

ΕΝΙΣΧΥΣΗ -ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΔΙΑΒΡΩΜΕΝΟ ΟΠΛΙΣΜΟ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΣΑΚΕΛΛΑΡΑΚΗ ΕΛΕΝΗ

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται το φαινόμενο της προσβολής των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος από τις φυσικοχημικές δράσεις και μάλιστα, γίνεται αναφορά στη σημαντικότερη από αυτές, που είναι η διάβρωση των οπλισμών. Αρχικά επεξηγείται το φαινόμενο, τα αποτελέσματα και οι τρόποι πρόληψής του και σε δεύτερο στάδιο αναλύεται μία από τις βασικότερες μεθόδους που ακολουθείται για τη ριζική αντιμετώπισή του, η χρήση ινοπλισμένων πολυμερών. Περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθείται και δίνονται τα απαραίτητα στοιχεία για την εκτέλεση της μεθόδου σε υποστηλώματα.

1.1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κυρίαρχο δομικό υλικό των ημερών μας το σκυρόδεμα και μάλιστα το οπλισμένο, όπως και όλα τα σύνθετα υλικά είναι θερμοδυναμικά ασταθές με έντονη τάση αργά ή γρήγορα να αποσυντεθεί, ή να μεταπέσει σε άλλα σταθερά υλικά. Το γεγονός ότι όλα τα τεχνητά υλικά τείνουν να επιστρέψουν στη προηγούμενη φυσική τους κατάσταση είναι και το αίτιο της διάβρωσης του χάλυβα. Έτσι σήμερα παρατηρείται το φαινόμενο, έργα από οπλισμένο σκυρόδεμα κατασκευασμένα πριν από αρκετές δεκαετίες να φθάνουν στο τέλος της χρήσιμης ζωής τους, όχι επειδή κρίνονται ως λειτουργικά ανεπαρκή, ούτε γιατί κάποια εξωτερική μηχανική δράση όπως ο σεισμός ή τα φορτία χρήσης, προκάλεσε την αστοχία, αλλά εξαιτίας της φυσικής γήρανσής τους. Το πρόβλημα επομένως του καθορισμού της ανθεκτικότητας σε διάρκεια μίας κατασκευής είναι από τα σημαντικότερα που ο σύγχρονος μηχανικός καλείται να λύσει.

1.2.ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Όταν ο οπλισμός περιβάλλεται από ένα λεπτό, επιφανειακό στρώμα ένυδρου, οξειδίου του σιδήρου το οποίο δημιουργείται χάρη στην ψηλή αλκαλικότητα του σκυροδέματος, $pH=12.5$ τότε προστατεύεται ικανοποιητικά έναντι οποιασδήποτε προσβολής. Ωστόσο, επειδή το σκυρόδεμα είναι πορώδες υλικό επιτρέπει τη διείσδυση ουσιών όπως το υδροξείδιο του άνθρακα (CO_2) και των χλωριόντων (Cl^-) αλλά και του νερού που επιφέρουν τη διάβρωσή του, καθώς καταστρέφουν το προστατευτικό περίβλημα του χάλυβα. Τα (Cl^-) που μπορεί να προέρχονται είτε από το εσωτερικό του σκυροδέματος, αν έχουν χρησιμοποιηθεί συλλεκτά αδρανή από παραλίες ή θαλασσινό νερό μείζης, είτε από το φυσικό περιβάλλον διατρυπούν το προστατευτικό στρώμα. Ο χάλυβας αρχίζει να αποπαθητικοποιείται. Παράλληλα, μέσω της αέριας φάσης των πόρων το (CO_2) διαχέεται στο εσωτερικό του σκυροδέματος αντιδρά με το $Ca(OH)_2$ του νερού των πόρων. Η διαδικασία αυτή, που έχει σαν αποτέλεσμα τη μετατροπή του $Ca(OH)_2$ σε ανθρακικό ασβέστιο ($CaCO_3$) ονομάζεται ενανθράκωση και οδηγεί σε μείωση του pH σε τιμές κάτω του 9. Τα δύο φαινόμενα είναι πλήρως εξαρτημένα μεταξύ τους καθώς η ενανθράκωση επιταχύνει τη διέλευση Cl^- . (Παπαδάκης, Ρουμελιώτης, Φαρδής, Βαγενάς)

