



Α Ε Ι Π Ε Ι Ρ Α Ι Α Τ . Τ .  
Σ Χ Ο Λ Η Τ Ε Χ Ν Ο Λ Ο Γ Ι Κ Ω Ν Ε Φ Α Ρ Μ Ο Γ Ω Ν  
Τ Μ Η Μ Α Π Ο Λ Ι Τ Ι Κ Ω Ν Μ Η Χ Α Ν Ι Κ Ω Ν Τ Ε

Π Ρ Ο Γ Ρ Α Μ Μ Α Μ Ε Τ Α Π Τ Υ Χ Ι Α Κ Ω Ν Σ Π Ο Υ Δ Ω Ν  
“ Α Ν Τ Ι Σ Ε Ι Σ Μ Ι Κ Η Κ Α Ι Ε Ν Ε Ρ Γ Ε Ι Α Κ Η Α Ν Α Β Α Θ Μ Ι Σ Η  
Κ Α Τ Α Σ Κ Ε Υ Ω Ν Κ Α Ι Α Ε Ι Φ Ο Ρ Ο Σ Α Ν Α Π Τ Υ Ξ Η ”

Δ Ι Π Λ Ω Μ Α Τ Ι Κ Η Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α

**«ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΈΛΕΓΧΟΣ  
ΔΟΠΛΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ  
ΠΕΡΙΣΦΙΓΜΕΝΩΝ ΜΕ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (ΙΟΠ)  
ΣΕ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ»**



**ΣΤΥΛΙΑΝΗ ΚΟΥΛΟΥΜΠΕΡΗ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

**ΔΡ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΚΥΡΙΑΖΟΠΟΥΛΟΣ**

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΤΕ  
Σ.Τ.ΕΦ., Α.Τ.Ε.Ι. ΑΘΗΝΑΣ

ΑΘΗΝΑ 2017



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος 'Αντισεισμική και Ενεργειακή Αναβάθμιση Κατασκευών και Αειφόρος Ανάπτυξη' του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ του ΑΕΙ Πειραιά Τ.Τ. υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Αντώνιου Κυριαζόπουλου, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την πολύτιμη, έμπρακτη βοήθειά του και την επιστημονική καθοδήγησή του για την ορθή περαίωση της εν λόγω εργασίας

Θέλω να ευχαριστήσω το Δ/ντη του Μεταπτυχιακού Προγράμματος τον Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Δημάκο, για τη διάθεση του εργαστηρίου σκυροδέματος που έλαβε χώρα η πειραματική διαδικασία, καθώς και για τη βοήθεια και τις συμβουλές του σχετικά με το πείραμα.

Ευχαριστώ από καρδιάς τη φίλη και συνάδελφό μου Μαριλή Ρηγοπούλου, για την παρότρυνση της να συμμετάσχω στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα, καθώς και για την έμπρακτη υποστήριξη και βοήθειάς της σε όλα τα στάδια παρακολούθησής του.

Ακόμα, ευχαριστώ τον Πολιτικό Μηχανικό, Αντώνη Κάλλιο για την επικοινωνία που μου εξασφάλισε με τον Γιώργο Μαυροσκότη υπεύθυνο των εγκαταστάσεων 'Τσούμα Μπετόν Α.Ε' και τον τελευταίο για τη χορηγία του σκυροδέματος, τη σκυροδέτηση και φύλαξη των δοκιμίων στις ανωτέρω εγκαταστάσεις.

Ευχαριστώ πολύ τον Γιάννη Δημόπουλο, έμπειρο τεχνίτη στην εφαρμογή μανδυών από ανθρακονήματα, που σε συνεργασία με τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου, επεξεργάστηκε και 'έντυσε' τα δοκίμια του χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία.

Ακόμα ευχαριστώ τον Πέτρο Φώσκολο της εταιρίας Sintecno, για τις χρήσιμες πληροφορίες που μου χορήγησε σχετικά με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων υλικών (εποξειδικές ρητίνες και CFRP) του πειράματος.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου, για την αμέριστη, καθημερινή συμπαράσταση και παρότρυνσή τους, που μου προσφέρουν σε κάθε επιλογή μου και στάδιο της ζωής μου.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ΣΥΝΟΨΗ</b> .....   | <b>1</b>  |
| <b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....   | <b>2</b>  |
| <b>SUMMARY</b> .....  | <b>4</b>  |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο</b> .....  | <b>6</b>  |
| <b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....   | <b>6</b>  |
| 1.1 Γενικά .....  | 6         |
| 1.2 Τα προβλήματα των παλαιών κατασκευών .....  | 6         |
| 1.3 Εισαγωγή στην ενίσχυση κατασκευών με σύνθετα υλικά .....                              | 7         |
| 1.4 Σκοπός της παρούσας εργασίας .....  | 7         |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο</b> .....  | <b>9</b>  |
| <b>ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΗ ΕΡΕΥΝΑ</b> .....  | <b>9</b>  |
| 2.1 Γενικά .....  | 9         |
| 2.2 Έρευνα των Riad Benzaid και Habib-Abdelhak Mesbah .....                               | 9         |
| 2.3 Συγκεντρωτικά στοιχεία από προγενέστερες έρευνες .....                                | 15        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο</b> .....  | <b>20</b> |
| <b>ΒΛΑΒΕΣ</b> .....   | <b>20</b> |
| 3.1 Δομική Ακεραιότητα - Τι Είναι Ατέλεια - Και Τι Είναι Βλάβη .....                      | 20        |
| 3.2 Βλάβες Υποστρωμάτων .....   | 23        |
| 3.3 Συστήματα Επεμβάσεων .....  | 29        |
| 3.3.1 Τι Είναι Επισκευή - Τι Ενίσχυση .....   | 29        |
| 3.3.2 Επιλογή Συστήματος Επεμβάσεων .....   | 32        |
| 3.3.3 Μέθοδοι Επισκευών – Ενισχύσεων κατασκευών από Ο.Σ. ....                             | 32        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο</b> .....  | <b>34</b> |
| <b>ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΤΕΧΝΗΤΑ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ</b> .....   | <b>34</b> |
| 4.1 Εισαγωγή στα σύνθετα υλικά .....  | 34        |
| 4.2 Περιγραφή και δομή των ενισχυτικών ινών .....   | 35        |
| 4.2.1 Ίνες άνθρακα .....  | 35        |
| 4.2.2 Ίνες υάλου .....  | 36        |
| 4.2.3 Ίνες αραμιδίου .....  | 36        |
| 4.2.4 Υβρίδια - Νέα υλικά .....   | 36        |
| 4.3 Μήτρα Συνθετικών Υλικών .....   | 41        |
| 4.3.1 Μήτρα .....   | 41        |
| 4.3.2 Οργανική μήτρα ‘κλασική’ (ρητίνες εποξειδικές, πολυεστερικές, βινυλεστερικές) ..... | 41        |
| 4.3.3 Ανόργανη μήτρα .....  | 42        |
| 4.4 Είδη Σκυροδέματος .....   | 43        |
| 4.4.1 Συνήθη σκυροδέματα-κονιάματα .....  | 43        |
| 4.4.2 Σκυροδέμα με προσθήκη πολυμερών .....   | 43        |
| 4.4.3 Σκυροδέματα με μη συμβατική κονία .....   | 43        |
| 4.5 Σύνθετα Υλικά .....   | 43        |
| 4.6 Συστήματα Ενίσχυσης με Σύνθετα Υλικά .....  | 45        |
| 4.6.1 Συστήματα υγρής ενίσχυσης .....   | 45        |
| 4.6.2 Προκατασκευασμένα υλικά .....   | 46        |

|  |   |            |
|--|---|------------|
| 4.7  | Τεχνικές Εφαρμογής Σύνθετων Υλικών .....                                | 46         |
| 4.7.1  | Βασική Τεχνική Εφαρμογής.....   | 46         |
| 4.7.2  | Ανάγκη διατμητικής ενίσχυσης υποστλωμάτων .....                         | 48         |
| 4.7.3  | Ενίσχυση υποστλωμάτων με frp.....                                       | 48         |
| 4.7.4  | Πλεονεκτήματα Ενίσχυσης με frp.....                                     | 52         |
| 4.7.5  | Μειονεκτήματα Ενίσχυσης με frp .....                                    | 53         |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο .....</b>                         |   | <b>54</b>  |
| <b>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....</b>              |   | <b>54</b>  |
| <b>ΤΕΧΝΙΚΟ ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΥΛΙΚΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....</b>   |   | <b>54</b>  |
| 5.1  | Σκυρόδεμα C30/37 .....  | 54         |
| 5.1.1  | Γενικά.....   | 54         |
| 5.1.2  | Χαρακτηριστικά Σκυροδέματος C30/37 .....                                | 55         |
| 5.1.3  | Νόμος του Hooke ή Νόμος Ελαστικότητας για το σκυρόδεμα .....            | 55         |
| 5.1.4  | Συνθέσεις σκυροδέματος.....   | 58         |
| 5.2  | Επιβραδυντής .....  | 64         |
| 5.2.1  | Γενικά.....   | 64         |
| 5.2.2  | Πλεονεκτήματα .....   | 65         |
| 5.2.3  | Τρόπος Χρήσης .....   | 65         |
| 5.3  | Ρητίνες.....  | 65         |
| 5.3.1  | Γενικά.....   | 65         |
| 5.3.2  | SINMAST S2W (προϊόν SINMAST).....                                       | 66         |
| 5.3.3  | SINMAST S2WV (προϊόν SINMAST).....                                      | 70         |
| 5.4  | CFRP .....  | 77         |
| 5.4.1  | S&P C-SHEET 240 (προϊόντα S&P Clever Reinforcement AG) .....            | 77         |
| 5.5  | Μηχανή Θλίψης .....   | 84         |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο .....</b>                         |   | <b>88</b>  |
| <b>ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....</b>       |   | <b>88</b>  |
| 6.1  | Εισαγωγή.....   | 88         |
| 6.2  | Σκυροδέτηση - Λήψη Δοκιμίων.....  | 88         |
| 6.3  | Φύλαξη Συντήρηση Δοκιμίων.....  | 90         |
| 6.4  | Επεξεργασία Δοκιμίων.....   | 93         |
| 6.4.1  | Πρώτη ομάδα κυβικών δοκιμίων.....                                       | 93         |
| 6.4.2  | Δεύτερη ομάδα κυβικών δοκιμίων με CFRP.....                             | 94         |
| 6.4.3  | Τρίτη ομάδα κυλινδρικών δοκιμίων.....                                   | 103        |
| 6.4.4  | Τέταρτη ομάδα κυλινδρικών δοκιμίων με CFRP .....                        | 103        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο .....</b>                         |   | <b>109</b> |
| <b>ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</b> |   | <b>109</b> |
| 7.1  | Εισαγωγή.....   | 109        |
| 7.2  | Εκπόνηση πειραμάτων για την πρώτη ομάδα κυβικών δοκιμίων .....          | 110        |
| 7.2.1  | Αποτελέσματα & διαγράμματα για την πρώτη ομάδα κυβικών δοκιμίων .....   | 112        |
| 7.3  | Εκπόνηση πειραμάτων για την δεύτερη ομάδα κυβικών δοκιμίων με CFRP..... | 116        |
| 7.3.1  | Αποτελέσματα & διαγράμματα για τη δεύτερη ομάδα κυβικών δοκιμίων .....  | 117        |
| 7.4  | Εκπόνηση πειραμάτων για την τρίτη ομάδα κυλινδρικών δοκιμίων .....      | 120        |

|   |  |            |
|---|--|------------|
| 7.4.1   | Αποτελέσματα & διαγράμματα για την τρίτη ομάδα κυλινδρικών δοκιμίων .....                | 121        |
| 7.5   | Εκπόνηση πειραμάτων για την τέταρτη ομάδα κυλινδρικών δοκιμίων με CFRP.....              | 126        |
| 7.5.1   | Αποτελέσματα & διαγράμματα για την τέταρτη ομάδα κυλινδρικών δοκιμίων με CFRP.....       | 127        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο .....</b>                                    |  | <b>130</b> |
| <b>ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....</b> |  | <b>130</b> |
| 8.1   | Σύγκριση Αποτελεσμάτων 1ης & 2ης ομάδας κυβικών δοκιμίων .....                           | 130        |
| 8.2   | Σύγκριση Αποτελεσμάτων 3ης & 4ης ομάδας κυλινδρικών δοκιμίων .....                       | 131        |
| 8.3   | Σύγκριση Αποτελεσμάτων όλων των ομάδων που συμμετείχαν στην πειραματική διαδικασία ..... | 133        |
| 8.4   | Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα δοκιμίων.....  | 135        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9ο .....</b>                                    |  | <b>138</b> |
| <b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>                                    |  | <b>138</b> |
| 9.1   | Συμπεράσματα πειραματικής διαδικασίας .....  | 138        |
| 9.2   | Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....  | 139        |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>                                    |  | <b>140</b> |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ .....</b>                                    |  | <b>143</b> |
| Παράρτημα Α – Πιστοποίηση Σκυροδέματος C30/37 .....         |  | 143        |
| Παράρτημα Β – Πινάκες υπολογισμών διαγραμμάτων .....        |  | 146        |

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

|  |    |
|--|----|
| Εικόνα 2.1 Δοκίμια πριν την εκτέλεση του πειράματος [29].....  | 11 |
| Εικόνα 2.2 Δοκίμια μετά την εκτέλεση του πειράματος [29].....  | 11 |
| Εικόνα 3.1 Αστοχία υποστυλώματος λόγω σεισμού [5].....   | 21 |
| Εικόνα 3.2 Αστοχία υποστυλώματος λόγω φυσικοχημικών αντιδράσεων – περιβάλλον [5].....  | 21 |
| Εικόνα 3.3 Βλάβες στην τοιχοποιίας νεοαναγειρόμενου κτίσματος από το σεισμό της Λευκάδας [11] .....                              | 27 |
| Εικόνα 4.1 Χαλυβδο-ύφασμα 9.06 καλώδια/cm [12] .....   | 37 |
| Εικόνα 4.2 (α) Τροποποιημένο χαλυβδο-ύφασμα (β) Μανδύας χαλυβδο-υφάσματος[12] .....  | 38 |
| Εικόνα 4.3 Κλώνοι ινών α) Από ένα μόνο υλικό β) Συνδυασμός νημάτων ινών [12] .....   | 38 |
| Εικόνα 4.4 Ινοπλέγματα δύο διευθύνσεων [12].....   | 39 |
| Εικόνα 4.5 Ινοπλέγματα τεσσάρων διευθύνσεων [12].....  | 39 |
| Εικόνα 4.6 Ινοπλέγματα τριών διαστάσεων [12].....  | 39 |
| Εικόνα 4.7 Διάταξη παραγωγής κυκλικού πλέγματος [12].....  | 40 |
| Εικόνα 4.8 Τομή ελάσματος σύνθετου υλικού σε μεγέθυνση.....  | 44 |
| Εικόνα 4.9 Παραδείγματα εφαρμογής της βασικής τεχνικής.....  | 47 |
| Εικόνα 4.10 (α) Ενίσχυση με Robo-Wrapper (β) Ενίσχυση με υαλο-ύφασμα .....   | 49 |
| Εικόνα 4. 11 Ενίσχυση κλίμακας της Εθνικής Πινακοθήκης Αθηνών με CFRP .....  | 49 |
| Εικόνα 4.12 (α) Ενίσχυση υποστυλώματος με μανδύα CFRP (β) Μεγέθυνση του (α) στο σημείο αρμού συστολής διαστολής του μανδύα ..... | 50 |
| Εικόνα 5.1 Εγκαταστάσεις της ‘ΤΣΟΥΜΑ ΜΠΙΕΤΟΝ Α.Ε’ στα Α. Λιόσια Αττικής.....   | 58 |
| Εικόνα 5.2 Εγκαταστάσεις της ‘ΤΣΟΥΜΑ ΜΠΙΕΤΟΝ Α.Ε’, τσιμέντο ‘TITAN’ .....  | 61 |
| Εικόνα 5.3 Εγκαταστάσεις της ‘ΤΣΟΥΜΑ ΜΠΙΕΤΟΝ Α.Ε’, χώρος φύλαξης αδρανών υλικών .....  | 63 |
| Εικόνα 5.4 Εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών S2W ως στρώση ασταρώματος (priming coat).....  | 66 |
| Εικόνα 5.5 FRP S&P C-Sheet 240, 430gr/m <sup>2</sup> .....   | 77 |
| Εικόνα 5.6 Μηχανή θλίψης Toni Technik .....  | 84 |
| Εικόνα 5.7 (α) Μοντέλο μηχανής θλίψης (β) Πίνακας ενδείξεων μηχανής θλίψης .....   | 85 |
| Εικόνα 6.1 Μήτρες κυλινδρικών δοκιμίων διαμέτρου 15cm και ύψους 30cm.....  | 89 |
| Εικόνα 6.2 Λήψη δοκιμίων σκυροδέματος C30/37 .....   | 89 |
| Εικόνα 6.3 Δόνηση κυλινδρικού δοκιμίου με μπετόβεργα.....  | 90 |
| Εικόνα 6.4 Εργαστήριο ποιότητας ελέγχου στις εγκαταστάσεις «ΤΣΟΥΜΑΣ Α.Ε.».....   | 91 |
| Εικόνα 6.5 Ειδικός χώρος φύλαξης – διατήρησης των δοκιμίων μέχρι την 28η μέρα .....  | 91 |
| Εικόνα 6.6 Ειδικός χώρος φύλαξης θερμοκρασίας 19°C και υγρασίας 90%.....   | 92 |
| Εικόνα 6.7 Φύλαξη των κυλινδρικών δοκιμίων εντός του ειδικού χώρου .....   | 92 |
| Εικόνα 6.8 Φύλαξη των κυβικών δοκιμίων εντός του ειδικού χώρου.....  | 93 |
| Εικόνα 6.9 Δοκίμιο 1 <sup>ης</sup> ομάδας, κυβικό 15cm x 15cm .....  | 93 |
| Εικόνα 6.10 Άμβλυνση γωνιών κυβικού δοκιμίου με σφυράκι.....   | 94 |
| Εικόνα 6.11 Λείανση γωνιών κυβικού δοκιμίου με τροχό .....   | 95 |
| Εικόνα 6.12 Όψη κυβικού δοκιμίου με λειασμένες – στρογγυλεμένες γωνίες.....  | 95 |
| Εικόνα 6.13 Κάτοψη κυβικού δοκιμίου με λειασμένες – στρογγυλεμένες γωνίες.....   | 95 |
| Εικόνα 6.14 Εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών Sinmast S2W .....   | 96 |
| Εικόνα 6.15 Ανάμειξη εποξειδικής ρητίνης δύο συστατικών Sinmast S2W.....   | 96 |

|   |     |
|---|-----|
| Εικόνα 6.16 Εφαρμογή εποξειδικής ρητίνης ως στρώση ασταρώματος.....   | 97  |
| Εικόνα 6.17 Εφαρμογή εποξειδικής ρητίνης ως στρώση ασταρώματος για την επικάλυψη ατελειών<br>.....                              | 97  |
| Εικόνα 6.18 Κυβικό δοκίμιο μετά από αστάρωμα με εποξειδική ρητίνη Sinmast S2W .....   | 98  |
| Εικόνα 6.19 Εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών Sinmast S2WV .....   | 98  |
| Εικόνα 6.20 Ανάμειξη εποξειδικής ρητίνης δύο συστατικών Sinmast S2WV .....  | 99  |
| Εικόνα 6.21 Εφαρμογή εποξειδικής ρητίνης δύο συστατικών Sinmast S2WV σε κυβικό δοκίμιο ως<br>μέσο επικόλλησης .....             | 99  |
| Εικόνα 6.22 Ύφασμα CFRP πριν την εφαρμογή του σε κυβικό δοκίμιο .....   | 100 |
| Εικόνα 6.23 Εφαρμογή υφάσματος CFRP σε κυλινδρικό δοκίμιο .....   | 100 |
| Εικόνα 6.24 Αγκύρωση – μάτιση υφάσματος CFRP σε κυβικό δοκίμιο.....   | 100 |
| Εικόνα 6.25 Επάλειψη με εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών Sinmast S2WV μετά την εφαρμογή<br>της 1ης στρώσης υφάσματος CFRP ..... | 101 |
| Εικόνα 6.26 Εφαρμογή 2ης στρώσης υφάσματος CFRP σε κυβικό δοκίμιο.....  | 101 |
| Εικόνα 6.27 Εφαρμογή 2ης στρώσης υφάσματος CFRP σε κυβικό δοκίμιο.....  | 102 |
| Εικόνα 6.28 Έτοιμο κυβικό δοκίμιο 2ης ομάδας με διπλή στρώση CFRP.....  | 102 |
| Εικόνα 6.29 Δοκίμιο 3ης ομάδας, κυλινδρικό διαμέτρου 15cm και ύψους 30cm.....   | 103 |
| Εικόνα 6.30 Εφαρμογή εποξειδικής ρητίνης δύο συστατικών Sinmast S2WV σε κυλινδρικό δοκίμιο<br>ως μέσο επικόλλησης .....         | 104 |
| Εικόνα 6.31 Προετοιμασία υφάσματος CFRP για κυλινδρικό δοκίμιο .....  | 105 |
| Εικόνα 6.32 Εφαρμογή υφάσματος CFRP σε κυλινδρικό δοκίμιο .....   | 106 |
| Εικόνα 6.33 Αγκύρωση – μάτιση υφάσματος CFRP σε κυλινδρικό δοκίμιο .....  | 106 |
| Εικόνα 6.34 Κυλινδρικό δοκίμιο 4ης ομάδας με διπλή στρώση CFRP.....   | 107 |
| Εικόνα 6.35 Λείανση με τροχό της άνω επιφάνεια κυλινδρικού δοκιμίου με CFRP .....   | 108 |
| Εικόνα 7.1 Εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος τμήματος πολιτικών μηχανικών Τ.Ε. ΑΕΙ<br>Πειραιά Τ.Τ. ....                        | 109 |
| Εικόνα 7.2 Μηχανή θλίψης εργαστηρίου οπλισμένου σκυροδέματος.....   | 109 |
| Εικόνα 7.3 Ζύγιση κυβικού δοκιμίου.....   | 110 |
| Εικόνα 7.4 Κυβικό δοκίμιο πριν και μετά την υποβολή του σε κεντρική μονοαξονική θλίψη .....                                     | 110 |
| Εικόνα 7.5 Κυβικά δοκίμια της 1ης ομάδας μετά την θραύσης τους .....  | 111 |
| Εικόνα 7.6 Ζύγιση κυβικού δοκιμίου με CFRP .....  | 116 |
| Εικόνα 7.7 Κυβικό δοκίμιο με CFRP πριν και μετά την υποβολή του σε κεντρική μονοαξονική<br>θλίψη .....                          | 116 |
| Εικόνα 7.8 Μανδύας CFRP μετά την θλίψη κυβικού δοκιμίου.....  | 117 |
| Εικόνα 7.9 Ζύγιση κυλινδρικού δοκιμίου .....  | 120 |
| Εικόνα 7.10 Κυλινδρικό δοκίμιο πριν και μετά την υποβολή του σε κεντρική μονοαξονική θλίψη<br>.....                             | 120 |
| Εικόνα 7.11 Ζύγιση κυλινδρικού δοκιμίου με CFRP .....   | 126 |
| Εικόνα 7.12 Κυλινδρικό δοκίμιο με CFRP πριν και μετά την υποβολή του σε κεντρική μονοαξονική<br>θλίψη .....                     | 126 |
| Εικόνα 7.13 Μανδύας CFRP μετά την θλίψη κυλινδρικού δοκιμίου .....  | 127 |
| Εικόνα 8.1 Μορφή θραύσης κυβικού και κυλινδρικού δοκιμίου με CFRP   | 137 |



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΠΙΝΑΚΩΝ

|   |     |
|---|-----|
| Πίνακας 2.1 Λεπτομέρειες & τεχνικά χαρακτηριστικά πειραματικών δοκιμών [29].....  | 10  |
| Πίνακας 2.2 Αποτελέσματα δοκιμών με μανδύα CFRP [29] .....  | 12  |
| Πίνακας 2.3 Σύγκριση τιμών πειραματικής και θεωρητική παραμόρφωσης [29].....  | 13  |
| Πίνακας 2.4 Δεδομένα και αποτελέσματα κυλινδρικών δοκιμών με CFRP [29].....   | 13  |
| Πίνακας 2.5 Δεδομένα και αποτελέσματα κυβικών δοκιμών με CFRP [29].....   | 14  |
| Πίνακας 2.6 Συγκριτικά αποτελέσματα πειραματικών και θεωρητικών τιμών της θλιπτικής αντοχής [28], [24], [27], [25] .....      | 16  |
| Πίνακας 2.7 Συγκριτικά αποτελέσματα πειραματικών και θεωρητικών τιμών της αξονικής παραμόρφωσης [28], [24], [27], [25] .....  | 17  |
| Πίνακας 2.8 Παρουσίαση των πειραματικών αποτελεσμάτων της θλιπτικής αντοχής [23], [26], [30], [22] .....                      | 18  |
| Πίνακας 2.9 Παρουσίαση των πειραματικών αποτελεσμάτων της αξονικής παραμόρφωσης .....   | 19  |
| Πίνακας 4.1 Ενδεικτικές ιδιότητες ινών.....   | 40  |
| Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικές αντοχές ποιότητας σκυροδέματος C30/37.....  | 55  |
| Πίνακας 5.2 Πεδία και εφαρμογές της ρητίνης Sinmast S2W [35] .....  | 67  |
| Πίνακας 5.3 Φυσικές και χημικές ιδιότητες καθώς τεχνικά χαρακτηριστικά της ρητίνης Sinmast S2W [35].....                      | 70  |
| Πίνακας 5.4 Εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών S2WV.....  | 71  |
| Πίνακας 5.5 Συνθήκες εφαρμογής της εποξειδικής ρητίνης Sinmast S2WV [35] .....  | 72  |
| Πίνακας 5.6 Φυσικές και χημικές ιδιότητες καθώς τεχνικά χαρακτηριστικά της εποξειδικής ρητίνης δύο συστατικών S2WV [35] ..... | 75  |
| Πίνακας 5.7 Έλεγχοι και όρια κανονισμών βάσει προτύπου ΕΛΟΤ EN 1504-4 [35].....   | 76  |
| Πίνακας 5.8 Τεχνικά χαρακτηριστικά του FRP S&P C-Sheet 240 ( 430 gr/m <sup>2</sup> ) [35].....                                | 80  |
| Πίνακας 7.1 Μετρήσεων για την 1 <sup>η</sup> ομάδα κυβικών δοκιμών.....   | 112 |
| Πίνακας 7.2 Θλιπτικής αντοχής για την 1 <sup>η</sup> ομάδα κυβικών δοκιμών.....   | 112 |
| Πίνακας 7.3 Κριτήρια συμμορφωσης για την θλιπτική αντοχή της 1 <sup>η</sup> ομάδα κυβικών δοκιμών...                          | 113 |
| Πίνακας 7.4 μετρήσεων για την 2 <sup>η</sup> ομάδα κυβικών δοκιμών με CFRP.....   | 117 |
| Πίνακας 7.5 Θλιπτικής αντοχής για την 2 <sup>η</sup> ομάδα κυβικών δοκιμών με CFRP .....                                      | 118 |
| Πίνακας 7.6 μετρήσεων για την 3η ομάδα κυλινδρικών δοκιμών.....   | 121 |
| Πίνακας 7.7 Θλιπτικής αντοχής για την 3 <sup>η</sup> ομάδα κυλινδρικών δοκιμών .....  | 121 |
| Πίνακας 7.8 Κριτήρια συμμορφωσης για την θλιπτική αντοχή της 3 <sup>η</sup> ομάδα κυλινδρικών δοκιμών .....                   | 123 |
| Πίνακας 7.9 μετρήσεων για την 4η ομάδα κυλινδρικών δοκιμών με CFRP .....  | 127 |
| Πίνακας 7.10 Θλιπτικής αντοχής για την 4 <sup>η</sup> ομάδα κυλινδρικών δοκιμών με CFRP.....                                  | 128 |
| Πίνακας 8.1 Συγκεντρωτικός πίνακας πειραματικών τιμών-υπολογισμών όλων των ομάδων του πειράματος.....                         | 133 |
| Πίνακας 8.2 Συγκεντρωτικός πίνακας μέσων τιμών.....   | 133 |
| Πίνακας 8.2 Υπολογισμού των λόγων $f_{cc}/f_{co}$ και $\epsilon_{cc}/\epsilon_{co}$ .....                                     | 134 |

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

|  |     |
|--|-----|
| Σχήμα 3.1 Αριθμητική προσομοίωση τοιχίου-προβόλου σκυροδέματος υπό συνθήκες εντός επιπέδου κάμψης (αντοχή σε εφελκυσμό $f_{ctm}=4.5\text{Μpa}$ ). [5]..... | 23  |
| Σχήμα 3.2 Εφελκυστική εντατική κατάσταση στην περιοχής ρωγμής, σε στοιχείο Σκυροδέματος [5] .....  | 23  |
| Σχήμα 3.3 Βλάβες υποστυλωμάτων [4].....  | 26  |
| Σχήμα 3.4 Διατμητική αστοχία “κοντού” υποστυλώματος [4] .....  | 26  |
| Σχήμα 3.5 Βλάβη υποστυλωμάτων στη συνέχεια μμονόπλευρων τοιχοπληρώσεων [4].....  | 27  |
| Σχήμα 3.6 Βαθμοί βλάβης σε υποστυλώματα και τοιχώματα.....   | 28  |
| Σχήμα 3.7 Στρατηγικές ενίσχυσης. [14].....   | 31  |
| Σχήμα 4.1 Τυπικές καμπύλες εφελκυστικής τάσης-παραμόρφωσης για διάφορους τύπους.....   | 41  |
| Σχήμα 4.2 Εναλλακτικός τρόπος εφαρμογής της ενίσχυσης [19].....  | 50  |
| Σχήμα 4.3 Καμπύλες θλιπτικής τάσης – παραμόρφωσης για σκυρόδεμα περισφιγμένο με σύνθετα υλικά [15] .....   | 51  |
| Σχήμα 6.1 Η επίδραση στην κατανομή τάσεων κυβικής διατομής σκυροδέματος ντυμένης με CFRP με άμβλυνση των ακμών και μη.....                                 | 94  |
| Σχήμα 6.2 Αγκύρωση υφάσματος σε κυλινδρικό δοκίμιο με μήκος μάτισης υφάσματος ίσο με το $\frac{1}{4}$ της περιμέτρου [29].....                             | 105 |
| Σχήμα 7.1 Ικανοποιητικός τρόπος θραύσης κυβικού δοκιμίου .....   | 111 |
| Σχήμα 7.2 Ικανοποιητικός τρόπος θραύσης των κυλίνδρων.....   | 121 |
| Σχήμα 8.1 Η επίδραση στην κατανομή τάσεων κυλινδρικής διατομής σκυροδέματος ντυμένης με CFRP (ενεργή διατομή κυλίνδρου) [29] .....                         | 135 |
| Σχήμα 8.2 Περιορισμός των ακτινικών τάσεων σε δοκίμια κυκλικής διατομής λόγω του CFRP [29] .....   | 136 |
| Σχήμα 8.3 (α) Ενεργή διατομή σε κυβικό δοκίμιο, (β) Μορφή θραύσης κυβικού δοκιμίου με CFRP [29] .....  | 136 |
| Σχήμα 8.4 Απεικόνιση εντατικής κατάστασης κυλίνδρου υπό αξονική θλίψη.....   | 137 |

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

|   |     |
|---|-----|
| Διάγραμμα 5.1 Γενική μορφή διαγράμματος τάσεων – παραμορφώσεων σκυροδέματος [39].....   | 55  |
| Διάγραμμα 5.2 Τυπικές περιοχές καμπύλης τάσεων παραμορφώσεων του σκυροδέματος [20] .....  | 56  |
| Διάγραμμα 5.3 Χαρακτηριστικό (παραβολικό – ορθογωνικό) διάγραμμα και διάγραμμα σχεδιασμού τάσεων – παραμορφώσεων σκυροδέματος [20]..... | 57  |
| Διάγραμμα 5.4 Χαρακτηριστικό συγκριτικό διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης περισφιγμένου με ΙΟΠ σκυροδέματος και απερίσφικτου [3].....      | 57  |
| Διάγραμμα 5.5 Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών σκυροδέματος C30/37.....  | 63  |
| Διάγραμμα 7.1 Διόρθωση σφάλματος μηχανής στο διάγραμμα τάσης παραμόρφωσης .....   | 114 |
| Διάγραμμα 7.2 Χαρακτηριστικό διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης κυβικού δοκιμίου.....   | 115 |
| Διάγραμμα 7.3 Χαρακτηριστικό διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης κυβικού δοκιμίου με CFRP119   |     |
| Διάγραμμα 7.4 Χαρακτηριστικό διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης κυλινδρικού δοκιμίου .....  | 124 |
| Διάγραμμα 7.5 Χαρακτηριστικό διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης κυλινδρικού δοκιμίου με CFRP .....  | 129 |
| Διάγραμμα 8.1 Τάσης ( $\sigma$ ) – παραμόρφωσης ( $\epsilon$ ) κυβικών δοκιμίων .....   | 130 |
| Διάγραμμα 8.2 Τάσης ( $\sigma$ ) – παραμόρφωσης ( $\epsilon$ ) κυλινδρικών δοκιμίων .....   | 132 |
| Διάγραμμα 8.3 Τάσης ( $\sigma$ ) – παραμόρφωσης ( $\epsilon$ ) των δοκιμίων όλων των ομάδων.....  | 134 |

## ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, μελετάται η πειραματική αύξηση της θλιπτικής αντοχής, κυβικών και κυλινδρικών δοκιμίων, χρησιμοποιώντας διπλή στρώση μανδύα από ανθρακονήματα.

Για το σκοπό αυτό παρασκευάζονται 16 άοπλα δοκίμια. Εκπονούνται συνολικά 16 πειραματικές δοκιμές σε κεντρική μονοαξονική θλίψη. Τα δοκίμια χωρίζονται σε τέσσερις ομάδες και κάθε ομάδα στελεχώνεται από τέσσερα ίδια δοκίμια. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυβικά διαστάσεων 15 cm πλάτος, 15 cm μήκος, 15 cm ύψος από άοπλο σκυρόδεμα. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυβικά διαστάσεων 15 cm πλάτος, 15 cm μήκος, 15 cm ύψος από άοπλο σκυρόδεμα ενισχυμένο με δύο στρώσεις CFRP. Η τρίτη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυλινδρικά 30 cm ύψος, 15 cm διάμετρο από άοπλο σκυρόδεμα και η τέταρτη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυλινδρικά 30 cm ύψος, 15 cm διάμετρο από άοπλο σκυρόδεμα ενισχυμένο με δύο στρώσεις CFRP.

Οι πειραματικές μετρήσεις δείχνουν την αύξηση της θλιπτικής αντοχής στα δοκίμια που εφαρμόστηκαν οι δύο στρώσεις μανδύα CFRP, καταλήγοντας σε συγκριτικά διαγράμματα τάσης – παραμόρφωσης, σύμφωνα με τα οποία προκύπτει η διεύρυνση της πλαστικής περιοχής προσφέροντας αύξηση της θλιπτικής αντοχής της παραμορφωσιμότητας (δηλαδή της οριακής παραμόρφωσης) του σκυροδέματος και της πλαστιμότητας.

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω, οι μανδύες από ανθρακονήματα εφαρμόζονται σήμερα εκτενώς στην ενίσχυση των υποστυλωμάτων κατασκευών οι οποίες ανεγέρθησαν με παλαιούς κανονισμούς, καλύπτοντας επαρκώς τον ελλιπή διατμητικό οπλισμό (συνδετήρες) που παρουσιάζουν.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η πειραματική αύξηση της θλιπτικής αντοχής, κυβικών και κυλινδρικών δοκιμίων, με την εφαρμογή νέων σύγχρονων τεχνητών σύνθετων υλικών, όπως τα ινοπλισμένα πολυμερή υλικά.

Η τεχνική αυτή χαρακτηρίζεται για την ευκολία εφαρμογής της κατά τη διαδικασία ενίσχυσης και αποκατάσταση βλαβών των υποστυλωμάτων, προσφέροντας αύξηση της θλιπτικής αντοχής της παραμορφωσιμότητας (δηλαδή της οριακής παραμόρφωσης) του σκυροδέματος και της πλαστιμότητας, όχι όμως της δυσκαμψίας. Αναλύονται εκτενώς τα χαρακτηριστικά, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ινοπλισμένων πολυμερών υλικών στα οποία ανήκουν και τα ανθρακονήματα που χρησιμοποιούνται στην εν λόγω πειραματική διαδικασία.

Συγκεκριμένα, παρασκευάζονται 16 άοπλα δοκίμια τα οποία πληρούν συγκεκριμένες προδιαγραφές σχεδιασμού. Για την παρασκευή των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα ποιότητας C30/37 με επιβραδυντή CHEM 1. Τα υφάσματα ανθρακονημάτων είναι S&P C-Sheet 240 (προϊόντα S&P Clever Reinforcement AG), μονής κατεύθυνσης, βάρους 430gr/m<sup>2</sup> με μέτρο ελαστικότητας 240 GPA. Χρησιμοποιήθηκε η εποξειδική ρητίνη SINMAST S2W δύο συστατικών ως στρώση ασταρώματος του σκυροδέματος. Ενώ, η εποξειδική ρητίνη SINMAST S2WV (κόλλα) εμποτισμού δύο συστατικών, χρησιμοποιήθηκε για την προσαρμογή και επικόλληση των υφασμάτων ενίσχυσης τεχνολογίας CFRPs / ΙΟΠ.

Η παρασκευή των δοκιμίων περιγράφεται σχολαστικά σε κάθε βήμα αφού έχει προηγηθεί η σχολαστική περιγραφή των τεχνικών ιδιοτήτων των παραπάνω χρησιμοποιούμενων υλικών του πειράματος.

Εκπονούνται συνολικά 16 πειραματικές δοκιμές σε κεντρική μονοαξονική θλίψη. Τα δοκίμια χωρίζονται σε τέσσερις ομάδες και κάθε ομάδα στελεχώνεται από τέσσερα ίδια δοκίμια. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυβικά διαστάσεων 15 cm πλάτος, 15 cm μήκος, 15 cm ύψος από άοπλο σκυρόδεμα. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυβικά διαστάσεων 15 cm πλάτος, 15 cm μήκος, 15 cm ύψος από άοπλο σκυρόδεμα ενισχυμένο με δύο στρώσεις CFRP. Η τρίτη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυλινδρικά 30 cm ύψος, 15 cm διάμετρο από άοπλο σκυρόδεμα και η τέταρτη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυλινδρικά 30 cm ύψος, 15 cm διάμετρο από άοπλο σκυρόδεμα ενισχυμένο με δύο στρώσεις CFRP.

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας καταγράφηκε η ασκούμενη θλιπτική δύναμη και η επιβράχυνση από τον πίνακα ενδείξεων της μηχανής θλίψης. Συντάχθηκε για κάθε ομάδα δοκιμίων πίνακας αποτελεσμάτων με τις ανωτέρω μετρήσεις, ενώ υπολογίσθηκε η ποσοστιαία παραμόρφωση και η τάση του κάθε δοκιμίου. Έγιναν διαγράμματα τάσης- παραμόρφωσης από το συνδυασμό των πειραματικών μετρήσεων και υπολογισμών.

Ακολουθεί η σύγκριση των αποτελεσμάτων και των διαγραμμάτων που προέκυψαν από τα πειράματα των 'ντυμένων' με τα υφάσματα από ανθρακονήματα και των απλών δοκιμίων, καθώς και αυτή των κυβικών με τα κυλινδρικά.

Τα αποτελέσματα της πειραματικής διερεύνησης έδειξαν την αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, πολύτιμη για την ενίσχυση των υποστυλωμάτων που ανεγέρθησαν με παλιούς κανονισμούς και παρουσιάζουν σημαντικές ελλείψεις σε διατμητικό σπλισμό – συνδετήρες.

Τέλος, παρουσιάζονται συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα ως απόρροια της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής.

## SUMMARY

The purpose of the present postgraduate thesis is the experimental increase of the compressive strength of cubic and cylindrical test samples by the application of contemporary artificial composite materials, namely fiber-reinforced polymeric ones.

This technique is characterized by its ease of application during procedures of reinforcing and restoring damages in the columns, offering increase in the compressive strength of deformability (that is, of marginal deformation) of the concrete and of plasticity, yet not of stiffness. The characteristics, the advantages and drawbacks of fiber-reinforced polymeric materials, whose parts the carbon fibers used in the aforementioned experimental procedure form, are extensively analysed.

More specifically, 16 unreinforced test samples which meet specific design specifications are produced. For their production concrete of quality C30/37 with retarder CHEM 1 were used. The carbon fiber fabrics used are S&P C-Sheet 240 (S&P Clever Reinforcement AG products), single-direction ones, weighing 430gr/m<sup>2</sup> and with modulus of elasticity 240 GPA. In addition, epoxide resin SINMAST S2W of two ingredients was used as concrete primer coat. Meanwhile, epoxide resin SINMAST S2WV (impregnation glue of two ingredients) was used for the adjustment and pasting of the reinforcement fabrics using technology CFRPs.

There is a step-by-step thorough description of the production procedures of the test samples preceded by a thorough description of the technical properties of the materials used in the experiment.

In total, 16 experimental trials in central compression are carried out. The test samples are separated in 4 groups and each group comprises four identical test samples. The first group consists of four cubic test samples 15 cm wide, 15 cm long and 15 cm high made of unreinforced concrete. The second group includes four cubic test samples 15 cm wide, 15 cm long and 15 cm high made of unreinforced concrete reinforced with two layers of CFRP. The third group is comprised of four cylindrical test samples 30 cm high and 15 cm in diameter made of unreinforced concrete, whereas, the fourth and last group is made up of four cylindrical test samples 30 cm high and 15 cm in diameter made of unreinforced concrete reinforced with two layers of CFRP .

## SUMMARY

During the experimental procedure, the applied compression force and the shortening were recorded via the indication panel of the compression machine. For each group of test samples a results table with relevant measurements was compiled while the stress of each test sample were calculated accordingly. The combination of experimental measurements and calculations also yielded diagrams pertaining to force-shortening and stress-deformation.

This is followed by a comparison of the findings which resulted from the experiments of the “dressed” in carbon- fiber fabric test samples with the simple ones, as well as, a comparison between the cubic and the cylindrical ones.

The results of the experimental investigation showed /proved the increase in the compressive strength of the concrete, which is a valuable finding regarding the reinforcement of columns built with old regulations exhibiting marked deficiency in shearing reinforcement-fasteners.

In conclusion, there is a presentation of relevant conclusions and suggestions for further research resulting from or in relevance to this thesis.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

#### 1.1 Γενικά

Τα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα στην Ελλάδα αποτελούν την πλειονότητα των κατασκευών που μελετήθηκαν και οικοδομήθηκαν τουλάχιστον έως τα τέλη της δεκαετίας του 1970. Ιδιαίτερα τα κτίρια που μελετήθηκαν και κατασκευάστηκαν με τους κανονισμούς πριν από το έτος 1985 (Αντισεισμικός του 1959 και Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος του 1954), έχουν αυξημένες πιθανότητες να εμφανίσουν πολύ σοβαρές βλάβες στο δομικό τους σύστημα κατά τη σεισμική δράση, καθώς αυτοί οι κανονισμοί παρουσιάζουν σημαντικές ελλείψεις σε σχέση με τους σύγχρονους. [14]

#### 1.2 Τα προβλήματα των παλαιών κατασκευών

Στη συντριπτική τους πλειοψηφία, τα υποστυλώματα των υφιστάμενων κατασκευών παρουσιάζουν μικρή αντισεισμική ικανότητα. Μία από τις βασικότερες αιτίες της περιορισμένη αντοχής των υποστυλωμάτων των υφιστάμενων κατασκευών στη σεισμική φόρτιση, είναι η ανεπάρκεια του μηχανισμού μεταφοράς των δυνάμεων στον πόδα του υποστυλώματος λόγω απουσίας οπλισμού διάτμησης, δηλαδή συνδετήρων.

Πολλά από αυτά τα κτίρια, κατά τη διάρκεια σημαντικών σεισμών που έχουν συμβεί στο διάστημα από την κατασκευή τους έως σήμερα, έχουν υποστεί μικρής ή μεγάλης έκτασης βλάβες.

Συγκεκριμένα, σε αυτά τα κτίρια συναντάμε συχνά στο κομμάτι του γενικού σχεδιασμού: μείωση των υποστυλωμάτων καθ' όροφο, μη «καθαρά» πλαισιακά συστήματα, μη πλάστιμα τοιχώματα, παρουσία φυτευτών υποστυλωμάτων, κοντών υποστυλωμάτων, έμμεσων στηρίξεων και έλλειψη ικανοτικού σχεδιασμού. Αναλυτικότερα, όσον αφορά στον οπλισμό των στοιχείων, χαρακτηριστική είναι η έλλειψη της λογικής περί πλάστιμης συμπεριφοράς, όπως η αραιή διάταξη των συνδετήρων, μικρά μήκη αγκύρωσης και μη θεώρηση κρίσιμης περιοχής.

Επιπλέον, η ποιότητα των υλικών υπολείπεται σημαντικά των μεταγενέστερων. Το χρησιμοποιούμενο σκυρόδεμα ήταν χαμηλότερης ποιότητας και ο χάλυβας οπλισμού υστερούσε σε πλαστιμότητα, ενώ γινόταν χρήση λείου χάλυβα. Συνεπώς, ένας προοδευτικά αυξανόμενος αριθμός υφιστάμενων κατασκευών, διαπιστώνεται ότι χρήζουν άμεσων επεμβάσεων ενίσχυσης της φέρουσας ικανότητας για την ανάληψη σεισμικών φορτίων. [14]

### 1.3 Εισαγωγή στην ενίσχυση κατασκευών με σύνθετα υλικά

Μέχρι πρόσφατα η ενίσχυση και η αποκατάσταση της φέρουσας ικανότητας κατασκευών από σκυρόδεμα αποτελούσε μείζον πρόβλημα, καθώς απαιτούσε σημαντικό χρόνο, χώρο και κόπο για να επιλυθεί. Βασικό μειονέκτημα των έως τώρα επεμβάσεων, ήταν η δυσκολία εφαρμογής τους. Οι επιστημονικές έρευνες και μελέτες στον τομέα της αποκατάστασης και της ενίσχυσης, κατέληξαν στην ανάπτυξη μιας νέας τεχνικής ενίσχυσης με χρήση σύνθετων υλικών που αποτελούνται από το συνδυασμό άνθρακα γυαλιού, αραμιδίου κλπ, σε μήτρα εποξειδικής ρητίνης ή πλεγμένες σε ύφασμα, ώστε να σχηματίζουν αντίστοιχα δύσκαμπτα ελάσματα ή εύκαμπτα υφάσματα μίας ή δύο διευθύνσεων, τα Ινοπλισμένα πολυμερή – Fiber Reinforced Polymers- FRP.

Η ενίσχυση με FRP μπορεί να εφαρμοσθεί σε στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα π.χ. δοκοί, πλακοδοκοί, πλάκες, υποστυλώματα, τοιχία, κόμβοι, σε στοιχεία από φέρουσα τοιχοποιία, καθώς και σε στοιχεία από ξύλο. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως τένοντες ή ως μέσο ενίσχυσης στο σκυρόδεμα, είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό με προεντεταμένο χάλυβα ή χάλυβα οπλισμού. Η εφαρμογή τους ως οπλισμός ενίσχυσης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος ή φέρουσας τοιχοποιίας συνίσταται, στην μέσω εποξειδικών ρητινών επικόλληση τους, σε εξωτερικές επιφάνειες δομικών μελών με προσανατολισμό ινών τέτοιο ώστε να παραλαμβάνουν εφελκυστικές δυνάμεις. [7]

### 1.4 Σκοπός της παρούσας εργασίας

Δεδομένης της απουσίας οπλισμού διάτμησης, δηλαδή συνδετήρων που παρατηρείται στα υποστυλώματα παλαιών κατασκευών και η ανάγκη επισκευής και ενίσχυσης, αποτέλεσε το έναυσμα για την εκπόνηση της εν λόγω εργασίας.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η πειραματική αύξηση της θλιπτικής αντοχής, κυβικών και κυλινδρικών δοκιμίων, με την εφαρμογή νέων σύγχρονων τεχνητών σύνθετων υλικών, όπως τα ινοπλισμένα πολυμερή υλικά.

Για της ανάγκες αυτής της διερεύνησης εκπονούνται συνολικά 16 πειραματικές δοκιμές σε κεντρική μονοαξονική θλίψη. Τα δοκίμια χωρίζονται σε τέσσερις ομάδες και κάθε ομάδα στελεχώνεται από τέσσερα ίδια δοκίμια.

- Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυβικά διαστάσεων 15 cm πλάτος, 15 cm μήκος, 15 cm ύψος από άοπλο σκυρόδεμα.
- Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυβικά διαστάσεων 15 cm πλάτος, 15 cm μήκος, 15 cm ύψος από άοπλο σκυρόδεμα ενισχυμένο με δύο στρώσεις CFRP.
- Η τρίτη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυλινδρικά 30 cm ύψος, 15 cm διάμετρο από άοπλο σκυρόδεμα
- Η τέταρτη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυλινδρικά 30 cm ύψος, 15 cm διάμετρο από άοπλο σκυρόδεμα ενισχυμένο με δύο στρώσεις CFRP.

Στόχος της εργασίας είναι να διαπιστωθεί η αύξηση της θλιπτικής αντοχής της παραμορφωσιμότητας (δηλαδή της οριακής παραμόρφωσης) του σκυροδέματος και της πλαστιμότητας, σε δοκίμια - υποστυλώματα (κυλινδρικά & κυβικά) με τη μέθοδο ενίσχυσης με μανδύες από ανθρακονήματα, για τη μετέπειτα εφαρμογή τους σε υφιστάμενες κατασκευές που χρήζουν ενίσχυση και αποκατάσταση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

### ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΗ ΕΡΕΥΝΑ

#### 2.1 Γενικά

Η ενίσχυση με τη χρήση υφασμάτων με ινοπλισμένα πολυμερή (FRP) ως ένα εξωτερικό μέσο για την ενίσχυση των υφιστάμενων στύλων έχει αναδειχθεί τα τελευταία χρόνια με πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα, μεταξύ άλλων.

Αρκετές μελέτες έχουν εκπονηθεί σχετικά με την απόδοση των υποστυλωμάτων που έχουν περισιφισθεί με FRP, χρησιμοποιώντας τόσο πειραματικές όσο και αναλυτικές προσεγγίσεις. Αυτή η τεχνική ενίσχυσης έχει αποδειχθεί ότι είναι πολύ αποτελεσματική στην αύξηση της πλαστιμότητας και του αξονικού φορτίου. Ωστόσο, η πλειοψηφία αυτών των μελετών έχουν επικεντρωθεί στην απόδοση των στύλων κυκλικής διατομής. Τα διαθέσιμα στοιχεία για τις στήλες τετραγωνικής ή ορθογώνιας διατομής έχουν αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, αλλά εξακολουθούν να είναι περιορισμένα. Αυτό το πεδίο παραμένει σε αναπτυξιακό στάδιο και απαιτούνται περισσότερες δοκιμές και αναλύσεις που είναι απαραίτητες για τη διερεύνηση των ικανοτήτων τους, των περιορισμών τους, και την εφαρμογή του σχεδιασμού τους.

#### 2.2 Έρευνα των Riad Benzaid και Habib-Abdelhak Mesbah

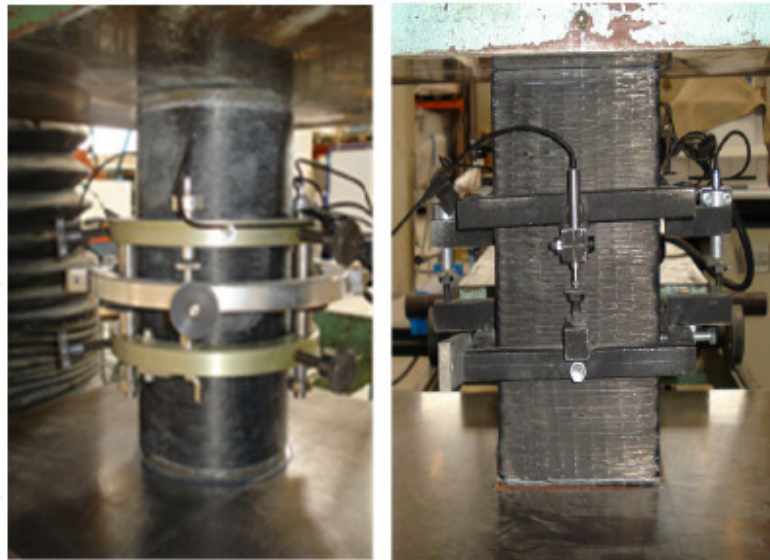
Η πειραματική μελέτη των ερευνητών Riad Benzaid και Habib-Abdelhak Mesbah, έλαβε χώρα το έτος 2013 και ασχολείται με μια σειρά δοκιμών από κυλινδρικά και κυβικών δοκίμια από άοπλο σκυρόδεμα (PC) και μια σειρά από οπλισμένο σκυρόδεμα (RC), στα οποία εφαρμόζονται περιμετρικά φύλλα από ίνες άνθρακα (CFRP) και υποβάλλονται σε κεντρική μονοαξονική θλίψη.

Οι χρησιμοποιούμενοι συμβολισμοί των δοκιμών έχουν ως εξής. Το πρώτο γράμμα είναι: C και αναφέρεται στο κυλινδρικό μοντέλο και S για το κυβικό. Τα επόμενα δύο γράμματα δείχνουν την ποιότητα του σκυροδέματος: PC για το άοπλο σκυρόδεμα και RC για το οπλισμένο σκυρόδεμα, που ακολουθείται από σκυρόδεμα ποιότητας: I για την κανονική αντοχή (26 MPa), II για μεσαία αντοχή (50 MPa) και III για την υψηλή αντοχή (62 MPa). Τα τελευταία γράμματα καθορίζουν τον αριθμό των CFRP στρώματα (0L, 1L και 3L), ακολουθούμενη από τον αριθμό των δειγμάτων.

