

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ –ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΟΥ Ο.Σ ΑΠΟ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΚΟΠΟΥΛΟΣ

Περίληψη

Στη χώρα μας είναι σπάνιο το ενδεχόμενο σταδιακής αποσύνθεσης του σκυροδέματος λόγω εναλλαγών πήξης – τήξης του νερού των πόρων, ή λόγω προσβολής αδρανών από την αλκαλικότητα του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού. Το κύριο πρόβλημα από άποψη ανθεκτικότητας του οπλισμένου σκυροδέματος είναι η διάβρωση των οπλισμών. Τα αίτια της είναι φυσικά ή προέρχονται από εξωγενείς παράγοντες. Εδώ παρουσιάζονται τα αίτια ,οι μηχανισμοί και οι συνέπειες της διάβρωσης καθώς και μέθοδοι προστασίας του οπλισμένου σκυροδέματος,

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο διάβρωση εννοούμε μια σειρά φυσικοχημικών δράσεων που λαμβάνουν χώρα στα στοιχεία της κατασκευής και έχουν ως αποτέλεσμα την ελάττωση της επιτελεστικότητας (αντοχή, λειτουργικότητα, αισθητική εμφάνιση). Μιλώντας για διάβρωση σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα αναφερόμαστε στην ουσία στη διάβρωση του οπλισμού. Οι ράβδοι οπλισμού που βρίσκονται στο σκυρόδεμα προστατεύονται από τη διάβρωση μέσω ενός λεπτού στρώματος ένυδρου οξειδίου, που δημιουργείται κατά την ενυδάτωση του σκυροδέματος. Η στρώση αυτή παραμένει σταθερή λόγω της αλκαλικότητας του σκυροδέματος με pH να κυμαίνεται ανάμεσα στο 12,5-13. Όταν η τιμή του pH πέσει κάτω από το 11 τότε αρχίζει να καταστρέφεται η στρώση και όταν φτάσει το 9 αρχίζει η διαδικασία διάβρωσης του οπλισμού. [1],[2],[9],[11],[12]



Σχήμα 1: Διαβρωμένη δοκός οπλισμένου σκυροδέματος [8]

ΑΛΚΑΛΗΚΟΤΗΤΑ-ΠΑΘΗΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

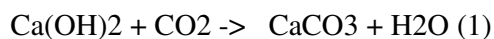
Εξαιτίας της υψηλής αλκαλικότητας του σκυροδέματος, δημιουργείται ένα πολύ λεπτό στρώμα ένυδρου οξειδίου του σιδήρου στις επιφάνειες των ράβδων οπλισμού. Αυτό το στρώμα τις προστατεύει από τη διάβρωση και τις διατηρεί ανέπαφες για μεγάλο χρονικό διάστημα από οποιαδήποτε εξωτερική προσβολή φαινόμενο γνωστό ως παθητικοποίηση του χάλυβα. Η αλκαλικότητα αυτή αντιστοιχεί σε τιμή pH από 12,5 έως 13,2 και οφείλεται στη συγκέντρωση ισορροπίας του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ στο νερό των πόρων. Η ύπαρξη του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ οφείλεται στα αλκαλικά προϊόντα ενυδάτωσης του τσιμέντου, παρουσία υγρασίας και οξυγόνου. Σε αυτές τις συνθήκες ο χάλυβας βρίσκεται σε μια παθητική κατάσταση και για να διαβρωθεί θα πρέπει το παθητικό στρώμα που τον περιβάλλει να διασπαστεί ή να διαλυθεί.[1],[2],[9],[11],[12]

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Το προστατευτικό στρώμα γύρω από τους οπλισμούς μπορεί να καταστραφεί (αποπαθητικοποίηση του χάλυβα) με τους εξής τρόπους

ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ

Η ενανθράκωση του σκυροδέματος προκαλείται από τη χημική αντίδραση του οξειδίου του άνθρακα που υπάρχει διάχυτο στην ατμόσφαιρα με το υδροξείδιο του ασβεστίου του σκυροδέματος.



Παράγοντες που αυξάνουν την ταχύτητα εξέλιξής της είναι :

- Η μειωμένη περιεκτικότητα του μπετόν σε τσιμέντο.
- Η αυξημένη αναλογία νερού / τσιμέντου. Το πλεονάζον και μη δυνάμενο να δεσμευτεί νερό, εξατμίζεται αφήνοντας τον όγκο του σαν τριχοειδή και πόρους που αργότερα θα είναι η αφετηρία της ενανθράκωσης.
- Η σχετική υγρασία του αέρα καθώς και η ποιότητα και το πάχος της επικάλυψης.

