub>	1	15.24	30.48	0.145938
6	K <sub>2</sub>	1	15.24	30.48	0.145938
7	K <sub>2</sub>	2	15.24	30.48	0.291876
8	K <sub>2</sub>	2	15.24	30.48	0.291876
9	K <sub>2</sub>	2	15.24	30.48	0.291876
10	K <sub>2</sub>	3	15.24	30.48	0.437814
11	K <sub>2</sub>	3	15.24	30.48	0.437814
12	K <sub>2</sub>	3	15.24	30.48	0.437814
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΥΦΑΣΜΑΤΟΣ FRP</b>					
<b>3.79 m<sup>2</sup> (πλάτος υφάσματος 0.3m) → 12.6m μήκος</b>					

Υπολογίζουμε τέλος προσαύξηση 35% →  $1.35 \cdot 12.6 = 17 \text{ m}^2$

Σύμφωνα με τις οδηγίες εφαρμογής της εταιρείας, η διεύθυνση των ινών η αλληλεπικάλυψη του υφάσματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 100mm.

Θα ενισχυθούν 18 κύλινδροι άρα 1.8 m θα χρειαστούν για αλληλεπικάλυψη.

Τελικά θα χρειαστούν 18.8m υφάσματος.

## B I B Λ Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Α

---

- [1] **Xiao, Y., and Wu, H. (2000).** “Compressive behavior of concrete confined by carbon fiber composites jackets” *J. Mater. Civil Eng.*, 12(2): 139-146
- [2] **Mirmiran A. (1997).** “Analytical and experimental investigation of reinforced concrete columns encased in fiberglass tubular jackets and use of fiber jacket for pile splicing.” Final Rep., Contract No. B-9135, Florida Dept. of Transportation, Tallahassee, Fla
- [3] **Samaan, M., Mirmiran, A., Shahawy, M. (1998).** “Model of concrete confined by fiber composites” *J. Struct. Engrg., ASCE* 124(9) 1025-1031
- [4] **Mirmiran, A. and Shahawy, M. (1997).** “Behavior of concrete columns Confined by fiber composites” *J. Struct. Engrg.*, 123(5) 583-590
- [5] **Samman, M., Mirmiran, A., Shahawy, M. (1999).** “Model of concrete Confined by fiber composite” *J. Struct. Engrg.*, 124(9) 1025-1031
- [6] **Rochette, P. and Labossière, P. (2000).** “Axial testing of rectangular column models confined with composites.” *J. Compos. Constr.*, 4(3), 129-136
- [7] **Moran, D. and Pantelides, C. (2003).** “ Stress - Strain model for fiber-reinforced polymer - confined concrete.” *J. Compos. Constr.*, 6(4) 233-240
- [8] **Moran, D. and Pantelides, C. (2003).** “ Variable strain ductility ratio for fiber-reinforced polymer -confined concrete.” *J. Compos. Constr.*, 6(4) 224-232
- [9] **Li, G., Maricherla, D., Singh, K., Pang, S., John, M.** “ Effect of fiber orientation on the structural behavior of FRP wrapped concrete cylinders.” *Composites Structures*, vol 74. Elsevier Science Ltd.; 2005. p. 475-483

- [10] **Wu, G., Lü, Z., Wu, Z.** “ Strength and ductility of concrete cylinders confined with FRP composites.” *Construction and Building Materials*, vol 20. Elsevier Science Ltd.; 2006. p. 134-148
- [11] **Karabinis, A., Rousakis, T.** “Concrete confined by FRP material: A plasticity approach.” *Engineering Structures*, vol 24. Elsevier Science Ltd.; 2002. p. 923-932
- [12] **Τριανταφύλλου Χ. Αθανάσιος** “Ενισχύσεις κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος και φέρουσας τοιχοποιίας με σύνθετα υλικά.”, κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>.
- [13] **Τριανταφύλλου Χ. Αθανάσιος** “Δ ο μ ι κ ά Υ λ ι κ ά” Πανεπιστήμιο Πατρών, Έκδοση 2002
- [14] **Κωνσταντίνος Σπυράκος**, “Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία” Τ.Ε.Ε 2004
- [15] **Ε. Κ. Ω. Σ. 2000**, Ο.Α.Σ.Π
- [16] **Ε. Α.Κ. 2000**, Ο.Α.Σ.Π.
- [15] **Μωρέττη Α. Μαρίνα**, “Σημειώσεις για το μάθημα: Σιδηροπάγες σκυρόδεμα ΙΙΙ” Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
- [16] **SP Guide to Composites.**
- [17] **Καραμπίνης Αθανάσιος , Πανταζοπούλου Σταυρούλα**, “Χρήση των σύνθετων υλικών στο σχεδιασμό και την ενλίσχυση στοιχείων Ο.Σ.” *Τεχνικά Χρον. Επιστ. Έκδοση Τ.Ε.Ε., Ι τεύχος 3 (2000)*
- [18] **Houssam A. Toutanji.** “ Stress-Strain characteristics of concrete columns externally confined with advanced fiber composite sheets.” *ACI Mat. Journal* 1999; 96 : 397-404

- [19] **Spoelstra MR, Monti G.** “ FRP – confined concrete model” J. Compos. Constr. , ASCE 1999; 3(3) : 143-150
- [20] **Σ. Δρίτσος** ‘Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα’ Πάτρα 2005
- [21] **Κάνος Αργύρης:** ‘Πειραματική διερεύνηση της επίδρασης κλίμακας στη μηχανική συμπεριφορά σκυροδέματος’ Διπλώματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Βόλος 2004
- [22] **Mander, J. B.; Priestley, M. J.N.; and Park R.,** ‘Theoretical Stress – Strain Model for Confined Concrete,’ ASCE Structural Journal, V.114, No. 8, pp. 1804-1826
- [23] **Guoqiang Li** ‘Experimental study of FRP confined concrete cylinders’ Engineering Structures, vol. 28, Elsevier Science Ltd.; 2006. p. 1001–1008
- [24] **Fukuzawa K, Numao T, Mitusui M, Nozaki H.** ‘Compressive behavior of concrete laterally reinforced with carbon or aramid Fiber’. J Mater Concr Struct Pavements, JSCE 1998;40(599):119–30. [in Japanese].
- [25] **Hosotani M, Kawashima K, Hoshikuma J.** ‘A stress–strain relation of concrete cylinders confined by carbon fiber sheets’. Proc Jpn Concr Inst 1996;18(2):95-100. [in Japanese]
- [26] **Hosotani M, Kawashima K, Hoshikuma J.** ‘A stress–strain model for concrete cylinders confined by carbon fiber sheets’. J Mater Concr \ Struct Pavements, JSCE 1998;39(592):37–52. [in Japanese].
- [27] **Karabinis AI, Rousakis TC.** ‘A model for the mechanical behaviour of the FRP confined columns’. In: Teng JG, editor. Proceedings of the international conference on FRP composites in Civil Engineering, Hong Kong, China; 2001. p. 317–26.

- [28] **Miyauchi K, Nishibayashi S, Inoue S.** ‘Estimation of strengthening effects with carbon fiber for concrete column’. In: Proceedings of the 3rd international symposium on non-metallic (FRP) reinforcement for concrete structures, Japan; 1997. p.217–24.
- [29] **Miyauchi K, Inoue S, Kuroda T, Kobayashi A.** ‘Strengthening effects with carbon fiber sheet for concrete column’. Proc Jpn Concr Inst 1999;21(3):1453–8. [in Japanese].
- [30] **Pessiki S, Harries KA, et al.** ‘Axial behavior of reinforced concrete columns confined with FRP jackets’. J Compos Constr, ASCE 2001;5(4):237–45.
- [31] **Hosotani M, Kawashima K, Hoshikuma J.** ‘A stress–strain relation of concrete cylinders confined by carbon fiber sheets. Proc Jpn Concr Inst 1996;18(2):95–100. [in Japanese].
- [32] **Miyauchi K, Inoue S, Kuroda T, Kobayashi A.** ‘Experimental study on the confinement effect of concrete cylinders confined by carbon fiber sheets’. Proc Jpn Concr Inst 2001;23(1):865–70. [in Japanese].
- [33] **Nakatsuka T, Komure K, Tagaki K.** ‘Stress–strain characteristics of confined concrete with carbon fiber sheet’. Concr Res Technol 1998;9(2):65–78. [in Japanese].
- [34] **Saafi M, Toutanji HA, Li Z.** ‘Behavior of concrete columns confined with fiber reinforced Polymer tubes’. ACI Struct J 1999;96(4):500–9.
- [35] **Tegola AL, Manni O.** ‘Experimental investigation on concrete confined by fiber reinforced polymer and comparison with theoretical model. In: Dolan CW, Rizkalla SH, Nanni A, editors. Proceedings of the 4th international symposium on fiber reinforced polymer reinforced for reinforced concrete structures, SP188. Michigan: ACI; 1999. p. 243–54.

[36] Πενέλης Γ., Στυλιανίδης Κ., Κάππος Α., Ιγνατάκης Χ. 'Κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα (πανεπιστημιακές παραδόσεις)' Θεσσαλονίκη 1995, Υπηρεσία δημοσιευμάτων Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκη

[37] Τεχνικά φυλλάδια σύνθετων υλικών εταιρείας Sika Hellas A.B.E.E.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



## A. ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

### (i) Κεφαλαία λατινικά

$E_I$ : είναι η ακαμψία του μανδύα FRP

$A_f$ : το εμβαδόν της διατομή της ίνας των σύνθετων υλικών

$S$ : η καθαρή απόσταση των λωρίδων

$E_f$ : το μέτρο ελαστικότητας των ινών

$R$ : η ακτίνα του κυλινδρικού δοκιμίου

$D$ : η διάμετρος του κυλινδρικού στοιχείου σκυροδέματος

$A_g$ : εμβαδόν διατομής

$A_s$ : εμβαδόν διατομής διαμήκους οπλισμού

$A_e$ : εμβαδόν περισφιγμένου σκυροδέματος, στην διατομή

$E_{sec, Md}$ : το τέμνον (επιβατικό) μέτρο ελαστικότητας στο σημείο της αντοχής

$E_I$ : η κλίση της πρώτης ευθείας του δι-γραμμικού διαγράμματος  $\sigma - \epsilon$

$E_2$ : η κλίση της δεύτερης ευθείας του διγραμμικού διαγράμματος  $\sigma - \epsilon$

### (ii) Πεζά λατινικά

$f_{co}$ : η αντοχή σε θλίψη του απερίσφιγτου σκυροδέματος και

$f_{cc,u}$ : η αντοχή σε θλίψη του περισφιγμένου σκυροδέματος

$f_i$ : η τάση που ασκείται λόγω περισφιγξης (στην εγκάρσια διεύθυνση)

$k_I$ : ο συντελεστής αποδοτικότητας της περισφιγξης

$t_f$ : πάχος του υφάσματος

$f_{cc}$ : η αντοχή σε θλίψη του περισφιγμένου με φύλλα FRP σκυροδέματος.

$s'_{f'}$ : καθαρή απόσταση λωρίδων σε περίπτωση μερικής περιτύλιξης

$d$ : μήκος μικρότερης πλευράς (ή διάμετρος κυκλικής διατομής)

$f_{fde}$ : αντοχή του μανδύα

$f_o$ : η τάση που προκύπτει από την επέκταση της δεύτερης ευθείας της καμπύλης μέχρι τον άξονα των τάσεων

$n$ : παράμετρος που περιγράφει την καμπύλωση της μεταβατικής περιοχής

$f_f$ : η εφελκυστική αντοχή των σύνθετων υλικών

$f_{fd}$ : η εφελκυστική αντοχή φύλλων FRP, όπως αυτή μετράται από δοκιμές εφελκυσμού

$d_f$ : ύψος του μανδύα που διαπερνάται από τη ρωγμή, μετρούμενο από τη στάθμη του διαμήκους οπλισμού και ίσος με 0.9d αν ο μανδύας καλύπτει πλήρως τις πλευρές.

(iii) Πεζά Ελληνικά

$\nu_u$ : λόγο Poisson κατά την αστοχία

$\mu$ : ο ρυθμός διόγκωσης του πυρήνα σκυροδέματος

$\mu_{max}$ : μέγιστος ρυθμός διόγκωσης

$\mu_u$ : ο οριακός ρυθμός διόγκωση

$\beta_f$ : γωνία ινών ως προς την κάθετο στον άξονα του μέλους

$\eta_e$ : μειωτικός συντελεστή για την αντοχή του μανδύα ΙΟΠ

$\varepsilon_l$ : είναι η εγκάρσια παραμόρφωση.

$\alpha_f$ : ο συντελεστής αποδοτικότητας του μανδύα

$\alpha_n$ : είναι ο συντελεστής διατομής

$\alpha_s$ : είναι ο συντελεστής κάλυψης

$\alpha_a$ : είναι ο συντελεστής διεύθυνσης ινών

$\alpha_{ld}$ : είναι  $\frac{f_{cc}}{f_{co}}$  ο λόγος

$\alpha$ :  $90^\circ$  γιατί συνήθως οι ίνες εφαρμόζονται κάθετα στον άξονα του υποστυλώματος

$\theta$ :  $45^\circ$  γωνία ρωγμής ως προς τον άξονα του μέλους

$\varepsilon_{f_e,d}$ : μέση τιμή κατά μήκος της ρωγμής, της παραμόρφωσης στα σύνθετα υλικά

παράλληλα στη διεύθυνση των ινών, κατά την οριακή κατάσταση αστοχίας λόγω τέμνουσας (“ενεργή” παραμόρφωση)

## **B. ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

**Σχήμα 1.2.1:** Καμπύλη σ-ε για σύνθετα υλικά και χάλυβα (συμβατικό ή προεντεταμένο) [17]

**Σχήμα 1.3.1:** Συμπεριφορά σε εφελκυσμό διαφόρων τύπων ινών [16]

**Σχήμα 1.3.2:** Συμπεριφορά σε θλίψη διαφόρων τύπων ινών [16]

**Σχήμα 1.3.3:** Εφαρμογή με ψεκασμό [16]

**Σχήμα 1.3.4:** Εφαρμογή με το χέρι [16]

**Σχήμα 1.3.5:** Περιέλιξη ινών σε άξονα [16]

**Σχήμα 1.11.1:** Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων για διάφορους τύπους περίσφιγξης με συμβατικό οπλισμό

**Σχήμα 1.11.2:** Περίσφιγξη τετραγωνικής διατομής με τετραγωνικό συνδετήρα

**Σχήμα 1.11.3:** Περίσφιγξη ορθογωνικής διατομής υποστυλώματος με τετραγωνικό συνδετήρα

**Σχήμα 1.11.4:** Περίσφιγξη κυκλικής διατομής με κυκλική σπείρα

**Σχήμα 1.11.5:** Ενίσχυση κυκλικού υποστυλώματος μέσω περίσφιγξης με ΙΟΠ [17]

**Σχήμα 1.11.6:** Εγκάρσια πίεση που παραγέται λόγω περίσφιγξη [18]

**Σχήμα 1.11.7:** Καμπύλες σ – ε για σκυρόδεμα απερίσφιγκτο και περισφιγμένο με ΙΟΠ

**Σχήμα 2.2.1:** Διάγραμμα σ – ε και τα στοιχεία που χρησιμοποιεί το προσομοίωμα των Samaan et al για τις προβλέψεις των εντατικών μεγεθών

