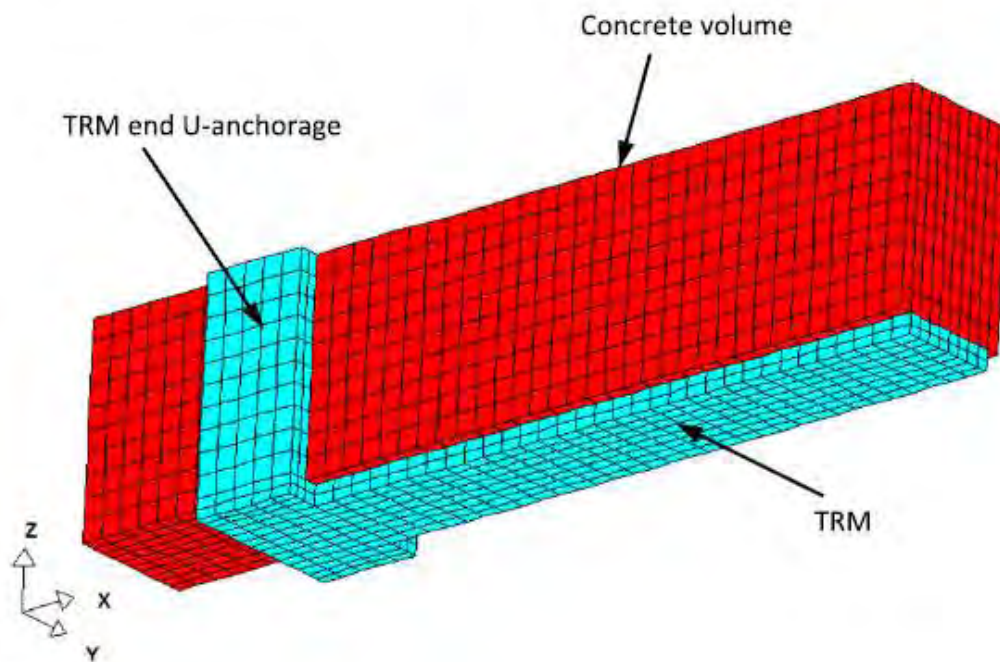




**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΔΟΚΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ  
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΜΕ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ  
ΠΟΛΥΜΕΡΗ**



Δαριβιανάκης Γεώργιος

Επιβλέπων Καθηγητής: Παπακωνσταντίνου Χρήστος

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Παπακωνσταντίνου Χρήστο για την καθοδήγηση του κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας. Χωρίς τις πολύτιμες συμβουλές του θα ήταν αδύνατη η πραγματοποίησή της.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, ιδιαίτερα τους γονείς μου, Ηρακλή και Χρυσούλα, που μου συμπαραστάθηκαν και ήταν στο πλευρό μου σε όλα τα εμπόδια που συνάντησα όλα αυτά τα χρόνια και με στήριζαν ανελλιπώς στην προσπάθειά μου.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους μου, που μου συμπαραστάθηκαν ο καθένας με τον τρόπο του, καθώς και ένα μεγάλο ευχαριστώ στο φίλο και αδερφό μου, Βαγγέλη.

## Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η συμπεριφορά των Ινοπλισμένων Πολυμερών (FRP), όταν αυτά χρησιμοποιούνται ως τρόπος ενίσχυσης σε διάτμηση για δοκούς Οπλισμένου Σκυροδέματος. Παρουσιάζονται δηλαδή μέθοδοι ενίσχυσης με ινοπλισμένα πολυμερή και η συνεισφορά τους στην αντοχή σε τέμνουσα.

Επίσης, παρατίθενται θεωρητικά μοντέλα και κανονισμοί που έχουν προταθεί διεθνώς, καθώς και πειραματικές έρευνες ώστε να εξεταστεί η συμπεριφορά δοκών σύμφωνα με τα παραπάνω μοντέλα-κανονισμούς.

Τέλος γίνεται προσπάθεια αποτίμησης και μετά επιλογής μεθόδου, ανάλογα το υλικό (άνθρακας, γυαλί, κλπ) που χρησιμοποιείται για την ενίσχυση, τον τρόπο επικόλλησης του πολυμερούς, καθώς επίσης και τον τρόπο αστοχίας.

## Περιεχόμενα

<b>1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>6</b>
1.1	Γενικά	6
1.2	Σύνθετα υλικά	7
1.3	Μήτρες Σύνθετων Υλικών	10
1.4	Διαθέσιμες Μορφές Ινοπλισμένων Πολυμερών	11
1.5	Ιδιότητες και Συμπεριφορά των Ινοπλισμένων Πολυμερών	11
1.6	Χαρακτηριστικά και Εφαρμογές Σύνθετων Υλικών από Ινοπλισμένα Πολυμερή	13
1.7	Τρόποι Αστοχίας	15
<b>2</b>	<b>ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ</b>	<b>16</b>
2.1	Ενίσχυση με προσθήκη ινοπλισμένων πολυμερών	17
2.2	Ενίσχυση δοκών με προσθήκη μανδύων	19
2.3	Ενίσχυση δοκών με προσθήκη εξωτερικών χαλύβδινων ελασμάτων	20
2.4	Ενίσχυση δοκών με προσθήκη εξωτερικών μεταλλικών στοιχείων	21
<b>3</b>	<b>ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ</b>	<b>23</b>
3.1	Εισαγωγικά	23
3.2	Διατμητικοί μέθοδοι ενίσχυσης δοκών με χρήση σύνθετων υλικών	24
3.3	Μορφές αστοχίας σύνθετων υλικών	26
<b>4</b>	<b>ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ</b>	<b>28</b>
4.1	Εισαγωγικά	28
4.2	Khalifa et al. (1998)	28
4.3	Triantafillou & Antonopoulos (2000)	32
4.4	Chen & Teng (2003)	34
4.4.1	Θραύση ΙΟΠ	35
4.4.2	Αποκόλληση ΙΟΠ	40
4.5	Zhang & Hsu (2005)	45
4.5.1	Φιλοσοφία του σχεδιασμού και σχεδιαστική προσέγγιση	46
4.5.2	Εξισώσεις σχεδιασμού	52
4.6	Carolin & Täljsten (2005)	53
4.6.1	Το Μοντέλο του Δικτύωματος	53
4.6.2	Βελτιστοποιημένο μοντέλο δικτύωματος για σύνθετα υλικά	54

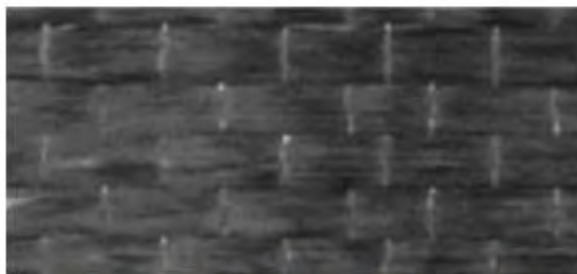
4.6.3	Προσδιορισμός της παραμόρφωσης εbond .....	57
4.7	Monti & Liotta, (2007).....	61
4.7.1	Εξισώσεις σχεδιασμού .....	62
4.8	fib Design Proposal (2001).....	69
4.8.1	Εξισώσεις σχεδιασμού .....	69
4.9	ACI Design Proposal (2008).....	71
4.10	Eurocode 8 – Part 3 Design Proposal (EN 1998-3:2005).....	74
4.11	Ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων (2017).....	78
4.11.1	Αστοχία του ίδιου του υλικού ενίσχυσης .....	80
4.11.2	Αστοχία λόγω πρόωρης αποκόλλησης .....	81
5	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	83
5.1	Εισαγωγή .....	83
5.2	Ahmed Khalifa and Antonio Nanni (1999).....	84
5.3	Saleh H. Alsayed et al. (2012).....	85
5.4	Christopher Leung and Weiwen Li (2017).....	86
5.5	G. Loretto et al. , (2015).....	88
5.6	Daniel Baggio, Khaled Soudki and Martin Noel (2014).....	89
5.7	J.H. Gonzalez – Libreros , L.H. Sneed , T. D’Antino, C. Pellegrino (2017) .....	90
5.8	G.M. Chen , Z. Zhang , Y.L Li , X.Q. Li , C.Y. Zhou , (2016) .....	92
5.9	Zoi C. Tetta , Lampros N. Koutas , Dionysios A. Bournas , (2016).....	94
5.10	Συνολικά αποτελέσματα .....	96
6	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	114
6.1	Γενικά.....	114
6.2	Περιγραφή πίνακα αποτελεσμάτων.....	114
6.3	Διαγράμματα – Παρατηρήσεις .....	128
6.3.1	Γενικά διαγράμματα .....	129
6.3.2	Διαγράμματα βάσει μορφής αστοχίας.....	139
6.3.3	Διαγράμματα βάσει τύπου επικόλλησης.....	149
6.3.4	Διαγράμματα βάσει υλικού πολυμερούς .....	169
6.4	Σύγκριση αποτελεσμάτων .....	184
6.4.1	Συντελεστής Pearson .....	184

6.4.2	Συντελεστής $Lin$ .....	189
6.4.3	Σύγκριση κανονισμών ως προς την ασφάλεια.....	194
6.5	Πρόταση βελτίωσης.....	198
6.5.1	Γενικά διαγράμματα τεμνουσών.....	199
6.5.2	Διαγράμματα τεμνουσών με τρίπλευρη επικόλληση .....	200
6.5.3	Διαγράμματα τεμνουσών με δίπλευρη επικόλληση .....	201
6.5.4	Διαγράμματα τεμνουσών με πλήρη περιτύλιξη.....	202
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	203
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	205

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Γενικά

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει συμβάλλει σημαντικά και στο πεδίο του Πολιτικού Μηχανικού με την εμφάνιση νέων υλικών και τεχνικών στον τομέα των κατασκευών και των ενισχύσεων. Τέτοια υλικά είναι και τα ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ) ή όπως αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία FRP ( fiber reinforced polymers). Τα υλικά αυτά αποτελούνται από ίνες –συνηθέστερα άνθρακα, γυαλιού ή αραμιδίου (CarbonFRP, GlassFRP, AramidFRP)-εμποτισμένες σε κάποιου είδους μήτρα με συνηθέστερη την εποξειδική ρητίνη. Ένα τέτοιο ύφασμα από ίνες άνθρακα φαίνεται στην Εικόνα 1.1.



Σχήμα 1: Κομμάτι υφάσματος CFRP

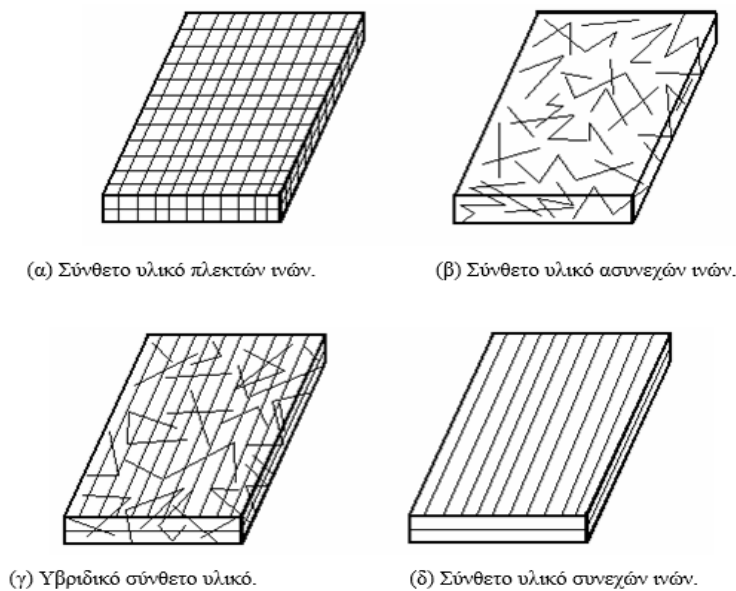
**Εικόνα 1.1 :** Κομμάτι υφάσματος CFRP (Ενίσχυση δοκών σε διάτμηση με ΙΟΠ, 16° φοιτητικό συνέδριο, Πετρόχειλος, 2010)

Η χρήση τέτοιων υλικών παρουσιάζει μεγάλη άνοδο τα τελευταία χρόνια καθώς συνδυάζουν αρκετά σημαντικά πλεονεκτήματα όπως η υψηλή εφελκυστική αντοχή (ακόμα και σε συνθήκες κόπωσης), το μικρό βάρος, η μεγάλη αντίσταση στη διάβρωση, η υψηλή δυσκαμψία, η ευκολία στην τοποθέτηση και στη μόρφωση μεγάλων μηκών και οποιουδήποτε σχήματος. Ειδικά στην ενίσχυση δοκών που θέλουμε να πετύχουμε την αύξηση της αντοχής χωρίς την αλλαγή της δυσκαμψίας και χωρίς την προσθήκη νέων νεκρών φορτίων, η ενίσχυση με ΙΟΠ γίνεται πολύ ανταγωνιστική έναντι των υπολοίπων τρόπων ενίσχυσης. Τα υλικά αυτά όμως, εμφανίζουν και ορισμένα μειονεκτήματα όπως το υψηλό κόστος, η σχετικά μεγάλη χαλάρωση και η τρωτότητα από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υπεριώδης ακτινοβολία και η αλκαλικότητα. Σημαντικότερο εμπόδιο όμως στη χρήση τέτοιων υλικών στις κατασκευές είναι η έλλειψη τεχνογνωσίας και ακριβέστερων προδιαγραφών καθώς και η απουσία εξοικείωσης του μηχανικού με αυτά. Στην προσπάθεια εξάλειψης του τελευταίου παράγοντα, πολλά ερευνητικά προγράμματα έχουν διεξαχθεί και συνεχίζουν να διεξάγονται.

## 1.2 Σύνθετα υλικά

Ανάλογα τον τρόπο τοποθέτησης και το συνδυασμό των ινών, τα σύνθετα υλικά διακρίνονται σε :

- Πλεκτών ινών (woven fiber), που αποτελούν συνεχές σώμα χωρίς επιμέρους στρώματα, οπότε δεν παρουσιάζουν πιθανότητες αποκόλλησης. Έχουν όμως μικρή αντοχή λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης τάσεων και του μεγάλου ποσοστού ρητίνης (Εικόνα 1.2(α)).
- Ασυνεχών ινών (chopped fiber), τα οποία έχουν κοντές ίνες διάσπαρτες μέσα στο συνδετικό υλικό και μηχανική αντοχή κατώτερη απ' αυτήν των συνεχών ινών (Εικόνα 1.2(β)).
- Υβριδικά (hybrid), τα οποία αποτελούνται είτε από συνεχείς, είτε από ασυνεχείς ίνες ή από περισσότερους του ενός τύπου ινών. Χρησιμοποιούνται για να πετύχουν επιθυμητές ιδιότητες που το σύνθετο υλικό δε διαθέτει (Εικόνα 1.2(γ)).
- Συνεχών ινών (continuous fiber), που στρώματα συνεχών ινών – ρητίνης τοποθετούνται στην κατάλληλη διεύθυνση και συνδέονται αποτελώντας ένα σώμα, παρουσιάζοντας έτσι, μεγάλη αντοχή. Η αποκόλληση μεταξύ των στρωμάτων συνεχών ινών-ρητίνης είναι πιθανή (Εικόνα 1.2(δ)). (13<sup>ο</sup> φοιτητικό συνέδριο, 2007)



**Εικόνα 1.2 :** Τύποι σύνθετων υλικών ινών. (13<sup>ο</sup> φοιτητικό συνέδριο, 2007)



Τα σύνθετα αυτά υλικά έχουν κάποιες μηχανικές ιδιότητες, οι οποίες με βάση το χάλυβα διακρίνονται στον Πίνακα 1.1 ως εξής:

**Πίνακας 1.1:** Μηχανικές Ιδιότητες Ίνών και Χάλυβα (Τριανταφύλλου, 1994).

	Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)	Παραμόρφωση Θραύσης σε ποσοστό %
Γυαλί	50	3
Αραμιδίο	65-120	2-3
Άνθρακας	135-190	1-1,5
Χάλυβας	200	10

### Ίνες Άνθρακα

Οι ίνες άνθρακα παρασκευάζονται είτε από θερμική κατεργασία του πολυακρυλονιτριλίου (PAN) είτε μέσω απόσταξης κάρβουνου (pitch). Οι πρώτες χαρακτηρίζονται γενικά από μεγαλύτερες αντοχές και μέτρα ελαστικότητας σε σύγκριση με τις δεύτερες. (Εικόνα 1.3)



**Εικόνα 1.3 :** Ίνες άνθρακα (Τριανταφύλλου, 2011)

## Ίνες Αραμιδίου

Οι ίνες αραμιδίου (Εικόνα 1.4) που διατίθενται στη διεθνή αγορά διακρίνονται σε αυτές οι οποίες προέρχονται από αρωματικό πολυαιθεραμίδιο και σε εκείνες που προέρχονται από αρωματικό πολυαμίδιο. Βασικό πλεονέκτημα τους είναι η πολύ καλή συμπεριφορά σε κρουστικά φορτία, γι' αυτό και τα τελευταία χρόνια προτιμούνται για την κατασκευή μανδυνών σε υποστυλώματα γεφυρών, όπου υπάρχει κίνδυνος πρόσκρουσης οχημάτων. (Τριανταφύλλου, 2011).



**Εικόνα 1.4 :** Ίνες αραμιδίου (Τριανταφύλλου, 2011)

## Ίνες Γυαλιού

Οι ίνες γυαλιού (Εικόνα 1.5) παρασκευάζονται από λιωμένο γυαλί και διακρίνονται σε i) τύπου E που είναι και ο πιο συνηθισμένος τύπος γυαλιού (με βασικό μειονέκτημα τη μείωση της αντοχής σε αλκαλικό περιβάλλον), ii) τύπου Z με μεγάλη αντοχή στο αλκαλικό περιβάλλον και iii) τύπου S, με κύρια χαρακτηριστικά την υψηλή αντοχή και το υψηλό μέτρο ελαστικότητας. Ένα πλεονέκτημα των ινών γυαλιού (έναντι των άλλων τύπων) είναι το αρκετά χαμηλότερο κόστος.



**Εικόνα 1.5 :** Ίνες γυαλιού Τύπου Ε (Τριανταφύλλου, 2011)

### 1.3 Μήτρες Σύνθετων Υλικών

Ως μήτρες σύνθετων υλικών χρησιμοποιούνται συνήθως ρητίνες, οι οποίες αποτελούν τη συνδετική ύλη μεταξύ των ινών και παράλληλα, ο ρόλος τους είναι σημαντικός για την ανθεκτικότητα και την ηλεκτρική μόνωση του σύνθετου υλικού. Τα σύνθετα υλικά από ΙΟΠ δε θα μπορούσαν να υφίστανται χωρίς ρητίνες, καθώς αυτές συνεισφέρουν στη μεταφορά των φορτίων και στην κατανομή των τάσεων στις ίνες κάθε στρώσης του πολυμερούς. Έτσι, επιτρέπουν στο ΙΟΠ να συμπεριφέρεται σχεδόν σαν ομογενές υλικό. Τα κυριότερα είδη ρητινών που χρησιμοποιούνται στην επισκευή και ενίσχυση των κατασκευών, καθώς και οι μηχανικές τους ιδιότητες, παρουσιάζονται στον πίνακα 1.2. (13ο φοιτητικό συνέδριο, 2007).

**Πίνακας 1.2:** Μηχανικές Ιδιότητες Ρητινών (Τριανταφύλλου, 2011).

Είδος ρητίνης	Εφελκυστική αντοχή (MPa)	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	Επιμήκυνση θραύσης (%)	Πυκνότητα (gr/cm <sup>3</sup> )
Εποξική	55-130	2-4,5	4-14	1,2-1,3
Πολυεστερική	35-104	2,1-4,1	<5	1,1-1,46
Βινυλεστερική	73-81	3-3,6	3,5-5,5	1,12-1,32

## 1.4 Διαθέσιμες Μορφές Ινοπλισμένων Πολυμερών

Τα ινοπλισμένα πολυμερή διατίθενται σήμερα σε μορφή: (α) ράβδων και τενόντων (π.χ. για τον οπλισμό και/ή την προένταση στοιχείων σκυροδέματος), (β) λωρίδων ή ταινιών πλάτους μερικών εκατοστών, πάχους της τάξης του χιλιοστού και μήκους αρκετών μέτρων (π.χ. για την εφαρμογή τους υπό μορφή εξωτερικού οπλισμού), (γ) φύλλων, παρόμοιων με τις λωρίδες αλλά μεγαλύτερου πλάτους (π.χ. για χρήση σε μορφή εξωτερικού μανδύα δομικών στοιχείων), (δ) δισδιάστατων ή τρισδιάστατων πλεγμάτων (π.χ. για τον οπλισμό επιφανειακών στοιχείων από σκυρόδεμα), (ε) γραμμικών μελών (διατομής π.χ. I, O, U), (στ) επίπεδων στοιχείων επικάλυψης (π.χ. κυματοειδή πετάσματα) και (ζ) εύκαμπτων μεμβρανών (π.χ. για τη στέγαση ανοικτών χώρων, για τον οπλισμό του εδάφους κ.τ.λ.). (Τριανταφύλλου, 2011).

## 1.5 Ιδιότητες και Συμπεριφορά των Ινοπλισμένων Πολυμερών

### Μηχανική Συμπεριφορά

Για τη συνηθέστερη περίπτωση στα τεχνικά έργα που τα ινοπλισμένα πολυμερή αποτελούνται από συνεχείς ίνες μίας διεύθυνσης σε αναλογία 50-70%, οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών αυτών καθορίζονται ως εξής: μέτρο ελαστικότητας = 50 GPa, 65-120 GPa και 135-190 GPa, και παραμόρφωση θραύσης = 3%, 2-3% και 1-1,5% για υλικά με ίνες γυαλιού (GFRP), αραμιδίου (AFRP) και άνθρακα (CFRP), αντίστοιχα. Η εφελκυστική αντοχή, που είναι της τάξης των 1400-2100 MPa σε βραχυχρόνια φόρτιση, μειώνεται στο 35-50%, 50-60% και 70-90% της αρχικής τιμής για πολυμερή με ίνες γυαλιού, αραμιδίου και άνθρακα, αντίστοιχα, όταν η φόρτιση είναι μακροχρόνια.

Για τα ινοπλισμένα πολυμερή με συνεχείς ίνες μίας διεύθυνσης είναι εύκολο να δείξει κανείς (βάσει σχέσεων ισορροπίας και συμβιβαστού των παραμορφώσεων) ότι το μέτρο ελαστικότητας στη διεύθυνση των ινών,  $E_f$ , δίνεται από τη σχέση:

$$E_f = E_m V_m + E_{fib} V_{fib} \quad (1.1)$$

Στην παραπάνω σχέση  $E_m$  και  $E_{fib}$  είναι το μέτρο ελαστικότητας του μητρικού υλικού και των ινών, αντίστοιχα. Ομοίως,  $V_m$  και  $V_{fib}$  είναι το ποσοστό του μητρικού υλικού και των ινών, αντίστοιχα ( $V_m + V_{fib} = 1$ ). Έτσι, δεδομένου ότι  $E_{fib} \gg E_m$ , γίνεται προφανές ότι το μέτρο ελαστικότητας του σύνθετου υλικού ισούται προσεγγιστικά με αυτό των ινών πολλαπλασιασμένο επί την κατ' όγκο αναλογία τους. Ακόμα μπορεί να δειχθεί ότι η παραπάνω εξίσωση ισχύει προσεγγιστικά και για την εφελκυστική αντοχή,  $f_{f,t}$ , αρκεί τα μέτρα ελαστικότητας να αντικατασταθούν από τις αντίστοιχες εφελκυστικές αντοχές:

$$f_{f,t} = f_{m,t}V_m + f_{fib,t}V_{fib} \quad (1.2)$$

όπου  $f_{m,t}$  και  $f_{fib,t}$  είναι η εφελκυστική αντοχή του μητρικού υλικού και των ινών, αντίστοιχα. (Τριανταφύλλου, 2011).

### Περιβαλλοντικές Επιδράσεις

Τα ινοπλισμένα πολυμερή είναι μερικές φορές μη ανθεκτικά σε περιβαλλοντικές επιδράσεις, όπως είναι η υγρασία, η δράση χημικών, οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας και η υπεριώδης ακτινοβολία. Πιθανό ενδεχόμενο των επιδράσεων αυτών είναι ότι υπό ορισμένες προϋποθέσεις μπορούν να προκαλέσουν πρόωρη αστοχία. Ο γενικός κανόνας είναι ότι τα ινοπλισμένα πολυμερή με ίνες άνθρακα έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα στις παραπάνω επιδράσεις, αυτά με ίνες γυαλιού είναι αρκετά ευάλωτα, ενώ τα πολυμερή με ίνες αραμιδίου χαρακτηρίζονται από ενδιάμεση συμπεριφορά. Αξίζει να τονιστεί η αρνητική δράση μερικών χημικών, όπως είναι τα αλκάλια, στα πολυμερή με ίνες γυαλιού (κυρίως τύπου E), και στη δυσμενή επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας σε αυτά με ίνες αραμιδίου.

Η αντοχή των ινοπλισμένων πολυμερών σε πυρκαγιά είναι γενικά μεγαλύτερη από ότι θα αναμενόταν, αρκεί βέβαια να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα προστασίας (π.χ. χρήση επιβραδυντικών της καύσης προσμίξεων στο μητρικό υλικό). (Τριανταφύλλου, 2011).

## Στοιχεία Κόστους και Αξιολόγηση των Ινοπλισμένων Πολυμερών

Αν εξαιρέσουμε τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των ινοπλισμένων πολυμερών, ένας άλλος βασικός παράγοντας που αφορά στη χρήση τους στα τεχνικά έργα είναι το κόστος τους. Συγκρίνοντας την εφελκυστική αντοχή σε μακροχρόνια φόρτιση, ο λόγος κόστους των υλικών προς αυτό του κοινού χάλυβα είναι περίπου 3, 6 και 5 για υλικά με ίνες γυαλιού, αραμιδίου και άνθρακα, αντίστοιχα. Στις τιμές αυτές παρατηρείται σημαντική μείωση όταν η σύγκριση γίνει με χάλυβα υψηλής αντοχής, και ακόμα περισσότερο όταν γίνει με ανοξειδωτο ή γαλβανισμένο χάλυβα. Αν μάλιστα λάβει υπόψη κανείς το συνολικό κόστος μίας κατασκευής (εργατικά, συντήρηση κ.ά.), οι παραπάνω συγκρίσεις κόστους γίνονται συχνά ευνοϊκές για τα ινοπλισμένα πολυμερή. Τέλος, οι σύγχρονες τάσεις της αγοράς δείχνουν ότι οι τιμές των υλικών αυτών μειώνονται σημαντικά με την αύξηση του όγκου παραγωγής και με την πρόοδο της τεχνολογίας. (Τριανταφύλλου, 2011).

### **1.6 Χαρακτηριστικά και Εφαρμογές Σύνθετων Υλικών από Ινοπλισμένα Πολυμερή**

Τα ελάσματα ΙΟΠ συνδέονται εξωτερικά στα δομικά μέλη με χρήση συγκολλητικών ουσιών, (π.χ. εποξικής κόλλας), αυξάνοντας τη φέρουσα ικανότητα του μέλους. Ο δεσμός μεταξύ των σύνθετων υλικών και του ήδη υπάρχοντος σκυροδέματος είναι κρίσιμος, προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή συμπεριφορά του σύνθετου με το υπάρχον μέλος. Συνεπώς η κατάλληλη προετοιμασία της επιφάνειας του μέλους είναι μια υποχρεωτική διαδικασία με σκοπό την απομάκρυνση αδύναμων και εναθρακωμένων στρώσεων ή σκόνης από την επιφάνεια του σκυροδέματος, καθώς και η εξομάλυνσή της, για να έχουμε μια αποτελεσματική συγκόλληση που θα ενισχύσει την κατασκευή.

Βασικά πλεονεκτήματα που εμφανίζουν τα ελάσματα ΙΟΠ στην εφαρμογή τους ως εξωτερικά επικολλούμενος οπλισμός στοιχείων σκυροδέματος είναι η πολύ υψηλή εφελκυστική αντοχή (όσο και των ισχυρότερων χαλύβων προέντασης), η αντοχή στη διάβρωση, η διάθεση σε πολύ μεγάλα μήκη και η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ακόμα και σε μέλη κατασκευής που έχουν δύσκολη πρόσβαση.

Επιπροσθέτως, το χαμηλό κόστος εφαρμογής (ανάλογο των παραδοσιακών μεθόδων επισκευής και ενίσχυσης), το γεγονός ότι απαιτούν ελάχιστο ή και καθόλου βαρύ εξοπλισμό για την τοποθέτησή τους καθώς έχουν πολύ απλή εφαρμογή και το πολύ μικρό ίδιο βάρος που σε συνδυασμό με τη μεγάλη ευκαμψία καθιστά πολύ εύκολη τη μεταφορά και διευκολύνει την εφαρμογή.

Ακόμα, οι διαστάσεις του ενισχυόμενου δομικού υλικού δε μεταβάλλονται, λόγω του μικρού πάχους του σύνθετου υλικού και μπορούν επίσης, να επιχριστούν και να χρωματιστούν, διατηρώντας έτσι την αισθητική και την αρχιτεκτονική της υπάρχουσας κατασκευής.

Μειονεκτήματα αποτελούν η μεγάλη ευπάθειά τους στη φωτιά, ο ψαθυρός χαρακτήρας της αστοχίας τους και οι υψηλές διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται στη διεπιφάνεια σκυροδέματος - συνδετικού μέσου στην περιοχή των αγκυρώσεών τους. Ο “δεσμός” σύνθετων υλικών – σκυροδέματος, μπορεί να αστοχήσει πρόωρα, δηλαδή πριν εξαντληθεί η καμπτική αντοχή του ενισχυόμενου στοιχείου. Ειδικότερα, οι τρόποι αστοχίας λόγω έλλειψης συνάφειας, είναι είτε με διάδοση ρωγμών στη διεπιφάνεια μεταξύ σκυροδέματος και σύνθετου υλικού που μπορεί να οφείλονται σε ατέλειες του συνδετικού υλικού, σε ανάπτυξη κατακόρυφων ρωγμών λόγω κάμψης, σε τοπική αποκόλληση του σύνθετου φύλλου όταν η επιφάνεια του σκυροδέματος δεν είναι επίπεδη και σε καταπόνηση του μέλους λόγω κόπωσης. Ακόμα με αποκόλληση του σύνθετου φύλλου λόγω του κατακόρυφου και οριζόντιου ανοίγματος σε ενδεχόμενες διατμητικές ρωγμές ή με διατμητική αστοχία της στρώσης του σκυροδέματος μεταξύ του οπλισμού ενίσχυσης και του υπάρχοντος διαμήκους οπλισμού, κοντά στα άκρα του σύνθετου φύλλου. Προϋπόθεση αποτελεί η λήψη κατάλληλων μέτρων για να αποφευχθεί η αποκόλληση, όπως για παράδειγμα να λαμβάνεται επαρκές μήκος αγκύρωσης ( $l_b$ ) των εξωτερικών οπλισμών και να ικανοποιούνται οι κατασκευαστικές διατάξεις. Μάλιστα σε ορισμένες περιπτώσεις θεωρείται απαραίτητη η βελτίωση της αγκύρωσης με μηχανικούς τρόπους, όπως η εξωτερική περίσφιξη των άκρων των φύλλων μέσω κατακόρυφου εξωτερικού οπλισμού.

Ο οπλισμός ενίσχυσης των σύνθετων υλικών στην κατάσταση οριακής φέρουσας ικανότητας, δε διαρρέει όπως ο χάλυβας, αλλά έχει μεγάλη ελαστική παραμόρφωση. Η παραμόρφωση αυτή εξαρτάται κυρίως από την ικανότητα του σκυροδέματος να μεταφέρει μέσω διάτμησης τις εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στα σύνθετα υλικά και είναι, κατά κανόνα, μικρότερη από τη μέγιστη εφελκυστική παραμόρφωση (θραύσης) των σύνθετων υλικών. Τα ΙΟΠ λόγω της μεγάλης ανθεκτικότητας στην ηλεκτροχημική διάβρωση και του υψηλού λόγου της αντοχής προς το βάρος τους, βρήκαν μεγάλη εφαρμογή στην επισκευή κι ενίσχυση των κατασκευών, όπως στην όπλιση και προένταση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, τη σεισμική ενίσχυση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα αλλά και από άοπλη τοιχοποιία, την ενίσχυση κτιριακών κατασκευών και γεφυρών. Εφαρμόζονται σε δοκούς και σε πλάκες για να αυξήσουν την καμπτική τους ικανότητα και τη διατμητική τους αντοχή και σε υποστυλώματα για να αυξήσουν την ικανότητα μεταφοράς φορτίων και την ολκιμότητά τους για περιπτώσεις σεισμού. (Τριανταφύλλου, 2011).

## 1.7 Τρόποι Αστοχίας

Μια ενισχυμένη ή επισκευασμένη δοκός μπορεί να αστοχήσει με διάφορους μηχανισμούς: i) αν το ποσοστό του υπάρχοντος οπλισμού είναι σχετικά μικρό, η αστοχία θα οφείλεται σε θραύση του ινοπλισμένου πολυμερούς, αφού έχει προηγηθεί διαρροή στο χάλυβα

(ii) αν το ποσοστό του υπάρχοντος οπλισμού είναι σχετικά υψηλό, η αστοχία θα οφείλεται σε θραύση του σκυροδέματος ενώ ο χάλυβας μπορεί να έχει διαρρεύσει ή όχι, ανάλογα με το ποσοστό του

(iii) η διαστασιολόγηση των εξωτερικών οπλισμών πρέπει να γίνεται έτσι ώστε να ενεργοποιείται ο μηχανισμός της αστοχίας, σύμφωνα με τον οποίο αστοχεί πρώτα ο χάλυβας κι έπειτα θραύεται το σκυρόδεμα, χωρίς να αστοχεί το σύνθετο φύλλο.

Πρέπει, επίσης, να αναφερθούν οι αστοχίες της ενίσχυσης λόγω κακής συνάφειας σκυροδέματος-ΙΟΠ, στις οποίες διακρίνονται οι τρεις περιπτώσεις:

(α) διάδοση οριζόντιων ρωγμών στη διεπιφάνεια μεταξύ του σκυροδέματος και του ΙΟΠ,

(β) αποκόλληση του ΙΟΠ λόγω του κατακόρυφου και του οριζόντιου ανοίγματος ενδεχομένων λοξών ρωγμών

(γ) διατμητική αστοχία της στρώσης του σκυροδέματος μεταξύ του οπλισμού ενίσχυσης και του υπάρχοντος διαμήκους οπλισμού, στην περιοχή αγκύρωσης του σύνθετου υλικού (Τριανταφύλλου, 2011).

Η ενισχυμένη δοκός πρέπει να συμπεριφέρεται διαρκώς σαν σύνθετο υλικό μέχρι την αστοχία του. Αυτή η συμπεριφορά εξαρτάται αρχικά από την ικανότητα και δραστηριότητα της κόλλας να μεταφέρει τάσεις και αυτό με τη σειρά του εξαρτάται από τη σύνδεση μεταξύ κόλλας-σκυροδέματος και κόλλας-ελάσματος και στις διατμητικές τάσεις της διεπιφάνειας, καθώς επίσης στη δυσκαμψία και τη ρευστότητα της κόλλας. Αδυναμίες και ανεπάρκειες σε κάποια από τα χαρακτηριστικά αυτών των ιδιοτήτων μπορεί να θεωρηθεί επιζήμιο στη συμπεριφορά του σύνθετου υλικού (Swamy and Mukhopadhyaya, 1995).



## 2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

Η απαίτηση αύξησης της αντοχής δοκών οπλισμένου σκυροδέματος σε τέμνουσα μπορεί να παρουσιαστεί στις εξής περιπτώσεις:

- i. Αύξηση των φορτίων ή αλλαγή χρήσης χώρου
- ii. Ανάγκη προσαρμογής παλαιών κατασκευών σε νέους κανονισμούς
- iii. Γήρανση των δομικών υλικών, διάβρωση του οπλισμού ή κατασκευαστικών ελαττωμάτων
- iv. Ανάγκη αποκατάστασης μετά από σεισμό

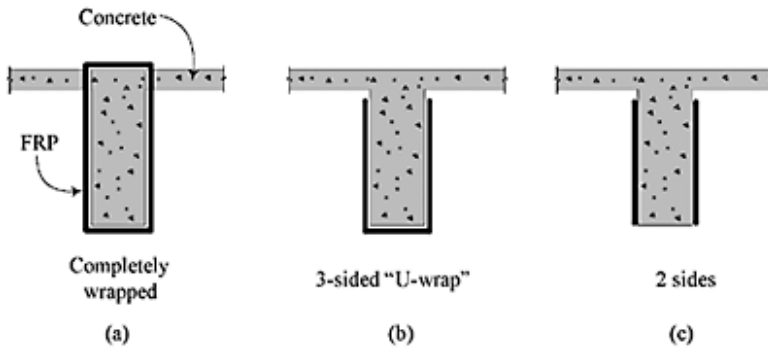
Η ενίσχυση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος σε διάτμηση με σύνθετα υλικά επιτυγχάνεται μέσω της επικόλλησης υφασμάτων ή, σπανιότερα, ελασμάτων, στις εξωτερικές επιφάνειες με τις ίνες κατά το δυνατόν παράλληλες στις τροχιές των κυρίων τάσεων, δηλαδή περίπου κάθετα σε πιθανές ρωγμές. Τούτο βέβαια δεν είναι γενικά εφικτό, γι' αυτό, όπως και στην περίπτωση της χρήσης συνδετήρων για την ανάληψη τέμνουσας, οι ίνες εφαρμόζονται στις πιο πολλές περιπτώσεις με διεύθυνση κάθετη στον άξονα των δομικών μελών (Τριανταφύλλου, 2011).

Μέσω της επικόλλησης των ΙΟΠ σε διεύθυνση κάθετη προς αυτήν των δοκών επιτυγχάνεται:

- i. Αύξηση της διατμητικής αντοχής
- ii. Μείωση της πιθανότητας ψαθυρής αστοχίας
- iii. Βελτίωση της συμπεριφοράς των δοκών σε ανακυκλιζόμενες φορτίσεις (σεισμούς) και αύξηση της πλαστιμότητας.

Η ενίσχυση μπορεί να επιτευχθεί με τη μορφή:

- i. Συνεχών μανδύων ή λωρίδων ανά διαστήματα.
- ii. Κλειστών μανδύων (περιβάλλουν εντελώς τη δοκό) ή μανδύων ανοιχτού τύπου (λωρίδες με αγκύρωση στα άκρα τους, κατά προτίμηση στη θλιβόμενη ζώνη της δοκού).



**Εικόνα 2.1** Περιπτώσεις εξωτερικών επικολλούμενων ΙΟΠ (Τριανταφύλλου, 2003)

## 2.1 Ενίσχυση με προσθήκη ινοπλισμένων πολυμερών

Με την πάροδο του χρόνου, καθώς και τη ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας, έχει ανακαλυφθεί και χρησιμοποιείται ένας νέος τρόπος ενίσχυσης δοκών, ο οποίος βασίζεται στη χρήση υλικών νέας γενιάς όπως έχει ήδη αναφερθεί, των ινοπλισμένων πολυμερών (FRP). Αυτά αποτελούνται από το συνδυασμό ιών σε μήτρα ρητίνης. Πολλά είναι τα υλικά αυτά, καθώς ανακαλύπτονται συνεχώς νέα που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, μετά από πειράματα φυσικά. Μερικά από αυτά, τα οποία και χρησιμοποιούνται στην εν λόγω εργασία είναι ο άνθρακας, το γυαλί, το ατσάλι, το πολυπαραφαινυλενο και ο βασάλτης.

Τα σύνθετα υλικά προκύπτουν από το συνδυασμό συνεχών ιών, μιας διεύθυνσης και πολυμερικής μήτρας. Η μήτρα αποτελεί τη συγκολλητή ύλη στα σύνθετα υλικά μεταξύ των ιών. Συνήθως είναι ένα πολυμερές, το οποίο συνδέει τις ίνες μεταξύ τους, τις προστατεύει, εξασφαλίζει την μεταφορά δυνάμεων σε αυτές, αλλά καθορίζει και αρκετές μηχανικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών, όπως είναι η αντοχή κάθετα στην διεύθυνση των ιών, η διατμητική και η θλιπτική αντοχή. Οι ρητίνες χρησιμοποιούνται συνήθως ως μήτρες για την παραγωγή των σύνθετων υλικών. Προκειμένου να αναπτυχθεί ισχυρή μηχανική και χημική σύνδεση μεταξύ ιών και ρητίνης, είναι απαραίτητη η ύπαρξη συνάφειας μεταξύ τους. Επιπλέον πρέπει να υπάρχει χημική συμβατότητα έτσι ώστε να μην συμβούν ανεπιθύμητες αντιδράσεις κατά την σύνδεσή τους.

Οι ρητίνες από την φύση τους είναι ασθενέστερες από τις ίνες στις οποίες εμποτίζονται. Είναι περισσότερο ευαθείς στη θερμότητα και στην πυρκαγιά, εμφανίζουν μεγαλύτερη ευαισθησία στους χημικούς διαλύτες, στα οξέα, τις βάσεις και το νερό σε σχέση με τις ίνες και παρουσιάζουν σημαντικές ερπυστικές παραμορφώσεις σε σχέση με τα παραδοσιακά δομικά

υλικά. Παρ' όλα αυτά, τα ΙΟΠ δεν θα μπορούσαν να υπάρξουν χωρίς τις ρητίνες, καθώς αυτές είναι που μεταφέρουν τα φορτία και κατανέμουν τις τάσεις στις ίνες της κάθε στρώσης του πολυμερούς κάνοντας το να συμπεριφέρεται σαν ομογενές υλικό.

Οι ρητίνες που χρησιμοποιούνται κυρίως για την δημιουργία των ΙΟΠ είναι οι εποξικές και σπανιότερα χρησιμοποιείται πολυεστέρας. Οι εποξικές ρητίνες θεωρούνται γενικά οι καλύτερες μήτρες σε ινοπλισμένα πολυμερή λόγω της μεγάλης αντοχής, συγκολλητικής ικανότητας, ανθεκτικότητας σε κόπωση και διάβρωση, καθώς και χαμηλής συστολής ξήρανσης. Στην περίπτωση ελασμάτων σύνθετων υλικών οι ίνες καταλαμβάνουν περίπου το 50-70% του συνολικού όγκου του υλικού, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για μανδύες που κατασκευάζονται με επί τόπου εφαρμογή της ρητίνης είναι 20-35%.

Τέλος, η κόλλα (κατά κανόνα εποξική ρητίνη δύο συστατικών), εφαρμόζεται μεταξύ του σκυροδέματος και του σύνθετου υλικού, εξασφαλίζοντας έτσι την συνεργασία τους και την μεταφορά τάσεων από το πρώτο στο δεύτερο. Η χρήση εποξικών ρητινών απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή στον χρόνο εφαρμογής και εργασιμότητας έτσι ώστε το υλικό να μην χάσει τις συγκολλητικές ιδιότητες, σκληρύνει και μειωθεί το μέτρο ελαστικότητας του.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των σύνθετων υλικών στον τομέα των επισκευών που χρήζουν ευρείας εφαρμογής είναι: η ανθεκτικότητα σε διάβρωση, το χαμηλό τους βάρος (περίπου 1/4 - 1/5 του χάλυβα), η εξαιρετικά υψηλή εφελκυστική αντοχή (πολλαπλάσια του κοινού χάλυβα), η διαθεσιμότητα των υλικών σε πολύ μεγάλα μήκη και η μεγάλη "ευκαμψία" τους οδηγούν σε μία εξαιρετικά ταχεία και εύκολη εφαρμογή ακόμα και σε δύσκολα προσβάσιμα τμήματα της κατασκευής. Ιδιαίτερα λοιπόν σημαντικό πλεονέκτημα των ΙΟΠ έναντι των παραπάνω τεχνικών ενίσχυσης είναι το γεγονός πως η αλλαγή των διαστάσεων του ενισχυμένου μέλους είναι ελάχιστη, με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται η δυσκαμψία του μέλους και κατεπέκταση η μάζα του κτιρίου. Από την άλλη, παρουσιάζουν τα παρακάτω σημαντικά **μειονεκτήματα**:

- Χαμηλή αντοχή ρητινών σε υψηλές θερμοκρασίες
- Ελλιπείς τεχνογνωσία (κάνει δυσκολότερη την εφαρμογή του)
- Ευαίσθητο υλικό στην πυρκαγιά
- Δύσκολη εφαρμογή σε υγρές επιφάνειες ή σε χαμηλές θερμοκρασίες
- Περιορισμός στην ικανότητα «αναπνοής» των δομικών μελών από ΙΟΠ
- Ασυμβατότητα με υλικά ιστορικών κατασκευών
- Δυσκολία διεξαγωγής μη καταστροφικής αποτίμησης βλαβών «πίσω» από τον μανδύα μετά από σεισμό
- Υψηλό κόστος ρητινών

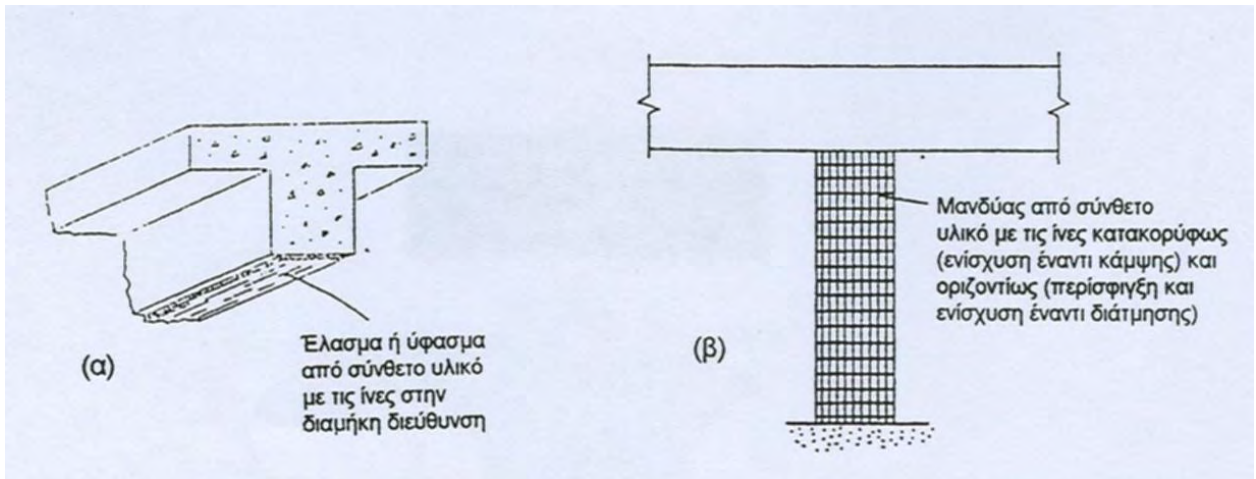
Τα συστήματα ενίσχυσης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος, σύμφωνα με τον Τριανταφύλλου είναι γενικά δύο τύπων: (α) "υγρής εφαρμογής" και (β) "προκατασκευασμένα" (η σκλήρυνση της μήτρας έχει προηγηθεί της εφαρμογής). Στα

συστήματα υγρής εφαρμογής, ανήκουν κυρίως φύλλα (sheets) ή υφάσματα (fabrics) αποτελούμενα από συνεχόμενες ίνες μίας ή περισσοτέρων διευθύνσεων σε ξηρή κατάσταση τα οποία εμποτίζονται με ρητίνη λίγο πριν την εφαρμογή τους. Στα προκατασκευασμένα υλικά ανήκουν ευθύγραμμα ελάσματα (strips), μανδύες (jackets), γωνιές (angles), κελύφη (shells), τα οποία επικολλούνται μέσω ρητίνης. Γενικά μπορεί να διατυπωθεί το συμπέρασμα ότι τα προκατασκευασμένα ελάσματα προτιμώνται έναντι των υφασμάτων ή των φύλλων όταν η εφαρμογή γίνεται σε επίπεδες επιφάνειες (π.χ. καμπτική ενίσχυση δοκών ή πλακών), ενώ σε άλλες περιπτώσεις (π.χ. μανδύες υποστυλωμάτων, διατμητική ενίσχυση δοκών) η εφαρμογή υφασμάτων μέσω της υγρής μεθόδου είναι προτιμητέα.

## 2.2 Ενίσχυση δοκών με προσθήκη μανδύων

Για την αύξηση τόσο της καμπτικής όσο και της διατμητικής αντοχής των δοκών, πιο συνιθισμένη μέθοδος ενίσχυσης αποτελεί η τεχνική κατασκευή μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος. Στην εν λόγω μέθοδο, τοποθετείται νέο σκυρόδεμα, νέος οπλισμός και συνδετήρες στο αρχικό στοιχείο με την εξής σειρά. Τοποθετούμε διαμήκεις οπλισμούς στην εφελκόμενη παρειά, νέους συνδετήρες γύρω απ'το στοιχείο κι έπειτα σκυροδετούμε το μανδύα. Ο μανδύας αυτός αποτελείται συνήθως από εκτοξευμένο σκυρόδεμα (για μεγαλύτερη ευκολία στην κατασκευή) αλλά και το έγχυτο σκυρόδεμα είναι επίσης σύνηθες.

Εφόσον, για τη δημιουργία κλειστού μανδύα, δε μπορεί να γίνει θραύση της πλάκας στη θλιβόμενη παρειά της δοκού, επιλέγεται η τοποθέτηση ανοιχτού μανδύα, μια όχι και τόσο αποτελεσματική λύση. Στην περίπτωση του ανοιχτού μανδύα αναγκαία είναι η χρήση εκτοξευμένου σκυροδέματος ενώ μεγάλη σημασία πρέπει να δοθεί στην επαρκή αγκύρωση των συνδετήρων. Επιτυγχάνεται μεγαλύτερη αύξηση της δυσκαμψίας του στοιχείου κι έτσι απαιτούνται επιπλέον αναλύσεις του φορέα για τον έλεγχο επάρκειας (η αλλαγή της δυσκαμψίας έστω και ενός στοιχείου, προκαλεί την αλλαγή των εντατικών μεγεθών όλης της κατασκευής). Παρά ταύτα, η διαστασιολόγησή του είναι μια εύκολη διαδικασία καθώς επιλέγονται διορθωτικοί συντελεστές τόσο για την διατμητική όσο και την καμπτική αντοχή.



**Εικόνα 2.2** α) Έλασμα ή ύφασμα από σύνθετο υλικό με τις ίνες στη διαμήκη διεύθυνση  
 β) Μανδύας από σύνθετο υλικό με τις ίνες κατακορύφως (ενίσχυση έναντι κάμψης και οριζοντίως (περίσφιγξη και ενίσχυση έναντι διάτμησης)  
 (Τριανταφύλλου, 2003)

### 2.3 Ενίσχυση δοκών με προσθήκη εξωτερικών χαλύβδινων ελασμάτων

Η εν λόγω τεχνική ενίσχυσης χρησιμοποιείται κυρίως γιατί η επικόλληση των λεπτών χαλύβδινων ελασμάτων στις παρειές της δοκού με χρήση ειδικής κόλλας είναι ευκολότερη διαδικασία από τη σύνδεση κοχλιών (καθώς είναι αναγκαία η διάνοιξη οπών και η κοχλίωση τους στο σκυρόδεμα). Ένα άλλο πλεονέκτημα της παραπάνω μεθόδου είναι η γρηγορότερη και οικονομικότερη τοποθέτησή τους.

Η αποδοτικότητα της ενίσχυσης της μεθόδου αυτής εξαρτάται πολύ απ' την ποιότητα εργασίας, ιδιαίτερα όταν τοποθετούμε την κόλλα. Χρειάζονται μια σειρά από γεγονότα όπως, η κατάλληλη προετοιμασία του σκυροδέματος, η προσεκτική επιλογή της κόλλας (έλεγχος μήπως είναι ελαττωματική κ.ά.) για να υπάρξει το επιθυμητό αποτέλεσμα που δεν είναι άλλο από μια σφιχτή σύνδεση του ελάσματος στη δοκό.

Όσον αφορά την κόλλα που χρησιμοποιούμε, αυτή τοποθετείται με τους εξής τρόπους :

A) ρητινένωση B) επάλειψη της κόλλας και στις δύο επιφάνειες που πρόκειται να συγκολληθούν. Το χαλυβδόφυλλο με τη δοκό πρέπει να συνδεθεί με ιδιαίτερα μεγάλη πίεση για να έχουμε αποτέλεσμα στην αντοχή της κόλλας.

Το πιο σημαντικό μειονέκτημα που παρατηρείται στη συγκεκριμένη μέθοδο είναι οι υψηλές συγκεντρωμένες τάσεις που αναπτύσσονται στην περιοχή αγκύρωσης των ελασμάτων. Οι τάσεις αυτές μπορεί να οδηγήσουν σε απόσχιση στη γειτονική περιοχή του σκυροδέματος. Γι' αυτό το κύριο πράγμα που πρέπει να εξασφαλίσουμε είναι το επαρκές μήκος αγκύρωσης του ελάσματος. Ακόμη ένα μειονέκτημα που εμφανίζεται στην περιοχή της διεπιφάνειας με το σκυρόδεμα είναι η διάβρωση του χάλυβα στην περιοχή αυτή. Η τοποθέτηση αντιδιαβρωτικής βαφής δεν επιλύει εντελώς το πρόβλημα αυτό καθώς υπάρχει πιθανότητα να αλληλεπιδράσει η βαφή αυτή με την εποξική κόλλα και να προκληθούν άλλα προβλήματα. Εάν η κατασκευή που ενισχύουμε με τα εν λόγω ελάσματα, αντιμετωπίζει πρόβλημα διάβρωσης, τότε η λύση αυτή δεν μπορεί να είναι παρά μια βραχυπρόθεσμη λύση. Τα μεταλλικά αυτά υλικά κάνουν εντονότερο το πρόβλημα καθώς βοηθούν στην ανάπτυξη γαλβανικής δράσης αλλά και αποκρύπτουν τα ίχνη διάβρωσης.

Κατασκευαστικά, τα υλικά αυτά έχουν πάχος ελασμάτων που κυμαίνεται είτε στο 2% του πλάτους του ελάσματος, είτε δεν πρέπει να ξεπερνά τα 4mm. Οπότε χρησιμοποιούμε ελάσματα με μικρό πάχος, μεγάλο μήκος και πλάτος όσο το ύψος της κρέμασης της δοκού. Η παραπάνω ενίσχυση καλείται δίπλευρη ενίσχυση ( Side-bonded ) και αξίζει να αναφέρουμε ότι ο ελληνικός κανονισμός επεμβάσεων (KAN.ΕΠΕ) δεν επιτρέπει την εφαρμογή ανοιχτών ενισχύσεων (δίπλευρη) παρά μόνο την μορφή τρίπλευρης ενίσχυσης συνεχούς U (U-jacket).

## 2.4 Ενίσχυση δοκών με προσθήκη εξωτερικών μεταλλικών στοιχείων

Μία άλλη μέθοδος για την αύξηση της διατμητικής αντοχής μίας δοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι η προσθήκη νέων χαλύβδινων συνδετήρων που περισφίγγουν εξωτερικά τη δοκό. Οι συνδετήρες μπορεί να είναι είτε κατακόρυφοι είτε υπό γωνία 45°. Δεν βρίσκονται σε επαφή με τις πλευρές του κορμού αλλά σε κάποια απόσταση η οποία δημιουργείται με την τοποθέτηση χαλύβδινων ελασμάτων στις δύο κάτω γωνιές του κορμού, στις οποίες γίνεται η συγκόλληση των μεταλλικών στοιχείων. Οι συνδετήρες μπορούν να μείνουν ακάλυπτοι αφού βαφτούν. Ακόμη μία τεχνική, είναι να τοποθετηθούν μεταλλικά ελάσματα στις παρειές της δοκού και να συνδεθούν με αυτή μέσω κοχλιών που διαπερνούν εγκάρσια το σώμα της δοκού σε δύο τουλάχιστον θέσεις.

Ανάλογα τις απαιτήσεις της μελέτης ενίσχυσης, ελάσματα για την αύξηση της διατμητικής αντοχής μπορούν να τοποθετηθούν σε διαφορετικές θέσεις κατά μήκος της δοκού. Οι δοκοί από σκυρόδεμα με ανεπαρκή διατμητική αντοχή ενδέχεται να παρουσιάζουν διαγώνιες ρωγμές που ξεκινούν από την εσωτερική παρειά των στηρίξεων με κατεύθυνση προς το μέσον της δοκού. Εάν οι ρωγμές είναι μεγάλου εύρους ( $> 0.5\text{mm}$ ), ο μηχανισμός αλληλοεμπλοκής αδρανών ενδέχεται να μην είναι σε θέση να αποτρέψει την σχετική ολίσθηση μεταξύ των διεπιφανειών των ρωγμών. Σε αυτή την περίπτωση σοβαρών διατμητικών βλαβών η προσθήκη είτε πλευρικών ελασμάτων, είτε εξωτερικών συνδετήρων, δεν επαρκεί για την επισκευή και ενίσχυση της δοκού, αλλά επιπλέον απαιτείται η σύσφιγξη των στοιχείων ενίσχυσης μέχρι αρνήσεως. Συνεπώς, ζεύγη κοχλιών τοποθετούνται σε κάθε πλευρά της ρηγματωμένης δοκού και εντείνονται αποτρέποντας τη διάρρηξη του σκυροδέματος κατά μήκος της ρωγμής. Η λειτουργία του μηχανισμού αλληλεμπλοκής αδρανών μπορεί να αποκατασταθεί σημαντικά με ρητινενέσεις μέσα στις ρωγμές. Πρόκειται λοιπόν για μία κλειστή ενίσχυση που είναι ιδιαίτερα αποδοτική και οικονομική. Παρόλα αυτά εμφανίζονται προβλήματα που αφορούν την ανθεκτικότητα της ενίσχυσης εξαιτίας της πιθανής διάβρωσης του χάλυβα. Μία εναλλακτική λύση για την αντιμετώπιση της πιθανής διάβρωσης θα ήταν η χρησιμοποίηση ανοξειδώτου χάλυβα γεγονός που αυξάνει το κόστος της τεχνικής. Τέλος, το γεγονός πως τα στοιχεία παραμένουν εκτεθειμένα, μειώνουν σημαντικά την αισθητική του χώρου, ενώ προκαλείται καταστροφή μέρους της επίστρωσης λόγω της κοχλίωσης στο πάνω μέρος της πλάκας.

### 3 ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

#### 3.1 Εισαγωγικά

Η μελέτη των ινοπλισμένων πολυμερών από επιστήμονες αποτελεί συχνό θέμα έρευνας, περισσότερο όμως στο πως ανταποκρίνονται σε καμπτική παρά σε διατμητική λειτουργία. Εξαιτίας αυτής της ‘έλλειψης’ αρκετών μοντέλων ανάλυσης σχεδιασμού για τη διατμητική ενίσχυση διερευνούμε αυτή την κατηγορία και επικεντρωνόμαστε σε αυτές τις μορφές μοντέλων που έχουν πρακτική εφαρμογή για τη μεταβίβαση των δυνάμεων που αναλαμβάνουν. Έχει αποδειχθεί ότι η διατμητική αντοχή δομικών στοιχείων από Ο/Σ μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση εξωτερικά επικολλημένων μανδύων ινοπλισμένου πολυμερούς, τόσο με χρήση ανθρακονημάτων όσο και με χρήση υαλονημάτων. Πρέπει να σημειωθεί ότι στα περισσότερα ερευνητικά προγράμματα έχουν χρησιμοποιηθεί ανθρακονήματα ενώ υπάρχει σημαντική έλλειψη πειραματικών δεδομένων σχετικά με χρήση άλλων τύπων ινών (Μάνος, 2011).

Το πρόβλημα της διάτμησης περιπλέκεται καθώς το επηρεάζουν κάποιοι παράγοντες όπως η συνάφεια του μηχανισμού επικόλλησης, οι τύποι των ρητινών και των ινών, η διάταξη της ενίσχυσης, η ύπαρξη αγκύρωσης και η ψαθυρή αστοχία των ινών. Εκτενέστερες έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί για ενίσχυση ορθογωνικών δοκών παρά για ενίσχυση πλακοδοκών παρόλο που οι δεύτερες όταν υποβληθούν σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση αποτελούν μια πιο ρεαλιστική αντιμετώπιση του θέματος.

Η διαδικασία ανάλυσης και διαστασιολόγησης δομικών στοιχείων ενισχυμένων με επικολλητά φύλλα από ινοπλισμένα πολυμερή βασίζεται στις αρχές για τη μελέτη στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα λαμβάνοντας υπόψη τα δύο βασικά σημεία (Τριανταφύλλου, 2003 και fib, 2001):

(α) Στην κατάσταση οριακής φέρουσας ικανότητας ο οπλισμός ενίσχυσης σύνθετων υλικών δε διαρρέει όπως ο χάλυβας, αλλά παραμορφώνεται ελαστικά. Η παραμόρφωση αυτή εξαρτάται βασικά από την ικανότητα του σκυροδέματος (δηλαδή του υποστρώματος) να μεταφέρει μέσω διάτμησης τις εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στα σύνθετα υλικά και είναι, κατά κανόνα, μικρότερη από τη μέγιστη εφελκυστική παραμόρφωση θραύσης των σύνθετων υλικών.

(β) Ο δεσμός των σύνθετων υλικών – σκυροδέματος μπορεί να αστοχήσει πρόωρα, δηλαδή πριν εξαντληθεί η καμπτική αντοχή του ενισχυμένου στοιχείου.



Η ποσότητα του προστιθέμενου υλικού ενίσχυσεως συνιστάται να επιλέγεται έτσι ώστε στην οριακή κατάσταση αστοχίας, ο υφιστάμενος εφελκυσμένος οπλισμός να αναπτύσσει παραμόρφωση τουλάχιστον ίση με την παραμόρφωση διαρροής τους, χωρίς αστοχία της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος. Συνεπώς, αποφεύγεται η τοποθέτηση υπερβολικής ποσότητας υλικού ενίσχυσης, η οποία θα προκαλούσε πρόωρη ψαθυρή αστοχία της θλιβόμενης ζώνης (Δρίτσος, 2006).

Η ενίσχυση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος σε διάτμηση με σύνθετα υλικά πραγματοποιείται μέσω της επικόλλησης υφασμάτων ή ελασμάτων στις εξωτερικές επιφάνειες με τις ίνες των ινοπλισμένων πολυμερών να τοποθετούνται κάθετα στον άξονα του δομικού στοιχείου.

### **3.2 Διατμητικοί μέθοδοι ενίσχυσης δοκών με χρήση σύνθετων υλικών**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι πιο σημαντικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη διατμητική ενίσχυση των δοκών είναι οι εξής:

- a) Τρίπλευρη ενίσχυση με λωρίδες μορφής U, συγκεκριμένου πλάτους, τοποθετημένες ανά ίσες αποστάσεις. Οι λωρίδες αυτές σχηματίζονται συνήθως από υφάσματα ινών κομμένα στο κατάλληλο πλάτος.
- b) Τρίπλευρη ενίσχυση με μανδύα μορφής U, πάχους  $t_f$ , από υφάσματα ινών είτε άνθρακα, είτε γυαλιού, είτε αραμιδίου, εμποτισμένων με ρητίνη. Ο μανδύας εφαρμόζεται περιμετρικά της κρέμασης της δοκού, με τις ίνες της κύριας διεύθυνσης να σχηματίζουν γωνία 90 μοιρών ως προς τον άξονα της δοκού.
- c) Δίπλευρη ενίσχυση με μανδύα πάχους  $t_f$ , από υφάσματα ινών από άνθρακα, γυαλί ή αραμίδιο, εμποτισμένα με ρητίνη.
- d) Δίπλευρη ενίσχυση με λωρίδες, συγκεκριμένου πλάτους τοποθετημένες ανά ίσες αποστάσεις. Οι λωρίδες που εφαρμόζονται εκατέρωθεν του άξονα συμμετρίας της διατομής, σχηματίζονται συνήθως από υφάσματα ινών κομμένα στο κατάλληλο πλάτος, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση των τρίπλευρων λωρίδων.
- e) Κλειστός μανδύας (πλήρης περιτύλιξη) που περιβάλλει όλη τη διατομή της δοκού, είτε με τη μορφή υφασμάτων, είτε με τη μορφή λωρίδων όπως στις παραπάνω περιπτώσεις.

Παρόλο που οι κλειστοί μανδύες αποτελούν την καλύτερη λύση από άποψη μηχανικής συμπεριφοράς, δεν είναι εφικτό να επιτευχθεί η δημιουργία τους στις περισσότερες περιπτώσεις καθώς υπάρχουν πλάκες και άλλα στοιχεία στηριζόμενα στις πλάκες αυτές που δεν επιτρέπουν το τύλιγμα του υφάσματος γύρω από την άνω παρειά της δοκού.

Σε περίπτωση τώρα πλακοδοκού συνήθως τοποθετείται το FRP σε σχήμα U τόσο στις πλευρές όσο και στην κάτω παρειά του στοιχείου παρόλο που λόγω πρόωρων αποκολλήσεων δεν υπάρχει μεγάλη αποτελεσματικότητα.

Ο τρόπος που ακολουθείται στην κατασκευή των παραπάνω τρόπων ενίσχυσης είναι ο ακόλουθος :

Καθαρίζουμε καλά το υπόστρωμα από τυχόν απορρίμματα, λίπη, σοβάδες, χρώματα και στη συνέχεια το τρίβουμε με βούρτσα. Με τη χρήση ρητινενέσεων οποιεσδήποτε ρηγματώσεις επιδιορθώνονται. Αν χρειάζονται να γίνουν επιδιορθώσεις στην επιπεδότητα του υποστρώματος, αυτές πραγματοποιούνται με τη χρήση της εποξειδικής πάστας ή του ινοπλισμένου τσιμεντοκονιάματος. Έπειτα, η επιφάνεια επαλείφεται με την εποξειδική ρητίνη. Το ύφασμα των ανθρακονημάτων κόβεται στις απαιτούμενες διαστάσεις με ψαλίδι και τοποθετείται προσεκτικά, καλά τεντωμένο στη νωπή επίστρωση. Ακολουθώς το πατάμε με πλαστικό ρολό για καλύτερη επαφή με το υπόστρωμα, πλήρη εμποτισμό του και απομάκρυνση φυσαλίδων. Εάν κάποια σημεία του υφάσματος παραμένουν στεγνά, τα σημεία αυτά επαλείφονται με εποξειδική ρητίνη. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται όσες φορές προβλέπει η μελέτη. Εάν χρειαστεί πάνω από μια φορά, πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας να μην έχει στεγνώσει πλήρως η προηγούμενη επίστρωση, καθώς σε αυτή την περίπτωση χρειάζεται καλό τρίψιμο πριν τη νέα εφαρμογή. Η τελευταία στρώση επαλείφεται επίσης με εποξειδική ρητίνη και στη νωπή ακόμα τελική επάλειψη γίνεται επίταση χαλαζιακής άμμου προκειμένου να ακολουθήσει αργότερα προστατευτική τσιμεντοειδής επικάλυψη.

Σε κάθε περίπτωση, η βέλτιστη δυνατή συγκόλληση του μανδύα (άριστη προετοιμασία υποστρώματος), καθώς και η επαρκής αγκύρωση (στα άκρα του) είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της ενίσχυσης.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται κατά την κοπή του υφάσματος ώστε να μη δημιουργηθούν διπλώσεις και τσακίσεις στο ύφασμα, ενώ η επιφάνεια του υφάσματος πρέπει να είναι καθαρή κατά την τοποθέτησή του. Ο χρόνος κατεργασίας των εποξειδικών συστημάτων μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Η θερμοκρασία της επιφάνειας του σκυροδέματος κατά την ενίσχυση με σύνθετα υλικά δεν πρέπει να είναι μικρότερη των +5°C. Για λόγους "αναπνοής" των δομικών στοιχείων (ώστε να διευκολύνεται η έξοδος τυχόν εγκλωβισμένης υγρασίας) καλό είναι να διακόπτεται η κατά μήκος του στοιχείου συνέχεια του μανδύα περίπου κάθε 600 mm. Επειδή κατά την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών στην κατασκευή (π.χ. περιπτώσεις πυρκαγιάς), μειώνεται σημαντικά η αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης, είναι πάντα απαραίτητη η εξωτερική προστασία του μανδύα σύνθετων υλικών (ειδικά επιχρίσματα, γυψοσανίδες κλπ.). Η προστασία είναι

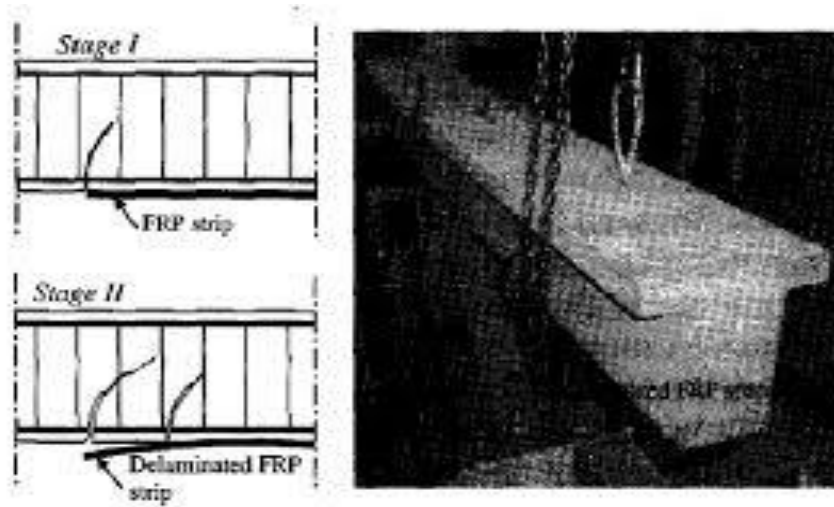
απαραίτητη και σε περιπτώσεις έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία. Κατά την εφαρμογή είναι απαραίτητη η χρήση προστατευτικού εξοπλισμού (γάντια, γυαλιά κλπ.) (13ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών, 2007).

### 3.3 Μορφές αστοχίας σύνθετων υλικών

Μεγάλη σημασία στις κατασκευές σκυροδέματος που έχουν ενισχυθεί με FRP είναι η μεταφορά των τάσεων από το σκυρόδεμα στο FRP καθώς προκαλούνται τόσο ψαθυρές όσο και πρώιμες αστοχίες, οι οποίες δεν είναι επιθυμητές. Οι αστοχίες αυτές κατηγοριοποιούνται ως εξής:

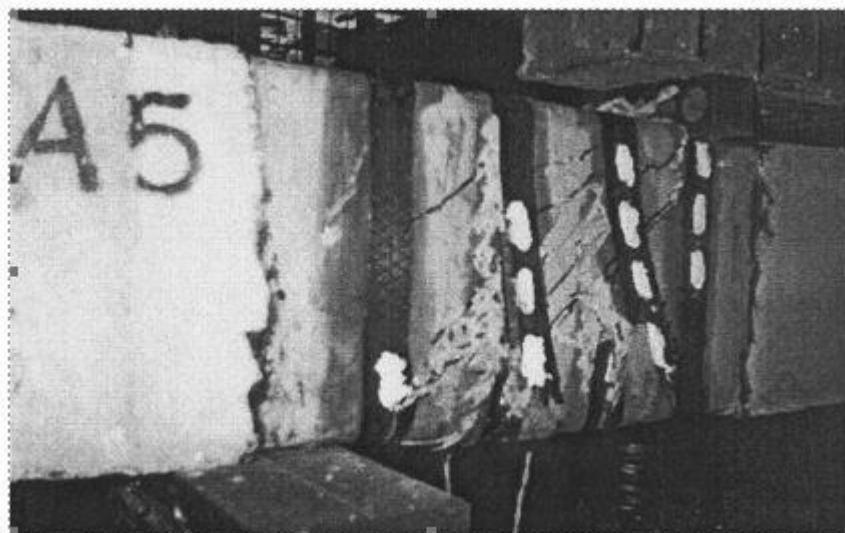
- Αποκόλληση των σύνθετων υλικών (delamination): Αυτή η μορφή αστοχίας αφορά την πρόωρη αποκόλληση του υλικού ενίσχυσης λόγω ανεπάρκειας της σύνδεσης κατά μήκος του στοιχείου ή της αγκύρωσης των άκρων του. Η πιθανότητα αστοχίας με αυτή τη μορφή είναι αρκετά μεγάλη σε μανδύες ανοικτού τύπου (τρίπλευροι U ή δίπλευροι). Η αποκόλληση οφείλεται στην ανάπτυξη σημαντικών διατμητικών τάσεων στη διεπιφάνεια υποστρώματος – ινοπλισμένου πολυμερούς και είναι αποτέλεσμα της μικρής διατμητικής αντοχής της διεπιφάνειας. Οι τάσεις αυτές δεν μπορούν να μεταβιβαστούν από το ένα υλικό στο άλλο με αποτέλεσμα την αστοχία του δομικού στοιχείου. Η αστοχία αυτή είναι ψαθυρής μορφής. Η μέγιστη δύναμη που μπορεί να αναπτύξει το σύνθετο υλικό εξαρτάται από το μήκος αγκύρωσης και τη μέση διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας. Η διεπιφάνεια μπορεί να είναι μεταξύ δύο στρώσεων σύνθετου υλικού ή μεταξύ του σύνθετου υλικού και της επιφάνειας του δομικού στοιχείου. Στην πρώτη περίπτωση, η αντοχή της διεπιφάνειας εξαρτάται από τη διατμητική αντοχή της ρητίνης, ενώ στη δεύτερη περίπτωση, το μέγεθος της δύναμης που μπορεί να μεταβιβασθεί ανά μονάδα διεπιφάνειας εξαρτάται από τη διατμητική αντοχή της στρώσης του σύνθετου υλικού με το δομικό στοιχείο.

Η δύναμη αποκόλλησης του υλικού ενίσχυσης από το υπόστρωμα, εξαρτάται από τη μέγιστη διατμητική αντοχή της σύνδεσης (τβαποκ) στη διεπιφάνεια των δύο στοιχείων, καθώς και από το εμβαδόν της επιφάνειας επικόλλησης (αγκύρωσης) που εξασφαλίζει τη μεταφορά των δυνάμεων.



**Εικόνα 3.1** Αποκόλληση σύνθετων υλικών (delamination) (Cao et al., 2005)

- Θραύση των σύνθετων υλικών (fracture): Η συγκεκριμένη μορφή αστοχίας αφορά την περίπτωση που θα αστοχήσει το ίδιο το υλικό ενίσχυσης. Η πιθανότητα αστοχίας του σύνθετου υλικού με αυτή τη μορφή είναι αρκετά μεγάλη σε μανδύες κλειστού τύπου (πλήρης περιτύλιξη). Το ΙΟΠ κόβεται στη μέγιστη παραμόρφωση, ακολουθώντας τη διαρροή του χάλυβα ενίσχυσης.



**Εικόνα 3.2** Θραύση σύνθετων υλικών (fracture) (Cao et al., 2005)

## 4 ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

### 4.1 Εισαγωγικά

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα μοντέλα της διεθνούς βιβλιογραφίας που ασχολούνται με την πρόβλεψη της συμβολής των σύνθετων υλικών στη διατμητική αντοχή του ενισχυμένου δομικού στοιχείου και χρησιμοποιήθηκαν στην εν λόγω εργασία.

Το ενδιαφέρον εστιάζεται στον τρόπο με τον οποίο, δημοσιευμένα άρθρα αντιμετωπίζουν το θέμα της συμβολής των εξωτερικά επικολλούμενων ινοπλισμένων πολυμερών (externally bonded FRP) στη διατμητική αντοχή δοκών και στην παρουσίαση προσομοιωμάτων.

Έπειτα παρατίθενται οι σημαντικότεροι ισχύοντες κανονισμοί σχεδιασμού (ελληνικός, αμερικάνικος, τμήμα του Ευρωκώδικα) για την πρόβλεψη της συνεισφοράς των εξωτερικά επικολλούμενων ινοπλισμένων πολυμερών στη διατμητική αντοχή δοκών οπλισμένου σκυροδέματος.

### 4.2 Khalifa et al. (1998)

Οι Khalifa et al., (1998) πρότειναν εξισώσεις υπολογισμού της συμβολής των εξωτερικά επικολλούμενων σύνθετων υλικών στη συνολική διατμητική αντοχή ενός στοιχείου, διακρίνοντας τους δύο μηχανισμούς αστοχίας. Ο πρώτος μηχανισμός εξαρτιόταν από την αστοχία λόγω θραύσης των ινών του σύνθετου υλικού ενώ ο δεύτερος από την αστοχία λόγω αποκόλλησής του από την επιφάνεια του σκυροδέματος. Συγκεκριμένα, βασίστηκαν στο προσομοίωμα του Triantafillou, 1998, τροποποιώντας ελαφρώς τις εξισώσεις από τις οποίες προκύπτουν οι τιμές της ενεργού παραμόρφωσης. Έτσι έφτασαν σε μία σχέση που δίνει τη  $V_f$  στην περίπτωση που η αστοχία προκύπτει λόγω θραύσης των ινών του σύνθετου υλικού. Για την περίπτωση αστοχίας λόγω αποκόλλησης, βασίστηκαν στο προσομοίωμα των Maeda et al.,(1997) σύμφωνα με το οποίο υπολογίζεται το ενεργό μήκος αγκύρωσης του σύνθετου υλικού. Σύμφωνα με την πρόταση των Khalifa et al.,(1998) για το σχεδιασμό της ενίσχυσης ενός στοιχείου, υπολογίζονται και οι δύο τιμές  $V_f$  και λαμβάνεται η μικρότερη.

Στην περίπτωση θραύσης των ινών προτάθηκε ο εξής τύπος του Triantafillou:

$$V_f = \rho_f E_f \varepsilon_{fe} b_w 0,9d (1 + \cot \beta) \sin \beta \quad [kN] \quad (4.1)$$

Όπου:

$\beta$  : η γωνία που σχηματίζει η κύρια διεύθυνση των ινών του σύνθετου υλικού με τον οριζόντιο άξονα του στοιχείου

$E_f$  : το μέτρο ελαστικότητας του σύνθετου υλικού [GPa]

$b_w$  : το πλάτος του κορμού της διατομής [mm]

$d$  : το ενεργό ύψος της διατομής, μετρούμενο από τη θλιβόμενη ζώνη ως το κέντρο του διαμήκους εφελκόμενου σπλισμού [mm]

$\rho_f$  : το ποσοστό του εξωτερικά επικολλούμενου σύνθετου υλικού, το οποίο εκφράζεται ως:

$$\rho_f = \frac{2t_f w_f}{b_w s_f}$$

$t_f$  : το πάχος του σύνθετου υλικού [mm]

$w_f$  : το πλάτος του σύνθετου υλικού, μετρούμενο κάθετα στην κύρια διεύθυνση των ινών [mm]

$s_f$  : η απόσταση των λωρίδων από σύνθετο υλικό, μετρούμενη από κέντρο σε κέντρο και διεύθυνση παράλληλη στον οριζόντιο άξονα του μέλους [mm]

Σε περίπτωση συνεχούς υφάσματος να λαμβάνεται:  $w_f = s_f$

$\varepsilon_{f0}$ : η ενεργός παραμόρφωση του σύνθετου υλικού

Αλλιώς, η σχέση 4.1 μπορεί να εκφραστεί ως:

$$V_f = \frac{A_f f_{fe} (\sin \beta + \cos \beta) d_f}{s_f} \quad [N] \quad (4.2)$$

Όπου  $d_f$ : το ενεργό ύψος του σύνθετου υλικού, μετρούμενο ως το κέντρο του διαμήκους εφελκόμενου σπλισμού [mm], λαμβάνεται ίσο με  $d_f = 0.9d$ .

$A_f$  : η επιφάνεια του εξωτερικά επικολλούμενου σύνθετου υλικού [mm<sup>2</sup>], ίση με  $2t_f w_f$  για λωρίδες και  $2t_f$  για συνεχή υφάσματα

$f_{f0}$  : η ενεργός τάση στο σύνθετο υλικό [MPa ή N/mm<sup>2</sup>], η οποία ισούται με:

$$f_{fe} = Rf_{fu} \left[ \text{MPa ή } N / \text{mm}^2 \right] \quad (4.3)$$

$f_{fu}$  : η εφελκυστική αντοχή του σύνθετου υλικού [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]

Η ενεργός παραμόρφωση,  $\varepsilon_{fe}$ , δίνεται από περιορισμό της οριακής παραμόρφωσης αστοχίας του υλικού:

$$\varepsilon_{fe} = R\varepsilon_{fu} \quad (4.4)$$

όπου R είναι ένας μειωτικός συντελεστής που δίνεται από ένα δευτέρου βαθμού πολυώνυμο, ο οποίος προέκυψε από προσαρμογή καμπύλης σε πειραματικά αποτελέσματα σύμφωνα με τη λογική του Triantafyllou, 1998 (δηλαδή αναλογία μεταξύ της  $\varepsilon_{fe}$  και του γινομένου  $\rho_f E_f$ ), και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$R = 0,5622(\rho_f E_f)^2 - 1,2188(\rho_f E_f) + 0,778 \leq 0,50 \quad (4.5)$$

Ο περιορισμός του R κάτω του 0,50, γίνεται για να ληφθεί υπόψη το εύρος της διατμητικής ρηγμάτωσης, το οποίο σε περίπτωση που ξεπερνάει κάποιο βαθμό έχει ως συνέπεια τη μείωση της συμβολής του σκυροδέματος στην ανάληψη διατμητικών δυνάμεων μέσω του μηχανισμού της αλληλεμπλοκής των αδρανών.

Σχετικά με τον σχεδιασμό ο οποίος βασίζεται στο μηχανισμό αποκόλλησης του σύνθετου υλικού από το υπόστρωμα του σκυροδέματος, οι Khalifa et al., 1998, υιοθετώντας το προσομοίωμα των Maeda et al., 1997, το οποίο βασιζόταν σε πειραματικά αποτελέσματα δοκιμών συνάφειας μεταξύ Ινοπλισμένων Πολυμερών Άνθρακα – CFRP μέσω δοκιμών μονοαξονικού εφελκυσμού, κατέληξαν στην παρακάτω σχέση μέσω της οποίας υπολογίζεται η συμβολή των συνθέτων υλικών στη ανάληψη τέμνουσας δύναμης:

$$V_f = \frac{2L_e w_f \tau_{bu} w_{fe}}{s_f} \quad [N] \quad (4.6)$$

Όπου  $L_e$ : το ενεργό μήκος αγκύρωσης [mm], το οποίο υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$L_e = e^{6,314 - 0,58 \ln(t_f E_f)} \quad [mm] \quad (4.7)$$

$w_{fe}$ : το ενεργό πλάτος του σύνθετου υλικού [mm], το οποίο υπολογίζεται ως εξής:

- Για πλήρη περιτύλιξη (full-wrap):  $w_{fe} = d_f$
- Για τρίπλευρη ενίσχυση μορφής U:  $w_{fe} = d_f - L_e$
- Για δίπλευρη ενίσχυση (Side-Bonding):  $w_{fe} = d_f - 2L_e$

$\tau_{bu}$  : η μέση τάση που αντιστοιχεί σε αποκόλληση ίση με:

$$\tau_{bu} = k \left( \frac{f'_c}{42} \right)^{\frac{2}{3}} E_f t_f \quad (4.8)$$

$f'_c$  : η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]

$k$  : εμπειρική σταθερά ίση με  $110,2 \times 10^{-6} mm^{-1}$

Τελικά, οι Khalifa et al., 1998 πρότειναν συντελεστές ασφαλείας στις εξισώσεις της συνεισφοράς του σύνθετου υλικού στη διατμητική αντοχή. Στη σχέση (4.1), η οποία είναι διατυπωμένη στη μορφή του Ευρωκώδικα (Eurocode Format), προτάθηκε ο ίδιος συντελεστής  $\gamma_f$ , με το μοντέλο του Triantafillou, 1998:

$$V_f = \frac{1}{\gamma_f} \rho_f E_f \varepsilon_{fe} b_w 0,9d (1 + \cot \beta) \sin \beta \quad [kN] \quad (4.9)$$

Με το συντελεστή  $\gamma_f$  ίσο με 1,15, 1,20 και 1,25 για Ινοπλισμένα Πολυμερή Ινών Άνθρακα, Αραμιδίου και Γυαλιού αντίστοιχα.

