

ΕΠΙΣΚΕΥΗ – ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ FRP ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

ΚΑΛΛΙΟΝΤΖΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
ΣΩΡΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Περίληψη

Μία κατασκευή, στη διάρκεια της ζωής της, μπορεί να χρειαστεί επισκευή, ενίσχυση ή συνδυασμό και των δύο. Επισκευή μπορεί να χρειαστεί για λόγους όπως η διάβρωση του χάλυβα. Ο χάλυβας όταν δεν είναι προστατευμένος καλά από το περιβάλλον οξειδώνεται. Όταν η σκουριά προχωρήσει πολύ, τότε έχουμε και αποφλοιώση του σκυροδέματος, οπότε η βλάβη είναι πιο έντονη και χρήζει άμεσης αποκατάστασης. Επισκευή μπορεί να χρειαστεί και μια κατασκευή στο σύνολό της μετά από ένα σεισμό, από μικρές επιδιορθώσεις έως σοβαρές αποκαταστάσεις φερόντων στοιχείων. Ενίσχυση τώρα, μπορεί μια κατασκευή να χρειαστεί μετά από μια σεισμική φόρτιση, σε συνδυασμό με επισκευές. Ενίσχυση μπορεί να απαιτηθεί όταν εκ των υστέρων αλλαγή στους κανονισμούς μας προτρέπει στο να συμμορφωθούμε με αυτούς. Τέλος, ενίσχυση μπορεί να απαιτηθεί όταν σκοπεύουμε να κάνουμε αλλαγή χρήσης της κατασκευής ή προσθήκη ορόφων.

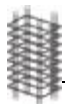
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Γενικά στα υποστυλώματα μπορεί να παρουσιαστούν βλάβες διαφόρων μορφών και ανάλογης σημαντικότητας. Η πιο απλή είναι να παρουσιαστούν λεπτά ρήγματα χωρίς συντριβή του σκυροδέματος ή διάβρωση των οπλισμών. Πιο σοβαρή βλάβη είναι η επιφανειακή αποφλοιώση του σκυροδέματος χωρίς βλάβη των οπλισμών, ή ενδεχομένως με σημαντική οξείδωση των οπλισμών. Τέλος, η πιο σημαντική είναι η συντριβή του σκυροδέματος με ταυτόχρονη διάρρηξη των συνδετήρων και λυγισμό των οπλισμών.

Όλες αυτές οι βλάβες χρήζουν άμεσης αποκατάστασης προτού προχωρήσουν σε περαιτέρω μείωση της αντοχής του υποστυλώματος. Οι τεχνικές αντιμετώπισης τους είναι αυτές που θα αναπτυχθούν εν συντομία παρακάτω.

Οι μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος είναι μια συνήθης πρακτική επισκευής και ενίσχυσης. Είναι η πιο διαδεδομένη με άλλα λόγια, σχετικά απλή στη σύλληψη και στη μελέτη. Τα μειονεκτήματά της όμως είναι αρκετά: αλλάζουν σημαντικά τις αρχικές διαστάσεις του υποστυλώματος. Είναι μια διαδικασία βρώμικη, αφού σηκώνει σκόνη, πετάγονται λάσπες παντού, έχει ανάγκη μηχανήματα και γενικά έχει κατασκευαστική δυσκολία. Επίσης πρέπει να τοποθετηθούν βλήτρα στο υπάρχον υποστυλώμα για να εξασφαλιστεί συνεργασία με την καινούργια στρώση.

Όσον αφορά τους μεταλλικούς μανδύες τα προβλήματα είναι κάπως λιγότερα. Δεν απαιτείται τόσος εξοπλισμός όσο στην προηγούμενη μέθοδο και σαν πρακτική είναι λίγο πιο εύκολη στην εφαρμογή. Η κατασκευή του μανδύα γύρω από την κολώνα απαιτεί την εφαρμογή συγκολλητικής εποξειδικής ρητίνης, αλλά και εδώ απαιτούνται βλήτρα. Το



επιπλέον βάρος είναι και εδώ σημαντικό. Τέλος, το κόστος αυτής της μεθόδου είναι αυξημένο.

