

Επισκευή & ενίσχυση κατασκευών με σύνθετα υλικά

ΑΡΘΡΟ ΤΟΥ

Κ. ΣΠΥΡΑΚΟΥ, Επικ. Καθηγητή ΕΜΠ,
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών,
Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας



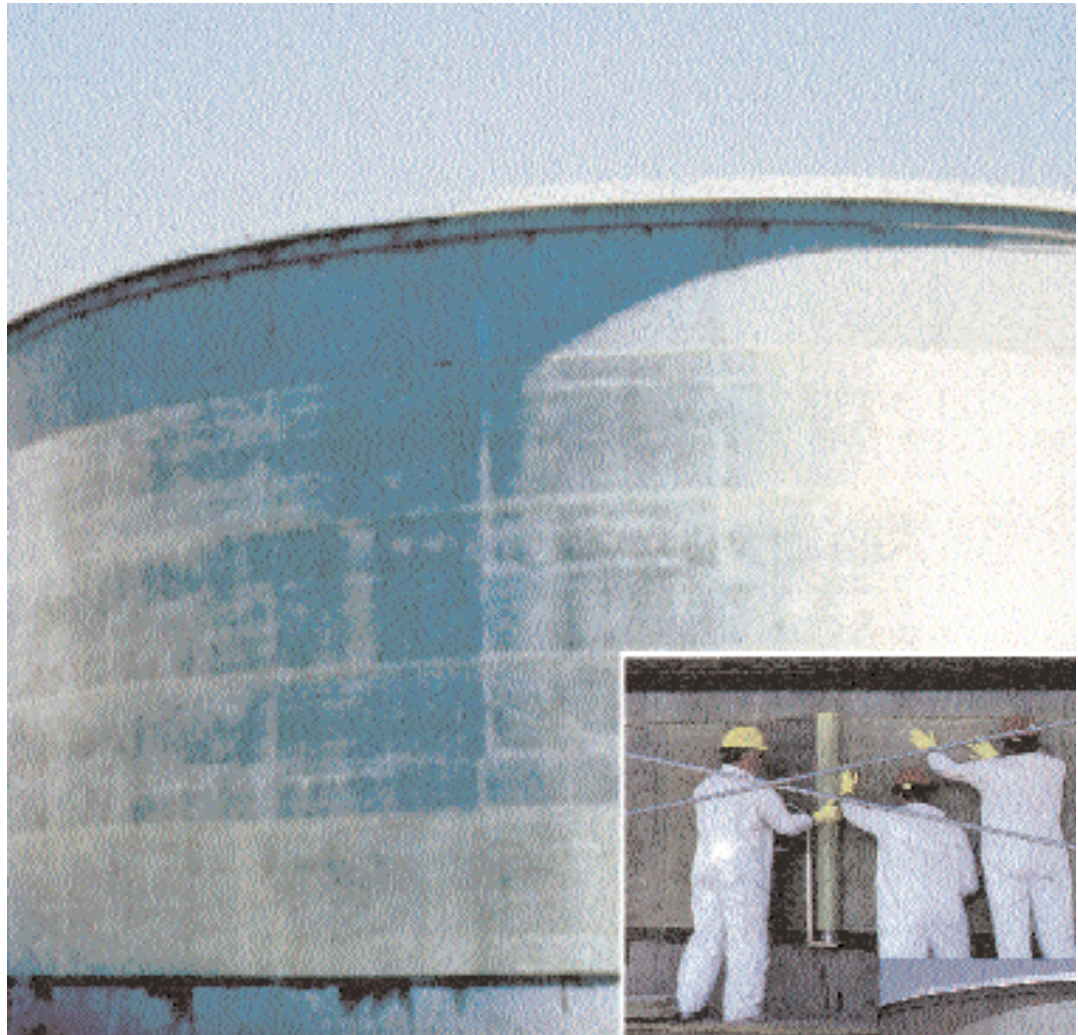
Η σχετικά πρόσφατη μέθοδος και τεχνολογία ενίσχυσης κατασκευών με σύνθετα υλικά, έχει να επιδείξει πραγματικά εντυπωσιακή ανάπτυξη και διάδοση, με πρώτες εφαρμογές να αναφέρονται στις αρχές του 1990.

Την τελευταία δεκαετία έχουν αναπτυχθεί νέες τεχνολογίες ενίσχυσης και επισκευής κατασκευών που βασίζονται στη χρήση σύνθετων υλικών. Τα σύνθετα αυτά υλικά αποτελούνται από ίνες υψηλής αντοχής "συρραμμένες ή πλεγμένες" σε μορφή "υφάσματος". Τα "υφάσμα-

τα" σύνθετων ινών, αφού εμποτιστούν με ειδικές εποξεικές ρητίνες, σχηματίζουν ένα σύνθετο υλικό το οποίο επικολλείται στις κατάλληλα προετοιμασμένες επιφάνειες του δομικού στοιχείου αποτελώντας τη μόνιμη επένδυση ενίσχυσής του.