**Σχήμα 2.3.1:** Αναλυτική παρουσίαση της καμπύλης τάσεων - παραμορφώσεων που πρότεινε ο H. Toutanji

**Σχήμα 2.4.1:** Διάγραμμα τάσεων – αξονικής παραμόρφωσης - πλευρικής παραμόρφωσης

**Σχήμα 2.4.2:** Διάγραμμα που παριστά τα τέμνοντα μέτρα ελαστικότητας στην αστοχία και στο σημείο της αντοχής

- Σχήμα 2.5.1:** Διάγραμμα σ-ε πειραμάτων Wu et al για κράτυνση και μείωση της αποκρίσεως μανδύα
- Σχήμα 2.5.2:** Πειραματικά δεδομένα φύλλα FRP με σύνηθες μέτρο ελαστικότητας (εξ. 2.5.1)
- Σχήμα 2.5.3:** Πειραματικά δεδομένα φύλλα FRP με υψηλό μέτρο ελαστικότητας (εξ. 2.5.3)
- Σχήμα 2.5.4:** Πειραματικά δεδομένα για σωλήνες FRP (FRP-tubes) (εξ. 2.5.5)
- Σχήμα 2.5.5:** Πειραματικά δεδομένα, για φύλλα FRP, που τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά προσδιορίστηκαν από τον κατασκευαστή (εξ. 2.5.7)
- Σχήμα 2.5.6:** Πειραματικά δεδομένα για FRP με σύνηθες μέτρο ελαστικότητας (εξ. 2.5.9)
- Σχήμα 2.5.7:** Πειραματικά δεδομένα για σωλήνες FRP (FRP-tubes) (εξ. 2.5.11)
- Σχήμα 3.2.1:** Διαστάσεις ορθογωνικών, τετραγωνικών και κυλινδρικών δοκιμίων
- Σχήμα 3.2.2:** Περιοχές διαγράμματος σ - ε για τον υπολογισμό των λόγων πλαστιμότητας
- Σχήμα 3.3.1 :** Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων δοκιμίων με μανδύα σωλήνες ΙΟΠ
- Σχήμα 3.3.2:** Διάγραμμα σ-ε σωλήνα με συνάφεια και χωρίς συνάφεια επιφάνειας σωλήνα - σκυροδέματος
- Σχήμα 3.4.1:** Μέθοδος διάσπασης δακτυλίου (ASTM Standard D2290-92)
- Σχήμα 3.6.1:** Διάγραμμα τάσεων – αξονικής παραμόρφωσης – πλευρικής παραμόρφωσης για αντοχή  $f_{co} = 33.68$  MPa
- Σχήμα 3.6.2:** Διάγραμμα τάσεων – αξονικής παραμόρφωσης – πλευρικής παραμόρφωσης για αντοχή  $f_{co} = 43.77$  MPa
- Σχήμα 3.6.3:** Διάγραμμα τάσεων – αξονικής παραμόρφωσης – πλευρικής παραμόρφωσης για αντοχή  $f_{co} = 55.21$  MPa
- Σχήμα 3.6.4:** Διάγραμμα αξονικής παραμόρφωσης – πλευρικής παραμόρφωσης
- Σχήμα 3.7.1:** Επιρροή ΙΟΠ άνθρακα –αραμιδίου στην αύξηση της  $f_{cc,u}$  κυλίνδρων [6] (100\*200 – 150\*300 αντίστοιχα) λόγω περίσφιγξης
- Σχήμα 3.7.2:** Επιρροή ΙΟΠ άνθρακα –αραμιδίου στην αύξηση της  $\varepsilon_{cc,u}$  κυλίνδρων [6] (100\*200 – 150\*300 αντίστοιχα) λόγω περίσφιγξης

- Σχήμα 3.7.3:** Επιρροή ΙΟΠ άνθρακα στην αύξηση της  $f_{cc,u}$  κυλίνδρων [11]  
(200\*320mm) λόγω περίσφιγξης
- Σχήμα 3.7.4:** Επιρροή ΙΟΠ άνθρακα στην αύξηση της  $\varepsilon_{cc,u}$  κυλίνδρων [11]  
(200\*320mm) λόγω περίσφιγξης
- Σχήμα 3.7.5:** Επιρροή σωλήνων ΙΟΠ στην αύξηση της  $f_{cc,u}$  κυλίνδρων [2]  
(150\*300mm) λόγω περίσφιγξης
- Σχήμα 3.7.6:** Επιρροή σωλήνων ΙΟΠ στην αύξηση της  $f_{cc,u}$  κυλίνδρων [2]  
(150\*300mm) λόγω περίσφιγξης
- Σχήμα 3.7.7:** Επιρροή σωλήνων ΙΟΠ στην αύξηση της  $\varepsilon_{cc,u}$  κυλίνδρων [2]  
(150\*300mm) λόγω περίσφιγξης
- Σχήμα 3.7.8:** Επιρροή σωλήνων ΙΟΠ στην αύξηση της  $\varepsilon_{cc,u}$  κυλίνδρων [2]  
(150\*300mm) λόγω περίσφιγξης
- Σχήμα 3.7.9:** Επιρροή μανδύα ΙΟΠ στην αύξηση της  $f_{cc,u}$  κυλίνδρων [1]  
(150\*300mm) λόγω περίσφιγξης
- Σχήμα 3.7.10:** Επιρροή μανδύα ΙΟΠ στην αύξηση της  $\varepsilon_{cc,u}$  κυλίνδρων [1]  
(150\*300mm) λόγω περίσφιγξης
- Σχήμα 4.2.1:** Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp[6]}$  συναρτήσεως του πάχους του μανδύα C, A  
(C):  $t=0.6\text{mm}$ ,  $f_{co}=43\text{MPa}$ ,  $D=100\text{mm}$ ,  $H=200\text{mm}$   
(A):  $t=1.26 - 5.04\text{mm}$ ,  $f_{co}=42\text{MPa}$ ,  $D=150\text{mm}$ ,  $H=300\text{mm}$
- Σχήμα 4.2.2:** Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp[11]}$  συναρτήσεως του πάχους του μανδύα C  
( $f_{co}=35.7 \& 38.5 \text{MPa}$ ,  $t=0.117\text{mm} - 0.351\text{mm}$ ,  $D=200\text{mm}$ ,  $H=320\text{mm}$ )
- Σχήμα 4.2.3:** Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp[11]}$  συναρτήσεως του πάχους του μανδύα C  
( $f_{co} = 35.7 \text{MPa}$ ,  $t=0.117\text{mm} - 0.351\text{mm}$ ,  $D=200\text{mm}$ ,  $H=320\text{mm}$ )
- Σχήμα 4.2.4:** Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp[11]}$  συναρτήσεως του πάχους του μανδύα C  
( $f_{co} = 38.5 \text{MPa}$ ,  $t=0.117\text{mm} - 0.351\text{mm}$ ,  $D=200\text{mm}$ ,  $H=320\text{mm}$ )
- Σχήμα 4.2.5:** Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp[1]}$  συναρτήσεως του πάχους του μανδύα C  
( $f_{co} = 33.68 \text{MPa}$ ,  $t=0.381\text{mm} - 1.143\text{mm}$ ,  $D=150\text{mm}$ ,  $H=300\text{mm}$ )
- Σχήμα 4.2.6:** Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp[1]}$  συναρτήσεως του πάχους του μανδύα C  
( $f_{co} = 43.77 \text{MPa}$ ,  $t=0.381\text{mm} - 1.143\text{mm}$ ,  $D=150\text{mm}$ ,  $H=300\text{mm}$ )
- Σχήμα 4.2.7:** Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp[1]}$  συναρτήσεως του πάχους του μανδύα C  
( $f_{co} = 55.21 \text{MPa}$ ,  $t=0.381\text{mm} - 1.143\text{mm}$ ,  $D=150\text{mm}$ ,  $H=300\text{mm}$ )
- Σχήμα 4.2.8:** Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp[2]}$  συναρτήσεως του πάχους του σωλήνα G  
(σκυρόδεμα τύπου A,  $t=1.88\text{mm}$ ,  $t= 3.302\text{mm}$ ,  $D=150\text{mm}$ ,  $H=300\text{mm}$ )

- Σχήμα 4.2.9:** Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp[2]}$  συναρτήσεως του πάχους του σωλήνα G (σκυρόδεμα τύπου C,  $t=1.88\text{mm}$ ,  $t=3.302\text{mm}$ ,  $D=150\text{mm}$ ,  $H=300\text{mm}$ )
- Σχήμα 4.2.10:** Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp[2]}$  συναρτήσεως του πάχους του σωλήνα G (σκυρόδεμα τύπου D,  $t=1.342\text{mm}$ ,  $t=2.08\text{mm}$ ,  $t=2.997\text{mm}$ ,  $D=150\text{mm}$ ,  $H=300\text{mm}$ )
- Σχήμα 4.3.1:** Σύγκριση  $\varepsilon_{cc,u,mod}$  με  $\varepsilon_{cc,u,exp[6]}$  συναρτήσεως του πάχους του μανδύα C,A (C):  $t=0.6\text{mm}$ ,  $f_{co}=43\text{MPa}$ ,  $D=100\text{mm}$ ,  $H=200\text{mm}$  (A):  $t=1.26 - 5.04\text{mm}$ ,  $f_{co}=42\text{MPa}$ ,  $D=150\text{mm}$ ,  $H=300\text{mm}$
- Σχήμα 4.3.2:** Σύγκριση  $\varepsilon_{cc,u,mod}$  με  $\varepsilon_{cc,u,exp[6]}$  συναρτήσεως του πάχους του μανδύα C ( $f_{co}=35.7\&38.5\text{MPa}$ ,  $t=0.117\text{mm} - 0.351\text{mm}$ ,  $D=200\text{mm}$ ,  $H=320\text{mm}$ )
- Σχήμα 4.3.3:** Σύγκριση  $\varepsilon_{cc,u,mod}$  με  $\varepsilon_{cc,u,exp[11]}$  συναρτήσεως του πάχους του μανδύα C ( $f_{co}=35.7\text{MPa}$ ,  $t=0.117\text{mm} - 0.351\text{mm}$ ,  $D=200\text{mm}$ ,  $H=320\text{mm}$ )
- Σχήμα 4.3.4:** Σύγκριση  $\varepsilon_{cc,u,mod}$  με  $\varepsilon_{cc,u,exp[11]}$  συναρτήσεως του πάχους του μανδύα C ( $f_{co}=38.5\text{MPa}$ ,  $t=0.117\text{mm} - 0.351\text{mm}$ ,  $D=200\text{mm}$ ,  $H=320\text{mm}$ )
- Σχήμα 4.3.5:** Σύγκριση  $\varepsilon_{cc,u,mod}$  με  $\varepsilon_{cc,u,exp[1]}$  συναρτήσεως του πάχους του μανδύα C ( $f_{co} = 33.68\text{MPa}$ ,  $t=0.381\text{mm} - 1.143\text{mm}$ ,  $D=150\text{mm}$ ,  $H=300\text{mm}$ )
- Σχήμα 4.3.6:** Σύγκριση  $\varepsilon_{cc,u,mod}$  με  $\varepsilon_{cc,u,exp[1]}$  συναρτήσεως του πάχους του μανδύα C ( $f_{co} = 43.77\text{MPa}$ ,  $t=0.381\text{mm} - 1.143\text{mm}$ ,  $D=150\text{mm}$ ,  $H=300\text{mm}$ )
- Σχήμα 4.3.7:** Σύγκριση  $\varepsilon_{cc,u,mod}$  με  $\varepsilon_{cc,u,exp[1]}$  συναρτήσεως του πάχους του μανδύα C ( $f_{co} = 43.77\text{MPa}$ ,  $t=0.381\text{mm} - 1.143\text{mm}$ ,  $D=150\text{mm}$ ,  $H=300\text{mm}$ )
- Σχήμα 4.3.8:** Σύγκριση  $\varepsilon_{cc,u,mod}$  με  $\varepsilon_{cc,u,exp[2]}$  συναρτήσεως του πάχους του σωλήνα G (σκυρόδεμα τύπου C,  $t=1.88\text{mm}$ ,  $t=3.302\text{mm}$ ,  $D=150\text{mm}$ ,  $H=300\text{mm}$ )
- Σχήμα 4.3.9:** Σύγκριση  $f_{cc,u,mod}$  με  $f_{cc,u,exp[2]}$  συναρτήσεως του πάχους του σωλήνα G (σκυρόδεμα τύπου D,  $t=1.342\text{mm}$ ,  $t=2.08\text{mm}$ ,  $t=2.997\text{mm}$ ,  $D=150\text{mm}$ ,  $H=300\text{mm}$ )
- Σχήμα 4.4.1:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιωμάτων ( $f_{cc,u,mod}$ ) και πειραματικών αποτελεσμάτων Rochette–Labossiere ( $f_{cc,u,exp}$ ) μανδύα A
- Σχήμα 4.4.2:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιωμάτων ( $f_{cc,u,mod}$ ) και πειραματικών αποτελεσμάτων Rochette–Labossiere ( $f_{cc,u,exp}$ ) μανδύα C
- Σχήμα 4.4.3:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Samaan et al ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere – Rochette ( $f_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.4.4:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Toutanji ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere – Rochette ( $f_{cc,u,exp}$ )

- Σχήμα 4.4.5:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος fib ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere – Rochette ( $f_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.4.6:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Wu et al ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere – Rochette ( $f_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.4.7:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιωμάτων ( $f_{cc,u,mod}$ ) και πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη -Ρουσάκη ( $f_{cc,u,exp}$ )μανδύα C
- Σχήμα 4.4.8:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Samman et al ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη - Ρουσάκη ( $f_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.4.9:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Toutanji ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη - Ρουσάκη ( $f_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.4.10:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος fib ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη - Ρουσάκη ( $f_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.4.11:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Wu et al ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη - Ρουσάκη ( $f_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.4.12:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιωμάτων ( $f_{cc,u,mod}$ ) και πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao - Wu ( $f_{cc,u,exp}$ ) μανδύα C
- Σχήμα 4.4.13:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Samaan et al ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao - Wu ( $f_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.4.14:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Toutanji ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao - Wu ( $f_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.4.15:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος fib ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao - Wu ( $f_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.4.16:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Wu et al ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao - Wu ( $f_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.4.17:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιωμάτων ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Amir Mirmiran ( $f_{cc,u,exp}$ ) σωλήνων G
- Σχήμα 4.4.18:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Samaan et al ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Amir Mirmiran ( $f_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.4.19:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Toutanji ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Amir Mirmiran ( $f_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.4.20:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος fib ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Amir Mirmiran ( $f_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.4.21:** Σύγκριση θλιπτικών αντοχών προσομοιώματος Wu et al ( $f_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Amir Mirmiran ( $f_{cc,u,exp}$ )

- Σχήμα 4.5.1:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιωμάτων ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Rochette-Labossiere ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ ) μανδύα A
- Σχήμα 4.5.2:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιωμάτων ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Rochette-Labossiere ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ ) μανδύα C
- Σχήμα 4.5.3:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Samaan et al ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Rochette- Labossiere ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.5.4:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Toutanji ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Rochette - Labossiere ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.5.5:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος fib ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Rochette - Labossiere ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.5.6:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Wu et al ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Rochette - Labossiere ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.5.7:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιωμάτων ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη-Ρουσάκη ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ ) μανδύα C
- Σχήμα 4.5.8:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Samaan et al ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη-Ρουσάκη ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.5.9:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Toutanji ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη-Ρουσάκη ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.5.10:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος fib ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη-Ρουσάκη ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.5.11:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Wu et al ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη-Ρουσάκη ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.5.12:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιωμάτων ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao - Wu ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ ) μανδύα C
- Σχήμα 4.5.13:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Samaan et al ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao - Wu ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.5.14:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Toutanji ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao - Wu ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.5.15:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος fib ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao - Wu ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.5.16:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Wu et al ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao - Wu ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.5.17:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιωμάτων ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων Χiao - Wu ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ ) σωλήνων G



- Σχήμα 4.5.18:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Samaan et al ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων A. Mirmiran ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.5.19:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Toutanji ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων A. Mirmiran ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.5.20:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος fib ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων A. Mirmiran ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 4.5.21:** Σύγκριση αξονικών παραμορφώσεων προσομοιώματος Wu et al ( $\epsilon_{cc,u,mod}$ ) πειραματικών αποτελεσμάτων A. Mirmiran ( $\epsilon_{cc,u,exp}$ )
- Σχήμα 5.4.1:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη–Ρουσάκη [11] και των αντίστοιχων προβλέψεων των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν μετά την εφαρμογή των διορθωτικών συντελεστών  $\gamma_{c,f}$
- Σχήμα 5.4.2:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη–Ρουσάκη [11] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Samaan et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f} = 1.20$
- Σχήμα 5.4.3:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη–Ρουσάκη [11] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος του Toutanji μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f} = 1.40$
- Σχήμα 5.4.4:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη–Ρουσάκη [11] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος της fib μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f} = 1.30$
- Σχήμα 5.4.5:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη–Ρουσάκη [11] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Wu et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f} = 1.20$
- Σχήμα 5.4.6:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη–Ρουσάκη [11] και των αντίστοιχων προβλέψεων των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν μετά την εφαρμογή των διορθωτικών συντελεστών  $\gamma_{c,\epsilon}$
- Σχήμα 5.4.7:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη–Ρουσάκη [11] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Samaan et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\epsilon} = 3.50$
- Σχήμα 5.4.8:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη–Ρουσάκη [11] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος του Toutanji μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\epsilon} = 3.00$
- Σχήμα 5.4.9:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη–Ρουσάκη [11] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος της fib μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\epsilon} = 2.00$