Στον πίνακα που ακολουθεί αναγράφονται τα χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων δοκιμών (διαστάσεις, στρώσεις FRP κλπ)

| Specimen designation | Concrete mixture | Nominal dimensions [mm] | Number of CFRP layers | Number of specimens | Unconfined concrete strength [MPa] |
|----------------------|------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------------------|
| CPCI.0L              |                  |                         | 0                     | 2                   |                                    |
| CPCI.1L              |                  |                         | 1                     | 1                   |                                    |
| CPCI.3L              | I                | Ø160 x 320              | 3                     | 1                   |                                    |
| CRCI.0L              |                  |                         | 0                     | 2                   |                                    |
| CRCI.1L              |                  |                         | 1                     | 2                   |                                    |
| CRCI.3L              |                  |                         | 3                     | 2                   | 26                                 |
| SPCI.0L              |                  |                         | 0                     | 2                   |                                    |
| SPCI.1L              |                  |                         | 1                     | 1                   |                                    |
| SPCI.3L              | I                | 140x140x280             | 3                     | 1                   |                                    |
| SRCI.0L              |                  |                         | 0                     | 2                   |                                    |
| SRCI.1L              |                  |                         | 1                     | 2                   |                                    |
| SRCI.3L              |                  |                         | 3                     | 2                   |                                    |
| CPCII.0L             |                  |                         | 0                     | 2                   |                                    |
| CPCII.1L             |                  |                         | 1                     | 1                   |                                    |
| CPCII.3L             | II               | Ø160 x 320              | 3                     | 1                   |                                    |
| CRCII.0L             |                  |                         | 0                     | 2                   |                                    |
| CRCII.1L             |                  |                         | 1                     | 2                   |                                    |
| CRCII.3L             |                  |                         | 3                     | 2                   | 50                                 |
| SPCII.0L             |                  |                         | 0                     | 2                   |                                    |
| SPCII.1L             |                  |                         | 1                     | 1                   |                                    |
| SPCII.3L             | II               | 140x140x280             | 3                     | 1                   |                                    |
| SRCII.0L             |                  |                         | 0                     | 2                   |                                    |
| SRCII.1L             |                  |                         | 1                     | 2                   |                                    |
| SRCII.3L             |                  |                         | 3                     | 2                   |                                    |
| CPCIII.0L            |                  |                         | 0                     | 2                   |                                    |
| CPCIII.1L            |                  |                         | 1                     | 1                   |                                    |
| CPCIII.3L            | III              | Ø160 x 320              | 3                     | 1                   |                                    |
| CRCIII.0L            |                  |                         | 0                     | 2                   |                                    |
| CRCIII.1L            |                  |                         | 1                     | 2                   |                                    |
| CRCIII.3L            |                  |                         | 3                     | 2                   | 62                                 |
| SPCIII.0L            |                  |                         | 0                     | 2                   |                                    |
| SPCIII.1L            |                  |                         | 1                     | 1                   |                                    |
| SPCIII.3L            | III              | 140x140x280             | 3                     | 1                   |                                    |
| SRCIII.0L            |                  |                         | 0                     | 2                   |                                    |
| SRCIII.1L            |                  |                         | 1                     | 2                   |                                    |
| SRCIII.3L            |                  |                         | 3                     | 2                   |                                    |

Πίνακας 2.1 Λεπτομέρειες & τεχνικά χαρακτηριστικά πειραματικών δοκιμίων [29]



Εικόνα 2.1 Δοκίμια πριν την εκτέλεση του πειράματος [29]



Εικόνα 2.2 Δοκίμια μετά την εκτέλεση του πειράματος [29]

Τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών, αναγράφονται στους πίνακες που ακολουθούν.

| Concrete mixture | Specimen Code | $f'_{co}$ [MPa] | $f'_{cc}$ [MPa] | $f'_{cc}/f'_{co}$ | $\epsilon_{cc}$ [‰] | $\epsilon_{ccr}/\epsilon_{cc}$ | $\epsilon_{t,exp}$ [‰] | $\epsilon_{t,exp}/\epsilon_{cc}$ |
|------------------|---------------|-----------------|-----------------|-------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------------|
|                  | CPCI.0L       |                 | 25.93           | 1.00              | 2.73                | 1.00                           | 1.77                   | 1.00                             |
|                  | CPCI.1L       | 25.93           | 39.63           | 1.52              | 12.78               | 4.68                           | 13.12                  | 7.41                             |
|                  | CPCI.3L       |                 | 66.14           | 2.55              | 15.16               | 5.55                           | 13.18                  | 7.44                             |
| I (26MPa)        | CRCI.0L       |                 | 29.51           | 1.00              | 3.77                | 1.00                           | 4.95                   | 1.00                             |
|                  | CRCI.1L       | 29.51           | 49.88           | 1.69              | 15.34               | 4.06                           | 13.15                  | 2.65                             |
|                  | CRCI.3L       |                 | 71.35           | 2.41              | 22.98               | 6.09                           | 13.24                  | 2.67                             |
|                  | CPCII.0L      |                 | 49.46           | 1.00              | 1.69                | 1.00                           | 1.33                   | 1.00                             |
|                  | CPCII.1L      | 49.46           | 52.75           | 1.06              | 2.52                | 1.49                           | 2.90                   | 2.18                             |
|                  | CPCII.3L      |                 | 82.91           | 1.67              | 7.27                | 4.30                           | 13.15                  | 9.88                             |
| II (50MPa)       | CRCII.0L      |                 | 58.24           | 1.00              | 3.02                | 1.00                           | 5.05                   | 1.00                             |
|                  | CRCII.1L      | 58.24           | 77.51           | 1.33              | 8.36                | 2.76                           | 13.16                  | 2.60                             |
|                  | CRCII.3L      |                 | 100.41          | 1.72              | 13.58               | 4.49                           | 13.18                  | 2.61                             |
|                  | CPCIII.0L     |                 | 61.81           | 1.00              | 2.64                | 1.00                           | 2.40                   | 1.00                             |
|                  | CPCIII.1L     | 61.81           | 62.68           | 1.01              | 3.04                | 1.15                           | 2.46                   | 1.02                             |
|                  | CPCIII.3L     |                 | 93.19           | 1.50              | 9.80                | 3.71                           | 12.89                  | 5.37                             |
| III (62MPa)      | CRCIII.0L     |                 | 63.01           | 1.00              | 2.69                | 1.00                           | 4.90                   | 1.00                             |
|                  | CRCIII.1L     | 63.01           | 76.21           | 1.20              | 3.75                | 1.39                           | 5.20                   | 1.06                             |
|                  | CRCIII.3L     |                 | 94.81           | 1.50              | 6.18                | 2.29                           | 5.62                   | 1.14                             |
|                  | SPCI.0L       |                 | 24.77           | 1.00              | 2.17                | 1.00                           | 3.62                   | 1.00                             |
|                  | SPCI.1L       | 24.77           | 27.66           | 1.11              | 5.58                | 2.57                           | 12.23                  | 3.37                             |
|                  | SPCI.3L       |                 | 32.03           | 1.29              | 6.05                | 2.78                           | 13.23                  | 3.65                             |
| I (26MPa)        | SRCI.0L       |                 | 33.59           | 1.00              | 4.29                | 1.00                           | 9.38                   | 1.00                             |
|                  | SRCI.1L       | 33.59           | 41.02           | 1.22              | 6.08                | 1.41                           | 11.58                  | 1.23                             |
|                  | SRCI.3L       |                 | 49.12           | 1.46              | 8.40                | 1.95                           | 14.38                  | 1.53                             |
|                  | SPCII.0L      |                 | 48.53           | 1.00              | 3.38                | 1.00                           | 3.83                   | 1.00                             |
|                  | SPCII.1L      | 48.53           | 52.52           | 1.08              | 4.03                | 1.19                           | 7.34                   | 1.91                             |
|                  | SPCII.3L      |                 | 58.25           | 1.20              | 6.72                | 1.98                           | 9.88                   | 2.57                             |
| II (50MPa)       | SRCII.0L      |                 | 52.82           | 1.00              | 4.07                | 1.00                           | 7.50                   | 1.00                             |
|                  | SRCII.1L      | 52.82           | 62.04           | 1.17              | 5.41                | 1.32                           | 8.56                   | 1.14                             |
|                  | SRCII.3L      |                 | 69.09           | 1.30              | 6.89                | 1.69                           | 10.83                  | 1.44                             |
|                  | SPCIII.0L     |                 | 59.53           | 1.00              | 3.56                | 1.00                           | 3.89                   | 1.00                             |
|                  | SPCIII.1L     | 59.53           | 61.30           | 1.02              | 3.69                | 1.03                           | 3.97                   | 1.02                             |
|                  | SPCIII.3L     |                 | 70.35           | 1.18              | 4.94                | 1.38                           | 6.69                   | 1.71                             |
| III (62MPa)      | SRCIII.0L     |                 | 63.79           | 1.00              | 3.75                | 1.00                           | 5.71                   | 1.00                             |
|                  | SRCIII.1L     | 63.79           | 74.84           | 1.17              | 3.87                | 1.03                           | 5.74                   | 1.01                             |
|                  | SRCIII.3L     |                 | 79.59           | 1.24              | 5.14                | 1.37                           | 7.96                   | 1.39                             |

Πίνακας 2.2 Αποτελέσματα δοκιμών με μανδύα CFRP [29]

| Concrete mixture | Specimen code          | $\epsilon_u$ (%) | $\epsilon_{h,rupt}$ (%) | $\epsilon_{h,rupt}/\epsilon_u$ |
|------------------|------------------------|------------------|-------------------------|--------------------------------|
| I (26 MPa)       | CRCI.1L <sub>1</sub>   | 14               | 13.15                   | 0.939                          |
|                  | CRCI.1L <sub>2</sub>   | 14               | 13.16                   | 0.940                          |
|                  | CRCI.3L <sub>1</sub>   | 14               | 14.06                   | 1.004                          |
|                  | CRCI.3L <sub>2</sub>   | 14               | 12.42                   | 0.887                          |
|                  | CPCI.1L <sub>1</sub>   | 14               | 13.12                   | 0.937                          |
|                  | CPCI.3L <sub>1</sub>   | 14               | 13.18                   | 0.941                          |
| II (50 MPa)      | CRCII.1L <sub>1</sub>  | 14               | 13.17                   | 0.940                          |
|                  | CRCII.1L <sub>2</sub>  | 14               | 13.16                   | 0.940                          |
|                  | CRCII.3L <sub>1</sub>  | 14               | 13.20                   | 0.942                          |
|                  | CRCII.3L <sub>2</sub>  | 14               | 13.17                   | 0.940                          |
|                  | CPCII.1L <sub>1</sub>  | 14               | 2.90                    | 0.207                          |
|                  | CPCII.3L <sub>1</sub>  | 14               | 13.15                   | 0.939                          |
| III (62 MPa)     | CRCIII.1L <sub>1</sub> | 14               | 7.79                    | 0.556                          |
|                  | CRCIII.1L <sub>2</sub> | 14               | 2.61                    | 0.186                          |
|                  | CRCIII.3L <sub>1</sub> | 14               | 4.10                    | 0.292                          |
|                  | CRCIII.3L <sub>2</sub> | 14               | 7.15                    | 0.510                          |
|                  | CPCIII.1L <sub>1</sub> | 14               | 2.46                    | 0.175                          |
|                  | CPCIII.3L <sub>1</sub> | 14               | 12.89                   | 0.920                          |

Πίνακας 2.3 Σύγκριση τιμών πειραματικής και θεωρητική παραμόρφωσης [29]

| Specimen code          | $f_w$ (Mpa) | $t_{dp}$ (mm) | $E_{dp}$ (Gpa) | $\epsilon_u$ (%) | $\epsilon_{h,rupt}$ (%) | $f_t/f_w$ | $f_{t,CFRP}/f_w$ | $f_{c,CFRP}/f_w$ | $\epsilon_w$ (%) | $\epsilon_c/\epsilon_w$ |
|------------------------|-------------|---------------|----------------|------------------|-------------------------|-----------|------------------|------------------|------------------|-------------------------|
| CRCI.1L <sub>1</sub>   | 29.51       | 1             | 34             | 14               | 13.15                   | 0.201     | 0.189            | 1.714            | 3.77             | 4.225                   |
| CRCI.1L <sub>2</sub>   | 29.51       | 1             | 34             | 14               | 13.16                   | 0.201     | 0.189            | 1.666            | 3.77             | 3.912                   |
| CRCI.3L <sub>1</sub>   | 29.51       | 3             | 34             | 14               | 14.06                   | 0.604     | 0.607            | 2.400            | 3.77             | 5.893                   |
| CRCI.3L <sub>2</sub>   | 29.51       | 3             | 34             | 14               | 12.42                   | 0.604     | 0.536            | 2.435            | 3.77             | 6.297                   |
| CPCI.1L <sub>1</sub>   | 25.93       | 1             | 34             | 14               | 13.12                   | 0.229     | 0.215            | 1.528            | 2.73             | 4.681                   |
| CPCI.3L <sub>1</sub>   | 25.93       | 3             | 34             | 14               | 13.18                   | 0.688     | 0.648            | 2.550            | 2.73             | 5.553                   |
| CRCII.1L <sub>1</sub>  | 58.24       | 1             | 34             | 14               | 13.17                   | 0.102     | 0.096            | 1.302            | 3.02             | 2.440                   |
| CRCII.1L <sub>2</sub>  | 58.24       | 1             | 34             | 14               | 13.16                   | 0.102     | 0.096            | 1.359            | 3.02             | 3.096                   |
| CRCII.3L <sub>1</sub>  | 58.24       | 3             | 34             | 14               | 13.20                   | 0.306     | 0.288            | 1.742            | 3.02             | 4.543                   |
| CRCII.3L <sub>2</sub>  | 58.24       | 3             | 34             | 14               | 13.17                   | 0.306     | 0.288            | 1.705            | 3.02             | 4.450                   |
| CPCII.1L <sub>1</sub>  | 49.46       | 1             | 34             | 14               | 2.90                    | 0.120     | 0.024            | 1.066            | 1.69             | 1.491                   |
| CPCII.3L <sub>1</sub>  | 49.46       | 3             | 34             | 14               | 13.15                   | 0.360     | 0.338            | 1.676            | 1.69             | 4.301                   |
| CRCIII.1L <sub>1</sub> | 63.01       | 1             | 34             | 14               | 7.79                    | 0.094     | 0.052            | 1.237            | 2.69             | 1.706                   |
| CRCIII.1L <sub>2</sub> | 63.01       | 1             | 34             | 14               | 2.61                    | 0.094     | 0.017            | 1.181            | 2.69             | 1.081                   |
| CRCIII.3L <sub>1</sub> | 63.01       | 3             | 34             | 14               | 4.10                    | 0.283     | 0.082            | 1.506            | 2.69             | 1.438                   |
| CRCIII.3L <sub>2</sub> | 63.01       | 3             | 34             | 14               | 7.15                    | 0.283     | 0.144            | 1.503            | 2.69             | 3.156                   |
| CPCIII.1L <sub>1</sub> | 61.81       | 1             | 34             | 14               | 2.46                    | 0.096     | 0.016            | 1.014            | 2.64             | 1.151                   |
| CPCIII.3L <sub>1</sub> | 61.81       | 3             | 34             | 14               | 12.89                   | 0.288     | 0.265            | 1.507            | 2.64             | 3.711                   |

Πίνακας 2.4 Δεδομένα και αποτελέσματα κυλινδρικών δοκιμών με CFRP [29]



| Specimen code          | $f'_{cc}$ (Mpa) | $t_{dtp}$ (mm) | $E_{dtp}$ (Gpa) | $\epsilon_{fo}$ (%) | $\epsilon_{h,exp}$ (%) | d (mm)  | $f_t/f'_{cc}$ | $f_{t,exp}/f'_{cc}$ | $f_{cc}/f'_{cc}$ | $\epsilon_{cc}$ (%) | $\epsilon_{cc}/\epsilon_{cc}$ (%) |
|------------------------|-----------------|----------------|-----------------|---------------------|------------------------|---------|---------------|---------------------|------------------|---------------------|-----------------------------------|
| SRCI.1L <sub>1</sub>   | 33.59           | 1              | 34              | 14                  | 10.28                  | 197.989 | 0.097         | 0.105               | 1.2051           | 4.29                | 1.249                             |
| SRCI.1L <sub>2</sub>   | 33.59           | 1              | 34              | 14                  | 12.88                  | 197.989 | 0.097         | 0.131               | 1.2373           | 4.29                | 1.585                             |
| SRCI.3L <sub>1</sub>   | 33.59           | 3              | 34              | 14                  | 13.47                  | 197.989 | 0.292         | 0.413               | 1.4534           | 4.29                | 2.093                             |
| SRCI.3L <sub>2</sub>   | 33.59           | 3              | 34              | 14                  | 15.30                  | 197.989 | 0.292         | 0.469               | 1.4713           | 4.29                | 1.825                             |
| SPCI.1L <sub>1</sub>   | 24.77           | 1              | 34              | 14                  | 12.23                  | 197.989 | 0.132         | 0.169               | 1.1167           | 2.17                | 2.571                             |
| SPCI.3L <sub>1</sub>   | 24.77           | 3              | 34              | 14                  | 13.23                  | 197.989 | 0.396         | 0.550               | 1.2931           | 2.17                | 2.788                             |
| SRCII.1L <sub>1</sub>  | 52.82           | 1              | 34              | 14                  | 7.60                   | 197.989 | 0.061         | 0.049               | 1.2009           | 4.07                | 1.066                             |
| SRCII.1L <sub>2</sub>  | 52.82           | 1              | 34              | 14                  | 9.53                   | 197.989 | 0.061         | 0.061               | 1.1484           | 4.07                | 1.594                             |
| SRCII.3L <sub>1</sub>  | 52.82           | 3              | 34              | 14                  | 11.56                  | 197.989 | 0.185         | 0.225               | 1.2755           | 4.07                | 1.909                             |
| SRCII.3L <sub>2</sub>  | 52.82           | 3              | 34              | 14                  | 10.11                  | 197.989 | 0.185         | 0.197               | 1.3406           | 4.07                | 1.476                             |
| SPCII.1L <sub>1</sub>  | 48.53           | 1              | 34              | 14                  | 7.34                   | 197.989 | 0.067         | 0.051               | 1.0822           | 3.38                | 1.192                             |
| SPCII.3L <sub>1</sub>  | 48.53           | 3              | 34              | 14                  | 9.88                   | 197.989 | 0.202         | 0.209               | 1.2003           | 3.38                | 1.988                             |
| SRCIII.1L <sub>1</sub> | 63.79           | 1              | 34              | 14                  | 5.78                   | 197.989 | 0.051         | 0.031               | 1.1422           | 3.75                | 1.026                             |
| SRCIII.1L <sub>2</sub> | 63.79           | 1              | 34              | 14                  | 5.71                   | 197.989 | 0.051         | 0.030               | 1.2043           | 3.75                | 1.037                             |
| SRCIII.3L <sub>1</sub> | 63.79           | 3              | 34              | 14                  | 7.16                   | 197.989 | 0.153         | 0.115               | 1.2475           | 3.75                | 1.338                             |
| SRCIII.3L <sub>2</sub> | 63.79           | 3              | 34              | 14                  | 8.76                   | 197.989 | 0.153         | 0.141               | 1.2478           | 3.75                | 1.402                             |
| SPCIII.1L <sub>1</sub> | 59.53           | 1              | 34              | 14                  | 3.97                   | 197.989 | 0.054         | 0.022               | 1.0297           | 3.56                | 1.036                             |
| SPCIII.3L <sub>1</sub> | 59.53           | 3              | 34              | 14                  | 6.69                   | 197.989 | 0.164         | 0.115               | 1.1818           | 3.56                | 1.387                             |

Πίνακας 2.5 Δεδομένα και αποτελέσματα κυβικών δοκιμών με CFRP [29]

Τα αποτελέσματα των δοκιμών που περιγράφονται παραπάνω δείχνουν ότι οι στρώσεις CFRP μπορεί να ενισχύσουν σημαντικά την θλιπτική αντοχή των δοκιμών. Ενδεικτικά αναφέρουμε τα αποτελέσματα για την κατηγορία δοκιμών RC. Συγκεκριμένα, για κανονική αντοχή (26MPa) τα RC δοκίμια με κυκλική και τετραγωνική διατομή, παρουσίασαν αύξηση στη δύναμη της τάξης του 69% και 22%. Τα δοκίμια με 1 στρώση, 141% και 46% και τα δοκίμια με 3 στρώσεις CFRP, αντίστοιχα. Ενώ οι αντίστοιχες τιμές για σκυρόδεμα μέσης αντοχής (50 MPa) ήταν 33% και 17% για 1 στρώμα, 72% και 30% για 3 στρώσεις CFRP. Όσον αφορά τα δοκίμια με σκυροδέματος υψηλής αντοχής (62 MPa) με κυκλική και τετραγωνική διατομή,  $f'_{cc}$ , αυξήθηκαν κατά μέσο όρο 20% και 17% για 1 στρώμα, 50% και 24% για CFRP με 3 στρώσεις, αντίστοιχα.

### 2.3 Συγκεντρωτικά στοιχεία από προγενέστερες έρευνες

Στην παραπάνω μελέτη των Riad Benzaid και Habib-Abdelhak Mesbah συμπεριλαμβάνεται και η ομαδοποίηση στους πίνακες που ακολουθούν προγενέστερων πειραματικών ερευνών διαφόρων πανεπιστημίων παγκοσμίως, σχετικά με την εφαρμογή των ινοπλισμένων πολυμερών υλικών και ιδιότητες που προσδίδουν σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα μετά την εφαρμογή τους.

Αναλυτικότερα για τη σύνταξη των αποτελεσμάτων στους πίνακες που ακολουθούν έχουν χρησιμοποιηθεί έρευνες από τους:

- Demer M. & Neale K. W. το έτος 1994
- Rochette P. το έτος 1996
- Liki A. Kumbasar N. & Kos V. το έτος 2003
- Lam L. & Teng J. G. το έτος 2003
- Matthys S., Toutanji H., Audenaert K & Taerwe L. το έτος 2005
- Lam L., Tehg J. G., Cheung C. H. & Xiao Y. το έτος 2006
- JiangT. & Teng J. το έτος 2007
- Benzaid R. το έτος 2010

Τα αποτελέσματα αφορούν στα κάτωθι:

- Συγκριτικά αποτελέσματα πειραματικών και θεωρητικών τιμών της θλιπτικής αντοχής
- Συγκριτικά αποτελέσματα πειραματικών και θεωρητικών τιμών της αξονικής παραμόρφωσης
- Παρουσίαση των πειραματικών αποτελεσμάτων της θλιπτικής αντοχής
- Παρουσίαση των πειραματικών αποτελεσμάτων της αξονικής παραμόρφωσης

| Specimen code                       | FRP Type | $f_{cu}$ (Mpa) | $E_{fp}$ (Gpa) | $\epsilon_{fu}$ (%) | $t_{fp}$ (mm) | $d$ (mm) | $f_l$ (Mpa) | $k_1$ | $f_{c,thm}$ (Mpa) | $f'_{c,exp}$ (Mpa) | $f_{c,thm}/f'_{c,exp}$ |
|-------------------------------------|----------|----------------|----------------|---------------------|---------------|----------|-------------|-------|-------------------|--------------------|------------------------|
| <b>Matthys et al. (2005)</b>        |          |                |                |                     |               |          |             |       |                   |                    |                        |
| k2                                  | CFRP     | 32             | 198            | 11.9                | 0.585         | 400      | 6.891       | 1.6   | 43.027            | 54.30              | 0.792                  |
| k8                                  | HFRP     | 32             | 120            | 9.6                 | 0.492         | 400      | 2.833       | 1.6   | 36.534            | 44.40              | 0.822                  |
| <b>Ilki et al. (2003)</b>           |          |                |                |                     |               |          |             |       |                   |                    |                        |
| CYL-5-1                             | CFRP     | 6.2            | 230            | 15                  | 0.825         | 150      | 37.950      | 1.6   | 66.920            | 87.70              | 0.763                  |
| CYL-5-2                             | CFRP     | 6.2            | 230            | 15                  | 0.825         | 150      | 37.950      | 1.6   | 66.920            | 82.70              | 0.809                  |
| <b>Lam et al. (2006)</b>            |          |                |                |                     |               |          |             |       |                   |                    |                        |
| CI-M1                               | CFRP     | 41.1           | 250            | 15.2                | 0.165         | 152      | 8.250       | 1.6   | 54.300            | 52.60              | 1.032                  |
| CI-M3                               | CFRP     | 41.1           | 250            | 15.2                | 0.165         | 152      | 8.250       | 1.6   | 54.300            | 55.40              | 0.980                  |
| CII-M3                              | CFRP     | 38.9           | 247            | 15.2                | 0.33          | 152      | 16.302      | 1.6   | 64.983            | 65.80              | 0.987                  |
| <b>Jiang et Teng (2007)</b>         |          |                |                |                     |               |          |             |       |                   |                    |                        |
| 36                                  | CFRP     | 38             | 240.7          | 15                  | 1.02          | 152      | 48.456      | 1.6   | 115.530           | 129                | 0.895                  |
| 39                                  | CFRP     | 38             | 240.7          | 15                  | 1.36          | 152      | 64.608      | 1.6   | 141.374           | 158.5              | 0.891                  |
| 40                                  | CFRP     | 37.7           | 260            | 15                  | 0.11          | 152      | 5.644       | 1.6   | 46.731            | 48.50              | 0.963                  |
| 41                                  | CFRP     | 37.7           | 260            | 15                  | 0.11          | 152      | 5.644       | 1.6   | 46.731            | 50.30              | 0.929                  |
| 42                                  | CFRP     | 44.2           | 260            | 15                  | 0.11          | 152      | 5.644       | 1.6   | 53.231            | 48.10              | 1.106                  |
| 43                                  | CFRP     | 44.2           | 260            | 15                  | 0.11          | 152      | 5.644       | 1.6   | 53.231            | 51.10              | 1.041                  |
| 45                                  | CFRP     | 44.2           | 260            | 15                  | 0.22          | 152      | 11.289      | 1.6   | 62.263            | 62.90              | 0.989                  |
| 46                                  | CFRP     | 47.6           | 250.5          | 15                  | 0.33          | 152      | 16.315      | 1.6   | 73.704            | 82.70              | 0.891                  |
| Average: 0.926                      |          |                |                |                     |               |          |             |       |                   |                    |                        |
| Standard deviation: 0.101           |          |                |                |                     |               |          |             |       |                   |                    |                        |
| Coefficient of variation (%): 10.90 |          |                |                |                     |               |          |             |       |                   |                    |                        |

Πίνακας 2.6 Συγκριτικά αποτελέσματα πειραματικών και θεωρητικών τιμών της θλιπτικής αντοχής [28], [24], [27], [25]

| Specimen code                 | FRP type | $\epsilon_{co}$ | $\epsilon_{co,exp}$ | $k_2$ | $\epsilon_{co,theo}$ | $\epsilon_{co,theo} / \epsilon_{co,exp}$ |
|-------------------------------|----------|-----------------|---------------------|-------|----------------------|--|
| <b>Matthys et al. (2005)</b>  |          |                 |                     |       |                      |  |
| k2                            | CFRP     | 0.00280         | 0.0111              | 5.55  | 0.0089               | 0.806                                    |
| k8                            | HFRP     | 0.00280         | 0.0059              | 5.55  | 0.0069               | 1.182                                    |
| <b>Ilki et al. (2003)</b>     |          |                 |                     |       |                      |  |
| CYL-5-1                       | CFRP     | 0.00196         | 0.0910              | 5.55  | 0.0707               | 0.777                                    |
| CYL-5-2                       | CFRP     | 0.00203         | 0.0940              | 5.55  | 0.0730               | 0.777                                    |
| <b>Lam et al. (2006)</b>      |          |                 |                     |       |                      |  |
| CI-M1                         | CFRP     | 0.00256         | 0.0090              | 5.55  | 0.0079               | 0.885                                    |
| CI-M3                         | CFRP     | 0.00256         | 0.0111              | 5.55  | 0.0079               | 0.718                                    |
| CII-M3                        | CFRP     | 0.00256         | 0.0125              | 5.55  | 0.0110               | 0.885                                    |
| <b>Jiang et Teng (2007)</b>   |          |                 |                     |       |                      |  |
| 36                            | CFRP     | 0.00217         | 0.0279              | 5.55  | 0.0196               | 0.704                                    |
| 39                            | CFRP     | 0.00217         | 0.0354              | 5.55  | 0.0248               | 0.700                                    |
| 40                            | CFRP     | 0.00275         | 0.0089              | 5.55  | 0.0077               | 0.869                                    |
| 41                            | CFRP     | 0.00275         | 0.0091              | 5.55  | 0.0077               | 0.851                                    |
| 42                            | CFRP     | 0.00260         | 0.0069              | 5.55  | 0.0070               | 1.019                                    |
| 43                            | CFRP     | 0.00260         | 0.0088              | 5.55  | 0.0070               | 0.793                                    |
| 45                            | CFRP     | 0.00260         | 0.0102              | 5.55  | 0.0088               | 0.866                                    |
| 46                            | CFRP     | 0.00279         | 0.0130              | 5.55  | 0.0108               | 0.834                                    |
| Average:                      |          |                 |                     |       |                      | 0.845                                    |
| Standard deviation:           |          |                 |                     |       |                      | 0.125                                    |
| Coefficient of variation (%): |          |                 |                     |       |                      | 14.80                                    |

Πίνακας 2.7 Συγκριτικά αποτελέσματα πειραματικών και θεωρητικών τιμών της αξονικής παραμόρφωσης [28], [24], [27], [25]

| Specimen code                          | FRP type | $f_{cc}$ (Mpa) | $t_{sp}$ (mm) | $E_{tsp}$ (Gpa) | $\epsilon_{ts}$ (‰) | b (mm) | Rc (mm) | d (mm)  | $f_t$ (Mpa) | $f_{cc}$ (Mpa) | $f_{cc,thk}$ | $f_{cc,thk}/f_{cc,sp}$ |
|--|----------|----------------|---------------|-----------------|---------------------|--------|---------|---------|-------------|----------------|--------------|------------------------|
| <b>Demers and Neale (1994)</b>         |          |                |               |                 |                     |        |         |         |             |                |              |                        |
| -                                      | CFRP     | 32.3           | 0.9           | 25              | 15.2                | 152    | 5       | 210.818 | 2.206       | 34.1           | 33.579       | 0.984                  |
| -                                      | CFRP     | 42.2           | 0.9           | 25              | 15.2                | 152    | 5       | 210.818 | 2.206       | 45.99          | 43.479       | 0.945                  |
| -                                      | CFRP     | 42.2           | 0.9           | 25              | 15.2                | 152    | 5       | 210.818 | 2.206       | 45.7           | 43.479       | 0.951                  |
| <b>Lam and Teng (2003<sup>b</sup>)</b> |          |                |               |                 |                     |        |         |         |             |                |              |                        |
| S1R <sub>15</sub>                      | CFRP     | 33.7           | 0.165         | 257             | 17.58               | 150    | 15      | 199.705 | 5.076       | 35             | 36.644       | 1.046                  |
| S2R <sub>15</sub>                      | CFRP     | 33.7           | 0.33          | 257             | 17.58               | 150    | 15      | 199.705 | 10.15       | 50.4           | 39.589       | 0.785                  |
| <b>Rochette (1996)</b>                 |          |                |               |                 |                     |        |         |         |             |                |              |                        |
| 2B                                     | CFRP     | 42             | 0.9           | 82.7            | 15                  | 152    | 5       | 210.818 | 7.202       | 39.4           | 46.177       | 1.172                  |
| 2D1                                    | CFRP     | 42             | 0.9           | 82.7            | 15                  | 152    | 25      | 194.249 | 7.816       | 42.1           | 46.533       | 1.105                  |
| 2D2                                    | CFRP     | 42             | 0.9           | 82.7            | 15                  | 152    | 25      | 194.249 | 7.816       | 44.1           | 46.533       | 1.055                  |
| 2G1                                    | CFRP     | 42             | 0.9           | 82.7            | 15                  | 152    | 38      | 183.480 | 8.275       | 47.3           | 46.799       | 0.989                  |
| 2G2                                    | CFRP     | 42             | 0.9           | 82.7            | 15                  | 152    | 38      | 183.480 | 8.275       | 50.4           | 46.799       | 0.928                  |
| 2C                                     | CFRP     | 43.9           | 1.5           | 82.7            | 15                  | 152    | 5       | 210.818 | 12.003      | 44.1           | 50.862       | 1.153                  |
| 2E                                     | CFRP     | 43.9           | 1.2           | 82.7            | 15                  | 152    | 25      | 194.249 | 10.422      | 50.8           | 49.944       | 0.983                  |
| 6A                                     | AFRP     | 43             | 1.26          | 13.6            | 16.9                | 152    | 5       | 210.818 | 1.868       | 50.8           | 44.083       | 0.867                  |
| 6D                                     | AFRP     | 43             | 5.04          | 13.6            | 16.9                | 152    | 5       | 210.818 | 7.472       | 54.3           | 47.334       | 0.871                  |
| 6E                                     | AFRP     | 43             | 1.26          | 13.6            | 16.9                | 152    | 25      | 194.249 | 2.027       | 51.2           | 44.175       | 0.862                  |
| 6F                                     | AFRP     | 43             | 2.52          | 13.6            | 16.9                | 152    | 25      | 194.249 | 4.055       | 51.2           | 45.351       | 0.885                  |
| 6G                                     | AFRP     | 43             | 3.78          | 13.6            | 16.9                | 152    | 25      | 194.249 | 6.082       | 53.2           | 46.527       | 0.874                  |
| 6H                                     | AFRP     | 43             | 5.04          | 13.6            | 16.9                | 152    | 25      | 194.249 | 8.110       | 55.2           | 47.703       | 0.864                  |
| 6I                                     | AFRP     | 43             | 2.52          | 13.6            | 16.9                | 152    | 38      | 183.480 | 4.293       | 50.9           | 45.490       | 0.893                  |
| 6J                                     | AFRP     | 43             | 3.78          | 13.6            | 16.9                | 152    | 38      | 183.480 | 6.439       | 52.7           | 46.735       | 0.886                  |
| <b>Benzaid (2010)</b>                  |          |                |               |                 |                     |        |         |         |             |                |              |                        |
| P300-R0-1P <sub>1</sub>                | GFRP     | 54.8           | 1.04          | 23.8            | 21.2                | 100    | 0       | 141.421 | 5.046       | 54.50          | 57.726       | 1.059                  |
| P300-R0-1P <sub>2</sub>                | GFRP     | 54.8           | 1.04          | 23.8            | 21.2                | 100    | 0       | 141.421 | 5.046       | 56.60          | 57.726       | 1.019                  |
| P300-R0-1P <sub>3</sub>                | GFRP     | 54.8           | 1.04          | 23.8            | 21.2                | 100    | 0       | 141.421 | 5.046       | 57.20          | 57.726       | 1.009                  |
| P300-R8-1P <sub>1</sub>                | GFRP     | 54.8           | 1.04          | 23.8            | 21.2                | 100    | 8       | 134.793 | 5.294       | 58.85          | 57.870       | 0.983                  |
| P300-R16-1P <sub>1</sub>               | GFRP     | 54.8           | 1.04          | 23.8            | 21.2                | 100    | 16      | 128.166 | 5.568       | 60.56          | 58.029       | 0.958                  |
| Average: 0.966                         |          |                |               |                 |                     |        |         |         |             |                |              |                        |
| Standard deviation: 0.097              |          |                |               |                 |                     |        |         |         |             |                |              |                        |
| Coefficient of variation (%): 10.04    |          |                |               |                 |                     |        |         |         |             |                |              |                        |

Πίνακας 2.8 Παρουσίαση των πειραματικών αποτελεσμάτων της θλιπτικής αντοχής [23], [26], [30], [22]

| Specimen code                          | FRP type | $\epsilon_{co}$ | $\epsilon_{u,FRP}$ | $k_1, k_{eff}$ | $\epsilon_{c,obs}$ | $\epsilon_{c,obs} / \epsilon_{c,exp}$ |
|--|----------|-----------------|--------------------|----------------|--------------------|---------------------------------------|
| <b>Demers and Neale (1994)</b>         |          |                 |                    |                |                    |                                       |
| 1                                      | CFRP     | 0.002           | 0.004              | 4              | 0.0045             | 1.136                                 |
| 2                                      | CFRP     | 0.002           | 0.0035             | 4              | 0.0044             | 1.262                                 |
| 3                                      | CFRP     | 0.002           | 0.0035             | 4              | 0.0044             | 1.262                                 |
| <b>Lam and Teng (2003<sup>b</sup>)</b> |          |                 |                    |                |                    |                                       |
| S1R <sub>18</sub>                      | CFRP     | 0.001989        | 0.004495           | 4              | 0.0051             | 1.151                                 |
| S2R <sub>18</sub>                      | CFRP     | 0.002           | 0.0087             | 4              | 0.0064             | 0.736                                 |
| <b>Rochette (1996)</b>                 |          |                 |                    |                |                    |                                       |
| 2B                                     | CFRP     | 0.003           | 0.0069             | 4              | 0.0080             | 1.167                                 |
| 2D1                                    | CFRP     | 0.003           | 0.0094             | 4              | 0.0082             | 0.875                                 |
| 2D2                                    | CFRP     | 0.003           | 0.0089             | 4              | 0.0082             | 0.925                                 |
| 2G1                                    | CFRP     | 0.003           | 0.0108             | 4              | 0.0083             | 0.774                                 |
| 2G2                                    | CFRP     | 0.003           | 0.0116             | 4              | 0.0083             | 0.721                                 |
| 2C                                     | CFRP     | 0.003           | 0.0102             | 4              | 0.0092             | 0.909                                 |
| 2E                                     | CFRP     | 0.003           | 0.0135             | 4              | 0.0088             | 0.655                                 |
| 6A                                     | AFRP     | 0.003           | 0.0106             | 4              | 0.0065             | 0.615                                 |
| 6D                                     | AFRP     | 0.003           | 0.0124             | 4              | 0.0080             | 0.652                                 |
| 6E                                     | AFRP     | 0.003           | 0.0079             | 4              | 0.0065             | 0.831                                 |
| 6F                                     | AFRP     | 0.003           | 0.0097             | 4              | 0.0071             | 0.735                                 |
| 6G                                     | AFRP     | 0.003           | 0.011              | 4              | 0.0076             | 0.699                                 |
| 6H                                     | AFRP     | 0.003           | 0.0126             | 4              | 0.0082             | 0.655                                 |
| 6I                                     | AFRP     | 0.003           | 0.0096             | 4              | 0.0071             | 0.749                                 |
| 6J                                     | AFRP     | 0.003           | 0.0118             | 4              | 0.0077             | 0.660                                 |
| <b>Benzaid (2010)</b>                  |          |                 |                    |                |                    |                                       |
| P300-R0-1P <sub>1</sub>                | GFRP     | 0.0025          | 0.0088             | 4              | 0.0059             | 0.672                                 |
| P300-R0-1P <sub>2</sub>                | GFRP     | 0.0025          | 0.0080             | 4              | 0.0059             | 0.657                                 |
| P300-R0-1P <sub>3</sub>                | GFRP     | 0.0025          | 0.0098             | 4              | 0.0059             | 0.604                                 |
| P300-R8-1P <sub>1</sub>                | GFRP     | 0.0025          | 0.0091             | 4              | 0.0059             | 0.655                                 |
| P300-R16-1P <sub>1</sub>               | GFRP     | 0.0025          | 0.0098             | 4              | 0.0060             | 0.613                                 |
| Average:                               |          |                 |                    |                |                    | 0.815                                 |
| Standard deviation:                    |          |                 |                    |                |                    | 0.214                                 |
| Coefficient of variation (%):          |          |                 |                    |                |                    | 26.30                                 |

Πίνακας 2.9 Παρουσίαση των πειραματικών αποτελεσμάτων της αξονικής παραμόρφωσης [23], [26], [30], [22]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

### ΒΛΑΒΕΣ

#### 3.1 Δομική Ακεραιότητα - Τι Είναι Ατέλεια - Και Τι Είναι Βλάβη

Στο πεδίο της μηχανικής, που αφορά στα έργα του πολιτικού μηχανικού, η δομική ακεραιότητα μιας κατασκευής, είναι η ικανότητα της να παραλαμβάνει κατά τη λειτουργία της με ασφάλεια, όλα τα μηχανικά φορτία, στατικά και δυναμικά (σεισμικά). Να μεταφέρει δηλαδή τα κατακόρυφα (μόνιμα-κινητά) και οριζόντια φορτία με ασφάλεια στο έδαφος. Σε περίπτωση ακραίων δυναμικών εντάσεων να παρέχουν ασφάλεια (ζωής) με βλάβες με πολύ μικρή πιθανότητα κατάρρευσης, στη δε διάρκεια ζωής των, για τα στατικά φορτία, να εκπληρώνουν την στατική τους επάρκεια-ασφάλεια και λειτουργικότητα.

Η έννοια της δομικής ακεραιότητας υφιστάμενης κατασκευής, σχετίζεται άμεσα με τις διαδικασίες αξιολόγησης της άρτιας συμπεριφοράς (λειτουργικότητας-υγείας) και της ασφάλειας της κατασκευής, δηλαδή με την ανίχνευση και τον εντοπισμό πιθανών βλαβών ή ατελειών, ρωγμών, παραμορφώσεων κλπ..

Ως ατέλεια χαρακτηρίζεται η μη συμμόρφωση κάποιου υλικού η δομής με τις προδιαγραφές υλικών ή τους κανόνες των κατασκευών-δομικών συστημάτων. Οι ατέλειες δύναται να προκληθούν σε μια κατασκευή από χρήση ακατάλληλων υλικών ως προς τις απαιτήσεις λειτουργίας της δομής.

Τέτοιου είδους ατέλειες προκαλούν την απώλεια μέρους της απαιτούμενης λειτουργικότητας, η οποία σε πολλές περιπτώσεις εάν δεν επιτευχθεί ο έγκαιρος εντοπισμός και επιδιόρθωση τους, οδηγούν σε ολική απώλεια λειτουργικότητας.

Η διαφορά μεταξύ βλάβης και ατέλειας εντοπίζεται στο γεγονός ότι συνήθως οι βλάβες προκαλούνται κατά τη λειτουργία και χρήση του δομικού συστήματος. Οφείλονται σε εξωγενείς παράγοντες, σε φορτίσεις - δυνάμεις παραμορφώσεις λόγω χρήσης αλλά και σε φυσικά αίτια όπως ο σεισμός οι φυσικοχημικές αντιδράσεις-περιβάλλον, εξαναγκάζοντας τη δομή ή το δομικό σύστημα ή την κατασκευή να συμπεριφερθεί σε αυτές τις καταπονήσεις και καταστάσεις, σύμφωνα με τις προδιαγραφές που σχεδιάστηκε υπερβαίνοντας όμως τα όρια σχεδιασμού αντοχής των δομικών στοιχείων της ή των υλικών της.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση αστοχιών τόσο σε επίπεδο υλικών όσο και σε επίπεδο αρτιότητας του φέροντος οργανισμού.



*Εικόνα 3.1 Αστοχία υποστρώματος λόγω σεισμού [5]*



*Εικόνα 3.2 Αστοχία υποστρώματος λόγω φυσικοχημικών αντιδράσεων – περιβάλλον [5]*

Βλάβες επίσης είναι δυνατό να προκληθούν ακόμη και στις περιπτώσεις που ενώ η κατασκευή λειτουργεί εντός των επιτρεπόμενων ορίων, αλλά λόγω ύπαρξης ατελειών, η μηχανική της συμπεριφορά δεν είναι η αναμενόμενη.

Ωστόσο, ανάλογα με την έκταση και τη σοβαρότητα της, αν δεν εντοπιστεί και επιδιορθωθεί έγκαιρα, είναι δυνατό να οδηγήσει σταδιακά στη απώλεια αντοχών του δομικού συστήματος-κατασκευής και πολλές φορές στην κατάρρευση του.



Τα αίτια που προκαλούν τις μηχανικές βλάβες και κατ' επέκταση την μείωση της αντοχής των δομικών στοιχείων ή υλικών, είναι υπερβάσεις μηχανικών αντοχών ένεκα φορτίων (δυνάμεων) στατικών ή δυναμικών, αλλά και ένεκα υπερβάσεων σε κατάσταση λειτουργικότητας των επιτρεπομένων παραμορφώσεων (βελών) κυρίως από κάμψη αλλά και διάτμηση. Μπορούν όμως να εκδηλωθούν και από θλιπτικές δυνάμεις (συγκέντρωση τάσεων) και από το φαινόμενο ερπυσμού ή κοπώσεως.

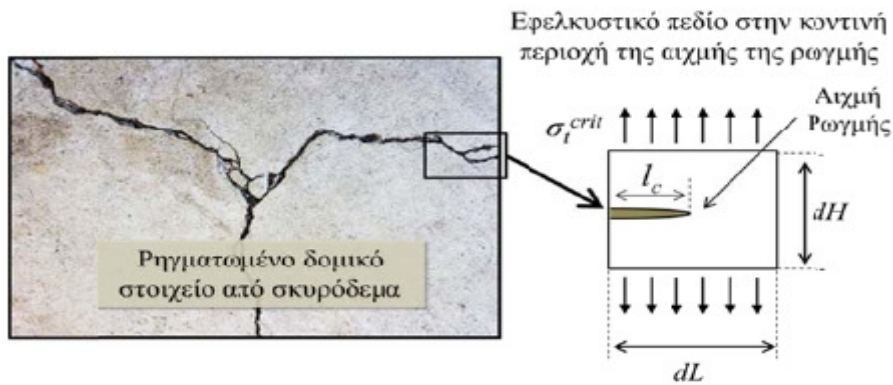
Η διάρρηξη (βλάβη) της συνέχειας ενός δομικού στοιχείου προσδιορίζεται από την μεταβολή της εσωτερικής του γεωμετρίας, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων επιφανειών εσωτερικών και εξωτερικών ρωγμών. Κάθε τέτοιου είδους μεταβολή προκαλεί την ανακατανομή των μηχανικών τάσεων στο εσωτερικό του στοιχείου, δημιουργώντας περιοχές συγκέντρωσης των τάσεων.

Οι περιοχές συγκέντρωσης των τάσεων αυτόματα μετατρέπονται σε ζώνες αδυναμίας, καθώς εμφανίζεται τοπικά αυξημένη καταπόνηση του υλικού.

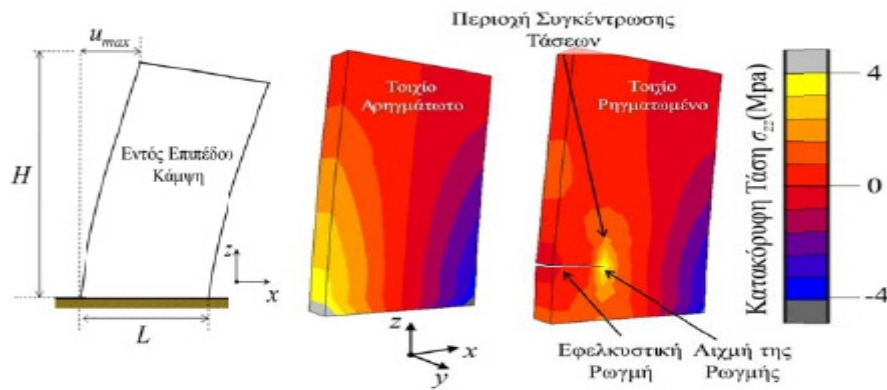
Αποτέλεσμα αυτού, είναι η αύξηση της πιθανότητας γενικευμένη αστοχίας. Για το λόγο αυτό, η διάρρηξη της δομικής συνέχειας θεωρείται μηχανική βλάβη και μάλιστα σοβαρή. Η εκδήλωση τέτοιων βλαβών ανάλογα των αιτίων που τις προκαλούν, εμφανίζονται συνήθως με ρωγμές (ασυνέχεια).

Η περίπτωση μηχανικών βλαβών σε επίπεδο φέροντος οργανισμού, καταδεικνύει ότι παρόλο που το κάθε είδος βλάβης προκαλείται από συγκεκριμένα αίτια, είναι δυνατό όταν η βλάβη εντοπιστεί να εντάσσεται σε περισσότερα από ένα είδη, επιδεινώνοντας την κατάσταση της δομικής ακεραιότητας μιας κατασκευής. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας περίπτωσης είναι οι μικρό - ρηγματώσεις στην επιφάνεια των δομικών στοιχείων του σκυροδέματος μιας δομής λόγω συστολής – διαστολής ή λόγω συστολής ξήρανσης και ερπυσμού ή αν το δομικό στοιχείο (δοκός) ευρίσκεται στο στάδιο καταπόνησης II. Αν αυτού του είδους οι βλάβες δεν διορθωθούν, (άρα έλεγχος οπτικός ή παρακολούθηση της δομικής ακεραιότητας), τότε δημιουργείται κίνδυνος οξειδωσης και διάβρωσης του οπλισμού λόγω ροής υγρασίας με αποτέλεσμα μεγαλύτερων διαρρήξεων (ρωγμών), αδυναμίας μεταφοράς δυνάμεων λόγω απώλειας συνάφειας και συγκέντρωσης τάσεων με απρόβλεπτες μηχανικές βλάβες.

Η ρηγμάτωση, είναι η συνηθέστερη μορφή με την οποία εκδηλώνεται μια μηχανική βλάβη στις κατασκευές από σκυρόδεμα. Όμως, οι ρηγματωμένες περιοχές του δομικού υλικού αποτελούν σημεία δομικής τρωτότητας της κατασκευής.



Σχήμα 3.1 Αριθμητική προσομοίωση τοιχίου-προβόλου σκυροδέματος υπό συνθήκες εντός επιπέδου κάμψης (αντοχή σε εφελκυσμό  $f_{ctm}=4.5\text{Mpa}$ ). [5]



Σχήμα 3.2 Εφελκυστική εντατική κατάσταση στην περιοχή μιας ρωγμής, σε στοιχείο Σκυροδέματος [5]

Ο σημαντικότερος κίνδυνος που καλείται να αντιμετωπίσει ο μηχανικός στον σχεδιασμό των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, είναι η απώλεια αντοχής τους και η απώλεια λειτουργικότητας τους (μεγάλες παραμορφώσεις).

Δεδομένου του μεγάλου εύρους που καλύπτουν οι κατασκευές από σκυρόδεμα, η ορθή συντήρηση των φερόντων οργανισμών, η αξιόπιστη ανίχνευση πιθανών βλαβών και η έγκαιρη επιδιόρθωση και ενίσχυσή τους, αποτελούν ζητήματα μείζονος σημασία στην διάρκεια λειτουργίας (ζωής) αυτών. [5]

### 3.2 Βλάβες Υποστυλωμάτων

Η κυριότερη αιτία βλαβών στα πρωτεύοντα δομικά στοιχεία είναι ο σεισμός. Μετά από ένα ισχυρό σεισμό, οι πιο συχνές και συνάμα σοβαρές βλάβες εντοπίζονται στα υποστυλώματα μιας κατασκευής. Είναι πρώτη προτεραιότητα για την εκτίμηση της ασφάλειας της κατασκευής, καθώς η βλάβη αυτή μπορεί να οδηγήσει σε τμηματική ή ολική κατάρρευση της κατασκευής. Ο μμηχανικός πρέπει να εκτιμήσει το επίπεδο της βλάβης αμέσως μετά το σεισμό, χωρίς καθυστέρηση και να αποφασίσει για άμεσα για λήψη μέτρων προσωρινής υποστύλωσης και απομάκρυνσης ενοίκων. Τα στοιχεία που έχουν συλλεγθεί από το παρελθόν, έχει δείξει την

κρισιμότητα του χρονικού διαστήματος αμέσως μετά από τον κύριο σεισμό, καθώς ένας ισχυρός μετασεισμός είναι πολύ πιθανός και συχνά καταστρεπτικότερος του κύριου σεισμού.

Οι παραπάνω βλάβες δύναται να είναι καμπτικού ή διατμητικού χαρακτήρα. Ο τύπος της βλάβης εξαρτάται άρρηκτα από τη συσχέτιση της καμπτικής και διατμητικής καταπόνησης του υποστυλώματος. Λαμβάνοντας υπόψη με ελαστικά μεγέθη, η μέγιστη καμπτική τάση ενός στοιχείου είναι ανάλογη του μεγέθους  $M/bd^2$ , ενώ η μέγιστη διατμητική είναι ανάλογη του μεγέθους  $V/bd$ . Συνεπώς το μέτρο συσχέτισης της καμπτικής και διατμητικής έντασης που θα προκύπτει ως λόγος των παραπάνω μεγεθών είναι:

$$\frac{\frac{M}{bd^2}}{\frac{V}{bd}} = \frac{M}{Vd} \quad (2.1)$$

που εκφράζει το λόγο διάτμησης. Προσεγγιστικά μπορεί να ληφθεί:

$$\frac{M}{Vd} \approx \frac{VL}{2Vd} = \frac{L}{2d} \quad (2.2)$$

Χωρίς λοιπόν να μπορεί να υπάρξει σαφές ποσοτικό κριτήριο, παρατηρείται ότι στα υποστυλώματα με μεγάλο ύψος και μικρές διαστάσεις διατομής είναι ευαίσθητα από κάμψη ενώ στην αντίθετη περίπτωση είναι ευάλωτα σε διάτμηση. Η τιμή  $M/Vd = 3.5$  ως ένα προσεγγιστικό ποσοτικό όριο για τον τύπο της αναμενόμενης βλάβης. Αυτό μόνο δεν επαρκεί για την ερμηνεία της αστοχίας. Αρχικά η εικόνα της βλάβης και μετέπειτα τα αποτελέσματα μιας ακριβέστερης ανάλυσης θα βοηθήσουν στην ερμηνεία της βλάβης, χωρίς όμως αυτό να είναι πάντοτε εφικτό.

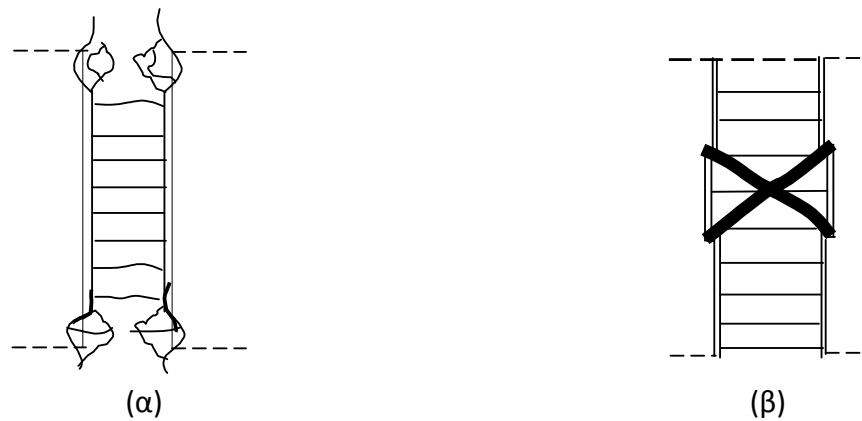
Οι βλάβες καμπτικού χαρακτήρα παρουσιάζονται συνήθως στην κορυφή και τη βάση των υποστυλωμάτων καθώς στα σημεία αυτά (κρίσιμα) γενικά παρουσιάζεται η μεγαλύτερη καμπτική ένταση. Στην περίπτωση μικρών αξονικών φορτίων όπως π.χ. σε περιμετρικά υποστυλώματα των ανωτέρων ορόφων, η βλάβη έχει την εικόνα οριζόντιας καμπτικής ρωγμής από υπέρβαση του ορίου διαρροής του χάλυβα σε εφελκυσμό. Εκεί οφείλεται σε ανεπάρκεια των διαμήκων ράβδων οπλισμού και το εύρος της ρωγμής είναι δηλώνει το βαθμό της βλάβης, ενώ εκδηλώνεται και με αποφλοίωση του σκυροδέματος στην περιοχή επικάλυψης των οπλισμών από υπέρβαση της θλιπτικής αντοχής. Η βλάβη αυτή, εφόσον περιορίζεται στην εκτός του πυρήνα περιοχή, δεν εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους

Σοβαρός τύπος βλάβης, είναι αυτός που εμφανίζεται σε στοιχεία με μεγάλα θλιπτικά φορτία από σύγχρονη ύπαρξη κάμψης και διάτμησης και είναι ψαθυρού χαρακτήρα. Εκδηλώνεται με ταυτόχρονη σύνθλιψη και αποδιοργάνωση της θλιβόμενης ζώνης που λόγω της αντιστροφής της σεισμικής δράσης δύναται να εμφανιστεί και στις δύο πλευρές του υποστυλώματος, με αποτέλεσμα συχνά να παρατηρείται εγκάρσια διόγκωση του σκυροδέματος, διαρροή ή θραύση των συνδετήρων στην περιοχή βλάβης, που πολλές φορές οδηγεί σε βράχυνση του υποστυλώματος και λυγισμό των κατακόρυφων ράβδων οπλισμού. Οι βλάβες αυτές παρουσιάζονται σε υποστυλώματα με διατομή μικρότερη από την απαιτούμενη, κοντά σε

κόμβους που υπάρχουν ισχυρές δοκοί Η έλλειψη περίσφιγξης από ανεπάρκεια συνδετήρων .σε συνδυασμό με τη χαμηλή ποιότητα σκυροδέματος και είναι τις περισσότερες φορές εμφανείς. Είναι από τους πιο σοβαρούς τύπους βλάβης από σε μία κατασκευή, καθώς πέρα από τη ψαθυρότητα της αστοχίας και τη σημαντική μείωση της δυσκαμψίας του υποστυλώματος, υπάρχει ουσιαστική αδυναμία μεταφοράς των κατακόρυφων φορτίων. Η υπερφόρτιση των κοντινών κατακόρυφων στοιχείων από ανακατανομή της έντασης, μπορεί να οδηγήσει σε κατάρρευση της κατασκευής μετά από μία αλυσιδωτή σειρά αστοχιών.

Οι βλάβες διατμητικού χαρακτήρα παρατηρούνται σε υποστυλώματα με μικρό λόγο διάτμησης, εντοπίζονται στις περιοχές εκείνες με τη μεγαλύτερη διατμητική αδυναμία, κα όχι υποχρεωτικά στα άκρα του υποστυλώματος. Σε στοιχεία με μικρό αξονικό φορτίο (π.χ. σε περιμετρικά υποστυλώματα που βρίσκονται στους τελευταίους ορόφους) τα άκρα των υποστυλωμάτων είναι περισσότερο ευάλωτα, καθώς είναι πιθανή η διαρροή των διαμήκων ράβδων οπλισμού λόγω των υψηλών καμπτικών ροπών σε αυτές τις θέσεις. Συνεπώς, η μειωμένη διατμητική αντίσταση αναμένεται από έλλειψη αλληλοεμπλοκής των αδρανών.

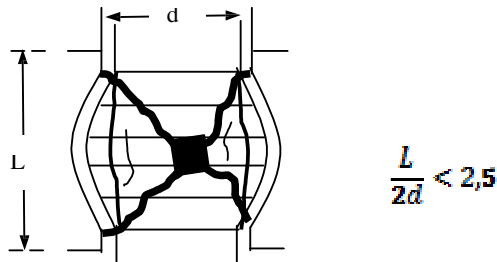
Για τιμές του λόγου διάτμησης μικρότερες από 2,5 (π.χ. κοντά υποστυλώματα) οι βλάβες αυτής της μορφής είναι οι συχνότερες. Έχει παρατηρηθεί συμπεριφορά κοντού υποστυλώματος σε ένα κανονικό υποστυλώμα, όταν εμποδίζονται οριζόντιες μετακινήσεις, χωρίς κατασκευαστική πρόθεση, από δύσκαμπτα στοιχεία σε ένα τμήμα του ύψους.



Σχήμα 3.3 Βλάβες υποστυλωμάτων [4]

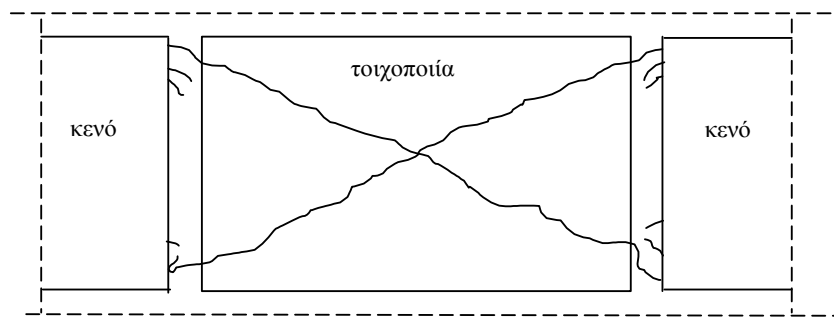
- α) Ισχυρή αξονική σύνθλιψη και εναλλασσόμενη καμπτική ροπή
- β) Ισχυρή αξονική σύνθλιψη και τέμνουσα

Σε αυτές τις βλάβες συνήθως είναι παρατηρείται χαμηλή ποιότητα σκυροδέματος και έλλειψη επαρκούς διατμητικού οπλισμού. Ο σύγχρονος τρόπος διαστασιολόγησης σε διάτμηση, στα “κοντά” υποστυλώματα, δεν είναι επαρκής, όπου σύμφωνα με τον κανονισμό η τέμνουσα σχεδιασμού προσδιορίζεται με βάση τις μέγιστες ροπές που μπορούν να αναπτυχθούν στα άκρα του υποστυλώματος όταν δημιουργηθούν πλαστικές αρθρώσεις, δηλαδή  $V=2MR/L$  και όχι με βάση την τέμνουσα της ανάλυσης, αποτρέπει βλάβες αυτού του τύπου.

