

**ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΔΙΑΡΚΕΙΑ
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΤΣΙΚΑΣ – ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΠΑΠΑΣΠΥΡΙΔΑΚΟΣ**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σήμερα λόγω της φυσιολογικής γήρανσης των κατασκευών μας και έχουν κατασκευαστή πριν από αρκετές δεκαετίες. Πόσο μαλών σε συνάρτηση με το ότι το σκυρόδεμα παρουσίαζε και παρουσιάζει την ευρύτερη χρήση από όλα τα αλλά δομικά υλικά τόσο στην χώρα μας αλλά και παγκόσμιος. Κάνει το πρόβλημα της ανθεκτικότητας σε διάρκεια να θεωρείται από την διεθνή κοινότητα των Μηχανικών σαν το υπ αριθμών ένα επιστημονικό και πρακτικό πρόβλημα του οπλισμένου σκυροδέματος.

Στην παρούσα εργασία Θα ασχοληθούμε με αυτό ακριβών το θέμα, απ όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του οπλισμένου σκυροδέματος σε διάρκεια για τη χώρα μας ο σημαντικότερος είναι η διάβρωση των οπλισμών. Αφού δούμε πως προκαλείται η διάβρωση των οπλισμών θα προσπαθήσουμε να προτείνουμε μέτρα που θα πρέπει να λάβουμε εκ των πρότερων αλλά και εκ των υστερών για την αντιμετώπιση του προβλήματος, καταλήγοντας στο τέλος σε γενικά συμπεράσματα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ανθεκτικότητα σε διάρκεια ονομάζουμε τον ελάχιστο χρόνο μέσα στον οποίο η κατασκευή έχει την ικανότητα να ανθίσταται στις περιβαλλοντικές επιδράσεις χωρίς να χάνει τις ιδιότητες αντοχής και λειτουργίας της κάτω από ένα αποδεκτό όριο.

Όπως όλα τα σύνθετα υλικά έτσι και το οπλισμένο σκυρόδεμα έχει πεπερασμένο χρόνο ζωής πέραν του οποίου κρίνεται λειτουργικά ανεπαρκές. Το γεγονός αυτό σε συνάρτηση με το ότι τα έργα από οπλισμένο σκυρόδεμα έχουν κατασκευαστή πριν από αρκετές δεκαετίες. Μας κάνει να αναρωτηθούμε για το ποια είναι η **ανθεκτικότητας του οπλισμένου σκυροδέματος σε διάρκεια.**

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΔΙΑΡΚΕΙΑ.

(Θανάσης Χ. Τριανταφύλλου)

1 ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ. Όπως είναι η αντοχή συνδεδεμένη με το τριχοειδές πορώδες έτσι είναι και η ανθεκτικότητα. Με αποτέλεσμα να την επηρεάζουν οι ίδιοι παράγοντες όπως ο λόγος νερού N/T, πορώδες και η συντήρηση.

2 ΦΥΣΙΚΑ ΑΙΤΙΑ

- **ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΦΘΟΡΑ**
 - **Απότριψη.** Από την κυκλοφορία πεζών ή οχημάτων.
 - **Υδροφθορά.** Από στο νερό το οποίο περιέχει αιωρούμενα σωματίδια.
 - **Σπηλαιώση.** Εμφανίζεται όταν νερό κινείται με μεγάλη ταχύτητα παράλληλα σε επιφάνεια της οποίας η γεωμετρία αλλάζει ξαφνικά, με αποτέλεσμα τη δημιουργία καταστροφικών φυσαλίδων.
- **ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ.** Για μέτρια διαβρωτικό περιβάλλον το άνοιγμα των ρωγμών δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει τα 0,3mm. Για πολύ διαβρωτικό πρέπει να περιορίζεται περαιτέρω ανάλογα με την διαβρωτικότητα του περιβάλλοντος.
 - **Μεταβολή όγκου λόγω**
 - Θερμοκρασίας ή Υγρασίας
 - Πίεσης λόγω κρυστάλλωσης αλάτων στους πόρους
 - **Επιβαλλόμενα φορτία.** Σχεδιασμού, Υπερφόρτωση, Ερπυσμού.
 - **Επιβαλλόμενες παραμορφώσεις.** Διαφορικών καθιζήσεων ή σεισμού
 - **Ακραίες θερμοκρασίες**

- Παγετός. Η ικανότητα του σκυροδέματος να υποστεί τη δράση του παγετού χωρίς φθορά εξαρτάται κυρίως από την ποιότητα του.
- Πυρκαγιάς. Εξαρτάται από πόλους παράγοντες, οι οποίοι σχετίζονται με την ποιότητα του τσιμεντοπολτού και των αδρανών που αποσυντίθενται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες.

3 ΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

- ΥΔΡΟΛΥΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΛΤΟΥ
 - **Μαλακό νερό.** Το νερό τις βροχής περιέχει ελάχιστα ιόντα ασβεστίου. Σε επαφή με το σκυρόδεμα το νερό διαλύει τα προϊόντα ασβεστίου που υπάρχουν στον τσιμεντοπολτό προκαλώντας τη χαλάρωση του ιστού του σκυροδέματος.
- ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΜΑΖΑΣ. Μηχανισμοί φθοράς του σκυροδέματος με βάση την ανταλλαγή ιόντων.
 - **Σχηματισμός διαλυτών αλάτων ασβεστίου**
 - **Σχηματισμός αδιάλυτων αλάτων ασβεστίου**
 - **Επίδραση διαλυμάτων μαγνησίου**
- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ. Οδηγούν στο σχηματισμό προϊόντων που προκαλούν διόγκωση στο σκυρόδεμα, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη εσωτερικών τάσεων και παραμορφώσεων.
 - **Επίδραση θεικών αλάτων**
 - **Αντίδραση αλκαλίων-αδρανών**
 - **Διάβρωση οπλισμών**
 - **Ενυδάτωση κρυσταλλικών MgO, CaO**

4 ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ. Από τη δράση φυτικών ή ζωικών μικροοργανισμών.

Επειδή στη χώρα μας είναι εξαιρετικά σπάνιο το ενδεχόμενο σταδιακής αποσύνθεσης του σκυροδέματος λόγω εναλλαγών πήξεως-τήξεως του νερού των πόρων, ή λόγω προσβολής των αδρανών από την αλκαλικότητα του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού. Έτσι το κύριο αν όχι το μοναδικό πρόβλημα του οπλισμένου σκυροδέματος από απόψεως ανθεκτικότητας σε διάρκεια είναι η **διάβρωση των οπλισμών**. Από την οποία προκαλείται ο σχηματισμός προϊόντων οξειδωσης και τα οποία λόγω της αύξησης του όγκου τους μπορεί να προκαλέσουν ρηγμάτωση.

Η διάβρωση των οπλισμών μπορεί να γίνει είτε με την **ενανθράκωση** του σκυροδέματος είτε από τα **χλωριόντα**.