- Σχήμα 5.4.10:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Καραμπίνη–Ρουσάκη [11] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Wu et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\varepsilon} = 1.05$
- Σχήμα 5.4.11:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere - Rochette [6] και των αντίστοιχων προβλέψεων των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν μετά την εφαρμογή των διορθωτικών συντελεστών  $\gamma_{c,f}$
- Σχήμα 5.4.12:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere - Rochette [6] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Samaan et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f} = 1.10$
- Σχήμα 5.4.13:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere - Rochette [6] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος του Samaan et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f} = 1.40$
- Σχήμα 5.4.14:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere - Rochette [6] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος της fib μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f} = 1.20$
- Σχήμα 5.4.15:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere - Rochette [6] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Wu et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f} = 1.00$
- Σχήμα 5.4.16:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere - Rochette [6] και των αντίστοιχων προβλέψεων των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν μετά την εφαρμογή των διορθωτικών συντελεστών  $\gamma_{c,\varepsilon}$
- Σχήμα 5.4.17:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere - Rochette [6] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Samaan et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\varepsilon} = 1.50$
- Σχήμα 5.4.18:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere - Rochette [6] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος του Toutanji μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\varepsilon} = 1.70$
- Σχήμα 5.4.19:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere - Rochette [6] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος της fib μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\varepsilon} = 1.50$
- Σχήμα 5.4.20:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Labossiere - Rochette [6] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Wu et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\varepsilon} = 1.00$
- Σχήμα 5.4.21:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Xiao – Wu [1] και των αντίστοιχων προβλέψεων των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν μετά την εφαρμογή των διορθωτικών συντελεστών  $\gamma_{c,f}$

- Σχήμα 5.4.22:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Xiao – Wu [1] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Samaan et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f} = 1.20(f_{co} < 50\text{MPa}) - \gamma_{c,f} = 1.25(f_{co} > 50\text{MPa})$
- Σχήμα 5.4.23:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Xiao – Wu [1] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος του Toutanji μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f} = 1.40(f_{co} < 50\text{MPa}) - \gamma_{c,f} = 1.50(f_{co} > 50\text{MPa})$
- Σχήμα 5.4.24:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Xiao – Wu [1] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος της fib μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f} = 1.30(f_{co} < 50\text{MPa}) - \gamma_{c,f} = 1.30(f_{co} > 50\text{MPa})$
- Σχήμα 5.4.25:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Xiao – Wu [1] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Wu μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f} = 1.20(f_{co} < 50\text{MPa}) - \gamma_{c,f} = 1.30(f_{co} > 50\text{MPa})$
- Σχήμα 5.4.26:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Xiao – Wu [1] και των αντίστοιχων προβλέψεων των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν μετά την εφαρμογή των διορθωτικών συντελεστών  $\gamma_{c,\epsilon}$
- Σχήμα 5.4.27:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Xiao – Wu [1] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Samaan et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\epsilon} = 3.50(f_{co} < 50\text{MPa}) - \gamma_{c,\epsilon} = 3.50(f_{co} > 50\text{MPa})$
- Σχήμα 5.4.28:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Xiao – Wu [1] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος του Toutanji μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\epsilon} = 3.00(f_{co} < 50\text{MPa}) - \gamma_{c,\epsilon} = 3.00(f_{co} > 50\text{MPa})$
- Σχήμα 5.4.29:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Xiao – Wu [1] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος της fib μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\epsilon} = 2.00(f_{co} < 50\text{MPa}) - \gamma_{c,\epsilon} = 2.00(f_{co} > 50\text{MPa})$
- Σχήμα 5.4.30:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Xiao – Wu [1] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος των Wu et al μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,\epsilon} = 1.05(f_{co} < 50\text{MPa}) - \gamma_{c,\epsilon} = 1.20(f_{co} > 50\text{MPa})$
- Σχήμα 5.4.31:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Mirmiran [2] και των αντίστοιχων προβλέψεων των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν μετά την εφαρμογή των διορθωτικών συντελεστών  $\gamma_{c,f}$
- Σχήμα 5.4.32:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Mirmiran [2] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος του Toutanji μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f} = 1.20$
- Σχήμα 5.4.33:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Mirmiran [2] και των αντίστοιχων προβλέψεων των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν μετά την εφαρμογή των διορθωτικών συντελεστών  $\gamma_{c,\epsilon}$

- Σχήμα 5.4.34:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Mirmiran [2] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος του Toutanji μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,e} = 1.40$
- Σχήμα 5.4.35:** Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων Mirmiran [2] και των αντίστοιχων προβλέψεων του προσομοιώματος της fib μετά την εφαρμογή του  $\gamma_{c,f} = 1.50$
- Σχήμα 6.2.1:** Σχηματική αναπαράσταση αντοχής κυλίνδρων α' ομάδας α' κοκκομετρικής διαβάθμισης [21]
- Σχήμα 6.2.2:** Σχηματική αναπαράσταση αντοχής κυλίνδρων β' ομάδας α' κοκκομετρικής διαβάθμισης [21]
- Σχήμα 6.2.3:** Σχηματική αναπαράσταση αντοχής κυλίνδρων β' κοκκομετρικής διαβάθμισης δοκιμίων [21]
- Σχήμα 6.3.1:** Αντοχές περισφιγμένων κυλίνδρων 100\*200mm προτεινόμενου πειραματικού προγράμματος που προέκυψαν από την εφαρμογή των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν
- Σχήμα 6.3.2:** Αντοχές περισφιγμένων κυλίνδρων 150\*300mm προτεινόμενου πειραματικού προγράμματος που προέκυψαν από την εφαρμογή των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν
- Σχήμα 6.3.3:** Παραμορφώσεις περισφιγμένων κυλίνδρων 100\*200mm προτεινόμενου πειραματικού προγράμματος που προέκυψαν από την εφαρμογή των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν
- Σχήμα 6.3.4:** Παραμορφώσεις περισφιγμένων κυλίνδρων 150\*300mm προτεινόμενου πειραματικού προγράμματος που προέκυψαν από την εφαρμογή των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν
- Σχήμα 6.3.5:** Διορθωμένες αντοχές περισφιγμένων κυλίνδρων 100\*200mm προτεινόμενου πειραματικού προγράμματος που προέκυψαν από την εφαρμογή τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν και των αντίστοιχων  $\gamma_{c,f}$
- Σχήμα 6.3.6:** Διορθωμένες αντοχές περισφιγμένων κυλίνδρων 150\*300mm προτεινόμενου πειραματικού προγράμματος που προέκυψαν από την εφαρμογή των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν και των αντίστοιχων  $\gamma_{c,f}$
- Σχήμα 6.3.7:** Διορθωμένες παραμορφώσεις περισφιγμένων κυλίνδρων 100\*200mm προτεινόμενου πειραματικού προγράμματος που προέκυψαν από την εφαρμογή των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν και των αντίστοιχων  $\gamma_{c,e}$

**Σχήμα 6.3.8:** Διορθωμένες παραμορφώσεις περισφιγμένων κυλίνδρων 150\*300mm προτεινόμενου πειραματικού προγράμματος που προέκυψαν από την εφαρμογή των τεσσάρων προσομοιωμάτων που εξετάστηκαν και των αντίστοιχων  $\gamma_{,ce}$

## **B. ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ**

**Πίνακας 1.3.1:** Ιδιότητες υάλου –E και υάλου –S .[14]

**Πίνακας 1.3.2:** Ιδιότητες ρητινών [14]

**Πίνακας 2.2.1:** Αποτελέσματα δοκιμών Mirmiran που χρησιμοποίησαν οι Samaan et al στο προσομοίωμα τους

**Πίνακας 2.3.1:** Μηχανικές Ιδιότητες FRP και ρητίνης

**Πίνακας 2.3.2:** Πειραματικά αποτελέσματα Toutanji

**Πίνακας 2.7.1:** Σύγκριση πειραματικών δεδομένων με διάφορα αναλυτικά προσομοιώματα

**Πίνακας 2.7.2:** Παρουσίαση καλύτερων προβλέψεων

**Πίνακας 3.2.1:** Μηχανικά χαρακτηριστικά σύνθετων υλικών, όπως προέκυψαν από δοκιμές σε εφελκυσμό

**Πίνακας 3.2.2:** Αποτελέσματα δοκιμών μονοαξονικής θλίψης σε κυλίνδρους με ενίσχυση ΙΟΠ από ίνες αραμιδίου

**Πίνακας 3.2.3:** Αποτελέσματα δοκιμών μονοαξονικής θλίψης σε κυλίνδρους με ενίσχυση ΙΟΠ από ίνες άνθρακα

**Πίνακας 3.3.1:** Ιδιότητες των κυλίνδρων που ενισχύθηκαν με φύλλα FRP

**Πίνακας 3.3.2:** Ιδιότητες των σωλήνων FRP

**Πίνακας 3.3.3:** Φυσικές-Μηχανικές ιδιότητες πρώτων υλών των σύνθετων υλικών

**Πίνακας 3.3.4:** Αποτελέσματα των FRP- coupons tests

**Πίνακας 3.3.5:** Αποτελέσματα δοκιμών θλίψης (JG: μανδύας ινών γυαλιού – EG: σωλήνας ινών γυαλιού)

**Πίνακας 3.4.1:** Φυσικές-Μηχανικές Ιδιότητες των πρώτων υλών των σύνθετων υλικών

**Πίνακας 3.4.2:** Πειραματικά αποτελέσματα σκυροδέματος  $f_{co}=38.5$  MPa Καραμπίνη – Ρουσάκη

**Πίνακας 3.4.3:** Πειραματικά αποτελέσματα σκυροδέματος  $f_{co}=35.7$  MPa Καραμπίνη – Ρουσάκη

**Πίνακας 3.5.1:** Φυσικές - Μηχανικές Ιδιότητες των πρώτων υλών των σύνθετων υλικών

**Πίνακας 3.5.2:** Αποτελέσματα δοκιμών διασπασης δακτυλίου για 6-10-14 στρώσεις σύνθετου υλικού

**Πίνακας 3.5.3:** Αποτελέσματα δοκιμών διάσπασης δακτυλίου για  $t=1.880$ mm και  $t=3.302$ mm

**Πίνακας 3.5.4:** Ιδιότητες σκυροδέματος και σωλήνων δοκιμών

**Πίνακας 3.5.5:** Αποτελέσματα δοκιμών στα δοκίμια σκυροδέματος τύπου A

**Πίνακας 3.5.6:** Αποτελέσματα δοκιμών στα δοκίμια σκυροδέματος τύπου C

**Πίνακας 3.5.7:** Αποτελέσματα δοκιμών στα δοκίμια σκυροδέματος τύπου D

**Πίνακας 3.6.1:** Αναλογίες μείγματος τσιμεντοπολτού

**Πίνακας 3.6.2:** Αριθμός κυλίνδρων ανά στρώσεις και ανά αντοχή σκυροδέματος

**Πίνακας 3.6.3:** Ιδιότητες σύνθετου υλικού

**Πίνακας 4.4.1:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Samaan et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Rochette-Labossiere[6]

**Πίνακας 4.4.2:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Samaan et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Rochette-Labossiere[6]

**Πίνακας 4.4.3:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Rochette-Labossiere[6]

**Πίνακας 4.4.4:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Rochette-Labossiere[6]

**Πίνακας 4.4.5:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Samaan et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Καραμπίνη- Ρουσάκη [11]

**Πίνακας 4.4.6:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Toutanji

αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Καραμπίνη- Ρουσάκη [11]

**Πίνακας 4.4.7:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Καραμπίνη- Ρουσάκη [11]

**Πίνακας 4.4.8:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Καραμπίνη- Ρουσάκη [11]

**Πίνακας 4.4.9:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Samaan et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Χiao – Wu [1]

**Πίνακας 4.4.10:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Toutanji αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Χiao – Wu [1]

**Πίνακας 4.4.11:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Χiao – Wu [1]

**Πίνακας 4.4.12:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Χiao – Wu [1]

**Πίνακας 4.4.13:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Samaan et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Mirmiran [2]

**Πίνακας 4.4.14:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Toutanji αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Mirmiran [2]

**Πίνακας 4.4.15:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Mirmiran [2]

**Πίνακας 4.4.16:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Wu et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Mirmiran [2]

**Πίνακας 4.5.1:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Samaan et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Rochette – Labossiere [6]

**Πίνακας 4.5.2:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Toutanji αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Rochette – Labossiere [6]

**Πίνακας 4.5.3:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Rochette – Labossiere [6]

**Πίνακας 4.5.4:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Wu et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Rochette – Labossiere [6]

**Πίνακας 4.5.5:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Samaan et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Καραμπίνη – Ρουσάκη [11]

**Πίνακας 4.5.6:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Toutanji αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Καραμπίνη – Ρουσάκη [11]

**Πίνακας 4.5.7:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Καραμπίνη – Ρουσάκη [11]

**Πίνακας 4.5.8:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Wu et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Καραμπίνη – Ρουσάκη [11]

**Πίνακας 4.5.9:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Samaan et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Χiao - Wu [1]

**Πίνακας 4.5.10:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Toutanji αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Χiao - Wu [1]

**Πίνακας 4.5.11:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Χiao - Wu [1]

**Πίνακας 4.5.12:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Wu et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών Χiao - Wu [1]

**Πίνακας 4.5.13:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Samaan et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών A. Mirmiran [2]

**Πίνακας 4.5.14:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Toutanji αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών A. Mirmiran [2]

**Πίνακας 4.5.15:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος fib αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών A. Mirmiran [2]

**Πίνακας 4.5.16:** Υπολογισμός  $R^2$  για τις προβλέψεις του προσομοιώματος Wu et al αναφορικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών A. Mirmiran [2]

**Πίνακας 5.1.1:** Ιδιότητες πειραμάτων

**Πίνακας 5.2.1:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 33.68$  MPa (ίνες C)

**Πίνακας 5.2.2:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 35.70$  MPa (ίνες C)



- Πίνακας 5.2.3:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 38.50$  MPa (ίνες C)
- Πίνακας 5.2.4 :** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 42.00$  MPa (ίνες C)
- Πίνακας 5.2.5:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 43.77$  MPa (ίνες C)
- Πίνακας 5.2.6:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 55.21$  MPa (ίνες C)
- Πίνακας 5.2.7:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 33.68$  MPa (ίνες C)
- Πίνακας 5.2.8:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 35.70$  MPa (ίνες C)
- Πίνακας 5.2.9:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 38.50$  MPa (ίνες C)
- Πίνακας 5.2.10:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 42.00$  MPa (ίνες C)
- Πίνακας 5.2.11:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 43.77$  MPa (ίνες C)
- Πίνακας 5.2.12:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 55.21$  MPa (ίνες C)
- Πίνακας 5.2.13:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 43.00$  MPa (ίνες A)
- Πίνακας 5.2.14:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 43.00$  MPa (ίνες A)
- Πίνακας 5.3.1:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 20.69$  MPa (σωλήνας E-Glass)
- Πίνακας 5.3.2:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 29.64$  MPa (σωλήνας E-Glass)
- Πίνακας 5.2.3:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 30.86$  MPa (σωλήνας E-Glass)
- Πίνακας 5.3.4:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 31.03$  MPa (σωλήνας E-Glass)
- Πίνακας 5.3.5:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 31.97$  MPa (σωλήνας E-Glass)
- Πίνακας 5.3.6:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 36.54$  MPa (σωλήνας E-Glass)
- Πίνακας 5.3.7:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 40.61$  MPa (σωλήνας E-Glass)
- Πίνακας 5.3.8:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 44.82$  MPa (σωλήνας E-Glass)
- Πίνακας 5.3.9:** Λόγοι  $f_{cc,u,mod}/f_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 46.89$  MPa (σωλήνας E-Glass)
- Πίνακας 5.3.10:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 20.69$  MPa (σωλήνας E-Glass)
- Πίνακας 5.3.11:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 29.64$  MPa (σωλήνας E-Glass)
- Πίνακας 5.3.12** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 30.86$  MPa (σωλήνας E-Glass)
- Πίνακας 5.3.13:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 31.03$  MPa (σωλήνας E-Glass)