Συνέπειες της ενανθράκωσης είναι:

- Αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος (από 30-100%)
- Μείωση του πορώδους
- Αύξηση του ερπυσμού και της ταχύτητας του ερπυσμού
- Αυξάνεται η συστολή του σκυροδέματος λόγω της αποβολής του νερού.

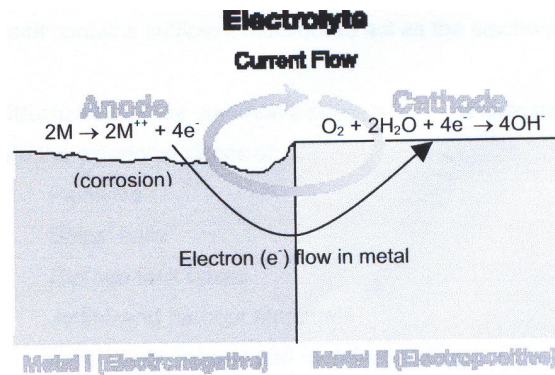
Η ενανθράκωση είναι το φαινόμενο εκείνο που περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο μας έκανε να συνειδητοποιήσουμε ότι το οπλισμένο μπετόν γερνάει και απαξιώνεται.[1],[2],[6]-[12]

ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

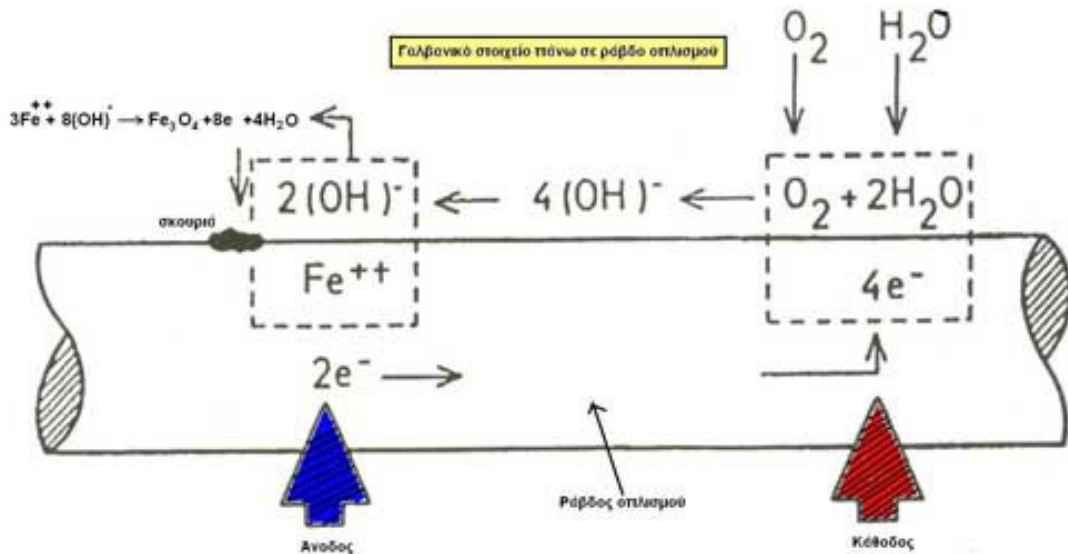
Το στρώμα ένυδρου οξειδίου, που δημιουργείται κατά την ενυδάτωση του σκυροδέματος περιέχει μικρή ποσότητα νερού (υγρασίας). Η περίσσεια ποσότητα νερού δημιουργεί προβλήματα. Αυτό συμβαίνει είτε λόγω εισόδου του νερού μέσω ρωγμών, οποιασδήποτε

αιτίας, στο σώμα του σκυροδέματος ή λόγω αύξησης του πορώδους. Στη δεύτερη περίπτωση εξαιτίας της γήρανσης κυρίως, της κακής ποιότητας και αναλογίας των συστατικών του ή κακής συντήρησης το πορώδες του σκυροδέματος αυξάνεται. Επομένως, το νερό μπορεί να κινηθεί εύκολα μέσα από τους πόρους και να δημιουργήσει κυψέλες κατακράτησης νερού. Μπορεί όμως να δημιουργηθεί ποσότητα νερού μετά από εναθράκωση.

Η διάβρωση του χάλυβα οπλισμού του σκυροδέματος είναι ένα σύνθετο ηλεκτροχημικό φαινόμενο που συνδέεται με την ύπαρξη ανοδικών και καθοδικών περιοχών. Το φαινόμενο οφείλεται στη μικροσκοπική και μακροσκοπική ανομοιογένεια της επιφάνειας του χάλυβα σε συνδυασμό με το υγρό των πόρων του σκυροδέματος.



