

ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ & ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΓΕΦΥΡΑΣ Ο/Σ ΣΕ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΥΠΟΣΤΕΙ ΒΛΑΒΕΣ ΛΟΓΩ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

ΛΑΜΠΡΟΠΟΥΛΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ
ΤΡΟΜΠΟΥΚΗ ΖΩΗ

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά στο φαινόμενο της διάβρωσης σε γέφυρες που βρίσκονται σε θαλάσσιο περιβάλλον και συγκεκριμένα στα υποστυλώματά τους. Παρουσιάζονται οι μέθοδοι επιθεώρησης που χρησιμοποιούνται συνήθως, καθώς επίσης και αυτές που έχουν προταθεί και βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο. Στη συνέχεια παρατίθενται διαδικασίες επισκευής και αναστολής των φθορών που οφείλονται στο φαινόμενο της διάβρωσης. Τέλος γίνεται προσπάθεια σύγκρισης των παραπάνω διαδικασιών επισκευής.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις κατασκευές Ο/Σ που εκτίθενται σε θαλάσσιο περιβάλλον συμβαίνει συχνά φθορά από διάβρωση του χάλυβα οπλισμού. Είναι γνωστό ότι το θαλασσινό νερό προκαλεί βλάβες στο σκυρόδεμα και το διαβρώνει εξ' αιτίας της παρουσίας χλωριδίων, θεικού άλατος, οξυγόνου και άλλων επιβλαβών στοιχείων. Η αποκόλληση της επικάλυψης του σκυροδέματος έχει απ' ευθείας επίδραση στην αντοχή των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Με την παρουσία των ρωγμών, το θαλασσινό νερό φτάνει εύκολα στον οπλισμό και αποβάλλει τις προστατευτικές συνθήκες που δημιουργεί το στρώμα των οξειδίων που βρίσκεται γύρω από τον χάλυβα στο αλκαλικό περιβάλλον του σκυροδέματος. Σ' αυτές τις συνθήκες, επέρχεται διάβρωση του χάλυβα και εξ' αιτίας αυτής δημιουργούνται σημαντικές μηχανικές τάσεις που καταπονούν το σκυρόδεμα, και οι οποίες συμβάλλουν στην περαιτέρω ανάπτυξη των ρωγμών, τη διάσπαση της επικάλυψης σκυροδέματος και την επιτάχυνση της διαδικασίας διάβρωσης.

Μια σημαντική κατηγορία κατασκευών που βρίσκονται σε παραθαλάσσιο περιβάλλον είναι οι γέφυρες. Λόγω της μεγάλης σπουδαιότητάς τους απαιτούν τη συχνή επιθεώρηση και επισκευή των φθορών τους που προέρχονται από τη διάβρωση (σχ.1.1).



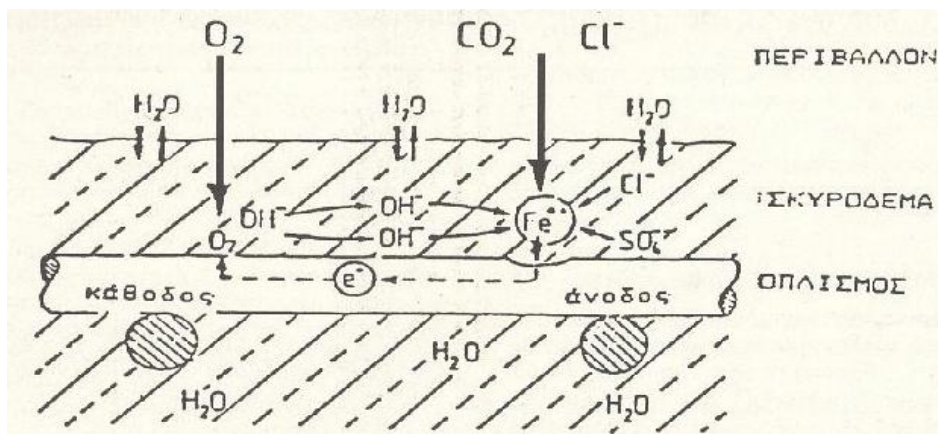
Σχ. 1.1. Διάβρωση των ράβδων που οφείλεται στη διάσπαση του σκυροδέματος στην περιοχή παφλασμών (V. K. Raina, 1994)

2. ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Η διάβρωση του οπλισμού στο σκυρόδεμα είναι μια ηλεκτροχημική δράση, η οποία απαιτεί την ύπαρξη ανόδου, καθόδου και ηλεκτρολύτη μέσω του οποίου διακινούνται τα ιόντα. Η διεξαγωγή των ηλεκτροχημικών δράσεων πραγματοποιείται στη διεπιφάνεια μετάλλου-ηλεκτρολύτη και ακολουθεί η μετακίνηση των ιόντων μέσω του ηλεκτρολύτη.

Τα ιόντα του σιδήρου από την ανοδική δράση και τα υδροξυλιόντα από την καθοδική δράση μετακινούνται μέσα στον ηλεκτρολύτη, που είναι το διάλυμα των πόρων του σκυροδέματος, και τελικά αντιδρούν προς σχηματισμό στερεού υδροξειδίου του δισθενούς σιδήρου, το οποίο παρουσία οξυγόνου μετατρέπεται σε υδροξείδιο του τρισθενούς σιδήρου ($\text{Fe}(\text{OH})_3$).

Ανάλογα το είδος του ηλεκτρολύτη ο σχηματισμός του υδροξειδίου του σιδήρου πραγματοποιείται στην επιφάνεια του χάλυβα ή μακρύτερα. Η όλη διαδικασία περιγράφεται στο σχήμα 1.1.



Σχήμα 2.1. Διαδικασία διάβρωσης του οπλισμού (Γ.Μπατής & Γ.Κατσαντώνης, 1999)

Τα προϊόντα διάβρωσης του οπλισμού αν σχηματιστούν μέσα στους πόρους και τους κλείσουν παρεμποδίζουν τη συνέχιση της διαβρωτικής δράσης, ενώ αν σχηματιστούν στην επιφάνεια του χάλυβα, επειδή έχουν μικρότερη πυκνότητα και συνεπώς μεγαλύτερο όγκο από αυτόν, εξασκούν εφελκυστικές τάσεις στο σκυρόδεμα και τελικά το ρηγματώνουν.

Στη γενική περίπτωση το σκυρόδεμα των υποστυλωμάτων αποτελεί ένα προστατευτικό περιβάλλον του κύριου σιδηροπλισμού για δύο λόγους:

- Το υδατικό διάλυμα των πόρων του σκυροδέματος είναι έντονα αλκαλικό εξαιτίας της υδρασβέστου, προϊόν της αντίδρασης σκλήρυνσης του τσιμέντου, με pH μεταξύ 12.5 και 13.9. Κάτω από αυτές τις συνθήκες ο χάλυβας καλύπτεται επιφανειακά από ένα παθητικό στρώμα οξειδίων σιδήρου που παρεμποδίζει τη διάβρωσή του.
- Το σκυρόδεμα αποτελεί ένα φυσικό εμπόδιο στην επαφή του οπλισμού με τα διάφορα διαβρωτικά συστατικά του περιβάλλοντος (όπως οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου κ.λπ.) και άλλες ουσίες που βοηθούν τη διάβρωση (όπως χλωριόντα).