1.3.ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Οι συνέπειες της διάβρωσης είναι πολλαπλές και αφορούν όχι μόνο στον οπλισμό, αλλά και στα μέσα σύνδεσης, όπως είναι οι αγκυρώσεις και οι ελκυστήρες. Κατά πρώτο λόγο παρατηρείται απομείωση της διατομής και της ολκιμότητας του χάλυβα, ενώ παράλληλα η επικάλυψη αποφλοιώνεται, το σκυρόδεμα ρηγματώνεται και τμήματά του αποκολλούνται, με άμεση

συνέπεια και την απομείωση και της δικής του διατομής. Επιπλέον ο σχηματισμός ρηγματώσεων, επιτρέπει να εκτίθεται ο οπλισμός σε περαιτέρω αποσύνθεση. Αξιοσημείωτο είναι και το γεγονός ότι υποβιβάζεται η συνάφεια, ενώ σε αρκετά προχωρημένα στάδια ρηγματώσης και εκτίναξης σκυροδέματος καταλύεται και τελικά μεώνεται η αντοχή της διατομής όπως επισημαίνουν οι Χρονόπουλος-Σπανός .

1.4. ΤΡΟΠΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Όταν η επικάλυψη είναι σύμφωνη με τους κανονισμούς, ο τύπος του τσιμέντου επιλέγεται σωστά και το σκυρόδεμα είναι καλής ποιότητας τότε ο οπλισμός περιβάλλεται από ένας υγιές στρώμα μπετό ικανό να επιβραδύνει σημαντικά το φαινόμενο της διάβρωσης. Προς αυτήν την κατεύθυνση της προστασίας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πρόσμικτα υλικά προστασίας σκυροδέματος όπως το γαλάκτωμα ρητινικών υλικών, που εξασφαλίζουν στο σκυρόδεμα ένα ικανοποιητικό περίβλημα και το προστατεύουν από τις φθορές, σύμφωνα με την σχετική βιβλιογραφία για τα πρόσμικτα. Επιπλέον, έχει προταθεί (Μαλαμής, Μπατής, Κουλουνπή) για την προστασία από (Cl⁻) να χρησιμοποιείται καθαρό τσιμέντο Portland, ή ποζολανικό τσιμέντο, όπου οι ποζολάνες αντικαθιστούν τα αδρανή.

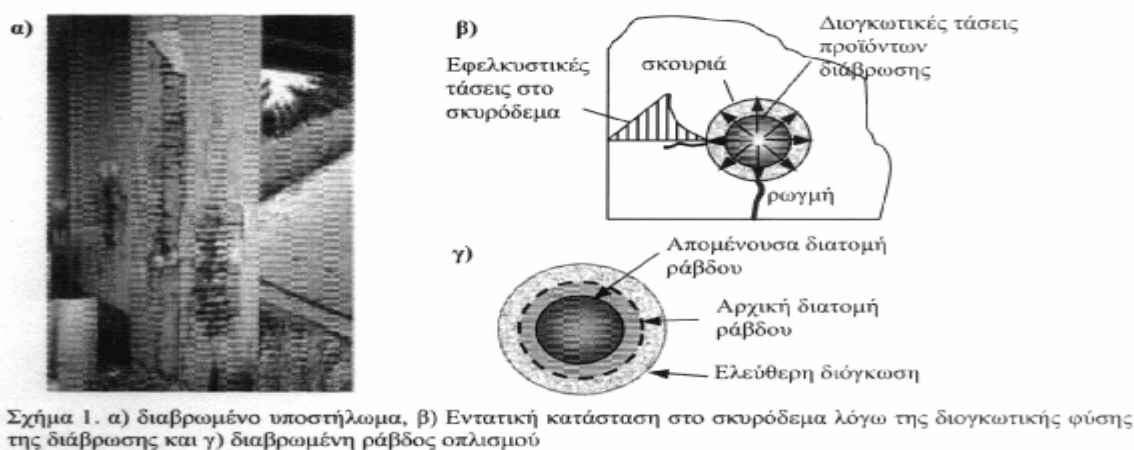
Στο εξωτερικό (Gee Chou, A.D.Hammond) αλλά και στη χώρα μας (Μ.Φαρδής) έχει προταθεί ως λύση, η καθοδική προστασία των οπλισμών. Η μέθοδος αυτή αν και έχει υψηλό κόστος θεωρείται αρκετά αποτελεσματική. Η εφαρμογή της συνίσταται στο να επανέλθει η αλκαλικότητα του σκυροδέματος και να αποφευχθεί η ενανθράκωση των οπλισμών. Συνδέεται ο θετικός πόλος μίας πηγής συνεχούς ρεύματος, με την επιφάνεια σκυροδέματος και ο αρνητικός με τον οπλισμό. Τα ανιόντα υδροξυλίου (OH⁻) που σχηματίζονται στην κάθοδο (χάλυβας) με την αντίδραση του νερού των πόρων με το οξυγόνο και με ελεύθερα ηλεκτρόνια από την κάθοδο κινούνται προς την επιφάνεια αντί, να κατευθύνονται κατά μήκος των ράβδων. Επίσης προς την επιφάνεια κινούνται και τα τυχόν υπάρχοντα χλωριόντα. Έτσι η εξουδετέρωση των ανιόντων, δηλαδή η οξείδωση, γίνεται στην εξωτερική επιφάνεια του σκυροδέματος και όχι στον χάλυβα με συνέπεια τη διάβρωσή του. Η αδυναμία αυτής της μεθόδου είναι το γεγονός ότι πρέπει να βρεθεί ένα σταθερό υλικό ανόδου, που θα μπορεί να καταναείμει το ρεύμα καθοδικής προστασίας σε μεγάλες επιφάνειες (Wyatt).

1.5. ΤΡΟΠΟΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Ως μέθοδοι για την αποκατάσταση βλαφθέντων κατασκευών συνήθως προτείνονται η χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος, εφόσον θέλουμε να αντικαταστήσουμε μεγάλα τμήματα σκυροδέματος, οι ρητινενέσεις και η χρήση ειδικών κονιαμάτων. Ωστόσο το διττό πρόβλημα της αναβάθμισης που αντιμετωπίζουν οι παλαιότερες ανεπαρκώς οπλισμένες κατασκευές με πολλές συσσωρευμένες βλάβες μπορεί να έχει βιώσιμη λύση κυρίως μόνο με τη χρήση μανδύων από ινοπλισμένα πολυμερή (F.R.P. wraps) κυρίως ως μέσο ενίσχυσης αλλά και ως αδιαπέραστου εμποδίου λόγω της σύστασης της σκληρυμένης ρητίνης στην διάχυση διαβρωτικών παραγόντων, όπως προτείνουν και οι Τασάνη-Πανταζοπούλου. Με την εφαρμογή από σύνθετα υλικά με ίνες άνθρακα και γυαλιού πρωτίστως και σπανιότερα αραμιδίου επιδιώκουμε σε μέλη στοιχείων προσβεβλημένων από διάβρωση, ο επικολλημένος μανδύας να λειτουργήσει ως μηχανισμός περιορισμού της διεύρυνσης των ρωγμών αναπτύσσοντας ισοδύναμη περισφικτική τάση αφού σύμφωνα με μελέτες (Πανταζοπούλου-Τασάνη) έχει αποδειχθεί ότι η διαδικασία της διάβρωσης μεταλλικού οπλισμού είναι διογκωτικής φύσης φαινόμενο. Μάλιστα, από πειραματικές έρευνες των ιδίων σε κυλινδρικά θλιβόμενα στοιχεία με διαμήκη και εγκάρσιο οπλισμό έχειδειχθεί, ότι η αποτελεσματικότητα του μανδύα ως μέσου επιβράδυν-

σης του ρυθμού διάβρωσης σχετίζεται με την αδιαπερατότητα της χημικά αδρανούς ρητίνης στην σκληρυμένη της κατάσταση, που παρεμποδίζει την ελεύθερη διείσδυση οξυγόνου και υγρασίας, των κύριων δηλαδή συστατικών της οξειδωτικής διαδικασίας.