Στις σχέσεις (4.2) και (4.6), οι οποίες είναι εκφρασμένες στη μορφή του κώδικα της ACI (American Concrete Institute), προτάθηκε ο μειωτικός συντελεστής ασφαλείας  $\phi = 0,7$ :

$$V_f = \phi \frac{A_f f_{fe} (\sin \beta + \cos \beta) d_f}{s_f} \quad [N] \quad (4.10)$$

$$V_f = \phi \frac{2L_e w_f \tau_{bu} w_{fe}}{s_f} \quad [N] \quad (4.11)$$



### 4.3 Triantafillou & Antonopoulos (2000)

Οι Triantafillou & Antonopoulos αντιλήφθηκαν την ανάγκη για διάκριση της τιμής της ενεργούς παραμόρφωσης, ανάλογα με το μηχανισμό αστοχίας (αποκόλληση ή θραύση ινών του σύνθετου υλικού). Επίσης, αναγνώρισαν ως ορθότερη προσέγγιση μέχρι εκείνη τη στιγμή την πρόταση των Khalifa, et al., 1998, με το μειονέκτημα όμως της χρήσης εξίσωσης για τον υπολογισμό της ενεργούς παραμόρφωσης στην περίπτωση που μηχανισμός αστοχίας ήταν η θραύση των ινών, η οποία είχε προέλθει από προσαρμογή καμπύλης σε πειραματικά αποτελέσματα που περιλάμβαναν δεδομένα τα οποία αντιστοιχούσαν και στους δύο μηχανισμούς αστοχίας. Στη συνέχεια, βασισμένοι σε στατιστική ανάλυση μιας βάσης 75 πειραμάτων, εισήγαγαν την παράμετρο της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος και προχώρησαν σε διακριτοποιημένες εκφράσεις της ενεργούς παραμόρφωσης,  $\varepsilon_{f,e}$ , ανάλογα με το μηχανισμό αστοχίας και τον τρόπο ενίσχυσης της δοκού, οι οποίες δίνονται παρακάτω:

- Για κλειστή ενίσχυση (fully-wrapped) με CFRP :

$$\varepsilon_{f,e} = 0,17 \left( \frac{f_c^{\frac{2}{3}}}{E_f \rho_f} \right)^{0,30} \varepsilon_{f,u} \quad (4.12)$$

- Για τρίπλευρη (U-shaped) ή δίπλευρη ενίσχυση (side bonded) με CFRP :

$$\varepsilon_{f,e} = \min \left[ 0,65 \left( \frac{f_c^{\frac{2}{3}}}{E_f \rho_f} \right)^{0,56} \times 10^{-3}, 0,17 \left( \frac{f_c^{\frac{2}{3}}}{E_f \rho_f} \right)^{0,30} \varepsilon_{f,u} \right] \quad (4.13)$$

- Για κλειστή ενίσχυση (fully wrapped) με AFRP (Αραμίδιο) :

$$\varepsilon_{f,e} = 0,048 \left( \frac{f_c^{\frac{2}{3}}}{E_f \rho_f} \right)^{0,47} \varepsilon_{f,u} \quad (4.14)$$

Όπου  $f_c$  : η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]

$E_f$  : το μέτρο ελαστικότητας του σύνθετου υλικού [GPa ή KN/mm<sup>2</sup>]

$\varepsilon_{f,u}$  : η οριακή παραμόρφωση του σύνθετου υλικού κατά την αστοχία

$\rho_f$  : το ποσοστό του εξωτερικά επικολλούμενου σύνθετου υλικού, το οποίο εκφράζεται ως:

$$\rho_f = \frac{2t_f b_f}{b_w s_f} \quad (4.15)$$

$t_f$  : το πάχος του σύνθετου υλικού [mm]

$b_f$  : το πλάτος του σύνθετου υλικού, μετρούμενο κάθετα στην κύρια διεύθυνση των ινών [mm]

$b_w$  : το πλάτος του κορμού της διατομής [mm]

$s_f$  : η απόσταση των λωρίδων από σύνθετο υλικό, μετρούμενη από κέντρο σε κέντρο και διεύθυνση παράλληλη στον οριζόντιο άξονα του μέλους [mm]

Οι παραπάνω εξισώσεις που προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι η ενεργός παραμόρφωση των εξωτερικά επικολλούμενων σύνθετων υλικών εξαρτάται από την ποιότητα του σκυροδέματος και την ακαμψία των ΙΟΠ ( $\rho_f E_f$ ). Οι ρόλοι που παίζουν εξαρτώνται από τον τύπο αστοχίας του δομικού στοιχείου. Για παράδειγμα, η αντοχή του σκυροδέματος παίζει πολύ σημαντικό ρόλο όταν το ΙΟΠ αποκολλάται από το σκυρόδεμα. Όταν όμως η διατμητική αστοχία συνοδεύεται ή ακολουθείται από τη θραύση των ΙΟΠ τότε η ποιότητα του σκυροδέματος δεν παίζει σημαντικό ρόλο αλλά αντιθέτως η ενεργή παραμόρφωση των ΙΟΠ εξαρτάται κυρίως από την ακαμψία τους.

Στη συνέχεια, εισάχθηκε η έννοια της χαρακτηριστικής ενεργούς παραμόρφωσης,  $\varepsilon_{fk,e}$  του σύνθετου υλικού, ως μείωση της ενεργούς παραμόρφωσης. Η μείωση του  $\varepsilon_{f,e}$  σε  $\varepsilon_{fk,e}$  βασίστηκε στη λογική του ότι η παραμόρφωση του ΙΟΠ πρέπει να περιορίζεται για να εξασφαλίζει ότι και άλλοι μηχανισμοί, όπως αυτός της αλληλεμπλοκής των αδρανών μπορούν να λάβουν μέρος.

$$\varepsilon_{fk,e} = \alpha \varepsilon_{f,e} \leq \varepsilon_{\max} \quad (4.16)$$

Όπου  $\alpha = 0.8$

Και  $\varepsilon_{\max} = 0,005$

ένα άνω όριο στην τιμή της ενεργούς παραμόρφωσης και εισάγεται για την θεώρηση της συμβολής του μηχανισμού αλληλεμπλοκής των αδρανών στην ανάληψη τέμνουσας (περίπου 0.004 όταν διαιρεθεί με τον συντελεστή ασφαλείας του υλικού).

Τελικά, η σχέση η οποία προτείνεται για το σχεδιασμό είναι η εξής:

$$V_{fd} = 0,9 \frac{\epsilon_{fk,e}}{\gamma_f} E_f \rho_f b_w d (1 + \cot \beta) \sin \beta \quad [kN] \quad (4.17)$$

Όπου  $d$  : το ενεργό ύψος της διατομής, μετρούμενο από τη θλιβόμενη ζώνη ως το κέντρο του διαμήκους εφελκυσμένου οπλισμού [mm]

$\beta$  : η γωνία που σχηματίζει η κύρια διεύθυνση των ινών του σύνθετου υλικού με τον οριζόντιο άξονα του στοιχείου

$\gamma_f$  : συντελεστής ασφαλείας υλικού, ο οποίος για την περίπτωση αστοχίας λόγω θραύσης των ινών λαμβάνεται ίσος με 1,20, 1,25 και 1,30 για CFRP, AFRP και GFRP αντίστοιχα, ενώ για την περίπτωση αστοχίας λόγω αποκόλλησης του σύνθετου υλικού, λαμβάνεται ίσος με 1,30 ανεξαρτήτως υλικού.

#### 4.4 Chen & Teng (2003)

Οι Chen & Teng, το 2003 δημοσίευσαν μία εκτενή έρευνα σχετικά με τη διατμητική αντοχή δοκών οπλισμένου σκυροδέματος, ενισχυμένων με σύνθετα υλικά Ινοπλισμένων Πολυμερών (FRP). Οι βασικές αρχές πάνω στις οποίες στηρίχτηκε το προσομοίωμα τους είναι οι εξής:

1. ο διαχωρισμός των δύο μορφών αστοχίας (θραύση ή αποκόλληση του σύνθετου υλικού)
2. η παραδοχή μη ομοιόμορφης κατανομής των τάσεων στο σύνθετο υλικό κατά μήκος της διατμητικής ρωγμής

Η γενική εξίσωση, με βάση την οποία υπολογίζεται η συμβολή των εξωτερικά επικολλημένων ινοπλισμένων πολυμερών (FRP) στη διατμητική αντοχή μιας δοκού και ισχύει και για τις δύο μορφές αστοχίας είναι η εξής:

$$V_{frp} = 2 f_{frp,e} t_{frp} w_{frp} \frac{h (\cot \vartheta + \cot \beta) \sin \beta}{s_{frp}} \quad [N] \quad (4.18)$$

Στην παραπάνω σχέση:

$w_{frp}$  : το πλάτος των λωρίδων κάθετα στη διεύθυνση των ινών [mm]

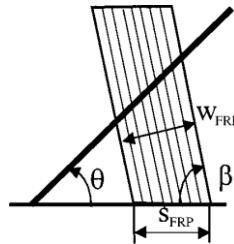
$s_{frp}$ : η απόσταση των λωρίδων μετρημένη από κέντρο σε κέντρο, παράλληλα στο διαμήκη άξονα του μέλους [mm]

Σε περίπτωση χρήσης συνεχούς υφάσματος, λαμβάνεται:

$$w_{frp} = s_{frp} \sin \beta \quad (4.19)$$

$\beta$ : η κύρια γωνία διεύθυνσης των ινών ως προς το διαμήκη άξονα του στοιχείου

Ισχύει ότι  $w_{frp} = s_{frp}$  μόνο στην περίπτωση κατά την οποία  $\beta = 90^\circ$ , όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:



**Σχήμα 4.1** Σχέση μεταξύ  $w_{frp}$  και  $s_{frp}$  για συνεχή φύλλα (Chen & Teng, 2003)

$\theta$ : η γωνία της διατμητικής ρωγμής ως προς το διαμήκη άξονα του στοιχείου

$t_{frp}$ : το πάχος του σύνθετου υλικού [mm]

$h_{frp,e}$ : το ενεργό ύψος του μανδύα [mm]

$f_{frp,e}$ : η ενεργός ή μέση τάση στο σύνθετο υλικό, το οποίο διαπερνά τη διατμητική ρωγμή [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]

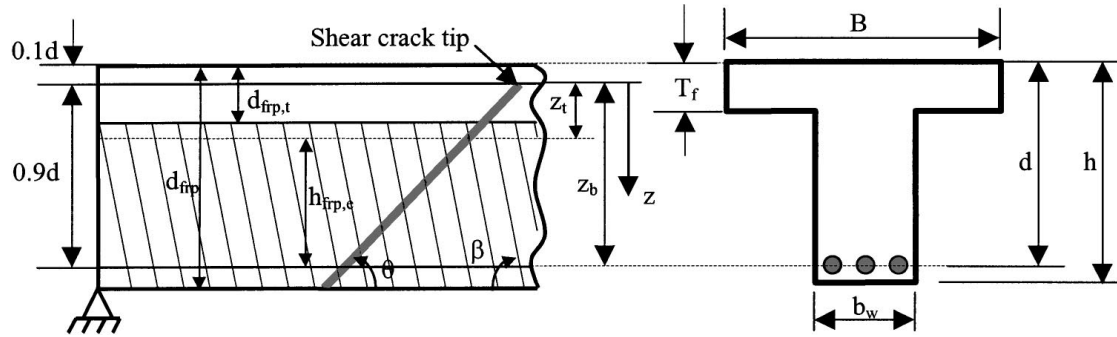
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται αναλυτικά τα δύο μοντέλα με βάση τον τρόπο αστοχίας (θραύση ή αποκόλληση του ΙΟΠ).

#### 4.4.1 Θραύση ΙΟΠ

Το παρόν μοντέλο που παρουσιάζεται έχει κυρίως εφαρμογή σε δοκούς και πλακοδοκούς με κύριες μορφές επικόλλησης, την πλήρη περιτύλιξη ( $w_{grp}$ ) και την περιτύλιξη τύπου U. Επίσης, το συγκεκριμένο προσομοίωμα μπορεί να εφαρμοστεί και σε δοκούς ή πλακοδοκούς με δίπλευρη ενίσχυση εάν η αποκόλληση του σύνθετου υλικού από την επιφάνεια του σκυροδέματος μπορεί να αποφευχθεί με τη χρήση κατάλληλης κι επαρκούς αγκύρωσης στα

ελεύθερα άκρα. Σημειώνεται, πως η αξιοπιστία του προσομοιώματος, ερευνήθηκε από τους Chen & Teng, (2003) μέσω σύγκρισης με πειραματικά αποτελέσματα από ήδη υπάρχουσα βάση δεδομένων και προέκυψε αρκούντως ικανοποιητική.

Ένα γενικό σχέδιο διατμητικής ενίσχυσης δοκού φαίνεται παρακάτω στην Σχήμα 4.2:



Σχήμα 1.2 Γεωμετρικά στοιχεία της ενίσχυσης (Chen & Teng, 2003)

Η ενεργός τάση στο σύνθετο υλικό, το οποίο διαπερνά τη διατμητική ρωγή στην οριακή κατάσταση αστοχίας προκύπτει με απομείωση της εφελκυστικής αντοχής του σύνθετου υλικού  $f_{frp}$ .

$$f_{frp,e} = D_{frp} f_{frp} \left[ MPa \text{ ή } N / mm^2 \right] \quad (4.20)$$

Όπου  $D_{frp}$ : μειωτικός συντελεστής που ονομάζεται συντελεστής κατανομής τάσεων ή παραμορφώσεων.

Η κατανομή των παραμορφώσεων στο σύνθετο υλικό, κατά μήκος της διατμητικής ρωγμής έχει την ακόλουθη παραβολική μορφή:

$$\bar{\varepsilon}_z = \begin{cases} \frac{1-C}{1-C} \bar{z}, & 0 \leq C < \frac{1}{2} \\ 4C\bar{z}(1-C\bar{z}), & \frac{1}{2} \leq C \leq 1 \end{cases} \quad (4.21)$$

Όπου  $\bar{z} = \frac{z}{z_b}$ , κανονικοποιημένη κατακόρυφη συντεταγμένη

$z_b = 0,9d$  [mm], συντεταγμένη του κάτω άκρου του σύνθετου υλικού μετρούμενη μέχρι το κέντρο του διαμήκη εφελκόμενου οπλισμού με σημείο αναφοράς την άνω άκρη της διατμητικής ρωγμής η οποία βρίσκεται σε απόσταση  $0,1d$  από την ακραία θλιβόμενη ίνα

$d$  : το ενεργό ύψος της διατομής από τη θλιβόμενη ζώνη μέχρι το κέντρο του διαμήκη εφελκόμενου οπλισμού [mm]

Το ενεργό ύψος του σύνθετου υλικού ισούται με:

$$h_{frp,e} = z_b - z_t \quad [mm] \quad (4.22)$$

Όπου  $z_t = (0,1d + d_{frp,t}) - 0,1d = d_{frp,t}$  [mm], συντεταγμένη του άνω άκρου του σύνθετου υλικού με σημείο αναφοράς την άνω άκρη της διατμητικής ρωγμής

$d_{frp,t}$  : η απόσταση από τη θλιβόμενη ζώνη του σκυροδέματος έως την πραγματική άνω άκρη του FRP [mm]

Το άθροισμα  $(0,1d + d_{frp,t})$  σημαίνει ότι το άνω άκρο του ενεργού FRP είναι κατά  $0,1d$  κάτω από το πραγματικό άνω άκρο του. Το δεύτερο  $0,1d$  προκύπτει από την έννοια της κατακόρυφης συντεταγμένης η οποία βρίσκεται σε απόσταση  $0,1d$  από τη θλιβόμενη ζώνη. Ο συντελεστής κατανομής των παραμορφώσεων προσδιορίζεται ως:

$$D_{frp} = \frac{\int_{z_t}^{z_b} \bar{\varepsilon}_z dz}{h_{frp,e} \bar{\varepsilon}_{z,max}} \quad (4.23)$$

Η παραπάνω εξίσωση αν συνδυαστεί με την (4.21) προκύπτει:

$$D_{frp} = \begin{cases} \frac{1+\zeta}{2(1-C)} - \frac{C}{3(1-C)}(1+\zeta+\zeta^2) & 0 \leq C \leq \frac{1}{2} \\ 2C(1+\zeta) - \frac{4}{3}C^2(1+\zeta+\zeta^2) & \frac{1}{2} < C \leq 1, \quad \zeta \leq \frac{1}{2C} \\ \frac{3(1+\zeta) - 2C(1+\zeta+\zeta^2)}{6\zeta(1-C\zeta)} & \frac{1}{2} < C \leq 1, \quad \zeta > \frac{1}{2C} \end{cases} \quad (4.24)$$

Όπου  $\zeta = \frac{z_t}{z_b}$ , ο λόγος του άνω άκρου προς το κάτω άκρο του ενεργού FRP  
Σύμφωνα με την εξίσωση 4.21, το σχήμα της κατανομής των παραμορφώσεων εξαρτάται από την τιμή της μεταβλητής C. Όταν C=1, η κατανομή είναι παραβολική με μέγιστη τιμή στο  $z = \frac{z_b}{2}$  ενώ όταν C=0, τότε η κατανομή των παραμορφώσεων γίνεται ευθύγραμμη. Θεωρώντας γραμμική κατανομή των παραμορφώσεων του σύνθετου υλικού κατά μήκος της διαμητικής ρωγμής (μηδενική παραμόρφωση στο άνω άκρο της ρωγμής και μέγιστη τιμή στο κάτω άκρο), ο συντελεστής κατανομής των παραμορφώσεων δίνεται από τον τύπο:

$$D_{frp} = \frac{1+\zeta}{2} \quad (4.25)$$

Όταν το σύνθετο υλικό καλύπτει το σύνολο του ύψους της διατομής του στοιχείου το ζ παίρνει την τιμή μηδέν και το  $D_{frp}$  αποκτά τη μικρότερη δυνατή τιμή του, ίση με 0,5.

Για το σχεδιασμό προτάθηκε η χρήση της τιμής  $\theta = 45^\circ$  ως γωνία της διαμητικής ρωγμής με το διαμήκη άξονα. Η συνεισφορά των σύνθετων υλικών μπορεί να υπολογιστεί από την εξής σχέση:

$$V_{frp} = 2 \frac{f_{frp,ed}}{\gamma_{frp}} t_{frp} w_{frp} \frac{h_{frp,e} (\sin \beta + \cos \beta)}{s_{frp}} \quad [N] \quad (4.26)$$

Όπου  $\gamma_{frp}$ : μερικός συντελεστής ασφαλείας, με προτεινόμενη τιμή 1,25

Η ενεργός τάση σχεδιασμού στο σύνθετο υλικό το οποίο διαπερνά τη διαμητική ρωγμή, η οποία λαμβάνοντας υπόψη τη μη ομοιόμορφη κατανομή τάσεων, ισούται με:

$$f_{frp,ed} = D_{frp} \sigma_{frp,max} \quad [MPa \text{ ή } N/mm^2] \quad (4.27)$$

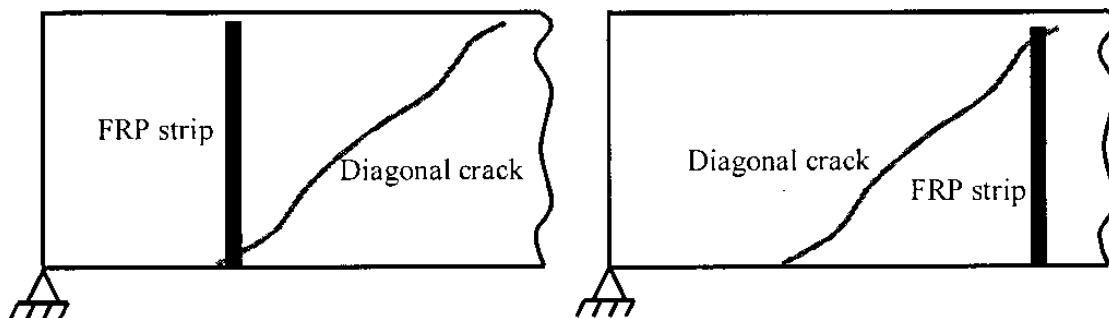
Όπου η μέγιστη τάση σχεδιασμού του FRP δίνεται από τον τύπο:

$$\sigma_{frp,max} = \begin{cases} 0,8f_{frp} & \alpha\nu \frac{f_{frp}}{E_{frp}} \leq \varepsilon_{max} \\ 0,8\varepsilon_{max}E_{frp} & \alpha\nu \frac{f_{frp}}{E_{frp}} > \varepsilon_{max} \end{cases} \quad [MPa \text{ ή } N/mm^2] \quad (4.28)$$

Ο συντελεστής 0,8 χρησιμοποιείται εδώ, έχοντας λάβει υπόψη παράγοντες που μειώνουν τη μέγιστη εφελκυστική αντοχή των ΙΟΠ. Ένας τέτοιος παράγοντας είναι το επιβλαβές φαινόμενο των γωνιών των δοκών στην εφελκυστική αντοχή των σύνθετων υλικών, εάν οι γωνίες δεν είναι επαρκώς καμπυλωμένες. Ελλείπει σημαντικής βιβλιογραφικής πηγής προτάθηκε από τους Chen & Teng η μέγιστη δυνατή τιμή χρησιμοποιούμενης παραμόρφωσης  $\varepsilon_{max} = 1,5\%$ . Ως  $E_{frp}$  λαμβάνεται το μέτρο ελαστικότητας του σύνθετου υλικού σε MPa ή N/mm<sup>2</sup>.

Επίσης, οι συγγραφείς πρότειναν ένα όριο στην απόσταση των εξωτερικά επικολλούμενων λωρίδων, ώστε το μοντέλο να δώσει σαφή και ακριβέστερα αποτελέσματα. Έτσι, ο αριθμός των λωρίδων που διαπερνά η διατμητική ρωγμή πρέπει να είναι επαρκής.

Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διατμητική αστοχία στην περίπτωση πλήρης περιτύλιξης, όπου η διατμητική ρωγμή είναι ευρύτερη στο κάτω άκρο, μια λωρίδα είναι περισσότερο αποτελεσματική εάν βρίσκεται στο κάτω άκρο της διατμητικής ρωγμής (Εικόνα 4.3), διότι η οριακή εφελκυστική αντοχή του σύνθετου υλικού μπορεί να πραγματοποιηθεί όταν η ρωγμή δεν έχει ανοίξει τόσο. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση περιτύλιξης τύπου U, γιατί το μήκος επικόλλησης στο κάτω άκρο είναι το μεγαλύτερο. Αντιθέτως, μια λωρίδα χάνει την αποτελεσματικότητά της όταν η διατμητική ρωγμή βρίσκεται κοντά στο άνω άκρο της. Αυτό συμβαίνει διότι η ταινία ΙΟΠ δεν μπορεί να παραμορφωθεί επαρκώς. Για να υπάρξει επαρκής παραμόρφωση, η διατμητική ρωγμή στο κάτω άκρο πρέπει να διευρυνθεί σημαντικά, γεγονός που οδηγεί στην απώλεια της διατμητικής αντοχής του σκυροδέματος που οφείλεται στην αλληλεμπλοκή των αδρανών (Σχήμα 4.3).





**Σχήμα 4.3** Επιρροή της τοποθέτησης της λωρίδας στην αποτελεσματικότητα του FRP (Chen & Teng, 2003).

Επιπρόσθετα, προτάθηκε ο εξής περιορισμός της απόστασης των λωρίδων ώστε να διαπερνούν τη διατμητική ρωγμή τουλάχιστον δυο λωρίδες:

$$s_{frp} \leq s_{frp,max} = \frac{h_{frp,e} (\sin \beta + \cos \beta)}{2} \quad [mm] \quad (4.29)$$

$$s_{frp} \leq \frac{h_{frp,e}}{2} \quad \text{αν} \quad \beta = 90^\circ \quad (4.30)$$

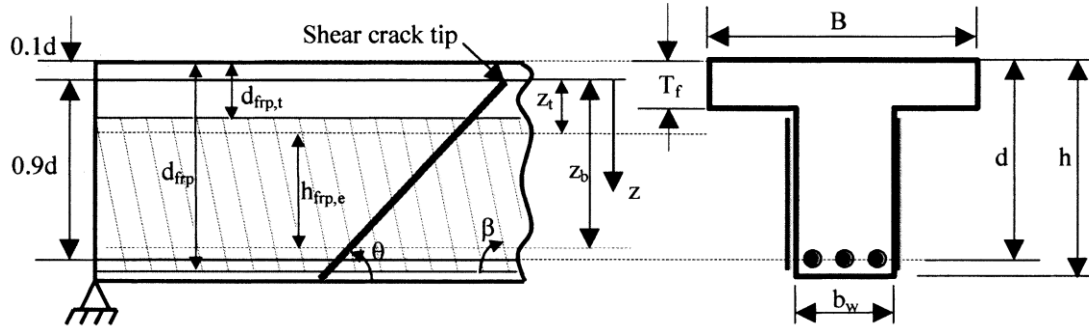
Αξίζει να σημειωθεί ότι σε περίπτωση πλήρους μορφής περιτύλιξης η πρόβλεψη της διατμητικής αντοχής προκύπτει από το παρόν μοντέλο. Σε περίπτωση όμως σχεδιασμού με χρήση επικόλλησης τύπου U πρέπει να λαμβάνεται υπόψη επιπρόσθετα και το μοντέλο της αποκόλλησης των Chen & Teng, 2003 και να λαμβάνεται τελικά η μικρότερη από τις δυο τιμές που προκύπτει από τα μοντέλα, ως αντοχή του ΙΟΠ.

#### 4.4.2 Αποκόλληση ΙΟΠ

Το παρόν μοντέλο που παρουσιάζεται έχει κυρίως εφαρμογή σε δοκούς και πλακοδοκούς με κύριες μορφές επικόλλησης τη δίπλευρη (side-bonding) και την τρίπλευρη περιτύλιξη (U-jacket). Η εξαγωγή των σχέσεων για την περίπτωση της αποκόλλησης του σύνθετου υλικού από το υπόστρωμα στηρίζεται στη λογική του ενεργού μήκους αγκύρωσης  $L_e$ . Σύμφωνα με πειράματα των Chen & Teng, 2003, στα οποία μελετήθηκε η συνάφεια μεταξύ του σύνθετου υλικού (FRP) και του σκυροδέματος, υπάρχει ένα μήκος αγκύρωσης, πέρα από το οποίο δεν αυξάνεται η δύναμη αγκύρωσης και η τάση αντοχής που αντιστοιχεί σε αποκόλληση.

Η αξιοπιστία του προσομοιώματος, ερευνήθηκε μέσω σύγκρισης με πειραματικά αποτελέσματα από ήδη υπάρχουσα βάση δεδομένων και προέκυψε πολύ καλή σύγκλιση των πειραματικών με τα αναλυτικά αποτελέσματα ανάληψης της τέμνουσας από το σύνθετο υλικό.

Ακολουθεί ενδεικτικό σχέδιο ενίσχυσης δοκού με δίπλευρο μανδύα (βλ. Σχήμα 4.4):



Σχήμα 4.4 Γεωμετρικά στοιχεία της ενίσχυσης (Chen & Teng, 2003)

Ανάλογα με το προηγούμενο μοντέλο για τη θραύση των ινών του σύνθετου υλικού ισχύουν τα παρακάτω:

$$h_{frp,e} = z_b - z_t \quad [mm]$$

Όπου  $z_t = d_{frp,t}$  [mm]

$$z_b = [d_{frp} - (h - d)] - 0,1d = 0,9d - (h - d_{frp}) \quad [mm]$$

$d_{frp}$ : η απόσταση από τη θλιβόμενη ζώνη του σκυροδέματος έως την πραγματική κάτω άκρη του FRP [mm]

Το κάτω άκρο του ενεργού ΙΟΠ υπολογίζεται στο κέντρο του διαμήκους εφελκυσμένου οπλισμού εάν ο μανδύας εκτείνεται μέχρι το κάτω άκρο της διατομής της δοκού. Προς διευκόλυνση των υπολογισμών θεωρείται ότι  $h = d_{frp}$ , άρα προκύπτει:  $z_b = 0,9d$  [mm]

Λαμβάνοντας υπόψη τη μη ομοιόμορφη κατανομή των τάσεων στο σύνθετο υλικό κατά μήκος της διατμητικής ρωγμής, η ενεργός ή μέση τάση στην οριακή κατάσταση αστοχίας υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$f_{frp,e} = D_{frp} \sigma_{frp,max} \quad [MPa \text{ ή } N / mm^2] \quad (4.31)$$

Όπου  $\sigma_{frp,max}$  : η μέγιστη τάση που ασκείται στο FRP [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]

$D_{frp}$  : ο συντελεστής κατανομής των τάσεων που προσδιορίζεται ως:

$$D_{frp} = \frac{\int_{z_i}^{z_b} \sigma_{frp,z} dz}{h_{frp,e} \sigma_{frp,max}} \quad (4.32)$$

Όπου  $\sigma_{frp,z}$  : η τάση στο ΙΟΠ κατά την αστοχία στη θέση κατά μήκος της διατμητικής ρωγμής με συντεταγμένη  $z$ .

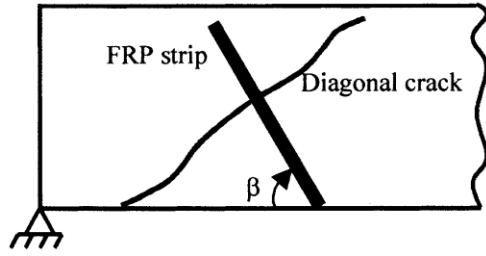
Η μέγιστη τάση στο ΙΟΠ αναπτύσσεται στη θέση όπου εμφανίζεται το μέγιστο μήκος αγκύρωσης και περιορίζεται από την οριακή αντοχή αγκύρωσης εκτός κι αν τελικά συμβεί θραύση των ινών:

$$\sigma_{frp,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{frp} \\ 0,427 \beta_w \beta_L \sqrt{\frac{E_{frp} \sqrt{f'_c}}{t_{frp}}} \end{array} \right. [MPa \text{ ή } N/mm^2] \quad (4.33)$$

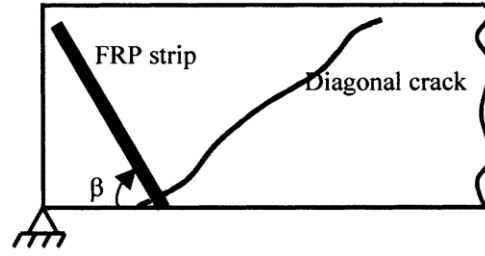
Όπου  $f'_c$  : η θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου σκυροδέματος [MPa ή N/mm<sup>2</sup>], ο συντελεστής  $\beta_L$  αντανακλά την επιρροή του μήκους επικόλλησης κι ο συντελεστής  $\beta_w$  την επιρροή του λόγου του πλάτους του σύνθετου υλικού προς το πλάτος του σκυροδέματος  $\left( \frac{b_{frp}}{b_c} \right)$ .

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η διατμητική ρωγή είναι μια ευθεία γραμμή, το μέγιστο μήκος επικόλλησης του FRP εμφανίζεται στο κάτω άκρο της ρωγμής για τρίπλευρη ενίσχυση (U-Jacket), ενώ σε περίπτωση δίπλευρης ενίσχυσης (side-bonding) εμφανίζεται στο μέσο της λωρίδας ή του υφάσματος (Εικόνα 4.5). Το μέγιστο μήκος επικόλλησης δίνεται από τον εξής τύπο:

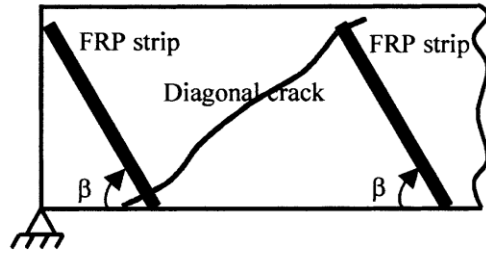
$$L_{max} = \begin{cases} \frac{h_{frp,e}}{\sin \beta} & , U - Jacket \\ \frac{h_{frp,e}}{2 \sin \beta} & , Sides \end{cases} [mm] \quad (4.34)$$



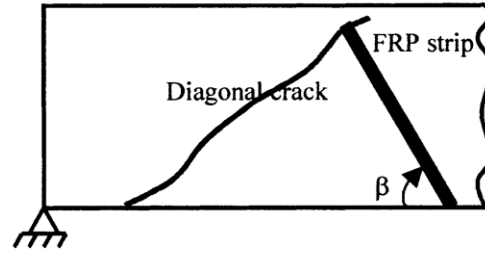
a) Most effective position: side strip



b) Most effective position: U jacket



c) Ineffective positions: side strip



d) Ineffective position: U jacket

**Σχήμα 4.5** Επιρροή της τοποθέτησης της λωρίδας στην αποτελεσματικότητα του FRP (Chen & Teng, 2003).

Οι συντελεστές  $\beta_L$  και  $\beta_w$  υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\beta_L = \begin{cases} 1 & , \text{αν } \lambda \geq 1 \\ \sin \frac{\pi \lambda}{2} & , \text{αν } \lambda < 1 \end{cases} \quad (4.35)$$

Όπου  $\lambda = \frac{L_{\max}}{L_e}$

$L_e$  : το ενεργό μήκος αγκύρωσης και ισούται με:

$$L_e = \sqrt{\frac{E_{frp} t_{frp}}{\sqrt{f'_c}}} \quad [mm] \quad (4.36)$$

$$\beta_w = \sqrt{\frac{2 - \frac{w_{frp}}{s_{frp} \sin \beta}}{1 + \frac{w_{frp}}{s_{frp} \sin \beta}}} \quad (4.37)$$

Ο συντελεστής κατανομής των τάσεων προκύπτει από τη σχέση (4.32), ύστερα από παραδοχή ότι όλες οι λωρίδες από σύνθετο υλικό που διαπερνούν τη διατμητική ρωγμή αναπτύσσουν τη μέγιστη δύναμη αγκύρωσης και είναι ο εξής:

$$D_{frp} = \begin{cases} \frac{2}{\pi\lambda} \frac{1 - \cos \frac{\pi}{2} \lambda}{\sin \frac{\pi}{2} \lambda} & , \alpha \nu \lambda \leq 1 \\ 1 - \frac{\pi - 2}{\pi\lambda} & , \alpha \nu \lambda > 1 \end{cases} \quad (4.38)$$

### Εξισώσεις Σχεδιασμού

Για το σχεδιασμό προτάθηκε η χρήση της τιμής  $\vartheta = 45^\circ$  ως γωνία της διατμητικής ρωγμής με το διαμήκη άξονα. Η συνεισφορά των σύνθετων υλικών μπορεί να υπολογιστεί από την εξής σχέση:

$$V_{frp} = 2 \frac{f_{frp,ed}}{\gamma_b} t_{frp} w_{frp} \frac{h_{frp,e} (\sin \beta + \cos \beta)}{s_{frp}} \quad [N] \quad (4.39)$$

Όπου  $\gamma_b$ : μερικός συντελεστής ασφαλείας, με προτεινόμενη τιμή 1,25

Η ενεργός τάση σχεδιασμού στο σύνθετο υλικό το οποίο διαπερνά τη διατμητική ρωγμή, ισούται με:

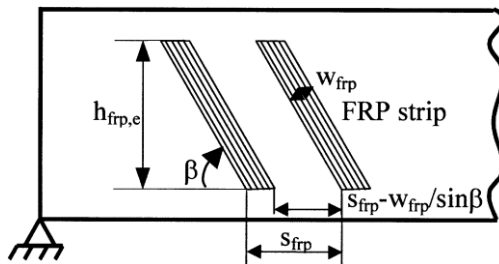
$$f_{frp,ed} = D_{frp} \sigma_{frp,max,d} \quad [MPa \text{ ή } N / mm^2] \quad (4.40)$$

Στο σχεδιασμό, προτάθηκε αντικατάσταση της τιμής 0,427 με 0,315 στην εξίσωση της μέγιστης τάσης  $\sigma_{frp,max,d}$ :

$$\sigma_{frp,max,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{frp} \\ 0,315 \beta_w \beta_L \sqrt{\frac{E_{frp} \sqrt{f'_c}}{t_{frp}}} \end{array} \right. \quad [MPa \text{ ή } N / mm^2] \quad (4.41)$$

Το παρόν μοντέλο έχει προκύψει από τη θεώρηση των λωρίδων ως ισοδύναμων συνεχών φύλλων. Έτσι, οι συγγραφείς πρότειναν ένα όριο στην απόσταση των εξωτερικά επικολλούμενων λωρίδων, ώστε το μοντέλο να δώσει σαφή και ακριβέστερα αποτελέσματα. Συνεπώς, ο αριθμός των λωρίδων που διαπερνά η διατμητική ρωγμή πρέπει να είναι επαρκής, όπως και στην περίπτωση της θραύσης των ινών. Στην περίπτωση της αποκόλλησης ισχύει ο τύπος για την καθαρή απόσταση των λωρίδων:

$$s_{frp} - \frac{w_{frp}}{\sin \beta} \leq \frac{h_{frp,e}(1 + \cot \beta)}{2} \text{ και } 300\text{mm} \quad (4.42)$$



Σχήμα 4.6 Απόσταση λωρίδων (Chen and Teng, 2003).

Με αυτό το όριο, διασφαλίζεται ότι σε όλες τις περιπτώσεις υπάρχουν ίνες που διαπερνούν το πιο αποτελεσματικό μισό (το κάτω μισό για τρίπλευρη ενίσχυση και το μέσο για δίπλευρη ενίσχυση) της διατμητικής ρωγμής (Σχήμα 4.6). Η χρήση ενός δεύτερου ορίου (300 mm) προκύπτει από την αναγκαιότητα περιορισμού της καθαρής απόστασης των λωρίδων σε περίπτωση μεγάλων δοκών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέχρι νεότερων πληροφοριών.

#### 4.5 Zhang and Hsu (2005)

Οι Zhang and Hsu, 2005 πραγματοποίησαν μια σειρά από πειράματα σε δοκούς ενισχυμένες με εξωτερικά επικολλούμενα ινοπλισμένα πολυμερή από ίνες άνθρακα (CFRP). Η μελέτη τους είχε σαν αποτέλεσμα να αυξηθεί η βάση δεδομένων των πειραμάτων με εξωτερική διατμητική ενίσχυση και τελικά να προταθεί ένα νέο μοντέλο εύρεσης της διατμητικής αντοχής των σύνθετων υλικών. Το τελικό προτεινόμενο μοντέλο σχεδιασμού είναι αρκετά αποδεκτό αν και

οι συγγραφείς επισήμαναν την αναγκαιότητα τροποποίησής του, όταν συλλεχθούν περισσότερα πειραματικά δεδομένα.

Η έρευνα των Zhang and Hsu, 2005 βασίστηκε αρχικά στο προτεινόμενο μοντέλο των Khalifa et al., 1998, στο οποίο έγιναν κάποιες τροποποιήσεις ώστε να έχει καλύτερη σύγκλιση με τα πειραματικά αποτελέσματα.

#### 4.5.1 Φιλοσοφία του σχεδιασμού και σχεδιαστική προσέγγιση

Η συμβολή των ΙΟΠ στη διάτμηση της δοκού μπορεί να εκτιμηθεί μέσω του μοντέλου του δικτύωματος (truss analogy). Η συνολική διατμητική αντοχή προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους υλικών της δοκού:

$$V_n = V_c + V_s + V_f \quad (4.43)$$

Όπου

$V_c$ : η τέμνουσα που παραλαμβάνει το σκυρόδεμα

$V_s$ : η τέμνουσα που παραλαμβάνουν οι συνδετήρες

$V_f$ : η τέμνουσα που παραλαμβάνει ο εξωτερικός οπλισμός από ινοπλισμένα πολυμερή

Το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Σκυροδέματος (ACI) προτείνει τη μείωση της διατμητικής αντοχής σχεδιασμού, πολλαπλασιάζοντας με το συντελεστή απομείωσης  $\phi$ . Σύμφωνα με τον κανονισμό ACI 318-99 (ACI 1999), προτείνεται η τιμή 0,85 για το σκυρόδεμα και το χάλυβα. Όσον αφορά το μειωτικό συντελεστή της αντοχής του σύνθετου υλικού οι Khalifa et al., 1998 πρότειναν την τιμή 0,7. Έτσι λαμβάνουμε τον παρακάτω τύπο:

$$\phi V_n = 0,85(V_c + V_s) + 0,7V_f \quad (4.44)$$

Η εξίσωση υπολογισμού της συνεισφοράς των ΙΟΠ είναι η εξής:

$$V_f = \frac{A_f E_f \epsilon_{fe} (\sin \beta + \cos \beta) d_f}{s_f} \quad [kN] \quad (4.45)$$

Όπου  $A_f$ : το εμβαδόν του εξωτερικά επικολλούμενου οπλισμού ίσο με  $2t_f w_f$  [mm<sup>2</sup>]

$t_f$ : το πάχος του σύνθετου υλικού [mm]

$w_f$ : το πλάτος των λωρίδων κάθετα στη διεύθυνση των ινών [mm]

$\beta$ : η κύρια γωνία διεύθυνσης των ινών ως προς το διαμήκη άξονα του στοιχείου

$s_f$ : η απόσταση των λωρίδων μετρημένη από κέντρο σε κέντρο, παράλληλα στο διαμήκη άξονα του μέλους [mm]

$d_f$ : το ενεργό ύψος του εξωτερικά επικολλούμενου σύνθετου υλικού μετρούμενο ως το κέντρο του διαμήκη εφελκούμενου οπλισμού [mm]

$E_f$ : το μέτρο ελαστικότητας του ΙΟΠ [GPa ή KN/mm<sup>2</sup>]

$\varepsilon_{fe}$ : η ενεργός εφελκυστική τάση του σύνθετου υλικού κατά τη διατμητική αστοχία, η οποία προκύπτει από την οριακή εφελκυστική παραμόρφωση ( $\varepsilon_{fu}$ ) του υλικού, πολλαπλασιαζόμενη με ένα μειωτικό συντελεστή  $R$ .

$$\varepsilon_{fe} = R\varepsilon_{fu} \quad (4.46)$$

Ο συντελεστής  $R$  παίζει καθοριστικό ρόλο στην παρούσα μελέτη για τον προσδιορισμό της συμβολής των ινοπλισμένων πολυμερών στη διατμητική αντοχή. Στη συνέχεια, προτάθηκαν δυο τρόποι προσέγγισης υπολογισμού της τιμής του  $R$ , εκ των οποίων τελικά επιλέγεται η μικρότερη τιμή για τον υπολογισμό της ενεργούς παραμόρφωσης.

Ο πρώτος τρόπος υπολογισμού του συντελεστή  $R$  προκύπτει με την τροποποίηση ήδη υπάρχοντων μοντέλων. Ο Triantafillou, 1998 παρατήρησε ότι η ενεργός παραμόρφωση συνδέεται με την αξονική ακαμψία των FRP, η οποία είναι  $\rho_f E_f$ , όπου  $\rho_f$  είναι το ποσοστό του εξωτερικά επικολλούμενου οπλισμού. Προκύπτει ότι η ενεργός παραμόρφωση του ΙΟΠ μειώνεται καθώς το υλικό γίνεται πιο σκληρό και παχύτερο και μπορεί να βρεθεί η σχέση μεταξύ της ενεργούς παραμόρφωσης και της αξονικής ακαμψίας μέσω της καμπύλης. Σε αυτή τη λογική βασίστηκε η πρόταση των Khalifa et al., 1998, όπου ο συντελεστής  $R$  απεικονίζεται σε σχέση με το γινόμενο  $\rho_f E_f$  (GPa).

Οι Khalifa et al., 1998 παρουσίασαν δύο εξισώσεις υπολογισμού του  $R$ , η μία για θραύση των ινών και η άλλη για αποκόλληση του CFRP (ΑΙΟΠ) από την επιφάνεια του σκυροδέματος. Η μικρότερη τιμή που προκύπτει από τις δυο εξισώσεις χρησιμοποιείται τελικά. Οι δυο σχέσεις είναι οι εξής:

$$R = 0,5622(\rho_f E_f)^2 - 1,2188(\rho_f E_f) + 0,778 \quad (4.47)$$

Όπου

$\rho_f = \frac{2t_f w_f}{b_w s_f}$ , το ποσοστό του εξωτερικά επικολλούμενου διατμητικού οπλισμού

$b_w$ : το πλάτος της διατομής [mm]



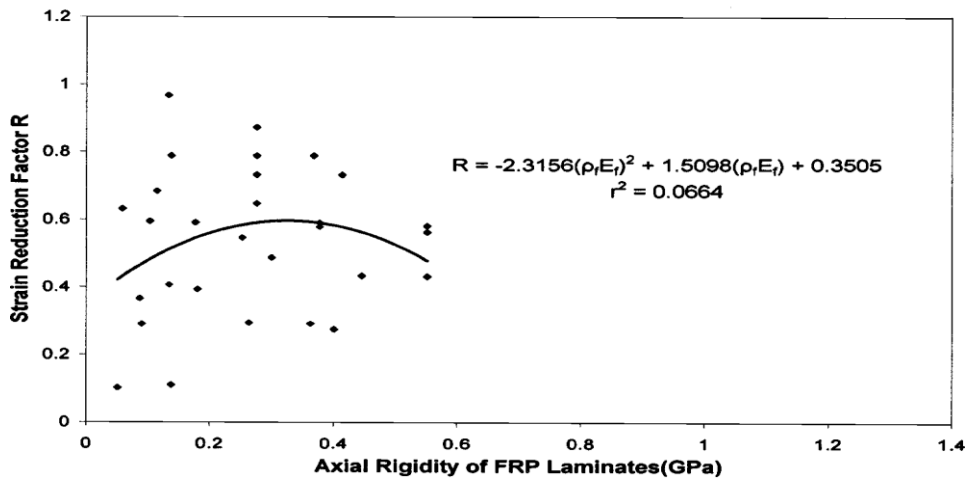
$$R = \frac{0,0042(f'_c)^{\frac{2}{3}} w_{fe}}{(E_f t_f)^{0,58} \varepsilon_{fu} d_f} \quad (4.48)$$

Όπου  $w_{fe}$  : το ενεργό πλάτος των φύλλων ΑΙΟΠ [mm]

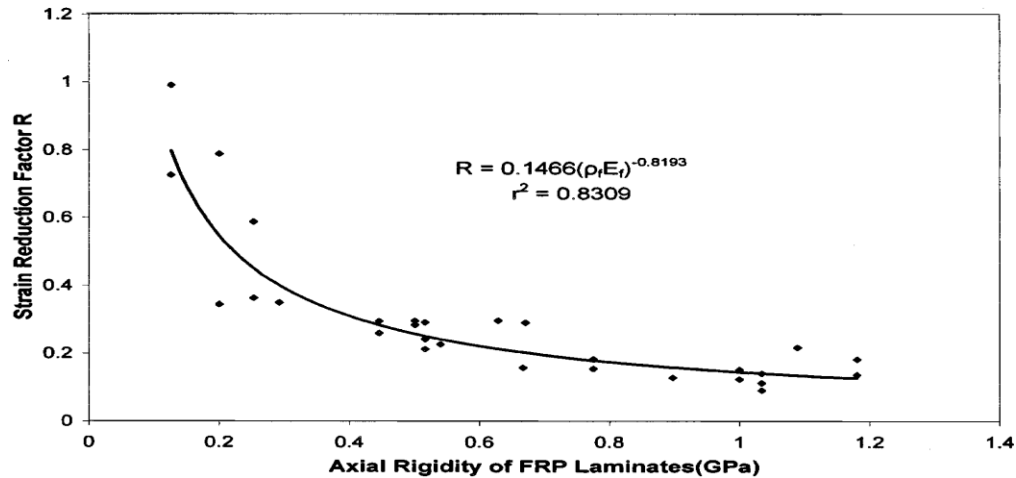
$f'_c$  : η θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου σκυροδέματος [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]

Οι παρόντες τύποι που προτάθηκαν από τους Khalifa et al., 1998 ελέγχθηκαν στην παρούσα μελέτη των Zhang and Hsu, 2005 με την υπάρχουσα βάση δεδομένων και προέκυψαν κάποιες σημαντικές παρατηρήσεις. Όταν έχουμε θραύση των ΑΙΟΠ το μοντέλο των Khalifa et al., 1998 δε δίνει επαρκώς ικανοποιητικά αποτελέσματα, καθώς η θραύση είναι πιο πολύπλοκη απ' ότι αναμενόταν αρχικά (Σχήμα 29). Όσον αφορά την αποκόλληση, τα αποτελέσματα είναι ομοιόμορφα κατανομημένα και οι Zhang and Hsu, 2005 πρότειναν μια γραμμική σχέση μεταξύ του συντελεστή  $R$  και της αξονικής ακαμψίας, η οποία δίνει μια πιο ρεαλιστική εικόνα της κατάστασης (Σχήμα 4.7).

$$R = 0,1466(\rho_f E_f)^{-0,8193} \quad (4.49)$$



**Σχήμα 4.7** Συσχέτιση του μειωτικού συντελεστή R με την αξονική ακαμψία, βασισμένη σε αποτελέσματα πειραμάτων μόνο για θραύση (Zhang and Hsu, 2005).



Σχήμα 4.8 Συσχέτιση του μειωτικού συντελεστή R με την αξονική ακαμψία (Zhang and Hsu, 2005)

Παρατηρώντας τα δυο διαγράμματα μπορούμε να εξάγουμε τα εξής **συμπεράσματα**:

- Όταν  $0 < \rho_f E_f < 0,55GPa$  μπορεί να συμβεί και θραύση και αποκόλληση του ΑΙΟΠ .
- Όταν  $0,55GPa < \rho_f E_f < 1,2GPa$  συμβαίνει μόνο αποκόλληση του ΑΙΟΠ.

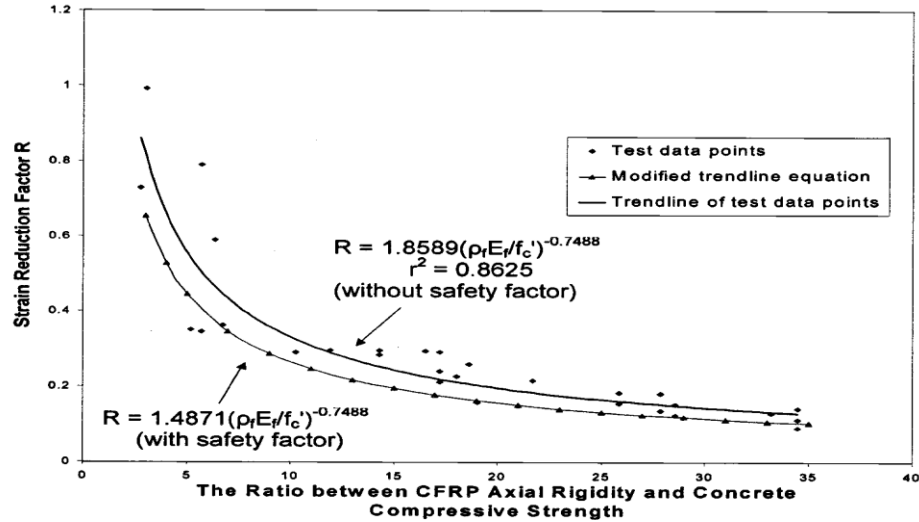
Σε πειραματική έρευνα των Hsu et al.,1997 παρατηρήθηκε ότι η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος παίζει σημαντικό ρόλο στη διατμητική συμπεριφορά ενισχυμένου στοιχείου. Όσο η θλιπτική δύναμη του σκυροδέματος αυξάνεται, τόσο η τάση συνάφειας μεταξύ του σύνθετου υλικού και του σκυροδέματος αυξάνεται. Έτσι οι Zhang & Hsu, 2005, για να λάβουν υπόψη τη θλιπτική δύναμη του σκυροδέματος, αντί για την αξονική ακαμψία εισήγαγαν το λόγο  $\frac{\rho_f E_f}{f'_c}$ , που ουσιαστικά δεν έχει διαστάσεις.

Ακολουθεί το καινούριο διάγραμμα (Σχήμα 4.9), στο οποίο ταιριάζουν οι παρακάτω εξισώσεις:

$$R = 1,8589 \left( \frac{\rho_f E_f}{f'_c} \right)^{-0,7488} \quad (4.50)$$

Επειδή στην παραπάνω εξίσωση, τα δεδομένα δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένα προτάθηκε επιπλέον η χρήση ενός μειωτικού συντελεστή για να καλύπτονται τα σημεία που βρίσκονται κάτω από την καμπύλη. Έτσι πολλαπλασιάζοντας με το συντελεστή 0,8 τη σχέση (3.50) προκύπτει:

$$R = 1,4871 \left( \frac{\rho_f E_f}{f'_c} \right)^{-0,7488} \quad (4.51)$$

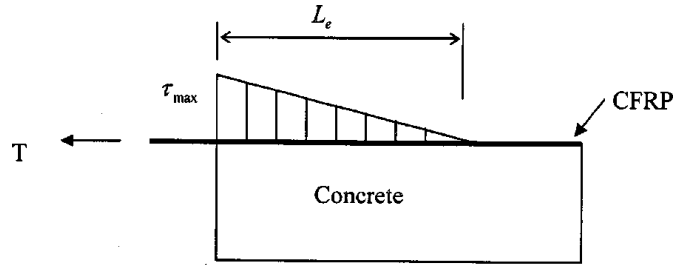


**Σχήμα 4.9** Συσχέτιση του μειωτικού συντελεστή R με το λόγο  $\frac{\rho_f E_f}{f'_c}$ , βασισμένη σε αποτελέσματα πειραμάτων μόνο για αποκόλληση (Zhang and Hsu, 2005).

Ο δεύτερος τρόπος υπολογισμού του συντελεστή  $R$  είναι βασισμένος στο μηχανισμό επικόλλησης. Οι Hsu et al., 1997 πρότειναν μια εμπειρική εξίσωση σχεδιασμού για την οριακή διατμητική αντοχή του σκυροδέματος:

$$\tau_{\max} = (7,64 \times 10^{-4} \times f'_c{}^2) - (2,73 \times 10^{-2} \times f'_c) + 6,38 \quad [MPa \text{ ή } N/mm^2] \quad (4.52)$$

Στο σχεδιασμό διάτμησης για τα εξωτερικά επικολλούμενα σύνθετα υλικά, η δοκός θεωρείται ότι χάνει τη διατμητική αντοχή της, τη στιγμή που αρχίζει η αποκόλληση κοντά στη ρωγμή, παρόλο που η αποκόλληση δεν έχει εξαπλωθεί σ' όλο το μήκος του ΑΙΟΠ. Η κατανομή των διατμητικών τάσεων κατά μήκος του ελάσματος είναι εξαιρετικά πολύπλοκη, παρόλα αυτά μπορεί να απλοποιηθεί για το σχεδιασμό σε τριγωνική μορφή κατά μήκος του ενεργού μήκους επικόλλησης  $L_e$  (Σχήμα 4.10).



**Σχήμα 4.10** Κατανομή των διατμητικών τάσεων στο σκυρόδεμα κάτω από την κόλλα (Zhang and Hsu, 2005).

Η συνολική δύναμη που μπορεί να αναπτυχθεί στις δυο πλευρές της δοκού υπολογίζεται ως εξής:

$$T = \frac{1}{2} \tau_{\max} L_e (2w_{fe}) \quad (4.53)$$

Η οποία απλοποιείται σε:

$$T = \tau_{\max} L_e w_{fe} \quad (4.54)$$

Έτσι, η σχέση μεταξύ της δύναμης που ασκείται στο έλασμα και της διατμητικής δύναμης στο σκυρόδεμα προκύπτει ως εξής:

$$T = 2w_{fe} t_f f_{fe} \quad (4.55)$$

Εξισώνοντας τις εξισώσεις (4.54) και (4.55) λαμβάνουμε:

$$\tau_{\max} L_e w_{fe} = 2w_{fe} t_f f_{fe} \quad (4.56)$$

Όπου  $f_{fe}$  : η ενεργός εφελκυστική τάση των ΑΙΟΠ κατά την αστοχία [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]

Εισάγοντας την οριακή εφελκυστική αντοχή του ΑΙΟΠ ( $f_{fu}$ ), προκύπτει:

$$\frac{\tau_{\max} L_e}{2t_f f_{fu}} = \frac{f_{fe}}{f_{fu}} \quad (4.57)$$

Έτσι, ο μειωτικός συντελεστής  $R$  μπορεί να εκφραστεί ως:

$$R = \frac{\tau_{\max} L_e}{2f_{fu} t_f} \leq 1 \quad (4.58)$$

Όπου  $L_e$ : το ενεργό μήκος επικόλλησης, το οποίο λαμβάνεται ίσο με 75 mm ,έως ότου προκύψουν νέες προτάσεις από έρευνα.

#### 4.5.2 Εξισώσεις σχεδιασμού

Η φιλοσοφία του προτεινόμενου μοντέλου για το σχεδιασμό σε διάτμηση εξωτερικά επικολλούμενων ελασμάτων από ινοπλισμένα πολυμερή βασίστηκε στον προσδιορισμό του μειωτικού συντελεστή τάσης ή παραμόρφωσης  $R$ . Έχοντας προτείνει δύο μεθόδους, με βάση την καμπύλη και με βάση το ενεργό μήκος επικόλλησης, ο τελικός συντελεστής  $R$  την περίπτωση αποκόλλησης προκύπτει λαμβάνοντας την ελάχιστη τιμή από τα δύο αποτελέσματα. Όπως προαναφέρθηκε, παρατηρήθηκε ότι όταν  $0 < \rho_f E_f < 0,55GPa$ , το σύνθετο υλικό τείνει να αστοχήσει σε θραύση και καθώς δεν υπάρχει αρκούντως ικανοποιητική εξίσωση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι εξισώσεις (4.51) και (4.58). Επιπλέον ο μέγιστος συντελεστής μείωσης  $R$  προτείνεται ίσος με 0,4, τιμή που προέκυψε βάσει αξιολόγησης πειραματικών δεδομένων.

Η συμβολή των ΑΙΟΠ στη διατμητική αντοχή της δοκού μπορεί να υπολογιστεί από τις παρακάτω εξισώσεις.

Για συνεχή υφάσματα ισχύει:

$$V_f = w_{fe} t_f f_{fe} \sin^2 \beta \leq \left( \frac{2\sqrt{f'_c b_w d}}{3} - V_s \right) [kN] \quad (4.59)$$

**Όπου**

$d$ : το ενεργό ύψος της διατομής από τη θλιβόμενη ζώνη μέχρι το κέντρο του διαμήκη εφελκυσμένου οπλισμού [mm]

$w_{fe}$ : το ενεργό πλάτος των φύλλων ΑΙΟΠ [mm], το οποίο υπολογίζεται ως εξής (Khalifa et al. 1998):

- Για πλήρη περιτύλιξη (full-wrap):  $w_{fe} = d_f$
- Για τρίπλευρη ενίσχυση μορφής U:  $w_{fe} = d_f - L_e$
- Για δίπλευρη ενίσχυση (Side-Bonding):  $w_{fe} = d_f - 2L_e$

Για λωρίδες ισχύει:

$$V_f = \frac{A_f f_{fe} (\sin \beta + \cos \beta) d_f}{s_f} \leq \left( \frac{2\sqrt{f'_c b_w d}}{3} - V_s \right) [kN] \quad (4.60)$$

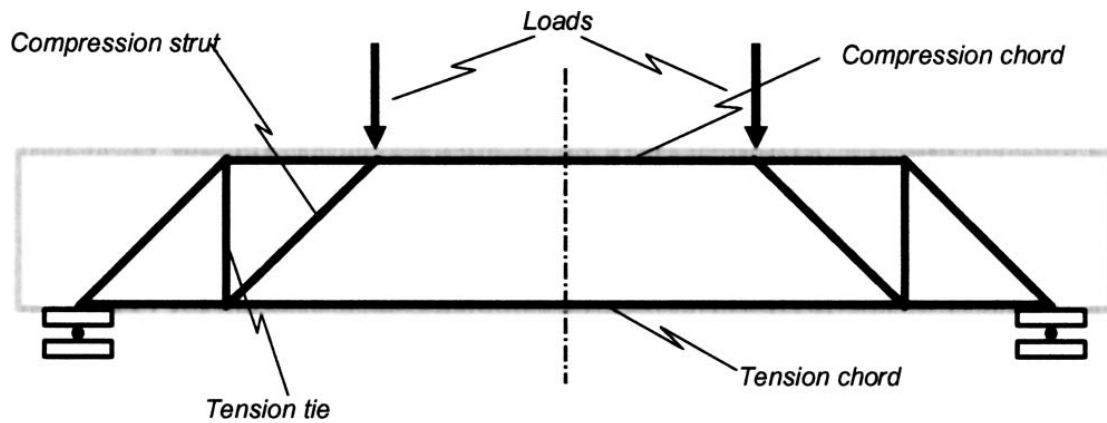
Η προτεινόμενη προσέγγιση σχεδιασμού αποτελεί ένα αποδεκτό μοντέλο πρόβλεψης της συμβολής των εξωτερικά επικολλούμενων ελασμάτων στη διατμητική αντοχή της δοκού. Παρόλα αυτά ο ρόλος της αγκύρωσης των ΑΙΟΠ δεν ελήφθη υπόψη στην προκείμενη μελέτη και οι Zhang & Hsu, 2005 πρότειναν περαιτέρω έρευνα σε αυτό το πεδίο.

#### **4.6 Carolin & Täljsten (2005)**

Το προσομοίωμα των Carolin & Täljsten, 2005 για τη συμβολή των εξωτερικά επικολλούμενων σύνθετων υλικών βασίστηκε σε έρευνα διατμητικής ενίσχυσης δοκού οπλισμένου σκυροδέματος με ινοπλισμένα πολυμερή από ίνες άνθρακα (ΑΙΟΠ). Το μοντέλο σχεδιασμού επισήμανε τους περιορισμούς του ευρέως χρησιμοποιούμενου μοντέλου του δικτυώματος (truss model) και πρότεινε μια βελτιστοποίησή του. Επίσης, παρουσιάστηκε ένας μειωτικός συντελεστής, ο οποίος λαμβάνει υπόψη τη μη ομοιόμορφη κατανομή των παραμορφώσεων και καθορίστηκαν περιορισμοί στην κύρια παραμόρφωση στο σκυρόδεμα, αντί στην παραμόρφωση των ινών, όπως συνέβαινε σε προηγούμενα προσομοιώματα.

##### **4.6.1 Το Μοντέλο του Δικτυώματος**

Το μοντέλο του δικτυώματος είναι επίσης γνωστό ως μοντέλο θλιπτήρων-ελκυστήρων και θεωρείται ότι δίνει συντηρητικά αλλά καλά αποτελέσματα για οπλισμό διάτμησης από χάλυβα (συνδετήρες). Το συγκεκριμένο μοντέλο υποθέτει ότι η συμπεριφορά μίας δοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα, έπειτα από ρηγμάτωση του σκυροδέματος, γίνεται ανάλογη της συμπεριφοράς ενός δικτυώματος όπως φαίνεται παρακάτω (Σχήμα 4.11).



**Σχήμα 4.11** Μοντέλο Δικτυώματος με θλιπτήρες-ελκυστήρες (Carolin and Taljsten, 2005).

Η συνολική διατμητική αντοχή της δοκού μπορεί να εκφραστεί ως το άθροισμα των επιμέρους αντοχών:

$$V_{Rd} = V_C + V_s + V_p + V_i + V_f \quad (4.61)$$

**Όπου:**

$V_C$ : η τέμνουσα που παραλαμβάνει το σκυρόδεμα, η οποία συνήθως περιλαμβάνει τη δύναμη βλήτρου από το διαμήκη οπλισμό

$V_s$ : η τέμνουσα που παραλαμβάνουν οι συνδετήρες

$V_p$ : η τέμνουσα από τη συνεισφορά αξονικών δυνάμεων π.χ. προεντεταμένοι τένοντες

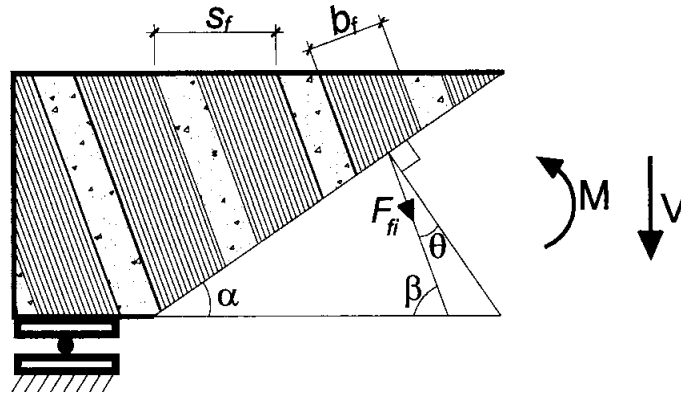
$V_i$ : η τέμνουσα από τη συνεισφορά επιπρόσθετων παραγόντων π.χ. κεκλιμένες θλιβόμενες χορδές

$V_f$ : η τέμνουσα που παραλαμβάνει ο εξωτερικός οπλισμός από ινοπλισμένα πολυμερή

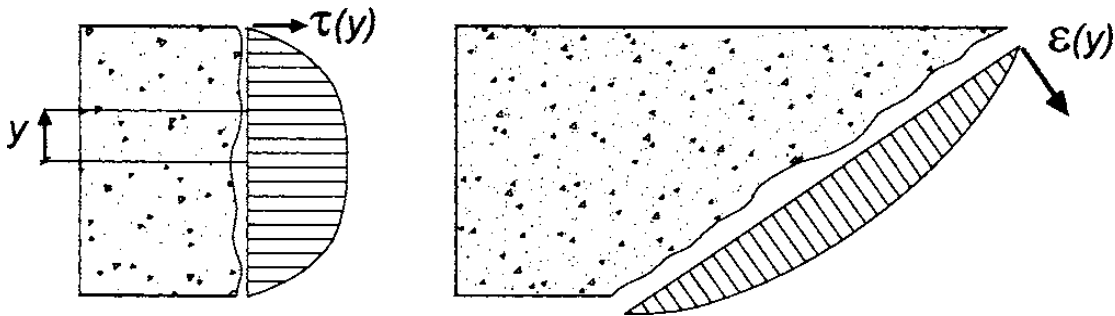
#### 4.6.2 Βελτιστοποιημένο μοντέλο δικτυώματος για σύνθετα υλικά

Λαμβάνοντας υπόψη την κλίση των ινών (Σχήμα 4.12) και τη μη ομοιόμορφη κατανομή των τάσεων στη διατομή (Σχήμα 4.13) η  $V_f$  προκύπτει από την εξίσωση:

$$V_f = \eta \varepsilon_{cr} E_f t_f r_f z \frac{\cos \theta}{\sin \alpha} \quad [kN] \quad (4.62)$$



Σχήμα 4.12 Η κλίση των ινών και η διατμητική ρωγμή (Carolin and Taljsten, 2005)



Σχήμα 4.13 Μη ομοιόμορφη κατανομή των παραμορφώσεων κατά τις κύριες διευθύνσεις παραμορφώσεων στη διατμητική ρωγμή (Carolin, 2001)

Όπου  $z$  : το μήκος κάθετου ελκυστήρα (tension tie) στο δικτύωμα (Σχήμα 4.11).

Όταν το σύνθετο υλικό είναι επικολλούμενο καθ' όλο το ύψος της δοκού, τότε το  $z$  ισούται με το ύψος  $h$  της δοκού [mm]

$\alpha$  : η γωνία της διατμητικής ρωγμής ως προς το διαμήκη άξονα του στοιχείου

$\beta$  : η κύρια γωνία διεύθυνσης των ινών ως προς το διαμήκη άξονα του στοιχείου



$\mathcal{G}$  : η γωνία μεταξύ της κύριας εφελκυστικής τάσης και του προσανατολισμού των ινών (Σχήμα 34)

$$\mathcal{G} = \alpha + \beta - 90^\circ$$

Ο όρος  $r_f$  εξαρτάται από τη μορφή ενίσχυσης και λαμβάνεται  $r_f = \sin \beta$  για συνεχή υφάσματα/ελάσματα και  $r_f = \frac{b_f}{s_f}$  για λωρίδες

$b_f$  : το πλάτος των λωρίδων κάθετα στη διεύθυνση των ινών [mm]

$s_f$  : η απόσταση των λωρίδων μετρημένη από κέντρο σε κέντρο, παράλληλα στο διαμήκη άξονα του μέλους [mm]

$E_f$  : το μέτρο ελαστικότητας του FRP [GPa ή KN/mm<sup>2</sup>]

$t_f$  : το πάχος του σύνθετου υλικού [mm]

Οι Carolin & Täljsten, 2005 παρουσίασαν ένα μειωτικό συντελεστή ο οποίος λαμβάνει υπόψη τη μη ομοιόμορφη κατανομή των παραμορφώσεων στη διατομή. Αυτός ο συντελεστής  $\eta$  εκφράζει τη μέση παραμόρφωση στις ίνες καθ' ύψος της δοκού σε σχέση με τη μέγιστη παραμόρφωση στην ίνα,  $\varepsilon_{\max}$  :

$$\eta = \frac{\int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \varepsilon_f(y) dy}{(\varepsilon_{\max} h)} \quad (4.63)$$

Έπειτα από εκτενή μελέτη πάνω στο συντελεστή  $\eta$  από πειραματικά δεδομένα, προέκυψε άμεση εξάρτησή του από τον τρόπο φόρτισης της δοκού και τον προσανατολισμό των ινών. Προτάθηκε τελικά η τιμή  $\eta = 0,6$ .

Η ενεργός παραμόρφωση  $\varepsilon_{fe}$  δίνεται από τον τύπο:

$$\varepsilon_{fe} = \eta \varepsilon_{cr} \quad (4.64)$$

Όπου η κρίσιμη παραμόρφωση  $\varepsilon_{cr}$  ορίζεται ως η ελάχιστη τιμή από την οριακή εφελκυστική παραμόρφωση των ινών,  $\varepsilon_{fu}$ , τη μέγιστη επιτρεπόμενη παραμόρφωση χωρίς να πραγματοποιηθεί αστοχία αγκύρωσης,  $\varepsilon_{bond}$  και τη μέγιστη επιτρεπόμενη παραμόρφωση ώστε να πραγματοποιηθεί συμβολή του σκυροδέματος,  $\varepsilon_{c\max}$  π.χ. λόγω της αλληλεμπλοκής των αδρανών.

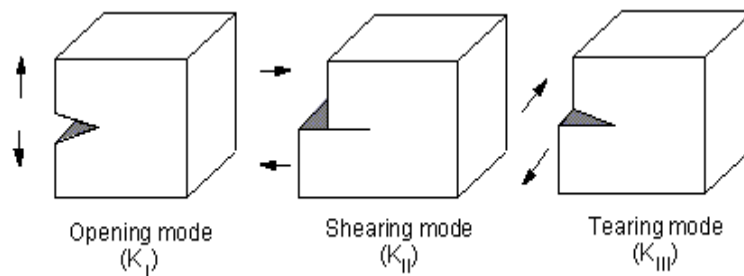
$$\varepsilon_{cr} = \min \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_{fu} \\ \varepsilon_{bond} \\ \varepsilon_{c\max} \end{array} \right\} \quad (4.65)$$

Αν η συμβολή του σκυροδέματος δε συμπεριλαμβάνεται στην ικανότητα του μέλους να αναλάβει τέμνουσα, η περιοριστική παράμετρος  $\varepsilon_{c\max}$  μπορεί να αγνοηθεί.

Σε περίπτωση που έχουμε πλήρη περιτύλιξη, η διατμητική ικανότητα δεν επηρεάζεται από τον περιορισμό της αγκύρωσης,  $\varepsilon_{bond}$ . Στην παρούσα μελέτη, ο δεσμός μεταξύ σκυροδέματος κι εξωτερικά επικολλούμενου ΙΟΠ εκτιμήθηκε μέσω του μηχανισμού ρηγμάτωσης. Η διατμητική τάση στο σκυρόδεμα και η μέγιστη σχετική ολίσθηση στον αρμό θεωρείται ότι παίζουν κυρίαρχο ρόλο.

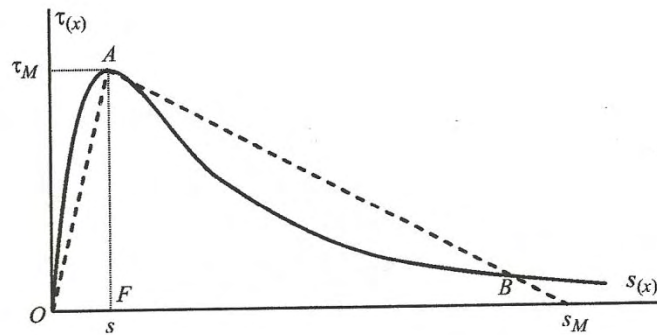
### 4.6.3 Προσδιορισμός της παραμόρφωσης $\varepsilon_{bond}$

Στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιήθηκε η ενεργειακή μέθοδος για τον προσδιορισμό της μέγιστης παραμόρφωσης στο ΙΟΠ κατά την έναρξη της αστοχίας του δεσμού σκυροδέματος-ΙΟΠ. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι τρεις τρόποι θραύσης (Σχήμα 4.14).



**Σχήμα 4.14** Τρόποι θραύσης, Carolin and Täljsten, (2005)

Τα υλικά τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη διαδικασία σχεδιασμού της αποκόλλησης του ΙΟΠ είναι τα εξής: το σύνθετο υλικό, η κόλλα και το σκυροδέμα. Εκτός από τον τρόπο αστοχίας με θραύση του σύνθετου υλικού, σε πολλά πειράματα παρατηρήθηκε αστοχία του σκυροδέματος σε γειτνίαση με την κόλλα. Το σκυροδέμα θεωρείται, σε αυτή την περίπτωση, ως το υλικό που αστοχεί και η αστοχία της κόλλας μπορεί να αγνοηθεί. Η συμπεριφορά του σκυροδέματος, όσον αφορά τις παραμορφώσεις του, χαρακτηρίζεται από μια γραμμικώς ελαστική και μια μη γραμμική φάση, όπως φαίνεται στο διάγραμμα της καμπύλης τάσης-ολίσθησης (Διάγραμμα 4.1).



**Διάγραμμα 4.1** Καμπύλη διατμητικής τάσης-ολίσθησης (Sas et al., 2008).

Προς διευκόλυνση των υπολογισμών, η πραγματική καμπύλη παραμόρφωσης αντικαθίσταται από μια διγραμμική, όπως δείχνουν οι διακεκομμένες γραμμές στο Σχήμα 4.12. Η ελαστική φάση περιγράφεται από το πρώτο τμήμα του διαγράμματος. Όταν η μέγιστη διατμητική τάση φτάσει ένα όριο,  $\tau_{\max}$  στην τιμή ολίσθησης  $s$ , τότε ξεκινάει η μη γραμμική φάση. Η συνολική ενέργεια που ορίζεται από την καμπύλη τάσης-ολίσθησης και υπολογίζεται από το τρίγωνο OAB είναι η απαραίτητη ενέργεια για να ξεκινήσει η ρηγμάτωση της επικολλούμενης περιοχής. Η συνολική ενέργεια θραύσης του σκυροδέματος μπορεί να υπολογιστεί εμπειρικά από την παρακάτω εξίσωση:

$$G_f \approx 0,644 f_c^{0,19} \quad (4.66)$$

Όπου  $f_c$ : η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]

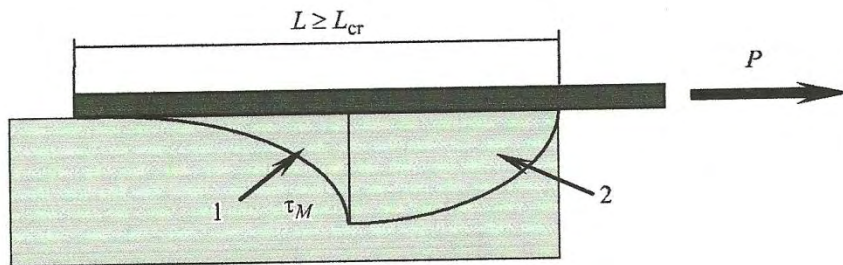
Η μέγιστη διατμητική τάση  $\tau_{\max}$  εκφράζεται ως:

$$\tau_{\max} = 3,5 f_c^{0,19} \quad (4.67)$$

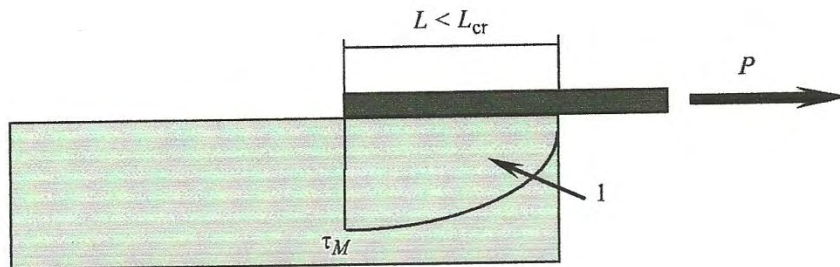
Στη συνέχεια, προσδιορίζεται ένα μεγάλο μήκος αγκύρωσης (long bond length), ως το μήκος για το οποίο η διατμητική τάση είναι μηδενική στο ελεύθερο άκρο, με την ελαστική και τη μη ελαστική φάση να εμφανίζονται και οι δύο στον αρμό (Σχήμα 4.15). Επίσης, παρουσιάζεται ένα μικρό μήκος αγκύρωσης (short bond length), ως το μήκος για το οποίο η μέγιστη διατμητική τάση εμφανίζεται στο άκρο του μήκους επικόλλησης, ενώ στο φορτιζόμενο άκρο είναι μεγαλύτερη του μηδενός (Σχήμα 4.16). Εισάγοντας έναν περιορισμό ανάμεσα στο μεγάλο και το μικρό μήκος αγκύρωσης, το κρίσιμο μήκος λαμβάνεται ίσο με:

$$L_{cr} = \frac{\pi}{2\omega} \quad [mm] \quad (4.68)$$

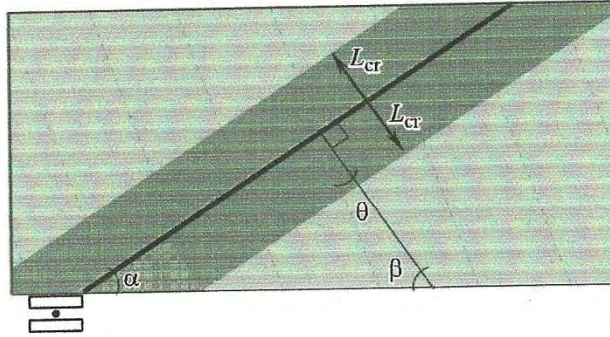
Το ενεργό μήκος αγκύρωσης δίνεται στη διεύθυνση κάθετα στη ρωγμή όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.17.



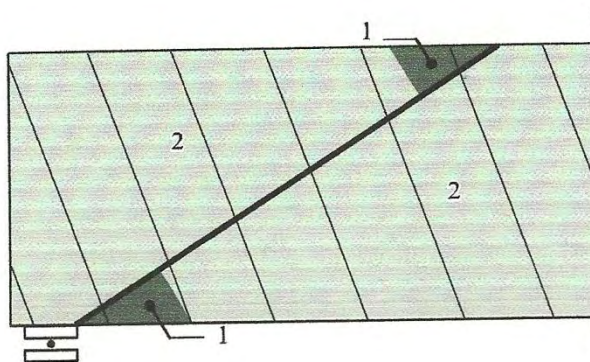
**Σχήμα 4.15** Μεγάλο μήκος αγκύρωσης: ελαστική (1) και μη ελαστική (2) φάση (Sas et al., 2008).



**Σχήμα 4.16** Μικρό μήκος αγκύρωσης: (1)- μη ελαστική φάση (Sas et al., 2008).



**Σχήμα 4.17** Ενεργό μήκος αγκύρωσης κατά πλάτος της διατμητικής ρωγμής (Sas et al., 2008).



**Σχήμα 4.18** Κρίσιμες περιοχές: 1- μη ασφαλής αγκύρωση, 2- πλήρως αναπτυγμένη αγκύρωση (Sas et al., 2008).

Όταν το διαθέσιμο μήκος αγκύρωσης είναι μικρότερο από το κρίσιμο μήκος  $L_{cr}$ , ενεργοποιείται η διαδικασία αποκόλλησης. Οι περιοχές με το δείκτη 1 στο σχήμα 4.18 αποτελούν τις κρίσιμες περιοχές της δοκού. Η παραμόρφωση στο ΙΟΠ κατά την αποκόλληση επηρεάζεται από ένα μειωτικό όρο, ο οποίος εξαρτάται από το διαθέσιμο μήκος αγκύρωσης.

Έτσι η ενεργός παραμόρφωση  $\varepsilon_{bond}$  δίνεται ως εξής:

$$\varepsilon_{bond} = \frac{1}{E_f t_f} \sqrt{2E_f t_f G_f} \begin{cases} \sin(\omega L_b) & , L_b \leq L_{cr} \\ 1 & , L_b > L_{cr} \end{cases} \quad (4.69)$$

Όπου  $L_b$ : το διαθέσιμο μήκος αγκύρωσης που δίνεται από τη σχέση:

$$L_b = \begin{cases} \frac{d_f}{\sin \beta} & , U - Jacket \\ \frac{d_f}{2 \sin \beta} & , Side - Bonding \end{cases} \quad [mm] \quad (4.70)$$

$d_f$ : το ενεργό ύψος του εξωτερικά επικολλούμενου σύνθετου υλικού μετρούμενο ως το κέντρο του διαμήκη εφελκυσμού οπλισμού [mm]

$E_f$ : το μέτρο ελαστικότητας του ΙΟΠ [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]

Ο όρος  $\omega$  ορίζεται ως εξής:

$$\omega = \sqrt{\frac{\tau_{\max}^2}{2E_f t_f G_f}} \quad (4.71)$$

Το παρόν προτεινόμενο μοντέλο των Carolin & Täljsten, 2005 ελέγχθηκε πάνω σε μια βάση πειραματικών δεδομένων και παρατηρήθηκε αρκετά καλή σύγκλιση των αποτελεσμάτων. Γενικά, το βελτιστοποιημένο μοντέλο του δικτύματος δίνει μια αποδεκτή λύση της συνεισφοράς των σύνθετων υλικών στη διατμητική αντοχή της δοκού. Δεν είναι ακόμα σαφές ποιος τρόπος θραύσης συμβαίνει, όταν η κύρια παραμόρφωση και η διεύθυνση των ινών δε συμπίπτουν. Αυτός μπορεί να είναι ένας λόγος που το παρόν προσομοίωμα δεν μπορεί να περιγράψει τη διαδικασία αποκόλλησης τόσο καλά. Έτσι λοιπόν, προτάθηκε η διεξαγωγή περαιτέρω έρευνας στον τομέα της ρηγμάτωσης των δοκών, ενισχυμένων με εξωτερικά επικολλούμενα ινοπλισμένα πολυμερή.

#### 4.7 Monti & Liotta, (2007)

Οι Monti & Liotta, το 2007, μέσα από μία εκτενή πειραματική κι αναλυτική έρευνα, πρότειναν νέες εξισώσεις σχεδιασμού για την ενίσχυση δοκών οπλισμένου σκυροδέματος σε διάτμηση με εξωτερικά επικολλούμενα ινοπλισμένα πολυμερή (FRP). Τελικώς, συνέκριναν τα πειραματικά αποτελέσματα με τις τιμές που προκύπτουν από το αναλυτικό μοντέλο τους με πολύ καλή σύγκλιση.

Το αναλυτικό αυτό προσομοίωμα, βασίστηκε στη λογική της απλής επαλληλίας των τριών κυρίαρχων μηχανισμών ανάληψης τέμνουσας (σκυροδέμα, συνδετήρες και σύνθετο υλικό) και διακρίνει τους τρεις τύπους ενισχύσεις των εξωτερικά επικολλούμενων σύνθετων υλικών: πλήρης περιτύλιξη, τρίπλευρη ενίσχυση, δίπλευρη ενίσχυση.