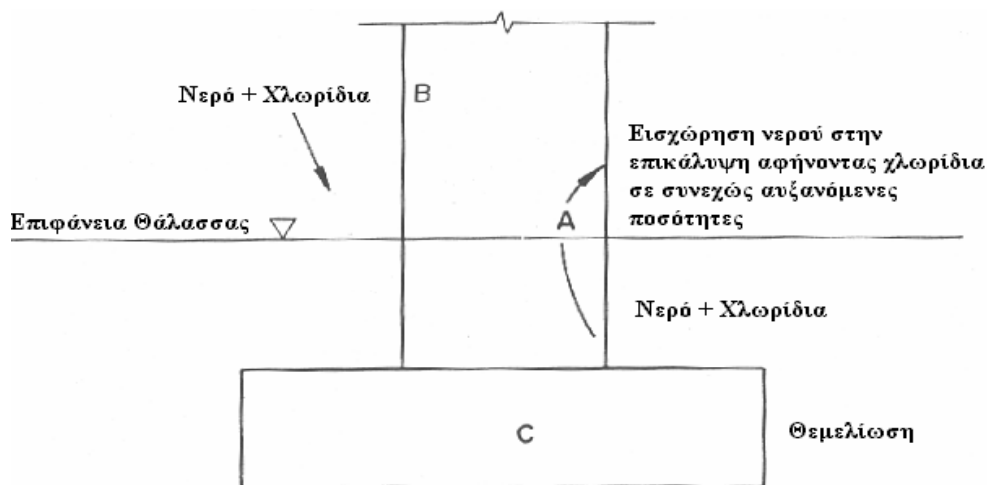
Η εκδήλωση της διάβρωσης στα υποστυλώματα μιας γέφυρας είναι διαφορετική για τις παρακάτω τρεις ζώνες (V. K. Raina, 1994):

Ζώνη Α: Εδώ υπάρχει ο κίνδυνος τοπικής διάβρωσης, ειδικά σε σκυρόδεμα που είναι συνεχώς υγρό και περιέχει χλωρίδια. Στο σκυρόδεμα που βρίσκεται στην πλημμυρική ζώνη, τα προϊόντα της διάβρωσης διαστέλλονται, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν ρωγμές και διάσπαση της επικάλυψης.

Ζώνη Β: Εδώ παρατηρείται γενική διάβρωση που προκαλείται κυρίως από την ενανθράκωση. Η διάβρωση αναπτύσσεται αργά, αλλά εμφανίζεται ορατή καταστροφή άμεσα.

Ζώνη C: Εδώ υπάρχει ο κίνδυνος τοπικής διάβρωσης. Η έλλειψη οξυγόνου δεν προλαμβάνει

τη διάβρωση, της οποίας ο βαθμός μπορεί να είναι πολύ υψηλός.



2.1 ΑΙΤΙΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Μια αιτία που μπορεί το σκυρόδεμα να χάσει την προστατευτική του ικανότητα είναι το φαινόμενο της **ενανθράκωσης**, δηλ. η αντίδραση του διοξειδίου του άνθρακα με το υδροξείδιο του ασβεστίου και έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του pH σε τιμές μικρότερες του 9.8 και την έναρξη της διάβρωσης του οπλισμού. Η επιφάνεια του σκυροδέματος που εκτίθεται στην ατμόσφαιρα ενανθρακώνεται σχεδόν αμέσως, δημιουργώντας ένα στρώμα ανθρακικού άλατος μικρού πάχους. Λόγω του πορώδους του σκυροδέματος το διοξείδιο του άνθρακα εισέρχεται σ' αυτό, και ο βαθμός της εισχώρησης εξαρτάται από το πορώδες, τη διαπερατότητα και τη συγκέντρωση υγρασίας στο σκυρόδεμα. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ενανθράκωση του σκυροδέματος δεν μειώνει την αντοχή του.

Το βάθος ενανθράκωσης αυξάνεται με το χρόνο και δίνεται από την εξίσωση (V. K. Raina, 1994):

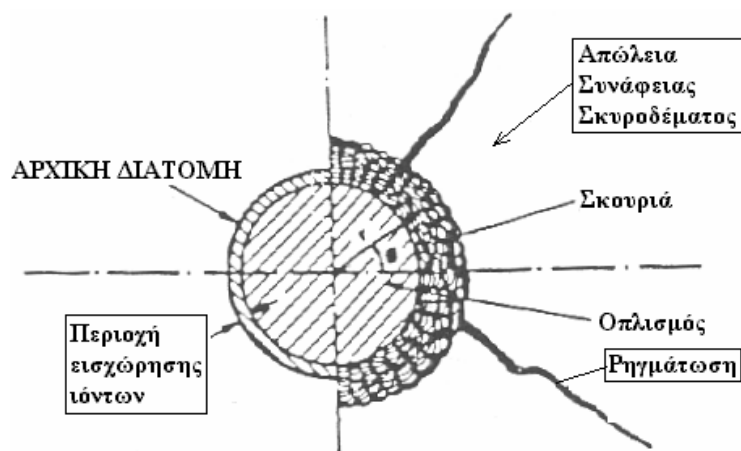
$$x = K\sqrt{T}$$

όπου x: το βάθος ενανθράκωσης (mm), T: χρόνος (χρόνια) και K: σταθερά που δίνεται από

τον τύπο $K = 72 \left(\frac{1}{\sqrt{f_c}} - 0.126 \right)$ με f_c η θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου σκυροδέματος (MN/m^2) και εξαρτάται από τη σχετική υγρασία

Ένας άλλος λόγος για τη διάβρωση του οπλισμού είναι η **παρουσία των χλωριόντων**. Παρουσιάζονται είτε γιατί προστίθενται στο μείγμα του σκυροδέματος, είτε γιατί υπάρχουν στο μείγμα των αδρανών και/ή στο νερό ανάμιξης, είτε τέλος γιατί εισέρχονται στο σκυρόδεμα από κάποια εξωτερική πηγή μέσω των ρωγμών. Αυτά που καταστρέφουν την παθητικότητα στην επιφάνεια των ράβδων είναι τα αρνητικά φορτισμένα χλωριόντα. Πρακτικά τα χλωριόντα παρουσιάζονται με δυο μορφές στο σκυρόδεμα, ελεύθερα χλωριόντα, που προκαλούν τη διάβρωση του χάλυβα, και χλωριόντα που είναι σε συνδυασμό με τα παράγωγα της ενυδάτωσης.

Γενικά τα χλωριούχα άλατα που υπάρχουν στο σκυρόδεμα δεν το προσβάλλουν εκτός και αν η συγκέντρωσή τους είναι μεγάλη. Συγκεκριμένα διαλύματα χλωριούχου καλίου και χλωριούχου νατρίου δεν προκαλούν χειροτέρευση σε σκυροδέματα καλής ποιότητας, ενώ διαλύματα χλωριούχου ασβεστίου, αργιλίου, αμμωνίου και μαγνησίου μπορούν να προκαλέσουν βαθμιαία χειροτέρευση του σκυροδέματος. Η δημιουργία της σκουριάς από την προσβολή των χλωριούχων αλάτων μπορεί να προκαλέσει ρωγμές και διάσπαση του σκυροδέματος (σχ. 2.1.1).



Σχ. 2.1.1. Συνέπειες της διάβρωσης οπλισμού (C. Andrade, 1996)

Η συγκέντρωση των χλωριδίων στη μάζα του σκυροδέματος περιγράφεται από το 2^ο νόμο του Fick, του οποίου ο τύπος είναι (J. Gulikers, 1996):

$$C_c(x, t) = C_{c,0} \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_c t}} \right) \right]$$

όπου $C_c(x, t)$: η επί τοις εκατό κ.β. συγκέντρωση των ιόντων χλωριδίων στο τσιμέντο σε βάθος x (cm) και σε χρόνο t (sec), $C_{c,0}$: η ποσότητα των χλωριδίων στην επιφάνεια του σκυροδέματος και D_c : συντελεστής διάχυσης (cm^2/sec)

Η εξίσωση λάθους erf μπορεί να είναι πινακοποιημένη ή να υπολογίζεται με κομπιούτερ.

Εναλλακτικά η συγκέντρωση των χλωριδίων στο σκυρόδεμα περιγράφεται από τις εξισώσεις (V. K. Raina, 1994):

$$x = K_x \sqrt{T}$$

$$C_x = C_s - (C_s - C_i) \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{TD}} \right)$$

όπου x : το βάθος του κρίσιμου επιπέδου χλωριδίων (mm), K_x : σταθερά, T : ηλικία του σκυροδέματος (χρόνια), C_x : συγκέντρωση χλωριδίων σε βάθος x , C_s : συγκέντρωση χλωριδίων στη γύρω περιοχή, C_i : συγκέντρωση αρχικών χλωριδίων και D : σταθερά διάχυσης χλωριδίων στο σκυρόδεμα.

Η εξίσωση λάθους δίνεται από πίνακα ανάλογα με το βάθος x .

Ακόμα μπορούμε να ελέγξουμε τις επιδράσεις της διάβρωσης βάσει των παρακάτω που προέρχονται από χημικές αναλύσεις: (V. K. Raina, 1994).