Επισημαίνουμε ότι η μέθοδος της ενίσχυσης με πολυμερή αν και έχει αρκετά υψηλό κόστος εξαιτίας των χρησιμοποιούμενων υλικών ρητινών και υφασμάτων ωστόσο είναι ταχύτατη και ιδιαίτερα απλή στην εκτέλεσή της αλλά και αποτελεσματική, γεγονός που την κάνει να υπερτερεί ενάντια των άλλων μεθόδων που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Ακολούθως, φαίνεται η τυπική μορφή ενός διαβρωμένου υποστηλώματος.



2.1.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ

Η κυριότερη, όπως είπαμε μέθοδος για την επισκευή και αποκατάσταση διαβρωμένων μελών είναι η χρήση μανδυνών από ινοπλισμένα πολυμερή. Σε αυτήν την τεχνική καθαρίζεται το υπό ενίσχυση μέλος από τα οξέα του σιδήρου και εκεί όπου υπήρχε το σαθρό και κατεστραμμένο τμήμα επικολλάται ο μανδύας στην παράπλευρη επιφάνεια του στοιχείου με την χρήση κυρίως εποξειδικών και δευτερευόντως πολυεστερικών ρητινών. Η τοποθέτηση του υφάσματος γίνεται είτε αμφίπλευρα (υποστηλώματα), είτε στην μία πλευρά (δοκοί). Ανάλογα με το μέγεθος του προβλήματος καθορίζεται ο αριθμός των στρώσεων και το είδος του ινοπλισμένου υλικού, που θα χρειαστεί για την επέμβαση. Τα σύνθετα αυτά υλικά, που είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά σε διαβρωτικά περιβάλλοντα και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, θα λειτουργήσουν τελικά ως εξωτερικά επικολλούμενος οπλισμός που θα παραλάβει τις εφελκυστικές τάσεις.

2.2.ΕΙΔΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΟΠΟΥ ΓΙΝΕΤΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Η συγκεκριμένη διαδικασία εφαρμογής μανδυνών για την αποκατάσταση διαβρωμένων στοιχείων θεωρείται αρκετά αποτελεσματική, ωστόσο εφαρμόζεται όταν το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα έντονο, δηλαδή οι διαστάσεις των ρωγμών είναι σημαντικές και η απλή ρητινένωση δεν μπορεί να αποδώσει ως μέθοδος επισκευής. Έτσι οι υφάσματα με σύνθετα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν προς ενίσχυση δοκών και πλακοδοκών, όμως εκεί που πραγματικά η χρήση τους θεωρείται επιβεβλημένη, είναι στην ενίσχυση των κρίσιμων στοιχείων του φέροντος οργανισμού δηλαδή στην περίσφιγξη στα υποστηλώματα, τα τοιχώματα και στους κόμβους του οπλισμένου σκυροδέματος. Στην χώρα μας έχουν εφαρμοστεί κυρίως μανδύες πολυμερών για την επισκευή υποστηλωμάτων. Η συμβολή τους είναι καθοριστική, ώστε να μην παρατηρηθούν μεγαλύτερες βλάβες και το φαινόμενο της διάβρωσης επεκταθεί και στα πέδιλα της θεμελίωσης. Επιπλέον, αναφέρουμε, ότι η χρήση των μανδυνών ενδείκνυται ιδιαίτερα σε κατασκευές παλαιού τύπου πριν από το 1980, όπου, συνήθως, υπάρχει ανεπάρκεια οπλισμού και

κυρίως απουσιάζουν οι καλά αγκυρωμένοι κλειστοί συνδετήρες (Πανταζοπούλου).

2.3.ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ-ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΤΟΥΣ

Η συγκεκριμένη διαδικασία, εφαρμογής μανδυνών, απαιτεί εύκαμπτα υφάσματα ικανά να ακολουθήσουν τη γεωμετρία του φορέα. Τα νήματα (άνθρακα ή υάλου) πρέπει να βρίσκονται παράλληλα στη διεύθυνση του υφάσματος, ώστε να μπορούν να παραλάβουν τις εφελκυστικές τάσεις. Για τις ρητίνες που θα χρησιμοποιηθούν στον εμποτισμό αναφέρεται ότι πρέπει να έχουν χαμηλό ιξώδες και μεγάλο χρόνο εργασιμότητας.