**Πίνακας 5.3.14:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 31.97$  MPa (σωλήνας E-Glass)

**Πίνακας 5.3.15:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 36.54$  MPa (σωλήνας E-Glass)

**Πίνακας 5.3.16:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 40.61$  MPa (σωλήνας E-Glass)

**Πίνακας 5.3.17:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 44.82$  MPa (σωλήνας E-Glass)

**Πίνακας 5.3.18:** Λόγοι  $\varepsilon_{cc,u,mod}/\varepsilon_{cc,u,exp}$  για  $f_{co} = 46.89$  MPa (σωλήνας E-Glass)

**Πίνακας 5.3.19:** Συντελεστές ασφαλείας για αντοχή σκυροδέματος  $f_{co} < 50$  MPa

**Πίνακας 5.3.20:** Συντελεστές ασφαλείας για αντοχή σκυροδέματος  $f_{co} > 50$  MPa

**Πίνακας 5.5.1:** Βελτίωση  $R^2$  (μετά την εφαρμογή των συντελεστών ασφαλείας) πειραμάτων Καραμπίνη - Ρουσάκη

**Πίνακας 5.5.2:** Βελτίωση  $R^2$  (μετά την εφαρμογή των συντελεστών ασφαλείας) πειραμάτων Χiao – Wu

**Πίνακας 5.5.3:** Βελτίωση προβλεπόμενων τιμών αντοχής-παραμόρφωσης θραύσης (μετά την εφαρμογή των συντελεστών ασφαλείας) πειραμάτων Rochette – Labossiere

**Πίνακας 5.5.4:** Βελτίωση  $R^2$  (μετά την εφαρμογή των συντελεστών ασφαλείας) πειραμάτων Rochette – Labossiere

**Πίνακας 5.5.5:** Βελτίωση  $R^2$  (μετά την εφαρμογή των συντελεστών ασφαλείας) πειραμάτων Mirman

**Πίνακας 6.2.1:** Αποτελέσματα αντοχής σε θλίψη κυλίνδρων α' ομάδας α' κοκκομετρικής διαβάθμισης δοκιμίων σε θλίψη [21]

**Πίνακας 6.2.2:** Αποτελέσματα αντοχής σε θλίψη κυλίνδρων β' ομάδας α' κοκκομετρικής διαβάθμισης [21]

**Πίνακας 6.2.3:** Αποτελέσματα αντοχής κυλίνδρων σε θλίψη β' κοκκομετρικής διαβάθμισης [21]

**Πίνακας 6.2.4:** Προτεινόμενη κοκκομετρική διαβάθμιση

**Πίνακας 6.2.5:** Φυσικές ιδιότητες Sika Wrap 230 C/45

**Πίνακας 6.2.6:** Μηχανικές ιδιότητες Sika Wrap 230 C/45

**Πίνακας 6.4.1:** Υπολογισμός όγκου κυλίνδρων πειράματος

**Πίνακας 6.4.2:** Υπολογισμός μήκους σύνθετου υλικού για την περιτύλιξη των κλίνδρων

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**  
**(ΠΙΝΑΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ)**

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙ: Υπολογισμός προβλέψεων προσομοιώματος Saman et al πειράματος Labossiere - Rochette**

Δοκίμιο	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$\epsilon_{co}$ (%)	$E_c$ (GPa)	$l_f$ (mm)	n	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\rho_f$	$f'_1$ (MPa)	$k_1$	$f_{cc,m}/f_{co}$	$f_{cc,m,mod}$ (MPa)	$f_{cc,m,exp}$ (MPa)	$f_{cc,m,mod}/f_{cc,m,exp}$	E1 (MPa)	E2 (MPa)	$f_o$ (MPa)	$\epsilon_{cc,m,mod}$ (%)	$\epsilon_{cc,m,exp}$ (%)	$\epsilon_{cc,m,mod}/\epsilon_{cc,m,exp}$
C100-C2	100	200	42	2	35.00	0.3	2	82.7	1265	0.024	15.180	2.653	1.959	82.276	73.5	1.119	25.599	1186.362	48.514	28.458	16.00	1.779
C100-C2	100	200	42	2	35.00	0.3	2	82.7	1265	0.024	15.180	2.653	1.959	82.276	73.5	1.119	25.599	1186.362	48.514	28.458	15.70	1.813
C100-C2	100	200	42	2	35.00	0.3	2	82.7	1265	0.024	15.180	2.653	1.959	82.276	67.62	1.217	25.599	1186.362	48.514	28.458	13.50	2.108
C150-A3	150	300	43	2	35.23	0.42	3	13.6	230	0.034	3.864	4.000	1.359	58.455	43.43	1.346	25.902	674.844	45.188	19.660	11.10	1.771
C150-A6	150	300	43	2	35.23	0.42	6	13.6	230	0.067	7.728	3.249	1.584	68.107	58.91	0.992	25.902	828.565	46.621	25.932	14.70	1.337
C150-A9	150	300	43	2	35.23	0.42	9	13.6	230	0.101	11.592	2.877	1.776	76.347	70.95	0.824	25.902	982.286	48.055	28.803	16.90	1.163
C150-A12	150	300	43	2	35.23	0.42	12	13.6	230	0.134	15.456	2.639	1.949	83.787	74.39	1.126	25.902	1136.008	49.488	30.192	17.40	1.735

## ΠΙΝΑΚΑΣ Π2: Υπολογισμός προβλέψεων προσομοιώματος Toutanji περιπάματος Labossiere-Rochette

Δοκίμιο	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$\epsilon_{co}$ (%)	$E_c$ (GPa)	$l_f$ (mm)	n	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\rho_f$	$f_i$ (MPa)	$E_i$ (GPa)	$k_1$	$f_{ccu}$ $f_{co}$	$f_{ccu,mod}$ (MPa)	$f_{ccu,exp}$ (MPa)	$f_{ccu,mod} / f_{ccu,exp}$	$\epsilon_{fu}$ (%)	$k_2$	$E_{ccu,mod}$ (%)	$E_{ccu,exp}$ (%)	$E_{ccu,mod} / E_{ccu,exp}$
C100-C2	100	200	42	2	35.00	0.3	2	82.7	1265	0.024	15.18	0.4962	4.077	2.474	103.892	73.5	1.414	15	11.401	35.602	16.00	2.225
C100-C2	100	200	42	2	35.00	0.3	2	82.7	1265	0.024	15.18	0.4962	4.077	2.474	103.892	73.5	1.414	15	11.401	35.602	15.70	2.268
C100-C2	100	200	42	2	35.00	0.3	2	82.7	1265	0.024	15.18	0.4962	4.077	2.474	103.892	67.62	1.536	15	11.401	35.602	13.50	2.637
C150-A3	150	300	43	2	35.23	0.42	3	13.6	230	0.0336	3.864	0.1142	5.024	1.451	62.412	43.43	1.437	16.9	12.405	13.200	11.10	1.189
C150-A6	150	300	43	2	35.23	0.42	6	13.6	230	0.0672	7.728	0.2285	4.528	1.814	77.990	58.91	1.324	16.9	12.405	22.188	14.70	1.509
C150-A9	150	300	43	2	35.23	0.42	9	13.6	230	0.1008	11.592	0.3427	4.261	2.149	92.388	70.95	1.302	16.9	12.405	30.495	16.90	1.804
C150-A12	150	300	43	2	35.23	0.42	12	13.6	230	0.1344	15.456	0.457	4.081	2.467	106.070	74.39	1.426	16.9	12.405	38.389	17.40	2.206

### ΠΙΝΑΚΑΣ Π3 : Υπολογισμός προβλέψεων προσομοιώματος fib περιγράματος Labossiere- Rochette

Δοκμιο	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$E_c$ (GPa)	$t_f$ (mm)	n	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\eta_e$	$f_{falc}$ (MPa)	$a_n$	$a_s$	$a_a$	$a_f$	$\sigma_{ind}$ (MPa)	$a_{1d}$	$a_{2d}$	$a_{1d} a_{2d} f_{co}$ (MPa)	$E_{sec,1d}$ (MPa)	$E_{sec,2d}$ (MPa)	$E_{cc,H, mod}$ (%)	$E_{cc,H, exp}$ (%)	$E_{mod} / E_{exp}$	$f_{cc,H, mod}$ (MPa)	$f_{cc,H, exp}$ (MPa)	$f_{cc,H,mod} / f_{cc,H,exp}$
C100-C2	100	200	42	35.00	0.3	2	82.7	1265	0.85	1075.3	1	1	1	1	12.90	2.31	1	97.091	6.423	3.620	26.06	16	1.628	94.333	73.5	1.283
C100-C2	100	200	42	35.00	0.3	2	82.7	1265	0.85	1075.3	1	1	1	1	12.90	2.31	1	97.091	6.423	3.620	26.06	15.7	1.660	94.333	73.5	1.283
C100-C2	100	200	42	35.00	0.3	2	82.7	1265	0.85	1075.3	1	1	1	1	12.90	2.31	1	97.091	6.423	3.620	26.06	13.5	1.930	94.333	67.62	1.395
C150-A3	150	300	43	35.23	0.42	3	13.6	230	0.85	195.5	1	1	1	1	3.28	1.45	1	62.354	9.591	3.461	15.96	11.1	1.438	55.220	43.43	1.271
C150-A6	150	300	43	35.23	0.42	6	13.6	230	0.85	195.5	1	1	1	1	6.57	1.79	1	77.121	7.762	3.461	20.89	14.7	1.421	72.300	58.91	1.227
C150-A9	150	300	43	35.23	0.42	9	13.6	230	0.85	195.5	1	1	1	1	9.85	2.07	1	89.114	7.004	3.461	24.61	16.9	1.456	85.159	70.95	1.200
C150-A12	150	300	43	35.23	0.42	12	13.6	230	0.85	195.5	1	1	1	1	13.14	2.31	1	99.197	6.583	3.461	27.65	17.4	1.589	95.687	74.39	1.286

ΠΙΝΑΚΑΣ Π4: Υπολογισμός προβλέψεων προσομοιώματος Wu et al πειράματος Labossiere - Rochette

Δοκίμιο	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$E_c$ (GPa)	$t_f$ (mm)	n	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\rho_f$	$f_i$ (MPa)	$f_f/f_{co}$	$f_{ccu}/f_{co}$	$f_{ccu,mod}$ (MPa)	$f_{ccu,exp}$ (MPa)	$f_{ccu}^*/f_{ccu,exp}$	$V_u$	$E_{fu}$ (%)	$E_{ccu,mod}$ (%)	$E_{ccu,exp}$ (%)	$E_{ccu,mod}/E_{ccu,exp}$	
C100-C2	100	200	42	35.00	0.3	2	82.7	1265	0.024	15.18	0.3614286	κράτυση	1.821	76.472	73.5	1.040	1.096	15	13.684	16	0.855
C100-C2	100	200	42	35.00	0.3	2	82.7	1265	0.024	15.18	0.3614286	κράτυση	1.821	76.472	73.5	1.040	1.096	15	13.684	15.7	0.872
C100-C2	100	200	42	35.00	0.3	2	82.7	1265	0.024	15.18	0.3614286	κράτυση	1.821	76.472	67.62	1.131	1.096	15	13.684	13.5	1.014
C150-A3	150	300	43	35.23	0.42	3	13.6	230	0.034	3.864	0.0898605	μετάση απόκρισης	0.975	41.910	43.43	0.965	-----	16.9	6.531	11.1	0.588
C150-A6	150	300	43	35.23	0.42	6	13.6	230	0.067	7.728	0.1797209	κράτυση	1.314	56.515	58.91	0.959	1.738	16.9	9.722	14.7	0.661
C150-A9	150	300	43	35.23	0.42	9	13.6	230	0.101	11.592	0.2695814	κράτυση	1.573	67.659	70.95	0.954	1.330	16.9	12.704	16.9	0.752
C150-A12	150	300	43	35.23	0.42	12	13.6	230	0.134	15.456	0.3594419	κράτυση	1.816	78.071	74.39	1.049	1.100	16.9	15.361	17.4	0.883



ΠΙΝΑΚΑΣ Π5: Υπολογισμός προβλέψεων προσομοιώματος Saman et al πειράματος Guoqiang Li

Ανκλίση (γωνίες rυθών)	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$\epsilon_{co}$ (%)	$E_c$ (GPa)	$t_f$ (mm)	n	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\rho_f$	$f_1$ (MPa)	$k_1$ (MPa)	$E_1$ (MPa)	$E_2$ (MPa)	$f_{ccu} / f_{co}$	$f_{ccu,mod}$ (MPa)	$f_{ccu,exp}$ (MPa)	$f_{ccu,mod} / f_{ccu,exp}$	$f_0$ (MPa)	$\epsilon_{ccu,mod}$ (%)	$\epsilon_{ccu,exp}$ (%)	$E_{ccu,mod} / E_{ccu,exp}$	
0°	152	305	46.1	4.1	35.93	0.37	1	15.1	320.2	0.010	1.551	5.496	26.819	577.625	1.185	54.622			47.03	13.139			
JG6 0°/0°	152	305	46.1	4.1	35.93	0.37	2	15.1	320.2	0.019	3.101	4.785	26.819	528.905	1.322	60.938	47.6	1.280	47.61	25.203	6.8	3.706	
JG8 0°/0°	152	305	46.1	4.1	35.93	0.37	4	15.1	320.2	0.039	6.202	4.165	26.819	725.215	1.560	71.934	48.9	1.471	48.76	31.957	8.1	3.945	
JG5 0°/90°	152	305	46.1	4.1	35.93	0.37	1	3.9	39.3	0.010	0.190	8.361	26.819	541.135	1.035	47.691				88.132		7.6	0.000
JG1 90°/90°	152	305	46.1	4.1	35.93	0.37	2	3.9	39.3	0.019	0.381	7.279	26.819	553.841	1.060	48.870	48.7	2.101	6.26			7.6	0.000
JG7 90°/90°	152	305	46.1	4.1	35.93	0.37	4	3.9	39.3	0.039	0.761	6.336	26.819	579.254	1.105	50.924	54.6	0.933	46.74	7.223	19.1	0.378	
JG2 60°/30°	152	305	46.1	4.1	35.93	0.37	1	6.3	149.93	0.010	0.726	6.397	26.819	548.954	1.101	50.744			46.73	7.319			
JG3 45°/45°	152	305	46.1	4.1	35.93	0.37	1	5.03	56.3	0.010	0.273	7.781	26.819	544.816	1.046	48.221			46.56	3.052			
JG4 -45°/45°	152	305	46.1	4.1	35.93	0.37	1	5.6	64.8	0.010	0.314	7.565	26.819	546.674	1.051	48.474	46.1	2.147	6.26		7.1	0.000	
JG3 45°/45°	152	305	46.1	4.1	35.93	0.37	2	5.6	64.8	0.019	0.628	6.586	26.819	564.919	1.090	50.233	46.8	1.073	46.69	6.272	7.5	0.836	
JG4 -45°/45°	152	305	46.1	4.1	35.93	0.37	2	5.6	64.8	0.019	0.628	6.586	26.819	564.919	1.090	50.233	46.7	1.076	46.69	6.272	7.3	0.859	

ΠΙΝΑΚΑΣ Π6: Υπολογισμός προβλέψεων προσομοιώματος Toutanji περιόματος Guoqiang Li