- Χλωρίδια λιγότερα από 0.5% (σαν CaCl_2 /τσιμέντο): είναι πιθανό αυτά τα επίπεδα χλωριδίων να προέρχονται από φυσικές πηγές (π.χ. αδρανή) και δεν αποτελούν πρόβλημα.
- Χλωρίδια περισσότερα από 0.5% (σαν CaCl_2 /τσιμέντο): αν τα επίπεδα των χλωριδίων είναι μεγαλύτερα από 1.5% (π.χ. 2 έως 4%), τότε αυτό είναι ενδεικτικό μεγάλης περιεκτικότητας χλωριδίων.

Τρίτη αιτία για τη διάβρωση του οπλισμού είναι η **ανάπτυξη ρωγμών** στο σκυρόδεμα. Σ' αυτό μπορεί να υπάρχουν είτε μικρορωγμές, που δεν επηρεάζουν αρνητικά την αντοχή του, είτε μακρορωγμές, που οφείλονται στην συστολή και στις υψηλές τάσεις, οι οποίες αν φτάσουν μέχρι το χάλυβα μπορεί να οδηγήσουν σε απώλεια της προστατευτικής επικάλυψης και στη διάβρωση του οπλισμού. Οι ρωγμές συστολής μπορεί να οφείλονται σε μια μεγάλη αναλογία νερού/τσιμέντου ή στη χρησιμοποίηση συρρικνούμενων συστατικών, και/ή στην ανεπαρκή σκλήρυνση του σκυροδέματος. Για κάθε τύπο σκυροδέματος που περιέχει χαλύβδινο οπλισμό ο λόγος νερού προς τσιμέντο δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερος

από 0.5, και για σκυρόδεμα υψηλής ποιότητας ο παραπάνω λόγος πρέπει να ισούται με 0.4 (P. H. Perkins, 1997).

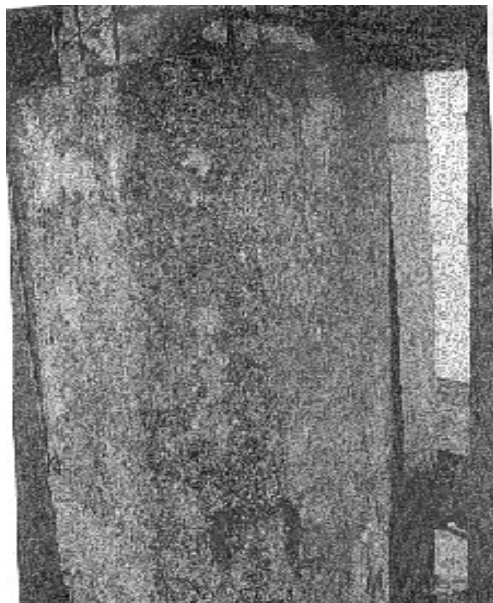
Τέλος, μπορούμε να αναφέρουμε ως αιτίες διάβρωσης το *υψηλό πορώδες* του σκυροδέματος και το *θαλασσινό νερό*. Το υψηλό πορώδες ενισχύει τη δημιουργία ρωγμών και για τη μείωσή του είναι απαραίτητη η πλήρης συμπίεση του σκυροδέματος γύρω από τις ράβδους και η κατάλληλη σκλήρυνσή του. Το θαλασσινό νερό συνήθως δεν είναι επιθετικό σε πυκνό σκυρόδεμα καλής ποιότητας. Τα μαλακά νερά με μέτρο σκληρότητας 3^οd δεν είναι διαβρωτικά, είναι όμως απειλή για τα πορώδη σκυροδέματα.

3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Για την επισκευή διαβρωμένων τμημάτων στα υποστυλώματα γεφυρών βασικό βήμα για την επιλογή της μεθόδου επισκευής είναι η εξέταση της υπάρχουσας κατάστασης και η αποτίμηση της αντοχής. Για το σκοπό αυτό έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι επιθεώρησης που αναφέρονται στη συνέχεια.

3.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΥΝΗΘΩΣ

Χαρτογράφηση φθορών. Η χαρτογράφηση χρησιμοποιείται συνήθως για την επιθεώρηση όλης της κατασκευής και εκτιμά την έκταση των φθορών (σχ. 3.1.1). Όσον αφορά την επιθεώρηση των ρωγμών ακολουθείται η απεικόνιση του σχήματος αυτών, η εύρεση του τύπου και της αιτίας ρηγματώσης. Ακόμα πρέπει να σημειώνονται κηλίδες σκουριάς ή σημάδια διάβρωσης στην εξεταζόμενη περιοχή. Πρέπει να μετريέται το εύρος των ρωγμών και να επισημαίνεται το αν υπάρχει ή όχι κίνδυνος διάβρωσης. Οι περιοχές, όπου έχουν βρεθεί ρωγμές, πρέπει να εξετάζονται μ' ένα μετρίου βάρους σφυρί (πείραμα σφύρας). Αυτό το πείραμα δείχνει τα σημεία όπου η διάβρωση είναι αρκετά μακριά σε σχέση με την πρόοδο των ρωγμών και την αποτίναξη της επικάλυψης του σκυροδέματος. (P. H. Perkins, 1997, J. J. Carprio, Ταμείο Εθνικής Οδοποιίας, 1987, V. K. Raina, 1994)



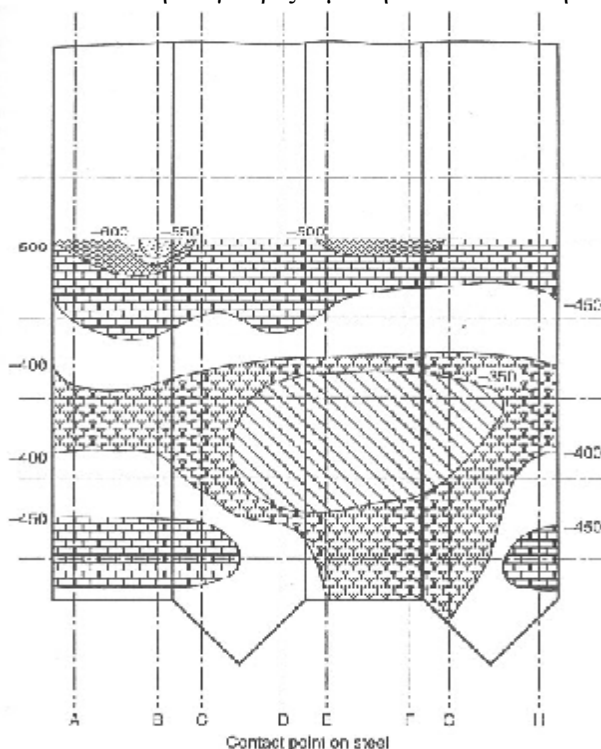
Σχ. 3.1.1. Πυλώνας γέφυρας όπου παρατηρούνται ρωγμές, κηλίδες σκουριάς και καταστροφή της επικάλυψης (J. J. Carprio)

Λήψη καρτών. Η λήψη πυρήνων γίνεται προκειμένου να ελεγχθεί η κατάσταση του σκυροδέματος, να καταγραφεί ο τύπος οπλισμού, οι διαστάσεις και η θέση του. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό της συγκέντρωσης των χλωριούχων αλάτων στην επιφάνεια επαφής σκυροδέματος – χάλυβα. Αυτό που πρέπει να προσέξουν τα συνεργεία κατά τη λήψη των πυρήνων είναι να λάβουν τα δείγματα από τμήματα που δεν θα επηρεάσουν την ευστάθεια της κατασκευής. (J. J. Carprio, V. K. Raina, 1994)

Ισοδυναμική χαρτογράφηση. Ο σκοπός της δοκιμής αυτής είναι να προσδιοριστούν οι περιοχές με το μεγαλύτερο κίνδυνο διάβρωσης. Τα δυναμικά μετριοούνται με κοινό βολτόμετρο και ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς. Οι περιοχές που προτιμούνται για μετρήσεις δυναμικού είναι αυτές με το μικρότερο πάχος επικάλυψης και γίνονται βάσει ενός καννάβου 250mm x 250mm ή μικρότερο. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μέθοδος αυτή δεν αποτελεί από μόνη της ένα ασφαλές και σίγουρο κριτήριο για τον καθορισμό της διάβρωσης. Μετά τις μετρήσεις γίνεται αξιολόγηση βάσει των παρακάτω (P. H. Perkins, 1997, J. J. Carpio, V. K. Raina, 1994):