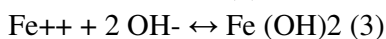
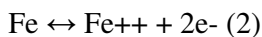
Σχήμα 2: μικροσκοπικά [1]



Σχήμα 3: μακροσκοπικά [7]

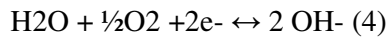
Η διάβρωση του χάλυβα όταν αυτός βρίσκεται σε επαφή με το νερό προκαλείται από τις ακόλουθες αντιδράσεις:

Ανοδική περιοχή



ως άνοδος συμπεριφέρεται το τμήμα του χάλυβα όπου έχει καταστραφεί το προστατευτικό στρώμα οξειδίων. Σ' αυτή την περιοχή, τα άτομα σιδήρου μετατρέπονται σε ιόντα, ενώ ελευθερώνονται ηλεκτρόνια. Το σχηματιζόμενο $\text{Fe}(\text{OH})_2$ είναι αδιάλυτο και σχηματίζει ένα μικρής συνάφειας πορώδες και ογκώδες στρώμα (σκουριά) πάνω στην επιφάνεια του χάλυβα.

Καθοδική περιοχή



ως κάθοδος συμπεριφέρεται εκείνη η περιοχή του χάλυβα όπου υπάρχει νερό και οξυγόνο, χωρίς να είναι απαραίτητο να έχει καταστραφεί το λεπτό στρώμα των οξειδίων. Ο ρυθμός της παραπάνω δράσης καθορίζεται από το ρυθμό διάχυσης του οξυγόνου(74).

Το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο φθάνει στην καθοδική περιοχή μέσω των τριχοειδών πόρων και των ρωγμών του σκυροδέματος και οδηγεί στην διάβρωση του σιδηροπλισμού όταν η τιμή του pH βρίσκεται μεταξύ 4 και 10. Το σχηματιζόμενο στρώμα του $\text{Fe}(\text{OH})_2$ δεν προσφέρει καμία προστασία στον οπλισμό καθώς είναι πορώδες και ελάχιστα συμπαγές, με αποτέλεσμα η διάβρωση να προχωρά μέχρι την ολοσχερή μετατροπή του σιδήρου σε υδροξείδιο. Απαραίτητη προϋπόθεση για την συνέχιση της δράσης αυτής είναι η παρουσία οξυγόνου. Όταν η τιμή του pH είναι μεγαλύτερη από 10 οι δράσεις που πραγματοποιούνται στην ανοδική περιοχή είναι οι ακόλουθες:



Σύμφωνα με τις παραπάνω αντιδράσεις είναι δυνατόν να συμβεί οξείδωση, δηλαδή διάβρωση ακόμη και όταν η τιμή του pH είναι μεγαλύτερη από 10. Η διαφορά όμως είναι ,ότι τα προϊόντα των αντιδράσεων αυτών (Fe_2O_3 , Fe_3O_4) σχηματίζουν ένα συμπαγές και αδιαπέραστο στρώμα που παθητικοποιεί τον οπλισμό και τον απομονώνει από το διαβρωτικό περιβάλλον. Έχει ήδη αναφερθεί ότι η τιμή του pH του υγρού των πόρων του σκυροδέματος βρίσκεται συνήθως μεταξύ 12,5 και 13,5 με αποτέλεσμα ο εγκιβωτισμένος οπλισμός να παραμένει σε παθητικοποιημένη κατάσταση. Αν το σκυρόδεμα περιέχει ρωγμές, το νερό μπορεί να εισχωρήσει, να φθάσει στην περιοχή του οπλισμού και να απομακρύνει τα OH^- που συντελούν στην παθητικοποίηση του σιδήρου. Όταν υπάρχει ρωγμή που εκτείνεται μέχρι τον οπλισμό, ο χάλυβας θα συμπεριφερθεί σαν να ήταν άμεσα βυθισμένος στο θαλασσινό νερό, με αποτέλεσμα την γρήγορη διάβρωσή του. Η απομάκρυνση των OH^- όμως εμποδίζεται από τις αντιδράσεις μεταξύ των ιόντων του θαλασσινού νερού και του ενυδατωμένου τσιμέντου, τα προϊόντα των οποίων φράσσουν προοδευτικά τις ρωγμές του σκυροδέματος.

Η διάβρωση του σιδηροπλισμού επηρεάζεται επίσης από τις μεταβολές της υγρασίας του σκυροδέματος στην περιοχή του. Τέτοιες μεταβολές δεν παρατηρούνται σε σκυρόδεμα μόνιμα βυθισμένο στο θαλασσινό νερό είναι όμως έντονες σε περιοχές με παλιρροιακά φαινόμενα. Τέλος, ο ρυθμός διάβρωσης αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.[1],[2],[6]-[12]

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΑΠΟ ΙΟΝΤΑ ΧΛΩΡΙΟ

Διείσδυση χλωριόντων μπορεί να γίνει με :

A) Χρήση αντιπαγωτικών αλάτων. Είναι αυτά τα χλωριόντα να προέρχονται από άλατα που χρησιμοποιούνται για την τήξη χιονιού και πάγου στους δρόμους.