Αρχικά, τα σύνθετα υλικά εφαρμόστηκαν για την ενίσχυση γεφυ-

ρών στις ΗΠΑ και ακολούθως για την ενίσχυση κτιριακών κατασκευών. Σήμερα τα υλικά αυτά έχουν εφαρμοστεί εκτενώς στην ενίσχυση πάσης φύσεως τεχνικών έργων τόσο στις ΗΠΑ, όσο και σε πολλά κράτη της Αμερικής, Ασίας και Ευρώπης, συμπεριλαμβανομένης και της χώρας μας.



Ενίσχυση μεταλλικής δεξαμενής στο Fort Lewis των Η.Π.Α.

Η τεχνολογία των σύνθετων υλικών συνίσταται στην επικόλληση, με τη βοήθεια ειδικών ρητινών, εύκαμπτων “υφασμάτων” πάνω σε κατάλληλα προετοιμασμένες επιφάνειες δομικών στοιχείων.

Στο άρθρο που ακολουθεί γίνεται μια σύντομη αναφορά στις διαδεδομένες, “παραδοσιακές” πλέον, μεθόδους ώστε να αναπτυχθούν μόνο τα στοιχεία εκείνα που θα φανούν χρήσιμα για την αξιοποίηση της εφαρμογής των σύνθετων υλικών σε επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών.

“Παραδοσιακές” μέθοδοι ενίσχυσης

Οι συνθετικές μέθοδοι αποκατάστασης και ενίσχυσης της φέρουσας ικανότητας των κατασκευών στη χώρα μας είναι:

- έγχυτο σκυρόδεμα,
- εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (gunite),
- τσιμεντενέσεις και τσιμεντοκονιάματα,
- εποξεικές ρητίνες και εποξεικά κονιάματα,
- μεταλλικά ελάσματα (beton plaqué) και
- μεταλλικοί κλωβοί.

Η επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού μεθόδων επισκευής ή ενίσχυσης μιας κατασκευής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως για παράδειγμα από τη σοβαρότητα και το είδος των βλαβών καθώς και το είδος και τη θέση του δομικού στοιχείου. Το ζήτημα επιλογής της κατάλληλης μεθόδου έχει αντιμετωπιστεί εκτενώς και λύσεις που προτείνονται, εμφανίζονται στην ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία.

Σχετικά με τις συνήθεις εφαρμογές των “παραδοσιακών” μεθόδων μπορούν να αναφερθούν τα εξής:

- Το **έγχυτο σκυρόδεμα** χρησιμοποιείται ως μανδύας για την κάλυψη του πρόσθετου οπλισμού ενίσχυσης συνήθως σε **επισκευές και ενισχύσεις δομικών στοιχείων που έχουν υποστεί σημαντικές βλάβες**. Η χρήση του απαιτεί επιμελημένη προετοιμασία και προσεκτική εκτέλεση της σκυροδέτησης.
- Το **εκτοξευόμενο σκυρόδεμα** χρησιμοποιείται κυρίως σε **μέτριας έκτασης βλάβες** για την ε-

νίσχυση ή επισκευή δομικών στοιχείων από σκυρόδεμα ή τοιχοποιία. Δεν απαιτεί ξυλότυπο, απαιτεί όμως ειδικό εξοπλισμό και εκπαιδευμένα συνεργεία για την αξιόπιστη εφαρμογή του.

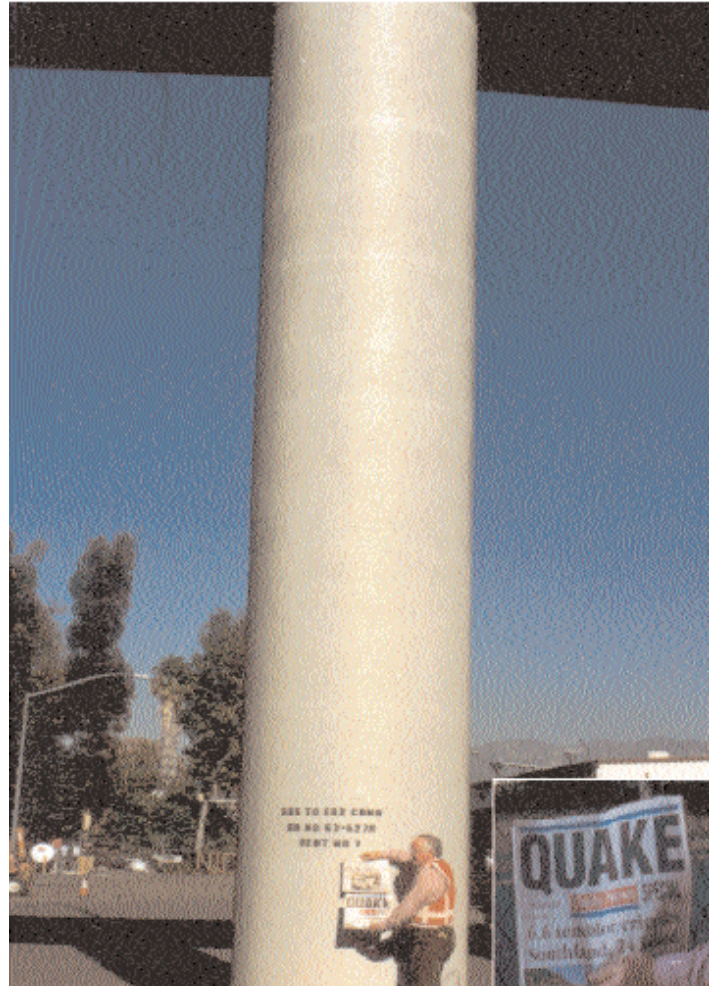
- Οι **επισκευές με τσιμεντενέσεις** βρίσκουν εφαρμογή στην **πλήρωση κυρίως μεγάλων ρωγμών** σε τοιχοποιίες και στοιχεία σκυροδέματος.
- Οι **ρητίνες**, και ιδιαίτερα ο πιο συνηθισμένος τύπος τους οι εποξεικές, χρησιμοποιούνται ως **υλικό πλήρωσης ρωγμών σκυροδέματος ή τοιχοποιίας**. Αποτελούνται συνήθως από δύο συστατικά τα οποία μετά την ανάμιξη τους σκληρύνονται, αναπτύσσοντας μηχανικά χαρακτηριστικά που εξαρτώνται από τη χημική σύσταση των συστατικών υλικών και την αναλογία τους.
- Τα **μεταλλικά ελάσματα** χρησιμοποιούνται για την **ενίσχυση στοιχείων σκυροδέματος**. Η σωστή εφαρμογή τους απαιτεί επιμελημένη προετοιμασία της επι-