$x > 0\text{mV}$	Δεν υπάρχει διάβρωση
$0 > x > -200\text{mV}$	Αρχικό στάδιο διάβρωσης - Δεν υπάρχουν σημάδια διάβρωσης στις ράβδους
$-200\text{mV} > x > -300\text{mV}$	Στάδιο της διάβρωσης όπου φαίνονται τα πρώτα σημάδια τον οπλισμό
$x < -300\text{mV}$	Μεγάλος βαθμός διάβρωσης

Σχεδιάζονται ισοδυναμικές καμπύλες και ανάλογα με την τιμή της τάσης σε κάθε περιοχή είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε την επικινδυνότητα διάβρωσης (σχ. 3.1.2)



Σχ.3.1.2. Παράδειγμα διαγράμματος με ισοδυναμικές καμπύλες (P. H. Perkins, 1997)

Μετρήσεις με παχύμετρο. Το παχύμετρο χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τη θέση του οπλισμού στη μάζα του σκυροδέματος και να μετρήσει την επικάλυψή του. Η μέτρηση της επικάλυψης των οπλισμών βασίζεται στην αλλαγή των γραμμών του μαγνητικού πεδίου. Η κεφαλή μέτρησης είναι ένα ορθογωνικό μέλος που περιέχει ένα πηνίο, του οποίου ο άξονας πρέπει να τοποθετείται παράλληλα στις διαμήκειες ράβδους. Η μέθοδος αυτή είναι γενικά κατάλληλη, γιατί δοκιμές που έγιναν δείχνουν ότι η αβεβαιότητα αυξάνει από 5 –10% για βάθος περίπου 35mm και 15 – 25% για 60 – 70mm. (V. K. Raina, 1994)

Δοκιμή Σχετικής Υγρασίας. Η δοκιμή αυτή μετρά την υγρασία στους πόρους του σκυροδέματος. Ανοίγεται οπή διαμέτρου 16mm, μέσα σε αυτή τοποθετείται μια μεμβράνη

και αφήνεται για 1 ώρα περίπου. Έτσι μπορούμε να μετρήσουμε τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία. (V. K. Raina, 1994)

Δοκιμή Ταχείας Χλωρίωσης. Η μέθοδος αυτή βοηθά στην επιτόπου μέτρηση της συγκέντρωσης των χλωριδίων στο σκυρόδεμα. Κονιορτοποιημένο σκυρόδεμα αναμιγνύεται με υγρό που αποσπά τα χλωρίδια και αναταράσσεται για 5'. Με κατάλληλες μετρήσεις προσδιορίζεται η κ.β. περιεκτικότητα σε χλωρίδια. (V. K. Raina, 1994)

Όργανα Ψεκασμού. Με αυτή τη μέθοδο μπορούμε να προσδιορίσουμε την τιμή του pH του σκυροδέματος και να ανιχνεύσουμε την ύπαρξη ιόντων χλωρίου σ' αυτό. Το pH προσδιορίζεται με τη χρωματομετρική μέθοδο και έτσι διαπιστώνεται η ενανθράκωση του σκυροδέματος. Αν σε φρεσκοσπασμένη επιφάνεια σκυροδέματος, ψεκάσουμε με άχρωμη φαινολοφθαλείνη και δεν έχουμε μεταβολή του χρώματος, τότε είναι ενανθρακωμένο ($pH < 8.4$). Η φαινολοφθαλείνη χρωματίζεται κόκκινη στο υγιές σκυρόδεμα ($pH > 8.4$). Πυκνό σκυρόδεμα καλής ποιότητας ενανθρακώνεται πολύ αργά, έτσι ώστε ακόμα και μετά από 50 χρόνια η ενανθράκωση είναι αδύνατο να φτάσει σε βάθος μεγαλύτερο από 7 – 10 mm. Από την άλλη πλευρά, το διαπερατό σκυρόδεμα μπορεί να παρουσιάσει ενανθράκωση μέχρι βάθος και 25 mm σε 10 χρόνια ή και λιγότερο. Για την ανίχνευση ιόντων χλωρίου στο σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται σπρέυ που περιέχουν διαλύματα αλάτων σε υγρές επιφάνειες και οι οποίες χρωματίζονται λευκές αν υπάρχουν χλωριόντα. (V. K. Raina, 1994 & Ταμείο Εθνικής Οδοποιίας, 1987)

Μέθοδος Mohr ή Volhard. Η περιεκτικότητα σε χλωρίδια μετράται σε εργαστήριο σύμφωνα με τη μέθοδο Mohr χρησιμοποιώντας δείκτη χρωμικό άλας του καλίου ή σύμφωνα με την ογκομετρική στοιχειομετρική μέθοδο Volhard. Η παρουσία των υδατοδιαλυτών χλωριδίων στο σκυρόδεμα με συγκέντρωση πάνω από το επιτρεπτό όριο (0.20% κ.β.) θεωρείται επικίνδυνη για την κατασκευή. (V. K. Raina, 1994)

Μαγνητικός ανιχνευτής σιδήρου. Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται η ανεπάρκεια του πάχους επικάλυψης του σιδηρού οπλισμού. Εκτελείται με ένα συνήθη δυνατό μαγνήτη, ο οποίος έλκεται μόνο σε περίπτωση που η επικάλυψη είναι μικρή. Η διάμετρος και η θέση του χαλύβδινου οπλισμού εντοπίζεται με τον μαγνητικό ανιχνευτή, που είναι εφοδιασμένος με συσσωρευτή και η λειτουργία του βασίζεται στο φαινόμενο της ηλεκτροστατικής επαγωγής. Διάφορα όργανα που λειτουργούν με μπαταρίες είναι διαθέσιμα και μπορούν να μετρήσουν με ακρίβεια επικάλυψη πάχους 15mm έως 75mm. Η μέθοδος πλεονεκτεί επειδή είναι απλή στη χρήση και σχετικά χαμηλή σε κόστος. (V. K. Raina, 1994 & Ταμείο Εθνικής Οδοποιίας, 1987)

3.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΠΡΟΤΑΘΕΙ

Ραντάρ. Ένα ραντάρ υψηλής συχνότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση ρωγμών και φθορών του σκυροδέματος. Παλμοί μικρής διάρκειας διοχετεύονται στο σκυρόδεμα και ανάλογα με τον τύπο της επιφάνειας που συναντούν ανακλώνται με διαφορετική ταχύτητα. Τα κύματα καταγράφονται σε μαγνητική ταινία και στη συνέχεια εξετάζονται. Αυτή η μέθοδος δεν χρησιμοποιείται τόσο συχνά. (V. K. Raina, 1994)

Ραδιογραφία. Χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί η θέση και το μέγεθος του οπλισμού, να ελεγχθεί η ύπαρξη κενών και περιοχών μικρής συμπίεσης στο σκυρόδεμα. Με ακτίνες χ ή γ ελέγχεται η ομοιογένεια του σκυροδέματος και ακόμη η θέση, ο αριθμός καθώς και ο βαθμός διάβρωσης του οπλισμού. Η ποιότητα των εικονων γ υστερεί ως προς τις εικόνες χ . Στην πλάκα της ακτινογραφίας οι θέσεις του σκυροδέματος μεγάλης πυκνότητας αντίστοιχούν σε σκοτεινότερες περιοχές. Οι οπλισμοί εμφανίζονται σαν γραμμές αδύνατης εντάσεως (περισσότερο φωτεινές). Οι ανωμαλίες, ρωγμές κ.λ.π., εμφανίζονται σαν κηλίδες ή σκοτεινές γραμμές. Η σημασία της μεθόδου είναι μικρή, η εφαρμογή της δύσκολη και πολύ δαπανηρή. (V. K. Raina, 1994, P. H. Perkins, 1997 & Ταμείο Εθνικής Οδοποιίας, 1987)