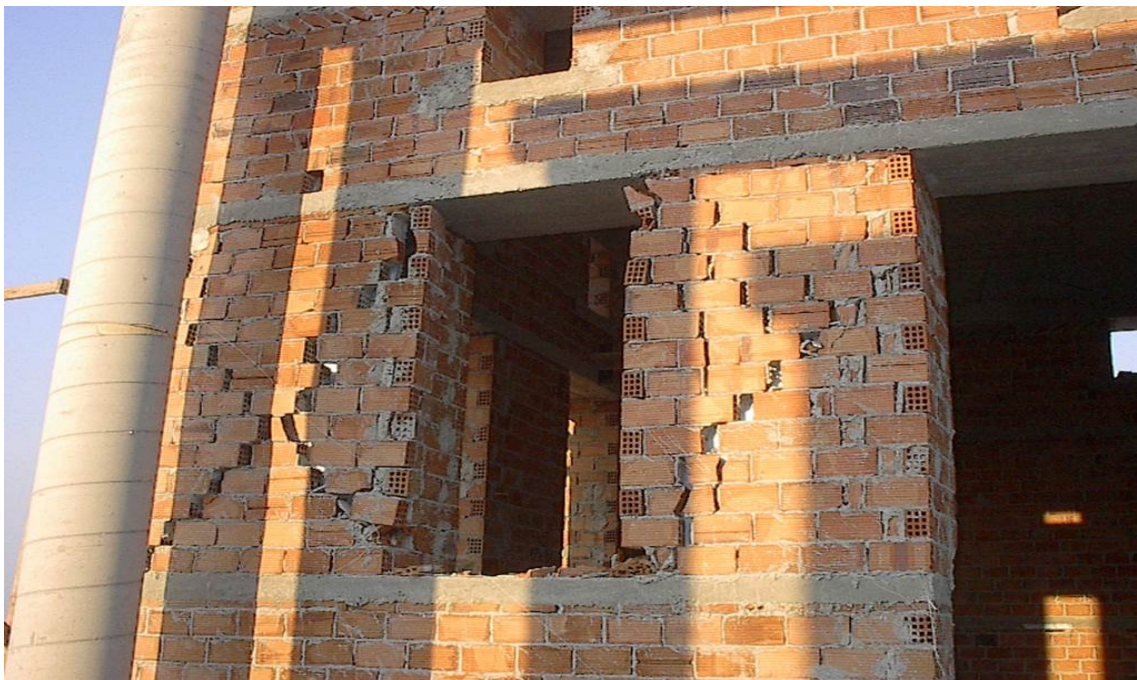


Σχήμα 3.4 Διατμητική αστοχία “κοντού” υποστυλώματος [4]

Ιδιαίτερος τύπος διατμητικής βλάβης είναι η περίπτωση που η αστοχία της τοιχοπλήρωσης ενός πλαισιώματος επεκτείνεται στα υποστυλώματα του πλαισίου (σχήμα 3.5). Αυτό παρατηρείται σε περιπτώσεις μονόπλευρης και καλά δομημένης τοιχοπλήρωσης σφηνωμένης περιμετρικά σε πλαίσιο με ασθενή κατακόρυφα στοιχεία. Έτσι η εικόνα της βλάβης ανταποκρίνεται στη θεώρηση ενός ενιαίου τοιχώματος όπου πλαισίωμα και τοιχοπλήρωση λειτουργούν ως ένα στοιχείο. [4]

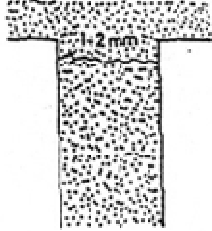
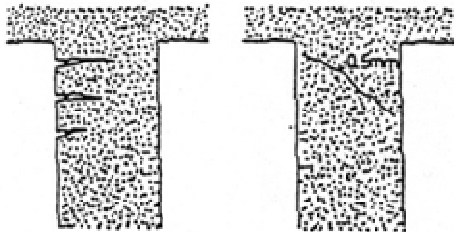
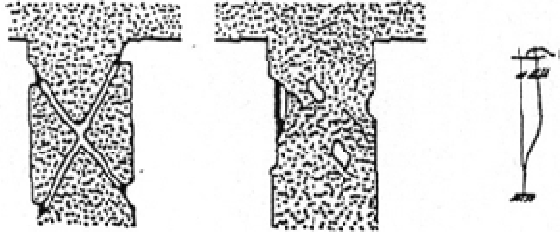
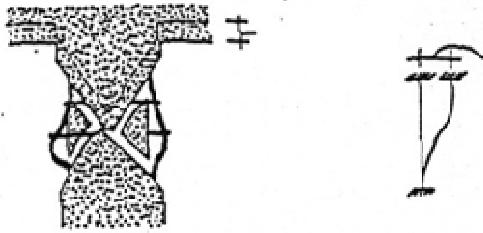


Σχήμα 3.5 Βλάβη υποστρωμάτων στη συνέχεια μονόπλευρων τοιχοπληρώσεων [4]



Εικόνα 3.3 Βλάβες στην τοιχοποιία νεοαναγειρόμενου κτίσματος από το σεισμό της Λευκάδας [11]

Στο Σχήμα 3.6 παρουσιάζεται η κατάταξη των βαθμών βλάβης για υποστυλώματα, όπως παρουσιάζεται στο CEB Bul. No162 (1983) και EC8-Part 1.4, (1995). Μία τέτοια κατάταξη χρησιμεύει για τον προσδιορισμό των περιθωρίων ασφαλείας αφενός και για την επιλογή της καταλλήλου μεθόδου επισκευής ή ενίσχυσης μετέπειτα.

|                        |  |                                      |
|------------------------|--|--------------------------------------|
| <p>Βαθμός βλάβης Α</p> |     |                                      |
| <p>Βαθμός βλάβης Β</p> |     | <p>ah=0</p>                          |
| <p>Βαθμός C</p>        |  | <p>ah σχεδόν μηδενική μετακίνηση</p> |
| <p>Βαθμός D</p>        |   | <p>ah σχετικά μικρές</p>             |
| <p>Βαθμός E</p>        | <p>Κατάρρευση</p>  | <p>ah μεγάλες</p>                    |

Σχήμα 3.6 Βαθμοί βλάβης σε υποστυλώματα και τοιχώματα

### **Βαθμός βλάβης A**

Μεμονωμένες οριζόντιες ρωγμές με πλάτος λιγότερο από 1-2 mm, με την προϋπόθεση ότι ένας απλός υπολογισμός έχει αποδείξει ότι αυτές οι ρωγμές δεν οφείλονται σε ανεπάρκεια της διατομής σε κάμψη, αλλά μάλλον σε τοπικές αδυναμίες όπως π.χ. αρμοί διακοπής εργασίας, επίδραση της εν επαφή τοιχοπλήρωσης, ανεπαρκής αγκύρωση οπλισμών, κ.τ.λ.

### **Βαθμός βλάβης B**

Αρκετές πλατιές καμπτικές ρωγμές ή μεμονωμένες λοξές διατμητικές ρωγμές με πλάτος μικρότερο από 0.5 mm, υπό τον όρο ότι δεν παρατηρούνται εναπομένουσες μετακινήσεις.

### **Βαθμός βλάβης C**

Χιαστί λοξές διατμητικές ρωγμές ή έντονη τοπική σύνθλιψη και αποδιοργάνωση του σκυροδέματος, υπό τον όρο ότι δεν παρατηρούνται άξιες λόγου εναπομένουσες μετακινήσεις.

### **Βαθμός βλάβης D**

Πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στην περιοχή βλάβης, λυγισμός των διαμήκων ράβδων, διαρροή ή θραύση των συνδετήρων της περιοχής, ασυνέχεια στην περιοχή χωρίς κατάρρευση του υποστυλώματος. Προϋποτίθεται επίσης ότι οι εναπομένουσες μετακινήσεις που παρατηρούνται (οριζόντιες και κατακόρυφες) και ιδιαίτερα οι κατακόρυφες είναι σχετικά μικρές.

### **Βαθμός βλάβης E**

Πλήρης κατάρρευση του υποστυλώματος. Ως μία γενικότερη παρατήρηση σημειώνεται ότι εάν η γενική εικόνα βλάβης συμφωνεί με μία από τις εικόνες βλάβης του σχήματος 3.6, χωρίς όμως να τηρούνται οι προβλεπόμενες συνθήκες για τις εναπομένουσες μετακινήσεις, τότε ως βαθμός βλάβης θεωρείται ένα επίπεδο παραπάνω απ' ότι δηλώνεται στο σχήμα. Έτσι για παράδειγμα μία βλάβη με εικόνα τύπου D, όπου όμως υπάρχουν μεγάλες κατακόρυφες μετακινήσεις, πρέπει να θεωρηθεί βαθμός βλάβης E.

## **3.3 Συστήματα Επεμβάσεων**

### **3.3.1 Τι Είναι Επισκευή - Τι Ενίσχυση**

Η επιλογή του συστήματος επέμβασης της πάσχουσας περιοχής είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη βαθμονόμηση της βλάβης.

Η εξέταση και αξιολόγηση των σχημάτων επέμβασης είναι το δυσκολότερο ίσως τμήμα της όλης διαδικασίας, καθώς σ' αυτό το στάδιο εμπλέκεται ένα πλήθος παραγόντων που δεν είναι εύκολο να ποσοτικοποιηθούν. Πρωτίστως, θα πρέπει να έχουν αξιολογηθεί όλες οι παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν τη λήψη απόφασης, όσον αφορά στις τρεις κάτωθι κρίσιμες δυνατές επιλογές :

- Επιλογή της κατασκευής
- Ενίσχυση της κατασκευής
- Κατεδάφιση της κατασκευής και ανέγερση νέας



Ως επισκευή ορίζεται η διαδικασία επέμβασης σε μία κατασκευή με βλάβες, η οποία αποκαθιστά τα προ της βλάβης χαρακτηριστικά των στοιχείων της και επαναφέρει την κατασκευή στην αρχική της κατάσταση.

Ως ενίσχυση ορίζεται η διαδικασία επέμβασης, σε μία κατασκευή, με ή χωρίς βλάβες, η οποία επαυξάνει τη φέρουσα ικανότητα του φορέα σε επίπεδο ψηλότερο από αυτό του αρχικού σχεδιασμού.

Σημειώνεται ότι μερικές φορές η έννοια «επισκευή» χρησιμοποιείται με ευρύτερη σημασία, συμπεριλαμβάνοντας κάθε εργασία επέμβασης που αφορά επισκευή ή/και ενίσχυση της κατασκευής. [4]

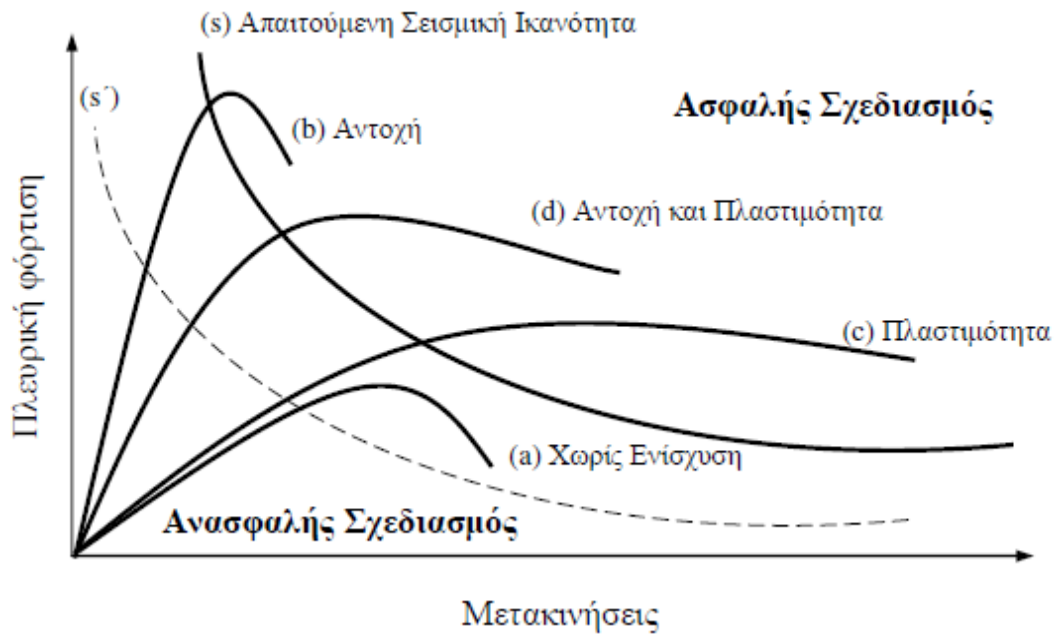
Το σύστημα των επεμβάσεων είναι η συγκεκριμένη μέθοδος επεμβάσεων που χρησιμοποιείται για την επίτευξη της στρατηγικής που έχει επιλεγεί. Μία κατασκευή για ανταπεξέλθει και να φανεί αξιόπιστη όταν ένα σεισμικό γεγονός λάβει χώρα, πρέπει να διαθέτει ένα πλήρες σύστημα ανάληψης των σεισμικών φορτίων, το οποίο να είναι ικανό να περιορίζει τις μετακινήσεις σε μεγέθη που αντιστοιχούν σε αποδεκτά επίπεδα βλαβών για την επιδιωκόμενη στάθμη επιτελεστικότητας της κατασκευής.

Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την αποδοτικότητα του συστήματος ανάληψης σεισμικών φορτίων είναι:

- (α) η μάζα, η δυσκαμψία, η απόσβεση και η διαμόρφωση του φέροντος και του μη φέροντος οργανισμού
- (β) η ικανότητα παραμόρφωσης των στοιχείων του φέροντος και του μη φέροντος οργανισμού
- (γ) η ενέργεια και ο χαρακτήρας της σεισμικής διέγερσης στην οποία υποβάλλεται η κατασκευή.

Τα συστήματα επεμβάσεων εξασφαλίζουν επαρκή σεισμική συμπεριφορά επηρεάζοντας άμεσα τους παραπάνω παράγοντες και εφαρμόζονται είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό.

Το μέγεθος της μέγιστης αναπτυσσόμενης ενέργειας παραμόρφωσης λόγω σεισμού, αποτελεί μέτρο της σεισμικής αντίστασης της κατασκευής, τότε μπορούμε να χαράξουμε μια καμπύλη υπερβολικής μορφής που αναπαριστά την απαιτούμενη σεισμική ικανότητα. Συνεπώς, η καμπύλη αυτή δείχνει το όριο μεταξύ της ασφαλούς και της ανασφαλούς επιλογής της λύσης ενίσχυσης. Μία κατασκευή λοιπόν θεωρείται ασφαλής όταν η καμπύλη που αναπαριστά τη συμπεριφορά της επεκτείνεται στην περιοχή πάνω από την καμπύλη (s) του σχήματος 3.7 που απεικονίζει τον ασφαλή σχεδιασμό, ειδικά απαιτείται ενίσχυση.



Σχήμα 3.7 Στρατηγικές ενίσχυσης. [14]

Καταλήγουμε σε τέσσερις στρατηγικές αντισεισμικής ενίσχυσης ανάλογα με την επιδιωκόμενη σεισμική συμπεριφορά της κατασκευής

- Τοπικές επεμβάσεις στο φορέα.
- Αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής της κατασκευής.
- Αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης της κατασκευής.
- Μείωση της σεισμικής απαίτησης της κατασκευής (π.χ. σεισμική μόνωση).

Στο σχήμα 3.7 οι καμπύλες a,b,c και d αντιστοιχούν σε μία 'συμπεριφορά' της κατασκευής όπως αναλύονται παρακάτω:

- Η καμπύλη (a) αναπαριστά τη συμπεριφορά της κατασκευής πριν την ενίσχυση
- Η καμπύλη (b) αναπαριστά τη συμπεριφορά της κατασκευής μετά την ενίσχυσή της, όταν επιτυγχάνεται η αύξηση της πλευρικής αντίστασης και της δυσκαμψίας του φορέα
- Η καμπύλη (c) αναπαριστά τη συμπεριφορά της κατασκευής μετά την ενίσχυσή της, όταν επιτυγχάνεται η αύξηση της πλαστιμότητας του φορέα
- Η καμπύλη (d) αναπαριστά τη συμπεριφορά της κατασκευής μετά την ενίσχυσή της, όταν συγχρόνως επιτυγχάνεται η αύξηση της πλευρικής αντίστασης, της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητας του φορέα.
- Η καμπύλη (s') αναπαριστά την απαιτούμενη σεισμική ικανότητα της κατασκευής μετά την ενίσχυσή της, όταν επιτυγχάνεται μείωση της εισαγόμενης σεισμικής έντασης του φορέα.[14]

### 3.3.2 Επιλογή Συστήματος Επεμβάσεων

Ανάλογα με τον επιδιωκόμενο κατασκευαστικό στόχο, ταξινομούνται οι μεθόδους αντισεισμικής ενίσχυσης ως εξής:

- Αν ο στόχος είναι η αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής της κατασκευής, τότε η πλέον αποτελεσματική μέθοδος είναι η προσθήκη τοιχωμάτων εντός των πλαισίων του φορέα. Ακολουθεί η μέθοδος της προσθήκης δικτυωτών συνδέσμων, η μέθοδος της προσθήκης τοιχωμάτων κατ' επέκταση υφιστάμενων υποστυλωμάτων και η χρήση σύνθετων υλικών.
- Αν ο στόχος είναι η αύξηση της πλαστιμότητας, τότε η μέθοδος που ενδείκνυται είναι η κατασκευή μανδύων σε ένα πλήθος επιλεγμένων υποστυλωμάτων, καθώς και η χρήση σύνθετων υλικών .
- Αν στόχος είναι η ταυτόχρονη αύξηση αντοχής, δυσκαμψίας και πλαστιμότητας της κατασκευής τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε από τις μεθόδους αντισεισμικής ενίσχυσης λαμβάνοντας υπόψη τον επιθυμητό βαθμό αύξησης του μεγέθους καθενός από τα παραπάνω χαρακτηριστικά. Στην περίπτωση που οι απαιτούμενες αυξήσεις είναι ιδιαίτερα υψηλές και για τα τρία χαρακτηριστικά, είναι κατά κανόνα αναπόφευκτη η προσθήκη νέων κατακόρυφων στοιχείων.

Σημειώνεται ότι συχνά γίνεται συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων ή επιμέρους τεχνικών ώστε να προκύψει η βέλτιστη οικονομοτεχνικά λύση, ενώ πολλές φορές η μέθοδος επέμβασης που επιλέγεται ως καταλληλότερη δεν είναι τεχνικά εφικτή.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι το σύνολο σχεδόν των κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα που κατασκευάστηκαν στην Ελλάδα τη δεκαετία του 1980 δεν πληρούν τις απαιτήσεις πλαστιμότητας των σημερινών κανονισμών. Η αύξηση της πλαστιμότητας σε μία από αυτές τις κατασκευές επιτυγχάνεται με προσθήκη μανδύων που δημιουργεί την ανάγκη για πρόσθετα στοιχεία δυσκαμψίας και αντοχής, τα οποία όμως ενδέχεται να αυξήσουν σημαντικά την απαίτηση στη θεμελίωση ή να προκαλέσουν προβλήματα λειτουργικότητας όταν η κατασκευή επανέλθει σε χρήση.[14]

### 3.3.3 Μέθοδοι Επισκευών – Ενισχύσεων κατασκευών από Ο.Σ.

Όλες οι επισκευές και ενισχύσεις θα πρέπει να τηρούν κάποιες προδιαγραφές είτε από πλευράς υλικού είτε τεχνικής της εφαρμογής και να εκτελούνται από κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό, βάσει της ισχύουσας νομοθεσία.

Οι μέθοδοι επισκευής-ενίσχυσης που είναι διαθέσιμοι και εφαρμόζονται στις κατασκευές από σκυρόδεμα συνοπτικά είναι:

- Μεταλλικά ελάσματα (beton plaque) σε διάφορα πάχη, μεγέθη και σχήματα και χρησιμοποιούνται για επισκευή-ενίσχυση από διάφορους παράγοντες και σε διάφορα σημεία του φέροντος οργανισμού
- Μεταλλικοί κλωβοί που είναι μέρος της ενίσχυσης με ελάσματα και συνήθως αφορούν υποστρώματα
- Άλλου τύπου μεταλλικές κατασκευές με μορφογάλυβες και κοιλοδοκούς
- Ενίσχυση πλαισίων με σιδηροκατασκευές
- Σεισμική μόνωση-θωράκιση με αποσβεστήρες τριβής, ελαστομερή εφέδρανα κ.ά.
- Τεχνική εμφάνωσης τοιχωμάτων και τοιχωματοποίηση
- Ενίσχυση με έγχυτο μπετό και κανονικό επιπλέον οπλισμό
- Χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος (Guniting)
- Τσιμεντένες
- Ρητινένες
- Χρήση ειδικών τύπων σκυροδέματος
- Σκυροτσιμεντόπηγμα ή εγκιβωτισμένο σκυρόδεμα
- Αρμολογήσεις σε πέτρινες και κατασκευές τοιχοποιίας
- Αναστολείς διάβρωσης
- Χρήση ΙΑΜ (Ινοπλισμένα Πολυμερή Ανόργανης Μήτρας)
- ΙΟΠ (Ινοπλισμένα Πολυμερή)

Σε πολλές επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών πλέον, συναντάμε συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων, όπως την ενίσχυση των περιμετρικών κυρίως υποστρωμάτων με μανδύα και των εσωτερικών υποστρωμάτων με ινοπλισμένα πολυμερή. Η τελευταία κατηγορία μεθόδων επισκευής και ενίσχυσης κατασκευών από σκυρόδεμα με ΙΟΠ, είναι αυτή η οποία θα αναλυθεί παρακάτω.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

### ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΤΕΧΝΗΤΑ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

#### ΙΟΠ (ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ)

#### 4.1 Εισαγωγή στα σύνθετα υλικά

Οι αυξανόμενες απαιτήσεις των σύγχρονων κοινωνιών για ασφαλέστερες και ανθεκτικότερες κατασκευές, δημιούργησαν ένα πλαίσιο κανονισμών για σχεδιασμό, πυροδοτώντας νέα ερευνητικά μονοπάτια στην αναζήτηση ισχυρότερων υλικών με μηχανικές ιδιότητες και αντοχές πολλαπλάσιες των παραδοσιακών υλικών, όπως σίδηρος, σκυρόδεμα, αλουμίνιο, μαζί με την ταυτόχρονη μείωση του βάρους τους.

Τα νέα αυτά υλικά ονομάζονται σύνθετα και βρίσκουν εφαρμογή σε πλήθος κατασκευαστικών κλάδων όπως στην αυτοκινητοβιομηχανία, στην αεροδιαστημική, στην επισκευή και ενίσχυση οικοδομικών έργων, καθώς και σε προϊόντα καθημερινής χρήσης.

Ένας από τους πλέον διαδεδομένους τύπους συνθέτων υλικών είναι τα ινώδη σύνθετα υλικά (fiber reinforced composite) όπου μια συνεχή φάση που την ονομάζουμε μήτρα ενισχύεται με ίνες (fibers), σε περίπτωση που ομάδες ινών είναι προσανατολισμένες προς διαφορετικές διευθύνσεις τότε το υλικό που προκύπτει είναι ανισόρροπο πράγμα που σημαίνει ότι οι ιδιότητες του υλικού μεταβάλλονται με την διεύθυνση. Σαν υλικά μήτρας συνήθως χρησιμοποιούνται μέταλλα, κεραμικά, η διάφορα πολυμερή. Οι πλέον διαδεδομένες μήτρες είναι οι πολυμερικές, ενώ οι τύποι ινών που συνήθως χρησιμοποιούνται ως ενισχυτικά είναι οι ίνες άνθρακα, οι ίνες γυαλιού, ίνες αραμιδιού (Kevlar), οι κεραμικές ίνες, και τέλος οι πολυμερικές ίνες. [10]

Με την ανάπτυξη υπερ-ανθεκτικών και ελαφριών συνεχών ινών όπως είναι οι ίνες άνθρακα, αραμιδιού πυριτίου γυαλιού. Ήδη τα ινώδη σύνθετα υλικά που είναι ενισχυμένα με ίνες άνθρακα και αραμιδιού έχουν αρχίσει να αντικαθιστούν το μέταλλο και το αλουμίνιο σε βασικές κατασκευαστικές εφαρμογές. Κυριότερες εφαρμογές που βρίσκουν χρήση τα δυο αυτά υλικά είναι η αεροπορικές και οι αεροδιαστημικές εφαρμογές και κυρίως αυτό γίνεται εξαιτίας του μειωμένου βάρους των νέων υλικών αλλά και της αυξημένης αντοχής τους σε σχέση με τα παραδοσιακά υλικά μέταλλο αλουμίνιο. [10]

Τα πρώτα σύνθετα υλικά χρονολογούνται από τα τέλη του 19ου αιώνα, ενώ η μαζική παραγωγή τους ξεκινάει στο τέλος της δεκαετίας του 1930. Στην Ελβετία το 1984 αρχικά εφαρμόστηκαν τα ινοπλισμένα πολυμερή από ανθρακονήματα σε δομικά στοιχεία κατασκευών με σκοπό την επισκευή και ενίσχυσή τους. Τα τελευταία χρόνια έχουν σημειωθεί πολλές επιτυχημένες παρεμβάσεις σε χώρες με υψηλή σεισμική δραστηριότητα όπως οι Η.Π.Α. και η Ιαπωνία. Στην Ελλάδα οι πρώτες εφαρμογές έγιναν στην αρχή της δεκαετίας του 1990 και παρουσιάζουν ραγδαία εξάπλωση μετά τον καταστροφικό σεισμό της Πάρνηθας το 1999.[15]

Μέχρι σήμερα η επισκευή και ενίσχυση δομικών στοιχείων με FRP χαρακτηρίζεται από το υψηλό κόστος. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι με το πέρασμα των χρόνων καθώς και με την αύξηση των εφαρμογών του το κόστος του έχει πτωτική πορεία.

Τα συστήματα ενίσχυσης με Ινοπλισμένα Πολυμερή υλικά, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς στο πεδίο των ενισχύσεων κατασκευών και έχει διαπιστωθεί πειραματικά ότι είναι αρκετά ικανοποιητικά. Έτσι σήμερα τα FRP χρησιμοποιούνται για στα έργα του Πολιτικού Μηχανικού με μεγάλη συχνότητα, προκειμένου να αποκαταστήσουν και να αυξήσουν τη φέρουσα ικανότητα και την πλαστιμότητα των δομικών στοιχείων, λόγω ανεπαρκών ματίσεων, και ανεπαρκούς περίσφιγξης. Αναλυτικότερα βρίσκουν εφαρμογή στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Περίσφιγξη υποστυλωμάτων Ο.Σ.
- Ενεργητική περίσφιγξη κατασκευών φέρουσας τοιχοποιίας
- Περίσφιγξη στοιχείων φέρουσας τοιχοποιίας τύπου υποστυλώματος
- Καμπτική ενίσχυση δοκών και πλακών Ο.Σ.
- Διατμητική ενίσχυση δοκών και υποστυλωμάτων Ο.Σ.
- Ενίσχυση τοιχοποιίας σε εκτός επιπέδου κάμψη
- Ενίσχυση τοιχοποιίας σε εντός και εκτός επιπέδου διάτμηση

## 4.2 Περιγραφή και δομή των ενισχυτικών ινών

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω τα ινοπλισμένα πολυμερή υλικά αποτελούνται από ίνες. Οι ίνες έχουν ως κύριο χαρακτηριστικό την εξαιρετικά υψηλή εφελκυστική αντοχή και τη γραμμική ελαστική συμπεριφορά μέχρι τη θραύση τους. Οι βασικοί τύποι ινών όσον αφορά τον τομέα των ενισχύσεων και θα αναλυθούν παρακάτω, είναι οι ίνες άνθρακα (CFRP: Carbon Fibre Reinforced Polymer), οι ίνες γυαλιού GFRP και οι ίνες πολυαραμιδής, των οποίων οι κύριες ιδιότητες φαίνονται στον πίνακα 4.1.

Χαρακτηριστικά οι ίνες διαμέτρου 5-25μm, είναι αυτές που αναλαμβάνουν δυνάμεις (κατά κανόνα εφελκυστικές) παράλληλα στη διεύθυνση τους

### 4.2.1 Ίνες άνθρακα

Οι ίνες άνθρακα έχουν πυκνότητα περίπου 1800-1900 Kg/m. Η παρασκευή τους γίνεται με θερμική κατεργασία του πολυακρυλονιτριλίου ή μέσω απόσταξης κάρβουνου. Οι πρώτες γενικά χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερες αντοχές σε σχέση με τις δεύτερες. Η εφελκυστική αντοχή των ινών άνθρακα θα μπορούσε να είναι θεωρητικά της τάξεως των 100 GPa, ενώ το μέτρο ελαστικότητας της τάξεως των 1000 GPa, εξαιτίας όμως της κρυσταλλικής δομής του υλικού, οι τιμές αυτές πρακτικά δεν αναπτύσσονται. Οι ίνες άνθρακα έχουν υψηλό μέτρο ελαστικότητας (200-700GPa) και οριακή παραμόρφωση εφελκυστικής αστοχίας ποσοστού 0.2-2.5% , ανάλογα το είδος των νημάτων, όπου η μικρότερη παραμόρφωση αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας και αντίστροφα. Σημειώνεται ότι δεν απορροφούν νερό και είναι χημικά αδρανείς στους περισσότερους διαλύτες, ενώ παρουσιάζουν εξαιρετική ανθεκτικότητα σε: α) κόπωση, β) ερπυσμό, γ) διάβρωση και δ) μεγάλη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες.

### 4.2.2 Ίνες υάλου

Από λειωμένο γυαλί παράγονται οι ίνες από γυαλί, το οποίο δε παρουσιάζει ούτε διόλου την κρυσταλλική δομή αλλά ούτε και ιδιότητες ρευστού. Οι ίνες υάλου έχουν πυκνότητα 2300-2500kg/m<sup>3</sup>, μέτρο ελαστικότητας 70-90GPa και οριακή παραμόρφωση εφελκυστικής αστοχίας 3-5.5%. Οι ίνες υάλου χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: στις ίνες τύπου E, τύπου Z και τύπου S. Αναλυτικότερα:

- Οι ίνες τύπου E αποτελεί τον κοινό και πιο συνηθισμένο τύπο γυαλιού. Κύριο μειονέκτημα τους είναι η μείωση της αντοχής σε αλκαλικό περιβάλλον, όπως είναι αυτό του σκυροδέματος.
- Οι ίνες τύπου Z παρουσιάζουν υψηλή αντοχή σε αλκαλικό περιβάλλον ενώ οι τύπου S έχουν υψηλή αντοχή και μέτρο ελαστικότητας.
- Οι τύποι που χρησιμοποιούνται περισσότερο στο χώρο των επισκευών/ενισχύσεων είναι οι ίνες τύπου S και E. Το S-glass παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή και μέτρο ελαστικότητας απ' ότι το E-glass, αλλά είναι πολύ ακριβότερο γεγονός που περιορίζει τις εφαρμογές του.

Γενικά, οι ίνες από γυαλί είναι ευαίσθητες στην υγρασία, αλλά είναι δυνατόν να προστατευθούν με τη κατάλληλη επιλογή μήτρας. Είναι ευπαθείς στη διάβρωση, αλλά δεν παρουσιάζουν ερπυστικές παραμορφώσεις. Η αντοχή τους σε κόπωση είναι μικρότερη από τα φύλλα άνθρακα ή αραμιδίου.

### 4.2.3 Ίνες αραμιδίου

Οι ίνες αραμιδίου που διατίθενται στη διεθνή αγορά διακρίνονται σε αυτές οι οποίες προέρχονται από αρωματικό πολυαμίδιο (Kevlar) και σε εκείνες οι οποίες προέρχονται από αρωματικό πολυαιθεραμίδιο (Technora). Στην αγορά χρησιμοποιούνται συχνά τα Kevlar 29 και Kevlar 49 (η διαφορά τους έγκειται στη τιμή του μέτρου ελαστικότητας). Έχουν πυκνότητα 1450kg/m<sup>3</sup>, το μέτρο ελαστικότητας τους είναι 70-13GPa και η οριακή παραμόρφωση εφελκυστικής αστοχίας τους είναι 2.5-5%. Βασικό πλεονέκτημα τους είναι η εξαιρετική συμπεριφορά σε κρουστικά φορτία, γι αυτό και τα τελευταία χρόνια προτιμούνται για τη κατασκευή μανδύων σε υποστυλώματα γεφυρών, όπου υπάρχει κίνδυνος πρόσκρουσης οχημάτων. Είναι πολύ ευαίσθητες σε θερμό περιβάλλον με υψηλό ποσοστό υγρασίας και παρουσιάζουν ερπυστικές παραμορφώσεις υπό δεδομένη τάση. Χρησιμοποιούνται λιγότερο συχνά από τον άνθρακα ή το γυαλί, στο χώρο των επισκευών και ενισχύσεων. Στον παρακάτω πίνακα 4.1 δίνονται συνοπτικά οι διαφορετικές ιδιότητες των παραπάνω τύπων ινών. Οι τιμές αυτές έχουν προκύψει από δοκιμές μονοτονικής φόρτισης, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση εξωγενών παραγόντων (π.χ. μακροχρόνια φόρτιση, διαβρωτικές συνθήκες, παρατεταμένη έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία κ.α.) Στο Σχήμα 4.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τυπικές καμπύλες εφελκυστικής τάσης-παραμόρφωσης για διάφορους τύπους ινών και για τον κοινό χάλυβα.

### 4.2.4 Υβρίδια - Νέα υλικά

Λόγω των ειδικών απαιτήσεων που συνεχώς προκύπτουν από την ιδιαιτερότητα του φαινομένου μιας έκρηξης, γίνεται διαρκής προσπάθεια εύρεσης συνδυασμών υλικών (υβρίδια), αλλά και

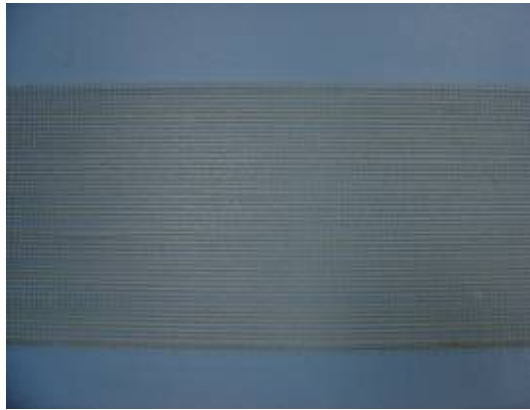
νέων υλικών. Με τα υβρίδια, υπάρχει δυνατότητα συνδυασμού διαφόρων υλικών για τη δημιουργία ενός νέου προϊόντος με τις επιθυμητές ιδιότητες, βάσει των αναγκών που έχουν προκύψει. Έτσι ως σήμερα, έχουν επιχειρηθεί πολλοί συνδυασμοί, όπου το ένα υλικό είχε εξαιρετική αντοχή, ενώ το άλλο υπερτερούσε στην ολκιμότητα. Έχουν δημιουργηθεί για παράδειγμα υβρίδια GFRP με Kevlar (υβρίδιο K/G) και CFRP με σπρέι πολυουρίας (CPU). Για το σχηματισμό του υβριδίου K/G, εξυφαίνονται ίνες Kevlar μέσα στις ίνες γυαλιού και συνδέονται μαζί τους θερμοχημικά. Πειραματικά αποτελέσματα σε τοιχοπληρώσεις, έδειξαν το υβρίδιο K/G παρουσιάζει εξαιρετικά πλάστιμη συμπεριφορά, ευκολότερη εφαρμογή σε σχέση με το CFRP και τα δοκίμια που ενισχύθηκαν με αυτό είχαν μικρότερες παραμένουσες παραμορφώσεις. Το CPU προκύπτει με ψεκασμό με σπρέι πολυουρίας ενός μέλους που έχει ήδη ενισχυθεί με CFRP. Η πολυουρία, εκτός από αύξηση της πλαστιμότητας του υβριδίου, χάρη στη μεγάλη παραμορφωσιμότητά της, προσφέρει και δυνατότητα συγκράτησης των θραυσμάτων. Ομοίως και το υβρίδιο K/G, έτσι και η χρήση του CPU οδήγησε σε μείωση των παραμορφώσεων και αύξηση της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας

Ένα πολλά υποσχόμενο νέο υλικό είναι το SRP (steel fiber reinforced polymer), κατασκευασμένο από καλώδια χάλυβα υψηλής αντοχής σε μήτρα πολυμερικής ρητίνης. Ενώ η αντοχή του είναι συγκρίσιμη με του CFRP, είναι πολύ φθηνότερο, εμποτίζεται με ρητίνη εύκολα λόγω της τραχύτητάς του, δε χρειάζεται καμπύλωση τυχόν γωνιών της διατομής πριν την εφαρμογή του και μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιπλέον μηχανικά αγκύρια για βελτίωση της σύνδεσης. Οι πειραματικές μετρήσεις δείχνουν ότι είναι εφάμιλλο με το CFRP



Εικόνα 4.1 Χαλυβδο-ύφασμα 9.06 καλώδια/cm [12]





(α)

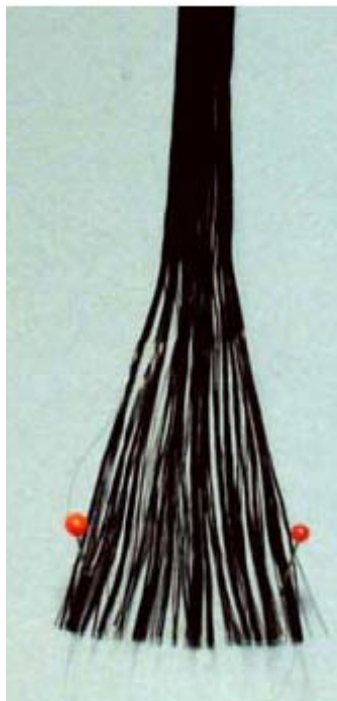


(β)

Εικόνα 4.2 (α) Τροποποιημένο χαλυβδο-ύφασμα (β) Μανδύας χαλυβδο-υφάσματος [12]

### Κλώνοι ινών

Ένας κλώνος αποτελείται από δέσμες ινών (filaments) οι οποίες συνδυάζονται μεταξύ τους. Στην εικόνα 4.3 εμφανίζονται διάφορα είδη κλώνων.



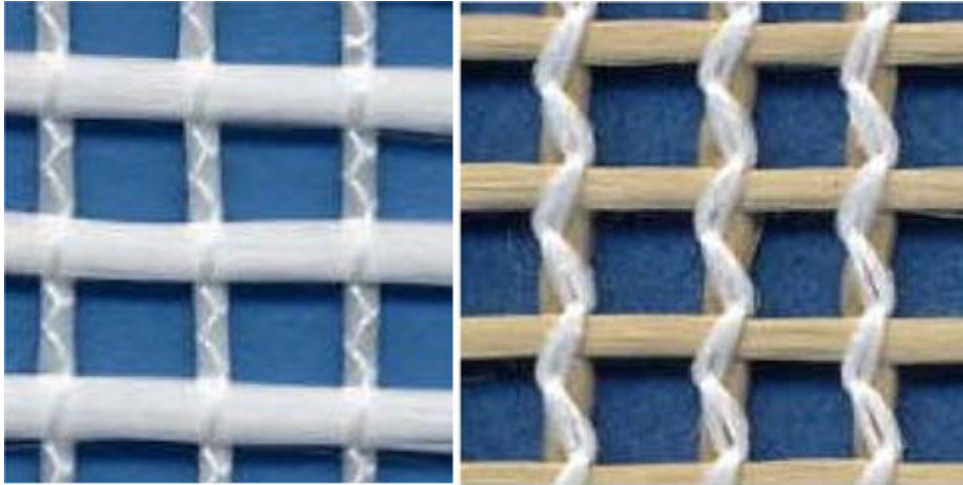
(α)



(β)

Εικόνα 4.3 Κλώνοι ινών α) Από ένα μόνο υλικό β) Συνδυασμός νημάτων ινών [12]

Όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες, τα πλέγματα δημιουργούνται από τον συνδυασμό κλώνων σε δύο ή περισσότερες διευθύνσεις. Υπάρχουν πλέγματα δύο διαστάσεων (διάταξη κλώνων σε δύο ή περισσότερες διευθύνσεις) και τριών διαστάσεων. Το κενό μεταξύ των κλώνων ονομάζεται βροχίδα.



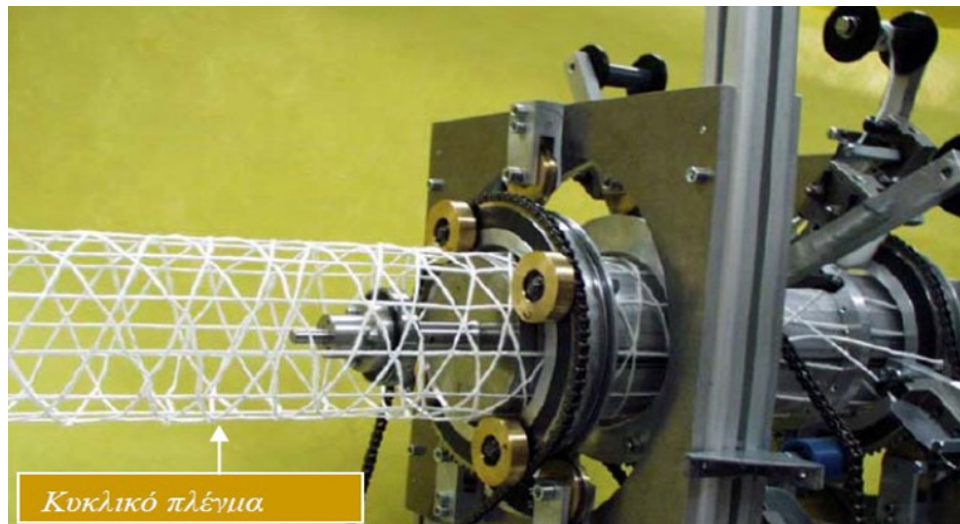
*Εικόνα 4.4 Ινοπλέγματα δύο διευθύνσεων [12]*



*Εικόνα 4.5 Ινοπλέγματα τεσσάρων διευθύνσεων [12]*



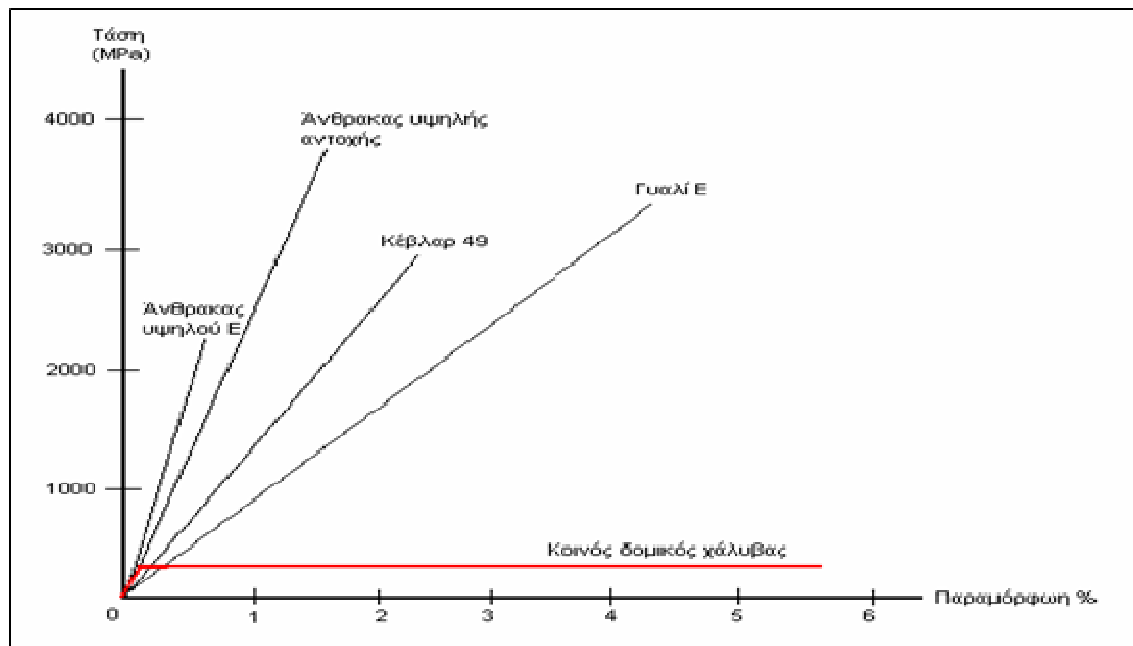
*Εικόνα 4.6 Ινοπλέγματα τριών διαστάσεων [12]*



Εικόνα 4.7 Διάταξη παραγωγής κυκλικού πλέγματος [12]

| Υλικό                               | Μέτρο<br>Ελαστικότητας<br>(GPa) | Εφελκυστική<br>αντοχή<br>(MPa) | Οριακή παραμόρφωση<br>εφελκυστικής αστοχίας<br>(%) |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--|
| <b>Άνθρακας</b>                     |                                 |                                |  |
| Υψηλής αντοχής                      | 215-235                         | 3500-4800                      | 1.4-2  |
| Υπέρ-υψηλής αντοχής                 | 215-235                         | 3500-6000                      | 1.5-2.3  |
| Υψηλού μέτρου ελαστικότητας         | 350-500                         | 2500-3100                      | 0.5-0.9  |
| Υπέρ-υψηλού μέτρου<br>ελαστικότητας | 500-700                         | 2100-2400                      | 0.2-0.4  |
| <b>Γυαλί</b>                        |                                 |                                |  |
| E                                   | 70-75                           | 1900-3000                      | 3-4.5  |
| Z                                   | 70-75                           | 1900-3000                      | 3-4.5  |
| S                                   | 85-90                           | 3500-4800                      | 4.5-5.5  |
| <b>Αραμίδιο</b>                     |                                 |                                |  |
| Χαμηλού μέτρου<br>ελαστικότητας     | 70-80                           | 3500-4100                      | 4.3-5  |
| Υψηλού μέτρου ελαστικότητας         | 115-130                         | 3500-4000                      | 2.5-3.5  |

Πίνακας 4.1 Ενδεικτικές ιδιότητες ινών



Σχήμα 4.1 Τυπικές καμπύλες εφελκυστικής τάσης-παραμόρφωσης για διάφορους τύπους

### 4.3 Μήτρα Συνθετικών Υλικών

#### 4.3.1 Μήτρα

Στα σύνθετα υλικά η μήτρα είναι η συγκολλητική ύλη μεταξύ των ινών. Είθισται να είναι ένα θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές, ενώ υπάρχουν και παραδείγματα ανόργανης μήτρας, τα οποία συνδέουν τις ίνες μεταξύ τους, τις προστατεύουν και εξασφαλίζουν την μεταφορά δυνάμεων σε αυτές (οι ίνες παραλαμβάνουν μόνο εφελκυστικές τάσεις), αλλά καθορίζουν και αρκετές μηχανικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών, όπως είναι η αντοχή κάθετα στη διεύθυνση των ινών, η διατμητική και η θλιπτική αντοχή. Προσφέρει σημαντική προστασία στις ίνες αφού χάρη σε αυτή δεν είναι εκτεθειμένες.

#### 4.3.2 Οργανική μήτρα ‘κλασσική’ (ρητίνες εποξειδικές, πολυεστερικές, βινυλεστερικές)

Οι ρητίνες είναι τουλάχιστον μια τάξη μικρότερου μεγέθους ασθενέστερες από τις ίνες στις οποίες εμποτίζεται. Απαραίτητη είναι η συνάφεια μεταξύ ινών και ρητίνης, ώστε να αναπτυχθεί ισχυρή μηχανική και χημική σύνδεση τους, αλλά και χημική συμβατότητα, έτσι ώστε να αποφευχθούν όποιες αντιδράσεις. Οι ρητίνες είναι περισσότερο ευπαθείς στη θερμότητα και την πυρκαγιά και περισσότερο ευαίσθητες στο νερό απ’ ότι οι ίνες. Τυπική μορφή αστοχίας των ινοπλισμένων πολυμερών που είναι η διάρρηξη λόγω ερπυσμού οφείλεται στην ιξωδοπλαστική συμπεριφορά της μήτρας από πολυμερές και όχι στις ίνες. Οι ρητίνες που χρησιμοποιούνται ως μήτρες στα σύνθετα υλικά είναι οι εποξειδικές, οι πολυεστερικές και οι βινυλεστερικές όπως αναλύονται παρακάτω:

**Εποξειδικές ρητίνες**

Οι εποξειδικές ρητίνες παρουσιάζουν εξαιρετικά μηχανικά χαρακτηριστικά, όπως μεγάλη αντοχή και συγκολλητική ικανότητα, υψηλή ανθεκτικότητα στις περιβαλλοντικές επιδράσεις, την κόπωση και τη χημική διάβρωση και χαμηλή συστολή ξήρανσης. Τονίζεται ότι οι ιδιότητες αυτές είναι άρρηκτα συνδεδεμένες από τη ρητίνη βάσης και τις χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται για τη παραγωγή τους. Θεωρούνται οι καλύτερες μήτρες για χρήση σε ινοπλισμένα πολυμερή συγκριτικά με τα άλλα δύο είδη ρητινών, με μειονέκτημα το υψηλό τους κόστος.

**Πολυεστερικές ρητίνες**

Το είδος αυτό αποτελεί τον κύριο όγκο των πολυμερών που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία παραγωγής σύνθετων υλικών. Λόγω της μεγάλης ποικιλίας των συστατικών τους στοιχείων, οι ιδιότητες των ρητινών διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Οι πολυεστέρες είναι ευπαθείς στο νερό μεγάλης θερμοκρασίας και τις βάσεις και παρουσιάζουν μέτρια ανθεκτικότητα στους διαλύτες και τα οξέα. Είναι λιγότερο ανθεκτικοί στην κόπωση από τα άλλα δύο είδη ρητινών, αλλά το μεγαλύτερο μειονέκτημα για χρήση σε κατασκευές που κατοικούνται, είναι η δυσάρεστη και ανθυγιεινή οσμή λόγω της χημικής τους σύστασης.

**Βινυλεστερικές ρητίνες**

Οι βινυλεστερικές ρητίνες είναι περισσότερο εύκαμπτες, σκληρότερες, πιο ανθεκτικές σε κόπωση και λιγότερο χημικά ενεργές σε σχέση με τις πολυεστερικές. Είναι λιγότερο συγκολλησιμες και παρουσιάζουν μικρότερη αντοχή σε κόπωση σε σχέση με τις εποξειδικές. Εξαιτίας της χημικής τους σύστασης, έχουν δυσάρεστη οσμή.

**4.3.3 Ανόργανη μήτρα**

Είναι δυνατή η εφαρμογή της ενίσχυσης μέσω ανόργανων συνδετικών υλικών, για την άρση των μειονεκτημάτων που προκύπτουν από την χρήση οργανικών υλικών (πτώση αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες, υψηλό κόστος κλπ). Προϋπόθεση για την υλοποίηση των παραπάνω αποτελεί η εφαρμογή πλεγμάτων σε δύο ή περισσότερες διευθύνσεις με βροχίδες.

Η ανόργανη μήτρα δύναται να αποτελείται από μικροσκυροδέματα ή κονιάματα αυτοσυμπυκνούμενα με μέγιστο κόκκο αδρανών τα 2 mm. Έτσι, το συνδετικό υλικό καλύπτει τα κενά μεταξύ των κλώνων του πλέγματος (βροχίδες). Συνεπώς είναι δυνατή η μεταφορά δυνάμεων μέσω μηχανικής εμπλοκής πλέγματος και κονιάματος.

Σε περίπτωση χρήσης ανόργανων συνδετικών υλικών σε συνδυασμό με πλέγμα από ίνες υάλου απαιτείται το τελευταίο να είναι τύπου AR (Alkali Resistant), ή να γίνεται προεμποτισμός των κλώνων του πλέγματος με κάποιο πολυμερές χαμηλού κόστους. Έτσι, αποφεύγεται η πρόωμη αστοχία των ινών λόγω της υψηλής αλκαλικότητας των ανόργανων συνδετικών υλικών. Η μήτρα πρέπει να έχει τέτοια χημική σύσταση, ώστε να είναι συμβατή με αυτή του πλέγματος ινών αλλά και να είναι ανθεκτική έναντι έντονων περιβαλλοντικών συνθηκών. Ένα ακόμη στοιχείο που πρέπει να πληρεί είναι η πρόωμη υψηλή θλιπτική αντοχή για να καθίσταται δυνατή η γρήγορη αποδέσμευσή της από τους τύπους.

#### 4.4 Είδη Σκυροδέματος

Τα είδη σκυροδέματος διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα της σύστασης της βασικής τους κονιάς. Στη πρώτη κατηγορία ανήκουν τα μείγματα με βασική κονία το σύνηθες τσιμέντο τύπου Πόρτλαντ (Portland). Η δεύτερη έχει τσιμέντο Πορτλαντ με την προσθήκη κλάσματος πολυμερών, ενώ στην τρίτη έχουμε μείγματα με βασική κονία τσιμέντα με βάση τον φώσφορο και το αλουμίνιο.

##### 4.4.1 Συνήθη σκυροδέματα-κονιάματα

Σε αυτή τη κατηγορία βασική κονία είναι το τσιμέντο Πόρτλαντ. Η παρουσία υδρασβέστου δημιουργεί αλκαλικότητα στη μήτρα, αρνητικός παράγοντας, για τις ίνες αλλά και τη δομή του τσιμεντοπολτού. Η μείωση της υδρασβέστου επιτυγχάνεται με την προσθήκη λεπτόκοκκων υλικών με μεγάλη περιεκτικότητα σε οξείδια του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ), όπως η ιπτάμενη τέφρα, η πυριτική παιπάλη και ο καολινήτης. Το ποσοστό της πυριτικής παιπάλης δεν πρέπει να ξεπερνά το 10% των λεπτόκοκκων συνολικά για να διατηρείται η εργασιμότητα του μείγματος. Ακόμη για την επίτευξη ικανοποιητικής ρευστότητας και διείσδυσης του μείγματος προτείνεται η χρήση αδρανών με μέγιστο κόκκο τα 0,6mm.

##### 4.4.2 Σκυρόδεμα με προσθήκη πολυμερών

Η προσθήκη κλασμάτων πολυμερών στην ανόργανη μήτρα διερευνήθηκε από το RWTH. Τα αποτελέσματα των ερευνών έδειξαν ότι η προσθήκη πολυμερών διαμέτρου 0,1 έως 0,2  $\mu\text{m}$  επιφέρει σημαντική βελτίωση των συνθηκών συνάφειας μεταξύ μήτρας και πλέγματος δεδομένης της δυνατότητας τους να εισχωρούν μεταξύ των νημάτων ινών και ταυτόχρονα να αυξάνουν την καμπτική αντοχή της ανόργανης μήτρας. Το ποσοστό τους ανέρχεται στο 20% κατά βάρος των λεπτόκοκκων υλικών ενώ το PH τους είναι ουδέτερο.

##### 4.4.3 Σκυροδέματα με μη συμβατική κονία

Στα σκυροδέματα αυτά το μεγαλύτερο ποσοστό της βασικής τους κονιάς αποτελεί ο φώσφορος ή το αλουμίνιο. Βρίσκονται ακόμη σε ερευνητικό στάδιο και δεν προσφέρουν μεγάλο χρόνο εργασιμότητας. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την παρασκευή ανόργανης μήτρας σε στοιχεία ινοπλισμένου σκυροδέματος.

#### 4.5 Σύνθετα Υλικά

Τα σύνθετα υλικά που εφαρμόζονται στο πεδίο των ενισχύσεων προκύπτουν από το συνδυασμό συνεχών ινών, συνήθως μιας διεύθυνσης, και πολυμερικής μήτρας (γι αυτό και ονομάζονται ινοπλισμένα πολυμερή). Διακρίνονται δύο τύποι σύνθετων υλικών:

- Τύπου «δύσκαμπτου» ελάσματος (strip) πάχους 1-1.5mm και πλάτους μερικών χιλιοστών (50-100mm). Σε αυτά οι ίνες καταλαμβάνουν περίπου το 50-70% του συνολικού όγκου του υλικού

- Τύπου «εύκαμπτου» υφάσματος (fabric) η φύλλων (sheets) πάχους 0.1-0.5mm στα οποία όταν παρασκευάζονται με επιτόπου εφαρμογή της ρητίνης, το ποσοστό των ινών ανέρχεται σε 20-35%.

Οι μηχανικές ιδιότητες των ινοπλισμένων πολυμερών με ίνες σε μία κυρίως διεύθυνση μπορούν είτε να μετρηθούν πειραματικά είτε να εκτιμηθούν μέσω του «κανόνα ανάμιξης»:

Το μέτρο ελαστικότητας σύνθετων υλικών παράλληλα στις ίνες ( $E_f$ ) δίνεται από τον κάτωθι τύπο

$$E_f = E_{fib} * V_{fib} + E_m * V_m \quad (4.1)$$

Αντίστοιχα η εφελκυστική αντοχή σύνθετων υλικών παράλληλα στις ίνες ( $f_f$ ) δίνεται από τον τύπο που ακολουθεί

$$f_f = f_{fib} * V_{fib} + f_m * V_m \quad (4.2)$$

όπου:

$E_f$  = μέτρο ελαστικότητας σύνθετων υλικών παράλληλα στις ίνες

$E_{fib}$  = μέτρο ελαστικότητας ινών

$E_m$  = μέτρο ελαστικότητας μήτρας

$V_{fib}$  = ογκομετρικό ποσοστό ινών

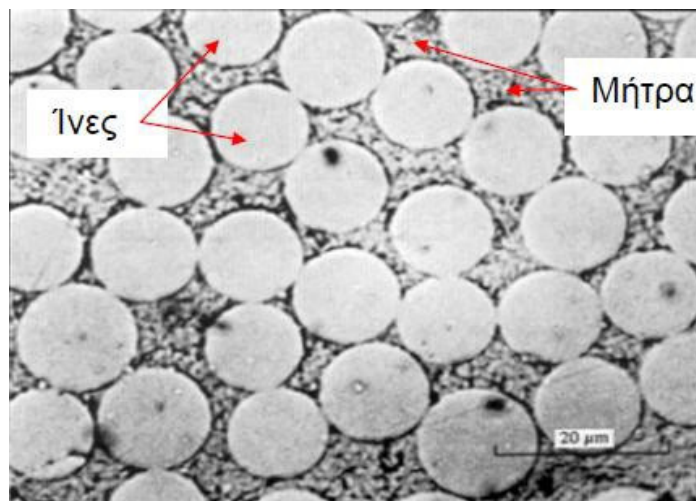
$V_m$  = ογκομετρικό ποσοστό μήτρας = 1 -  $V_{fib}$

$f_f$  = εφελκυστική αντοχή σύνθετων υλικών παράλληλα στις ίνες

$f_{fib}$  = εφελκυστική αντοχή ινών

$f_m$  = εφελκυστική αντοχή μήτρας

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται σε μεγέθυνση μία τομή ελάσματος σύνθετου υλικού:



Εικόνα 4.8 Τομή ελάσματος σύνθετου υλικού σε μεγέθυνση

Τα σύνθετα υλικά εφαρμόζονται σε δομικά στοιχεία από σκυρόδεμα, φέρουσα τοιχοποιία και ξύλο και χρησιμοποιούνται για:

- την αύξηση της αντοχής σε κάμψη

- την αύξηση της αντοχής σε τέμνουσα και
- την περίσφιγξη υποστυλωμάτων/τοιχοποιιών

Πέρα από την αύξηση της αντοχής σε καμπτικά και διατμητικά φορτία, τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται ακόμα στις φέρουσες τοιχοποιίας:

- για την απορρόφηση εφελκυστικών τάσεων από στατικά η δυναμικά φορτία σε τόξα, θόλους ή τρούλους
- για την αποκατάσταση και τον έλεγχο της κατακορυφότητας των τοίχων και
- για την περίδεση ρηγματωμένων κτιρίων, ώστε να αποκατασταθεί η έννοια της «κιβωτοειδούς» συμπεριφοράς των, ή μέρους αυτών και για τη συρραφή ρηγματώσεων.

#### 4.6 Συστήματα Ενίσχυσης με Σύνθετα Υλικά

Τα συστήματα ενίσχυσης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος με σύνθετα υλικά είναι γενικά δύο τύπων:

- (α) υγρής εφαρμογής ( ή επιτόπου τόπου σκλήρυνσης της μήτρας) και  
 (β) προκατασκευασμένα (η σκλήρυνση της μήτρας έχει προηγηθεί της εφαρμογής).