Τυπικές τιμές που δίνονται για τα ινοπλισμένα πολυμερή από τους προμηθευτές (ISOMAT) είναι για άνθρακα: (Carbon FRP) μέτρο Ελαστικότητας, $E_c = 235\text{GPa}$, εφελκυστική αντοχή, $f_{u,c} = 3500\text{MPa}$, παραμόρφωση θραύσης, $\varepsilon_{u,c} = 0.15\%$ και για πολυμερή με γυαλί (Glass FRP) $E_G = 75\text{GPa}$, $f_{u,G} = 1500\text{MPa}$, $\varepsilon_{u,G} = 0.21\%$. Το μήκος του ρολού είναι 50m αλλά μπορεί να μεταβάλλεται όπως και το πάχος μπορεί να κυμαίνεται με ενδεικτικές τιμές να είναι $t_c = 0.13\text{mm}$ $t_G = 0.17\text{mm}$. Το πλάτος είναι 60cm. Για την ρητίνη η αντοχή σε θλίψη είναι 90MPa σε εφελκυσμό 44,6 MPa και η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης $+54^\circ\text{C}$. Η ρητίνη αποτελείται από δύο συστατικά (ρητίνη και σκληρυντή) δεν περιέχει διαλύτες και είναι πολύ ανθεκτική σε περιβάλλοντα έντονα διαβρωτικά που χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις σε οξέα και αλκάλια.

Για την εκτέλεση των εργασιών αρχικά απαιτούνται εργαλεία για τον καθαρισμό της επιφάνειας του σκυροδέματος όπως κοπίδι και σφυρί και για πιο εκτεταμένες επιφάνειες μικρά ειδικά κομπρεσέρ. Ακόμη απαιτείται συρματόβουρτσα και τριβείο για την προετοιμασία της επιφάνειας, όπου θα γίνει η επέμβαση και μία σπάτουλα ή βούρτσα για την επάλειψη της ρητίνης. Επίσης για τη σωστή τοποθέτηση του υφάσματος απαιτείται η πίεση με πλαστικό ρολό ενώ αναγκαίο είναι και κάποιο κοφτερό ψαλίδι, ώστε να κόβεται το ύφασμα στις απαιτούμενες διαστάσεις. Για τις ρητίνες απαιτείται ένας αναμικτήρας (δράπανο χαμηλών στροφών) ώστε να γίνει η ανάμιξη της ρητίνης (συστατικό Α) και του σκληρυντή (συστατικό Β).

Για τα χρησιμοποιούμενα υλικά (ινοπλισμένα υφάσματα και εποξειδικές ρητίνες), θα πρέπει να είναι γνωστά και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Ιδιαίτερα για τις ρητίνες ο προμηθευτής πρέπει να αναφέρει ρητά την ημερομηνία λήξης, τις συνθήκες αποθήκευσης, το χρόνο σκλήρυνσης και εργασιμότητας και τις αντοχές. Ακόμη θα αναφέρεται το χρώμα, η πυκνότητα και η ρευστότητά τους. Η εγκυρότητα των τεχνικών χαρακτηριστικών των συστατικών που χρειάζονται σε αυτή τη μέθοδο ενίσχυσης, δηλαδή των υφασμάτων και των ρητινών, αλλά και η ποιότητα της διαδικασίας σχεδιασμού παραγωγής και διάθεσής τους θα πρέπει να είναι αναγνωρισμένες και πιστοποιημένες από ανεξάρτητους οργανισμούς ελέγχου. Ο δε απαιτούμενος εξοπλισμός να βρίσκεται σε πολύ καλή κατάσταση.

2.4.ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ

Για την εφαρμογή των μανδυνών και την ενίσχυση της κατασκευής ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία. Αρχικά το υπό ενίσχυση μέλος καθαρίζεται από τις επιφανειακές σκουριές και το σοβά και αποκαλύπτεται το σκυρόδεμα. Σε αυτό το στάδιο είτε χρησιμοποιούνται κομπρεσέρ, είτε αν πρόκειται για δύσκολο σημείο, όπως οι κόμβοι κοπίδι και σφυρί. Αφαιρούνται τα χαλαρά τμήματα και το υπόστρωμα καθαρίζεται και τρίβεται με τα κατάλληλα μέσα ανάλογα με το βαθμό και την έκταση της αποσάθρωσης (αμμοβολή, υδροβολή, συρματόβουρτσα). Επίσης εξωτερικές γωνίες του στοιχείου στρογγυλεύονται με τριβείο σε ακτίνα 2-4cm και η σκόνη απομακρύνεται με απορροφητική σκούπα. Η γεωμετρία του στοιχείου και η επιπεδότητα του υποστρώματος του μέλους, αποκαθίσταται με χρήση τοπικά ή καθολικά ινοπλισμένου