Αυτούς τους δυο παράγοντες θα προσπαθήσουμε να ερμηνεύσουμε μελετώντας τους ώστε να μπορέσουμε να προτείνουμε μέτρα αντιμετώπισης τους. Αφού λόγοι κόστους και οικονομίας επιβάλουν σήμερα την συντήρηση, επισκευή ή ανακαίνιση των παλαιών κατασκευών.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ. *(Μιχαήλ Ν. Φαρδής)*

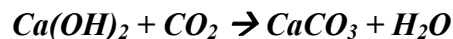
Η διάβρωση του χάλυβα έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της διατομής της ράβδου κατά την ποσότητα του χάλυβα που μετατρέπεται σε σκουριά. Εκτός όμως από αυτό που είναι και το πιο προφανές η διάβρωση μειώνει επίσης και μάλιστα δυσανάλογα την ολκιμότητα του χάλυβα, γεγονός με πολύ δυσμενείς επιπτώσεις στη σεισμική συμπεριφορά του μέλους. Επιπλέον επειδή η σκουριά έχει 2 έως 6 φορές μεγαλύτερο όγκο από αυτόν του σιδηρού από τον οποίο έχει παραχθεί προκαλεί ρηγμάτωση αποτινάσσοντας την επικάλυψη, μειώνοντας ή και μηδενίζοντας την συνάφεια, και εκθέτοντας ακόμη περισσότερο τη ράβδο σε διάβρωση. Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι η μείωση της αντοχής, το γεγονός αυτό σε συνάρτηση με το ότι τα κτήρια αυτά έχουν κατασκευαστή χωρίς τη χρήση αντισεισμικού κανονισμού τα κάνει πιο ευάλωτα και καθιστά την επισκευή ή ενίσχυση τους αναγκαία.

ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.

(Χρ. Σπανός, Μ. Σπιθάκης Και Κ. Τρέζος)

Οι ράβδοι οπλισμού προστατεύονται από την διάβρωση μέσω ενός πολύ λεπτού επιφανειακού στρώματος ένυδρου οξειδίου του σιδήρου, που δημιουργείται λόγω της υψηλής αλκαλικότητας του σκυροδέματος που τις περιβάλλει. Η αλκαλικότητα αυτή χαρακτηρίζεται από μία τιμή του pH γύρω στο 12.5, που αντιστοιχεί στην υπό συνήθη θερμοκρασία συγκέντρωση ισορροπίας του υδροξειδίου του ασβεστίου Ca(OH)_2 , στο νερό των πόρων. Το προστατευτικό στρώμα οξειδίου μπορεί να διατηρηθεί τοπικά από ιόντα χλωρίου, αν η συγκέντρωση των τελευταίων υπερβαίνει το 0.4 έως 0.6 % του βάρους του τσιμέντου, ή να διαλυθεί γενικά, λόγω μείωσης της αλκαλικότητας του σκυροδέματος γύρω από την ράβδο, σε τιμές του pH κάτω από 9.0. Τότε λέμε ότι ο χάλυβας του οπλισμού αποπαθητικοποιήθηκε (δηλαδή δεν απολαμβάνει πλέον την παθητική προστασία που του προσέφερε η αλκαλικότητα του σκυροδέματος).

Η μείωση του pH του σκυροδέματος σε τιμές κάτω του 9.0 οφείλεται στην χημική αντίδραση του Ca(OH)_2 του νερού των πόρων (και γενικότερα του στερεού ιστού του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού) με το διοξείδιο του άνθρακος (CO_2) της ατμόσφαιρας, που σταδιακά διαχέεται προς το εσωτερικό του σκυροδέματος μέσω της αέριας φάσης των πόρων. Η διαδικασία αυτή έχει σαν αποτέλεσμα τη μετατροπή του Ca(OH)_2 σε ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) σύμφωνα με την αντίδραση:



Η όλη διαδικασία ονομάζεται **ενανθράκωση** του σκυροδέματος. Είναι αξιοσημείωτο να πούμε ότι η ενανθράκωση, η οποία για το οπλισμένο σκυροδέμα έχει δυσμενείς επιπτώσεις, στον ατμοσφαιρικό αέρα οδηγεί στην σκλήρυνση του ασβέστη. (Τρέζος)



(Εικόνα 1 από [4])

Δοκίμιο σκυροδέματος το οποίο έχει ψεκάσθει με διάλυμα φαινολοφθαλεΐνης. Το τμήμα στο οποίο δεν παρουσιάζεται αλλαγή χρώματος (δεξιά) είναι ενανθρακωμένο (βάθος ενανθρακώσεως περίπου 3cm) Το αριστερά τμήματα (χρώματος ροζ-βυσσινί) δεν έχει ενανθρακωθεί.

Παράμετροι που επηρεάζουν την ενανθράκωση.

(Τάσιος, Θ. Π. και Αλιγιζάκη, Κ)

- **Συνθήκες περιβάλλοντος:** Για σχετική υγρασία περιβάλλοντος 50% έως 70% παρατηρείται το μέγιστο ποσοστό ενανθράκωσης.
- **Ποιότητα και πάχος της επικάλυψης**
 - Χαμηλή διαπερατότητα. Μειώνει ή και αναστέλλει τη διείσδυση του CO_2 .
 - Υπάρξει ρωγμών. Επιταχύνει πολύ τη διαδικασία ενανθράκωσης.
 - Μικρές τιμές N/T. Περιορίζεται πολύ η διείσδυση υγρασίας και CO_2 .
- **Είδος τσιμέντου**
 - Κατά τον U. Ludwig (1890). Τσιμέντα που περιέχουν σκωρίες υψικαμίνων και ποζολάνες ενανθρακώνονται πιο γρήγορα από το Portland.

- Κατά τον Matthews (1984). Η προσθήκη ιπταμένων τεφρών στο τσιμέντο επιταχύνει την ενανθράκωση σε σκυροδέματα με αντοχή μικρότερη από 30 έως 35 MPa.
- Από τους A. Zhu (1982), και X. Tan (1982). Η προσθήκη λιγνοσουλφόνης στο σκυρόδεμα σε ποσότητα 0,25% κ.β. μειώνει την ταχύτητα ενανθράκωσης κατά 10 έως 30%.
- Η προσθήκη πυριτικής παιπάλης. Επιταχύνει την ενανθράκωση.



(Εικόνα 1 από [8])

(Εικόνα 1 από [8])

Πολύροφο συγκρότημα κατοικιών

Ανεπαρκές επικάλυψη οπλισμών με εκτεταμένες ρηγματώσεις και αποφλοιώσεις όταν η ενανθράκωση έφτασε στον οπλισμό

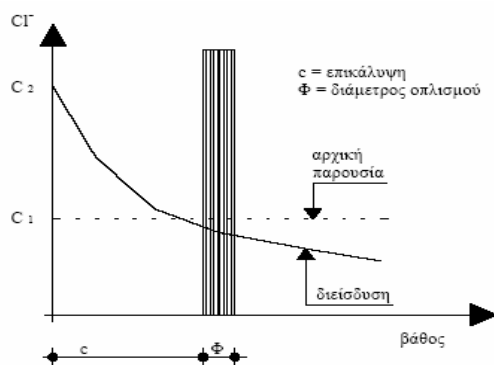
Η ΔΡΑΣΗ ΚΑΙ ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΤΩΝ ΧΛΩΡΙΟΝΤΩΝ.