##### 4.6.1 Συστήματα υγρής ενίσχυσης

Φύλλα ή υφάσματα αποτελούμενα από συνεχείς ίνες μιας διεύθυνσης, χωρίς μήτρα («ξηρή» κατάσταση). Για την εφαρμογή τους απαιτείται συνήθως η εφαρμογή «ασταρώματος» στο σκυρόδεμα και ακολούθως ο εμποτισμός των ινών με ρητίνη βάσει μιας εκ των εξής μεθόδων:

- εφαρμογή της ρητίνης στο σκυρόδεμα, τοποθέτηση των ινών απευθείας στη ρητίνη.
- προεμποτισμός των ινών ( επί τόπου στο έργο αλλά όχι επάνω στο υπό ενίσχυση στοιχείο) με ρητίνη και ακολούθως επικόλληση.
- Υφάσματα αποτελούμενα από συνεχείς ίνες σε τουλάχιστον δύο διευθύνσεις (π.χ. 0 και 90ο ή +45ο σε σχέση με τον άξονα του υπό ενίσχυση μέλους, χωρίς μήτρα. Η εφαρμογή τους γίνεται όπως περιγράφεται στις παραπάνω δύο περιπτώσεις
- Φύλλα ή υφάσματα αποτελούμενα από συνεχείς ίνες μίας κυρίως διεύθυνσης, προεμποτισμένα με ρητίνη σε μη σκληρυμένη μορφή. Η εφαρμογή τους γίνεται με ή χωρίς επιπλέον ρητίνη.
- Φύλλα ή υφάσματα αποτελούμενα από συνεχείς ίνες σε τουλάχιστον δύο διευθύνσεις, προεμποτισμένα με ρητίνη σε μη σκληρυμένη μορφή. Η εφαρμογή τους γίνεται με ή χωρίς επιπλέον ρητίνη.
- Συνεχείς ίνες χωρίς μήτρα, συγκεντρωμένες σε μορφή νήματος, το οποίο εμποτίζεται με ρητίνη ενώ τυλίγεται στο στοιχείο σκυροδέματος.
- Προεμποτισμένες συνεχείς ίνες, συγκεντρωμένες σε μορφή νήματος, το οποίο ενώ τυλίγεται στο στοιχείο σκυροδέματος, ενδεχομένως να υφίσταται και πρόσθετο εμποτισμό.



#### 4.6.2 Προκατασκευασμένα υλικά

Τα προκατασκευασμένα ελάσματα προτιμούνται έναντι των υφασμάτων όταν η εφαρμογή γίνεται σε επίπεδες επιφάνειες (π.χ. καμπτική ενίσχυση δοκών η πλακών), ενώ σε άλλες περιπτώσεις (π.χ. μανδύες υποστρωμάτων, διατμητική ενίσχυση δοκών) η εφαρμογή υφασμάτων μέσω της υγρής μεθόδου προτιμάται.

Τα ελάσματα διατίθενται συνήθως σε μορφή ρόλων (κουλούρες) και παράγονται με τη μέθοδο της εξέλασης ή σπανιότερα, της στρωμάτωσης. Στη μέθοδο της εξέλασης οι ίνες είναι κατά κανόνα συνεχείς και παράλληλες στη διεύθυνση των ελασμάτων, ενώ η στρωμάτωση επιτρέπει τη χρήση ινών σε διαφορετικές διευθύνσεις (π.χ. παράλληλες και κάθετες στη διεύθυνση των ελασμάτων η και υπό γωνίες +45ο ή -45ο ).

Προκατασκευασμένα κελύφη (shells), μανδύες (jackets) ή γωνιές (angles) τα οποία επικολλούνται μέσω ρητίνης.

#### 4.7 Τεχνικές Εφαρμογής Σύνθετων Υλικών

Η απόδοση των ιδιοτήτων σύνθετων υλικών εξαρτάται από την σωστή και επιμελημένη εκτέλεση των εργασιών. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί σε όλα τα στάδια και τις φάσεις χρήσης των υλικών:

- την προσεκτική προετοιμασία της επιφάνειας
- την επικόλληση των δομικών στοιχείων
- την σωστή επιλογή της ρητίνης

Δεδομένου ότι έχουν ληφθεί υπόψη οι συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας, ο σχολαστικός καθαρισμός των ελασμάτων και ο επιμελημένος τρόπος χρήσης αυτών από τα εξειδικευμένα συνεργεία, καθώς και την σωστή, ευθύγραμμη επικόλληση των υλικών. Σε περίπτωση που κάποιο στάδιο της διαδικασίας δε προσεχθεί, δύναται να μειωθεί σημαντικά, ή ακόμα και να ακυρωθεί, η αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης ή της επισκευής. Συνεπώς, οι εργασίες αυτές πρέπει να εκτελούνται από εξειδικευμένα συνεργεία, δεδομένου ότι η εφαρμογή κατά την κατασκευή αποτελεί το σημαντικότερο σημείο για τη μηχανική συμπεριφορά της ενίσχυσης. Όλα τα ανωτέρω χρήζουν την επίβλεψη από εξειδικευμένο μηχανικό.

##### 4.7.1 Βασική Τεχνική Εφαρμογής

Η βασική τεχνική, η οποία εφαρμόζεται κατ' αποκλειστικότητα στην Ελληνική επικράτεια περιλαμβάνει την δια χειρός επικόλληση είτε υφασμάτων (προεμποτισμένων με ρητίνη ή μη προεμποτισμένων), είτε προκατασκευασμένων στοιχείων σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος, με τη χρήση εποξειδικών ρητινών.



Εικόνα 4.9 Παραδείγματα εφαρμογής της βασικής τεχνικής

Συνοπτικά, η διαδικασία εφαρμογής σύνθετων υλικών περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- Καθαίρεση του επιχρίσματος
- Αποκατάσταση των ενδεχόμενων βλαβών με χρήση κατάλληλης μεθόδου (Σφραγίζονται όλες οι προϋπάρχουσες ρωγμές με ενέσεις κονιάματος ή εποξειδικής ρητίνης στην περίπτωση που αποκαθιστούμε ένα ήδη ζημιωμένο/ ρηγματωμένο δομικό στοιχείο).
- Προετοιμασία της επιφάνειας του δομικού στοιχείου
- Εξομάλυνση της επιφάνειας, στην περίπτωση που το σύνθετο υλικό καλύπτει γωνίες, αυτές εξομαλύνονται και λειαίνονται για να αποκτήσουν καμπυλότητα με ακτίνα 30 mm.
- Ύστερα κάνουμε χρήση του κατάλληλου τσιμεντοκονιάματος για γέμισμα κοίλων σημείων βάθους μεγαλύτερου 4cm ή χρήση εποξειδικής πάστας για γέμισμα μικρότερων σημείων κτλ.)
- Παροχή αέρα με πίεση για απομάκρυνση σκόνης
- Έλεγχος της καταλληλότητας των συνθηκών περιβάλλοντος, όπως σημείο υγροποίησης (dew point) ή βροχή, μέσω πινάκων ή προδιαγραφών που δίνει η εταιρεία των υλικών πριν την εφαρμογή
- Επάλειψη της επιφάνειας του δομικού στοιχείου με εποξειδική ρητίνη ή εποξειδικό αστάρι για συνάφεια και αναμονή
- Επάλειψη της επιφάνειας του δομικού στοιχείου με εποξειδική κόλλα
- Τοποθέτηση της πρώτης στρώσης ινοπλισμένου πολυμερούς στη διεπιφάνεια του δομικού στοιχείου. Συνιστάται η πλήρης επαφή του δομικού στοιχείου με το σύνθετο υλικό.
- Τοποθέτηση ειδικών αγκυρίων όπου απαιτείται.
- Τοποθέτηση επιπλέον στρώσεων σύνθετου υλικού όταν απαιτείται.
- Μετά τη σκλήρυνση του συστήματος, ρήψη χαλαζιακής άμμου και προσκόλληση, εφαρμογή επιχρίσματος, βαφή της επιφάνειας του δομικού στοιχείου με βάση αρχιτεκτονικές και αισθητικές προτιμήσεις.

### 4.7.2 Ανάγκη διατμητικής ενίσχυσης υποστυλωμάτων

Η βασικότερη απαίτηση του σημερινού Κανονισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού, είναι η αποφυγή κατάρρευσης μέρους ή του συνόλου της κατασκευής, υπό τη δράση του σεισμού σχεδιασμού. Ο ικανοτικός σχεδιασμός αποτελεί μια φιλοσοφία σχεδιασμού ικανή να καλύψει την παραπάνω απαίτηση, η οποία περιλαμβάνει την ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα των δοκών όπως προκύπτει από την καμπτική συμπεριφορά τους σαν οριζόντια μέλη πλαισιακών φορέων.

Κάθε είδους διατμητική αστοχία είναι ανεπιθύμητη, πρωτίστως σε υποστυλώματα, καθώς πρόκειται: α) για ψαθυρού τύπου αστοχία με πρακτικά μηδενική κατανάλωση ενέργειας του μέλους μέχρι την αστοχία, και β) διότι δεν υπάρχει πλήρης εκμετάλλευση της ικανότητας του στοιχείου να παραλάβει καμπτικές ροπές. Για τα υποστυλώματα, η αποφυγή διατμητικής αστοχίας προέχει, όμως η παρουσία του θλιπτικού αξονικού φορτίου δρα ευεργετικά αυξάνοντας την αντοχή των μελών αυτών σε τέμνουσα (εκτός της περίπτωσης των ακραίων υποστυλωμάτων που μέσω ζεύγους δυνάμεων καλούνται να παραλάβουν τη ροπή ανατροπής - η οποία δημιουργείται από τις αναπτυσσόμενες εξαιτίας του σεισμού, πλευρικές δυνάμεις – με συνέπεια τη μείωση ή και την αναίρεση της αξονικής θλίψης σε αυτά, με εναλλασσόμενη επιρροή σε κάθε κύκλο φόρτισης). Μεγάλο πρόβλημα παρατηρείται στα «κοντά» υποστυλώματα (με λόγο διάτμησης μικρότερου του 2 ή του 1.5) όπου η διατμητική αστοχία είναι η πιθανότερη μορφή αστοχίας, κυρίως λόγω λοξής θλίψης του σκυροδέματος.

### 4.7.3 Ενίσχυση υποστυλωμάτων με FRP

Μια από τις πιο συνηθισμένες εφαρμογές των ινοπλισμένων πλαστικών υλικών είναι αυτή της ενίσχυσης υποστυλωμάτων. Η ενίσχυση μπορεί να επιτευχθεί είτε με “περιτύλιξη” των μελών με ταινίες-υφάσματα από σύνθετα υλικά με προσανατολισμό ινών τέτοιο ώστε να παραλαμβάνουν εφελκυστικές δυνάμεις. Από πειραματικά αποτελέσματα έχει αποδειχθεί η αποτελεσματικότητα της μεθόδου, η οποία συντελεί στην:

- αύξηση της θλιπτικής αντοχής
- αύξηση της πλαστιμότητας
- βελτίωση του μηχανισμού ανάληψης τεμνουσών δυνάμεων
- βελτίωση της αντοχής του διαμήκους οπλισμού σε λυγισμό
- αύξηση της καμπτικής και διατμητικής αντοχής των μελών.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου έναντι του χάλυβα, είναι τα ακόλουθα: τα υλικά αυτά δεν διαβρώνονται,

- έχουν μικρό βάρος,
- είναι διαθέσιμα σε μεγάλες διαστάσεις,
- αναπτύσσουν μεγάλες αντοχές,
- μπορούν να αναπτύξουν μεγάλες ελαστικές παραμορφώσεις .
- μειώνεται ο κατασκευαστικός χρόνος
- έχει χαμηλό κόστος συντήρησης.



(α)



(β)

Εικόνα 4.10 (α) Ενίσχυση με Robo-Wrapper (β) Ενίσχυση με υαλο-ύφασμα



Εικόνα 4.11 Ενίσχυση κλίμακας της Εθνικής Πινακοθήκης Αθηνών με CFRP

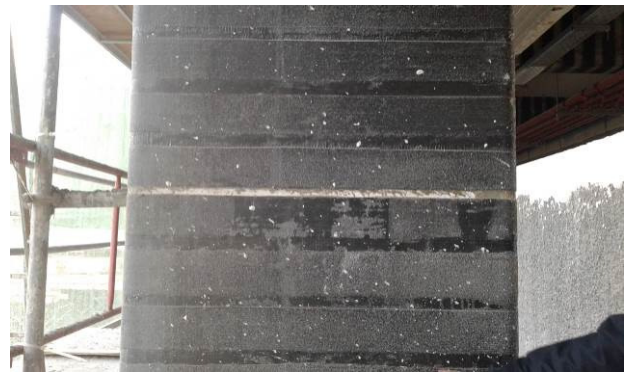
Η αύξηση της φέρουσας ικανότητας σε αξονικό φορτίο ενός υποστυλώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα επιτυγχάνεται με χρήση περίσφιγξης, η οποία γίνεται με τοποθέτηση μανδύων από σύνθετο υλικό στην περίμετρο των υποστυλωμάτων, με τις ίνες στην περιμετρική διεύθυνση. Επιπλέον μπορούμε να ενισχύσουμε το στοιχείο μας σε κάμψη με την χρήση ανθρακοελασμάτων ή ράβδων από ΙΟΠ ποικίλων σχημάτων εντός εγκοπών. Η τοποθέτηση των υλικών αυτών εξαρτάται από τις συνθήκες, την ιδιομορφία της κατασκευής και τους αρχιτεκτονικούς περιορισμούς. Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι τα σύνθετα υλικά κρίνονται ως αποτελεσματικά τόσο σε κυκλικά όσο σε ορθογωνικά /τετραγωνικά υποστυλώματα.



Σχήμα 4.2 Εναλλακτικός τρόπος εφαρμογής της ενίσχυσης [19]



(α)

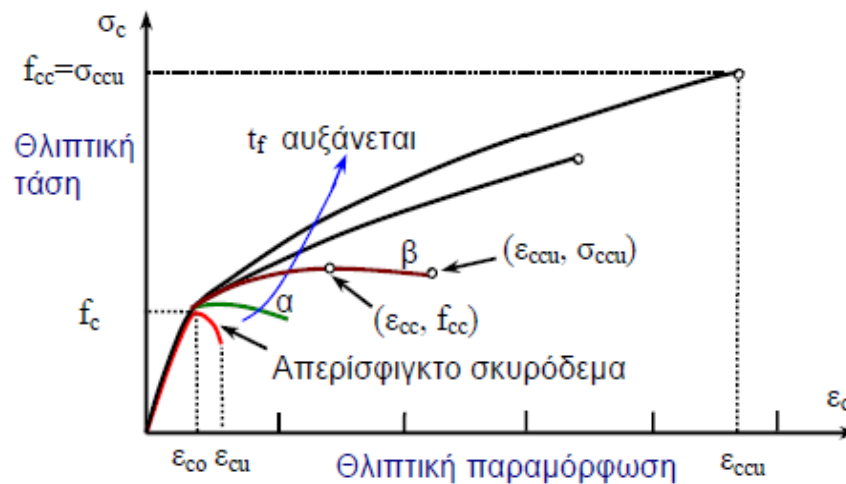


(β)

Εικόνα 4.12 (α) Ενίσχυση υποστρώματος με μανδύα CFRP (β) Μεγέθυνση του (α) στο σημείο αρμού συστολής διαστολής του μανδύα

Αναλόγως την αδυναμία των μελών της κατασκευής διακρίνουμε 3 τύπους ενισχύσεων:

- Ενίσχυση σε κάμψη
- Ενίσχυση σε διάτμηση
- Ενίσχυση με περίσφιξη



Σχήμα 4.3 Καμπύλες θλιπτικής τάσης – παραμόρφωσης για σκυρόδεμα περισιφιγμένο με σύνθετα υλικά [15]

### Ενίσχυση με περίσιφιξη

Η δράση των σύνθετων υλικών με την περίσιφιξη του σκυροδέματος είναι πολύ ευνοϊκή σε σχέση με την εφαρμογή μεταλλικών μανδύων ίσης δυσκαμψίας. Το σκυρόδεμα διογκώνεται εγκάρσια κατά την αξονική καταπόνηση υποστυλωμάτων (π.χ. λόγω κάμψης και/ή αξονικού φορτίου), με αποτέλεσμα ο μανδύας των συνθέτων υλικών που το περισφίγγει να ενεργοποιείται (δια μέσω της ανάπτυξης εφελκυστικών παραμορφώσεων στις ίνες), ασκώντας έτσι εγκάρσιες θλιπτικές τάσεις (περίσιφιξης) κάθετα στον άξονα του μέλους, μέχρι την αστοχία του.

Οι τάσεις περίσιφιξης έχουν ως τα κάτωθι αποτέλεσμα:

- Αύξηση της θλιπτικής αντοχής και της παραμορφωσιμότητας (δηλαδή της οριακής παραμόρφωσης) του σκυροδέματος.
- Αύξηση της πλαστιμότητας (με την αύξηση της γωνίας στροφής χορδής ενός μέλους στην (καμπτική) αστοχία)
- Βελτιώνει τις συνθήκες συνάφειας μεταξύ ράβδων οπλισμού και σκυροδέματος σε περιοχές ματίση, συνεπώς παρεμποδίζει την ολίσθησης των διαμήκων ράβδων στις περιοχές αυτές.
- Καθυστέρηση της εμφάνισης λυγισμού των διαμήκων ράβδων σε περιοχές με αραιή διάταξη συνδετήρων.

Η αύξηση της θλιπτικής αντοχής που επιτυγχάνεται με μανδύες ινοπλισμένων πολυμερών, όπως τα ανθρακονήματα, των οποίων οι ίνες είναι προσανατολισμένες κάθετα στον άξονα του στοιχείου, υπολογίζεται ως εξής:

(α) Για κυκλική Διατομή [14]:

Η αυξημένη λόγω εξωτερικής περίσιφιξης από το μανδύα σύνθετου υλικού θλιπτική αντοχή  $f_{cc}$  του σκυροδέματος κυκλικής διατομής διαμέτρου  $D$  δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$f_{cc} = f_{co} [2.25 (1 + 7.94 f_1 / f_{co})^{1/2} - 2 f_1 / f_{co} - 1.25]$$

$$\text{με } f_1 = 0.26 \rho_{sj} f_{uj}$$

όπου:

$f_{co}$  είναι η θλιπτική αντοχή του υπάρχοντος σκυροδέματος

$f_i$  η τάση περίσφιγξης

$f_{ij}$  η μέγιστη εφελκυστική τάση του μανδύα σύνθετου υλικού

$\rho_{sj}$  το ογκομετρικό ποσοστό περίσφιγξης σκυροδέματος από το μανδύα σύνθετου υλικού.

Το  $\rho_{sj}$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\rho_{sj} = 4 n t_j / D$$

όπου:

$n$  είναι ο αριθμός των στρώσεων του μανδύα σύνθετου υλικού

$t_j$  το πάχος μίας στρώσης

(β) Για Ορθογωνική Διατομή [14]:

Η αυξημένη λόγω μανδύα σύνθετων υλικών θλιπτική αντοχή  $f_{cc}$  του σκυροδέματος ορθογωνικής διατομής διαστάσεων  $b \times d$  δίνεται από τη σχέση:

$$f_{cc} = f_{co} (1 + 1.5 \rho_{sj})$$

όπου:

$f_{co}$  είναι η θλιπτική αντοχή του υπάρχοντος σκυροδέματος

$\rho_{sj}$  το ογκομετρικό ποσοστό περίσφιγξης σκυροδέματος από το μανδύα σύνθετου υλικού, το οποίο δίνεται από τη σχέση:

$$\rho_{sj} = 2 n t_j (b + d) / (b d)$$

όπου:

$n$  είναι ο αριθμός των στρώσεων του μανδύα σύνθετου υλικού

$t_j$  το πάχος μίας στρώσης. [14]

#### 4.7.4 Πλεονεκτήματα Ενίσχυσης με FRP

Η χρήση των σύνθετων υλικών στην ενίσχυση δομικών στοιχείων παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών τεχνικών ενίσχυσης όπως:

- γενικά τα σύνθετα υλικά έχουν χαμηλό βάρος ( περίπου το 1/4 του χάλυβα) καθώς επίσης κατά την τοποθέτησή τους δεν χρειάζεται η χρήση ικριωμάτων, με αποτέλεσμα να εξασφαλίζουν ευκολία και ταχύτητα της εφαρμογής της τεχνικής αυτής ακόμα και σε σημεία με δύσκολη πρόσβαση
- έχουν υψηλή ειδική αντοχή και ειδική δυσκαμψία ( ο λόγος της εφελκυστικής αντοχής ή της δυσκαμψίας προς την πυκνότητα αντίστοιχα) συντελεί στην αύξηση της καμπτικής και διατμητικής αντοχής και της δυσκαμψίας του προς ενίσχυση δομικού στοιχείου
- παράγονται σε εύκαμπτη και ποικίλη μορφή, με αποτέλεσμα το σύστημα ενίσχυσης να μπορεί να εφαρμόζεται σε διατομές οποιουδήποτε σχήματος και διαστάσεων
- παράγονται σε μεγάλα μήκη, σε αντίθεση με τα χαλύβδινα ελάσματα και διαμήκεις βέργες οπλισμού που διατίθενται σε ορισμένα μήκη
- έχουν μικρό πάχος και έτσι δεν αλλοιώνουν τις διαστάσεις, την αρχιτεκτονική και την αισθητική του κτιρίου. Γι' αυτό το λόγο η τεχνική αυτή ενίσχυσης βρίσκει εφαρμογές σε επεμβάσεις σε κτίρια σημαντικής αρχιτεκτονικής και ιστορικής αξίας

- έχουν ανθεκτικότητα σε διάβρωση
- σαν υλικό ΙΟΠ καθεαυτό είναι ανεπηρέαστο από την φωτιά
- έχουν μειωμένο κατασκευαστικό χρόνο
- τέλος, έχουν χαμηλό κόστος συντήρησης

#### 4.7.5 Μειονεκτήματα Ενίσχυσης με **frp**

Όμως, τα σύνθετα υλικά έχουν και κάποια μειονεκτήματα, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

- τα σύνθετα υλικά έχουν μεγάλο κόστος, με αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους της ενίσχυσης
- παρουσιάζουν φτωχή συμπεριφορά σε υψηλές θερμοκρασίες εξαιτίας της ρητίνης, σε θερμοκρασία 50 – 80 °C (θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης), οι οποίες μετατρέπουν την εποξειδική ρητίνη σε “πλαστικό” υλικό, με αποτέλεσμα τη μείωση της ικανότητας ανάληψης δυνάμεων και το μέτρο ελαστικότητας. Κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς επέρχεται πλήρης αποσύνθεση των ρητινών, συνεπώς τα σύνθετα υλικά καθίστανται ανενεργά
- παρουσιάζουν φτωχή συμπεριφορά στην υπεριώδη ακτινοβολία, η οποία επιφέρει αλλοίωση της ισχύος των δεσμών και γενικά μείωση της αντοχής στην μήτρα των σύνθετων υλικών που εκτίθενται σε αυτή
- υπάρχει απουσία κανόνων σχεδιασμού
- υπάρχει έλλειψη πλαστιμότητας, παρόλο που έχουν υψηλή παραμορφωσιμότητα, η οποία μπορεί να επιφέρει αύξηση της πλαστιμότητας
- υπάρχει έλλειψη εμπειρίας σχεδιασμού με σύνθετα πολυμερή υλικά στις κατασκευές
- υπάρχει έλλειψη γνώσεων στον τεχνικό κόσμο, καθώς είναι μία σύγχρονη τεχνική ενίσχυσης
- Τέλος, η μικρή δυσκαμψία που παρουσιάζουν (μικρό μέτρο ελαστικότητας) μπορεί να ληφθεί άλλοτε ως πλεονέκτημα, αν επιθυμούμε από το υλικό να απορροφά μεγάλα ποσά ενέργειας χωρίς να αστοχεί, και άλλοτε ως μειονέκτημα, αν ζητείται σε κάποια σημεία της κατασκευής μεγάλη δυσκαμψία [15]



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο**

### **ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

### **ΤΕΧΝΙΚΟ ΦΥΛΛΑΔΙΟ ΥΛΙΚΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ**

#### **5.1 Σκυρόδεμα C30/37**

##### **5.1.1 Γενικά**

Σκυρόδεμα είναι μια τεχνητή πέτρα που σχηματίζεται με την ανάμιξη σε κατάλληλες αναλογίες τσιμέντου, αδρανών, και νερού. Αυτό αποκτά τις τελικές του ιδιότητες με τη σκλήρυνση του τσιμεντοπολτού (μίγμα τσιμέντου – νερού). Μπορεί να περιέχει και ορισμένα άλλα ‘πρόσθετα’ υλικά. Η πιο σπουδαία ιδιότητα του σκυροδέματος είναι η αντοχή του σε θλίψη, επειδή αυτή επηρεάζει και άλλες ιδιότητες. Αποτελεί γενικό δείκτη της ποιότητας του αφού είναι άμεσα συνδεδεμένη με την εσωτερική δομή του (αδρανή-τσιμεντοπολτός) και αποτελεί βασικό στοιχείο για την διαστασιολόγηση των κατασκευών από το υλικό αυτό. Από αυτή εξάλλου χαρακτηρίζεται βασικά και η ποιότητα του σκυροδέματος.

Τσιμεντοκονίαμα είναι τεχνητή πέτρα που προκύπτει από την ανάμιξη τσιμέντου, άμμου κόκκου μέχρι 4mm, και νερού.

Αδρανή ονομάζονται τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή σκυροδεμάτων και τσιμεντοκονιαμάτων. Προέρχονται από πετρώματα ή τεχνητά υλικά που έχουν τεμαχιστεί φυσικά ή τεχνητά. Η διάμετρος των κόκκων ποικίλει ανάλογα με τη χρήση. Τα αδρανή οφείλουν το όνομα τους στην αντίληψη, ότι τα υλικά αυτά δεν παίρνουν μέρος στις χημικές αντιδράσεις της πήξης και της σκλήρυνσης κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου, όμως αυτό δεν ευσταθεί απόλυτα, διότι η εξωτερική τουλάχιστον επιφάνεια των κόκκων συμμετέχει στις παραπάνω χημικές αντιδράσεις.

Κονία ονομάζεται κάθε συγκολλητικό υλικό σε κατάσταση στερεή ή ρευστή, σε μορφή διαλύματος ή αιωρήματος, το οποίο όταν αναμιχθεί και κατεργαστεί υπό ορισμένες αναλογίες μεταβάλλεται σε εύπλαστο πολτό. Ο πολτός αυτός αποτελεί μετά την πήξη και σκλήρυνση του το συγκολλητικό υλικό των κονιαμάτων και των σκυροδεμάτων. Η κονία του σκυροδέματος είναι το τσιμέντο. [20]

### 5.1.2 Χαρακτηριστικά Σκυροδέματος C30/37

Η ποιότητα σκυροδέμα C30/37 παρουσιάζει τις αντοχές του παρακάτω πίνακα:

| Αντοχές (MPa)                      | Κατηγορία σκυροδέματος C30/37 |
|------------------------------------|-------------------------------|
| Θλιπτική $f_{ck}$ (κυλίνδρου)      | 30                            |
| Θλιπτική $f_{ck}$ (κύβου)          | 37                            |
| Εφελκιστική $f_{ctk 0.05}$         | 2.0                           |
| Εφελκιστική $f_{ctm}$              | 2.9                           |
| Εφελκιστική $f_{ctk 0.95}$         | 3.8                           |
| Διατμητική $\tau_{Rd}$             | 0.34                          |
| Μέτρο Ελαστικότητας $E_{cm}$ (GPa) | 32                            |

Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικές αντοχές ποιότητας σκυροδέματος C30/37

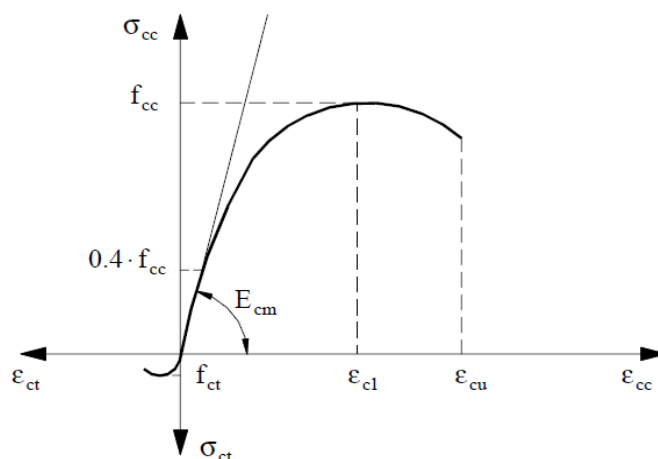
### 5.1.3 Νόμος του Hooke ή Νόμος Ελαστικότητας για το σκυρόδεμα

Ο νόμος του Hooke ή νόμος ελαστικότητας συνδέει τα δύο μεγέθη, τη τάση  $\sigma$  με την παραμόρφωση  $\varepsilon$  και παραδέχεται ότι ο λόγος αυτών, που εκφράζεται με το μέτρο ελαστικότητας  $E$ , είναι σταθερός δηλαδή,

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (5.1)$$

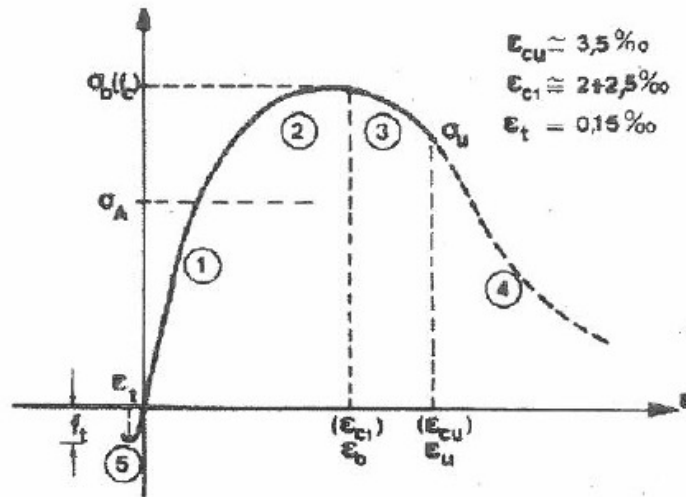
Το μέτρο ελαστικότητας  $E$  είναι σταθερό για τα διάφορα δομικά υλικά. Στο σκυρόδεμα όμως αυτό συμβαίνει μόνον όταν οι τάσεις καταπόνησης είναι μικρές και σύντομης διάρκειας. Η μέση τιμή του μέτρου ελαστικότητας  $E_{cm}$ , ανάλογα με την κατηγορία σκυροδέματος, δίνεται βάσει της θλιπτικής αντοχής σε GPa και για την ποιότητα σκυροδέματος C30/37 ισούται με 33,5 GPa [20]

Το μέτρο ελαστικότητας  $E_{cm}$  είναι η κλίση της ευθείας του διαγράμματος τάσης – παραμόρφωσης που οδηγεί στο 40% της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. [39]



Διάγραμμα 5.1 Γενική μορφή διαγράμματος τάσεων – παραμορφώσεων σκυροδέματος [39]

Όταν επιβληθούν στο σκληρυμένο σκυρόδεμα μικρές φορτίσεις προκαλούν ελαστικές παραμορφώσεις που εξαφανίζονται μετά την αποφόρτιση. Στην περιοχή αυτή το διάγραμμα  $\sigma$ - $\epsilon$  του σκυροδέματος είναι ευθύγραμμο. Στην περιοχή των ελαστικών παραμορφώσεων (ρηγματωμένη διατομή) ο λόγος του Poisson λαμβάνεται ίσος με 0,2, ενώ στην ρηγματωμένη κατάσταση ίσος με 0,0. Οι παραμορφώσεις που προκαλούνται από σύντομη ισχυρή καταπόνηση, δεν υποχωρούν τελείως μετά την αποφόρτιση και ονομάζονται πλαστικές παραμορφώσεις.



Διάγραμμα 5.2 Τυπικές περιοχές καμπύλης τάσεων παραμορφώσεων του σκυροδέματος [20]

Περιοχή 1 γραμμική πρακτικά σχέση  $\sigma$ - $\epsilon$  για θλίψη

Περιοχή 2 μη γραμμική σχέση  $\sigma$ - $\epsilon$  για θλίψη με άνω όριο την αντοχή του υλικού και αντίστοιχη παραμόρφωση 2÷2.5 ‰

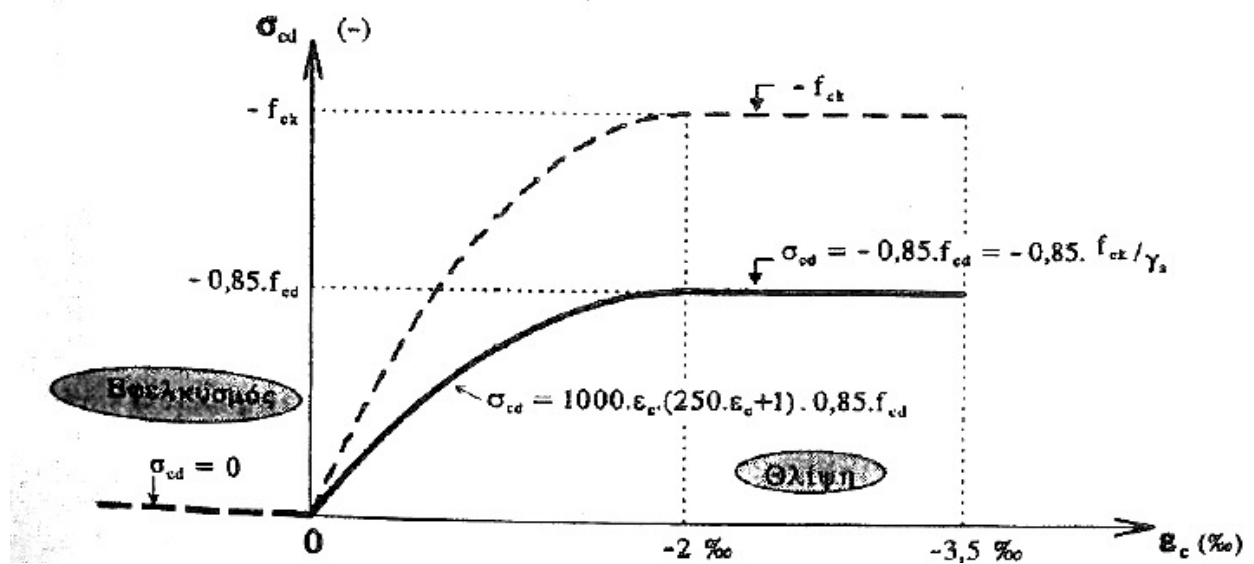
Περιοχή 3 ασταθής κλάδος χαλάρωσης, με όριο την τυπική οριακή παραμόρφωση του υλικού

Περιοχή 4 κλάδος κυρίως χαλάρωσης

Περιοχή 5 εφελκυσμός

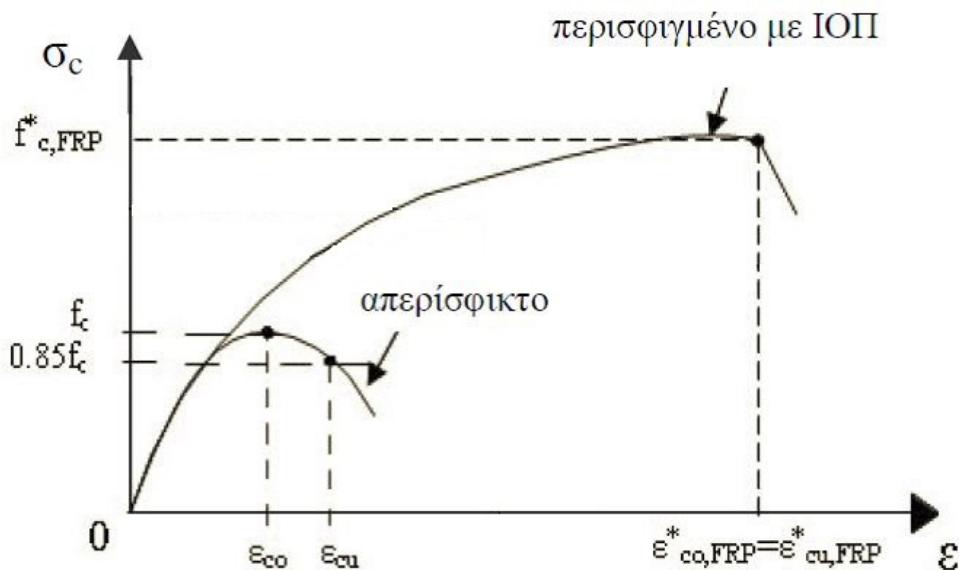
Επί του πρακτέου, στις μελέτες κατασκευών, χρησιμοποιούνται (ιδεατά) χαρακτηριστικά διαγράμματα τάσεων παραμορφώσεων για το σκυρόδεμα (διάγραμμα 5.2). Σε αυτά χρησιμοποιείται ο δείκτης  $k$ , που παραπέμπει σε χαρακτηριστικές αντοχές. Σε αυτά τα διαγράμματα, με μείωση των αντοχών λόγω των συντελεστών ασφάλειας, προκύπτουν τα ιδεατά διαγράμματα σχεδιασμού τάσεων - παραμορφώσεων, με το δείκτη  $d$  να παραπέμπει σε αντοχές σχεδιασμού- υπολογισμού για το σκυρόδεμα.

Συνοψίζοντας, τα χαρακτηριστικά διαγράμματα απεικονίζουν απλώς τη συμπεριφορά των υλικών σύμφωνα με τον κανονισμό, ενώ τα ιδεατά διαγράμματα σχεδιασμού είναι αυτά που χρησιμοποιούνται στην πράξη για τους αναλυτικούς υπολογισμούς και την περαιτέρω διαστασιολόγηση των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. [20]



Διάγραμμα 5.3 Χαρακτηριστικό (παραβολικό – ορθογωνικό) διάγραμμα και διάγραμμα σχεδιασμού τάσεων – παραμορφώσεων σκυροδέματος [20]

Ακολουθεί το χαρακτηριστικό συγκριτικό διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης περισιγμένου με ΙΟΠ σκυροδέματος και απερίσιφικτου



Διάγραμμα 5.4 Χαρακτηριστικό συγκριτικό διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης περισιγμένου με ΙΟΠ σκυροδέματος και απερίσιφικτου [3]

Η θραύση από υπέρβαση της αντοχής σε θλίψη χαρακτηρίζεται από προοδευτική δημιουργία και διεύρυνση μεγάλου αριθμού ρωγμών διαφόρων διευθύνσεων όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί



Σχήμα 5.1 Χαρακτηριστική μορφή θραύση από φόρτιση σε κεντρική μονοαξονική θλίψη [20]

#### 5.1.4 Συνθέσεις σκυροδέματος

Οι πίνακες που ακολουθούν περιγράφουν την μελέτη σύνθεσης του σκυροδέματος C30/37, πως αυτή μελετήθηκε και μετρήθηκε από τα εργαστήρια σκυροδέματος ‘ΔΟΜΟΕΡΕΥΝΑ’- Γ. Καπογιάννης, γεωτεχνικές μελέτες – έρευνες / εργαστήρια εδαφομηχανικής βραχομηχανικής και σκυροδέματος, υπό την εποπτεία του ΥΠΕΧΩΔΕ και πιστοποιήθηκε με τον υπ’ αριθμ. 1402/23-10-2014 αριθμό έκθεσης, για λογαριασμό της εταιρείας ‘ΤΣΟΥΜΑ ΜΠΙΕΤΟΝ Α.Ε’, από την οποία εξασφαλίστηκε η απαιτούμενη ποσότητα σκυροδέματος για τη λήψη των δοκιμίων για τις ανάγκες εκπόνησης της εν λόγω εργασίας .



Εικόνα 5.1 Εγκαταστάσεις της ‘ΤΣΟΥΜΑ ΜΠΙΕΤΟΝ Α.Ε’ στα Α. Λιόσια Αττικής

Παρασκευάστηκαν κυβικά δοκίμια, ακμής 15 cm για τον έλεγχο αντοχής σε ηλικία 7 και 28 ημερών. Με τα προσκομισθέντα υλικά και τσιμέντο ‘TITAN’ CEM I/42,5R και εκτελέστηκαν οι παρακάτω συνθέσεις:

**Σύνθεση για κατηγορία C30/37**

**Τσιμέντο**

| ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ | ΤΥΠΟΣ       | ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (t/m <sup>3</sup> ) | ΟΓΚΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΑΝΑ 1 m <sup>3</sup> ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (lt) | ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ 1 m <sup>3</sup> ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (Kg/m <sup>3</sup> ) | ΒΑΡΟΣ ΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΑΝΑΜΙΓΜΑΤΟΣ (Kg) |
|-----------|-------------|----------------------------------|--|---|---|
| ΤΙΤΑΝ     | CEM I 42,5R | 3.1                              | 110  | 340   | 10.20                                       |

**Νερό**

| ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ | ΤΥΠΟΣ   | ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (t/m <sup>3</sup> ) | ΟΓΚΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΑΝΑ 1 m <sup>3</sup> ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (lt) | ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ 1 m <sup>3</sup> ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (Kg/m <sup>3</sup> ) | ΒΑΡΟΣ ΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΑΝΑΜΙΓΜΑΤΟΣ (Kg) |
|-----------|---|----------------------------------|--|---|---|
| ΔΙΚΤΥΟ    | ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΝΕΡΟ (Kg):                                   |                                  | 162  | 175   | 5.25  |
| ΑΘΗΝΩΝ    | ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΜΕΝΟ ΝΕΡΟ (Kg)                               |                                  | 13.4   |   |   |
|           | ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΝΕΡΟ = (ΤΣΙΜΕΝΤΟ)×(N/T)+(ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΜΕΝΟ ΝΕΡΟ) |                                  |  |   |   |

**Άμμος – Γαρμπίλι - Χαλίκι**

| ΕΙΔΟΣ ΥΛΙΚΩΝ  | ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ                | ΤΥΠΟΣ                          | ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (t/m <sup>3</sup> ) | ΟΓΚΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΑΝΑ 1 m <sup>3</sup> ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (lt) |                          |
|---|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--|--------------------------|
| ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ  | ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ        | ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ           |                                  | ΑΠΟΡΡΟΦ. ΝΕΡΟΥ (Kg)                                    |                          |
|   |                          | ΕΙΔ. ΒΑΡΟΣ (t/m <sup>3</sup> ) | ΥΔΑΤΑΠΟΡ. (%)                    |  | ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ (Kg) |
|   |                          | a                              | b                                |  | ΑΟΑ a ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ d c=bx d |
| ΑΜΜΟΣ   | ΛΑΤΟΜΕΙΟ "ΑΡΑΓΩΝΙΤΗΣ ΑΕ" | 2.685                          | 1.11%                            | 714 2.685 50.10% 960 10.7                              |                          |
| ΓΑΡΜΠΙΛΙ  |                          | 2.71                           | 0.32%                            | 714 2.71 10.30% 199 0.6                                |                          |
| ΧΑΛΙΚΙ  |                          | 2.705                          | 0.27%                            | 714 2.705 39.60% 764 2.1                               |                          |
| ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΓΙΑ 1 m <sup>3</sup> ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (Kg) |                          |                                |                                  |  |                          |

| ΕΙΔΟΣ ΥΛΙΚΩΝ  | ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ 1 m <sup>3</sup> ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (Kg/m <sup>3</sup> ) | ΒΑΡΟΣ ΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΑΝΑΜΙΓΜΑΤΟΣ (Kg) |
|---|---|---|
| ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ  |   |   |
| ΑΜΜΟΣ   | 960   | 28.8  |
| ΓΑΡΜΠΙΛΙ  | 199   | 5.98  |
| ΧΑΛΙΚΙ  | 764   | 22.93                                       |
| ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΓΙΑ 1 m <sup>3</sup> ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (Kg) | 1924  | 57.71                                       |

Πρόσθετα

| ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ | ΕΜΠΟΡ. ΟΝΟΜΑΣΙΑ | ΕΙΔΟΣ        | ΔΟΣΟΛΟΓΙΑ           | ΣΚ-308 | ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ 1 m <sup>3</sup> ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (Kg/m <sup>3</sup> ) | ΒΑΡΟΣ ΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΑΝΑΜΙΓΜΑΤΟΣ (Kg) |
|-----------|-----------------|--------------|---------------------|--------|---|---|
| ΔΟΜΥΛΑΚΟ  | CHEM 1          | ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΤΗΣ | 0,2% κ.β. ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ | D      | 0.68  | 0.0204                                      |
| ΔΟΜΥΛΑΚΟ  | CHEMIUM 174     | ΥΠΕΡΡΕΥΣΤ.   | 0,6% κ.β. ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ | F      | 2   | 0.0612                                      |

Θεωρητικά δεδομένα - μετρήσεις

| ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ                                  |      | ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ   |      | ΟΓΚΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΑΝΑΜΙΓΜΑΤΟΣ (m <sup>3</sup> ) |
|---|------|---|------|---|
| ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡ/ΤΟΣ (Kg/m <sup>3</sup> ) | 2441 | ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡ/ΤΟΣ (Kg/m <sup>3</sup> ) | 2363 |   |
| ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ (%)                       | 1.5  | ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ (%)                       | 1.1  |   |

Αποτελέσματα - Αντοχή Σε Θλίψη Κυβικών Δοκιμίων

| ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ | ΚΑΘΙΣΗ |      | ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ | ΤΡΟΠΟΣ      | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΚΥΒΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ 15x15x15 cm (σε Mpa) |      |      |                     |      |     |     |
|--------------|--------|------|-------------|-------------|---|------|------|---------------------|------|-----|-----|
|              | ΧΡΟΝΟΣ | (cm) | ΧΩΡΟΥ       | ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ | ΗΛΙΚΙΑΣ   | No1  | No2  | No3                 | No4  | No5 | No6 |
|              | 0'     | 13   | 19°C        | ΔΙΑ ΧΕΙΡΩΝ  | 7 ΗΜΕΡΩΝ  | 36.8 | 37   |                     |      |     |     |
|              | 30'    | 9    |             |             | 28 ΗΜΕΡΩΝ   | 42.9 | 43.1 | 43.3                | 42.8 |     |     |
|              |        |      |             |             | M.O. 7HM. 36,9 Mpa                                    |      |      | M.O. 28HM. 43,0 Mpa |      |     |     |

| <b>ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ 1m<sup>3</sup> ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ</b>                  |  |  |
|--|--|--|
| <b>ΥΛΙΚΑ</b>   | <b>ΠΟΣΟΤΗΤΑ<br/>(% κατά βάρος<br/>αδρανών)</b> | <b>ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΞΗΡΩΝ<br/>ΥΛΙΚΩΝ (*)<br/>(Kgr)</b> |
| ΑΜΜΟΣ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ<br>'ΑΡΑΓΩΝΙΤΗΣ Α.Ε'                                      | 50,1   | 925  |
| ΓΑΡΜΙΛΙ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ<br>'ΑΡΑΓΩΝΙΤΗΣ Α.Ε'                                    | 10,3   | 190  |
| ΧΑΛΙΚΙ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ<br>'ΑΡΑΓΩΝΙΤΗΣ Α.Ε'                                     | 39,6   | 730  |
| ΤΣΙΜΕΝΤΟ 'ΤΙΤΑΝ'<br>CEM I/42,5R  |  | 340  |
| ΝΕΡΟ ΠΟΣΙΜΟ<br>ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΘΗΝΩΝ  |  | 175  |
| ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΤΗΣ<br>'ΔΟΜΥΛΚΟ' CHEM 1                                | (0,2% κ.β. τσιμέντου)                          | 0,68   |
| ΠΡΟΣΘΕΤΟ<br>ΥΠΕΡΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΗΣ<br>'ΔΟΜΥΛΚΟ' CHEMIUM 174                   | (0,6% κ.β. τσιμέντου)                          | 2,0  |
| ΦΑΙΝ. ΒΑΡΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ   |  | 2363   |
| (*)ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ Φ.Β. ΝΩΠΟΥ ΣΚ/ΤΟΣ ΠΟΥ ΜΕΤΡΗΘΗΚΕ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ |  |  |



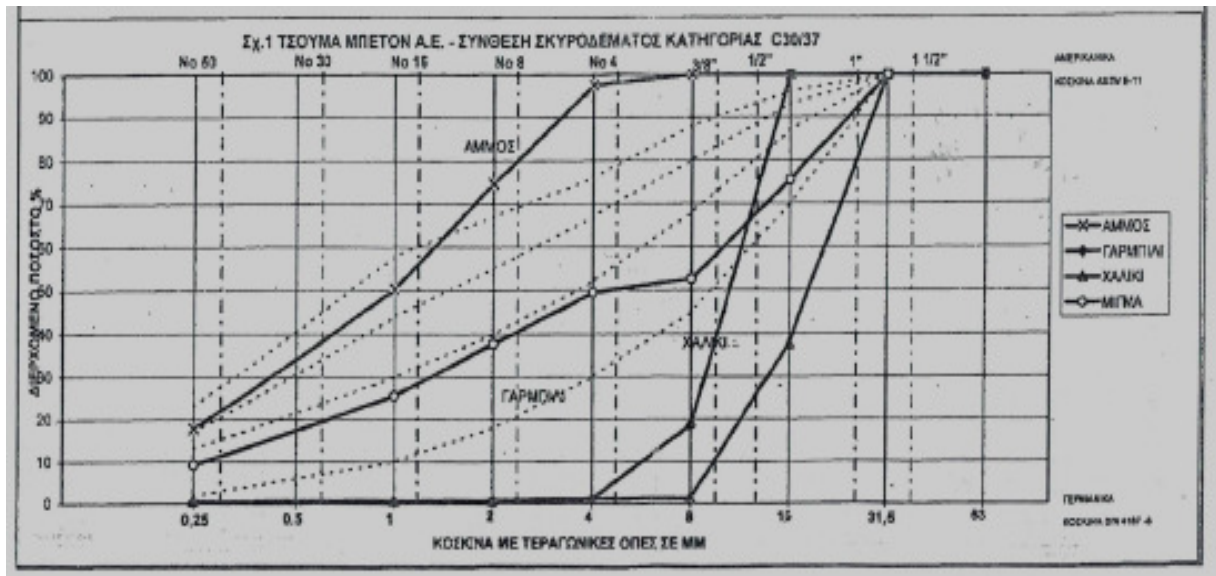
Εικόνα 5.2 Εγκαταστάσεις της 'ΤΣΟΥΜΑ ΜΠΙΕΤΟΝ Α.Ε', τσιμέντο 'ΤΙΤΑΝ'



| <b>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΝΘΕΣΗΣ</b>   |            |
|----------------------------------|------------|
| ΝΕΡΟ/ΤΣΙΜΕΝΤΟ (ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΝΕΡΟ)    | 0,51       |
| ΝΕΡΟ/ΤΣΙΜΕΝΤΟ (ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΝΕΡΟ) | 0,48       |
| ΚΑΘΙΣΗ (0')                      | 13,0 cm    |
| ΚΑΘΙΣΗ (30')                     | 9,0 cm     |
| ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΣΗΣ             | 19°C       |
| ΤΡΟΠΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ               | ΔΙΑ ΧΕΙΡΩΝ |

| <b>ΑΝΤΟΧΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ 15x15x15</b>      |   |
|--------------------------------------|---|
| <b>ΗΛΙΚΙΑ</b>                        | <b>ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ (MPa)</b>            |
| ΑΝΤΟΧΕΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΕ ΗΛΙΚΙΑ 7 ΗΜΕΡΩΝ  | 36,8 37,0<br><b>M.O. 36,9</b>           |
| ΑΝΤΟΧΕΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΕ ΗΛΙΚΙΑ 28 ΗΜΕΡΩΝ | 42,9 43,1 43,3 42,8<br><b>M.O. 43,0</b> |

| <b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ &amp; ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ</b> |                |          |        |                             |
|--|----------------|----------|--------|-----------------------------|
| ΓΕΡΜΑΝΙΚΑ ΚΟΣΚΙΝΑ  | ΑΜΜΟΣ          | ΓΑΡΜΠΙΛΙ | ΧΑΛΙΚΙ | ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ |
|  | ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ (%) |          |        |                             |
| 63   | 100            | 100      | 100    | 100                         |
| 31,5   | 100            | 100      | 100    | 100                         |
| 16   | 100            | 100      | 37,8   | 75,4                        |
| 8  | 100            | 18,4     | 1,3    | 52,5                        |
| 4  | 97,5           | 1,0      | 1,2    | 49,4                        |
| 2  | 74,6           | 0,7      | 0,8    | 37,8                        |
| 1  | 50,2           | 0,5      | 0,7    | 25,5                        |
| 0,25   | 17,8           | 0,5      | 0,6    | 9,2                         |
| ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΑΠΑΛΗΣ (%)  | 11,2           | 0,5      | 0,6    |                             |



Διάγραμμα 5.5 Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών σκυροδέματος C30/37



Εικόνα 5.3 Εγκαταστάσεις της 'ΤΣΟΥΜΑ ΜΠΕΤΟΝ Α.Ε', χώρος φύλαξης αδρανών υλικών

### Στοιχεία σύνθεσης από για τη δειγματοληψία των δοκιμίων

Κατά τη δειγματοληψία των δοκιμίων για τις ανάγκες εκπόνησης του πειράματος έχουμε τα δεδομένα που ακολουθούν.

- Ημερομηνία δειγματοληψίας: 30 Μαΐου 2016
- Ώρα λήψης: 8:00 π.μ.
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος: 24oC
- Κατηγορία σκυροδέματος: C30/37 S2
- Επιβραδυντής: ΝΑΙ
- Λόγος Ν/Τ = 0,49
- Μέγιστος κόκκος 30mm
- Κοκκομ. Γραμμή: Υποζώνη ΔΕ
- Κατηγορία κάθισης: S2 (δηλαδή από 5cm έως 9cm)
- Τύπος τσιμέντου Ι/42.5 & ΙΙ/32.5
- Πλεονεκτήματα σκυροδέματος C30/37

Το σκυρόδεμα C30/37 έχει χαμηλό λόγο νερού / τσιμέντο, στην περίπτωση μας μόλις 0,49. Οι κατασκευές από σκυρόδεμα C30/37 δείχνουν αυξημένη αντοχή και ανέχεια στο χρόνο (durability), για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ευρέως στην γεφυροποιία, σε ειδικά κτίρια και σε ενίσχυση υφιστάμενων κατασκευών. Το σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37 έχει:

- Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη  $f_{ck,κυλ.} = 30 \text{ MPa}$
- Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη  $f_{ck,κύβου} = 37 \text{ MPa}$

Για το λόγο αυτό χαρακτηρίζεται για την μεγάλη αντοχή που δείχνει σε μηχανικές καταπονήσεις (μεγάλη κυκλοφορία, κρούσεις, βαριά αντικείμενα) έναντι των συνηθισμένων σκυροδεμάτων που χρησιμοποιούνται στις απλές οικοδομές π.χ. C20/25.

## 5.2 Επιβραδυντής

### 5.2.1 Γενικά

Το CHEM 1 είναι υγρό συμπύκνωμα έτοιμο για χρήση. Πληροί την προδιαγραφή EN 934-2 πίνακας 8.

Που Χρησιμοποιείται

Το CHEM 1 χρησιμοποιείται για την επιβράδυνση πήξης, ρευστοποίηση και υποβοήθηση άντλησης του σκυροδέματος. Επειδή είναι ρευστοποιητικό επιτρέπει τη μείωση της ποσότητας του νερού που χρειάζεται για το σκυρόδεμα. Επιβραδύνοντας την πήξη του σκυροδέματος επιτρέπει τη δόνησή του αρκετή ώρα μετά την παρασκευή του.

Η επιβράδυνση εξαρτάται και:

- από την ποσότητα CHEM 1 σε κάθε κυβικό σκυροδέματος,
- από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και του σκυροδέματος,
- από τον τύπο (ιδιότητες) του χρησιμοποιούμενου τσιμέντου.

Αυξάνει την αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη και κάμψη στις 3,7 και 28 ημέρες σε σχέση με σκυρόδεμα της ίδιας εργασιμότητας χωρίς όμως CHEM 1. Αύξηση αντοχών έχουμε και με σταθερή ποσότητα νερού οπότε αυξάνεται και η ρευστότητα του σκυροδέματος.

Εφαρμόζεται επίσης στις εξής περιπτώσεις:

- στο μεταφερόμενο σκυρόδεμα για λιγότερες ρωγμές του σκυροδέματος το καλοκαίρι,
- για να μείνει νωπό το σκυρόδεμα πολύ ώρα από την παρασκευή του ως τη χρησιμοποίησή του,
- για να αποφύγουμε, αν θέλουμε, αρμούς διακοπής εργασίας στο σκυρόδεμα (μπορούμε να διατηρήσουμε το σκυρόδεμα νωπό ως την επόμενη σκυροδέτηση),
- για τη διατήρηση του σκυροδέματος νωπού και ρευστού για πολύ ώρα σε περίπτωση υψηλών θερμοκρασιών,
- για τη μείωση της ταχύτητας έκλυσης της θερμότητας ενυδάτωσης,

- για μείωση της ποσότητας του τσιμέντου για δεδομένη κατηγορία αντοχής και εργασιμότητα. [31]

### 5.2.2 Πλεονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα του CHEM 1 είναι τα ακόλουθα:

- Είναι άφλεκτο και μη τοξικό.
- Δεν προσβάλλει τον οπλισμό ή άλλα δομικά υλικά.
- Αυξάνει τις αντοχές του σκυροδέματος.
- Δεν επηρεάζει την ταχύτητα ανάπτυξης των αντοχών του σκυροδέματος στις συνιστώμενες δοσολογίες. [31]

### 5.2.3 Τρόπος Χρήσης

Προστίθεται στη μάζα του νωπού σκυροδέματος με το νερό ανάμιξης.

Δοσολογία: Για συνήθεις θερμοκρασίες και τα τσιμέντα που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα 2 έως 2,5‰ του βάρους του τσιμέντου που περιέχεται στη σύνθεση του σκυροδέματος. Για ψηλές θερμοκρασίες και για μεγάλες επιβραδύνσεις η δοσολογία μπορεί να αυξηθεί έως 5‰ του βάρους του τσιμέντου ή και περισσότερο. Για μεγάλες δοσολογίες συνιστώνται δοκιμές πριν από τη χρήση.

Χρήσιμες Πληροφορίες

Συσκευασία: Δεξαμενές 1150 kg. Βαρέλια 220 kg. Δοχεία 20 kg.

Αποθήκευση: 6 μήνες στην αρχική κλειστή συσκευασία σε δροσερό μέρος. Αν παγώσει, το ξεπαγώνουμε σε χαμηλή θερμοκρασία (30°C) αναδεύοντας και το χρησιμοποιούμε χωρίς πρόβλημα. [31]

## 5.3 Ρητίνες

### 5.3.1 Γενικά

Είναι συνήθως η εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών και εφαρμόζεται μεταξύ σκυροδέματος και σύνθετου υλικού εξασφαλίζοντας έτσι τη συνεργασία τους και τη μεταφορά τάσεων από το πρώτο στο δεύτερο. Ο χρόνος εργασιμότητας, ο χρόνος εφαρμογής και η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης είναι τρεις έννοιες που πρέπει να κατανοηθούν για την ορθή χρήση της κόλλας (εποξειδική ρητίνη).

Ο χρόνος εργασιμότητας, είναι ο χρόνος τον οποίο μπορούμε να εκμεταλλευτούμε για να κάνουμε εύκολη χρήση της κόλλας πριν αυτή αρχίσει να σκληραίνει στο δοχείο όπου έγινε η ανάμιξη. Εξαρτάται από το τύπο της κόλλας, τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και τη ποσότητα κόλλας που προκύπτει με την ανάμιξη των δύο συστατικών.

