

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (F.R.P.)

ΤΣΩΛΟΥ ΗΛΕΚΤΡΑ

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία ερευνούμε τις βλάβες και τον τρόπο αστοχίας της τοιχοποιίας των ιστορικών κτηρίων. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στη διαδικασία που προαπαιτείται, προκειμένου ο μηχανικός να έχει μια ολοκληρωμένη εικόνα του προβλήματος που καλείται να αντιμετωπίσει. Ως μέθοδο ενίσχυσης επιλέγουμε τα ινοπλισμένα πολυμερή (F.R.P.) με κριτήριο τη διατήρηση της ιστορικότητας και της αισθητικής ενός ιστορικού κτηρίου. Παραθέτουμε λοιπόν τα βασικά χαρακτηριστικά των σύνθετων αυτών υλικών καθώς και παραδείγματα εφαρμογής τους σε διάφορα στοιχεία της κατασκευής, ανάλογα με τον τρόπο καταπόνησης του μέλους. Τέλος αναλύεται η τεχνική εφαρμογής της μεθόδου.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

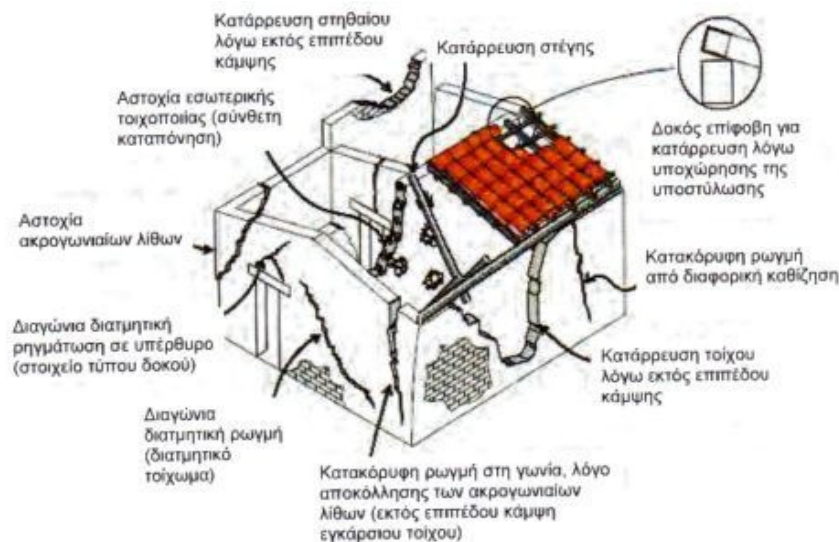
Η Ελλάδα είναι μια χώρα που χαρακτηρίζεται από πλήθος ιστορικών κτηρίων, τα οποία χρήζουν προστασία και διατήρηση, με στόχο την διατήρηση της ιστορικής μνήμης. Σε ένα μεγάλο ποσοστό, ο φέρον οργανισμός των κατασκευών αυτών αποτελείται από φέρουσα τοιχοποιία. Λόγω της παλαιότητάς τους τα περισσότερα από αυτά δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις των σύγχρονων κανονισμών για την ποιότητα και τον τρόπο κατασκευής τους, ενώ δεν έχει δοθεί ιδιαίτερη βάση στον αντισεισμικό σχεδιασμό τους. Όταν η επίδραση ενός σεισμού έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ρηγματώσεων κρίνεται αναγκαία η επισκευή του, ενώ υπάρχουν και περιπτώσεις που επιτακτική είναι η ανάγκη επισκευής πριν από την καταπόνηση. Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, η χρήση σύνθετων υλικών με ινοπλισμένα πολυμερή προσέφερε μία εναλλακτική, πολλά υποσχόμενη τεχνική ενίσχυσης κατασκευών από τοιχοποιία. Η τεχνική αυτή αποτελεί την ιδανικότερη μέθοδο ενίσχυσης ιστορικών κατασκευών, καθώς δεν αλλοιώνει την ιστορικότητα του κτηρίου και σέβεται τα τυπολογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά του. [1]

2. ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΣΤΟΧΙΑ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ

Η καταπόνηση της τοιχοποιίας και οι παρατηρούμενες αστοχίες (Σχήμα 1) που εμφανίζονται καθορίζουν και τον τρόπο ενίσχυσης των στοιχείων του κτηρίου. Οι βλάβες των ιστορικών κτιρίων εξαρτώνται κυρίως από τα υλικά από τα οποία έχουν κατασκευαστεί, αλλά και από περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Ταξινομούμε τις βλάβες σε δύο κατηγορίες:

- Έμμεσες βλάβες που δημιουργούνται σε εσωτερικούς διαχωριστικούς τοίχους, σε επιφάνειες κονιάματος, σε σκαλοπάτια, σε σωληνώσεις κ.α. και δεν επηρεάζουν την γενικότερη στατική συμπεριφορά του κτιρίου, επομένως δεν αποτελούν κίνδυνο μερικής ή ολικής κατάρρευσής του.
- Άμεσες βλάβες, οι οποίες δημιουργούνται μετά από μετακινήσεις, παραμορφώσεις ή ρηγματώσεις του κτιρίου.