Το μοντέλο προέκυψε κάνοντας τις εξής **παραδοχές**:

- Οι διατμητικές ρωγμές είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες κατά μήκος του άξονα της δοκού και σχηματίζουν γωνία  $\theta$  με αυτόν.
- Στην οριακή κατάσταση αστοχίας, το ύψος της ρωγμής είναι ίσο με τον εσωτερικό μοχλοβραχίονα  $z = 0,9d$  [mm], όπου  $d$  : το ενεργό ύψος της διατομής από τη θλιβόμενη ζώνη μέχρι το κέντρο του διαμήκη εφελκυσμένου οπλισμού [mm]
- Στην περίπτωση τρίπλευρης ενίσχυσης (U-Jacket) και κλειστής ενίσχυσης (Wrapping), ο μηχανισμός ανάληψης τέμνουσας βασίζεται στο δικτύωμα Mörsch, ενώ στην περίπτωση δίπλευρης ενίσχυσης (Side bonding), λόγω της έλλειψης διαγώνιου ελκυστήρα στο δικτύωμα Mörsch, θεωρείται ότι αναπτύσσεται ένας διαφορετικός μηχανισμός ανάληψης τέμνουσας, η «γεφύρωση της ρωγμής» (crack-bridging).

Η μελέτη των Monti & Liotta, (2007) στηρίχτηκε εξ' ολοκλήρου στον υπολογισμό της συμβολής του σύνθετου υλικού στη συνολική διατμητική αντοχή της δοκού με προσδιορισμό των παρακάτω στοιχείων:

- Το είδος της αστοχίας μιας λωρίδας ή ενός φύλλου ΙΟΠ εξωτερικά επικολλούμενο στην επιφάνεια του σκυροδέματος
- Καταστατικός νόμος τάσης-ολίσθησης του σύνθετου υλικού
- Σχέση που υπολογίζει το εύρος της ρωγμής  $w(x)$ , συναρτήσει του μήκους της,  $x$
- Οριακές συνθήκες π.χ. διαθέσιμο μήκος αγκύρωσης ανάλογα με τον τύπο της ενίσχυσης

#### 4.7.1 Εξισώσεις σχεδιασμού

Για την περίπτωση δίπλευρης (**side bonding**) ή τρίπλευρης ενίσχυσης (**U-jacketing**), προσδιορίζονται οι όροι του ενεργού μήκους αγκύρωσης,  $l_e$  και της αντοχής σχεδιασμού που αντιστοιχεί σε αποκόλληση,  $f_{fd}$  (debonding strength). Το ενεργό μήκος αγκύρωσης δίνεται από τη σχέση:

$$l_e = \sqrt{\frac{E_f t_f}{2 f_{cm}}} \quad [mm] \quad (4.72)$$

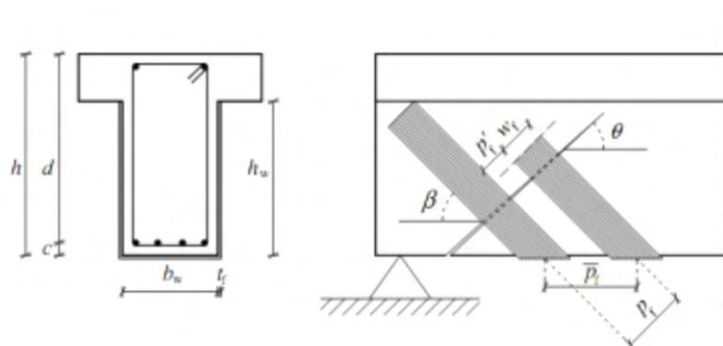
Όπου

$E_f$  : το μέτρο ελαστικότητας του FRP [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]

$t_f$  : το πάχος του σύνθετου υλικού [mm]

$f_{ctm} = 0,3f_{ck}^{\frac{2}{3}}$  : η μέση εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]

$f_{ck}$  : η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλίνδρου σκυροδέματος [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]



**Σχήμα 4.19** Γεωμετρικά στοιχεία της ενίσχυσης (Monti & Lionta, 2007)

Η αντοχή σχεδιασμού που αντιστοιχεί σε αποκόλληση δίνεται ως εξής:

$$f_{fd} = \frac{0,80}{\gamma_{f,d}} \sqrt{\frac{2E_f \Gamma_{Fk}}{t_f}} \quad [MPa \text{ ή } N / mm^2] \quad (4.73)$$

**Όπου**

$\gamma_{f,d}$  : μειωτικός συντελεστής που αντικατοπτρίζει την ποιοτική στάθμη της εφαρμογής της ενίσχυσης

$\Gamma_{Fk}$  : ενέργεια θραύσης του δεσμού μεταξύ FRP και σκυροδέματος, η οποία εκφράζεται ως:

$$\Gamma_{Fk} = 0,03k_b \sqrt{f_{ck} f_{ctm}} \quad (4.74)$$

$k_b$  : συντελεστής κάλυψης (για συνεχές ύφασμα λαμβάνεται  $k_b = 1$ ), ο οποίος δίνεται από τον εξής τύπο:



$$k_b = \sqrt{\frac{2 - \frac{w_f}{p_f}}{1 + \frac{w_f}{400}}} \geq 1 \quad (4.75)$$

**Όπου**

$w_f$ : το πλάτος των λωρίδων κάθετα στη διεύθυνση των ινών [mm]

$p_f$ : η απόσταση των λωρίδων μετρημένη από κέντρο σε κέντρο, κάθετα στην κύρια διεύθυνση των ινών [mm] (Σχήμα 4.19)

Σε περίπτωση **συνεχούς φύλλου** λαμβάνεται:  $w_f = p_f$

Επισημαίνεται επίσης, ότι το πλάτος  $w_f$  σε περίπτωση χρήσης συνεχούς υφάσματος δεν πρέπει να ξεπερνάει την παρακάτω τιμή:

$$w_f \leq \min(0,9d, h_w) \frac{\sin(\theta + \beta)}{\sin \vartheta} \quad (4.76)$$

**Όπου**

$d$ : το ενεργό ύψος της διατομής από τη θλιβόμενη ζώνη μέχρι το κέντρο του διαμήκη εφελκυσμένου οπλισμού [mm]

$h_w$ : το ύψος του κορμού της δοκού [mm] (Σχήμα 4.19)

$\vartheta$ : η γωνία της διατμητικής ρωγμής ως προς το διαμήκη άξονα του στοιχείου

$\beta$ : η κύρια γωνία διεύθυνσης των ινών ως προς το διαμήκη άξονα του στοιχείου

Σε περίπτωση που το διαθέσιμο μήκος αγκύρωσης  $l_b$  είναι μικρότερο από το ενεργό μήκος αγκύρωσης  $l_e$ , τότε η αντοχή σχεδιασμού που αντιστοιχεί σε αποκόλληση μειώνεται ως εξής:

$$f_{fdd}(l_b) = f_{fdd} \frac{l_b}{l_e} \left( 2 - \frac{l_b}{l_e} \right) \quad \text{αν } l_b < l_e \quad [MPa \text{ ή } N/mm^2] \quad (4.77)$$

**Όπου**

$$L_b = \begin{cases} \frac{d_f}{\sin \beta} & , U - Jacket \\ \frac{d_f}{2 \sin \beta} & , Side - Bonding \end{cases} \quad [mm]$$

Για την περίπτωση κλειστής ενίσχυσης (Wrapping), εισάγεται ο όρος  $\phi_R$ , ως μειωτικός συντελεστής της αντοχής του σύνθετου υλικού ( $f_{fd}$ ). Αυτός ο μειωτικός συντελεστής εξαρτάται από την ακτίνα καμπυλότητας ( $r_c$ ) [mm] της γωνίας μεταξύ της κατακόρυφης και της οριζόντιας πλευράς της διατομής και ισούται με:

$$\phi_R = 0,2 + 1,6 \frac{r_c}{b_w}, \quad 0 \leq \frac{r_c}{b_w} \leq 0,5 \quad (4.78)$$

Όπου  $b_w$ : το πλάτος της διατομής [mm]

Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις περιπτώσεις ενισχύσεων προκύπτει ο τύπος της οριακής αντοχής του σύνθετου υλικού:

$$f_{fu}(l_b, \delta_e, r_c) = f_{fd}(l_b) + \langle \phi_R f_{fu} - f_{fd}(l_b) \rangle \delta_e \quad [MPa \text{ ή } N/mm^2] \quad (4.79)$$

Όπου

$\delta_e = 0$ , για ελεύθερο άκρο

$\delta_e = 1$ , για άκρο γύρω από γωνία

$f_{fu}$ : η εφελκυστική αντοχή του σύνθετου υλικού [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]

Το σύμβολο  $\langle \rangle$  υποδεικνύει ότι το τμήμα της εξίσωσης εντός των συμβόλων θα πρέπει να λαμβάνεται ίσο με το μηδέν αν προκύψει αρνητικός αριθμός.

Για παράδειγμα, η οριακή αντοχή ενός φύλλου/λωρίδας ΙΟΠ, τυλιγμένο γύρω από μία γωνία με ακτίνα καμπυλότητας ( $r_c$ ), αν  $l_b \geq l_e$ , προκύπτει:

$$f_{fu}(r_c) = f_{fd} + \langle \phi_R f_{fu} - f_{fd} \rangle \quad (4.80)$$

Επίσης, στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο καταστατικός νόμος τάσης-ολίσθησης,  $\sigma_f(u, l_b, \delta_e)$ , ο οποίος ορίζεται ως μια λειτουργία της εφαρμοζόμενης ολίσθησης,  $u$ , στο φορτιζόμενο άκρο του διαθέσιμου μήκους αγκύρωσης,  $l_b$  στο άκρο με περιορισμό,  $\delta_e$ .

Για τον προσδιορισμό του εύρους της ρωγμής, προτάθηκε ένα σύστημα συντεταγμένων με αρχή των αξόνων στο άκρο της ρωγμής και τον άξονα των x κατά μήκος της ρωγμής. Συνεπώς

το πλάτος της ρωγμής,  $W$ , μπορεί να θεωρηθεί κάθετο στον άξονα της ρωγμής. Το άνοιγμα της ρωγμής, θεωρείται ότι εκφράζεται από μία γραμμική εξίσωση:

$$w(x) = ax \quad (4.81)$$

Όπου το  $a$  εκφράζει τη γωνία ανοίγματος της ρωγμής

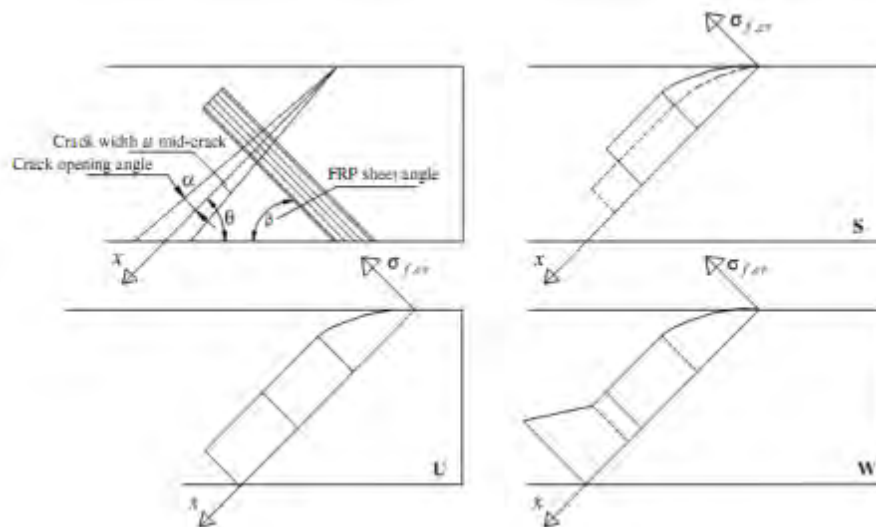
Με την υπόθεση της συμμετρίας στις δύο αντίθετες πλευρές της ρωγμής, προκαλείται ολίσθηση στη λωρίδα/φύλλο, η οποία διαπερνά αυτή τη γωνία:

$$u(a, x) = \frac{w(x)}{2} \sin(\theta + \beta) = \frac{1}{2} ax \sin(\theta + \beta) \quad (4.82)$$

Οι συνοριακές συνθήκες προκύπτουν ανάλογα με τον τρόπο εξωτερικής ενίσχυσης της δοκού και είναι οι εξής:

$$l_b(x) = \begin{cases} \min \{l_{b,top}(x), l_{b,bot}(x)\} & , S \\ l_{b,top}(x) & , U \\ \max \{l_{b,top}(x), l_{b,bot}(x)\} & , W \end{cases} \quad (4.83)$$

Όπου  $l_{b,top}(x), l_{b,bot}(x)$ : διαθέσιμα μήκη αγκύρωσης, ξεκινώντας από τον άξονα της ρωγμής προς το άνω άκρο της λωρίδας/υφάσματος και το κάτω άκρο, αντίστοιχα.



**Σχήμα 4.20** Κατανομές τάσεων κατά μήκος της διατμητικής ρωγμής για τις τρεις περιπτώσεις ενίσχυσης (S-Side Bonding, U – U Jacketing, W- Full Wrapping) (Monti & Lionta, 2007)

Η κατανομή των τάσεων στο σύνθετο υλικό ΙΟΠ κατά μήκος της ρωγμής,  $\sigma_{f,cr}(x)$ , προσδιορίζεται με τη συμβολή του πλάτους ανοίγματος της ρωγμής και τις συνοριακές συνθήκες. Προκειμένου να καθοριστεί η συμβολή του σύνθετου υλικού στη διατμητική αντοχή, η ενεργός τάση κατά μήκος της διατμητικής ρωγμής προκύπτει ως εξής:

$$\sigma_{fe}(a) = \frac{1}{\frac{z}{\sin \theta}} \int_0^{\frac{z}{\sin \theta}} \sigma_{f,cr} [u(a,x), l_b(x)] dx \quad (4.84)$$

Η ενεργός τάση σχεδιασμού προκύπτει από τη λύση της εξίσωσης :

$$\frac{d\sigma_{fe}(a)}{da} = 0$$

Στο Σχήμα 4.20 παρατηρούμε τις κατανομές των τάσεων κατά μήκος της διατμητικής ρωγμής για όλους τους τύπους ενισχύσεων. Στη συνέχεια, παρατίθενται οι σχέσεις υπολογισμού της ενεργούς τάσης και της συνολικής συμβολής στη διατμητική αντοχή, για κάθε τύπο ενίσχυσης:

- **Δίπλευρη ενίσχυση (side bonding)**

Η ενεργός τάση ισούται με:

$$f_{fed} = f_{fdd} \frac{z_{rid,eq}}{\min\{0,9d, h_w\}} \left( 1 - 0,6 \sqrt{\frac{l_{eq}}{z_{rid,eq}}} \right)^2 \quad [MPa \text{ ή } N / mm^2] \quad (4.85)$$

**Όπου**

$$l_{eq} = \frac{s_f}{\frac{f_{fdd}}{E_f}} \sin \beta \quad [mm] \quad (\text{το } s_f \text{ δηλώνει την ολίσθηση του σύνθετου υλικού κατά}$$

την αποκόλληση και λαμβάνεται ίσο με 0,2 mm)

$$z_{rid,eq} = \min\{0,9d, h_w\} - l_e \sin \beta + l_{eq} \quad [mm]$$

Το σύνθετο υλικό λαμβάνει το ρόλο της γεφύρωσης της διατμητικής ρωγμής και η τέμνουσα σχεδιασμού υπολογίζεται από τη σχέση:

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \min\{0,9d, h_w\} f_{fed} 2t_f \frac{\sin \beta}{\sin \vartheta} \frac{w_f}{p_f} [N] \quad (4.86)$$

Όπου  $\gamma_{Rd}$  : μερικός συντελεστής ασφαλείας, με προτεινόμενη τιμή 1,20

- **Τρίπλευρη ενίσχυση (U-Jacketing)**

Η ενεργός τάση ισούται με:

$$f_{fed} = f_{fd} \left[ 1 - \frac{1}{3} \frac{l_e \sin \beta}{\min\{0,9d, h_w\}} \right] [MPa \text{ ή } N/mm^2] \quad (4.87)$$

Βάσει του ισοδύναμου δικτυώματος Mörsch, η τέμνουσα σχεδιασμού που αναλαμβάνει το σύνθετο υλικό εκφράζεται ως:

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} 0,9d f_{fed} 2t_f (\cot \vartheta + \cot \beta) \frac{w_f}{p_f} [N] \quad (4.88)$$

- **Κλειστή ενίσχυση (Full Wrapping)**

Η ενεργός τάση ισούται με:

$$f_{fed} = f_{fd} \left[ 1 - \frac{1}{6} \frac{l_e \sin \beta}{\min\{0,9d, h_w\}} \right] + \frac{1}{2} (\varphi_R f_{fd} - f_{fd}) \left[ 1 - \frac{l_e \sin \beta}{\min\{0,9d, h_w\}} \right] [MPa \text{ ή } N/mm^2] \quad (4.89)$$

Όπου  $f_{fd}$  : η αντοχή σχεδιασμού του σύνθετου υλικού [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]

Βάσει του ισοδύναμου δικτυώματος Mörsch, η τέμνουσα σχεδιασμού που αναλαμβάνει το σύνθετο υλικό εκφράζεται ως:

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} 0,9df_{fed} 2t_f (\cot \vartheta + \cot \beta) \frac{w_f}{p_f} [N] \quad (4.90)$$

Έπειτα από εκτενή μελέτη των αναλυτικών και των πειραματικών αποτελεσμάτων, οι Monti & Liotta πρότειναν την υιοθέτηση κάποιων περιορισμών στην περίπτωση χρήσης λωρίδων. Το πλάτος,  $w_f$  και η απόσταση των λωρίδων,  $p_f$  πρέπει να ακολουθούν τους εξής κανόνες:

$$\begin{aligned} 50mm &\leq w_f \leq 250mm \\ p_f &\leq \min \{0,5d, 3w_f, w_f + 200mm\} \\ p_f &\geq 2w_f \end{aligned}$$

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι οι προτεινόμενες εξισώσεις των Monti & Liotta, 2007 έχουν συμπεριληφθεί στον Ιταλικό Κανονισμό για την ενίσχυση με ινοπλισμένα πολυμερή (FRP).

## 4.8 fib Design Proposal (2001)

Το 2001 η ομάδα εργασίας της *fib* (Fédération Internationale du Béton), στην τεχνική αναφορά της σχετικά με την ενίσχυση δομικών στοιχείων με ινοπλισμένα πολυμερή (FRP) (Fib-TG9.3, 2001), πρότεινε για σχεδιασμό της ενίσχυσης σε τέμνουσα τις σχέσεις των Triantafillou & Antonopoulos, 2000.

### 4.8.1 Εξισώσεις σχεδιασμού

Η συμβολή των ΙΟΠ στη διατμητική αντοχή της δοκού σύμφωνα με την Παγκόσμια Ομοσπονδία Σκυροδέματος (*fib*) υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση, η οποία είναι όμοια με την αντίστοιχη προτεινόμενη σχέση των Triantafillou & Antonopoulos, 2000:

$$V_{fd} = 0,9\varepsilon_{fd,e} E_{fu} \rho_f b_w d (\cot \theta + \cot a) \sin a [kN] \quad (4.90)$$

**Όπου**

$\alpha$  : η γωνία που σχηματίζει η κύρια διεύθυνση των ινών του σύνθετου υλικού με τον οριζόντιο άξονα του στοιχείου

$\theta$  : η γωνία που σχηματίζει η διατμητική ρωγμή με τον οριζόντιο άξονα του στοιχείου

$E_{fu}$  : το μέτρο ελαστικότητας του σύνθετου υλικού [GPa ή KN/mm<sup>2</sup>]

$\varepsilon_{fd,e}$  : η ενεργός παραμόρφωση σχεδιασμού του σύνθετου υλικού, η οποία ορίζεται στα πλαίσια της ασφαλείας για το σχεδιασμό ως εξής:

$$\varepsilon_{fd,e} = \frac{\varepsilon_{fk,e}}{\gamma_f} \quad (4.91)$$

**Όπου**

$\varepsilon_{fk,e}$ , η χαρακτηριστική ενεργός παραμόρφωση όπως ορίζεται πιο πάνω:  $\varepsilon_{fk,e} = 0,8\varepsilon_{f,e}$

$\gamma_f$  : μερικός συντελεστής ασφαλείας υλικού, ίσος με 1,30 αν πρόκειται για αστοχία λόγω αποκόλλησης και ίσο με την κατάλληλη τιμή του παρακάτω Πίνακα ανάλογα με το είδος του σύνθετου υλικού, αν πρόκειται για αστοχία λόγω θραύσης των ινών:

**Πίνακας 4.1** : Μερικός συντελεστής ασφαλείας υλικού (Τριανταφύλλου, 2004)

<i>Τύπος ινών</i>	<i>Εφαρμογή τύπου A<sup>(1)</sup></i>	<i>Εφαρμογή τύπου B<sup>(2)</sup></i>
<i>Άνθρακας</i>	<b>1,20</b>	<b>1,35</b>
<i>Αραμίδιο</i>	<b>1,25</b>	<b>1,45</b>
<i>Γυαλί</i>	<b>1,30</b>	<b>1,50</b>

1. Χρήση ελασμάτων προκατασκευασμένων σε συνήθεις συνθήκες. Χρήση υφασμάτων σε συνθήκες υψηλής στάθμης ποιοτικού ελέγχου της εφαρμογής.
2. Χρήση υφασμάτων σε συνθήκες συνήθους στάθμης ποιοτικού ελέγχου. Χρήση οποιουδήποτε υλικού σε δύσκολες συνθήκες επιτόπου εφαρμογής.

Η ενεργός παραμόρφωση δίνεται από τους τύπους (4.1), (4.2) και (4.3) του μοντέλου των Triantafyllou & Antonopoulos, (2000) όπου το  $f_c$  αντικαθίσταται από τη μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος  $f_{cm}$  και προτείνεται ένα άνω όριο για την τιμή της ίσο με 0,006.

$$\varepsilon_{f,e} \leq 0,006 \quad (4.92)$$

Τελικά, γίνονται κάποιες προτάσεις για το σχεδιασμό με βάση τις παραπάνω εξισώσεις. Όπως είναι σαφές, η πλήρης περιτύλιξη είναι πιο αποτελεσματική από τη μερική επικόλληση. Όταν η κλειστή ενίσχυση δεν είναι εφικτή (π.χ. στην περίπτωση πλακοδοκών που δεν υπάρχει πρόσβαση στο άνω άκρο τους), προτείνεται η αγκύρωση του σύνθετου υλικού στη θλιβόμενη ζώνη του μέλους. Επίσης, μια επιπρόσθετη πρόταση σχεδιασμού είναι ο περιορισμός της απόστασης των λωρίδων,  $s_f$ . Η απόσταση των λωρίδων όταν χρησιμοποιούνται κάθετα δεν πρέπει να υπερβαίνει την ποσότητα  $\left(0,9d - \frac{b_f}{2}\right)$ , για ορθογωνικές διατομές και  $\left(d - h_f - \frac{b_f}{2}\right)$ , για πλακοδοκούς, όπου  $h_f$ : το πάχος της πλάκας. Αυτός ο περιορισμός στοχεύει στην εξασφάλιση ότι η διατμητική ρωγή θα περνάει μέσα από μια λωρίδα τουλάχιστον. Το μειονέκτημα της παρούσας πρότασης έγκειται στο γεγονός ότι το μήκος αγκύρωσης του ΙΟΠ δε λαμβάνεται υπόψη για λόγους απλοποίησης της σχεδιαστικής προσέγγισης.

#### 4.9 ACI Design Proposal (2008)

Ο κώδικας 440.2R-08 της ACI (American Concrete Institute) συντάχθηκε από την ACI Committee 440 (ACI Committee 440, 2008), για τον υπολογισμό της τέμνουσας που αναλαμβάνουν τα σύνθετα υλικά που επικολλούνται εξωτερικά σε ένα στοιχείο τύπου δοκού, βασιζόμενος σε ένα παλαιότερο μοντέλο των Khalifa et al., 1998.

Η τέμνουσα που αναλαμβάνουν τα σύνθετα υλικά που επικολλούνται εξωτερικά σε μια δοκό υπολογίζεται από τη σχέση (4.8) των Khalifa et al., 1998 πολλαπλασιασμένη με έναν επιπλέον συντελεστή  $\Psi_f$ :

$$V_f = \Psi_f \varphi \frac{A_{fv} f_{fe} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_{fv}}{s_f} [N] \quad (4.93)$$



### Όπου

$A_{fv}$  : η επιφάνεια του εξωτερικά επικολλούμενου σύνθετου υλικού [ $mm^2$ ], ίση με:

$$A_{fv} = 2nt_f w_f \left[ mm^2 \right] \quad (4.94)$$

$n$  : ο αριθμός των στρώσεων του σύνθετου υλικού

$\alpha$  : κύρια γωνία διεύθυνσης των ινών ως προς το διαμήκη άξονα του στοιχείου

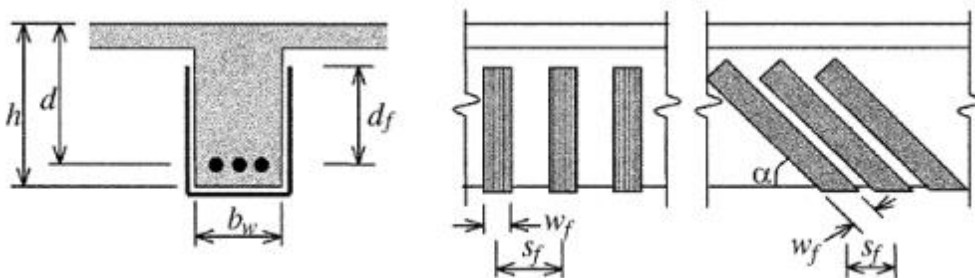
$d_{fv}$  : το ενεργό ύψος του σύνθετου υλικού, μετρούμενο ως το κέντρο του διαμήκους εφελκυσμού [mm]

$\psi_f$  : επιπρόσθετος μειωτικός συντελεστής, ίσος με 0,95 για διάταξη ενίσχυσης W (πλήρης περιτύλιξη ή Full Wrapping), και ίσος με 0,85 για διατάξεις U ή S (U-Jacketing ή Side Bonding)

$f_{fe}$  : η ενεργός τάση στο σύνθετο υλικό, η οποία ισούται με:

$$f_{fe} = \varepsilon_{fe} E_f \left[ MPa \text{ ή } N / mm^2 \right] \quad (4.95)$$

$E_f$  : το μέτρο ελαστικότητας του ΙΟΠ [ $MPa$  ή  $N/mm^2$ ]



Σχήμα 4.21 Γεωμετρικά στοιχεία της ενίσχυσης (Khalifa, et al., 1998)

Ο υπολογισμός της τιμής της ενεργούς παραμόρφωσης  $\varepsilon_{fe}$ , διακρίτοποιείται ανάλογα με τη διάταξη ενίσχυσης ως εξής κι οι σχεδιαστικοί συντελεστές έχουν προκύψει από εκτενή μελέτη πάνω στο συνδυασμό αναλυτικών και πειραματικών αποτελεσμάτων (Khalifa et al., 1998):

- Για κλειστή ενίσχυση (**full wrapping**) ή επαρκώς αγκυρωμένη στη θλιβόμενη ζώνη του μέλους:

$$\varepsilon_{fe} = 0,004 \leq 0,75\varepsilon_{fu} \quad (4.96)$$

όπου  $\varepsilon_{fu}$ : η παραμόρφωση θραύσης του σύνθετου υλικού, προσεγγιστικά ίση με την παραμόρφωση θραύσης των ινών

Η τιμή 0,004 δίνεται ως άνω όριο για να αποφευχθεί η μείωση της συμβολής του σκυροδέματος στην ανάληψη διατμητικών δυνάμεων μέσω του μηχανισμού της αλληλεμπλοκής των αδρανών.

- Για τρίπλευρη ή δίπλευρη ενίσχυση (**U-jacketing** ή **side bonding**):

$$\varepsilon_{fe} = k_v \varepsilon_{fu} \leq 0,004 \quad (4.97)$$

Όπου  $k_v$ : μειωτικός συντελεστής λόγω των συνθηκών συνάφειας, οι οποίες εξαρτώνται από την ποιότητα του σκυροδέματος, την ακαμψία και την διάταξη ενίσχυσης του σύνθετου υλικού ο οποίος υπολογίζεται ως εξής:

$$k_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \varepsilon_{fu}} \leq 0,75 \quad (4.98)$$

**Όπου**

$L_e$ : το ενεργό μήκος αγκύρωσης [mm], το μήκος για το οποίο η τάση συνάφειας διατηρείται αναλλοίωτη και υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$L_e = \frac{23300}{(n t_f E_f)^{0,58}} \quad [mm] \quad (4.99)$$

**Όπου**

$n$ : ο αριθμός των στρώσεων του εξωτερικά επικολλούμενου σύνθετου υλικού

$k_1$  : συντελεστής, ο οποίος εξαρτάται από την ποιότητα του σκυροδέματος και είναι ίσος με:

$$k_1 = \left( \frac{f'_c}{27} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (4.100)$$

$k_2$  : συντελεστής, ο οποίος εξαρτάται από τον τρόπο επικόλλησης και ισούται με:

$$k_2 = \begin{cases} \frac{d_{fv} - L_e}{d_{fv}} & , U - Jacket \\ \frac{d_{fv} - 2L_e}{d_{fv}} & , S - bonding \end{cases} \quad (4.101)$$

Τελικά, προτείνεται η χρήση μηχανικών αγκυρώσεων στα άκρα του σύνθετου υλικού για αύξηση της απόδοσης της εξωτερικής ενίσχυσης. Επίσης, η απόσταση των λωρίδων από σύνθετο υλικό πρέπει να βρίσκεται εντός των ορίων που ορίζει ο κανονισμός ACI 318-05 για τις αποστάσεις των εσωτερικών σιδερένιων οπλισμών διάτμησης.

#### 4.10 Eurocode 8 – Part 3 Design Proposal (EN 1998-3:2005)

Οι σχέσεις που προτείνει ο Ευρωκώδικας 8, βασίστηκαν στο μοντέλο των Monti & Liotta, (2007), με μικρές τροποποιήσεις. Στην πορεία, παρατίθενται όλες οι σχέσεις για τον υπολογισμό της τέμνουσας που αναλαμβάνει το σύνθετο υλικό, ανάλογα με τη μορφή επικόλλησης της ενίσχυσης (CEN, 2005). Ο ορισμός των γεωμετρικών μεγεθών είναι ίδιος με αυτόν που έχει προηγηθεί στην παρουσίαση του προσομοιώματος των Monti & Liotta, 2007.

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα, για μέλη ορθογωνικής διατομής η συνεισφορά του ΙΟΠ στη διατμητική αντοχή,  $V_{Rd,f}$ , μπορεί να υπολογιστεί βάση των ακόλουθων σχέσεων:

- Για κλειστού τύπου περιτύλιξη και για επικόλληση τύπου U:

$$V_{Rd,f} = 0,9df_{fd,e}2t_f \left( \frac{w_f}{s_f} \right)^2 (\cot \theta + \cot \beta) \sin \beta \quad [N] \quad (4.102)$$

- Για ΙΟΠ επικολλημένα μόνο στις παρειές της δοκού (side bonded):

$$V_{Rd,f} = 0,9df_{fdd,e}2t_f \frac{\sin \beta}{\sin \vartheta} \frac{w_f}{s_f} [N] \quad (4.103)$$

### Όπου

$d$  : το ενεργό ύψος της διατομής από τη θλιβόμενη ζώνη μέχρι το κέντρο του διαμήκη εφελκόμενου οπλισμού [mm]

$\vartheta$  : η γωνία της διατμητικής ρωγμής ως προς το διαμήκη άξονα του στοιχείου

$\beta$  : η κύρια γωνία διεύθυνσης των ινών ως προς το διαμήκη άξονα του στοιχείου

$t_f$  : το πάχος του σύνθετου υλικού [mm]

$w_f$  : το πλάτος των λωρίδων κάθετα στη διεύθυνση των ινών [mm]

$s_f$  : η απόσταση των λωρίδων μετρημένη από κέντρο σε κέντρο, κάθετα στην κύρια διεύθυνση των ινών [mm]

Σε περίπτωση συνεχούς φύλλου λαμβάνεται:  $w_f = s_f$

Επισημαίνεται επίσης, ότι η ποσότητα  $w_f$  σε περίπτωση συνεχούς μανδύα λαμβάνεται από τη σχέση:

$$w_f = \min(0,9d, h_w) \frac{\sin(\theta + \beta)}{\sin \vartheta} [mm] \quad (4.104)$$

$f_{fdd,e}$  : η ενεργός τάση σχεδιασμού αποκόλλησης του ΙΟΠ [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]

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

- Για πλήρως περιτυλιγμένα (fully wrapped) ΙΟΠ ή αγκυρωμένα (στη θλιπτική ζώνη), η τιμή σχεδιασμού της ενεργής αντοχής αποκόλλησης του ΙΟΠ υπολογίζεται από την εξής σχέση:

$$f_{fdd,e,w} = f_{fdd} \left[ 1 - k \frac{L_e \sin \beta}{2z} \right] + \frac{1}{2} (f_{fu,w(R)} - f_{fdd}) \left[ 1 - \frac{L_e \sin \beta}{z} \right] \quad [MPa \text{ ή } N/mm^2] \quad (4.105)$$

**Όπου**

$z = 0,9d$  [mm], ο εσωτερικός μοχλοβραχίονας των δυνάμεων

$$k = \left( 1 - \frac{2}{\pi} \right)$$

$f_{fdd}$  : η τάση σχεδιασμού αποκόλλησης του ΙΟΠ, οποία δίνεται ως εξής:

$$f_{fdd} = \frac{1}{\gamma_{fd}} \sqrt{0,6 \frac{E_f f_{ctm} k_b}{t_f}} \quad [MPa \text{ ή } N/mm^2] \quad (4.106)$$

**Όπου**

$\gamma_{fd}$  : συντελεστής σχετικός με την αποκόλληση του ΙΟΠ, με προτεινόμενη τιμή  $\gamma_{fd} = 1,5$

$E_f$  : το μέτρο ελαστικότητας του FRP [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]

$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{\frac{2}{3}}$  : η μέση εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]

$f_{ck}$  : η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλίνδρου σκυροδέματος [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]

$k_b$  : συντελεστής επικάλυψης, ο οποίος δίνεται από τον εξής τύπο:

$$k_b = \sqrt{1,5 \frac{\left( 2 - \frac{w_f}{s_f} \right)}{\left( 1 + \frac{w_f}{100} \right)}} \quad (4.107)$$

$f_{fu,w(R)}$  : μέγιστη αντοχή του ΙΟΠ που περιτυλίγεται γύρω από γωνία με ακτίνα  $R$  και δίνεται από τη σχέση:

$$f_{fu,w(R)} = f_{jdd} + \langle \eta_R f_{fu} - f_{jdd} \rangle \quad [MPa \text{ ή } N / mm^2] \quad (4.108)$$

Όπου ο δεύτερος όρος  $\langle \eta_R f_{fu} - f_{jdd} \rangle$  πρέπει να λαμβάνεται υπόψη μόνο αν είναι θετικός και όπου ο συντελεστής  $\eta_R$  εξαρτάται από την ακτίνα καμπυλότητας  $R$  και το πλάτος του δομικού στοιχείου  $b_w$  [mm]:

$$\eta_R = 0,2 + 1,6 \frac{R}{b_w} \quad 0 \leq \frac{R}{b_w} \leq 0,5 \quad (4.109)$$

$L_e$ : το ενεργό μήκος αγκύρωσης, το οποίο δίνεται από τη σχέση:

$$L_e = \sqrt{\frac{E_f t_f}{\sqrt{4\tau_{\max}}}} \quad [mm] \quad (4.110)$$

Όπου  $\tau_{\max}$ : η μέγιστη διατμητική αντοχή συνάφειας η οποία ισούται με:

$$\tau_{\max} = 1,8 f_{cm} k_b \quad [MPa \text{ ή } N / mm^2] \quad (4.111)$$

- **Για ανοικτού τύπου ΙΟΠ (μορφής U)** χωρίς χρήση αγκυρίων η τιμή σχεδιασμού της ενεργής αντοχής αποκόλλησης του ΙΟΠ υπολογίζεται ως εξής:

$$f_{jdd,e,U} = f_{jdd} \left[ 1 - k \frac{L_e \sin \beta}{z} \right] \quad [MPa \text{ ή } N / mm^2] \quad (4.112)$$

Όπου όλες οι μεταβλητές έχουν οριστεί πιο πάνω.

- **Για χρήση πλευρικών μόνο ΙΟΠ χωρίς αγκύρια** η τιμή σχεδιασμού της ενεργής αντοχής αποκόλλησης του ΙΟΠ υπολογίζεται ως εξής:

$$f_{jdd,e,S} = f_{jdd} \frac{z_{rid,eq}}{z} \left( 1 - \sqrt{k \frac{L_{eq}}{z_{rid,eq}}} \right)^2 \quad [MPa \text{ ή } N / mm^2] \quad (4.113)$$

### ΠΟπου

$$z_{rid,eq} = z_{rid} + L_{eq} \text{ [mm]}$$

$$z_{rid} = z - L_e \sin \beta \text{ [mm]}$$

$$L_{eq} = \frac{u_1}{\varepsilon_{fdd}} \sin \beta$$

$$\text{Με } u_1 = \frac{k_b}{3}, \quad \varepsilon_{fdd} = \frac{f_{fdd}}{E_f} \text{ (παραμόρφωση σχεδιασμού αποκόλλησης)}$$

### 4.11 Ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων (2017)

Σύμφωνα με το αναθεωρημένο εναρμονισμένο κείμενο του Ελληνικού Κανονισμού Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) του 2017, ο υπολογισμός της συνεισφοράς των σύνθετων υλικών στη συνολική τέμνουσα που αναλαμβάνει μια δοκός βασίστηκε στο μοντέλο των Chen & Teng, 2003, όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στην περίπτωση ενίσχυσης με εξωτερικά στοιχεία από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή, η τέμνουσα αντοχής σχεδιασμού λόγω οπλισμού διάτμησης,  $V_{Rd,tot}$ , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$V_{Rd,tot} = V_{Rd,s} + V_{jd}$$

### Όπου

$V_{Rd,s}$ : η τέμνουσα που αναλαμβάνουν οι συνδετήρες του στοιχείου

$V_{jd}$ : η τέμνουσα που αναλαμβάνει ο οπλισμός διάτμησης του σύνθετου υλικού, ο οποίος υπολογίζεται ως εξής:

$$V_{jd} = \sigma_{jd} \rho_j b_w h_{j,ef} (\cot \vartheta + \cot a) \sin^2 a \quad [N] \quad (4.115)$$

**Όπου**

$b_w$  : το πλάτος της διατομής [mm]

$\theta$  : η γωνία μεταξύ του άξονα του στοιχείου και της διεύθυνσης της διατμητικής ρωγμής, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ίση με  $45^\circ$

$\alpha$  : η γωνία της διεύθυνσης των ινών ως προς τον άξονα του στοιχείου

$h_{j,ef}$  : το ενεργό (για την ανάληψη της τέμνουσας) ύψος της ενίσχυσης, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ίσο με  $h_{j,ef} = \frac{2}{3}d$  [mm]

$d$  : το ενεργό ύψος της διατομής από τη θλιβόμενη ζώνη μέχρι το κέντρο του διαμήκη εφελκόμενου οπλισμού [mm]

$\rho_j$  : το γεωμετρικό ποσοστό του εξωτερικού οπλισμού, το οποίο ορίζεται ως:

$$\rho_j = \frac{2A_j}{s_j b_w \sin \alpha} \quad (4.116)$$

**Όπου**

$A_j = t_j w_j$ , το εμβαδόν του εξωτερικά επικολλούμενου οπλισμού [mm<sup>2</sup>]

$t_j$  : το πάχος του εξωτερικού οπλισμού [mm], το οποίο ισούται με:

$$t_j = \psi k t_{j1} \quad (4.117)$$

$t_{j1}$  : το πάχος της μίας στρώσης σύνθετου υλικού ενίσχυσης [mm]

$\psi$  : μειωτικός συντελεστής πολλαπλών στρώσεων ίσος με 1, αν ο αριθμός στρώσεων είναι

$k \leq 4$ , αλλιώς δίνεται από τη σχέση:  $\psi = k^{-\frac{1}{4}}$

$w_j$  : το πλάτος του εξωτερικού οπλισμού [mm]

$s_j$  : η αξονική απόσταση του εξωτερικού οπλισμού [mm]

Σε περίπτωση συνεχούς φύλλου λαμβάνεται:  $w_j = s_j$

$\sigma_{jd}$  : η ενεργός τάση σχεδιασμού του σύνθετου υλικού [MPa ή N/mm<sup>2</sup>], η οποία εκτιμάται με βάση μια κρίσιμη τιμή της τάσης,  $\sigma_{j,crit}$  ή της παραμόρφωσης,  $\varepsilon_{j,crit}$ , ανάλογα με τη μορφή



αστοχίας . Ως τιμή σχεδιασμού  $\sigma_{jd}$ , θεωρείται αυτή που αντιστοιχεί στη δυσμενέστερη από τις δύο ακόλουθες μορφές αστοχίας.

#### 4.11.1 Αστοχία του ίδιου του υλικού ενίσχυσης

Έναντι αυτής πρέπει:

$$\sigma_{jd} \leq \frac{1}{\gamma_m} f_{jk} \quad (4.118)$$

Όπου

$\gamma_m$ : συντελεστής ασφαλείας του ΙΟΠ, λαμβάνεται ίσος με 1,20

$f_{jk}$ : χαρακτηριστική τιμή αντοχής του σύνθετου υλικού [MPa ή N/mm<sup>2</sup>], η οποία δίνεται ως εξής:

$$f_{jk} = E_j \varepsilon_{j,crit} \quad (4.119)$$

Όπου

$E_j$ : το μέτρο ελαστικότητας του υλικού ενίσχυσης [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]

Όταν χρησιμοποιείται ΙΟΠ, η αστοχία του υλικού μπορεί να συμβεί υπό παραμορφώσεις σημαντικά μικρότερες της συμβατικής παραμόρφωσης αστοχίας του υλικού, λόγω τοπικής υπερκαταπόνησης στη θέση όπου γεφυρώνεται το μεγαλύτερο άνοιγμα μιας κρίσιμης διατμητικής ρωγμής. Έναντι αυτού του δυσμενούς ενδεχομένου, λαμβάνεται:

$$\varepsilon_{j,crit} = k_v \varepsilon_{j,max} \quad (4.120)$$

Όπου

$k_v$ : συντελεστής που εκφράζει την περίπου τριγωνική κατανομή των παραμορφώσεων κατά μήκος της κρίσιμης λοξής ρωγμής και λαμβάνεται  $k_v = \frac{1}{2}$

$$\varepsilon_{j,max} = \varepsilon_{ju} \psi \leq 1,5\% \quad (4.121)$$

**Όπου**

$\varepsilon_{ju}$  : η μέγιστη εφελκυστική παραμόρφωση του υλικού

Η **μέγιστη τιμή**  $\varepsilon_{j,max} = 1,5\%$  στοχεύει στον περιορισμό του ανοίγματος μιας κρίσιμης λοξής ρωγμής πέραν της οποίας μειώνεται η συμβολή του σκυροδέματος στη διατμητική αντοχή του μέλους.

#### 4.11.2 Αστοχία λόγω πρόωρης αποκόλλησης

Έναντι αυτής της αστοχίας πρέπει:

$$\sigma_{jd} \leq \frac{\sigma_{j,crit}}{\gamma_{Rd}} \quad (4.122)$$

**Όπου**

$\gamma_{Rd}$  : συντελεστής αβεβαιότητας του προσομοιώματος, λαμβάνεται ίσος με 1,20

$\sigma_{j,crit}$  : κρίσιμη τάση σχεδιασμού [MPa ή N/mm<sup>2</sup>], η οποία υπολογίζεται από τον εξής τύπο:

$$\sigma_{j,crit} = k_v \sigma_{j,max} \quad (4.123)$$

**Όπου**

$$k_v = 0,4 + 0,25\lambda \leq 0,65$$

$$\lambda = \frac{L_{av}}{L_e} \quad (4.124)$$

$L_{av}$  : το διατιθέμενο μήκος αγκύρωσης του ΙΟΠ [mm], λαμβάνεται ίσο με το  $h_{j,ef}$

$L_e$  : το ενεργό μήκος αγκύρωσης, δηλαδή το μήκος πέραν του οποίου η αναλαμβανόμενη δύναμη από το υλικό ενίσχυσης δεν αυξάνεται και μπορεί να ληφθεί από τη σχέση:

$$L_e = \sqrt{\frac{E_j t_j}{2 f_{cm}}} \quad [mm] \quad (4.125)$$

**Όπου**

$f_{cm} = 0,3 f_{ck}^{\frac{2}{3}}$  : η μέση εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]

$f_{ck}$  : η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλίνδρου σκυροδέματος [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]

$$\sigma_{j,max} = \beta \frac{\tau_b^{αποκ.}}{t_j} L_e \quad [MPa \text{ ή } N/mm^2] \quad (4.126)$$

**Όπου**

$\tau_b^{αποκ.} \cong f_{cm}$  [MPa ή N/mm<sup>2</sup>]

$\beta = \beta_w \beta_L$ , διορθωτικός συντελεστής

$\beta_w$ : συντελεστής επιρροής πλάτους οπλισμού ενίσχυσης, ίσος με:

$$\beta_w = \sqrt{\frac{2 - \frac{w_j}{s_j \sin a}}{1 + \frac{w_j}{s_j \sin a}}} \quad (4.127)$$

$\beta_L$ : συντελεστής επιρροής διατιθέμενου μήκους αγκύρωσης, ο οποίος ισούται με:

$$\beta_L = \sin\left(\frac{\pi \lambda}{2}\right) \cong \lambda(2 - \lambda) \quad (4.128)$$

$\beta_L = 1$ , αν  $\lambda \geq 1$

## 5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

### 5.1 Εισαγωγή

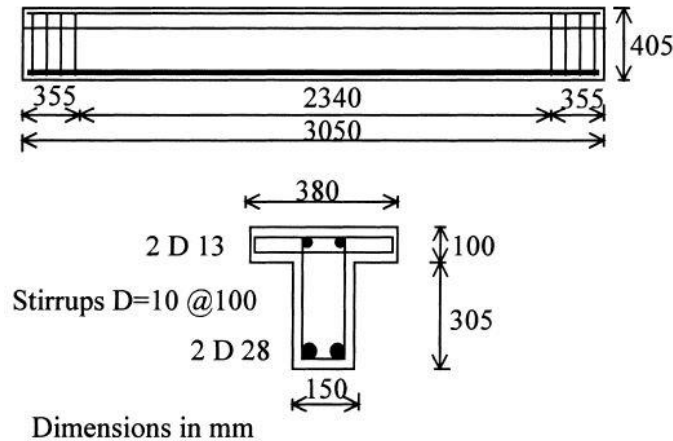
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν αναλυτικά κάποιες έρευνες – πειράματα που έχουν διενεργηθεί στο παρελθόν και έχουν σχέση με τη διατμητική ενίσχυση δοκών οπλισμένου σκυροδέματος με τη χρήση σύνθετων υλικών. Παλαιότεροι συμφοιτητές μου είχαν ασχοληθεί με το ανάλογο θέμα όμως πιο εξειδικευμένα. Δηλαδή, υπήρχε διαχωρισμός ανάλογα τη μήτρα των υλικών (κάποιοι εξέτασαν πειράματα που τα σύνθετα υλικά είχαν οργανική μήτρα και κάποιοι πειράματα των οποίων τα υλικά είχαν ανόργανη μήτρα).

Στο εν λόγω κεφάλαιο, θα παρουσιαστούν κάποια νέα, πιο σύγχρονα πειράματα καθώς και η συνολική βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε από όλα τα πειράματα που έχουν εξεταστεί και καταγραφεί. Σκοπός της έρευνας αυτής ήταν η βάση δεδομένων που ανέφερα, να βοηθήσει το μηχανικό να εξάγει σημαντικά συμπεράσματα στον τρόπο ενίσχυσης με τη χρήση των ινοπλισμένων πολυμερών.

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα πειράματα καθώς και τα αποτελέσματα.

## 5.2 Ahmed Khalifa and Antonio Nanni (1999)

Σε αυτό το πείραμα διερευνήθηκαν 6 δοκοί οπλισμένου σκυροδέματος T- διατομής συνολικού μήκους 3050 mm και ενεργού μήκους 2340 mm . Τόσο οι διαστάσεις της T – διατομής όσο και της δοκού κατά μήκος παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 5.1).



**Εικόνα 5.1** Διαστάσεις δοκών πειράματος Khalifa and Nanni , (1999)

Σε μία από τις 6 δοκούς δεν πραγματοποιήθηκε ενίσχυση, ώστε να χρησιμοποιηθεί σαν δοκιμαστική δοκός δηλαδή σαν βάση και μέσο σύγκρισης. Οι υπόλοιπες πέντε δοκοί ενισχύθηκαν με διαφορετικές μορφές CFRP (δηλαδή Ινοπλισμένα πολυμερή που ήταν παρασκευασμένα από Άνθρακα).

Οι δοκοί υποβλήθηκαν σε μονοτονική φόρτιση με κάμψη τριών σημείων και τα αποτελέσματα που εξήχθησαν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.1).

Εκεί υπάρχει το όνομα του δοκιμίου, το μέγιστο φορτίο που ασκήθηκε (Peak Load), ο τρόπος αστοχίας (Failure Mode), η τέμνουσα που αναλαμβάνεται από τη δοκό  $V_R$  και η τέμνουσα που αναλαμβάνει το σύνθετο υλικό  $V_f$ .

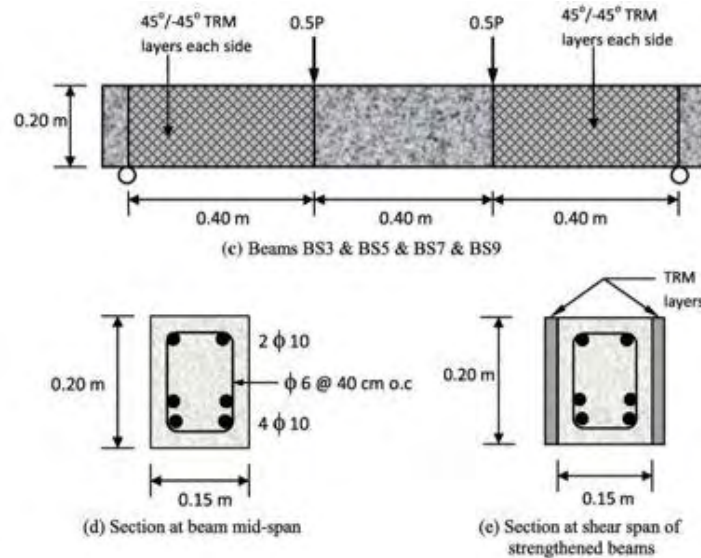
**Πίνακας 5.1** Αποτελέσματα πειραματικής διερεύνησης Khalifa and Nanni, (1999)

Khalifa and Nanni				
Specimen	Peak load(KN)	Failure Mode	VR(KN)	VF(KN)
CON	180	Shear	-	-
BT2	310	CFRP Debonding	155	65
BT3	315	CFRP Debonding	157,5	67,5
BT4	140	CFRP Debonding	162	72
BT5	243	CFRP Debonding	121,5	31,5
BT6	442	Flexure	221	131

Οι Khalifa and Nanni, (1999), καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι τα εξωτερικά επικολλούμενα ινοπλισμένα πολυμερή με άνθρακα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση δοκών σε διάτμηση καθώς στις συγκεκριμένες δοκούς, η αύξηση της δύναμης διάτμησης που επιτεύχθηκε ήταν σε ποσοστό 35 – 145 % .

### 5.3 Saleh H. Alsayed et al. (2012)

Σε αυτό το πείραμα διερευνήθηκαν 10 δοκοί οπλισμένου σκυροδέματος ορθογωνικής διατομής διαστάσεων 0.2μ X 0.15μ και συνολικού μήκους 1.2 μέτρων. Αναλυτικά οι διαστάσεις των δοκών παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 5.2).



**Εικόνα 5.2** Διαστάσεις δοκών πειράματος Alsayed et al., (2012)

Δύο δοκοί δεν ενισχύθηκαν με ινοπλισμένα πολυμερή και χρησιμοποιήθηκαν ως πειραματικές δοκοί. Οι υπόλοιπες 8 ενισχύθηκαν με πλέγμα πολυμερών που αποτελούταν από ίνες βασάλτη. Οι δοκοί υποβλήθηκαν σε μονοτονική φόρτιση με κάμψη τεσσάρων σημείων και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.2) , όπου υπάρχουν το

όνομα του δοκιμίου, το μέγιστο φορτίο που ασκήθηκε (Peak Load), ο τρόπος αστοχίας (Failure Mode), η τέμνουσα που αναλαμβάνεται από τη δοκό  $V_R$  και η τέμνουσα που αναλαμβάνει το σύνθετο υλικό  $V_f$ .

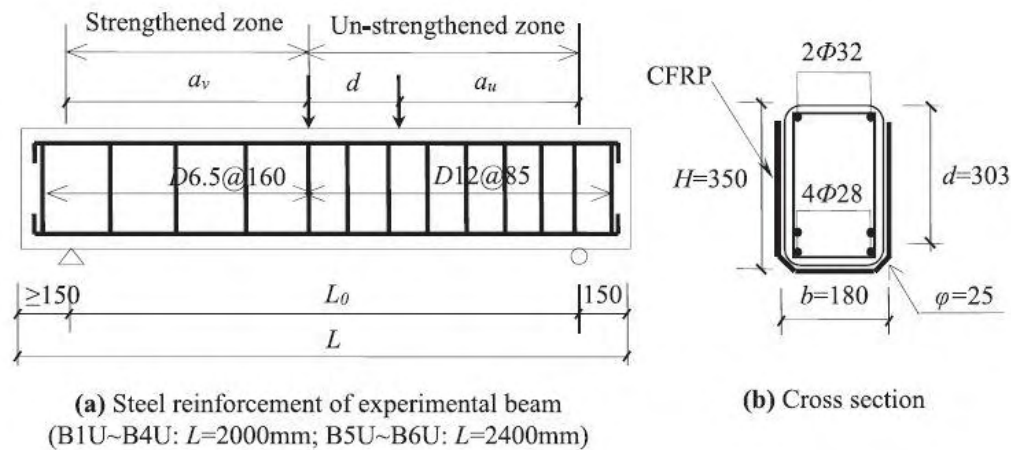
**Πίνακας 5.2** Αποτελέσματα πειραματικής διερεύνησης Alsayed et al., (2012)

Specimen	Peak Load(KN)	Failure Mode	VR(KN)	VF(KN)
B1	58.94	shear	-	-
B2	62.73	shear	-	-
B3	43.22	shear	37.18	15.53
B4	42.28	shear	34.39	15.96
B5	77.63	shear	45.89	18.57
B6	59.46	shear	40.12	20.47
B7	81.75	shear	46.98	15.89
B8	64.1	shear	44.89	15.89
B9	83.5	shear	83.5	22.23
B10	111	shear	111	31.25

Το βασικό συμπέρασμα που εξήλθε από αυτές τις πειραματικές δοκιμές ήταν ότι το τσιμεντοειδές κονίαμα τροποποιημένο με πολυμερές παρείχε καλύτερη σύνδεση μεταξύ των στρωμάτων TRM και του υποστρώματος από το τσιμέντο. Τα στρώματα κονιάματος ενισχυμένα με τα επίπεδα βασάλτη πρόσθεσαν σημαντική ικανότητα κάμψης στις δοκούς οπλισμένου σκυροδέματος αφού αύξησαν την αντοχή 39-91 %.

#### 5.4 Christopher Leung and Weiwen Li (2017)

Σε αυτό το πείραμα διερευνήθηκαν 12 δοκοί οπλισμένου σκυροδέματος ορθογωνικής διατομής 0.18μ X 0.35μ συνολικού μήκους 2000 mm (B1U-B4U) και 2400 mm (B5U-B6U). Αναλυτικά οι διαστάσεις των διατομών παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 5.3).



**Εικόνα 5.3** Διαστάσεις δοκών πειράματος Leung and Li, (2017)

Από τις 12 δοκούς, οι 6 δεν ενισχύθηκαν με ινοπλισμένα πολυμερή και χρησιμοποιήθηκαν ως πειραματικές δοκοί. Οι υπόλοιπες 6 ενισχύθηκαν με U- κάλυμμα πολυμερών που αποτελούνται από άνθρακα. Οι δοκοί υποβλήθηκαν σε μονοτονική φόρτιση με κάμψη δύο σημείων και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.3), όπου υπάρχουν το όνομα του δοκιμίου, το μέγιστο φορτίο που ασκήθηκε (Peak Load), ο τρόπος αστοχίας (Failure Mode), η τέμνουσα που αναλαμβάνεται από τη δοκό  $V_R$  και η τέμνουσα που αναλαμβάνει το σύνθετο υλικό  $V_f$ .

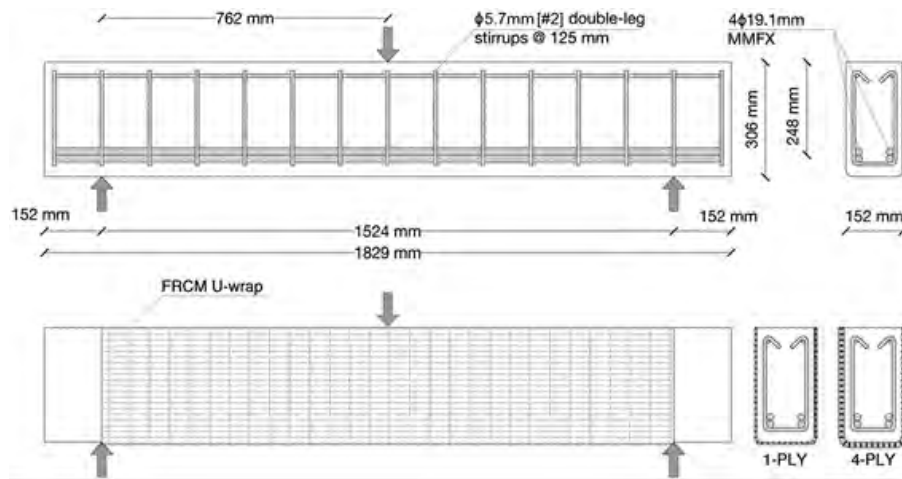
**Πίνακας 5.3** Αποτελέσματα πειραματικής διερεύνησης Leung and Li, (2017)

Leung				
Specimen	Peak Load	Failure Mode	$V_R$ (KN)	$V_f$ (KN)
B1C	806	shear	403	-
B1U	826	shear	413	10
B2C	576	shear	288	-
B2U	623	shear	325	37
B3C	428	shear	214	-
B3U	564	shear	282	68
B4C	432	shear	196	-
B4U	568	shear	258	62
B5C	454	shear	190	-
B5U	555	shear	231	41
B6C	470	shear	181	-
B6U	608	shear	234	53



## 5.5 G. Loretto et al. , (2015)

Σε αυτή την πειραματική μελέτη, έχουμε δοκούς οπλισμένου σκυροδέματος ενισχυμένες διατημητικά με ινοπλέγματα FRCM. Οι δοκοί είναι ορθογωνικής διατομής διαστάσεων 306 mm X 152 mm ενώ το συνολικό τους μήκος είναι 1829 mm. Η ενίσχυση που εφαρμόζεται είναι τύπου U . Αναλυτικά οι διαστάσεις των δοκών παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 5.4).



**Εικόνα 5.4** Διαστάσεις δοκών πειράματος των Loretto et al. (2015)

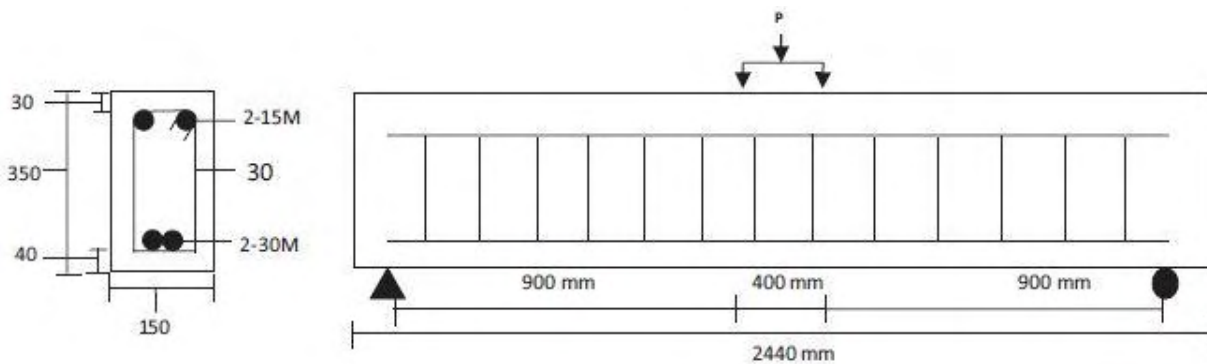
Από τις 6 δοκούς, οι 2 δεν ενισχύθηκαν με ινοπλισμένα πολυμερή και χρησιμοποιήθηκαν ως πειραματικές δοκοί. Οι υπόλοιπες 4 ενισχύθηκαν με U- κάλυμμα πολυμερών που αποτελούνται από πολυπαραφαινυλενο βενζοβισαζόλη (PBO). Οι δοκοί υποβλήθηκαν σε μονοτονική φόρτιση με κάμψη τριών σημείων και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.4 , όπου υπάρχουν το όνομα του δοκιμίου, το μέγιστο φορτίο που ασκήθηκε (Peak Load), ο τρόπος αστοχίας (Failure Mode), η τέμνουσα που αναλαμβάνεται από τη δοκό  $V_R$  και η τέμνουσα που αναλαμβάνει το σύνθετο υλικό  $V_f$  .

**Πίνακας 5.4** Αποτελέσματα πειραματικής διερεύνησης Loretto et al., (2015)

Loretto				
Specimen	Peak Load	Failure Mode	VR(KN)	VF(KN)
L0	-	-	-	-
L1	203	fiber strands slip	101.65	18.14
L4	231	partial delamin	125.57	42.15
H0	-	-	-	-
H1	251	fiber strands slip	115.58	23.955
H4	295	partial delamin	147.85	56.215

### 5.6 Daniel Baggio, Khaled Soudki and Martin Noel (2014)

Σε αυτό το πείραμα διερευνήθηκαν 9 δοκοί οπλισμένου σκυροδέματος ορθογωνικής διατομής διαστάσεων 350mm X 150mm ύψους και πλάτους αντίστοιχα και συνολικού μήκους 2440 mm. Τόσο οι διαστάσεις της διατομής όσο και της δοκού κατά μήκος παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 5.5).



**Εικόνα 5.5** Διαστάσεις δοκών πειράματος Baggio et al., (2014)

Στην εν λόγω έρευνα μία δοκός χρησιμοποιήθηκε χωρίς ενίσχυση ως δοκιμαστική, ενώ οι υπόλοιπες ενισχύθηκαν με διαφορετικούς τρόπους. Οι πρώτες δύο δοκοί ενισχύθηκαν με φύλλα άνθρακα είτε τοποθετώντας αγκυρώσεις, είτε όχι. Οι επόμενες δύο με πλέγματα από FRCM επίσης με και χωρίς αγκυρώσεις και οι υπόλοιπες τέσσερις ενισχύθηκαν είτε ολόκληρες (fully wrapped) είτε μερικώς (partially wrapped) με φύλλα γυαλιού.

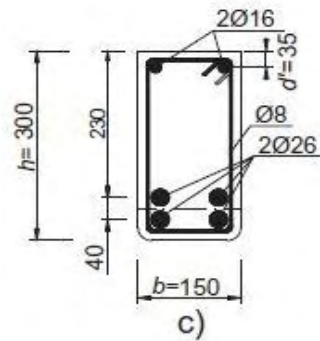
Οι δοκοί υποβλήθηκαν σε μονοτονική φόρτιση με κάμψη δύο σημείων και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.5) , όπου υπάρχουν το όνομα του δοκιμίου, το μέγιστο φορτίο που ασκήθηκε (Peak Load), ο τρόπος αστοχίας (Failure Mode), η τέμνουσα που αναλαμβάνεται από τη δοκό  $V_R$  και η τέμνουσα που αναλαμβάνει το σύνθετο υλικό  $V_f$ .

**Πίνακας 5.5** Αποτελέσματα πειραματικής διερεύνησης Baggio et al., (2014)

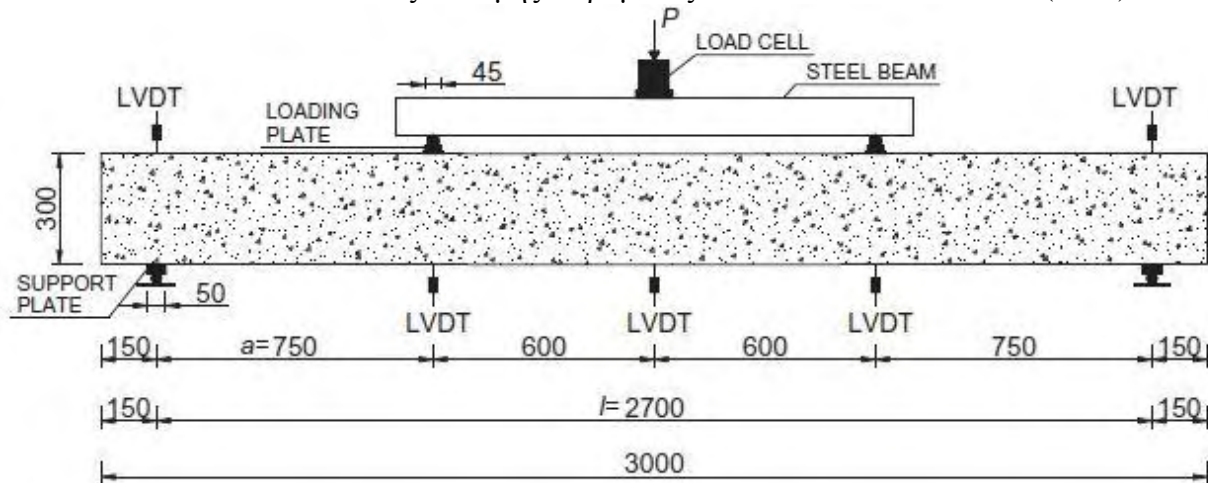
Specimen	Peak Load	Failure Mode	VR(KN)	VF(KN)
Control	223	shear	-	-
CFRP-NA	373	Flexure	430	57
CFRP-A	390	Flexure	430	40
FRCM-NA	294	shear	-	294
FRCM-A	300	shear	-	300
GFRP-A	334	shear-deb	316	18
PD-GFRP-NA	305	shear-deb	296	9
PD-GFRP-CA	310	shear-comp	386	76
PD-GFRP-GA	339	shear-comp	386	47

### 5.7 J.H. Gonzalez – Libreros , L.H. Sneed , T. D’Antino, C. Pellegrino (2017)

Σε αυτό το πείραμα διερευνήθηκαν 14 δοκοί οπλισμένου σκυροδέματος ορθογωνικής διατομής διαστάσεων 300mm X 150mm ύψους και πλάτους αντίστοιχα και συνολικού μήκους 2700 mm. Τόσο οι διαστάσεις της διατομής όσο και της δοκού κατά μήκος παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 5.6, Εικόνα 5.7) αντίστοιχα.



**Εικόνα 5.6** Διαστάσεις διατομής πειράματος Gonzalez – Libreros et al. (2017)



**Fig 1.** Experimental setup (dimensions in mm).

**Εικόνα 5.7** Διαστάσεις διατομής κατά μήκος της δοκού πειράματος Gonzalez – Libreros et al. (2017)

Στην εν λόγω έρευνα δύο δοκοί χρησιμοποιήθηκαν χωρίς ενίσχυση ως δοκιμαστικές, ενώ οι υπόλοιπες 12 ενισχύθηκαν με διαφορετικούς τρόπους. Το κοινό στοιχείο σε όλους τις δοκούς ως προς την ενίσχυσή τους είναι ότι περιτυλίχθηκαν με U- jacket. Οι πρώτες 4 δοκοί ενισχύθηκαν με φύλλα άνθρακα είτε τοποθετώντας αγκυρώσεις, είτε όχι. Ενώ οι υπόλοιπες 8 με πλέγματα από FRCM επίσης με και χωρίς αγκυρώσεις.

Οι δοκοί υποβλήθηκαν σε μονοτονική φόρτιση με κάμψη δύο σημείων και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.6) , όπου υπάρχουν το όνομα του

δοκιμίου, το μέγιστο φορτίο που ασκήθηκε (Peak Load), ο τρόπος αστοχίας (Failure Mode), η τέμνουσα που αναλαμβάνεται από τη δοκό  $V_R$  και η τέμνουσα που αναλαμβάνει το σύνθετο υλικό  $V_f$ .

**Πίνακας 5.6** Αποτελέσματα πειραματικής διερεύνησης Gonzalez – Libreros et al., (2017)

Gonzalez - Libreros				
Specimen	Peak Load(KN)	Failure Mode	VR(KN)	VF(KN)
S1-CONTROL	230.5	shear	115.2	-
S1-FRP-F1-UN	338.3	flexure	169.1	53.9
S1-FRP-F2-UN	306.8	shear	153.4	38.2
S1-FRCM-F3-UN	284.8	shear	142.4	27.2
S1-FRCM-F3-UA	290.3	shear	145.1	29.9
S1-FRCM-F4-UN	299.5	shear	149.7	34.5
S1-FRCM-F4-UA	300.3	shear	150.1	34.9
S2-CONTROL	259	shear	129.7	-
S2-FRP-F1-UN	338.5	flexure	169.2	39.6
S2-FRP-F2-UN	347.5	flexure	173.7	44
S2-FRCM-F3-UN	307.9	shear	154	24.3
S2-FRCM-F3-UA	307.9	shear	153.9	24.3
S2-FRCM-F4-UN	294.4	shear	147.2	17.5
S2-FRCM-F4-UA	321.9	shear	160.9	31.3

### 5.8 G.M. Chen , Z. Zhang , Y.L Li , X.Q. Li , C.Y. Zhou , (2016)

Σε αυτό το πείραμα διερευνήθηκαν 11 δοκοί οπλισμένου σκυροδέματος T- διατομής συνολικού μήκους 3400 mm και ενεργού μήκους 2670 mm . Τόσο οι διαστάσεις της T – διατομής όσο και της δοκού κατά μήκος παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 5.8).

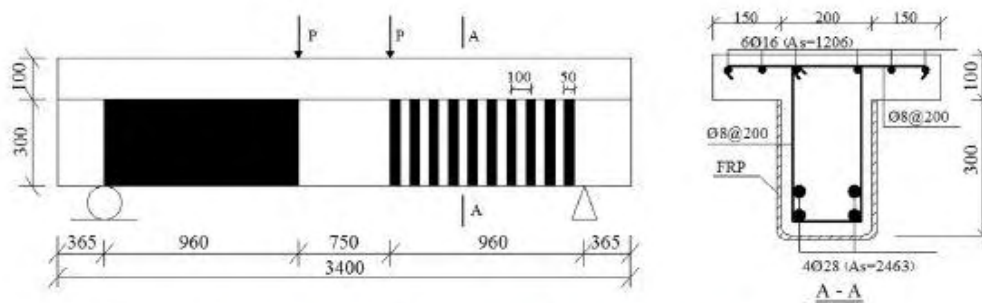


Fig. 1. Details of beam specimens (units: length in mm; area in mm<sup>2</sup>).

**Εικόνα 5.8** Διαστάσεις δοκών πειράματος Chen et al., (2016)

Σε δύο από τις 11 δοκούς δεν πραγματοποιήθηκαν ενισχύσεις, ώστε να χρησιμοποιηθούν σαν δοκιμαστικές δοκοί, δηλαδή σαν βάση και μέσο σύγκρισης. Οι υπόλοιπες εννιά δοκοί ενισχύθηκαν με τη μορφή του U – jacket (μανδύες) οι οποίοι αποτελούνταν από άνθρακα.

Οι δοκοί υποβλήθηκαν σε μονοτονική φόρτιση με κάμψη δύο σημείων και τα αποτελέσματα που εξήχθησαν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.7).

Εκεί υπάρχει το όνομα του δοκιμίου, το μέγιστο φορτίο που ασκήθηκε (Peak Load), ο τρόπος αστοχίας (Failure Mode), η τέμνουσα που αναλαμβάνεται από τη δοκό  $V_R$  και η τέμνουσα που αναλαμβάνει το σύνθετο υλικό  $V_f$ .

**Πίνακας 5.7** Αποτελέσματα πειραματικής διερεύνησης Chen et al., (2016)

Chen				
Specimen	Peak Load(KN)	Failure Mode	VR(KN)	VF(KN)
S0-CON	184.02	shear	184.02	-
S0-U	223.74	shear	223.74	39.72
S0-UFA1	233.9	shear	233.9	49.88
S0-UFA2	313.51	shear	313.51	129.49
S0-UEA1	326.7	shear	326.7	142.68
S0-UEA2	354.53	shear	354.53	170.51
S8-CON	271.11	shear	271.11	-
S8-U	300.82	shear	300.82	29.71
S8-UFA1	320.99	shear	320.99	49.88
S8-UFA2	366.25	shear	366.25	95.14
S8-UEA1	361.86	shear	361.86	90.75



## 5.9 Zoi C. Tetta , Lampros N. Koutas , Dionysios A. Bournas , (2016)

Στο εν λόγω πείραμα διερευνήθηκαν 11 δοκοί οπλισμένου σκυροδέματος T- διατομής συνολικού μήκους 6000 mm και ενεργού μήκους 3700 mm . Τόσο οι διαστάσεις της T – διατομής όσο και της δοκού κατά μήκος παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 5.9).

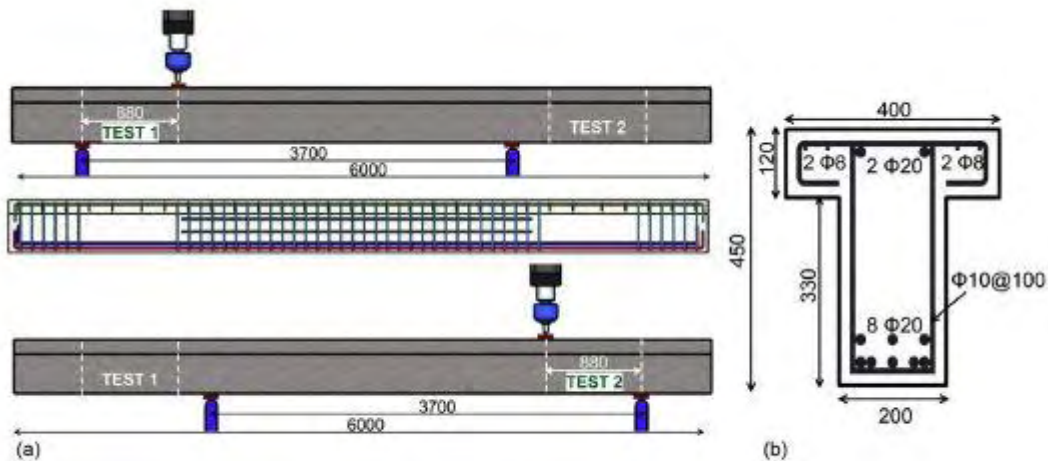


Fig. 1. (a) Schematic test set-up; (b) cross-section (dimensions in mm).

### Εικόνα 5.9 Διαστάσεις δοκών πειράματος Tetta et al.,(2016)

Σε μία από τις 11 δοκούς δεν πραγματοποιήθηκε κάποια ενίσχυση, ώστε να χρησιμοποιηθεί σαν δοκιμαστική δοκός, δηλαδή σαν βάση και μέσο σύγκρισης. Οι υπόλοιπες δέκα δοκοί ενισχύθηκαν με τη μορφή του U – jacket (μανδύες) οι οποίοι αποτελούνταν οι 8 από άνθρακα και οι 2 από γυαλί.

Οι δοκοί υποβλήθηκαν σε μονοτονική φόρτιση με κάμψη τριών σημείων και τα αποτελέσματα που εξήχθησαν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.8).

Εκεί υπάρχει το όνομα του δοκιμίου, το μέγιστο φορτίο που ασκήθηκε (Peak Load), ο τρόπος αστοχίας (Failure Mode), η τέμνουσα που αναλαμβάνεται από τη δοκό  $V_R$  και η τέμνουσα που αναλαμβάνει το σύνθετο υλικό  $V_f$ .

**Πίνακας 5.8** Αποτελέσματα πειραματικής διερεύνησης Tetta et al., (2016)

Tetta				
Specimen	Peak Load(KN)	Failure Mode	VR(KN)	VF(KN)
CON	163	shear	124	-
CH2	223	shear	170	46
CL3	237	shear	181	57
CH4	288	shear	220	95
G7	285	shear	217	93
CH2-A100	309	shear	236	112
CL3-A100	311	shear	237	113
CH4_A50	355	shear	271	147
CH4_A100	473	shear	361	236
G7_A100	302	shear	230	106
CH5_R	264	shear	201	77



## 5.10 Συνολικά αποτελέσματα

Εφόσον λοιπόν συγκεντρώθηκαν τα παραπάνω στοιχεία από τα άρθρα που αναφέρθηκαν και έχοντας στοιχεία από προηγούμενες έρευνες, δημιουργήθηκε μια ευρεία βάση δεδομένων. Τα δοκίμια που συγκεντρώθηκαν είναι περίπου 460. Έτσι, έχουμε πλέον ένα μεγάλο δείγμα να εξετάσουμε την αξιοπιστία του κάθε μοντέλου και κανονισμού που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4. Στη βάση δεδομένων που αναφέρθηκε έχουν καταγραφεί με τη σειρά ο συγγραφέας του άρθρου, το όνομα που δόθηκε στο δοκίμιο απ' τον εκάστοτε ερευνητή, το υλικό του ινοπλέγματος, το σχήμα της διατομής και οι διαστάσεις της, η θλιπτική αντοχή της δοκού  $F_c$ , το γεωμετρικό ποσοστό ενίσχυσης της δοκού  $\rho_f$ , τον τύπο της ενίσχυσης που χρησιμοποιήθηκε (Side-bonded, U-jacket, Full-wrapped), αν υπάρχει ή όχι αγκύρωση, το μέτρο ελαστικότητας του σύνθετου υλικού  $E_f$ , η μέγιστη παραμόρφωση του σύνθετου υλικού, το πάχος και η απόσταση της ενίσχυσης, ο τρόπος αστοχίας, το πάχος της ενίσχυσης και ο αριθμός των στρώσεων, η γωνία ρωγμής της δοκού και της κατεύθυνσης των ινών και τέλος η πειραματική τέμνουσα που προκύπτει για την αντοχή του σύνθετου υλικού.

Επίσης, έγινε η εξής παραδοχή που δεν επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα μιας και γίνεται να χρησιμοποιηθεί όταν ο υπολογισμός του μέτρου ελαστικότητας του σύνθετου υλικού είναι δύσκολος λόγω έλλειψης στοιχείων σύμφωνα με τον Τριανταφύλλου, 2012 :

Σε περιπτώσεις που το μέτρο ελαστικότητας του σύνθετου υλικού δεν είχε υπολογιστεί από τους ερευνητές, υπολογιζόταν το μέτρο ελαστικότητας των ινών με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους.

Τέλος, η τέμνουσα δύναμη των σύνθετων υλικών υπολογίστηκε με αφαίρεση της τέμνουσας της δοκού αναφοράς από τη συνολική αντοχή σε διάτμηση της δοκού.