επισκευαστικού τσιμεντοκονιάματος ή εποξειδικής πάστας (γερμίζω και τις κοιλότητες που πιθανόν υπάρχουν για να έχω πλήρη επιπεδότητα διατομής). Σχ2

Στη συνέχεια τα συστατικά της εποξειδικής ρητίνης Α(ρητίνη) και Β(σκληρυντής) που αναμιγνύονται σε καθορισμένη αναλογία με χρήση χειρός ή δράπανου χαμηλών στροφών δίνουν ένα ομογενές μίγμα, που επαλείφεται στην επιφάνεια του υποστρώματος σε πλάτος όσο και του υφάσματος που θα επικολληθεί με χρησιμοποίηση βούρτσας ή επίπεδης σπάτουλας Σχ3 σε πάχος 1-2 mm. Το ύφασμα κόβεται με το ψαλίδι στις απαραίτητες διαστάσεις και τοποθετείται με καλή τάνυση και σταθερή πίεσή του με το πλαστικό ρολό πάνω στην απαλειμένη με ρητίνη επιφάνεια του στοιχείου.έτσι απελευθερώνεται ο εγκλωβισμένος αέρας.Αν απαιτούνται περισσότερες στρώσεις η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Στη συνέχεια ακολουθεί επίταση χαλαζιακής άμμου προκειμένου μετά τη σκλήρυνση της ρητίνης, να γίνει η προστατευτική τσιμεντοειδής επικάλυψη, λόγω χάρη σοβάς.Διαφορετικά δημιουργείται μία λεία επιφάνεια πάνω στην οποία δεν μπορεί να σταθεί ο σοβάς.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι η επικόλληση των υφασμάτων γίνεται με τέτοια διεύθυνση ώστε να παραλάβουν τον εφελκυσμό (Σχ.4). Τονίζουμε, ότι αν δεν είναι δυνατή η πρόσβαση και στις τέσσερις πλευρές του υποστηλώματος τότε θα γίνει μία επέμβαση διάρρηξης μικρού τμήματος του τοίχου, τόσο ώστε να μπορεί να περνά ο τεχνίτης, για να επικολλήσει τον μανδύα. Υπενθυμίζεται ότι η τοιχοπλήρωση είναι μη φέρον στοιχείο της κατασκευής μετά όμως από την επισκευή του υποστηλώματος θα πρέπει και αυτό να αποκατασταθεί.



Σχ2 Αποκατάσταση επιφάνειας υποστρώματος με καθαρίσμα και τρίψιμο



Σχ3 Επάλειψη ρητίνης



Σχ4 Τοποθέτηση υφάσματος

2.5.ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΠΕΡΑΤΩΜΕΝΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η αποδοχή των εργασιών, βασίζεται σε εργαστηριακές δοκιμές. Κατασκευάζονται δοκίμια που προσομοιώνουν τα χαρακτηριστικά της προς ενίσχυση κατασκευής και αφού ενισχυθούν αντιστοίχα με την ενίσχυση που θα γίνει στο έργο μελετάται η συμπεριφορά τους.

Για την διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της τεχνικής επισκευής με σύνθετους μανδύες οι Τασάνη -Πανταζοπούλου (Δ.Π.Θ.) εκτέλεσαν μία σειρά πειραμάτων. Αρχικά κατασκευάστηκαν ορθογωνικά δοκίμια διαστάσεων, 200mm*200mm*320mm (ύψος) και οπλισμό S500 τα οποία αφού υποβλήθηκαν σε επιταχυνόμενη, ηλεκτροχημική διαδικασία διάβρωσης, μέχρι κάποιο καθορισμένο βαθμό βλάβης στη συνέχεια ενισχύθηκαν με μανδύες ινοπλισμένων πολυμερών. Ακολούθως έγινε έλεγχος της αστοχίας σε φόρτιση κεντρικής θλίψης