B) Βιομηχανικά αλμυρά ύδατα.

Γ) Άμεση επαφή θαλασσινού νερού με κατασκευές.

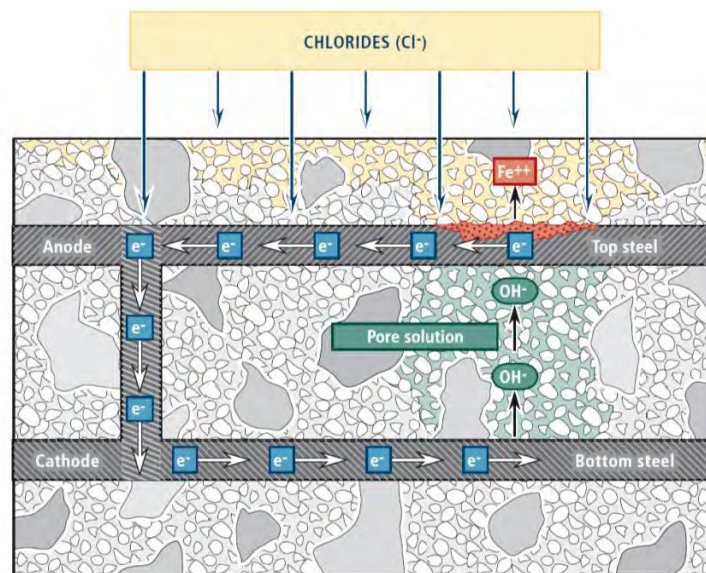
Δ) Σταγονίδια θαλασσινού νερού, τα οποία μεταφέρονται με τον αέρα. Έχει παρατηρηθεί ότι τα σταγονίδια μπορεί να επηρεάσουν κατασκευή σε απόσταση μέχρι 10km από τη θάλασσα.

E) Μετά από πυρκαγιά στην οποία κήκαν αντικείμενα από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC). Το πολυβινυλοχλωρίδιο διασπάται και δίνει αέριο HCl το οποίο διεισδύει στο σκυρόδεμα, αντιδρά με την άσβεστο και ελευθερώνει τελικώς ιόντα χλωρίου.

ΣΤ) από πρόσμικτα βελτιωτικά του σκυροδέματος, που περιέχουν χλωριούχα άλατα για να επιταχύνει τη σκλήρυνση του σκυροδέματος, πχ. χλωριούχο ασβέστιο.

Z) Τυχαίο συστατικό σε αδρανή, π.χ. άμμος που προέρχεται από τη θάλασσα.

Έχει βρεθεί πειραματικώς ότι σε σκυρόδεμα που περιέχει χλωριόντα απαρχής, ο χάλυβας διαβρώνεται λιγότερο απ' ό τι αν βρισκόταν σε σκυρόδεμα στο οποίο η ίδια ποσότητα χλωριόντων διεισδύει απέξω. Τα χλωριόντα εισέρχονται μέσω του νερού των πόρων και φτάνουν στους οπλισμούς. Εάν η συγκέντρωσή τους ξεπεράσει το 0.4-0.6% του βάρους του τσιμέντου, έχουμε τοπική (βελονοειδή) διάτρηση του προστατευτικού στρώματος



Σχήμα 4: Η οξείδωση του οπλισμού από χλωριόντα (ή θειικά) αποτελεί τη συνηθέστερη μορφή διάβρωσης στις υφιστάμενες κατασκευές στη διάρκεια ζωής τους.[3]

Η ενανθράκωση του σκυροδέματος δρα επικουρικά στη διαβρωτική λειτουργία των ιόντων χλωρίου. Η ενανθράκωση και η δράση των χλωριόντων είναι αλληλένδετες διαδικασίες διότι η δεύτερη επιταχύνεται από την πρώτη. Το υδροξείδιο του ασβεστίου $\text{Ca}(\text{OH})_2$ του σκυροδέματος αντιδρά με τα χλωριόντα (0.4-0.6% κ.β. του τσιμέντου) και τα δεσμεύει σχηματίζοντας άλας FRIEDEL $[3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}]$, το οποίο είναι αβλαβές για

το σιδηροπλισμό. Όταν όμως το $\text{Ca}(\text{OH})_2$ μετατραπεί με την ενανθράκωση σε CaCO_3 αποδεσμεύει τα χλωριόντα τα οποία προσβάλλουν πλέον τον οπλισμό.