Σχήμα 1: Συνήθεις αστοχίες της τοιχοποιίας. [11]

Αναφέρεται παρακάτω η λειτουργία ορισμένων στοιχείων από τα οποία είναι δομημένα τα κτήρια από τοιχοποιία προκειμένου να γίνει πιο κατανοητή η συμπεριφορά που παρουσιάζουν υπό διάφορες καταπονήσεις.

Ο συνδυασμός των δύο κυριότερων υλικών κατασκευής της φέρουσας τοιχοποιίας, τα τοιχοσώματα (οπτόπλινθοι, πέτρα, τσιμεντόπλινθοι κ.α.) και το τσιμεντοκονίαμα, παρέχουν την ικανότητα παραλαβής και μεταφοράς φορτίων. Κατά την σεισμική φόρτιση εκτός από τα κατακόρυφα φορτία η τοιχοποιία καλείται να μεταφέρει και οριζόντιες δυνάμεις οι οποίες έχουν τον κύριο λόγο στην αστοχία της. Έτσι, όταν η καταπόνηση υπερβεί την αντοχή της τοιχοποιίας οδηγούμαστε σε ψαθυρή θραύση με απρόβλεπτες συνέπειες που μπορεί να οδηγήσουν ακόμα και στην κατάρρευση.

Με βάση την προέχουσα καταπόνηση, ένα στοιχείο τοιχοποιίας μπορεί να θεωρηθεί ως φορτιζόμενο σύμφωνα με μία από τις παρακάτω περιπτώσεις:

1. Εκτός επιπέδου κάμψη, π.χ. λόγω φόρτισης κάθετα στο επίπεδο ενός τοίχου
2. Εντός επιπέδου κάμψη, π.χ. σε πεσσούς ή υπέρθυρα.
3. Εντός επιπέδου διάτμηση σε στοιχεία τύπου διατμητικού τοιχώματος
4. Εντός επιπέδου διάτμηση σε στοιχεία τύπου δοκού.

Οι μορφές αστοχίας που προκαλούν οι παραπάνω καταπονήσεις εξαρτώνται από τη γεωμετρία της τοιχοποιίας, τον τρόπο στήριξής της καθώς και από τις αντοχές κονιαμάτων, οπτόπλινθων και διεπιφάνειας. Οι κύριες μορφές αστοχίας για καταπόνηση εντός επιπέδου είναι:

- Εφελκυστικές ρηγματώσεις: Παρατηρούνται σε περιοχές ανάπτυξης εφελκυστικών τάσεων συνήθως λόγω κάμψης στο κάτω μέρος υψικορμων πεσσών και στις γωνίες ανοιγμάτων λόγω έντονης ανάπτυξης τάσεων στις θέσεις αυτές.
- Διατμητική αστοχία: Ο συνδυασμός αυξημένου αξονικού φορτίου και μικρής διατμητικής αντοχής έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ρηγματώσεων υπό γωνία 45° . Σ' αυτή την περίπτωση αστοχίας, οι κύριες εφελκυστικές τάσεις που δημιουργούνται από τα κατακόρυφα και τα οριζόντια φορτία υπερβαίνουν την εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας. Στο μέγιστο οριζόντιο φορτίο σχηματίζονται διαγώνιες ρωγμές οι

οποίες ακολουθούν τους κατακόρυφους και οριζόντιους αρμούς. Καθώς όμως αυξάνει το μέγεθος του αξονικού φορτίου αυξάνει και ο κίνδυνος ψαθυρής θραύσης, καθώς οι ρωγμές επεκτείνονται και στα λιθοσώματα.

- **Λικνισμός**: Υφίστανται σε περιπτώσεις με μεγάλο λόγο καμπτικής ροπής προς διατμητικής δύναμης. Παρουσιάζεται λικνισμός του τοίχου γύρω από τη βάση του σαν συμπαγές σώμα με σύνθλιψη των θλιβόμενων ζωνών στις γωνίες του τοίχου και αποκόλληση των αρμών στην εφελκυσόμενη ζώνη.
- **Ολίσθηση**: Οριζόντια ρηγμάτωση κατά μήκος των αρμών αποτελεί σύνθετο φαινόμενο σε ελεύθερους τοίχους και λαμβάνει χώρα όταν αστοχεί η διεπιφάνεια τσιμεντοκοινιάματος και οπτόπλινθου (υπέρβαση των δυνάμεων συνάφειας). Προκαλείται από ολίσθηση της τοιχοποιίας λόγω διαφορικών καθιζήσεων, από τη σχετική μετατόπιση δύο τοίχων λόγω καθίζησης θεμελίου καθώς επίσης και συνδυασμό καθίζησης θεμελίου και στρέψης κτιρίου.