Ενίσχυση της γέφυρας Gaviota στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α. Τα σύνθετα υλικά αφού εμποτίστηκαν με τις κατάλληλες εποξεικές ρητίνες περιτυλίχθηκαν στα υποστυλώματα ως "επίδεσμος" και αφέθηκαν να σκλήρυνθούν. Μετά τη σκλήρυνσή τους επιτεύχθηκε θεαματική αύξηση στα επίπεδα πηλασιμότητας των υποστυλωμάτων (από $\mu=1$ H2 πριν την ενίσχυση σε $\mu=6$ H8 μετά την ενίσχυση, όπου μ ο δείκτης πηλασιμότητας μετακινήσεων).



Λεπτομέρεια ενίσχυσης κόμβου με σύνθετα υλικά (Hotel Rendezvous, Σιγκαπούρη). Τα σύνθετα υλικά εφαρμόζονται ευκολότατα σε περιπτώσεις ενίσχυσης κόμβων δοκών - υποστυλωμάτων αυξάνοντας τη διατμητική αντοχή τους στα επιθυμητά επίπεδα.



Μετασεισμική κατάσταση υποστυλωμάτων γέφυρας στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α. Η γέφυρα είχε ενισχυθεί προσεισμικά με σύνθετα υλικά και δεν παρουσίασε ουδεμία βλάβη μετά από τον καταστροφικό σεισμό του Λος Άντζεϊες, έντασης 6.6 Richter.

φάνειας του σκυροδέματος και επάλειψή της με κατάλληλες εποξεικές ρητίνες.

- Οι **μεταλλικοί κλωβοί** χρησιμοποιούνται κυρίως για την **ενίσχυση υποστυλωμάτων**. Συνίστανται από μεταλλικά ελάσματα που τοποθετούνται στις γωνίες των υποστυλωμάτων και συνδέονται μεταξύ τους με συγκολλημένες μεταλλικές ράβδες. Η μέθοδος αποσκοπεί στην αύξηση της περιόφησης του σκυροδέματος, με επακόλουθο την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του υποστυλώματος.

Όσον αφορά στη χρήση έγχυτου ή εκτοξευόμενου σκυροδέματος ως μεθόδων επισκευής, είναι γνωστό ότι και οι δύο μέθοδοι απαιτούν ιδιαίτερη προετοιμασία του χώρου που θα γίνει η επέμβαση. Τις περισσότερες φορές απαιτείται εκκένωση του προς ενίσχυση χώρου από τους ενοίκους του, τουλάχιστον για το χρονικό διάστημα που διαρκούν οι εργασίες επισκευής. Το γεγονός αυτό είναι από μό-

νο του σημαντικού καθόσον ανεβάζει το συνολικό κόστος του έργου.

Σχετικά με τη συμπεριφορά μιας κατασκευής που έχει επισκευαστεί με μία από τις παραπάνω μεθόδους επιστημαίνονται τα εξής:

- Με την προσθήκη του σκυροδέματος και του οπλισμού ενίσχυσης **είναι δυνατό να αυξηθεί η αντοχή και η πηλασιμότητα της κατασκευής** (επιθυμητές βελτιώσεις), ταυτόχρονα όμως **αυξάνεται η δυσκαμψία και το συνολικό βάρος της κατασκευής**. Η αύξηση του βάρους έχει δυσμενείς επιπτώσεις καθόσον προκαλεί ταυτόχρονα και την αύξηση των σεισμικών φορτίων που καλείται να αναλάβει ο φέρων οργανισμός. **Η αύξηση της δυσκαμψίας έχει τόσο ευνοϊκά όσο και δυσμενή αποτελέσματα**. Η ευνοϊκή επίδρασή της, με προϋπόθεση τη διατήρηση της αντοχής του φέροντος οργανισμού, συνίσταται στη μείωση των παραμορφώσεων του φέροντος οργανισμού με επακό-