Η τιμή του pH στο σκυρόδεμα μετά την προσθήκη χλωριούχου άλατος εξαρτάται από το κατιόν του χλωριούχου άλατος. Για παράδειγμα, με την προσθήκη χλωριούχου νατρίου στο σκυρόδεμα, το pH δε μεταβάλλεται σχεδόν καθόλου, ενώ με την προσθήκη χλωριούχου ασβεστίου το pH μειώνεται. Έχει διατυπωθεί η άποψη ότι σημασία έχει ο λόγος $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ και όχι το pH του νερού στους πόρους του σκυροδέματος. Για τσιμέντα τύπου Portland έχει παρατηρηθεί ότι η διάτρηση συμβαίνει όταν ο λόγος υπερβεί το 0,4% πριν την ενυδάτωση και το 0,2% μετά την ενυδάτωση. Σε σκυρόδεμα που περιέχει χλωριούχο ασβέστιο, ο λόγος $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ είναι μεγαλύτερος από τον λόγο $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ σκυροδέματος που περιέχει χλωριούχο νάτριο χωρίς βλαπτικό αποτέλεσμα. Ο Hausmann, διατύπωσε την άποψη ότι διάβρωση του χάλυβα συμβαίνει όταν ο λόγος $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ πάρει τιμή μεγαλύτερη από 0.6. Χαρακτηριστικό της διάβρωσης με βελονισμούς είναι ότι ο χάλυβας διαβρώνεται σε πολύ μικρές περιοχές της επιφάνειάς του. Εξαιτίας της διατήρησης της αλκαλικότητας του σκυροδέματος σε υψηλά επίπεδα και λόγω της τοπικής διάβρωσης, ο μηχανισμός διάβρωσης του χάλυβα λόγω της επίδρασης χλωριόντων είναι διαφορετικός από τον μηχανισμό της γενικής διάβρωσης του χάλυβα. Σύμφωνα με ορισμένους ερευνητές, τα χλωριόντα δρουν ως καταλύτες στην αντίδραση του σιδήρου με τα υδροξύλια. Αυτή η άποψη φαίνεται σωστή, αν εξετάσουμε χάλυβα που βρισκόταν σε σκυρόδεμα το οποίο έχει υποστεί την επίδραση χλωριούχων αλάτων. Ο χάλυβας στην αρχή έχει πράσινο χρώμα. Το αρχικό πράσινο χρώμα οφείλεται σε κάποιο σύμπλοκο μόριο σιδήρου και χλωριόντων, το οποίο με την παρουσία του οξυγόνου της ατμόσφαιρας μετατρέπεται σε κοινό οξείδιο. .[1],[2],[6]-[12]



Σχήμα 5: Δεσμευμένα χλωριόντα στο σκυρόδεμα λόγω: 1) αρχικής παρουσίας ή 2) διεισδύσεως [12]

ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ

Η ύπαρξη ρωγμών στο σκυρόδεμα αποτελούν μέσο για να περάσουν, τόσο το CO₂ όσο και τα χλωριόντα στον οπλισμό και να επιτυγχάνουν τη διαδικασία της διάβρωσης. Οι ρωγμές αυτές μπορεί να προέρχονται από συστολή ξήρανσης, από υψηλές εντάσεις, θέρμανση, βρέξιμο.

Αναλυτικά:

1. Θερμοκρασιακές μεταβολές: Η απότομη θερμοκρασιακή μεταβολή σε συνδυασμό με τα ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά υγρασίας δημιουργούν έντονες συστολοδιαστολές στο σκυρόδεμα αλλά και στο προστατευτικό επίχρισμα που δημιουργείται γύρω από τις ράβδους σιδήρου, λόγω του έντονα αλκαλικού περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα την δημιουργία μικρορωγμών.

2. Συστολή Ξήρανσης: Κατά τη διαδικασία της σκλήρυνσης του σκυροδέματος δύναται να παρουσιαστούν πολύ μικρές ρωγμές ως αποτέλεσμα της βράχυνσης του λόγω της ξήρανσης.

3. Παγετός: Λόγω της διαφοροποίησης του όγκου του νερού κατά την πήξη του δημιουργεί στο σκυρόδεμα δυνάμεις που τείνουν να δημιουργήσουν ρωγμές. Η ικανότητα του σκυροδέματος να υποστεί τη δράση του παγετού χωρίς φθορά, εξαρτάται σαφώς από την ποιότητα του. Κάθε τύπος σκυροδέματος είναι πορώδης, που μόνο το πορώδες μπορεί να είναι υψηλό ή χαμηλό και, επομένως, θα απορροφήσει την υγρασία. Όταν εκτίθεται στην υπερβολικά χαμηλή θερμοκρασία, η υγρασία θα παγώσει και θα επεκταθεί, με συνέπεια την υδραυλική πίεση που τείνει να αναγκάσει τη συγκεκριμένη επιφάνεια για να ραγίσει.