Στις επόμενες σελίδες παρουσιάζεται η βάση δεδομένων που περιέχει όσα αναφέρθηκαν παραπάνω:

Τα πρώτα 17 δοκίμια:

Πίνακας 5.9 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 1 έως 17

Year	Author	Specimen Name	Textile Material	Section	bw (mm)	hw (mm)	beff (mm)	t	d	Fc (Mpa)	ps	ρf	ρf	E	ρEf	Strengthening configuration	
2015	Zoi C Tetta et al	SB_M1	Carbon	rectangular	102	203	0		177	21,6	0,022	0,001862745	1,86		0,42	S	
2015	Zoi C Tetta et al	SB_M2	Carbon	rectangular	102	203	0		177	22,6	0,022	0,00372549	3,73		0,84	S	
2015	Zoi C Tetta et al	SB_M3	Carbon	rectangular	102	203	0		177	22,6	0,022	0,005588235	5,59		1,26	S	
2015	Zoi C Tetta et al	UW_M1	Carbon	rectangular	102	203	0		177	23,8	0,022	0,001862745	1,86		0,42	U	
2015	Zoi C Tetta et al	UW_M2	Carbon	rectangular	102	203	0		177	23,8	0,022	0,00372549	3,73		0,84	U	
2015	Zoi C Tetta et al	UW_M3	Carbon	rectangular	102	203	0		177	22,6	0,022	0,005588235	5,59		1,26	U	
2015	Zoi C Tetta et al	FW_M1	Carbon	rectangular	102	203	0		177	21,6	0,022	0,001862745	1,86		0,42	F	
2015	Zoi C Tetta et al	FW_M2	Carbon PBO	rectangular	102	203	0		177	21,6	0,022	0,00372549	3,73		0,84	F	
2015	G. Loretto et al	L_1	(Polyparaphenylene PBO	rectangular	152	306	0		248	29,13		0,00605263	0,61		0,08	U	
2015	G. Loretto et al	L_4	(Polyparaphenylene PBO	rectangular	152	306	0		248	29,13		0,002421053	2,42		0,31	U	
2015	G. Loretto et al	H_1	(Polyparaphenylene PBO	rectangular	152	306	0		248	42,91		0,00605263	0,61		0,08	U	
2015	G. Loretto et al	H_4	(Polyparaphenylene PBO	rectangular	152	306	0		248	42,91		0,002421053	2,42		0,31	U	
2012	R. Contamine et al	R30-C-UJ-HI-TRC (5)	AR glass	rectangular	150	250	0		220	30		0,066666667	66,67	0,002906667	72	0,21	U
2012	R. Contamine et al	R30-S-SB-P-TRC (10)	AR glass	rectangular	150	250	0		220	30		0,111111111	111,11	0,004844444	72	0,35	S
2012	R. Contamine et al	R30-S-SB-P-TRC(5)	AR glass	rectangular	150	250	0		220	30		0,055555556	55,56	0,002422222	72	0,17	S
2012	R. Contamine et al	R30-S-UJ-HI-TRC(5)	AR glass	rectangular	150	250	0		220	30		0,019047619	19,05	0,000830476	72	0,06	U
2012	R. Contamine et al	R40-S-UJ-HI-TRC (5)	AR glass	rectangular	150	250	0		220	40		0,033333333	33,33	0,001453333	72	0,10	U

Πίνακας 5.10 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 1 έως 17 (Συνέχεια Πίνακα 5.9)

Ancoage	Ef (GPa)	εfu	Fdd	bf	sf	wf	wfsf	failure mode	number of layers	nominal thickness (mm)	β(γωνία ροπή/μήγ)	θ (βίνς από διαμήκη άξονα στοιχείου)	Peak Load	Vexp (kn)	Vcon	VF_EXP (KN)
NO	225	0,0168	3780	102	460	460	1	shear (slippage of the vertical fiber roving)	1	0,095	45	90	56,6	32,4	29,7	2,7
NO	225	0,0168	3780	102	460	460	1	shear (debonding)	2	0,095	45	90	88,7	50,8	29,7	21,1
NO	225	0,0168	3780	102	460	460	1	shear (debonding)	3	0,095	45	90	108,9	62,4	29,7	32,7
NO	225	0,0168	3780	102	460	460	1	shear (slippage of the vertical fiber roving)	1	0,095	45	90	78,2	44,8	29,7	15,1
NO	225	0,0168	3780	102	460	460	1	shear (debonding)	2	0,095	45	90	120,2	68,8	29,7	39,1
NO	225	0,0168	3780	102	460	460	1	shear (debonding)	3	0,095	45	90	131,1	75,1	29,7	45,4
NO	225	0,0168	3780	102	460	460	1	shear (slippage of the vertical fiber roving)	1	0,095	45	90	111,2	63,7	29,7	34
NO	225	0,0168	3780	102	460	460	1	flexural	2	0,095	45	90	152,8	87,5	29,7	57,8
NO	127	0,0176	2235,2	152	100	100	1	fiber strands slip	1	0,046	45	90	203	101,565	83,425	18,14
NO	127	0,0176	2235,2	152	100	100	1	partial delamination	4	0,046	45	90	231	125,575	83,425	42,15
NO	127	0,0176	2235,2	152	100	100	1	fiber strands slip	1	0,046	45	90	251	115,585	91,63	23,955
NO	127	0,0176	2235,2	152	100	100	1	partial delamination	4	0,046	45	90	295	147,845	91,63	56,215
NO	3	0,014	42	150	500	500	1	bending moment: in the concrete	1	0,218	5	45	219	109,5	79,5	30
NO	3	0,014	42	150	120	100	0,83333333	bending moment: in the concrete	1	0,436	10	45	215	107,5	79,5	28
NO	3	0,014	42	150	120	100	0,83333333	shear: reinforcement debonding (in the concrete)	1	0,218	5	45	209	104,5	79,5	25
NO	3	0,014	42	150	140	40	0,28571429	shear: reinforcement debonding (in the concrete)	1	0,218	5	45	170	85	79,5	5,5
NO	3	0,014	42	150	200	100	0,5	shear: reinforcement debonding (in the concrete)	1	0,218	5	45	251	125,5	79,5	46

## Τα δοκίμια από 18-35:

### Πίνακας 5.11 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 18 έως 35

2012	R. Contamine et al	R40-C-UJ-HI-TRC (2)	AR glass	rectangular	150	250	0	220	40	0,022666667	22,67	0,000986667	72	0,07	U
2010	A. Si Larbi et al	inorganic phosphate cement-glass	glass	rectangular	150	220	0	220	33	0,08	80,00	0,009166667	73	0,67	U
2010	A. Si Larbi et al	UHPM-shirt metallic fibres	metallic	rectangular	150	220	0	220	33	0,133333333	133,33	0,002666667	210	0,56	U
2010	A. Si Larbi et al	Mortar-glass fibres	glass	rectangular	150	220	0	220	33	0,146666667	146,67	0,003066667	74	0,23	U
2010	A. Si Larbi et al	UHPM-shirt metallic fibres	metallic	rectangular	150	220	0	220	33	0,088888889	88,89	0,001777778	210	0,37	S
2010	A. Si Larbi et al	UHPM-shirt metallic fibres	metallic	rectangular	150	220	0	220	33	0,088888889	88,89	0,001777778	210	0,37	S
2006	Triantafyllou and Papanicolaou	M1	Carbon	rectangular	150	300	0	244,2	30,5	0,000626667	0,63			0,14	F
2006	Triantafyllou and Papanicolaou	M2	Carbon	rectangular	150	300	0	244,2	30,5	0,001253333	1,25			0,28	F
2006	Triantafyllou and Papanicolaou	M2s	Carbon	rectangular	150	300	0	244,2	30,5	0,001253333	1,25			0,28	F
2009	Blanksvärd et al.	C40s0-M2-G1	Carbon	rectangular	180			381,6	55,7	0,000326667	0,33			0,09	S
2009	Blanksvärd et al.	C40s0-M2-G2a	Carbon	rectangular	180			381,6	55,7	0,000612	0,61			0,16	S
2009	Blanksvärd et al.	C40s0-M2-G2b	Carbon	rectangular	180			381,6	55,7	0,000612	0,61			0,16	S
2009	Blanksvärd et al.	C40s0-M3-G2	Carbon	rectangular	180			381,6	55,7	0,000612	0,61			0,16	S
2009	Blanksvärd et al.	C40s0-M2-G2	Carbon	rectangular	180			381,6	55,7	0,000612	0,61			0,16	S
2009	Blanksvärd et al.	C40s0-M2-G3	Carbon	rectangular	180			381,6	55,7	0,00044	0,44			0,09	S
2009	Blanksvärd et al.	C40s0-M1-G3	Carbon	rectangular	180			381,6	55,7	0,00044	0,44			0,09	S
2012	Al-Salloum et al.	BS2	Basalt	rectangular	150			200	23,9	0,001706667	1,71			0,05	S
2012	Al-Salloum et al.	BS3	Basalt	rectangular	150			200	23,9	0,001706667	1,71			0,05	S

### Πίνακας 5.12 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 18 έως 35 (Συνέχεια Πίνακα 5.11)

NO	3	0,014	42	150	500	500	1	Shear : break on the TRC	1	0,074	1,7	45	90	235	117,5	79,5	38
NO	14	0,002857143	40	150	530	530	1	debonding between composite and concrete	1	0,0458333	6	45	90	233	116,5		47,3
NO	45	0,0003	13,5	150	105	105	1	flexural	1	0,2	10	45	90	216	108		38,8
NO	72	0,0001	7,2	150	132,5	132,5	1	shear failure	1	0,046	11	45	90	162	81		11,8
NO	45	0,0003	13,5	150	90	60	0,66666667	flexural	1	0,2	10	45	90	164	82		12,8
NO	45	0,0003	13,5	150	90	60	0,66666667	flexural	1	0,2	10	45	90	138	69		12,8
NO	225	0,014888889	3350	150	150	150	1	Shear	1	0,047	45	80					46,98
NO	225	0,014888889	3350	150	150	150	1	flexural	2	0,047	45	90					68,83
NO	225	0,014888889	3350	150	150	150	1	flexural	2	0,047	45	90					65,78
NO	262	0,011259542	2950	150	100	100	1	Shear with rupture of fibers	1	0,0245	45	90					78,27
NO	263	0,014448669	3800	150	100	100	1	Shear with rupture of fibers	1	0,0459	45	90					115,07
NO	263	0,014448669	3800	150	100	100	1	Shear with rupture of fibers	1	0,0459	45	90					112,07
NO	263	0,014448669	3800	150	100	100	1	Shear with rupture of fibers	1	0,0459	45	90					105,27
NO	263	0,014448669	3800	150	100	100	1	Shear with rupture of fibers	1	0,0459	45	90					122,07
NO	201	0,018905473	3800	150	100	100	1	Shear with rupture of fibers	1	0,033	45	90					76,57
NO	201	0,018905473	3800	150	100	100	1	Shear with rupture of fibers	1	0,033	45	90					50,27
NO	31,94	0,019505322	623	150	400	400	1	Shear	2	0,064	45	90					15,53
NO	31,94	0,019505322	623	150	400	400	1	Shear	2	0,064	45	45					15,96

Τα δοκίμια από 36-53:

**Πίνακας 5.13** Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 36 έως 53

2012	Al-Salloum et al.	BS4	Basalt	rectangular	150				200	23,9	0,003413333	3,41	0,11	S
2012	Al-Salloum et al.	BS5	Basalt	rectangular	150				200	23,9	0,003413333	3,41	0,11	S
2012	Al-Salloum et al.	BS6	Basalt	rectangular	150				200	56,4	0,001706667	1,71	0,05	S
2012	Al-Salloum et al.	BS7	Basalt	rectangular	150				200	56,4	0,001706667	1,71	0,05	S
2012	Al-Salloum et al.	BS8	Basalt	rectangular	150				200	56,4	0,003413333	3,41	0,11	S
2012	Al-Salloum et al.	BS9	Basalt	rectangular	150				200	56,4	0,003413333	3,41	0,11	S
2010	Τζουρα & Τριανταφύλλου	L1	Carbon	T section	150	350	350	100	230	22,7	0,00064	0,64	0,14	U
2010	Τζουρα & Τριανταφύλλου	L2	Carbon	T section	150	350	350	100	230	22,7	0,00128	1,28	0,29	U
2010	Τζουρα & Τριανταφύλλου	H1	Carbon	T section	150	350	350	100	230	22,7	0,00128	1,28	0,29	U
2010	Τζουρα & Τριανταφύλλου	H2	Carbon	T section	150	350	350	100	230	22,7	0,00256	2,56	0,58	U
2010	Τζουρα & Τριανταφύλλου	L2A15	Carbon	T section	150	350	350	100	230	22,7	0,00128	1,28	0,29	U
2010	Τζουρα & Τριανταφύλλου	L2A15ha	Carbon	T section	150	350	350	100	230	22,7	0,00128	1,28	0,29	U
2010	Τζουρα & Τριανταφύλλου	L2A10	Carbon	T section	150	350	350	100	230	13,3	0,00128	1,28	0,29	U
2010	Τζουρα & Τριανταφύλλου	H1A15	Carbon	T section	150	350	350	100	230	13,3	0,00128	1,28	0,29	U
2010	Τζουρα & Τριανταφύλλου	H2A15	Carbon	T section	150	350	350	100	230	13,3	0,00256	2,56	0,58	U
2010	Τζουρα & Τριανταφύλλου	H2A10	Carbon	T section	150	350	350	100	230	22,7	0,00256	2,56	0,58	U
2015	Escrib C. et al	V-BR3-01	B	rectangular	300	300			239	33,78	0,000353333	0,35	0,03	U
2015	Escrib C. et al	V-CXM25-01	C	rectangular	300	300			239	33,78	0,000313333	0,31	0,08	U

**Πίνακας 5.14** Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 36 έως 53 (Συνέχεια Πίνακα 5.13)

NO	31,94	0,019505322	623	150	400	400	1		Shear	4	0,064	45	90
NO	31,94	0,019505322	623	150	400	400	1		Shear	4	0,064	45	45
NO	31,94	0,019505322	623	150	400	400	1		Shear	2	0,064	45	90
NO	31,94	0,019505322	623	150	400	400	1		Shear	2	0,064	45	45
NO	31,94	0,019505322	623	150	400	400	1		Shear	4	0,064	45	90
NO	31,94	0,019505322	623	150	400	400	1		Shear	4	0,064	45	45
NO	225	0,015	3375	150	700	700	1		debonding	1	0,048	45	90
NO	225	0,015	3375	150	700	700	1		debonding	2	0,048	45	90
NO	225	0,015	3375	150	700	700	1		Pull-out of rovings	1	0,096	45	90
NO	225	0,015	3375	150	700	700	1		debonding	2	0,096	45	90
NO	225	0,015	3375	150	700	700	1		Pull-out of rovings	2	0,048	45	90
NO	225	0,015	3375	150	700	700	1		Pull-out of rovings	2	0,048	45	90
NO	225	0,015	3375	150	700	700	1		Pull-out of rovings	1	0,096	45	90
NO	225	0,015	3375	150	700	700	1		Pull-out of rovings	2	0,096	45	90
NO	225	0,015	3375	150	700	700	1		fiber rupture	2	0,096	45	90
NO	95	0,0315	2992,5	300	700	700	1		shear failure	1	0,053	45	90
NO	240	0,018	4320	300	700	700	1		shear failure	1	0,047	45	90

Τα δοκίμια από 54-70:

**Πίνακας 5.15** Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 54 έως 70

2015	Escrid C. et al	V-CXM25-02	C	rectangular	300	300		239	34,07	0,000313333	0,31		0,08	U
2015	Escrid C. et al	V-PXM750-01	P	rectangular	300	300		239	34,07	0,000303333	0,30		0,08	U
2015	Escrid C. et al	V-PXM750-02	P	rectangular	300	300		239	34,07	0,000303333	0,30		0,08	U
2015	Escrid C. et al	V-GPHDM-02	G	rectangular	300	300		239	34,07	0,00028	0,28		0,03	U
2014	Azam and Soudki	SB-GT	glass	rectangular	150	350		307,5	35	0,000634667	0,63		0,05	S
2014	Azam and Soudki	UB-GT	glass	rectangular	150	350		307,5	35	0,000634667	0,63		0,05	U
2014	Azam and Soudki	SB-CT1	Carbon	rectangular	150	350		307,5	35	0,000489333	0,49		0,11	S
2014	Azam and Soudki	UB-CT1	Carbon	rectangular	150	350		307,5	35	0,000489333	0,49		0,11	U
2014	Azam and Soudki	SB-CT2	Carbon	rectangular	150	350		307,5	35	0,001177333	1,18		0,27	S
2014	Azam and Soudki	UB-CT2	Carbon	rectangular	150	350		307,5	35	0,001177333	1,18		0,27	U
2011	Ombres	TRA1	(Polyparaphenylene PBO	rectangular	150	250		250	30,76	0,0006	0,60		0,16	U
2011	Ombres	TRA2	(Polyparaphenylene PBO	rectangular	150	250		250	30,76	0,000346154	0,35		0,09	U
2011	Ombres	TRB1	(Polyparaphenylene PBO	rectangular	150	250		250	45,02	0,0006	0,60		0,16	U
2011	Ombres	TRB2	(Polyparaphenylene PBO	rectangular	150	250		250	29,16	0,0012	1,20		0,32	U
2011	Ombres	TRB3	(Polyparaphenylene PBO	rectangular	150	250		250	29,16	0,000571429	0,57		0,15	U
2011	Ombres	TRB4	(Polyparaphenylene PBO	rectangular	150	250		250	38,26	0,000285714	0,29		0,08	U
2011	Ombres	TRB5	(Polyparaphenylene	rectangular	150	250		250	38,26	0,000857143	0,86		0,23	U

**Πίνακας 5.16** Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 54 έως 70 (Συνέχεια Πίνακα 5.15)

NO	240	0,018	4320	300	700	700	1		shear failure	1	0,047	45	90
NO	270	0,0215	5805	300	700	700	1		shear failure	1	0,0455	45	90
NO	270	0,0215	5805	300	700	700	1		shear failure	1	0,0455	45	90
NO	90	0,029	2610	300	700	700	1		shear failure	1	0,042	45	90
NO	75	0,030666667	2300	150	2400	2400	1		DT	1	0,0476	45	90
NO	75	0,030666667	2300	150	2400	2400	1		DT	1	0,0476	45	90
NO	230	0,016521739	3800	150	2400	2400	1		DT	1	0,0367	45	90
NO	230	0,016521739	3800	150	2400	2400	1		DT	1	0,0367	45	90
NO	230	0,016521739	3800	150	2400	2400	1		DB	1	0,0883	45	90
NO	230	0,016521739	3800	150	2400	2400	1		DB	1	0,0883	45	90
NO	270	0,0215	5805	150	100	100	1		flexural	1	0,045	45	90
NO	270	0,0215	5805	150	260	150	0,57692308		Shear	1	0,045	45	90
NO	270	0,0215	5805	150	100	100	1		flexural	1	0,045	45	90
NO	270	0,0215	5805	150	100	100	1		debonding	2	0,045	45	90
NO	270	0,0215	5805	150	210	100	0,47619048		debonding	2	0,045	45	90
NO	270	0,0215	5805	150	210	100	0,47619048		shear	1	0,045	45	90
NO	270	0,0215	5805	150	210	100	0,47619048		shear	3	0,045	45	90

Τα δοκίμια από 71-88:

Πίνακας 5.17 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 71 έως 88

1999	Khalifa, Nari	BT2	CFRP	T section	150	305	380	100	385	35		0,00176	1,76			0,40	S	NO
1999	Khalifa, Nari	BT3	CFRP	T section	150	305	380	100	385	35		0,00176	1,76			0,40	S	NO
1999	Khalifa, Nari	BT4	CFRP	T section	150	305	380	100	385	35		0,00088	0,88			0,20	U	NO
1999	Khalifa, Nari	BT5	CFRP	T section	150	305	380	100	385	35		0,00088	0,88			0,20	U	NO
1999	Khalifa, Nari	BT6	CFRP	T section	150	305	380	100	385	35		0,00176	1,76			0,40128	U	YES
2015	G. Loreto et al	L1	Polyparaphenylene Benzobisoxazole	rectangular	152	306			248	29,13		0,000605263	0,60526316			0,0768684	F	NO
2015	G. Loreto et al	L4	Polyparaphenylene Benzobisoxazole	rectangular	152	306			248	29,13		0,002421053	2,42105263			0,3074737	F	NO
2015	G. Loreto et al	H1	Polyparaphenylene Benzobisoxazole	rectangular	152	306			248	42,91		0,000605263	0,60526316			0,0768684	U	NO
2015	G. Loreto et al	H4	Polyparaphenylene Benzobisoxazole	rectangular	152	306			248	42,91		0,002421053	2,42105263			0,3074737	U	NO
2012	Saleh H. Akayed et al.	B2	Basalt	rectangular	150				200	23,9		0,001706667	1,70666667			0,0545109	U	NO
2012	Saleh H. Akayed et al.	B3	Basalt	rectangular	150				200	23,9		0,001706667	1,70666667			0,0545109	U	NO
2012	Saleh H. Akayed et al.	B4	Basalt	rectangular	150				200	23,9		0,003413333	3,41333333			0,1090219	U	NO
2012	Saleh H. Akayed et al.	B5	Basalt	rectangular	150				200	23,9		0,003413333	3,41333333			0,1090219	S	NO
2012	Saleh H. Akayed et al.	B6	Basalt	rectangular	150				200	56,4		0,001706667	1,70666667			0,0545109	S	NO
2012	Saleh H. Akayed et al.	B7	Basalt	rectangular	150				200	56,4		0,001706667	1,70666667			0,0545109	U	NO
2012	Saleh H. Akayed et al.	B8	Basalt	rectangular	150				200	56,4		0,003413333	3,41333333			0,1090219	U	NO
2012	Saleh H. Akayed et al.	B9	Basalt	rectangular	150				200	56,4		0,003413333	3,41333333			0,1090219	U	NO
2017	Leung et al	B1C	CFRP	rectangular	180	350			303	55		0,000488889	0,49			0,11	U	NO

Πίνακας 5.18 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 71 έως 88 (Συνέχεια Πίνακα 5.17)

228	0,0168	3830,4	150	125	50	0,4	CFRP Debonding	2		0,165	45	90	310	155	57	65
228	0,0168	3830,4	150	125	50	0,4	CFRP Debonding	2		0,165	45	90	315	157,5	57	67,5
228	0,0168	3830,4	150	125	50	0,4	CFRP Debonding	1		0,165	45	90	140	162	57	72
228	0,0168	3830,4	150	125	50	0,4	CFRP Debonding	1		0,165	45	90	243	121,5	57	31,5
228	0,0168	3830,4	150	125	50	0,4	Flexure	2		0,165	45	90	442	221	57	131
127	0,0176	2235,2	152	100	100	1	fiber strands slip	1		0,046	45	90	203	101,565	83,425	18,14
127	0,0176	2235,2	152	100	100	1	partial delamination	4		0,046	45	90	231	125,575	83,425	42,15
127	0,0176	2235,2	152	100	100	1	fiber strands slip	1		0,046	45	90	251	115,585	91,63	23,955
127	0,0176	2235,2	152	100	100	1	partial delamination	4		0,046	45	90	295	147,845	91,63	56,215
31,94	0,019505322	623	150	400	400	1	Shear	2		0,064	45	90	43,22	37,18	35,92	15,53
31,94	0,019505322	623	150	400	400	1	Shear	2		0,064	45	45	42,28	34,39	35,92	15,96
31,94	0,019505322	623	150	400	400	1	Shear	4		0,064	45	90	77,63	45,89	47,65	18,57
31,94	0,019505322	623	150	400	400	1	Shear	4		0,064	45	45	59,46	40,12	42,43	20,47
31,94	0,019505322	623	150	400	400	1	Shear	2		0,064	45	90	81,75	46,98	50,72	15,89
31,94	0,019505322	623	150	400	400	1	Shear	2		0,064	45	45	64,1	44,89	46,99	15,89
31,94	0,019505322	623	150	400	400	1	Shear	4		0,064	45	90	83,5	83,5	73,95	22,23
31,94	0,019505322	623	150	400	400	1	Shear	4		0,064	45	45	111	111	84,99	31,25
235	0,0168	3948	180	150	60	0,4	shear	1		0,11	45	90	806	403		10

Τα δοκίμια από 89- 106:

**Πίνακας 5.19** Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 89 έως 106

2017	Leung et al	B2C	CFRP	rectangular	180	350			303	55		0,000488889	0,49			0,11	U
2017	Leung et al	B3C	CFRP	rectangular	180	350			303	55		0,000488889	0,49			0,11	U
2017	Leung et al	B4C	CFRP	rectangular	180	350			303	55		0,000488889	0,49			0,11	U
2017	Leung et al	B5C	CFRP	rectangular	180	350			303	55		0,000488889	0,49			0,11	U
2017	Leung et al	B6C	CFRP	rectangular	180	350			303	55		0,000488889	0,49			0,11	U
2017	Leung et al	B1U	CFRP	rectangular	180	350			303	55		0,000977778	0,98			0,23	U
2017	Leung et al	B2U	CFRP	rectangular	180	350			303	55		0,000977778	0,98			0,23	U
2017	Leung et al	B3U	CFRP	rectangular	180	350			303	55		0,000977778	0,98			0,23	U
2017	Leung et al	B4U	CFRP	rectangular	180	350			303	55		0,000977778	0,98			0,23	U
2017	Leung et al	B5U	CFRP	rectangular	180	350			303	55		0,000977778	0,98			0,23	U
2017	Leung et al	B6U	CFRP	rectangular	180	350			303	55		0,000977778	0,98			0,23	U
2014	D.Baggio et al	Control	Carbon	rectangular	150	350			310	20,4		0,001266667	1,27			0,29	S
2014	D.Baggio et al	CFRP-NA	Carbon	rectangular	150	350			310	20,4		0,00508	5,08			1,14	S
2014	D.Baggio et al	CFRP-A	Carbon	rectangular	150	350			310	20,4		0,001333333	1,33			0,30	S
2014	D.Baggio et al	FRCM-NA	FRCM	rectangular	150	350			310	20,4		0,00156	1,56			0,35	S
2014	D.Baggio et al	FRCM-A	FRCM	rectangular	150	350			310	20,4		0,00156	1,56			0,35	S
2014	D.Baggio et al	GFRP-A	Glass	rectangular	150	350			310	20,4		0,006773333	6,77			1,52	S
2014	D.Baggio et al	PD-GFRP-NA	Glass	rectangular	150	350			310	20,4		0,006773333	6,77			1,52	S

**Πίνακας 5.20** Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 89 έως 106 (Συνέχεια Πίνακα 5.19)

NO	235	0,0168	3948	180	150	60	0,4	shear	1		0,11	45	90	576	288		37
NO	235	0,0168	3948	180	150	60	0,4	shear	1		0,11	45	90	428	214		68
NO	235	0,0168	3948	180	150	60	0,4	shear	1		0,11	45	90	432	196		62
NO	235	0,0168	3948	180	150	60	0,4	shear	1		0,11	45	90	454	190		41
NO	235	0,0168	3948	180	150	60	0,4	shear	1		0,11	45	90	470	181		53
NO	235	0,0168	3948	180	150	60	0,4	shear	2		0,11	45	90	826	413		10
NO	235	0,0168	3948	180	150	60	0,4	shear	2		0,11	45	90	623	325		37
NO	235	0,0168	3948	180	150	60	0,4	shear	2		0,11	45	90	564	282		68
NO	235	0,0168	3948	180	150	60	0,4	shear	2		0,11	45	90	568	258		62
NO	235	0,0168	3948	180	150	60	0,4	shear	2		0,11	45	90	555	231		41
NO	235	0,0168	3948	180	150	60	0,4	shear	2		0,11	45	90	608	234		53
NO	225	0,00168	378	150	200	200	1	Shear	1		0,095	45	90	223	214		9
NO	225	0,00168	378	150	200	200	1	flexural	1		0,381	45	90	373	430		57
YES	225	0,00168	378	150	200	200	1	flexural	1		10	45	90	390	430		40
NO	225	0,00168	378	150	200	200	1	Shear	1		1,17	45	90	294			294
YES	225	0,00168	378	150	200	200	1	Shear	1		1,17	45	90	300			300
NO	225	0,00168	378	150	200	200	1	Shear(debonding)	1		0,508	45	90	334	316		18
NO	225	0,00168	378	150	200	200	1	Shear(debonding)	1		0,508	45	90	305	296		9

Τα δοκίμια από 107-124:

**Πίνακας 5.21** Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 107 έως 124

YES	225	0,00168	378	150	200	200	1	Shear compression	1		10	45	90	310	386
YES	225	0,00168	378	150	200	200	1	Shear compression	1		10	45	90	339	386
NO	390	0,008	3120	150	300	300	1	flexure	1		0,165	45	90	338,3	169,1
NO	190	0,022	4180	150	300	300	1	shear	1		0,24	45	90	306,8	153,4
NO	240	0,018	4320	150	300	300	1	shear	1		0,047	45	90	284,8	142,4
YES	240	0,018	4320	150	300	300	1	shear	1		0,047	45	90	290,3	145,1
NO	190	0,016	3040	150	300	300	1	shear	1		0,27	45	90	299,5	149,7
YES	190	0,016	3040	150	300	300	1	shear	1		0,27	45	90	300,3	150,1
NO	390	0,008	3120	150	200	200	1	flexure	1		0,165	45	90	338,5	169,2
NO	190	0,022	4180	150	200	200	1	flexure	1		0,24	45	90	347,3	173,7
NO	240	0,018	4320	150	200	200	1	shear	1		0,047	45	90	307,9	154
YES	240	0,018	4320	150	200	200	1	shear	1		0,047	45	90	307,9	153,9
NO	190	0,016	3040	150	200	200	1	shear	1		0,27	45	90	294,4	147,2
YES	190	0,016	3040	150	200	200	1	shear	1		0,27	45	90	321,9	160,9
NO	225	0,0168	3800	200	280	210	0,75	shear	2		0,095	45	90	223	170
NO	225	0,0168	4800	200	280	210	0,75	shear	3		0,062	45	90	237	181
NO	225	0,0168	3800	200	280	210	0,75	shear	4		0,095	45	90	288	220
NO	74	0,0168	1400	200	280	210	0,75	shear	7		0,044	45	90	285	217

**Πίνακας 5.22** Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 107 έως 124 (Συνέχεια Πίνακα 5.21)

2014	D.Baggio et al	PD-GFRP-CA	Glass	rectangular	150	350				310	20,4		0,001333333	1,33			0,30	S
2014	D.Baggio et al	PD-GFRP-GA	Glass	rectangular	150	350				310	20,4		0,001333333	1,33			0,30	S
2017	Gonzalez-Labrerros et al	S1-FRP-F1-UN	Carbon	rectangular	150	300				230	23,3		0,0022	2,20			0,86	S
2017	Gonzalez-Labrerros et al	S1-FRP-F2-UN	steel	rectangular	150	300				230	23,3		0,0032	3,20			0,61	S
2017	Gonzalez-Labrerros et al	S1-FRCM-F3-UN	carbon FRCM	rectangular	150	300				230	23,3		0,0006	0,60			0,14	S
2017	Gonzalez-Labrerros et al	S1-FRCM-F3-UA	carbon FRCM	rectangular	150	300				230	23,3		0,0006	0,60			0,14	S
2017	Gonzalez-Labrerros et al	S1-FRCM-F4-UN	steel FRCM	rectangular	150	300				230	21,3		0,0036	3,60			0,68	S
2017	Gonzalez-Labrerros et al	S1-FRCM-F4-UA	steel FRCM	rectangular	150	300				230	21,3		0,0036	3,60			0,68	S
2017	Gonzalez-Labrerros et al	S2-FRP-F1-UN	carbon	rectangular	150	300				230	24,7		0,0022	2,20			0,86	S
2017	Gonzalez-Labrerros et al	S2-FRP-F2-UN	steel	rectangular	150	300				230	24,7		0,0032	3,20			0,61	S
2017	Gonzalez-Labrerros et al	S2-FRCM-F3-UN	carbon FRCM	rectangular	150	300				230	24,7		0,0006	0,60			0,14	S
2017	Gonzalez-Labrerros et al	S2-FRCM-F3-UA	carbon FRCM	rectangular	150	300				230	24,7		0,0006	0,60			0,14	S
2017	Gonzalez-Labrerros et al	S2-FRCM-F4-UN	steel FRCM	rectangular	150	300				230	21,3		0,0036	3,60			0,68	S
2017	Gonzalez-Labrerros et al	S2-FRCM-F4-UA	steel FRCM	rectangular	150	300				230	21,3		0,0036	3,6			0,684	S
2016	Zoi C Tetta et al	CH2	CARBON	T section	200	450	400	120	385	15,2			0,0019	1,90			0,4275	U
2016	Zoi C Tetta et al	CL3	CARBON	T section	200	450	400	120	385	13,8			0,0019	1,90			0,4275	U
2016	Zoi C Tetta et al	CH4	CARBON	T section	200	450	400	120	385	14			0,0038	3,80			0,855	U
2016	Zoi C Tetta et al	G7	GLASS	T section	200	450	400	120	385	13,8			0,0031	3,10			0,2294	U



Τα δοκίμια από 125-139:

**Πίνακας 5.23** Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 125 έως 139

2016	Zoi C Tetta et al	CH2_A100	CARBON	T section	200	450	400	120	385	15,2		0,0019	1,90			0,4275	U
2016	Zoi C Tetta et al	CL3_A100	CARBON	T section	200	450	400	120	385	14,9		0,0019	1,90			0,4275	U
2016	Zoi C Tetta et al	CH4_A50	CARBON	T section	200	450	400	120	385	14,9		0,0038	3,80			0,855	U
2016	Zoi C Tetta et al	CH4_A100	CARBON	T section	200	450	400	120	385	14,5		0,0038	3,80			0,855	U
2016	Zoi C Tetta et al	G7_A100	GLASS	T section	200	450	400	120	385	14,5		0,0031	3,10			0,2294	U
2016	Zoi C Tetta et al	CH5_R	CARBON	T section	200	450	400	120	385	14,7		0,0038	3,80			0,855	U
2016	Chen et al	S0-U	CARBON	T section	200	400	500	100	320	43		0,00334	3,34			0,75484	U
2016	Chen et al	S0-UFA1	CARBON	T section	200	400	500	100	320	43		0,00334	3,34			0,75484	U
2016	Chen et al	S0-UFA2	CARBON	T section	200	400	500	100	320	43		0,00334	3,34			0,75484	U
2016	Chen et al	S0-UEA1	CARBON	T section	200	400	500	100	320	43		0,00334	3,34			0,75484	U
2016	Chen et al	S0-UEA2	CARBON	T section	200	400	500	100	320	43		0,00334	3,34			0,75484	U
2016	Chen et al	S8-U	CARBON	T section	200	400	500	100	320	46,1		0,00334	3,34			0,75484	U
2016	Chen et al	S8-UFA1	CARBON	T section	200	400	500	100	320	46,1		0,00334	3,34			0,75484	U
2016	Chen et al	S8-UFA2	CARBON	T section	200	400	500	100	320	46,1		0,00334	3,34			0,75484	U
2016	Chen et al	S8-UEA1	CARBON	T section	200	400	500	100	320	46,1		0,00334	3,34			0,75484	U

**Πίνακας 5.24** Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 125 έως 139 (Συνέχεια Πίνακα 5.23)

YES	225	0,0168	3800	200	280	210	0,75	shear	2		0,095	45	90	309	236	112
YES	225	0,0168	4800	200	280	210	0,75	shear	3		0,062	45	90	311	237	113
YES	225	0,0168	3800	200	280	210	0,75	shear	4		0,095	45	90	355	271	147
YES	225	0,0168	3800	200	280	210	0,75	shear	4		0,095	45	90	473	361	236
YES	74	0,0168	1400	200	280	210	0,75	shear	7		0,044	45	90	302	230	106
NO	225	0,0168	3800	200	280	210	0,75	shear	4		0,095	45	90	264	201	77
YES	226	0,0168	4361	200	100	50	2	shear	1		0,167	45	90	5000	223,74	39,72
YES	226	0,0168	4361	200	100	50	2	shear	1		0,167	45	90	5000	233,9	49,88
YES	226	0,0168	4361	200	100	50	2	shear	1		0,167	45	90	5000	313,51	129,49
YES	226	0,0168	4361	200	100	50	2	shear	1		0,167	45	90	5000	326,7	142,68
YES	226	0,0168	4361	200	100	50	2	shear	1		0,167	45	90	5000	354,53	170,51
YES	226	0,0168	4361	200	100	50	2	shear	1		0,167	45	90	5000	300,82	29,71
YES	226	0,0168	4361	200	100	50	2	shear	1		0,167	45	90	5000	320,99	49,88
YES	226	0,0168	4361	200	100	50	2	shear	1		0,167	45	90	5000	366,25	95,15
YES	226	0,0168	4361	200	100	50	2	shear	1		0,167	45	90	5000	361,86	90,75

Τα δοκίμια από 140-157:

Πίνακας 5.25 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 140 έως 157

Έτος	Αριθμ	Αριθμός δοκίμια	Υλικό KOI	Διατομή	Πλάτος $b_0$ (mm)	Υψος $h_0$ (mm)	Πλάτος $b_{50}$ (cm)	Ύψος $h_{50}$ (cm)	Στατικό $\gamma_{\text{σφ}} d$	Διαμετρ. Οστέωσης $\phi$ (mm)	Επιμήκος Οστέωσης $l$ (mm)	$\phi$ (cm)	$E_f$ (GPa)	$\delta_{\text{σφ}}$	$\rho$ (%)	Τύπος Διακάλυψης	Αποκάλυψη	Γωνία KOI $\beta$	Μέγιστη Παραμόρφωση	Μέγιστο $\epsilon_{\text{KOI}}$ (%)	Πλάτος Αποκάλυψης $w_a$ (mm)	Μέγιστη Αποκάλυψη	$N_{\text{max}}$ (kN)	Μέγιστο Θέγμα $N_{\text{max}}$ (kN)	$\sigma_{\text{ult}}$	$\rho_f$	number of layers		
1992	Berez	1	Glass	Ορθογώνιος ή	114	102			85	42.9	2.61	0	7.9	16.8	344.7	7.9	2 Πλευρής	Όχι	45	20.5	0.64	0.71	1.00	Αποκάλυψη	7.55	31.25	0.0168	0.0079	4
1992	Berez	2	Glass	Ορθογώνιος ή	114	102			85	42.9	2.61	0	7.9	16.8	344.7	9.5	2 Πλευρής	Όχι	45	20.5	1.57	0.71	1.00	Αποκάλυψη	15.75	39.45	0.0168	0.0195	2
1992	Berez	3	Glass	Ορθογώνιος ή	114	102			85	42.9	2.61	0.55	7.9	16.8	344.7	7.9	2 Πλευρής	Όχι	45	20.5	0.64	0.71	1.00	Κοιμητική	7.65	47.10	0.0168	0.0079	4
1992	Berez	4	Glass	Ορθογώνιος ή	114	102			85	42.9	2.61	0.55	7.9	16.8	344.7	9.5	2 Πλευρής	Όχι	45	20.5	1.57	0.71	1.00	Κοιμητική	7.90	47.35	0.0168	0.0195	2
1992	Uji	1	Carbon	Ορθογώνιος ή	300	200			170	24.6	2.36	0	17	230	2454	1.94	Παρεπλά	Όχι	90	11.5	0.097	1.00	1.00	Θυγατέ	34.50	59.50	0.0168	0.00194	1
1992	Uji	2	Carbon	Ορθογώνιος ή	300	200			170	24.6	2.36	0	15.3	230	2454	1.94	2 Πλευρής	Όχι	90	11.5	0.097	1.00	1.00	Αποκάλυψη	20.50	45.50	0.0168	0.00194	1
1992	Uji	3	Carbon	Ορθογώνιος ή	300	200			170	27.4	2.36	0	15.3	230	2454	1.37	2 Πλευρής	Όχι	45	11.5	0.097	0.71	1.00	Αποκάλυψη	33.00	58.00	0.0168	0.00137	1
1992	Uji	4	Carbon	Ορθογώνιος ή	300	200			170	27.4	2.36	0	15.3	230	2454	3.9	2 Πλευρής	Όχι	90	11.5	0.194	1.00	1.00	Αποκάλυψη	20.50	45.50	0.0168	0.0029	1
1994	Al-Sulami et al.	1	Glass	Ορθογώνιος ή	150	150			113	37.7	2	0.19	11.3	16	200	6.7	2 Πλευρής	Όχι	90	12.5	0.5	1.00	1.00	Αποκάλυψη	7.50	42.00	0.0168	0.0067	4
1994	Al-Sulami et al.	2	Glass	Ορθογώνιος ή	150	150			113	37.7	2	0.19	11.3	16	200	2.7	2 Πλευρής	Όχι	90	12.5	0.5	20.00	50.00	Αποκάλυψη	7.00	41.50	0.0168	0.0027	4
1994	Al-Sulami et al.	3	Glass	Ορθογώνιος ή	150	150			113	37.7	2	0.19	11.3	16	200	6.7	U	Όχι	90	12.5	0.5	1.00	1.00	Κοιμητική	15.60	50.00	0.0168	0.0067	4
1996	Sato et al.	1	Carbon	Ορθογώνιος ή	200	300			260	45.2	3.3	0	26	230	3480	0.56	U	Όχι	90	15.1	0.111	30.00	60.00	Αποκάλυψη	34.20	80.25	0.0168	0.0056	1
1996	Sato et al.	2	Carbon	Ορθογώνιος ή	200	300			260	41.3	3.3	0	26	230	3480	0.56	2 Πλευρής	Όχι	90	15.1	0.111	30.00	60.00	Αποκάλυψη	55.00	101.05	0.0168	0.0056	1
1996	Sato et al.	3	Carbon	Ορθογώνιος ή	200	300			260	37.5	3.3	0	26	230	3480	1.11	2 Πλευρής	Όχι	90	15.1	0.111	1.00	1.00	Αποκάλυψη	32.10	78.35	0.0168	0.00111	1
1996	Sato et al.	4	Carbon	Ορθογώνιος ή	200	300			260	39.7	3.3	0	26	230	3480	1.11	U	Όχι	90	15.1	0.111	1.00	1.00	Αποκάλυψη	53.05	99.10	0.0168	0.00111	1
1997	Kamburko et al.	1	Carbon	Ορθογώνιος ή	250	500			400	32.6	2.28	0	40	244	3990	0.36	Πάρος Παρεπλά	Όχι	90	16.35	0.111	40.00	100.00	Θυγατέ	104.20	285.20	0.0168	0.0036	1
1997	Kamburko et al.	2	Aramid	Ορθογώνιος ή	250	500			400	32.6	2.28	0	40	90	2920	0.54	Πάρος Παρεπλά	Όχι	90	32.44	0.169	40.00	100.00	Θυγατέ	55.00	226.00	0.0168	0.0054	1
1997	Kamburko et al.	3	Carbon	Ορθογώνιος ή	400	700			600	34.6	2.28	0	60	244	3990	0.36	Παρεπλά	Όχι	90	16.35	0.111	40.00	62.00	Θυγατέ	273.80	568.80	0.0168	0.0036	1

Τα δοκίμια από 158-175:

Πίνακας 5.26 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 158 έως 175

1997	Kamburko et al.	4	Aramid	Ορθογώνιος ή	400	700			600	34.6	2.28	0	60	90	2920	0.54	Πάρος Παρεπλά	Όχι	90	32.44	0.169	40.00	62.00	Θυγατέ	234.60	529.60	0.0168	0.0054	1
1997	Kamburko et al.	5	Carbon	Ορθογώνιος ή	600	600			560	32.2	2.28	0	56	246	2744	0.11	Παρεπλά	Όχι	90	11.15	0.033	1.00	1.00	Θυγατέ	77.90	209.10	0.0168	0.00011	1
1997	Kamburko et al.	6	Aramid	Ορθογώνιος ή	600	600			560	29.5	2.28	0	56	115	2260	0.11	Παρεπλά	Όχι	90	19.65	0.055	40.00	64.00	Θυγατέ	54.00	218.60	0.0168	0.00011	1
1997	Tsuneo et al.	1	Carbon	Ορθογώνιος ή	200	450			390	35.1	2.24	0.14	35.1	280	3500	0.28	U	Όχι	90	12.5	0.11	100.00	400.00	Αποκάλυψη	20.60	123.75	0.0168	0.00028	1
1997	Tsuneo et al.	2	Carbon	Ορθογώνιος ή	200	450			390	38.4	2.24	0.14	35.1	280	3500	1.1	U	Όχι	90	12.5	0.11	1.00	1.00	Κοιμητική	57.70	126.00	0.0168	0.0011	1
1997	Tsuneo et al.	3	Carbon	Ορθογώνιος ή	200	450			390	36.8	2.24	0.07	35.1	280	3500	0.14	U	Όχι	90	12.5	0.11	50.00	400.00	Αποκάλυψη	16.70	85.00	0.0168	0.00014	1
1997	Tsuneo et al.	4	Carbon	Ορθογώνιος ή	200	450			390	35.8	2.24	0.07	35.1	280	3500	0.09	U	Όχι	90	12.5	0.11	50.00	400.00	Αποκάλυψη	15.05	83.35	0.0168	0.00009	1
1997	Tsuneo et al.	5	Carbon	Ορθογώνιος ή	200	450			390	34.7	2.24	0.07	39	280	3500	0.28	Πάρος Παρεπλά	Όχι	90	12.5	0.11	50.00	200.00	Όχι Θυγατέ	49.45	117.75	0.0168	0.00028	1
1997	Umeai et al.	1	Aramid	Ορθογώνιος ή	150	300			272	43	1.02	0.96	27.2	73	2700	0.59	Πάρος Παρεπλά	Όχι	90	37	0.044	1.00	1.00	Όχι Θυγατέ	27.50	91.20	0.0168	0.00059	4
1997	Umeai et al.	2	Aramid	Ορθογώνιος ή	150	300			272	43	1.02	0.96	27.2	73	2700	0.29	Παρεπλά	Όχι	90	37	0.044	100.00	200.00	Θυγατέ	26.00	89.70	0.0168	0.00029	2
1997	Umeai et al.	3	Aramid	Ορθογώνιος ή	150	300			272	44.8	1.02	0.96	27.2	73	2700	1.17	Παρεπλά	Όχι	90	37	0.088	1.00	1.00	Όχι Θυγατέ	50.00	114.00	0.0168	0.00117	1
1997	Umeai et al.	4	Carbon	Ορθογώνιος ή	300	300			257	40.5	1.09	0.48	25.7	244	4280	0.74	Παρεπλά	Όχι	90	17.5	0.111	1.00	1.00	Όχι Θυγατέ	87.00	214.00	0.0168	0.00074	1
1997	Umeai et al.	5	Carbon	Ορθογώνιος ή	300	300			257	40.5	1.09	0.48	25.7	244	4280	0.37	Παρεπλά	Όχι	90	17.5	0.111	100.00	200.00	Θυγατέ	32.00	159.00	0.0168	0.00037	1
1997	Umeai et al.	6	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	300			272	44.8	1.05	0.96	27.2	244	4280	0.74	Παρεπλά	Όχι	90	17.5	0.111	100.00	200.00	Όχι Θυγατέ	52.00	116.00	0.0168	0.00074	1
1997	Umeai et al.	7	Aramid	Ορθογώνιος ή	150	300			253	41.9	2.19	0.96	25.3	73	2700	0.59	Παρεπλά	Όχι	90	37	0.044	1.00	1.00	Όχι Θυγατέ	64.00	110.00	0.0168	0.00059	2
1997	Umeai et al.	8	Aramid	Ορθογώνιος ή	300	300			253	45.6	2.19	0.48	25.3	73	2700	0.29	Παρεπλά	Όχι	90	37	0.044	1.00	1.00	Όχι Θυγατέ	46.00	173.00	0.0168	0.00029	2
1997	Umeai et al.	9	Aramid	Ορθογώνιος ή	300	300			253	41.9	2.19	0.48	25.3	73	2700	0.59	Παρεπλά	Όχι	90	37	0.088	1.00	1.00	Όχι Θυγατέ	82.00	209.00	0.0168	0.00059	1
1997	Umeai et al.	10	Aramid	Ορθογώνιος ή	300	300			253	41.9	2.19	0.48	25.3	73	2700	0.59	Παρεπλά	Όχι	90	37	0.088	1.00	1.00	Όχι Θυγατέ	97.00	224.00	0.0168	0.00059	1

## Τα δοκίμια από 176-193:

### Πίνακας 5.26 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 176 έως 193

1997	Utne et al.	11	Ατσάλι	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	300	300				253	42.7	2.19	0.48	25.3	73	2700	0.96	Παρεπλάκη	Όχι	90	37	0.144	1.00	1.00	Όχι θραύση	127.00	254.00	0.0168	0.00096	1
1997	Utne et al.	12	Ατσάλι	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	600	300				253	43.5	2.19	0.24	25.3	73	2700	0.48	Παρεπλάκη	Όχι	90	37	0.144	1.00	1.00	Όχι θραύση	140.00	424.00	0.0168	0.00048	1
1997	Utne et al.	13	Ατσάλι	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	450	450				390	39.9	2.24	0.32	39	73	2700	0.64	Παρεπλάκη	Όχι	90	37	0.144	1.00	1.00	Όχι θραύση	163.00	379.00	0.0168	0.00064	1
1997	Utne et al.	14	Ατσάλι	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	550	550				490	39.9	2.05	0.26	49	73	2700	0.53	Παρεπλάκη	Όχι	90	37	0.144	1.00	1.00	Θραύση	264.00	589.00	0.0168	0.00053	1
1997	Utne et al.	15	Ατσάλι	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	550	550				490	40.6	2.05	0.26	49	73	2700	1.05	Παρεπλάκη	Όχι	90	37	0.288	1.00	1.00	Όχι θραύση	387.00	662.00	0.0168	0.00105	1
1997	Funkawa et al.	1	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	600	600				510	30.7	3.63	0.13	51	240	3800	0.56	Παρεπλάκη	Όχι	90	16	0.167	1.00	1.00	Θραύση	242.00	691.50	0.0168	0.00056	1
1997	Funkawa et al.	2	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	600	600				510	30.7	3.63	0.13	51	240	3800	1.1	Παρεπλάκη	Όχι	90	16	0.334	1.00	1.00	Θραύση	346.00	795.00	0.0168	0.0011	1
1997	Funkawa et al.	3	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	600	600				510	30.7	3.63	0.13	51	240	3800	1.67	Παρεπλάκη	Όχι	90	16	0.501	1.00	1.00	Όχι θραύση	493.00	942.00	0.0168	0.00167	1
1997	Funkawa et al.	4	C-FA	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	600	600				510	30.7	3.63	0.13	51	240	3800	0.8	Παρεπλάκη	Όχι	90	16	0.241	1.00	1.00	Θραύση	484.10	933.10	0.0168	0.0008	1
1997	Ankiet et al.	1	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	200	400				340	24.8	2.84	0.19	34	230	3480	0.26	Παρεπλάκη	Όχι	90	15.1	0.111	40.00	170.00	Θραύση	35.00	236.00	0.0168	0.00026	1
1997	Ankiet et al.	2	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	200	400				340	24.9	2.84	0.19	34	230	3480	0.45	Παρεπλάκη	Όχι	90	15.1	0.111	70.00	170.00	Θραύση	61.00	262.00	0.0168	0.00045	1
1997	Ankiet et al.	3	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	200	400				340	25.2	2.84	0.19	34	230	3480	0.77	Παρεπλάκη	Όχι	90	15.1	0.111	120.00	170.00	Θραύση	106.00	307.00	0.0168	0.00077	1
1997	Ankiet et al.	4	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	200	400				340	25.4	2.84	0.19	34	230	3480	1.1	Παρεπλάκη	Όχι	90	15.1	0.111	1.00	1.00	Θραύση	157.00	358.00	0.0168	0.0011	1
1997	Ankiet et al.	5	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	200	400				340	25.6	2.84	0.19	34	230	3480	2.2	Παρεπλάκη	Όχι	90	15.1	0.222	1.00	1.00	Όχι θραύση	206.00	407.00	0.0168	0.0022	1
1997	Ankiet et al.	6	Ατσάλι	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	200	400				340	25.8	2.84	0.19	34	87	2450	0.59	Παρεπλάκη	Όχι	90	28.1	0.144	70.00	170.00	Θραύση	36.00	237.00	0.0168	0.00059	1
1997	Ankiet et al.	7	Ατσάλι	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	200	400				340	25.9	2.84	0.19	34	87	2450	1	Παρεπλάκη	Όχι	90	28.1	0.144	120.00	170.00	Θραύση	58.00	259.00	0.0168	0.001	1
1997	Ankiet et al.	8	Ατσάλι	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	200	400				340	26.1	2.84	0.19	34	87	2450	1.4	Παρεπλάκη	Όχι	90	28.1	0.144	1.00	1.00	Όχι θραύση	111.00	312.00	0.0168	0.0014	1
1997	Ono et al.	1	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	300	300				260	24.3	2.84	-	26	248	3430	0.73	Παρεπλάκη	Όχι	90	13.83064516	0.11	1.00	1.00	Θραύση	113.00	-	0.0168	0.00073	1

## Τα δοκίμια από 194-211:

### Πίνακας 5.27 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 194 έως 211

1997	Ono et al.	2	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	300	300				260	24.3	2.84	-	26	248	3430	1.83	Παρεπλάκη	Όχι	90	13.83064516	0.275	1.00	1.00	Θραύση	196.00	-	0.0168	0.00183	1
1997	Ono et al.	3	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	600	600				554	25.2	2.84	-	55.4	230	2803	0.37	Παρεπλάκη	Όχι	90	12.18095652	0.11	1.00	1.00	Θραύση	123.00	-	0.0168	0.00037	1
1997	Ono et al.	4	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	600	600				554	25.2	2.84	-	55.4	230	2803	0.74	Παρεπλάκη	Όχι	90	12.18095652	0.22	1.00	1.00	Θραύση	258.00	-	0.0168	0.00074	1
1997	Ono et al.	5	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	600	600				554	25.2	2.84	-	55.4	230	2803	1.83	Παρεπλάκη	Όχι	90	12.18095652	0.55	1.00	1.00	Θραύση	263.00	-	0.0168	0.00183	1
1997	Tjåfoten	1	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	180	500				460	48.5	1.94	0	41.4	70.8	317.2	4.48	2 Πλαστικές	Ναι	45	10	0.57	0.71	1.00	Θραύση	211.00	331.00	0.0168	0.00448	1
1997	Tjåfoten	2	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	180	500				460	52.7	1.94	0	41.4	70.8	317.2	4.48	2 Πλαστικές	Όχι	45	10	0.57	0.71	1.00	Αποσπείλωση	123.00	247.00	0.0168	0.00448	1
1997	Norris et al.	1	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	127	203				167	36.5	1.89	0.22	16.7	34.13	390	5.2	U	Όχι	90	11.4	0.33	1.00	1.00	Αποσπείλωση	18.00	68.97	0.0168	0.00252	1
1997	Norris et al.	2	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	127	203				167	36.5	1.89	0.22	16.7	33.4	395	10.4	U	Όχι	90	11.8	0.66	1.00	1.00	Αποσπείλωση	24.65	62.29	0.0168	0.0104	1
1997	Kage et al.	1	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	200	200				160	39.2	1.89	-	14.4	284	3430	0.97	2 Πλαστικές	Όχι	90	12.07746479	0.097	1.00	1.00	Αποσπείλωση	31.10	-	0.0168	0.00097	1
1997	Kage et al.	2	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	200	200				160	39.2	1.89	-	14.4	284	3430	0.97	2 Πλαστικές	Όχι	90	12.07746479	0.097	1.00	1.00	Αποσπείλωση	22.40	-	0.0168	0.00097	1
1997	Kage et al.	3	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	200	200				160	39.2	1.89	-	14.4	284	3430	0.97	2 Πλαστικές	Όχι	90	12.07746479	0.097	1.00	1.00	Αποσπείλωση	24.70	-	0.0168	0.00097	1
1997	Kage et al.	4	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	200	200				160	39.2	1.89	-	14.4	284	3430	0.97	2 Πλαστικές	Όχι	90	12.07746479	0.097	1.00	1.00	Αποσπείλωση	25.60	-	0.0168	0.00097	1
1997	Kage et al.	5	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	200	200				160	39.2	1.89	-	14.4	284	3430	0.97	U	Όχι	90	12.07746479	0.097	1.00	1.00	Αποσπείλωση	23.70	-	0.0168	0.00097	1
1998	Månstet al.	1	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	150	250				220	28.5	1.2	0.26	19.8	230	3430	2.23	2 Πλαστικές	Όχι	90	15	0.167	1.00	1.00	Αποσπείλωση	40.20	134.40	0.0168	0.00223	1
1998	Månstet al.	2	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	150	250				220	28.5	1.2	0.26	19.8	230	3430	2.23	2 Πλαστικές	Όχι	90	15	0.167	1.00	1.00	Αποσπείλωση	43.20	137.30	0.0168	0.00223	1
1998	Månstet al.	3	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	150	250				220	28.5	1.2	0.26	19.8	230	3430	2.23	2 Πλαστικές	Όχι	90	15	0.167	1.00	1.00	Αποσπείλωση	34.50	128.50	0.0168	0.00223	1
1998	Månstet al.	4	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	150	250				220	28.5	1.2	0.26	19.8	230	3430	2.23	2 Πλαστικές	Όχι	90	15	0.167	1.00	1.00	Αποσπείλωση	55.40	126.50	0.0168	0.00223	1
1998	Månstet al.	5	Carbon	Ορθογωνικός ή τετράγωνος	150	250				220	28.5	1.2	0.26	19.8	230	3430	2.23	2 Πλαστικές	Όχι	90	15	0.167	1.00	1.00	Αποσπείλωση	38.00	108.90	0.0168	0.00223	1

Τα δοκίμια από 212- 229:

**Πίνακας 5.28** Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 212 έως 229

1998	Minaei et al.	6	Carbon	Ορθογώνιος ή Ορθογώνιος ή	150	250				220	28,5	1,2	0,26	19,8	230	3430	2,23	2 Πλευρές	Όχι	90	15	0,167	1,00	1,00	Απωμίληση	18,00		88,80	0,0168	0,00223	1
1998	Tziavaliou	1	Carbon	Ορθογώνιος ή	70	110				100	30	1,44	0	10	235	3300	2,2	2 Πλευρές	Όχι	90	14	0,121	70,00	110,00	Απωμίληση	13,55		21,75	0,0168	0,0022	1
1998	Tziavaliou	2	Carbon	Ορθογώνιος ή	70	110				100	30	1,44	0	10	235	3300	2,2	2 Πλευρές	Όχι	90	14	0,121	70,00	110,00	Απωμίληση	11,25		19,45	0,0168	0,0022	1
1998	Tziavaliou	3	Carbon	Ορθογώνιος ή	70	110				100	30	1,44	0	10	235	3300	3,3	2 Πλευρές	Όχι	90	14	0,18	70,00	110,00	Απωμίληση	15,85		24,05	0,0168	0,0033	1
1998	Tziavaliou	4	Carbon	Ορθογώνιος ή	70	110				100	30	1,44	0	10	235	3300	3,3	2 Πλευρές	Όχι	90	14	0,18	70,00	110,00	Απωμίληση	12,90		21,10	0,0168	0,0033	1
1998	Tziavaliou	5	Carbon	Ορθογώνιος ή	70	110				100	30	1,44	0	10	235	3300	4,4	2 Πλευρές	Όχι	90	14	0,242	70,00	110,00	Απωμίληση	13,20		21,40	0,0168	0,0044	1
1998	Tziavaliou	6	Carbon	Ορθογώνιος ή	70	110				100	30	1,44	0	10	235	3300	4,4	2 Πλευρές	Όχι	90	14	0,242	70,00	110,00	Απωμίληση	10,55		18,75	0,0168	0,0044	1
1998	Tziavaliou	7	Carbon	Ορθογώνιος ή	70	110				100	30	1,44	0	10	235	3300	2,2	2 Πλευρές	Όχι	45	14	0,121	70,00	110,00	Απωμίληση	14,05		22,25	0,0168	0,0022	1
1998	Tziavaliou	8	Carbon	Ορθογώνιος ή	70	110				100	30	1,44	0	10	235	3300	3,3	2 Πλευρές	Όχι	45	14	0,18	70,00	110,00	Απωμίληση	15,45		23,65	0,0168	0,0033	1
1998	Tziavaliou	9	Carbon	Ορθογώνιος ή	70	110				100	30	1,44	0	10	235	3300	4,4	2 Πλευρές	Όχι	45	14	0,242	70,00	110,00	Απωμίληση	12,50		20,35	0,0168	0,0044	1
1998	Chaikh et al.	1	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	250				220	35	1,82	0,19	22	150	2400	6,7	2 Πλευρές	Όχι	90	14	1	50,00	100,00	Απωμίληση	65,00		175,00	0,0168	0,0067	1
1998	Chaikh et al.	2	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	250				220	35	1,82	0,19	22	150	2400	6,7	2 Πλευρές	Όχι	90	14	1	50,00	100,00	Απωμίληση	80,00		190,00	0,0168	0,0067	1
1998	Chaikh et al.	3	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	250				220	35	1,82	0,19	22	150	2400	4,4	2 Πλευρές	Όχι	45	14	1	50,00	150,00	Απωμίληση	78,00		188,00	0,0168	0,0044	1
1998	Chaikh et al.	4	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	250				220	35	1,82	0,19	22	150	2400	4,4	2 Πλευρές	Όχι	45	14	1	50,00	150,00	Απωμίληση	89,00		199,00	0,0168	0,0044	1
1999	Khalil et al.	1	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	305				264	20,5	4	0	26,4	228	3500	0,88	U	Όχι	90	16	0,165	50,00	125,00	Απωμίληση	40,00		88,00	0,0168	0,00088	1
1999	Khalil et al.	2	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	305				264	20,5	4	0	26,4	228	3500	2,2	U	Όχι	90	16	0,165	1,00	1,00	Απωμίληση	65,00		113,00	0,0168	0,0022	1
1999	Khalil et al.	3	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	305				272	50	1	0	27,2	228	3500	2,2	U	Όχι	90	16	0,165	1,00	1,00	Καμπύλη	26,00		119,00	0,0168	0,0022	1
1999	Khalil et al.	4	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	305				272	50	1	0	27,2	228	3500	2,2	Πλευρές Ημερολόγιο	Όχι	90	16	0,165	1,00	1,00	Καμπύλη	47,00		140,00	0,0168	0,0022	1

Τα δοκίμια από 230-247:

**Πίνακας 5.29** Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 230 έως 247

2002	Khalil and Nanni	1	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	305				260	27,5	4,1	0	26	228	3790	0,88	U	Όχι	90	16	0,165	50,00	125,00	Απωμίληση	54,00		131,00	0,0168	0,00088	1
2002	Khalil and Nanni	2	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	305				260	27,5	4,1	0	26	228	3790	1,32	U	Όχι	90	16	0,165	75,00	125,00	Απωμίληση	56,50		133,50	0,0168	0,00132	1
2002	Khalil and Nanni	3	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	305				260	27,5	4,1	0	26	228	3790	2,2	U	Όχι	90	16	0,165	1,00	1,00	Απωμίληση	67,50		144,50	0,0168	0,0022	1
2002	Khalil and Nanni	4	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	305				260	27,5	4,1	0	26	228	3790	0,88	U	Όχι	90	16	0,165	50,00	125,00	Απωμίληση	62,50		127,50	0,0168	0,00088	1
2002	Khalil and Nanni	5	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	305				260	27,5	4,1	0	26	228	3790	2,2	U	Όχι	90	16	0,165	1,00	1,00	Άρη Σαρωθείς	90,00		155,00	0,0168	0,0022	1
2002	Pelgriano and Modena	1	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	300				250	27,5	3,3	0	25	233,6	4400	2,2	2 Πλευρές	Όχι	90	19	0,165	1,00	1,00	Απωμίληση	45,30		120,00	0,0168	0,0022	1
2002	Pelgriano and Modena	2	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	300				250	27,5	3,3	0	25	233,6	4400	6,6	2 Πλευρές	Όχι	90	19	0,495	1,00	1,00	Απωμίληση	38,10		112,80	0,0168	0,0066	1
2002	Pelgriano and Modena	3	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	300				250	27,5	3,3	0	25	233,6	4400	6,6	2 Πλευρές	Όχι	90	19	0,495	1,00	1,00	Απωμίληση	65,50		140,20	0,0168	0,0066	1
2002	Pelgriano and Modena	4	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	300				250	31,4	3,3	0,335	25	233,6	4400	4,4	2 Πλευρές	Όχι	90	19	0,33	1,00	1,00	Απωμίληση	31,50		193,00	0,0168	0,0044	1
2002	Pelgriano and Modena	5	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	300				250	31,4	3,3	0,335	25	233,6	4400	6,6	2 Πλευρές	Όχι	90	19	0,495	1,00	1,00	Απωμίληση	51,80		213,20	0,0168	0,0066	1
2002	Pelgriano and Modena	6	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	300				250	31,4	3,3	0,335	25	233,6	4400	6,6	2 Πλευρές	Όχι	90	19	0,495	1,00	1,00	Απωμίληση	86,00		247,50	0,0168	0,0066	1
2002	Pelgriano and Modena	7	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	300				250	31,4	3,3	0,335	25	233,6	4400	4,4	2 Πλευρές	Όχι	90	19	0,33	1,00	1,00	Απωμίληση	47,20		208,80	0,0168	0,0044	1
2002	Pelgriano and Modena	8	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	300				250	31,4	3,3	0,335	25	233,6	4400	4,4	2 Πλευρές	Όχι	90	19	0,33	1,00	1,00	Απωμίληση	50,50		212,00	0,0168	0,0044	1
2003	Táñez	1	Carbon	Ορθογώνιος ή	180	500				440	57,4	3,05	0	44	234	4500	0,86	U	Όχι	45	19	0,11	0,71	1,00	Άρη Σαρωθείς	182,10		306,10	0,0168	0,00086	1
2003	Táñez	2	Carbon	Ορθογώνιος ή	180	500				440	57,4	3,05	0	44	234	4500	0,55	U	Όχι	45	19	0,07	0,71	1,00	Θυγατέρι	122,70		246,70	0,0168	0,00055	1
2003	Táñez	3	Carbon	Ορθογώνιος ή	180	500				440	61,4	3,05	0	44	234	4500	0,86	U	Όχι	45	19	0,11	0,71	1,00	Άρη Σαρωθείς	135,20		257,20	0,0168	0,00086	1
2003	Táñez	4	Carbon	Ορθογώνιος ή	180	500				440	48,7	3,05	0	44	234	4500	1,22	U	Όχι	90	19	0,11	1,00	1,00	Άρη Σαρωθείς	136,60		260,60	0,0168	0,00122	1
2003	Táñez	5	Carbon	Ορθογώνιος ή	180	500				440	61,4	3,05	0	44	234	4500	1,26	U	Όχι	45	19	0,16	0,71	1,00	Άρη Σαρωθείς	210,30		334,20	0,0168	0,00126	1

Τα δοκίμια από 248- 265:

Πίνακας 5.30 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 248 έως 265

2003	Diagam et al.	1	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	130	450			425	38	1.29	0,15	42,5	105	1400	1,32	U	Όχι	90	13,3	0,43	40,00	290,00	Ανωκίλιση	32,50		142,50	0,0168	0,00132	1
2003	Diagam et al.	2	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	130	450			425	38	1.29	0,15	42,5	105	1400	1,06	U	Όχι	90	13,3	0,43	40,00	290,00	Ανωκίλιση	20,00		130,00	0,0168	0,00106	1
2003	Diagam et al.	3	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	130	450			425	38	1.29	0,15	42,5	105	1400	0,88	U	Όχι	45	13,3	0,43	40,00	390,00	Ανωκίλιση	44,50		154,50	0,0168	0,00088	1
2003	Diagam et al.	4	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	130	450			425	38	1.29	0,15	42,5	105	1400	0,76	U	Όχι	45	13,3	0,43	40,00	390,00	Ανωκίλιση	40,00		150,00	0,0168	0,00076	1
2004	Athikary and Manjoshi	1	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	150	200			170	31,5	2,98	0	12	230	3400	2,23	2 Πλαστικές	Όχι	90	15	0,167	1,00	1,00	Ανωκίλιση	19,40		58,60	0,0168	0,00223	1
2004	Athikary and Manjoshi	2	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	150	200			170	31	2,98	0	12	230	3400	4,45	2 Πλαστικές	Όχι	90	15	0,334	1,00	1,00	Ανωκίλιση	21,10		60,30	0,0168	0,00445	1
2004	Athikary and Manjoshi	3	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	150	200			170	33,7	2,98	0	17	230	3400	4,45	2 Πλαστικές	Όχι	90	15	0,334	1,00	1,00	Ισση Σαρωθείς	41,60		80,80	0,0168	0,00445	1
2004	Athikary and Manjoshi	4	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	150	200			170	34,4	2,98	0	12	230	3400	2,23	U	Όχι	90	15	0,167	1,00	1,00	Ανωκίλιση	29,30		68,50	0,0168	0,00223	1
2004	Athikary and Manjoshi	5	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	150	200			170	35,4	2,98	0	17	230	3400	2,23	U	Όχι	90	15	0,167	1,00	1,00	Ισση Σαρωθείς	46,60		85,80	0,0168	0,00223	1
2005	Can et al.	1	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	150	250			222,5	25,36	4,41	0,189	22,25	249	3635	0,67	Πάρης Παρεκκλιση	Όχι	90	14,59839357	0,167	30,00	100,00	Θραύση	29,00		92,50	0,0168	0,00067	1
2005	Can et al.	2	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	150	250			222,5	25,36	4,41	0,189	22,25	249	3635	0,45	Παρεκκλιση Πάρης	Όχι	90	14,59839357	0,167	30,00	150,00	Θραύση	21,00		93,50	0,0168	0,00045	1
2005	Can et al.	3	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	150	250			222,5	25,36	4,41	0,189	22,25	249	3635	0,67	Παρεκκλιση Πάρης	Όχι	90	14,59839357	0,167	30,00	100,00	Θραύση	25,00		113,50	0,0168	0,00067	1
2005	Can et al.	4	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	150	250			222,5	25,36	4,41	0,189	22,25	249	3635	1,34	Παρεκκλιση Πάρης	Όχι	90	14,59839357	0,167	30,00	50,00	Θραύση	27,00		108,50	0,0168	0,00134	1
2005	Can et al.	5	Glass	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	150	250			222,5	25	4,41	0	22,25	20,5	260	8,47	Παρεκκλιση Πάρης	Όχι	90	12,68292683	1,27	20,00	40,00	Θραύση	54,00		68,00	0,0168	0,00847	1
2005	Can et al.	6	Glass	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	150	250			222,5	25	4,41	0	22,25	20,5	260	4,23	Παρεκκλιση Πάρης	Όχι	90	12,68292683	1,27	20,00	80,00	Θραύση	38,00		60,50	0,0168	0,00423	1
2005	Can et al.	7	Glass	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	150	250			222,5	25	4,41	0	22,25	20,5	260	8,47	Παρεκκλιση Πάρης	Όχι	90	12,68292683	1,27	20,00	40,00	Θραύση	28,00		89,00	0,0168	0,00847	1
2005	Can et al.	8	Glass	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	150	250			222,5	25	4,41	0	22,25	20,5	260	4,23	Παρεκκλιση Πάρης	Όχι	90	12,68292683	1,27	20,00	80,00	Θραύση	11,00		80,50	0,0168	0,00423	1
2005	Can et al.	9	Glass	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	150	250			222,5	14,24	4,41	0	22,25	5,3	112	8	Παρεκκλιση	Όχι	90	21,13207547	1,2	25,00	50,00	Θραύση	26,00		52,00	0,0168	0,008	1

Τα δοκίμια από 266-283:

Πίνακας 5.31 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 266 έως 283

1999	Manjoshi et al.	1	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	600	600			540	33,5	1	-	54	252	4312	0,37	Πάρης Παρεκκλιση	Όχι	90	17,11	0,111	1,00	1,00	Θραύση	162,00		-	0,0168	0,00037	1
1999	Manjoshi et al.	2	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	600	600			540	33,5	1	-	54	244	3832	0,37	Πάρης Παρεκκλιση	Όχι	90	15,7	0,111	1,00	1,00	Θραύση	157,00		-	0,0168	0,00037	1
2000	Tjebben and Elgren	1	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	180	500			440	40,3	2	0	44	65,6	1053	18,9	2 Πλαστικές	Όχι	45	20	2,4	0,71	1,00	Ισση Σαρωθείς	220,00		340,50	0,0168	0,0189	1
2000	Tjebben and Elgren	2	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	180	500			440	55,2	2	0	44	100,6	1450	4,71	2 Πλαστικές	Όχι	45	10	0,6	0,71	1,00	Ανωκίλιση	153,50		274,00	0,0168	0,00471	1
2000	Tjebben and Elgren	3	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	180	500			440	40,2	2	0	44	49	577	31,4	2 Πλαστικές	Όχι	45	10	4	0,71	1,00	Ανωκίλιση	152,50		273,00	0,0168	0,00314	1
2000	Tjebben and Elgren	4	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	180	500			440	38,5	2	0	44	70,8	860	6,29	2 Πλαστικές	Όχι	45	10	0,8	0,71	1,00	Θραύση	210,50		331,00	0,0168	0,00629	1
2000	Tjebben and Elgren	5	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	180	500			440	40,9	2	0	44	70,8	860	25,1	2 Πλαστικές	Όχι	45	10	3,2	0,71	1,00	Ισση Σαρωθείς	227,00		347,50	0,0168	0,0251	1
2000	Tjebben and Elgren	6	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	180	500			440	43,8	2	0	44	70,8	860	2,22	2 Πλαστικές	Όχι	45	10	0,4	300,00	600,00	Ανωκίλιση	85,00		195,00	0,0168	0,00222	1
2000	Tjebben and Elgren	7	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	180	500			440	42,7	2	0	44	70,8	860	6,29	2 Πλαστικές	Όχι	45	10	0,8	0,71	1,00	Ανωκίλιση	122,50		243,00	0,0168	0,00629	1
2002	Li et al.	1	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	130	300			266	38	1,16	0,05	11,6	15	209	16,3	2 Πλαστικές	Όχι	45	13,9	1,5	0,71	1,00	Ανωκίλιση	16,00		43,33	0,0168	0,0163	1
2002	Li et al.	2	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	130	300			266	38	1,16	0,05	19,1	15	209	16,3	2 Πλαστικές	Όχι	45	13,9	1,5	0,71	1,00	Ανωκίλιση	31,33		58,67	0,0168	0,0163	1
2002	Li et al.	3	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	130	300			266	38	1,16	0,05	24,6	15	209	16,3	2 Πλαστικές	Όχι	45	13,9	1,5	0,71	1,00	Ισση Σαρωθείς	29,33		56,67	0,0168	0,0163	1
2002	Li et al.	4	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	130	300			266	38	1,16	0,11	11,6	15	209	16,3	2 Πλαστικές	Όχι	45	13,9	1,5	0,71	1,00	Ανωκίλιση	14,00		42,67	0,0168	0,0163	1
2002	Li et al.	5	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	130	300			266	38	1,16	0,22	11,6	15	209	16,3	2 Πλαστικές	Όχι	45	13,9	1,5	0,71	1,00	Ανωκίλιση	10,00		50,67	0,0168	0,0163	1
2002	Li et al.	6	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	130	300			266	38	1,16	0,22	19,1	15	209	16,3	2 Πλαστικές	Όχι	45	13,9	1,5	0,71	1,00	Ανωκίλιση	18,00		58,67	0,0168	0,0163	1
2002	Li et al.	7	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	130	300			266	38	1,16	0,22	24,6	15	209	16,3	2 Πλαστικές	Όχι	45	13,9	1,5	0,71	1,00	Ισση Σαρωθείς	17,33		58,00	0,0168	0,0163	1
2002	Li et al.	8	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	130	300			264	38	1,8	0,05	18,9	15	209	16,3	2 Πλαστικές	Όχι	45	13,9	1,5	0,71	1,00	Ανωκίλιση	27,33		60,00	0,0168	0,0163	1
2002	Li et al.	9	Carbon	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός	130	300			264	38	1,8	0,22	18,9	15	209	16,3	2 Πλαστικές	Όχι	45	13,9	1,5	0,71	1,00	Ανωκίλιση	40,67		84,00	0,0168	0,0163	1

## Τα δοκίμια από 284-301:

### Πίνακας 5.32 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 284 έως 301

205	Can et al.	10	Glass	Ορθογωνικός ή Ορθογωνικός ή	150	250			222.5	14.24	4.41	0	22.25	5.3	112	4	Πλάγιο Παρενάλζη Πλάγιο Παρενάλζη	Όχι	90	21.13207547	1.2	25.00	100.00	Φυσική	9.00		49.50		0.0168	0.004	1
205	Can et al.	11	Glass	Ορθογωνικός ή	150	250			222.5	14.24	4.41	0	22.25	5.3	112	8	Πλάγιο Παρενάλζη Πλάγιο Παρενάλζη	Όχι	90	21.13207547	1.2	25.00	50.00	Φυσική	15.00		81.00		0.0168	0.008	1
205	Can et al.	12	Glass	Ορθογωνικός ή	150	250			222.5	14.24	4.41	0	22.25	5.3	112	4	Πλάγιο Παρενάλζη Πλάγιο Παρενάλζη	Όχι	90	21.13207547	1.2	25.00	100.00	Φυσική	20.00		75.00		0.0168	0.004	1
205	Zhang and Hsu	1	Carbon	Ορθογωνικός ή	152.4	228.6			178.6	43.32	1.57	0	17.86	165	2800	5	2 Πλάγιες Παρενάλζη	Όχι	90	19	1.2	40.00	127.00	Απωμίλωση	27.60		71.70		0.0168	0.005	1
205	Zhang and Hsu	2	Carbon	Ορθογωνικός ή	152.4	228.6			178.6	42.4	1.57	0	17.86	165	2800	5	2 Πλάγιες Παρενάλζη	Όχι	45	19	1.2	40.00	127.00	Απωμίλωση	36.10		82.20		0.0168	0.005	1
205	Zhang and Hsu	3	Carbon	Ορθογωνικός ή	152.4	228.6			178.6	43.86	1.57	0	17.86	75.1	906	4.33	2 Πλάγιες Παρενάλζη	Όχι	90	15.3	0.33	1.00	1.00	Φυσική	7.50		53.60		0.0168	0.00433	1
205	Zhang and Hsu	4	Carbon	Ορθογωνικός ή	152.4	228.6			178.6	43.32	1.57	0	17.86	165	2800	5	2 Πλάγιες Παρενάλζη	Όχι	90	19	1.2	40.00	127.00	Απωμίλωση	21.00		63.90		0.0168	0.005	1
205	Zhang and Hsu	5	Carbon	Ορθογωνικός ή	152.4	228.6			178.6	43.86	1.57	0	17.86	75.1	906	4.33	2 Πλάγιες Παρενάλζη	Όχι	90	15.3	0.33	1.00	1.00	Φυσική	8.20		51.20		0.0168	0.00433	1
205	Carlin and Telford	1	Carbon	Ορθογωνικός ή	180	500			440	57	3.05	0	44	234	4500	0.55	2 Πλάγιες Παρενάλζη	Ναι	45	19	0.07	0.71	1.00	Φυσική	123.00		247.00		0.0168	0.00055	1
205	Carlin and Telford	2	Carbon	Ορθογωνικός ή	180	500			440	39	3.05	0	44	234	4500	0.55	2 Πλάγιες Παρενάλζη	Ναι	45	19	0.07	0.71	1.00	Φυσική	214.00		338.00		0.0168	0.00055	1
205	Carlin and Telford	3	Carbon	Ορθογωνικός ή	180	500			440	61	3.05	0	44	234	4500	0.86	2 Πλάγιες Παρενάλζη	Ναι	45	19	0.11	0.71	1.00	κρίσιμη-θραύση	133.00		257.00		0.0168	0.00086	1
205	Carlin and Telford	4	Carbon	Ορθογωνικός ή	180	500			440	43	3.05	0	44	234	4500	0.86	2 Πλάγιες Παρενάλζη	Ναι	45	19	0.11	0.71	1.00	κρίσιμη-θραύση	181.00		305.00		0.0168	0.00086	1
205	Carlin and Telford	5	Carbon	Ορθογωνικός ή	180	500			440	36	3.05	0	44	210	2800	0.86	2 Πλάγιες Παρενάλζη	Ναι	45	19	0.11	0.71	1.00	κρίσιμη-θραύση	214.00		338.00		0.0168	0.00086	1
205	Carlin and Telford	6	Carbon	Ορθογωνικός ή	180	500			440	39	3.05	0	44	234	4500	0.86	2 Πλάγιες Παρενάλζη	Ναι	45	19	0.11	0.71	1.00	κρίσιμη-θραύση	195.00		319.00		0.0168	0.00086	1
205	Carlin and Telford	7	Carbon	Ορθογωνικός ή	180	500			440	57	3.05	0	44	234	4500	0.86	2 Πλάγιες Παρενάλζη	Ναι	45	19	0.11	0.71	1.00	κρίσιμη-θραύση	182.00		306.00		0.0168	0.00086	1
205	Carlin and Telford	8	Carbon	Ορθογωνικός ή	180	500			440	37	3.05	0	44	234	4500	0.86	2 Πλάγιες Παρενάλζη	Ναι	45	19	0.11	0.71	1.00	κρίσιμη-θραύση	127.00		251.00		0.0168	0.00086	1
205	Carlin and Telford	9	Carbon	Ορθογωνικός ή	180	500			440	43	3.05	0	44	234	4500	0.86	2 Πλάγιες Παρενάλζη	Ναι	45	19	0.11	0.71	1.00	κρίσιμη-θραύση	167.00		291.00		0.0168	0.00086	1
205	Carlin and Telford	10	Carbon	Ορθογωνικός ή	180	500			440	49	3.05	0	44	234	4500	1.22	2 Πλάγιες Παρενάλζη	Ναι	90	19	0.11	1.00	1.00	Ακρίσιμη	132.00		256.00		0.0168	0.00122	1

## Τα δοκίμια από 302-318:

### Πίνακας 5.33 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 302 έως 318

205	Carlin and Telford	11	Carbon	Ορθογωνικός ή	180	500			440	42	3.05	0	44	234	4500	1.22	2 Πλάγιες Παρενάλζη Πλάγιο Παρενάλζη	Ναι	90	19	0.11	1.00	1.00	Ακρίσιμη	174.00		298.00		0.0168	0.00122	1
205	Carlin and Telford	12	Carbon	Ορθογωνικός ή	180	500			440	42	3.05	0	44	234	4500	1.22	2 Πλάγιες Παρενάλζη Πλάγιο Παρενάλζη	Ναι	90	19	0.11	1.00	1.00	κρίσιμη Συναρμώση	243.00		367.00		0.0168	0.00122	1
205	Carlin and Telford	13	Carbon	Ορθογωνικός ή	180	500			440	36	3.05	0	44	210	2800	1.22	2 Πλάγιες Παρενάλζη	Ναι	90	13	0.11	1.00	1.00	κρίσιμη-θραύση	264.00		388.00		0.0168	0.00122	1
205	Carlin and Telford	14	Carbon	Ορθογωνικός ή	180	500			440	61	3.05	0	44	234	4500	1.34	2 Πλάγιες Παρενάλζη	Ναι	45	19	0.17	0.71	1.00	Ακρίσιμη	210.00		334.00		0.0168	0.00134	1
205	Carlin and Telford	15	Carbon	Ορθογωνικός ή	180	500			440	44	3.05	0	44	234	4500	1.34	2 Πλάγιες Παρενάλζη	Ναι	45	19	0.17	0.71	1.00	Ακρίσιμη	220.00		344.00		0.0168	0.00134	1
205	Carlin and Telford	16	Carbon	Ορθογωνικός ή	180	400			340	36	3.94	0.16	34	234	4500	1.22	2 Πλάγιες Παρενάλζη	Ναι	90	19	0.11	1.00	1.00	Ακρίσιμη	61.00		298.00		0.0168	0.00122	1
205	Carlin and Telford	17	Carbon	Ορθογωνικός ή	180	400			340	36	3.94	0.16	34	234	4500	1.89	2 Πλάγιες Παρενάλζη	Ναι	90	19	0.17	1.00	1.00	Ακρίσιμη	61.00		298.00		0.0168	0.00189	1
205	Qiu et al.	1	Carbon	Ορθογωνικός ή	300	200			166	41.2	4.1	0	16.6	235	3550	1.33	U	Όχι	90	15.10638298	0.111	30.00	50.00	Απωμίλωση	21.50		101.50		0.0168	0.00133	1
205	Qiu et al.	2	Carbon	Ορθογωνικός ή	200	400			330	41.2	4.5	0	33	235	3550	1.33	U	Όχι	90	15.10638298	0.222	60.00	100.00	Απωμίλωση	50.00		494.50		0.0168	0.00133	1
205	Qiu et al.	3	Carbon	Ορθογωνικός ή	300	600			498	41	4.2	0	49.8	235	3550	1.33	U	Όχι	90	15.10638298	0.333	90.00	150.00	Απωμίλωση	196.00		1009.00		0.0168	0.00133	1
206	Pedregón and Modena	1	Carbon	Ορθογωνικός ή	150	300			250	41.4	7.5	0.392	25	230	3450	2.2	U	Όχι	90	15	0.165	1.00	1.00	Απωμίλωση	52.90		238.10		0.0168	0.0022	1
206	Pedregón and Modena	2	Carbon	Ορθογωνικός ή	150	300			250	41.4	7.5	0.335	25	230	3450	2.2	U	Όχι	90	15	0.165	1.00	1.00	Απωμίλωση	55.80		225.00		0.0168	0.0022	1
206	Pedregón and Modena	3	Carbon	Ορθογωνικός ή	150	300			250	41.4	7.5	0.392	25	230	3450	2.2	U	Όχι	90	15	0.165	1.00	1.00	Απωμίλωση	49.10		247.20		0.0168	0.0022	1
206	Pedregón and Modena	4	Carbon	Ορθογωνικός ή	150	300			250	41.4	7.5	0.335	25	230	3450	2.2	U	Όχι	90	15	0.165	1.00	1.00	Απωμίλωση	31.70		255.10		0.0168	0.0022	1
206	Pedregón and Modena	5	Carbon	Ορθογωνικός ή	150	300			250	41.4	7.5	0.392	25	230	3450	4.4	U	Όχι	90	15	0.33	1.00	1.00	Απωμίλωση	57.80		243.00		0.0168	0.0044	1
206	Pedregón and Modena	6	Carbon	Ορθογωνικός ή	150	300			250	41.4	7.5	0.335	25	230	3450	4.4	U	Όχι	90	15	0.33	1.00	1.00	Απωμίλωση	60.50		229.70		0.0168	0.0044	1
206	Pedregón and Modena	7	Carbon	Ορθογωνικός ή	150	300			250	41.4	7.5	0.392	25	230	3450	4.4	U	Όχι	90	15	0.33	1.00	1.00	Απωμίλωση	20.80		218.90		0.0168	0.0044	1

Τα δοκίμια από 319-336:

Πίνακας 5.34 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 319 έως 336

206	Pérez-Griso and Molero	8	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	300			250	41.4	7.5	0.335	25	230	3450	4.4	U	Όχι	90	15	0.33	1.00	1.00	Ασπίδα	4.00		207.50		0.0068	0.0044	1
207	Barron et al.	1	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	300			270	37.6	0.78	0	27	390	3000	0.99	U	Όχι	90	8	0.334	25.00	190.00	Ασπίδα	10.83		61.03		0.0068	0.00099	1
207	Barron et al.	2	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	300			270	37.6	0.78	0	27	166	2286	0.93	2 Πλευρές	Όχι	90	13	1.4	10.00	200.00	Ασπίδα	29.12		79.32		0.0068	0.00093	1
207	Barron et al.	3	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	300			270	37.6	1.1	0	27	390	3000	1.17	U	Όχι	90	8	0.534	25.00	95.00	Ασπίδα	31.52		89.77		0.0068	0.00117	1
207	Barron et al.	4	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	300			270	37.6	1.1	0	27	166	2286	1.87	2 Πλευρές	Όχι	90	13	1.4	10.00	100.00	Ασπίδα	59.31		117.56		0.0068	0.00187	1
207	Barron et al.	5	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	150			120	49.5	1.74	0	12	390	3000	1.39	U	Όχι	90	8	0.334	25.00	80.00	Ασπίδα	18.56		55.57		0.0068	0.00139	1
207	Barron et al.	6	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	150			120	49.5	1.74	0	12	166	2286	1.87	2 Πλευρές	Όχι	90	13	1.4	10.00	100.00	καλή Στερεοείδη	28.60		65.61		0.0068	0.00187	1
207	Barron et al.	7	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	150			120	49.5	2.5	0	12	390	3000	2.78	U	Όχι	90	8	0.334	25.00	40.00	καλή Στερεοείδη	33.65		71.50		0.0068	0.00278	1
207	Barron et al.	8	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	150			120	49.5	2.5	0	12	166	2286	3.73	2 Πλευρές	Όχι	90	13	1.4	10.00	50.00	καλή Στερεοείδη	31.75		69.69		0.0068	0.00373	1
207	Monti and Latta	1	Carbon	Ορθογώνιος ή	250	450			410	13.3	1.26	0.1	26	390	3000	1.76	2 Πλευρές	Όχι	90	7.692307692	0.22	1.00	1.00	Ασπίδα	14.50		112.50		0.0068	0.00176	1
207	Monti and Latta	2	Carbon	Ορθογώνιος ή	250	450			410	13.3	1.26	0.1	26	390	3000	0.88	U	Όχι	60	7.692307692	0.22	150.00	300.00	Ασπίδα	13.00		111.00		0.0068	0.00088	1
207	Monti and Latta	3	Carbon	Ορθογώνιος ή	250	450			410	13.3	1.26	0.1	26	390	3000	1.76	U	Όχι	90	7.692307692	0.22	1.00	1.00	Ασπίδα	27.00		125.00		0.0068	0.00176	1
207	Monti and Latta	4	Carbon	Ορθογώνιος ή	250	450			410	13.3	1.26	0.1	26	390	3000	1.17	U	Ναι	45	7.692307692	0.22	150.00	225.00	παρά στρογγύλη	66.50		164.50		0.0068	0.00117	1
207	Leung et al.	1	Carbon	Ορθογώνιος ή	75	180			155	27.4	5.4	0.28	15.5	235	4200	0.98	U	Όχι	90	18	0.11	20.00	60.00	Ασπίδα	24.20		65.00		0.0068	0.00098	1
207	Leung et al.	2	Carbon	Ορθογώνιος ή	75	180			155	27.4	5.4	0.28	15.5	235	4200	0.98	U	Όχι	90	18	0.11	20.00	60.00	Ασπίδα	5.10		45.90		0.0068	0.00098	1
207	Leung et al.	3	Carbon	Ορθογώνιος ή	75	180			155	27.4	5.4	0.28	15.5	235	4200	0.98	Πλάγια Παρατεταμένη Πλαστικότητα	Όχι	90	18	0.11	20.00	60.00	Φύλλα	25.40		66.10		0.0068	0.00098	1
207	Leung et al.	4	Carbon	Ορθογώνιος ή	75	180			155	27.4	5.4	0.28	15.5	235	4200	0.98	Πλάγια Παρατεταμένη Πλαστικότητα	Όχι	90	18	0.11	20.00	60.00	Φύλλα	25.90		66.70		0.0068	0.00098	1
207	Leung et al.	5	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	360			305	27.4	4.4	0.28	30.5	235	4200	0.98	U	Όχι	90	18	0.22	40.00	120.00	Ασπίδα	4.80		154.60		0.0068	0.00098	1

Τα δοκίμια από 337-354:

Πίνακας 5.35 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 337 έως 354

207	Leung et al.	6	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	360			305	27.4	4.4	0.28	30.5	235	4200	0.98	U	Όχι	90	18	0.22	40.00	120.00	Ασπίδα	9.90		159.80		0.0068	0.00098	1
207	Leung et al.	7	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	360			305	27.4	4.4	0.28	30.5	235	4200	0.98	Πλάγια Παρατεταμένη Πλαστικότητα	Όχι	90	18	0.22	40.00	120.00	Φύλλα	86.50		236.40		0.0068	0.00098	1
207	Leung et al.	8	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	360			305	27.4	4.4	0.28	30.5	235	4200	0.98	Πλάγια Παρατεταμένη Πλαστικότητα	Όχι	90	18	0.22	40.00	120.00	Φύλλα	100.50		290.30		0.0068	0.00098	1
207	Moskhan and Bazerjeh	1	Glass	Ορθογώνιος ή	150	250			205	27.54	0.82	0.16	10.74	24.2	510	28	U	Όχι	90	22	2.1	1.00	1.00	καλή Στερεοείδη	33.20		107.06		0.0068	0.028	1
207	Moskhan and Bazerjeh	2	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	250			205	27.54	0.82	0.16	10.74	96.5	1061	21.3	U	Όχι	90	12	1.6	1.00	1.00	καλή Στερεοείδη	40.40		125.75		0.0068	0.0213	1
207	Moskhan and Bazerjeh	3	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	250			205	27.54	0.82	0.16	10.74	151.7	2896	7.93	2 Πλευρές	Όχι	90	18	1.19	50.80	101.60	Ασπίδα	50.80		113.90		0.0068	0.00793	1
207	Moskhan and Bazerjeh	4	Glass	Ορθογώνιος ή	150	250			205	27.54	0.82	0.16	10.74	24.2	510	28	U	Όχι	90	22	2.1	1.00	1.00	καλή Στερεοείδη	36.00		121.40		0.0068	0.028	1
207	Moskhan and Bazerjeh	5	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	250			205	27.54	0.82	0.16	10.74	96.5	1061	21.3	U	Όχι	90	12	1.6	1.00	1.00	καλή Στερεοείδη	50.00		133.20		0.0068	0.0213	1
207	Moskhan and Bazerjeh	6	Carbon	Ορθογώνιος ή	150	250			205	27.54	0.82	0.16	10.74	151.7	2896	7.93	2 Πλευρές	Όχι	90	18	1.19	50.80	101.60	Ασπίδα	25.60		110.95		0.0068	0.00793	1
208	Sondaraja and Rajamban	1	Glass	Ορθογώνιος ή	100	150			120	24.11	1.57	0.75	10.8	73	3400	2.42	2 Πλευρές	Όχι	45	46.58	0.363	15.00	45.00	Κουμπάκι	6.00		51.00		0.0068	0.00242	1
208	Sondaraja and Rajamban	2	Glass	Ορθογώνιος ή	100	150			120	24.11	1.57	0.75	10.8	73	3400	2.42	U	Όχι	45	46.58	0.363	15.00	45.00	καλή Στερεοείδη	8.00		55.00		0.0068	0.00242	1
208	Sondaraja and Rajamban	3	Glass	Ορθογώνιος ή	100	150			120	24.11	1.57	0.38	10.8	73	3400	3.23	2 Πλευρές	Όχι	45	46.58	0.363	20.00	45.00	Κουμπάκι	17.00		50.00		0.0068	0.00323	1
208	Sondaraja and Rajamban	4	Glass	Ορθογώνιος ή	100	150			120	24.11	1.57	0.38	10.8	73	3400	3.23	U	Όχι	45	46.58	0.363	20.00	45.00	Κουμπάκι	19.00		52.00		0.0068	0.00323	1
208	Sondaraja and Rajamban	5	Glass	Ορθογώνιος ή	100	150			120	24.11	1.57	0	10.8	73	3400	6.45	2 Πλευρές	Όχι	45	46.58	0.363	40.00	45.00	Κουμπάκι	16.00		48.00		0.0068	0.00645	1
208	Sondaraja and Rajamban	6	Glass	Ορθογώνιος ή	100	150			120	24.11	1.57	0	10.8	73	3400	6.45	U	Όχι	45	46.58	0.363	40.00	45.00	ημιαπεί-Φύλλα	23.00		53.00		0.0068	0.00645	1
208	Sondaraja and Rajamban	7	Glass	Ορθογώνιος ή	100	150			120	24.11	1.57	0.75	10.8	73	3400	4.84	2 Πλευρές	Όχι	45	46.58	0.363	30.00	45.00	καλή Στερεοείδη	17.00		49.00		0.0068	0.00484	1
208	Sondaraja and Rajamban	8	Glass	Ορθογώνιος ή	100	150			120	24.11	1.57	0.75	10.8	73	3400	4.84	U	Όχι	45	46.58	0.363	30.00	45.00	καλή Στερεοείδη	18.00		50.00		0.0068	0.00484	1
208	Jayaprabah et al.	1	Carbon	Ορθογώνιος ή	120	340			310	27.38	1.69	0	31	230	3800	0.8	U	Όχι	90	16.5	0.09	80.00	150.00	Φύλλα	18.30		67.37		0.0068	0.0008	1

## Τα δοκίμια από 355-372:

### Πίνακας 5.36 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 355 έως 372

2008	Josephksh et al.	2	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	120	340			310	27.38	1.69	0	31	230	3800	0.8	U	Όχι	90	16.5	0.09	80.00	150.00	Φθιστή	38.25		87.32		0.0068	0.0008	1
2008	Josephksh et al.	3	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	120	340			310	27.38	1.69	0	31	230	3800	0.6	U	Όχι	90	16.5	0.09	80.00	200.00	Φθιστή	18.30		67.37		0.0068	0.0006	1
2008	Josephksh et al.	4	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	120	340			310	16.73	1.69	0	31	230	3800	0.8	U	Όχι	90	16.5	0.09	80.00	150.00	Φθιστή	34.95		67.37		0.0068	0.0008	1
2008	Josephksh et al.	5	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	120	340			310	27.38	1.08	0	31	230	3800	0.8	U	Όχι	90	16.5	0.09	80.00	150.00	Φθιστή	23.28		60.71		0.0068	0.0008	1
2008	Josephksh et al.	6	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	120	340			310	27.38	1.08	0	31	230	3800	0.6	U	Όχι	90	16.5	0.09	80.00	200.00	Φθιστή	13.30		50.73		0.0068	0.0006	1
2008	Josephksh et al.	7	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	120	340			310	16.73	1.08	0	31	230	3800	0.6	U	Όχι	90	16.5	0.09	80.00	200.00	Κεραμική	23.32		54.10		0.0068	0.0006	1
2008	Josephksh et al.	8	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	120	340			310	16.73	1.08	0	31	230	3800	0.8	U	Όχι	90	16.5	0.09	80.00	150.00	Κεραμική	3.33		34.11		0.0068	0.0008	1
2009	Tepe et al.	1	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	150	300			260	37	3.78	0	26	266	3970	0.59	Παρωδία Παρώδης Παρωδία	Όχι	90	15	0.11	20.00	50.00	Φθιστή	75.00		154.70		0.0068	0.00059	1
2009	Tepe et al.	2	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	150	300			260	37.4	3.78	0.302	26	266	3970	0.59	Παρωδία Παρώδης Παρωδία	Όχι	90	15	0.11	20.00	50.00	Φθιστή	85.60		205.50		0.0068	0.00059	1
2009	Tepe et al.	3	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	150	300			260	35.9	3.78	0.537	26	266	3970	0.59	Παρωδία Παρώδης Παρωδία	Όχι	90	15	0.11	20.00	50.00	καλή Στεγνότητα	55.00		198.30		0.0068	0.00059	1
2009	Tepe et al.	4	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	150	300			260	43.8	3.78	0	26	266	3970	0.59	Παρωδία Παρώδης Παρωδία	Όχι	90	15	0.11	20.00	50.00	Φθιστή	52.40		132.10		0.0068	0.00059	1
2009	Tepe et al.	5	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	150	300			260	40.6	3.78	0.302	26	266	3970	0.59	Παρωδία Παρώδης Παρωδία	Όχι	90	15	0.11	20.00	50.00	Φθιστή	61.00		180.90		0.0068	0.00059	1
2009	Tepe et al.	6	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	150	300			260	35.4	3.78	0.537	26	266	3970	0.59	Παρωδία Παρώδης Παρωδία	Όχι	90	15	0.11	20.00	50.00	Φθιστή	70.30		213.60		0.0068	0.00059	1
2009	Siddiqui	1	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	200	300			265	35	1.8	0.19	26.5	77.28	846	3.33	2 Παρωδία	Όχι	90	11	1	50.00	150.00	Ασπίδα	13.99		85.97		0.0068	0.00333	1
2009	Siddiqui	2	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	200	300			265	35	1.8	0.19	26.5	77.28	846	3.33	2 Παρωδία	Όχι	30	11	1	50.00	150.00	Ασπίδα	29.05		111.01		0.0068	0.00333	1
2009	Rizzo and De Lencastre	1	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	200	210			173	29.3	4.4	0.18	17.3	230	3420	1.65	U	Όχι	90	14.9	0.165	1.00	1.00	Ασπίδα	19.30		141.50		0.0068	0.00145	1
2010	Tanashin	1	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	200	350			320	25.1	1.96	0	32	231	4100	0.5	Παρωδία Παρωδία	Όχι	90	17	0.12	50.00	120.00	Κεραμική	44.80		106.70		0.0068	0.0005	1
2010	Tanashin	2	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	200	350			320	24.9	1.96	0	32	231	4100	0.75	2 Παρωδία	Όχι	90	17	0.12	50.00	80.00	Ασπίδα	28.30		90.20		0.0068	0.00075	1

## Τα δοκίμια από 373-390:

### Πίνακας 5.37 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 373 έως 390

2010	Tanashin	3	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	200	350			320	24.8	1.96	0	32	231	4100	0.3	2 Παρωδία Παρώδης Παρωδία	Όχι	60	17	0.12	50.00	200.00	Δαμπερική	32.00		93.90		0.0068	0.0003	1
2010	Tanashin	4	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	200	350			320	25	1.96	0	32	231	4100	0.5	Παρωδία Παρωδία	Όχι	90	17	0.12	50.00	120.00	Κεραμική	43.40		105.30		0.0068	0.0005	1
2010	Tanashin	5	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	200	350			320	24.8	1.96	0	32	231	4100	0.75	2 Παρωδία	Όχι	90	17	0.12	50.00	80.00	μεταβιβαση	41.60		105.50		0.0068	0.00075	1
2010	Tanashin	6	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	200	350			320	25	1.96	0	32	231	4100	0.3	2 Παρωδία	Όχι	60	17	0.12	50.00	200.00	Δαμπερική	35.40		97.30		0.0068	0.0003	1
2011	Codillo and Sheikh	1	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	400	650			545	48	2.6	0.07	50.5	94	1006	5	U	Όχι	90	10.7	1	1.00	1.00	Ασπίδα	207.00		622.00		0.0068	0.005	1
2011	Codillo and Sheikh	2	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	400	650			545	48	2.6	0.07	54.5	94	1006	2.5	Παρωδία Παρωδία Παρωδία	Όχι	90	10.7	1	100.00	200.00	Φθιστή	310.00		725.00		0.0068	0.0025	1
2011	Codillo and Sheikh	3	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	400	650			545	48	2.6	0.07	54.5	94	1006	5	Παρωδία Παρωδία Παρωδία	Όχι	90	10.7	1	1.00	1.00	μεταβιβαση-Φθιστή	473.00		888.00		0.0068	0.005	1
2011	Minos	1	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	120	360			335	21.11	2.34	0	33.5	234	4300	1.1	U	Όχι	90	18	0.131	100.00	200.00	Ασπίδα	58.40		97.80		0.0068	0.0011	1
2011	Minos	2	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	120	360			335	21.11	2.34	0	30	234	4300	1.1	U	Ναι	90	18	0.131	100.00	200.00	Φθιστή	75.70		115.10		0.0068	0.0011	1
2011	Minos	3	Steel	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	120	360			335	21.11	2.34	0	33.5	210	2310	1	U	Όχι	90	11	0.1184	100.00	200.00	Ασπίδα	54.60		94.00		0.0068	0.001	1
2011	Minos	4	Steel	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	120	360			335	21.11	2.34	0	30	210	2310	1	U	Ναι	90	11	0.1184	100.00	200.00	Αρχιμήδης	83.20		122.60		0.0068	0.001	1
2011	Minos	5	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	120	360			335	23.3	2.34	0	33.5	234	4300	1.46	U	Όχι	90	18	0.131	100.00	150.00	Ασπίδα	61.60		101.00		0.0068	0.00146	1
2011	Minos	6	Carbon	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	120	360			335	23.3	2.34	0	30	234	4300	1.46	U	Ναι	90	18	0.131	100.00	150.00	Φθιστή	83.60		123.00		0.0068	0.00146	1
2011	Minos	7	Steel	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	120	360			335	23.3	2.34	0	33.5	210	2310	1.32	U	Όχι	90	11	0.1184	100.00	150.00	Ασπίδα	63.60		103.00		0.0068	0.00132	1
2011	Minos	8	Steel	Ορθογώνιος ή Οβελωγώνιος	120	360			335	23.3	2.34	0	30	210	2310	1.32	U	Ναι	90	11	0.1184	100.00	150.00	Αρχιμήδης	79.60		119.00		0.0068	0.00132	1
1995	Chajes et al.	1	Alumil	T	63.5	127	139.7	63.5	152.4	45.45	2.05	0	8.9	11	223.6	32.8	U	Όχι	90	22.5	1.041	1.00	1.00	Όχι Φθιστή	19.90		38.70		0.0068	0.0328	1
1995	Chajes et al.	2	Alumil	T	63.5	127	139.7	63.5	152.4	48.3	2.05	0	8.9	11	223.6	32.8	U	Όχι	90	22.5	1.041	1.00	1.00	Όχι Φθιστή	11.20		30.00		0.0068	0.0328	1
1995	Chajes et al.	3	Alumil	T	63.5	127	139.7	63.5	152.4	41.8	2.05	0	8.9	14.3	171.5	14.4	U	Όχι	90	13.4	0.457	1.00	1.00	Φθιστή	17.90		36.70		0.0068	0.0144	1



## Τα δοκίμια από 391-408:

### Πίνακας 5.38 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 391 έως 408

1995	Chajes et al.	4	Gas	T	63.5	127	139.7	63.5	152.4	48.3	2.05	0	8.9	14.3	171.5	14.4	U	Oge	90	13.4	0.457	1.00	1.00	Φθισή	15.10	34.00	0.008	0.0144	1
1995	Chajes et al.	5	Carbon	T	63.5	127	139.7	63.5	152.4	43.9	2.05	0	8.9	21	185.7	18.4	U	Oge	90	9.5	0.584	1.00	1.00	Φθισή	16.70	35.50	0.008	0.0184	1
1995	Chajes et al.	6	Carbon	T	63.5	127	139.7	63.5	152.4	47.15	2.05	0	8.9	21	185.7	18.4	U	Oge	90	9.5	0.584	1.00	1.00	Φθισή	17.60	36.40	0.008	0.0184	1
1995	Chajes et al.	7	Carbon	T	63.5	127	139.7	63.5	152.4	47.15	2.05	0	8.9	21	185.7	13	U	Oge	45	9.5	0.584	0.71	1.00	Φθισή	18.70	37.50	0.008	0.013	1
1995	Chajes et al.	8	Carbon	T	63.5	127	139.7	63.5	152.4	41.8	2.05	0	8.9	21	185.7	13	U	Oge	45	9.5	0.584	0.71	1.00	Φθισή	28.40	47.30	0.008	0.013	1
1997	Sano et al.	1	Carbon	T	150	200	400	100	232	35.3	5.63	0.42	11.88	230	3480	1.48	U	Na	90	15.1	0.111	1.00	1.00	Φθισή	65.80	264.80	0.008	0.00148	1
1997	Sano et al.	2	Carbon	T	300	400	800	100	420	37.6	-	-	28.8	241	4350	0.74	U	Na	90	18.04979253	0.111	1.00	1.00	Φθισή	127.50	-	0.008	0.00074	1
1997	Sano et al.	3	Carbon	T	300	400	800	100	420	37.6	-	-	28.8	241	4350	0.74	U	Na	90	18.04979253	0.111	1.00	1.00	Φθισή	154.00	-	0.008	0.00074	1
1997	Sano et al.	4	Carbon	T	150	200	400	100	232	35.7	5.63	0.42	11.88	230	3480	1.48	U	Oge	90	15.1	0.111	1.00	1.00	Ασπίδα	24.00	227.00	0.008	0.00148	1
1997	Sano et al.	5	Carbon	T	150	200	400	100	232	35.3	5.63	0.42	11.88	230	3480	1.48	U	Oge	90	15.1	0.111	1.00	1.00	Ασπίδα	65.00	264.00	0.008	0.00148	1
2000	Khalifa and Nanni	1	Carbon	T	150	305	380	100	360	35	2.3	0	26	228	3790	2.2	U	Oge	90	16	0.165	1.00	1.00	Ασπίδα	65.00	155.00	0.008	0.0022	1
2000	Khalifa and Nanni	2	Carbon	T	150	305	380	100	360	35	2.3	0	26	228	3790	0.88	U	Oge	90	16	0.165	50.00	125.00	Ασπίδα	72.00	142.00	0.008	0.00088	1
2000	Khalifa and Nanni	3	Carbon	T	150	305	380	100	360	35	2.3	0	26	228	3790	0.88	2 Πλάγιες	Oge	90	16	0.165	50.00	125.00	Ασπίδα	31.50	121.50	0.008	0.00088	1
2000	Khalifa and Nanni	4	Carbon	T	150	305	380	100	360	35	2.3	0	26	228	3790	2.2	U	Na	90	16	0.165	1.00	1.00	Ασπίδα-Φθισή	131.00	221.00	0.008	0.0022	1
2001	Denard and Cheng	1	Carbon	T	140	450	400	150	540	44.1	2.81	0	39	230	3400	0.8	U	Na	45	15	0.11	50.00	100.00	Ασπίδα	103.50	215.60	0.008	0.0008	1
2001	Denard and Cheng	2	Carbon	T	140	450	400	150	540	44.1	2.81	0.1	39	230	3400	0.8	U	Na	90	15	0.11	50.00	100.00	Ασπίδα	85.25	272.80	0.008	0.0008	1
2001	Denard and Cheng	3	Glass	T	140	450	400	150	540	44.1	2.81	0.1	39	17.7	106	26	U	Na	90	6	1.8	1.00	1.00	Ασπίδα	109.90	297.45	0.008	0.026	1
2002	Chahid et al.	1	Carbon	T	92	356	584	89	343	37.9	3.6	1.1	22.86	231	3650	2.37	U	Oge	90	15.8	0.109	1.00	1.00	Ασπίδα	31.15	220.25	0.008	0.00237	1

## Τα δοκίμια από 409-426:

### Πίνακας 5.39 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 409 έως 426

2002	Chahid et al.	2	Carbon	T	92	356	584	89	343	37.9	3.6	1.1	22.86	231	3650	4.75	U	Oge	90	15.8	0.219	1.00	1.00	Ασπίδα	53.40	342.51	0.008	0.00475	1
2002	Chahid et al.	3	Carbon	T	92	356	584	89	343	37.9	3.6	0.76	22.86	231	3650	2.37	U	Oge	90	15.8	0.109	1.00	1.00	Ασπίδα	31.15	298.00	0.008	0.00237	1
2002	Chahid et al.	4	Carbon	T	92	356	584	89	343	37.9	3.6	0.76	22.86	231	3650	4.75	U	Oge	90	15.8	0.219	1.00	1.00	Ασπίδα	62.30	329.20	0.008	0.00475	1
2002	Chahid et al.	5	Carbon	T	92	356	584	89	343	37.9	3.6	0.76	22.86	231	3650	7.12	U	Oge	90	15.8	0.228	1.00	1.00	Ασπίδα	84.55	351.41	0.008	0.00712	1
2002	Chahid et al.	6	Carbon	T	92	356	584	89	343	37.9	3.6	0.38	22.86	231	3650	2.37	U	Oge	90	15.8	0.109	1.00	1.00	Ασπίδα	40.05	275.80	0.008	0.00237	1
2002	Chahid et al.	7	Carbon	T	92	356	584	89	343	37.9	3.6	0.38	22.86	231	3650	4.75	U	Oge	90	15.8	0.219	1.00	1.00	Ασπίδα	84.55	320.30	0.008	0.00475	1
2002	Chahid et al.	8	Carbon	T	92	356	584	89	343	37.9	3.6	0.25	22.86	231	3650	2.37	U	Oge	90	15.8	0.109	1.00	1.00	Ασπίδα	53.40	258.00	0.008	0.00237	1
2002	Chahid et al.	9	Carbon	T	92	356	584	89	343	37.9	3.6	0.25	22.86	231	3650	4.75	U	Oge	90	15.8	0.219	1.00	1.00	Ασπίδα	48.95	255.60	0.008	0.00475	1
2002	Chahid et al.	10	Carbon	T	92	356	584	89	343	37.9	3.6	0.25	22.86	231	3650	7.12	U	Oge	90	15.8	0.228	1.00	1.00	Ασπίδα	53.40	258.00	0.008	0.00712	1
2003	Denard and Cheng	1	Carbon	T	140	250	400	150	340	29.4	2.23	0.202	19	230	3400	0.8	U	Na	45	14.8	0.11	50.00	100.00	Ασπίδα	17.80	219.05	0.008	0.0008	1
2003	Denard and Cheng	2	Glass	T	140	250	400	150	340	30	2.23	0.101	19	17.7	106	26	U	Na	90	6	1.8	1.00	1.00	Φθισή	48.65	205.60	0.008	0.026	1
2003	Denard and Cheng	3	Glass	T	140	250	400	150	340	30.2	2.23	0	19	17.7	106	26	U	Na	90	6	1.8	1.00	1.00	Φθισή	45.60	159.00	0.008	0.026	1
2003	Denard and Cheng	4	Glass	T	140	250	400	150	340	30.3	2.23	0	19	17.7	106	26	U	Na	90	6	1.8	1.00	1.00	Φθισή	24.35	225.60	0.008	0.026	1
2006	Aid	1	Carbon	T	120	285	360	75	335	35.6	2.34	0	26	231	4100	0.35	2 Πλάγιες	Na	45	17	0.12	50.00	285.00	Φθισή	32.90	74.30	0.008	0.00035	1
2006	Aid	2	Carbon	T	120	285	360	75	335	35.8	2.34	0	26	231	4100	0.7	2 Πλάγιες	Na	45	17	0.12	100.00	285.00	Ασπίδα-Φθισή	49.70	91.10	0.008	0.0007	1
2006	Aid	3	Carbon	T	120	285	360	75	335	35.2	2.34	0	26	231	4100	0.7	2 Πλάγιες	Na	45	17	0.12	50.00	143.00	Ασπίδα-Φθισή	48.60	90.00	0.008	0.0007	1
2008	Aid	1	Carbon	T	120	285	360	75	335	14	2.34	0	26	231	4100	1.25	U	Na	90	17	0.12	50.00	80.00	Ασπίδα	42.70	80.00	0.008	0.00125	1
2008	Aid	2	Carbon	T	120	285	360	75	335	14.5	2.34	0	26	231	4100	1.54	U	Na	90	17	0.12	100.00	130.00	Ασπίδα-Φθισή	55.00	92.30	0.008	0.00154	1

Τα δοκίμια από 427- 444:

Πίνακας 5.40 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 427 έως 444

2008	Ail	3	Carbon	T	120	285	360	75	335	14,8	2,34	0	26	231	4100	2	2 Πλαστικός	Nm	90	17	0,12	1,00	1,00	Ασπίδα	33,50	70,80	0,008	0,002	1
2008	Ail	4	Carbon	T	120	285	360	75	335	14,2	2,34	0	26	231	4100	2	U	Nm	90	17	0,12	1,00	1,00	Ασπίδα	52,00	89,30	0,008	0,002	1
2008	Ail	5	Carbon	T	120	285	360	75	335	14,7	2,34	0	26	231	4100	1,54	U	Όχι	90	17	0,12	100,00	130,00	Ασπίδα	9,80	47,10	0,008	0,00154	1
2008	Tanashin et al.	1	Carbon	T	120	285	360	75	335	31,9	2,34	0	26	231	4100	0,91	2 Πλαστικός	Όχι	90	17	0,12	90,00	110,00	Ασπίδα	22,11	61,63	0,008	0,00091	1
2008	Tanashin et al.	2	Carbon	T	120	285	360	75	335	29,1	2,34	0	26	231	4100	0,91	U	Όχι	90	17	0,12	90,00	110,00	Ασπίδα	20,49	60,01	0,008	0,00091	1
2008	Tanashin et al.	3	Carbon	T	120	285	360	75	335	30,7	2,34	0	26	231	4100	1,25	U	Nm	90	17	0,12	50,00	80,00	Θυγατέρι	41,15	80,67	0,008	0,00125	1
2008	Tanashin et al.	4	Carbon	T	120	285	360	75	335	30,6	2,34	0	26	231	4100	1,54	U	Nm	90	17	0,12	100,00	130,00	Καμπακή	50,48	90,00	0,008	0,00154	1
2008	Bosocham and Chahal	1	Carbon	T	152	304	508	102	350	25	3,7	0	22,8	231	3650	0,8	U	Όχι	90	14	0,06	1,00	1,00	Ιαγρ Στερεόβι	21,00	102,00	0,008	0,0008	1
2008	Bosocham and Chahal	2	Carbon	T	152	304	508	102	350	25	3,7	0,38	22,8	231	3650	0,8	U	Όχι	90	14	0,06	1,00	1,00	Ιαγρ Στερεόβι	19,00	252,00	0,008	0,0008	1
2008	Bosocham and Chahal	3	Carbon	T	152	304	508	102	350	25	3,7	0	22,8	231	3650	1,41	U	Όχι	90	14	0,107	1,00	1,00	Ιαγρ Στερεόβι	39,00	120,00	0,008	0,00141	1
2008	Bosocham and Chahal	4	Carbon	T	152	304	508	102	350	25	3,7	0,76	22,8	231	3650	1,41	U	Όχι	90	14	0,107	1,00	1,00	Καμπακή	14,00	399,00	0,008	0,00141	1
2008	Bosocham and Chahal	5	Carbon	T	152	304	508	102	350	25	3,7	0	22,8	231	3650	2,82	U	Όχι	90	14	0,214	1,00	1,00	Ιαγρ Στερεόβι	40,00	122,00	0,008	0,00282	1
2008	Bosocham and Chahal	6	Carbon	T	152	304	508	102	350	25	3,7	0,38	22,8	231	3650	2,82	U	Όχι	90	14	0,214	1,00	1,00	Ιαγρ Στερεόβι	5,00	267,00	0,008	0,00282	1
2008	Bosocham and Chahal	7	Carbon	T	152	304	508	102	350	25	3,7	0,76	22,8	231	3650	2,82	U	Όχι	90	14	0,214	1,00	1,00	Καμπακή	2,00	297,00	0,008	0,00282	1
2008	Bosocham and Chahal	8	Carbon	T	95	165	270	55	175	25	3,07	0	10,8	231	3650	1,39	U	Όχι	90	14	0,066	1,00	1,00	Ιαγρ Στερεόβι	23,00	59,00	0,008	0,00139	1
2008	Bosocham and Chahal	9	Carbon	T	95	165	270	55	175	25	3,07	0,38	10,8	231	3650	1,39	U	Όχι	90	14	0,066	1,00	1,00	Ιαγρ Στερεόβι	3,00	96,00	0,008	0,00139	1
2008	Bosocham and Chahal	10	Carbon	T	95	165	270	55	175	25	3,07	0	10,8	231	3650	2,78	U	Όχι	90	14	0,132	1,00	1,00	Ιαγρ Στερεόβι	32,00	68,00	0,008	0,00278	1
2008	Bosocham and Chahal	11	Carbon	T	95	165	270	55	175	25	3,07	0,38	10,8	231	3650	2,78	U	Όχι	90	14	0,132	1,00	1,00	Ιαγρ Στερεόβι	12,00	105,00	0,008	0,00278	1

Τα δοκίμια από 445-463:

Πίνακας 5.41 Στοιχεία βάσης δεδομένων για τα δοκίμια 445 έως 463

2010	Tanashin and Alin	1	Carbon	T	120	285	360	75	335	32,4	2,34	0	26	231	4100	0,91	2 Πλαστικός	Όχι	90	17	0,12	90,00	110,00	Ασπίδα	22,11	61,63	0,008	0,00091	1
2010	Tanashin and Alin	2	Carbon	T	120	285	360	75	335	30,2	2,34	0	26	231	4100	1,25	2 Πλαστικός	Όχι	90	17	0,12	90,00	80,00	Ασπίδα	25,42	62,94	0,008	0,00125	1
2010	Tanashin and Alin	3	Carbon	T	120	285	360	75	335	31,4	2,34	0	26	231	4100	1,54	2 Πλαστικός	Όχι	90	17	0,12	100,00	130,00	Ασπίδα	28,96	68,48	0,008	0,00154	1
2010	Tanashin and Alin	4	Carbon	T	120	285	360	75	335	28,3	2,34	0	26	231	4100	0,91	U	Όχι	90	17	0,12	90,00	110,00	Ασπίδα	20,49	60,01	0,008	0,00091	1
2010	Tanashin and Alin	5	Carbon	T	120	285	360	75	335	31,6	2,34	0	26	231	4100	1,25	U	Nm	90	17	0,12	50,00	80,00	Θυγατέρι	41,15	80,67	0,008	0,00125	1
2010	Gahl and Mofidi	1	Carbon	T	155	300	420	80	230	43	2,84	0,52	15	230	3790	2,26	U	Nm	90	16	0,175	1,00	1,00	Ιαγρ Στερεόβι	48,00	149,00	0,008	0,00226	1
2010	Gahl and Mofidi	2	Carbon	T	155	300	420	80	230	43	2,84	0,52	15	86,9	905	3,48	U	Nm	90	10,5	0,27	1,00	1,00	Ασπίδα	27,00	128,00	0,008	0,00348	1
2011	Behari et al.	1	Carbon	T	457,2	762	1066,8	177,8	830,6	20,68	0,63	0,15	65,28	228	3792	0,48	U	Όχι	90	17	0,165	254,00	381,00	Ασπίδα	382,38	850,94	0,008	0,00048	1
2011	Behari et al.	2	Carbon	T	457,2	762	1066,8	177,8	830,6	23,79	0,63	0,15	65,28	228	3792	0,48	U	Nm	90	17	0,165	254,00	381,00	Ασπίδα	171,70	943,02	0,008	0,00048	1
2011	Behari et al.	3	Carbon	T	457,2	762	1066,8	177,8	830,6	28,89	0,63	0,1	65,28	228	3792	0,48	U	Όχι	90	17	0,165	254,00	381,00	Ασπίδα	175,70	765,99	0,008	0,00048	1
2011	Behari et al.	4	Carbon	T	457,2	762	1066,8	177,8	830,6	30,47	0,63	0,1	65,28	228	3792	0,48	U	Nm	90	17	0,165	254,00	381,00	Ασπίδα	243,32	911,88	0,008	0,00048	1
2011	Behari et al.	5	Carbon	T	457,2	762	1066,8	177,8	830,6	19,17	0,63	0,1	65,28	228	3792	0,48	U	Nm	90	17	0,165	254,00	381,00	Ασπίδα	262,44	951,92	0,008	0,00048	1
2011	Μίσις	1	Steel	T	120	285	360	75	335	23,05	2,34	0	26	210	2310	1,32	U	Όχι	90	11	0,1184	100,00	150,00	Ασπίδα	35,95	72,30	0,008	0,00132	1
2011	Μίσις	2	Steel	T	120	285	360	75	335	23,61	2,34	0	26	210	2310	1	U	Όχι	90	11	0,1184	100,00	200,00	Ασπίδα	21,05	58,30	0,008	0,001	1
2011	Μίσις	3	Steel	T	120	285	360	75	335	22,31	2,34	0	26	210	2310	1,32	U	Nm	90	11	0,1184	100,00	150,00	ημπαρόμαμα	69,45	106,70	0,008	0,00132	1
2011	Μίσις	4	Steel	T	120	285	360	75	335	20,74	2,34	0	26	210	2310	1	U	Nm	90	11	0,1184	100,00	200,00	ηφες Ημπαρόμαμα	53,95	91,20	0,008	0,001	1
2011	Μίσις	5	Steel	T	120	285	360	75	335	19,62	2,34	0	26	210	2310	1,32	U	Nm	90	11	0,1184	100,00	150,00	Ασπίδα	58,25	95,50	0,008	0,00132	1
2011	Μίσις	6	Steel	T	120	285	360	75	335	23,05	2,34	0	26	210	2310	1,32	U	Nm	90	11	0,1184	100,00	150,00	Ασπίδα	56,65	95,90	0,008	0,00132	1
2011	Μίσις	7	Steel	T	120	285	360	75	335	23,61	2,34	0	26	210	2310	1	U	Nm	90	11	0,1184	100,00	200,00	Θυγατέρι	41,25	78,50	0,008	0,001	1

## 6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 6.1 Γενικά

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα παραπάνω δεδομένα για τον υπολογισμό της θεωρητικής τέμνουσας για κάθε μοντέλο και κανονισμό που περιγράψαμε στο κεφάλαιο 4. Έτσι, θα έχουμε τη δυνατότητα να συγκρίνουμε την πειραματική τιμή τέμνουσας που προέκυψε με την θεωρητική τιμή και να προβούμε σε κάποια συμπεράσματα για την ασφάλεια ή όχι των μοντέλων και των κανονισμών.

Με βάση λοιπόν τους υπολογισμούς αυτούς, προέκυψαν κάποια διαγράμματα τέμνουσών στα οποία έγιναν διάφορες κατηγοριοποιήσεις ώστε να δούμε σε ποια περίπτωση είτε κάποιος κανονισμός είτε κάποιο μοντέλο λειτουργεί καταλληλότερα. Οι κατηγοριοποιήσεις που έγιναν ήταν οι εξής:

- Με βάση τη μορφή αστοχίας (αποκόλληση, θραύση)
- Με βάση τον τύπο επικόλλησης (Side-bonded, Full wrapped, U-jacket)
- Με βάση το υλικό του ινοπλισμένου πολυμερούς (άνθρακα, γυαλί, κ.ά.)

Τα αποτελέσματα παρατίθενται παρακάτω.

### 6.2 Περιγραφή πίνακα αποτελεσμάτων

Μετά τους υπολογισμούς που έγιναν στο φύλλο του Excel συγκεντρώθηκαν τόσο οι πειραματικές τιμές της τέμνουσας όσο και οι θεωρητικές βάσει των κανονισμών και μοντέλων που αναλύθηκαν προηγουμένως.

Έτσι, εξετάστηκε η αξιοπιστία των μοντέλων και κανονισμών αφού έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών. Ακόμη, έγιναν κάποιες παραδοχές στις περιπτώσεις ινοπλεγμάτων ανόργανης μήτρας, οι οποίες δεν επηρεάζουν σημαντικά το αποτέλεσμα της θεωρητικής τέμνουσας καθώς οι περισσότεροι κανονισμοί αναφέρονται σε ινοπλισμένα πολυμερή οργανικής μήτρας. Τέλος, λήφθηκαν υπόψιν οι συντελεστές ασφαλείας του εκάστοτε μοντέλου ή κανονισμού όπως προβλεπόταν υπέρ της ασφαλείας.

Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται οι θεωρητικές τέμνουσες για κάθε μοντέλο που εξετάστηκε καθώς και οι πειραματικές τέμνουσες.

**Πίνακας 6.1** Θεωρητικές τέμνουσες για κάθε μοντέλο/κανονισμό έναντι πειραματικών τιμών

	Experimental	Antonopoulos-Triantafyllou	Khalifa	Chen & Teng	Zhang	Carolin	Monti & Lionta	ACI-DESING	KANEPE (KN)	fib	Eurocode
Zoi C Tetta et al	2,70	19,74	23,61	15,13	3,88	23,59	43,91	5,05	20,16	18,15	11,06
Zoi C Tetta et al	21,10	27,24	44,62	20,06	7,76	76,27	47,78	16,87	28,94	25,04	9,59
Zoi C Tetta et al	32,70	32,56	58,96	23,04	11,63	11,44	46,51	24,97	35,45	29,93	7,16
Zoi C Tetta et al	15,10	20,47	25,19	15,56	14,65	38,14	18,19	16,96	20,82	18,82	22,05
Zoi C Tetta et al	39,10	27,77	46,19	20,39	29,30	76,27	24,03	27,82	29,45	25,53	28,13
Zoi C Tetta et al	45,40	32,56	58,96	23,04	43,95	11,44	27,10	34,35	35,45	29,93	30,91
Zoi C Tetta et al	34,00	29,63	23,61	15,13	25,42	38,14	13,01	72,46	20,16	37,34	23,83
Zoi C Tetta et al	57,80	77,05	43,30	19,77	50,85	76,27	20,08	144,92	28,51	60,66	32,20
G. Loretto et al	18,14	11,35	9,93	13,37	7,12	15,30	16,00	7,88	16,31	20,09	25,96
G. Loretto et al	42,15	40,22	57,04	25,22	28,46	61,20	30,39	31,53	32,63	36,97	48,56
G. Loretto et al	23,96	11,35	12,85	14,80	35,58	15,30	18,92	7,88	18,56	23,21	29,65
G. Loretto et al	56,22	36,31	73,85	28,10	28,46	61,20	36,17	31,53	37,12	33,38	55,73
R. Contamine et al	30,00	20,68	31,90	18,28	12,18	27,72	22,11	17,95	23,42	19,01	26,37
R. Contamine et al	28,00	36,89	58,11	23,24	11,76	46,20	16,48	18,45	27,60	33,91	25,54
R. Contamine et al	25,00	21,54	31,90	17,19	29,40	23,10	14,03	5,90	19,52	24,99	22,37
R. Contamine et al	5,50	73,85	31,90	85,30	12,18	7,92	63,17	5,13	6,69	15,06	36,56
R. Contamine et al	46,00	12,92	38,65	13,99	12,18	13,86	12,57	8,98	12,89	22,23	10,89
R. Contamine et al	38,00	95,20	22,52	90,48	20,71	9,42	15,17	6,10	15,03	18,01	18,00
A. Si Larbi et al	47,30	27,35	26,58	38,14	13,92	31,68	47,85	66,80	57,21	25,14	51,41
A. Si Larbi et al	38,80	18,60	53,92	38,40	39,15	17,82	75,17	149,73	109,15	8,55	91,48
A. Si Larbi et al	11,80	46,04	68,39	10,04	4,59	10,45	30,35	17,77	28,25	4,23	24,61
A. Si Larbi et al	12,80	70,01	53,92	32,38	18,90	11,88	70,87	93,93	72,76	6,44	9,82
A. Si Larbi et al	12,80	70,01	53,92	32,38	18,90	11,88	70,87	93,93	72,76	6,44	9,82
Triantafyllou and Papanicolaou	46,98	20,23	48,59	25,66	15,38	26,73	15,05	50,78	25,04	33,56	39,01
Triantafyllou and Papanicolaou	68,83	40,45	53,19	24,03	30,76	46,14	18,98	87,66	31,04	54,51	46,75
Triantafyllou and Papanicolaou	65,78	40,45	53,19	24,03	30,76	46,14	18,98	87,66	31,04	54,51	46,75
Blanksvärd et al.	78,27	29,93	47,31	15,89	33,48	16,55	35,72	13,33	39,19	37,85	53,41
Blanksvärd et al.	115,07	56,29	80,68	38,34	16,16	39,94	45,70	25,06	53,75	64,55	67,46
Blanksvärd et al.	112,07	56,29	80,68	38,34	16,16	39,94	45,70	25,06	53,75	64,55	67,46

**Πίνακας 6.1 (Συνέχεια)**

Blanksvärd et al.	105,27	56,29	80,68	38,34	16,16	39,94	45,70	25,06	53,75	64,55	67,46
Blanksvärd et al.	122,07	56,29	80,68	38,34	16,16	39,94	45,70	25,06	53,75	64,55	67,46
Blanksvärd et al.	76,57	30,93	61,99	21,87	11,62	28,71	36,19	13,77	39,84	49,60	54,09
Blanksvärd et al.	50,27	30,93	61,99	21,87	11,62	28,71	36,19	13,77	39,84	49,60	54,09
Al-Salloum et al.	15,53	64,04	15,96	70,65	15,95	9,57	43,63	10,21	10,30	12,77	11,18
Al-Salloum et al.	15,96	64,04	22,57	49,95	15,95	13,53	48,14	14,43	10,30	12,77	7,90
Al-Salloum et al.	18,57	12,81	21,65	14,13	31,90	19,14	10,88	8,06	14,57	17,32	13,47
Al-Salloum et al.	20,47	12,81	30,61	19,98	31,90	27,07	12,34	11,40	14,57	17,32	9,53
Al-Salloum et al.	15,89	64,04	21,99	70,65	15,95	9,57	13,66	18,09	13,72	17,59	15,94
Al-Salloum et al.	15,89	64,04	31,09	49,95	15,95	13,53	14,81	25,59	13,72	17,59	11,27
Al-Salloum et al.	22,23	12,81	29,83	14,13	31,90	19,14	17,44	8,90	19,40	23,86	19,59
Al-Salloum et al.	31,25	12,81	42,18	19,98	31,90	27,07	19,32	12,58	19,40	23,86	13,85
Tzoura & Triantafyllou	10,56	19,46	19,98	36,26	10,04	22,36	17,64	13,51	18,93	22,08	20,17
Tzoura & Triantafyllou	13,43	32,59	40,24	47,18	20,09	44,71	24,09	24,89	26,77	29,95	27,07
Tzoura & Triantafyllou	24,17	32,59	40,24	47,18	20,09	44,71	24,09	24,89	26,77	29,95	27,07
Tzoura & Triantafyllou	37,05	44,21	65,91	11,71	40,18	89,42	32,37	38,26	37,86	40,64	35,35
Tzoura & Triantafyllou	13,43	32,59	40,24	47,18	20,09	44,71	24,09	24,89	26,77	29,95	27,07
Tzoura & Triantafyllou	13,43	32,59	40,24	47,18	20,09	44,71	24,09	24,89	26,77	29,95	27,07
Tzoura & Triantafyllou	13,43	26,69	28,17	39,53	20,09	44,71	18,83	17,43	22,40	24,53	22,26
Tzoura & Triantafyllou	24,17	26,69	28,17	39,53	20,09	44,71	18,83	17,43	22,40	24,53	22,26
Tzoura & Triantafyllou	37,05	36,21	46,15	71,17	40,18	89,42	24,99	26,79	31,68	33,28	28,80
Tzoura & Triantafyllou	37,05	44,21	65,91	65,81	40,18	89,42	32,37	38,26	37,86	40,64	35,35
Escrib C. et al	25,24	9,43	35,06	10,40	10,40	22,74	15,29	6,55	15,33	28,05	17,12
Escrib C. et al	29,63	21,12	49,99	23,29	13,32	29,12	22,36	14,67	22,95	39,99	24,70
Escrib C. et al	18,91	21,12	50,15	23,29	13,32	29,12	22,45	14,67	23,02	40,12	24,77
Escrib C. et al	27,34	23,00	52,07	25,37	17,33	37,88	23,35	15,97	24,02	41,66	25,73
Escrib C. et al	34,67	23,00	52,07	25,37	17,33	37,88	23,35	15,97	24,02	41,66	25,73
Escrib C. et al	24,78	70,76	31,00	39,03	7,19	15,72	13,38	4,25	13,32	24,80	15,02
Azam and Soudki	11,40	85,98	10,13	13,87	6,90	20,20	17,34	6,67	16,81	21,32	20,87
Azam and Soudki	28,35	85,98	40,02	13,87	10,18	20,20	17,08	6,67	16,81	21,32	14,76

**Πίνακας 6.1 (Συνέχεια)**

Azam and Soudki	16,00	20,33	14,63	20,95	8,79	25,73	24,04	9,69	25,85	31,13	31,64
Azam and Soudki	14,15	20,33	38,87	20,95	12,97	25,73	25,86	15,78	25,85	31,13	22,38
Azam and Soudki	60,95	48,91	80,62	31,56	21,14	61,91	32,28	36,40	40,10	45,81	47,98
Azam and Soudki	64,95	48,91	80,62	31,56	31,21	61,91	39,10	37,97	40,10	45,81	33,93
Ombres	94,38	23,79	33,95	19,24	18,29	39,18	23,31	18,47	24,15	28,31	37,39
Ombres	85,20	13,73	27,78	15,14	18,29	22,61	13,45	10,65	13,93	22,23	12,87
Ombres	139,53	23,79	43,76	21,32	18,29	39,18	27,55	18,47	27,42	32,64	42,70
Ombres	95,83	40,96	47,06	52,49	36,57	78,37	31,21	36,94	33,55	37,65	49,86
Ombres	124,83	22,66	59,48	17,72	36,57	37,32	14,86	17,59	15,98	27,16	12,65
Ombres	99,98	11,33	39,26	13,96	18,29	18,66	12,22	8,79	12,37	22,16	10,21
Ombres	99,98	33,99	93,95	22,82	54,86	55,98	20,13	26,38	21,42	35,93	16,58
Khalifa , Nani	65,00	74,19	22,49	29,55	78,37	11,68	35,64	5,54	38,65	9,64	27,73
Khalifa , Nani	67,50	74,19	22,49	29,55	78,37	11,68	35,64	5,54	38,65	9,64	27,73
Khalifa , Nani	72,00	45,38	15,71	22,12	39,18	58,40	26,19	3,52	27,33	50,27	20,42
Khalifa , Nani	31,50	45,38	15,71	22,12	78,37	58,40	26,19	3,52	27,33	50,27	20,42
Khalifa , Nani	131,00	74,19	22,49	29,55	15,67	11,68	35,64	5,54	38,65	68,20	27,73
G. Loretto et al	18,14	11,35	99,29	13,37	35,58	15,30	16,00	7,88	16,31	20,09	25,96
G. Loretto et al	42,15	40,22	57,04	25,22	28,46	61,20	30,39	31,53	32,63	36,97	48,56
G. Loretto et al	23,96	11,35	12,85	14,80	35,58	15,30	18,92	7,88	18,56	23,21	29,65
G. Loretto et al	56,22	45,39	73,85	28,10	28,46	61,20	36,17	31,53	37,12	42,72	55,73
Saleh H. Alsayed et al.	15,53	64,04	15,96	35,32	15,95	9,57	43,63	4,45	10,30	12,77	11,18
Saleh H. Alsayed et al.	15,96	64,04	22,57	49,95	15,95	13,53	48,14	6,29	10,30	12,77	7,90
Saleh H. Alsayed et al.	18,57	12,81	21,65	14,13	31,90	19,14	10,88	8,06	14,57	17,32	13,47
Saleh H. Alsayed et al.	20,47	12,81	30,61	19,98	31,90	27,07	12,34	11,40	14,57	17,32	9,53
Saleh H. Alsayed et al.	15,89	64,04	21,99	35,32	15,95	9,57	13,66	4,45	13,72	17,59	15,94
Saleh H. Alsayed et al.	15,89	64,04	31,09	49,95	15,95	13,53	14,81	6,29	13,72	17,59	11,27
Saleh H. Alsayed et al.	22,23	12,81	29,83	14,13	31,90	19,14	17,44	8,90	19,40	23,86	19,59
Saleh H. Alsayed et al.	31,25	12,81	42,18	19,98	31,90	27,07	19,32	12,58	19,40	23,86	13,85
D.Baggio et al	9,00	78,96	58,92	36,45	33,76	66,79	31,78	34,65	34,64	7,26	47,52
D.Baggio et al	57,00	20,88	13,08	14,62	13,54	26,79	57,90	72,45	69,37	19,19	84,14

**Πίνακας 6.1 (Συνέχεια)**

D.Baggio et al	40,00	0,82	58,43	27,14	35,53	70,31	54,46	31,38	0,26	18,90	34,35
D.Baggio et al	294,00	9,14	22,52	44,88	41,57	82,26	43,17	61,23	5,73	8,40	11,84
D.Baggio et al	300,00	9,14	22,52	44,88	41,57	82,26	43,17	24,49	5,73	8,40	11,84
D.Baggio et al	18,00	25,53	15,12	19,49	18,05	35,72	64,81	41,60	80,10	23,47	93,22
D.Baggio et al	9,00	25,53	15,12	19,49	18,05	35,72	64,81	83,20	80,10	23,47	93,22
D.Baggio et al	76,00	0,82	58,43	27,14	35,53	70,31	54,46	31,38	0,26	18,90	34,35
D.Baggio et al	47,00	0,82	58,43	27,14	35,53	70,31	54,46	31,38	0,26	18,90	34,35
Gonzalez-Libreros et al	53,90	53,19	85,35	32,78	31,92	71,04	38,43	48,51	46,61	48,90	50,08
Gonzalez-Libreros et al	38,20	45,71	69,40	28,71	62,20	13,84	33,51	40,15	39,24	42,02	44,33
Gonzalez-Libreros et al	27,20	19,46	21,50	15,75	12,59	28,02	18,21	14,11	18,69	22,30	24,94
Gonzalez-Libreros et al	29,90	19,46	21,50	15,75	12,59	28,02	18,21	14,11	18,69	22,30	24,94
Gonzalez-Libreros et al	34,50	46,56	70,29	29,25	50,89	11,33	33,65	40,39	40,39	42,80	44,72
Gonzalez-Libreros et al	34,90	46,56	70,29	29,25	50,89	11,33	33,65	40,39	40,39	42,80	44,72
Gonzalez-Libreros et al	39,60	54,36	88,74	33,39	31,92	71,04	39,54	50,44	47,53	49,97	55,67
Gonzalez-Libreros et al	44,00	46,72	72,15	29,21	62,20	13,84	34,45	41,74	40,01	42,95	49,14
Gonzalez-Libreros et al	24,30	19,46	22,35	16,01	12,59	28,02	18,68	14,11	19,05	22,79	27,46
Gonzalez-Libreros et al	24,30	19,46	22,35	16,01	12,59	28,02	18,68	14,11	19,05	22,79	27,46
Gonzalez-Libreros et al	17,50	46,56	70,29	29,25	50,89	11,33	33,65	40,39	40,39	42,80	48,54
Gonzalez-Libreros et al	31,30	46,56	70,29	29,25	50,89	11,33	33,65	40,39	40,39	42,80	48,54
Leung et al	10,00	24,54	12,52	23,71	39,61	31,58	21,01	19,05	20,73	43,98	15,26
Leung et al	37,00	24,54	12,52	23,71	39,61	31,58	21,01	19,05	20,73	43,98	15,26
Leung et al	68,00	24,54	12,52	23,71	39,61	31,58	21,01	19,05	20,73	43,98	15,26
Leung et al	62,00	24,54	12,52	23,71	39,61	31,58	21,01	19,05	20,73	43,98	15,26
Leung et al	41,00	24,54	12,52	23,71	39,61	31,58	21,01	19,05	20,73	43,98	15,26
Leung et al	53,00	24,54	12,52	23,71	39,61	31,58	21,01	19,05	20,73	43,98	15,26
Leung et al	10,00	49,08	18,87	32,34	26,40	63,16	28,83	38,10	29,31	59,66	20,74
Leung et al	37,00	49,08	18,87	32,34	26,40	63,16	28,83	38,10	29,31	59,66	20,74
Leung et al	68,00	49,08	18,87	32,34	26,40	63,16	28,83	38,10	29,31	59,66	20,74
Leung et al	62,00	49,08	18,87	32,34	26,40	63,16	28,83	38,10	29,31	59,66	20,74
Leung et al	41,00	49,08	18,87	32,34	26,40	63,16	28,83	38,10	29,31	59,66	20,74

**Πίνακας 6.1 (Συνέχεια)**

Leung et al	53,00	49,08	18,87	32,34	26,40	63,16	28,83	38,10	29,31	59,66	20,74
Berset	7,55	5,04	13,59	5,87	-3,13	7,97	3,04	-30,15	6,01	6,04	5,16
Berset	15,75	12,28	19,35	7,08	13,08	12,47	3,64	-15,67	9,19	12,28	5
Berset	34,5	14,18	24,74	29,14	31,4	30,79	18,92	28,82	24,23	21,51	29,97
Berset	20,5	14,18	24,74	12,93	0,13	21,1	8,85	2,72	14,61	14,18	14,79
Uji	33	17,92	26,58	15,6	0,09	21,31	7,92	2,92	14,92	17,92	13,42
Uji	20,5	20,08	49,19	15,13	0,17	30,12	10,57	17,89	21,41	20,08	14,76
Uji	7,5	5,03	18,94	7,45	6,6	6,78	4,78	9	6,7	6,04	8,51
Uji	7	2,03	18,94	4,51	3,62	2,71	2,12	12	4,05	2,43	4,7
Al-Sulaimani et al.	34,2	18,55	87,55	27,62	40,09	20,31	17,64	22,57	20,7	22,26	19,42
Al-Sulaimani et al.	55	18,55	82,43	24,01	40,09	20,14	12,66	20,46	20,08	22,26	27,46
Al-Sulaimani et al.	32,1	36,76	77,3	32,95	15	39,92	21,97	38,36	27,5	39,72	35,49
Sato et al.	53,05	36,76	80,29	37,68	26,32	40,13	30,63	45,14	28,03	40,58	51,83
Sato et al.	104,2	24,32	130,87	46,8	56,68	53,14	34,61	32,93	36,11	31,62	18,9
Sato et al.	55	13,46	92,26	26,28	63,16	59,21	38,88	18,5	20,28	16,8	14,82
Sato et al.	273,8	58,38	221,68	113,23	137,13	119,99	84,67	79,68	87,37	75,89	73,04
Kamiharako et al.	234,6	32,3	163,1	63,59	152,8	133,7	94,82	44,75	49,06	40,31	57,78
Kamiharako et al.	77,9	25,18	97,31	36,51	20,28	32,59	31,41	34,55	28,16	32,73	56,66
Kamiharako et al.	54	11,77	77,3	23,91	34,8	27,96	21,69	16,82	18,45	14,69	29,76
Kamiharako et al.	20,6	16,93	143,22	22,75	27,03	14,7	13,33	18,38	18,54	20,32	7,02
Kamiharako et al.	16,7	8,47	147,81	12,57	13,51	7,39	7,11	9,19	10,28	10,16	1,96
Kamiharako et al.	15,05	5,44	145,12	8,57	9,01	4,91	4,71	6,13	6,99	6,53	0,87
Taerwe et al.	49,45	16,93	142,12	27,03	30,03	25,99	18,29	22,82	20,85	22,01	7,85
Taerwe et al.	27,5	4,87	52,89	9,44	12,93	21,39	16,05	6,64	7,28	6,07	21,87
Taerwe et al.	26	2,39	22,75	4,72	12,93	10,7	8,03	3,32	3,64	2,99	6,95
Taerwe et al.	50	9,65	23,38	18,87	25,86	42,78	31,93	13,28	14,56	12,04	31,32
Taerwe et al.	87	38,55	83,34	75,17	48,72	85,31	58,79	52,9	58	50,12	57,09
Umezu et al.	32	19,28	83,34	37,59	48,72	42,66	29,4	26,45	29	25,06	17,96
Umezu et al.	52	20,4	96,75	39,78	51,57	42,66	31,24	27,99	30,7	26,52	19,74
Umezu et al.	64	4,53	17,32	8,78	12,03	21,39	14,91	6,18	6,77	5,65	20,4



**Πίνακας 6.1 (Συνέχεια)**

Umezu et al.	46	4,45	18,32	8,78	12,03	21,39	14,92	6,18	6,77	5,55	20,99
Umezu et al.	82	9,05	17,32	17,55	24,05	42,78	29,64	12,35	13,54	11,3	28,91
Umezu et al.	97	9,05	17,32	17,55	24,05	42,78	29,64	12,35	13,54	11,3	28,91
Umezu et al.	127	14,73	36,99	28,72	39,36	70,01	48,2	20,21	22,16	18,38	40,99
Umezu et al.	140	14,73	37,45	28,72	39,36	70,01	48,21	20,21	22,16	18,38	41,13
Umezu et al.	163	22,71	78,63	44,28	60,68	105,01	75,02	31,16	34,16	28,34	61,42
Umezu et al.	294	28,87	110,23	55,63	76,23	128,35	94,61	39,15	42,92	36,04	76,33
Umezu et al.	387	57,2	169,17	111,26	120,05	256,7	188,08	78,29	85,85	71,39	129,57
Umezu et al.	242	113,89	207,14	220,76	121,02	230,86	158,23	155,35	170,34	148,06	129,52
Umezu et al.	346	220,15	290,52	441,52	121,02	461,72	312,41	310,7	340,68	290,82	208,54
Umezu et al.	493	264,55	351,18	662,28	121,02	692,58	463,95	466,05	511,02	441,52	271,37
Umezu et al.	484,1	162,7	248,4	318,58	121,02	333,16	226,92	224,19	245,85	211,51	167,07
Funakawa et al.	35	11,26	85,4	22,06	24,67	21,77	14,97	15,52	17,02	14,64	5,01
Funakawa et al.	61	19,49	85,62	38,6	43,18	38,1	26,21	27,16	29,79	25,34	14,24
Funakawa et al.	106	33,35	86,31	66,17	63,9	65,31	44,93	46,57	51,06	43,35	37,34
Funakawa et al.	157	44,74	86,77	93,75	34,86	92,52	63,66	65,97	72,34	61,93	61,11
Araki et al.	206	60,87	129,44	187,49	41,73	185,04	125,25	131,94	144,67	123,87	96,03
Araki et al.	36	9,67	54,05	18,94	39,43	34,79	24,23	13,33	14,62	12,06	10,24
Araki et al.	58	16,38	54,19	32,47	67,59	59,64	41,54	22,85	25,06	20,45	27,79
Araki et al.	111	22,94	54,47	46	47,88	84,49	58,85	32,37	35,5	28,62	49,46
Araki et al.	113	39,1	60,59	70,63	32,43	67,91	46,85	53,91	54,5	50,84	48,28
Araki et al.	196	65,27	105,69	176,58	40,74	169,79	113,36	134,76	136,25	119,81	81,44
Araki et al.	123	78,33	157,81	122,99	68,33	111	84,08	106,52	94,9	101,83	89,97
Araki et al.	258	156,67	223,77	245,97	121,54	222	166,48	213,05	189,79	203,67	140,47
Ono et al.	263	272,77	344,26	614,93	128,33	554,99	407,92	532,62	474,49	429,89	258,4
Ono et al.	211	102,85	250,29	131,99	30,45	121,07	183,33	126,96	145,85	116,2	160,55
Ono et al.	123	102,85	264,54	79,49	20,66	82,53	52,04	113,59	67,51	109,06	74,04
Ono et al.	18	10,42	9,63	15,64	4,73	12,87	12,54	12,79	11,63	12,51	23,07
Ono et al.	24,65	18,37	30,54	20,87	6,59	23,76	16,84	25,03	16,27	18,37	30,46
Täljsten	31,1	24,41	37,11	14,76	23	23,06	11,12	6,28	17,84	25,7	16,71

**Πίνακας 6.1 (Συνέχεια)**

Täljsten	22,4	24,41	37,11	14,76	18,44	23,06	11,12	6,28	17,84	25,7	16,71
Norris et al.	24,7	24,41	37,11	14,76	21,1	23,06	11,12	6,28	17,84	25,7	16,71
Norris et al.	25,6	24,41	37,11	14,76	32	23,06	11,12	6,28	17,84	25,7	16,71
Kage et al.	23,7	24,41	37,11	19,22	7,93	23,06	18,2	26,65	17,84	25,7	32,57
Kage et al.	40,2	30,93	66,76	23,07	4,72	36,33	16,27	27,85	26,05	30,93	25,01
Kage et al.	43,2	30,93	66,76	23,07	4,72	36,33	16,27	27,85	26,05	30,93	25,01
Kage et al.	34,5	30,93	66,76	23,07	4,72	36,33	16,27	27,85	26,05	30,93	25,01
Kage et al.	55,4	30,93	66,76	23,07	4,72	36,33	16,27	27,85	26,05	30,93	25,01
Mitsui et al.	38	30,93	66,76	23,07	4,72	36,33	16,27	27,85	26,05	30,93	25,01
Mitsui et al.	18	30,93	66,76	23,07	4,72	36,33	16,27	27,85	26,05	30,93	25,01
Mitsui et al.	13,55	6,71	8,24	5,88	8,94	9,62	2,63	15	8,33	6,71	4,48
Mitsui et al.	11,25	6,71	8,24	5,88	8,94	9,62	2,63	12,5	8,33	6,71	4,48
Mitsui et al.	15,85	8,02	17,38	6,04	9,82	10,59	2,67	0,67	8,95	8,02	3,86
Mitsui et al.	12,9	8,02	17,38	6,04	9,82	10,59	2,67	0,67	8,95	8,02	3,86
Triantafillou	13,2	9,1	24,95	6,12	10,64	11,12	2,8	4,2	9,17	9,1	3,17
Triantafillou	10,55	9,1	24,95	6,12	10,64	11,12	2,8	4,2	9,17	9,1	3,17
Triantafillou	14,05	9,49	8,24	9,03	12,64	14,28	3,49	13	9,82	9,49	6,21
Triantafillou	15,45	11,34	17,38	9,53	13,88	17,31	3,63	0,95	10,54	11,34	5,92
Triantafillou	12,5	12,88	24,95	9,8	15,05	19,24	3,66	5,94	10,8	12,88	5,45
Triantafillou	65	44,9	167,81	26,48	45,91	38,3	11,3	51,28	38,3	44,9	20,82
Triantafillou	80	44,9	167,81	26,48	45,91	38,3	11,3	51,28	38,3	44,9	20,82
Triantafillou	78	52,77	167,81	33,17	43,29	38,34	10,49	48,35	36,8	52,77	20,81
Triantafillou	89	52,77	167,81	33,17	43,29	38,34	10,49	48,35	36,8	52,77	20,81
Chaallal et al.	40	21,72	68,08	22,73	34,26	18,58	11,94	19,64	16,76	21,72	11,05
Chaallal et al.	65	32,5	68,08	37,59	15,44	46,46	27,34	49,1	27,72	32,5	48,72
Chaallal et al.	162	83,66	195,11	163,13	103,38	172,3	127,27	114,8	125,87	108,76	111,93
Chaallal et al.	157	81	191,85	157,95	91,85	153,08	113,15	111,15	121,88	105,3	105,17
Khalifa et al.	153,5	129,76	317,77	104,31	26,02	107,75	58,26	180,57	80,2	129,76	81,05
Khalifa et al.	152,5	193,55	449,32	151,78	27,59	188,4	71,08	290,11	130,03	193,55	88,07
Khalifa et al.	210,5	110,37	242,12	217,93	19,53	100,87	47,14	149,84	195,8	119,57	68,31

**Πίνακας 6.1 (Συνέχεια)**

Khalifa et al.	85	48,75	183,81	60,82	70,49	51,05	27,75	59,92	44,93	58,5	49,51
Mutsuyoshi et al.	122,5	114,72	259,42	94,35	21,1	101,86	49,79	160,55	71,32	114,72	71,39
Mutsuyoshi et al.	16	33,11	73,78	9,68	18	16,74	17,6	18	26,14	36,84	28,3
Täljsten and Elfgrén	31,33	33,11	73,78	22,12	2,37	27,56	17,6	14,52	26,14	36,84	28,3
Täljsten and Elfgrén	14	33,11	73,78	9,68	16	16,74	17,6	12	26,14	36,84	28,3
Täljsten and Elfgrén	10	33,11	73,78	9,68	11	16,74	17,6	11	26,14	36,84	28,3
Täljsten and Elfgrén	18	33,11	73,78	22,12	2,37	27,56	17,6	14,52	26,14	36,84	28,3
Täljsten and Elfgrén	27,33	32,86	72,94	21,82	2,25	27,27	17,43	13,96	25,94	36,56	28,04
Täljsten and Elfgrén	40,67	32,86	72,94	21,82	2,25	27,27	17,43	13,96	25,94	36,56	28,04
Täljsten and Elfgrén	54	21,67	81,13	24,32	42,04	18,82	13,45	23,44	18,21	23,87	12,06
Li et al.	56,5	28,53	81,13	31,92	46,55	28,23	19,25	35,16	23,9	28,53	25,12
Li et al.	67,5	35,72	81,13	40,21	18,83	47,05	30,79	58,6	30,11	35,72	53,41
Li et al.	62,5	21,67	81,13	24,32	42,04	18,82	13,45	23,44	18,21	23,87	12,06
Li et al.	45,3	34,71	78,1	32,58	12,16	45,79	19,4	42,07	29,3	34,71	30,46
Li et al.	38,1	56,29	145,02	41,21	16,02	79,3	23,58	88,41	50,75	56,29	26,08
Li et al.	65,5	56,29	145,02	41,21	16,02	79,3	23,58	88,41	50,75	56,29	26,08
Li et al.	31,5	49,48	127,83	40,92	15,98	65,58	24,36	75,52	43,31	49,48	31,68
Li et al.	51,8	59,14	158,42	43,68	17,7	80,31	25,79	96,58	53,05	59,14	28,18
Li et al.	86	59,14	158,42	43,68	17,7	80,31	25,79	96,58	53,05	59,14	28,18
Khalifa and Nanni	47,3	49,48	127,83	40,92	15,98	65,58	24,36	75,52	43,31	49,48	31,68
Khalifa and Nanni	50,5	49,48	127,83	40,92	15,98	65,58	24,36	75,52	43,31	49,48	31,68
Khalifa and Nanni	122,7	39,92	160,51	77,83	22,72	56,34	103,26	49	84,94	51,89	103,46
Khalifa and Nanni	32,5	21,21	205,55	28,61	40,83	17,38	15,03	26,1	20,8	25,45	6,68
Khalifa and Nanni	20	17,03	205,55	23,54	32,67	13,9	12,09	20,88	17,11	20,43	4,3
Pellegrino and Modena	44,5	19,99	205,55	27,89	38,5	16,38	29,03	24,6	19,77	23,99	8,63
Pellegrino and Modena	40	17,27	205,55	24,36	33	14,04	24,97	21,09	17,27	20,72	6,37
Pellegrino and Modena	19,4	24,81	48,11	9,61	18,9	21,48	10,87	5,53	20,81	24,81	16,32
Pellegrino and Modena	21,1	33,42	77,25	9,93	20	25,07	11,09	21,24	29,22	33,42	12,73
Pellegrino and Modena	29,3	25,64	51,02	15,56	5,1	22,41	21,03	22,7	21,43	25,64	37,41
Pellegrino and Modena	29	15,42	66,14	29,17	29,41	27,32	18,9	21,1	22,51	20,04	6,64

**Πίνακας 6.1 (Συνέχεια)**

Pellegrino and Modena	21	10,36	66,14	19,45	20,62	18,21	12,6	14,06	15,01	13,46	2,99
Pellegrino and Modena	25	15,42	66,14	29,17	29,41	27,32	18,9	21,1	22,51	20,04	6,64
Taljsten	27	24,79	66,14	58,35	35	54,63	37,8	42,19	45,02	40,09	25,23
Taljsten	54	16,05	47,1	26,45	25,6	24,77	17,42	22,01	20,41	19,26	14,61
Taljsten	38	8,01	47,1	13,22	14,69	12,38	8,71	11,01	10,2	9,62	3,8
Taljsten	28	16,05	47,1	26,45	25,6	24,77	17,42	22,01	20,41	19,26	14,61
Taljsten	11	8,01	47,1	13,22	14,69	12,38	8,71	11,01	10,2	9,62	3,8
Diagana et al.	26	3,92	4,33	7,64	11,96	10,08	7,27	5,38	5,9	4,7	6,11
Diagana et al.	9	1,96	4,33	3,82	5,98	5,04	3,63	2,69	2,95	2,35	1,59
Diagana et al.	15	3,92	4,33	7,64	11,96	10,08	7,27	5,38	5,9	4,7	6,11
Diagana et al.	20	1,96	4,33	3,82	5,98	5,04	3,63	2,69	2,95	2,35	1,59
Adhikary and Mutsuyoshi	27,6	36,77	175,1	14,35	31,32	18,87	5,46	33,53	22,68	36,77	8,81
Adhikary and Mutsuyoshi	36,1	51,58	172,61	24,9	44,06	32,65	7,68	46,74	29	51,58	14,27
Adhikary and Mutsuyoshi	7,5	23,86	43,62	38,45	3,11	27,05	13,67	14,26	31,83	26,25	21,31
Adhikary and Mutsuyoshi	21	36,77	175,1	14,35	31,32	18,87	5,46	33,53	22,68	36,77	8,81
Adhikary and Mutsuyoshi	8,3	23,86	43,62	38,45	3,11	27,05	13,67	14,26	31,83	26,25	21,31
Cao et al.	123	39,92	159,76	77,83	27,39	93,37	137,92	54,77	84,94	51,89	105,47
Cao et al.	214	39,92	124,05	77,83	27,39	93,37	137,68	54,77	84,94	51,89	94,5
Cao et al.	133	62,42	217,46	122,3	43,04	146,72	216,1	86,06	133,47	81,14	141,87
Cao et al.	181	62,42	172,24	122,3	43,04	146,72	215,68	86,06	133,25	81,14	152,05
Cao et al.	214	56,02	143,97	97,56	38,62	131,67	134,19	77,23	119,78	72,82	106,81
Cao et al.	195	62,42	161,39	122,3	43,04	146,72	215,55	86,06	133,47	81,14	130,99
Cao et al.	182	62,42	207,85	122,3	43,04	146,72	216,03	86,06	133,47	81,14	140,13
Cao et al.	127	62,42	155,82	122,3	43,04	146,72	215,48	86,06	133,47	81,14	129,8
Cao et al.	167	62,42	172,24	122,3	43,04	146,72	215,68	86,06	133,47	81,14	133,25
Cao et al.	132	62,61	187,91	122,32	85,51	146,72	107,16	86,06	94,38	81,4	98,81
Cao et al.	174	62,61	169,56	122,32	76,19	146,72	107,02	86,06	94,38	81,4	95,92
Cao et al.	264	56,19	143,97	97,57	45,2	90,09	66,59	77,25	73,41	73,05	80,3
Zhang and Hsu	210	97,26	274,82	189,01	61,6	226,75	332,69	133	206,28	126,43	194,19
Zhang and Hsu	220	97,26	221,03	189,01	54,27	226,75	331,93	133	206,28	126,43	183,62

**Πίνακας 6.1 (Συνέχεια)**

Zhang and Hsu	61	48,36	110,03	94,52	52,46	117,37	81,93	66,51	72,93	62,9	72,86
Zhang and Hsu	61	58,64	141,77	146,07	58,41	181,4	125,52	102,79	112,71	97,44	97,5
Zhang and Hsu	21,5	14,36	39,1	18,26	25,6	15,59	12,18	17,67	14,54	14,36	15,99
Carolin and Taljsten	50	57,08	173,49	54,07	97,3	43,84	35,2	70,24	40,87	57,08	44,95
Carolin and Taljsten	196	128,98	339,36	102,13	146,67	81	65,17	139,1	75,41	128,98	81,29
Carolin and Taljsten	52,9	40,16	101,59	43,39	22,73	47,24	35,68	64,52	33,32	40,16	59,83
Carolin and Taljsten	55,8	40,16	101,59	43,39	22,73	47,24	35,68	64,52	33,32	40,16	59,83
Carolin and Taljsten	49,1	40,16	101,59	43,39	22,73	47,24	35,68	64,52	33,32	40,16	59,83
Carolin and Taljsten	31,7	40,16	101,59	43,39	22,73	47,24	35,68	64,52	33,32	40,16	59,83
Carolin and Taljsten	57,8	54,49	152,4	57,76	27,05	66,8	47,94	106,99	47,13	54,49	78,25
Carolin and Taljsten	60,5	54,49	152,4	57,76	27,05	66,8	47,94	106,99	47,13	54,49	78,25
Carolin and Taljsten	20,8	54,49	152,4	57,76	27,05	66,8	47,94	106,99	47,13	54,49	78,25
Carolin and Taljsten	4	54,49	152,4	57,76	27,05	66,8	47,94	106,99	47,13	54,49	78,25
Carolin and Taljsten	10,83	25,81	207,34	18,09	17,83	12,32	9,42	18,81	15,44	22,53	2,75
Carolin and Taljsten	29,12	17,31	274,83	5,63	6,15	5,87	1,86	8,71	8,2	20,78	4,61
Carolin and Taljsten	31,52	39,99	207,34	33,02	33,97	24,65	18,51	37,62	28,18	36,38	10,76
Carolin and Taljsten	59,31	33,75	274,83	10,86	12,3	11,74	3,72	17,43	15,82	33,75	9,09
Carolin and Taljsten	18,56	21,24	91,58	12,62	19,36	13,3	8,15	20,79	11,31	19,27	4,92
Carolin and Taljsten	14,5	82,17	135,09	27,52	5,63	66,31	31,64	48,01	56,28	82,17	49,97
Carolin and Taljsten	13	82,74	135,09	39,03	30,57	45,29	49,38	38,16	51,63	80,49	54,75
Qu et al.	27	82,17	135,09	40,68	9,47	66,31	52,58	55,86	56,28	82,17	89,52
Qu et al.	24,3	7,41	25,57	9,84	14,52	7,75	5,39	7,25	7,83	7,55	4,18
Qu et al.	5,1	7,41	25,57	9,84	14,52	7,75	5,39	7,25	7,83	7,55	4,18
Pellegrino and Modena	25,4	7,41	25,57	14,42	14,52	16,75	11,04	10,15	11,13	9,64	4,64
Pellegrino and Modena	25,9	7,41	25,57	14,42	14,52	16,75	11,04	10,15	11,13	9,64	4,64
Pellegrino and Modena	4,8	29,18	119,54	29,12	47,66	21,56	15,63	28,01	21,79	29,71	11,85
Pellegrino and Modena	9,9	29,18	119,54	29,12	47,66	21,56	15,63	28,01	21,79	29,71	11,85
Pellegrino and Modena	86,5	29,18	119,54	56,77	47,66	67	44,55	39,95	43,8	37,93	13,43
Pellegrino and Modena	100,5	29,18	119,54	56,77	47,66	67	44,55	39,95	43,8	37,93	13,43
Pellegrino and Modena	50,8	52,41	133,71	4,85	23,57	10,84	8,31	17,89	30,8	41,4	14,77

**Πίνακας 6.1 (Συνέχεια)**

Pellegrino and Modena	25,6	41,4	144,88	4,85	23,57	10,84	8,31	17,89	30,8	41,4	14,77
Barros et al.	23	14,39	12,47	42,64	53,84	20,36	27,08	12,48	33,31	14,39	48,92
Barros et al.	18,295	18,95	70,16	36,96	40,33	22,18	16,01	23,27	28,52	23,7	18,69
Barros et al.	38,25	18,95	70,16	39,96	40,33	22,18	16,01	23,27	28,52	23,7	18,69
Barros et al.	18,295	14,22	70,16	27,72	33,88	16,64	12,27	17,45	21,39	18,48	10,76
Barros et al.	34,925	18,2	50,52	36,96	27,89	21,17	12,86	19,86	28,52	19,72	15,73
Barros et al.	23,28	18,95	70,16	36,96	40,33	22,18	16,01	23,27	28,52	23,7	18,69
Barros et al.	13,3	14,22	70,16	27,72	33,88	16,64	12,27	17,45	21,39	18,48	10,76
Barros et al.	75	16,95	84,09	32,7	36,52	31,6	21,81	23,13	25,36	22,03	13,57
Monti and Liotta	85,6	16,95	84,69	32,7	36,52	31,6	21,81	23,13	25,36	22,03	13,62
Monti and Liotta	52,4	16,95	94,1	32,7	36,52	31,6	21,87	23,13	25,36	22,03	14,37
Monti and Liotta	61	16,95	89,46	32,7	36,52	31,6	21,84	23,13	25,36	22,03	14,01
Monti and Liotta	70,3	16,95	81,64	32,7	36,52	31,6	21,79	23,13	25,36	22,03	13,36
Leung et al.	13,99	37,77	147,65	24,68	42,34	23,44	10,4	29,34	25,12	39,6	21,56
Leung et al.	29,03	51,59	147,65	34,17	57,84	32,02	13,93	40,08	27,42	54,09	30,29
Leung et al.	19,3	28,7	46,73	25,29	12,11	31,63	19,77	35,8	20,55	28,7	35,72
Leung et al.	44,8	20,47	83,51	39,92	50,27	41,23	31,66	28,09	30,8	26,61	14,73
Leung et al.	28,3	30,71	83,07	31,5	65,58	30,77	15,82	28,45	25,02	35,38	36,01
Leung et al.	43,4	20,47	83,29	39,92	50,27	41,23	31,66	28,09	30,8	26,61	14,71
Leung et al.	207	238,86	453,27	146,74	110,11	152,29	135,12	284,37	120,11	238,86	193,89
Leung et al.	310	141,87	453,27	197,38	139,56	196,13	133,05	194,67	152,27	184,43	75,75
Mosallam and Banerjee	473	238,86	453,27	394,75	139,56	392,26	266,1	389,35	304,53	304,2	225,98
Mosallam and Banerjee	58,4	24,87	83,95	32,13	42,25	26,68	17,31	29,95	22,67	24,87	19,06
Mosallam and Banerjee	75,7	24,87	83,95	54,71	37,84	59,59	45,4	34,95	42,79	37,25	21,06
Mosallam and Banerjee	54,6	22,74	73,98	29,25	24,39	24,03	15,75	26,68	20,42	22,74	17,36
Mosallam and Banerjee	83,2	22,74	73,98	32,54	21,84	29,54	22,15	28,34	25,45	27,84	18,25
Mosallam and Banerjee	61,6	29,23	89,66	39,38	49,07	35,91	23,43	42,65	27,94	29,23	34
Sundarraja and Rajamohan	83,6	29,23	89,66	72,94	43,94	79,46	60,63	46,59	57,05	49,44	37,52
Sundarraja and Rajamohan	63,6	26,66	79,01	35,84	28,44	32,34	21,3	37,76	25,16	26,66	30,97
Sundarraja and Rajamohan	79,6	26,66	79,01	43,39	25,47	39,38	29,57	37,79	33,93	34,49	32,56

## Πίνακας 6.1 (Συνέχεια)

Sundarraja and Rajamohan	19,9	9,25	6,47	14,82	1,14	9,32	12,51	21	14,54	9,62	23,23
Sundarraja and Rajamohan	11,2	9,46	6,74	14,82	1,19	9,37	12,86	12,1	14,54	9,84	23,74
Sundarraja and Rajamohan	17,9	5,52	8,94	6,76	0,49	4,68	9,35	18	7,41	6,62	17,67
Sundarraja and Rajamohan	15,1	5,52	9,85	6,76	0,49	4,68	9,98	17	7,41	6,62	18,59
Sundarraja and Rajamohan	16,7	9,41	8,39	9,36	0,48	6,22	12,69	18	9,86	10,19	23,62
Jayaprakash et al.	17,6	9,66	8,8	9,36	0,5	6,22	13,11	19,6	9,86	10,42	24,23
Jayaprakash et al.	18,7	10,35	8,8	9,36	0,33	6,22	27,11	26	13,95	11,55	33,91
Jayaprakash et al.	28,4	10,35	8,12	9,36	0,3	6,22	25,7	40	13,95	11,28	32,51
Jayaprakash et al.	65,8	29,5	62,41	45,17	12,48	46,26	42,8	23,05	49,36	42,65	48,46
Jayaprakash et al.	127,5	62,23	151,91	106,55	55,62	115,88	99,37	58,55	93,63	80,9	89,72
Jayaprakash et al.	154	62,23	151,91	106,55	55,62	115,88	99,37	58,55	93,63	80,9	89,72
Jayaprakash et al.	24	29,62	62,88	12,5	4,64	18,15	25,63	15,38	24,14	29,62	45,05
Jayaprakash et al.	65	29,5	62,41	12,45	4,6	18,13	25,5	15,26	24,05	29,5	44,87
Teng et al.	65	54,11	144,73	40,99	22,55	48,14	48,98	66,51	45,18	54,11	80,52
Teng et al.	72	30	144,73	24,79	47,75	19,25	21,4	26,6	27,32	36	18,97
Teng et al.	31,5	30	144,73	21,1	47,75	19,25	15,12	20,69	27,32	36	35,8
Teng et al.	131	54,11	144,73	132,33	31,7	110,15	108,72	74,34	112,86	97,51	93,48
Teng et al.	103,5	54,48	222,33	50,87	83,72	42,8	102,79	47,44	52,23	65,37	112,33
Teng et al.	85,25	38,52	222,33	40,49	59,2	30,26	37,23	33,55	42,44	46,23	40,62
Siddiqui	109,9	79,51	250,65	63,69	15,47	44,73	77,33	84,49	67,35	52,9	116,66
Siddiqui	31,15	33,85	113,66	30	12,3	34,89	40,24	39,14	36,16	33,85	65,54
Rizzo and De Lorenzis	53,4	45,97	169,08	40,12	14,69	49,45	55,36	73,02	51,26	45,97	88,82
Tanarslan	31,15	33,85	113,66	30	12,3	34,89	40,24	39,14	36,16	33,85	65,54
Tanarslan	62,3	45,97	169,08	40,12	14,69	49,45	55,36	73,02	51,26	45,97	88,82
Tanarslan	84,55	54,93	208,63	46,85	16,25	60,52	66,18	90,77	62,73	54,93	104,9
Tanarslan	40,05	33,85	113,66	30	12,3	34,89	40,24	39,14	36,16	33,85	65,54
Tanarslan	84,55	45,97	169,08	40,12	14,69	49,45	55,36	73,02	51,26	45,97	88,82
Tanarslan	53,4	33,85	113,66	30	12,3	34,89	40,24	39,14	36,16	33,85	65,54
Colalillo and Sheikh	48,95	45,97	169,08	40,12	14,69	49,45	55,36	73,02	51,26	45,97	88,82
Colalillo and Sheikh	53,4	54,93	208,63	46,85	16,25	60,52	66,18	90,77	62,73	54,93	104,9
Colalillo and Sheikh	17,8	34,3	95,12	19,88	37,9	20,06	52,84	21,99	28,73	40,66	60,18

**Πίνακας 6.1 (Συνέχεια)**

Μάνογ	48,65	43,36	110,63	35,48	6,99	28,67	37,59	46,01	36,11	30,84	73,4
Μάνογ	43,6	43,47	111,13	35,48	7,03	28,67	37,67	46,01	36,11	30,88	73,56
Μάνογ	24,35	43,52	111,37	35,48	7,04	28,67	37,7	46,01	36,11	30,9	73,65
Μάνογ	32,9	12,73	112,02	23,34	24,32	19,99	40,11	13,59	19,2	16,55	9,07
Μάνογ	49,7	25,46	112,44	46,69	48,64	39,99	80,22	27,18	38,4	33,09	32,52
Μάνογ	48,6	25,46	111,18	46,52	48,47	39,85	79,92	27,09	38,27	33,09	34,55
Μάνογ	42,7	22,44	60,13	22,77	23,62	23,67	17,16	19,55	21,62	22,44	25,98
Μάνογ	55	24,92	61,55	72,37	25,53	61,99	60,61	42,13	59,53	51,48	41,18
Chajes et al.	33,5	28,18	62,4	23,98	5,86	38,08	17,68	22,36	27,09	28,18	34,29
Chajes et al.	52	27,76	60,7	28,12	9,56	37,93	26,28	31,58	26,71	27,74	47,83
Chajes et al.	9,8	25,05	62,12	25,77	25,79	29,27	20,53	24,86	24,52	25,05	36,04
Chajes et al.	22,11	23,4	104,12	20,51	40,36	18,62	13,42	16,96	23,18	26,54	32,07
Chajes et al.	20,49	23,4	97,93	22,88	37,68	18,46	17,87	22,28	22,48	25,65	18,32
Chajes et al.	41,15	30,09	101,49	58,8	42,52	50,36	49,83	34,23	48,37	41,79	35,92
Chajes et al.	50,48	32,94	101,27	72,37	44,65	61,99	61,33	42,13	59,53	51,48	49,08
Chajes et al.	22,11	23,4	105,2	20,61	40,84	18,64	13,54	17,13	23,3	26,7	32,28
Tanarslan and Altin	23,42	29,9	100,38	24,72	42	25,47	17,35	22,48	27,93	29,9	41,75
Tanarslan and Altin	28,96	33,26	103,03	27,94	45,53	31,46	20,7	28,39	31,58	33,26	46,82
Tanarslan and Altin	20,49	23,4	96,13	22,7	36,9	18,41	17,65	22,28	22,28	25,38	18,14
Galal and Mofidi	41,15	30,41	103,46	58,8	43,45	50,36	64,1	34,23	48,37	41,79	36,28
Galal and Mofidi	27	29,86	65,8	18,39	6,38	22,17	26,62	23,93	24,41	30,88	46,01
Belarbi et al.	182,38	115,09	265,8	83,39	204,92	76,65	63,35	93,23	73,75	138,11	82,37
Belarbi et al.	171,7	115,09	291,82	86,55	205,61	77,67	67,29	102,36	77,28	138,11	86,42
Belarbi et al.	175,7	115,09	332,16	91,11	207,82	79,12	73,14	111,33	82,45	138,11	92,35
Belarbi et al.	243,32	115,09	344,17	92,4	208,77	79,52	74,84	111,33	83,93	138,11	94,05
Belarbi et al.	262,44	115,09	252,7	212,25	204,76	194,93	170,97	124,43	173,6	149,62	96,1
Μάνογ	35,95	26,55	78,45	26	21,9	25,07	21,1	27,22	25,07	26,55	30,86
Μάνογ	21,05	23,38	79,71	21,95	20,59	18,85	16,47	20,74	21,19	23,71	18,05
Μάνογ	69,45	26,23	76,76	41,26	21,37	31,18	29,48	32,75	33,93	34,19	32,08
Μάνογ	53,95	22,59	73,12	30,94	18,68	23,38	22,09	24,57	25,45	27,74	18,14
Μάνογ	58,25	25	70,46	41,26	19,41	31,18	29,43	32,75	33,93	33,32	30,7



### 6.3 Διαγράμματα – Παρατηρήσεις

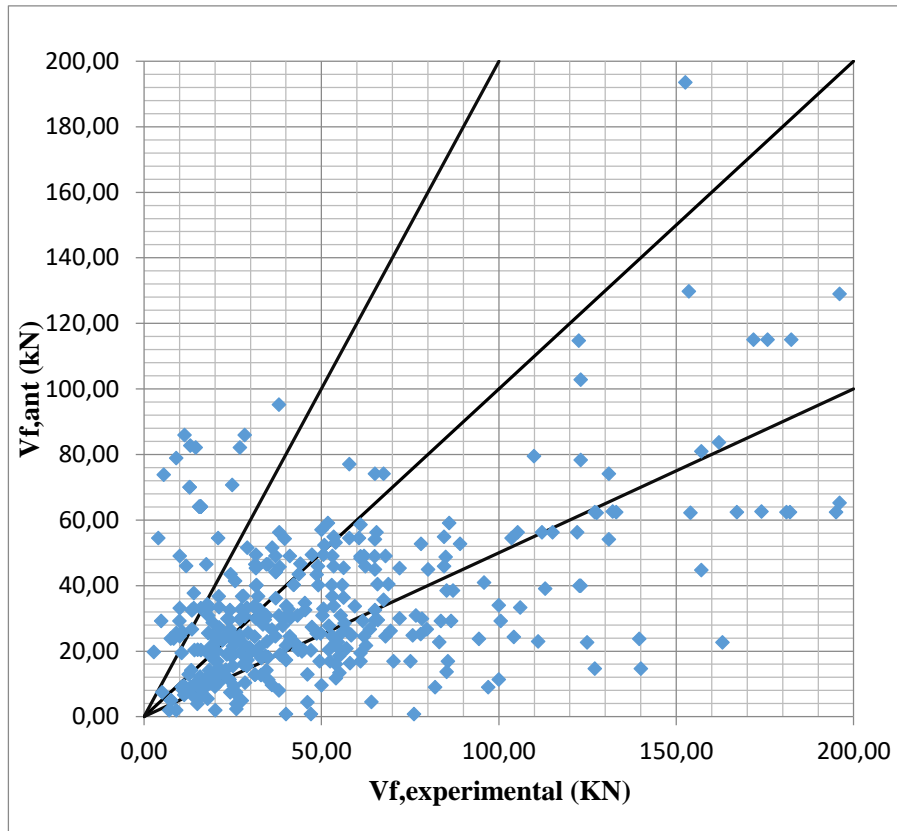
Λαμβάνοντας υπόψιν τις παραπάνω τιμές της τέμνουσας, έγινε σύγκριση ανάμεσα στην αναλυτική και πειραματική τέμνουσα των σύνθετων υλικών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στη συνέχεια : i) ανάλογα τον τρόπο αστοχίας , ii) ανάλογα τον τύπο ιών και iii) ανάλογα τον τύπο επικόλλησης των δοκιμίων.