Δοκίμα (γωνίες ινών)	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$\epsilon_{co}$ (%)	$E_c$ (GPa)	$l_f$ (mm)	n	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\rho_f$	$f'_1$ (MPa)	$k_1$	$f_{cum} / f_{co}$	$f_{cum,mod}$ (MPa)	$f_{cum,exp}$ (MPa)	$f_{cum,mod} / f_{cum,exp}$	$\epsilon_1$	$k_2$	$\epsilon_{cum,mod}$ (%)	$\epsilon_{cum,exp}$ (%)	$\epsilon_{cum,mod} / \epsilon_{cum,exp}$	
0°	152	304.8	46.1	4.1	35.93	0.37	1	15.1	320.2	0.010	1.551	5.822	1.196	55.127			0.021	8.486	10.913			
JG6 0°/0°	152	304.8	46.1	4.1	35.93	0.37	2	15.1	320.2	0.019	3.101	5.247	1.353	62.371	47.6	1.310	0.021	8.486	16.380	6.8	2.409	
JG8 0°/0°	152	304.8	46.1	4.1	35.93	0.37	4	15.1	320.2	0.039	6.202	4.729	1.636	75.429	48.9	1.543	0.021	8.486	26.234	8.1	3.239	
JG5 0°/90°	152	304.8	46.1	4.1	35.93	0.37	1	3.9	39.3	0.010	0.190	7.975	1.033	47.618			0.010	5.030	4.779			
JG1 90°/90°	152	304.8	46.1	4.1	35.93	0.37	2	3.9	39.3	0.019	0.381	7.187	1.059	48.836	48.7	2.110	0.010	5.030	15.691	7.6	2.065	
JG7 90°/90°	152	304.8	46.1	4.1	35.93	0.37	4	3.9	39.3	0.039	0.761	6.477	1.107	51.031	54.6	0.935	0.010	5.030	6.306	19.1	0.330	
	152	304.8	46.1	4.1	35.93	0.37	1	6.3	149.93	0.010	0.726	6.523	1.103	50.836			0.024	9.291	8.014			
	152	304.8	46.1	4.1	35.93	0.37	1	5.03	56.3	0.010	0.273	7.556	1.045	48.160			0.011	5.376	5.085			
JG2 60°/30°	152	304.8	46.1	4.1	35.93	0.37	1	5.6	64.8	0.010	0.314	7.398	1.050	48.422	46.1	2.147	0.012	5.494	5.234	7.1	1.845	
JG3 45°/45°	152	304.8	46.1	4.1	35.93	0.37	2	5.6	64.8	0.019	0.628	6.668	1.091	50.285	46.8	1.074	0.012	5.494	6.145	7.5	0.819	
JG4 -45°/45°	152	304.8	46.1	4.1	35.93	0.37	2	5.6	64.8	0.019	0.628	6.668	1.091	50.285	46.7	1.077	0.012	5.494	6.145	7.3	0.842	

ΠΙΝΑΚΑΣ Π7:Υπολογισμός προβλέψεων προσομοιώματος fib πειράματος Guoqiang Li

Δοκίμια (γροντζ ενών)	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$E_c$ (GPa)	$l_f$ (mm)	n	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\eta_e$	$f_{fue}$ (MPa)	$a_n$	$a_s$	$a_a$	$a_f$	$f'_i$ ( $\sigma_{iud}$ ) (MPa)	$\alpha_{1d}$	$\alpha_{2d}$	$\alpha_{1d}\alpha_{2d}f_{co}$ (MPa)	$E_{sec,md}$ (GPa)	$E_{sec,ud}$ (GPa)	$\epsilon_{cch,mod}$ (%)	$\epsilon_{cch,exp}$ (%)	$\epsilon_{cch,mod}/\epsilon_{cch,exp}$	$f_{cch,mod}$ (MPa)	$f_{cch,exp}$ (MPa)	$f_{cch,mod}/f_{cch,exp}$	
0°	152	305	45.6	35.82	0.37	1	15.1	320	0.85	272	1	1	1.00	1.00	1.317	1.19	1	54.144	13.977	3.174	12.22			38.792			
JG6 0°/0°	152	305	45.6	35.82	0.37	2	15.1	320	0.85	272	1	1	1.00	1.00	2.634	1.35	1	61.686	11.160	3.174	15.93	6.8	2.343	50.575	47.6	1.062	
0°/0°																											
JG8 /0°/0°	152	305	45.6	35.82	0.37	4	15.1	320	0.85	272	1	1	1.00	1.00	5.269	1.64	1	74.603	8.923	3.174	21.01	8.1	2.594	66.694	48.9	1.364	
90°	152	305	45.6	35.82	0.37	1	15.1	320	0.85	272	1	1	1.00	1.00	1.317	1.19	1	54.144	13.977	3.174	12.22			38.792			
JG5 0°/90°	152	305	45.6	35.82	0.37	2	15.1	320	0.85	272									27.954	3.174	24.44	7.6	3.216	77.584	48.7	1.593	
JG1 90°/90°	152	305	45.6	35.82	0.37	2	15.1	320	0.85	272	1	1	0.20	0.20	0.529	1.08	1	49.171	17.668	3.174	8.94	7.2	1.242	28.387	49.4	0.575	
90°/90°/90°																											
JG7 90°/90°	152	305	45.6	35.82	0.37	4	15.1	320	0.85	272	1	1	0.20	0.20	1.058	1.15	1	52.550	14.911	3.174	11.28	19.1	0.590	35.793	54.6	0.656	
30°	152	305	45.6	35.82	0.37	1	15.1	320	0.85	272	1	1	0.02	0.02	0.031	1.00	1	45.817	22.375	3.174	5.95			18.871			
60°	152	305	45.6	35.82	0.37	1	15.1	320	0.85	272	1	1	0.91	0.91	1.195	1.17	1	53.397	14.393	3.174	11.79			37.418			
JG2 60°/30°																											
45°	152	305	45.6	35.82	0.37	1	15.1	320	0.85	272	1	1	0.28	0.28	0.363	1.05	1	48.076	18.906	3.174	8.06			25.569			
JG3 45°/45°	152	305	45.6	35.82	0.37	2	15.1	320	0.85	272	1	1	0.28	0.28	0.727	1.11	1	50.458	16.461	3.174	9.90	7.5	1.319	31.409	46.8	0.671	
JG4 -45°/45°	152	305	45.6	35.82	0.37	2	15.1	320	0.85	272	1	1	0.28	0.28	0.727	1.11	1	50.458	16.461	3.174	9.90	7.3	1.356	31.409	46.7	0.673	

ΠΙΝΑΚΑΣ Π8:Υπολογισμός προβλέψεων προσομοιώματος Wu et al περιόματος Guoqiang Li

Δοκίμια (γινώες τινός)	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$E_c$ (GPa)	$\epsilon_{co}$ (%)	$t_f$ (mm)	$n$	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\rho_f$	$f_i$ (MPa)	$f/f_{co}$	$f_{cum} f_{co}$	$f_{cum,mod}$ (MPa)	$f_{cum,exp}$ (MPa)	$f_{cum,mod}/f_{cum,exp}$	$\nu_u$	$\epsilon_{fu}$ (%)	$E_{cum,mod}$ (%)	$E_{cum,exp}$ (%)	$E_{cum,mod}/E_{cum,exp}$	
JG6 0°	152	305	45.6	35.82	4.1	0.37	1	15.1	320.2	0.010	1.551	0.034	μετωση αρόκρησης	0.835	38.076			23.2	1.514			
JG6 0°/0°	152	305	45.6	35.82	4.1	0.37	2	15.1	320.2	0.019	3.101	0.068	μετωση αρόκρησης	0.920	41.953	47.6	0.881	-----	23.2	1.728	6.8	0.254
JG8 0°/0°	152	305	45.6	35.82	4.1	0.37	4	15.1	320.2	0.039	6.202	0.136	κράτωση	1.182	53.905	48.9	1.102	2.09	23.2	11.104	8.1	1.371
JG8 90°	152	305	45.6	35.82	4.1	0.37	1	3.9	39.3	0.010	0.190	0.004	μετωση αρόκρησης	0.760	34.676				1.326	7.6	0.374	
JG5 0°/90°														72.752	48.7	1.494			2.841	7.6	0.374	
JG1 90°/90°	152	305	45.6	35.82	4.1	0.37	2	3.9	39.3	0.019	0.381	0.008	μετωση αρόκρησης	0.771	35.152	49.4	0.712	-----	8.5	1.353	7.2	0.188
JG7 0°	152	305	45.6	35.82	4.1	0.37	4	3.9	39.3	0.039	0.761	0.017	μετωση αρόκρησης	0.792	36.103	54.6	0.661	-----	8.5	1.405	19.1	0.074
JG7 90°/90°														36.015				1.71	1.400			
JG7 30°	152	305	45.6	35.82	4.1	0.37	1	6.3	149.93	0.010	0.726	0.016	μετωση αρόκρησης	0.790	36.015			-----	1.71	1.400		
JG7 60°	152	305	45.6	35.82	4.1	0.37	1	5.03	56.3	0.010	0.273	0.006	μετωση αρόκρησης	0.765	34.882			1.22	1.338			
JG2 60°/30°														70.897	46.1	1.538		-----	1.300	7.1	0.183	
JG3 45°/45°	152	305	45.6	35.82	4.1	0.37	1	5.6	64.8	0.010	0.314	0.007	μετωση αρόκρησης	0.767	34.984			1.4	1.343			
JG3 45°/45°	152	305	45.6	35.82	4.1	0.37	2	5.6	64.8	0.019	0.628	0.014	μετωση αρόκρησης	0.784	35.769	46.8	0.764	-----	14.1	1.387	7.5	0.185
JG4 -45°/45°	152	305	45.6	35.82	4.1	0.37	2	5.6	64.8	0.019	0.628	0.014	μετωση αρόκρησης	0.784	35.769	46.7	0.766		14.1	1.387	7.3	0.190

ΠΙΝΑΚΑΣ Π9:Υπολογισμός προβλέψεων προσομοιώματος Saman et al πειραμάτων Καραμπίνη - Ρουσόκη

Δοκίμιο	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$\epsilon_{co}$ (%)	$E_c$ (GPa)	$t_f$ (mm)	n	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\rho_f$	$f_i$ (MPa)	$k_i$	$f_{cc,w} f_{co}$	$f_{cc,mod}$ (MPa)	$f_{cc,exp}$ (MPa)	$f_{cc,mod} / f_{cc,exp}$	$E_1$ (MPa)	$E_2$ (MPa)	$f_o$ (MPa)	$\epsilon_{cc,mod}$ (%)	$\epsilon_{cc,exp}$ (%)	$E_{cc,mod} / E_{cc,exp}$
A1A	200	320	38.5	2.8	34.16	0.12	1	240	3720	0.002	4.352	3.860	1.436	55.298	43	1.286	24.509	698.650	41.445	19.829	7.96	2.491
														55.298	41.6	1.329				19.829	7.14	2.777
														55.298	46	1.202				19.829	3.49	5.682
A2A	200	320	38.5	2.8	34.16	0.12	2	240	3720	0.005	8.705	3.135	1.709	65.789	51.5	1.277	24.509	887.572	43.059	25.608	8.77	2.920
														65.789	50	1.316				25.608	5.77	4.438
														65.789	55	1.196				25.608	8.6	2.978
A3A	200	320	38.5	2.8	34.16	0.12	3	240	3720	0.007	13.057	2.776	1.941	74.745	67	1.116	24.509	1076.494	44.674	27.934	17.6	1.587
														74.745	51.5	1.451				27.934	10.9	2.563
														74.745	45	1.661				27.934	6.72	4.157
A1B	200	320	35.7	1.8	33.46	0.12	1	240	3720	0.002	4.352	3.860	1.471	52.498	42.5	1.235	23.601	691.010	39.003	19.529	8.59	2.274
														52.498	42	1.250				19.529	12.38	1.577
														52.498	41	1.280				19.529	2.96	6.598
A2B	200	320	35.7	1.8	33.46	0.12	2	240	3720	0.005	8.705	3.135	1.764	62.989	50	1.260	23.601	879.932	40.618	25.423	6.04	4.209
														62.989	48.5	1.299				25.423	10.4	2.445
														62.989	50	1.260				25.423	10.4	2.445
A3B	200	320	35.7	1.8	33.46	0.12	3	240	3720	0.007	13.057	2.776	2.015	71.945	63	1.142	23.601	1068.855	42.233	27.798	17.18	1.618
														71.945	67.5	1.066				27.798	17.05	1.630
														71.945	65.5	1.098				27.798	16.86	1.649

ΠΙΝΑΚΑΣ Π10: Υπολογισμός προβλέψεων προσομοιώματος Τουτανji πειράματος Καραμπίνη - Ρουσόκη

Δοκίμιο	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$\varepsilon_{co}$ (%)	$E_c$ (GPa)	$l_f$ (mm)	n	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\rho_f$	$f'_f$ (MPa)	$E'_f$ (GPa)	$k_1$	$f_{ccur}/f_{co}$	$f_{ccur,mod}$ (MPa)	$f_{ccur,exp}$ (MPa)	$f_{ccur,mod}/f_{ccur,exp}$	$\varepsilon_{fu}$ (%)	$k_2$	$\varepsilon_{ccur,mod}$ (%)	$\varepsilon_{ccur,exp}$ (%)	$\varepsilon_{ccur,mod}/\varepsilon_{ccur,exp}$
A1A	200	320	38.5	2.8	34.16	0.117	1	240	3720	0.002	4.352	0.140	4.854	1.549	59.625	43	1.387	15.5	11.528	20.511	7.96	2.577
															59.625	41.6	1.433			20.511	7.14	2.873
															59.625	46	1.296			20.511	3.49	5.877
A2A	200	320	38.5	2.8	34.16	0.117	2	240	3720	0.005	8.705	0.281	4.374	1.989	76.579	51.5	1.487	15.5	11.528	34.724	8.77	3.959
															76.579	50	1.532			34.724	5.77	6.018
															76.579	55	1.392			34.724	8.6	4.038
A3A	200	320	38.5	2.8	34.16	0.117	3	240	3720	0.007	13.057	0.421	4.116	2.396	92.248	67	1.377	15.5	11.528	47.861	17.6	2.719
															92.248	51.5	1.791			47.861	10.9	4.391
															92.248	45	2.050			47.861	6.72	7.122
A1B	200	320	35.7	1.8	33.46	0.117	1	240	3720	0.002	4.352	0.140	4.799	1.585	56.588	42.5	1.331	15.5	11.528	13.940	8.59	1.623
															56.588	42	1.347			13.940	12.38	1.126
															56.588	41	1.380			13.940	2.96	4.710
A2B	200	320	35.7	1.8	33.46	0.117	2	240	3720	0.005	8.705	0.281	4.325	2.055	73.350	50	1.467	15.5	11.528	23.683	6.04	3.921
															73.350	48.5	1.512			23.683	10.4	2.277
															73.350	50	1.467			23.683	10.72	2.209
A3B	200	320	35.7	1.8	33.46	0.117	3	240	3720	0.007	13.057	0.421	4.070	2.489	88.842	63	1.410	15.5	11.528	32.688	17.18	1.903
															88.842	67.5	1.316			32.688	17.05	1.917
															88.842	65.5	1.356			32.688	16.86	1.939

ΠΙΝΑΚΑΣ Π11: Υπολογισμός προβλέψεων προσομοιώματος Fib πειράματος Καρμπίτη - Ρουδάκη

Δοκμιο	D (mm)	H (mm)	$f_{\infty}$ (MPa)	$E_c$ (GPa)	$l_f$ (mm)	$\eta$	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\eta_e$	$f_{fde}$ (MPa)	$a_{1d}$	$a_{2d}$	$a_{1d} a_{2d} f_{co}$ (MPa)	$E_{sec,M}$ (MPa)	$E_{sec,d}$ (MPa)	$f_{cc,th,mod}$ (MPa)	$f_{cc,th,exp}$ (MPa)	$f_{cc,th,mod}/f_{cc,th,exp}$	$E_{cc,th,mod}$ (%)	$E_{cc,th,exp}$ (%)	$E_{cc,th,mod}/E_{cc,th,exp}$				
A1A	200	320	38.5	34.16	0.12	1	240	3720	0.85	3162	1	1	1	3.700	1.547	1	59.544	5.697	2.282	56.180	43	1.307	24.619	7.96	3.093
																	56.180	41.6	1.350	24.619	7.14	3.448			
																	56.180	46	1.221	24.619	3.49	7.054			
A2A	200	320	38.5	34.16	0.12	2	240	3720	0.85	3162	1	1	1	7.399	1.944	1	74.842	6.542	3.049	71.196	51.5	1.382	23.354	8.77	2.663
																	71.196	50	1.424	23.354	5.77	4.048			
																	71.196	55	1.294	23.354	8.6	2.716			
A3A	200	320	38.5	34.16	0.12	3	240	3720	0.85	3162	1	1	1	11.099	2.257	1	86.901	5.964	3.049	83.833	67	1.251	27.499	17.6	4.763
																	83.833	51.5	1.628	27.499	10.9	7.691			
																	83.833	45	1.863	27.499	6.72	12.475			
A1B	200	320	35.7	33.46	0.12	1	240	3720	0.85	3162	1	1	1	3.700	1.582	1	56.474	8.025	3.026	51.226	42.5	1.205	16.930	8.59	1.971
																	51.226	42	1.220	16.930	12.4	1.368			
																	51.226	41	1.249	16.930	2.96	5.720			
A2B	200	320	35.7	33.46	0.12	2	240	3720	0.85	3162	1	1	1	7.399	1.998	1	71.318	6.616	3.026	67.570	50	1.351	22.332	6.04	3.697
																	67.570	48.5	1.393	22.332	10.4	2.147			
																	67.570	50	1.351	22.332	10.7	2.083			
A3B	200	320	35.7	33.46	0.12	3	240	3720	0.85	3162	1	1	1	11.099	2.322	1	82.896	6.052	3.026	79.679	63	1.265	26.334	17.2	1.533
																	79.679	67.5	1.180	26.334	17.1	1.545			
																	79.679	65.5	1.216	26.334	16.9	1.562			