4. Φορτίσεις: Η μικρή εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ρωγμών στις εφελκυσόμενες περιοχές των δομικών στοιχείων που δεν επηρεάζουν βέβαια την λειτουργικότητα ή την ανθεκτικότητα της κατασκευής, δημιουργούν όμως πρόσφορο έδαφος στην ευκολότερη διείσδυση στοιχείων που επιτυγχάνουν τη διάβρωση.

5. Σεισμός: Η επίδραση σεισμικών φορτίων πάνω στην κατασκευή εκτός των στατικών προβλημάτων που μπορεί να δημιουργήσουν προκαλούν την αποδιοργάνωση, μέσω πολύ μικρών μετακινήσεων, της συνοχής των αδρανών στοιχείων. Οι μικρορηγματώσεις αυτές έχουν μεν τριχοειδή φύση, διευκολύνουν όμως την εισχώρηση της υγρασίας και των χλωριόντων.

6. Πυρκαγιά: Η πυρκαγιά είναι ένας πολύ σημαντικός εχθρός του οπλισμένου σκυροδέματος. Κατά τη διάρκεια της και λόγω των πολύ υψηλών θερμοκρασιών που δημιουργούνται, συντελούν διάφορες αλλαγές στη δομή του.

A) Με την ταχύτερη εξάτμιση του νερού που υπάρχει στο σκυρόδεμα αναπτύσσονται υψηλές πιέσεις με αποτέλεσμα την θραύση τμημάτων.

B) Η θερμική διαστολή του σκυροδέματος έχει πάλι σαν αποτέλεσμα την θραύση του.

Γ) Μειώνονται οι δυνάμεις συνάφειας μεταξύ σκυροδέματος και χαλύβδινων ράβδων.

Δ) Τα επιμέρους μηχανικά χαρακτηριστικά του χάλυβα όπως το όριο διαρροής και γενικά το διάγραμμα τάσης παραμόρφωσης, μεταβάλλονται και οι τιμές τους μειώνονται.

E) Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του σκυροδέματος μεταβάλλονται και η ανομοιομορφία μεταβολή των τάσεων, λόγω απότομης θερμοκρασιακής μεταβολής (έναρξη πυρκαγιάς, κατάσβεση), επιδρά αρνητικά στην αντοχή του.

7. Κακοτεχνίες – Κατασκευαστικά λάθη: π.χ. μικρή, η ανύπαρκτη επικάλυψη οπλισμών, μη καλή συντήρηση κατά τη σκλήρυνση κτλ., μπορεί να επιφέρει επιτάχυνση των

διαβρωτικών διαδικασιών. Μία πρόωρη φόρτιση των στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος πριν αυτό αναπτύξει τις αντοχές του, μπορεί να επηρεάσει την ικανότητα ανάληψης των φορτίων σχεδιασμού στο μέλλον.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Το υδροξείδιο του σιδήρου έχει όγκο περίπου 2,5 φορές μεγαλύτερο του χάλυβα, με αποτέλεσμα τη διάρρηξη του σκυροδέματος, απφλοΐωση της επικαλυπτικής στρώσης του σκυροδέματος από την διόγκωση του σχηματιζόμενου υδροξειδίου του σιδήρου. Η πιο σοβαρή επίπτωση της ενανθράκωσης στο οπλισμένο σκυρόδεμα είναι ότι μειώνει την αλκαλικότητα του τσιμέντου με συνέπεια την οξείδωση του οπλισμού. Καθώς διαβρώνεται ο οπλισμός προκαλείται διόγκωση, η οποία με την σειρά της προκαλεί εφελκυστικές τάσεις στο σκυρόδεμα, που προκαλούν ρηγματώσεις και αποκόλληση της επικάλυψης του οπλισμού.

Η οξείδωση του οπλισμού έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της μηχανικής αντοχής του. Η ζημιά που προκαλείται είναι διπλή: 1), με την οξείδωση του χάλυβα μειώνεται η ενεργός διατομή του και άρα μειώνεται η στατική επάρκεια της κατασκευής. 2), οι ρηγματώσεις αυξάνουν τη διαπερατότητα του σκυροδέματος σε CO₂ δημιουργώντας έτσι τις προϋποθέσεις για νέες ρηγματώσεις και τη γρήγορη διάβρωση του οπλισμού. Επίσης λόγω της ελάττωσης της διατομής δημιουργούνται προβλήματα φέρουσας ικανότητας ενώ η μείωση της λκιμότητας εγκυμονεί κινδύνους για τη σεισμική συμπεριφορά του μέλους.[1],[2],[11],[12]

ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Από την στιγμή που η διάβρωση προκαλεί πρόωμη φθορά στις κατασκευές του οπλισμένου σκυροδέματος είναι αναγκαία η ανάπτυξη μεθόδων για την αύξηση του χρόνου ζωής των κατασκευών. Μια από τις μεθόδους αυτές είναι η χρήση υψηλής ποιότητας τσιμέντου με χαμηλή αναλογία του λόγου νερού / τσιμέντο. Σύμφωνα με το πρότυπο ACI 201, συστήνεται χαμηλή αναλογία νερού / τσιμέντο και πάχος επικάλυψης οπλισμού τουλάχιστον 75mm για κατασκευές που εκτίθενται σε περιβάλλον χλωριόντων, έτσι ώστε να παρατείνεται ο χρόνος έναρξης της διάβρωσης. Μεγαλύτερη ανθεκτικότητα και αντίσταση κατά των ρωγμών του σκυροδέματος, που διευκολύνουν τη διάχυση των διαβρωτικών ουσιών στο χάλυβα, μπορεί να επιτευχθεί με τη προσθήκη ανοξειδώτου χάλυβα, ινών υάλου και πολυπροπυλενίου στο σκυρόδεμα. Το ινοπλισμένο σκυρόδεμα βρίσκει σήμερα ευρεία εφαρμογή στην προστασία από την διάβρωση των γεφυρών, υπό την μορφή επικάλυψης.

Τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια ανάπτυξης διαφόρων υλικών τα οποία αυξάνουν τον χρόνο επισκευής που δημιουργείται από την επίθεση των χλωριόντων. Οι μέθοδοι αυτές περικλείουν την χρήση ορυκτών πρόσθετων και αναστολέων διάβρωσης και την καθοδική προστασία. Στο παρόν πρόγραμμα γίνεται προσπάθεια αύξησης της αντίστασης στη διάβρωση του σκυροδέματος με προσθήκη βιομηχανικών παραπροϊόντων στο τσιμέντο ή με χρήση χημικών αναστολέων διάβρωσης στο σκυρόδεμα ή με συνδυασμό και των δύο. [5]

1)Επίδραση των ορυκτών πρόσθετων στις ιδιότητες του σκυροδέματος

Πολλές αναφορές και έρευνες έχουν γίνει για την απόδοση των ορυκτών πρόσθετων και την επίδραση τους στην διεΐσδυση των χλωριόντων και τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών

παραμέτρων της διάβρωσης. Οι μελέτες ποικίλουν σύμφωνα με τον τύπο των ορυκτών πρόσθετων στο σκυρόδεμα, το παρόν τσιμέντο το οποίο αποκαθίσταται, τις συνθήκες συντήρησης και ενυδάτωσης καθώς και από άλλους παράγοντες. Γενικά το σκυρόδεμα με ορυκτά πρόσθετα επέδειξε μειωμένη διαπερατότητα και οι συντελεστές διάχυσης ήταν σαφώς μικρότεροι σε σχέση με αυτούς που παρουσιάζονταν σε σκυρόδεμα με τσιμέντο Πόρτλαντ. [5]

2) Χρήση Ορυκτών προσθέτων

Τα ορυκτά πρόσθετα αναστολής διάβρωσης στο σκυρόδεμα έχουν σαν στόχο τον περιορισμό της διάβρωσης του οπλισμού μέσω της μείωσης του πορώδους του συνεκτικού υλικού (τσιμεντοκονίας) του σκυροδέματος. Τέτοια υλικά είναι τα ποζολανικά που συνίσταται από αργιλοπυριτικές ενώσεις. Τα υλικά αυτά από μόνα τους δεν έχουν υδραυλικές ιδιότητες, αλλά με λεπτό τους διαμερισμό και παρουσία νερού παρουσιάζουν υδραυλικές ιδιότητες, λόγω της αντίδρασης τους με την υδράσβεστο. Τα ποζολανικά υλικά είναι γνωστά από αρχαιολόγων χρόνων και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την προέλευση τους: Φυσικές ποζολάνες, όπως Μηλαϊκή γη, προέρχονται από ηφαιστιογενείς πηγές (πυροκλαστικά υλικά). Τεχνητές ποζολάνες, αργιλοπυριτικά υλικά που προέρχονται από κάποια θερμική κατεργασία σαν απόβλητα. Τέτοια υλικά είναι η σκωρία υψικαμίνων (BFS) και η φαρίνα ηλεκτροφίλτρων παραπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας του τσιμέντου.[5]