Ιδεατό – ιδανικό μοντέλο θεωρείται το μοντέλο που οι πειραματικές με τις θεωρητικές τέμνουσες συμπίπτουν πλήρως. Αυτό φυσικά δε μπορεί να ισχύει λόγω της μεγάλης διασποράς των πειραματικών δεδομένων, οπότε όσο μεγαλύτερη η συσχέτιση μεταξύ πειραματικών και θεωρητικών τιμών τόσο καλύτερο το μοντέλο. Όταν η αναλυτική τιμή είναι μικρότερη της πειραματικής θεωρείται υπέρ της ασφαλείας, ενώ όταν συμβαίνει το αντίθετο ουσιαστικά υπερεκτιμάται η αντοχή των ινοπλισμένων πολυμερών.

Για να ποσοτικοποιηθεί η συσχέτιση των μεταβλητών χρησιμοποιήθηκαν δυο στατιστικοί συντελεστές συσχέτισης. Πιο συγκεκριμένα, εκτός από τα διαγράμματα των τεμνουσών έχουν υπολογιστεί και οι συντελεστές συμφωνίας Lin και γραμμικής συσχέτισης Pearson για κάθε μια από τις περιπτώσεις που αναφέρθηκαν. Οι συντελεστές αυτοί δείχνουν το ποσοστό συσχέτισης των δύο μεταβλητών (πειραματική και θεωρητική τέμνουσα) . Οι συντελεστές Lin and Pearson λαμβάνουν τιμές από 0 έως 1 και -1 έως 1 αντίστοιχα. Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι ο συντελεστής αυτός, τόσο μεγαλύτερη συσχέτιση υπάρχει, ενώ αντίθετα τιμές κοντά στο μηδέν φανερώνουν ότι δεν υπάρχει συσχέτιση.

### 6.3.1 Γενικά διαγράμματα

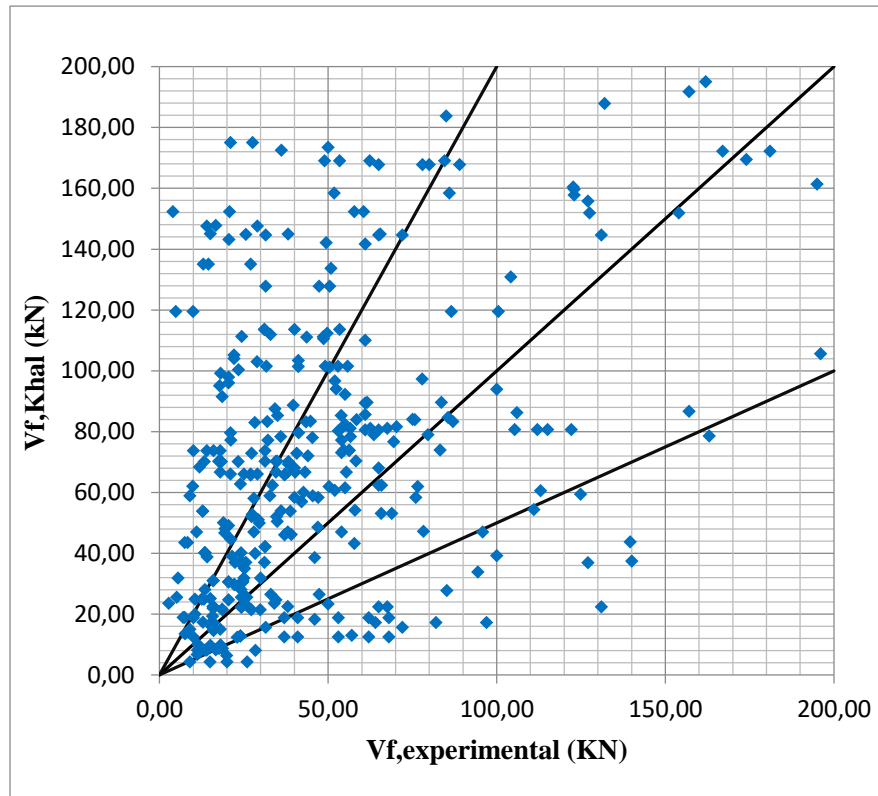
#### Μοντέλο Τριανταφύλλου Αντωνόπουλου (2000)



**Διάγραμμα 6.1** Συνολικό διάγραμμα τεμνουσών Αντωνόπουλου-Τριανταφύλλου, (2000)

Στο Διάγραμμα 6.1 παρατηρούμε ότι λίγες σχετικά τιμές βρίσκονται κοντά στην ευθεία που σχηματίζει γωνία 45 μοιρών με τον άξονα, δηλαδή για λίγες τιμές η πειραματική με τη θεωρητική τέμνουσα βρίσκονται πολύ κοντά (επιθυμητό αποτέλεσμα). Επίσης παρατηρούμε ότι είναι ένα αρκετά συντηρητικό μοντέλο, καθώς οι περισσότερες τιμές βρίσκονται κάτω και δεξιά από την ευθεία που προαναφέρθηκε, πράγμα που είναι φυσιολογικό αν λάβει κανείς υπόψιν του, τους συντελεστές ασφαλείας που χρησιμοποιούνται στο εν λόγω μοντέλο. Τέλος, ο συντελεστής  $L_{in}$  που υπολογίστηκε είναι 0,5231 ενώ ο συντελεστής Pearson είναι 0,7166.

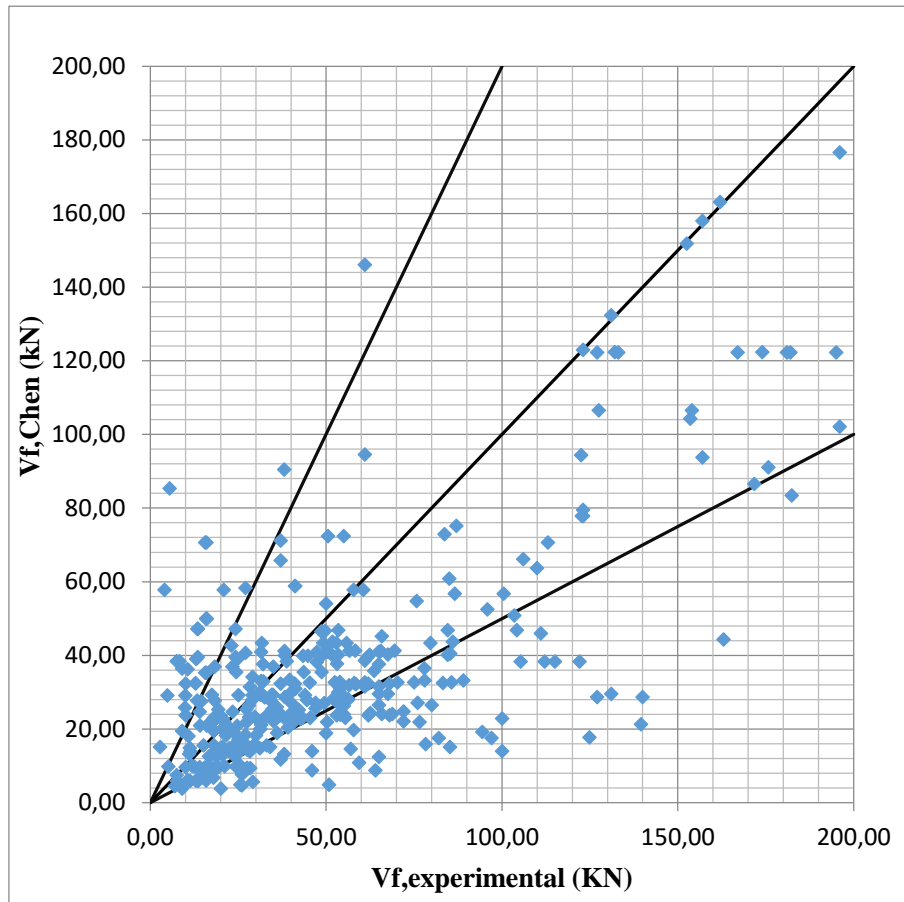
### Μοντέλο Khalifa et al. (1998)



**Διάγραμμα 6.2** Συνολικό διάγραμμα τεμνουσών Khalifa et al., (1998)

Το εν λόγω μοντέλο που παρουσιάζεται στο διάγραμμα 6.2, επίσης δε φαίνεται αξιόπιστο. Παρατηρούμε επίσης, ότι για δοκούς με μικρές διαστάσεις άρα και τέμνουσες αντοχής υπάρχει ξεκάθαρο πρόβλημα καθώς υπερεκτιμάται σε μεγάλο βαθμό η αντοχή των πολυμερών. Τέλος, ο συντελεστής  $L_{in}$  για τη συγκεκριμένη περίπτωση είναι 0,6087 ενώ ο συντελεστής Pearson είναι 0,664.

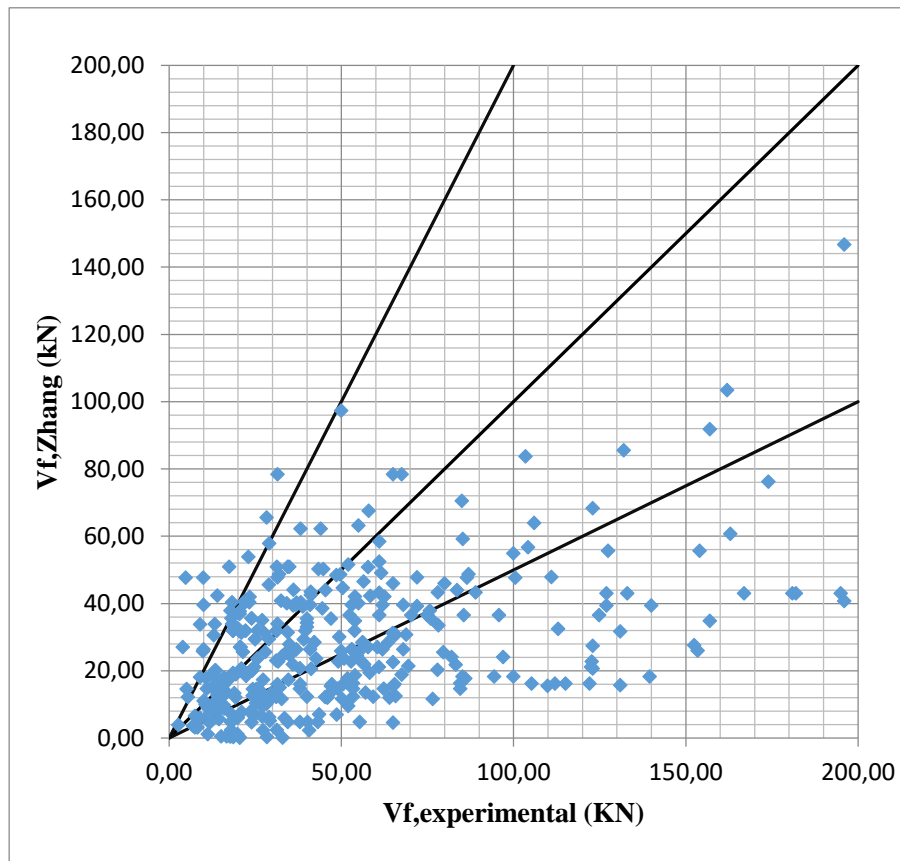
### Μοντέλο Chen & Teng (2003)



Διάγραμμα 6.3 Συνολικό διάγραμμα τεμνουσών Chen & Teng, (2003)

Οι Chen και Teng (2003) φαίνεται να έχουν δημιουργήσει ένα συντηρητικό μοντέλο το οποίο βάση και της ευρείας βάσης δεδομένων είναι πιο αποδοτικό καθώς λίγες δοκοί βρίσκονται στο πάνω αριστερό κομμάτι του διαγράμματος 6.3. Παρόλο που επιθυμούμε να βρίσκονται σχετικά κοντά οι δύο τέμνουσες, αν όχι να είναι περίπου ίσες, το να βρίσκονται τα αποτελέσματα κάτω δεξιά από την διχοτόμο (γωνία που σχηματίζει με τον άξονα 45 μοίρες) είναι υπέρ της ασφαλείας. Με βάση όλα τα παραπάνω, κρίνεται ως καλό το μοντέλο των Chen και Teng καθώς εκτός των άλλων, ο συντελεστής  $L_{in}$  είναι 0,768 και Pearson 0,7955 που δείχνει μια καλή συσχέτιση των δοκιμών.

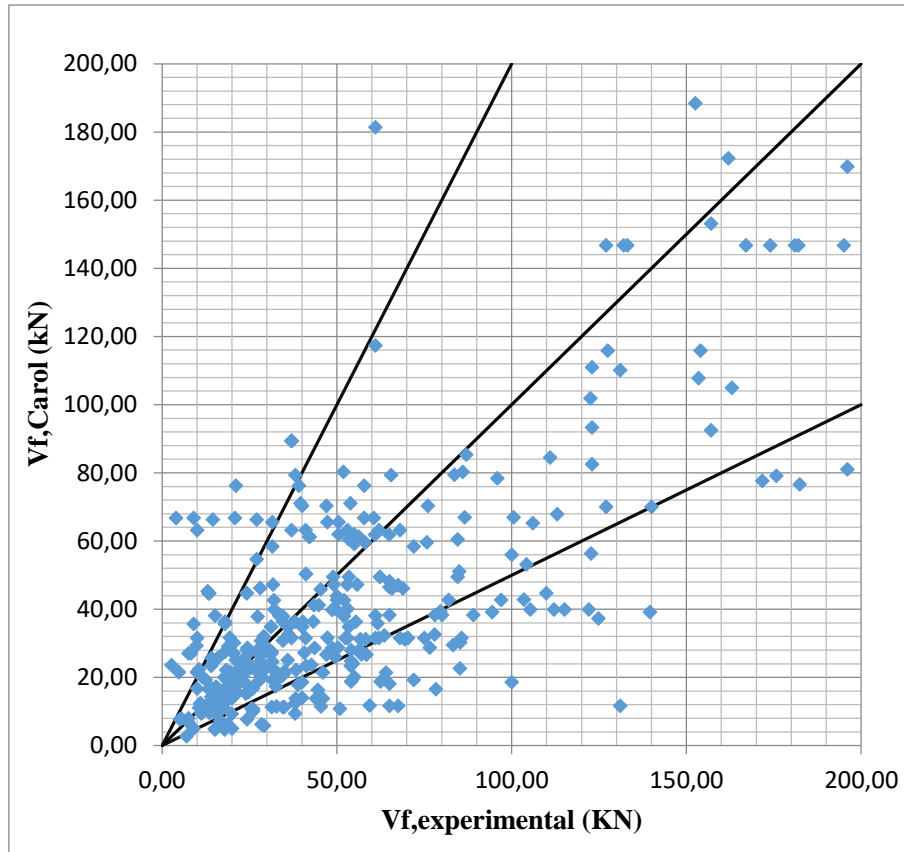
### Μοντέλο Zhang & Hsu (2005)



**Διάγραμμα 6.4** Συνολικό διάγραμμα τεμνουσών Zhang & Hsu, (2005)

Επίσης ένα μοντέλο, αυτό των Zhang και Hsu (2005), που είναι πολύ συντηρητικό καθώς λαμβάνονται υπόψιν μερικοί συντελεστές ασφαλείας στον υπολογισμό της τέμνουσας, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6.4. Η συσχέτιση των αποτελεσμάτων, δηλαδή των τεμνουσών των δοκών, είναι κατά το συντελεστή Lin 0,4448 και κατά το συντελεστή Pearson 0,6915.

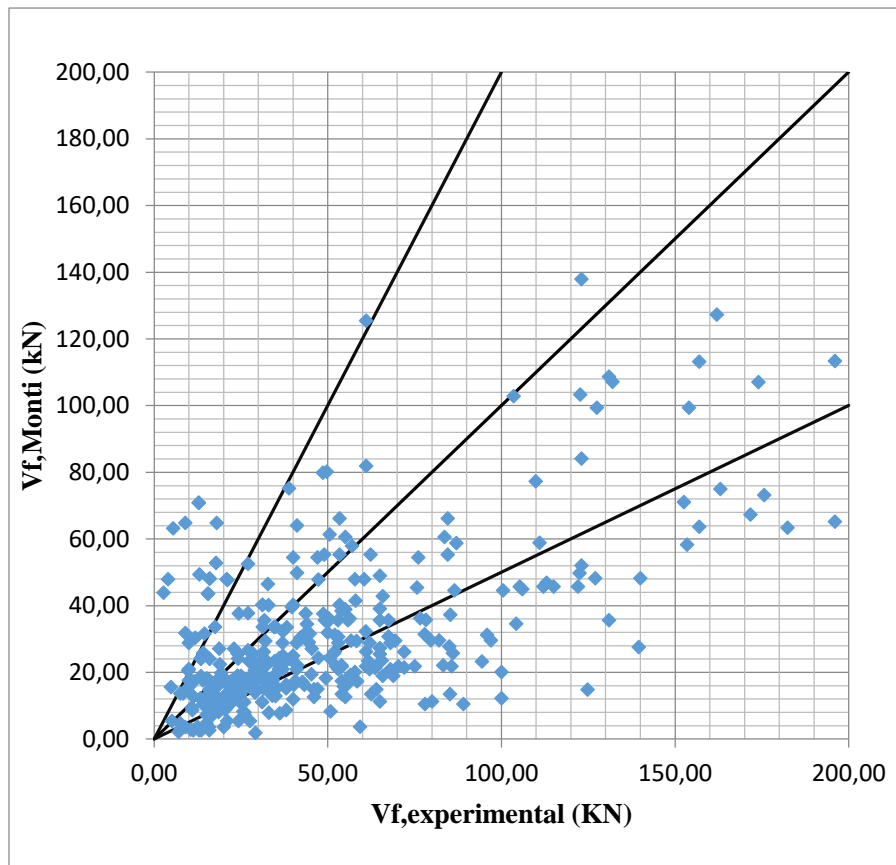
### Μοντέλο Carolin & Taljsten, (2005)



**Διάγραμμα 6.5** Συνολικό διάγραμμα τεμνουσών Carolin & Taljsten, (2005)

Ένα μοντέλο που παρατηρούμε πολλές τιμές να βρίσκονται κοντά στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Επίσης, λιγότερες τιμές σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα, βρίσκονται στο κομμάτι του διαγράμματος που υπερεκτιμάν την αντοχή των πολυμερών, όπως βλέπουμε στο διάγραμμα 6.5. Χαρακτηρίζεται ως καλό μοντέλο σχεδιασμού. Οι συντελεστές Lin 0,7957 και Pearson 0,836 είναι οι καλύτεροι από τα μοντέλα που εξετάστηκαν (πιο κοντά στη μονάδα) πράγμα που ενισχύει αυτό που προαναφέρθηκε, ότι μιλάμε για ένα καλό μοντέλο σχεδιασμού.

### Μοντέλο Monti & Lionta, (2007)

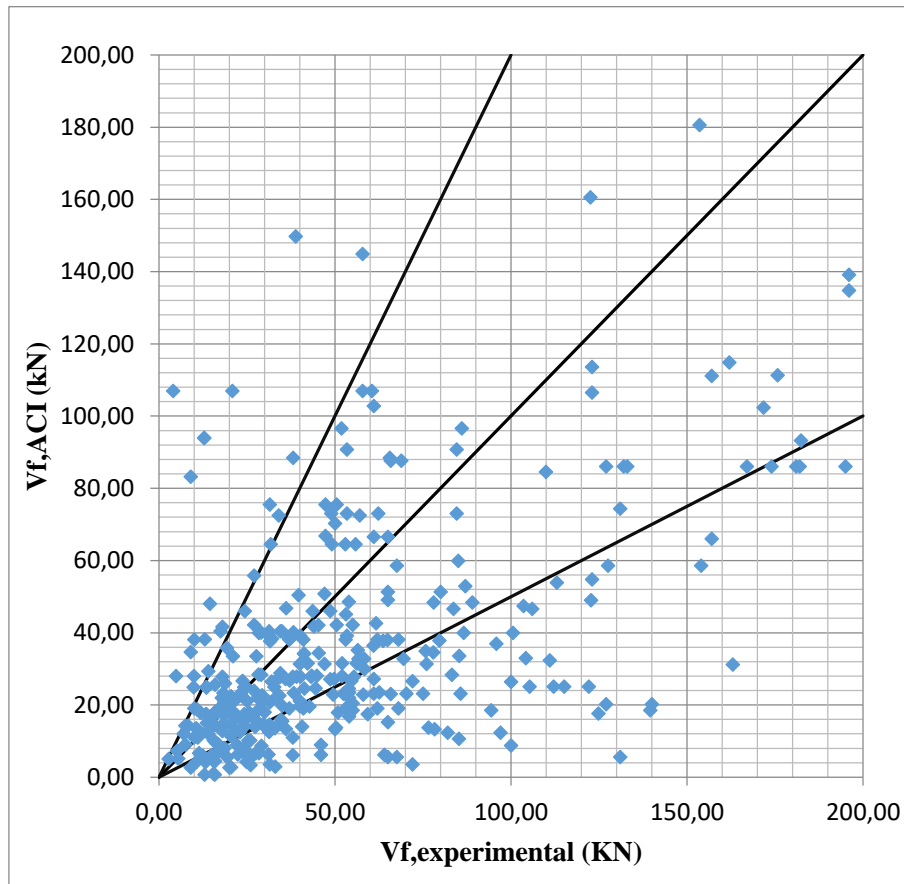


**Διάγραμμα 6.6** Συνολικό διάγραμμα τεμνουσών Monti & Lionta, (2007)

Το συγκεκριμένο μοντέλο σχεδιασμού κρίνεται ως καλό με βάση το μεγάλο δείγμα των δοκιμών που έχουν ληφθεί υπόψη. Από το διάγραμμα 6.5 παρατηρούμε ότι αρκετές είναι οι τιμές που βρίσκονται "γύρω" από τη διχοτόμο, οι περισσότερες στο κάτω δεξιά τμήμα του διαγράμματος, υπέρ της ασφαλείας.

Εδώ, ο συντελεστής συσχέτισης  $L_{in}$  είναι 0,7291 και ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson είναι 0,7953 που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα δεδομένα έχουν μια αρκετά καλή συσχέτιση.

### Αμερικάνικος κανονισμός ACI, (2008)

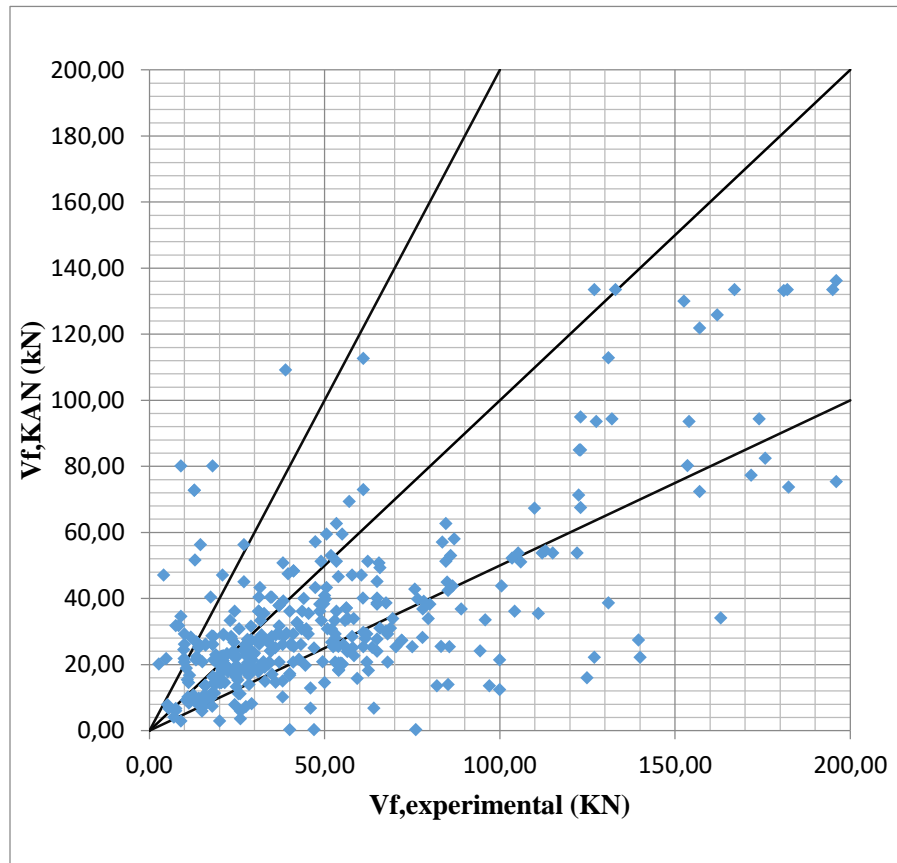


**Διάγραμμα 6.7** Συνολικό διάγραμμα τεμνουσών κανονισμού ACI, (2008)

Όπως όλοι οι κανονισμοί σχεδιασμού, έτσι και ο αμερικάνικος, κρίνεται συντηρητικός λόγω των αρκετών συντελεστών ασφαλείας που λαμβάνει υπόψιν του. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από το διάγραμμα 6.7 είναι καλό αν κρίνουμε με βάση την ασφάλεια. Ο συντελεστής  $L_{in}$  για τον κανονισμό αυτόν είναι 0,6814 και ο συντελεστής Pearson είναι 0,7404.



## ΚΑΝ.ΕΠΕ (Κανονισμός επεμβάσεων Ελλάδας, 2017)

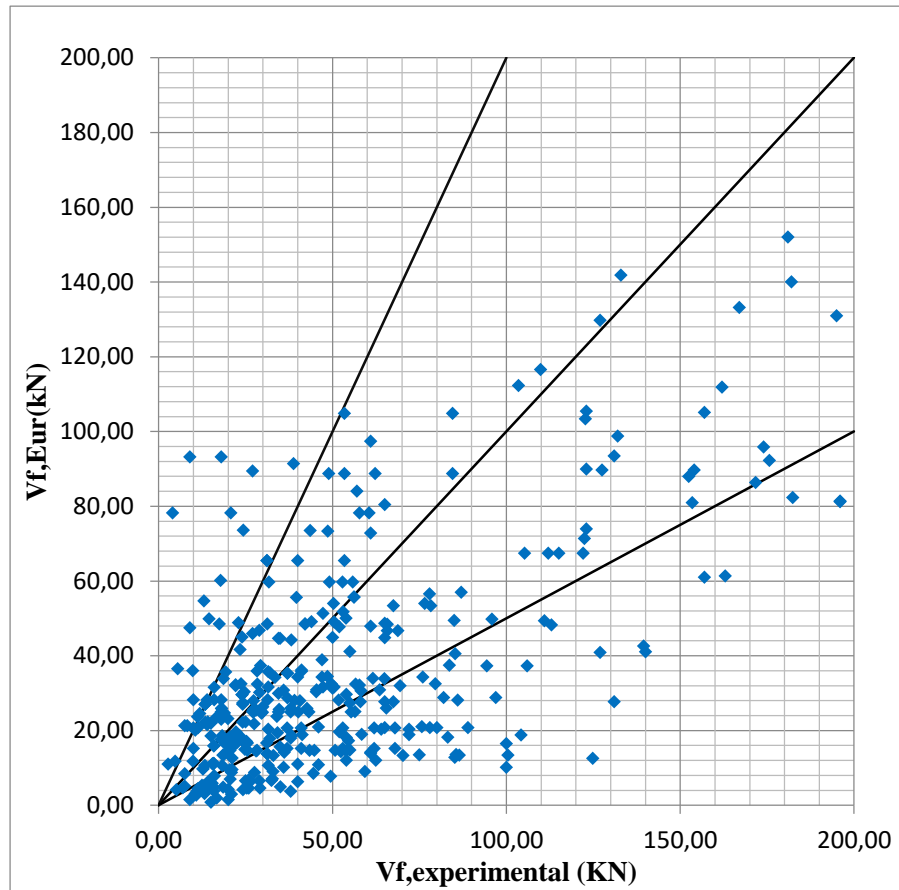


**Διάγραμμα 6.8** Συνολικό διάγραμμα τεμνουσών ΚΑΝΕΠΕ, (2017)

Επίσης, ο ελληνικός κανονισμός επεμβάσεων λαμβάνει υπόψιν του συντελεστής ασφαλείας και παρατηρούμε από το διάγραμμα 6.8 ότι τα περισσότερα δοκίμια βρίσκονται στο κομμάτι της ασφάλειας.

Ο συντελεστής  $\text{Lin}$  στην περίπτωση του ΚΑΝΕΠΕ υπολογίστηκε 0,7225 ενώ ο συντελεστής Pearson 0,8035.

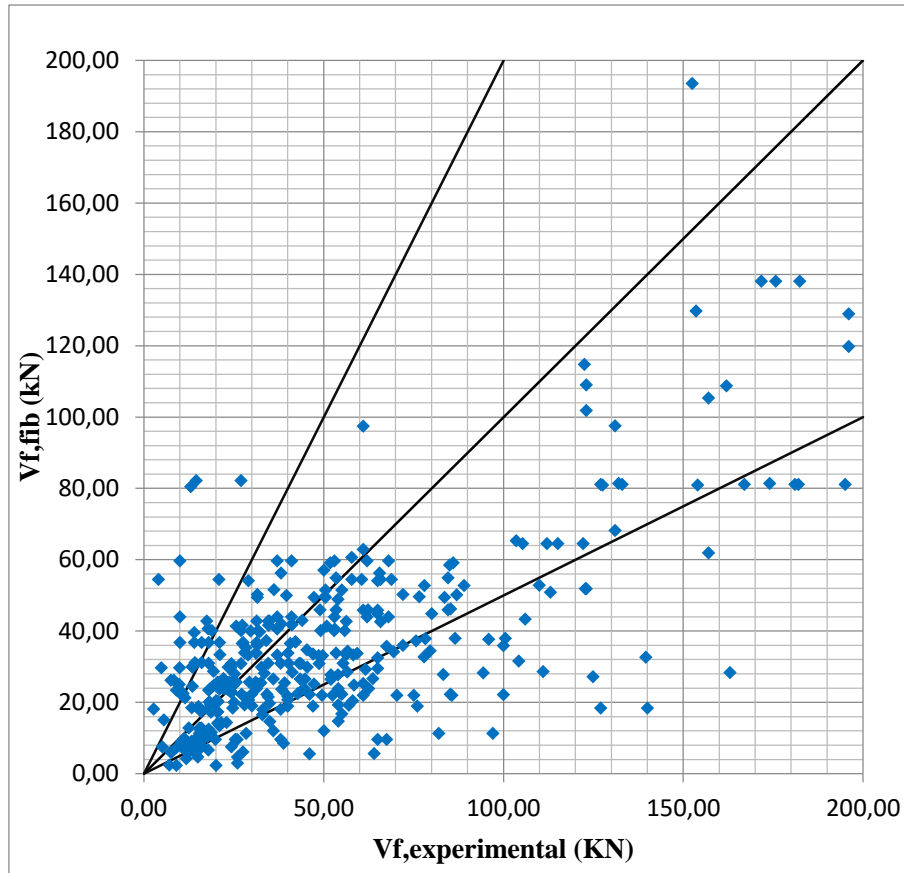
## Eurocode 8 – Part 3 Design Proposal (EN 1998-3:2005)



**Διάγραμμα 6.9** Συνολικό διάγραμμα τεμνουσών Ευρωκώδικα, (2005)

Στον εν λόγω κανονισμό, παρατηρείται επίσης ότι, οι υπολογισμοί των αντοχών είναι υπέρ της ασφαλείας. Όμως, είναι αναγκαίο να επισημάνουμε ότι αρκετά δείγματα βρίσκονται "κοντά" στη διχοτόμο άρα και στο επιθυμητό αποτέλεσμα, όπως διακρίνουμε στο Διάγραμμα 6.9. Τέλος, οι συντελεστές Lin και Pearson είναι 0,6189 και 0,7865 αντίστοιχα.

### fib Design Proposal, (2001)



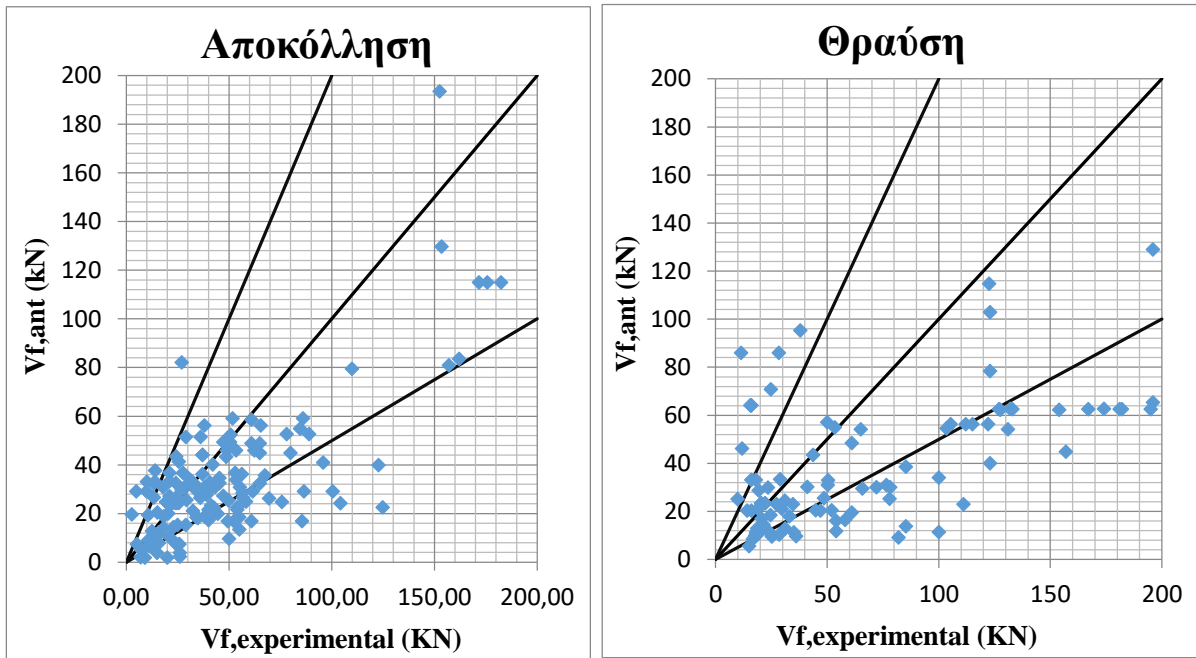
**Διάγραμμα 6.10** Συνολικό διάγραμμα τεμνουσών fib, (2001)

Τέλος, ο κανονισμός fib (2001) έχει ανάλογα αποτελέσματα με τους υπόλοιπους κανονισμούς. Τα δοκίμια που δεν καλύπτονται από τον κανονισμό είναι λίγα και αν παρατηρήσει κανείς το Διάγραμμα 6.10 είναι αυτά με τις μικρότερες διαστάσεις άρα και τις μικρότερες τέμνουσες, πράγμα που δεν είναι ανησυχητικό καθώς στην πράξη τόσο μικρά δοκάρια δε χρησιμοποιούνται. Ο συντελεστής συσχέτισης του Lin είναι 0,6876 ενώ αυτός του Pearson είναι 0,7924.

### 6.3.2 Διαγράμματα βάσει μορφής αστοχίας

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, μια κατηγοριοποίηση που επιλέχθηκε, ούτως ώστε να εξετάσουμε τη συμπεριφορά των μοντέλων και των κανονισμών, ήταν ο τρόπος με τον οποίο αστοχούσαν οι δοκοί. Χρησιμοποιήθηκαν λοιπόν οι δοκοί που αστοχούσαν σε τέμνουσα, υπήρχαν και δοκοί που αστοχούσαν σε κάμψη αλλά δεν τις λάβαμε υπόψιν στην εν λόγω έρευνα, με τις δύο κατηγορίες που δημιουργήθηκαν να είναι η αποκόλληση (149 δοκίμια) και η θραύση (105). Έτσι λοιπόν, με αυτό το διαχωρισμό εξήχθησαν τα παρακάτω διαγράμματα για κάθε μοντέλο και κανονισμό.

#### Μοντέλο Τριανταφύλλου Αντωνόπουλου, (2000)



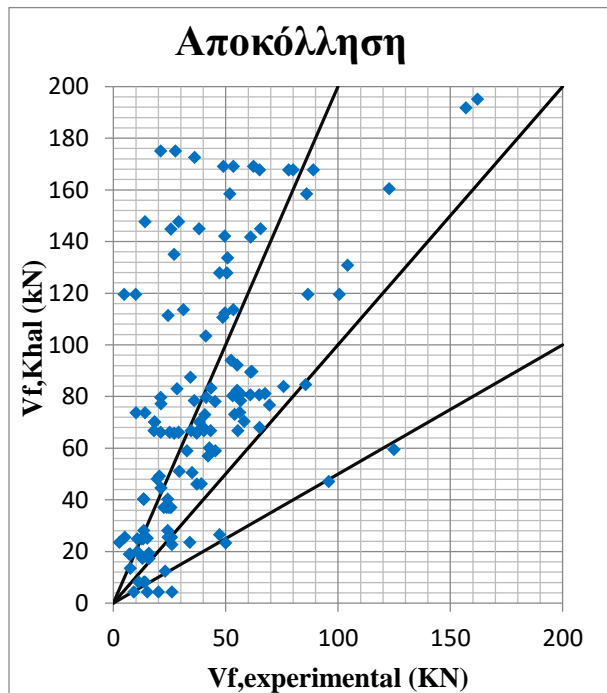
**Διαγράμμα 6.11** Διάγραμμα τεμνουσών Αποκόλλησης Αντωνόπουλου-Τριανταφύλλου, (2000)

**Διάγραμμα 6.12** Διάγραμμα τεμνουσών Θραύσης Αντωνόπουλου-Τριανταφύλλου, (2000)

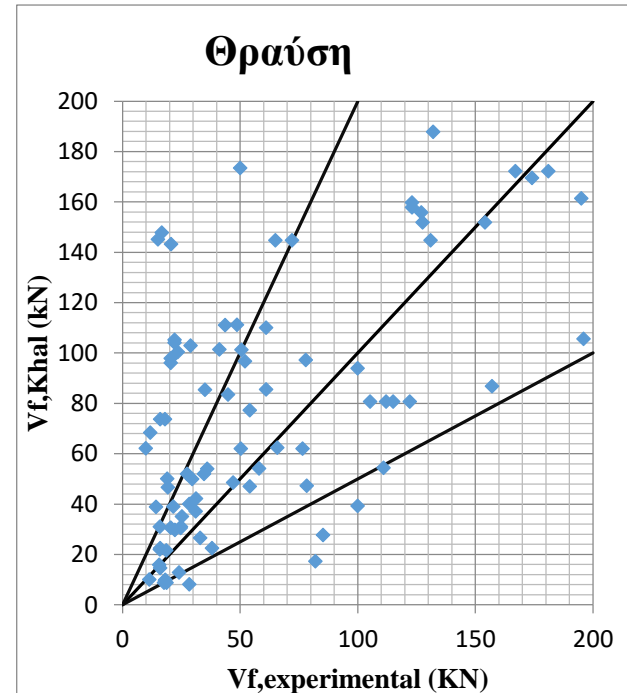
Παρατηρούμε στα Διαγράμματα 6.11, 6.12 ότι το μοντέλο των Τριανταφύλλου και Αντωνόπουλου(2000) είναι αναλογικά εξίσου καλό τόσο για την περίπτωση της αποκόλλησης όσο και της θραύσης. Έχουμε πολλά δοκίμια που βρίσκονται στο δεξιό κομμάτι του διαγράμματος (υπέρ της ασφαλείας) πράγμα που δείχνει την αξιοπιστία του μοντέλου. Υπολογίστηκαν οι συντελεστές Lin και Pearson ξεχωριστά για αποκόλληση και θραύση και

πήραμε τα εξής αποτελέσματα. Ο Lin για αποκόλληση ήταν 0,5782 ενώ για θραύση 0,5213. Ο συντελεστής Pearson για αποκόλληση είναι 0,7256 ενώ για θραύση 0,704.

### Μοντέλο Khalifa et al., (1998)



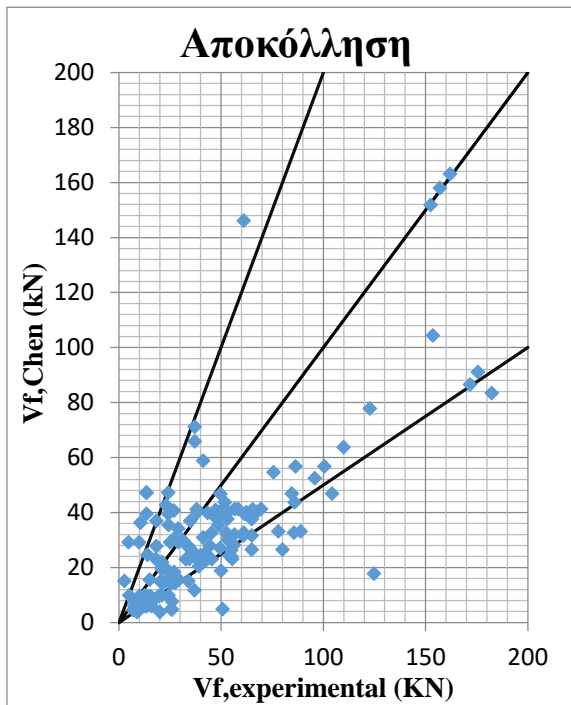
**Διαγράμμα 6.13** Διάγραμμα τεμνουσών Αποκόλλησης Khalifa et al., (1998)



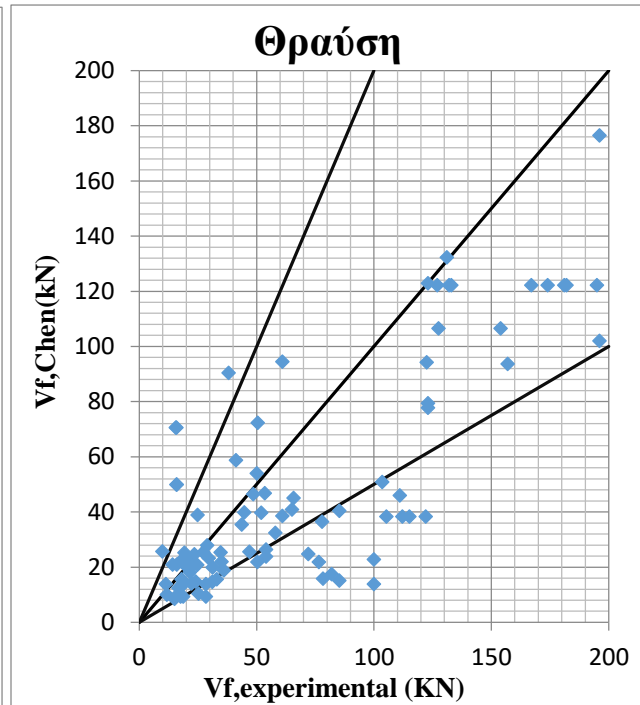
**Διάγραμμα 6.14** Διάγραμμα τεμνουσών Θραύσης Khalifa et al., (1998)

Το μοντέλο των Khalifa et al.(1998) παρατηρούμε από τα Διαγράμματα 6.13, 6.14 ότι δεν έχει τα αποτελέσματα που αναμέναμε, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις της αποκόλλησης. Οι συντελεστές Lin και Pearson υπολογίστηκαν επίσης για κάθε περίπτωση και είχαμε τα εξής αποτελέσματα: ο Lin για αποκόλληση ήταν 0,5316 ενώ για θραύση 0,7029. Ο συντελεστής Pearson για αποκόλληση ήταν 0,7337 ενώ για θραύση 0,743.

### Μοντέλο Chen & Teng, (2003)



**Διαγράμμα 6.15** Διάγραμμα τεμνουσών Αποκόλλησης Chen & Teng, (2003)

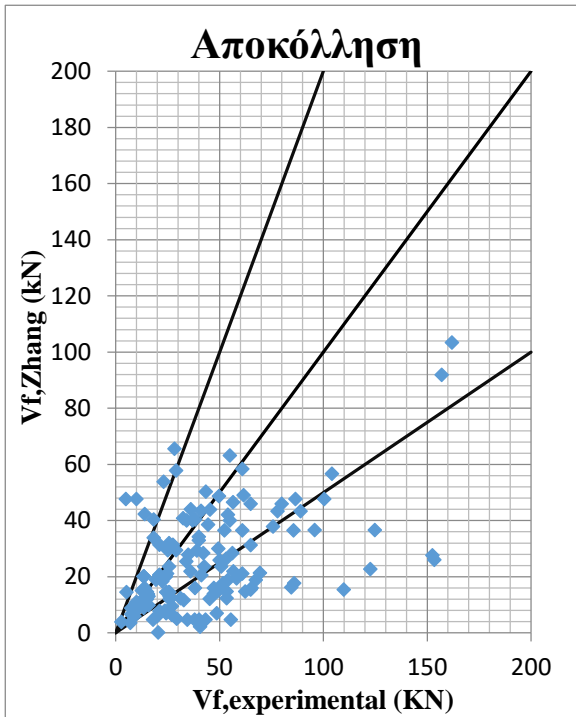


**Διάγραμμα 6.16** Διάγραμμα τεμνουσών Θραύσης Chen & Teng, (2003)

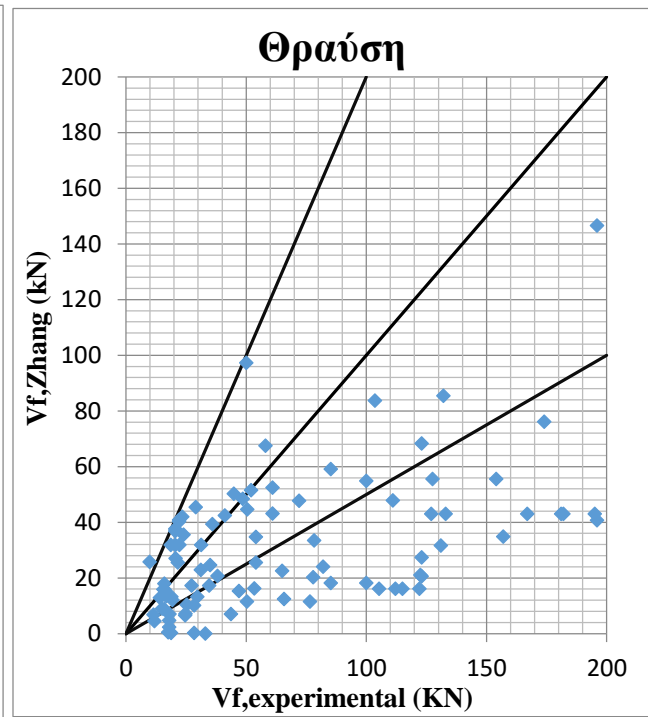
Το συγκεκριμένο μοντέλο, με βάση τα διαγράμματα 6.15, 6.16, παρατηρούμε ότι έχει καλύτερα αποτελέσματα στην περίπτωση της αποκόλλησης σε σχέση με την περίπτωση της θραύσης.

Ο συντελεστής  $L_{in}$  που υπολογίστηκε για την αποκόλληση ήταν 0,7524 ενώ για τη θραύση ήταν 0,7869. Αντίστοιχα, ο συντελεστής Pearson που υπολογίστηκε για τις δύο περιπτώσεις ήταν 0,8273 και 0,797. Οι συγκεκριμένοι συντελεστές συσχέτισης είναι οι καλύτεροι που έχουν υπολογιστεί στην έρευνα, πράγμα που δείχνει την αξιοπιστία του μοντέλου.

### Μοντέλο Zhang & Hsu, (2005)



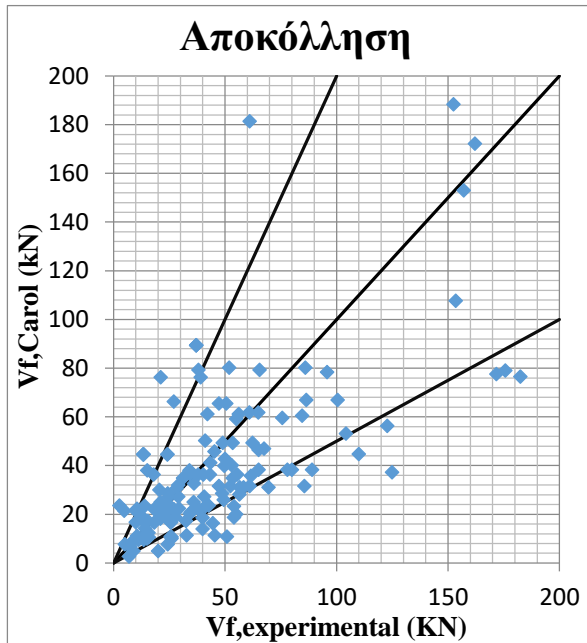
**Διαγράμμα 6.17** Διάγραμμα τεμνουσών Αποκόλλησης Zhang & Hsu, (2005)



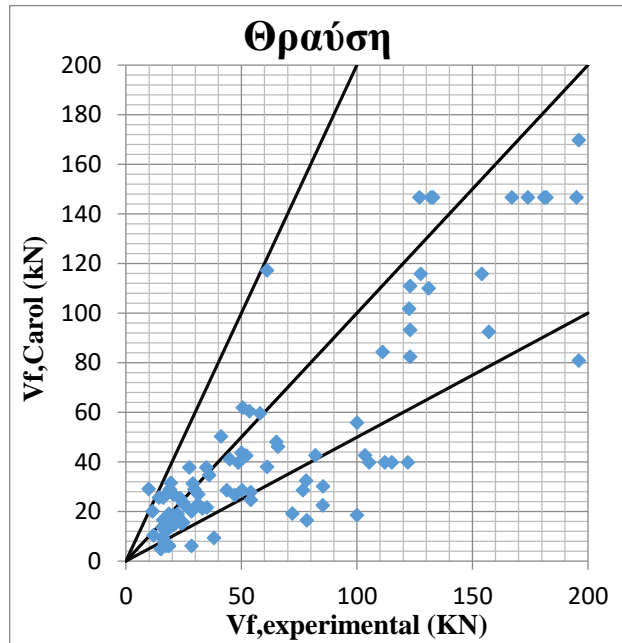
**Διάγραμμα 6.18** Διάγραμμα τεμνουσών Θραύσης Zhang & Hsu, (2005)

Το μοντέλο των Zhang και Hsu (2005) δείχνει, βάσει των Διαγραμμάτων 6.17, 6.18 να έχει καλύτερα αποτελέσματα στην περίπτωση της αποκόλλησης σε σχέση με την περίπτωση της θραύσης. Υπολογίστηκαν επίσης οι συντελεστές Lin και Pearson οι οποίοι ήταν 0,6105 και 0,7118 αντίστοιχα για αποκόλληση και 0,3653 και 0,6761 για θραύση αντίστοιχα.

## Μοντέλο Carolin and Taljsten, (2005)



**Διαγράμμα 6.19** Διάγραμμα τεμνουσών Αποκόλλησης Carolin & Taljsten, (2005)



**Διάγραμμα 6.20** Διάγραμμα τεμνουσών Θραύσης Carolin & Taljsten, (2005)

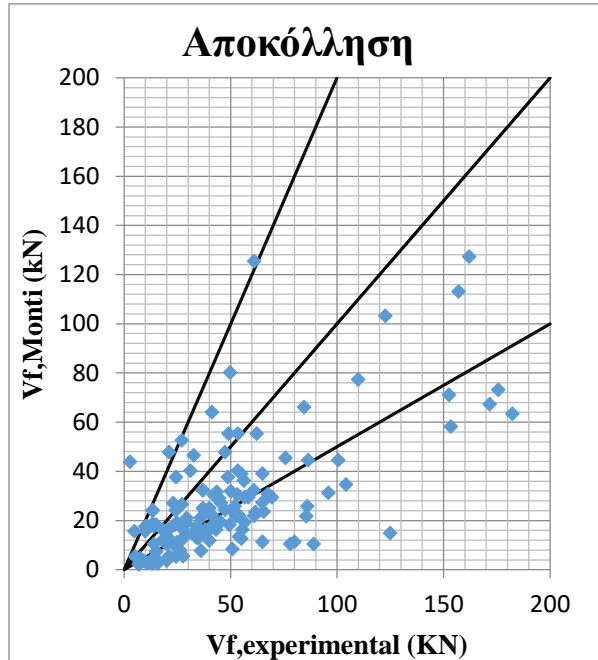
Επίσης ένα μοντέλο που έχει "καλά" αποτελέσματα, περισσότερο στην περίπτωση της θραύσης, όπως βλέπουμε στα Διαγράμματα 6.19, 6.20. Οι συντελεστές συσχέτισης που υπολογίστηκαν για το εν λόγω μοντέλο ήταν οι εξής:

Ο συντελεστής  $L_{in}$  για αποκόλληση ήταν 0,7436 ενώ για θραύση ήταν 0,8276

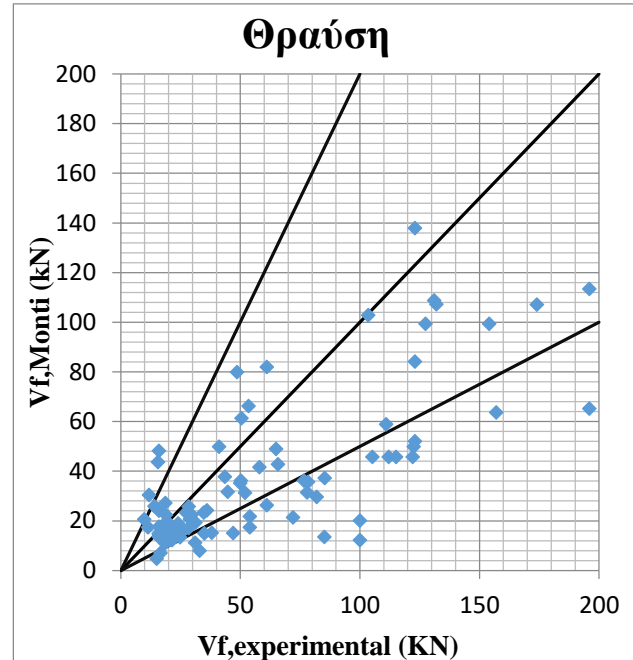
Ο συντελεστής Pearson για αποκόλληση ήταν 0,767 ενώ για θραύση 0,8401.



## Μοντέλο Monti and Lionta, (2007)



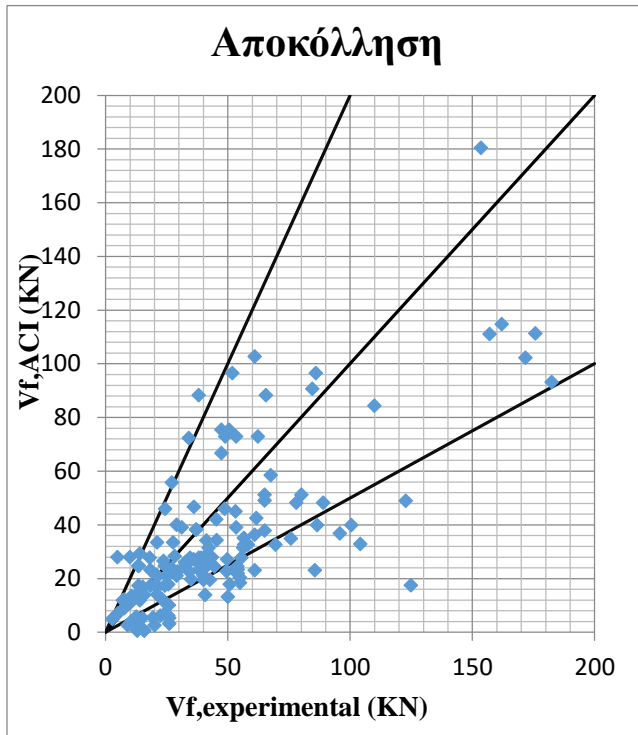
**Διάγραμμα 6.21** Διάγραμμα τεμνουσών Αποκόλλησης Monti&Lionta, (2007)



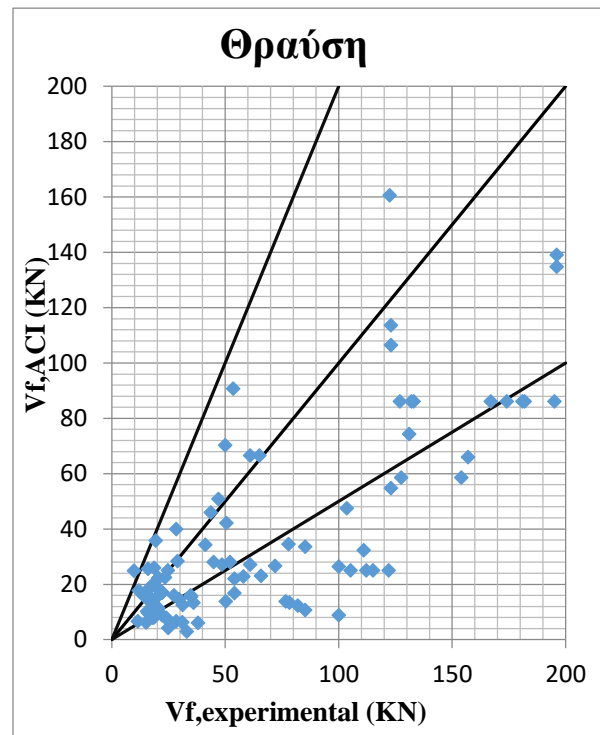
**Διάγραμμα 6.22** Διάγραμμα τεμνουσών θραύσης Monti&Lionta, (2007)

Στο μοντέλο Monti και Lionta (2007) παρατηρείται, τόσο με βάση τα Διαγράμματα 6.21, 6.22 όσο και της συντελεστές συσχέτισης που υπολογίστηκαν, ότι στην περίπτωση της θραύσης το μοντέλο λειτουργεί καλύτερα. Υπάρχει καλύτερο επίπεδο συσχέτισης στη θραύση αφού ο συντελεστής  $L_{in}$  ήταν 0,6583 για αποκόλληση ενώ 0,8141 για θραύση. Ακόμη, ο συντελεστής Pearson ήταν 0,7211 για αποκόλληση και 0,8347 για θραύση.

## Αμερικάνικος Κανονισμός ACI, (2008)



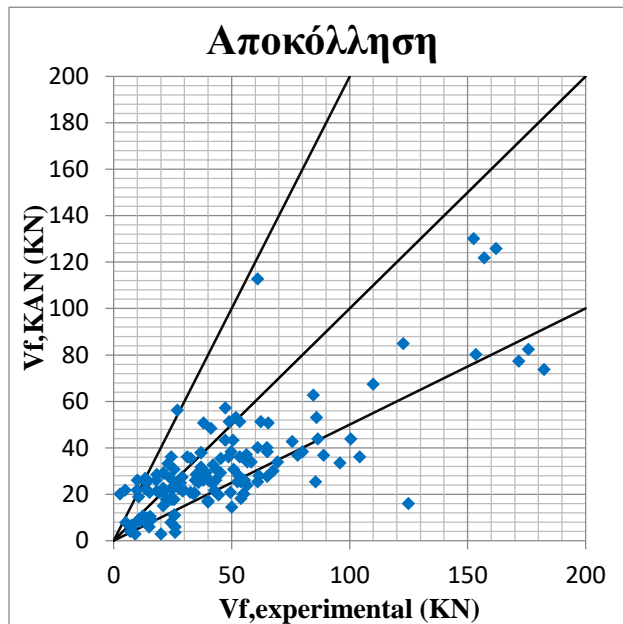
**Διάγραμμα 6.23** Διάγραμματα τεμνουσών Αποκόλλησης ACI, (2008)



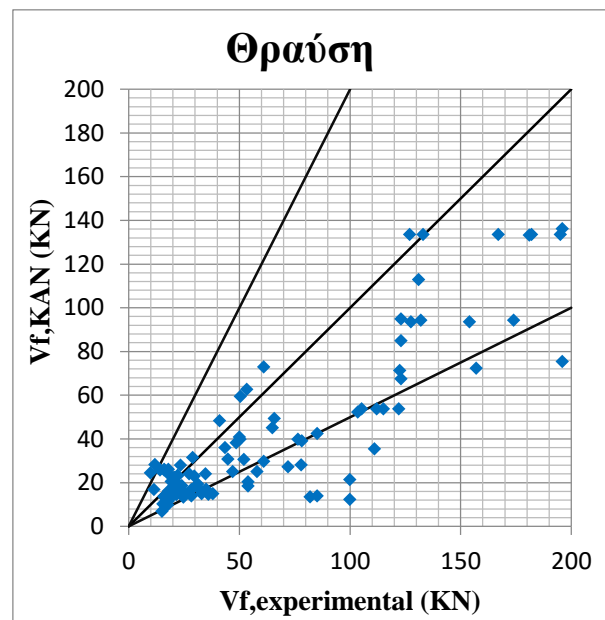
**Διάγραμμα 6.24** Διάγραμμα τεμνουσών Θραύσης ACI, (2008)

Στην περίπτωση του αμερικάνικου κανονισμού, συγκρίνοντας τα Διαγράμματα 6.23, 6.24 και τους συντελεστές συσχέτισης, διαπιστώνουμε ότι λειτουργεί πιο αξιόπιστα ο κανονισμός σε περιπτώσεις που οι δοκοί αστοχούν σε θραύση, χωρίς τα αποτελέσματα της αποκόλλησης να είναι απογοητευτικά. Ο συντελεστής  $L_{in}$  που υπολογίστηκε ήταν 0,6673 για αποκόλληση ενώ 0,7175 για θραύση. Τέλος, ο συντελεστής Pearson για αποκόλληση υπολογίστηκε να είναι 0,72 ενώ για θραύση 0,7535.

## ΚΑΝ.ΕΠΕ (Κανονισμός Επεμβάσεων, 2017)



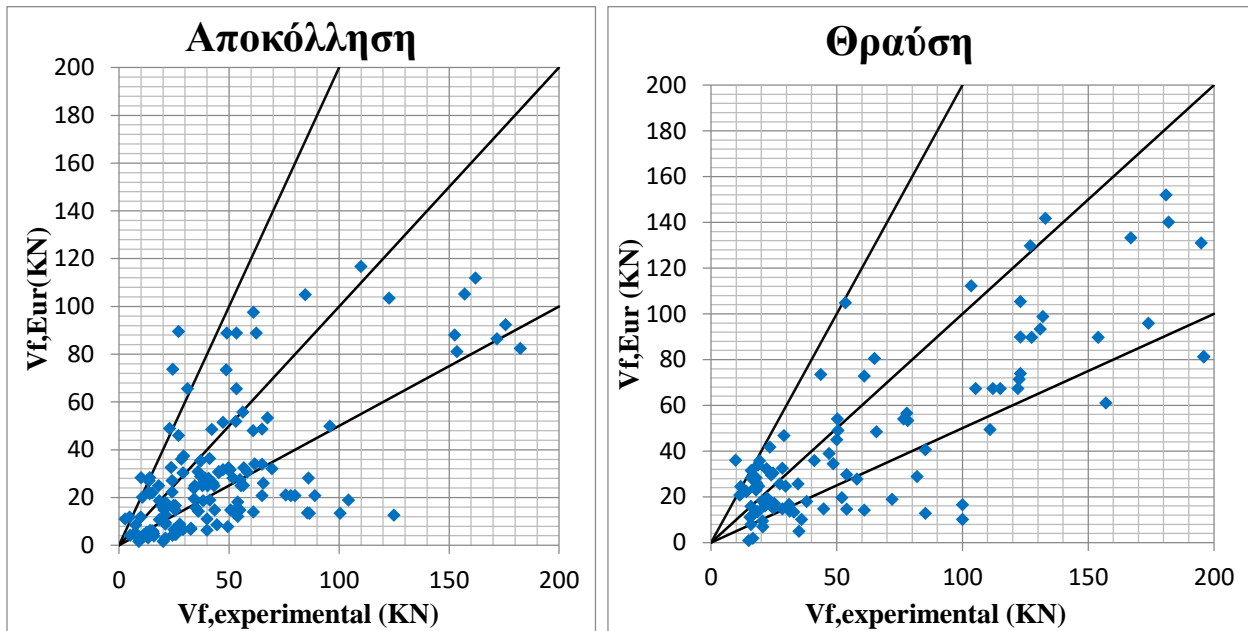
**Διάγραμμα 6.25** Διάγραμμα τεμνουσών Αποκόλλησης ΚΑΝΕΠΕ, (2017)



**Διάγραμμα 6.26** Διάγραμμα τεμνουσών Θραύσης ΚΑΝΕΠΕ, (2017)

Στον ελληνικό κανονισμό επεμβάσεων παρατηρείται από τα Διαγράμματα 6.25, 6.26 να υπάρχει μια σχετικά καλή συσχέτιση αφού ο συντελεστής  $L_{in}$  ήταν 0,7077 για αποκόλληση και 0,7756 ενώ ο συντελεστής Pearson 0,8259 για αποκόλληση και 0,8144 για θραύση. Επίσης τα δοκίμια, εκτός κάποιων εξαιρέσεων, δείχνουν να συμπεριφέρονται τόσο για θραύση όσο και για αποκόλληση, το ίδιο.

## Eurocode 8 – Part 3 Design Proposal (EN 1998-3:2005)



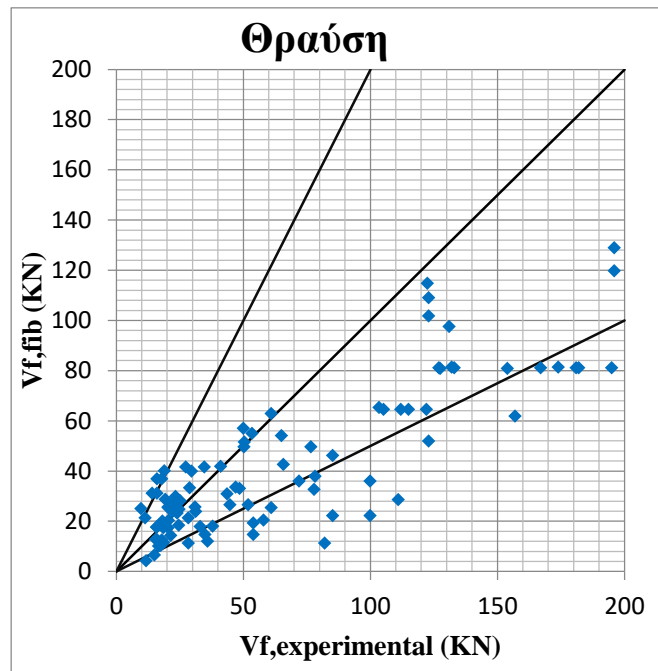
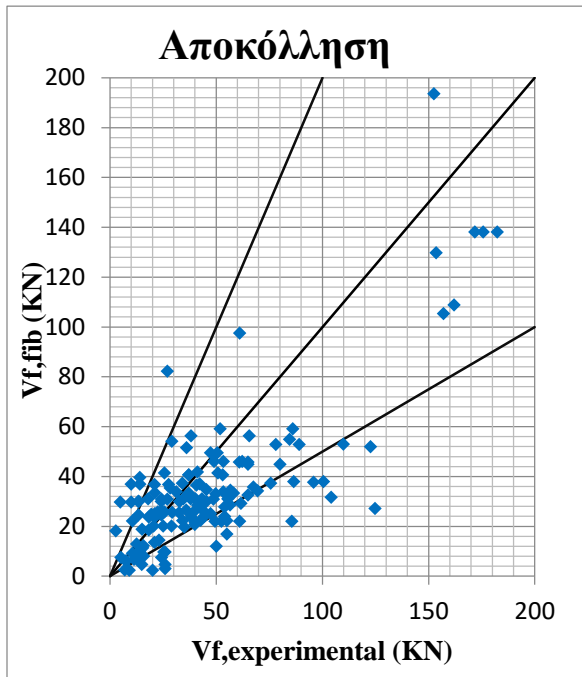
**Διάγραμμα 6.27** Διάγραμμα τεμνουσών Αποκόλλησης Ευρωκώδικα, (2005)

**Διάγραμμα 6.28** Διάγραμμα τεμνουσών Θραύσης Ευρωκώδικα, (2005)

Ο σχεδιασμός με βάση τις διατάξεις του ευρωκώδικα δε δείχνει να είναι καλός για τα συγκεκριμένα δεδομένα, όπως παρατηρούμε στα Διαγράμματα 6.27, 6.28 ίσως λόγω του μεγέθους των δοκιμών που χρησιμοποιήθηκαν στα συγκεκριμένα πειράματα (πολύ μικρότερες διαστάσεις σε σχέση με μια πραγματική δοκό).

Παρόλα αυτά, οι συντελεστές που υπολογίστηκαν με βάση τους Lin και Pearson ήταν οι εξής: Ο συντελεστής Lin για αποκόλληση υπολογίστηκε ως 0,598 ενώ για θραύση 0,6902 και ο συντελεστής Pearson για αποκόλληση ήταν 0,7084 ενώ για θραύση 0,852 πράγμα που δείχνει ότι υπάρχει καλύτερη συσχέτιση στην περίπτωση της θραύσης.

### fib Design Proposal, (2001)



**Διάγραμμα 6.29** Διάγραμμα τεμνουσών Αποκόλλησης fib, (2001)

**Διάγραμμα 6.30** Διάγραμμα τεμνουσών Θραύσης fib, (2001)

Τέλος, όσον αφορά την πρόταση σχεδιασμού fib (2001), τα Διαγράμματα 6.29, 6.30 δείχνουν ότι και στις δύο περιπτώσεις της αποκόλλησης και της θραύσης, ο κανονισμός συμπεριφέρεται παρόμοια.

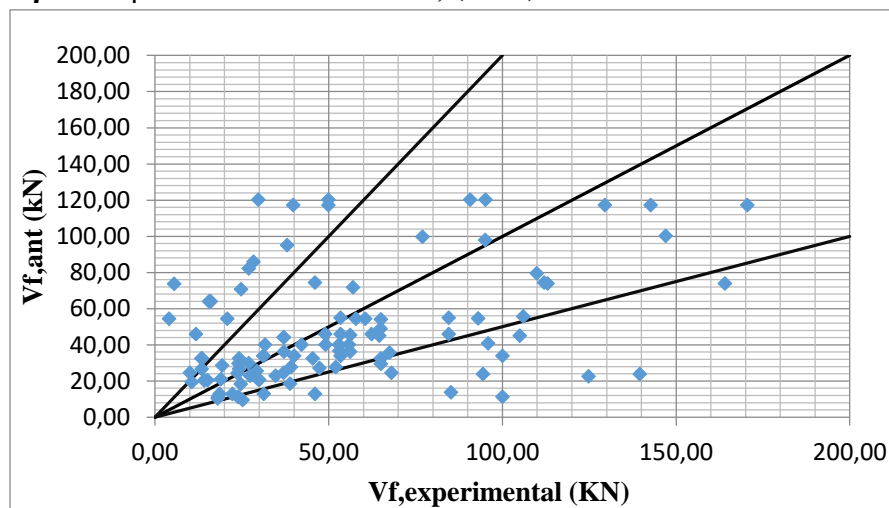
Ο συντελεστής συσχέτισης  $L_{in}$  που υπολογίστηκε ήταν 0,6922 για αποκόλληση και 0,7434 για θραύση, ενώ ο συντελεστής Pearson που υπολογίστηκε ήταν 0,8048 για αποκόλληση και 0,7694 για θραύση.

### 6.3.3 Διαγράμματα βάσει τύπου επικόλλησης

Έχοντας διαχωρίσει τα δοκίμια σε 3 κατηγορίες, ανάλογα τον τρόπο που τα πολυμερή επικολλήθηκαν στις δοκούς (U-jacket όπου είχαμε 107 δοκίμια, Side bonded όπου είχαμε 131 δοκίμια, Full wrapped όπου είχαμε 116 δοκίμια), υπολογίστηκαν επίσης νέα διαγράμματα τεμνουσών ούτως ώστε να δούμε τη συμπεριφορά των μοντέλων και των κανονισμών με βάση το παραπάνω κριτήριο.

#### 6.3.3.1 Τρίπλευρη επικόλληση (U – jacket)

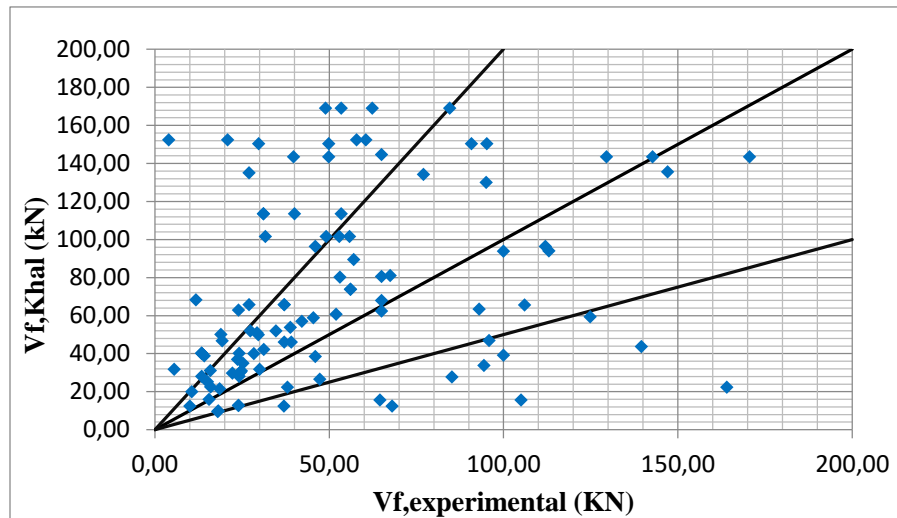
##### Μοντέλο Τριανταφύλλου Αντωνόπουλου, (2000)



**Διάγραμμα 6.31** Διάγραμμα τεμνουσών τρίπλευρης επικόλλησης Αντωνόπουλου-Τριανταφύλλου, (2000)

Ο συντελεστής συσχέτισης που υπολογίστηκε ήταν αυτός του Pearson και η τιμή του ήταν 0,531. Μια όχι και τόσο καλή συσχέτιση για το εν λόγω μοντέλο.

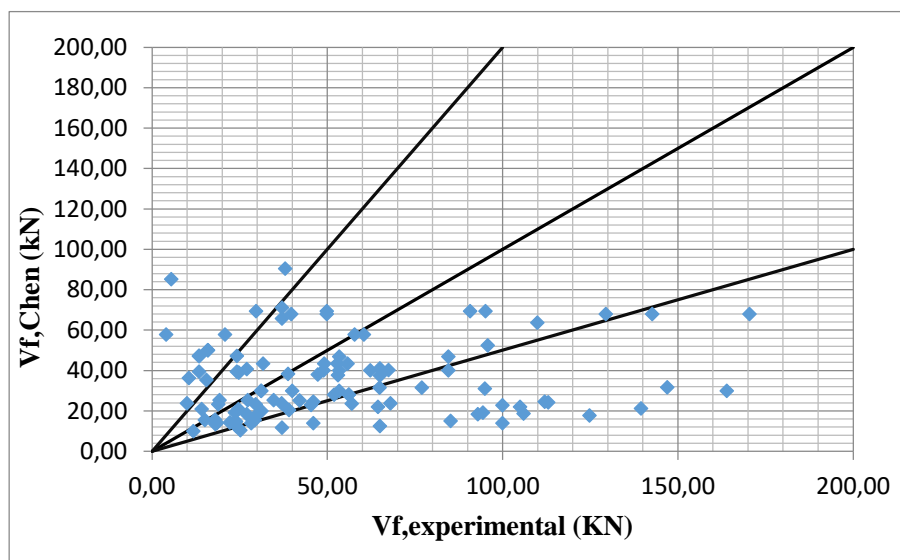
### Μοντέλο Khalifa et al., (1998)



**Διάγραμμα 6.32** Διάγραμμα τεμνουσών τρίπλευρης επικόλλησης Khalifa et al., (1998)

Ο συντελεστής Pearson στη συγκεκριμένη περίπτωση υπολογίστηκε και βρέθηκε ότι έχει την τιμή 0,4735. Παρατηρούμε ακόμη από το Διάγραμμα 6.32 ότι πολλές τιμές των δοκιμών βρίσκονται στο πάνω αριστερό κομμάτι του, πράγμα που σημαίνει ότι η αντοχή των πολυμερών υπερεκτιμάται.