Ο χρόνος εφαρμογής, είναι το χρονικό διάστημα στο οποίο η κόλλα διατηρεί τις συγκολλητικές της ιδιότητες σε ικανοποιητικό βαθμό. Μέσα στο χρόνο αυτό πρέπει να γίνει η επικόλληση του οπλισμού ενίσχυσης στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

Η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης, είναι η θερμοκρασία στην οποία η κόλλα υφίσταται ταχεία μείωση του μέτρου ελαστικότητας οπότε και έχει περιορισμένη ικανότητα μεταφοράς δυνάμεων.

### 5.3.2 SINMAST S2W (προϊόν SINMAST)

Εποξειδική ρητίνη εμποτισμού σκυροδέματος δύο συστατικών, κατά την εφαρμογή Υφασμάτων Ενίσχυσης Τεχνολογίας FRPs / ΙΟΠ

#### Περιγραφή

Το Sinmast S2W είναι μια ατούσια, εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών, πλήρους διαύγειας.. Αποτελεί σύστημα υψηλών αντοχών, με χαμηλό σχετικά ιξώδες, χωρίς να περιέχει διαλύτες. Αποτελείται από εποξειδικής βάσης, ειδική ρητίνη με δυνατότητα ρύθμισης ιξώδους, καθώς επίσης και από σκληρυντή Ευρωπαϊκής προέλευσης.



Εικόνα 5.4 Εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών S2W ως στρώση ασταρώματος (priming coat)

#### Γενικά Χαρακτηριστικά

Sinmast S2W : Λειτουργεί ως στρώση ασταρώματος (priming coat) πριν την ανάπτυξη και εφαρμογή εποξειδικής κόλλας επικόλλησης και προσαρμογής υφασμάτων ενίσχυσης Τεχνολογίας FRPs / ΙΟΠ (άνθρακα, ύαλου και/ή αραμιδίου), επί επιφανειών σκυροδέματος. Ιδανικό για τις περισσότερες εφαρμογές ανωτέρω, κατά τη θερινή ή τη χειμερινή περίοδο.

### Πλεονεκτήματα

Μετά την ανάμιξη των 2-συστατικών, το προϊόν παρουσιάζει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά και ιδιότητες :

- Υψηλές μηχανικές αντοχές.
- Χαμηλό προς μεσαίο ιξώδες (προϊόν σε ρευστή σχετικά μορφή).
- Υψηλή δυνατότητα διείσδυσης.
- Προϊόν ευκολόχρηστο (μίγμα), μετά την ανάμιξη των δύο συστατικών.
- Εξαιρετική πρόσφυση σε σκυρόδεμα, πέτρα, ξύλο και γενικά στα περισσότερα πορώδη υποστρώματα που παρουσιάζουν ικανοποιητικές σχετικά αντοχές.
- Χρησιμοποιείται ως στρώση ασταρώματος (priming coat) πριν την ανάπτυξη και εφαρμογή εποξειδικής κόλλας επικόλλησης και προσαρμογής υφασμάτων Τεχνολογίας FRPs / ΙΟΠ (άνθρακα, ύαλου και/ή αραμιδίου), σε κατακόρυφες ή οριζόντιες επιφάνειες σκυροδέματος.
- Προϊόν χωρίς συρρικνώσεις μετά την σκλήρυνση.
- Αδιαπέρατο από υγρά μετά την ωρίμανση.
- Τύπος ενδεδειγμένος κατόπιν επιλογής, για εφαρμογή κατά τη θερινή ή τη χειμερινή περίοδο.
- Φιλικό προς τον χρήστη καθώς δεν περιέχει διαλύτες.
- Πεδία – Τομείς και Συνθήκες Εφαρμογής

| ΠΕΔΙΑ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ   | Sinmast S2W       |
|---|-------------------|
| Θερμοκρασίες εφαρμογής (περιβάλλοντος)  | +10 °C ως +35 °C  |
| Ξηρή επιφάνεια (ελάχιστη) / υπόστρωμα   | +10 °C            |
| Ξηρή επιφάνεια (μέγιστη) / υπόστρωμα  | +35 °C            |
| Θερμοκρασίες λειτουργίας (παρατεταμένη έκθεση)  | ≤ -30 °C / +50 °C |
| Υγρασία υποστρώματος (περιεχόμενη)  | ≤ 4%              |
| Αστάρι για εμποτισμό πυκνόπορου σκυροδέματος (~0,15-0,2 kg/m <sup>2</sup> )                                       | Ναι (*)           |
| Αστάρι για εμποτισμό απορροφητικού σκυροδέματος (~0,3-0,4 kg/m <sup>2</sup> )                                     | Ναι (*)           |
| Αστάρι για ενισχύσεις με υφάσματα FRPs / ΙΟΠ (~0,300 kg/m <sup>2</sup> )  | Ναι (*)           |
| Σε συνδυασμό – ανάμιξη με χαλαζιακά αδρανή, για παρασκευή ρητινοκονιαμάτων (1:3 έως 1:10, ανάλογα με την εργασία) | Ναι               |

Πίνακας 5.2 Πεδία και εφαρμογές της ρητίνης Sinmast S2W [35]

(\*) Η κατανάλωση εξαρτάται πάντοτε από τον βαθμό απορροφητικότητας, την υφή και την αδρότητα του υποστρώματος.

### Συσκευασίες

Προϊόντα σε μεταλλικά δοχεία 1 kg (A+B), πλαστικά δοχεία 4 kg (A+B).

Συσκευασία 1 kg / 30 τεμ ανά κιβώτιο - Συσκευασία 4 kg / 7 τεμ ανά κιβώτιο

**Αποθήκευση**

Τουλάχιστον 24 μήνες από την ημερομηνία παραγωγής όταν αποθηκεύεται στην αρχική, σφραγισμένη συσκευασία σε ξηρές συνθήκες, σε θερμοκρασίες μεταξύ +5 °C με +30 °C, μακριά από την υγρασία, την άμεση έκθεση σε ηλιακή ακτινοβολία ή σε παγετό.

**Κατανάλωση**

Ως αστάρι για ενισχύσεις με υφάσματα FRPs / ΙΟΠ, η κατανάλωση κυμαίνεται περίπου στα 0,300 kg/m<sup>2</sup> και απαιτείται μία μόνο στρώση. Σε γενικές γραμμές πάντως, η κατανάλωση εξαρτάται πάντοτε από την υφή της επιφάνειας αναφοράς, τον βαθμό απορροφητικότητας, το πορώδες και την αδρότητα που παρουσιάζει το υπόστρωμα, τις επικρατούσες στο έργο συνθήκες, καθώς και από τις ίδιες τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

**Υπόστρωμα**

Η επιφάνεια προς εφαρμογή πρέπει να είναι σχετικά λεία, δομικά σταθερή, στεγνή και καθαρή χωρίς σαθρά στοιχεία σκυροδέματος, σκόνη, ρύπους, εξανθήματα – αλατώσεις, βρύα και λειχήνες, παλαιούς χρωματισμούς ή ελαιώδεις - λιπαρές ουσίες (λάδια, λίπη γράσα κλπ.). Εύθρυπτα στοιχεία, επιδερμικό σκυρόδεμα μειωμένων αντοχών, σκουριές κλπ., θα πρέπει να απομακρυνθούν δια χειρός ή μηχανικά. Η ελάχιστη απαίτηση, ως προς την τάση αποκόλλησης που παρουσιάζει το υπόστρωμα, πρέπει να είναι τουλάχιστον  $\geq 1,2 \text{ N/mm}^2$  (δοκιμή εξόγκυσης pull-out). Η θερμοκρασία υποστρώματος να είναι μεταξύ +10 °C με +35 °C.

**Οδηγίες Χρήσεις**

Τα περιεχόμενα των εποξειδικών ρητινών διατίθενται σε χωριστά δοχεία (Α=βασική ρητίνη και Β=αντίστοιχος σκληρυντής). Αναμιγνύονται μεταξύ τους μηχανικά, με αναδευτήρα, με ιδιαίτερη επιμονή σε χαμηλή ταχύτητα (~550 r.p.m. /στροφές ανά λεπτό), για περίπου 3 λεπτά, στις αναλογίες που αναγράφουν οι ετικέτες τους, μέχρις ότου επιτευχθεί μίγμα ομοιογενούς σύστασης.

Πριν αναμιχθεί η Ρητίνη με τον Σκληρυντή, κρίνεται σκόπιμη η ανάμιξη του κάθε συστατικού ξεχωριστά στο αντίστοιχο δοχείο του, μέχρις ότου επιτευχθεί πλήρης ομοιογένεια. Επίσης, πρέπει να τηρούνται με σχολαστικότητα οι αναλογίες των δύο συστατικών που αναγράφονται στις ετικέτες των δοχείων. Αποφύγετε την ανάμιξη στον ήλιο, ώστε να αποφύγετε τη συρρίκνωση του χρόνου εργασιμότητας. Η ανάμιξη να γίνεται πάντα υπό σκιά.

Ως στρώση ασταρώματος πριν την ακολουθία εποξειδικής κόλλας επικόλλησης και προσαρμογής υφασμάτων Τεχνολογίας FRPs / ΙΟΠ (άνθρακα, ύαλου και/ή αραμιδίου), σε κατακόρυφες ή οριζόντιες επιφάνειες σκυροδέματος, καθώς και ως στρώση σφράγισης επιφανειών σκυροδέματος, το μίγμα εφαρμόζεται με κοντότριχο ρολό (για χρώματα ριπολίνης).

**Εφαρμογή**

Στρώση ασταρώματος κατά την εφαρμογή ενισχύσεων με υφάσματα Τεχνολογίας FRPs / ΙΟΠ: Εφαρμόστε το προϊόν Sinmast S2W, με κοντότριχο ρολό και/ή με σπάτουλα με λάστιχο,

κατανέμοντας την ποσότητα ομοιόμορφα πάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος, αποφεύγοντας λιμνάσματα υλικού.

Διάφανη στρώση σφράγισης επιφανειών σκυροδέματος: Εφαρμόστε προϊόν, με κοντότριχο ρολό ή σπάτουλα με λάστιχο, αποφεύγοντας λιμνάσματα υλικού.

### Σημειώσεις – προληπτικά μέτρα – περιορισμοί

- Πριν όποια εφαρμογή η επιφάνεια αναφοράς πρέπει να έχει προετοιμαστεί κατάλληλα με μηχανικά μέσα.
- Η θερμοκρασία υποστρώματος και περιβάλλοντος πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ +10 °C και +35 °C, κατά τη διάρκεια της εφαρμογής.
- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της εφαρμογής, να είναι τουλάχιστον 3 °C πάνω από το σημείο υγροποίησης (dew point).
- Η μέγιστη επιτρεπόμενη υγρασία του υποστρώματος πρέπει να είναι  $\leq 4\%$ .
- Κατά προτίμηση, η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας να είναι  $\leq 65\%$ .
- Για την αποφυγή δυσμενείων, σε περίπτωση που έχουν προηγηθεί καθολικές ή επιμέρους επισκευές σκυροδέματος και/ή εργασίες εξομάλυνσης επιφανειών με επισκευαστικά κονιάματα τσιμεντοειδούς βάσης, η ηλικία του υποστρώματος να είναι τουλάχιστον 7 ημερών από πλευράς ωρίμανσης, πριν την εκτέλεση όποιας εφαρμογής συστημάτων FRPs / ΙΟΠ.
- Αναμείνεται για 25 έως 60 λεπτά περίπου (κατά την θερινή ή την χειμερινή περίοδο, αντίστοιχα), πριν την εφαρμογή της εποξειδικής κόλλας Sinmast S2WV που απαιτείται για την προσαρμογή και επικόλληση των υφασμάτων FRPs / Ινοπλισμένων Πολυμερών.
- Προστατέψτε την νωπή στρώση από έκθεση σε βροχή τουλάχιστον για τις πρώτες 12 ώρες από την εφαρμογή.
- Συμβουλευτείτε την πιο πρόσφατη έκδοση Φύλλου Ασφαλείας του προϊόντος (MSDS) πριν την εφαρμογή

### Καθαρισμός Εργαλείων

Τα εργαλεία πρέπει να καθαρίζονται αμέσως μετά την εφαρμογή με Mexyl. Υλικό που έχει ωριμάσει ή/και σκληρυνθεί, αφαιρείται μόνο μηχανικά.

### Φυσικές & Χημικές Ιδιότητες - Τεχνικά Χαρακτηριστικά

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| Αναλογία ανάμιξης (%):              | A / B = 63 / 37 κ.β. (ρητίνη / σκληρυντής) |
| Στερεά κατάλοιπα:                   | 100%                                       |
| Απόχρωση:                           | Διαυγές (μίγμα)                            |
| Πυκνότητα:                          | $\sim 1,1 \text{ gr/cm}^3$                 |
| Ιξώδες (+23 °C):                    | 5.000±100 mPa.s                            |
| D.P.U. : (Πρακτικός χρόνος χρήσεως) | $\geq 80$ λεπτά στα 1.000 gr (+10 °C)      |
|                                     | $\geq 30$ λεπτά στα 1.000 gr (+35 °C)      |
| Χρόνος ενέργειας :                  | $\geq 60$ λεπτά (+10 °C)                   |
| (Πρακτικός χρόνος)                  | $\geq 40$ λεπτά (+35 °C)                   |



|   |                            |   |                            |
|---|----------------------------|---|----------------------------|
| Μέγιστη<br>εξωθερμικής<br>(T° max.)                                   | θερμοκρασία<br>αντίδρασης: | +107 °C στα 100 gr<br>με σκληρυντή)                     | (μετά την ανάμιξη ρητίνης) |
| Σκληρότητα Shore D:   |                            | 76 (7 ημερών /+23 °C)                                   | (DIN 53 505)               |
| ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ (αυτούσιο συνδετικό υλικό)<br>Δοκίμια 4 x 4 x 16 cm |                            |   |                            |
| Αντοχή σε θλίψη:  |                            | ≥ 32 N/mm <sup>2</sup> (7 ημερών /+20 °C)               | (ASTM D 695)               |
| Αντοχή σε κάμψη:  |                            | ≥ 34 N/mm <sup>2</sup> (7 ημερών /+20 °C)               | (ASTM D 790)               |
| Αντοχή σε εφελκυσμό:  |                            | ≥ 26 N/mm <sup>2</sup> (7 ημερών /+20 °C)               | (DIN 52 108)               |
| Πρόσφυση (ξηρό σκυρόδεμα):  |                            | 3.2 >1.5 N/mm <sup>2</sup> (όριο αστοχίας σκυροδέματος) |                            |
| Θερμοκρασία υποστρώματος:   |                            | ελάχιστη +10 °C / μέγιστη +35 °C                        |                            |
| Θερμοκρασία περιβάλλοντος:  |                            | ελάχιστη +10 °C / μέγιστη +35 °C                        |                            |

Πίνακας 5.3 Φυσικές και χημικές ιδιότητες καθώς τεχνικά χαρακτηριστικά της ρητίνης Sinmast S2W [35]

\* Οι τιμές που δίνονται ανωτέρω είναι ενδεικτικές βάσει εργαστηριακών δοκιμών. Αναφορικά, πέρα από ειδικές περιπτώσεις, όλες οι δοκιμές έγιναν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (+20 οC/ +23 οC) και τα δοκίμια διατηρήθηκαν και συντηρήθηκαν για 7 ημέρες στην θερμοκρασία αυτή. Παρακαλούμε όπως μας συμβουλευέστε ή να μας ενημερώνετε για κάθε ασυνήθιστη εφαρμογή.

### Μέτρα Προφύλαξης

Πρέπει να τηρούνται τα μέτρα προφύλαξης που ισχύουν για τις εποξειδικές ρητίνες γενικότερα. Αποφεύγετε την επαφή με το δέρμα, τα μάτια και λοιπά ευαίσθητα σημεία του σώματος. Να προστατεύετε τα μάτια, τα χέρια και το δέρμα με γυαλιά, γάντια και ρούχα εργασίας αντίστοιχα. Συνιστούμε να χρησιμοποιούνται γυαλιά, γάντια και προστατευτικές κρέμες. Σε περίπτωση που έρθουν σε επαφή με τα μάτια, συμβουλευτείτε αμέσως γιατρό. Μην τρίβετε τα μάτια. Τέλος, όταν η εργασία γίνεται σε κλειστούς χώρους, πρέπει να εξασφαλίζεται επαρκής αερισμός. Το υλικό δεν είναι προς κατάποση. Κρατήστε το μακριά από παιδιά. [35]

### 5.3.3 SINMAST S2WV (προϊόν SINMAST)

Εποξειδική ρητίνη εμποτισμού δύο συστατικών, προσαρμογής και επικόλλησης Υφασμάτων Ενίσχυσης Τεχνολογίας FPs / ΙΟΠ

#### Περιγραφή

Το Sinmast S2WV είναι μια αυτούσια, εποξειδική ρητίνη (κόλλα) εμποτισμού δύο συστατικών, ελαφρώς γαλακτώδους απόχρωσης. Αποτελεί σύστημα υψηλών αντοχών, με χαμηλό σχετικά ιξώδες, χωρίς να περιέχει διαλύτες. Αποτελείται από εποξειδικής βάσης, ειδική ρητίνη με δυνατότητα ρύθμισης ιξώδους, καθώς επίσης και από σκληρυντή Ευρωπαϊκής προέλευσης.



Πίνακας 5.4 Εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών S2WV

### Γενικά Χαρακτηριστικά

Sinmast S2WV Εποξειδική ρητίνη που λειτουργεί ως στρώση εμποτισμού και ως μέσο επικόλλησης για την προσαρμογή υφασμάτων ενίσχυσης Τεχνολογίας FRPs / ΙΟΠ (άνθρακα, ύαλου και/ή αραμιδίου), με την ξηρή ή την υγρή μέθοδο ανάπτυξης, επί στρώσης ασταρώματος (Sinmast S2W) που έχει προηγηθεί πάνω σε επιφάνειες σκυροδέματος, πολυμερικών κονιαμάτων κλπ. Ιδανικό για τις περισσότερες εφαρμογές ενίσχυσης με υφάσματα ως ανωτέρω, κατά τη θερινή ή τη χειμερινή περίοδο.

### Πλεονεκτήματα

Μετά την ανάμιξη των 2-συστ., το προϊόν παρουσιάζει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά και ιδιότητες :

- Υψηλές μηχανικές αντοχές.
- Χαμηλό προς μεσαίο ιξώδες (προϊόν με δυνατότητα ρύθμισης της ρευστότητας).
- Υψηλή δυνατότητα εμποτισμού της πλέξης των πολυμερικών ινών των FRPs.
- Προϊόν ευκολόχρηστο (μίγμα), μετά την ανάμιξη των δύο συστατικών με κοντότριχο ρολό ή σπάτουλα με λάστιχο.
- Εξαιρετική πρόσφυση σε σκυρόδεμα, πέτρα, ξύλο και γενικά στα περισσότερα πορώδη υποστρώματα που παρουσιάζουν σχετικά ικανοποιητικές αντοχές
- Χρησιμοποιείται ως στρώση εμποτισμού και ως κόλλα επικόλλησης για την προσαρμογή των υφασμάτων Τεχνολογίας FRPs / ΙΟΠ (άνθρακα, ύαλου και/ή αραμιδίου), σε κατακόρυφες ή οριζόντιες επιφάνειες σκυροδέματος.
- Προϊόν χωρίς συρρικνώσεις μετά την σκλήρυνση.
- Αδιαπέρατο από υγρά μετά την ωρίμανση.
- Τύπος ενδεδειγμένος κατόπιν επιλογής, για εφαρμογή κατά τη θερινή ή τη χειμερινή περίοδο.
- Φιλικό προς τον χρήστη καθώς δεν περιέχει διαλύτες.

**Συνθήκες Εφαρμογής**

| <b>ΠΕΔΙΑ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ</b>  | <b>Sinmast S2WV</b> |
|---|---------------------|
| Θερμοκρασίες εφαρμογής (περιβάλλοντος)                                      | +10 °C ως +35 °C    |
| Ξηρή επιφάνεια (ελάχιστη) / υπόστρωμα                                       | min. +10 °C         |
| Ξηρή επιφάνεια (μέγιστη) / υπόστρωμα  | max.+40 °C          |
| Θερμοκρασίες λειτουργίας (παρατεταμένη έκθεση)                              | -30 °C / +55 °C     |
| Υγρασία υποστρώματος (περιεχόμενη)  | ≤ 4%                |
| Κόλλα για επικόλληση υφασμάτων FRPs / ΙΟΠ (~0,200-0,300 kg/m <sup>2</sup> ) | Ναι <sup>(*)</sup>  |
| Σφραγιστική στρώση των υφασμάτων FRPs / ΙΟΠ (~0,15-0,2 kg/m <sup>2</sup> )  | Ναι <sup>(*)</sup>  |

Πίνακας 5.5 Συνθήκες εφαρμογής της εποξειδικής ρητίνης Sinmast S2WV [35]

(\*) Η κατανάλωση εξαρτάται πάντοτε από τον βαθμό απορροφητικότητας, την υφή και την αδρότητα του υποστρώματος, το βάρος, το πάχος, τον τύπο και την μορφή πλέξης των ινών (μονής ή διπλής κατεύθυνσης), καθώς και την μέθοδο προσαρμογής (με τον ξηρό ή τον υγρό τρόπο εφαρμογής) του εξεταζόμενου τύπου υφάσματος.

**Συσκευασίες**

Προϊόντα σε μεταλλικά δοχεία 1 kg (A+B), πλαστικά δοχεία 4 kg (A+B).

Συσκευασία 1 kg / 30 τεμ ανά κιβώτιο - Συσκευασία 4 kg / 7 τεμ ανά κιβώτιο

**Αποθήκευση**

Τουλάχιστον 24 μήνες από την ημερομηνία παραγωγής όταν αποθηκεύεται στην αρχική, σφραγισμένη συσκευασία σε ξηρές συνθήκες, σε θερμοκρασίες μεταξύ +5 °C με +30 °C, μακριά από την υγρασία, την έκθεση σε ηλιακή ακτινοβολία ή τον παγετό.

**Κατανάλωση**

Ως κόλλα προσαρμογής και επικόλλησης υφασμάτων Τεχνολογίας FRPs / ΙΟΠ, κατά την ξηρή μέθοδο, η κατανάλωση κυμαίνεται περίπου στα 0,150 έως 0,300 kg/m<sup>2</sup> και απαιτείται μία στρώση ρητίνης πριν από κάθε στρώση ανάπτυξης φύλλου υφάσματος. Σε γενικές γραμμές πάντως, η κατανάλωση εξαρτάται πάντοτε από την υφή και την αδρότητα του υποστρώματος, τον βαθμό απορροφητικότητας, το βάρος, το πάχος, τον τύπο και την μορφή πλέξης των ινών (μονής ή διπλής κατεύθυνσης), καθώς και την μέθοδο προσαρμογής (με τον ξηρό ή τον υγρό τρόπο εφαρμογής) του εξεταζόμενου τύπου υφάσματος, όπως επίσης και τις επικρατούσες στο έργο συνθήκες και τις ίδιες τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

Ως στρώσης σφράγισης και προστασίας της τελευταίας στρώσης των αναπτυγμάτων των υφασμάτων FRPs / ΙΟΠ, λ.χ. πριν την ακολουθία επιχρισμάτων – σοβάδων και/ή στρώσεων ειδικών κονιαμάτων πυροπροστασίας κλπ., απαιτείται περίπου μια ποσότητα ρητίνης γύρω στα 0,150 έως 0,200 kg/m<sup>2</sup>, επί της οποίας πραγματοποιείται επίταση χαλαζιακής άμμου 480-S (0.4-0.8 mm), όσο η στρώση αυτή είναι νωπή.

**Υπόστρωμα**

Η επιφάνεια αναφοράς πρέπει να είναι υγιείς, σχετικά επίπεδη – λεία, εξομαλυμένη πλήρως, σταθερή και καθαρή. Η στρώση ασταρώματος (priming coat) να έχει προηγηθεί τουλάχιστον 25 έως 60 λεπτά της ώρας (για εφαρμογές κατά το καλοκαίρι ή τον χειμώνα, αντίστοιχα), πριν ακολουθήσει η διαδικασία επικάλυψής της με την ρητίνη - κόλλα επικόλλησης των υφασμάτων FRPs. Η θερμοκρασία υποστρώματος να είναι μεταξύ +10 °C με +40 °C.

Πριν την εφαρμογή της στρώσης ασταρώματος και της κόλλας προσαρμογής, όλες οι ακμές των στοιχείων σκυροδέματος, σε δοκούς και υποστυλώματα, πρέπει να έχουν αμβλυθεί μηχανικά, με γωνιακό τροχό και να παρουσιάζουν ακτίνα καμπυλότητας μεταξύ 10-30 mm (ανάλογα και με την υπάρχουσα ζώνη επικάλυψης των υφιστάμενων οπλισμών). Οι επιφάνειες σκυροδέματος να έχουν προετοιμαστεί κατάλληλα, μηχανικά (υδρο-αμμοβολή, σβουράκι, τριβείδι κλπ.), ώστε να έχει απομακρυνθεί όποια στρώσης επιδερμικού σκυροδέματος μειωμένων αντοχών.

**Οδηγίες Χρήσης**

Τα περιεχόμενα των εποξειδικών ρητινών διατίθενται σε χωριστά δοχεία (Α=βασική ρητίνη και Β=αντίστοιχος σκληρυντής). Αναμιγνύονται μεταξύ τους μηχανικά, με αναδευτήρα, με ιδιαίτερη επιμονή σε χαμηλή ταχύτητα (~550 r.p.m. /στροφές ανά λεπτό), για περίπου 3 λεπτά, στις αναλογίες που αναγράφουν οι ετικέτες τους, μέχρις ότου επιτευχθεί μίγμα ομοιογενούς σύστασης. Πριν αναμιχθεί η Ρητίνη με τον Σκληρυντή, κρίνεται σκόπιμη η ανάμιξη του κάθε συστατικού ξεχωριστά στο αντίστοιχο δοχείο του, μέχρις ότου επιτευχθεί πλήρης ομοιογένεια. Επίσης, πρέπει να τηρούνται με σχολαστικότητα οι αναλογίες των δύο συστατικών που αναγράφονται στις ετικέτες των δοχείων. Αποφύγετε την ανάμιξη στον ήλιο, ώστε να αποφύγετε τη συρρίκνωση του χρόνου εργασιμότητας. Κατά το δυνατόν, η ανάμιξη να γίνεται πάντα υπό σκιά. Ως εποξειδική κόλλα επικόλλησης και προσαρμογής υφασμάτων Τεχνολογίας FRPs / ΙΟΠ (άνθρακα, ύαλου και/ή αραμιδίου), σε κατακόρυφες ή οριζόντιες επιφάνειες σκυροδέματος, καθώς και ως στρώση σφράγισης της τελευταίας στρώσης του υφάσματος, το μίγμα εφαρμόζεται με κοντότριχο ρολό (για χρώματα ριπολίνης) και/ή σπάτουλα με λάστιχο.

**Εφαρμογή**

Μέσο εφαρμογής ενισχύσεων και επικόλλησης υφασμάτων Τεχνολογίας FRPs / ΙΟΠ : Με την ξηρή μέθοδο : Εφαρμόστε το προϊόν Sinmast S2WV, με κοντότριχο ρολό και/ή με σπάτουλα με λάστιχο, κατανέμοντας την ποσότητα ομοιόμορφα πάνω στην επιφάνεια του υποστρώματος (στρώση εποξειδικού ασταριού Sinmast S2W ή στρώση υφάσματος που έχει προηγηθεί), αποφεύγοντας λιμνάσματα υλικού.

Με την υγρή μέθοδο :

α) Περάστε, διαμέσου της ρητίνης, τα αναπτύγματα του εξεταζόμενου υφάσματος που έχουν κοπεί στις επιθυμητές διαστάσεις και τοποθετηθεί σε ειδικούς κυλίνδρους ενσωματωμένους σε “μπάνιο” εμβαπτισμού, μέσα στο οποίο έχει τοποθετηθεί η ρητίνη Sinmast S2WV. Παραλάβετε τα εμποτισμένα πλέον υφάσματα (σύνθετο υλικό) και εφαρμόστε τα στα στοιχεία σκυροδέματος, στα σημεία που προσδιορίζονται από την μελέτη. Πιέστε τα υφάσματα να επικολληθούν επί της

στρώσης ασταρώματος προς μία κατεύθυνση, πάντοτε στην διεύθυνση των ινών, με την βοήθεια κοντότριχου ρολού και/ή σπάτουλας με λάστιχο.

Πιο συνηθισμένα :

β) Απλώστε τα αναπτόγματα του εξεταζόμενου υφάσματος που έχουν κοπεί στις επιθυμητές διαστάσεις πάνω σε καθαρά φύλλα πολυαιθυλενίου (νάιλον). Εμποτίστε τα αμφίπλευρα με την εποξειδική ρητίνη Sinmast S2WV. Παραλάβετε τα εμποτισμένα πλέον υφάσματα (σύνθετο υλικό) και εφαρμόστε τα στα στοιχεία σκυροδέματος, στα σημεία που προσδιορίζονται από την μελέτη. Πιέστε τα υφάσματα να επικολληθούν επί της στρώσης ασταρώματος προς μία κατεύθυνση, πάντοτε στην διεύθυνση των ινών, με την βοήθεια κοντότριχου ρολού και/ή σπάτουλας με λάστιχο, αποφεύγοντας λιμνάσματα υλικού.

### Σημειώσεις – Προληπτικά Μέτρα – Περιορισμοί

- Πριν όποια εφαρμογή η επιφάνεια αναφοράς πρέπει να έχει προετοιμαστεί κατάλληλα με μηχανικά μέσα, με τρόπο ως αναφέρεται ανωτέρω.
- Η θερμοκρασία υποστρώματος και περιβάλλοντος πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ +10 οC και +40 οC, κατά τη διάρκεια της εφαρμογής.
- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της εφαρμογής, να είναι τουλάχιστον 3 οC πάνω από το σημείο υγροποίησης (dew point).
- Η μέγιστη επιτρεπόμενη υγρασία του υποστρώματος πρέπει να είναι  $\leq 4\%$ .
- Κατά προτίμηση, η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας να είναι  $\leq 65\%$ .
- Προστατέψτε την νωπή στρώση από έκθεση σε βροχή τουλάχιστον για τις πρώτες 12 ώρες από την εφαρμογή.
- Μετά το αστάρωμα με Sinmast S2W, αναμείνате για 25 έως 60 λεπτά περίπου (κατά την θερινή ή την χειμερινή περίοδο, αντίστοιχα), πριν την εφαρμογή της κόλλας Sinmast S2WV που απαιτείται για την προσαρμογή και επικόλληση των υφασμάτων FRPs / Ινοπλισμένων Πολυμερών.
- Πάντοτε η εφαρμογή τέτοιων συστημάτων απαιτεί εμπειρία και εξειδίκευση.
- Εφαρμογές που απαιτούν πέραν της μιας στρώσης ενίσχυσης, εκτελούνται με επαλληλία στρώσεων σύνθετου υλικού (ύφασμα με ρητίνη επικόλλησης), με ακολουθία των αναπυγμάτων με την τεχνική “νωπό σε νωπό”, πάντοτε εντός του χρόνου ενέργειας της ρητίνης.
- Σε περίπτωση κατά την οποία απαιτείται εφαρμογή υφασμάτων μεγάλου σχετικά βάρους, δύναται να επέμβουμε στην ρευστότητα της εποξειδικής κόλλας Sinmast S2WV, με παράλληλη χρήση ρυθμιστή ιξώδους, τέτοιον όπως το Thixo-Factor της Sintecno, που διατίθεται σε μορφή πούδρας. Για εφαρμογή σε κατακόρυφες επιφάνειες, το ποσοστό προσθήκης μπορεί να φθάσει το  $\leq 4\%$ . Για εφαρμογές σε οριζόντια στοιχεία πάνω όμως από το ύψος του κεφαλιού, το ποσοστό προσθήκης μπορεί να είναι  $> 4\%$  (συστήνεται ο καθορισμός της αναλογίας επιτόπου του έργου), δημιουργώντας έτσι μίγμα υψηλής θιξοτροπίας.
- Συμβουλευτείτε την πιο πρόσφατη έκδοση Φύλλου Ασφαλείας του προϊόντος (MSDS) πριν την εφαρμογή.

**Καθαρισμός Εργαλείων**

Τα εργαλεία πρέπει να καθαρίζονται αμέσως μετά την εφαρμογή με Mexyl. Υλικό που έχει ωριμάσει ή/και σκληρυνθεί, αφαιρείται μόνο μηχανικά

**Φυσικές & Χημικές Ιδιότητες - Τεχνικά Χαρακτηριστικά**

|                                       |   |         |
|---------------------------------------|---|---------|
| Αναλογία ανάμιξης (%):                | A / B = 63 / 37 κ.β. (ρητίνη / σκληρυντής)              |         |
| Στερεά κατάλοιπα:                     | 100%  |         |
| Απόχρωση:                             | Ελαφρώς γαλακτόχρωμη (θολό μίγμα)                       |         |
| Πυκνότητα:                            | ~1,15 kg/ lt  |         |
| D.P.U. : (Πρακτικός χρόνος χρήσεως)   | ≥ 60 λεπτά στα 1.000 gr (+10 °C)                        |         |
|                                       | ≥ 25 λεπτά στα 1.000 gr (+35 °C)                        |         |
| Χρόνος ενέργειας : (Πρακτικός χρόνος) | ≥ 120 λεπτά (+10 °C)                                    |         |
|                                       | ≥ 60 λεπτά (+35 °C)                                     |         |
| Σκληρότητα Shore D:                   | 84 (7 ημερών /+23 °C) (DIN 53 505)                      |         |
| Πρόσφυση (ξηρό σκυρόδεμα):            | 3.1 >1.5 N/mm <sup>2</sup> (όριο αστοχίας σκυροδέματος) |         |
| Θερμοκρασία υποστρώματος:             | Ελάχιστη  | Μέγιστη |
|                                       | +10 °C  | +40 °C  |
| Θερμοκρασία περιβάλλοντος:            | Ελάχιστη  | Μέγιστη |
|                                       | +10 °C  | +40 °C  |

*Πίνακας 5.6 Φυσικές και χημικές ιδιότητες καθώς τεχνικά χαρακτηριστικά της εποξειδικής ρητίνης δύο συστατικών S2WV [35]*

\* Οι τιμές που δίνονται ανωτέρω είναι ενδεικτικές βάσει εργαστηριακών δοκιμών. Αναφορικά, πέρα από ειδικές περιπτώσεις, όλες οι δοκιμές έγιναν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (+23 °C) και τα δοκίμια διατηρήθηκαν και συντηρήθηκαν για 7 ημέρες στην θερμοκρασία αυτή. Παρακαλούμε όπως μας συμβουλευέστε ή να μας ενημερώνετε για κάθε ασυνήθιστη εφαρμογή.

**Μέτρα Προφύλαξης**

Πρέπει να τηρούνται τα μέτρα προφύλαξης που ισχύουν για τις εποξειδικές ρητίνες γενικότερα. Αποφεύγετε την επαφή με το δέρμα, τα μάτια και λοιπά ευαίσθητα σημεία του σώματος. Να προστατεύετε τα μάτια, τα χέρια και το δέρμα με γυαλιά, γάντια και ρούχα εργασίας αντίστοιχα. Συνιστούμε να χρησιμοποιούνται γυαλιά, γάντια και προστατευτικές κρέμες. Σε περίπτωση που έρθουν σε επαφή με τα μάτια, συμβουλευτείτε αμέσως γιατρό. Μην τρίβετε τα μάτια. Τέλος, όταν η εργασία γίνεται σε κλειστούς χώρους, πρέπει να εξασφαλίζεται επαρκής αερισμός. Το υλικό δεν είναι προς κατάποση. Κρατήστε το μακριά από παιδιά. [35]

**Έλεγχοι Σύμφωνα με τις Απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 1504-4**

| <b>Ιδιότητες Προϊόντος</b>  | <b>Μέθοδος Ελέγχου<br/>(Απαίτηση Προτύπου)</b>   | <b>Αποτέλεσμα</b>  |
|---|--|--|
| Μέτρο Ελαστικότητας σε κάμψη:   | EN ISO 178 (≥ 2000 N/mm <sup>2</sup> )   | <b>Πληρείται:</b><br>> 2000 N/mm <sup>2</sup> (όριο προτύπου)                          |
| Μέτρο Ελαστικότητας σε θλίψη:   | EN 13412 (≥ 2000 N/mm <sup>2</sup> )   | <b>Πληρείται:</b><br>> 2000 N/mm <sup>2</sup> (όριο προτύπου)                          |
| Διατμητική αντοχή από ολίσθηση:   | EN 12188 (≥ 12 N/mm <sup>2</sup> )   | <b>Πληρείται:</b><br>> 12 N/mm <sup>2</sup> (όριο προτύπου)                            |
| Καταλληλότητα για εφαρμογή και συντήρηση κάτω από ειδικές περιβαλλοντικές συνθήκες:                         | EN 12615 (Ο έλεγχος αστοχίας σε διάτμηση από ολίσθηση πρέπει να οδηγήσει σε θραύση το σκυρόδεμα) | <b>Πληρείται:</b><br>όντως, αστοχία στο σκυρόδεμα                                      |
| Θλιπτική αντοχή:  | EN 12190 (≥ 30 N/mm <sup>2</sup> )   | <b>Πληρείται:</b><br>> 30 N/mm <sup>2</sup>  |
| Επιμήκυνση θραύσης:   | ASTM D 638-02a   | 5,14%  |
| Μέγιστος διαθέσιμος χρόνος από την ανάμιξη έως τη συγκόλληση:   | EN 12189<br>(Declared value)   | 60 λεπτά   |
| Εργασιμότητα (Workable life):   | EN ISO 9514<br>(Declared value)  | 55 λεπτά   |
| Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης:  | EN 12614 & ASTM D 4065-06 (≥ 40° C)  | <b>Πληρείται:</b><br>> 40° C (όριο προτύπου)   |
| Πρώιμη γραμμική συστολή των συγκολλητικών υλικών που χρησιμοποιούνται για κατασκευές (εναλλακτική μέθοδος): | EN 12617-3 (≤ 0,1%)  | <b>Πληρείται:</b><br>< 0,1% (όριο προτύπου)  |
| Ανθεκτικότητα:  | EN 13733   | Ικανοποιεί   |
| Αντίδραση στην φωτιά:   | EN 13501-1   | Κατηγοριοποίηση (σύμφωνα με 5,5):<br><b>Euro-class F</b>                               |
| Απελευθέρωση επικίνδυνων συστατικών:  |  | Κατηγοριοποίηση (σύμφωνα με 5,4):<br><b>Πληρείται:</b><br>Πλήρως αποδεκτά όρια ελέγχου |

Πίνακας 5.7 Έλεγχοι και όρια κανονισμών βάσει προτύπου ΕΛΟΤ EN 1504-4 [35]

Όλες οι δοκιμές έγιναν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (+20 °C /+21°C), ως ορίζεται από τα Πρότυπα Ελέγχου και τα δοκίμια διατηρήθηκαν και συντηρήθηκαν για (7) ημέρες στις θερμοκρασίες αυτές.

## 5.4 CFRP

### 5.4.1 S&P C-SHEET 240 (προϊόντα S&P Clever Reinforcement AG)

Υψηλών Αντοχών, Υφάσματα από Ίνες Άνθρακα, Τεχνολογίας Ινοπλισμένων Πολυμερών ΙΟΠ /FRPs, για Δομικές Ενισχύσεις



Εικόνα 5.5 FRP S&P C-Sheet 240, 430gr/m<sup>2</sup>

#### Περιγραφή

Τα πεπλεγμένα συστήματα S&P C-Sheet 240 αποτελούν υψηλών αντοχών και εξαιρετών μηχανικών ιδιοτήτων εύκαμπτα υφάσματα από ίνες άνθρακα, σε αναπτύγματα μονής διεύθυνσης, τεχνολογίας Ινοπλισμένων Πολυμερών ΙΟΠ/ FRPs. Τα υφάσματα S&P C-Sheet 240 φέρουν αμφίπλευρη πλέξη συγκράτησης των ινών άνθρακα και είναι ειδικά σχεδιασμένα για δομική ενίσχυση, κυρίως με την ξηρή μέθοδο εφαρμογής, για επεμβάσεις σε φέροντα στοιχεία κατασκευών από σκυρόδεμα, ξύλο και τοιχοποιίες.

#### Εγκρίσεις – Πρότυπα – Έλεγχοι

- Euro Code EC (2) /Ευρωκώδικας (2).
- FIB, με σχετική Τεχνική Αναφορά – βιβλιογραφία, bulletin 14 (περί Διεθνούς μεθόδου Ενισχύσεων και προσαρμογής, εξωτερικά, επικολλητών συστημάτων τύπου FRP, σε φέροντα δομικά μέλη κατασκευών από (RC) οπλισμένο σκυρόδεμα /FIB, bulletin 14 International Report for Externally bonded FRP reinforcement for RC structures.
- Γερμανία /Kantonale Gebäudeversicherung Freiburg HTA Freiburg, Dokumentation sur le génie parasismique.
- Bundersamt für Wasser und Geologie BMG, Erdbebengerechter Entwurf von Hochbauten – Grundsätze für Ingenieure, Architekten, Bauherren und Behörden
- Γαλλία /Association Francaise de Génie Civil, Réparation et renforcement des structures en béton au moyen de matériaux composites à matrice organique.



- Μεγάλη Βρετανία /UK Concrete Society Committee, TR 55 Edition 2, Design Guidance for Strengthening concrete Structures using fibre composite materials.
- Ελβετία /Schweizer Norm, Frosttiefen Schweiz.
- Ιταλία /National Research Council of Rome – Italy, Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures.
- Ιταλία /Universität Bologna, Untersuchungen C-Sheet 240 / C-Sheet 640.

### **Γενικά Χαρακτηριστικά – Πλεονεκτήματα**

- Εξαιρετικές μηχανικές αντοχές και χαρακτηριστικές ιδιότητες.
- Υψηλό μέτρο Ελαστικότητας.
- Πολύ υψηλή εφελκυστική αντοχή.
- Προϊόν που δεν παρουσιάζει διάβρωση – Ανθεκτικό σε αλκαλικό περιβάλλον.
- Ευκολία μεταφοράς και τοποθέτησης αναπτυγμάτων.
- Ύφανση χαμηλής πυκνότητας με σχεδόν αμελητέο, ίδιο βάρος προϊόντος.
- Παρουσιάζουν αμφίπλευρη πλέξη συγκράτησης των ινών του άνθρακα (ύφανση δομημένη σύμφωνα με τη φιλοσοφία ανάπτυξης στημόνι – υφάδι).
- Οικονομικό, από πλευράς τεχνικής επέμβασης και κόστους εφαρμογής χωρίς απαιτήσεις ιδιαίτερων μέσων και ειδικού εξοπλισμού – Ταχύτερη διαδικασία εφαρμογής.
- Από πλευράς ενίσχυσης, αποτελούν αναστρέψιμη μέθοδο επέμβασης.
- Μέθοδος ενίσχυσης με τη μικρότερη δυνατή όχληση των δομικών μελών που σπάνια μάλιστα απαιτεί μέτρα συντήρησης.
- Εξαιρετική συμπεριφορά έναντι κόπωσης (fatigue) και γήρανσης.
- Συστήματα ενίσχυσης που δεν τροποποιούν τις αρχικές, εξωτερικές διαστάσεις των δομικών στοιχείων πάνω στα οποία προσαρμόζονται.
- Συστήματα που επιδέχονται επικάλυψη και ακολουθία χρωματισμών.

### **Χρήσεις - Πεδία Εφαρμογής**

Τα υφάσματα S&P C-Sheet 240 χρησιμοποιούνται κυρίως ως εξωτερικά προσαρμοσμένο σύστημα ενίσχυσης κατασκευών (επικολητά υφάσματα, εφαρμοσμένα στην εξωτερική επιφάνεια, επί των όψεων δομικών μελών), για αύξηση της ικανότητας ανάληψης αξονικής φόρτισης και απορρόφηση ενέργειας, τη διατμητική και καμπτική αναβάθμιση (χαμηλή ποιότητα υποστρώματος), καθώς και την αύξηση της φέρουσας ικανότητας στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος, φέρουσας τοιχοποιίας και ξύλου που παραλαμβάνουν φορτία γενικότερα.

Ως επί το πλείστον, τα ειδικά αυτά υφάσματα χρησιμοποιούνται, για την εξωτερική περίσφιγξη (κλειστή) κατακόρυφων στοιχείων σκυροδέματος (υποστυλώματα) ή τη διαμόρφωση ανοικτού μανδύα ενίσχυσης (σε δοκούς – πλακοδοκούς).

Συστήματα ιδανικά για επίλυση σχεδιαστικών και/ή κατασκευαστικών ατελειών, για τροποποιήσεις και αντιμετώπιση αλλαγών στον αρχικό, στατικό σχεδιασμό, για αντιστάθμιση περιπτώσεων σε φέροντα στοιχεία, εκεί όπου απαιτείται η συμπλήρωση πρόσθετου διατμητικού

οπλισμού (προσθήκη και πύκνωση συνδετήρων κοντά σε κόμβους – κρίσιμη περιοχή– καθώς και στον “πόδα” ή την “κεφαλή” υποστυλωμάτων). Ομοίως, για αντιμετώπιση βλαβών, παθολογίας ή ακόμα και αποδιοργάνωσης στοιχείων προερχόμενων από φυσικές αιτίες (όπως π.χ. η σεισμική δράση) και ανάληψη φορτίσεων προερχόμενων κυρίως λόγω αλλαγής χρήσης λειτουργίας κ.ο.κ. Τα συστήματα αυτά, δύναται επίσης να αποτελέσουν μέτρα αντιμετώπισης ατυχημάτων προκληθέντα από κρούσεις, βανδαλισμούς, ανατινάξεις και πυρκαγιά, καθώς επίσης, χρησιμοποιούνται για να “κλειδώσουν” απολήξεις καμπτικών ενισχύσεων με ελάσματα S&P CFK Lamellas.

### **Κατανάλωση**

- S&P C-Sheet 240 / Υφάσματα ινών άνθρακα για δομικές ενισχύσεις: Η κατανάλωση κυμαίνεται περίπου στο (1) m<sup>2</sup> υφάσματος, προσαυξημένο ελαφρά, κατά 2–10% περίπου (περίπτωση κλειστής περίσφιξης), για κάθε (1) m<sup>2</sup> εξωτερικής επιφάνειας (όψης) δομικού στοιχείου που απαιτεί ενίσχυση.
- Sinmast S2W / 2-συστ. εποξειδικό αστάρι που εφαρμόζεται επί της επιφάνειας σκυροδέματος: Ανατρέξτε στο αντίστοιχο Φύλλο Ιδιοτήτων (PDS) Προϊόντος.
- Sinmast S2WV / 2-συστατικών εποξειδική ρητίνη (κόλλα) προσαρμογής και επικόλλησης, εμποτισμού και προστασίας των υφασμάτων S&P C-Sheet 240: Ομοίως, ανατρέξτε στο αντίστοιχο Φύλλο Ιδιοτήτων (PDS) του Προϊόντος.

Σημείωση : Σε γενικές γραμμές πάντως, η κατανάλωση εξαρτάται πάντοτε από την υφή και την επιπεδότητα της επιφάνειας αναφοράς, τον βαθμό απορροφητικότητας, το πορώδες και την αδρότητα που παρουσιάζει το υπόστρωμα, τις απαιτήσεις από πλευράς ζώνης αλληλοεπικάλυψης που ζητείται για το ύφασμα, τη μέθοδο εφαρμογής (ξηρή ή υγρή), το πάχος και την πύκνωση της πλέξης του εξεταζόμενου τύπου του υφάσματος αναφοράς, τις επικρατούσες στο έργο συνθήκες, καθώς και από τις ίδιες τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

### **Διαθέσιμοι τύποι / τεχνικά δεδομένα**

Τα υφάσματα S&P C-Sheet 240 παρουσιάζουν ενιαίο μέτρο ελαστικότητας (E-modulus: 240 Gpa). Βάσει του μικτού τους βάρους όμως, από πλευράς επιλογών, διατίθενται οι ακόλουθοι τύποι :

- S&P C-Sheet 240 ( 230 gr/m<sup>2</sup> ),
- S&P C-Sheet 240 ( 330 gr/m<sup>2</sup> ) και
- S&P C-Sheet 240 ( 430 gr/m<sup>2</sup> ).

Σημείωση: Επιπλέον τύποι υφασμάτων S&P C-Sheet 240 με διαφοροποίηση ως προς το εξεταζόμενο βάρος, δύναται να παραχθούν και διατίθενται κατόπιν παραγγελίας, με βασική προϋπόθεση όμως την απορρόφηση στο έργο σημαντικών ποσοτήτων. Συγκεκριμένα για το S&P C-Sheet 240 ( 430 gr/m<sup>2</sup> ) έχει τα κάτωθι χαρακτηριστικά.

|   |  |
|---|--|
| Τεχνικά στοιχεία Ινών Άνθρακα: (στη διεύθυνση των ινών)   | S&P C-Sheet 240<br>[ 430 gr/m <sup>2</sup> ]                 |
| Μέτρο Ελαστικότητας: (E-Modulus)  | 240.000 N/mm <sup>2</sup>                                    |
| Εφελκυστική αντοχή:<br>(παρθενικό νήμα Ινών Άνθρακα)  | ≥ 3.800 N/mm <sup>2</sup>                                    |
| Καθαρό βάρος Ινών υφάσματος: (στη διεύθυνση των ινών Άνθρακα)   | 400 gr/m <sup>2</sup>  |
| Μικτό βάρος Ινών υφάσματος: (συμπεριλαμβανομένου του αμφί-πλευρου πλέγματος συγκράτησης ινών / πλέξη σε ύφανση στημόνι – υφάδι) | 430 gr/m <sup>2</sup>  |
| Πυκνότητα Ινών :  | ≥ 1,7 gr/cm <sup>3</sup>                                     |
| Ποσοστό επιμήκυνσης (ε): (παραμόρφωση εφελκυσμού)   | 1,55 %   |
| Πάχος στατικού σχεδιασμού: (βάρος ίνας υφάσματος / πυκνότητα)   | 0,234 mm   |
| Θεωρητική διατομή για στατικό σχεδιασμό: (ύφασμα πλάτους 1.000 mm = 1,0 m)  | 234 mm <sup>2</sup>  |
| Συντελεστής ασφαλείας (από-μείωσης) για στατικό σχεδιασμό: (επίστρωση δια χειρός / UD ύφασμα)                                   | 1,2 (ως συνίσταται από τον προμηθευτή / S&P Cl. Rein. Co AG) |
| Εφελκυστική αντοχή (μέγιστη) υφάσματος για πλάτος 1.000 mm για σχεδιασμό: (στη διεύθυνση των ινών)                              | <u>234 x 3800</u> = 744,0 kN .....1.2                        |
| Εφελκυστική αντοχή υφάσματος για πλάτος 1.000 mm = 1.0 m, σε 0,6% ποσοστό επιμήκυνσης (ε): (ως παραμόρφωση σχεδιασμού)          | 282 kN   |
| Διαστάσεις υφάσματος: (διατίθενται σε τόπια ρολά)   | Πλάτος: 300 και 600 mm                                       |

Πίνακας 5.8 Τεχνικά χαρακτηριστικά του FRP S&P C-Sheet 240 ( 430 gr/m<sup>2</sup> ) [35]

### Συσκευασίες

Τα υφάσματα S&P C-Sheet 240 διατίθενται σε ρολά των 50 και/ή των 100 m. Τα υφάσματα δύναται να κοπούν και σε μικρότερες διαστάσεις ως προς το μήκος, ανάλογα με τη ζήτηση και τις ποσότητες που αναμένεται να απορροφήσει το έργο. Διατίθενται επίσης και επιπλέον τύποι υφασμάτων με διαφοροποίηση προς τα πάνω, ως προς το εξεταζόμενο βάρος, κατόπιν παραγγελίας.

### Αποθήκευση

Τουλάχιστον 36 μήνες από την ημερομηνία παραγωγής όταν αποθηκεύονται στην αρχική, σφραγισμένη συσκευασία σε ξηρές συνθήκες και στεγνό, προστατευμένο περιβάλλον, σε θερμοκρασίες μεταξύ +5ο C έως + 35ο C, μακριά από την υγρασία, την άμεση έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία και τον παγετό.

### Υπόστρωμα

Η ποιότητα και η κατάσταση του υποστρώματος πρέπει να ελέγχονται σε όλες τις δυνατές περιπτώσεις (σκυρόδεμα, ξύλο, φέρουσα τοιχοποιία και/ή λιθοδομή), πριν την διαδικασία ενίσχυσης. Σε γενικές γραμμές, από πλευράς επιπεδότητας και διευθέτησης οι επιφάνειες θα πρέπει να προετοιμάζονται σύμφωνα με όσα ορίζονται στο bulletin 14 της FIB (Διεθνής μεθοδολογία Ενίσχυσης και προσαρμογής, εξωτερικά, επικολητών συστημάτων τύπου FRP, σε φέροντα δομικά μέλη κατασκευών από (RC) οπλισμένο σκυρόδεμα, ελάχιστη ηλικία σκυροδέματος, τουλάχιστον 28 ημερών.

Στην πράξη, η επιφάνεια προς εφαρμογή πρέπει να είναι λεία, χωρίς εξάρσεις ξυλοτύπων, δομικά σταθερή, στεγνή και καθαρή χωρίς σαθρά στοιχεία σκυροδέματος, σκόνη, ρύπους, εξανθήματα – αλατώσεις, παλαιούς χρωματισμούς ή ελαιώδεις - λιπαρές ουσίες (λάδια, λίπη, γράσα κλπ.). Εύθρυπτα στοιχεία, επιδερμικό σκυρόδεμα μειωμένων αντοχών, σκουριές, τσιμεντόνερα κλπ., θα πρέπει να απομακρυνθούν με τρίψιμο, μηχανικά. Η ελάχιστη απαίτηση, ως προς την τάση αποκόλλησης που παρουσιάζει το υπόστρωμα, πρέπει να είναι τουλάχιστον  $\geq 1,2 \text{ N/mm}^2$  (δοκιμή εξόγκυσης pull-out).

Απαιτείται απότμηση των ακμών (ροντάρισμα), των στοιχείων σκυροδέματος (υποστυλώματα – δοκοί κλπ.), με γωνιακό τροχό ή καλέμισμα, για την διαμόρφωση καμπύλης στα υφιστάμενα σημεία μόρφωσης ορθής γωνίας (γωνίες – ακμές). Η ακτίνα καμπυλότητας πρέπει να κυμαίνεται περίπου στα 10–30 mm, συνήθως όμως εξαρτάται πάντοτε και από την υπάρχουσα ζώνη επικάλυψης που παρουσιάζουν οι οπλισμοί του δομικού στοιχείου που εξετάζεται. Σκοπός της άμβλυνσης των γωνιών, είναι η αποφυγή συγκέντρωσης των τάσεων σε κρίσιμα σημεία, τέτοια όπως οι ακμές που παρουσιάζουν οι δοκοί και τα υποστυλώματα.

Σε περίπτωση απόκλισης επιπεδότητας ελάχιστου πάχους, σε μεμονωμένα σημεία επιμέρους περιοχών σκυροδέματος (επεμβάσεις μικρής κλίμακας, περισσότερο τοπικού χαρακτήρα), εκεί όπου δεν μπορεί να εξομαλυνθεί η επιφάνεια αναφοράς αφαιρετικά (με τρίψιμο), τα σημεία αυτά δύναται να προετοιμαστούν με στρώση διευθέτησης εφαρμοσμένη με λεία σπάτουλα, για εξομάλυνση της κατάστασης, δηλαδή προσθετικής μεθόδου (στοκάρισμα), δια λεπτόκοκκης εποξειδικής πάστας 2-συστατικών τύπου Sinmast P103 ή Sinmast P103 F, διαδικασία που προηγείται χρονικά των ενισχύσεων, σε περίπτωση που κάτι τέτοιο θεωρείται ως απαιτούμενο και κατά συνέπεια, αναπόφευκτο.

Προϋπόθεση : Να έχει απομακρυνθεί ήδη τυχόν επιδερμικό σκυρόδεμα (τσιμεντο-επιδερμίδα) μειωμένων αντοχών, καθώς επίσης η τάση αποκόλλησης που παρουσιάζει το υπόστρωμα να είναι ικανοποιητική.

Στρώση εξομάλυνσης με εποξειδική πάστα: Εκτιμώμενος χρόνος αναμονής πριν την ακολουθία ενίσχυσης με υφάσματα S&P C-Sheet 240, περί τις 24 ώρες (ενδεικτικά, για τους +23 oC). Σε περίπτωση που παρέλθει το 24ωρο, τα επιμέρους αναπτύγματα πρέπει κανονικά να τριφτούν ώστε να αποκτήσουν σχετική αδρότητα, πριν τη εφαρμογή των υφασμάτων (απομακρύνοντας πρώτα την σκόνη πριν την ενίσχυση).

Συνήθως όμως, σε περίπτωση παθολογίας και βλαβών σκυροδέματος που χρήζουν επισκευής, έντονης ατέλειας και/ή περιπτώσεων ανισοσταθμίας υποστρώματος (σκυρόδεμα, φέρουσα τοιχοποιία και/ή λιθοδομή), τότε οι αποκαταστάσεις στα σημεία προσαρμογής των υφασμάτων ενίσχυσης πραγματοποιούνται με επισκευαστικά κονιάματα της σειράς MuCis ή της σειράς Microbeton, 2- και 1-συστ., αντίστοιχα.

Ζώνη υποδομής (“μαξιλάρια”), επισκευής και αποκατάστασης γεωμετρίας στοιχείου, με έτοιμο επισκευαστικό κονίαμα: Ελάχιστη ηλικία υποστρώματος (έτοιμο κονίαμα) μετά την εκτέλεση των επισκευών, τουλάχιστον 7 ημέρες (για κονιάματα κανονικής πήξης), πριν την ακολουθία συστημάτων ενίσχυσης Τεχνολογίας FRPs.

Προϋπόθεση : Κονιάματα επισκευής με Μέτρο Ελαστικότητας (E-modulus) μικρότερο από 21.000 N/mm<sup>2</sup> (στις 28 ημέρες), δεν είναι αποδεκτά για την περίπτωση και συστήνεται να αποφεύγονται.

Επισκευαστικό κονίαμα: Ελάχιστη ηλικία υποστρώματος, τουλάχιστον 7 ημέρες.

Εύλο: Η επιφάνεια να είναι ομοιογενής, λεία, στεγνή και καθαρή, ελεύθερη από τμήματα που τυχόν έχουν σαπίσει. Τμήματα που παρουσιάζουν φθορές πρέπει πρώτα να πλανισθούν (λείανση) και να τριφτούν μηχανικά.

### **Προετοιμασία Υλικών**

Όσον αφορά την ανάμιξη των δύο συστατικών (A+B) των εποξειδικών ρητινών Sinmast S2W (αστάρι σκυροδέματος) και Sinmast S2WV (κόλλα εμποτισμού, προσαρμογής και επικόλλησης υφάσματος), ανατρέξτε στα αντίστοιχα Φύλλα Ιδιοτήτων (PDS) έκαστου Προϊόντος.