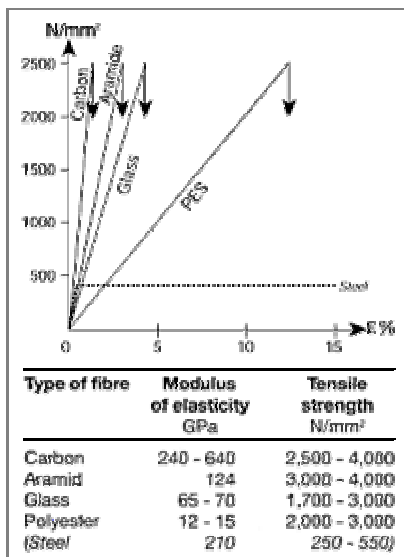
Η χρήση υλικών FRP προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα ως προς τις ιδιότητες του υλικού, που είναι η μεγάλη εφελκυστική αντοχή και το υψηλό μέτρο ελαστικότητας. Επιτυγχάνεται υψηλή ανθεκτικότητα στο χρόνο. Έχει κατασκευαστική ευκολία και η αύξηση βάρους και διαστάσεων είναι αμελητέα. Επίσης είναι ταχεία μέθοδος στην εφαρμογή της. Το κόστος είναι λίγο αυξημένο όσον αφορά τα υλικά, αλλά εξισορροπείται από τα μειωμένα εργατικά και την ταχύτητα εφαρμογής.

Στη συγκεκριμένη εργασία θα αναπτύξουμε τη χρήση CFRP, τα ινοπλισμένα πολυμερή από άνθρακα.

Έστω ότι έχουμε ένα υποστύλωμα το οποίο έχει υποστεί μερική αποφλοιώση σκυροδέματος με μερική διάβρωση των οπλισμών περισίφιγξής του. Ο λόγος που επέφερε αυτή τη διάβρωση ήταν η πολύ μικρή επικάλυψη των οπλισμών σε μια κατασκευή όπου ήταν σε παραθαλάσσιο περιβάλλον. Επίσης τώρα καθίσταται αναγκαίο να γίνει αλλαγή χρήσης του κτιρίου, οπότε πρέπει να αυξηθεί η φέρουσα ικανότητα του υποστυλώματος.

Κατόπιν τούτου αποφασίστηκε ότι το υποστύλωμα θα επισκευαστεί κατ' αρχήν για να απαλλαγεί από τη σκουριά και κατά δεύτερον θα ενισχυθεί για να φέρει τα επιπλέον φορτία.

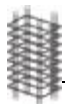
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ FRP:



Επεξηγήσεις

Type of fibre = Τύπος Ίνας
Modulus of Elasticity = Μέτρο
Ελαστικότητας
Tensile Strength = Εφελκυστική Αντοχή

Carbon = Άνθρακας
Aramid = Αραμίδη ή Κέβλαρ
Glass = Γυαλί
Polyester = Πολυεστέρας
Steel = Χάλυβας



Όπως βλέπουμε και στο σχήμα υπάρχουν διάφοροι τύποι ινοπλισμένων πολυμερών. Πολύ βασικά έχουμε:

Το υλικό πολυεστέρας χρησιμοποιείται για την κατασκευή σκαφών θαλάσσης ως επί το πλείστον.

Τα ινοπλισμένα πολυμερή από γυαλί χρησιμοποιούνται για αύξηση πλαστιμότητας και για περιμετρικές ενισχύσεις δομικών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος. Τα υαλονήματα είναι ανθεκτικά στις αλκαλικές ουσίες.

Το αραμίδιο έχει ιδιαίτερα υψηλή δυσθραυστότητα. Πλέγματα από αραμίδιο χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αλεξίσφαιρων γιλέκων. Η μεγάλη του όμως δυσθραυστότητα δεν προσφέρει κανένα πλεονέκτημα στις ενισχύσεις επισκευών, αντίθετα η επεξεργασία των ινών (κοπή-τομή) είναι ιδιαίτερα δαπανηρή.