Τα αποτελέσματα έδειξαν, ότι ανεξάρτητα από τον αριθμό των στρώσεων ή το είδος υλικού (ίνες άνθρακα ή γυαλιού) υπήρξε σημαντικότερη μείωση στον ρυθμό διάβρωσης, ενώ ο μανδύας αύξησε και τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος (από 30MPa σε 40MPa). Γενικότερα αποδείχθηκε ότι οι σύνθετοι μανδύες βελτιώνουν τη συμπεριφορά στην ικανότητα ανάληψης φορτίου, την πλαστιμότητα και την παραμορφωσιμότητα. Ωστόσο, η περίσφιγξη με πολυμερή από ίνες άνθρακα CFRP έδωσε καλύτερη συμπεριφορά από την ενίσχυση με πολυμερή με ίνες γυαλιού, GFRP λόγω των μεγαλύτερων τιμών αντοχής, f_u και μέτρου Ελαστικότητας, E του CFRP ενώ η δεύτερη λύση προσδίδει σχεδόν πλάστιμη συμπεριφορά.

2.6.ΜΕΤΡΑ ΥΓΙΕΙΝΗΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Για την ασφάλεια των εργασιών πρέπει να λαμβάνονται τα ακόλουθα μέτρα, όπως αυτά καθορίζονται από το Υπουργείο Εργασίας. Ορίζεται η ύπαρξη χώρων υγιεινής και χώρων αποθήκευσης των υλικών. Για την αποφυγή των πτώσεων από ύψος οι απαιτούμενες σκαλωσιές θα πρέπει να είναι πολύ καλά στηριγμένες και στην οικοδομή και στο έδαφος για να αποφευχθεί η κατάρρευσή τους. Επίσης το δάπεδό τους δεν πρέπει να έχει πλάτος μικρότερο από 60cm να μην υπάρχουν κενά μεταξύ των σανίδων που το αποτελούν και να υπάρχουν κουπαστές.

Επιπλέον, απαιτούνται ατομικά μέσα προστασίας. Πρέπει, όλοι οι εργαζόμενοι να φορούν προστατευτικό κράνος και μάσκες, γάντια και παπούτσια, με ενισχυμένο το μπροστινό μέρος για προστασία των δαχτύλων (απαγορεύονται ρητά τα πέδιλα). Ιδιαίτερα για την χρησιμοποίηση των ρητινών που είναι έντονα τοξικές, πριν φορεθούν τα γάντια θα απλώνεται στα χέρια ειδική προστατευτική κρέμα, ενώ αν συμβεί επαφή με τα μάτια, είναι απαραίτητη η άμεση επέμβαση γιατρού.

Γενικότερα ωστόσο είναι επιβεβλημένη η ύπαρξη καταάλληλου και επαρκούς φαρμακείου για την αντιμετώπιση έκτακτων περιστατικών. Τέλος απαγορεύεται αυστηρά η ρίψη των συστατικών των ρητινών στο υπέδαφος.

2.7.ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΜΕΤΡΗΣΗΣ

Αρχικά πρέπει να γίνει εκτίμηση του μεγέθους του προβλήματος αλλά και των τεχνικών χαρακτηριστικών που θέλουμε να επιτύχουμε μετά την επισκευή. Αφού, επομένως επιλυθεί το μαθηματικό πρόβλημα και καθοριστεί το είδος του ινοπλισμένου πολυμερούς που θα χρησιμοποιηθεί αλλά και το πάχος του, η επιμέτρηση της εργασίας γίνεται με βάση τα m^2 (την επιφάνεια) του υφάσματος που θα απαιτηθούν στην περιμετρική επικόλληση. Επίσης λαμβάνεται υπόψη και η ποσότητα της ρητίνης που θα καταναλωθεί, οπότε και το βάρος της ρητίνης αποτελεί παράμετρο για τον καθορισμό του κόστους. Για την κοστολόγηση του έργου συνεκτιμάται ανάλογα με το βαθμό του προβλήματος και ο χρόνος που απαιτείται για την περάτωση των εργασιών ώστε να καθοριστούν και τα απαιτούμενα εργατικά.