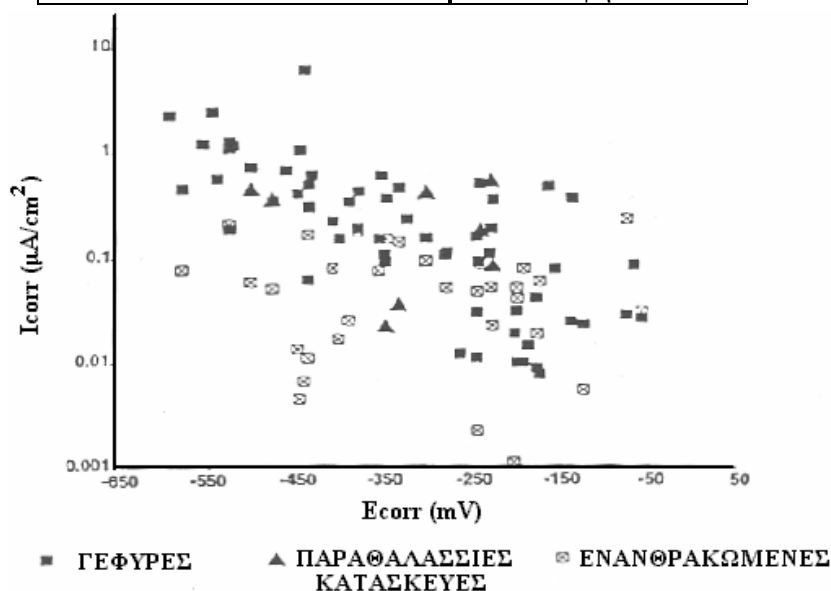
Θερμογραφία. Η θερμογραφία είναι μια μέθοδος ανίχνευσης ρωγμών και θέσεως οπλισμού κυρίως σε μεγαλύτερη βάθος από την επιφάνεια. Βασίζεται στην αρχή ότι οι ασυνέχειες στο σκυρόδεμα εμποδίζουν τη μετάδοση της θερμότητας. Η μέθοδος αυτή βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο, αλλά αποτελεί αξιοσημείωτη υπόσχεση σαν ένα γρήγορο εργαλείο, ώστε να γνωρίζουμε αν χρειάζεται η όχι μια πιο λεπτομερή έρευνα. (V. K. Raina, 1994 & Ταμείο Εθνικής Οδοποιίας, 1987)

Επιτόπου μέτρηση του βαθμού διάβρωσης. Είναι μια μη καταστρεπτική μέθοδος που προσδιορίζει την διάβρωση του χάλυβα και ελέγχει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου επισκευής. Βασίζεται στη μέτρηση του Ecorr (δυναμικό διάβρωσης) και σχεδιάζονται χάρτες δυναμικού οι οποίοι προσδιορίζουν τις πιθανές περιοχές διάβρωσης. Στο σχήμα 3.3.1 φαίνεται ένα διάγραμμα Ecorr – Icorr (βαθμός διάβρωσης). (C. Andrade, 1999)

Το Icorr προσδιορίζεται με μια ηλεκτροχημική τεχνική που ονομάζεται πόλωση αντίστασης (polarization resistance, Rp). Βασίζεται στην εφαρμογή ενός μικρού ηλεκτρικού ρεύματος στο χάλυβα. Τελικά ο βαθμός διάβρωσης δίνεται από τη σχέση $I_{corr} = B/R_p$, όπου B είναι μια σταθερά και Rp προσδιορίζεται από το λόγο $\Delta E/\Delta I$ με ΔE διαφορά δυναμικού και ΔI το ηλεκτρικό ρεύμα. Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας που δείχνει τα επίπεδα διάβρωσης ανάλογα με το βαθμό διάβρωσης μετά από μετρήσεις στο εργαστήριο και επι τόπου.

Πίνακας 2. (C. Andrade, 1999)

Βαθμός διάβρωσης ($\mu A/cm^2$)	Επίπεδο διάβρωσης
< 0.1	Αμελητέο
0.1 – 0.5	Χαμηλό
0.5 – 1	Μέτριο
> 1	Υψηλό



Σχ. 3.2.1. Διάγραμμα Ecorr – Icorr για διάφορους τύπους κατασκευών (C. Andrade, 1999)

Υπερηχητικοί παλμοί. Η ποιότητα του σκυροδέματος μπορεί να αποτιμηθεί με εφαρμογή υπερηχητικών παλμών και μετρώντας την ταχύτητά τους. Οι μετρηθείσες τιμές μπορεί να επηρεαστούν από την σύσταση της επιφάνειας σκυροδέματος, το ποσοστό υγρασίας, τη θερμοκρασία και το μέγεθος του αντιπροσωπευτικού δείγματος. Ακόμα μπορούν να επηρεαστούν από την παρουσία οπλισμού, τις δυσμορφίες, την πυκνότητα και τις ρωγμές στο σκυρόδεμα. Βέβαια είναι δύσκολο να γίνουν συσχετισμοί με την αντοχή του

σκυροδέματος, αλλά μας δίνουν μια γενική εικόνα. Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται ειδικευμένο προσωπικό. (V. K. Raina, 1994)

Ενδοσκόπια. Εξυπηρετούν στην έρευνα κενών χώρων και στον προσδιορισμό του βαθμού οξειδωσης του χάλυβα. Η εισδοχή του ενδοσκοπίου στο σκυρόδεμα επιτυγχάνεται μετά από προσεκτική διάνοιξη λεπτής οπής. Η επέμβαση γίνεται σε θέσεις όπου μετά από τη χρησιμοποίηση των προγενέστερων οργάνων, ανακλύπουν υπόνοιες για πλημελή συμπίκνωση ή διάβρωση του χάλυβα, καθώς επίσης σε παραμορφωμένες ή ρηγματωμένες επιφάνειες και σε ευπαθή ή ευαίσθητα μέρη, όπως σε περιοχές ματίσεων. (V. K. Raina, 1994 & Ταμείο Εθνικής Οδοποιίας, 1987)

4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η προστασία μιας γέφυρας από σκυρόδεμα, η επισκευή και η αποκατάσταση είναι ένα θέμα με μεγάλο ενδιαφέρον. Η επισκευή συνίσταται στην επιδιόρθωση, την επικάλυψη ή την κάλυψη των μελών της γέφυρας, στα οποία η ένταση της χλωριούχου μόλυνσης του σκυροδέματος έχει επιδράσει. Η αποκατάσταση των υποστλωμάτων της γέφυρας συνιστά απομάκρυνση των θρυμματισμένων περιοχών και επικάλυψη ή κάλυψη με σκυρόδεμα χαμηλής διαπερατότητας των διαχωρισμένων σε στρώματα περιοχών και όλων των τμημάτων.

Η επισκευή του σκυροδέματος μπορεί να περιλαμβάνει τη χρησιμοποίηση υλικών, όπως σκυρόδεμα τύπου portlant, τροποποιημένο γαλακτώδες σκυρόδεμα και πολυμερικά σκυροδέματα. Μπορεί επίσης να συμπεριληφθεί και η ανακατασκευή ή η επανατοποθέτηση του χάλυβα οπλισμού. Έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές τεχνικές, ώστε να περιοριστεί η διάβρωση του χάλυβα σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος, συμπεριλαμβανομένου του γαλβανισμού, της συγκόλλησης στρώματος επικάλυψης, αντιδότην, καθοδικής προστασίας και άλλες ηλεκτροχημικές μέθοδοι. Μεμβράνες και υλικά στεγανοποίησης στην επιφάνεια του σκυροδέματος μπορούν να ελαττώσουν την περαιτέρω εισχώρηση των χλωριόντων, ωστόσο αυτά τα συστήματα δεν είναι αδιαπέρατα και έχουν πεπερασμένη διάρκεια ύπαρξης πριν επέλθει αποσάθρωση.