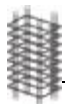
Τα ανθρακονήματα ως ίνες προσφέρουν όλα τα πλεονεκτήματα:

- Μεγάλο μέτρο ελαστικότητας
- Ελάχιστο συντελεστή θερμικής διαστολής (περίπου 50 φορές μικρότερο από αυτόν του χάλυβα)
- Εξαιρετική συμπεριφορά σε κόπωση.
- Εξαιρετική αντοχή έναντι όλων των πιθανών χημικών προσβολών.
- Καμία διάβρωση

Το υλικό CFRP (που σημαίνει Carbon Fiberglass Reinforced Polymer) είναι ένα ινοπλισμένο πολυμερές από άνθρακα. Η υφή του είναι σαν ύφασμα. Το ύφασμα αυτό αποτελείται από ίνες σε γραμμική διάταξη οι οποίες τοποθετούνται σε ένα πλέγμα, το οποίο είναι και αυτό εμποτισμένο σε ρητίνη. Αυτό το υλικό το οποίο έχει μορφή ταπετσαρίας εφαρμόζεται ζετυλίγοντάς το σε ένα δομικό στοιχείο. Στη δική μας περίπτωση, θα εφαρμοστεί σε ένα υποστύλωμα.



Διαδικασία παραγωγής
Ινοπλισμένου πολυμερούς
από άνθρακα.



Το προϊόν αυτό είναι κατάλληλο για καταπονήσεις σε εφελκυσμό με ελάχιστη επιμήκυνση. Με τη χρήση του αυξάνεται η ακαμψία του στοιχείου, δηλαδή η μείωση των παραμορφώσεων λόγω κάμψης με παράλληλη μείωση των ρωγμών που δημιουργούνται από αυτή.

Για τη συγκόλληση των φύλλων CFRP απαιτείται μια ενυπάρχουσα εφελκυστική αντοχή του υποστρώματος μεγαλύτερη από 1 N/mm^2 . Οι ίνες του CFRP έχουν μέτρο ελαστικότητας 240-640 GPa και εφελκυστική αντοχή 2500-4000 MPa.

Τα φύλλα CFRP μονής κατευθύνσεως μπορούν να θεωρηθούν ομογενή και ορθοτροπικά. Οι ίνες άνθρακα είναι γραμμικώς ελαστικές και ψαθυρές. Για το λόγο αυτό τα συστήματα CFRP είναι γραμμικώς ψαθυροελαστικά σε καταπονήσεις με φορά την κατεύθυνση των ινών.

Τα φύλλα CFRP έχουν αποδείξει εξαιρετική αντοχή σε μακροχρόνιες δράσεις. Δεν παρουσιάζεται μείωση της εφελκυστικής αντοχής του υλικού στο πέρασμα του χρόνου. Επίσης παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή σε κόπωση.

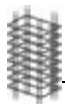
Ο ερπυσμός και η χαλάρωση είναι δυο έννοιες που περιγράφουν την ιξώδη / ελαστική συμπεριφορά του υλικού. Στα ενισχυτικά υλικά ινών διακρίνονται δύο τύποι ερπυσμού: ο αξονικός ερπυσμός της διατομής σύνδεσης και ο ενδοελασματικός ερπυσμός. Στο CFRP κάτω από τις διαρκείς καταπονήσεις που ασκούνται οι δύο τύποι ερπυσμού είναι αμελητέοι. Αυτό αφορά και το φύλλο και το έλασμα CFRP.

Η αντοχή του CFRP έναντι όλων των χημικών προσβολών είναι εξαιρετική. Αυτό πιστοποιείται από διάφορα πειράματα που έχουν γίνει.

Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στη συμπεριφορά του υλικού έναντι πυρκαγιάς. Το πρόβλημα δεν το έχουν οι ίνες αλλά η ρητίνη που σε θερμοκρασίες άνω των 80 βαθμών Κελσίου χάνει σχεδόν όλες τις ιδιότητές της. Απώλεια της συγκολλητικής ιδιότητας της ρητίνης σημαίνει και αποδιοργάνωση των ινών. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί λαμβάνοντας μέτρα προστασίας, όπως το να καλυφθούν οι ίνες από ένα λεπτό στρώμα σκυροδέματος.

Γενικά, η χρήση του υλικού αυτού βελτιώνει την πλαστιμότητα του υποστυλώματος και την θλιπτική του αντοχή. Η τοποθέτηση του υλικού σαν στεφάνι γύρω από το υποστυλώμα έχει ως αποτέλεσμα τον εγκιβωτισμό του σκυροδέματος. Αυτό σημαίνει κατ' αρχήν ότι το σκυρόδεμα εξασφαλίζεται πολύ καλύτερα από διάρρηξη. Η διάρρηξη επέρχεται όταν διογκώνεται το υποστυλώμα εγκάρσια λόγω του μεγάλου θλιπτικού φορτίου. Τότε όμως λειτουργούν οι ίνες άνθρακα, αφού αυτές καταπονούνται εφελκυστικά και μόνο. Ένα ακόμη αποτέλεσμα είναι ότι έτσι αυξάνουμε και την πλαστιμότητα του υποστυλώματος, καθώς μπορεί να δεχτεί αλληπάλληλους κύκλους φόρτισης χωρίς να επιτρέπει στο σκυρόδεμα να αποτιναχθεί, ούτε στους οπλισμούς να λυγίσουν. Όπως προείπαμε, η αντοχή σε κόπωση του υλικού αυτού είναι πολύ μεγάλη.

Περαιτέρω εμπάθυνση στις ιδιότητες του υλικού αυτού θα οδηγούσε σε υπέρμετρη αύξηση του όγκου της εργασίας αυτής. Περισσότερες πληροφορίες για τις ιδιότητες του υλικού, καθώς και η ποικιλία διαφόρων παρεμφερών προϊόντων μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία.



Έστω ότι στη συγκεκριμένη εργασία έγινε η αναδιαστασιολόγηση του υποστυλώματος και απαιτήθηκε η αύξηση της αντοχής του και της περίσφιγξής του. Θα χρησιμοποιήσουμε ελάσματα CFK 200/2000 και φύλλα CFRP C240.

Η αναδιαστασιολόγηση του υποστυλώματος μπορεί να γίνει κάνοντας χρήση υφιστάμενου software, το οποίο μπορεί να βρεθεί στις αναφορές της βιβλιογραφίας.

Το CFRP που θα χρησιμοποιηθεί έχει τις εξής ιδιότητες:

	Φύλλο C240 μιας κατεύθυνσης
Μέτρο Ελαστικότητας GPa	240
Εφελκυστική αντοχή MPa	3000
Πυκνότητα ίνας (gr/cm ³)	1,7
Επιμήκυνση θραύσης (%)	1,55
Βάρος φύλλου (gr/m ²)	200 / 300
Παραλαβή σε μπομπίνες	Πλάτος 300 mm Μήκος 50 m

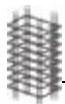
Το έλασμα CFK 200/2000 που θα χρησιμοποιηθεί έχει τις εξής ιδιότητες:

Έλασμα CFK 200/2000	
Μέτρο Ελαστικότητας	Εφελκυστική αντοχή κατά τη θραύση
>200 Gpa	~2500 Mpa
Πλάτος / πάχος (σε χιλιοστά)	Εφελκυστική αντοχή σε Επιμήκυνση 0,6 / 0,8 %
50 / 1,4	84 / 112 KN
80 / 1,4	134 / 179 KN
100 / 1,4	168 / 224 KN
120 / 1,4	201 / 269 KN

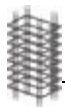
Προχωρούμε τώρα στην περιγραφή της διαδικασίας.