Τρόπος Εφαρμογής (Ξηρή Μέθοδος Ενίσχυσης)

Αρχικά, κόψτε κάθετα με ψαλίδι τα αναπτύγματα του υφάσματος S&P C-Sheet 240, ως προς την επιθυμητή διάσταση σε μήκος. Για περιπτώσεις κλειστών περισφίξεων, υπολογίζετε ζώνη αλληλοεπικάλυψης, στη διεύθυνση των ινών των φύλλων, ίση τουλάχιστον με  $\geq 150$  mm, δηλαδή περίμετρος υποστυλώματος [Π]+0,15 m.

Σημείωση : Ιδιαίτερη προσοχή πριν την τοποθέτηση (προβάρισμα), ώστε να μην “πέσει” η αλληλοεπικάλυψη των υφασμάτων πάνω και/ή πολύ κοντά σε γωνία ακμής. Σε εφαρμογές επάλληλων στρώσεων υφάσματος πέραν της μία στρώσης, η αλληλοεπικάλυψη των αναπτυγμάτων, στρώσης με στρώση, να “πέφτει” πάντοτε στην απέναντι ακριβώς πλευρά.

Δεν απαιτείται αλληλοεπικάλυψη στα αναπτύγματα των ζωνών στη διεύθυνση ως προς την ύφανση κατά το πλάτος του υφάσματος. Προληπτικά όμως, δύναται να υπάρξει μικρή επικάλυψη των αναπτυγμάτων της τάξης των 10-15 mm, περίπου.

Μετά την ομογενοποίηση των δύο συστατικών της εποξειδικής ρητίνης Sinmast S2W (στρώση ασταρώματος), εφαρμόστε άμεσα με κοντότριχο ρολό (για χρώματα ριπολίνης), μία στρώση υλικού, καθολικά, επάνω στην επιφάνεια του δομικού στοιχείου, στα σημεία προσαρμογής του

υφάσματος. Σκοπός, ο εμποτισμός του σκυροδέματος και η αντιμετώπιση όποιας απορροφητικότητας υποστρώματος. Τηρείστε χρόνο αναμονής ~20 έως ~60 λεπτών (κατά την θερινή και/ή την χειμερινή περίοδο, αντίστοιχα), πριν την εφαρμογή της κόλλας προσαρμογής των υφασμάτων S&P C-Sheet 240.

Μετά την ομογενοποίηση και των δύο συστατικών της εποξειδικής κόλλας Sinmast S2WV, εφαρμόστε άμεσα με κοντότριχο ρολό ως ανωτέρω, μία στρώση υλικού, καθολικά, επάνω στην επιφάνεια της στρώσης ασταρώματος που έχει προηγηθεί, στα σημεία προσαρμογής του υφάσματος. Ουσιαστικά, οι εποξειδικές ρητίνες προσαρμογής αποτελούν το μέσο μεταφοράς των τάσεων από το δομικό στοιχείο, στο ύφασμα ενίσχυσης S&P C-Sheet 240 που επιλέγεται. Ακολούθως, εντός του χρόνου ενέργειας της εποξειδικής κόλλας προσαρμογής, εφαρμόστε το ύφασμα στην προκαθορισμένη θέση που προβλέπεται από την μελέτη, κρατώντας μία πλευρά σταθερή (απόληξη – ακμή εκκίνησης). Πιέστε το ύφασμα σταθερά και γύρω από τη διατομή, επάνω στα στρώματα ρητίνης που υπάρχουν ήδη στο δομικό στοιχείο και έχουν προηγηθεί. Κατόπιν, με την βοήθεια ρολού πίεσης, με γάντι ή σπάτουλα με λάστιχο, πιέστε προσεκτικά με δύναμη, καθολικά, όλη την επιφάνεια του υφάσματος, πάντοτε προς μία διεύθυνση και συγκεκριμένα τη διεύθυνση των ινών του άνθρακα, μέχρι η εποξειδική κόλλα να εμποτίσει πλήρως την πλέξη του υφάσματος, απομακρύνοντας ταυτόχρονα τυχόν εγκλωβισμένο αέρα, έτσι ώστε το ύφασμα S&P C-Sheet 240 να ενσωματωθεί άριστα πάνω στο δομικό υπόστρωμα, αποτελώντας πλέον μια μονολιθική κατάσταση.

Για εφαρμογές με επαλληλία αναπτυγμάτων πέραν της μία στρώσης υφάσματος, εφαρμόστε το συντομότερο δυνατό, νέο στρώμα εποξειδικής κόλλας Sinmast S2WV, πάνω στην πρώτη στρώση υφάσματος που έχει προηγηθεί και κατόπιν, εντός του χρόνου ενέργειας της ρητίνης, επαναλάβετε νέα στρώση υφάσματος με επιμέλεια και τρόπο ως περιγράφεται ανωτέρω, αποφεύγοντας πάντοτε τη δημιουργία πτυχώσεων.

Ως στρώμα σφράγισης και προστασίας της τελευταίας στρώσης των αναπτυγμάτων των υφασμάτων S&P C-Sheet 240, λ.χ. πριν την ακολουθία επιχρισμάτων – σοβάδων και/ή στρώσεων ειδικών κονιαμάτων πυροπροστασίας κλπ., απαιτείται μικρή ποσότητα εποξειδικής ρητίνης Sinmast S2WV, ικανής να καλύψει πλήρως τη στρώση πλέγματος που σχηματίζουν οι λευκές θερμοπλαστικές ίνες συγκράτησης (στημόνι) των ινών άνθρακα, επί της οποίας μπορεί να γίνει επίταση χαλαζιακής άμμου Quartz 480-S (κοκκομετρίας 0.4–0.8 mm), όσο η στρώση αυτή είναι νωπή.

### **Καθαρισμός Εργαλείων**

Καθαρίστε όλα τα εργαλεία και τα εξαρτήματα εφαρμογής με Mexyl αμέσως μετά την εφαρμογή. Υλικό που έχει ωριμάσει ή σκληρυνθεί μπορεί να αφαιρεθεί μόνο με μηχανικά μέσα.

### **Σημειώσεις – Προληπτικά Μέτρα – Περιορισμοί**

- Οι εργασίες τοποθέτησης και εφαρμογής πρέπει να εκτελούνται από εξειδικευμένα συνεργεία εφαρμογής, με υψηλό βαθμό κατάρτισης και εμπειρίας.
- Να χρησιμοποιείτε μέτρα προφύλαξης κατά τη διάρκεια χρήσης του προϊόντος όπως γάντια, γυαλιά, κράνος και ιματισμό εργασίας.

- Η θερμοκρασία υποστρώματος και περιβάλλοντος πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ +10 οC και +35 οC, κατά τη διάρκεια της εφαρμογής. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της εφαρμογής, να είναι τουλάχιστον 3 οC πάνω από το σημείο υγροποίησης (dew point). Η μέγιστη επιτρεπόμενη υγρασία του υποστρώματος πρέπει να είναι  $\leq 4\%$ , ενώ, η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας να είναι  $\leq 65\%$ , κατά προτίμηση.
- Για την αποφυγή δυσμενείων, σε περίπτωση που έχουν προηγηθεί καθολικές ή επιμέρους επισκευές και/ή εργασίες εξομάλυνσης επιφανειών με επισκευαστικά κονιάματα τσιμεντοειδούς βάσης, η ηλικία του υποστρώματος να είναι τουλάχιστον 7 ημερών από πλευράς ωρίμανσης, πριν την εκτέλεση οποιας εφαρμογής συστημάτων ενίσχυσης S&P C-Sheet 240.
- Αποφύγετε την αλόγιστη έκθεση των εφαρμοσμένων συστημάτων από ίνες άνθρακα S&P C-Sheet 240, στον ήλιο για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Λεπτομερή ενημέρωση θα λάβετε εάν ανατρέξετε και στα αντίστοιχα Φύλλα Ιδιοτήτων των προϊόντων Sinmast S2W & Sinmast S2WV, πριν την εφαρμογή.

### Μέτρα Προφύλαξης

Για την προστασία σύνθετων συστημάτων ενίσχυσης όπως τα S&P C-Sheet 240 κατά της έκθεσης στη φωτιά, καταφύγετε στις λύσεις που σας προσφέρουν πυράντοχα υλικά (τέτοια όπως πυράντοχες πλάκες και/ή γυψοσανίδες και ειδικές, πυράντοχες βαφές, καθώς και έτοιμα κονιάματα πυροπροστασίας όπως το ειδικά σχεδιασμένο προϊόν Tec nolite HS (Heat Shield) / Class 0, UNI EN ISO 1182/95. [35]

### 5.5 Μηχανή Θλίψης

Η μηχανή θλίψης της εταιρίας Toni Technik παρασκευάστηκε στο Βερολίνο της Γερμανίας το 2003.



Εικόνα 5.6 Μηχανή θλίψης Toni Technik

Αποτελείται από τρία μέρη:

- Α. το θάλαμο που εισάγονται τα δοκίμια προς θλίψη
- Β. το μοτέρ της μηχανής
- Γ. το πίνακα ρυθμίσεων και ενδείξεων

Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται σε ένα άκαμπτο πλαίσιο, στο οποίο το άνω μέρος είναι σταθερό και ένα έμβολο με πίεση λαδιού ανεβαίνει και ασκεί τα φορτία στο δοκίμιο. Το δοκίμιο όταν τοποθετείται στο θάλαμο θλίψης κεντράρεται με ειδικό εξάρτημα για να εξασφαλιστεί η σωστή κατανομή των δυνάμεων στο δοκίμιο



(α)



(β)

Εικόνα 5.7 (α) Μοντέλο μηχανής θλίψης (β) Πίνακας ενδείξεων μηχανής θλίψης

### Χαρακτηριστικά Μηχανής Toni Technik:

#### A. Θάλαμος θλίψης

Μοντέλο: 2011

Έτος: 2003

Σειριακός αριθμός: 132

Βάρος: 1500 Kg

Μέγιστο εξεταζόμενο φορτίο 3000 KN

#### B. Μοτέρ μηχανής

Μοντέλο: 2011

Έτος: 2003

Σειριακός αριθμός: 133

Βάρος: 210 Kg

Τάση 400 V

Φάσεις ρεύματος: 3

Συχνότητα: 50 Hz

Ένταση: 45A

Ισχύς: 15 KW



### Γ. Πίνακας ρυθμίσεων και ενδείξεων

Ο πίνακας αποτελείται από κουμπιά έναρξης ‘START’ και διακοπής ‘STOP’ της δοκιμής. Διαθέτει αριθμητικό πληκτρολόγιο, καθώς και τέσσερα κουμπιά με βέλη προσανατολισμού με τη βοήθεια των οποίων φέρουμε το δοκίμιο που βρίσκεται εντός του θαλάμου σε επαφή με τις μεταλλικές επιφάνειες της μηχανής πριν την έναρξη της δοκιμής.

Ακόμα διαθέτει ένα κουμπί αστερίσκο με το οποίο ορίζεται το δοκίμιο π.χ. πρίσμα, κύλινδρος κλπ. Επίσης, έχει πίνακα ενδείξεων της θλιπτικής δύναμης  $F$  που ασκείται στο δοκίμιο σε KN και της επιβράχυνσης  $S$  σε mm σε όλη τη διάρκεια της δοκιμής.

Επιπλέον η μηχανή έχει πληθώρα ενδείξεων που μπορεί να καταγράφει όπως η τάση, η επιβράχυνση  $\%$ , η παραμόρφωση  $\%$ , το μέτρο ελαστικότητας κλπ., αρκεί ο χειριστής να έχει εισαγάγει τις διαστάσεις και το είδος του δοκιμίου.

Όταν επέλθει η θραύση στο δοκίμιο η δοκιμή τερματίζεται αυτόματα από την μηχανή και στον πίνακα ενδείξεων αναγράφεται η ένδειξη ‘FACTURE DETECTED’

Η μηχανή έχει το πλεονέκτημα ότι ‘αντιλαμβάνεται’ τη θραύση του δοκιμίου και διακόπτει το πείραμα και αυτό γιατί έχει ειδική ρύθμιση (ευαισθησία  $S$ ) η οποία ρυθμίζεται σε ποσοστό  $\%$  της μέγιστης τάσης που φτάνει το δοκίμιο. Έτσι αποφεύγεται η χειροκίνητη επιλογή της διακοπής του πειράματος και τα τυχόν σφάλματα που ενδεχόμενα θα προέκυπταν από λάθος υπολογισμούς ή από κατά λάθος επιλογή διακοπής του πειράματος.

Παράλληλα η μηχανή έχει το πλήκτρο  $F$  με το οποίο μπορεί να σταματά το πείραμα χωρίς όμως να απελευθερώνεται το δοκίμιο. Δηλαδή, σαν να πατάμε ‘pause’ στην μηχανή, έτσι μπορούμε πολύ πιο εύκολα να παρατηρήσουμε την εξέλιξη του πειράματος, αφού δίνεται η δυνατότητα να παγώσει το πείραμα για να γίνουν διάφορες εργασίες, όπως φωτογραφίες μέτρημα του εύρους των ρωγμών κλπ.

Επιπρόσθετα διαθέτει ειδικό εξάρτημα το οποίο κεντράρει το δοκίμιο πάνω στην μηχανή θλίψης, πριν την έναρξη του πειράματος, ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή κατανομή των δυνάμεων στο δοκίμιο.

### Πλεονεκτήματα Μηχανής:

- Αυτόματος, προγραμματισμός και ρύθμιση των διαδικασιών δοκιμής
- Εύκολος τρόπος χειρισμού εισαγωγής των δεδομένων με την εμφάνιση τους στον πίνακα ρυθμίσεων
- Φραγή στα ανώτατα όρια λειτουργίας των δυνατοτήτων της μηχανής
- Ενσωματωμένο λογισμικό εξειδικευμένο στις δοκιμές των κτιριακών δομικών υλικών
- Συμπεριλαμβάνει λογισμικό πρόγραμμα για την αποθήκευση των πειραματικών αποτελεσμάτων
- Δυνατότητα σύνδεσης περιφερειακών συσκευών
- Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή

- Δεν παρουσιάζει ευαισθησία στη σκόνη, καθώς δε διαθέτει ως μέσω αποθήκευσης σκληρό δίσκο και δισκέτα
- Τα μέρη της μηχανής (hardware) είναι κατασκευασμένα με παγκόσμιες προδιαγραφές
- Δυνατότητα επέκτασης λογισμικού
- Εύκολη συντήρηση των μερών της μηχανής ((hardware) και η αντικατάστασή τους δεν απαιτεί νέα ρύθμισης

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο**

### **ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

#### **6.1 Εισαγωγή**

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται 16 δοκίμια τα οποία πληρούν συγκεκριμένες προδιαγραφές σχεδιασμού, εκ των οποίων τα μισά ενισχύονται με ινοπλισμένα πολυμερή, ενώ όλα υποβάλλονται σε κεντρική μονοαξονική θλίψη.

Συγκεκριμένα υπάρχουν τέσσερις ομάδες δοκιμίων που η κάθε μία περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια. Αναλυτικότερα:

- η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυβικά διαστάσεων 15 cm πλάτος, 15 cm μήκος, 15 cm ύψος από άοπλο σκυρόδεμα
- η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυβικά διαστάσεων 15 cm πλάτος, 15 cm μήκος, 15 cm ύψος από άοπλο σκυρόδεμα ενισχυμένο με ινοπλισμένα πολυμερή.
- η τρίτη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυλινδρικά 30 cm ύψος, 15 cm διάμετρο από άοπλο σκυρόδεμα
- η τέταρτη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυλινδρικά 30 cm ύψος, 15 cm διάμετρο από άοπλο σκυρόδεμα ενισχυμένο με ινοπλισμένα πολυμερή.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των δοκιμίων είναι αυτά που αναλύθηκαν εκτενώς ως προς τις ιδιότητες τους, στο προηγούμενο κεφάλαιο δηλαδή,

- Σκυρόδεμα C30/37 S2
- Υφάσματα από Ίνες Άνθρακα-Ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ/FRPs): S&P C-SHEET 240 (προϊόντα S&P Clever Reinforcement AG 430 gr)
- Εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών Sinmast S2W ως στρώση ασταρώματος (priming coat)
- Εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών Sinmast S2WV ως κόλλα εμποτισμού

#### **6.2 Σκυροδέτηση - Λήψη Δοκιμίων**

Για τη σκυροδέτηση των δεκαέξι δοκιμίων χρησιμοποιήθηκαν οχτώ χυτοσιδηρά κυλινδρικά καλούπια (μήτρες) διαστάσεων 30 cm ύψος, 15 cm διάμετρος και οχτώ κυβικά μεταλλικά καλούπια (μήτρες) διαστάσεων 15 cm πλάτος, 15 cm μήκος, 15 cm ύψος.



*Εικόνα 6.1 Μήτρες κυλινδρικών δοκιμίων διαμέτρου 15cm και ύψους 30cm.*

Οι μήτρες αφού καθαρίστηκαν καλά, λαδώθηκαν εσωτερικά με μία λεπτή στρώση μηχανέλαιου χωρίς περίσσεια, προκειμένου να είναι δυνατό και εύκολο το ξεκαλούπωμα, χωρίς να αποκολλώνται μικρά κομμάτια σκυροδέματος από την επιφάνεια των δοκιμίων ή να τραυματίζονται οι ακμές τους

Η σκυροδέτηση των δοκιμίων με σκυρόδεμα C30/37, έλαβε χώρα στις εγκαταστάσεις της «Τσούμας Μπετόν Α.Ε» στα Λιόσια Αττικής από τη γραμμή παραγωγής που προοριζόταν για την ενίσχυση κτιρίου του ΤΕΙ Αθήνας επί της οδού Πειραιώς 52 στο Μοσχάτο. Ο εκτιμώμενος χρόνος για τη μεταφορά του σκυροδέματος από το εργοστάσιο παραγωγής μέχρι το εν λόγω κτίριο, είναι περίπου 35 λεπτά, γι' αυτό το λόγω χρησιμοποιήθηκε επιβραδυντής.

Η λήψη των δοκιμίων ξεκίνησε με τα 8 κυβικά. Για καθένα από αυτά πραγματοποιούνταν δόνηση 25 χτύπων με μπετόβεργα σε όλο τον όγκο του κύβου σε δύο φάσεις - στάδια, όταν το σκυρόδεμα βρισκόταν στα 7 cm, δηλαδή στο μέσο του κύβου και στα 15 cm, όταν δηλαδή ήταν πλήρης.



*Εικόνα 6.2 Λήψη δοκιμίων σκυροδέματος C30/37*

Μετά προχωρήσαμε στα 8 κυλινδρικά. Για καθένα από αυτά πραγματοποιούνταν δόνηση 25 χτύπων με μπετόβεργα σε όλο τον όγκο του κυλίνδρου σε τρία στάδια, όταν το σκυρόδεμα βρισκόταν στα 10 cm, στα 20 cm και στα 30 cm, όπου και ήταν πλήρης.



*Εικόνα 6.3 Δόνηση κυλινδρικού δοκιμίου με μπετόβεργα.*

### **6.3 Φύλαξη Συντήρηση Δοκιμίων**

Όλα τα δοκίμια αυθημερόν τοποθετήθηκαν στον ειδικό θάλαμο φύλαξης των δοκιμίων στο εργαστήριο ελέγχου ποιότητας που διαθέτουν οι εγκαταστάσεις της «Τσούμας Μπετόν Α.Ε.», ενώ την επομένη ημέρα ξεκαλουπώθηκαν και παρέμειναν στον θάλαμο αυτό για 28 συνολικά ημέρες. Σημειώνεται ότι η θερμοκρασία του θαλάμου είναι πάντα στους 19° C και 90% υγρασία.



*Εικόνα 6.4 Εργαστήριο ποιότητας ελέγχου στις εγκαταστάσεις «ΤΣΟΥΜΑΣ Α.Ε.»*



*Εικόνα 6.5 Ειδικός χώρος φύλαξης – διατήρησης των δοκιμίων μέχρι την 28η μέρα*



*Εικόνα 6.6 Ειδικός χώρος φύλαξης θερμοκρασίας 19°C και υγρασίας 90%*



*Εικόνα 6.7 Φύλαξη των κυλινδρικών δοκιμίων εντός του ειδικού χώρου*



*Εικόνα 6.8 Φύλαξη των κυβικών δοκιμίων εντός του ειδικού χώρου*

#### **6.4 Επεξεργασία Δοκιμίων**

Τα δεκαέξι δοκίμια μετά το πέρας των 28 ημερών, εντός του ειδικού θαλάμου συντήρησης, μεταφέρθηκαν σε εργαστήριο προκειμένου να λάβουν ανά ομάδα την απαραίτητη επεξεργασία και ετοιμασία που απαιτούσε το πείραμα.

##### **6.4.1 Πρώτη ομάδα κυβικών δοκιμίων**

Αναλυτικότερα:

Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυβικά διαστάσεων 15 cm πλάτος, 15 cm μήκος, 15 cm ύψος από άοπλο σκυρόδεμα

Τα δοκίμια αυτά δεν υπέστησαν καμία επεξεργασία, καθώς ήταν έτοιμα για την πειραματική διαδικασία



*Εικόνα 6.9 Δοκίμιο 1<sup>ης</sup> ομάδας, κυβικό 15cm x 15cm*

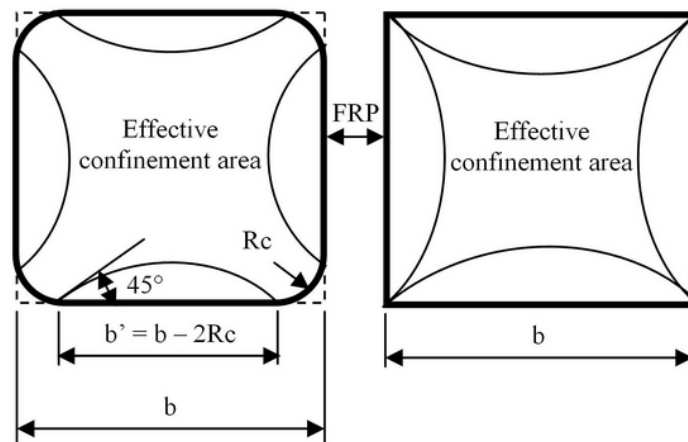


### 6.4.2 Δεύτερη ομάδα κυβικών δοκιμίων με CFRP

Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυβικά διαστάσεων 15 cm πλάτος, 15 cm μήκος, 15 cm ύψος από άοπλο σκυρόδεμα ενισχυμένο με ινοπλισμένα πολυμερή.

Σε όλα τα δοκίμια αυτής της ομάδας, έχουν αμβλυνθεί μηχανικά οι ακμές-γωνίες για να παρουσιάσουν ακτίνα καμπυλότητας 2,5cm, ώστε:

- όταν ντυθούν με τα υφάσματα να μην δημιουργούνται τάσεις και να μην κινδυνεύουν να σχιστούν τα υφάσματα στις γωνίες των δοκιμίων.
- να αυξηθεί η επιφάνεια της ενεργής διατομής που συμμετέχει κατά τη διάρκεια της θλιπτικής φόρτισης



Σχήμα 6.1 Η επίδραση στην κατανομή τάσεων κυβικής διατομής σκυροδέματος ντυμένης με CFRP με άμβλυνση των ακμών και μη

Αρχικά οι γωνίες χτυπήθηκαν με σφυράκι όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία και μετά ακολούθησε τροχός λείανσης για την επίτευξη ομοιόμορφου αποτελέσματος.



Εικόνα 6.10 Άμβλυνση γωνιών κυβικού δοκιμίου με σφυράκι



*Εικόνα 6.11 Λείανση γωνιών κυβικού δοκιμίου με τροχό*



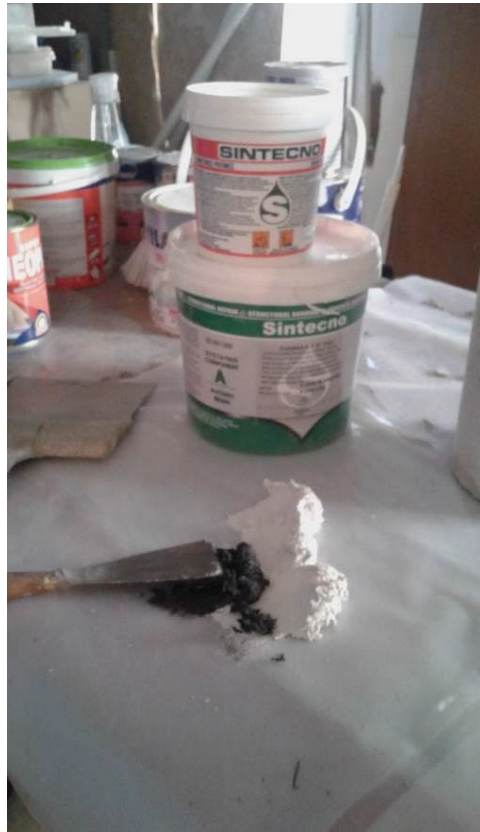
*Εικόνα 6.12 Όψη κυβικού δοκιμίου με λειασμένες – στρογγυλεμένες γωνίες*



*Εικόνα 6.13 Κάτοψη κυβικού δοκιμίου με λειασμένες – στρογγυλεμένες γωνίες*

Τα τέσσερα δοκίμια έχουν λειασμένες – στρογγυλεμένες γωνίες και είναι έτοιμα για την επόμενη φάση του ασταρώματος για να καλυφθούν τυχόν ατέλειες και μικροκενά.

Χρησιμοποιούμε την εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών Sinmast S2W, η οποία εφαρμόζεται μεταξύ του σκυροδέματος και του σύνθετου υλικού εξασφαλίζοντας έτσι τη συνεργασία τους και τη μεταφορά των τάσεων από το πρώτο υλικό στο δεύτερο.



*Εικόνα 6.14 Εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών Sinmast S2W*



*Εικόνα 6.15 Ανάμειξη εποξειδικής ρητίνης δύο συστατικών Sinmast S2W*

Αναμιγνύουμε τα δύο συστατικά με ιδιαίτερη επιμονή με χαμηλή ταχύτητα για περίπου 3 λεπτά μέχρι να επιτευχθεί ομοιογενής σύσταση και μετά προχωράμε στην εφαρμογή της επί των δοκιμίων. Δεδομένου ότι τα δοκίμια είναι σχετικά λεία και καθαρά από λιπαρές ουσίες, χρησιμοποιώντας σπάτουλα εφαρμόζουμε το υλικό καλύπτοντας κάθε ατέλεια του δοκιμίου, καθώς και τις στρογγυλεμένες γωνίες του. Απλώνουμε προσεκτικά την εποξειδική ρητίνη και την αφήνουμε να στεγνώσει από 25 έως 60 λεπτά.



*Εικόνα 6.16 Εφαρμογή εποξειδικής ρητίνης ως στρώση ασταρώματος*



*Εικόνα 6.17 Εφαρμογή εποξειδικής ρητίνης ως στρώση ασταρώματος για την επικάλυψη ατελειών*



Εικόνα 6.18 Κυβικό δοκίμιο μετά από αστάρωμα με εποξειδική ρητίνη Sinmast S2W

Η διαδικασία αυτή ακολουθήθηκε και σε όλα τα δοκίμια της 2<sup>ης</sup> ομάδας. Έπειτα, παρασκευάζουμε την εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών Sinmast S2WV ως κόλλα εμποτισμού και ως μέσο επικόλλησης για την προσαρμογή των υφασμάτων ενίσχυσης CFRP. Η παρασκευή της ρητίνης εμποτισμού γίνεται με πολύ καλό χειροκίνητο ανακάτεμα των δύο συστατικών της, με ιδιαίτερη επιμονή σε χαμηλή ταχύτητα για τρία λεπτά περίπου, μέχρις ότου επιτευχθεί μίγμα ομοιογενούς σύστασης. Από τη στιγμή της ανάμιξης των δύο συστατικών, πάντα υπό σκιά, πρέπει άμεσα να γίνει η εφαρμογή της, διότι υπάρχει κίνδυνος ανάφλεξης του υλικού ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω των υψηλών εξωτερικών θερμοκρασιών.



Εικόνα 6.19 Εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών Sinmast S2WV



*Εικόνα 6.20 Ανάμειξη εποξειδικής ρητίνης δύο συστατικών Sinmast S2WV*

Πάντα φορώντας γάντια και χρησιμοποιώντας κοντότριχο ρολό (για χρώματα ριπολίνης), κατανέμουμε τη ρητίνη εμποτισμού στο δοκίμιο, ώστε να καλυφθεί πλήρως, αποφεύγοντας όμως το λίμνασμα του υλικού.



*Εικόνα 6.21 Εφαρμογή εποξειδικής ρητίνης δύο συστατικών Sinmast S2WV σε κυβικό δοκίμιο ως μέσο επικόλλησης*

Ωστόσο, έχουμε κομμένα τα υφάσματα από Ίνες Άνθρακα-Ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ/FRPs) S&P C-SHEET 240 430 gr στις επιθυμητές διαστάσεις, δηλαδή σε πλάτος 15cm και μήκος 75cm, ενώ έχει υπολογισθεί και η αγκύρωση-μάτιση, δηλαδή υπερκάλυψη με ύφασμα κατά 15cm, όσο είναι το πλάτος της μίας πλευράς του κυβικού δοκιμίου.



*Εικόνα 6.22 Ύφασμα CFRP πριν την εφαρμογή του σε κυβικό δοκίμιο*



*Εικόνα 6.23 Εφαρμογή υφάσματος CFRP σε κυλινδρικό δοκίμιο*



*Εικόνα 6.24 Αγκύρωση – μάτιση υφάσματος CFRP σε κυβικό δοκίμιο*

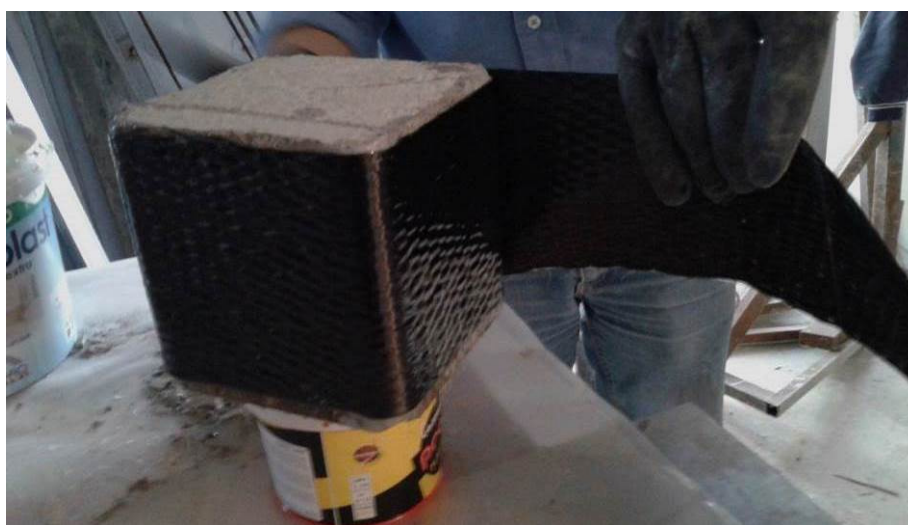
Εν συνεχεία τυλίγουμε το ύφασμα στο δοκίμιο, προσέχοντας οι ίνες του υφάσματος να είναι προσανατολισμένες κάθετα στον άξονα του δοκιμίου, ενώ ταυτόχρονα περνάμε με το ρολάκι την ρητίνη εμποτισμού καλύπτοντας πλήρως όλο το ύφασμα, ώστε να επιτύχουμε τον εμποτισμό του υφάσματος με την ρητίνη.

Με τη ρητίνη εμποτισμού ξαναπερνάμε το δοκίμιο για να καλυφθούν ενδεχόμενα κενά. Ακολουθεί η περιτύλιξη της δεύτερης στρώσης υφάσματος από Ίνες Άνθρακα-Ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ/FRPs) S&P C-SHEET 240 430 gr, σιγά σιγά με ταυτόχρονο εμποτισμό του υφάσματος με ρητίνη. Μετά την περιτύλιξη του υφάσματος, με ρολό ξαναπερνάμε το δοκίμιο με ρητίνη, ώστε να έχουμε σιγουρευτεί ότι και η δεύτερη στρώση υφάσματος έχει καλυφθεί πλήρως.

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλα τα δοκίμια της 2ης ομάδας. Ύστερα, τα δοκίμια φυλάσσονται σε καλυμμένο σκιερό μέρος για 7 ημέρες, χωρίς να μετακινούνται.



*Εικόνα 6.25 Επάλειψη με εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών Sinmast S2WV μετά την εφαρμογή της 1ης στρώσης υφάσματος CFRP*



*Εικόνα 6.26 Εφαρμογή 2ης στρώσης υφάσματος CFRP σε κυβικό δοκίμιο*





*Εικόνα 6.27 Εφαρμογή 2ης στρώσης υφάσματος CFRP σε κυβικό δοκίμιο*



*Εικόνα 6.28 Έτοιμο κυβικό δοκίμιο 2ης ομάδας με διπλή στρώση CFRP*

Μετά το πέρας των 7 ημερών με ειδικό εργαλείο κόψαμε την περίσσια ινών του υφάσματος που είχαν κάποια από τα δοκίμια. Ακολούθησε η λείανση με τροχό της άνω επιφάνεια τους, ώστε να είναι λεία, επίπεδη και παράλληλη με τη βάση τους.

### 6.4.3 Τρίτη ομάδα κυλινδρικών δοκιμίων

Η τρίτη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυλινδρικά 30 cm ύψος, 15 cm διάμετρο από άοπλο σκυρόδεμα

Τα κυλινδρικά δοκίμια δεν υπέστησαν κάποια ιδιαίτερη επεξεργασία. Μόνο λειάνθηκε με τροχό η άνω επιφάνεια τους για να είναι λεία, επίπεδη και παράλληλη με τη βάση τους.



Εικόνα 6.29 Δοκίμιο 3ης ομάδας, κυλινδρικό διαμέτρου 15cm και ύψους 30cm

### 6.4.4 Τέταρτη ομάδα κυλινδρικών δοκιμίων με CFRP

Η τέταρτη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυλινδρικά 30 cm ύψος, 15 cm διάμετρο από άοπλο σκυρόδεμα ενισχυμένο με ινοπλισμένα πολυμερή.

Τα κυλινδρικά τέσσερα δοκίμια είναι έτοιμα για την φάση του ασταρώματος για να καλυφθούν τυχόν ατέλειες και μικροκενά.

Χρησιμοποιούμε την εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών Sinmast S2W, η οποία εφαρμόζεται μεταξύ του σκυροδέματος και του σύνθετου υλικού εξασφαλίζοντας έτσι τη συνεργασία τους και τη μεταφορά των τάσεων από το πρώτο υλικό στο δεύτερο.

Αναμιγνύουμε τα δύο συστατικά με ιδιαίτερη επιμονή με χαμηλή ταχύτητα για περίπου 3 λεπτά μέχρι να επιτευχθεί ομοιογενής σύσταση και μετά προχωράμε στην εφαρμογή της επί των δοκιμίων. Δεδομένου ότι τα δοκίμια είναι σχετικά λεία και καθαρά από λιπαρές ουσίες, χρησιμοποιώντας σπάτουλα περνάμε με το υλικό κάθε ατέλεια του δοκιμίου. Απλώνουμε προσεκτικά την εποξειδική ρητίνη και την αφήνουμε να στεγνώσει από 25 έως 60 λεπτά.

Ακολουθεί η επόμενη φάση κατά την οποία παρασκευάζουμε την εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών Sinmast S2WV ως κόλλα εμποτισμού και ως μέσο επικόλλησης για την προσαρμογή των υφασμάτων ενίσχυσης CFRP, με πολύ καλό χειροκίνητο ανακάτεμα των δύο συστατικών με ιδιαίτερη επιμονή σε χαμηλή ταχύτητα για τρία λεπτά περίπου μέχρις ότου

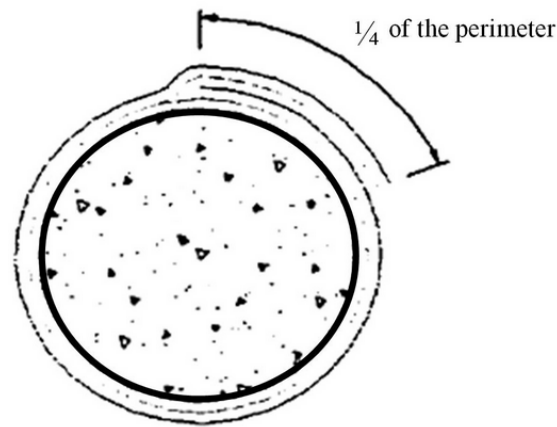
επιτευχθεί μίγμα ομοιογενούς σύστασης.. Από τη στιγμή της ανάμιξης των δύο συστατικών πάντα υπό σκιά, πρέπει άμεσα να γίνει η εφαρμογή της, διότι υπάρχει κίνδυνος ανάφλεξης του υλικού ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω των υψηλών θερμοκρασιών.

Πάντα φορώντας γάντια και χρησιμοποιώντας κοντότριχο ρολό (για χρώματα ριπολίνης), καταθέτουμε τη ρητίνη εμποτισμού στο δοκίμιο, ώστε να καλυφθεί πλήρως, αποφεύγοντας όμως το λίμνασμα του υλικού.



*Εικόνα 6.30 Εφαρμογή εποξειδικής ρητίνης δύο συστατικών Sinmast S2WV σε κυλινδρικό δοκίμιο ως μέσο επικόλλησης*

Ωστόσο, έχουμε κομμένα τα υφάσματα από Ίνες Άνθρακα-Ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ/FRPs) S&P C-SHEET 240 430 gr στις επιθυμητές διαστάσεις, δηλαδή σε πλάτος 30cm και μήκος 60cm, ενώ έχει υπολογισθεί και η αγκύρωση-μάτιση του υφάσματος, δηλαδή υπερκάλυψη κατά 12cm υφάσματος, που είναι το  $\frac{1}{4}$  της περιμέτρου του κύκλου.



Σχήμα 6.2 Αγκύρωση υφάσματος σε κυλινδρικό δοκίμιο με μήκος μάτισης υφάσματος ίσο με το  $\frac{1}{4}$  της περιμέτρου [29]



Εικόνα 6.31 Προετοιμασία υφάσματος CFRP για κυλινδρικό δοκίμιο

Εν συνεχεία τυλίγουμε το ύφασμα στο δοκίμιο, προσέχοντας οι ίνες του υφάσματος να είναι προσανατολισμένες κάθετα στον άξονα του δοκιμίου, ενώ ταυτόχρονα περνάμε με το ρολάκι την ρητίνη εμποτισμού καλύπτοντας πλήρως όλο το ύφασμα, ώστε να επιτύχουμε τον εμποτισμό του υφάσματος με την ρητίνη. Με τη ρητίνη εμποτισμού ξαναπερνάμε το δοκίμιο για να καλυφθούν ενδεχόμενα κενά. Ακολουθεί η περιτύλιξη της δεύτερης στρώσης υφάσματος από Ίνες Άνθρακα-Ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ/FRPs) S&P C-SHEET 240 430 gr, σιγά σιγά με ταυτόχρονο εμποτισμό του υφάσματος με ρητίνη. Μετά την περιτύλιξη του υφάσματος, με ρολό ξαναπερνάμε το δοκίμιο με ρητίνη, ώστε να έχουμε σιγουρευτεί ότι και η δεύτερη στρώση υφάσματος έχει καλυφθεί πλήρως.



*Εικόνα 6.32 Εφαρμογή υφάσματος CFRP σε κυλινδρικό δοκίμιο*



*Εικόνα 6.33 Αγκύρωση – μάτιση υφάσματος CFRP σε κυλινδρικό δοκίμιο*



*Εικόνα 6.34 Κυλινδρικό δοκίμιο 4ης ομάδας με διπλή στρώση CFRP*

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλα τα δοκίμια της 4<sup>ης</sup> ομάδας. Μετά τα δοκίμια φυλάσσονται σε καλυμμένο σκιερό μέρος για 7 ημέρες, χωρίς να μετακινούνται.



*Εικόνα 6.35 Λείανση με τροχό της άνω επιφάνεια κυλινδρικού δοκιμίου με CFRP*

Μετά το πέρας των 7 ημερών με ειδικό εργαλείο κόψαμε την περίσσια ινών του υφάσματος που είχαν κάποια από τα δοκίμια. Ακολούθησε η λείανση με τροχό της άνω επιφάνεια τους, ώστε να είναι λεία, επίπεδη και παράλληλη με τη βάση τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο

### ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 7.1 Εισαγωγή

Η πειραματική διαδικασία έλαβε χώρα στο εργαστήριο σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του ΑΤΕΙ Πειραιά. Η δοκιμή αφορά στην κεντρική μοναξανική θλίψη συνεχούς αυξανόμενου φορτίου ως τη θραύση του δοκιμίου. Εφαρμόστηκε η πιο πάνω διαδικασία σε όλα τα δοκίμια των τεσσάρων ομάδων και συντάχθηκε πίνακας με τις χαρακτηριστικές τιμές δύναμης θραύσης  $F$  σε ΚΝ και επιβράχυνσης  $S$  σε mm δίνει ο πίνακας ενδείξεων της μηχανής θλίψης της εταιρείας Toni Technik στην οποία πραγματοποιήθηκε το πείραμα.



Εικόνα 7.1 Εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος τμήματος πολιτικών μηχανικών Τ.Ε. ΑΕΙ Πειραιά Τ.Τ.



Εικόνα 7.2 Μηχανή θλίψης εργαστηρίου οπλισμένου σκυροδέματος



## 7.2 Εκπόνηση πειραμάτων για την πρώτη ομάδα κυβικών δοκιμίων

Η πειραματική διαδικασία ξεκίνησε με την πρώτη ομάδα δοκιμίων που περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυβικά διαστάσεων 15 cm πλάτος, 15 cm μήκος, 15 cm ύψος από άοπλο σκυρόδεμα



Εικόνα 7.3 Ζύγιση κυβικού δοκιμίου

Ζυγίσθηκαν τα δοκίμια και όλα ήταν πάνω από 8kg όπως απαιτείται σύμφωνα με τον κανονισμό. Το καθένα με τη σειρά τοποθετήθηκε στην μηχανή και φορτίστηκε σε κεντρική μονοαξονική θλίψη.

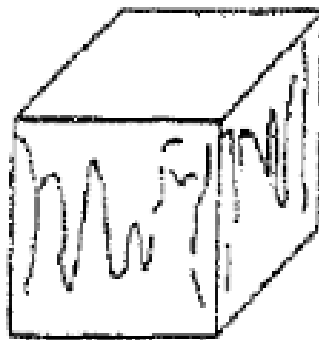


Εικόνα 7.4 Κυβικό δοκίμιο πριν και μετά την υποβολή του σε κεντρική μονοαξονική θλίψη



*Εικόνα 7.5 Κυβικά δοκίμια της 1ης ομάδας μετά την θραύσης τους*

Όπως φαίνεται από τις παραπάνω φωτογραφίες και οι τέσσερις εκτεθειμένες πλευρές του κάθε κυβικού δοκιμίου, έσπασαν περίπου το ίδιο, όπως περίπου το πρότυπο στο παρακάτω σχήμα, ενώ οι επιφάνειες που ήταν σε επαφή με τις πλάκες της θλιπτικής μηχανής δεν έπαθαν σχεδόν τίποτα.



*Σχήμα 7.1 Ικανοποιητικός τρόπος θραύσης κυβικού δοκιμίου*

Ο τρόπος θραύσης των κυβικών δοκιμίων είναι ικανοποιητικός και τα τέσσερα δοκίμια είναι δεκτά.

Από τον πίνακα ενδείξεων της μηχανής θλίψης συντάχθηκε ο πίνακας που ακολουθεί με την καταγραφή της μέγιστης δύναμης  $F(kN)$  που ασκήθηκε μέχρι την τελική θραύση των δοκιμίων σε συνάρτηση με την επιβράχυνση  $S$  (mm).

| 1 <sup>η</sup> Ομάδα |                        |                    |
|----------------------|------------------------|--------------------|
| Κυβικά δοκίμια       |                        |                    |
| Δοκιμή               | Θλιπτική Δύναμη F (kN) | Επιβράχυνση S (mm) |
| 1 <sup>η</sup>       | 1021                   | 0.51               |
| 2 <sup>η</sup>       | 898                    | 0.49               |
| 3 <sup>η</sup>       | 1017                   | 0.51               |
| 4 <sup>η</sup>       | 997                    | 0.50               |

Πίνακας 7.1 Μετρήσεων για την 1<sup>η</sup> ομάδα κυβικών δοκιμίων

### 7.2.1 Αποτελέσματα & διαγράμματα για την πρώτη ομάδα κυβικών δοκιμίων

Από τον παραπάνω πίνακα 7.1 προκύπτει για τα δοκίμια της 1<sup>ης</sup> ομάδας:

- Μέγιστη θλιπτική δύναμη  $F_{\max} = 1021$  KN
- Ελάχιστη θλιπτική δύναμη  $F_{\min} = 898$  KN
- Μέση τιμή θλιπτικής δύναμης  $F = \text{Άθροισμα δοκιμών} / \text{πλήθος δοκιμών}$   
 $F = (1021+898+1017+997) / 4 = 983,25$  KN
- Θλιπτική αντοχή κυβικού δοκιμίου  $f_c = F/A$

Όπου  $F =$  δύναμη και  $A =$  επιφάνεια διατομής του δοκιμίου,  
για το κυβικό  $A = 150\text{mm} \times 150\text{mm} = 22.500 \text{ mm}^2$

Έτσι προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

| 1 <sup>η</sup> Ομάδα |                        |                             |
|----------------------|------------------------|-----------------------------|
| Κυβικά δοκίμια       |                        |                             |
| Δοκιμή               | Θλιπτική Δύναμη F (kN) | Θλιπτική Αντοχή $f_c$ (MPa) |
| 1 <sup>η</sup>       | 1021                   | 45,38                       |
| 2 <sup>η</sup>       | 898                    | 39,91                       |
| 3 <sup>η</sup>       | 1017                   | 45,20                       |
| 4 <sup>η</sup>       | 997                    | 44,31                       |

Πίνακας 7.2 Θλιπτικής αντοχής για την 1<sup>η</sup> ομάδα κυβικών δοκιμίων

- Μέση τιμή θλιπτικής αντοχής  $f_c = \text{Άθροισμα δοκιμών} / \text{πλήθος δοκιμών}$   
 $f_c = (45,38 + 39,91 + 45,20 + 44,31) / 4 = 43,7$  MPa
- Τυπική απόκλιση θλιπτικής αντοχής δοκιμίων:  
 $s_a = \sqrt{[(f_{c1}-f_c)^2 + (f_{c2}-f_c)^2 + (f_{c3}-f_c)^2 + (f_{c4}-f_c)^2] / 4} =$   
 $= \sqrt{[(45,38-)^2 + (39,91-)^2 + (45,20-)^2 + (44,31-)^2] / 4} = 2,22$  MPa

Οι παραπάνω τιμές πληρούν τα κριτήρια συμμόρφωσης που ισχύουν για θλιπτική αντοχή για το εργοταξιακό σκυρόδεμα με πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής που προβλέπει ο νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος ΦΕΚ 1561 τ.β'/02.06.2016, όπως επαληθεύονται στον πίνακα που ακολουθεί

| <b>1<sup>η</sup> Ομάδα</b>   |   |   |
|--|---|---|
| <b>Κυβικά δοκίμια <math>f_{ck} = 37</math> MPa</b>   |   |   |
| <b>I. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ για θλιπτική αντοχή<br/>για εργοταξιακό σκυρόδεμα με πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής</b>  |   |   |
| <b>Δοκιμή</b>  | <b>Θλιπτική Αντοχή<br/><math>f_c</math> (MPa)</b> | <b>ΚΡΙΤΗΡΙΟ 2<br/>Αντοχή σε θλίψη κάθε δείγματος<br/>(για 4 δείγματα)<br/><math>f_i \geq f_{ck} - 2,5</math> σε MPa</b> |
| 1 <sup>η</sup>   | 45,38   | $45,38 \geq 34,5$ ισχύει  |
| 2 <sup>η</sup>   | 39,91   | $39,91 \geq 34,5$ ισχύει  |
| 3 <sup>η</sup>   | 45,20   | $45,20 \geq 34,5$ ισχύει  |
| 4 <sup>η</sup>   | 44,31   | $44,31 \geq 34,5$ ισχύει  |
| <b>ΚΡΙΤΗΡΙΟ 1<br/>Μέση τιμή αντοχής σε θλίψη (n=4) δειγμάτων<br/>Μέση τιμή <math>f_n \geq f_{ck} + 3,3</math> σε MPa</b>   |   |   |
| Μέση τιμή $f_c = 43,7$   |   | $43,7 \geq 40,3$ ισχύει   |
| <b>II. Διατάξεις για την πιστοποίηση ελέγχου Παραγωγής<br/>ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ (αυτοέλεγχος) του παραγωγού</b>  |   |   |
| <b>ΚΡΙΤΗΡΙΟ Α</b><br>$F_a \geq f_{ck} + Z * s_a$<br>$F_a$ : μέσος όρος αντοχών σε θλίψη όλων των δοκιμών = 43,7 MPa<br>$f_{ck}$ : χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη = 37 MPa<br>$Z$ : σταθερά αποδοχής ανάλογα με τον αριθμό των δοκιμών, για 4 δοκίμια το $Z = 3$<br>$s_a$ : Τυπική απόκλιση αντοχών σε θλίψη όλων των δοκιμών = 2,22 MPa |   | $43,70 \geq 43,66$ ισχύει   |
| <b>Δοκιμή</b>  | <b>Θλιπτική Αντοχή<br/><math>f_c</math> (MPa)</b> | <b>ΚΡΙΤΗΡΙΟ Β<br/>Αντοχή σε θλίψη<br/>κάθε δείγματος (για 4 δείγματα)<br/><math>f_i \geq f_{ck} - 2</math> σε MPa</b>   |
| 1 <sup>η</sup>   | 45,38   | $45,38 \geq 35$ ισχύει  |
| 2 <sup>η</sup>   | 39,91   | $39,91 \geq 35$ ισχύει  |
| 3 <sup>η</sup>   | 45,20   | $45,20 \geq 35$ ισχύει  |
| 4 <sup>η</sup>   | 44,31   | $44,31 \geq 35$ ισχύει  |

Πίνακας 7.3 Κριτήρια συμμορφωσης για την θλιπτική αντοχή της 1<sup>η</sup> ομάδα κυβικών δοκιμών

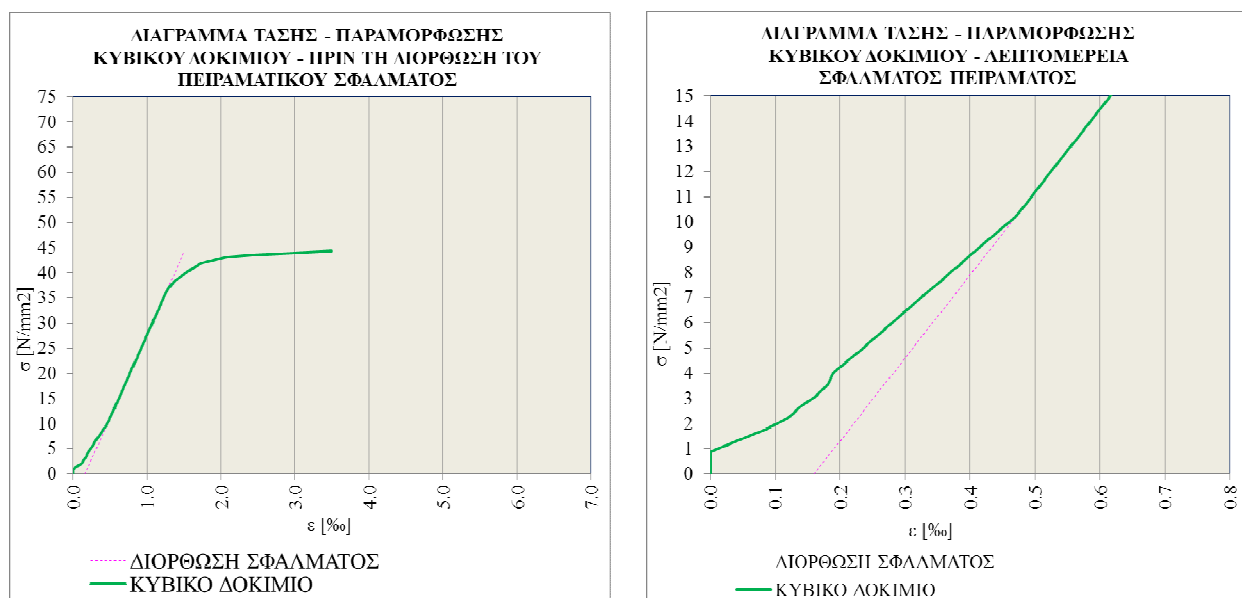
Προκειμένου να σχεδιαστεί το χαρακτηριστικό διάγραμμα Τάσης - Παραμόρφωσης του κυβικού δοκιμίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί της Τάσης και της Παραμόρφωσης.

Αναλυτικότερα όπου:

- Τάση  $\sigma = \text{Δύναμη} / \text{Εμβαδόν διατομής δοκιμίου}$ , δηλαδή  $\sigma = F / A$  [N/mm<sup>2</sup>]  
Με εμβαδόν διατομής κυβικού δοκιμίου  $A = 150 * 150 = 22.500 \text{ mm}^2$
- Παραμόρφωση  $\% \epsilon = (\text{Επιβράχυνση} * 1000) / \text{Ύψος δοκιμίου}$ , δηλαδή  $\epsilon \% = (S * 1000) / H$   
Με ύψος δοκιμίου  $H = 150 \text{ mm}$

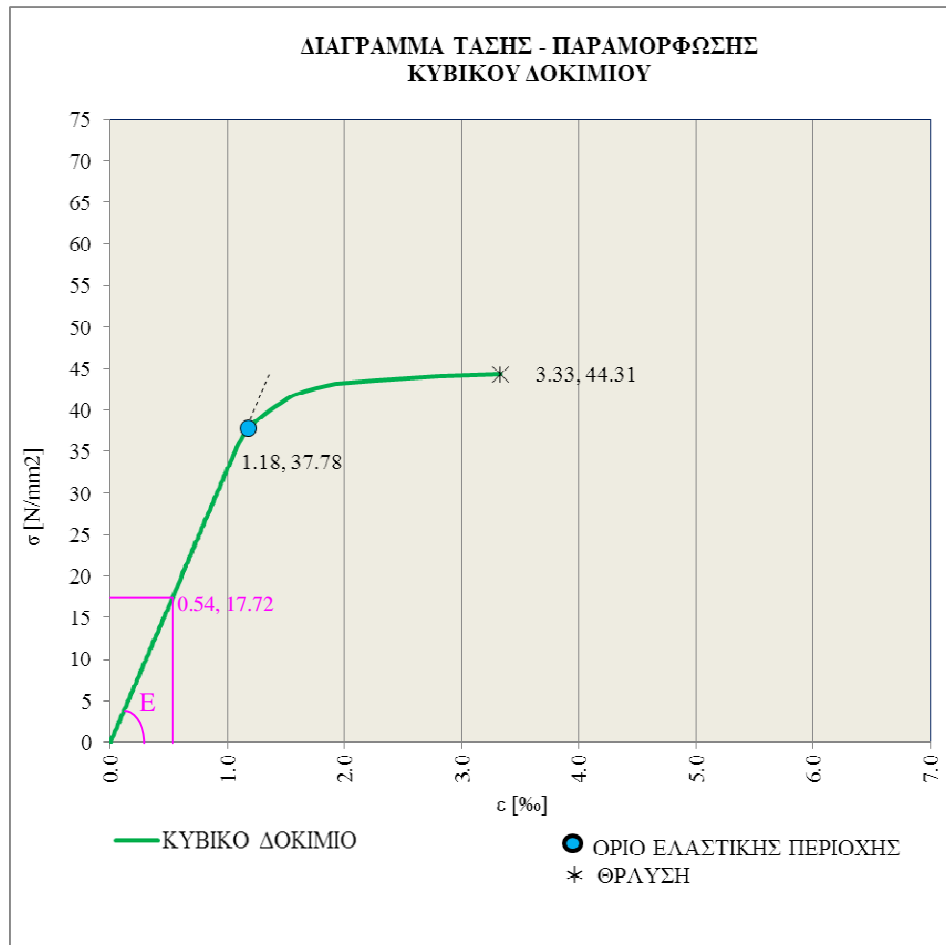
Οι υπολογισμοί έγιναν με τη βοήθεια του προγράμματος excel και επισυνάπτονται στο Παράρτημα Β του παρόντος.

Σημειώνεται, ότι για τον ορθό σχεδιασμό των διαγραμμάτων, προηγήθηκε η διόρθωση του σφάλματος της μηχανής θλίψης, που οφείλεται στην ολίσθηση των πλακών της με την επιφάνεια επαφής του εκάστοτε δοκιμίου. Αποτέλεσμα αυτού του σφάλματος είναι το αρχικό τμήμα του διαγράμματος να παρουσιάζει μορφή καμπύλης με τα κοίλα προς τα άνω, ενώ θα έπρεπε να είναι ευθεία γραμμή, αφού διανύει την ελαστική περιοχή. Αναλυτικότερα σχεδιάστηκε βοηθητική ευθεία γραμμή σε προέκταση του ευθύγραμμου τμήματος του διαγράμματος τάσης – παραμόρφωσης (ελαστική περιοχή) μέχρι να τμήσει τον άξονα  $\chi\chi'$ . Ακολούθησε η κατάργηση του καμπύλου τμήματος και αντικαταστάθηκε με αυτό της ανωτέρω βοηθητικής ευθείας. Τέλος έγινε παράλληλη μετατόπιση του διορθωμένου πλέον διαγράμματος, ώστε η αρχή του να ξεκινάει από το (0,0) των αξόνων.



Διάγραμμα 7.1 Διόρθωση σφάλματος μηχανής στο διάγραμμα τάσης παραμόρφωσης

Το διάγραμμα που προκύπτει είναι το ακόλουθο.



Διάγραμμα 7.2 Χαρακτηριστικό διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης κυβικού δοκιμίου

Στο διάγραμμα 7.2 Τάσης – Παραμόρφωσης υπολογίζεται γραφικά το όριο της ελαστικής περιοχής ως εξής:

Χαράζεται βοηθητική ευθεία παράλληλη στο ανοδικό εύγραμμο τμήμα του διαγράμματος (ελαστική περιοχή) η οποία τέμνει τον άξονα των παραμορφώσεων (άξονας  $\chi\chi'$ ) στο σημείο 0,01%. Το σημείο τομής της βοηθητικής ευθείας με το εν λόγω γράφημα, αποτελεί το όριο της ελαστικής περιοχής.

Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία υπολογίστηκε το όριο της ελαστικής περιοχής το οποίο βρίσκεται στο σημείο με τάση  $\sigma = 37,78 \text{ N/mm}^2$  (=MPa) και παραμόρφωση  $\epsilon = 1,18 \text{ ‰}$ .