ΠΙΝΑΚΑΣ Π112: Υπολογισμός προβλέψεων προσομοιώματος Wu et al πειράματος Καρμπίνη - Ρουδάκη

Δοκίμιο	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$\epsilon_{co}$ (%)	$E_c$ (GPa)	$l_f$ (mm)	n	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\rho_f$	$f'_f$ (MPa)	$f_{f,co}$	$f_{cc,th}/f_{cc,cr}$	$f_{cc,th,mod}$ (MPa)	$f_{cc,th,exp}$ (MPa)	$f_{cc,th,mod}/f_{cc,th,exp}$	$V_u$	$E_{fu}$ (%)	$E_{cc,th,mod}$ (%)	$E_{cc,th,exp}$ (%)	$E_{cc,th,mod}/E_{cc,th,exp}$	
A1A	200	320	38.5	2.8	34.16	0.117	1	240	3720	0.0023	4.352	0.113	μετάσχη αστόκησης	1.033	39.756	43	0.925	-----	15.5	5.634	7.96	0.708
														39.756	41.6	0.956			5.634	7.14	0.789	
														39.756	46	0.864			5.634	3.49	1.614	
A2A	200	320	38.5	2.8	34.16	0.117	2	240	3720	0.0047	8.705	0.226	κράτυση	1.634	62.907	51.5	1.221	1.494	15.5	10.375	8.77	1.183
														62.907	50	1.258			10.375	5.77	1.798	
														62.907	55	1.144			10.375	8.6	1.206	
A3A	200	320	38.5	2	34.16	0.117	3	240	3720	0.007	13.057	0.339	κράτυση	2.122	81.709	67	1.220	1.143	15.5	13.558	17.6	0.770
														81.709	51.5	1.587			13.558	10.9	1.244	
														81.709	45	1.816			13.558	6.72	2.018	
A1B	200	320	35.7	1.8	33.46	0.117	1	240	3720	0.0023	4.352	0.122	μετάσχη αστόκησης	1.055	37.656	42.5	0.886	-----	15.5	3.723	8.59	0.433
														37.656	42	0.897			3.723	12.38	0.301	
														37.656	41	0.918			3.723	2.96	1.258	
A2B	200	320	35.7	1.8	33.46	0.117	2	240	3720	0.0047	8.705	0.244	κράτυση	1.716	61.263	50	1.225	1.421	15.5	10.905	6.04	1.805
														61.263	48.5	1.263			10.905	10.4	1.049	
														61.263	50	1.225			10.905	10.72	1.017	
A3B	200	320	35.7	1.8	33.46	0.117	3	240	3720	0.007	13.057	0.366	κράτυση	2.225	79.438	63	1.261	1.088	15.5	14.251	17.18	0.830
														79.438	67.5	1.177			14.251	17.05	0.836	
														79.438	65.5	1.213			14.251	16.86	0.845	



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙ3: Υπολογισμός προβλέψεων προσομοιώματος Saman et al περιβάλλοντος Amir Mirmiran

Δοκίμιο	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$\epsilon_{co}$ (%)	$E_c$ (GPa)	$t_f$ (mm)	n	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\rho_f$	$f'_f$ (MPa)	$E'_f$ (GPa)	$k_f$ (MPa)	$f_{com} f_{co}$	$f_{com,mod}$ (MPa)	$f_{com,exp}$ (MPa)	$f_{com,mod} / f_{com,exp}$	$E_1$ (MPa)	$E_2$ (MPa)	$f_o$ (MPa)	$\epsilon_{cch,mod}$ (%)	$\epsilon_{cch,exp}$ (%)	$E_{com,mod} / E_{com,exp}$
A11	152	305	20.69	2	29.08	1.88	1	37.23	510.22	0.049	12.621	0.461	2.804	2.711	56.083	55.090	1.01803	17.967	1069.841	28.982	25.33	---	---
A12	152	305	20.69	2	29.08	3.302	1	40.33	579.16	0.087	25.163	0.876	2.280	3.773	78.060	127.000	0.61465	17.967	1629.228	33.635	27.27	---	---
A13	152	305	20.69	2	29.08	6.02	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A21	152	305	46.89	2	36.10	1.88	1	37.23	510.22	0.049	12.621	0.461	2.804	1.755	82.283	77.890	1.0564	27.048	1149.876	51.829	26.49	---	---
A22	152	305	46.89	2	36.10	3.302	1	40.33	579.16	0.087	25.163	0.876	2.280	2.224	104.260	125.000	0.83408	27.048	1709.263	56.482	27.95	---	---
A23	152	305	46.89	2	36.10	6.02	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A31	152	305	40.61	2	34.67	1.88	1	37.23	510.22	0.049	12.621	0.461	2.804	1.872	76.003	87.980	0.86387	25.172	1134.845	46.352	26.13	---	---
A32	152	305	40.61	2	34.67	3.302	1	40.33	579.16	0.087	25.163	0.876	2.280	2.413	97.980	121.560	0.80602	25.172	1694.232	51.005	27.73	---	---
A33	152	305	40.61	2	34.67	6.02	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A11	152	305	36.54	2	33.68	1.88	1	37.23	510.22	0.049	12.621	0.461	2.804	1.969	71.936	---	---	23.878	1124.084	42.805	25.91	---	---
A12	152	305	36.54	2	33.68	3.302	1	40.33	579.16	0.087	25.163	0.876	2.280	2.570	93.913	101.490	0.92534	23.878	1683.471	47.459	27.59	26.1	1.057
A13	152	305	36.54	2	33.68	6.02	1	---	---	0.158	---	---	---	---	125.000	---	---	23.878	---	38.123	---	35.4	---
A21	152	305	31.03	2	32.22	1.88	1	37.23	510.22	0.049	12.621	0.461	2.804	2.141	66.420	63.110	1.05244	22.002	1107.843	37.996	25.66	15.3	1.677
A22	152	305	31.03	2	32.22	3.302	1	40.33	579.16	0.087	25.163	0.876	2.280	2.849	88.397	88.540	0.99838	22.002	1667.230	42.649	27.44	23.5	1.168
A23	152	305	31.03	2	32.22	6.02	1	---	---	0.158	---	---	---	---	135.870	---	---	22.002	---	33.313	---	---	---
A31	152	305	44.82	2	35.64	1.88	1	37.23	510.22	0.049	12.621	0.461	2.804	1.790	80.209	61.050	1.31383	26.443	1145.101	50.020	26.36	14.9	1.769
A32	152	305	44.82	2	35.64	3.302	1	40.33	579.16	0.087	25.163	0.876	2.280	2.280	102.186	101.970	1.00212	26.443	1704.488	54.673	27.88	26.8	1.040
A33	152	305	44.82	2	35.64	6.02	1	---	---	0.158	---	---	---	---	125.880	---	---	26.443	---	45.338	---	40.4	---
A1G	152	305	30.86	2	32.18	1.346	1	37.23	524	0.035	9.280	0.330	3.075	1.925	59.399	53.660	1.10696	21.943	931.324	36.611	24.47	31	0.789
A1G	152	305	30.86	2	32.18	1.346	1	37.23	524	0.035	9.280	0.330	3.075	1.925	59.399	56.500	1.05132	21.943	931.324	36.611	24.47	33	0.741
A1G	152	305	30.86	2	32.18	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.552	2.619	2.345	72.365	72.920	0.99239	21.943	1230.395	39.047	27.08	41	0.660
A1G	152	305	30.86	2	32.18	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.552	2.619	2.345	72.365	65.670	1.10195	21.943	1230.395	39.047	27.08	29	0.934
A1G	152	305	30.86	2	32.18	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.552	2.619	2.345	72.365	77.990	0.92788	21.943	1230.395	39.047	27.08	44	0.615
A1G	152	305	30.86	2	32.18	2.997	1	40.75	641	0.079	25.277	0.803	2.277	2.865	88.412	85.720	1.03141	21.943	1568.795	42.546	29.24	44	0.664
A1G	152	305	30.86	2	32.18	2.997	1	40.75	641	0.079	25.277	0.803	2.277	2.865	88.412	86.760	1.01905	21.943	1568.795	42.546	29.24	47	0.622
A2G	152	305	29.64	2	31.84	1.346	1	37.23	524	0.035	9.280	0.330	3.075	1.963	58.179	67.120	0.867	21.505	927.406	35.547	24.4	29	0.842
A2G	152	305	29.64	2	31.84	1.346	1	37.23	524	0.035	9.280	0.330	3.075	1.963	58.179	55.290	1.052	21.505	927.406	35.547	24.4	38	0.642
A2G	152	305	29.64	2	31.84	1.346	1	37.23	524	0.035	9.280	0.330	3.075	1.963	58.179	60.230	0.966	21.505	927.406	35.547	24.4	38	0.642
A2G	152	305	29.64	2	31.84	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.552	2.619	2.400	71.145	74.560	0.954	21.505	1226.477	37.983	27.04	43	0.629
A2G	152	305	29.64	2	31.84	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.552	2.619	2.400	71.145	93.020	0.765	21.505	1226.477	37.983	27.04	43	0.629
A2G	152	305	29.64	2	31.84	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.552	2.619	2.400	71.145	71.740	0.992	21.505	1226.477	37.983	27.04	39	0.693
A2G	152	305	29.64	2	31.84	2.997	1	40.75	641	0.079	25.277	0.803	2.277	2.942	87.192	86.220	1.011	21.505	1564.876	41.482	29.21	46	0.635
A2G	152	305	29.64	2	31.84	2.997	1	40.75	641	0.079	25.277	0.803	2.277	2.942	87.192	114.660	0.760	21.505	1564.876	41.482	29.21	53	0.551
A2G	152	305	29.64	2	31.84	2.997	1	40.75	641	0.079	25.277	0.803	2.277	2.942	87.192	87.440	0.997	21.505	1564.876	41.482	29.21	41	0.712
A3G	152	305	31.97	2	32.48	1.346	1	37.23	524	0.035	9.280	0.330	3.075	1.893	60.509	59.060	1.025	22.334	934.783	37.579	24.53	34	0.721
A3G	152	305	31.97	2	32.48	1.346	1	37.23	524	0.035	9.280	0.330	3.075	1.893	60.509	60.790	0.995	22.334	934.783	37.579	24.53	34	0.721
A3G	152	305	31.97	2	32.48	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.552	2.619	2.298	73.475	77.350	0.950	22.334	1233.854	40.015	27.12	38	0.714
A3G	152	305	31.97	2	32.48	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.552	2.619	2.298	73.475	77.350	0.950	22.334	1233.854	40.015	27.12	38	0.714

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙ14: Υπολογισμός προβλέψεων προσπομώματος Τυτανήι τευράματος Amir Mirmiran

Δοκμιο	D (mm)	H (mm)	f <sub>co</sub> (MPa)	ε <sub>co</sub> (%)	E <sub>c</sub> (GPa)	t <sub>f</sub> (mm)	n	E <sub>f</sub> (GPa)	f <sub>f</sub> (MPa)	ρ <sub>f</sub>	f <sub>i</sub> (MPa)	E <sub>i</sub> (GPa)	k <sub>i</sub>	f <sub>cc,mod</sub> / f <sub>co</sub>	f <sub>cc,mod</sub> (MPa)	f <sub>cc,exp</sub> (MPa)	f <sub>cc,mod</sub> / f <sub>cc,exp</sub>	k <sub>2</sub>	ε <sub>cc,mod</sub> (%)	ε <sub>cc,exp</sub> (%)	ε <sub>cc,mod</sub> / ε <sub>cc,exp</sub>
A11	152	305	20.69	2	29.08	1.88	1	37.232	510.22	0.049	12.621	0.461	3.769	3.299	68.264	55.090	1.239	10.412	49.881	---	---
A12	152	305	20.69	2	29.08	3.302	1	40.335	579.16	0.087	25.163	0.876	3.399	5.134	106.213	127.000	0.836	10.819	91.441	---	---
A13	152	305	20.69	2	29.08	6.02	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A21	152	305	46.89	2	36.10	1.88	1	37.232	510.22	0.049	12.621	0.461	4.262	2.147	100.675	77.890	1.293	10.412	25.886	---	---
A22	152	305	46.89	2	36.10	3.302	1	40.335	579.16	0.087	25.163	0.876	3.843	3.062	143.580	125.000	1.149	10.819	46.618	---	---
A23	152	305	46.89	2	36.10	6.02	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A31	152	305	40.61	2	34.67	1.88	1	37.232	510.22	0.049	12.621	0.461	4.171	2.296	93.248	87.980	1.060	10.412	28.991	---	---
A32	152	305	40.61	2	34.67	3.302	1	40.335	579.16	0.087	25.163	0.876	3.761	3.330	135.236	121.560	1.113	10.819	52.419	---	---
A33	152	305	40.61	2	34.67	6.02	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A11	152	305	36.542	2	33.68	1.88	1	37.232	510.22	0.049	12.621	0.461	4.105	2.418	88.353	---	---	10.412	31.525	---	---
A12	152	305	36.542	2	33.68	3.302	1	40.335	579.16	0.087	25.163	0.876	3.701	3.549	129.683	101.490	1.278	10.819	57.151	26.1	2.190
A13	152	305	36.542	2	33.68	6.02	1	---	---	0.158	---	---	---	---	---	---	---	---	---	35.4	---
A21	152	305	31.027	2	32.22	1.88	1	37.232	510.22	0.049	12.621	0.461	4.006	2.629	81.581	63.110	1.293	10.412	35.930	15.3	2.348
A22	152	305	31.027	2	32.22	3.302	1	40.335	579.16	0.087	25.163	0.876	3.612	3.929	121.909	88.540	1.377	10.819	65.381	23.5	2.782
A23	152	305	31.027	2	32.22	6.02	1	---	---	0.158	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A31	152	305	44.816	2	35.64	1.88	1	37.232	510.22	0.049	12.621	0.461	4.233	2.192	98.238	61.050	1.609	10.412	26.822	14.9	1.800
A32	152	305	44.816	2	35.64	3.302	1	40.335	579.16	0.087	25.163	0.876	3.817	3.143	140.852	101.970	1.381	10.819	48.367	26.8	1.805
A33	152	305	44.816	2	35.64	6.02	1	---	---	0.158	---	---	---	---	---	---	---	---	---	40.4	---
A1G	152	305	30.86	2	32.18	1.346	1	37.23	524	0.035	9.280	0.330	4.191	2.260	69.756	53.660	1.300	10.642	28.826	31	0.930
A1G	152	305	30.86	2	32.18	1.346	1	37.23	524	0.035	9.280	0.330	4.191	2.260	69.756	56.500	1.235	10.642	28.826	33	0.874
A1G	152	305	30.86	2	32.18	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.552	3.868	2.986	92.154	72.920	1.264	10.816	44.966	41	1.097
A1G	152	305	30.86	2	32.18	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.552	3.868	2.986	92.154	65.670	1.403	10.816	44.966	29	1.551
A1G	152	305	30.86	2	32.18	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.552	3.868	2.986	92.154	77.990	1.182	10.816	44.966	44	1.022
A1G	152	305	30.86	2	32.18	2.997	1	40.75	641	0.079	25.277	0.803	3.606	3.954	122.019	85.720	1.423	11.671	70.950	44	1.612
A1G	152	305	30.86	2	32.18	2.997	1	40.75	641	0.079	25.277	0.803	3.606	3.954	122.019	86.760	1.406	11.671	70.950	47	1.510
A2G	152	305	29.64	2	31.84	1.346	1	37.23	524	0.035	9.280	0.330	4.166	2.304	68.301	67.120	1.018	10.642	29.761	29	1.026
A2G	152	305	29.64	2	31.84	1.346	1	37.23	524	0.035	9.280	0.330	4.166	2.304	68.301	55.290	1.235	10.642	29.761	38	0.783
A2G	152	305	29.64	2	31.84	1.346	1	37.23	524	0.035	9.280	0.330	4.166	2.304	68.301	60.230	1.134	10.642	29.761	38	0.783
A2G	152	305	29.64	2	31.84	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.552	3.845	3.055	90.564	74.560	1.215	10.816	46.464	43	1.081
A2G	152	305	29.64	2	31.84	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.552	3.845	3.055	90.564	93.020	0.974	10.816	46.464	43	1.081
A2G	152	305	29.64	2	31.84	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.552	3.845	3.055	90.564	71.740	1.262	10.816	46.464	39	1.191
A2G	152	305	29.64	2	31.84	2.997	1	40.75	641	0.079	25.277	0.803	3.585	4.057	120.249	86.220	1.395	11.671	73.355	46	1.595
A2G	152	305	29.64	2	31.84	2.997	1	40.75	641	0.079	25.277	0.803	3.585	4.057	120.249	114.660	1.049	11.671	73.355	53	1.384
A2G	152	305	29.64	2	31.84	2.997	1	40.75	641	0.079	25.277	0.803	3.585	4.057	120.249	87.440	1.375	11.671	73.355	41	1.789
A3G	152	305	31.97	2	32.48	1.346	1	37.23	524	0.035	9.280	0.330	4.214	2.223	71.073	59.060	1.203	10.642	28.032	34	0.824
A3G	152	305	31.97	2	32.48	1.346	1	37.23	524	0.035	9.280	0.330	4.214	2.223	71.073	60.790	1.169	10.642	28.032	34	0.824
A3G	152	305	31.97	2	32.48	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.552	3.889	2.927	93.590	77.350	1.210	10.816	43.694	38	1.150
A3G	152	305	31.97	2	32.48	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.552	3.889	2.927	93.590	77.080	1.214	10.816	43.694	38	1.150