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

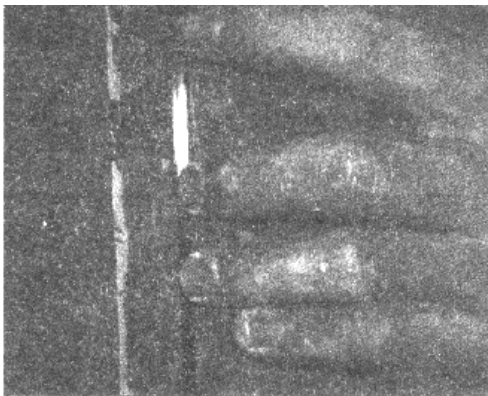
- Η κολώνα θα ενισχυθεί και σε διαμήκη οπλισμό κάνοντας χρήση προκατασκευασμένων ελασμάτων FRP, και κάνοντας χρήση φύλλου CFRP. Το υποστυλώμα είναι πρισματοειδούς μορφής, τετραγωνικό 40X40 εκατοστά.



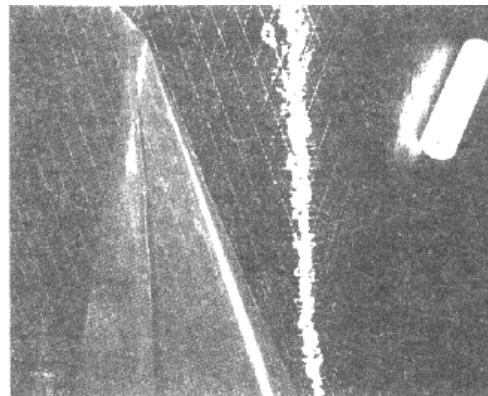
- Απομακρύνεται η επιδερμική στρώση σκυροδέματος στην επιφάνεια που θα γίνει η επικόλληση έτσι ώστε να αποκαλυφθούν τα αδρανή σε βάθος περίπου 5 mm.
- Εφόσον το σύνθετο υλικό καλύπτει και γωνίες του στοιχείου σκυροδέματος, αυτές εξομαλύνονται και λειαίνονται για να αποκτήσουν καμπυλότητα με ακτίνα από 10 τουλάχιστον έως 30 χιλιοστά.
- Χαράσσονται με τη μέθοδο φρεζαρίσματος στο υποστύλωμα και στις τέσσερις παρειές του εγκοπές, όσες μας βγάλει η διαστασιολόγηση. Συνήθως απαιτούνται 2 ανά παρειά, δηλαδή σύνολο 8. Οι εγκοπές αυτές έχουν 3 mm άνοιγμα και 10 mm βάθος. Μπαίνει το έλασμα σε όλο το ύψος του υποστύλωματος (που έχει διαστάσεις 10 mm πλάτος, 1.4 mm πάχος και ύψος όσο το ύψος του υποστύλωματος). Το κενό που απομένει καλύπτεται με εποξειδική κόλλα.
- Η επιφάνεια σκυροδέματος καθαρίζεται καλά, κάνοντας χρήση σμυριδόπανου. Μπορούμε επίσης να χρησιμοποιήσουμε σβουράκι.
- Διαβρέχεται με νερό υπό πίεση και στεγνώνεται. Η υγρασία της τελικής επιφάνειας του σκυροδέματος δεν επιτρέπεται να είναι περισσότερη από 4%.
- Η επιφάνεια του σκυροδέματος εμποτίζεται με αραιό διάλυμα εποξειδικής ρητίνης εάν κριθεί ότι είναι ιδιαίτερα πορώδης ή υπάρχουν μικρορηγματώσεις. Στη συνέχεια η επιφάνεια επαλείφεται με παχύρρευστο συγκολλητικό υλικό. Σημειώνεται ότι συχνά επιλέγεται η διαδικασία λείανσης της επιφάνειας χωρίς να προηγηθεί η εξομαλυντική στρώση του εποξειδικού στόκου.
- Μετά τη σκλήρυνση του συγκολλητικού υλικού, η επιφάνεια λειαίνεται με επιμέλεια έτσι ώστε να μην υπάρχει ανωμαλία σε ύψος μεγαλύτερο από 1 mm.
- Η επιφάνεια αναμονής επαλείφεται με εποξειδική ρητίνη πάχους 1 ~ 2 mm με κατάλληλο ιξώδες που διευκολύνει την τοποθέτηση του φύλλου. Η κόλλα τοποθετείται με μεγαλύτερο πάχος, που είναι της τάξης των 10 mm στην κεντρική περιοχή επαφής, έτσι ώστε κατά την τοποθέτηση του φύλλου η κόλλα να προχωρά προς τα έξω καθώς συμπιέζεται. Συχνά, τα χαρακτηριστικά της κόλλας προδιαγράφονται από τον προμηθευτή του υλικού, που στην εργασία μας τα στοιχεία που συλλέξαμε έχουν την ονομασία Ρητίνη 50/55. Η ρητίνη πρέπει να περνιέται λίγο λίγο, διότι αν περάσουμε ρητίνη σε όλο το ύψος του υποστύλωματος και μετά αρχίσουμε να περνάμε το φύλλο από κάτω προς τα πάνω, τότε θα στεγνώσουν τα πάνω στρώματα της κόλλας χωρίς να προλάβουμε να φτάσουμε εκεί το φύλλο.
- Το φύλλο του σύνθετου υλικού τοποθετείται στην επιφάνεια αναμονής εφαρμόζοντας ομοιόμορφη πίεση, με τέτοιο τρόπο ώστε να μην εγκλωβιστεί αέρας. Συνήθως χρησιμοποιείται ένα σκληρό ρολό. Προσοχή στο ότι το μήκος υπερκάλυψης του φύλλου πρέπει να είναι τουλάχιστον 150 mm.
- Μετά πάροδο χρόνου μισής έως μιας ώρας, αφαιρείται το προστατευτικό κάλυμμα του φύλλου και οι ίνες επαλείφονται με μια δεύτερη στρώση της ίδιας ρητίνης.
- Αν προβλέπεται η τοποθέτηση περισσότερων του ενός φύλλου, τότε η διαδικασία επαναλαμβάνεται, προετοιμάζοντας με ανάλογο τρόπο την εξωτερική επιφάνεια του προηγούμενου ελάσματος.
- Στο τέλος χρησιμοποιείται ένα πεταχτό τσιμεντοκονίαμα για προστασία των φύλλων του σύνθετου υλικού από υψηλές θερμοκρασίες και άλλες περιβαλλοντικές προσβολές. Θα μπορούσε να ονομαστεί και σοβάτισμα, επαναφέροντας έτσι το υποστύλωμα στην αρχική του αισθητική κατάσταση.