Η θραύση σημειώνεται στο σημείο με τάση  $\sigma = 44,31 \text{ N/mm}^2$  (=MPa) και παραμόρφωση  $\epsilon = 3,33 \text{ ‰}$ .

Το μέτρο ελαστικότητας, βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ είναι η κλίση της ευθείας του διαγράμματος τάσης – παραμόρφωσης στο 40% της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. [39]

Δηλαδή, Μέτρο Ελαστικότητας  $E = (40\% * 44,31) / 0,54\text{‰} = 17,72 / 0,54\text{‰} = 32,8 \text{ GPa}$

### 7.3 Εκπόνηση πειραμάτων για την δεύτερη ομάδα κυβικών δοκιμίων με CFRP

Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυβικά διαστάσεων 15 cm πλάτος, 15 cm μήκος, 15 cm ύψος από άοπλο σκυρόδεμα ενισχυμένο με ινοπλισμένα πολυμερή.



Εικόνα 7.6 Ζύγιση κυβικού δοκιμίου με CFRP



Εικόνα 7.7 Κυβικό δοκίμιο με CFRP πριν και μετά την υποβολή του σε κεντρική μονοαξονική θλίψη



Εικόνα 7.8 Μανδύας CFRP μετά την θλίψη κυβικού δοκιμίου

Η θραύση των κυβικών δοκιμίων με μανδύα ανθρακονημάτων έγινε απότομα και συνοδεύτηκε από έκρηξη, όπως φαίνεται στην παραπάνω φωτογραφία ο μανδύας των ανθρακονημάτων σχίστηκε διαμητικά σε όλο του το ύψος.

Η θραύση όλων των δοκιμίων της 2<sup>ης</sup> ομάδας είναι ικανοποιητική και τα τέσσερα δοκίμια είναι δεκτά.

Από τον πίνακα ενδείξεων της μηχανής θλίψης συντάχθηκε ο πίνακας που ακολουθεί με την καταγραφή της μέγιστης δύναμης  $F$ (kN) που ασκήθηκε μέχρι την τελική θραύση των δοκιμίων σε συνάρτηση με την επιβράχυνση  $S$  (mm).

| <b>2<sup>η</sup> Ομάδα</b>    |  |  |
|-------------------------------|--|--|
| <b>Κυβικά δοκίμια με CFRP</b> |  |  |
| <b>Δοκιμή</b>                 | <b>Θλιπτική Δύναμη <math>F</math> (kN)</b> | <b>Επιβράχυνση <math>S</math> (mm)</b> |
| 1 <sup>η</sup>                | 1372                                       | 0.98                                   |
| 2 <sup>η</sup>                | 1277                                       | 0.92                                   |
| 3 <sup>η</sup>                | 1307                                       | 0.94                                   |
| 4 <sup>η</sup>                | 1348                                       | 0.95                                   |

Πίνακας 7.4 μετρήσεων για την 2<sup>η</sup> ομάδα κυβικών δοκιμίων με CFRP

### 7.3.1 Αποτελέσματα & διαγράμματα για τη δεύτερη ομάδα κυβικών δοκιμίων

Από τον παραπάνω πίνακα 7.2 προκύπτει για τα δοκίμια της 2<sup>ης</sup> ομάδας:

- Μέγιστη θλιπτική δύναμη  $F_{\max} = 1277$  KN
- Ελάχιστη θλιπτική δύναμη  $F_{\min} = 1348$  KN
- Μέση τιμή θλιπτικής δύναμης  $F = \text{Άθροισμα δοκιμών} / \text{πλήθος δοκιμών}$   
 $F = (1372+1277+1307+1348) / 4 = 1326$  KN



| 2 <sup>η</sup> Ομάδα   |                        |                             |
|------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Κυβικά δοκίμια με CFRP |                        |                             |
| Δοκιμή                 | Θλιπτική Δύναμη F (kN) | Θλιπτική Αντοχή $f_c$ (MPa) |
| 1 <sup>η</sup>         | 1372                   | 60,98                       |
| 2 <sup>η</sup>         | 1277                   | 56,76                       |
| 3 <sup>η</sup>         | 1307                   | 58,09                       |
| 4 <sup>η</sup>         | 1348                   | 59,91                       |

Πίνακας 7.5 Θλιπτικής αντοχής για την 2<sup>η</sup> ομάδα κυβικών δοκιμίων με CFRP

- Μέση τιμή θλιπτικής αντοχής  $f_c = \text{Άθροισμα δοκιμών} / \text{πλήθος δοκιμών}$

$$f_c = (60,98 + 56,76 + 58,09 + 59,91) / 4 = 58,93 \text{ MPa}$$

- Τυπική απόκλιση θλιπτικής αντοχής δοκιμίων:

$$s_a = \sqrt{[(f_{c1}-f_c)^2 + (f_{c2}-f_c)^2 + (f_{c3}-f_c)^2 + (f_{c4}-f_c)^2] / 4} =$$

$$= \sqrt{[(60,98-)^2 + (56,76-)^2 + (58,09-)^2 + (59,01-)^2 / 4]} = 1,63 \text{ MPa}$$

Προκειμένου να σχεδιαστεί το χαρακτηριστικό διάγραμμα Τάσης - Παραμόρφωσης του κυβικού δοκιμίου με CFRP γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί της Τάσης και της Παραμόρφωσης.

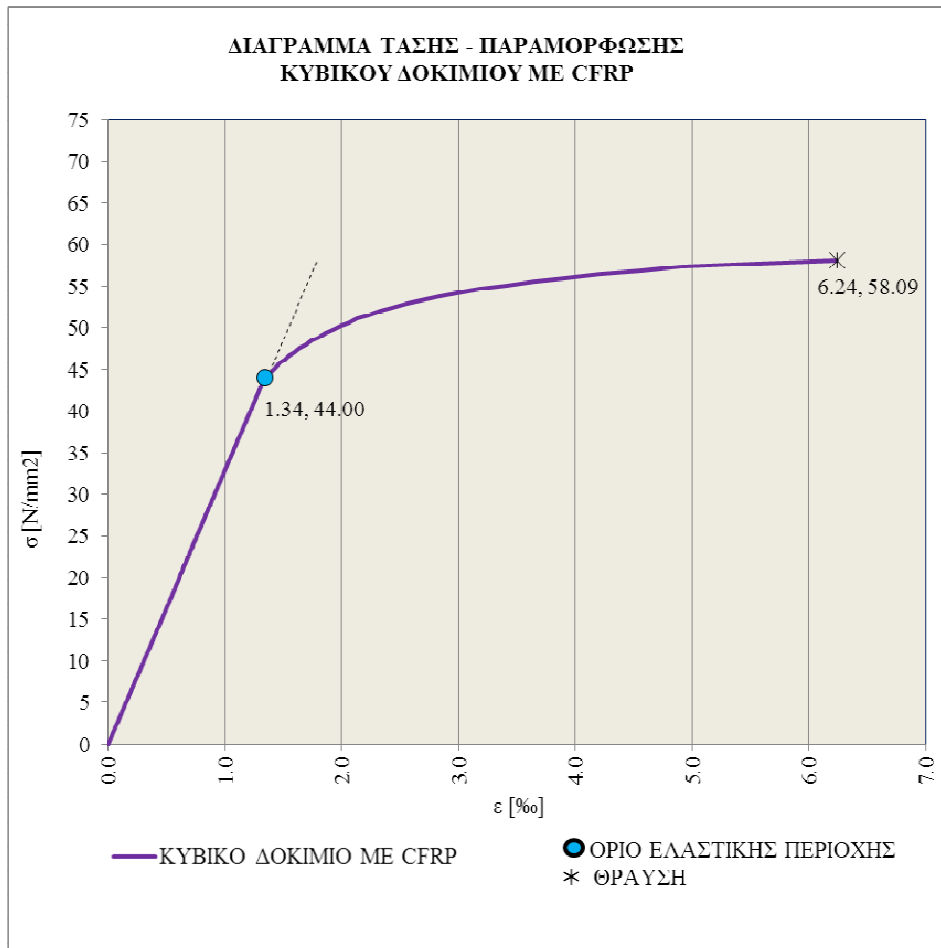
Αναλυτικότερα όπου:

- Τάση  $\sigma = \text{Δύναμη} / \text{Εμβαδόν διατομής δοκιμίου}$ , δηλαδή  $\sigma = F / A$  [N/mm<sup>2</sup>]  
Με εμβαδόν διατομής κυβικού δοκιμίου  $A = 150 * 150 = 22.500 \text{ mm}^2$
- Παραμόρφωση  $\% \varepsilon = (\text{Επιβράχυνση} * 1000) / \text{Ύψος δοκιμίου}$ , δηλαδή  $\varepsilon \% = (S * 1000) / H$   
Με ύψος δοκιμίου  $H = 150 \text{ mm}$

Οι υπολογισμοί έγιναν με τη βοήθεια του προγράμματος excel και επισυνάπτονται στο Παράρτημα Β του παρόντος.

Σχεδιάστηκε το εν λόγω διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης, αφότου διορθώθηκε το σφάλμα της μηχανής, ομοίως με την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην 1η ομάδα δοκιμίων.

Το διάγραμμα που προκύπτει είναι το ακόλουθο.



Διάγραμμα 7.3 Χαρακτηριστικό διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης κυβικού δοκιμίου με CFRP

Χαράζεται βοηθητική ευθεία παράλληλη στο ανοδικό εύγραμμο τμήμα του διαγράμματος (ελαστική περιοχή) η οποία τέμνει τον άξονα των παραμορφώσεων (άξονας  $\chi\chi'$ ) στο σημείο 0,01%. Το σημείο τομής της βοηθητικής ευθείας με το εν λόγω γράφημα, αποτελεί το όριο της ελαστικής περιοχής.

Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία υπολογίστηκε το όριο της ελαστικής περιοχής το οποίο βρίσκεται στο σημείο με τάση  $\sigma = 44,00 \text{ N/mm}^2$  (=MPa) και παραμόρφωση  $\epsilon = 1,34 \%$ .

Η θράυση σημειώνεται στο σημείο με τάση  $\sigma = 58,09 \text{ N/mm}^2$  (=MPa) και παραμόρφωση  $\epsilon = 6,24\%$ .

#### 7.4 Εκπόνηση πειραμάτων για την τρίτη ομάδα κυλινδρικών δοκιμίων

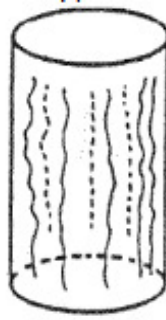
Η τρίτη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυλινδρικά 30 cm ύψος, 15 cm διάμετρο από άοπλο σκυρόδεμα



*Εικόνα 7.9 Ζύγιση κυλινδρικού δοκιμίου*



*Εικόνα 7.10 Κυλινδρικό δοκίμιο πριν και μετά την υποβολή του σε κεντρική μονοαξονική θλίψη*



Σχήμα 7.2 Ικανοποιητικός τρόπος θραύσης των κυλίνδρων

Η μέγιστη δύναμη  $F$ (kN) που ασκήθηκε μέχρι την τελική θραύση των δοκιμίων σε συνάρτηση με την επιβράχυνση  $S$  (mm) δίνεται από τον παρακάτω πίνακα.

| 3 <sup>η</sup> Ομάδα |                          |                      |
|----------------------|--------------------------|----------------------|
| Κυλινδρικά δοκίμια   |                          |                      |
| Δοκιμή               | Θλιπτική Δύναμη $F$ (kN) | Επιβράχυνση $S$ (mm) |
| 1 <sup>η</sup>       | 629                      | 0.91                 |
| 2 <sup>η</sup>       | 708                      | 0.96                 |
| 3 <sup>η</sup>       | 654                      | 0.94                 |
| 4 <sup>η</sup>       | 647                      | 0.93                 |

Πίνακας 7.6 μετρήσεων για την 3η ομάδα κυλινδρικών δοκιμίων

#### 7.4.1 Αποτελέσματα & διαγράμματα για την τρίτη ομάδα κυλινδρικών δοκιμίων

Από τον παραπάνω πίνακα έχουμε για τα δοκίμια της 3<sup>ης</sup> ομάδας:

- Μέγιστη θλιπτική δύναμη  $F_{max} = 708$  KN
- Ελάχιστη θλιπτική δύναμη  $F_{min} = 629$ KN
- Μέση τιμή θλιπτικής δύναμης  $F = \text{Άθροισμα δοκιμών} / \text{πλήθος δοκιμών}$   
 $F = (629+708+654+647) / 4 = 659,5$  KN
- Θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου  $f_c = F / A$

Όπου  $F$  = δύναμη και  $A$  = επιφάνεια διατομής του δοκιμίου,

για το κυλινδρικό  $A = \pi * r^2 = 3,14 * 75^2 = 17.671$  mm<sup>2</sup>

Έτσι προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

| 3 <sup>η</sup> Ομάδα |                          |                             |
|----------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Κυλινδρικά δοκίμια   |                          |                             |
| Δοκιμή               | Θλιπτική Δύναμη $F$ (kN) | Θλιπτική Αντοχή $f_c$ (MPa) |
| 1 <sup>η</sup>       | 629                      | 35,59                       |
| 2 <sup>η</sup>       | 708                      | 40,06                       |
| 3 <sup>η</sup>       | 654                      | 37,01                       |
| 4 <sup>η</sup>       | 647                      | 36,61                       |

Πίνακας 7.7 Θλιπτικής αντοχής για την 3<sup>η</sup> ομάδα κυλινδρικών δοκιμίων

- Μέση τιμή θλιπτικής αντοχής  $f_c = \text{Άθροισμα δοκιμών} / \text{πλήθος δοκιμών}$   
 $f_c = ( 35,59 + 40,06 + 37,01 + 36,61 ) / 4 = 37,32 \text{ MPa}$
- Τυπική απόκλιση θλιπτικής αντοχής δοκιμών:  
 $s_a = \sqrt{[(f_{c1}-f_c)^2 + (f_{c2}-f_c)^2 + (f_{c3}-f_c)^2 + (f_{c4}-f_c)^2] / 4} =$   
 $= \sqrt{[(35,59-37,32)^2 + (40,06-37,32)^2 + (37,01-37,32)^2 + (36,61-37,32)^2] / 4} = 1,67 \text{ MPa}$

Οι παραπάνω τιμές πληρούν τα κριτήρια συμμόρφωσης που ισχύουν για θλιπτική αντοχή για το εργοταξιακό σκυρόδεμα με πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής που προβλέπει ο νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος ΦΕΚ 1561 τ.β'02.06.2016, όπως επαληθεύονται στον πίνακα που ακολουθεί

| <b>3<sup>η</sup> Ομάδα</b>   |   |   |
|--|---|---|
| <b>Κυλινδρικά δοκίμια <math>f_{ck} = 30</math> MPa</b>   |   |   |
| <b>I. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ για θλιπτική αντοχή για εργοταξιακό σκυρόδεμα με πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής</b>  |   |   |
| <b>Δοκιμή</b>  | <b>Θλιπτική Αντοχή <math>f_c</math> (MPa)</b> | <b>ΚΡΙΤΗΡΙΟ 2</b><br>Αντοχή σε θλίψη<br>κάθε δείγματος (για 4 δείγματα)<br>$f_i \geq f_{ck} - 2,5$ σε MPa |
| 1 <sup>η</sup>   | 35,59   | $35,59 \geq 27,5$ ισχύει  |
| 2 <sup>η</sup>   | 40,06   | $40,06 \geq 27,5$ ισχύει  |
| 3 <sup>η</sup>   | 37,01   | $37,01 \geq 27,5$ ισχύει  |
| 4 <sup>η</sup>   | 36,61   | $36,61 \geq 27,5$ ισχύει  |
| <b>ΚΡΙΤΗΡΙΟ 1</b><br>Μέση τιμή αντοχής σε θλίψη (n=4) δειγμάτων<br>Μέση τιμή $f_m \geq f_{ck} + 3,3$ σε MPa  |   |   |
| Μέση τιμή $f_c = 37,32$  |   | $37,32 \geq 33,3$ ισχύει  |
| <b>II. Διατάξεις για την πιστοποίηση ελέγχου Παραγωγής ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ (αυτοέλεγχος) του παραγωγού</b>  |   |   |
| <b>ΚΡΙΤΗΡΙΟ A</b><br>$F_a \geq f_{ck} + Z * s_a$<br>$F_a$ : μέσος όρος αντοχών σε θλίψη όλων των δοκιμίων = 37,32 MPa<br>$f_{ck}$ : χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη = 30 MPa<br>$Z$ : σταθερά αποδοχής ανάλογα με τον αριθμό των δοκιμίων, για 4 δοκίμια το $Z = 3$<br>$s_a$ : Τυπική απόκλιση αντοχών σε θλίψη όλων των δοκιμίων = 1,67 MPa |   | $37,32 \geq 35,01$ ισχύει   |
| <b>Δοκιμή</b>  | <b>Θλιπτική Αντοχή <math>f_c</math> (MPa)</b> | <b>ΚΡΙΤΗΡΙΟ B</b><br>Αντοχή σε θλίψη<br>κάθε δείγματος (για 4 δείγματα)<br>$f_i \geq f_{ck} - 2$ σε MPa   |
| 1 <sup>η</sup>   | 35,59   | $35,59 \geq 28$ ισχύει  |
| 2 <sup>η</sup>   | 40,06   | $40,06 \geq 28$ ισχύει  |
| 3 <sup>η</sup>   | 37,01   | $37,01 \geq 28$ ισχύει  |
| 4 <sup>η</sup>   | 36,61   | $36,61 \geq 28$ ισχύει  |

Πίνακας 7.8 Κριτήρια συμμορφωσης για την θλιπτική αντοχή της 3<sup>η</sup> ομάδα κυλινδρικών δοκιμίων

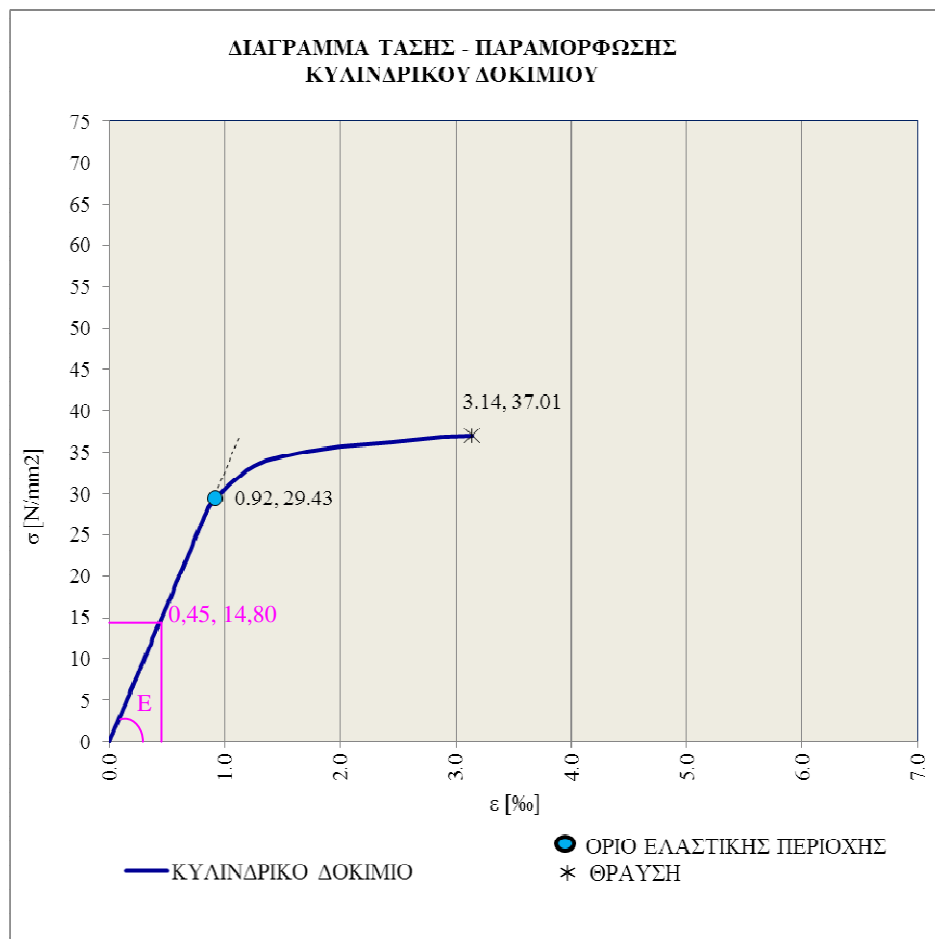
Προκειμένου να σχεδιαστεί το χαρακτηριστικό διάγραμμα Τάσης - Παραμόρφωσης του κυλινδρικού δοκιμίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί της Τάσης και της Παραμόρφωσης. Αναλυτικότερα όπου:

- Τάση  $\sigma = \text{Δύναμη} / \text{Εμβαδόν διατομής δοκιμίου}$ , δηλαδή  $\sigma = F / A$  [N/mm<sup>2</sup>]  
Με εμβαδόν διατομής κυλινδρικού δοκιμίου  $A = \pi * r^2 = 3,14 * 75^2 = 17.671$  μονάδα: mm<sup>2</sup>
- Παραμόρφωση  $\% \varepsilon = (\text{Επιβράχυνση} * 1000) / \text{Ύψος δοκιμίου}$ , δηλαδή  $\varepsilon \% = (S * 1000) / H$   
Με ύψος δοκιμίου  $H = 300$  mm

Οι υπολογισμοί έγιναν με τη βοήθεια του προγράμματος excel και επισυνάπτονται στο Παράρτημα Β του παρόντος.

Σχεδιάστηκε το εν λόγω διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης, αφότου διορθώθηκε το σφάλμα της μηχανής, ομοίως με την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην 1η ομάδα δοκιμίων.

Το διάγραμμα που προκύπτει είναι το ακόλουθο.



Διάγραμμα 7.4 Χαρακτηριστικό διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης κυλινδρικού δοκιμίου

Χαράζεται βοηθητική ευθεία παράλληλη στο ανοδικό εύγραμμο τμήμα του διαγράμματος (ελαστική περιοχή) η οποία τέμνει τον άξονα των παραμορφώσεων (άξονας  $\chi\chi'$ ) στο σημείο 0,01‰. Το σημείο τομής της βοηθητικής ευθείας με το εν λόγω γράφημα, αποτελεί το όριο της ελαστικής περιοχής.

Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία υπολογίστηκε το όριο της ελαστικής περιοχής το οποίο βρίσκεται στο σημείο με τάση  $\sigma = 29,43 \text{ N/mm}^2$  (=MPa) και παραμόρφωση  $\varepsilon = 0,92 \text{ ‰}$ .

Η θραύση σημειώνεται στο σημείο με τάση  $\sigma = 37,01 \text{ N/mm}^2$  (=MPa) και παραμόρφωση  $\varepsilon = 3,14 \text{ ‰}$

Το μέτρο ελαστικότητας, βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ είναι η κλίση της ευθείας του διαγράμματος τάσης – παραμόρφωσης στο 40% της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. [39]

Δηλαδή, Μέτρο Ελαστικότητας  $E = (40\% * 37,01) / 0,45\text{‰} = 14,80 / 0,45\text{‰} = 32,9 \text{ GPa}$



### 7.5 Εκπόνηση πειραμάτων για την τέταρτη ομάδα κυλινδρικών δοκιμίων με CFRP

Η τέταρτη ομάδα περιλαμβάνει τέσσερα δοκίμια κυλινδρικά 30 cm ύψος, 15 cm διάμετρο από άοπλο σκυρόδεμα ενισχυμένο με ινοπλισμένα πολυμερή.



Εικόνα 7.11 Ζύγιση κυλινδρικού δοκιμίου με CFRP



Εικόνα 7.12 Κυλινδρικό δοκίμιο με CFRP πριν και μετά την υποβολή του σε κεντρική μονοαξονική θλίψη



Εικόνα 7.13 Μανδύας CFRP μετά την θλίψη κυλινδρικού δοκιμίου

Η θραύση των κυλινδρικών δοκιμίων με μανδύα ανθρακονημάτων έγινε απότομα και συνοδεύτηκε από έκρηξη, όπως φαίνεται στην παραπάνω φωτογραφία η αστοχία του δοκιμίου παρατηρήθηκε στην μεσαία ζώνη του.

Η μέγιστη δύναμη  $F$  (kN) που ασκήθηκε μέχρι την τελική θραύση των δοκιμίων σε συνάρτηση με την επιβράχυνση  $S$  (mm) δίνεται από τον παρακάτω πίνακα.

| 4 <sup>η</sup> Ομάδα       |                          |                      |
|----------------------------|--------------------------|----------------------|
| Κυλινδρικά δοκίμια με CFRP |                          |                      |
| Δοκιμή                     | Θλιπτική Δύναμη $F$ (kN) | Επιβράχυνση $S$ (mm) |
| 1 <sup>η</sup>             | 1187                     | 1.68                 |
| 2 <sup>η</sup>             | 1173                     | 1.64                 |
| 3 <sup>η</sup>             | 1258                     | 1.75                 |
| 4 <sup>η</sup>             | 1238                     | 1.70                 |

Πίνακας 7.9 μετρήσεων για την 4η ομάδα κυλινδρικών δοκιμίων με CFRP

### 7.5.1 Αποτελέσματα & διαγράμματα για την τέταρτη ομάδα κυλινδρικών δοκιμίων με CFRP

Από τον παραπάνω πίνακα έχουμε για τα δοκίμια της 4<sup>ης</sup> ομάδας:

- Μέγιστη θλιπτική δύναμη  $F_{\max} = 1258$  KN
- Ελάχιστη θλιπτική δύναμη  $F_{\min} = 1173$ KN

- Μέση τιμή θλιπτικής δύναμης  $F = \text{Άθροισμα δοκιμών} / \text{πλήθος δοκιμών}$   
 $F = (1187+1173+1258+1238) / 4 = 1214 \text{ KN}$

| <b>4<sup>η</sup> Ομάδα</b>        |                               |   |
|-----------------------------------|-------------------------------|---|
| <b>Κυλινδρικά δοκίμια με CFRP</b> |                               |   |
| <b>Δοκιμή</b>                     | <b>Θλιπτική Δύναμη F (kN)</b> | <b>Θλιπτική Αντοχή <math>f_c</math> (MPa)</b> |
| 1 <sup>η</sup>                    | 1187                          | 67,17   |
| 2 <sup>η</sup>                    | 1173                          | 66,38   |
| 3 <sup>η</sup>                    | 1258                          | 71,19   |
| 4 <sup>η</sup>                    | 1238                          | 70,06   |

Πίνακας 7.10 Θλιπτικής αντοχής για την 4<sup>η</sup> ομάδα κυλινδρικών δοκιμών με CFRP

- Μέση τιμή θλιπτικής αντοχής  $f_c = \text{Άθροισμα δοκιμών} / \text{πλήθος δοκιμών}$   
 $f_c = (67,17 + 66,38 + 71,19 + 70,06) / 4 = 68,70 \text{ MPa}$

- Τυπική απόκλιση θλιπτικής αντοχής δοκιμών:

$$s_a = \sqrt{[(f_{c1}-f_c)^2 + (f_{c2}-f_c)^2 + (f_{c3}-f_c)^2 + (f_{c4}-f_c)^2] / 4} =$$

$$= \sqrt{[(67,17-68,70)^2 + (66,38-68,70)^2 + (71,19-68,70)^2 + (70,06-68,70)^2] / 4} = 1,99 \text{ MPa}$$

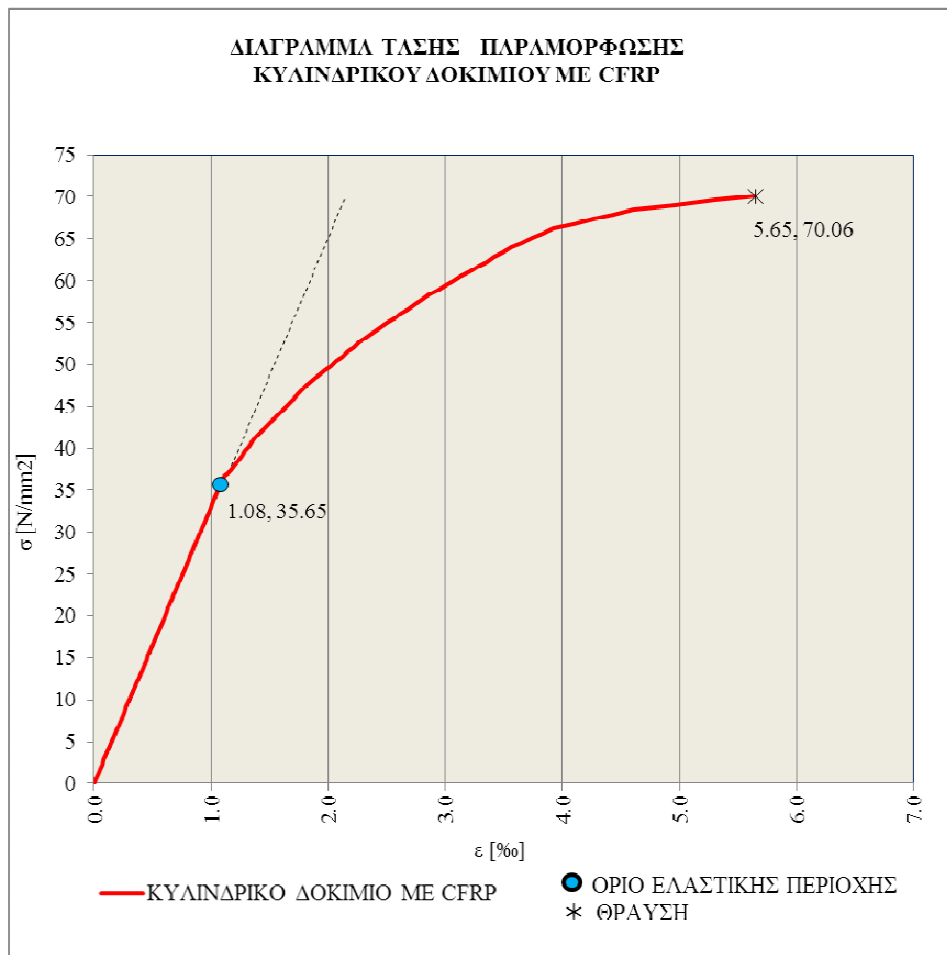
Προκειμένου να σχεδιαστεί το χαρακτηριστικό διάγραμμα Τάσης - Παραμόρφωσης του κυλινδρικού δοκιμίου με CFRP γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί της Τάσης και της Παραμόρφωσης. Αναλυτικότερα όπου:

- Τάση  $\sigma = \text{Δύναμη} / \text{Εμβαδόν διατομής δοκιμίου}$ , δηλαδή  $\sigma = F / A$  [N/mm<sup>2</sup>]  
 Με εμβαδόν διατομής κυλινδρικού δοκιμίου  $A = \pi * r^2 = 3,14 * 75^2 = 17.671$  μονάδα: mm<sup>2</sup>
- Παραμόρφωση  $\% \varepsilon = (\text{Επιβράχυνση} * 1000) / \text{Ύψος δοκιμίου}$ , δηλαδή  $\varepsilon \% = (S * 1000) / H$   
 Με ύψος δοκιμίου  $H = 300 \text{ mm}$

Οι υπολογισμοί έγιναν με τη βοήθεια του προγράμματος excel και επισυνάπτονται στο Παράρτημα Β του παρόντος.

Σχεδιάστηκε το εν λόγω διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης, αφότου διορθώθηκε το σφάλμα της μηχανής, ομοίως με την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην 1η ομάδα δοκιμών.

Το διάγραμμα που προκύπτει είναι το ακόλουθο.



Διάγραμμα 7.5 Χαρακτηριστικό διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης κυλινδρικού δοκιμίου με CFRP

Χαράζεται βοηθητική ευθεία παράλληλη στο ανοδικό εύγραμμο τμήμα του διαγράμματος (ελαστική περιοχή) η οποία τέμνει τον άξονα των παραμορφώσεων (άξονας  $\chi\chi'$ ) στο σημείο 0,01%. Το σημείο τομής της βοηθητικής ευθείας με το εν λόγω γράφημα, αποτελεί το όριο της ελαστικής περιοχής.

Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία υπολογίστηκε το όριο της ελαστικής περιοχής το οποίο βρίσκεται στο σημείο με τάση  $\sigma = 35,65 \text{ N/mm}^2$  (=MPa) και παραμόρφωση  $\epsilon = 1,08 \%$ .

Η θραύση σημειώνεται στο σημείο με τάση  $\sigma = 70,06 \text{ N/mm}^2$  (=MPa) και παραμόρφωση  $\epsilon = 5,65\%$ .

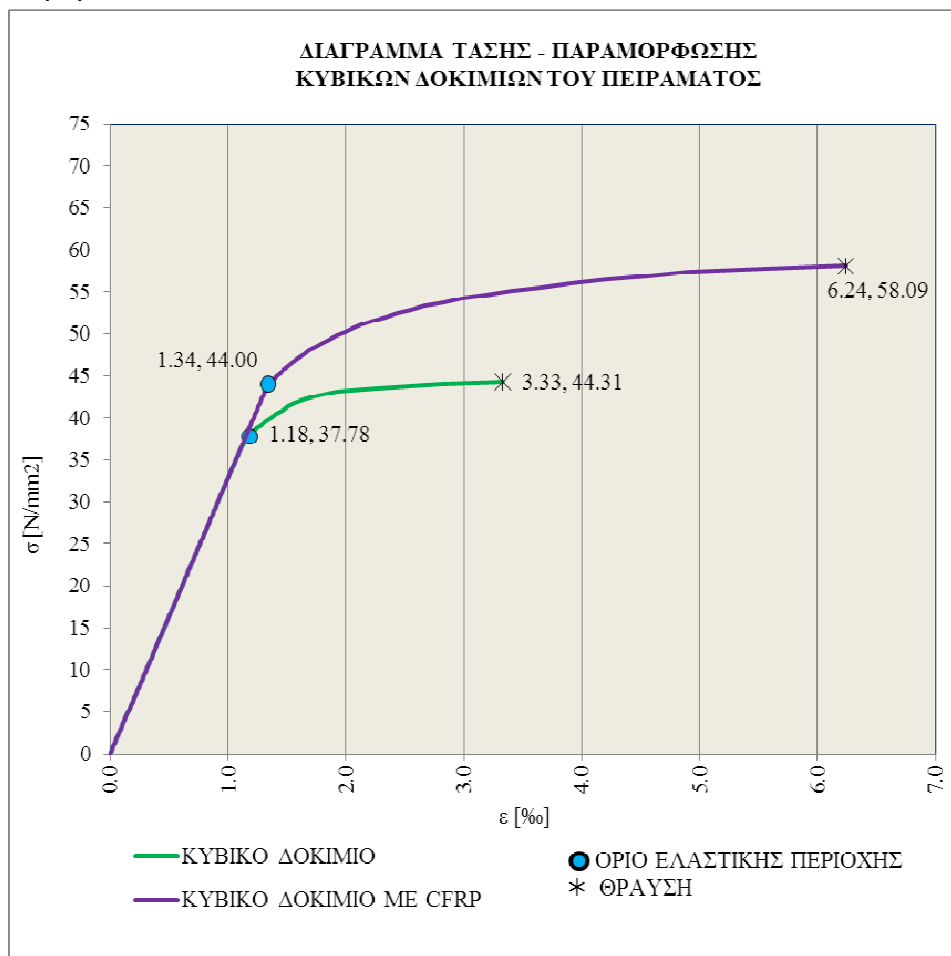
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο

### ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

#### 8.1 Σύγκριση Αποτελεσμάτων 1ης & 2ης ομάδας κυβικών δοκιμίων

Τα απλά (γυμνά) κυβικά δοκίμια έχουν μέση τιμή θλιπτικής δύναμης  $F = 983,25\text{KN}$ , ενώ μετά την εφαρμογή της διπλής στρώσης μανδύα ανθρακονημάτων (ντυμένα) έχουν μέση τιμή θλιπτικής δύναμης  $F = 1326\text{KN}$

Αντίστοιχα τα απλά (γυμνά) κυβικά δοκίμια έχουν μέση τιμή θλιπτικής αντοχής  $f_c = 43,70\text{MPa}$ , ενώ μετά την εφαρμογή της διπλής στρώσης μανδύα ανθρακονημάτων (ντυμένα) έχουν μέση τιμή θλιπτικής αντοχής  $f_c = 58,93\text{MPa}$ , δηλαδή παρατηρείται αύξηση της θλιπτικής αντοχής κατά 34,86%. Αυτό οφείλεται στις αυξημένες διατμητικές αντοχές που του προσδίδουν οι μανδύες των ανθρακονημάτων που το περισιγγουν. Σημειώνεται ότι η αστοχία των κυβικών δοκιμίων με CFRP, κατά την υποβολή τους σε κεντρική μονοαξονική θλίψη, συνοδεύεται από έκρηξη και θόρυβο.



Διάγραμμα 8.1 Τάσης ( $\sigma$ ) – παραμόρφωσης ( $\epsilon$ ) κυβικών δοκιμίων

Στο διάγραμμα τάσης ( $\sigma$ ) – παραμόρφωσης ( $\epsilon$ ), παρατηρείται ότι τόσο για τα ‘γυμνά’ κυβικά δοκίμια όσο και τα ‘ντυμένα’ με CFRP, στην περιοχή των ελαστικών παραμορφώσεων (αρηγμάτωτη διατομή) οι γραμμές είναι ευθείες, ενώ μετά το όριο της ελαστικής περιοχής και μπαίνοντας στην πλαστική περιοχή οι γραμμές γίνονται καμπύλες.

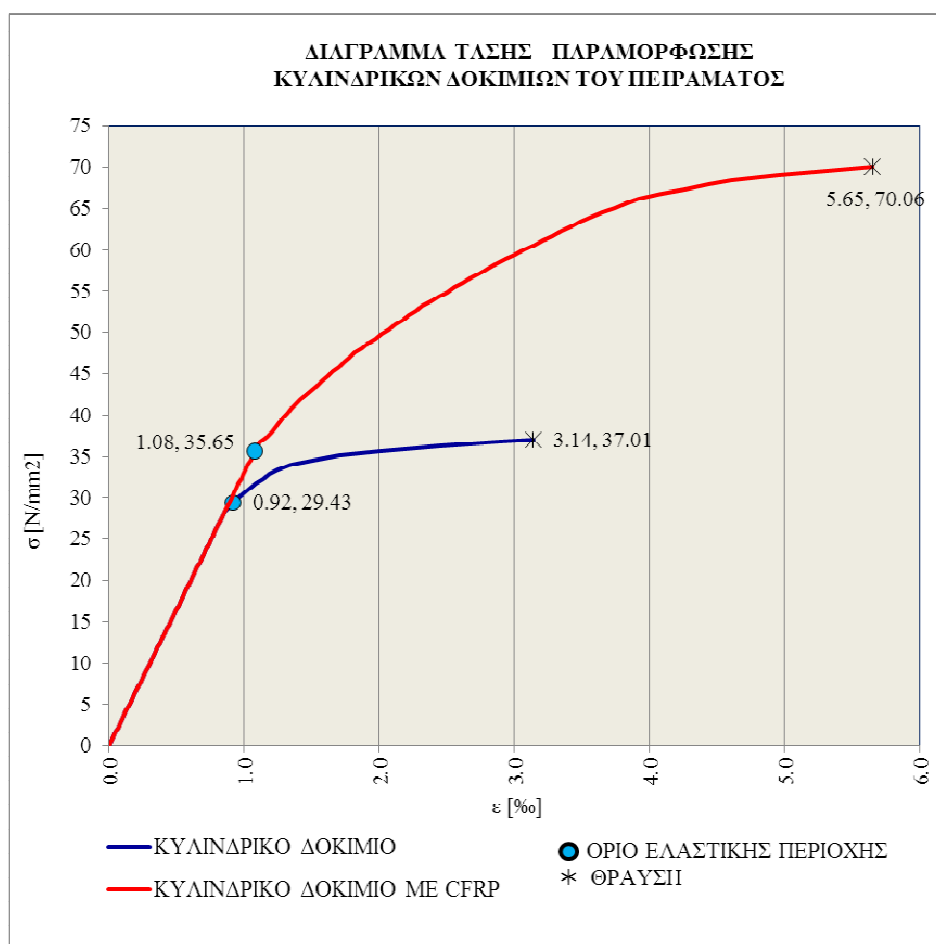
Ακόμα, η ελαστική περιοχή του ‘ντυμένου’ δοκιμίου παρουσιάζει αύξηση κατά 0,16%. Η αύξηση αυτή είναι μικρή, καθώς η ποιότητα του σκυροδέματος παραμένει η ίδια, αλλά αναμενόμενη, λόγω της περίσφιξης του με το CFRP.

Η παραμόρφωση  $\epsilon$  (του σκυροδέματος) στο όριο θραύσης του ‘γυμνού’ κυβικού δοκιμίου είναι 3,33‰ και εκτινάσσετε στο ‘ντυμένο’ με CFRP σε 6,24‰, δηλαδή παρατηρείται αύξηση της παραμόρφωσης κατά 87,38%. Αυτό οφείλεται στις ιδιότητες του υφάσματος των ανθρακονημάτων και συγκεκριμένα, λόγω της μεγάλης εφελκυστικής αντοχής-παραμόρφωσης των ινών του υφάσματος.

## 8.2 Σύγκριση Αποτελεσμάτων 3ης & 4ης ομάδας κυλινδρικών δοκιμίων

Τα απλά (γυμνά) κυλινδρικά δοκίμια έχουν μέση τιμή θλιπτικής δύναμης  $F = 659,50\text{KN}$ , ενώ μετά την εφαρμογή της διπλής στρώσης μανδύα ανθρακονημάτων (ντυμένα) έχουν μέση τιμή θλιπτικής δύναμης  $F = 1214\text{KN}$

Αντίστοιχα τα απλά (γυμνά) κυλινδρικά δοκίμια έχουν μέση τιμή θλιπτικής αντοχής  $f_c = 37,32\text{MPa}$ , ενώ μετά την εφαρμογή της διπλής στρώσης μανδύα ανθρακονημάτων (ντυμένα) έχουν μέση τιμή θλιπτικής αντοχής  $f_c = 68,70\text{MPa}$ , δηλαδή παρατηρείται αύξηση της θλιπτικής αντοχής κατά 84,78%. Αυτό οφείλεται στις αυξημένες διατμητικές αντοχές που του προσδίδουν οι μανδύες των ανθρακονημάτων που το περισφίγγουν. Σημειώνεται ότι η αστοχία των κυλινδρικών δοκιμίων με CFRP, κατά την υποβολή τους σε κεντρική μονοαξονική θλίψη, συνοδεύεται από έκρηξη και θόρυβο.



Διάγραμμα 8.2 Τάσης ( $\sigma$ ) – παραμόρφωσης ( $\epsilon$ ) κυλινδρικών δοκιμών

Στο διάγραμμα τάσης ( $\sigma$ ) – παραμόρφωσης ( $\epsilon$ ), παρατηρείται ότι τόσο για τα ‘γυμνά’ κυβικά δοκίμια όσο και τα ‘ντυμένα’ με CFRP, στην περιοχή των ελαστικών παραμορφώσεων (αρηγμάτωτη διατομή) οι γραμμές είναι ευθείες, ενώ μετά το όριο της ελαστικής περιοχής και μπαίνοντας στην πλαστική περιοχή οι γραμμές γίνονται καμπύλες.

Ακόμα, η ελαστική περιοχή του ‘ντυμένου’ δοκιμίου παρουσιάζει αύξηση κατά 0,16%. Η αύξηση αυτή είναι μικρή, καθώς η ποιότητα του σκυροδέματος παραμένει η ίδια, αλλά αναμενόμενη, λόγω της περίσφιξης του με το CFRP.

Η παραμόρφωση  $\epsilon$  (του σκυροδέματος) στο όριο θραύσης του ‘γυμνού’ κυλινδρικού δοκιμίου είναι 3,14 ‰ και εκτινάσσετε στο ‘ντυμένο’ με CFRP σε 5,65‰, δηλαδή παρατηρείται αύξηση της παραμόρφωσης κατά 79,94%. Αυτό οφείλεται στις ιδιότητες του υφάσματος των ανθρακονημάτων και συγκεκριμένα, λόγω της μεγάλης εφελκυστικής αντοχής-παραμόρφωσης των ινών του υφάσματος.

### 8.3 Σύγκριση Αποτελεσμάτων όλων των ομάδων που συμμετείχαν στην πειραματική διαδικασία

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει το σύνολο των πειραματικών μετρήσεων και υπολογισμών για τα δοκίμια όλων των ομάδων.

| Ομάδα                               | Δοκίμιο | F    | S    | $\sigma$          | $\epsilon$ |
|-------------------------------------|---------|------|------|-------------------|------------|
|                                     |         | KN   | mm   | N/mm <sup>2</sup> | %          |
| 1η ομάδα Κυβικά δοκίμια             | 1       | 1021 | 0.51 | 45.38             | 3.41       |
|                                     | 2       | 898  | 0.49 | 39.91             | 3.27       |
|                                     | 3       | 1017 | 0.51 | 45.20             | 3.37       |
|                                     | 4       | 997  | 0.50 | 44.31             | 3.33       |
| 2η ομάδα Κυβικά δοκίμια με CFRP     | 1       | 1372 | 0.98 | 60.98             | 6.53       |
|                                     | 2       | 1277 | 0.92 | 56.76             | 6.12       |
|                                     | 3       | 1307 | 0.94 | 58.09             | 6.24       |
|                                     | 4       | 1348 | 0.95 | 59.91             | 6.31       |
| 3η ομάδα Κυλινδρικά δοκίμια         | 1       | 629  | 0.91 | 35.59             | 3.03       |
|                                     | 2       | 708  | 0.96 | 40.06             | 3.21       |
|                                     | 3       | 654  | 0.94 | 37.01             | 3.14       |
|                                     | 4       | 647  | 0.93 | 36.61             | 3.11       |
| 4η ομάδα Κυλινδρικά δοκίμια με CFRP | 1       | 1187 | 1.68 | 67.17             | 5.59       |
|                                     | 2       | 1173 | 1.64 | 66.38             | 5.47       |
|                                     | 3       | 1258 | 1.75 | 71.19             | 5.82       |
|                                     | 4       | 1238 | 1.70 | 70.06             | 5.65       |

Πίνακας 8.1 Συγκεντρωτικός πίνακας πειραματικών τιμών-υπολογισμών όλων των ομάδων του πειράματος

Λαμβάνοντας υπόψη τον παραπάνω πίνακα συντάχθηκαν οι ακόλουθοι πίνακες

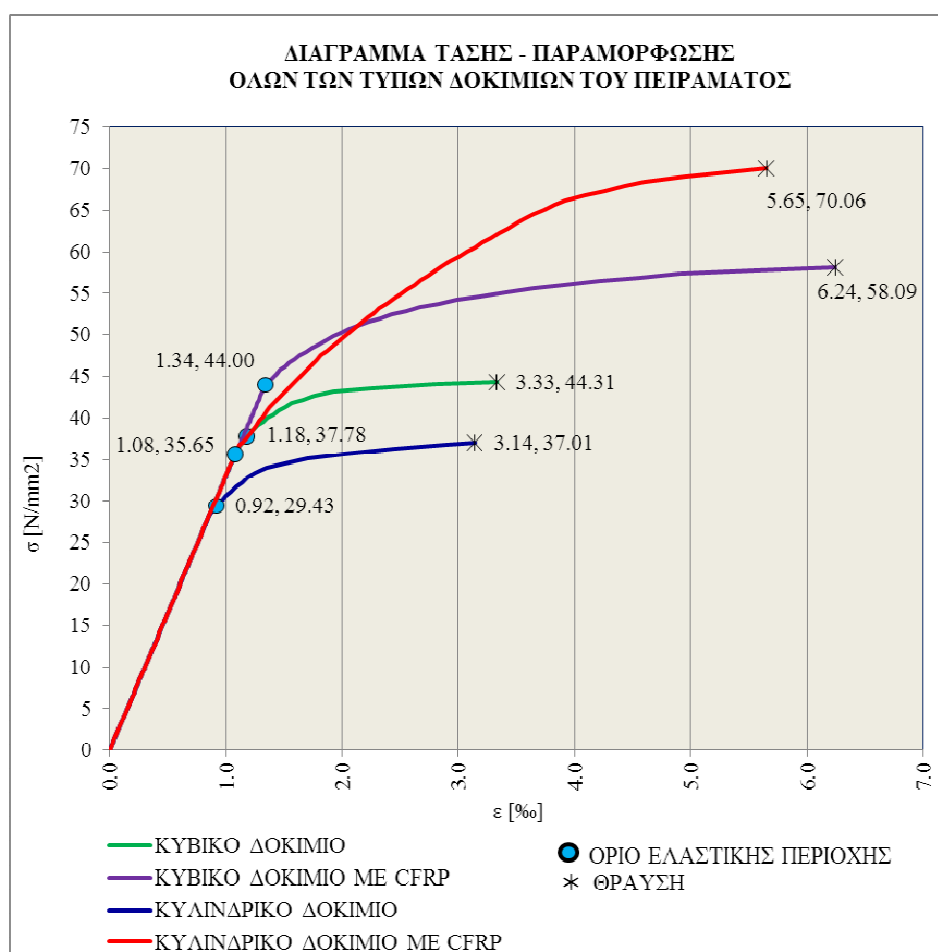
| Ομάδα    | Μέση τιμή θλιπτικής δύναμης | Μέση τιμή επιβράχυνσης | Μέση τιμή θλιπτικής αντοχής | Μέση τιμή παραμόρφωσης θραύσης |
|----------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
|          | KN                          | mm                     | MPa                         | %                              |
| 1η ομάδα | 983.25                      | 0.50                   | 43.70                       | 3.35                           |
| 2η ομάδα | 1326.00                     | 0.95                   | 58.93                       | 6.30                           |
| 3η ομάδα | 659.50                      | 0.94                   | 37.32                       | 3.12                           |
| 4η ομάδα | 1214.00                     | 1.69                   | 68.70                       | 5.63                           |

Πίνακας 8.2 Συγκεντρωτικός πίνακας μέσων τιμών



| Ομάδα              | Μέση τιμή θλιπτικής αντοχής πριν την περίσφιξη $f_{co}$ | Μέση τιμή θλιπτικής αντοχής μετά την περίσφιξη $f_{cc}$ | $f_{cc}/f_{co}$ | Μέση τιμή παραμόρφωσης πριν την περίσφιξη $\epsilon_{co}$ | Μέση τιμή παραμόρφωσης μετά την περίσφιξη $\epsilon_{cc}$ | $\epsilon_{cc}/\epsilon_{co}$ |
|--------------------|---|---|-----------------|---|---|-------------------------------|
|                    | MPa   | MPa   |                 | %   | %   |                               |
| Κυβικά δοκίμια     | 43.70   | 58.93   | 1.35            | 3.35  | 6.30  | 1.88                          |
| Κυλινδρικά δοκίμια | 37.32   | 68.70   | 1.84            | 3.12  | 5.63  | 1.80                          |

Πίνακας 8.3 Υπολογισμού των λόγων  $f_{cc}/f_{co}$  και  $\epsilon_{cc}/\epsilon_{co}$



Διάγραμμα 8.3 Τάσης ( $\sigma$ ) – παραμόρφωσης ( $\epsilon$ ) των δοκιμίων όλων των ομάδων

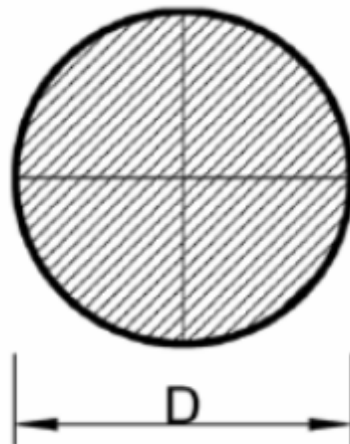
Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι:

- τόσο για τα ‘γυμνά’ δοκίμια όσο και τα ‘ντυμένα’ με CFRP, στην περιοχή των ελαστικών παραμορφώσεων (αρηγμάτωτη διατομή) οι γραμμές είναι ευθείες, ενώ μπαίνοντας στην πλαστική περιοχή οι γραμμές γίνονται καμπύλες.
- τα ‘γυμνά’ κυλινδρικά δοκίμια παρουσιάζουν την μικρότερη θλιπτική αντοχή, ακολουθούν τα ‘γυμνά’ κυβικά δοκίμια, μετά τα ‘ντυμένα’ κυβικά και τέλος την μεγαλύτερη θλιπτική αντοχή αναπτύσσουν τα ‘ντυμένα’ κυλινδρικά δοκίμια.

- το σκυρόδεμα που χρησιμοποιήθηκε, βάσει των πειραματικών αποτελεσμάτων της θλιπτικής αντοχής είναι κατηγορίας C37,32/43,70, δηλαδή μεγαλύτερης κατηγορίας από το C30/37 και έχει μέσο μέτρο Ελαστικότητας που υπολογίσθηκε γραφικά ίσο με  $32,85 \text{ GPa} > 32 \text{ GPa}$  της θεωρητικής τιμής του C30/37.
- τα ‘γυμνά’ κυλινδρικά δοκίμια παρουσιάζουν το μικρότερο όριο θραύσης, ακολουθούν τα ‘γυμνά’ κυβικά δοκίμια, μετά τα ‘ντυμένα’ κυλινδρικά και τέλος τα ‘ντυμένα’ κυβικά δοκίμια.
- τα ‘γυμνά’ κυλινδρικά δοκίμια διαθέτουν την μικρότερη ελαστική περιοχή, ακολουθούν τα ‘ντυμένα’ κυλινδρικά, μετά τα ‘γυμνά’ κυβικά δοκίμια και τέλος την μεγαλύτερη ελαστική περιοχή παρουσιάζουν τα ‘ντυμένα’ κυβικά δοκίμια.

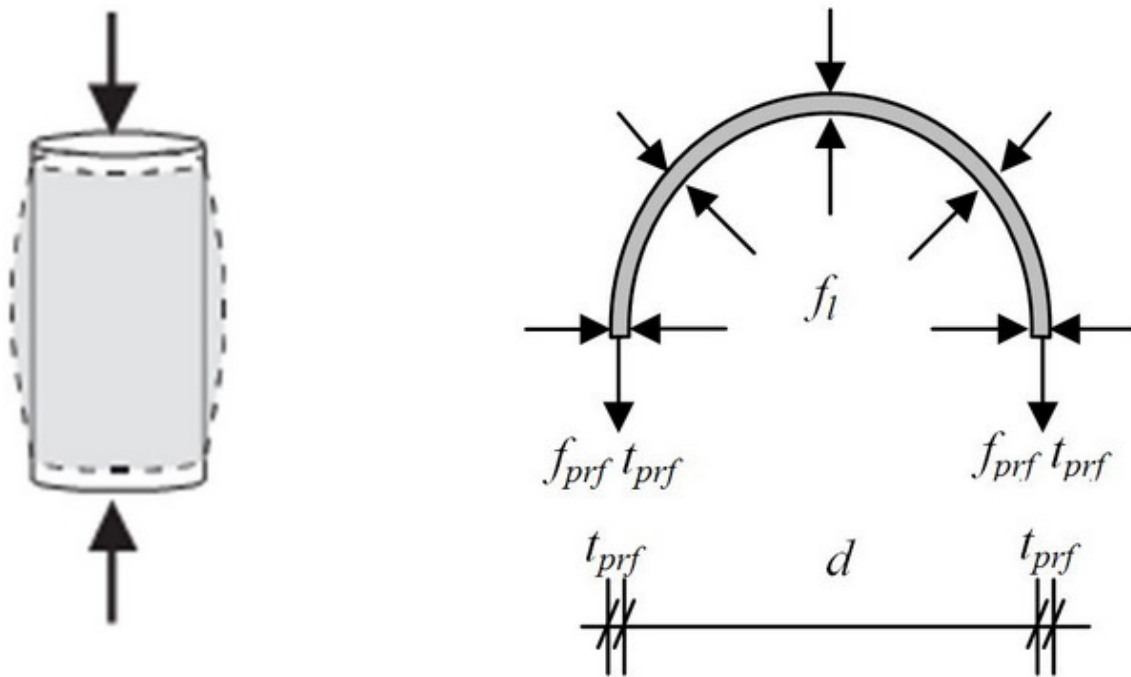
#### 8.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα δοκιμίων

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω συγκεντρωτικά και συγκριτικά στοιχεία όλων των ομάδων των δοκιμίων που συμμετείχαν στο πείραμα, διαπιστώνουμε ότι η χρήση κυλινδρικών δοκιμίων πλεονεκτεί - υπερέρχει όσον αφορά στην ομοιόμορφη κατανομή των τάσεων, καθώς η ενεργή της επιφάνεια είναι ολόκληρη η διατομή του κυλίνδρου.



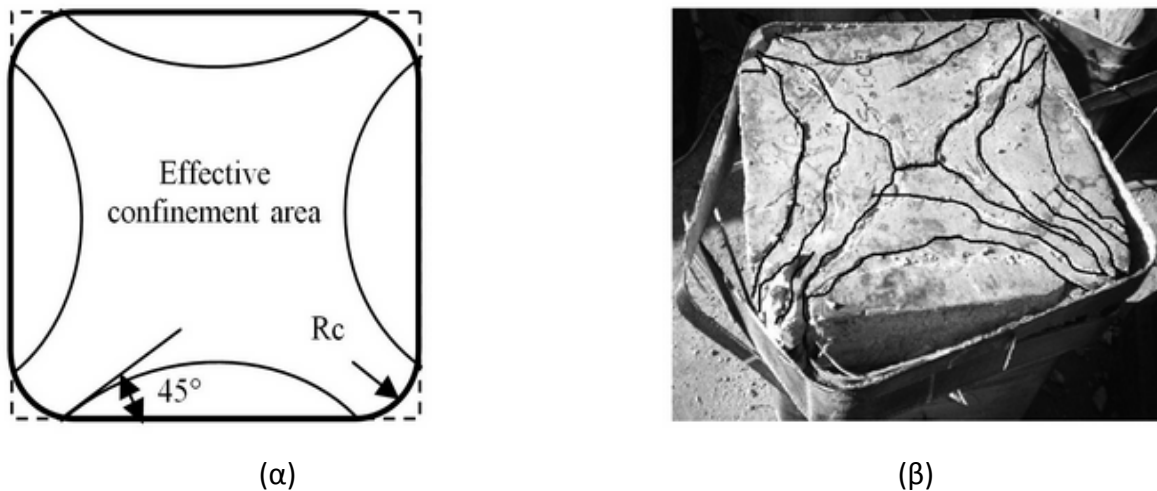
Σχήμα 8.1 Η επίδραση στην κατανομή τάσεων κυλινδρικής διατομής σκυροδέματος ντυμένης με CFRP (ενεργή διατομή κυλίνδρου) [29]

Το κυλινδρικό δοκίμιο, υπόκειται σε ομοιόμορφη φόρτιση και η μέγιστη πίεση που παρέχεται από το μανδύα CFRP σχετίζεται με την ποσότητα και την αντοχή του CFRP. Η μέγιστη τιμή της πίεσης του CFRP που μπορεί να ασκηθεί, επιτυγχάνεται όταν το περιμετρικό στέλεχος του CFRP φθάσει στην τελική ένταση (μέγιστη εφελκυστική αντοχή) και οι ίνες έρθουν σε ρήξη (σκίσιμο) πράγμα που οδηγεί σε ψαθυρή αστοχία του κυλίνδρου.