(Μιχαήλ Ν. Φαρδής)

Το προστατευτικό στρώμα οξειδίου μπορεί να διάτρητη τοπικά από ιόντα χλωρίου, Cl^- Αν η συγκέντρωση των τελευταίων υπερβεί το 0,4% έως 0,6% του βάρους του τσιμέντου. Τα χλωριόντα μπορεί να προέρχονται είτε από το εσωτερικό του σκυροδέματος είτε από το εξωτερικό περιβάλλον που περικλείει το σκυρόδεμα.

Τα χλωριόντα που μπορεί να διατρήσουν το προστατευτικό στρώμα προέρχονται από το **εσωτερικό του σκυροδέματος**, εάν έχουν χρησιμοποιηθεί συλλεκτά αδρανή από παράλιες ή θαλάσσιο νερό για το σκυρόδεμα (όχι ασυνήθιστη πρακτική στη νησιωτική Ελλάδα), ή από προσθετά βελτιωτικά του σκυροδέματος που περιέχουν χλωριούχα άλατα.

Χλωριώνα από το **εξωτερικό περιβάλλον** είναι πολύ συνηθισμένη σε παραθαλάσσιες περιοχές, όπου και σε μεγάλες απόστασης από την ακτή ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει χλωριούχα άλατα, ιδίως αν οι επικρατούντες άνεμοι κατευθύνονται από τη θάλασσα προς τη ξηρά. Στις περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη χιονόπτωση, βασική πηγή χλωριόντων είναι τα χλωριούχα άλατα που ρίχνουν στους δρόμους για την τήξη του χιονιού. Χλωριόντα άλατα μπορεί να προέρχονται επίσης και από τα επιταχυντικά πήξης που χρησιμοποιούνται το χειμώνα επειδή το σκυρόδεμα πήζει αργά η καθόλου.



(Εικόνα 3 από [4])

Κατανομή συγκεντρώσεως χλωριόντων συναρτήσει της αποστάσεως από την επιφάνεια του σκυροδέματος (εργαστηριακή ανάλυση)

Ανάλυση με τη μέθοδο της ποτενσιομετρικής τιτλοδοτήσεως

Η ενανθράκωση και η διείδυση των χλωριόντων δεν είναι ανεξάρτητες διαδικασίες, καθώς η πρώτη επιταχύνει σημαντικά τη δράση των χλωριόντων : Το $\text{Ca}(\text{OH})_2$ του τσιμεντοπολτού αντιδρά με τα χλωριόντα και τα δεσμεύει, περιορίζοντας την ποσότητα αυτών που διαχέονται προς τον οπλισμό κάτω από 0,4% έως 0,6% που απαιτείται για τη διάτρηση του προστατευτικού οξειδίου. Με την αντίδραση όμως του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ κατά την ενανθράκωση τα δεσμευμένα χλωριόντα απελευθερώνονται προσβάλλοντας έτσι των χάλυβα.

Παράμετροι που επηρεάζουν τη διάβρωση του χάλυβα από χλωριόντα.

(Τάσιος, Θ. Π. και Αλιγιζάκη, Κ)

- **Ποιότητα και πάχος της επικάλυψης:** Μικρός λόγος N/T εξασφαλίζει πυκνό σκυρόδεμα με μικρή διαπερατότητα
- **Περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε τσιμέντο – προσθετά:** Το σκυρόδεμα θα πρέπει να περιέχει περισσότερο από 8% C_3A κ.β. τσιμέντου ώστε να δεσμεύσει τα χλωριόντα. Οι προσμίξεις στο σκυρόδεμα επηρεάζουν την ικανότητα του σκυροδέματος να δεσμεύσει τα χλωριόντα.
- **Είδος και συγκέντρωση των χλωριόντων:** Το CaCl_2 προκαλεί μεγαλύτερη διάβρωση του χάλυβα απ' ότι το NaCl . Αυξάνοντας τη συγκέντρωση των χλωριόντων αυξάνεται ο βαθμός διάβρωσης του χάλυβα έως ενός σημείου. Περαιτέρω όμως αύξηση των χλωριόντων προκαλεί μείωση του βαθμού διαβρώσεις του χάλυβα.
- **Περιβάλλον:** Η διείδυση των χλωριόντων μπορεί να γίνει είτε σε ξηρό περιβάλλον είτε σε περιβάλλον με μεγάλο ποσοστό υγρασίας. Η διείδυση χλωριόντων σε υγρό περιβάλλον είναι η συνηθέστερη και πιο σοβαρή μορφή διείδυσης



(Εικόνα 4 από [8])



(Εικόνα 5 από [8])

Γέφυρα πεζών στο δεύτερο όροφο νοσοκομείου

Διάβρωση οπλισμών από χλωριόντα εκχιονιστικών αλάτων

Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ.

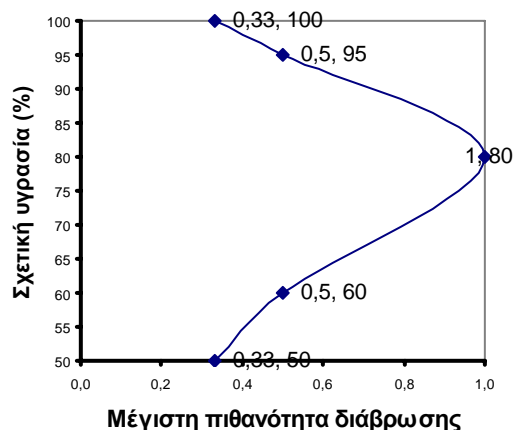
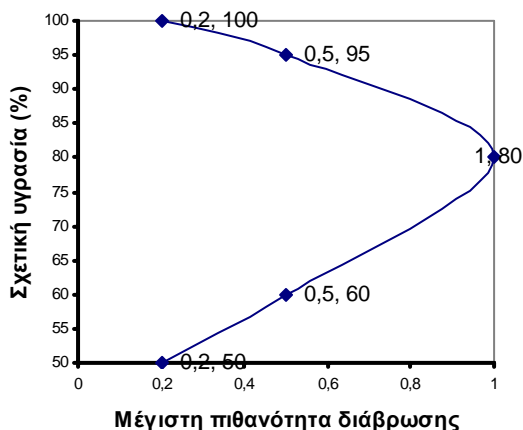
(Μιχαήλ Ν. Φαρδής, Θανάσης Χ. Τριανταφύλλου)