Πέρα όμως από την αστοχία που οφείλεται σε στατικά και σεισμικά φορτία, στα ιστορικά κτήρια εμφανίζονται βλάβες, οι οποίες οφείλονται στη δράση περιβαλλοντικών παραγόντων. Ως τέτοιοι παράγοντες καταγράφονται οι παρακάτω:

- Ατμοσφαιρική ρύπανση
- Αιολική διάβρωση
- Διάβρωση λόγω βροχής
- Δράση υγρασίας στο εσωτερικό της τοιχοποιίας [2],[6],[7],[11]

3. ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Κριτήριο για την αποδοχή μιας λύσης επέμβασης είναι η εκπλήρωση της γνωστής ανισότητας :

$$S_{rd} \leq R_{rd} \quad (1)$$

Δηλαδή τα μεγέθη έντασης επανασχεδιασμού πρέπει να είναι μικρότερα από τα αντίστοιχα μεγέθη αντοχής στα ενισχυμένα μέλη του φορέα. Επομένως, η κατασκευή σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε μετά την επέμβαση, η διαθέσιμη φέρουσα ικανότητα να ξεπερνάει την απαιτούμενη από τις κανονιστικές διατάξεις.

Προκειμένου να γίνει ο ανασχεδιασμός ενός ιστορικού κτηρίου, απαιτείται σε πρώτη φάση η ανάλυση και διαστασιολόγηση της αρχικής κατασκευής. Προσδιορίζονται δηλαδή οι μηχανικές ιδιότητες, η αντοχή, το μέτρο ελαστικότητας και οι πλαστιμότητα των δομικών υλικών και τεκμηριώνονται τα αίτια πρόκλησης των βλαβών του κτηρίου.

Σημαντικό στοιχείο ελέγχου αποτελεί η φέρουσα ικανότητα του εδάφους, γεγονός που απαιτεί την εφαρμογή της μεθόδου της δειγματοληψίας. Καθώς οι επεμβάσεις οδηγούν σε αύξηση των φορτίων είναι αναγκαίο να προσδιοριστούν οι πρόσθετες καθιζήσεις και να εκτιμηθεί η επιρροή τους στο μνημείο.

Εξίσου σημαντικός είναι και ο έλεγχος της στατικής επάρκειας της κατασκευής. Εφόσον στην εν λόγω κατασκευή τα υλικά είναι γνωστά, τα εντατικά μεγέθη που υπολογίζονται οδηγούν απλά σε διαπιστώσεις. Ιδιαίτερο κεφάλαιο της μελέτης της στατικής λειτουργίας είναι η μελέτη της αντισεισμικής συμπεριφοράς, η οποία επιβάλλεται ιδιαίτερα αν υπάρχουν βλάβες στον φέροντα οργανισμό.

Τη στατική μελέτη διαδέχονται οι προτάσεις επεμβάσεως. Τις επεμβάσεις αυτές τις διακρίνουμε σε γενικές, οι οποίες επηρεάζουν τη στατική συμπεριφορά του συνόλου του φέροντα οργανισμού, και σε τοπικές επεμβάσεις στα ευαίσθητα τμήματα της κατασκευής.

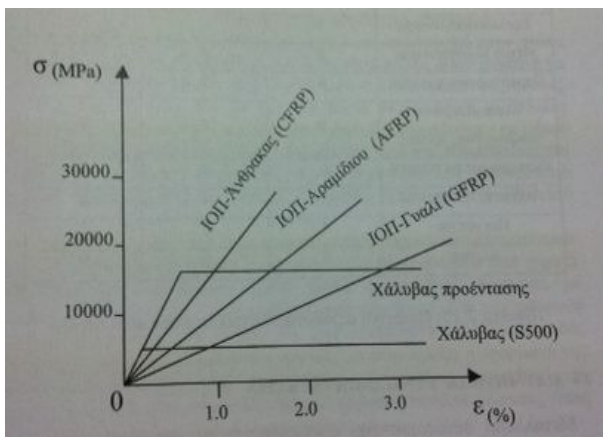
Οι επεμβάσεις που θα γίνουν πρέπει να εξασφαλίζουν τρεις βασικές αρχές:

1. Σεβασμός στο μνημειακό χαρακτήρα του ιστορικού κτηρίου
2. Συμβατότητα προτεινόμενων και υφιστάμενων υλικών
3. Αντιστρεψιμότητα προτεινόμενων επεμβάσεων [6],[7],[9]

4. ΤΙ ΕΙΝΑΙ F.R.P.

Τα ινοπλισμένα πολυμερή είναι σύνθετα υλικά που αποτελούνται από συνεχείς ίνες (συνήθως άνθρακα, γυαλιού και αραμιδίου) με υψηλή εφελκυστική αντοχή εμποτισμένες με εποξειδική ρητίνη. Η ρητίνη διατίθεται σε μορφή δύσκαμπτων “λωρίδων” (πάχους της τάξης του 1mm) ή εύκαμπτων “υφασμάτων” (πάχους 0.1-0.4mm). Τα χαρακτηριστικά των ινοπλισμένων πολυμερών εξαρτώνται από την περιεκτικότητα τους σε ίνες. Οι ίνες σε ένα F.R.P. σύνθετο υλικό είναι το κύριο στοιχείο μεταφοράς φορτίου και παρουσιάζουν υψηλή αντοχή και ακαμψία όταν υπόκεινται σε καταπόνηση. Οι ίνες επιλέγονται βάση της αντοχής, ακαμψίας και ανθεκτικότητας που απαιτείται για την εκάστοτε περίπτωση, ενώ οι ρητίνες επιλέγονται βάση του περιβάλλοντος που το σύνθετο υλικό θα εκτεθεί.