4.1. Επισκευή Ρωγμών

Η έμφυτη ικανότητα του σκυροδέματος να «γιατρεύει» τις ρωγμές που δημιουργούνται σ' αυτό ονομάζεται 'Αυτογενής Ίανση'. Είναι κατάλληλη για τη σφράγιση ανενεργών ρωγμών σε ένα υγρό περιβάλλον. Ο μηχανισμός της ίανσης πραγματοποιείται μέσω της ενανθράκωσης. Το προϊόν της αντίδρασης, ανθρακικό ασβέστιο, μπορεί να καλύψει τις ρωγμές και να τις κλείσει. Μια τέτοια αντίδραση όμως, έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του pH στο σκυρόδεμα, γεγονός που αυξάνει την οξύτητα και επιπλέον επιταχύνει τις διαδικασίες διάβρωσης του χάλυβα. (V. K. Raina, 1994)

Για την επισκευή των **ανενεργών ρωγμών** μπορούν να ακολουθηθούν οι παρακάτω διαδικασίες:

F Πλήρωση με κονίαμα: Αρχικά πρέπει να γίνει καθαρισμός της επιφάνειας και απομάκρυνση της σκόνης και της άμμου και στη συνέχεια εφαρμογή ενός λεπτού τσιμεντοκονιάματος ή ασβεστοκονιάματος. (P. H. Perkins, 1997)

F Με «ράψιμο»: Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος πρέπει να ξανααποκατασταθεί και υπάρχουν μεγάλες ρωγμές. Η διαδικασία απαιτεί την διάνοιξη οπών και εκατέρωθεν της ρωγμής, καθαρισμό αυτών και σωστή αγκύρωση, με κάποια ρητίνη, της ράβδου «ράμμα» που θα βρίσκεται εγκάρσια της ρωγμής. (V. K. Raina, 1994)

Οι **ενεργές ρωγμές** οι οποίες εξελίσσονται πρέπει να τύχουν διαφορετικής μεταχείρισης. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι:

F 'Μαστίχες'. Είναι παχύρευστα κολλώδη υλικά, όπως μη απορροφούμενα έλαια ή μαλακές άσφαλτοι που περιέχουν ίνες ή κάποια άλλα πρόσθετα. Συνήθως χρησιμοποιούνται στις

περιπτώσεις όπου η συνολική μετακίνηση δεν ξεπερνά το 15% του βάθους τους. Τα υλικά αυτά είναι τα φθηνότερα, αλλά πρέπει να αποφεύγεται η χρήση τους σε κατακόρυφα τμήματα. (V. K. Raina, 1994)

F Θερμοπλαστικά. Τα υλικά αυτά ρευστοποιούνται όταν θερμανθούν σε θερμοκρασίες άνω των 100°C. Τέτοια υλικά είναι οι άσφαλτοι, οι τροποποιημένες με πλαστικό άσφαλτοι και η πίσσα. Χρησιμοποιούνται όταν η συνολική μετακίνηση δεν ξεπερνά το 25% του βάθους των ρωγμών. Τα υλικά αυτά μειονεκτούν στο ότι η υπερϊώδης ακτινοβολία του ήλιου μετά από χρόνια έκθεση τα σκληραίνει και χάνουν την ελαστικότητά τους. (V. K. Raina, 1994)

F Ελαστομερή. Τα υλικά αυτά περιλαμβάνουν τα πολυσουλφίδια, εποξικά πολυσουλφίδια, πολυθουραίνια, σιλικόνες και τα ακρυλικά. Χρησιμοποιούνται όταν η συνολική μετακίνηση δεν ξεπερνά το 50% του βάθους των ρωγμών. (V. K. Raina, 1994)

4.2. Επικάλυψη επιφανειών με συνθετικές ρητίνες

Η μέθοδος αυτή προφυλάσσει το σκυρόδεμα από την εισδοχή του νερού, εσωκλείει όμως ταυτόχρονα το υπάρχον νερό στους πόρους του σκυροδέματος και παρεμποδίζει τη διαφυγή του ακόμη και υπό μορφή υδρατμών. Έτσι, με την άνοδο της θερμοκρασίας αυξάνεται η πίεση των υδρατμών και δημιουργείται κίνδυνος θραύσης της προστατευτικής μεμβράνης. (Ταμείο Εθνικής Οδοποιίας, 1987)

Οι περισσότερες συνθετικές ρητίνες είναι προσμίξεις με τα ακόλουθα βασικά μίγματα και ιδιότητες:

A) Οι Ισιλανικές, σιλοξανικές και σιλικονικές ρητίνες είναι άχρωμες βαφές, δεν αλλάζουν την όψη του σκυροδέματος, το προστατεύουν από την εισδοχή νερού, όχι όμως και από την εισδοχή αερίων. Έτσι όχι μόνο δεν εμποδίζουν την ενανθράκωση, αλλά αντιθέτως υπό ορισμένες συνθήκες την προωθούν. Δεν ενδείκνυται σε φθαρμένα, ρηγματωμένα ή ενανθρακωμένα σκυροδέματα.

B) Οι ακρυλικές ρητίνες είναι θερμοπλαστικά συνθετικά προϊόντα σε οργανικά διαλύματα. Με την βαφή τους επιτυγχάνεται το σφράγισμα της επιφάνειας, που εμποδίζει την εισδοχή νερού και την διείσδυση των αερίων. Μαλακώνουν με την άνοδο της θερμοκρασίας και είναι ευάλωτα στην υπερϊώδη ακτινοβολία.

Γ) Το μείγμα τσιμέντου, άμμου και εποξειδικής ρητίνης, αποκτά σε σύντομο χρονικό διάστημα υψηλή αντοχή, είναι ανθεκτικό έναντι του νερού και της υγρασίας, προστατεύει την επιστρωμένη επιφάνεια σε μεγάλο βαθμό από τη διείσδυση επιθετικών αερίων και το μέτρο ελαστικότητάς του είναι κατά προσέγγιση ίδιο με αυτό του σκυροδέματος. Καθοριστικοί παράγοντες για την ποιότητα του μίγματος είναι οι ακριβείς αναλογίες των συστατικών του, η καλή ανάμιξη, η κατάλληλη ποσότητα νερού και ο ακριβής χρόνος προσμίξεως.

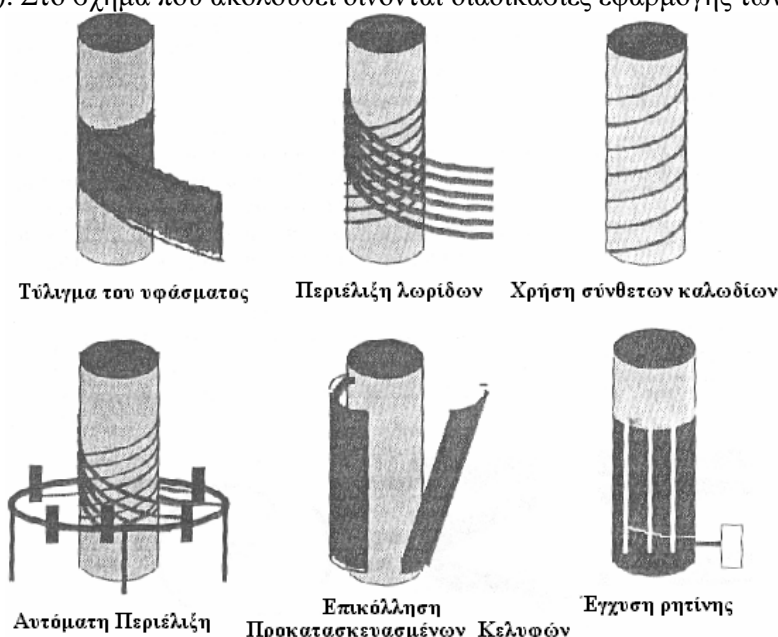
Δ) Το καθαρό μίγμα εποξειδικής ρητίνης και άμμου αποτελεί πολύ καλή προστασία του οπλισμού από την διάβρωση και της επιστρωμένης επιφάνειας του σκυροδέματος από το νερό, την υγρασία, την ενανθράκωση και τα επιθετικά αέρια. Ακόμη επειδή είναι εξαιρετικά λεπτόρευστο διεισδύει στο σκυρόδεμα σε μικρό βάθος, σφραγίζει κοιλότητες και ρωγμές και γενικά εξομαλύνει και σταθεροποιεί την επιφάνεια, η οποία αποκτά έτσι μεγάλη αντοχή. Τα χρησιμοποιούμενα αδρανή πρέπει να είναι στεγνά και η ανάμιξη να γίνεται με μηχανικά μέσα.

4.3. Επισκευή με μανδύα CFRP

Μετά από πειράματα που έγιναν για να αξιολογηθεί η δυνατότητα περιορισμού της διάβρωσης με τη χρήση μανδύων CFRP έδειξαν ότι αυτός ο τρόπος επισκευής ήταν αποτελεσματικός. Χρησιμοποιήθηκαν δύο τρόποι τυλίγματος: μια στρώση και δύο στρώσεις. Οι μετρήσεις έγιναν με ηλεκτόδια.