Για να αρχίσει και να συνεχισθεί η διάβρωση πρέπει οι πόροι του σκυροδέματος να είναι μερικώς γεμάτοι και όχι τελείως γεμάτοι με νερό, ώστε να είναι δυνατή η συνεχής παροχή αέρα για τη διάχυση οξυγόνου στο εσωτερικό του σκυροδέματος. Γι' αυτό στοιχεία σκυροδέματος που είναι μόνιμα βυθιζόμενα στο νερό ή βρέχονται συνεχώς δεν έχουν προβλήματα διάβρωσης

Η ύπαρξη του νερού στους πόρους είναι απαραίτητη τόσο κατά το προπαρασκευαστικό στάδιο της διάβρωσης, στο οποίο γίνεται η μεταφορά των χλωριόντων από το εξωτερικό περιβάλλον προς τις ράβδους, όσο και κατά την αντίδραση του CO_2 με το εν διάλυση $\text{Ca}(\text{OH})_2$ κατά την ενανθράκωση. Η μεταφορά των χλωριόντων είναι ταχύτερη όταν οι πόροι είναι σχεδόν γεμάτοι με νερό, δηλαδή για σχετική υγρασία περιβάλλοντος κοντά στο 100% ή

όταν το δομικό στοιχείο είναι μερικώς βυθισμένο σε νερό οπότε οι πόροι του υπολοίπου είναι σχεδόν πάντα γεμάτοι λόγω τριχοειδούς ανύψωσης. Αντιθέτως η ενανθράκωση προϋποθέτει μερικώς γεμάτους πόρους, ώστε να επιτρέπεται η διείσδυση του CO₂ προς το εσωτερικό. Έτσι ο ρυθμός ενανθράκωσης είναι μέγιστος για σχετική υγρασία κοντά στο 50%.

Το σκυρόδεμα όπως όλα τα πορώδη υλικά, αποβάλλει το νερό δυσκολότερα απ' ότι το απορροφά. Έτσι όταν έχουμε αυξομειώσεις της σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντος ή περιοδική διαβροχή, η μέση ποσότητα νερού στους πόρους του είναι μεγαλύτερη από την μέση υγρασία περιβάλλοντος. Η επιπλέον ποσότητα νερού επιβραδύνει την ενανθράκωση, γι' αυτό και το σκυρόδεμα σε επαφή με το περιβάλλον ενανθρακώνεται σε μικρότερο βαθμό από το αντίστοιχο σε επαφή με εσωτερικούς χώρους.



Μεταβολή πιθανότητας διάβρωσης λόγω ενανθράκωσης

Μεταβολή πιθανότητας διάβρωσης λόγω CI

Στη χώρα μας το ξηρό κλίμα δεν ευνοεί την διάβρωση των οπλισμών. Αυτό που την προκαλεί συνήθως είναι η εναλλαγές διαβροχής – ξήρανσης (ή υψηλής – χαμηλής σχετικής υγρασίας).

ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΕΚ ΤΩΝ ΠΡΟΤΕΡΩΝ.

(Μιχαήλ Ν. Φαρδής, *renovat*, 11^ο Ελληνικό Συνέδριο σκυροδέματος, Θανάσης Χ. Τριανταφύλλου)

Η εκ των υστερών αντιμετώπιση του προβλήματος της διάβρωσης των οπλισμών απαιτεί όπως είναι προφανές μεγαλύτερο και μάλιστα πολλαπλάσιο κόστος απ' ότι η εξ' αρχής αντιμετώπιση του με τη χρήση κατάλληλων μέτρων για την αποφυγή ή τον περιορισμό του προβλήματος που θα δημιουργηθεί με το πέρασμα του χρόνου. Η διάφορα κόστους καθιστούν, όχι απλά σκόπιμη, αλλά επιβαλλόμενη τη λήψη μέτρων μείωσης του κίνδυνου διάβρωσης κατά το στάδιο της κατασκευής.

Σε συνηθισμένες περιπτώσεις αυτό μπορεί να γίνει σχετικά εύκολα με την κατάλληλη επιλογή του πάχους της επικάλυψης που ορίζουν οι κανονισμοί, την διάταξη των οπλισμών και δυσκολότερα με τη βελτίωση της ποιότητας του σκυροδέματος. Η σημαντικότερη παράμετρος σχετικά με την ποιότητα του σκυροδέματος είναι η διαπερατότητα, η μείωση της οποίας επιτυγχάνεται με επιλογή χαμηλού λόγου N/T και υψηλή περιεκτικότητα τσιμέντου. Στην πράξη το τσιμέντο δεσμεύει, φυσικά ή χημικά, περίπου το 0,4 του βάρους του σε νερό. Για να αυξηθεί όμως η εργασιμότητα συχνά η σχέση αυτή αυξάνεται σε 0,5 ή και 0,6 πολλές φορές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το νερό που δεν είναι δυνατό να δεσμευτεί να εξατμίζεται και να αφήνει τον όγκο του σαν τριχοειδή και πόρους, που αργότερα θα αποτελέσουν αφετηρία της ενανθράκωσης. Εξίσου σημαντική και αρκετά αποτελεσματική από πλευρά

κόστους είναι η καλή συμπύκνωση και η υγρή συντήρηση (με υγρές λινάτσες) για όσο το δυνατό περισσότερες μέρες. Η χρήση καθαρού τσιμέντου Portland είτε η χρήση ποζολονικού τσιμέντου, όπου οι ποζολάνες να αντικαθιστούν αδρανή. Δυσμενής για την ποιότητα του σκυροδέματος της επικαλύψεις είναι οι μη στεγανοί ξυλότυποι, οι οποίοι επιτρέπουν διαρροή τσιμεντοπολτού.

Επειδή η υγρασία καθορίζει τη διάβρωση, η διαμόρφωση των δομικών μελών θα πρέπει να γίνεται έτσι ώστε να αποφεύγεται η συγκράτηση νερού στην επιφάνεια τους. Ωστε να μην μπορεί να διεισδύσει η υγρασία προς το εσωτερικό του μέλους. Τα εμφανή σκυροδέματα που χρησιμοποιούμε θα πρέπει να εξασφαλίζεται η ελάχιστη επικάλυψη επιμελώς μιας και δεν υπάρχει επίχρισμα.

Εκτός των παραπάνω στο εξωτερικό έχουν εφαρμοστεί και άλλες λύσεις, με πολύ μεγαλύτερο όμως κόστος. Τέτοιες είναι η χρήση ανοξειδωτων ή γαλβανισμένων ράβδων, ή ράβδων με εποξειδοτική ρητίνη ή μη μεταλλικές ράβδοι, η καθοδική προστασία των οπλισμών, η επικάλυψη των επιφανειών με διαπερατές μεμβράνες ή στρώσεις αδιαπέραστου σκυροδέματος ειδικής σύνθεσης και την χρήση χημικών προσθέτων, γνωστών ως “αναστολής διάβρωσης”.

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΒΑΘΜΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΕ ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ.