Βασικά χαρακτηριστικά που εντάσσονται στα πλεονεκτήματά τους είναι η εξαιρετικά υψηλή εφελκυστική αντοχή, το χαμηλό βάρος και η ανθεκτικότητα σε διάρκεια. Η εφελκυστική αντοχή των σύνθετων υλικών είναι 3-4 φορές μεγαλύτερη από αυτή του κοινού χάλυβα S500 και για βραχυχρόνια φόρτιση κυμαίνεται σε 1500-2500 MPa. Επιπλέον έχουν αποτελέσματα μονολιθικής συμπεριφοράς σε όλα τα μέλη της κατασκευής. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι καμπύλες τάσεων-παραμορφώσεων των σύνθετων υλικών με την αντίστοιχη για χάλυβα. Όπως μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί, τα σύνθετα υλικά συμπεριφέρονται πλήρως ελαστικά, μέχρι την αστοχία τους.



Σχήμα 3: Σχέσεις τάσης-παραμόρφωσης για σύνθετα υλικά σε εφελκυσμό [9]

Τα σύνθετα υλικά με ίνες γυαλιού είναι ιδανικά για ενισχύσεις έναντι σεισμικών φορτίων, καθώς η καταπόνηση είναι προσωρινή. Πρέπει όμως να αποφεύγονται σε περιπτώσεις διαρκούς καταπόνησης, καθώς υπάρχει κίνδυνος αστοχίας λόγω φαινομένων ερπυσμού. Σε τέτοιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ίνες άνθρακα, οι οποίες είναι ιδανικές και για εξωτερική χρήση.

Στα μειονεκτήματα των σύνθετων υλικών αναφέρεται η χαμηλή ανθεκτικότητά τους σε υψηλές θερμοκρασίες, καθώς η ρητίνη καίγεται σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 250° C. Επίσης παρατηρείται έλλειψη γνώσεων ως προς τον τρόπο εφαρμογής τους από τον τεχνικό

κόσμο της χώρας, καθώς είναι μια σχετικά νέα μέθοδος ενίσχυσης που έχει αναπτυχθεί με ραγδαίους ρυθμούς. Τέλος ανασταλτικό παράγοντα χρήσης τους αποτελεί το υψηλό τους κόστος, το οποίο όμως σταδιακά μειώνεται με το χρόνο.

Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση των κατασκευών είναι δύο τύπων: (α) “υγρής εφαρμογής” (ή επί τόπου σκλήρυνση της μήτρας) και (β) προκατασκευασμένα. Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται τα φύλλα ή υφάσματα με ίνες μιας ή δύο διευθύνσεων με το υλικό της μήτρας να εμποτίζεται επί τόπου. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει επίσης ίνες χωρίς μήτρα, συγκεντρωμένες σε μορφή νήματος, το οποίο εμποτίζεται με ρητίνη ενώ τυλίγεται στο υπό ένταση δομικό στοιχείο. Τα προκατασκευασμένα συστήματα περιλαμβάνουν προκατασκευασμένα ευθύγραμμα ελάσματα, κελύφη, μανδύες και γωνίες τα οποία επικολλούνται μέσω ρητίνης,

Η τεχνική εφαρμογής τους είναι απλή και βασίζεται στην εξωτερική επικόλληση των σύνθετων υλικών, ενώ χαρακτηρίζεται από ευελιξία και ταχύτητα εκτέλεσης. Έχει δε ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραμορφωσιμότητας των στοιχείων χωρίς να μεταβάλλεται η γεωμετρία τους ή να αυξάνεται η δυσκαμψία.

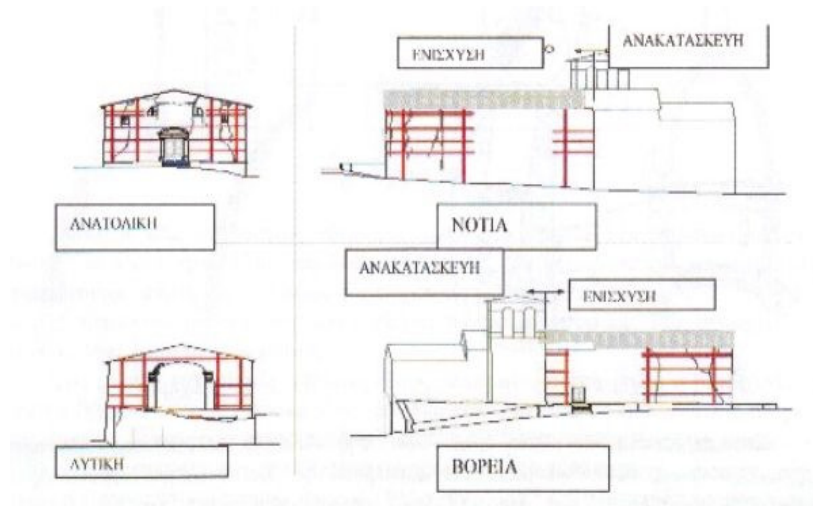
Τα σύνθετα υλικά με τα οποία θα ασχοληθούμε στην εργασία αυτή, χρησιμοποιούν ως οπλισμό ανθρακονήματα και προσδιορίζονται από τον όρο C.F.R.P.(Carbon Fibers Reinforced Polymers). Τα C.F.R.P. συνδυάζουν υψηλές αντοχές και ακαμψία σε συνδυασμό με εξαιρετικά χαμηλό βάρος και μεγάλη αντοχή σε γήρανση καθώς ουσιαστικά δεν διαβρώνονται. Η συγκεκριμένη διαδικασία ενίσχυσης είναι αναστρέψιμη, αφού οι ίνες μπορούν να αφαιρεθούν με μια διαδικασία θερμού αέρα. [9],[8],[2]