Συγκρίνοντας με δοκίμια που δεν είχαν τυλιχθεί, οι μειώσεις της γενικής απώλειας της διαμέτρου των οπλισμών κυμάνθηκαν από 9.41% (1 στρώση) σε 13.83% (2 στρώσεις).

Συνολικά, τα αποτελέσματα ήταν φτωχότερα από αυτά που εξήχθησαν για τα κυκλικά υποστυλώματα επειδή ο περιορισμός ήταν μικρότερος. Παρατηρήθηκε επίσης ότι η απόδοση του μανδύα θα είναι καλύτερη εάν επεκτεινόταν πέρα από τη διαβρωμένη περιοχή (T. Beitelman). Στο σχήμα που ακολουθεί δίνονται διαδικασίες εφαρμογής των μανδύων.



Σχ. 4.3.1. Διαδικασίες εφαρμογής των μανδύων (V. M. Karbhari, 1999)

4.4. Επισκευή κάτω από το νερό

Το αρχικό βήμα στην επισκευή είναι η αφαίρεση του φθαρμένου τμήματος της κατασκευής, που μπορεί να εκτελεστεί με χειροκίνητα εργαλεία, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν υδραυλικά και αεροσυμπιεστά εργαλεία.

Μόλις καθαριστεί καλά η φθαρμένη περιοχή, τοποθετείται κονίαμα τσιμέντου τύπου portlant, ή εποξειδικό κονίαμα, ή διάφορα άλλα κατάλληλα προϊόντα. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν αγκύρια που τοποθετούνται σε οπές που έχουν γεμιστεί με ρευστοκονίαμα και η ρητίνη που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι εποξειδική ή πολυεστερική. Από διάφορα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν έδειξαν ότι οι αντοχές για τα ρευστοκονιάματα που βρίσκονται κάτω από το νερό είναι παραπλήσιες με αυτές που αντιστοιχούν σ'αυτά πάνω από το νερό, όταν οι αντοχές των εποξειδικών ρητινών είναι περίπου 10% και των πολυεστερικών περίπου 35% μικρότερες από αυτές που αντιστοιχούν σε υγρές συνθήκες. Ακόμα τα πειράματα έδειξαν ότι οι εποξειδικές ρητίνες παρουσίασαν μεγαλύτερα φαινόμενα ερπυσμού από τις πολυεστερικές.

Στις περιπτώσεις όπου η διάβρωση του οπλισμού είναι εκτεταμένη, απαιτείται αντικατάσταση του. Έτσι τοποθετούνται μεγάλες ράβδοι οπλισμού και περιμετρικά τους πολλές μικρότερες. Το σκυρόδεμα για υποβρύχιες επισκευές πρέπει να αναμειγνύεται προσεκτικά και να χρησιμοποιούνται πρόσθετα, τα οποία δεν ξεπλένονται, διατηρούν τη συνοχή του σκυροδέματος και μαζεύουν το νερό των πόρων.

Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν μανδύες από πολυμερικά φύλλα, όπως PVC, τα οποία τυλίγονται γύρω από την κολώνα και έχουν πάχος 30 – 60mm. Τα φύλλα αυτά αποτελούν ένα προστατευτικό στρώμα ανάμεσα στις κολώνες και στο νερό, δημιουργούν αναερόβιες συνθήκες με αποτέλεσμα να καταστρέφονται μικροοργανισμοί που ζουν στη θάλασσα. Η συγκόλληση των φύλλων PVC στο σκυρόδεμα γίνεται με κονιάματα από τσιμέντο ή πολυμερικά κονιάματα συνήθως εποξειδικά. Τα συστήματα αυτά είναι άοπλα και

χρησιμοποιείται οπλισμός όταν το πάχος του κονιάματος είναι αρκετό ώστε να χωρέσει αυτός (M. J. Garlich).

4.5. Καθοδική προστασία

Η διάβρωση του οπλισμού είναι μια ηλεκτροχημική διαδικασία και οφείλεται στα διαφορετικά ηλεκτρικά δυναμικά στην επιφάνειά του, όταν βρίσκεται σε υγρό περιβάλλον. Το σκυρόδεμα δρα σαν ηλεκτρολύτης και είναι περιορισμένου όγκου, συγκεκριμένης μορφής, συμπαγής και μικρής αγωγιμότητας (η ειδική αντίσταση είναι 2 – 6 kΩ.cm για υγρό σκυρόδεμα και 10 - 200 kΩ.cm για ξηρό).

Υπάρχουν δυο τρόποι εισαγωγής της καθοδικής προστασίας στο χάλυβα:

1. με ένωση του χάλυβα με ένα μέταλλο το οποίο είναι ‘λιγότερο ευγενές’ στην ηλεκτροχημική διαδικασία και αυτή είναι γνωστή σαν ανοδική προστασία (sacrificial anodic protection)
2. με τη χρησιμοποίηση ενός εξωτερικού ηλεκτρικού ρεύματος με επαρκή ένταση ώστε να περιορίσει τη διάβρωση και αυτή είναι η τεχνική του εφαρμοσμένου ρεύματος.

Για την *ανοδική προστασία* μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέταλλα όπως νάτριο, μαγνήσιο, ψευδάργυρος, αλουμίνιο κ.α. Η σειρά που θα χρησιμοποιηθούν τα μέταλλα είναι βασική και γίνεται από αυτά που προηγούνται (πιο ανοδικά) στα επόμενα.

Όταν δυο διαφορετικά μέταλλα έρχονται σε επαφή μέσα σ’ ένα ηλεκτρολύτη, παράγεται ρεύμα σαν συνάρτηση της ηλεκτροχημικής σειράς των μετάλλων. Για παράδειγμα, αν ο σίδηρος είναι σε ηλεκτρική επαφή με τον ψευδάργυρο μέσα σ’ έναν ηλεκτρολύτη, το ρεύμα θα κινηθεί από τον ψευδάργυρο στο σίδηρο επειδή ο ψευδάργυρος είναι ανοδικός του σιδήρου και ο ψευδάργυρος θα διαβρωθεί ενώ ο σίδηρος όχι. Αυτή είναι η αρχή της παραπάνω μεθόδου.

Όσον αφορά την *τεχνική του εφαρμοσμένου ρεύματος*, η κατασκευή που πρόκειται να προστατευτεί συνδέεται με την αρνητική τροφοδοσία (κάθοδος) και με τη θετική τροφοδοσία, μια εισαγόμενη άνοδος, η οποία επιλέγεται έτσι ώστε να έχει μη διαβρώσιμες ιδιότητες. Τα υλικά που είναι διαθέσιμα είναι ο γραφίτης, τιτάνιο επικαλυμμένο με πλατίνα, σίδηρος υψηλού πυριτίου, ταντάλιο ή νιόβιο. Στις θαλάσσιες εγκαταστάσεις χρησιμοποιείται κράμα από σίδηρο και μόλυβδο. (P. H. Perkins, 1997, V. K. Raina, 1994, Γ.Μπατής & Γ.Κατσαντώνης, 1999)

Η μέθοδος αυτή εξετάζει και την επανείσοδο των ιόντων χλωρίου στο σκυρόδεμα, οπότε προσφέρει συνεχή προστασία. Για την καθοδική προστασία των κατασκευών πρέπει να λαμβάνονται με προσοχή τα παρακάτω γεγονότα:

1. ο τύπος της προστασίας που θα είναι ο πιο κατάλληλος για τις δοσμένες καταστάσεις, π.χ. ανοδική προστασία ή τεχνική του εφαρμοσμένου ρεύματος
2. η χρησιμοποίηση της καθοδικής προστασίας του οπλισμού που βρίσκεται μέσα στο σκυρόδεμα εισάγει ειδικά προβλήματα, όπως ότι το νερό των πόρων στο σκυρόδεμα δρα σαν ηλεκτρολύτης.
3. το εφαρμοσμένο ρεύμα πρέπει να είναι αρκετό ώστε να καταστείλει τη διάβρωση.
4. η καθοδική προστασία μπορεί να προκαλέσει διάσπαση του υδρογόνου, πράγμα το οποίο είναι πολύ σπάνιο
5. η πιθανότητα αντίδρασης αλκαλικού υλικού με διοξείδιο του πυριτίου
6. η παρουσία σημαντικών ασυνεχειών στο χάλυβα οπλισμού

4.6. Απομάκρυνση χλωριούχων αλάτων

Αυτή η μέθοδος είναι μια εναλλακτική τεχνική της καθοδικής προστασίας. Η άνοδος που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι αυτή που χρησιμοποιήθηκε και στην καθοδική προστασία ή ένα πλέγμα επικαλυμμένου τιτανίου. Αυτό τοποθετείται εξωτερικά του μέλους σκυροδέματος και στερεώνεται στο υλικό το οποίο διατηρείται υγρό κατά τη διάρκεια της απομάκρυνσης των χλωριούχων αλάτων.