Σχήμα 8.2 Περιορισμός των ακτινικών τάσεων σε δοκίμια κυκλικής διατομής λόγω του CFRP [29]

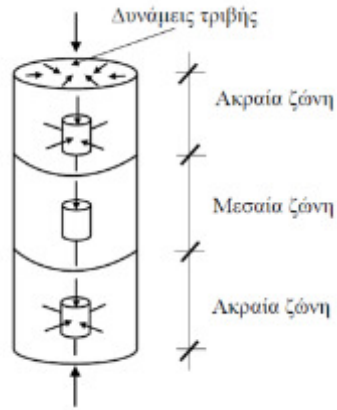
Ενώ στα κυβικά δοκίμια, τόσο στα ‘γυμνά’ όσο και στα ‘ντυμένα’ με CFRP, η ενεργή διατομή κατά τη φόρτιση, δεν είναι ολόκληρη η επιφάνεια του κύβου, αλλά είναι μέρος αυτής, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στο σχήμα και στη φωτογραφία που ακολουθεί.



Σχήμα 8.3 (α) Ενεργή διατομή σε κυβικό δοκίμιο, (β) Μορφή θραύσης κυβικού δοκιμίου με CFRP [29]

Επιπλέον η δύναμη που ασκείται από τις πλάκες της μηχανής στις περιοχές επαφής τους με το κυβικό δοκίμιο εκτείνεται σε όλο το ύψος του λόγω της ευνοϊκής επιρροής της τριαξονικότητας που αναπτύσσεται με τις πλάκες της μηχανής, ενώ στα κυλινδρικά (σχήμα 8.4) μηδενίζεται στη μεσαία περιοχή. Για το λόγο αυτό η αστοχία του κυλινδρικού ντυμένου δοκιμίου ξεκινάει από τη μεσαία ζώνη του.

Συγκεκριμένα, κατά την πειραματική διαδικασία σημειώθηκε έκρηξη τη στιγμή που ασκήθηκε η μέγιστη θλιπτική δύναμη. Η μεσαία ζώνη του κυλινδρικού δοκιμίου αποδιοργανώθηκε-διαλύθηκε, ενώ οι ακραίες ζώνες διατηρήθηκαν όπως φαίνεται στην εικόνα 8.1.



Σχήμα 8.4 Απεικόνιση εντατικής κατάστασης κυλίνδρου υπό αξονική θλίψη



Εικόνα 8.1 Μορφή θραύσης κυβικού και κυλινδρικού δοκιμίου με CFRP

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9ο

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

#### 9.1 Συμπεράσματα πειραματικής διαδικασίας

- Η εφαρμογή των μανδύων από ανθρακονήματα είναι πιο εύκολη στα κυλινδρικά υποστυλώματα, σε σχέση με τα ορθογωνικά στα οποία επιβάλλεται η άμβλυση των ακμών τους
- Είναι προφανές ότι σε όλες τις περιπτώσεις, η εφαρμογή της διπλής στρώσης μανδύα από CFRP αυξάνει τις μηχανικές ιδιότητες των δοκιμίων, σε διαφορετικό ποσό ανάλογα τις ιδιότητες και το σχήμα της διατομής. Συγκεκριμένα, επιτυγχάνεται σημαντική αύξηση της αναλαμβανόμενης θλιπτικής δύναμης στα περισφιγμένα δοκίμια με CFRP.
- Στα κυλινδρικά δοκίμια η ενεργή διατομή κατά την φόρτιση ταυτίζεται με ολόκληρη τη διατομή του δοκιμίου, ενώ στα κυβικά η ενεργή διατομή είναι μέρος της επιφάνειας του κυβικού δοκιμίου.
- Στα κυλινδρικά δοκίμια, η ρήξη των ινών ξεκινά κυρίως από την κεντρική ζώνη τους και στη συνέχεια διαδίδεται προς τα άλλα τμήματα, ενώ στα κυβικά ξεκινάει κοντά σε μια γωνία, παρόλο που έχει άμβλυθεί, λόγω της υψηλής συγκέντρωσης τάσεων και επεκτείνεται σε όλο το ύψος του δοκιμίου
- Τα δοκίμια κυλινδρικής διατομής μετά την εφαρμογή των δύο στρώσεων μανδύων από ανθρακονήματα αποκτούν μεγαλύτερη θλιπτική αντοχή, σε σχέση με τα αντίστοιχα κυβικής διατομής, συγκεκριμένα στην εν λόγω πειραματική διαδικασία η αύξηση της θλιπτικής αντοχής λόγω της περίσφιξης με CFRP, για τα κυβικά είναι 34,86% και για τα κυλινδρικά είναι 84,78%.
- Η διεύρυνση της πλαστικής περιοχής, λόγω της περίσφιξης με CFRP, που συνεπάγεται την αύξηση του ορίου θραύσης, για τα κυβικά δοκίμια είναι 87,38%. και για τα κυλινδρικά είναι 79,94%, γεγονός που αποτελεί πλεονέκτημα λόγω της αύξησης της πλαστιμότητας σε μια ενδεχόμενη σεισμική καταπόνηση.

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω και ανάγοντας τα στην ενίσχυση και επισκευή των κατασκευών, η εφαρμογή μανδύων ανθρακονημάτων σε προβληματικά υποστυλώματα, εκτός από την περίσφιξη που επιτυγχάνει, θεραπεύει ζητήματα ελλειπούς οπλισμού διάτμησης (συνδετήρων), κακής ή ελλιπούς αγκύρωσης.

Η χρήση των ινοπλισμένων πολυμερών για ενίσχυση και επισκευή των κατασκευών προσφέρει πλέον λύσεις αποτελεσματικές σε ζητήματα που απασχολούσαν το έργο του πολιτικού μηχανικού. Παρόλο που η χρήση τους διαδίδεται όλο και περισσότερο, δεν παύει να είναι μια καινούρια μέθοδος, η οποία πρέπει ακόμα να διερευνηθεί σε πειραματικό επίπεδο και να συνταχθούν αναλύσεις που είναι απαραίτητες για τη διερεύνηση των ικανοτήτων των ΙΟΠ, των περιορισμών τους, και την εφαρμογή του σχεδιασμού τους. Με αυτό τον τρόπο, δύναται να εδραιωθεί η καθιέρωσή τους, εξασφαλίζοντας τη μακροχρόνια διάρκεια των επισκευών,

προσφέροντας ταυτόχρονα ασφάλεια στους χρήστες της κάθε κατασκευής που έχουν εφαρμοσθεί.

## 9.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Προκειμένου να επαληθευτούν οι πειραματικές μετρήσεις σε ερευνητικό επίπεδο και να προβούν σε σύνταξη νέων τύπων και εξισώσεων που αφορούν στην ενίσχυση και επισκευή των κατασκευών, ακολουθούν προτάσεις ως απόρροια της παρούσας πειραματικής μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας για περαιτέρω έρευνα:

- Πειραματική αύξηση της θλιπτικής δύναμης σε δοκίμια, ίδιων διαστάσεων με τα παρόντα, με εφαρμογή χαλύβδινων ελασμάτων (μεταλλικός κλωβός)
- Πειραματική αύξηση της θλιπτικής δύναμης σε δοκίμια, ίδιων διαστάσεων με τα παρόντα, με εφαρμογή σύνθετων υλικών ανόργανης μήτρας
- Πειραματική αύξηση της θλιπτικής δύναμης σε δοκίμια διαφορετικής κλίμακας «size scale effect», περισφιγμένα με ινοπλισμένα πολυμερή
- Πειραματική αύξηση της θλιπτικής δύναμης σε ορθογωνικά δοκίμια με μεγάλο λόγο πλευρών, με την εφαρμογή χαλύβδινων ελασμάτων

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ****Ελληνική Βιβλιογραφία**

- [1] **Δελληγιαννόπουλος Ι**, *"Δυναμική Συμπεριφορά Επίπεδων Φορέων Ενισχυμένων με Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας (IAM-TRM)"*, Διπλωματική εργασία, ΑΤΕΙ Πειραιά, 2016.
- [2] **Δρίτσος Σ.**, *"Επεμβάσεις σε υφιστάμενες κατασκευές"*, Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδος, Ξάνθη, 2009.
- [3] **Δρίτσος Σ.**, *"Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα"*, Σημειώσεις για σύνθετα υλικά και ενισχύσεις, Πανεπιστήμιο Πάτρας, 2005.
- [4] **Δρίτσος Σ.**, *"Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα"*, Πάτρα : Αναθεωρημένη, Γ' Έκδοση, 2005.
- [5] **Ζαμπογιάννης Α., Κουλουμπέρη Σ., Λεούσης Δ., Μαγουλάς Σ.**, *"Παρακολούθηση κατασκευών σκυροδέματος με τη χρήση πιεζοηλεκτρικών αισθητήρων"*, Εργασία μαθήματος, ΑΤΕΙ Πειραιά, 2016.
- [6] **Ζέρης Χ.**, *"Βασικές αρχές σχεδιασμού - υλικά"*, σημειώσεις μαθήματος Δομική Μηχανική ΙΙΙ, ΕΜΠ, 2013.
- [7] **Ζωσιμά Ε., Στρατήγη Β.**, *"Ενίσχυση Κατασκευών οπλισμένου Σκυροδέματος με FRP (Ινοπλισμένα Πολυμερή)"*, Πάτρα : 13ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών, 2007.
- [8] **Καϊάφας Ν., Τσαμόπουλος Ν.**, *"Αντισεισμικές ενισχύσεις κτιρίων με σύνθετα υλικά"*, Πτυχιακή εργασία, ΑΤΕΙ Πειραιά, 2006.
- [9] **Κυριαζόπουλος Α.** Σημειώσεις μαθήματος *"Επισκευές ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα"*, ΑΕΙ Πειραιά Τ.Τ., 2016.
- [10] **Κωτσαντώνης Π., Αντωνιάδης Π.**, *"Ανάλυση του κύκλου ζωής των ινών άνθρακα"*, Εργασία μαθήματος, ΑΤΕΙ Πειραιά, 2016.
- [11] **Μακάριος Τ.** *"Προσεισμικές ενισχύσεις: Αποτίμηση φέρουσας ικανότητας υφιστάμενων κτιρίων, ανασχεδιασμός και επεμβάσεις"*, Αθήνα : Εθνικό Κέντρο Δημόσιας Διοίκησης - Ινστιτούτο Επιμόρφωσης, 2015.
- [12] **Μερτζιώτης Γ., Παπαβασιλείου Ι.**, *"Μέθοδοι επισκευής και ενίσχυσης από οπλισμένο σκυρόδεμα πειραματική εφαρμογή σε θλίψη"*, Διπλωματική εργασία, ΤΕΙ Αθήνας, 2015.
- [13] **Παπασεραφείμ Α.**, *"Ενίσχυση Κατασκευών με χρήση σύνθετων υλικών από Ινοπλισμένα Πολυμερή"*, Πάτρα : 13ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών, 2007.
- [14] **Σπυράκος Κ.**, *"Ενίσχυση Κατασκευών για Σεισμικά Φορτία"*, Αθήνα : Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2004.

- [15] Σταθοπούλου Μ., "Περίσφιξη υποστρωμάτων ορθογωνικής διατομής μεγάλου λόγου πλευρών με ινοπλισμένα πολυμερή", Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πάτρας, 2014.
- [16] Τάσιος Θ., "Θεωρία σχεδιασμού επισκευών και ενισχύσεων", ΕΜΠ, 2011
- [17] Τριανταφύλλου Α., "Δομικά Υλικά", Πάτρα, 2013.
- [18] Τριανταφύλλου Α., "Ενισχύσεις κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με ινοπλισμένα πλαστικά υλικά", 11ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Κέρκυρα, 1994.
- [19] Τριανταφύλλου Α., "Ενισχύσεις κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με σύνθετα υλικά (ινοπλισμένα πολυμερή)", Πάτρα, 2004.
- [20] Χουλιάρας Ι., "Κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος", Αθήνα, 2003.
- [21] Χριστοδούλου Μ., "Σύγκριση προμοιωμάτων για αποκατάσταση ανεπαρκών μηκών μάτισης ράβδων οπλισμού μέσω περίσφιξης με ινοπλισμένα πολυμερή υλικά", Πάτρα: 22ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών, 2016.

### Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- [22] Benzaid, R., "Contribution à l'étude des matériaux composites dans le renforcement et la réparation des éléments structuraux linéaires en béton. Thèse de Doctorat, INSA de Renne", France, 280 p. (In French), 2010
- [23] Demer, M., & Neale, K. W., "Strengthening of concrete columns with unidirectional composite sheets", In: Mufti, A.A., Bakht, B. and Jaeger, L.G. (eds), "Development in Short and Medium Span Bridge Engineering'94. Proceedings of the fourth International Conference on Short and Medium Span Bridges", Canadian Society For Civil Engineering, Montreal, Canada, 895-905, 1994
- [24] İki A., Kumbasar N., & Κοç, V., "Low and medium strength concrete members confined by fiber reinforced polymer jackets", *ARI The Bulletin of the Istanbul Technical University*, 53(1), 118-123, 2003
- [25] Jiang T., & Teng J. G., "Analysis-oriented stress-strain models for FRP-confined concrete", *Engineering Structures*, 29, 2968-2986, 2007
- [26] Lam, L., & Teng, J. G., "Design-oriented stress-strain model for FRP-confined concrete in rectangular columns. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*", 22(13), 1149-1186, 2003b
- [27] Lam, L., Teng, J. G., Cheung, C. H., & Xiao, Y., "FRP-confined concrete under axial cyclic compression. *Cement and Concrete Composites*", 28, 979-958, 2006
- [28] Matthys S., Toutanji H., Audenaert K., & Taerwe L, "Axial load behavior of large-scale columns confined with fiber-reinforced polymer composites", *ACI Structural Journal*, 102(2), 258-267, 2005



- [29] **Riad Benzaid, Habib-Abdelhak Mesbah** *"Circular and Square Concrete Columns Externally Confined by CFRP Composite: Experimental Investigation and Effective Strength Models, Fiber Reinforced Polymers - The Technology Applied for Concrete Repair"*, InTech, DOI: 10.5772/51589, 2013
- [30] **Rochette, P.** *"Confinement de Colonnes Courtes en Béton de Section Carrée ou Rectangulaire avec des Matériaux Composites. Maîtrise Es-Sciences Appliquées"*, Université de Sherbrooke, Canada, 115 p. (In French), 1996

### Διαδίκτυο

- [31] [www.domylco.gr](http://www.domylco.gr)
- [32] [www.episkeves.civil.upatras.gr](http://www.episkeves.civil.upatras.gr)
- [33] [www.hope.edu](http://www.hope.edu)
- [34] [www.leewens.com](http://www.leewens.com)
- [35] [www.sintecno.gr](http://www.sintecno.gr)
- [36] [www.strombergarchitectural.com](http://www.strombergarchitectural.com)
- [37] [www.structual.net](http://www.structual.net)
- [38] [www.truedellcorp.com](http://www.truedellcorp.com)

### Κανονισμοί

- [39] **ΕΚΩΣ 2000**, Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδος, ΦΕΚ 1329 τ.β' /06.11.2000
- [40] **Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές –ΕΤΕΠ**, ΦΕΚ 2221 τ.β' /30-07-2012
- [41] **Ευρωκώδικας 2 - Μέρος 1**, *"Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια"*, EN1992-1
- [42] **Ευρωκώδικας 8 - Μέρος 3**, *"Αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας και ενισχύσεις κτιρίων"*, EN1998-3
- [43] **ΚΑΝ.ΕΠΕ**, *"Κανονισμός επεμβάσεων"*, Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, 1η αναθεώρηση, ΦΕΚ 2187 τ.β' /05.09.2013
- [44] **Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος**, ΦΕΚ 315 τ.β' /17.04.1997
- [45] **Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος**, ΦΕΚ 1561 τ.β' /02.06.2016



"ΔΟΜΟΕΡΕΥΝΑ" – Γ. ΚΑΠΟΓΙΑΝΝΗΣ

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ-ΕΡΕΥΝΕΣ / ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ  
Εργ. Αρ. 1402.14

## II. ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Παρασκευάστηκαν κυβικά δοκίμια, ακμής 15 cm για τον έλεγχο αντοχής σε ηλικία 7 & 28 ημερών. Με τα προσκομισθέντα υλικά και τσιμέντο «ΤΙΤΑΝ» CEM I/42,5R εκτελέστηκαν οι παρακάτω συνθέσεις:

### II.1. ΣΥΝΘΕΣΗ ΓΙΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ C30/37

#### II.1.1. ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ 1M<sup>3</sup> ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

| ΥΛΙΚΑ  | ΠΟΣΟΤΗΤΑ<br>(% κατά βάρος<br>αδρανών) | ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΞΗΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ <sup>(*)</sup><br>(Kg) |
|--|---------------------------------------|--|
| ΑΜΜΟΣ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ<br>«ΑΡΑΓΩΝΙΤΗΣ ΑΕ»                     | 50,1                                  | 925  |
| ΓΑΡΜΠΙΛΙ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ<br>«ΑΡΑΓΩΝΙΤΗΣ ΑΕ»                  | 10,3                                  | 190  |
| ΧΑΛΙΚΙ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ<br>«ΑΡΑΓΩΝΙΤΗΣ ΑΕ»                    | 39,6                                  | 730  |
| ΤΣΙΜΕΝΤΟ «ΤΙΤΑΝ»<br>CEM I/ 42,5R                       |                                       | 340  |
| ΝΕΡΟ ΠΟΣΙΜΟ<br>ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΘΗΝΩΝ                          |                                       | 175  |
| ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΤΗΣ<br>«ΔΟΜΥΛΚΟ» CHEM 1              | (0,2% κ.β. τσιμέντου)                 | 0,68   |
| ΠΡΟΣΘΕΤΟ<br>ΥΠΕΡΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΗΣ<br>«ΔΟΜΥΛΚΟ» CHEMIUM 174 | (0,6% κ.β. τσιμέντου)                 | 2,0  |
| ΦΑΙΝ. ΒΑΡΟΣ ΣΚΥΡΟΔ.                                    |                                       | 2363   |

<sup>(\*)</sup> ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΒΑΣΕΙ ΤΟΥ Φ.Β. ΝΩΠΟΥ ΣΚΡΥΤΟΣ ΠΟΥ ΜΕΤΡΗΘΗΚΕ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ

#### II.1.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΝΘΕΣΗΣ

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| ΝΕΡΟ/ΤΣΙΜΕΝΤΟ (ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΝΕΡΟ)    | 0,51       |
| ΝΕΡΟ/ΤΣΙΜΕΝΤΟ (ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΝΕΡΟ) | 0,48       |
| ΚΑΘΙΣΗ (0')                      | 13,0cm     |
| ΚΑΘΙΣΗ (30')                     | 9,0cm      |
| ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΣΗΣ             | 19° C      |
| ΤΡΟΠΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ               | ΔΙΑ ΧΕΙΡΩΝ |

#### II.1.3. ΑΝΤΟΧΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ 15x15x15

| ΗΛΙΚΙΑ                                  | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ<br>(MPa)         |
|---|----------------------------------|
| ΑΝΤΟΧΕΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΕ ΗΛΙΚΙΑ 7<br>ΗΜΕΡΩΝ  | 36,8 37,0<br>Μ.Ο. 36,9           |
| ΑΝΤΟΧΕΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΕ ΗΛΙΚΙΑ 28<br>ΗΜΕΡΩΝ | 42,9 43,1 43,3 42,8<br>Μ.Ο. 43,0 |

ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ  
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ-ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ  
ΕΥΑΓΓΕΛΙΣΤΡΙΑΣ 82-84, ΠΑΝΟΡΑ  
ΤΗΛ: 210 9582145 FAX: 210 9582146  
WWW.DOMOERYNA.GR

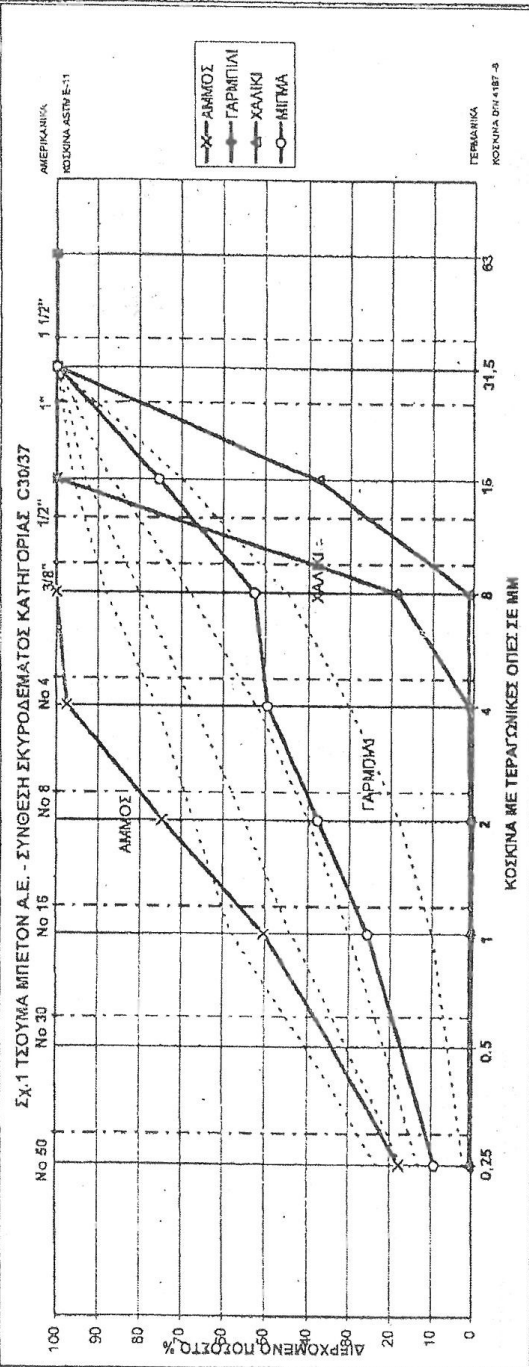
Αρ. Έγκρισης 1402.16

"ΔΩΜΟΡΕΥΤΙΑ" - Γ. ΚΑΛΟΓΙΑΝΝΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ  
ΥΠΟ ΤΗΝ ΕΠΟΡΤΕΙΑ ΤΟΥ ΥΠΕΧΩΔΕ

**ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ & ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ**

| ΓΕΡΜΑΝΙΚΑ ΚΟΣΚΙΝΑ   | ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ & ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ |          |        | ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ |
|---------------------|--|----------|--------|-----------------------------|
|                     | ΑΜΜΟΣ  | ΓΑΡΜΠΙΛΙ | ΧΑΛΙΚΙ |                             |
| 63                  | 100  | 100      | 100    | 100,0                       |
| 31,5                | 100  | 100      | 100    | 100,0                       |
| 16                  | 100  | 100      | 37,8   | 75,4                        |
| 8                   | 100  | 18,4     | 1,3    | 52,5                        |
| 4                   | 97,5   | 1,0      | 1,2    | 49,4                        |
| 2                   | 74,6   | 0,7      | 0,8    | 37,8                        |
| 1                   | 50,2   | 0,5      | 0,7    | 25,5                        |
| 0,25                | 17,8   | 0,5      | 0,6    | 9,2                         |
| ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΑΡΑΛΗΣ (%) | 11,2   | 0,5      | 0,6    |                             |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΕΣΜΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ  
ΚΕΝΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ Η.Σ.Ι.Α  
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΛΛΑΔΟΣ  
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ  
ΑΘΗΝΑ, ΠΥΡΡΟΥ 24, Τ.Κ. 11527



**Παράρτημα Β – Πινάκες υπολογισμών διαγραμμάτων**

Πινάκας υπολογισμού διαγραμμάτων κυβικού δοκιμίου

| <b>Κυβικό Δοκίμιο</b>   |                     |                         |                    |                              |
|-------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|------------------------------|
| <b>σ</b>                | <b>Διόρθωση</b>     | <b>Βοηθητική ευθεία</b> | <b>Διορθωμένη</b>  | <b>Βοηθητική ευθεία</b>      |
|                         | <b>πειραματικού</b> | <b>διόρθωσης</b>        | <b>τιμή ε</b>      | <b>υπολογισμού ελαστικής</b> |
| <b>τάση</b>             | <b>σφάλματος</b>    | <b>πειραματικού</b>     | <b>παραμόρφωση</b> | <b>περιοχής παράλληλη</b>    |
| <b>N/mm<sup>2</sup></b> | <b>%ε</b>           | <b>σφάλματος</b>        | <b>%ε</b>          | <b>στο 0.01 %ε</b>           |
| 0.00                    | 0.00                | 0.16                    | 0.00               | 0.01                         |
| 0.44                    | 0.00                | 0.17                    | 0.01               | 0.02                         |
| 0.89                    | 0.00                | 0.19                    | 0.03               | 0.04                         |
| 1.33                    | 0.04                | 0.20                    | 0.04               | 0.05                         |
| 1.78                    | 0.09                | 0.21                    | 0.05               | 0.06                         |
| 2.22                    | 0.12                | 0.23                    | 0.07               | 0.08                         |
| 2.67                    | 0.14                | 0.24                    | 0.08               | 0.09                         |
| 3.11                    | 0.16                | 0.25                    | 0.09               | 0.10                         |
| 3.56                    | 0.18                | 0.27                    | 0.11               | 0.12                         |
| 4.00                    | 0.19                | 0.28                    | 0.12               | 0.13                         |
| 4.44                    | 0.21                | 0.30                    | 0.14               | 0.15                         |
| 4.89                    | 0.23                | 0.31                    | 0.15               | 0.16                         |
| 5.33                    | 0.25                | 0.32                    | 0.16               | 0.17                         |
| 5.78                    | 0.27                | 0.34                    | 0.18               | 0.19                         |
| 6.22                    | 0.29                | 0.35                    | 0.19               | 0.20                         |
| 6.67                    | 0.31                | 0.36                    | 0.20               | 0.21                         |
| 7.11                    | 0.33                | 0.38                    | 0.22               | 0.23                         |
| 7.56                    | 0.35                | 0.39                    | 0.23               | 0.24                         |
| 8.00                    | 0.37                | 0.40                    | 0.24               | 0.25                         |
| 8.44                    | 0.39                | 0.42                    | 0.26               | 0.27                         |
| 8.89                    | 0.41                | 0.43                    | 0.27               | 0.28                         |
| 9.33                    | 0.43                | 0.44                    | 0.28               | 0.29                         |
| 9.78                    | 0.45                | 0.46                    | 0.30               | 0.31                         |
| 10.22                   | 0.47                | 0.47                    | 0.31               | 0.32                         |
| 10.67                   | 0.48                | 0.48                    | 0.32               | 0.33                         |
| 11.11                   | 0.50                | 0.50                    | 0.34               | 0.35                         |
| 11.56                   | 0.51                | 0.51                    | 0.35               | 0.36                         |
| 12.00                   | 0.52                | 0.52                    | 0.36               | 0.37                         |
| 12.44                   | 0.54                | 0.54                    | 0.38               | 0.39                         |
| 12.89                   | 0.55                | 0.55                    | 0.39               | 0.40                         |
| 13.33                   | 0.57                | 0.57                    | 0.41               | 0.42                         |
| 13.78                   | 0.58                | 0.58                    | 0.42               | 0.43                         |
| 14.22                   | 0.59                | 0.59                    | 0.43               | 0.44                         |
| 14.67                   | 0.61                | 0.61                    | 0.45               | 0.46                         |
| 15.11                   | 0.62                | 0.62                    | 0.46               | 0.47                         |
| 15.56                   | 0.63                | 0.63                    | 0.47               | 0.48                         |
| 16.00                   | 0.65                | 0.65                    | 0.49               | 0.50                         |

| <b>Κυβικό Δοκίμιο</b>   |                     |                         |                    |                              |
|-------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|------------------------------|
| <b>σ</b>                | <b>Διόρθωση</b>     | <b>Βοηθητική ευθεία</b> | <b>Διορθωμένη</b>  | <b>Βοηθητική ευθεία</b>      |
|                         | <b>πειραματικού</b> | <b>διόρθωσης</b>        | <b>τιμή ε</b>      | <b>υπολογισμού ελαστικής</b> |
| <b>τάση</b>             | <b>σφάλματος</b>    | <b>πειραματικού</b>     | <b>παραμόρφωση</b> | <b>περιοχής παράλληλη</b>    |
| <b>N/mm<sup>2</sup></b> | <b>‰</b>            | <b>σφάλματος</b>        | <b>‰</b>           | <b>στο 0.01 ‰</b>            |
| 16.44                   | 0.66                | 0.66                    | 0.50               | 0.51                         |
| 16.89                   | 0.67                | 0.67                    | 0.51               | 0.52                         |
| 17.33                   | 0.69                | 0.69                    | 0.53               | 0.54                         |
| 17.78                   | 0.70                | 0.70                    | 0.54               | 0.55                         |
| 18.22                   | 0.71                | 0.71                    | 0.55               | 0.56                         |
| 18.67                   | 0.73                | 0.73                    | 0.57               | 0.58                         |
| 19.11                   | 0.74                | 0.74                    | 0.58               | 0.59                         |
| 19.56                   | 0.75                | 0.75                    | 0.59               | 0.60                         |
| 20.00                   | 0.77                | 0.77                    | 0.61               | 0.62                         |
| 20.44                   | 0.78                | 0.78                    | 0.62               | 0.63                         |
| 20.89                   | 0.79                | 0.79                    | 0.63               | 0.64                         |
| 21.33                   | 0.81                | 0.81                    | 0.65               | 0.66                         |
| 21.78                   | 0.82                | 0.82                    | 0.66               | 0.67                         |
| 22.22                   | 0.84                | 0.83                    | 0.68               | 0.69                         |
| 22.67                   | 0.85                | 0.85                    | 0.69               | 0.70                         |
| 23.11                   | 0.86                | 0.86                    | 0.70               | 0.71                         |
| 23.56                   | 0.88                | 0.88                    | 0.72               | 0.73                         |
| 24.00                   | 0.89                | 0.89                    | 0.73               | 0.74                         |
| 24.44                   | 0.90                | 0.90                    | 0.74               | 0.75                         |
| 24.89                   | 0.92                | 0.92                    | 0.76               | 0.77                         |
| 25.33                   | 0.93                | 0.93                    | 0.77               | 0.78                         |
| 25.78                   | 0.94                | 0.94                    | 0.78               | 0.79                         |
| 26.22                   | 0.96                | 0.96                    | 0.80               | 0.81                         |
| 26.67                   | 0.97                | 0.97                    | 0.81               | 0.82                         |
| 27.11                   | 0.98                | 0.98                    | 0.82               | 0.83                         |
| 27.56                   | 1.00                | 1.00                    | 0.84               | 0.85                         |
| 28.00                   | 1.01                | 1.01                    | 0.85               | 0.86                         |
| 28.44                   | 1.02                | 1.02                    | 0.86               | 0.87                         |
| 28.89                   | 1.04                | 1.04                    | 0.88               | 0.89                         |
| 29.33                   | 1.05                | 1.05                    | 0.89               | 0.90                         |
| 29.78                   | 1.06                | 1.06                    | 0.90               | 0.91                         |
| 30.22                   | 1.08                | 1.08                    | 0.92               | 0.93                         |
| 30.67                   | 1.09                | 1.09                    | 0.93               | 0.94                         |
| 31.11                   | 1.11                | 1.11                    | 0.94               | 0.95                         |
| 31.56                   | 1.12                | 1.12                    | 0.96               | 0.97                         |
| 32.00                   | 1.13                | 1.13                    | 0.97               | 0.98                         |
| 32.44                   | 1.15                | 1.15                    | 0.99               | 1.00                         |
| 32.89                   | 1.16                | 1.16                    | 1.00               | 1.01                         |
| 33.33                   | 1.17                | 1.17                    | 1.01               | 1.02                         |
| 33.78                   | 1.19                | 1.19                    | 1.03               | 1.04                         |
| 34.22                   | 1.20                | 1.20                    | 1.04               | 1.05                         |

| <b>Κυβικό Δοκίμιο</b>   |                     |                         |                    |                              |
|-------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|------------------------------|
| <b>σ</b>                | <b>Διόρθωση</b>     | <b>Βοηθητική ευθεία</b> | <b>Διορθωμένη</b>  | <b>Βοηθητική ευθεία</b>      |
|                         | <b>πειραματικού</b> | <b>διόρθωσης</b>        | <b>τιμή ε</b>      | <b>υπολογισμού ελαστικής</b> |
| <b>τάση</b>             | <b>σφάλματος</b>    | <b>πειραματικού</b>     | <b>παραμόρφωση</b> | <b>περιοχής παράλληλη</b>    |
| <b>N/mm<sup>2</sup></b> | <b>‰</b>            | <b>σφάλματος</b>        | <b>‰</b>           | <b>στο 0.01 ‰</b>            |
| 34.67                   | 1.21                | 1.21                    | 1.05               | 1.06                         |
| 35.11                   | 1.23                | 1.23                    | 1.07               | 1.08                         |
| 35.56                   | 1.24                | 1.24                    | 1.08               | 1.09                         |
| 36.00                   | 1.25                | 1.25                    | 1.09               | 1.10                         |
| 36.44                   | 1.27                | 1.27                    | 1.11               | 1.12                         |
| 36.89                   | 1.29                | 1.28                    | 1.13               | 1.13                         |
| 37.33                   | 1.31                | 1.29                    | 1.15               | 1.14                         |
| 37.78                   | 1.34                | 1.31                    | 1.18               | 1.16                         |
| 38.22                   | 1.37                | 1.32                    | 1.21               | 1.17                         |
| 38.67                   | 1.40                | 1.33                    | 1.24               | 1.18                         |
| 39.11                   | 1.44                | 1.35                    | 1.28               | 1.20                         |
| 39.56                   | 1.48                | 1.36                    | 1.32               | 1.21                         |
| 40.00                   | 1.52                | 1.38                    | 1.36               | 1.23                         |
| 40.44                   | 1.57                | 1.39                    | 1.41               | 1.24                         |
| 40.89                   | 1.62                | 1.40                    | 1.46               | 1.25                         |
| 41.33                   | 1.67                | 1.42                    | 1.51               | 1.27                         |
| 41.78                   | 1.72                | 1.43                    | 1.56               | 1.28                         |
| 42.22                   | 1.82                | 1.44                    | 1.66               | 1.29                         |
| 42.67                   | 1.92                | 1.46                    | 1.76               | 1.31                         |
| 43.11                   | 2.08                | 1.47                    | 1.92               | 1.32                         |
| 43.56                   | 2.41                | 1.48                    | 2.25               | 1.33                         |
| 44.00                   | 2.96                | 1.50                    | 2.80               | 1.35                         |
| 44.31                   | 3.49                | 1.51                    | 3.33               | 1.36                         |

Πινάκας υπολογισμού διαγραμμάτων κυβικού δοκιμίου με CFRP

| <b>Κυβικό Δοκίμιο με CFRP</b> |                        |                              |
|-------------------------------|------------------------|------------------------------|
| <b>σ</b>                      | <b>Διορθωμένη τιμή</b> | <b>Βοηθητική ευθεία</b>      |
|                               | <b>ε</b>               | <b>υπολογισμού ελαστικής</b> |
| <b>τάση</b>                   | <b>παραμόρφωση</b>     | <b>περιοχής παράλληλη</b>    |
| <b>N/mm<sup>2</sup></b>       | <b>‰</b>               | <b>στο 0.01 ‰</b>            |
| 0.00                          | 0.00                   | 0.01                         |
| 0.44                          | 0.01                   | 0.02                         |
| 0.89                          | 0.03                   | 0.04                         |
| 1.33                          | 0.04                   | 0.05                         |
| 1.78                          | 0.05                   | 0.06                         |
| 2.22                          | 0.07                   | 0.08                         |
| 2.67                          | 0.08                   | 0.09                         |
| 3.11                          | 0.09                   | 0.10                         |
| 3.56                          | 0.11                   | 0.12                         |
| 4.00                          | 0.12                   | 0.13                         |
| 4.44                          | 0.14                   | 0.15                         |
| 4.89                          | 0.15                   | 0.16                         |
| 5.33                          | 0.16                   | 0.17                         |
| 5.78                          | 0.18                   | 0.19                         |
| 6.22                          | 0.19                   | 0.20                         |
| 6.67                          | 0.20                   | 0.21                         |
| 7.11                          | 0.22                   | 0.23                         |
| 7.56                          | 0.23                   | 0.24                         |
| 8.00                          | 0.24                   | 0.25                         |
| 8.44                          | 0.26                   | 0.27                         |
| 8.89                          | 0.27                   | 0.28                         |
| 9.33                          | 0.28                   | 0.29                         |
| 9.78                          | 0.30                   | 0.31                         |
| 10.22                         | 0.31                   | 0.32                         |
| 10.67                         | 0.32                   | 0.33                         |
| 11.11                         | 0.34                   | 0.35                         |
| 11.56                         | 0.35                   | 0.36                         |
| 12.00                         | 0.36                   | 0.37                         |
| 12.44                         | 0.38                   | 0.39                         |
| 12.89                         | 0.39                   | 0.40                         |
| 13.33                         | 0.41                   | 0.42                         |
| 13.78                         | 0.42                   | 0.43                         |
| 14.22                         | 0.43                   | 0.44                         |
| 14.67                         | 0.45                   | 0.46                         |
| 15.11                         | 0.46                   | 0.47                         |
| 15.56                         | 0.47                   | 0.48                         |
| 16.00                         | 0.49                   | 0.50                         |
| 16.44                         | 0.50                   | 0.51                         |
| 16.89                         | 0.51                   | 0.52                         |
| 17.33                         | 0.53                   | 0.54                         |



| <b>Κυβικό Δοκίμιο με CFRP</b> |                        |                              |
|-------------------------------|------------------------|------------------------------|
| <b>σ</b>                      | <b>Διορθωμένη τιμή</b> | <b>Βοηθητική ευθεία</b>      |
|                               | <b>ε</b>               | <b>υπολογισμού ελαστικής</b> |
| <b>τάση</b>                   | <b>παραμόρφωση</b>     | <b>περιοχής παράλληλη</b>    |
| <b>N/mm<sup>2</sup></b>       | <b>‰</b>               | <b>στο 0.01 ‰</b>            |
| 17.78                         | 0.54                   | 0.55                         |
| 18.22                         | 0.55                   | 0.56                         |
| 18.67                         | 0.57                   | 0.58                         |
| 19.11                         | 0.58                   | 0.59                         |
| 19.56                         | 0.59                   | 0.60                         |
| 20.00                         | 0.61                   | 0.62                         |
| 20.44                         | 0.62                   | 0.63                         |
| 20.89                         | 0.63                   | 0.64                         |
| 21.33                         | 0.65                   | 0.66                         |
| 21.78                         | 0.66                   | 0.67                         |
| 22.22                         | 0.68                   | 0.69                         |
| 22.67                         | 0.69                   | 0.70                         |
| 23.11                         | 0.70                   | 0.71                         |
| 23.56                         | 0.72                   | 0.73                         |
| 24.00                         | 0.73                   | 0.74                         |
| 24.44                         | 0.74                   | 0.75                         |
| 24.89                         | 0.76                   | 0.77                         |
| 25.33                         | 0.77                   | 0.78                         |
| 25.78                         | 0.78                   | 0.79                         |
| 26.22                         | 0.80                   | 0.81                         |
| 26.67                         | 0.81                   | 0.82                         |
| 27.11                         | 0.82                   | 0.83                         |
| 27.56                         | 0.84                   | 0.85                         |
| 28.00                         | 0.85                   | 0.86                         |
| 28.44                         | 0.86                   | 0.87                         |
| 28.89                         | 0.88                   | 0.89                         |
| 29.33                         | 0.89                   | 0.90                         |
| 29.78                         | 0.90                   | 0.91                         |
| 30.22                         | 0.92                   | 0.93                         |
| 30.67                         | 0.93                   | 0.94                         |
| 31.11                         | 0.94                   | 0.95                         |
| 31.56                         | 0.96                   | 0.97                         |
| 32.00                         | 0.97                   | 0.98                         |
| 32.44                         | 0.99                   | 1.00                         |
| 32.89                         | 1.00                   | 1.01                         |
| 33.33                         | 1.01                   | 1.02                         |
| 33.78                         | 1.03                   | 1.04                         |
| 34.22                         | 1.04                   | 1.05                         |
| 34.67                         | 1.05                   | 1.06                         |
| 35.11                         | 1.07                   | 1.08                         |
| 35.56                         | 1.08                   | 1.09                         |

| <b>Κυβικό Δοκίμο με CFRP</b> |                        |                              |
|------------------------------|------------------------|------------------------------|
| <b>σ</b>                     | <b>Διορθωμένη τιμή</b> | <b>Βοηθητική ευθεία</b>      |
|                              | <b>ε</b>               | <b>υπολογισμού ελαστικής</b> |
| <b>τάση</b>                  | <b>παραμόρφωση</b>     | <b>περιοχής παράλληλη</b>    |
| <b>N/mm<sup>2</sup></b>      | <b>‰</b>               | <b>στο 0.01 ‰</b>            |
| 36.00                        | 1.09                   | 1.10                         |
| 36.44                        | 1.11                   | 1.12                         |
| 36.89                        | 1.12                   | 1.13                         |
| 37.33                        | 1.13                   | 1.14                         |
| 37.78                        | 1.15                   | 1.16                         |
| 38.22                        | 1.16                   | 1.17                         |
| 38.67                        | 1.17                   | 1.18                         |
| 39.11                        | 1.19                   | 1.20                         |
| 39.56                        | 1.20                   | 1.21                         |
| 40.00                        | 1.22                   | 1.23                         |
| 40.44                        | 1.23                   | 1.24                         |
| 40.89                        | 1.24                   | 1.25                         |
| 41.33                        | 1.26                   | 1.27                         |
| 41.78                        | 1.27                   | 1.28                         |
| 42.22                        | 1.28                   | 1.29                         |
| 42.67                        | 1.30                   | 1.31                         |
| 43.11                        | 1.31                   | 1.32                         |
| 43.56                        | 1.32                   | 1.33                         |
| 44.00                        | 1.34                   | 1.35                         |
| 44.31                        | 1.36                   | 1.36                         |
| 44.44                        | 1.38                   | 1.37                         |
| 44.89                        | 1.41                   | 1.39                         |
| 45.33                        | 1.44                   | 1.40                         |
| 45.78                        | 1.47                   | 1.41                         |
| 46.22                        | 1.51                   | 1.43                         |
| 46.67                        | 1.55                   | 1.44                         |
| 47.11                        | 1.59                   | 1.45                         |
| 47.56                        | 1.64                   | 1.47                         |
| 48.00                        | 1.69                   | 1.48                         |
| 48.44                        | 1.74                   | 1.50                         |
| 48.89                        | 1.80                   | 1.51                         |
| 49.33                        | 1.86                   | 1.52                         |
| 49.78                        | 1.92                   | 1.54                         |
| 50.22                        | 1.99                   | 1.55                         |
| 50.67                        | 2.06                   | 1.56                         |
| 51.11                        | 2.13                   | 1.58                         |
| 51.56                        | 2.23                   | 1.59                         |
| 52.00                        | 2.33                   | 1.60                         |
| 52.44                        | 2.43                   | 1.62                         |
| 52.89                        | 2.55                   | 1.63                         |
| 53.33                        | 2.67                   | 1.64                         |

| <b>Κυβικό Δοκίμο με CFRP</b> |                        |                              |
|------------------------------|------------------------|------------------------------|
| <b>σ</b>                     | <b>Διορθωμένη τιμή</b> | <b>Βοηθητική ευθεία</b>      |
|                              | <b>ε</b>               | <b>υπολογισμού ελαστικής</b> |
| <b>τάση</b>                  | <b>παραμόρφωση</b>     | <b>περιοχής παράλληλη</b>    |
| <b>N/mm<sup>2</sup></b>      | <b>‰</b>               | <b>στο 0.01 ‰</b>            |
| 53.78                        | 2.83                   | 1.66                         |
| 54.22                        | 2.98                   | 1.67                         |
| 54.67                        | 3.18                   | 1.68                         |
| 55.11                        | 3.40                   | 1.70                         |
| 55.56                        | 3.65                   | 1.71                         |
| 56.00                        | 3.90                   | 1.72                         |
| 56.44                        | 4.21                   | 1.74                         |
| 56.89                        | 4.55                   | 1.75                         |
| 57.33                        | 4.90                   | 1.77                         |
| 57.78                        | 5.54                   | 1.78                         |
| 58.09                        | 6.24                   | 1.79                         |

Πινάκας υπολογισμού διαγραμμάτων κυλινδρικού δοκιμίου

| <b>Κυλινδρικό Δοκίμιο</b> |                        |                              |
|---------------------------|------------------------|------------------------------|
| <b>σ</b>                  | <b>Διορθωμένη τιμή</b> | <b>Βοηθητική ευθεία</b>      |
|                           | <b>ε</b>               | <b>υπολογισμού ελαστικής</b> |
| <b>τάση</b>               | <b>παραμόρφωση</b>     | <b>περιοχής παράλληλη</b>    |
| <b>N/mm<sup>2</sup></b>   | <b>‰</b>               | <b>στο 0.01 ‰</b>            |
| 0.00                      | 0.00                   | 0.01                         |
| 0.57                      | 0.02                   | 0.03                         |
| 1.13                      | 0.03                   | 0.04                         |
| 1.70                      | 0.05                   | 0.06                         |
| 2.26                      | 0.07                   | 0.08                         |
| 2.83                      | 0.09                   | 0.10                         |
| 3.40                      | 0.10                   | 0.11                         |
| 3.96                      | 0.12                   | 0.13                         |
| 4.53                      | 0.14                   | 0.15                         |
| 5.09                      | 0.15                   | 0.16                         |
| 5.66                      | 0.17                   | 0.18                         |
| 6.22                      | 0.19                   | 0.20                         |
| 6.79                      | 0.21                   | 0.22                         |
| 7.36                      | 0.22                   | 0.23                         |
| 7.92                      | 0.24                   | 0.25                         |
| 8.49                      | 0.26                   | 0.27                         |
| 9.05                      | 0.27                   | 0.28                         |
| 9.62                      | 0.29                   | 0.30                         |
| 10.19                     | 0.31                   | 0.32                         |
| 10.75                     | 0.33                   | 0.34                         |
| 11.32                     | 0.34                   | 0.35                         |
| 11.88                     | 0.36                   | 0.37                         |
| 12.45                     | 0.38                   | 0.39                         |
| 13.02                     | 0.39                   | 0.40                         |
| 13.58                     | 0.41                   | 0.42                         |
| 14.15                     | 0.43                   | 0.44                         |
| 14.71                     | 0.45                   | 0.46                         |
| 15.28                     | 0.46                   | 0.47                         |
| 15.84                     | 0.48                   | 0.49                         |
| 16.41                     | 0.50                   | 0.51                         |
| 16.98                     | 0.51                   | 0.52                         |
| 17.54                     | 0.53                   | 0.54                         |
| 18.11                     | 0.55                   | 0.56                         |
| 18.67                     | 0.57                   | 0.58                         |
| 19.24                     | 0.58                   | 0.59                         |
| 19.81                     | 0.60                   | 0.61                         |
| 20.37                     | 0.62                   | 0.63                         |
| 20.94                     | 0.63                   | 0.64                         |
| 21.50                     | 0.65                   | 0.66                         |
| 22.07                     | 0.67                   | 0.68                         |

| <b>Κυλινδρικό Δοκίμιο</b> |                        |                              |
|---------------------------|------------------------|------------------------------|
| <b>σ</b>                  | <b>Διορθωμένη τιμή</b> | <b>Βοηθητική ευθεία</b>      |
|                           | <b>ε</b>               | <b>υπολογισμού ελαστικής</b> |
| <b>τάση</b>               | <b>παραμόρφωση</b>     | <b>περιοχής παράλληλη</b>    |
| <b>N/mm<sup>2</sup></b>   | <b>‰</b>               | <b>στο 0.01 ‰</b>            |
| 22.64                     | 0.69                   | 0.70                         |
| 23.20                     | 0.70                   | 0.71                         |
| 23.77                     | 0.72                   | 0.73                         |
| 24.33                     | 0.74                   | 0.75                         |
| 24.90                     | 0.75                   | 0.76                         |
| 25.46                     | 0.77                   | 0.78                         |
| 26.03                     | 0.79                   | 0.80                         |
| 26.60                     | 0.81                   | 0.82                         |
| 27.16                     | 0.82                   | 0.83                         |
| 27.73                     | 0.84                   | 0.85                         |
| 28.29                     | 0.86                   | 0.87                         |
| 28.86                     | 0.89                   | 0.88                         |
| 29.43                     | 0.92                   | 0.90                         |
| 29.99                     | 0.96                   | 0.92                         |
| 30.56                     | 1.00                   | 0.94                         |
| 31.12                     | 1.04                   | 0.95                         |
| 31.69                     | 1.09                   | 0.97                         |
| 32.26                     | 1.14                   | 0.99                         |
| 32.82                     | 1.19                   | 1.00                         |
| 33.39                     | 1.25                   | 1.02                         |
| 33.95                     | 1.35                   | 1.04                         |
| 34.52                     | 1.50                   | 1.06                         |
| 35.08                     | 1.70                   | 1.07                         |
| 35.65                     | 2.00                   | 1.09                         |
| 36.22                     | 2.44                   | 1.11                         |
| 36.78                     | 2.88                   | 1.12                         |
| 37.01                     | 3.14                   | 1.14                         |

Πινάκας υπολογισμού διαγραμμάτων κυλινδρικού δοκιμίου με CFRP

| <b>Κυλινδρικό Δοκίμιο με CFRP</b> |                        |                              |
|-----------------------------------|------------------------|------------------------------|
| <b>σ</b>                          | <b>Διορθωμένη τιμή</b> | <b>Βοηθητική ευθεία</b>      |
|                                   | <b>ε</b>               | <b>υπολογισμού ελαστικής</b> |
| <b>τάση</b>                       | <b>παραμόρφωση</b>     | <b>περιοχής παράλληλη</b>    |
| <b>N/mm<sup>2</sup></b>           | <b>‰</b>               | <b>στο 0.01 ‰</b>            |
| 0.00                              | 0.00                   | 0.01                         |
| 0.57                              | 0.02                   | 0.03                         |
| 1.13                              | 0.03                   | 0.04                         |
| 1.70                              | 0.05                   | 0.06                         |
| 2.26                              | 0.07                   | 0.08                         |
| 2.83                              | 0.09                   | 0.10                         |
| 3.40                              | 0.10                   | 0.11                         |
| 3.96                              | 0.12                   | 0.13                         |
| 4.53                              | 0.14                   | 0.15                         |
| 5.09                              | 0.15                   | 0.16                         |
| 5.66                              | 0.17                   | 0.18                         |
| 6.22                              | 0.19                   | 0.20                         |
| 6.79                              | 0.21                   | 0.22                         |
| 7.36                              | 0.22                   | 0.23                         |
| 7.92                              | 0.24                   | 0.25                         |
| 8.49                              | 0.26                   | 0.27                         |
| 9.05                              | 0.27                   | 0.28                         |
| 9.62                              | 0.29                   | 0.30                         |
| 10.19                             | 0.31                   | 0.32                         |
| 10.75                             | 0.33                   | 0.34                         |
| 11.32                             | 0.34                   | 0.35                         |
| 11.88                             | 0.36                   | 0.37                         |
| 12.45                             | 0.38                   | 0.39                         |
| 13.02                             | 0.39                   | 0.40                         |
| 13.58                             | 0.41                   | 0.42                         |
| 14.15                             | 0.43                   | 0.44                         |
| 14.71                             | 0.45                   | 0.46                         |
| 15.28                             | 0.46                   | 0.47                         |
| 15.84                             | 0.48                   | 0.49                         |
| 16.41                             | 0.50                   | 0.51                         |
| 16.98                             | 0.51                   | 0.52                         |
| 17.54                             | 0.53                   | 0.54                         |
| 18.11                             | 0.55                   | 0.56                         |
| 18.67                             | 0.57                   | 0.58                         |
| 19.24                             | 0.58                   | 0.59                         |
| 19.81                             | 0.60                   | 0.61                         |
| 20.37                             | 0.62                   | 0.63                         |
| 20.94                             | 0.63                   | 0.64                         |
| 21.50                             | 0.65                   | 0.66                         |
| 22.07                             | 0.67                   | 0.68                         |

| <b>Κυλινδρικό Δοκίμιο με CFRP</b> |                        |                              |
|-----------------------------------|------------------------|------------------------------|
| <b>σ</b>                          | <b>Διορθωμένη τιμή</b> | <b>Βοηθητική ευθεία</b>      |
|                                   | <b>ε</b>               | <b>υπολογισμού ελαστικής</b> |
| <b>τάση</b>                       | <b>παραμόρφωση</b>     | <b>περιοχής παράλληλη</b>    |
| <b>N/mm<sup>2</sup></b>           | <b>%</b>               | <b>στο 0.01 %</b>            |
| 22.64                             | 0.69                   | 0.70                         |
| 23.20                             | 0.70                   | 0.71                         |
| 23.77                             | 0.72                   | 0.73                         |
| 24.33                             | 0.74                   | 0.75                         |
| 24.90                             | 0.75                   | 0.76                         |
| 25.46                             | 0.77                   | 0.78                         |
| 26.03                             | 0.79                   | 0.80                         |
| 26.60                             | 0.81                   | 0.82                         |
| 27.16                             | 0.82                   | 0.83                         |
| 27.73                             | 0.84                   | 0.85                         |
| 28.29                             | 0.86                   | 0.87                         |
| 28.86                             | 0.87                   | 0.88                         |
| 29.43                             | 0.89                   | 0.90                         |
| 29.99                             | 0.91                   | 0.92                         |
| 30.56                             | 0.93                   | 0.94                         |
| 31.12                             | 0.94                   | 0.95                         |
| 31.69                             | 0.96                   | 0.97                         |
| 32.26                             | 0.98                   | 0.99                         |
| 32.82                             | 0.99                   | 1.00                         |
| 33.39                             | 1.01                   | 1.02                         |
| 33.95                             | 1.03                   | 1.04                         |
| 34.52                             | 1.05                   | 1.06                         |
| 35.08                             | 1.06                   | 1.07                         |
| 35.65                             | 1.08                   | 1.09                         |
| 36.22                             | 1.10                   | 1.11                         |
| 36.78                             | 1.11                   | 1.12                         |
| 37.01                             | 1.14                   | 1.14                         |
| 37.35                             | 1.17                   | 1.16                         |
| 37.91                             | 1.20                   | 1.18                         |
| 38.48                             | 1.23                   | 1.19                         |
| 39.05                             | 1.26                   | 1.21                         |
| 39.61                             | 1.29                   | 1.23                         |
| 40.18                             | 1.32                   | 1.24                         |
| 40.74                             | 1.35                   | 1.26                         |
| 41.31                             | 1.38                   | 1.28                         |
| 41.88                             | 1.42                   | 1.30                         |
| 42.44                             | 1.46                   | 1.31                         |
| 43.01                             | 1.50                   | 1.33                         |
| 43.57                             | 1.54                   | 1.35                         |
| 44.14                             | 1.58                   | 1.36                         |
| 44.70                             | 1.62                   | 1.38                         |

| <b>Κυλινδρικό Δοκίμιο με CFRP</b> |                        |                              |
|-----------------------------------|------------------------|------------------------------|
| <b>σ</b>                          | <b>Διορθωμένη τιμή</b> | <b>Βοηθητική ευθεία</b>      |
|                                   | <b>ε</b>               | <b>υπολογισμού ελαστικής</b> |
| <b>τάση</b>                       | <b>παραμόρφωση</b>     | <b>περιοχής παράλληλη</b>    |
| <b>N/mm<sup>2</sup></b>           | <b>%</b>               | <b>στο 0.01 %</b>            |
| 45.27                             | 1.66                   | 1.40                         |
| 45.84                             | 1.70                   | 1.42                         |
| 46.40                             | 1.74                   | 1.43                         |
| 46.97                             | 1.78                   | 1.45                         |
| 47.53                             | 1.82                   | 1.47                         |
| 48.10                             | 1.87                   | 1.48                         |
| 48.67                             | 1.92                   | 1.50                         |
| 49.23                             | 1.97                   | 1.52                         |
| 49.80                             | 2.02                   | 1.54                         |
| 50.36                             | 2.07                   | 1.55                         |
| 50.93                             | 2.12                   | 1.57                         |
| 51.50                             | 2.17                   | 1.59                         |
| 52.06                             | 2.22                   | 1.60                         |
| 52.63                             | 2.27                   | 1.62                         |
| 53.19                             | 2.32                   | 1.64                         |
| 53.76                             | 2.38                   | 1.66                         |
| 54.32                             | 2.44                   | 1.67                         |
| 54.89                             | 2.50                   | 1.69                         |
| 55.46                             | 2.56                   | 1.71                         |
| 56.02                             | 2.62                   | 1.72                         |
| 56.59                             | 2.68                   | 1.74                         |
| 57.15                             | 2.74                   | 1.76                         |
| 57.72                             | 2.80                   | 1.78                         |
| 58.29                             | 2.86                   | 1.79                         |
| 58.85                             | 2.93                   | 1.81                         |
| 59.42                             | 3.00                   | 1.83                         |
| 59.98                             | 3.07                   | 1.84                         |
| 60.55                             | 3.14                   | 1.86                         |
| 61.12                             | 3.21                   | 1.88                         |
| 61.68                             | 3.28                   | 1.90                         |
| 62.25                             | 3.35                   | 1.91                         |
| 62.81                             | 3.42                   | 1.93                         |
| 63.38                             | 3.49                   | 1.95                         |
| 63.94                             | 3.56                   | 1.96                         |
| 64.51                             | 3.65                   | 1.98                         |
| 65.08                             | 3.74                   | 2.00                         |
| 65.64                             | 3.83                   | 2.02                         |
| 66.21                             | 3.92                   | 2.03                         |
| 66.77                             | 4.09                   | 2.05                         |
| 67.34                             | 4.26                   | 2.07                         |
| 67.91                             | 4.43                   | 2.08                         |



| <b>Κυλινδρικό Δοκίμιο με CFRP</b> |                              |                              |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| <b><math>\sigma</math></b>        | <b>Διορθωμένη τιμή</b>       | <b>Βοηθητική ευθεία</b>      |
| <b>τάση</b>                       | <b><math>\epsilon</math></b> | <b>υπολογισμού ελαστικής</b> |
| <b><math>\text{N/mm}^2</math></b> | <b>παραμόρφωση</b>           | <b>περιοχής παράλληλη</b>    |
|                                   | <b>%</b>                     | <b>στο 0.01 %</b>            |
| 68.47                             | 4.60                         | 2.10                         |
| 69.04                             | 4.95                         | 2.12                         |
| 69.60                             | 5.30                         | 2.14                         |
| 70.06                             | 5.65                         | 2.15                         |