5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Αντιλαμβανόμαστε σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω ότι είναι απαραίτητη η ενίσχυση ιστορικών κτηρίων με σκοπό την αύξηση της φέρουσας ικανότητας και της πλαστιμότητάς τους. Η ενίσχυση της τοιχοποιίας με σύνθετα υλικά γίνεται με βάση τον τρόπο καταπόνησης των στοιχείων της κατασκευής.

Για την περίπτωση της κάμψης εκτός επιπέδου στόχος της ενίσχυσης είναι οι οπλισμοί να τοποθετηθούν επιφανειακά παράλληλα στις τροχιές των κύριων εφελκυστικών τάσεων. Ο κύριος ρόλος αυτού του οπλισμού είναι η παραλαβή των εφελκυστικών φορτίων που αδυνατεί να παραλάβει η τοιχοποιία και επομένως, η τοποθέτησή του γίνεται στην εφελκυσόμενη ζώνη. Για εντός επιπέδου κάμψη η τοποθέτηση των οπλισμών στα εφελκυσόμενα πέλαματα είναι δύσκολη και γι’ αυτόν ακριβώς το λόγο τοποθετείται στις πλευρές, πολύ κοντά στα πέλαματα. Έτσι έχουν την ίδια συμπεριφορά όπως και στην εκτός επιπέδου κάμψη. Ο οπλισμός αυτός μπορεί να έχει τη μορφή ελάσματος ή υφάσματος.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί μια μικρή εκκλησία η οποία έχει υποστεί βλάβες από σεισμό και έχει ενισχυθεί με ανθρακονήματα (Σχήμα 4). Τα ανθρακονήματα αναλαμβάνουν πλέον όλες τις εφελκυστικές τάσεις. Έχει δοθεί περισσότερο έμφαση στο έμπροσθεν τμήμα της κατασκευής καθώς έχει υποστεί σοβαρές ρηγματώσεις.



Σχήμα 4: Εφαρμογή σύνθετων υλικών σε μια μικρή εκκλησία που υπέστη βλάβες από σεισμό.[10]

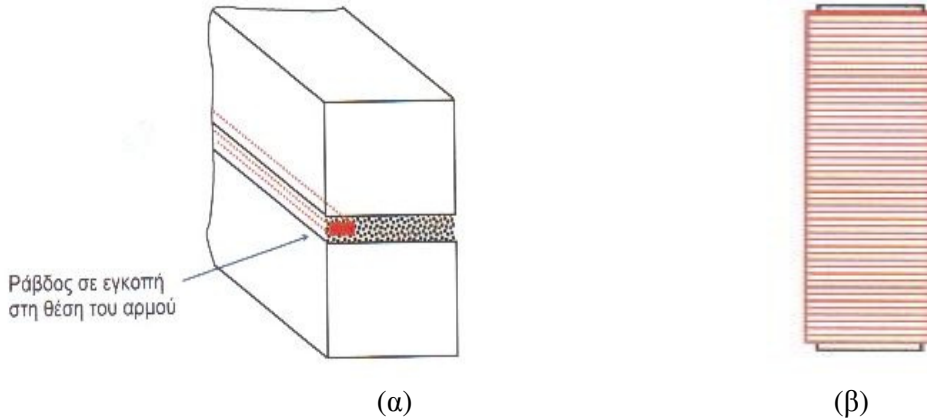
Για την περίπτωση διάτμησης εντός του επιπέδου της τοιχοποιίας τα ελάσματα διατάσσονται χιαστί (Σχήμα 5) ή παράλληλα στη διεύθυνση της τέμνουσας δύναμης. Για την καλύτερη ενεργοποίηση των ινών στην χιαστί διάταξη, είναι απαραίτητη η αγκύρωση των άκρων τους ώστε οι εφελκυστικές δυνάμεις να μεταφέρονται στην τοιχοποιία όχι μόνο μέσω της διάτμησης στη διεπιφάνεια αλλά και μέσω θλίψης. Η αγκύρωση γίνεται είτε σε στοιχεία σκυροδέματος, όπως οι πλάκες, είτε πάνω στην τοιχοποιία σε ειδικές εσοχές.



Σχήμα 5: Διάταξη της ενίσχυσης σε στοιχεία τύπου διατμητικού τοιχώματος[11]

Θα πρέπει να παρατηρήσουμε ότι η οριζόντια διάταξη των σύνθετων υλικών είναι αποτελεσματική μόνο για το μηχανισμό αστοχίας σε διαγώνια ρηγμάτωση. Σε περίπτωση διατμητικής ολίσθησης ή λίκνισης υποδεικνύεται η χρήση οπλισμών σε κατακόρυφη διάταξη με επαρκή αγκύρωση στη θεμελίωση.