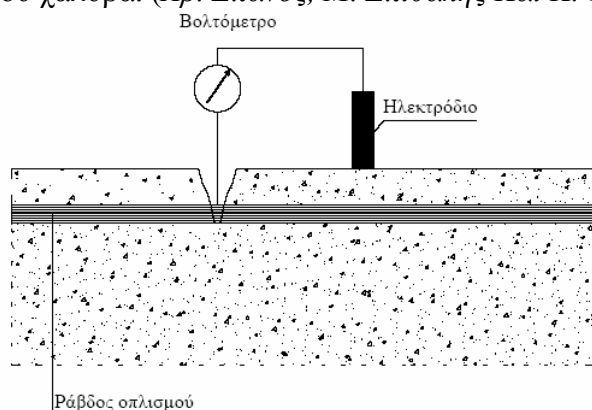
(Εικόνα 6 από [8])

Προκειμένου να εκτιμηθεί η κατάσταση μιας κατασκευής από πλευράς διάβρωσης των οπλισμών απαιτείται αυτοψία ώστε να ληφθούν υπ’ όψη τυχόν ιδιαιτερότητες της κατασκευής. Οι ρωγμές λόγω διάβρωσης είναι παράλληλες στους οπλισμούς. Έτσι η συχνά μεγάλου εύρους ρηγμάτωση κατά μήκος της δοκού ή του υποστύλωματος (συνήθως κοντά σε γωνία της διατομής) είναι χαρακτηριστικό (αλλά τελικό) σημάδι διάβρωσης των ράβδων.

Μετά την αυτοψία, σε κατάλληλα επιλεγμένες θέσεις γίνονται δοκιμές ώστε να εξετασθεί ο βαθμός διάβρωσης των ράβδων, να μετρηθεί η επικάλυψη, να εκτιμηθεί ο βαθμός ενανθράκωσης (με ψεκασμό διαλύματος φαινολοφθαλείνης) και

η διαπίστωση ύπαρξης χλωριόντων (ψεκασμός με κατάλληλο χρωματικό δείκτη ή με εργαστηριακή μέθοδο). (Μιχαήλ Ν. Φαρδής)

Πολλές φορές απαιτείται να γνωρίζουμε την κατάσταση διαβρώσεως του χάλυβα του σκυροδέματος προκειμένου να αποφασίσουμε αν απαιτείται να ληφθούν μέτρα προστασίας. Ο κίνδυνος διαβρώσεως του χάλυβα μπορεί να ελεγχθεί μετρώντας το ελεύθερο δυναμικό του χάλυβα. (Χρ. Σπανός, Μ. Σπιθάκης Και Κ. Τρέζος)



(Εικόνα 7 από [4])

Μέτρηση δυναμικού χάλυβα

Όταν $E > -200 \text{ mV}_{cse}$, κατά πιθανότητα 90% δεν συμβαίνει διάβρωση

Όταν $E < -350 \text{ mV}_{cse}$, κατά πιθανότητα 90% συμβαίνει διάβρωση

Όταν $-200 \text{ mV}_{cse} > E > -350 \text{ mV}_{cse}$, δεν είναι βέβαιο αν συμβαίνει ή όχι διάβρωση.

ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ.

Η εκ των υστερών αντιμετώπιση του προβλήματος της διάβρωσης των οπλισμών είναι πολύ πιο δαπανηρή από το να πάρουμε εξ αρχής τα απαραίτητα μέτρα και να τηρήσουμε τις αντίστοιχες κατασκευαστικές λεπτομέρειες. Επιπλέον κατά τη διάρκεια των εργασιών μπορεί να διαταραχθεί η ομαλή λειτουργία του κτηρίου, πράγμα εξαιρετικά δύσκολο σε περιπτώσεις όπως π.χ. αυτές των νοσοκομείων, αφού απαιτείται η αφαίρεση των επικαλύψεων, ακόμα και τμημάτων του στοιχείου. Η επιλογή της επέμβασης εξαρτάται από το αν οι παράγοντες που ευνοούν τη διάβρωση έχουν περιοριστεί στην επικάλυψη ή έχουν φτάσει μέχρι τους οπλισμούς, και αν ναι σε τι βαθμό έχουν αυτοί φθαρεί.

Στο εμπόριο διατίθενται τα τελευταία χρόνια μια πληθώρα υλικών τα οποία θεωρούνται ότι καθυστερούν την εμφάνιση της διάβρωσης σε νέες κατασκευές ή την επιβραδύνουν στις υφιστάμενες ή προκαλούν ακόμα και επαναπαθητικοποίηση του οπλισμού που έχει αποπαθητικοποιηθεί λόγω ενανθράκωσης ή χλωριόντων. Μερικά από αυτά είτε είναι σε μορφή προσμείκτων (για νέες κατασκευές), είτε με τη μορφή διαλύματος που απλώνεται στην επιφάνεια με σκοπό το διαποτισμό της μάζας του σκυροδέματος, είτε σαν υλικά επικαλύψεων της επιφάνειάς του ώστε να στεγανοποιηθεί έναντι σε υγρά και αέρια. Δυστυχώς όμως συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητά τους δεν μπορούν να εξαχθούν από τα εργαστηριακά πειράματα αλλά μετά από χρόνια χρήσης τους. (Μιχαήλ Ν. Φαρδής)

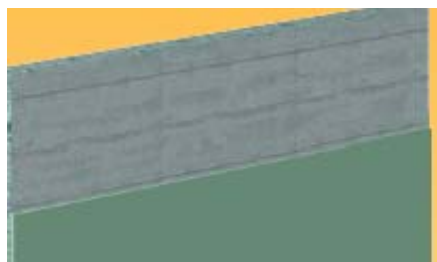
Οι μέθοδοι και οι διαδικασίες που τηρούνται προκειμένου να αντιμετωπίσουμε αλλά και να προστατεύσουμε τις υφιστάμενες κατασκευές από τα προβλήματα διάβρωσης είναι:

Προστασία σκυροδέματος από την είσοδο διαβρωτικών ουσιών

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι υδατοστεγείς μεμβράνες, προστατευτικά επιστρώματα και εμποτισμός του σκυροδέματος με πολυμερή

ΥΔΑΤΟΣΤΕΓΕΙΣ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ.

(Τάσιος, Θ. Π. και Αλιγιζάκη, Κ)



(Εικόνα 8 από [8])

Διατίθενται συνήθως σε έτοιμα βιομηχανοποιημένα φύλλα αλλά και σε υγρά υλικά. Τα υγρά υλικά είναι πιο ακριβά αλλά πιο εύχρηστα και πιο ακριβή στην εφαρμογή τους, η δε ποιότητα της μεμβράνης μπορεί να διαφέρει σημαντικά. Οι απαιτήσεις που ικανοποιεί είναι: εύκολη τοποθέτηση, καλή πρόσφυση με το υπόστρωμα, δεν αντιδρά με τα συστατικά του σκυροδέματος, εμποδίζει την διείσδυση των χλωριόντων και της υγρασίας υπό διάφορες συνθήκες.