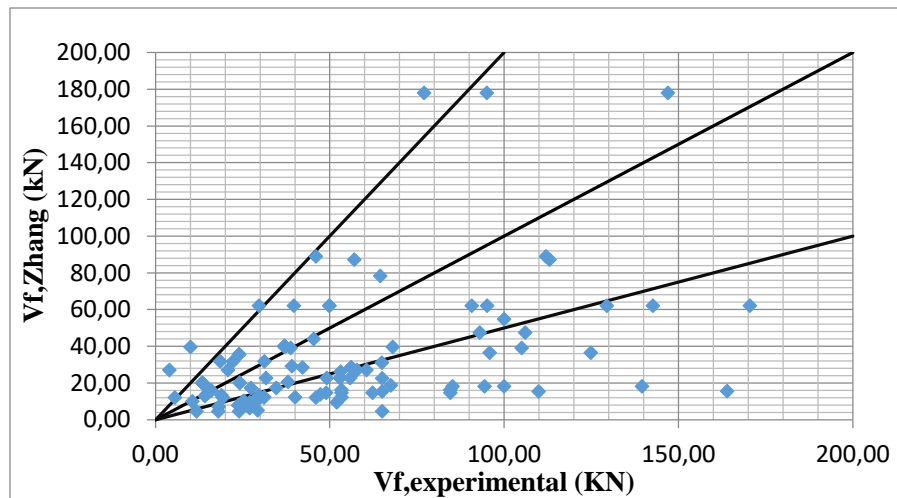
### Μοντέλο Chen & Teng, (2003)



**Διάγραμμα 6.33** Διάγραμμα τεμνουσών τρίπλευρης επικόλλησης Chen & Teng, (2003)

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ο συντελεστής Pearson υπολογίστηκε και βρέθηκε 0,24. Ένας κακός δηλαδή συσχετισμός παρατηρείται ανάμεσα στα δοκίμια παρόλο που το μοντέλο με βάση το διάγραμμα 6.33 είναι υπέρ της ασφαλείας.

### Μοντέλο Zhang & Hsu, (2005)

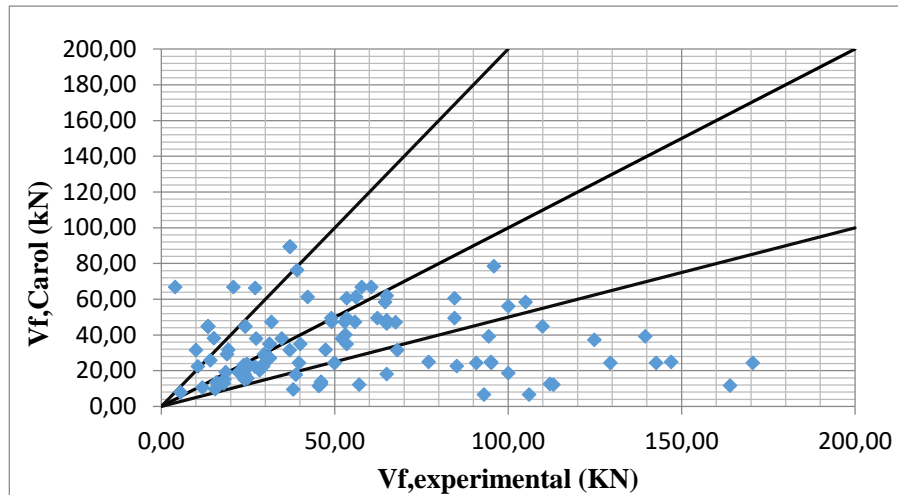


**Διάγραμμα 6.34** Διάγραμμα τεμνουσών τρίπλευρης επικόλλησης Zhang&Hsu, (2005)

Στο εν λόγω μοντέλο ο συντελεστής συσχέτισης που υπολογίστηκε ήταν 0,57. Επίσης, παρόλο που το μοντέλο βρίσκεται "στην πλευρά της ασφαλείας", όπως βλέπουμε στο Διάγραμμα 6.34, η συσχέτιση των αποτελεσμάτων δεν είναι και τόσο καλή.



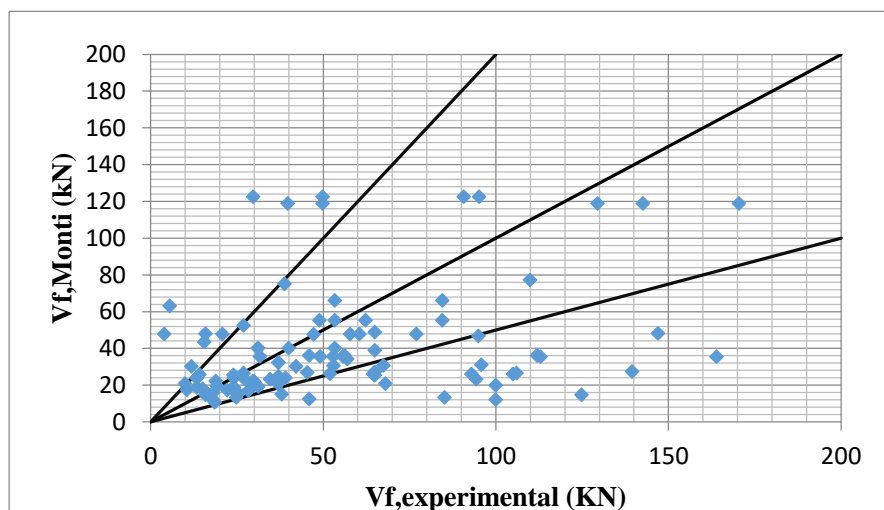
### Μοντέλο Carolin and Taljsten, (2005)



**Διάγραμμα 6.35** Διάγραμμα τεμνουσών τρίπλευρης επικόλλησης Carolin&Taljsten, (2005)

Παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα του διαγράμματος 6.35 είναι πολύ καλά , καθώς λίγες (με βάση τον αριθμό του δείγματος) τιμές δε βρίσκονται κοντά στην ευθεία που σχηματίζει με τους άξονες γωνία 45 μοιρών.

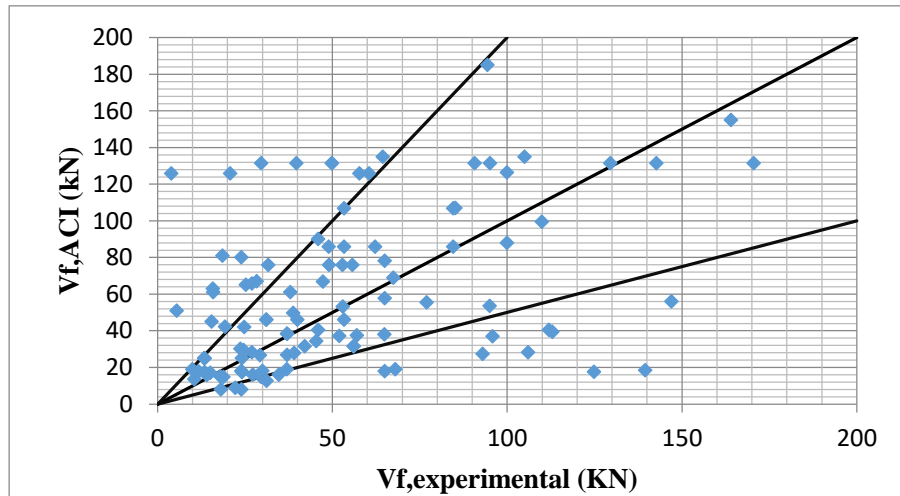
### Μοντέλο Monti and Lionta, (2007)



**Διάγραμμα 6.36** Διάγραμμα τεμνουσών τρίπλευρης επικόλλησης Monti&Lionta, (2007)

Ένα μέτριο όσον αφορά την αξιοπιστία μοντέλο σχεδιασμού, παρόλο που βάσει του παραπάνω διαγράμματος (Διάγραμμα 6.36) τεμνουσών βρισκόμαστε κατά μεγάλο ποσοστό υπέρ της ασφαλείας. Ο συντελεστής Pearson που υπολογίστηκε ήταν 0,398.

### Αμερικάνικος Κανονισμός ACI, (2008)

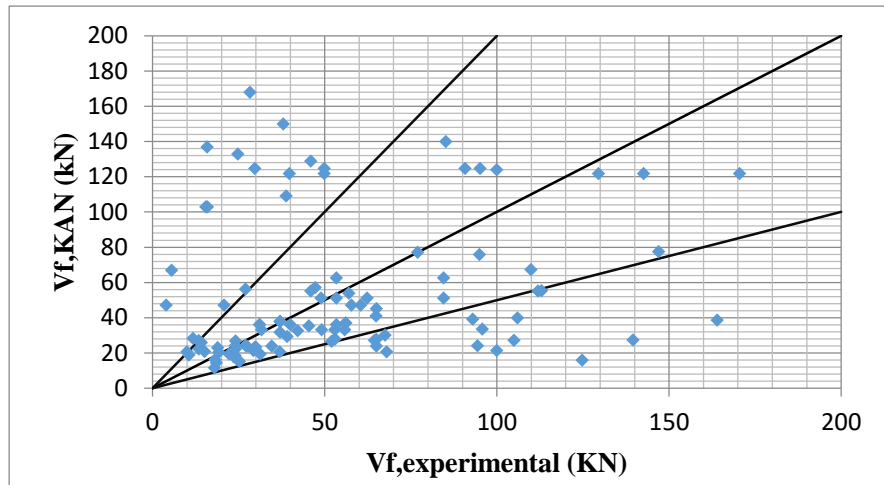


**Διάγραμμα 6.37** Διάγραμμα τεμνουσών τρίπλευρης επικόλλησης ACI, (2008)

Στο παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.37) παρατηρούμε πολλές τιμές να περνάνε στο αριστερό πάνω τμήμα του διαγράμματος πράγμα που πρέπει να αποφεύγουμε καθώς σημαίνει ότι υπερεκτιμούμε την αντοχή των πολυμερών.

Ακόμη, πρέπει να σημειωθεί ότι η τιμή συσχέτισης που προέκυψε από τον υπολογισμό του Pearson ήταν 0,348.

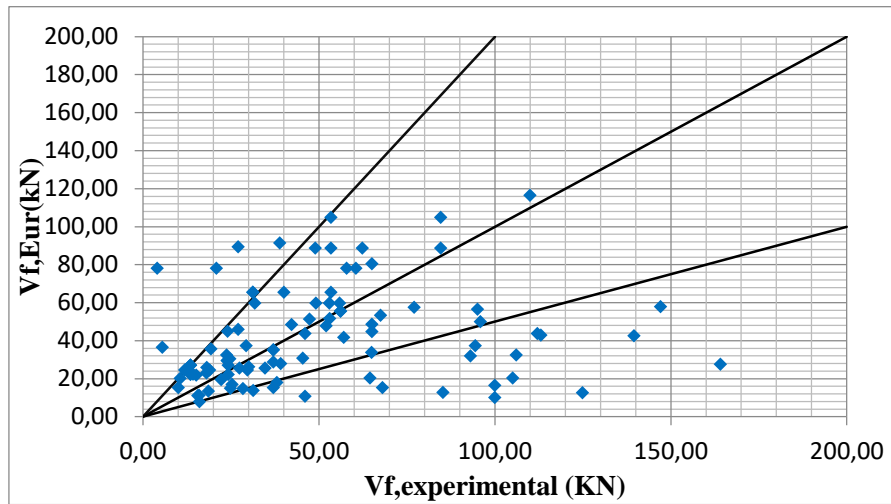
### Ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ, 2017)



**Διάγραμμα 6.38** Διάγραμμα τεμνουσών τρίπλευρης επικόλλησης ΚΑΝΕΠΕ, (2017)

Με βάση το Διάγραμμα 6.38, παρατηρούμε ότι ο ελληνικός κανονισμός, όπως και όλοι οι κανονισμοί, τίθεται υπέρ της ασφαλείας. Λίγα δοκίμια βρίσκονται πάνω απ' τη γραμμή που σχηματίζει 45 μοίρες με τους άξονες. Παρόλα αυτά, ο συσχετισμός των δοκιμίων δεν προκύπτει καλός, αφού ο συντελεστής Pearson ήταν 0,2897.

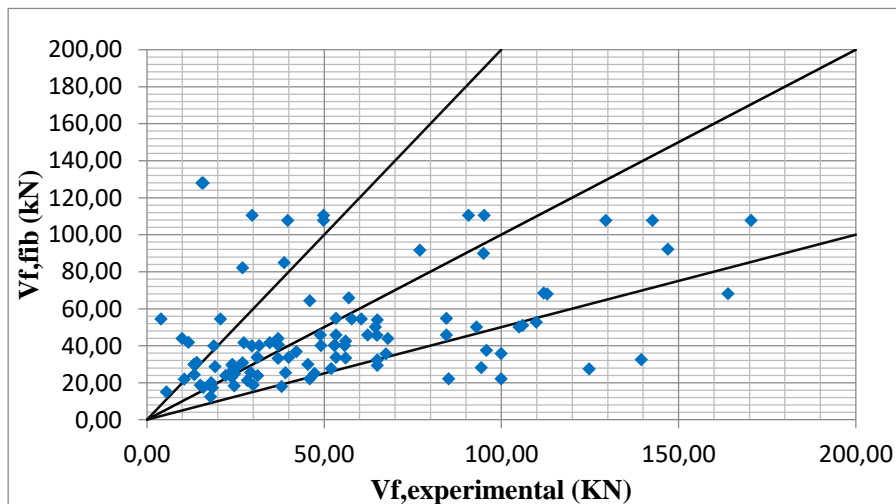
## Eurocode 8 – Part 3 Design Proposal (EN 1998-3:2005)



**Διάγραμμα 6.39** Διάγραμμα τεμνουσών τρίπλευρης επικόλλησης Ευρωκώδικα, (2005)

Λαμβάνοντας υπόψιν το παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.39), στη συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρούμε ότι ο κανονισμός δε συμπεριφέρεται πολύ αξιόπιστα. Ακόμη, ο συντελεστής Pearson που υπολογίστηκε ήταν 0,322, αποτέλεσμα που δείχνει μια όχι καλή συσχέτιση των αποτελεσμάτων.

## fib Design Proposal, (2001)

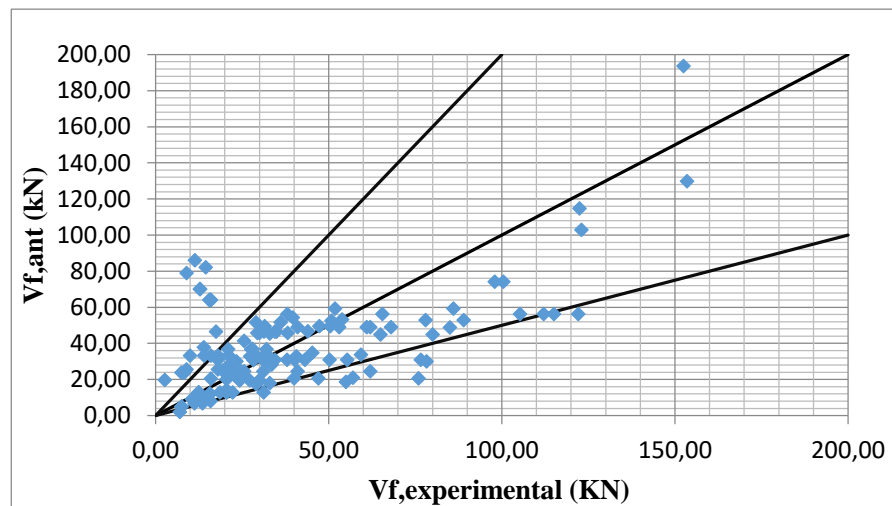


**Διάγραμμα 6.40** Διάγραμμα τεμνουσών τρίπλευρης επικόλλησης fib, (2001)

Τέλος, για την πρόταση fib (2001) έχουμε να αναφέρουμε ότι ο συντελεστής Pearson ήταν 0,5108 καθώς και ότι σε αρκετά δοκίμια φαίνεται στο Διάγραμμα 6.40 να υπερεκτιμάται η αντοχή των πολυμερών.

### 6.3.3.2 Δίπλευρη επικόλληση (Side – bonded)

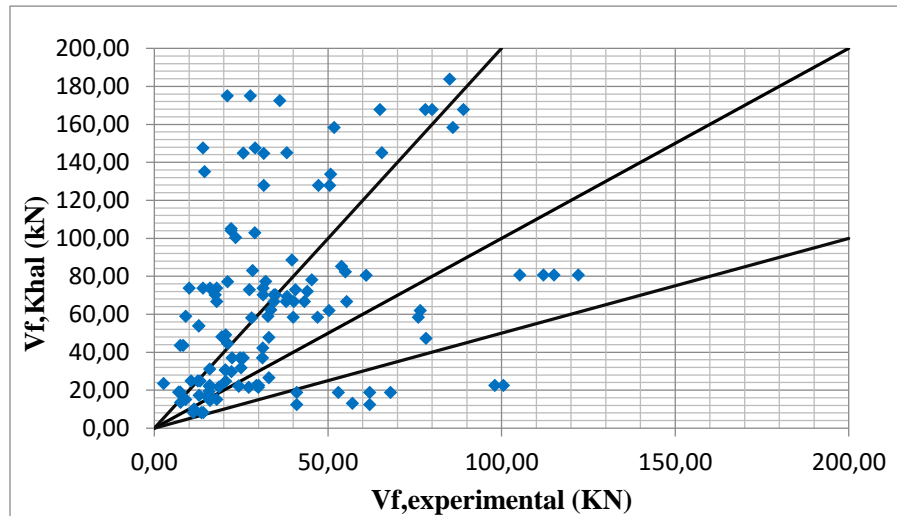
#### Μοντέλο Τριανταφύλλου – Αντωνόπουλου, (2000)



**Διάγραμμα 6.41** Διάγραμμα τεμνουσών Δίπλευρης επικόλλησης Αντωνόπουλου-Τριανταφύλλου, (2000)

Το εν λόγω μοντέλο, στο συγκεκριμένο τρόπο επικόλλησης φαίνεται από το Διάγραμμα 6.41 να υπερεκτιμά την αντοχή των πολυμερών σε πολλές περιπτώσεις. Ακόμη, υπολογίστηκε ο συντελεστής Pearson για τη συγκεκριμένη περίπτωση και ήταν ίσος με 0,645.

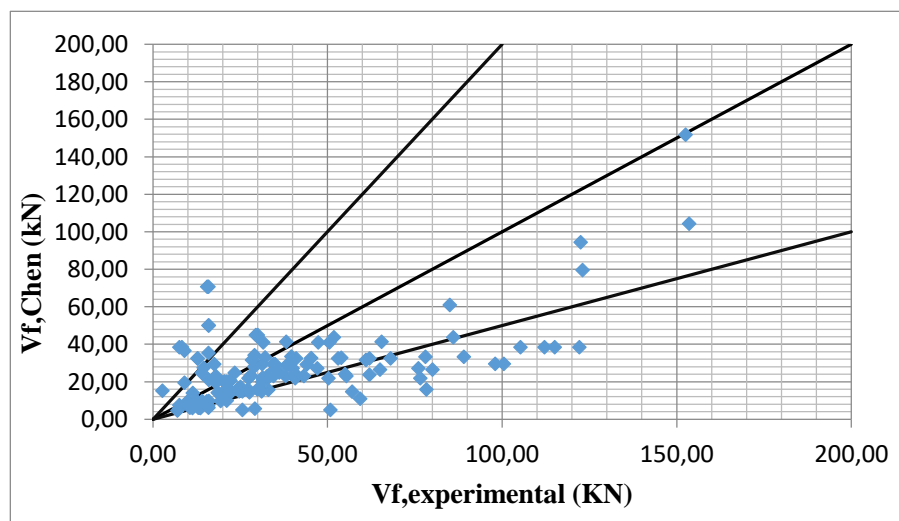
### Μοντέλο Khalifa et al., (1998)



Διάγραμμα 6.42 Διάγραμμα τεμνουσών Δίπλευρης επικόλλησης Khalifa et al, (1998)

επίσης, οι Khalifa et al. (1998) παρουσιάζουν ένα μη αξιόπιστο μοντέλο για τη συγκεκριμένη περίπτωση που εξετάζουμε, όπως παρατηρούμε στο Διάγραμμα 6.42. Ο συντελεστής συσχέτισης που υπολογίστηκε ήταν του Pearson και ισούται με 0,588.

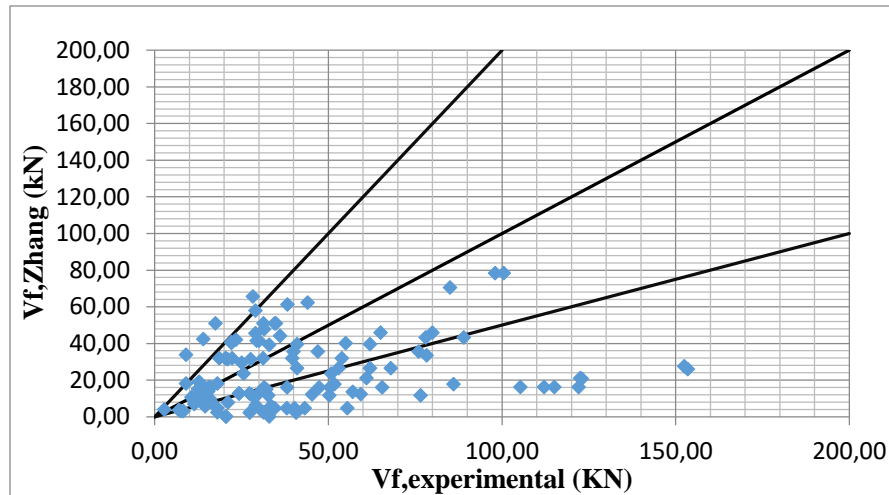
### Μοντέλο Chen & Teng, (2003)



Διάγραμμα 6.43 Διάγραμμα τεμνουσών Δίπλευρης επικόλλησης Chen & Teng, (2003)

Στο παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.43) βλέπουμε ότι παρόλο που αρκετές τιμές των δοκιμίων βρίσκονται πάνω από το "όριο" της διχοτόμου, είναι μικρή η διαφορά αυτή και έτσι μπορούμε να πούμε για το μοντέλο των Chen & Teng (2003) ότι έχει μια αξιοπιστία. Εκτός των άλλων, ο συντελεστής Pearson υπολογίστηκε κοντά στο 0,70 που δείχνει ότι υπάρχει μια καλή συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων.

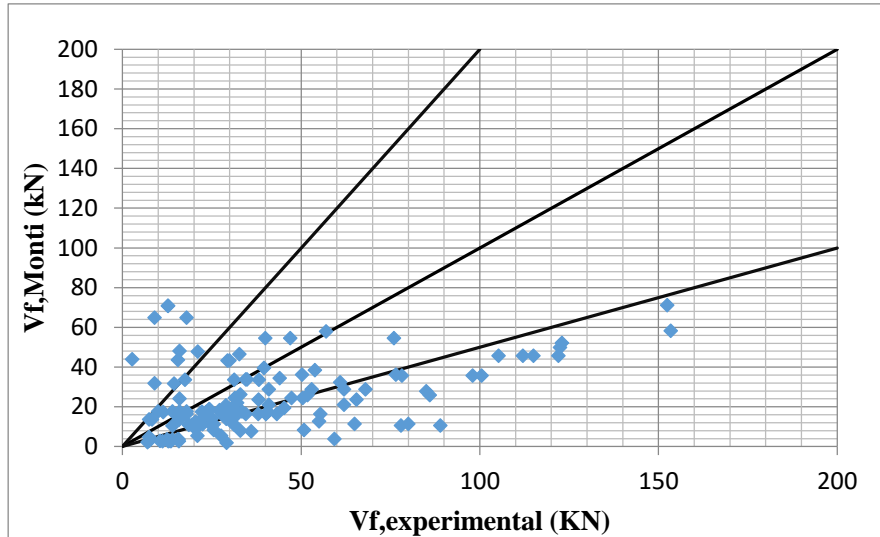
### Μοντέλο Zhang & Hsu, (2005)



**Διάγραμμα 6.44** Διάγραμμα τεμνουσών Δίπλευρης επικόλλησης Zhang & Hsu, (2005)

Λαμβάνοντας υπόψιν το παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.44), μπορούμε να σχολιάσουμε ότι είναι ένα συντηρητικό μοντέλο, καθώς σε σχέση με το σύνολο των δοκιμίων λίγα βρίσκονται πάνω από τη γραμμή που σχηματίζει γωνία 45 μοίρες με τον οριζόντιο άξονα. Επίσης, πρέπει να αναφέρουμε για τη συσχέτιση των δεδομένων, υπολογίστηκε ο συντελεστής Pearson και βρέθηκε 0,275.

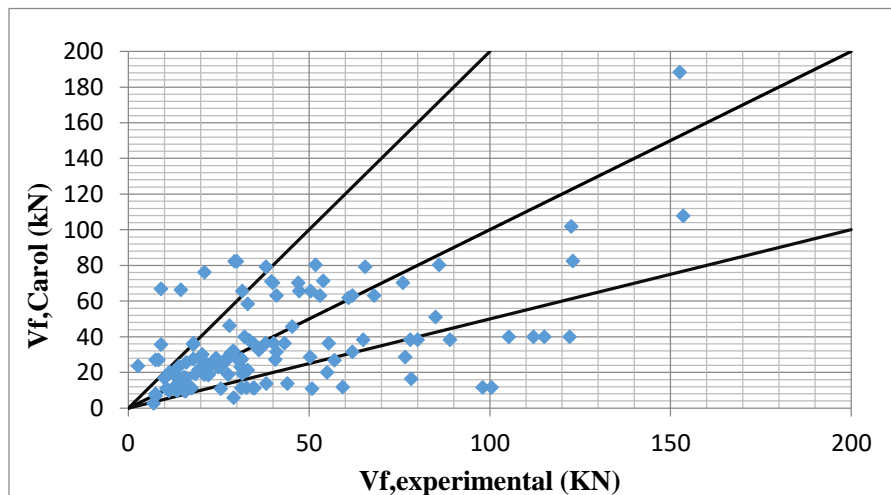
### Μοντέλο Monti and Lionta, (2007)



**Διάγραμμα 6.45** Διάγραμμα τεμνουσών Δίπλευρης επικόλλησης Monti&Lionta, (2007)

Στη συγκεκριμένη περίπτωση που απεικονίζεται στο Διάγραμμα 6.45, το μοντέλο των Monti και Lionta (2007) κρίνεται ως υπέρ της ασφαλείας. Ο συντελεστής Pearson που υπολογίστηκε για το εν λόγω μοντέλο ήταν 0,4474.

### Μοντέλο Carolin and Taljsten, (2005)



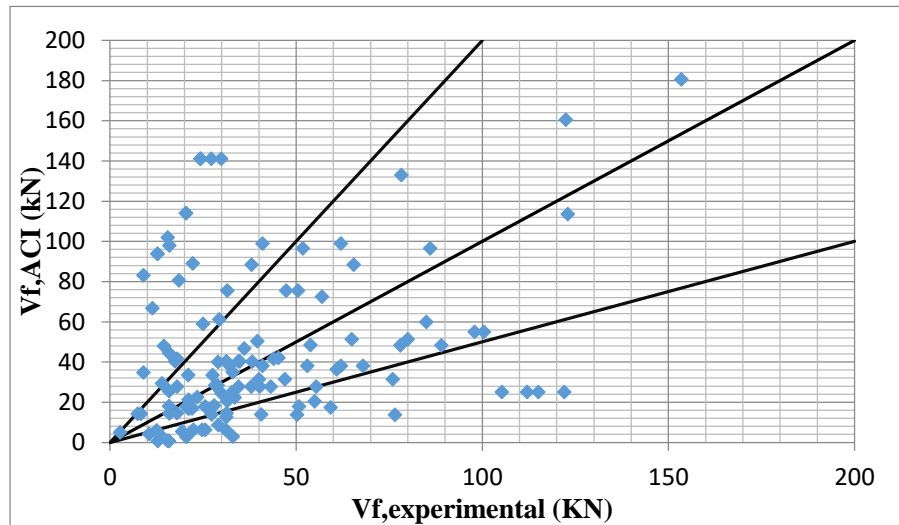
**Διάγραμμα 6.46** Διάγραμμα τεμνουσών Δίπλευρης επικόλλησης Carolin&Taljsten, (2005)

Στο μοντέλο των Carolin and Taljsten (2005), Διάγραμμα 6.46, παρατηρούμε ότι αρκετά δοκίμια ξεφεύγουν στο αριστερό άνω άκρο του διαγράμματος, αν και τα περισσότερα από



αυτά βρίσκονται κοντά στην "επιθυμητή γραμμή". Οπότε, δε μπορούμε να το κρίνουμε ως αναξιόπιστο καθώς με κάποια μικρή βελτίωση μπορεί να διορθωθεί το γεγονός αυτό. Ο συντελεστής Pearson που υπολογίστηκε ήταν 0,60.

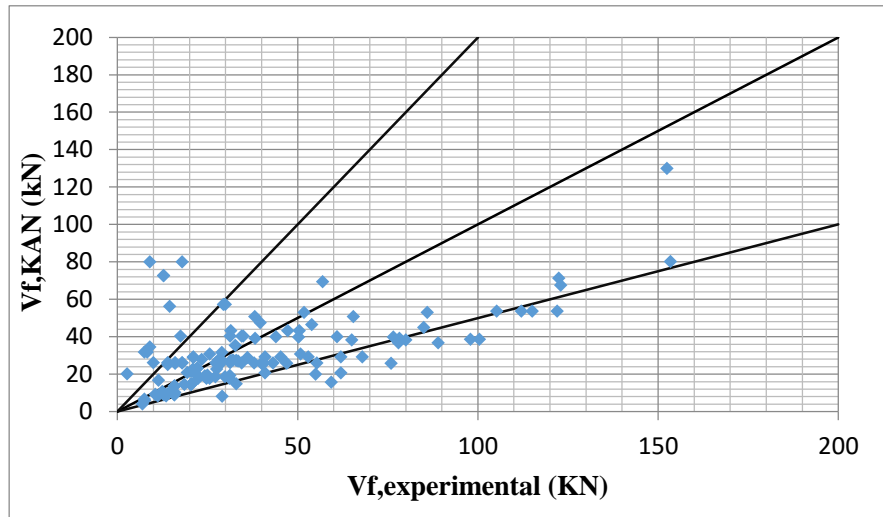
#### Αμερικάνικος Κανονισμός ACI, (2008)



**Διάγραμμα 6.47** Διάγραμμα τεμνουσών Δίπλευρης επικόλλησης ACI, (2008)

Στη συγκεκριμένη περίπτωση η συσχέτιση των δεδομένων δεν ήταν και τόσο καλή, αφού ο συντελεστής Pearson που υπολογίστηκε ήταν 0,494. Ακόμη, φαίνεται από το Διάγραμμα 6.47 ότι σε αρκετά δοκίμια υπερεκτιμάται η συνεισφορά των πολυμερών στην αντοχή σε τέμνουσα.

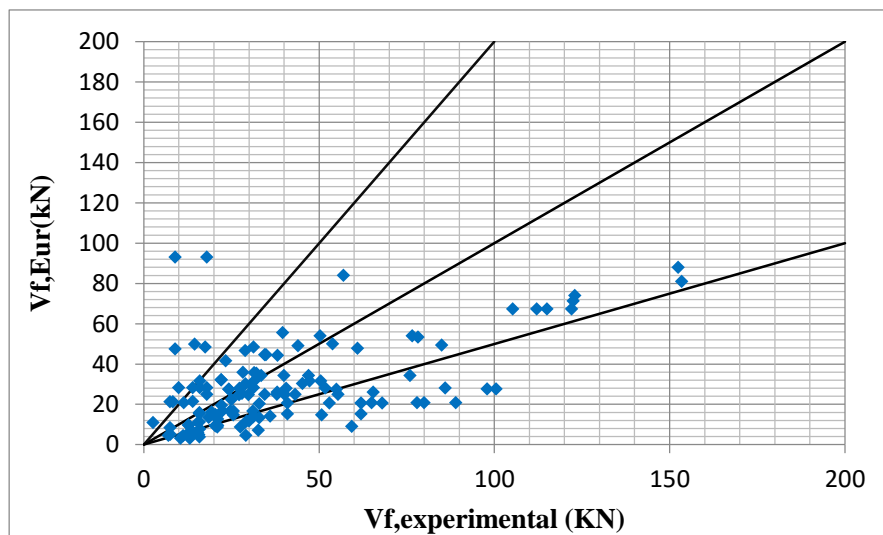
### Ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ, 2017)



**Διάγραμμα 6.48** Διάγραμμα τεμνουσών Δίπλευρης επικόλλησης ΚΑΝΕΠΕ (2017)

Ο ελληνικός κανονισμός δείχνει, παρόλο που έχει αρκετά δοκίμια στο άνω αριστερό άκρο, να έχει περιθώρια βελτιστοποίησης καθώς οι τιμές του βρίσκονται "κοντά" στην ευθεία που σχηματίζει γωνία 45 μοίρες με τον οριζόντιο άξονα. Επίσης, τόσο από το διάγραμμα 6.48 όσο και από τον συντελεστή συσχέτισης Pearson που υπολογίστηκε, παρατηρούμε ότι υπάρχει καλή συσχέτιση στα δεδομένα αφού βρέθηκε να ισούται με 0,70.

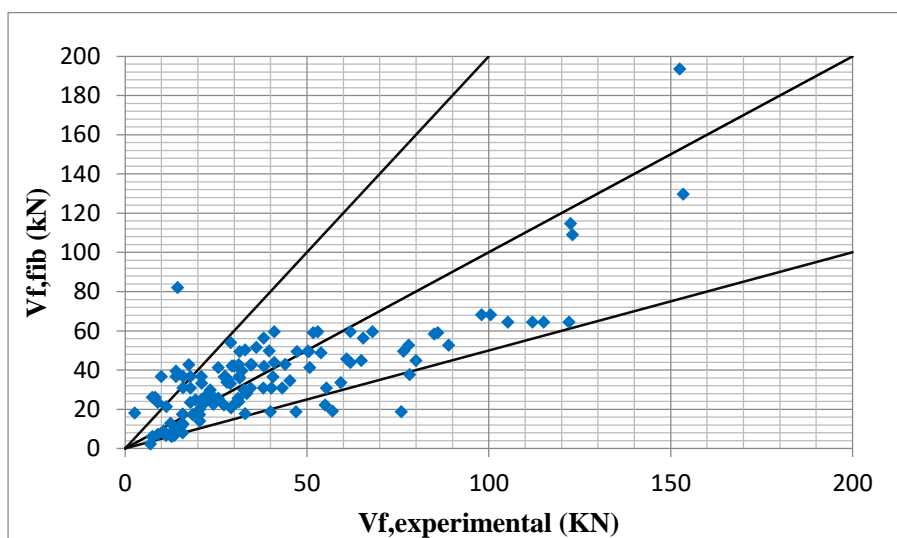
### Eurocode 8 – Part 3 Design Proposal (EN 1998-3:2005)



**Διάγραμμα 6.49** Διάγραμμα τεμνουσών Δίπλευρης επικόλλησης Ευρωκώδικα, (2005)

Στον ευρωκώδικα, για τη συγκεκριμένη περίπτωση, παρατηρούμε στο Διάγραμμα 6.49, ότι οι περισσότερες δοκοί είναι είτε κοντά στη διχοτόμο είτε κάτω από αυτή (υπέρ της ασφαλείας). Ακόμη, η συσχέτιση που υπολογίστηκε βάση του συντελεστή Pearson ήταν 0,583.

### fib Design Proposal, (2001)

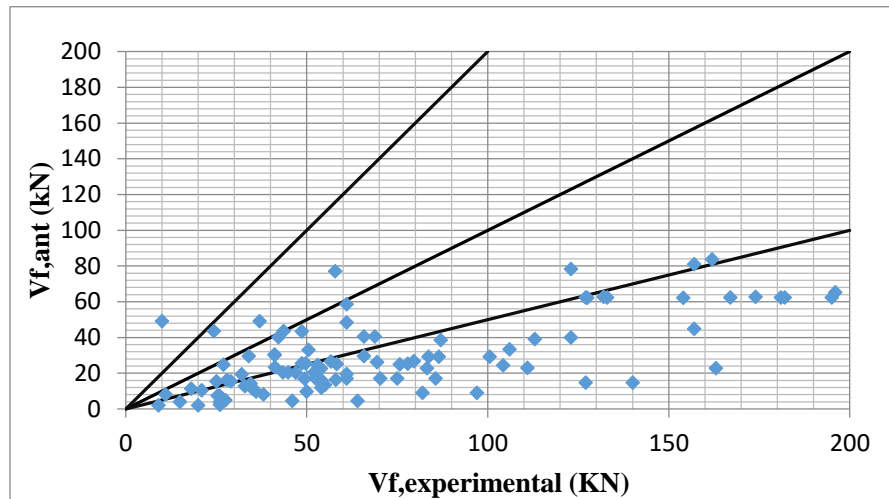


**Διάγραμμα 6.50** Διάγραμμα τεμνουσών Δίπλευρης επικόλλησης fib, (2001)

Ένας αρκετά αξιόπιστος κανονισμός, όσον αφορά την πλευρική ενίσχυση, παρατηρείται να είναι ο fib (2001), καθώς για ένα μεγάλο ποσοστό του δείγματος οι θεωρητικές με τις πειραματικές τέμνουσες είναι "κοντά" (Διάγραμμα 6.50). Αξιοσημείωτος είναι και ο συντελεστής Pearson που υπολογίστηκε, όπου βρέθηκε να ισούται με 0,81.

### 6.3.3.3 Πλήρης περιτύλιξη (Fully – Wrapped)

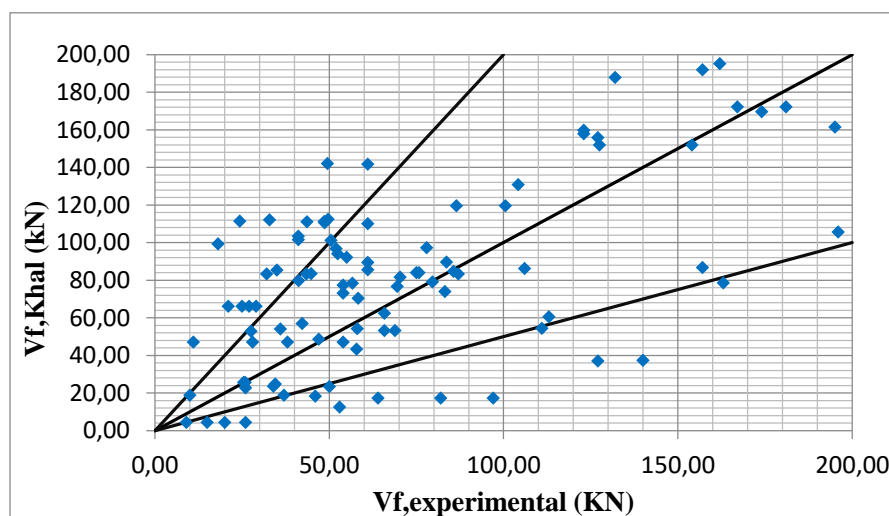
#### Μοντέλο Τριανταφύλλου – Αντωνόπουλου, (2000)



**Διάγραμμα 6.51** Διάγραμμα τεμνουσών Πλήρους περιτύλιξης Αντωνόπουλου-Τριανταφύλλου, (2000)

Το μοντέλο των Τριανταφύλλου και Αντωνόπουλου (2000), για την περίπτωση της πλήρους περιτύλιξης, παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 6.51 ως αξιόπιστο παρόλο που είναι αρκετά συντηρητικό. Υπάρχει πάντως ασφάλεια στη συγκεκριμένη περίπτωση. Επίσης, έχουμε υπολογίσει και τον συντελεστή συσχέτισης Pearson, ο οποίος ισούται με 0,805.

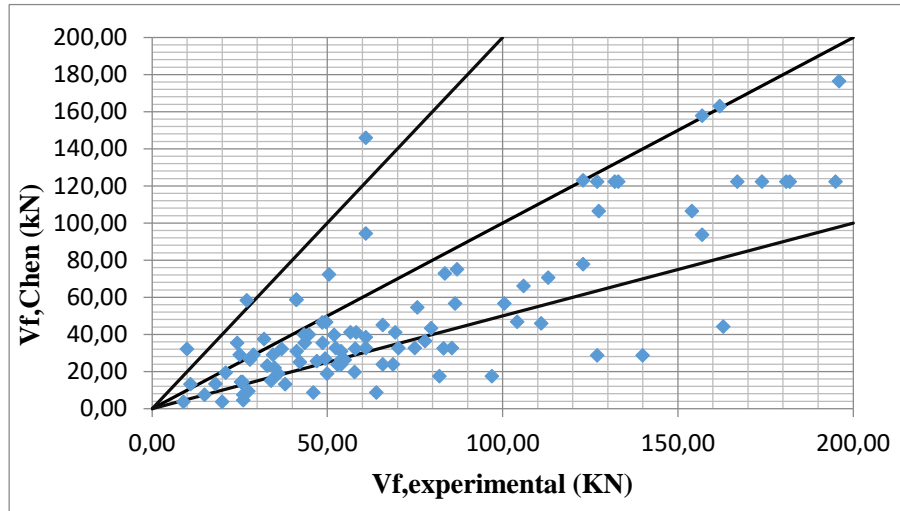
#### Μοντέλο Khalifa et al., (1998)



**Διάγραμμα 6.52** Διάγραμμα τεμνουσών Πλήρους περιτύλιξης Khalifa et al., (1998)

Το συγκεκριμένο μοντέλο δεν παρουσιάζει τα επιθυμητά αποτελέσματα στη σχέση πειραματικής και θεωρητικής τέμνουσας (Διάγραμμα 6.52). Παρόλα αυτά ο συντελεστής συσχέτισης Pearson υπολογίστηκε και ισούται με 0,808.

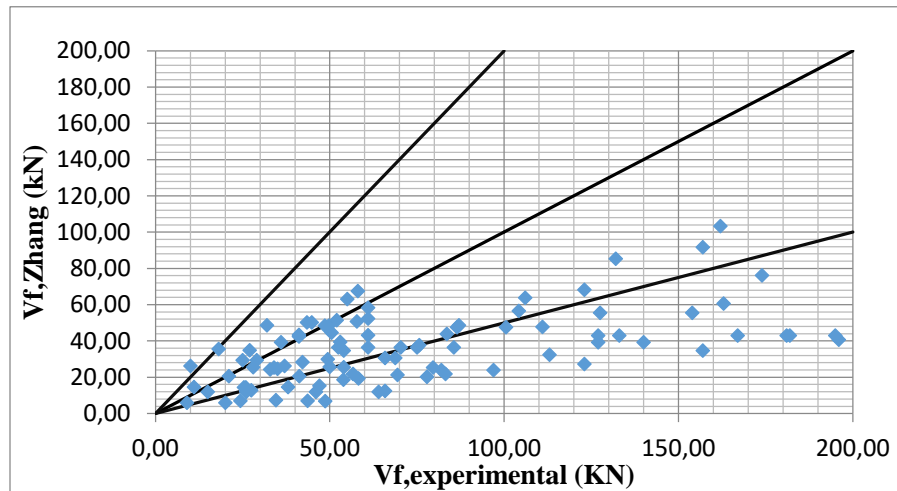
### Μοντέλο Chen and Teng, (2003)



**Διάγραμμα 6.53** Διάγραμμα τεμνουσών Πλήρους περιτύλιξης Chen&Teng, (2003)

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα τεμνουσών (Διάγραμμα 6.53), το μοντέλο των Chen and Teng (2003) κρίνεται ως αξιόπιστο αν και σε μερικές περιπτώσεις είναι συντηρητικό. Ο συντελεστής Pearson για την περίπτωση της πλήρους περιτύλιξης για το εν λόγω μοντέλο βρέθηκε να ισούται με 0,798, μια πάρα πολύ καλή συσχέτιση των δεδομένων.

### Μοντέλο Zhang and Hsu, (2005)

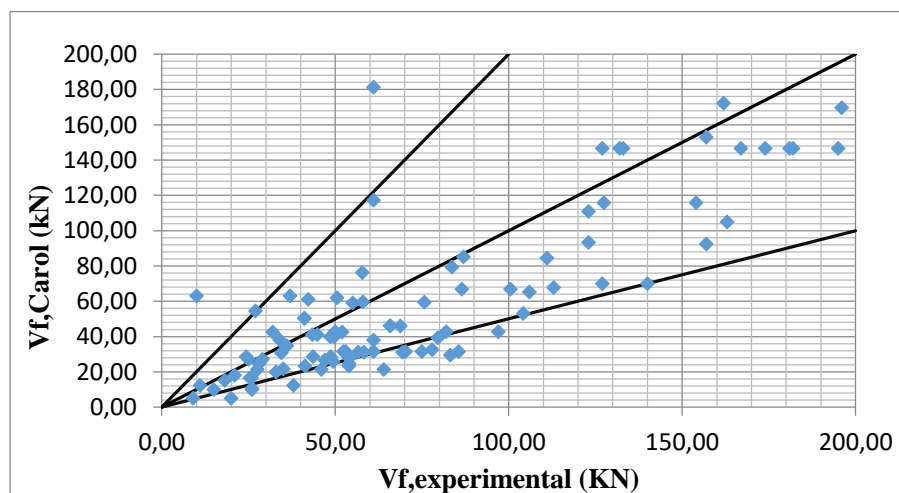


**Διάγραμμα 6.54** Διάγραμμα τεμνουσών Πλήρους περιτύλιξης Zhang&Hsu, (2005)

Στην περίπτωση της πλήρους περιτύλιξης παρατηρείται στο Διάγραμμα 6.54 ότι και το μοντέλο των Zhang and Hsu (2005) είναι κατάλληλο για σχεδιασμό καθώς κατά μεγάλο ποσοστό οι τιμές βρίσκονται στο επιθυμητό πεδίο του διαγράμματος.

Ο συντελεστής συσχέτισης υπολογίστηκε και είναι ίσος με 0,767.

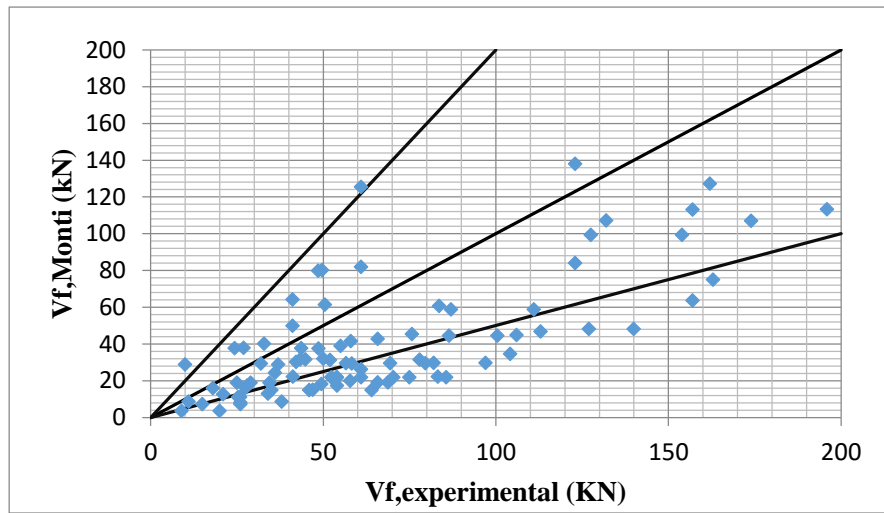
### Μοντέλο Carolin and Taljsten, (2005)



**Διάγραμμα 6.55** Διάγραμμα τεμνουσών Πλήρους περιτύλιξης Carolin&Taljsten, (2005)

Το συγκεκριμένο μοντέλο, όπως φαίνεται και από το Διάγραμμα 6.55 των τεμνουσών, είναι αρκετά καλό και αρκετά αξιόπιστο. Υπάρχει επίσης, μια πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων καθώς ο συντελεστής Pearson ισούται με 0,8511.

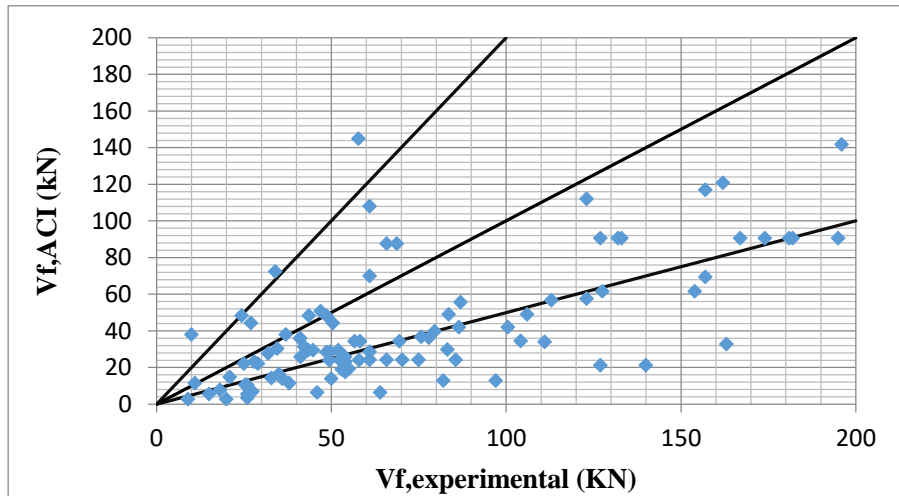
### Μοντέλο Monti and Lionta, (2007)



**Διάγραμμα 6.56** Διάγραμμα τεμνουσών Πλήρους περιτύλιξης Monti&Lionta, (2007)

Πέρα από μερικά δοκίμια, το συγκεκριμένο μοντέλο φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.56) να ανταπεξέρχεται στις απαιτήσεις σχεδιασμού καθώς οι τιμές του βρίσκονται κοντά στην ευθεία που σχηματίζει γωνία 45 μοιρών με τον οριζόντιο άξονα. Επίσης, υπάρχει μια καλή συσχέτιση, αποτέλεσμα που φαίνεται και από το διάγραμμα των τεμνουσών όσο και από το συντελεστή Pearson που ισούται με 0,798.

### Αμερικάνικος Κανονισμός ACI, (2008)

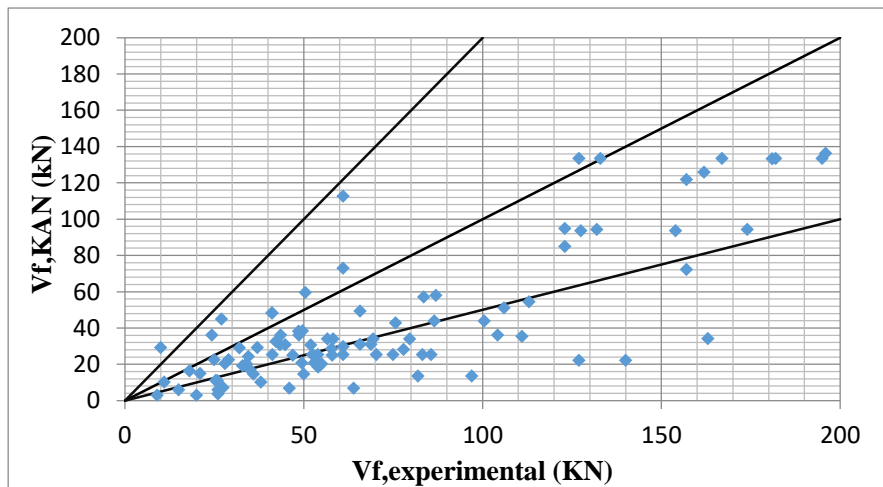


**Διάγραμμα 6.57** Διάγραμμα τεμνουσών Πλήρους περιτύλιξης ACI, (2008)

Λαμβάνοντας υπόψιν το Διάγραμμα 6.57, ο αμερικάνικος κανονισμός χαρακτηρίζεται τόσο ως αξιόπιστος όσο και λίγο συντηρητικός καθώς μειώνει με συντελεστές ασφαλείας αρκετά τις τιμές της θεωρητικής τέμνουσας.

Όμως, μπορούμε να επισημάνουμε μια καλή συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων, καθώς ο συντελεστής Pearson είναι ίσος με 0,763.

### Ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων (KAN.ΕΠΕ, 2017)

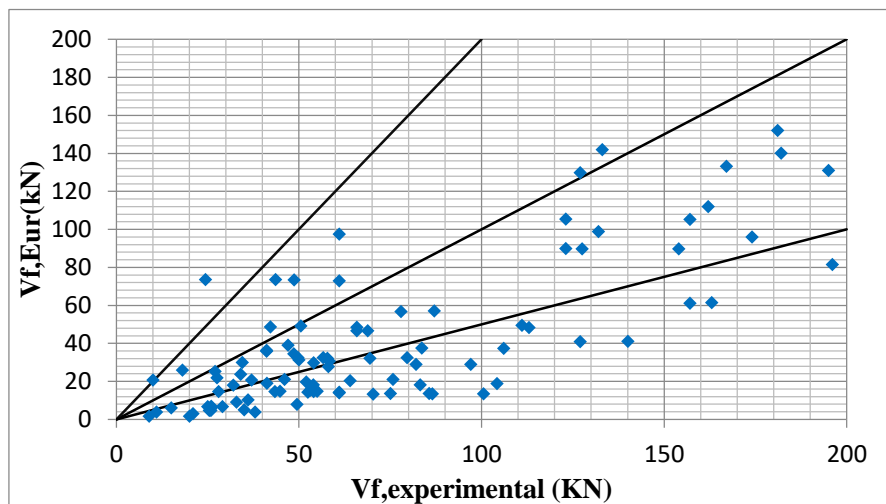


**Διάγραμμα 6.58** Διάγραμμα τεμνουσών για δοκίμια ενισχυμένα με πλήρη περιτύλιξη των ΙΟΠ βάσει ΚΑΝΕΠΕ (2017)



Στην περίπτωση της πλήρους περιτύλιξης των ΙΟΠ (Διάγραμμα 6.58) και ο Ελληνικός κανονισμός παρουσιάζει καλά αποτελέσματα αλλά παρατηρείται επίσης ότι είναι αρκετά συντηρητικός (λόγω των μειωτικών συντελεστών ασφαλείας). Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson που υπολογίστηκε ισούται με 0,803 που δείχνει ότι υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ .

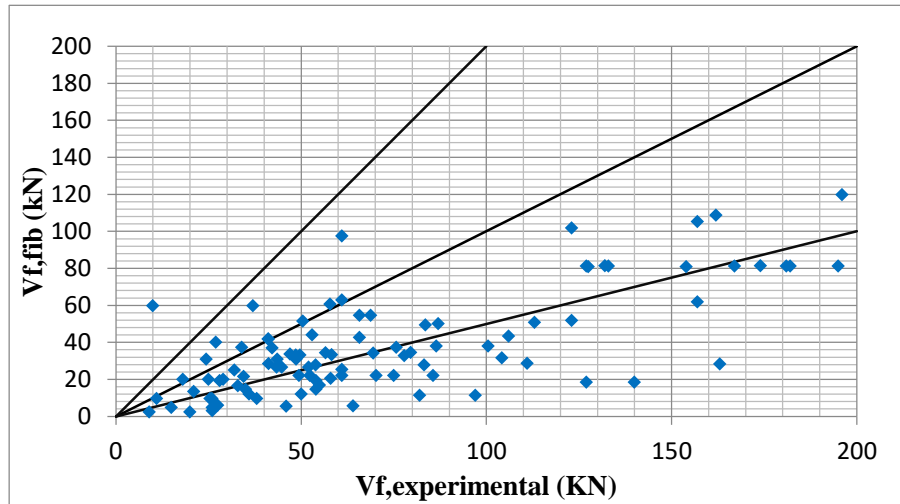
### Eurocode 8 – Part 3 Design Proposal (EN 1998-3:2005)



**Διάγραμμα 6.59** Διάγραμμα τεμνουσών Πλήρους περιτύλιξης Ευρωκώδικα, (2005)

Ο εν λόγω κανονισμός παρουσιάζει εξίσου ασφαλή αποτελέσματα, όπως και οι προηγούμενοι, σχετικά πάντα με το μεγάλο δείγμα δοκών που έχουμε (Διάγραμμα 6.59). Ο συντελεστής Pearson είναι ίσος με 0,822, πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχει καλή συσχέτιση μεταξύ των δοκιμών.

## fib Design Proposal, (2001)



**Διάγραμμα 6.60** Διάγραμμα τεμνουσών Πλήρους περιτύλιξης fib, (2001)

Τέλος, η πρόταση fib παρουσιάζει στο Διάγραμμα 6.60 εξίσου καλά αποτελέσματα με τους προηγούμενους κανονισμούς. Πολύ λίγα είναι τα δοκίμια που δε βρίσκονται στην επιθυμητή περιοχή.

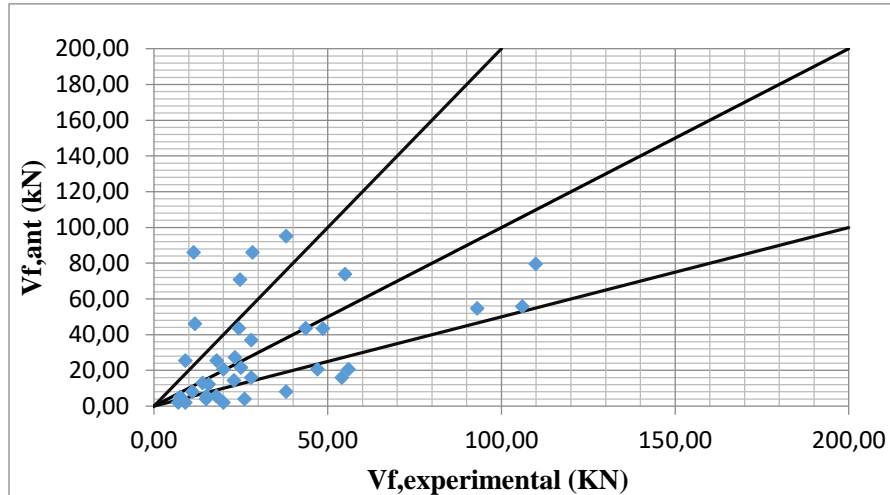
Παρατηρείται επίσης, μια καλή συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων καθώς ο συντελεστής συσχέτισης ισούται με 0,788.

### 6.3.4 Διαγράμματα βάσει υλικού πολυμερούς

Για τη συγκεκριμένη κατηγοριοποίηση, παρόλο που έγινε η διαλογή και εξήχθησαν διαγράμματα τεμνουσών για αρκετά υλικά (ατσάλι, άνθρακα, πολυβενζοξαζίνη ή αλλιώς PBO, γυαλί, βασάλτη), θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα μόνο για γυαλί (36 δοκίμια) και άνθρακα (290 δοκίμια), καθώς ο αριθμός των δειγμάτων αυτών είναι ικανός να μας οδηγήσει στην εξαγωγή συμπερασμάτων. Παρακάτω, λοιπόν, έχουμε τα διαγράμματα που προέκυψαν ανάμεσα στη θεωρητική και την πειραματική τέμνουσα για κάθε μοντέλο και κανονισμό που μελετήσαμε. Επίσης, για να εξετάσουμε το συσχετισμό των δεδομένων υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης του Lin και του Pearson.

### 6.3.4.1 Γυαλί

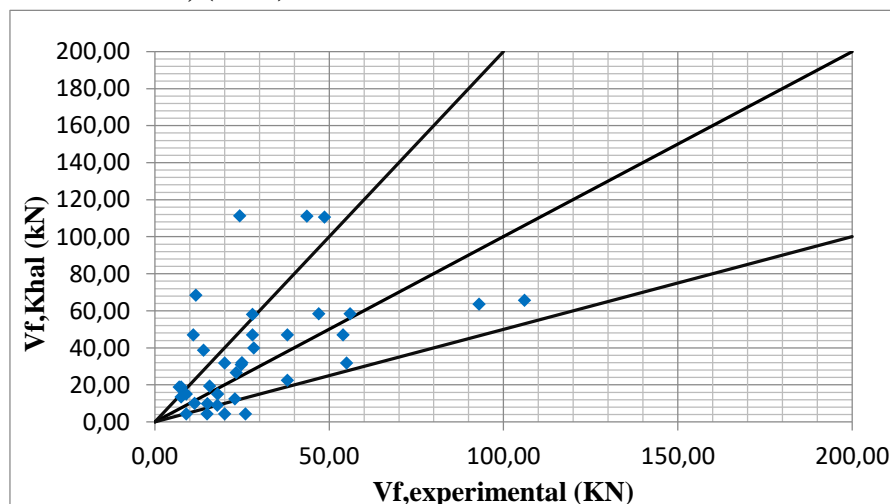
#### Μοντέλο Τριανταφύλλου – Αντωνόπουλου, (2000)



**Διάγραμμα 6.61** Διάγραμμα τεμνουσών πολυμερών από γυαλί Αντωνόπουλου-Τριανταφύλλου, (2000)

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, Διάγραμμα 6.61, αρκετές τιμές βρίσκονται “κοντά” στη γραμμή. Υπάρχουν όμως και κάποιες που “ξεφεύγουν” από τα επιτρεπτά όρια, δηλαδή υπερεκτιμάται η συνεισφορά των πολυμερών. Υπολογίστηκαν, όπως έχει ήδη αναφερθεί ο συντελεστής Lin που είναι 0,4677 και ο συντελεστής Pearson που είναι 0,4688, γεγονός που δείχνει την όχι και τόσο καλή συσχέτιση των δεδομένων.

#### Μοντέλο Khalifa et al., (1998)

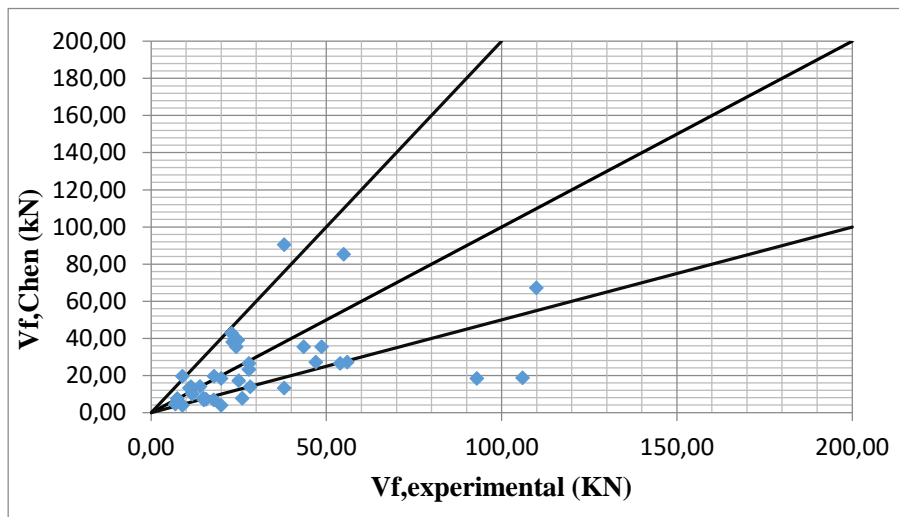


### Διάγραμμα 6.62 Διάγραμμα τεμνουσών πολυμερών από γυαλί Khalifa et al., (1998)

Μια όχι και τόσο καλή εικόνα παρουσιάζεται στο διάγραμμα τεμνουσών 6.62 που δημιουργήθηκε βάσει του μοντέλου των Khalifa et al.(1998). Από τη μία σε μερικά δοκίμια οι τιμές θεωρητικής και πειραματικής τέμνουσας είναι "κοντά", από την άλλη βλέπουμε ότι σε αρκετά δοκίμια υπάρχει μεγάλη διαφορά και στα περισσότερα η διαφορά αυτή είναι κατά της ασφαλείας.

Ο συντελεστής Lin που υπολογίστηκε είναι 0,5449 ενώ ο συντελεστής Pearson ισούται με 0,669.

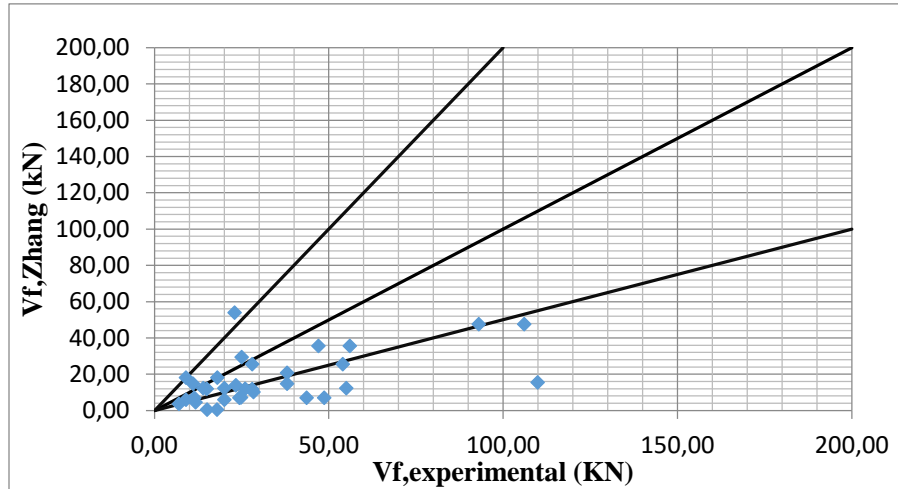
### Μοντέλο Chen and Teng, (2003)



### Διάγραμμα 6.63 Διάγραμμα τεμνουσών πολυμερών από γυαλί Chen&Teng, (2003)

Το εν λόγω μοντέλο, παρουσιάζει στο Διάγραμμα 6.63 μεγαλύτερη αξιοπιστία από τα προηγούμενα καθώς και περισσότερες τιμές βρίσκονται "κοντά" ή ακόμη και "πάνω" στη γραμμή που σχηματίζει με τους άξονες γωνία 45 μοιρών. Ακόμη, λίγα δείγματα είναι αυτά που βρίσκονται εκτός των επιτρεπόμενων ορίων. Τέλος, ο συντελεστής Lin υπολογίστηκε και είναι 0,4211 ενώ ο συντελεστής Pearson ισούται με 0,4594.

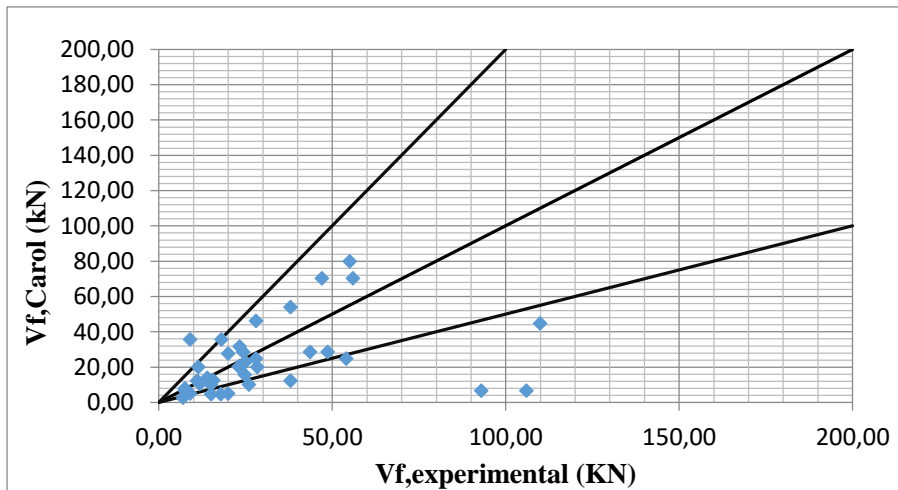
### Μοντέλο Zhang and Hsu, (2005)



**Διάγραμμα 6.64** Διάγραμμα τεμνουσών πολυμερών από γυαλί Zhang&Hsu, (2005)

Όχι ικανοποιητικά αποτελέσματα λάβαμε από το Διάγραμμα 6.64, στην περίπτωση δηλαδή των ινοπλισμένων πολυμερών με γυαλί στο μοντέλο των Zhang and Hsu (2005). Υπολογίσαμε τον συντελεστή Lin και βρέθηκε 0,3642 ενώ ο συντελεστής Pearson ισούται με 0,5742.

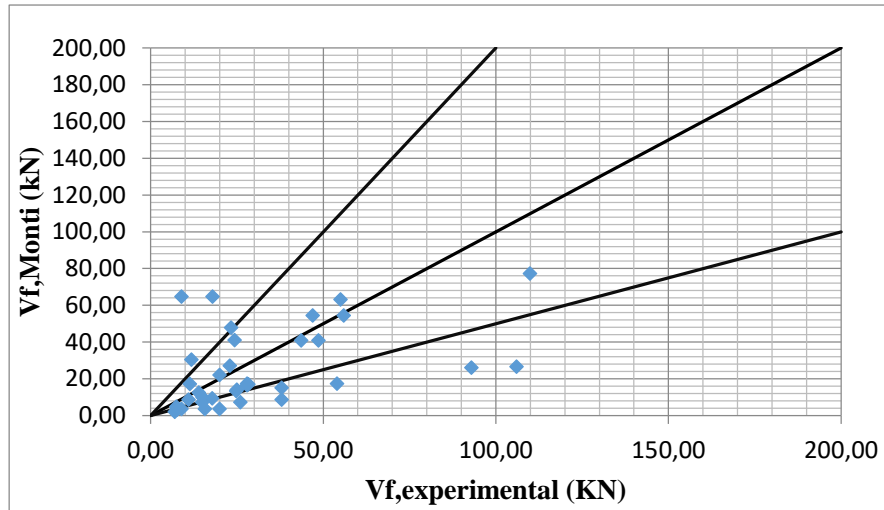
### Μοντέλο Carolin and Taljsten, (2005)



**Διάγραμμα 6.65** Διάγραμμα τεμνουσών πολυμερών από γυαλί Carolin&Taljsten, (2005)

Αρκετά σφάλματα παρουσιάζονται στο μοντέλο των Carolin and Taljsten (2005) καθώς παρατηρούμε πολλά δοκίμια να βρίσκονται σε μη επιτρεπτά, για την ασφάλεια, όρια. Η συσχέτιση των δεδομένων δεν ήταν καλή καθώς ο συντελεστής Lin ισούται με 0,30 και ο συντελεστής Pearson είναι ίσος με 0,3262.

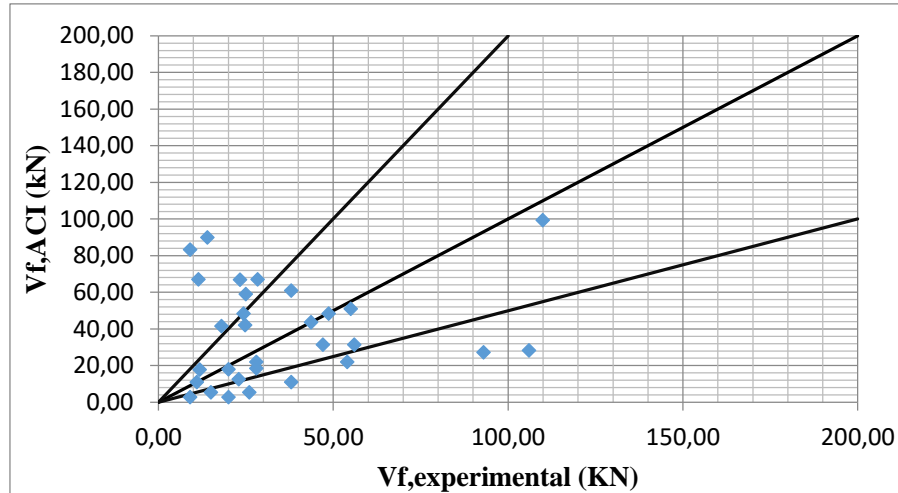
#### Μοντέλο Monti and Lionta, (2007)



**Διάγραμμα 6.66** Διάγραμμα τεμνουσών πολυμερών από γυαλί Monti&Lionta, (2007)

Λίγο πιο αξιόπιστο μοντέλο, σε σχέση με τα προηγούμενα, αυτό των Monti and Lionta (2007) αφού λίγα δοκίμια φαίνονται στο Διάγραμμα 6.66 να μη βρίσκονται στα επιθυμητά όρια. Οι συντελεστές συσχέτισης των Lin και Pearson ισούνται με 0,4403 και 0,4695, αντίστοιχα.

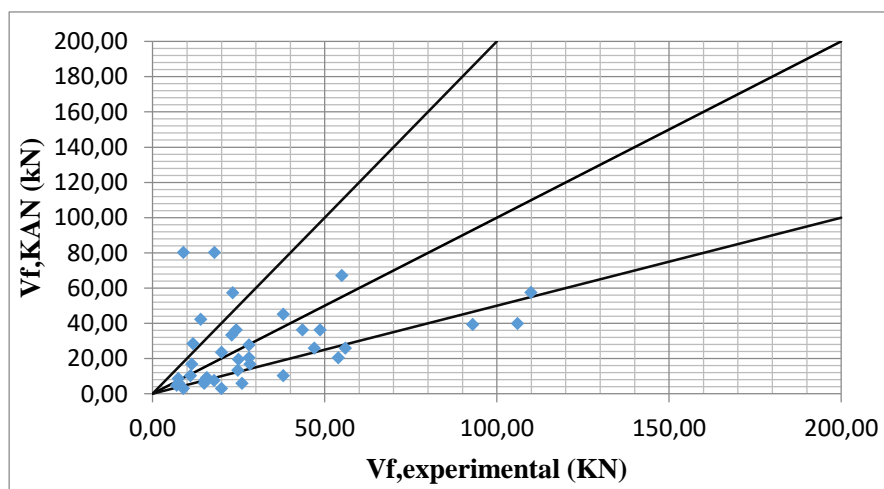
### Αμερικάνικος κανονισμός ACI, (2008)



Διάγραμμα 6.67 Διάγραμμα τεμνουσών πολυμερών από γυαλί ACI, (2008)

Παρατηρώντας το διάγραμμα τεμνουσών 6.67, πρέπει να σημειώσουμε ότι, ο εν λόγω κανονισμός έχει σε αρκετά δοκίμια καλά αποτελέσματα, αλλά σε αρκετές περιπτώσεις υπερεκτιμά τη συνεισφορά των πολυμερών. Υπολογίστηκε ο συντελεστής Pearson και ισούται με 0,3462 και ο συντελεστής Lin είναι ίσος με 0,3312.

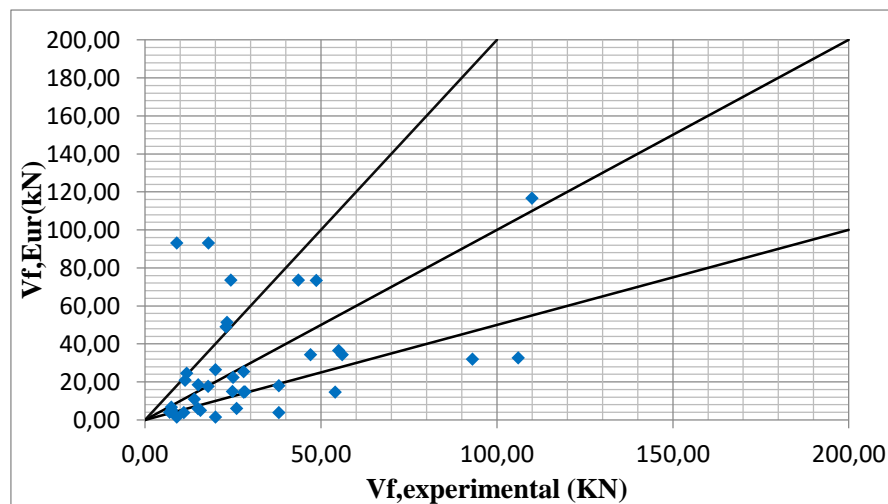
### Ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων (KAN.ΕΠΕ., 2017)



Διάγραμμα 6.68 Διάγραμμα τεμνουσών πολυμερών από γυαλί ΚΑΝΕΠΕ, (2017)

Λίγο καλύτερα αποτελέσματα από τον αμερικάνικο κανονισμό, παρουσιάζονται στον ελληνικό (Διάγραμμα 6.68). Παρόλο που αρκετά δοκίμια αστοχούν λόγω της υποτίμησης των πολυμερών, ένας σημαντικός αριθμός σε σχέση με το δείγμα, παρουσιάζεται να καλύπτεται από τον εν λόγω κανονισμό. Ακόμη, πρέπει να επισημανθεί ότι η συσχέτιση των δοκιμών δεν είναι καλή, πράγμα που μας επιβεβαιώνουν οι συντελεστές Lin που ισούται με 0,3425 και Pearson που ισούται με 0,3589.

### Eurocode 8 – Part 3 Design Proposal (EN 1998-3:2005)

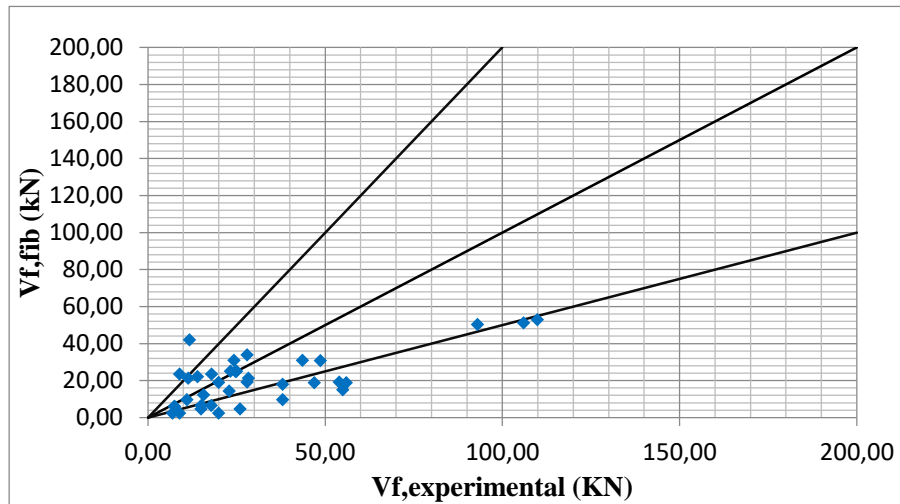


**Διάγραμμα 6.69** Διάγραμμα τεμνουσών πολυμερών από γυαλί Ευρωκώδικα, (2005)

Λαμβάνοντας υπόψιν το παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.69), στη συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρούμε ότι ο κανονισμός δε συμπεριφέρεται πολύ αξιόπιστα. Ακόμη, ο συντελεστής Pearson που υπολογίστηκε ήταν 0,395, ενώ ο συντελεστής Lin 0,3931 αποτέλεσμα που δείχνει μια όχι καλή συσχέτιση των αποτελεσμάτων.



## fib Design Proposal (2001)



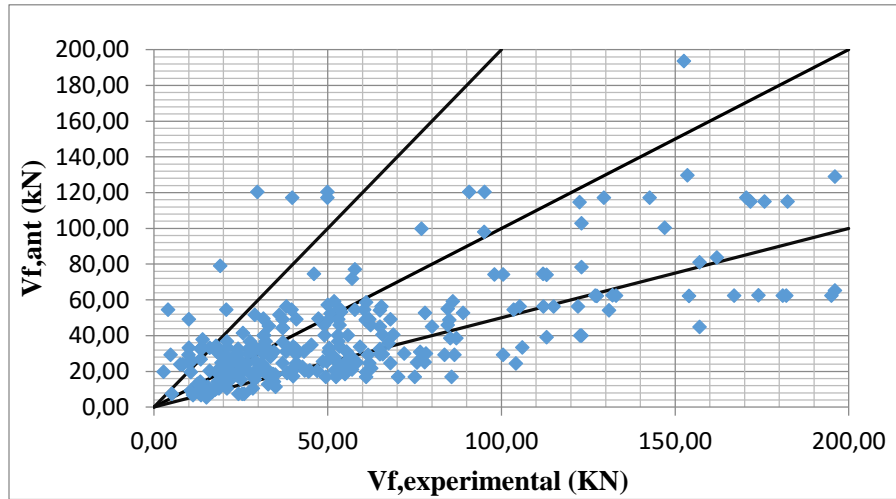
**Διάγραμμα 6.70** Διάγραμμα τεμνουσών πολυμερών από γυαλί fib, (2001)

Τα καλύτερα αποτελέσματα, όσον αφορά την υποκατηγορία των πολυμερών με γυαλί, παρατηρούνται στην πρόταση fib (2001) (Διάγραμμα 6.70). Λίγα δοκίμια ξεφεύγουν των επιτρεπτών ορίων ενώ ο συντελεστής  $L_{in}$  υπολογίστηκε 0,499 και ο συντελεστής Pearson 0,699.

### 6.3.4.2 Άνθρακας

Τα πολυμερή που είχαν ως βάση το υλικό του άνθρακα ήταν τα περισσότερα στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε, αφού ο αριθμός του φτάνει τα 290 δοκίμια. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, είναι το πιο διαδεδομένο υλικό στην ενίσχυση με πολυμερή, παρότι έχει κάποια μειονεκτήματα, τα πλεονεκτήματά του υπερέχουν. Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα τεμνουσών, για κάθε μοντέλο και κανονισμό σχεδιασμού που εξετάστηκαν σε αυτή την εργασία, όπως επίσης και συντελεστές συσχέτισης που υπολογίστηκαν για κάθε περίπτωση χωριστά.

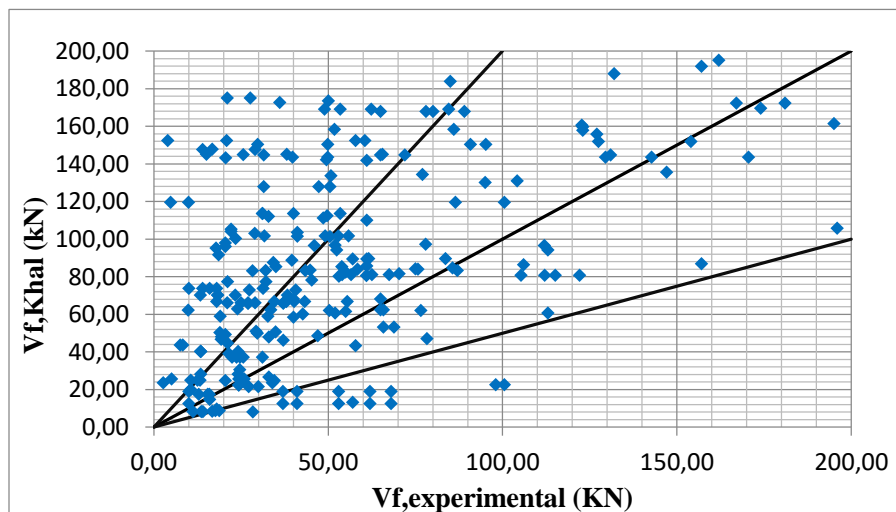
### Μοντέλο Τριανταφύλλου – Αντωνόπουλου (2000)



**Διάγραμμα 6.71** Διάγραμμα τεμνουσών πολυμερών από Άνθρακα Αντωνόπουλου-Τριανταφύλλου, (2000)

Αρκετά ικανοποιητικό το μοντέλο των Τριανταφύλλου – Αντωνόπουλου (2000) (Διάγραμμα 6.71), καθώς οι τέμνουσες των δοκιμών κατά πλειοψηφία βρίσκονται “κοντά” στη διχοτόμο. Αυτό σημαίνει ότι η θεωρητική με την πειραματική τέμνουσα δεν απέχει πολύ σαν μέγεθος, πράγμα που επιθυμούμε. Ίσως με κάποιο διορθωτικό συντελεστή, τα αποτελέσματα να ήταν πολύ καλύτερα και ο αριθμός των δοκών των οποίων υπερεκτιμάται η συνεισφορά των πολυμερών, να μειωθεί στο ελάχιστο. Υπολογίστηκε ακόμη, ο συντελεστής Pearson και βρέθηκε ίσος με 0,7805 και ο συντελεστής Lin που ισούται με 0,6075.

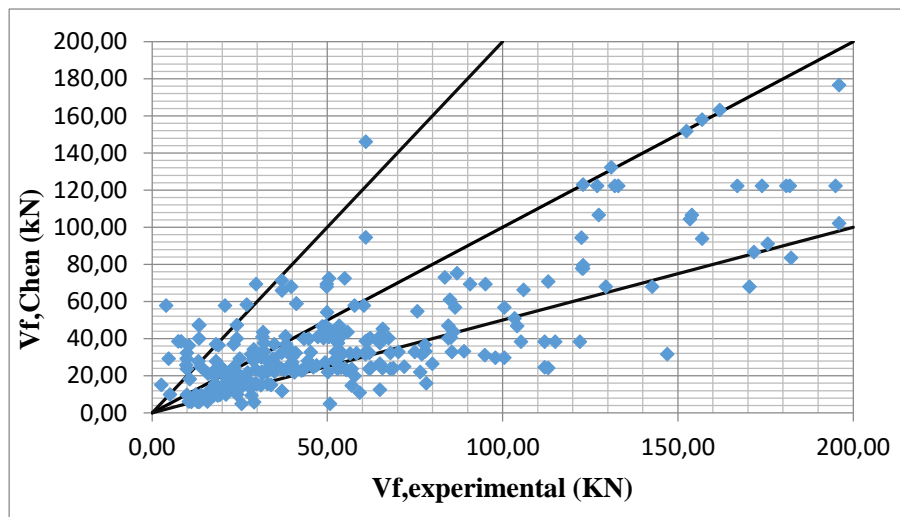
### Μοντέλο Khalifa et al., (1998)



### Διάγραμμα 6.72 Διάγραμμα τεμνουσών πολυμερών από Άνθρακα Khalifa et al., (1998)

Αρκετά αναξιόπιστο παρουσιάζεται το μοντέλο των Khalifa et al.(1998) στο Διάγραμμα 6.72 καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό του δείγματος βρίσκεται κατά της ασφαλείας. Ο συντελεστής Lin που υπολογίστηκε ήταν 0,6059 και ο συντελεστής Pearson 0,6825.