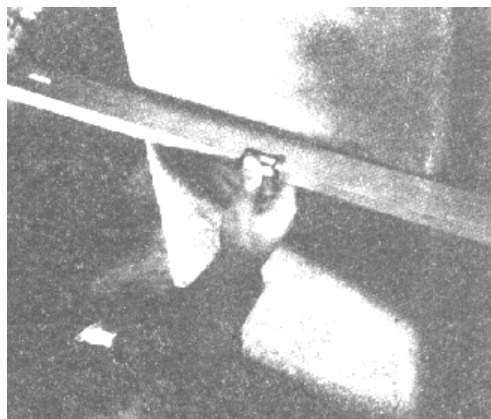
Οι παρακάτω εικόνες μας βοηθούν να κατανοήσουμε τη διαδικασία:



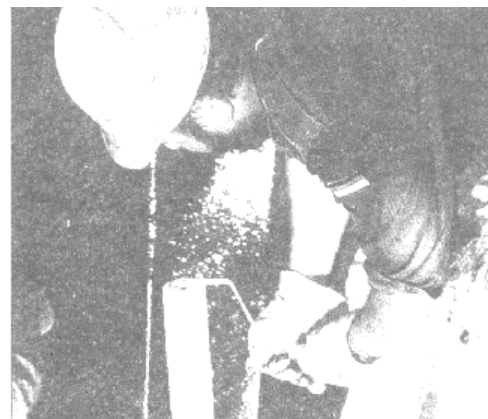
Άνοιγμα εγκοπής του ελάσματος CFK



Στρογγυλοποίηση των άκρων με $R=1\sim 3\text{cm}$



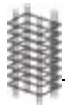
Έλεγχος ομαλότητας της επιφάνειας.
Επιθυμούμε 1~1.5 mm απόκλιση