Η τοποθέτηση των μεμβρανών στο σκυροδέμα θα πρέπει να γίνεται κάτω από καλές καιρικές συνθήκες και με αυστηρή τήρηση των κατασκευαστικών λεπτομερειών. Οι μεμβράνες κινδυνεύουν από της φυσαλίδες οι οποίες δημιουργούν από την διόγκωση της υγρασίας και των αέριων που παγιδεύονται στο σκυροδέμα. Αντίθετα αυτές που δημιουργούνται μέσα στην μεμβράνη, δεν μειώνουν την προστασία του σκυροδέματος ως προς τη διείσδυση των χλωριόντων ή της υγρασίας. Οι καιρικές συνθήκες το πορώδες και η υγρασία του σκυροδέματος καθορίζουν την εμφάνιση των φυσαλίδων.



(Εικόνα 9 από [8])

Εφόσον αποφασίσουμε να χρησιμοποιήσουμε μεμβράνες θα πρέπει να γνωρίζουμε ότι δεν έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα χρόνο και θα πρέπει σε τακτά χρονικά διαστήματα να τις αλλάζουμε, αυτό όμως δεν είναι και τόσο εύκολο πάντα.

ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΕΠΙΣΤΡΩΜΑΤΑ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.

(Τάσιος, Θ. Π. και Αλιγιζάκη, Κ)



(Εικόνα 8 από [8])

Τα επιστρώματα γίνονται από ειδικά σκυροδέματα υψηλής ποιότητας και αντοχής. Αυτά είναι Portland ή σκυρόδεμα με πρόσθετα πολυμερή. Σκοπός τους είναι να μειώσουν την διαπερατότητα που έχει το ήδη υπάρχον. Πριν την κατασκευή τους απαιτείται προετοιμασία του υποστρώματος ώστε να επιτευχθεί η συνεργασία μεταξύ παλιού και νέου υλικού.

Η παρασκευή τους γίνεται επί τόπου ενώ πριν την τοποθέτησή του απαιτείτε διαβροχή του υποστρώματος. Το πάχος τους είναι συνήθως 40-50mm. Είναι

απαραίτητη η συντήρησή τους για 72 ώρες γιατί οι υψηλές θερμοκρασίες του περιβάλλοντος προκαλούν πρόωρη ξήρανση του υποστρώματος και συστολή ξήρανσης η οποία αποτελεί τον σοβαρότερο κίνδυνο.

ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΠΟΛΥΜΕΡΗ.

(Τάσιος, Θ. Π. και Αλιγιζάκη, Κ)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται όταν το περιβάλλον είναι πολύ διαβρωτικό ώστε να μειωθεί η διαπερατότητα του σκυροδέματος. Για το σκοπό αυτό γίνεται πλήρωση των κενών με πολυμερή σε βάθος 35-50mm. Η διαδικασία που ακολουθείται περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- Καθαρισμός της επιφάνειας του σκυροδέματος από τυχόν ξένες ουσίες
- Άπλωμα άμμου στο σκυρόδεμα ώστε να αποφευχθεί το θερμικό σοκ του σκυροδέματος κατά την επακολουθούσα εφαρμογή υψηλών θερμοκρασιών
- Ξήρανση του σκυροδέματος που πραγματοποιείται με διατήρηση υψηλών θερμοκρασιών για αρκετό χρονικό διάστημα (120 C° για 8 ώρες)
- Σταδιακή απόψυξη του σκυροδέματος με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην απορροφηθεί υγρασία από το περιβάλλον (38 C° για 12-36 ώρες)
- Αφαίρεση του αέρα από το σκυρόδεμα με εφαρμογή κενού
- Προσθήκη μονομερούς
- Προσθήκη αδιάβροχων μεμβρανών στην επιφάνεια, ώστε να εμποδίσουμε την εξάτμιση του μονομερούς
- Θερμικός καταλυτικός πολυμερισμός του μονομερούς στους 74 C° για 5 ώρες

Το συνηθέστερο μονομερές είναι το μεθακρυλικό μεθύλιο διότι έχει μικρό ιξώδες, υψηλό σημείο βρασμού, εύκολο πολυμερισμό και δεν είναι τοξικό, έχει όμως υψηλό κόστος.

Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι εφαρμόζεται σ' όλα τα σκυροδέματα ανεξάρτητα από την ποιότητα ή την σύστασή του. Επίσης βελτιώνει όλες τις ιδιότητές του. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η ιδιαίτερη προσοχή που πρέπει να δείξουμε κατά τη διάρκεια της ξήρανσης του σκυροδέματος γιατί μπορεί να προκληθεί ρηγμάτωση. Επίσης απαιτείται ειδικός εξοπλισμός και εξειδικευμένο προσωπικό.

Επαναλκαλοποίηση του σκυροδέματος.

(Τάσιος, Θ. Π. και Αλιγιζάκη, Κ)



(Εικόνα 9 από [8])

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στο ενανθρακωμένο σκυροδέμα με σκοπό να αυξηθεί η αλκαλικότητά του η οποία έχει μειωθεί λόγω της ενανθράκωσης. Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στην ηλεκτροώσμωση παρουσία εξωτερικού δυναμικού. Στην επιφάνεια του σκυροδέματος απλώνεται ένα αλκαλικό υλικό και ένα ηλεκτρόδιο το οποίο λειτουργεί ως άνοδος, ενώ ο χάλυβας του

σκυροδέματος χρησιμοποιείται ως κάθοδος. Στη συνέχεια εφαρμόζοντας εξωτερικό ηλεκτρικό δυναμικό το αλκαλικό υγρό θα διεισδύσει στο σκυροδέμα με άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση του pH του.

Ποσότητα αλκαλικού υγρού περίπου $1,2 \text{ lt/m}^2$ μπορεί να επαναλοποιήσει σκυροδέμα με πορώδες 12% σε πάχος 1 cm. Η μέθοδος εφαρμόζεται για 14 ημέρες περίπου. Είναι απλή και η επιτυχία της μπορεί να ελεγχθεί. Μεγάλο μειονέκτημα της είναι ότι μπορεί να μείνουν περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει αύξηση του pH.



(Εικόνα 10 από [3])

Αφαίρεση χλωριόντων από το σκυροδέμα.

(Τάσιος, Θ. Π. και Αλιγιζάκη, Κ)

Η μέθοδος έχει εφαρμοστεί για την αφαίρεση χλωριόντων από καταστρώματα γεφυρών όπου και αφαιρέθηκαν έως και το 90% των χλωριόντων. Τα χλωριόντα αφαιρούνται ηλεκτροχημικά μιας και η μέθοδος βασίζεται στην αρχή της ηλεκτροωσμώσεως. Έτσι λοιπόν χρησιμοποιώντας έναν κατάλληλο ηλεκτρολύτη, μια ρητίνη ανταλλαγής ιόντων και ένα μεταλλικό πλέγμα το οποίο απλώνεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος, χρησιμεύοντας ως άνοδος ενώ ο σπλισμός δρα ως κάθοδος. Εφαρμόζοντας το δυναμικό τα χλωριόντα έλκονται από την θετικά φορτισμένη άνοδο με αποτέλεσμα να δεσμευτούν από την ρητίνη.