Στην περίπτωση τοιχοποιίας με οριζόντιους αρμούς μπορούμε να τοποθετήσουμε οπλισμούς μορφής ελασμάτων μικρού πλάτους ή ράβδους μικρής διαμέτρου εντός των αρμών, αφού αρχικά προηγηθεί η αφαίρεση κονιάματος των αρμών κοντά στις εξωτερικές επιφάνειες (Σχήμα 6α).

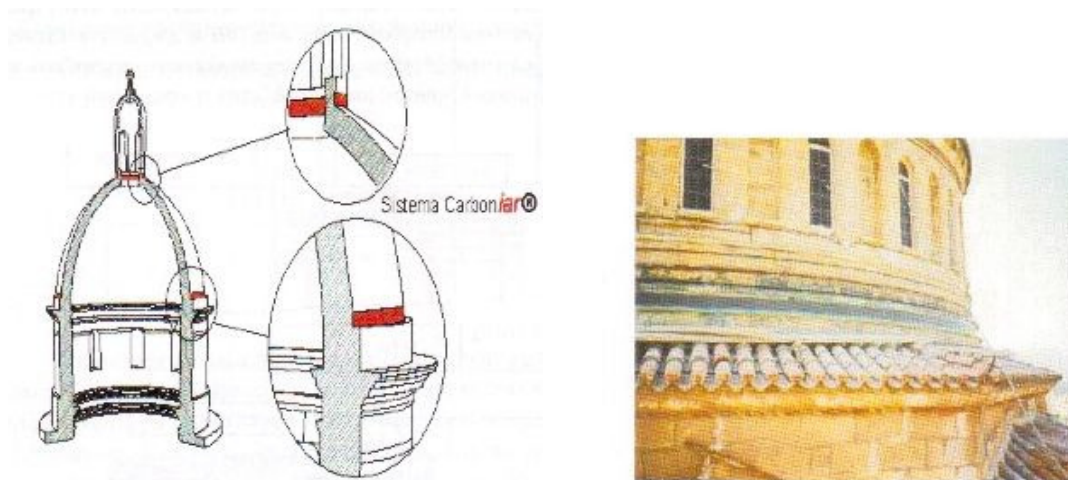


Σχήμα 6 : (α) Ράβδος σε εγκοπή, (β) Περίσφιξη υποστυλώματος μέσω μανδύα[2]

Η τοιχοποιία των ιστορικών κτηρίων ενισχύεται επιπλέον μέσω της περίσφιξης. Στόχος της περίσφιξης είναι η αύξηση της αντοχής (θλιπτικής, διατμητικής ή εφελκυστικής) και της πλαστιμότητας μέσω της παρεμπόδισης των παραμορφώσεων κάθετα στις τροχιές των κύριων θλιπτικών τάσεων. Αυτό γίνεται με π.χ. εξωτερικούς τένοντες που μπορεί να είναι σε επαφή με την τοιχοποιία σε ορισμένες θέσεις, με τρόπο αναστρέψιμο. Επίσης η περίσφιξη μπορεί να γίνει με μανδύες, φαινόμενο που είναι σύνηθες σε εφαρμογή της μεθόδου για ενίσχυση υποστυλωμάτων (Σχήμα 6β). Όπως είναι προφανές ιδιαίτερα κάτω από σεισμικές διεγέρσεις, η τελευταία δυνατότητα είναι ευεργετική, λόγω της αυξημένης απόσβεσης σεισμικής ενέργειας που προκαλεί.

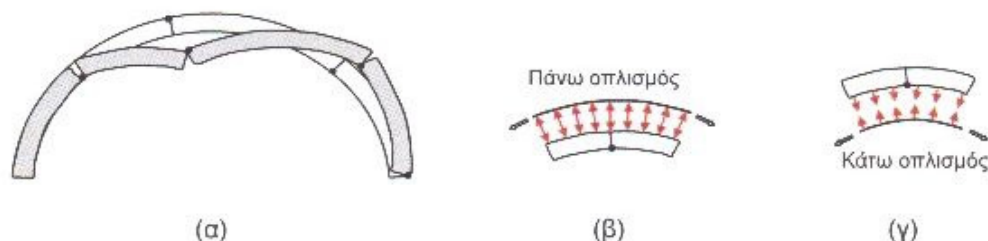
Ένας άλλος τρόπος περίσφιξης της τοιχοποιίας είναι αυτός της ενσωμάτωσης οπλισμού στους οριζόντιους αρμούς της. Ο οπλισμός αυτός μπορεί να είναι σε μορφή λωρίδων ή ράβδων και να αυξάνει την θλιπτική αντοχή, μειώνοντας παράλληλα την πλευρική διόγκωση, όταν η τοιχοποιία υπόκειται σε επιβαλλόμενα φορτία μικρής αλλά και μεγάλης διάρκειας), καθώς επίσης και με τη μορφή πλέγματος, τοποθετημένου στο κονίαμα κατασκευής των οριζόντιων αρμών.