Δεν είναι εφικτό να απομακρυνθούν από το σκυρόδεμα όλα τα χλωριούχα άλατα, αλλά αν απομακρυνθούν σωστά αυτά που περιέχονται στην επικάλυψη του σκυροδέματος τότε θα έχουμε μείωση σ' ένα αποδεκτό επίπεδο. Αν υπάρχει μια μαζική εισχώρηση των χλωριούχων αλάτων στο σκυρόδεμα, τότε αυξάνεται η αντίσταση στη διόδο του ρεύματος και η απομάκρυνση των χλωριούχων αλάτων γίνεται ιδιαίτερα δύσκολη.

Η παραπάνω τεχνική δεν ασχολείται καθόλου με την επανείσοδο ιόντων χλωρίου στο σκυρόδεμα, πράγμα που μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την διάβρωση των ράβδων και πάλι. (P. H. Perkins, 1997)

4.7 Επανααλκαλίωση

Αυτή η μέθοδος επαναφέρει την αλκαλικότητα του σκυροδέματος που είναι σε επαφή με τις ράβδους, έτσι ώστε το PH να πλησιάσει την τιμή 10, το οποίο επαναφέρει την προστατευτική επικάλυψη ιόντων στο χάλυβα.

Η διαδικασία της επανααλκαλίωσης είναι η εξής: μια άνοδος, κυρίως κυτταρίνη, τοποθετείται στην επιφάνεια του σκυροδέματος η οποία διατηρείται υγρή από ένα διάλυμα ανθρακικού νατρίου το οποίο ενεργεί σαν ηλεκτρολύτης. Το αλκαλικό διάλυμα εισέρχεται μέσα στο σκυρόδεμα με ηλεκτρική ώσμωση. Η ηλεκτρόλυση της επιφάνειας των ράβδων παράγει ιόντα υδροξυλίου, και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία υψηλού αλκαλικού περιβάλλοντος γύρω από το χάλυβα. (P. H. Perkins, 1997)

5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Για την επισκευή των ενεργών ρωγμών η χρήση των υλικών «μαστίχες» είναι φθηνότερη, αλλά πρέπει να αποφεύγεται σε κατακόρυφα τμήματα σε αντίθεση με τα θερμοπλαστικά και ελαστομερή υλικά. Πρέπει όμως να αναφερθεί ότι τα θερμοπλαστικά υλικά χάνουν την ελαστικότητά τους μετά από χρόνια έκθεση στο ήλιο.

Όσον αφορά τις συνθετικές ρητίνες, θεωρούνται κατάλληλες αυτές που είναι μείγματα τσιμέντου, άμμου και εποξειδικής ρητίνης και άμμου και εποξειδικής ρητίνης. Αυτό γιατί μπορούν να παρεμποδίσουν την ενανθράκωση, να χρησιμοποιηθούν σε ρηγματωμένες περιοχές και δεν μαλακώνουν με την άνοδο της θερμοκρασίας, όπως συμβαίνει με τους άλλους τύπους ρητινών.

Συγκρίνοντας τις μεθόδους καθοδικής προστασίας, μανδύων CFRP, απομάκρυνσης χλωριούχων αλάτων και επανααλκαλίωσης, μπορούμε να θεωρήσουμε αποδοτικότερες τις δυο πρώτες. Αυτό γιατί η καθοδική προστασία έχει εφαρμοστεί σε πολλές παραθαλάσσιες κατασκευές στο παρελθόν και έχει παρουσιάσει ικανοποιητικά αποτελέσματα, αν τηρούνται οι προδιαγραφές που αναφέρθηκαν. Τα προϊόντα διάβρωσης του υλικού επισκευής (π.χ. κάλυψη με μέταλλο πλούσιο σε ψευδάργυρο) δεν είναι τόσο εκεταμένα και επιβλαβή όσο αυτά που προέρχονται από τη διάβρωση του χάλυβα. Η τεχνική αυτή προσφέρει συνεχή προστασία στις ράβδους σε αντίθεση με τη μέθοδο απομάκρυνσης χλωριούχων αλάτων, που δεν εξασφαλίζει τις κατασκευές από την επανείσοδο ιόντων χλωρίου στο σκυρόδεμα. Ακόμα η χρήση μανδύων CFRP είναι αποτελεσματικότερη αν επεκτείνονται και πέρα από τη διαβρωμένη περιοχή. Η επανααλκαλίωση αποτελεί μια τεχνική που εφαρμόζεται εργαστηριακά και δεν έχουμε αποτελέσματα για την απόδοσή της σε πραγματικές κατασκευές. Για την επισκευή τμημάτων της κατασκευής κάτω από το νερό πρέπει να τηρούνται αυστηρά οι κανονισμοί για την απομάκρυνση των φθαρμένων περιοχών, τον καθαρισμό των τμημάτων που πρόκειται να αποκατασταθούν και την σύνθεση των υλικών επισκευής.

Τέλος, με την πρόοδο της τεχνολογίας δημιουργούνται νέα υλικά, τα οποία εμποδίζουν τη διάβρωση. Συγκεκριμένα, μετά από πειράματα σε συνθήκες RACR, που είναι μια δυναμική σύνθετη διαδικασία όμοια με την κίνηση της θάλασσας, έδειξαν ότι με τη χρήση των οξειδίων PbO, Cr₂O₃ και ZrO₂ σε ποσότητες μικρότερες του 4% της μάζας του

τισμέντου, επηρεάζεται θετικά η ενυδάτωση και η αντοχή του και αναστέλλεται η διάβρωση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- = V. K. Raina (1994)
'Concrete Bridges – Inspection, Repair, Strengthening, Testing, Load Capacity Evaluation', New Delhi
- = V. Zivica (1996)
'Resistance of cement mortars containing heavy metal oxides exposed to long – term repeated action of chloride solution', Construction and Building Materials, Vol.10, No7
- = Rob B. Polder (1996)
'Electrochemical chloride removal from concrete prisms containing chloride penetrated from sea water', Construction and Building Materials, Vol.10, No1
- = T. Beitelman
'CFRP wrap for repairing corrosion damage problem statement', University of Florida
- = M. J. Garlich
'Repairing concrete deterioration below water'
- = J. Gulikers (1996)
'Reliability of chloride analysis in determining the corrosivity of concrete', Deterioration Processes,
- = C. Andrade (1999)
'On-site measurements of the corrosion rate' C. Andrade, C. Alonso, S. Feliu & J. A. Gonzalez, Recent Advances in Bridge Engineering Barcelona 1996
- = J. J. Carpio
'Rehabilitation of a Damaged Reinforced Concrete Bridge in a Marine Environment' J. J. Carpio, T. Perez - Lopez, J. Genesca & L. Martinez, Repair and Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures: The state of art
- = V. M. Karbhari (1999)
- = 'Seismic Retrofitting and Strengthening of columns with composite materials ' V. M. Karbhari, Proceedings of International Conference held at the University of Sheffield 28 June – 2 July 1999
- = P. H. Perkins (1997)
'Repair, Protection and Waterproofing of Concrete Structures',
- = Ταμείο Εθνικής Οδοποιίας (1987)
'Συντήρηση Γεφυρών Οπλισμένου και Προεντεταμένου Σκυροδέματος', Τσούτης Δημήτριος,
- = Joan R. Casas (1996)
'Recent Advances in Bridge Engineering – Evaluation, Management and Repair', Joan R. Casas, F. Wayne Klaiber and Antonio R. Mari, Barcelona, 1996
- = Γ.Μπατής & Γ.Κατσαντώνης (1999)
'Νέος Ελληνικός Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος – Αντοχή Σκυροδέματος στο έργο' Ημερίδα Σεπτέμβριος – Οκτώβριος 1999, TEE