Η μέθοδος είναι δαπανηρή, απαιτεί την εφαρμογή υψηλού δυναμικού που έχει όμως ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη μεγάλων θερμοκρασιών στο σκυροδέμα το οποίο κινδυνεύει να ρηγματωθεί, επιπλέον αυξάνεται η διαπερατότητα του σκυροδέματος κατά πέντε φορές και θα πρέπει να γίνει και εμποτισμός του σκυροδέματος με πολυμερή, τέλος αν εφαρμόσουμε μεγάλες πυκνότητες ρεύματος μειώνεται η αντοχή συνάφειας.

Αφαίρεση υγρασίας από το σκυροδέμα.

(Τάσιος, Θ. Π. και Αλιγιζάκη, Κ)

Σκοπός της μεθόδου αυτής είναι η αφαίρεση της υγρασίας. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι το pH του σκυροδέματος να είναι υψηλό (μεγαλύτερο από 8), και το κονίαμα να περιέχει μικρές ποσότητες αλάτων. Η ξήρανση του πορώδους δεν μπορεί να γίνει όταν υπάρχουν πολύ λίγα ή πάρα πολλά. Η βέλτιστη περίπτωση είναι όταν η περιεκτικότητα σε άλατα είναι από 2-5%, ενώ η παρουσία θεικών ιόντων, επειδή διευκολύνουν τη διάσπαση του νερού, θεωρείται αρνητική για την εφαρμογή της μεθόδου.

Η διαδικασία εφαρμογής είναι ίδια με αυτή που εφαρμόζεται για την αφαίρεση των χλωριόντων. Έτσι λοιπόν η διαφορά δυναμικού αναγκάζει τα ιόντα των αλάτων να κινηθούν προς τα ηλεκτρόδια, μεταφέροντας μαζί του και το νερό. Για να πραγματοποιηθεί η ξήρανση πρέπει η ένταση του ρεύματος που θα δημιουργηθεί να είναι τουλάχιστον ίση με 0,1 έως 1 A.

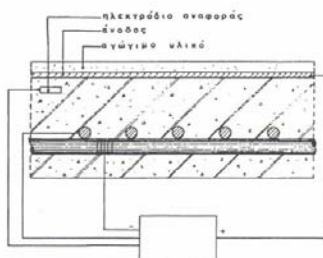
Η μέθοδος είναι πολύ αργή, και αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό αν αναλογιστούμε ότι για να μειώσουμε την υγρασία ενός τοίχου από 50% σε 30% χρειάζεται να εφαρμοστεί για 6

μήνες. Τη διαδικασία αυτή την εφαρμόζουμε στις τοιχοποιίες όπου το κόστος είναι χαμηλό ενώ τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά.

Όλες οι προηγούμενες μέθοδοι που αναφέραμε πιο πάνω, αντιμετωπίζουν το πρόβλημα όταν αυτό περιορίζεται στην επικάλυψη των οπλισμών και η διάβρωση δεν έχει φτάσει σε αυτούς. Ουσιαστικά πρόκειται για μέτρα προστασίας ή πρόληψης. Όταν όμως η διάβρωση έχει φτάσει στον οπλισμό, αλλοιώνοντας τον σε μικρό μόνο βαθμό, δεν μπορούν να κάνουν κάτι παραπάνω από το να εμποδίσουν την περαιτέρω διεξόδουση ζημιολογικών παραγόντων. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να αντικατασταθεί η επικάλυψη, εφ' όσον έχει ρηγματωθεί, να καθαριστεί η επιφάνεια των ράβδων, και στη συνέχεια να τοποθετηθεί εποξειδική ρητίνη. Η μοναδική μέθοδος που προστατεύει άμεσα τους οπλισμούς, και όχι έμμεσα μέσω του σκυροδέματος, είναι η καθοδική προστασία.

Καθοδική προστασία.

(Γ. Μπατής και Π. Καρύδης)



(Εικόνα 11 από [3])

Η καθοδική προστασία είναι η μόνη μέθοδος η οποία μπορεί να εγγυηθεί χρόνο ζωής της τάξεως των πέντε αιώνων καθώς είναι η μοναδική που μπορεί να αναστείλει και να αντιστρέψει το δυναμικό διάβρωσης, μηδενίζοντας θεωρητικά την ταχύτητά της. Αρχισε να εφαρμόζεται το 1900-1910 για την προστασία αγωγών στο έδαφος και μεταλλικών κατασκευών. Συνίσταται στην εφαρμογή δυναμικού αντίθετου με αυτό της διάβρωσης ώστε η μεταλλική κατασκευή να γίνει κάθοδος ενός ηλεκτρολυτικού κελιού. Με αυτόν τον τρόπο δεν είναι πλέον

δυνατή η διεξαγωγή αντιδράσεων οξειδωσης των μετάλλων, αλλά αντιθέτως είναι δυνατή η πραγματοποίηση αντιδράσεων αναγωγής.

Το δυναμικό του συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο απαιτεί η καθοδική προστασία εφαρμόζεται με δύο τρόπους, με την επιβολή τάσεων από μια **πηγή συνεχούς ρεύματος** και με τη χρησιμοποίηση ενός **μετάλλου ή κράματος υψηλότερου δυναμικού** από αυτό που θα προστατεύσουμε.



(Εικόνα 12 από [8])

Στο οπλισμένο σκυρόδεμα η καθοδική προστασία μπορεί να εφαρμοστεί και με τους δύο τρόπους. Για λόγους ευκολίας όμως χρησιμοποιείται η εξωτερικά η εξωτερικά επιβαλλόμενη τάση (πρώτη μέθοδος). Σε αυτή ο αρνητικός πόλος της πηγής συνδέεται με τον οπλισμό, ενώ ο θετικός με την κατάλληλη άνοδο. Τα εξωτερικά εφαρμοζόμενο δυναμικό μηδενίζει την επίδραση των τοπικών γαλβανικών στοιχείων αλλά και την επίδραση των μακροστοιχείων. Στην επιφάνεια του χάλυβα δεν είναι πλέον δυνατή η διεξαγωγή οξειδωτικών δράσεων παρά μόνο αναγωγικών.

Η διάρκεια εφαρμογής της μεθόδου στο οπλισμένο σκυρόδεμα εξαρτάται από τη διάρκεια ζωής της ανόδου, και αυτό γιατί η αντικατάστασή της, όταν αυτή βρίσκεται μέσα στο σκυρόδεμα, είναι δύσκολη. Ο λόγος που συνήθως εγκιβωτίζουμε την άνοδο στο οπλισμένο σκυρόδεμα είναι ότι έτσι έχουμε καλύτερα αποτελέσματα. Εκτός τοποθετείται μόνο στα θεμέλια ή σε τμήματα της κατασκευής που βρίσκονται μέσα στη θάλασσα. Αυτό καθορίζεται από παράγοντες όπως το υλικό κατασκευής της ανόδου, τη διαβρωτικότητα του περιβάλλοντος και την τιμή του εφαρμοζόμενου δυναμικού.