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙ5:Υπολογισμός προβλέψεων προσομοιώματος fib περιβάματος Amir Mirmiran

Id	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$E_c$ (GPa)	$l_f$ (mm)	$\eta$	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\eta_c$	$f_{f,el}$ (MPa)	$\alpha_n$	$\alpha_s$	$\alpha_a$	$\alpha_f$	$f'_1$ (MPa)	$\alpha_{1d}$	$\alpha_{2d}$	$\alpha_{1d} \alpha_{2d} \alpha_{f,co}$ (MPa)	$E_{sec,Md}$ (GPa)	$E_{sec,ud}$ (GPa)	$E_{cc,md}$ (mod) (%)	$E_{cc,ud}$ (exp) (%)	$E_{cc,md}/E_{cc,exp}$	$f_{cc,md}$ (MPa)	$f_{cc,exp}$ (MPa)	$f_{cc,md}/f_{cc,exp}$	
A11	152	305	20.69	64.50	1.88	1	37.232	510.22	0.85	433.683	1	1	1	1	10.728	2.808	1	58.091	2.893	1.041	54.847	---	---	57.079	55.090	1.036	
A12	152	305	20.69	64.50	3.302	1	40.335	579.16	0.85	492.289	1	1	1	1	21.389	3.518	1	72.792	2.678	0.994	72.116	---	---	71.680	127.000	0.564	
A13	152	305	20.69	64.50	6.02	1	---	---	0.85	---	1	1	1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A21	152	305	46.89	64.50	1.88	1	37.232	510.22	0.85	433.683	1	1	1	1	10.728	2.071	1	97.120	7.640	3.014	30.919	---	---	---	93.200	77.890	1.197
A22	152	305	46.89	64.50	3.302	1	40.335	579.16	0.85	492.289	1	1	1	1	21.389	2.679	1	125.639	6.685	2.883	42.289	---	---	---	121.916	125.000	0.975
A23	152	305	46.89	64.50	6.02	1	---	---	0.85	---	1	1	1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A31	152	305	40.61	64.50	1.88	1	37.232	510.22	0.85	433.683	1	1	1	1	10.728	2.185	1	88.718	6.407	2.448	34.959	---	---	---	85.563	87.980	0.973
A32	152	305	40.61	64.50	3.302	1	40.335	579.16	0.85	492.289	1	1	1	1	21.389	2.824	1	114.665	5.666	2.340	47.674	---	---	---	111.552	121.560	0.918
A33	152	305	40.61	64.50	6.02	1	---	---	0.85	---	1	1	1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A11	152	305	36.542	64.50	1.88	1	37.232	510.22	0.85	433.683	1	1	1	1	10.728	2.273	1	83.047	5.639	2.117	37.974	---	---	---	80.381	---	---
A12	152	305	36.542	64.50	3.302	1	40.335	579.16	0.85	492.289	1	1	1	1	21.389	2.932	1	107.136	5.026	2.023	51.623	26.1	1.978	104.441	101.490	1.029	
A13	152	305	36.542	64.50	6.02	1	---	---	0.85	---	1	1	1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A21	152	305	31.027	64.50	1.88	1	37.232	510.22	0.85	433.683	1	1	1	1	10.728	2.417	1	74.980	4.638	1.707	42.729	15.3	2.793	72.946	65.110	1.156	
A22	152	305	31.027	64.50	3.302	1	40.335	579.16	0.85	492.289	1	1	1	1	21.389	3.102	1	96.250	4.181	1.631	57.704	23.5	2.455	94.128	88.540	1.063	
A23	152	305	31.027	64.50	6.02	1	---	---	0.85	---	1	1	1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A31	152	305	44.816	64.50	1.88	1	37.232	510.22	0.85	433.683	1	1	1	1	10.728	2.106	1	94.387	7.227	2.819	32.181	14.9	2.160	90.719	61.050	1.486	
A32	152	305	44.816	64.50	3.302	1	40.335	579.16	0.85	492.289	1	1	1	1	21.389	2.724	1	122.093	6.345	2.696	43.982	26.8	1.641	118.564	101.970	1.163	
A33	152	305	44.816	64.50	6.02	1	---	---	0.85	---	1	1	1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
A1G	152	305	30.86	64.50	1.346	1	37.233	524.00	0.85	445.4	1	1	1	1	7.888	2.158	1	66.596	4.904	1.652	38.979	31	1.257	64.394	53.660	1.200	
A1G	152	305	30.86	64.50	1.346	1	37.233	524.00	0.85	445.4	1	1	1	1	7.888	2.158	1	66.596	4.904	1.652	38.979	33	1.181	64.394	56.500	1.140	
A1G	152	305	30.86	64.50	2.08	1	40.336	579.00	0.85	492.15	1	1	1	1	13.469	2.636	1	81.353	4.431	1.621	48.889	41	1.192	79.224	72.920	1.086	
A1G	152	305	30.86	64.50	2.08	1	40.336	579.00	0.85	492.15	1	1	1	1	13.469	2.636	1	81.353	4.431	1.621	48.889	29	1.686	79.224	65.670	1.206	
A1G	152	305	30.86	64.50	2.08	1	40.336	579.00	0.85	492.15	1	1	1	1	13.469	2.636	1	81.353	4.431	1.621	48.889	44	1.111	79.224	77.990	1.016	
A1G	152	305	30.86	64.50	2.997	1	40.749	641.00	0.85	544.85	1	1	1	1	21.486	3.113	1	96.053	4.154	1.482	63.159	44	1.435	93.603	85.720	1.092	
A1G	152	305	30.86	64.50	2.997	1	40.749	641.00	0.85	544.85	1	1	1	1	21.486	3.113	1	96.053	4.154	1.482	63.159	47	1.344	93.603	86.760	1.079	
A2G	152	305	29.64	64.50	1.346	1	37.233	524.00	0.85	445.4	1	1	1	1	7.888	2.191	1	64.932	4.669	1.569	40.071	29	1.382	62.883	67.120	0.937	
A2G	152	305	29.64	64.50	1.346	1	37.233	524.00	0.85	445.4	1	1	1	1	7.888	2.191	1	64.932	4.669	1.569	40.071	38	1.054	62.883	55.290	1.137	
A2G	152	305	29.64	64.50	1.346	1	37.233	524.00	0.85	445.4	1	1	1	1	7.888	2.191	1	64.932	4.669	1.569	40.071	38	1.054	62.883	60.230	1.044	
A2G	152	305	29.64	64.50	2.08	1	40.336	579.00	0.85	492.15	1	1	1	1	13.469	2.676	1	79.309	4.228	1.539	50.227	43	1.168	77.316	74.560	1.037	
A2G	152	305	29.64	64.50	2.08	1	40.336	579.00	0.85	492.15	1	1	1	1	13.469	2.676	1	79.309	4.228	1.539	50.227	43	1.168	77.316	93.020	0.831	
A2G	152	305	29.64	64.50	2.08	1	40.336	579.00	0.85	492.15	1	1	1	1	13.469	2.676	1	79.309	4.228	1.539	50.227	39	1.288	77.316	71.740	1.078	
A2G	152	305	29.64	64.50	2.08	1	40.336	579.00	0.85	492.15	1	1	1	1	13.469	2.676	1	79.309	4.228	1.539	50.227	43	1.168	77.316	93.020	0.831	
A2G	152	305	29.64	64.50	2.08	1	40.336	579.00	0.85	492.15	1	1	1	1	13.469	2.676	1	79.309	4.228	1.539	50.227	39	1.288	77.316	71.740	1.078	
A2G	152	305	29.64	64.50	2.997	1	40.749	641.00	0.85	544.85	1	1	1	1	21.486	3.155	1	93.506	3.971	1.408	64.794	46	1.409	91.204	86.220	1.058	
A2G	152	305	29.64	64.50	2.997	1	40.749	641.00	0.85	544.85	1	1	1	1	21.486	3.155	1	93.506	3.971	1.408	64.794	53	1.223	91.204	114.660	0.795	
A2G	152	305	29.64	64.50	2.997	1	40.749	641.00	0.85	544.85	1	1	1	1	21.486	3.155	1	93.506	3.971	1.408	64.794	41	1.580	91.204	87.440	1.043	
A3G	152	305	31.97	64.50	1.346	1	37.233	524.00	0.85	445.4	1	1	1	1	7.888	2.130	1	68.092	5.120	1.729	38.028	34	1.118	65.746	59.060	1.113	
A3G	152	305	31.97	64.50	1.346	1	37.233	524.00	0.85	445.4	1	1	1	1	7.888	2.130	1	68.092	5.120	1.729	38.028	34	1.118	65.746	60.790	1.082	
A3G	152	305	31.97	64.50	2.08	1	40.336	579.00	0.85	492.15	1	1	1	1	13.469	2.602	1	83.182	4.616	1.696	47.719	38	1.256	80.929	77.350	1.046	

ΠΙΝΑΚΑΣ III.6: Υπολογισμός προβλέψεων προσομοιώματος Wu et al περιβάλλοντος Amir Mirmiran

Δοκίμιο	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (Mpa)	$E_c$ (GPa)	$f_f$ (mm)	n	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\rho_f$	$f_f$ (MPa)	$f_f/f_{co}$	$f_{cu,mod}$	$f_{cu,mod}^{exp}$ (MPa)	$f_{cu,mod}^{exp}/f_{cu,mod}$	$W_u$	$E_{fu}$ (‰)	$E_{cu,mod}$ (‰)	$E_{cu,mod}^{exp}$ (‰)	$E_{cu,mod}^{exp}/E_{cu,mod}$	
A11	152	305	20.69	64.50	1.88	1	37.232	510.22	0.049	12.621	0.610	2.478	51.267	0.931	0.392	13.704	34.929	---	---	
A12	152	305	20.69	64.50	3.302	1	40.335	579.16	0.087	25.163	1.216	3.399	70.319	0.554	0.308	14.359	46.597	---	---	
A13	152	305	20.69	64.50	6.02	1	---	---	0.158	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
A21	152	305	46.89	64.50	1.88	1	37.232	510.22	0.049	12.621	0.269	1.858	87.109	1.118	0.522	13.704	26.232	---	---	
A22	152	305	46.89	64.50	3.302	1	40.335	579.16	0.087	25.163	0.537	2.351	110.219	125.000	0.882	0.410	14.359	34.994	---	---
A23	152	305	46.89	64.50	6.02	1	---	---	0.158	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
A31	152	305	40.61	64.50	1.88	1	37.232	510.22	0.049	12.621	0.311	1.937	78.678	87.980	0.894	0.497	13.704	27.586	---	---
A32	152	305	40.61	64.50	3.302	1	40.335	579.16	0.087	25.163	0.620	2.494	101.292	121.560	0.833	0.390	14.359	36.801	---	---
A33	152	305	40.61	64.50	6.02	1	---	---	0.158	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
A11	152	305	36.54	64.50	1.88	1	37.232	510.22	0.049	12.621	0.345	2.003	73.187	---	0.479	13.704	28.624	---	---	
A12	152	305	36.54	64.50	3.302	1	40.335	579.16	0.087	25.163	0.689	2.610	95.389	101.490	0.940	0.376	14.359	38.185	26.1	1.463
A13	152	305	36.54	64.50	6.02	1	---	---	0.158	---	---	---	125.000	---	---	---	---	35.4	---	---
A21	152	305	31.03	64.50	1.88	1	37.232	510.22	0.049	12.621	0.407	2.117	65.683	63.110	1.041	0.452	13.704	30.311	15.3	1.981
A22	152	305	31.03	64.50	3.302	1	40.335	579.16	0.087	25.163	0.811	2.809	87.154	88.540	0.984	0.355	14.359	40.436	23.5	1.721
A23	152	305	31.03	64.50	6.02	1	---	---	0.158	---	---	---	135.870	---	---	---	---	---	---	---
A31	152	305	44.82	64.50	1.88	1	37.232	510.22	0.049	12.621	0.282	1.882	84.330	61.050	1.381	0.514	13.704	26.651	14.9	1.789
A32	152	305	44.82	64.50	3.302	1	40.335	579.16	0.087	25.163	0.561	2.394	107.292	101.970	1.052	0.404	14.359	35.553	26.8	1.327
A33	152	305	44.82	64.50	6.02	1	---	---	0.158	---	---	---	125.880	---	---	---	---	---	40.4	---
A1G	152	305	30.86	64.50	1.346	1	37.23	524	0.035	9.280	0.301	1.918	59.197	53.660	1.103	0.503	14.074	28.006	31	0.903
A1G	152	305	30.86	64.50	1.346	1	37.23	524	0.035	9.280	0.301	1.918	59.197	56.500	1.048	0.503	14.074	28.006	33	0.849
A1G	152	305	30.86	64.50	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.513	2.310	71.278	72.920	0.977	0.417	14.354	34.448	41	0.840
A1G	152	305	30.86	64.50	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.513	2.310	71.278	65.670	1.085	0.417	14.354	34.448	29	1.188
A1G	152	305	30.86	64.50	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.513	2.310	71.278	77.990	0.914	0.417	14.354	34.448	44	0.783
A1G	152	305	30.86	64.50	2.997	1	40.75	641	0.079	25.277	0.819	2.822	87.080	85.720	1.016	0.354	15.730	44.452	44	1.010
A1G	152	305	30.86	64.50	2.997	1	40.75	641	0.079	25.277	0.819	2.822	87.080	86.760	1.004	0.354	15.730	44.452	47	0.946
A2G	152	305	29.64	64.50	1.346	1	37.23	524	0.035	9.280	0.313	1.942	57.555	67.120	0.857	0.495	14.074	28.404	29	0.979
A2G	152	305	29.64	64.50	1.346	1	37.23	524	0.035	9.280	0.313	1.942	57.555	55.290	1.041	0.495	14.074	28.404	38	0.747
A2G	152	305	29.64	64.50	1.346	1	37.23	524	0.035	9.280	0.313	1.942	57.555	60.230	0.956	0.495	14.074	28.404	38	0.747
A2G	152	305	29.64	64.50	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.535	2.347	69.566	74.560	0.933	0.411	14.354	34.937	43	0.812
A2G	152	305	29.64	64.50	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.535	2.347	69.566	93.020	0.748	0.411	14.354	34.937	43	0.812
A2G	152	305	29.64	64.50	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.535	2.347	69.566	71.740	0.970	0.411	14.354	34.937	39	0.896
A2G	152	305	29.64	64.50	2.997	1	40.75	641	0.079	25.277	0.853	2.875	85.205	86.220	0.988	0.349	15.730	45.084	46	0.980
A2G	152	305	29.64	64.50	2.997	1	40.75	641	0.079	25.277	0.853	2.875	85.205	114.660	0.743	0.349	15.730	45.084	53	0.851
A2G	152	305	29.64	64.50	2.997	1	40.75	641	0.079	25.277	0.853	2.875	85.205	87.440	0.974	0.349	15.730	45.084	41	1.100
A3G	152	305	31.97	64.50	1.346	1	37.23	524	0.035	9.280	0.290	1.898	60.689	59.060	1.028	0.509	14.074	27.662	34	0.814
A3G	152	305	31.97	64.50	1.346	1	37.23	524	0.035	9.280	0.290	1.898	60.689	60.790	0.998	0.509	14.074	27.662	34	0.814
A3G	152	305	31.97	64.50	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.496	2.278	72.828	77.350	0.942	0.422	14.354	34.074	38	0.814
A3G	152	305	31.97	64.50	2.08	1	40.34	579	0.055	15.846	0.496	2.278	72.828	77.350	0.942	0.422	14.354	34.074	38	0.814