Γενικά επισημαίνουμε ότι η μέθοδος επισκευής με ινοπλισμένα πολυμερή (FRP), αποτελεί μία αρκετά ακριβή μέθοδο, κυρίως εξαιτίας του πολύ υψηλού κόστους των ρητινών. Ωστόσο η σημαντικά μεγάλη ταχύτητα με την οποία εκτελείται, η απλότητα στην μεθοδολογία της επέμβασης (άρα μειωμένα εργατικά σε σχέση με άλλες μεθόδους όπως το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα) και η μεγάλη ανθεκτικότητα στο χρόνο την καθιστούν αρκετά ελκυστική.

3.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, επισημαίνουμε ότι τα προβλήματα της σωστής αποτίμησης και της σωστής επέμβασης σε περιπτώσεις φυσικοχημικών προσβολών είναι πιο σύνθετα και πιο δύσκολα από ότι σε περιπτώσεις άλλων δράσεων, όπως λόγου χάρη ο σεισμός ή η πυρκαγιά. Με δεδομένο μάλιστα ότι σήμερα τα βασικά ζητήματα γύρω από τη μηχανική συμπεριφορά και αντοχή του οπλισμένου σκυροδέματος έχουν ουσιαστικά επιλυθεί, γίνεται αντιληπτό πως η ανθεκτικότητα μίας κατασκευής σε διάρκεια και άρα η προστασία της, έναντι εξωγενών δράσεων θα αποτελέσει ένα από τα σπουδαιότερα προβλήματα για τη μηχανική του 21^{ου} αιώνα. Σε αυτό το σημείο η μέθοδος ενίσχυσης με ινοπλισμένα πολυμερή(FRP) μπορεί να γίνει ένα σημαντικό και πολύ χρήσιμο εργαλείο για τον Έλληνα μηχανικό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1. Κατασκευές Ω.Σ. και Περιβαλλοντικές Δράσεις**
Μ.Χρονόπουλος, Χ.Σπανός, Εργαστήριο ΩΣ/ΕΜΠ
- 2. Ανθεκτικότητα του Οπλισμένου Σκυροδέματος σε Διάρκεια**
Μ. Φαρδής
- 3. Επίδραση Χλωριόντων στην Ανθεκτικότητα Οπλισμένου Σκυροδέματος σε Διάρκεια**
Ε.Γ.Παπαδάκης, Α.Π.Ρουμελιώτης, Μ.Ν.Φερδής, Κ.Γ. Βαγενάς
Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Πατρών
- 4. Πειραματική Διερεύνηση Παλαιού Τύπου Θλιβομένων Στοιχείων Ο.Σ με Διαβρωμένο Οπλισμό: Ενίσχυση/ Επισκευή με Μανδύες Σύνθετων Υλικών**
Σ.Π.Ταστάνη-Σ.Ι.Πανταζοπούλου ΔΠΘ
- 5. Βελτιωτικά Πρόσμικτα Σκυροδέματος**
Περιοδικό Κτίριο, Τεύχος 10
- 6. Μακροχρόνια Συμπεριφορά Σύνθετων Τσιμέντων με Ελληνικά Πρόσθετα σε Διάφορα Διαβρωτικά Περιβάλλοντα**
Χ.Μαλαμή, Γ.Μπατής, Ν.Κουλουμπή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ
- 7. Cathodic Protection: a Solution to Rebar Corrosion**
Gee Kin Chou, Raychem Corporation
- 8. Electro Chemical Techniques for the Repair of Concrete**
A.D.Hammond, Makers Industrial Limited, Sawtry, England
- 9. Cathodic Protection of Steel in Concrete: A Mature Solution- at Last**
Brian Wyatt Tarmac, Structural Repair Wolverhampton, UK
- 10.Ολοκληρωμένα Συστήματα Ενίσχυσης Κατασκευών με Σύνθετα Υλικά**
Διαφημιστικό φυλλάδιο από εταιρεία Isomat
- 11.Ενημερωτικό Φυλλάδιο για την Υγιεινή και την Ασφάλεια στις Οικοδομές**
Υπουργείο Εργασίας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων, Σώμα Επιθεωρητών Εργασίας