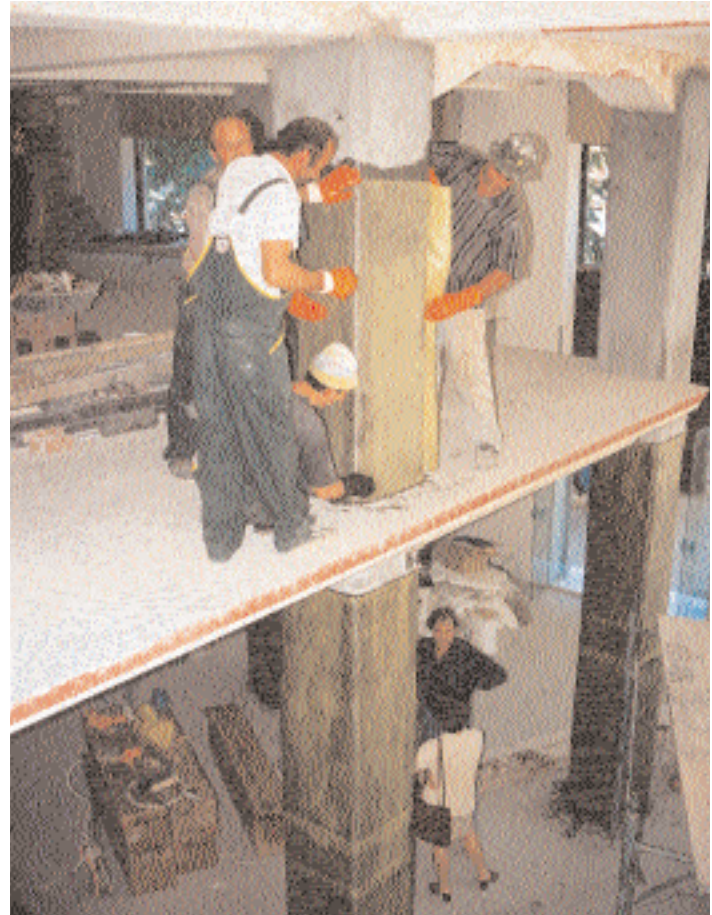
λουθο την προστασία των τοιχοπληρώσεων από ρηγματώσεις ή καταρρεύσεις και την εν γένει μείωση των σεισμικών βλαβών στο μη φέροντα οργανισμό της κατασκευής. Δυσμενές αποτέλεσμα είναι η αύξηση των σεισμικών φορτίων που σημαίνει αύξηση της καταπόνησης της κατασκευής.

- Όσον αφορά στη χρήση τσιμεντέσεων και εποξικών κονιαμάτων, αυτά χρησιμοποιούνται για την **αποκατάσταση της φέρουσας ικανότητας των δομικών στοιχείων** τόσο σε συνδυασμό με τις "παραδοσιακές" μεθόδους ενίσχυσης όσο και με τις μεθόδους ενίσχυσης με σύνθετα υλικά.

Μέθοδοι ενίσχυσης με σύνθετα υλικά

Η τεχνολογία συνίσταται στην επικόλληση, με τη βοήθεια ειδικών ρητινών, εύκαμπτων "υφασμά-

Όπως οι παραδοσιακές μέθοδοι ενίσχυσης, έτσι και τα σύνθετα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πάσης φύσεως κατασκευές, όπως για παράδειγμα σε κτίρια, σε γέφυρες κτλ.



Ενίσχυση υποστυλιωμάτων κτιρίου Αγροτικής Τράπεζας Ελλάδας στη Θεσσαλονίκη. Τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιήθηκαν λόγω του μικρού τους πάχους για την ουσιαστική αύξηση των αξονικών και καμπτικών αντοχών των υποστυλιωμάτων με μηδενική μεταβολή της δυσκαμψιάς τους, μη προκαλώντας έτσι διαφορετική κατανομή στα σεισμικά εντατικά μεγέθη των υποστυλιωμάτων από εκείνη του αρχικού σχεδιασμού του κτιρίου.

Με την προσθήκη του σύνθετου υλικού αυξάνεται η αντοχή και η πλαστιμότητα της κατασκευής με πρακτικά μηδενική αύξηση του βάρους της.

των” από ινώδη οπλισμένα πολυμερή (συνήθως ίνες υάλου ή άνθρακα) πάνω σε κατάλληλη προετοιμασμένες επιφάνειες δομικών στοιχείων από σκυρόδεμα, σίδηρο, οπτοπληθοδομή, λιθοδομή ή ξύλο. Όπως οι παραδοσιακές μέθοδοι, έτσι και τα σύνθετα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πάσης φύσεως κατασκευές, όπως για παράδειγμα σε κτίρια για την ενίσχυση υποστυλιωμάτων, δοκών, πλακών και τοίχων, σε γέφυρες για την ενίσχυση των βάθρων, δοκών, καταστρώματος, κεφαλοδέσμων και πασσάλων κτλ. **Οι ρητίνες χρησιμοποιούνται αφενός για την προετοιμασία της προς ενίσχυση επιφάνειας και αφετέρου για τον εμπιστοσύμη του “υφάσματος”.** Το εμπιστοσύμη με ρητίνη ύφασμα αποτελεί το σύνθετο υλικό.