Σε ιστορικά κτήρια συχνά συναντάμε στοιχεία όπως τόξα και θόλους και τρούλους. Στην περίπτωση των τρούλων μπορεί να εφαρμοστεί η τεχνική της εξωτερικής περίσφιξης στη βάση του τρούλου μέσω οριζόντιας προέντασης ή στην κορυφή του εφόσον υπάρχει φεγγίτης ή ακόμα συνδυασμό χρήσης υφασμάτων σε σχήμα U και ενσωμάτωσης ράβδων οπλισμού (Σχήμα 7).



Σχήμα 7 : Εφαρμογή της μεθόδου σε τρούλους.[10,2]

Οι θόλοι συμπεριφέρονται σαν τριαρθρωτά τόξα, καθώς λόγω των ρηγματώσεων δημιουργούνται αυτόματα τρεις αρθρώσεις, εκ των οποίων η μια είναι στο κλειδί και οι άλλες κοντά στα αντερείσματα του θόλου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την συγκέντρωση μεγάλων στροφών στις περιοχές έδρασης και ξεκινά η αποδιοργάνωση της τοιχοποιίας. Η στερέωση των τόξων και των θόλων λοιπόν με σύνθετα υλικά μπορεί να γίνει με τοποθέτηση του οπλισμού στο εσωράχιο ή εξωράχιο τους. Έτσι κατά το σχηματισμό του μηχανισμού κατάρρευσης αποτρέπεται η δημιουργία αρθρώσεων, καθώς τα σύνθετα υλικά απορροφούν την καταπόνηση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8. [2],[3],[4],[5],[8],[10]



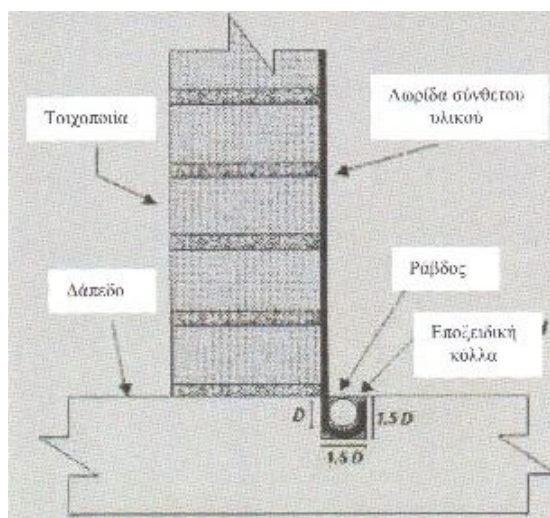
Σχήμα 8 : Στερέωση τόξων με σύνθετα υλικά στην εξωτερική (πάνω) και εσωτερική (κάτω) όψη.[2]

6. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΦΗΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Εξωτερικά επικολλωμένους οπλισμός:

1. Πριν την εφαρμογή των υλικών απαιτείται επιμελημένη προετοιμασία της επιφάνειας που θα γίνει η επικόλληση. Απαιτείται δηλαδή αφαίρεση χαλαρών τμημάτων, πλήρωση ρωγμών, εξασφάλιση επίπεδης και λείας επιφάνειας και υγιούς υποστρώματος, χρησιμοποιώντας ειδικό μηχανικό εξοπλισμό. Προκειμένου να εξασφαλίσουμε επίπεδη επιφάνεια, χωρίς πτυχώσεις, εφαρμόζεται μια στρώση από επισκευαστικό κονίαμα που θα υποδεχθεί το υλικό, καθώς στόχος είναι η μεταφορά δυνάμεων στα σύνθετα υλικά με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ασφάλεια.
2. Στην περίπτωση που το σύνθετο υλικό καλύπτει γωνίες, αυτές εξομαλύνονται και λειαίνονται για να αποκτήσουν καμπυλότητα με ακτίνα 30 mm.

3. Επαλείφουμε την επιφάνεια αναμονής με εποξειδική ρητίνη πάχους 1-2 mm με κατάλληλο ιξώδες που διευκολύνει την τοποθέτηση του φύλλου. Στην κεντρική περιοχή επαφής η κόλλα έχει μεγαλύτερο πάχος της τάξης των 10 mm, έτσι ώστε κατά την τοποθέτηση του φύλλου η κόλλα να προχωράει προς τα έξω όταν συμπιεστεί.
4. Εφαρμόζεται ομοιόμορφη πίεση καθώς τοποθετείται το φύλλο του σύνθετου υλικού στην επιφάνεια αναμονής, με τρόπο που αποφεύγεται ο εγκλωβισμός αέρα μέσα σ' αυτό. Συνήθως γίνεται χρήση ενός σκληρού ρολού.
5. Αφότου περάσει μισή έως μια ώρα από την τοποθέτηση, αφαιρείται το προστατευτικό κάλυμμα του φύλλου και οι ίνες επαλείφονται με μία δεύτερη στρώση της ίδιας ρητίνης.
6. Αν προβλέπεται η τοποθέτηση παραπάνω του ενός φύλλου, η διαδικασία επαναλαμβάνεται, προετοιμάζοντας με τρόπο ανάλογο την εξωτερική επιφάνεια του προηγούμενου ελάσματος.
7. Η καλή αγκύρωση των οπλισμών ενίσχυσης (στα άκρα τους) είναι απαραίτητη για την εξασφάλιση της ικανότητας ανάληψης σημαντικών δυνάμεων από τα σύνθετα υλικά. Η βασικότερη μέθοδος αγκύρωσης είναι μέσω μεταλλικών πλακών. Οι πλάκες τοποθετούνται στις ακραίες περιοχές του ελάσματος και στις δυο όψεις του στοιχείου (π.χ. του τοίχου) ενώ ένας αριθμός προεντεταμένων κοχλιών ασκεί θλιπτική πίεση εγκλωβίζοντας το έλασμα του ινοπλισμένου υλικού αυξάνοντας την τριβή μεταξύ πλάκας και ελάσματος. Επίσης η αγκύρωση μπορεί να γίνει μέσω γωνιακών μεταλλικών ελασμάτων ή μέσω της δημιουργία εγκοπών μέσα στο σώμα του τοίχου όπου με μηχανικά μέσα επιτυγχάνεται η αγκύρωση του ελάσματος. [8],[9],[12]