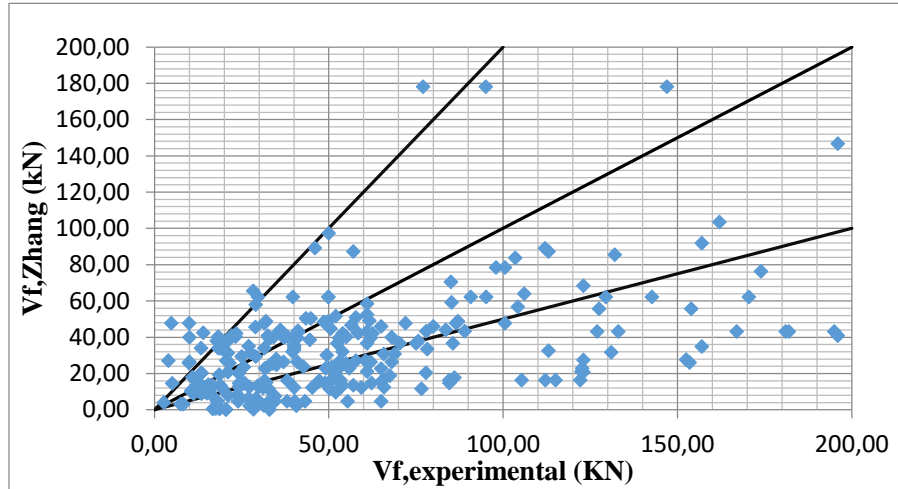
### Μοντέλο Chen & Teng, (2003)



### Διάγραμμα 6.73 Διάγραμμα τεμνουσών πολυμερών από Άνθρακα Chen&Teng, (2003)

Με βάση το μέγεθος του δείγματος που έχει συλλεχθεί, ένα μοντέλο που ανταπεξέρχεται στις απαιτήσεις που έχουμε είναι αυτό των Chen και Teng,(2003) (Διάγραμμα 6.73). Λίγες τιμές είναι "μακριά" από τη γραμμή και κατά της ασφαλείας. Τέλος, ο συντελεστής συσχέτισης του Lin υπολογίστηκε και ισούται με 0,8008 και ο συντελεστής Pearson είναι ίσος 0,8248.

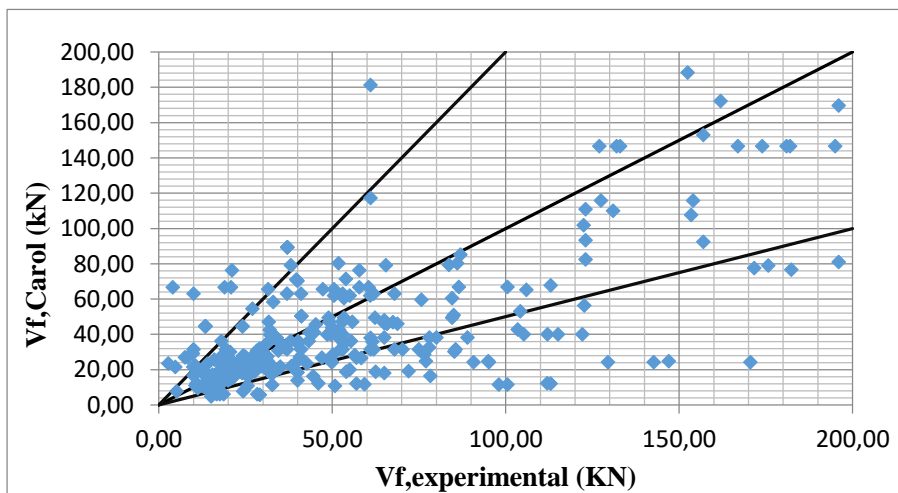
### Μοντέλο Zhang & Hsu, (2005)



**Διάγραμμα 6.74** Διάγραμμα τεμνουσών πολυμερών από Άνθρακα Zhang&Hsu, (2005)

Ένα μοντέλο που φαίνεται συντηρητικό, καθώς λαμβάνει κάποιες παραμέτρους υπέρ της ασφάλειας, παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 6.74. Όμως, τα δείγματα δε φαίνονται να συσχετίζονται με καλό τρόπο, πράγμα που επιβεβαιώνουν οι συντελεστές Lin 0,458 και Pearson 0,642.

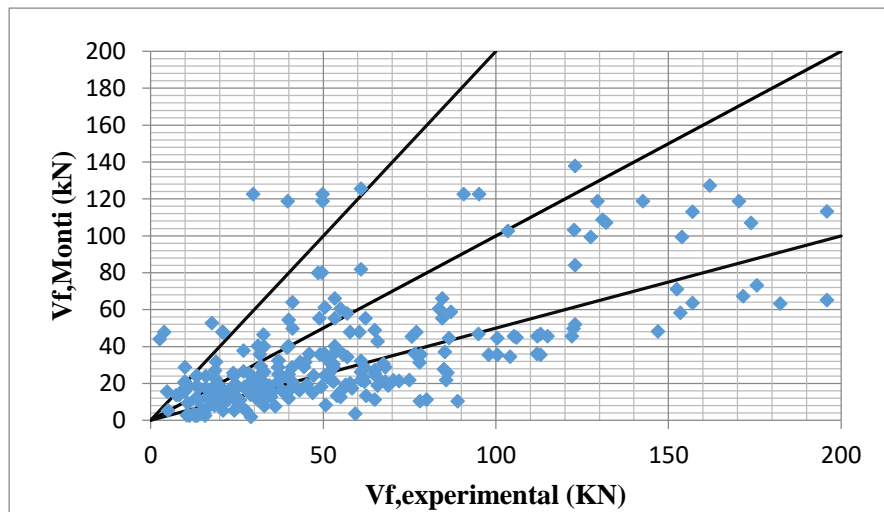
### Μοντέλο Carolin and Taljsten, (2005)



**Διάγραμμα 6.75** Διάγραμμα τεμνουσών πολυμερών από Άνθρακα Carolin&Taljsten, (2005)

Καλό μοντέλο παρουσιάζεται το παραπάνω στο Διάγραμμα 6.75, τόσο ως προς την ασφάλεια, όσο και ως προς το επιθυμητό αποτέλεσμα που επιδιώκουμε σχετικά πάντα με το μεγάλο δείγμα που έχουμε ως βάση. Η συσχέτιση των δοκιμών που βρέθηκε μέσω των συντελεστών Lin και Pearson ήταν καλή, αφού ισούνται με 0,7878 και 0,8034 αντίστοιχα.

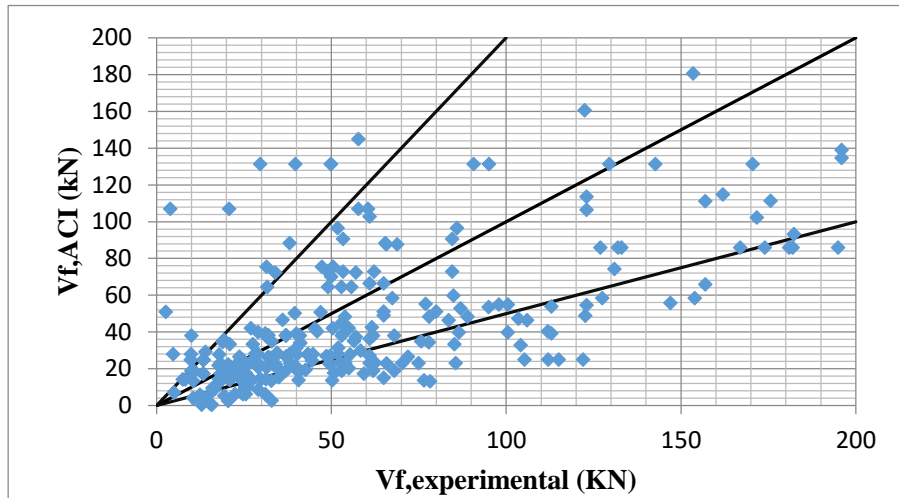
### Μοντέλο Monti & Lionta, (2007)



**Διάγραμμα 6.76** Διάγραμμα τεμνουσών πολυμερών από Άνθρακα Monti&Lionta, (2007)

Καλή συσχέτιση στα δεδομένα του μοντέλου των Monti και Lionta (2007) παρατηρούμε από το αποτέλεσμα του υπολογισμού των συντελεστών Lin και Pearson. Οι συντελεστές βρέθηκαν να ισούνται με 0,7396 και 0,7902 αντίστοιχα. Το διάγραμμα 6.76 μας δείχνει ένα αρκετά αξιόπιστο μοντέλο καθώς τα περισσότερα δείγματα βρίσκονται είτε "κοντά" είτε "κάτω" από τη γραμμή που σχηματίζει γωνία 45 μοιρών με τον οριζόντιο άξονα (υπέρ της ασφαλείας).

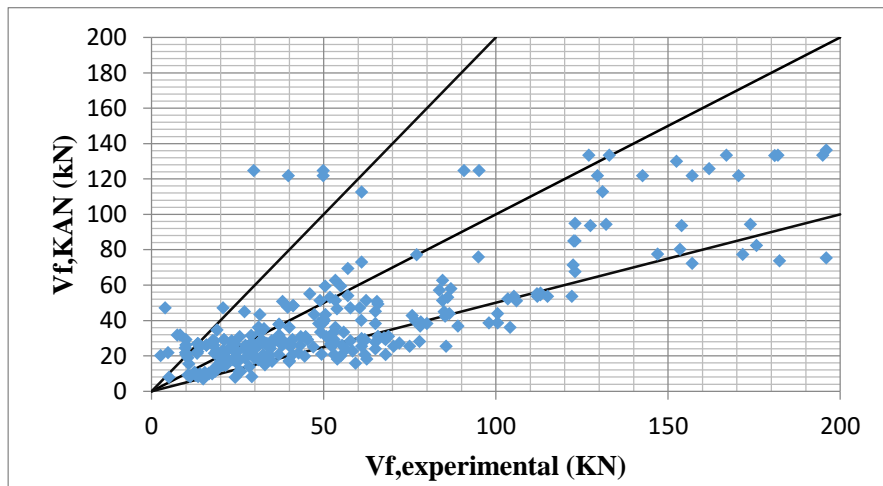
### Αμερικάνικος Κανονισμός ACI, (2008)



**Διάγραμμα 6.77** Διάγραμμα τεμνουσών πολυμερών από Άνθρακα ACI, (2008)

Ο αμερικάνικος κανονισμός επεμβάσεων παρατηρείται ότι είναι αποτελεσματικός για ένα μεγάλο αριθμό δοκιμών (Διάγραμμα 6.77). Σίγουρα κρίνεται ότι λειτουργεί υπέρ της ασφαλείας, ενώ θα μπορούσε να χαρακτηριστεί και συντηρητικός. Οι συντελεστές Lin και Pearson που υπολογίστηκαν είναι ίσοι με 0,7349 και 0,7695 αντίστοιχα.

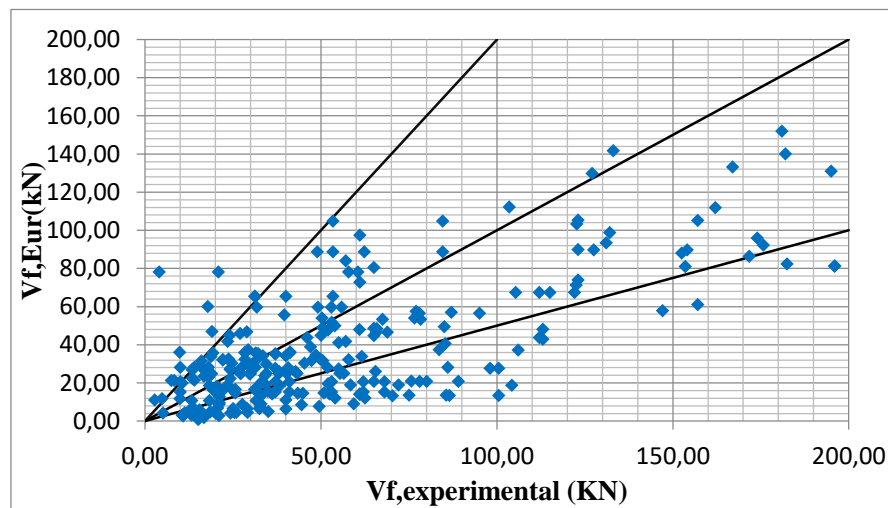
### Ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2017)



**Διάγραμμα 6.78** Διάγραμμα τεμνουσών πολυμερών από Άνθρακα ΚΑΝΕΠΕ (2017)

Επίσης, αρκετά καλά αποτελέσματα δείχνει να παρουσιάζει στο Διάγραμμα 6.78 ο ΚΑΝ.ΕΠΕ είναι αρκετά συντηρητικός όπως άλλωστε και οι υπόλοιποι κανονισμοί. Το μεγαλύτερο ποσοστό των δοκιμών βρίσκεται στο επιθυμητό ή κοντά στο επιθυμητό κομμάτι του διαγράμματος τεμνουσών. Τέλος, ο συντελεστής  $L_{in}$  που υπολογίστηκε ήταν 0,7825 και ο συντελεστής Pearson 0,8396.

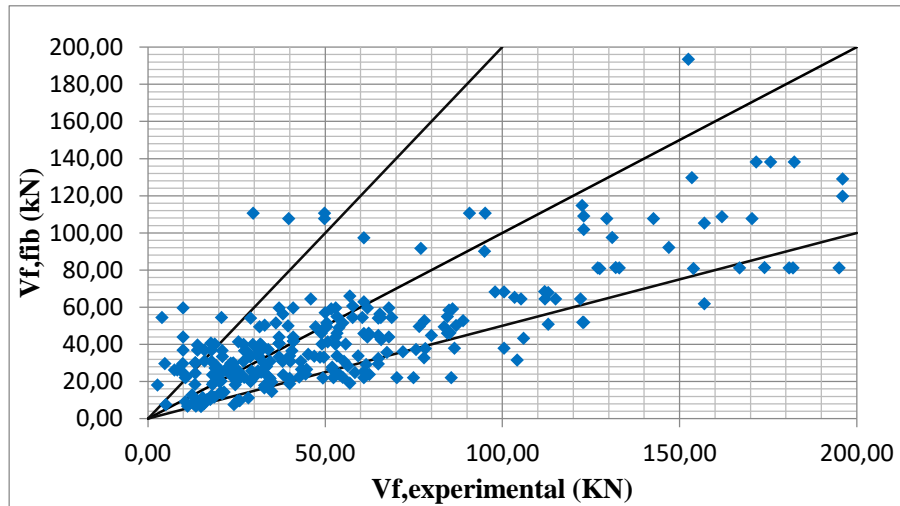
### Eurocode 8 – Part 3 Design Proposal (EN 1998-3:2005)



**Διάγραμμα 6.79** Διάγραμμα τεμνουσών πολυμερών από Άνθρακα Ευρωκώδικα (2005)

Ο ευρωκώδικας δεν παρουσιάζει τόσο καλά επίπεδα συσχέτισης, καθώς ο συντελεστής  $L_{in}$  υπολογίστηκε και ισούται με 0,5216 ενώ αυτός του Pearson ισούται με 0,5386. Αρκετά, επίσης, είναι τα δείγματα στην επιθυμητή περιοχή του διαγράμματος, όμως σε αντίθεση με τα προηγούμενα, έχουμε αρκετά δοκίμια των οποίων η συμβολή των πολυμερών υπερεκτιμάται (Διάγραμμα 6.79).

### fib Design Proposal (2001)



**Διάγραμμα 6.80** Διάγραμμα τεμνουσών πολυμερών από Άνθρακα fib (2001)

Τέλος, ο κανονισμός fib παρατηρούμε, στο Διάγραμμα 6.80, να έχει δυνατότητες να καλύπτει τα συγκεκριμένα δοκίμια, ακόμη κι αν γίνει συντηρητικός με την εφαρμογή κάποιου συντελεστή ασφαλείας. Έχουμε μεγάλο πλήθος που βρίσκεται κοντά στη διχοτόμο, που σημαίνει πως με μια μικρή επεξεργασία, το αποτέλεσμα μπορεί να γίνει το επιθυμητό. Ακόμη, ο συντελεστής  $\lambda_{in}$  που υπολογίστηκε ήταν 0,7567 και Pearson 0,8343 γεγονός που δείχνει μια αρκετά καλή συσχέτιση των στοιχείων.



## 6.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Για κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις, όπως ξεχωριστά αναφέρθηκε παραπάνω, υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης των LIN και PEARSON. Για να προκύψει λοιπόν μία πρόταση βελτίωσης του πιο αποδοτικού μοντέλου σχεδιασμού έναντι τέμνουσας με τη χρήση εξωτερικά επικολλούμενων πολυμερών, συγκεντρώθηκαν και παρουσιάστηκαν τόσο σε μορφή πίνακα όσο και σε μορφή ραβδογράμματος τα αποτελέσματα των παραπάνω συντελεστών. Η σύγκριση έγινε συνολικά (όλα τα δείγματα), ανά υλικό, ανά τρόπο αστοχίας και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

### 6.4.1 Συντελεστής Pearson

Οι συνολικές τιμές των συντελεστών Pearson για κάθε μοντέλο/κανονισμό παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2 και Διάγραμμα 6.81. Με βάση τον Πίνακα 6.2, παρατηρούμε ότι υψηλά ποσοστά συσχέτισης μας δίνει το μοντέλο των Carolin and Taljsten με 0,836 ενώ καλό ποσοστό συσχέτισης έχει και ο ΚΑΝ.ΕΠΕ με 0,8035.

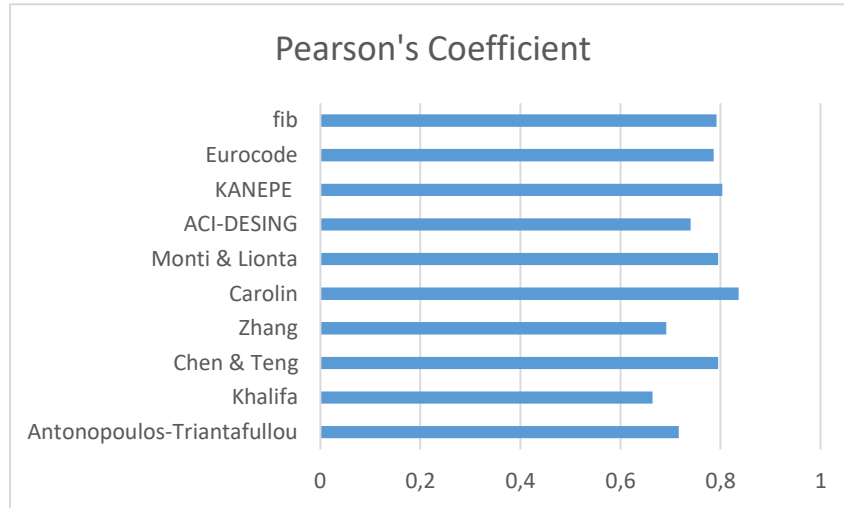
#### 6.4.1.1 Συνολικά αποτελέσματα

Παρακάτω παρουσιάζεται ο Πίνακας 6.2 με τα συνολικά αποτελέσματα όλου του δείγματος του συντελεστή Pearson.

**Πίνακας 6.2** Συνολικές τιμές συντελεστή Pearson

Antonopoulos	Khalifa	Chen & Teng	Zhang	Carolin	Monti & Lionta	ACI-DESING	KANEPE	Eurocode	fib
0,7166	0,664	0,7955	0,6915	0,836	0,7953	0,7404	0,8035	0,7865	0,7924

### Ραβδόγραμμα



**Διάγραμμα 6.81** Ραβδόγραμμα συντελεστή Pearson για το συνολικό δείγμα

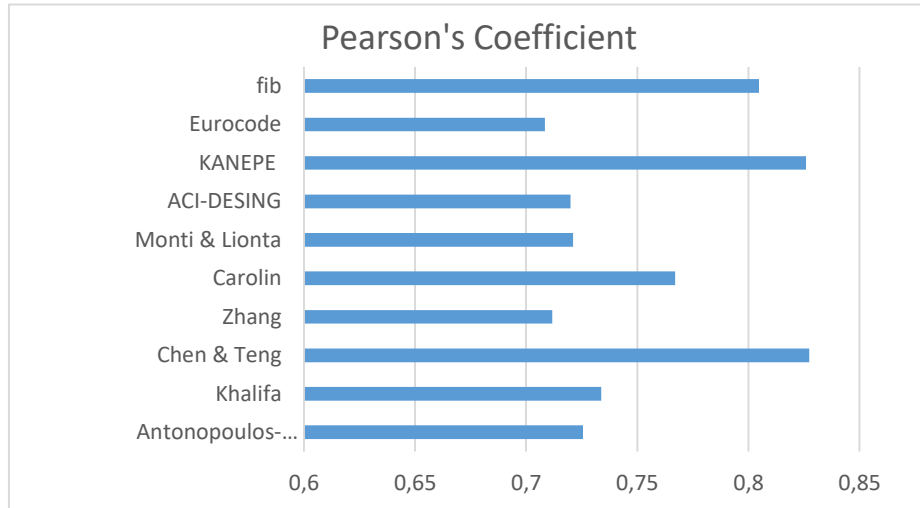
#### 6.4.1.2 Αποκόλληση

Παρακάτω παρουσιάζεται ο Πίνακας 6.3 με τα αποτελέσματα του συντελεστή Pearson των δοκιμών που αστόχησαν με αποκόλληση.

**Πίνακας 6.3** Τιμές συντελεστή Pearson για την περίπτωση της αποκόλλησης

Antonopoulos-	Khalifa	Chen & Teng	Zhang	Carolin	Monti & Lionta	ACI-DESING	KANEPE E	Eurocode	fib
0,7256	0,7337	0,8273	0,7118	0,767	0,7211	0,72	0,8259	0,7084	0,8048

### Ραβδόγραμμα



**Διάγραμμα 6.82** Ραβδόγραμμα συντελεστή Pearson για την περίπτωση της αποκόλλησης

Στην περίπτωση της αποκόλλησης, τα μοντέλα που έχουν καλό συντελεστή Pearson άρα και καλή συσχέτιση (Πίνακας 6.3), είναι αρκετά. Αυτά που ξεχωρίζουν είναι το μοντέλο του Chen & Teng με συντελεστή 0,827, ακολουθούν οι κανονισμοί KANEPE και fib με 0,8259 και 0,8048 αντίστοιχα, ενώ καλά αποτελέσματα έχει και το μοντέλο των Carolin & Taljsten με 0,767.

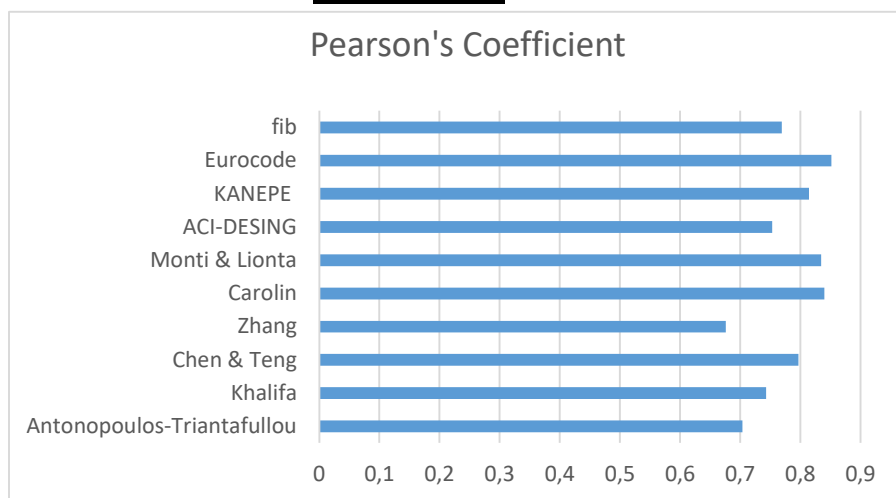
#### 6.4.1.3 Θραύση

Παρακάτω παρουσιάζεται ο Πίνακας 6.4 με τα αποτελέσματα του συντελεστή Pearson των δοκιμών που αστόχησαν με θραύση.

**Πίνακας 6.4** Τιμές συντελεστή Pearson για την περίπτωση της θραύσης

Antonopoulos-	Khalifa	Chen & Teng	Zhang	Carolin	Monti & Lionta	ACI-DESING	KANEP E	Eurocode	fib
0,704	0,743	0,797	0,6761	0,8401	0,8347	0,7535	0,8144	0,852	0,7694

### **Ραβδόγραμμα**



**Διάγραμμα 6.83** Ραβδόγραμμα συντελεστή Pearson για την περίπτωση της θραύσης

Στην περίπτωση της θραύσης, το μοντέλο που ξεχώρισε για το συντελεστή Pearson, ήταν αυτό των Carolin & Taljsten με 0,8401 ενώ και το μοντέλο των Monti & Lionta είχε καλά αποτελέσματα με 0,8347 (Πίνακας 6.4).

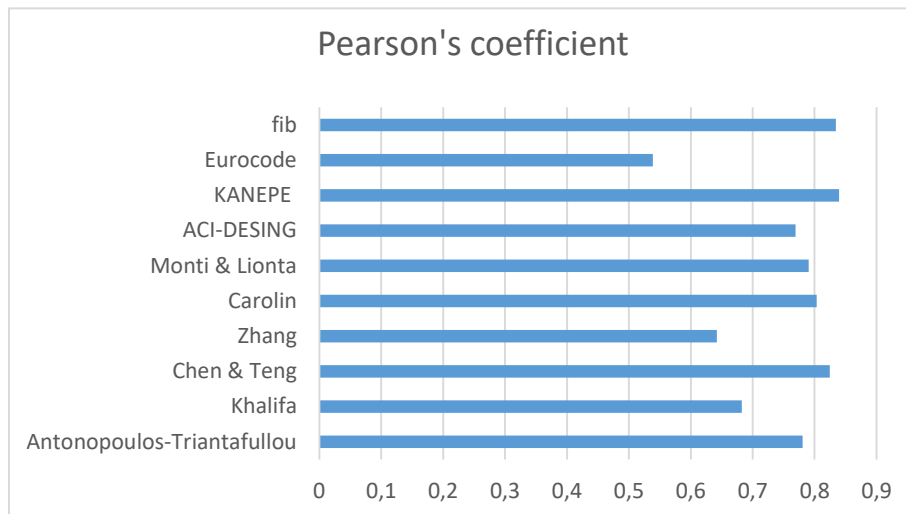
#### **6.4.1.4 Άνθρακας**

Παρακάτω παρουσιάζεται ο Πίνακας 6.5 με τα αποτελέσματα του συντελεστή Pearson των δοκιμίων από άνθρακα.

**Πίνακας 6.5** Τιμές συντελεστή Pearson για υλικά από άνθρακα

Antonopoulos-	Khalifa	Chen & Teng	Zhang	Carolin	Monti & Lionta	ACI-DESING	KANEP E	Eurocode	fib
0,7805	0,6825	0,8248	0,642	0,8034	0,7902	0,7695	0,8396	0,5386	0,8343

### Ραβδόγραμμα



**Διάγραμμα 6.84** Ραβδόγραμμα συντελεστή Pearson για υλικά από άνθρακα

Στα πολυμερή που είναι κατασκευασμένα από άνθρακα (Πίνακας 6.5) οι κανονισμοί KANEPE και fib παρουσιάζουν καλό ποσοστό συσχέτισης 0,8396 και 0,8343 αντίστοιχα. Όσον αφορά τα μοντέλα ξεχωρίζει αυτό των Chen & Teng με 0,8248 και ακολουθεί αυτό των Carolin & Taljsten με 0,8034.

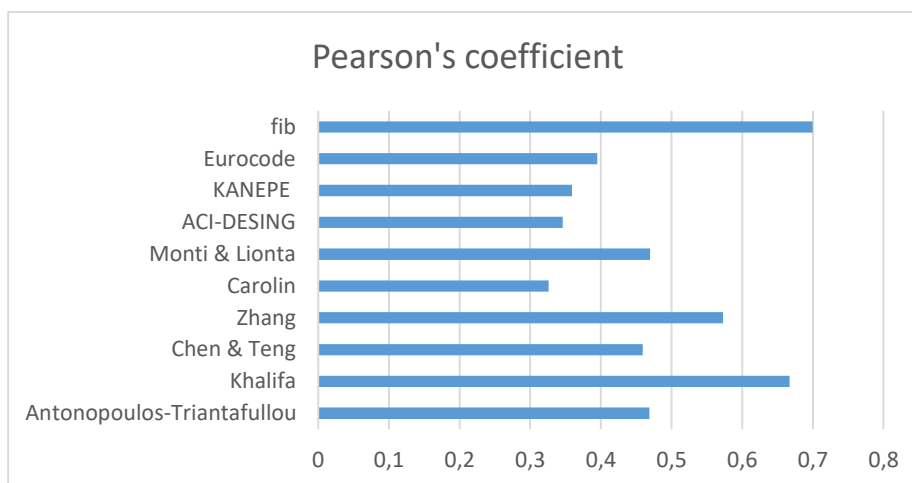
#### 6.4.1.5 Γυαλί

Παρακάτω παρουσιάζεται ο Πίνακας 6.6 με τα αποτελέσματα του συντελεστή Pearson των δοκιμίων από γυαλί.

**Πίνακας 6.6** Τιμές συντελεστή Pearson για υλικά από γυαλί

Antonopoulos-	Khalifa	Chen & Teng	Zhang	Carolin	Monti & Lionta	ACI-DESING	KANEP E	Eurocode	fib
0,4688	0,6669	0,4594	0,5729	0,3262	0,4695	0,3462	0,3589	0,395	0,6999

## Ραβδόγραμμα



**Διάγραμμα 6.85** Ραβδόγραμμα συντελεστή Pearson για υλικά από γυαλί

Όταν το πολυμερές είναι κατασκευασμένο από γυαλί, γενικά δεν πήραμε καλά αποτελέσματα συσχέτισης, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.6. Καλύτερο συντελεστή Pearson παρουσίασε ο κανονισμός fib με 0,699 ενώ το μοντέλο με τα καλύτερα αποτελέσματα ήταν αυτό των Khalifa et al. με 0,669.

### 6.4.2 Συντελεστής Lin

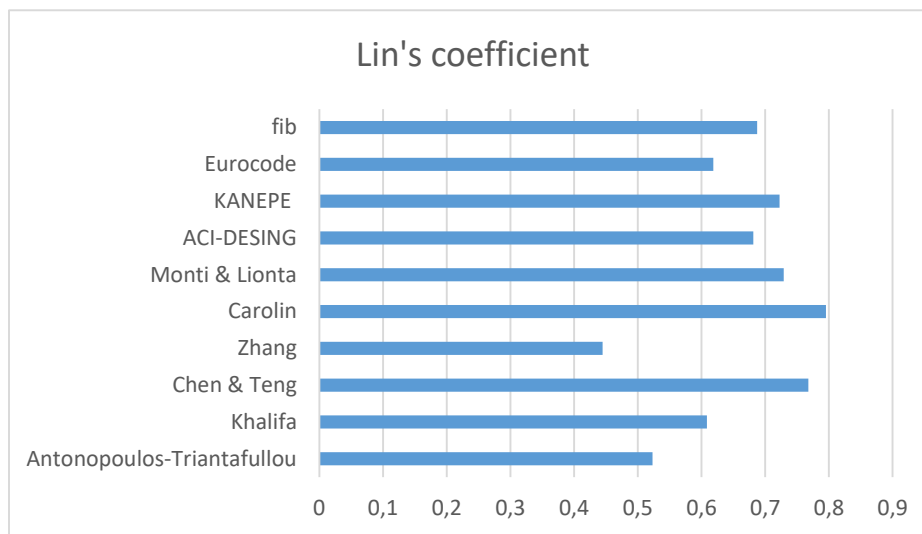
#### 6.4.2.1 Συνολικά αποτελέσματα

Παρακάτω παρουσιάζεται ο Πίνακας 6.7 με τα συνολικά αποτελέσματα όλου του δείγματος του συντελεστή Lin.

**Πίνακας 6.7** Συνολικές τιμές συντελεστή Lin

Antonopoulos-Triantafyllou	Khalifa	Chen & Teng	Zhang	Carolin	Monti & Lionta	ACI-DESING	KANEPE	Eurocode	fib
0,5231	0,6087	0,768	0,4448	0,7957	0,7291	0,6814	0,7225	0,6189	0,6876

### Ραβδόγραμμα



**Διάγραμμα 6.86** Ραβδόγραμμα συντελεστή Lin για το συνολικό δείγμα

Μετά τον υπολογισμό του συντελεστή Lin, παρατηρούμε από τον Πίνακα 6.7, ότι τα μοντέλα των Carolin & Taljsten και Chen & Teng παρουσιάζουν την καλύτερη συσχέτιση με 0,7957 και 0,768 αντίστοιχα.

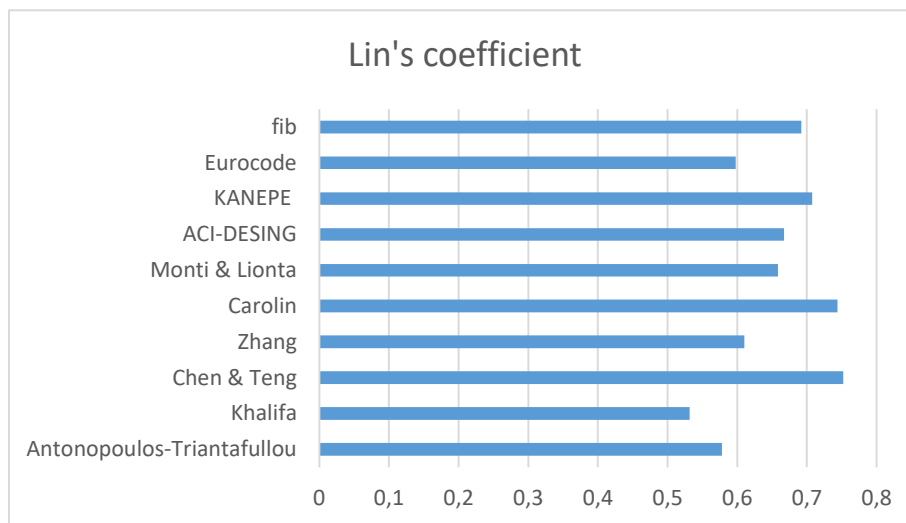
#### 6.4.2.2 Αποκόλληση

Παρακάτω παρουσιάζεται ο Πίνακας 6.8 με τα αποτελέσματα του συντελεστή Lin των δοκιμών που αστόχησαν με αποκόλληση.

**Πίνακας 6.8** Τιμές συντελεστή Lin για την περίπτωση της αποκόλλησης

Antonopou- ulos- Triantaful	Khalifa	Chen & Teng	Zhang	Carolin	Monti & Lionta	ACI- DESING	KANEP E	Eurocode	fib
0,5782	0,5316	0,7524	0,6105	0,7439	0,6583	0,6673	0,7077	0,598	0,6922

### Ραβδόγραμμα



**Διάγραμμα 6.87** Ραβδόγραμμα συντελεστή Lin για την περίπτωση της αποκόλλησης

Στην περίπτωση της αποκόλλησης, οι συντελεστές Lin που ξεχωρίζουν σύμφωνα με τον Πίνακα 6.8 είναι αυτοί των Carolin & Taljsten με 0,7439 και Chen & Teng με 0,7524.

#### 6.4.2.3 Θραύση

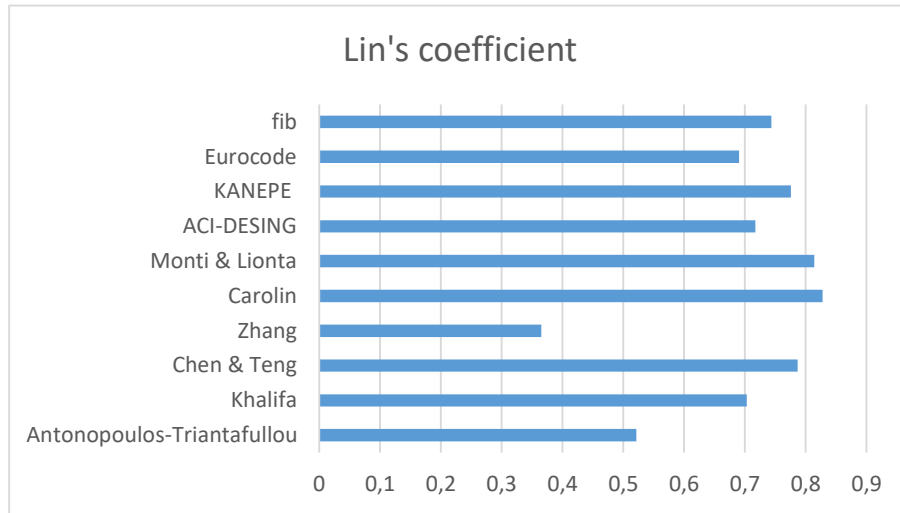
Τα αποτελέσματα που δόθηκαν μετά τον υπολογισμό του συντελεστή Lin για την περίπτωση που το υλικό αστοχεί σε θραύση, όπως φαίνονται στον Πίνακα 6.9, ήταν καλά τόσο για το μοντέλο των Carolin & Taljsten όπου ο συντελεστής Lin ήταν 0,8276 όσο και για το μοντέλο των Monti & Lionta με συντελεστή 0,8141.

**Πίνακας 6.9** Τιμές συντελεστή Lin για την περίπτωση της θραύσης

Antonopoulos-Triantafyllou	Khalifa	Chen & Teng	Zhang	Carolin	Monti & Lionta	ACI-DESING	KANEPE E	Eurocode	fib
0,5213	0,7029	0,7869	0,3653	0,8276	0,8141	0,7175	0,7756	0,6902	0,7434



### Ραβδόγραμμα



**Διάγραμμα 6.88** Ραβδόγραμμα συντελεστή Lin για την περίπτωση της θραύσης

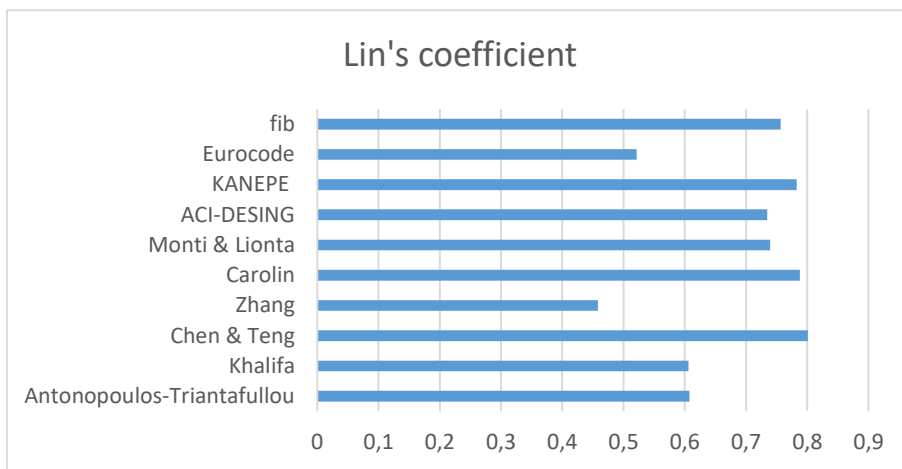
#### 6.4.2.4 Άνθρακας

Παρακάτω παρουσιάζεται ο Πίνακας 6.10 με τα αποτελέσματα του συντελεστή Lin των δοκιμίων από άνθρακα.

**Πίνακας 6.10** Τιμές συντελεστή Lin για υλικά από άνθρακα

Antonopoulos-Triantafullou	Khalifa	Chen & Teng	Zhang	Carolin	Monti & Lionta	ACI-DESING	KANEP E	Eurocode	fib
0,6075	0,6059	0,8008	0,4584	0,7878	0,7396	0,7349	0,7825	0,5216	0,7567

## Ραβδόγραμμα



**Διάγραμμα 6.89** Ραβδόγραμμα συντελεστή Lin για υλικά από άνθρακα

Σύμφωνα με τον πίνακα 6.10, παρουσιάζονται ικανοποιητικά ποσοστά συσχέτισης τόσο από τα μοντέλα σχεδιασμού Chen & Teng και Carolin & Taljsten με συντελεστές Lin 0,8008 και 0,7878 αντίστοιχα, όσο και οι κανονισμοί KANEPE και fib με συντελεστές 0,7825 και 0,7567 αντίστοιχα.

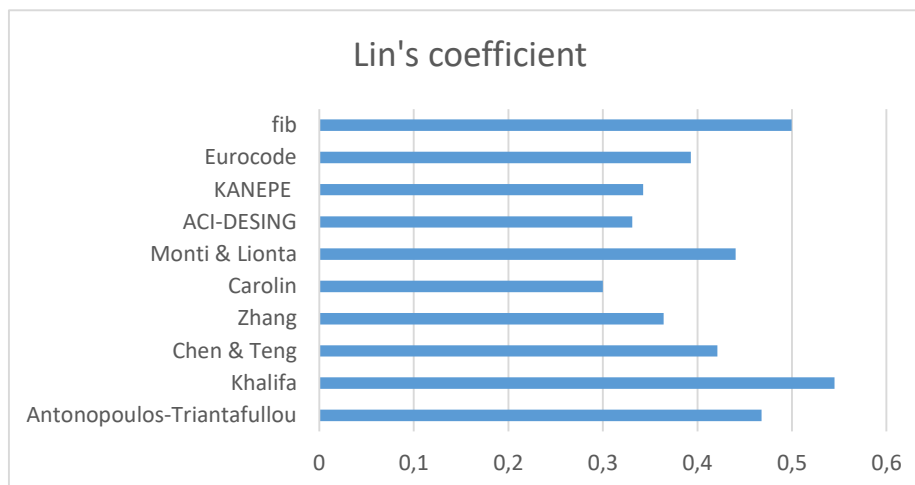
### 6.4.2.5 Γυαλί

Παρακάτω παρουσιάζεται ο Πίνακας 6.11 με τα αποτελέσματα του συντελεστή Lin των δοκιμών από γυαλί.

**Πίνακας 6.11** Τιμές συντελεστή Lin για υλικά από γυαλί

Antonopoulos-Triantafyllou	Khalifa	Chen & Teng	Zhang	Carolin	Monti & Lionta	ACI-DESING	KANEPE E	Eurocode	fib
0,4677	0,5449	0,4211	0,3642	0,3	0,4403	0,3312	0,3425	0,3931	0,4998

## Ραβδόγραμμα



**Διάγραμμα 6.90** Ραβδόγραμμα συντελεστή Lin για υλικά από γυαλί

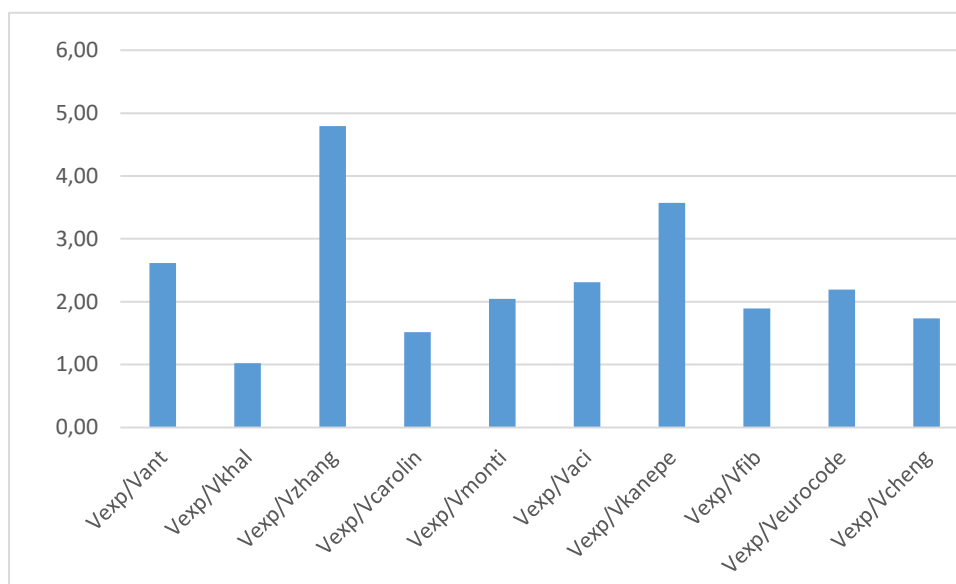
Ο Πίνακας 6.11 μας δείχνει ότι δεν υπάρχει καλή αντιμετώπιση των συγκεκριμένων δεδομένων από τα μοντέλα και τους κανονισμούς σχεδιασμού αφού σαν ποσοστό που ξεχωρίζει είναι αυτό των Khalifa et al. με 0,5449 ενώ και ο κανονισμός fib κινείται σε παρόμοια ποσοστά με 0,4998.

### 6.4.3 Σύγκριση κανονισμών ως προς την ασφάλεια

Ένας ακόμη τρόπος να ελέγξουμε την καταλληλότητα των κανονισμών και των μοντέλων σχεδιασμού, πόσο λειτουργούν υπέρ ή κατά της ασφαλείας, δημιουργήσαμε ραβδογράμματα με τον κάθε κανονισμό. Ελέγξαμε πώς ανταποκρίνεται ο καθένας, βάσει και του διαθέσιμου δείγματος. Δημιουργήθηκε λοιπόν για κάθε δείγμα ο λόγος  $V_{exp}/V_{analytical}$  και έπειτα υπολογίστηκε ο μέσος όρος των κλασμάτων αυτών. Όσο πιο κοντά στη μονάδα ήταν το αποτέλεσμα αυτού του μέσου όρου, τόσο το μοντέλο ή ο κανονισμός κρίνεται υπέρ της ασφαλείας. Τόσο τα γενικά αποτελέσματα, όσο και τα αποτελέσματα βάσει τον τρόπο αστοχίας (αποκόλληση, θραύση), παρατίθενται παρακάτω.

**Πίνακας 6.11** Μέσοι όροι συνολικού δείγματος του λόγου  $V_{exp}/V_{analytical}$

$V_{exp}/V_{ant}$	$V_{exp}/V_{khal}$	$V_{exp}/V_{zhan}$	$V_{exp}/V_{car}$	$V_{exp}/V_{mon}$	$V_{exp}/V_{aci}$	$V_{exp}/V_{kan}$	$V_{exp}/V_{fib}$	$V_{exp}/V_{eur}$	$V_{exp}/V_{chen}$
2,61	1,02	4,79	1,52	2,05	2,31	3,57	1,89	2,19	1,73

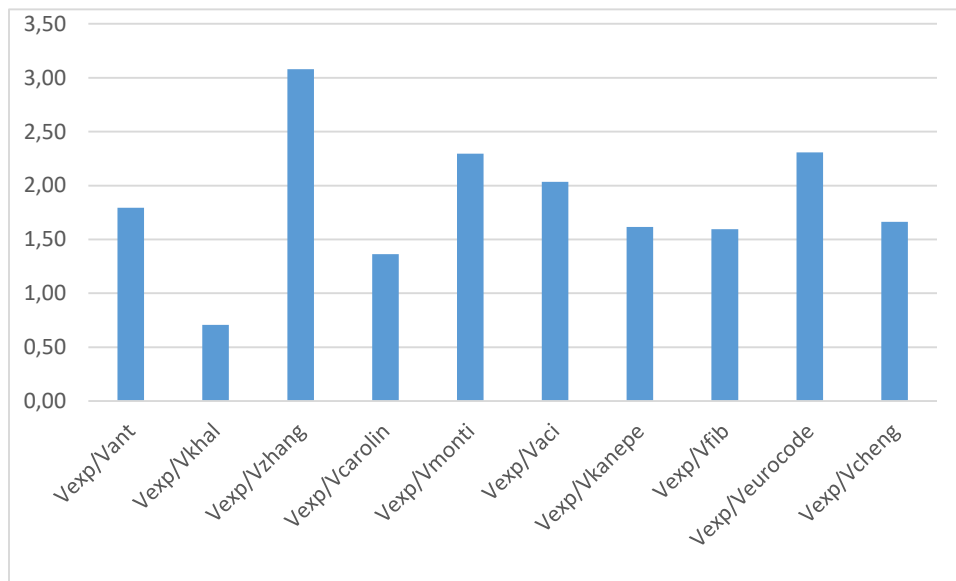


**Διάγραμμα 6.91** Ραβδόγραμμα μέσω των όρων συνολικού δείγματος του λόγου  $V_{exp}/V_{analytical}$  ανξαρτήτως τρόπου επικόλλησης/αστοχίας.

Από το Διάγραμμα 6.91, παρατηρούμε ότι τα επιθυμητά ποσοστά παρουσιάζονται από το μοντέλο των Khalifa et al.(1998) και ακολουθεί το μοντέλο των Carolin & Taljsten (2005).

**Πίνακας 6.12** Μέσοι όροι του λόγου  $V_{exp}/V_{analytical}$  για την περίπτωση της αποκόλλησης

$V_{exp}/V_{ant}$	$V_{exp}/V_{khal}$	$V_{exp}/V_{zhan}$	$V_{exp}/V_{car}$	$V_{exp}/V_{mon}$	$V_{exp}/V_{aci}$	$V_{exp}/V_{kan}$	$V_{exp}/V_{fib}$	$V_{exp}/V_{eur}$	$V_{exp}/V_{chen}$
1,8	0,71	3,08	1,37	2,29	2,03	1,62	1,59	2,31	1,66

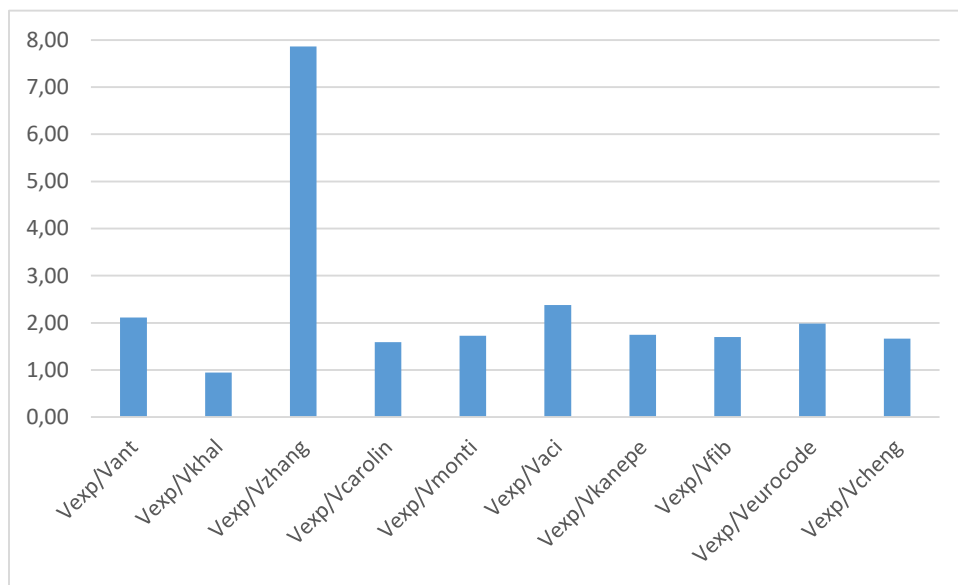


**Διάγραμμα 6.92** Ραβδόγραμμα μέσων όρων του λόγου  $V_{exp}/V_{analytical}$  για την περίπτωση της αποκόλλησης

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 6.92, καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την ασφάλεια, παρουσιάζουν τα μοντέλα των Carolin & Taljsten, Chen & Teng και οι κανονισμοί τόσο των fib όσο και του ΚΑΝΕΠΕ. Το μοντέλο του Khalifa είναι το μόνο που δίνει μέση τιμή μικρότερη της μονάδος, γεγονός που σημαίνει ότι δεν παρέχει ασφάλεια.

**Πίνακας 6.13** Μέσοι όροι του λόγου  $V_{exp}/V_{analytical}$  για την περίπτωση της θραύσης

$V_{exp}/V_{ant}$	$V_{exp}/V_{khal}$	$V_{exp}/V_{zhan}$	$V_{exp}/V_{car}$	$V_{exp}/V_{mon}$	$V_{exp}/V_{aci}$	$V_{exp}/V_{kan}$	$V_{exp}/V_{fib}$	$V_{exp}/V_{eur}$	$V_{exp}/V_{chen}$
2,12	0,94	7,86	1,59	1,73	2,38	1,74	1,7	1,99	1,66



**Διάγραμμα 6.93** Ραβδόγραμμα μέσων όρων του λόγου  $V_{exp}/V_{analytical}$  για την περίπτωση της θραύσης

Στο Διάγραμμα 6.93, παρατηρούμε ότι όλοι οι κανονισμοί είναι κοντά στη μονάδα και πάνω από αυτή, άρα και κοντά στην ασφάλεια, εκτός του μοντέλου σχεδιασμού Zhang & Hsu που παρατηρείται, όπως και στο συνολικό (Διάγραμμα 6.91), μεγάλη απόκλιση. Επιπρόσθετα φαίνεται ότι το μοντέλο του Khalifa υπερευπολογίζει τη διατμητική αντοχή.

## 6.5 Πρόταση βελτίωσης

Έχοντας λάβει υπόψιν τα αποτελέσματα που προηγήθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι, ανάμεσα στα μοντέλα και τους κανονισμούς που παρουσιάστηκαν, καλύτερα αποτελέσματα από πλευράς ασφάλειας αλλά και αποτελεσματικότητας είχε το μοντέλο των Carolin and Taljsten (χρονολογία).

Γίνεται εκτενής ανάλυση για το μοντέλο των Carolin and Taljsten στο κεφάλαιο 4.6, όπου υπολογίζεται ο τύπος της τέμνουσας ίσος με:

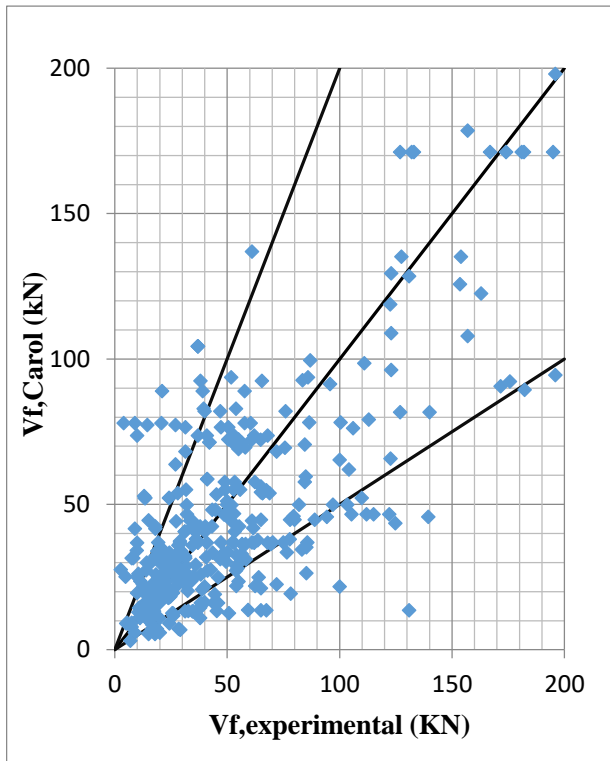
$$V_f = \eta \varepsilon_{cr} E_f t_f r_f z \frac{\cos \theta}{\sin \alpha} \quad [kN] \quad (6.1)$$

Στην παραπάνω εξίσωση υπολογισμού της τέμνουσας, υπάρχει ο συντελεστής  $\eta$ , ο οποίος λαμβάνει υπόψιν τη μη ομοιόμορφη κατανομή των παραμορφώσεων στη διατομή. Αυτός ο συντελεστής  $\eta$  εκφράζει τη μέση παραμόρφωση στις ίνες καθ' ύψος της δοκού σε σχέση με τη μέγιστη παραμόρφωση στην ίνα,  $\varepsilon_{max}$  και έχει υπολογιστεί πειραματικά ίσος με 0,6.

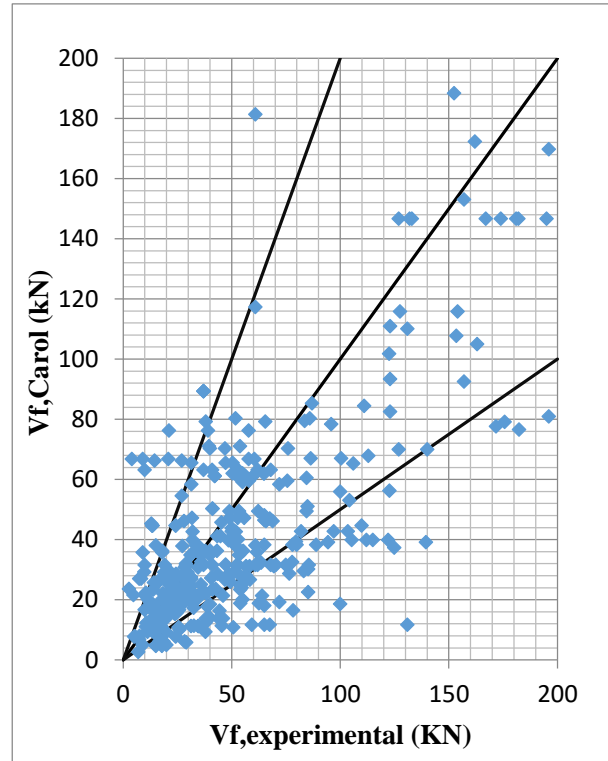
Έχοντας συμπεριλάβει αρκετά δοκίμια στην εν λόγω εργασία, δοκιμάσαμε να επέμβουμε στο συντελεστή αυτόν για να δούμε με ποιο τρόπο το συγκεκριμένο μοντέλο έχει είτε τα βέλτιστα είτε καλύτερα αποτελέσματα. Αυτό επιτεύχθηκε με το να αυξήσουμε τον συντελεστή, σε σχέση με το 0,6 που προτείνεται. Η περαιτέρω αύξηση της θεωρητικής τέμνουσας, να μην κάνει το μοντέλο περισσότερο συντηρητικό όμως όπως καταλαβαίνει κανείς, το μοντέλο τίθεται προς την πλευρά της ασφάλειας. Έτσι, υπολογίστηκαν εκ νέου οι θεωρητικές τέμνουσες με διαφορετικούς συντελεστές. Έγινε μια παρέμβαση στα συνολικά διαγράμματα όπου λήφθηκε ο συντελεστής  $\eta$  ίσος με 0,7, όπως επίσης και ξεχωριστά για κάθε τρόπο επικόλλησης όπου επιλέχθηκε συντελεστής ίσος με 0,7.

Τόσο τα συνολικά, όσο και τα επιμέρους αποτελέσματα παρουσιάζονται στη συνέχεια, παραθέτονται στα αριστερά τα διαγράμματα με τον προτεινόμενο συντελεστή ασφαλείας (0,6) και δεξιά την παρέμβαση – πρόταση με τον εκάστοτε συντελεστή ασφαλείας.

### 6.5.1 Γενικά διαγράμματα τεμνουσών



**Διάγραμμα 6.93** Γενικό διάγραμμα Τεμνουσών Carolin and Taljsten με προτεινόμενο συντελεστή μοντέλου  $\eta=0,6$

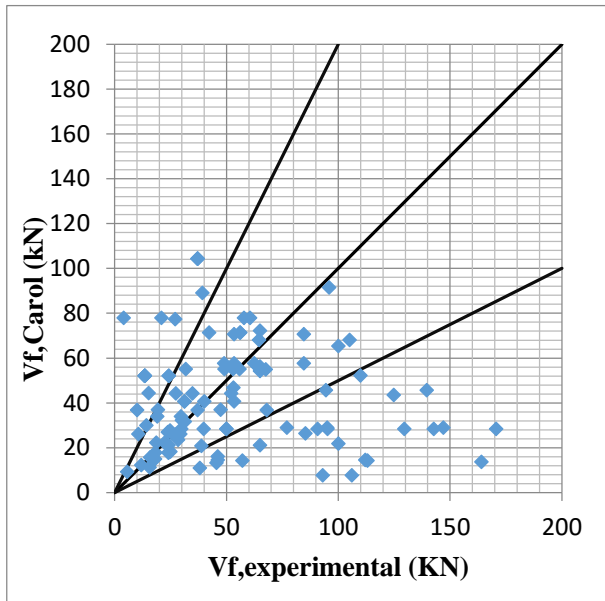


**Διάγραμμα 6.94** Γενικό διάγραμμα Τεμνουσών Carolin and Taljsten μετά από επέμβαση στο συντελεστή  $\eta=0,7$

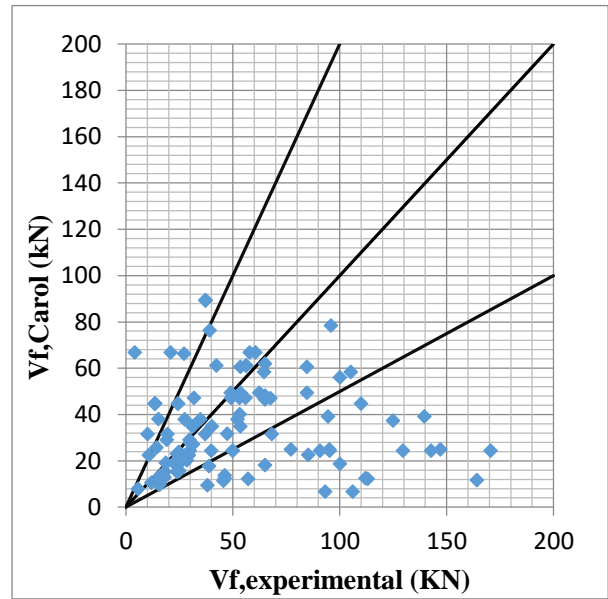
Η επιλογή του συντελεστή ασφαλείας  $\eta$ , έγινε με σκοπό να βελτιωθεί η συσχέτιση των δεδομένων. Στα Διαγράμματα 6.93, 6.94 παρατηρούμε να επιτυγχάνεται βελτίωση τόσο της συσχέτισης όσο και της ασφάλειας. Ο συντελεστής  $L_{ip}$  που είχε υπολογιστεί για το παραπάνω μοντέλο ήταν 0,7952 ενώ μετά την παρέμβαση βελτιώθηκε και υπολογίστηκε 0,8103.



## 6.5.2 Διαγράμματα τεμνουσών με τρίπλευρη επικόλληση



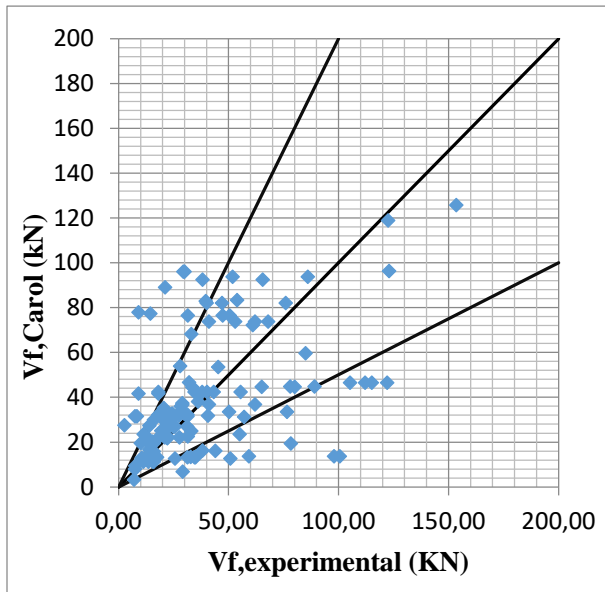
**Διάγραμμα 6.95** Διάγραμμα τεμνουσών Carolin and Taljsten με προτεινόμενο συντελεστή μοντέλου  $\eta=0,6$  για πολυμερή με τρίπλευρη επικόλληση



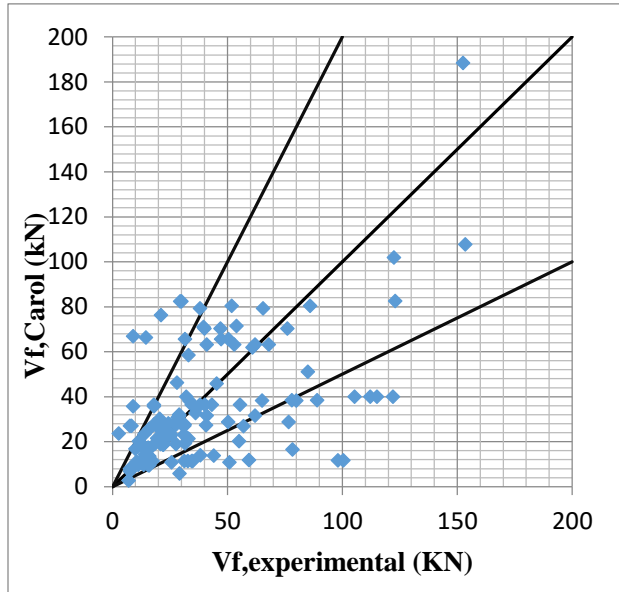
**Διάγραμμα 6.96** Διάγραμμα τεμνουσών Carolin and Taljsten μετά από επέμβαση στο συντελεστή  $\eta=0,7$  για πολυμερή με τρίπλευρη επικόλληση

Στο Διάγραμμα 6.95 παρουσιάζονται τα δεδομένα με χρήση του μοντέλου των Carolin Taljsten (2005). Παρατηρείται πως, λιγότερα δοκίμια βρίσκονται στην περιοχή άνω και αριστερά, αποτέλεσμα επιθυμητό καθώς μειώνεται, με τη χρήση του εν λόγω μοντέλου, η πιθανότητα αστοχίας των πολυμερών. Επίσης, παρατηρείται σχετικά καλύτερη συσχέτιση μεταξύ των δοκιμών αφού ο συντελεστής  $L_{in}$  ήταν 0,510 και έγινε 0,549. Λόγω της αποκόλλησης που παρατηρείται πρόωρα σε αυτή τη μορφή αστοχίας φαίνεται ότι δεν είναι εύκολο να βρεθεί μια εύκολη λύση βελτίωσης του μοντέλου.

### 6.5.3 Διαγράμματα τεμνουσών με δίπλευρη επικόλληση



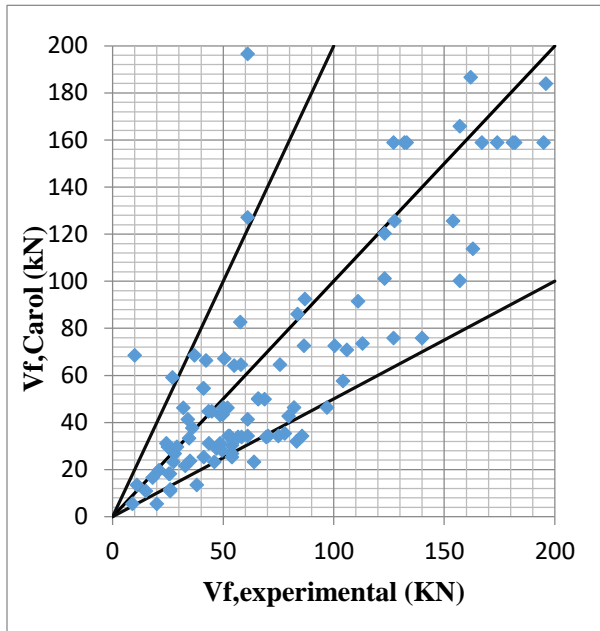
**Διάγραμμα 6.97** Διάγραμμα τεμνουσών Carolin and Taljsten με προτεινόμενο συντελεστή μοντέλου  $\eta=0,6$  για πολυμερή με Δίπλευρη επικόλληση



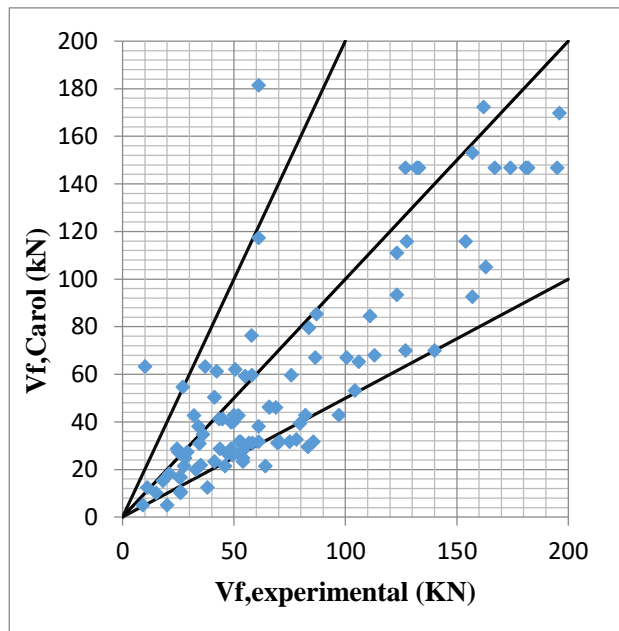
**Διάγραμμα 6.98** Διάγραμμα τεμνουσών Carolin and Taljsten μετά από επέμβαση στο συντελεστή  $\eta=0,7$  για πολυμερή με Δίπλευρη επικόλληση

Στην περίπτωση της δίπλευρης επικόλλησης, που παρουσιάζονται στα Διαγράμματα 6.97, 6.98, παρατηρούμε βελτίωση της συσχέτισης των δοκιμίων. Τα αποτελέσματα που λάβαμε μετά την παρέμβαση στο συντελεστή  $\eta$ , στο συντελεστή  $\text{Lin}$ , ήταν η αύξηση του από 0,57 που ήταν αρχικά σε 0,592.

#### 6.5.4 Διαγράμματα τεμνουσών με πλήρη περιτύλιξη



**Διάγραμμα 6.99** Διάγραμμα τεμνουσών Carolin and Taljsten με προτεινόμενο συντελεστή μοντέλου  $\eta=0,6$  για πολυμερή με πλήρη περιτύλιξη



**Διάγραμμα 6.100** Διάγραμμα τεμνουσών Carolin and Taljsten μετά από επέμβαση στο συντελεστή  $\eta=0,65$  για πολυμερή με πλήρη περιτύλιξη

Στο Διάγραμμα 6.99 παρουσιάζονται τα δεδομένα από το μοντέλο των Carolin Taljsten (2005) με χρήση του προτεινόμενου συντελεστή  $\eta=0,6$ , ενώ στο Διάγραμμα 6.100 παρουσιάζεται η συσχέτιση με  $\eta=0,65$ . Στην περίπτωση της πλήρους περιτύλιξης, παρατηρούμε ότι στο μοντέλο των Carolin and Taljsten, με την αύξηση του παραπάνω συντελεστή, βελτιώνεται η συσχέτιση καθώς ο συντελεστής  $L_{in}$  ισούταν με 0,8355 ενώ μετά την παρέμβαση ισούται με 0,8397.

## 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Λαμβάνοντας υπόψιν τα αποτελέσματα της μελέτης, παρατηρούμε ότι τα μοντέλα των Chen and Teng και Carolin and Taljsten εμφανίζουν τα καλύτερα αποτελέσματα στα συνολικά διαγράμματα και συντελεστές που υπολογίστηκαν.
- Πιο αναλυτικά, μπορούμε να αναφέρουμε ότι στην περίπτωση της αστοχίας σε θραύση των ινών, με εξαίρεση τα μοντέλα των Αντωνόπουλου-Τριανταφύλλου και Zhang and Hsu, τα υπόλοιπα μοντέλα και κανονισμοί αποδίδουν καλύτερα σε σχέση με την αποκόλληση των ινών.
- Συγκεκριμένα, στην περίπτωση της θραύσης αποδοτικότερο μοντέλο παρουσιάζεται βάσει του συντελεστή Lin, το μοντέλο των Carolin and Taljsten.
- Στην περίπτωση της αποκόλλησης το μοντέλο που αποδίδει καλύτερα σε σχέση με τα υπόλοιπα είναι αυτό των Chen and Teng.
- Επίσης, με βάση το διαχωρισμό που έγινε στα δοκίμια ανάλογα το υλικό των πολυμερών, διαπιστώσαμε ότι οι κανονισμοί και τα μοντέλα που αναφέρθηκαν, αποδίδουν καλύτερα όταν το υλικό που είναι κατασκευασμένο το πολυμερές είναι ο άνθρακας σε σχέση με το γυαλί.
- Στην περίπτωση του άνθρακα, σημαντικά καλά αποτελέσματα είχε το μοντέλο των Chen and Teng ενώ ακουλούθησαν τόσο το μοντέλο των Carolin and Taljsten όσο και ο ελληνικός κανονισμός επεμβάσεων (ΚΑΝΕΠΕ).
- Από την άλλη, όταν το υλικό του πολυμερούς ήταν γυαλί δεν είχαμε τα επιθυμητά αποτελέσματα από κανένα κανονισμό ή μοντέλο. Παρόλα αυτά, ο κανονισμός σχεδιασμού fib design μαζί με το μοντέλο των Khalifa et al, είχαν καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τα υπόλοιπα.
- Ακόμη, όσον αφορά τον τύπο επικόλλησης των ινοπλισμένων πολυμερών, βάσει του διαχωρισμού που έγινε (U-jacket, Side bonded, Full wrap) καλύτερα και αποδοτικότερα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν στην περίπτωση της πλήρους περιτύλιξης σε όλα τα μοντέλα και κανονισμούς.
- Ιδιαίτερα, στην περίπτωση της πλήρους περιτύλιξης (Full wrap), το μοντέλο των Carolin and Taljsten και ο ευρωπαϊκός κανονισμός επεμβάσεων έδειξαν τα καλύτερα αποτελέσματα.
- Ακόμη, στην περίπτωση της πλευρικής επικόλλησης, τα μοντέλα που ξεχώρισαν για τα αποτελέσματα τους ήταν ο κανονισμός σχεδιασμού fib και το μοντέλο των Chen and Teng, των οποίων οι συντελεστές συσχέτισης, είχαν μεγάλη διαφορά από τους υπόλοιπους.
- Τέλος, στην περίπτωση της περιτύλιξης U, το μοντέλο των Zhang and Hsu καθώς επίσης και ο κανονισμός σχεδιασμού fib παρουσίασαν τα καλύτερα αποτελέσματα.
- Κάθε μοντέλο και κανονισμός που χρησιμοποιήθηκε δείχνει να παρουσιάζει, αλλού καλύτερα αλλού χειρότερα αποτελέσματα. Τα μοντέλα σχεδιασμού, τα οποία έχουν προκύψει πειραματικά, χρειάζονται περαιτέρω διερεύνηση για τη βελτιστοποίησή τους.

- Οι κανονισμοί που υπάρχουν τόσο στην Ελλάδα όσο και οι αμερικάνικος, ευρωπαϊκός, fib κρίνονται αυστηροί και συντηρητικοί. Παρόλα αυτά, τείνουν προς την πλευρά της ασφάλειας.

## 8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

“13ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών” Πάτρα, Φεβρουάριος (2007)

“16ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών “ Πετρόχειλος Σταύρος (2010)

Δρίτσος Σ. (2006), «Καμπτική ενίσχυση με επικολλητά φύλλα από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή»

Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) (2017, 2<sup>η</sup> αναθεώρηση), Κεφάλαιο 8, «Επεμβάσεις με στόχο την αύξηση της φέρουσας ικανότητας έναντι τέμνουσας».

Μάνος Γ.Χ. (2011), «Διατμητική ενίσχυση με ινοπλισμένα πολυμερή (ΧΙΟΠ) τμήματος συνεχούς δοκού στη περιοχή στήριξης της κάτω από ανακυκλιζόμενη σεισμικού τύπου φόρτιση».

Τριανταφύλλου Α. (2003), «Ενισχύσεις Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος με Σύνθετα Υλικά».

Τριανταφύλλου Α. (2011), «Ενισχύσεις Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος με Σύνθετα Υλικά».

ACI Committee 440 (2008). “Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures (ACI 4402R-08).” American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.

Anil, O. (2006), Improving shear capacity of RC T-beams using CFRP composites subjected to cyclic load, *Cement and Concrete Composites* 28(7), pp. 638-649

Anil, O. (2008), Strengthening of RC T-section beams with low strength concrete using CFRP composites subjected to cyclic load, *Construction and Building Materials* 22(12), pp. 2355-2368.

Baggio D. , Soudki K. , Noel M. (2014), “ Strengthening of shear critical RC beams with various FRP systems”

Belarbi, A., Bae, S.-W. and Brancaccio, A. (2011), Behavior of full-scale RC T-beams strengthened in shear with externally bonded FRP sheets, *Construction and Building Materials*, Article in Press.

Blanksvard, T., Carolin, A. & Taljsten, B., (2009). Shear strengthening of concrete structures with the use of mineral based composites. *Journal of Composites for Construction*, 3, Issue 13, pp. 25-34.

Bousselham, A. and Chaallal, O. (2008), Mechanisms of shear resistance of concrete beams strengthened in shear with externally bonded FRP, *Journal of Composites for Construction* 12(5), pp. 499-512.

Carolin, A. & Taljsten, B., (2005). Theoretical study of strengthening for increased shear bearing capacity, *Journal of Composites for Construction*. *Journal of Composites for Construction*, 9(6), pp. 497-506.

Chaallal, O., Shahawy, M. and Hassan, M. (2002), Performance of reinforced concrete T-girders strengthened in shear with carbon fiber-reinforced polymer fabric, *ACI Structural Journal* 99(3), pp. 335-343.

Chajes, Michael J., Januszka, Ted F., Mertz, Dennis R., Thomson Jr., Theodore A. and Finch Jr., William W. (1995), Shear strengthening of reinforced concrete beams using externally applied composite fabrics, *ACI Structural Journal* 92(3), pp. 295-303

Chen, J. & Teng, J., (2003). Shear capacity of fiber-reinforced polymer-strengthened reinforced concrete beams: Fiber reinforced polymer rupture. *Journal of Structural Engineering*, pp. 615-625.

Chen, J. & Teng, J., (2003). Shear capacity of FRP-strengthened RC beams: FRP debonding. *Construction and Building Materials*, pp. 27-41.

Chen G.M., Zhang Z., Li Y.L., Li X.Q., Zhou C.Y. (2016), "T-section RC beams shear-strengthened with anchored CFRP U-strips"

Contamine, R., Si Larbi, A. & Hamelin, P., (2012). Identifying the contributing mechanisms of textile reinforced concrete (TRC) in the case of shear repairing damaged and reinforced concrete beams. *Engineering Structures*, 19 September, pp. 447-458.

Deniaud, C. and Cheng, J.J.R. (2003), Reinforced concrete T-beams strengthened in shear with fiber reinforced polymer sheets, *Journal of Composites for Construction* 7(4), pp. 302-310.

Diagana, C., Li, A., Gedalia, B. and Delmas, Y. (2003), Shear strengthening effectiveness with CFF strips, *Engineering Structures* 25(4), pp. 507-516.

Escrig, C., Gil, L., Bernat-Maso, E. & Puigvert, F., (2015). Experimental and analytical study of reinforced concrete beams shear strengthened with different types of textile-reinforced mortar. *Construction and Building Material*, 83, pp. 248-260.

fib -TG9.3, (2001), "Design and use of externally bonded fibre reinforced polymer reinforcement (FRP EBR) for reinforced concrete structures", *Bulletin*, 14 July, p. 138

Gonzalez-Libreros J.H., Sneed L.H, D'Antino T., Pellegrino C. (2017), "Behavior of RC beams strengthened in shear with FRP and FRCM composites"

Hussein M. Elsanadedy , Tarek H. Almusallam, Saleh H. Alsayed, Yousef A. Al-Salloum (2012), "Shear strengthening of RC beams using textile reinforced mortar – Experimental and numerical study"

Khalifa, A., Gold, W. J., Nanni, A. & Abdel Aziz, M. I., (1998). Contribution of externally bonded FRP to shear capacity of RC flexural members. *Journal of Composites for Construction*, pp. 195-202.

Khalifa A., Nanni A. (1999), "Improving shear capacity of existing RC T-section beams using CFRP composites"

Khalifa, A. and Nanni, A. (2002), Rehabilitation of rectangular simply supported RC beams with shear deficiencies using CFRP composites, *Construction and Building Materials* 16(3), pp. 135-146.

Loretto, G., Babaeidarabad, S., Leardini, L. & Nanni, A., (2015). RC beams shear strengthened with fabric-reinforced-cementitious-matrix (FRCM) composite. *Journal of Advanced Structural Engineering*, 7 August, pp. 341-352.

Monti, G. & Lionta, M., (2007). Tests and design equations for FRP-strengthening in shear, *Construction and Building Materials*, pp. 799-809.

Ombres, L., (2015). Structural performances of reinforced concrete beams strengthened in shear with a cement based fiber composite material. *Composites Structures*, April, Τόμος 122, pp. 316-329.

Pellegrino, C. and Modena, C. (2002), Fiber reinforced polymer shear strengthening of reinforced concrete beams with transverse steel reinforcement, *Journal of Composites for Construction* 6(2), pp. 104-111.



Pellegrino, C. and Modena, C. (2006), Fiber-reinforced polymer shear strengthening of reinforced concrete beams: Experimental study and analytical modeling, *ACI Structural Journal* 103(5), pp. 720-728.

Sas, G., Carolin, A. & Taljsten, B., (2008). A model for predicting the shear bearing capacity of FRP-strengthened beams, *Mechanics of Composite Materials. Mechanics of Composite Materials*, 44(3), pp. 245-256.

Si Larbi, A., Contamine, R., Ferrier, E. & Hamelin, P., (2010). Shear strengthening of RC beams with textile reinforced concrete (TRC) plate. *Construction and Building Materials*, 11 May, pp. 1928-1936.

Swamy, R.N. and Mukhopadhyaya, P. (1995), "Role and effectiveness of nonmetallic plates in strengthening and upgrading concrete structures" in *Non-metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures*.

Tanarslan, H.M. and Altin, S. (2010), Behavior of RC T-section beams strengthened with CFRP strips, subjected to cyclic load, *Materials and Structures/ Materiaux et Constructions* 43(4), pp. 529-542.

Tetta, Z. C., Koutas, L. N. & Bournas, D. A., (2015). Textile-reinforced mortar (TRM) versus fiber-reinforced polymers (FRP) in shear strengthening of concrete beams. *Composites Part B*, 21 March, pp. 338-348.

Tetta Z. C. , Koutas L. N. , Bournas D. A., (2016), "Shear strengthening of full-scale RC T-beams using textile-reinforced mortar and textile-based anchors"

Triantafillou, T.C. (1998), "Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Epoxy-Bonded FRP Composites", *ACI Structural Journal*, V. 95, No. 2, Mar.-Apr., pp. 107-115.

Triantafillou, T. C. & Antonopoulos, C. P., (2000), Design of Concrete Flexural Members Strengthened in Shear With FRP. *Journal of Composites for Construction*, pp. 198-205.

Triantafillou, T. & Papanikolaou, C., (2006). Shear strengthening of reinforced concrete members with textile reinforced mortar (TRM) jackets. *Materials and Structure*, pp. 93-103.

Tzoura, E. & Triantafillou, T., (2014). Shear strengthening of reinforced concrete T-beams under cyclic loading with TRM or FRP jackets. *Materials and Structures*.

Weiwen Li , Christopher K.Y. Leung (2017), 'Effect of shear span-depth ratio on mechanical performance of RC beams strengthened in shear with U-wrapping FRP strips'

Zhang, Z. & Hsu, C., (2005). Shear strengthening of reinforced concrete beams using carbon-fiber-reinforced polymer laminates. *Journal of Composites for Construction*, pp. 158-169.