Η προετοιμασία της επιφάνειας στην περίπτωση μεταλλικής κατασκευής ή κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα απαιτεί παρόμοια διαδικασία με αυτή που ακολουθείται για την ενίσχυση της κατασκευής με τη μέθοδο των μεταλλικών ελασμάτων. Σε περιπτώσεις ενίσχυσης ρηγματωμένων δο-

μικών στοιχείων, τα σύνθετα υλικά πρέπει να εφαρμόζονται σε επιφάνειες που έχουν προετοιμαστεί με τσιμεντενέσεις, τσιμεντοκονιάματα, εποξεικές ρητίνες ή εποξεικά κονιάματα. Ο αριθμός των στρώσεων του σύνθετου υλικού που θα τοποθετηθεί εξαρτάται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή και προκύπτει από στατική ή/και δυναμική ανάλυση του φορέα.

Στα σύνθετα υλικά με βάση τις ίνες υάλου, το πάχος μιας στρώσης σύνθετου υλικού κυμαίνεται από 1.00 έως 2.00 χιλ. ενώ το βάρος της είναι της τάξης του 0.5 χιλγ./τετ. μέτ. Ο συντελεστής θερμικής διαστολής του σύνθετου υλικού είναι πρακτικά ο ίδιος με αυτόν του σκυροδέματος, ενώ η χαρακτηριστική αντοχή του συνήθως υπερβαίνει αυτή του χάλυβα S500. Ως χαρακτηριστικό παράδειγμα σύγκρισης μπορεί κανείς να αναφέρει το γεγονός ότι η πρόσθετη διατμητική αντοχή τοιχείου ενισχυμένου με μια στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος C30/37 πάχους 70.0 χιλ. και τυπικό οπλισμό μπορεί να επιτευχθεί με μια μόνο στρώση σύνθετου υλικού πάχους 1.5 χιλ.

Η χρήση σύνθετων υλικών για την ενίσχυση κατασκευών μπορεί να θεωρηθεί ως η φυσική εξέλιξη των ενισχύσεων με μεταλλικά ελάσματα με δύο ουσιαστικές διαφορές: α) τη χρήση σύνθετου υλικού αντί μετάλλου, και β) τη μεγάλη ευκολία τοποθέτησης του εύκαμπτου και ελαφρού σύνθετου υλικού σε πολλές επάλληλες στρώσεις αυξάνοντας έτσι την αντοχή του ενισχυόμενου στοιχείου στο επιθυμητό επίπεδο.

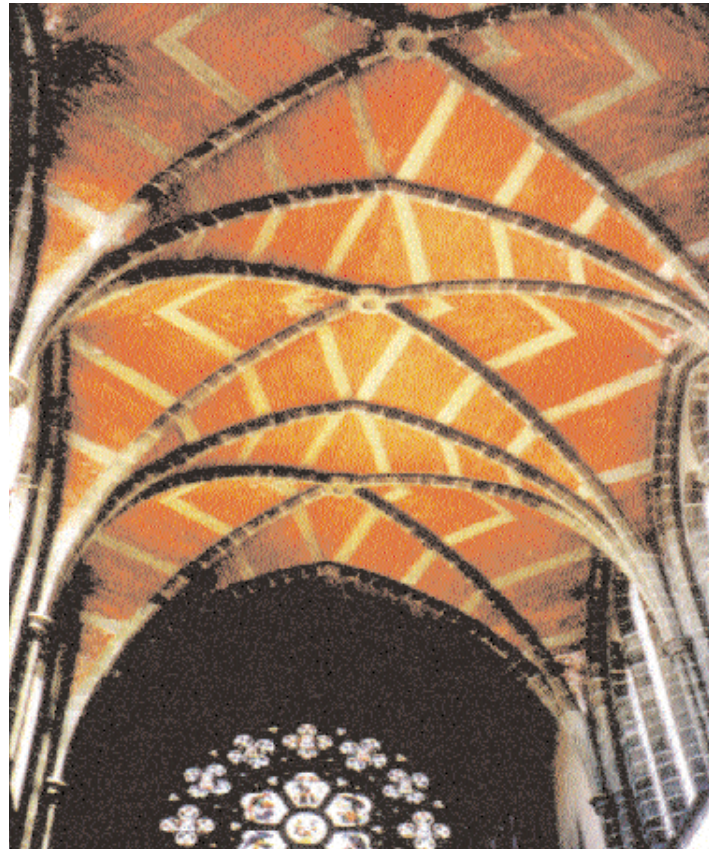
Στην περίπτωση ενίσχυσης οπτοπληθοδομής ή λιθοδομής επιδιώκεται η δημιουργία μιας σχετικά λείας και επίπεδης επιφάνειας, συνήθως με χρήση τσιμεντοκονιάματος εξομάλυνσης, επάνω στην οποία επικολλείται το σύνθετο υλικό με τη βοήθεια ρητίνης.

Στην περίπτωση ενίσχυσης ξύλου απαιτείται απλή λείανση της επιφάνειας του ξύλου και επάλειψή της με ρητίνη για την επικόλληση του σύνθετου υλικού.