ΠΙΝΑΚΑΣ Π17: Υπολογισμός προβλέψεων προσομοιώματος Saman et al πειράματος Xiao - Wu

Δοκίμιο	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$\epsilon_{co}$ (%)	$E_c$ (GPa)	$t_f$ (mm)	n	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\rho_f$	$f'_i$ (MPa)	$E_i$ (GPa)	$k_i$ (MPa)	$f_{cal} / f_{co}$	$f_{cum,mod}$ (MPa)	$f_{cum,exp}$ (MPa)	$f_{cum,mod} / f_{cum,exp}$	$E_1$ (MPa)	$E_2$ (MPa)	$f_0$ (MPa)	$\epsilon_{cum,mod}$ (%)	$\epsilon_{cum,exp}$ (%)	$\epsilon_{cum,mod} / \epsilon_{cum,exp}$
A1A	152	305	33.68	2	32.94	0.381	1	105	1577	0.010	7.906	0.263	3.227	1.757	59.190	49.970	1.185	22.924	850.42	38.56	24.259	12.25	1.980
															59.190	37.550	1.576				24.259	13.1	1.852
															59.190	49.410	1.198				24.259	14.1	1.720
A2A	152	305	33.68	2	32.94	0.381	2	105	1577	0.020	15.812	0.526	2.621	2.230	75.121	65.000	1.156	22.924	1204.6	41.493	27.917	16.4	1.702
															75.121	71.460	1.051				27.917	21.9	1.275
															75.121	74.980	1.002				27.917	22.7	1.230
A3A	152	305	33.68	2	32.94	0.381	3	105	1577	0.030	23.717	0.790	2.321	2.634	88.722	85.929	1.033	22.924	1558.7	44.426	28.418	23.6	1.204
															88.722	82.614	1.074				28.418	25	1.137
															88.722	94.603	0.938				28.418	30.2	0.941
A1B	152	305	43.77	2	35.41	0.381	1	105	1577	0.010	7.906	0.263	3.227	1.583	69.280	48.280	1.435	26.133	877.13	47.358	24.993	4	6.248
															69.280	51.485	1.346				24.993	5.8	4.309
															69.280	54.551	1.270				24.993	10.78	2.318
A2B	152	305	43.77	2	35.41	0.381	2	105	1577	0.020	15.812	0.526	2.621	1.947	85.211	77.752	1.096	26.133	1231.3	50.292	28.361	13.7	2.070
															85.211	77.752	1.096				28.361	13.7	2.070
															85.211	83.564	1.020				28.361	16.1	1.762
A3B	152	305	43.77	2	35.41	0.381	3	105	1577	0.030	23.717	0.790	2.321	2.258	98.812	92.275	1.071	26.133	1585.4	53.225	28.754	16.9	1.701
															98.812	92.275	1.071				28.754	16.9	1.701
															98.812	96.052	1.029				28.754	17.5	1.643
A1G	152	305	55.21	2	37.84	0.381	1	105	1577	0.010	7.906	0.263	3.227	1.462	80.720	62.500	1.292	29.350	901.98	57.334	25.927	4.12	6.293
															80.720	57.630	1.401				25.927	4.1	6.324
															80.720	57.630	1.401				25.927	7	3.704
A2G	152	305	55.21	2	37.84	0.381	2	105	1577	0.020	15.812	0.526	2.621	1.751	96.651	73.630	1.313	29.350	1256.1	60.267	28.965	9	3.218
															96.651	76.450	1.264				28.965	12.07	2.400
															96.651	78.650	1.229				28.965	14.3	2.026
A3G	152	305	55.21	2	37.84	0.381	3	105	1577	0.030	23.717	0.790	2.321	1.997	110.252	107.500	1.026	29.350	1610.3	63.2	29.220	14.1	2.072
															110.252	106.800	1.032				29.220	14.11	2.071
															110.252	107.500	1.026				29.220	14.12	2.069

ΠΙΝΑΚΑΣ Π18: Υπολογισμός προβλέψεων προσομοιώματος Toutanji πειράματος Xiao - Wu

Δοκίμιο	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$\epsilon_{co}$ (%)	$E_c$ (GPa)	$t_f$ (mm)	n	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\rho_f$	$f'_f$ (MPa)	$E'_f$ (GPa)	$k_1$	$f_{co}^{cum} / f_{co}$	$f_{cum,mod}^{cum} / f_{co}$ (MPa)	$f_{cum,exp}^{cum} / f_{cum,exp}$ (MPa)	$f_{cum,mod}^{cum} / f_{cum,exp}$	k2	$\epsilon_{cum,mod}$ (%)	$\epsilon_{cum,exp}$ (%)	$\epsilon_{cum,mod} / \epsilon_{cum,exp}$
A1A	152	305	33.68	2	32.94	0.381	1	105	1577	0.0100	7.906	0.263	4.350	2.021	68.069	49.970	1.362	11.229	24.931	12.25	2.03518
															68.069	37.550	1.813		24.931	13.1	1.90312
															68.069	49.410	1.378		24.931	14.1	1.76815
A2A	152	305	33.68	2	32.94	0.381	2	105	1577	0.0201	15.812	0.526	3.920	2.840	95.667	65.000	1.472	11.229	43.333	16.4	2.64226
															95.667	71.460	1.339		43.333	21.9	1.97868
															95.667	74.980	1.276		43.333	22.7	1.90894
A3A	152	305	33.68	2	32.94	0.381	3	105	1577	0.0301	23.717	0.790	3.689	3.598	121.174	85.929	1.410	11.229	60.341	23.6	2.55683
															121.174	82.614	1.467		60.341	25	2.41365
															121.174	94.603	1.281		60.341	30.2	1.99805
A1B	152	305	43.77	2	35.41	0.381	1	105	1577	0.0100	7.906	0.263	4.524	1.817	79.538	48.280	1.647	11.229	20.352	4	5.08805
															79.538	51.485	1.545		20.352	5.8	3.509
															79.538	54.551	1.458		20.352	10.78	1.88796
A2B	152	305	43.77	2	35.41	0.381	2	105	1577	0.0201	15.812	0.526	4.078	2.473	108.242	77.752	1.392	11.229	35.080	13.7	2.56057
															108.242	85.564	1.295		35.080	16.1	2.17887
															108.242	88.564	1.295		35.080	16.1	2.17887
A3B	152	305	43.77	2	35.41	0.381	3	105	1577	0.0301	23.717	0.790	3.837	3.079	134.772	92.275	1.461	11.229	48.692	16.9	2.88117
															134.772	92.275	1.461		48.692	16.9	2.88117
															134.772	96.052	1.403		48.692	17.5	2.78239
A1G	152	305	55.21	2	37.84	0.381	1	105	1577	0.0100	7.906	0.263	4.685	1.671	92.246	62.500	1.476	11.229	17.065	4.12	4.14202
															92.246	57.630	1.601		17.065	4.1	4.16223
															92.246	57.630	1.601		17.065	7	2.43788
A2G	152	305	55.21	2	37.84	0.381	2	105	1577	0.0201	15.812	0.526	4.222	2.209	121.967	73.630	1.656	11.229	29.155	9	3.23944
															121.967	76.450	1.595		29.155	12.07	2.41549
															121.967	78.650	1.551		29.155	14.3	2.03881
A3G	152	305	55.21	2	37.84	0.381	3	105	1577	0.0301	23.717	0.790	3.973	2.707	149.437	106.800	1.399	11.229	40.329	14.1	2.8602
															149.437	106.800	1.399		40.329	14.11	2.85818
															149.437	107.500	1.390		40.329	14.12	2.85615

ΠΙΝΑΚΑΣ Π19: Υπολογισμός προβλέψεων προσομοιώματος fib περιβάματος Xiao - Wu

Δοκίμιο	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$E_c$ (GPa)	$t_f$ (mm)	n	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\eta_c$	$f_{fibre}$ (MPa)	$a_n$	$a_s$	$a_a$	$a_f$	$f_i$ (σ <sub>had</sub> ) (MPa)	$\alpha_{1d}$	$\alpha_{2d}$	$\alpha_{1d}\alpha_{2d}f_{co}$ (MPa)	$E_{sec,Mod}$ (GPa)	$E_{sec,nd}$ (GPa)	$E_{cc,th,mod}$ (%)	$E_{cc,th,exp}$ (%)	$E_{cc,th,mod}/E_{cc,th,exp}$	$f_{cc,th,mod}$ (MPa)	$f_{cc,th,exp}$ (MPa)	$f_{cc,th,mod}/f_{cc,th,exp}$	
A1A	152	305	33.68	32.94	0.38	1	105	1577	0.85	1340.5	1	1	1	1	6.720	1.97	1	66.362	5.670	2.4946	25.30	12.25	2.065	63.116	49.970	1.263	
																					25.30	13.1	1.931	63.116	37.550	1.681	
																					25.30	14.1	1.794	63.116	49.410	1.277	
A2A	152	305	33.68	32.94	0.38	2	105	1577	0.85	1340.5	1	1	1	1	13.440	2.55	1	85.878	4.908	2.4946	33.39	16.4	2.036	83.295	65.000	1.281	
																					33.39	21.9	1.525	83.295	71.460	1.166	
																					33.39	22.7	1.471	83.295	74.980	1.111	
A3A	152	305	33.68	32.94	0.38	3	105	1577	0.85	1340.5	1	1	1	1	20.160	2.95	1	99.524	4.618	2.4946	38.94	23.6	1.650	97.146	85.929	1.131	
																					38.94	25	1.558	97.146	82.614	1.176	
																					38.94	30.2	1.289	97.146	94.603	1.027	
A1B	152	305	43.77	35.41	0.38	1	105	1577	0.85	1340.5	1	1	1	1	6.720	1.80	1	78.636	7.891	3.9839	18.79	4	4.698	74.866	48.280	1.551	
																					18.79	5.8	3.240	74.866	51.485	1.454	
																					18.79	10.78	1.743	74.866	54.551	1.372	
A2B	152	305	43.77	35.41	0.38	2	105	1577	0.85	1340.5	1	1	1	1	13.440	2.31	1	101.163	6.694	3.9839	24.77	13.7	1.808	98.668	77.752	1.269	
																					24.77	13.7	1.808	98.668	77.752	1.269	
																					24.77	16.1	1.538	98.668	83.564	1.181	
A3B	152	305	43.77	35.41	0.38	3	105	1577	0.85	1340.5	1	1	1	1	20.160	2.69	1	117.697	6.231	3.9839	29.03	16.9	1.718	115.648	92.275	1.253	
																					29.03	16.9	1.718	115.648	92.275	1.253	
																					29.03	17.5	1.659	115.648	96.052	1.204	
A1G	152	305	55.21	37.84	0.38	1	105	1577	0.85	1340.5	1	1	1	1	6.720	1.66	1	91.833	10.637	6.5990	13.44	4.12	3.262	88.700	62.500	1.419	
																					13.44	4.1	3.278	88.700	57.630	1.539	
																					13.44	7	1.920	88.700	57.630	1.539	
A2G	152	305	55.21	37.84	0.38	2	105	1577	0.85	1340.5	1	1	1	1	13.440	2.12	1	117.003	8.869	6.5990	17.53	9	1.947	115.661	73.630	1.571	
																					17.53	12.07	1.452	115.661	76.450	1.513	
																					17.53	14.3	1.226	115.661	78.650	1.471	
A3G	152	305	55.21	37.84	0.38	3	105	1577	0.85	1340.5	1	1	1	1	20.160	2.47	1	136.180	8.171	6.5990	20.52	14.1	1.455	135.411	107.500	1.260	
																					20.52	14.11	1.454	135.411	106.800	1.268	
																					20.52	14.17	1.454	135.411	107.600	1.260	

ΠΙΝΑΚΑΣ Π20: Υπολογισμός προβλέψεων προσομοιώματος Wu et al πειράματος Xiao - Wu

Δοκίμιο	D (mm)	H (mm)	$f_{co}$ (MPa)	$E_c$ (GPa)	$t_f$ (mm)	n	$E_f$ (GPa)	$f_f$ (MPa)	$\rho_f$	$f'_f$ (MPa)	$f_{f/f'_{co}}$	$f_{ccu}/f_{co}$	$f_{ccu,mod}$ (MPa)	$f_{ccu,exp}$ (MPa)	$f_{ccu,mod}/f_{ccu,exp}$	Wu	$E_{fu}$ (%)	$E_{ccu,mod}$ (%)	$E_{ccu,exp}$ (%)	$E_{ccu,mod}/E_{ccu,exp}$	
A1A	152	305	33.68	32.94	0.381	1	105	1577	0.0100	7.9058	0.235	Κράτυση	1.674	56.386	49.970	1.128	1.458	15	10.292	12.25	0.840
													56.386	37.550	1.502				10.292	13.1	0.786
													56.386	49.410	1.141				10.292	14.1	0.730
A2A	152	305	33.68	32.94	0.381	2	105	1577	0.0201	15.812	0.469	Κράτυση	2.582	86.968	65.000	1.338	0.922	15	16.261	16.4	0.992
													86.968	71.460	1.217				16.261	21.9	0.743
													86.968	74.980	1.160				16.261	22.7	0.716
A3A	152	305	33.68	32.94	0.381	3	105	1577	0.0301	23.717	0.704	Κράτυση	3.132	105.489	85.929	1.228	0.706	15	21.251	23.6	0.900
													105.489	82.614	1.277				21.251	25	0.850
													105.489	94.603	1.115				21.251	30.2	0.704
A1B	152	305	43.77	35.41	0.381	1	105	1577	0.0100	7.9058	0.181	Κράτυση	1.414	61.893	48.280	1.282	1.733	15	8.657	4	2.164
													61.893	51.485	1.202				8.657	5.8	1.493
													61.893	54.551	1.135				8.657	10.78	0.803
A2B	152	305	43.77	35.41	0.381	2	105	1577	0.0201	15.812	0.361	Κράτυση	2.208	96.646	77.752	1.243	1.097	15	13.679	13.7	0.998
													96.646	77.752	1.243				13.679	13.7	0.998
													96.646	83.564	1.157				13.679	16.1	0.850
A3B	152	305	43.77	35.41	0.381	3	105	1577	0.0301	23.717	0.542	Κράτυση	2.790	122.118	92.275	1.323	0.839	15	17.876	16.9	1.058
													122.118	92.275	1.323				17.876	16.9	1.058
													122.118	96.052	1.271				17.876	17.5	1.021
A1G	152	305	55.21	37.84	0.381	1	105	1577	0.0100	7.9058	0.143	Κράτυση	1.223	67.522	62.500	1.080	2.020	15	7.427	4.12	1.803
													67.522	57.630	1.172				7.427	4.1	1.811
													67.522	57.630	1.172				7.427	7	1.061
A2G	152	305	55.21	37.84	0.381	2	105	1577	0.0201	15.812	0.286	Κράτυση	1.905	105.160	73.630	1.428	1.278	15	11.735	9	1.304
													105.160	76.450	1.376				11.735	12.07	0.972
													105.160	78.650	1.337				11.735	14.3	0.821
A3G	152	305	55.21	37.84	0.381	3	105	1577	0.0301	23.717	0.430	Κράτυση	2.453	135.440	107.500	1.260	0.978	15	15.336	14.1	1.088
													135.440	106.800	1.268				15.336	14.11	1.087
													135.440	107.500	1.260				15.336	14.12	1.086





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000097643