Σχήμα 9: Αγκύρωση οπλισμών ενίσχυσης [12]

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την ενίσχυση των ιστορικών κατασκευών με ινοπλισμένα πολυμερή, εκτός από την αρχιτεκτονική διασφάλιση της ιστορικότητας και της μνημειακής αξίας τους, βελτιώνουμε τη

στατική τους λειτουργία. Ακόμα και αν τα φύλλα ξεκολλήσουν από την τοιχοποιία, λόγω των μεγάλων μετακινήσεων, μπορούν ακόμα να δεχτούν εφελκυστικές δυνάμεις που τις μεταφέρουν στα άκρα της τοιχοποιίας μέσω των σημείων αγκύρωσης. Τα υλικά και οι μέθοδοι εφαρμογής εξελίσσονται ταχύτατα δίνοντας προηγμένες ιδιότητες και χαρακτηριστικά, ενώ ο ρόλος τους στις κατασκευές είναι πρωταγωνιστικός. Στη χώρα αμ σ όμως, υπάρχει έλλειψη βασικών γνώσεων και παιδείας, η οποία πρέπει να καλυφθεί με περαιτέρω έρευνα και ενημέρωση, ώστε η συγκεκριμένη τεχνική να δίνει ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] “Αναλυτικός προσδιορισμός της συμπεριφοράς ενισχυμένης τοιχοποιίας με σύνθετα υλικά έναντι μονοτονικής επιβολής μετακίνησης.” , Μουζάκης Χάρης, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας 5-7 Νοεμβρίου, 2008, Άρθρο 2040
- [2] “Ενισχύσεις Κατασκευών Σκυροδέματος Και Τοιχοποιίας Με Σύνθετα Υλικά”, Αθ. Χ. Τριανταφύλλου, Πάτρα 2006
- [3] “Innovation on advanced composite materials for strengthening and blast protection of historical masonry structures”, P. Casadei, E. Agneloni, 2009
- [4] “Τα ινοπλισμένα πολυμερή στις επεμβάσεις σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα.”, Ε. Βιντζηλαίου, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, www.tee.gr
- [5] “Strengthening of Masonry Arches with Fiber-Reinforced Polymer Strips.”, Paolo Foraboschi , Journal of composites for construction ASCE/MAY/JUNE 2004
- [6] “Αποκατάσταση Επανάχρηση Ιστορικών Κτιρίων και Συνόλων”, Νομικός Ε. Μιχαήλ, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 1997
- [7] Πρακτικά 1^ο Εθνικού Συνεδρίου Θεσσαλονίκης “Appropriate interventions for the safeguarding of monuments and historical buildings.” – “Ηπιες επεμβάσεις και προστασία ιστορικών κατασκευών-Διατήρηση και βελτίωση της αρχικής δομής και τυπολογίας.”, 23-25 Νοεμβρίου 2000
- [8] “Ενισχύσεις Κατασκευών Με Σύνθετα Υλικά.”, Αθ. Χ. Τριανταφύλλου, Ημερίδα ΤΕΕ “Ενίσχυση Κατασκευών Με Σύνθετα Υλικά.”, 18 Μαΐου 2000
- [9] “Ενισχύσεις- Επισκευές Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος”, Σ. Δρίτσος, Πανεπιστήμιο Πατρών Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πάτρα 2011
- [10] Δικτυακός τόπος “ <http://www.iar-restauri.it> “
- [11] “Ενίσχυση Φέρουσας Τοιχοποιίας Για Εντός Επιπέδου Φόρτιση Με Σύνθετα Υλικά Ανόργανης Μήτρας Και Με Ράβδους Σύνθετων Υλικών Σε Εγκοπές.”, Διατριβή Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης, Κυριάκος Κάρλος, Πανεπιστήμιο Πατρών-Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πάτρα 2005
- [12] “Συμβολή Στην Αναλυτική Και Πειραματική Μελέτη Της Φέρουσας Τοιχοποιίας Ενισχυμένης Με Σύνθετα Υλικά”, Διδακτορική Διατριβή, Κρεβαίκα Θεοφανή, Πανεπιστήμιο Πατρών-Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πάτρα 2005