Για να εξασφαλιστούν οι **απατήσεις πυροπροστασίας** του ενισχυμένου με σύνθετα υλικά δομικού στοιχείου διατίθενται δύο εναλλακτικές λύσεις: α) χρήση κατάλλη-



Ενίσχυση τοιχοποιίας σε κτίριο του Χονγκ-Κονγκ. Σύνθετα υλικά χρησιμοποιήθηκαν για την αύξηση της διατμητικής αντοχής της τοιχοποιίας (in-plane shear strength και out-of-plane shear strength), μετατρέποντας ουσιαστικά τη λειτουργία της σε λειτουργία τοιχίου από ο-πλισμένο σκυρόδεμα.



Ενίσχυση τρούλλου ιστορικού καθεδρικού ναού στη British Columbia του Καναδά. Ειδικά διαφανή "υφάσματα" σύνθετων υλικών εμποτισμένων με κατάλληλες εποξεικές ρητίνες εφαρμόστηκαν στο εσωτερικό του τρούλλου ενισχύοντάς τον. Ο τρόπος αυτός ενίσχυσης παρουσιάζει ελάχιστη μεταβολή στην εμφάνιση των δομικών στοιχείων και είναι ο πλέον κατάλληλος για την ενίσχυση διατηρητέων κτιρίων, μνημείων και ιστορικών και αρχαιοθι-γικών κτισμάτων.

λων ρητινών που επιστρώνονται στην εξωτερική επιφάνεια των σύνθετων υλικών, και β) τοποθέτηση επιχρίσματος. Η δεύτερη λύση είναι συνήθως οικονομικότερη και δίνει τη δυνατότητα βαφής και διακοσμητικής επέμβασης στο δομικό στοιχείο.

Με την επιλογή των κατάλληλων ρητινών επιτρέπεται επίσης η **εφαρμογή των σύνθετων υλικών σε κατασκευές που είναι μέσα σε νερό**. Στις περιπτώσεις αυτές μπορεί κανείς να εκμεταλληθεί τη δυνατότητα των σύνθετων υλικών να αυξήσουν την πλαστικότητα, αντοχή και δυσκαμψία των κατασκευών αλληλά και να τα χρησιμοποιήσει ως στεγανωτική μόνωση, όπως στην περίπτωση θεμελίωσης κατασκευών στη θάλασσα, λιμενικών εγκαταστάσεων, για την ενίσχυση και στεγάνωση σηράγγων καθώς και αγωγών μεγάλων διαστάσεων.

Πειραματικά αποτελέσματα, μελέτες και έλεγχοι της συμπεριφοράς των σύνθετων υλικών στο χρόνο έχουν δείξει ότι **τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά παραμένουν πρακτικά αναλλοίωτα για**

τουλάχιστον 50 έτη.

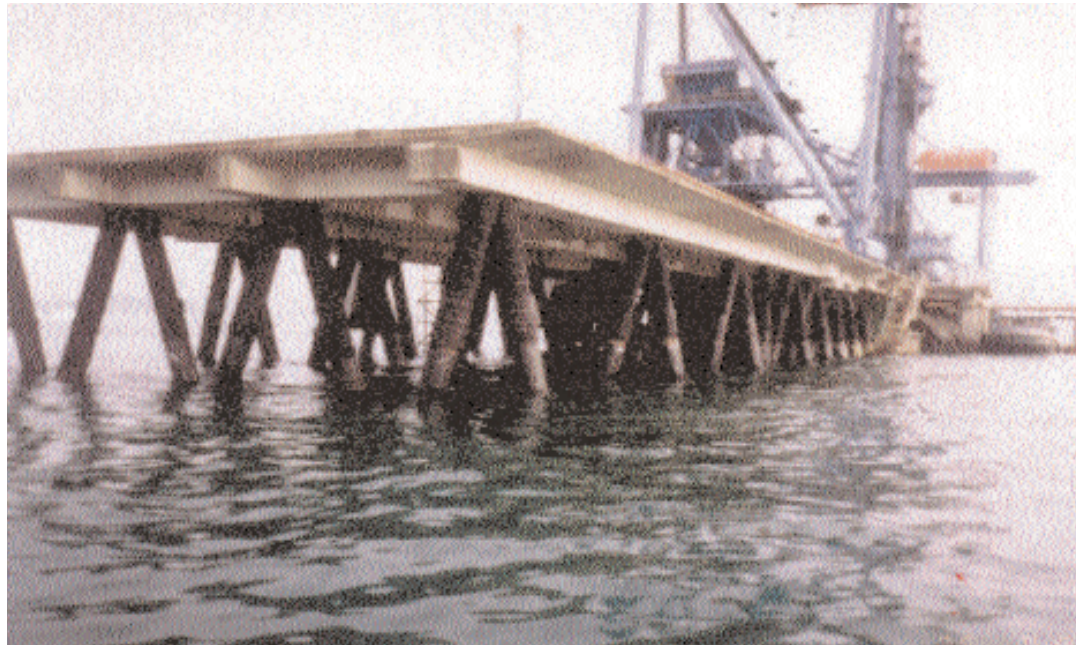
Επιχειρώντας μία σύγκριση κόστους των δύο βασικών ειδών ινών (υάλου και γραφίτη) που χρησιμοποιούνται ως βάση για την κατασκευή σύνθετων υλικών, σημειώνεται ότι **τα σύνθετα υλικά με ίνες υάλου πλεονεκτούν σημαντικά σε σχέση με τα αντίστοιχα από ίνες γραφίτη**. Αυτό αποτελεί τον κύριο λόγο που η συντριπτική πλειοψηφία των εφαρμογών σύνθετων υλικών σε παγκόσμιο επίπεδο σε κτιριακά αθλή και σε έργα υποδομής έχει πραγματοποιηθεί με υλικά ινών υάλου, ενώ τα σύνθετα υλικά από ίνες γραφίτη περιορίζονται κυρίως σε εφαρμογές αύξησης της δυσκαμψίας, δομικών στοιχείων σε κάμψη.