Η διάρκεια ζωής της καθοδικής προστασίας εξαρτάτε από την διάρκεια ζωής των ανόδων. Τα διάφορα είδη ανόδων που υπάρχουν είναι:

- Άνοδοι με μορφή πλέγματος
- Αγωγή χρώματα
- Αγωγή κονιάματα
- Άνοδοι μεταλλικού επιστρώματος
- Μεμονωμένες εσωτερικές άνοδοι

Στην καθολική προστασία χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια αναφοράς για τη ρύθμιση του δυναμικού και τον έλεγχο της καλής λειτουργίας. Αυτά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι τα εξής: το ηλεκτρόδιο χαλκού / θεικού χαλκού, το ηλεκτρόδιο καλομέλανα και το ηλεκτρόδιο αργύρου / χλωριούχου αργύρου. Στο οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται το ηλεκτρόδιο αργύρου / χλωριούχου αργύρου.

Οι μετασχηματιστές-ανορθωτές της καθοδικής προστασίας του οπλισμένου σκυροδέματος είναι συνήθως μονοφασική με πλήρη ανόρθωση.

Το κόστος της καθοδικής μεθόδου σύμφωνα με την SCPRC σε πρώτη προσέγγιση μπορεί να είναι από 45\$/m² με άνοδο από αγωγή χρώματα μέχρι 90\$/m² με ανόδους από πλέγμα τιτάνιου. Το κόστος αυτό περιλαμβάνει όλα τα έξοδα για την καθοδική προστασία.

Η καθοδική προστασία έχει εφαρμοστεί σε νοσοκομείο της Αθηνάς. Η συνολική προστατευμένη επιφάνεια ανέρχεται σε 1000m². Απαιτήθηκαν 650 m² ανόδων πέλματος τιτάνιου, 600m ελάσματος τιτάνιου για τη σύνδεση των ανόδων, τρία ηλεκτρόδια αναφοράς και τρεις μετασχηματιστές ανορθωτές. Το συνολικό κόστος ανήλθε σε 16400δρχ./m² δηλαδή 54,7\$/m², σημαντικά λιγότερο από την τιμή των 90\$/m² που προσβλέπει η SCPRC.

Μέχρι τώρα αναφέρθηκαν μέθοδοι οι οποίες εφαρμόζονται στην περίπτωση που η διάβρωση δεν έχει προχωρήσει πολύ. Αν όμως η διάβρωση είναι εκτεταμένη σε βαθμό που να μειώνει την αντοχή του στοιχείου και της κατασκευής, τα παραπάνω μέτρα δεν αρκούν, αλλά χρειάζεται να γίνει ενίσχυση του στοιχείου (μανδύες).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

Για να μπορέσουμε να προτείνουμε μέτρα για την αντιμετώπιση της διάβρωσης θα πρέπει να γνωρίζουμε ποια είναι η παρουσία χλωριόντων, το βάθος ενανθράκωσης, τη διάβρωση του χάλυβα και την αντίστοιχη απώλειά του λόγω αυτή, τη διαπερατότητα και την υγρασία του σκυροδέματος. Έτσι θα είμαστε σε θέση να επιλέξουμε την βέλτιστη λύση.

Για νέες κατασκευές η αύξηση του πάχους της επικάλυψης των οπλισμών με σκυρόδεμα και η μείωση του πορώδους του τελευταίου μέσω κατάλληλης σύνθεσης, είναι σίγουρα οικονομικότερη και ασφαλέστερη λύση από οποιοδήποτε προϊόν προστασίας από διάβρωση. (Μιχαήλ Ν. Φαρδής)

Τα υλικά χρωματισμών που παρέχουν ουσιαστική μείωση της διαπερατότητας του σκυροδέματος δεν είναι οικονομικά. Αντίθετα τα συνηθισμένα επιχρίσματα, και ιδιαίτερα αυτά που έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε άσβεστο μιας και δεσμεύει το CO₂ και τα χλωριόντα, μειώνουν το κίνδυνο διαβρώσεως. Μάλιστα, πολύ αποτελεσματική είναι και η εφαρμογή του επιχρίσματος έστω και μετά από την πάροδο αρκετών ετών, και αυτό γιατί ανακόπτει τις διεργασίες διάβρωσης. (Μιχαήλ Ν. Φαρδής)

Όσο αφορά την προστασία του χάλυβα, η μοναδική μέθοδος που προσφέρει άμεση προστασία στους οπλισμούς, είναι η καθοδική προστασία. Στην περίπτωση που η διάβρωση του χάλυβα είναι περιορισμένη, χρειάζεται να γίνει αντικατάσταση της επικάλυψης, καθαρισμός των ράβδων και προσθήκη εποξειδοτικής ρητίνης σε αυτούς. Αν όμως είναι εκτεταμένη χρειάζεται ριζική ενίσχυση των στοιχείων. (Μιχαήλ Ν. Φαρδής)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) *Μιχαήλ Ν. Φαρδής, Μαθήματα οπλισμένου σκυροδέματος Μέρος ΙΙΙ, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2005.*
 - 2) *Θανάσης Χ. Τριανταφύλλου, Δομικά υλικά , Πάτρα 2002.*
 - 3) *Τάσιος, Θ. Π. και Αλιγιζάκη, Κ. (1993). Ανθεκτικότητα οπλισμένου σκυροδέματος, Εκδόσεις Φοίβος, Αθήνα.*
 - 4) *Τ.Ε.Ε. Αντισεισμική θωράκιση υφισταμένων κατασκευών, ομάδα εργασίας ΙΙ-3: Πρακτικά – Διδακτικά Εγχειρίδια. Μέθοδοι για την επιτόπου αποτίμηση των Χαρακτηριστικών των υλικών, Χρ. Σπανός, Μ. Σπιθάκης Και Κ. Τρέζος, Αθηνά, Μάιος 2001.*
 - 5) *11^ο Ελληνικό Συνέδριο σκυροδέματος, Τ.Ε.Ε. Ελληνικό τμήμα σκυροδέματος Κέρκυρα, 18-20 Μαΐου 1994, τόμος Ι.*
 - 6) *Η καθοδική προστασία του οπλισμού στο σκυρόδεμα. Γ. Μπατής, Αν. καθηγητής, τμήμα χημικών μηχανικών Ε.Μ.Π., τομέας επιστήμης και τεχνικής των υλικών, Π. Καρύδης, Καθηγητής, τμήμα πολιτικών μηχανικών Ε.Μ.Π., εργαστήριο αντισεισμικής τεχνολογίας.*
 - 7) *Διαφημιστικό φυλλάδιο renonat, έκδοση 2000.*
 - 8) *Διαφημιστικό φυλλάδιο Sika, Τεχνολογία και συστήματα για την επισκευή και προστασία οπλισμένου σκυροδέματος.*
-