Περιμετρική επένδυση με φύλλο C240



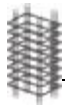
Επίδειξη τοποθέτησης
φύλλου FRP.
Χρειάζεται προσοχή
κατά την τοποθέτηση
ώστε το φύλλο να είναι
τεντωμένο και να είναι
οι ίνες οριζόντιες



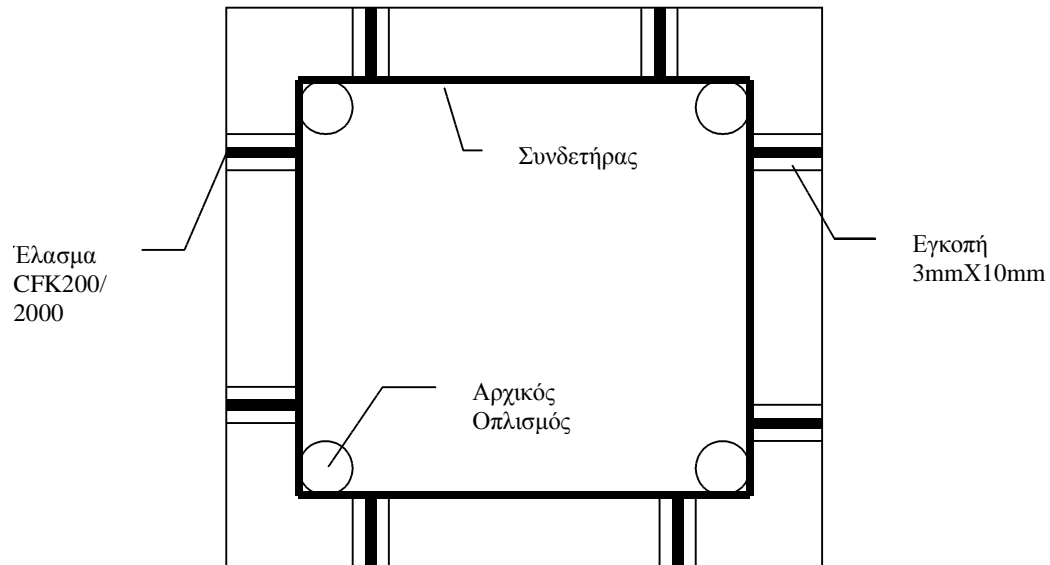
Η χρήση του σκληρού ρολού αποσκοπεί στο να μην εγκλωβιστεί αέρας μέσα στο φύλλο.



Παρομοίως με την προηγούμενη εικόνα, η χρήση ρολού γίνεται για να μην εγκλωβιστεί αέρας. Σημειώνεται ότι η τοποθέτηση φύλλου σε κυκλικά υποστυλώματα είναι ακόμα πιο απλή και εύκολη.



Παρακάτω δείχνουμε σε μια απλοποιημένη κάτοψη του υποστυλώματος πως και που θα γίνουν οι εγκοπές που θα μπουν τα ελάσματα. Τόσο η πλήρωση των εγκοπών όσο και το περιμετρικό αστάρωμα θα γίνει με την εποξειδική ρητίνη.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Σ. Η. Δρίτσος
Επισκευές – Ενισχύσεις Κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Θ. Χ. Τριανταφύλλου
Προηγμένες τεχνολογίες υλικών και κατασκευών

Ο.Α.Σ.Π – Οργανισμός αντισεισμικής προστασίας (Α' μέρος)
Συστάσεις για προσεισμικές και μετασεισμικές επεμβάσεις σε κτίρια.

Sintecno – Sinmast Hellas ABETE
FRP – Πολυμερικές ίνες ενίσχυσης