Η συμπεριφορά του σύνθετου υλικού εξαρτάται από τα μηχανικά χαρακτηριστικά των συστατικών του, (ινοπλισμένο "υφάσμα" και ρητίνη), τη διαδικασία εμποτισμού του "υφάσματος" καθώς και την προετοιμασία της επιφάνειας πάνω στην οποία θα επικολληθεί το σύνθετο υλικό. Για την επίτευξη της επιδιωκόμενης συμπεριφοράς απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή και εμπει-

ρία ώστε να πληρούνται όλες οι παράμετροι σχεδιασμού. Η επιλογή του είδους του σύνθετου υλικού πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή. Σημασία επίσης έχει και ο **τρόπος παρασκευής των σύνθετων υλικών**. Για παράδειγμα, τα σύνθετα υλικά που παράγονται με συρραφή ευθύγραμμων ινών (stitched process) παρουσιάζουν αυξημένες αντοχές έναντι των σύνθετων υλικών που παράγονται με ύφανση (woven process) εξαιτίας αφενός του περιορισμού της συγκέντρωσης τάσεων λόγω ύφανσης και αφετέρου της χρήσης μικρότερου ποσοστού ρητίνης, η υπερβολική ποσότητα της οποίας μειώνει τις αντοχές του σύνθετου υλικού.

Σχετικά με τη συμπεριφορά μιας κατασκευής που έχει ενισχυθεί με σύνθετα υλικά επισημαίνονται τα εξής: Με την προσθήκη του σύνθετου υλικού **αυξάνεται η αντοχή και η πλαστικότητα της κατασκευής με πρακτικά μηδενική αύξηση του βάρους της**. Με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία, είναι τεκμηριωμένο ότι η χρήση σύνθετων υλικών για την αύξηση της πλαστικότητας υποστυλωμάτων και δοκών

Η επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού μεθόδων επισκευής ή ενίσχυσης μιας κατασκευής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η σοβαρότητα και το είδος των βλαβών, το είδος του κτιρίου κ.ά.



Ενίσχυση πασσάλων του Lamma Island Jetty του Χονγκ-Κονγκ. Τα σύνθετα υλικά μπορούν να εφαρμοστούν πλήσιον ή και μέσα στη θάλασσα αφού πρώτα εμποτιστούν με τις κατάλληλες εποξεικές ρητίνες που σκληρύνονται σε υποβρύχιο ή υγρό περιβάλλον.

➡ **Σχετικά θέματα** που έχουν δημοσιευτεί στα ΤΕΥΧΗ ΚΤΙΡΙΟ:

- Το έτοιμο σκυροδεμα και οι ελεγκοι του συμφωνα με τον κανονισμο , Τεύχος 10/ σελ. 50
- Ο αντισεισμικός σχεδιασμός αρχίζει από την επιλογή του σχηματος των κτιριων , Τεύχος 18/ σελ. 26
- Προληψη και αποκατασταση ζημιων σκυροδεματος , Τεύχος 25/ σελ. 81
- Επισκευες τοικων που επαθαν ζημιες απο σεισμοις , Τεύχος 33/ σελ. 31
- Σκυροδεμα: προστασια και επιδιορθωση , Τεύχος 37/ σελ. 51
- Μετασεισμικη εκτιμηση βλαβων στα κτιρια , Τεύχος 42/ σελ. 31
- Επισκευες στοιχειων σκυροδεματος σε κτιρια που εχουν παθει ζημιες απο σεισμο , Τεύχος 61/ σελ. 29
- Βλαβες απο σεισμο: τυποι και παραγοντες που τις επηρεαζουν , Τεύχος 74/ σελ. 43
- Βλαβες απο σεισμο: υλικά και μεθοδοι επιδιορθωσης , Τεύχος 85/ σελ. 39
- Νεος ελληνικος αντισεισμικος κανονισμος & νεος κανονισμος οπλισμενου σκυροδεματος , Τεύχος 88/ σελ. 31
- Αστοχίες του σκυροδεματος: που οφειλονται;, Τεύχος 89/ σελ. 32
- Βιομηχανοποιηση συνδετηρων , Τεύχος 102/ σελ. 51
- Στηριγματα οπλισμων: ειδη - χρησηματα , Τεύχος 105/ σελ. 43
- Διαβρωση σιδηρου οπλισμου και ανοξειδωτος χαλυβας , Τεύχος 112/ σελ. 49
- Η ποιτητα των αντισεισμικων κατασκευων, μεταξυ αντοχης και κοστους , Τεύχος 115/ σελ. 39

➡ **Σχετικά υλικά** μπορείτε να βρείτε στο ετήσιο τεύχος **ΥΛΙΚΑ '99**, στην κατηγορία **ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ**, σελ. 15

➡ **υλικά με τεχνικές προδιαγραφές** μπορείτε να βρείτε στο ετήσιο τεύχος **ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ '99** στην κατηγορία **ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ**, σελ. 9

υπερτερεί της προσθήκης συνδετήρων ή μεταλλικών μανδύων στις κρίσιμες περιοχές αφού τα σύνθετα υλικά συμπεριφέρονται γραμμικά χωρίς να μειώνεται η αντοχή τους σε μεγάλες παραμορφώσεις υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση, όπως είναι οι παραμορφώσεις λόγω των σεισμικών φορτίσεων. Εάν είναι επιθυμητό, τα σύνθετα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αυξηθεί η δυσκαμψία της κατασκευής, επίσης με πρακτική μηδενική αύξηση του βάρους της. Η αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης κατασκευών με σύνθετα υλικά έχει τεκμηριωθεί με πλήθος πειραμάτων αλληλά και από την άριστη συμπεριφορά κατασκευών που δοκιμάστηκαν από ισχυρούς σεισμούς αφού είχαν προηγουμένως ενισχυθεί με σύνθετα υλικά.

Τα σύνθετα υλικά ως εναλλακτική λύση ενίσχυσης

Η ενίσχυση ή αποκατάσταση κατασκευών με σύνθετα υλικά παρουσιάζει τα εξής ουσιαστικά πλεονεκτήματα έναντι των "παραδοσιακών" μεθόδων ενίσχυσης:

- Η εφαρμογή των σύνθετων υλικών **απαιτεί μικρή προετοιμασία στο εργοτάξιο**. Δημιουργεί ελάχιστη όχληση στους χρήστες γιατί κατά κανόνα δεν απαιτεί εκκένωση του προς επισκευή χώρου. Η εφαρμογή των σύνθετων υλικών γίνεται ουσιαστικά

- όπως η τοποθέτηση ταπεταρίας σε τοίχο. Απαιτεί ελάχιστη προετοιμασία των δομικών στοιχείων που στις περισσότερες περιπτώσεις περιορίζονται στην καθαίρεση των επικρισμάτων.
 - Λόγω του μικρού πάχους του σύνθετου υλικού (1.00 έως 2.00 χιλ. πάχος στρώσης), **οι διαστάσεις του δομικού στοιχείου που ενισχύεται παραμένουν ουσιαστικά αμετάβλητες**, γεγονός που, σε συνδυασμό με το μικρό χώρο που απαιτείται για την εφαρμογή των υλικών, καθιστά τη χρήση σύνθετων υλικών άκρως ανταγωνιστική όταν υπάρχει περιορισμός χώρου.
 - Τα σύνθετα υλικά **έχουν μικρό βάρος** και η τοποθέτησή τους δεν απαιτεί βαρύ ή ειδικό εξοπλισμό.
 - Τα σύνθετα υλικά **μπορούν να επιχριστούν και να χρωματιστούν** σύμφωνα με τις αισθητικές απαιτήσεις του έργου.
 - Το **κόστος εφαρμογής** των σύνθετων υλικών είναι **εφάμιλλο των "παραδοσιακών" μεθόδων**, εάν δε κανείς συνυπολογίσει το ήπιο της επέμβασης (όσον αφορά στην προετοιμασία του εργοταξίου και των επιφανειών των προς ενίσχυση δομικών στοιχείων) και επιπλέον την πρακτικά μηδαμινή αλληόωση της αρχιτεκτονικής και του χώρου γενικότερα, τα πλεονεκτήματα της μεθόδου γίνονται εμφανέστερα.
- Συμπερασματικά, οι επεμβάσεις ενίσχυσης με σύνθετα υλικά απο-

τελούν σήμερα δοκιμασμένες εναλλακτικές λύσεις των παραδοσιακών μεθόδων έχοντας σκυροδέματος, εκτοξευόμενου σκυροδέματος, μεταλλικών ελασμάτων, και μεταλλικών κλωβών. Τα σύνθετα υλικά αποτελούν πλέον μια ακόμη αποτελεσματική τεχνολογία που προστέθηκε στη φαρέτρα του μηχανικού για την αντιμετώπιση πάσης φύσεως κατασκευαστικών στελλειών και βλαβών.

Ο αρθρογράφος ευχαριστεί τις εταιρίες προηγμένων εφαρμογών με σύνθετα υλικά QuakeGuard International Ε.Π.Ε. και ΕΞΕΛ.ΤΕ.Κ. Α.Ε. για την παροχή τεχνικών πληροφοριών και φωτογραφικού υλικού από το αρχείο τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γ. Πενέλης - Α. Κάππος, **ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ**, Εκδόσεις Ζήτη, 1990
- **ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΙ ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΒΛΑΒΕΣ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ**, Επιστημονικό Εγχειρίδιο από Ειδική Επιτροπή του Υπ. Δημ. Έργων, Εκδόσεις Δομικής Ενημέρωσης, 1995
- **ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΒΛΑΜΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ**, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1978
- G. Croci, **THE CONSERVATION AND STRUCTURAL RESTORATION OF ARCHITECTURAL HERITAGE**, Computational Mechanics Publications, Southampton, UK, 1998
- M. Priesley - F. Seible - G. Calvi, **SEISMIC DESIGN AND RETROFIT OF BRIDGES**, John Wiley & Sons, N. York, 1996