3)Ιπτάμενη Τέφρα

Η Ιπτάμενη Τέφρα (I.T.) είναι ένα υλικό που παράγεται κατά την καύση κονιοποιημένων στερεών καυσίμων σε μεγάλες ατμοπαραγωγικές μονάδες. Παρασύρεται από το ρεύμα των καυσαερίων και συλλέγεται σε ειδικές εγκαταστάσεις αποκονίωσης (με μηχανικά ή ηλεκτροστατικά φίλτρα). Η χημική και ορυκτολογική σύσταση της I.T. εξαρτάται από την πρώτη ύλη της καύσης, την θερμοκρασία καύσης και την ταχύτητα ψύξης. Η I.T. διαφέρει από τις φυσικές ποζολάνες κύρια στην περιεκτικότητα σε άσβεστο και την μικρότερη περιεκτικότητα σε δεσμευμένο νερό. Οι I.T. έχουν από μόνες τους υδραυλικές ιδιότητες αλλά συνήθως αυτές είναι ασθενείς.

Η σύσταση και η λεπτότητα της I.T. δεν είναι πάντα σταθερές και επομένως πρέπει να ελέγχονται. Για την ποιότητα του σκυροδέματος που πρόκειται να παραχθεί μεγάλη σημασία έχουν :

- Η ειδική επιφάνεια της I.T. (πρέπει να είναι $> 2500 \text{ cm}^2/\text{g}$)
- Η περιεκτικότητα σε ενεργά συστατικά SiO_2 και Al_2O_3 .
- Η περιεκτικότητα σε επιβλαβή συστατικά ($\text{C} < 3\%$ και SO_2).
- Η περιεκτικότητα σε ελεύθερη άσβεστο.

Η χρήση της I.T. σαν πρόσθετο στο τσιμέντο έχει απασχολήσει τους ερευνητές τόσο στην Ελλάδα όσο και διεθνώς. Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα των διάφορων εργασιών, προκύπτει ότι η I.T., σαν πρόσθετο στο τσιμέντο, έχει τα ακόλουθα αποτελέσματα :

- Βελτιώνει την εργασιμότητα, αυξάνει την πλαστικότητα και την αντλησιμότητα του παραγομένου σκυροδέματος.
- Βελτιώνει την εμφάνιση της επιφάνειας του σκυροδέματος μετά το ξεκαλούπωμα.
- Έχει την ικανότητα να δεσμεύει τα χλωριόντα και έτσι προστατεύει τον σιδηροπλισμό από την διάβρωση.

- Λόγω της αυξημένης περιεκτικότητας σε ελευθέρα άσβεστο αυξάνει την ταχύτητα της ενανθράκωσης.[5]

4) Σκωρία υψικαμίνων

Η σκωρία υψικαμίνων (slag, Schlacke) είναι υλικό μη μεταλλικό, που αποτελείται από πυριτικά και αργυλοπυριτικά άλατα του ασβεστίου. Οι σκωρίες έχουν από μόνες τους υδραυλικές ιδιότητες. Όταν όμως ενυδατώνονται μόνες τους, χωρίς την παρουσία του τσιμέντου πόρτλαντ, το ποσό του υδραυλικού υλικού που σχηματίζεται είναι μικρό και ο ρυθμός σχηματισμού του ανεπαρκής. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται πάντα σε μίγματα με τσιμέντο πόρτλαντ.

Η σκωρία είναι ένα παραπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας του χάλυβα. Η σκωρία δεν είναι μεταλλικό προϊόν και αποτελείται κατά βάση από πυριτικά και αργυλοπυριτικά άλατα του ασβεστίου. Λόγω των υδραυλικών ιδιοτήτων της σκωρίας, σωματίδια κοκκομετρίας μικρότερης από τα 10μm συνεισφέρουν στις πρώιμες αντοχές, ενώ σωματίδια μεγαλύτερα από 10μm και μικρότερα από 45μm συνεισφέρουν στις τελικές αντοχές. Σωματίδια κοκκομετρίας μεγαλύτερης των 45μm είναι δύσκολο να ενυδατωθούν. Η σκωρία είναι υλικό κοκκομετρίας μικρότερης των 45μm.

Η σκωρία όταν χρησιμοποιείται ως πρόσθετο στο τσιμέντο πόρτλαντ προσδίδει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Υψηλή τελική αντοχή, με χαμηλές πρώιμες αντοχές
- Υψηλή αναλογία σε κάμψη ως προς την αντοχή σε θλίψη.
- Αντίσταση στα ιόντα των θεικών και χλωρίου
- Χαμηλή θερμοκρασία ενυδάτωσης
- Μείωση της συρρίκνωσης με επακόλουθα την μείωση πορώδους και την διαπερατότητα του σκυροδέματος.

Τα τσιμέντα σκωρίας έχουν επίσης καλή εργασιμότητα και χαμηλή απαίτηση σε νερό. Στην ενυδάτωση της σκωρίας σημαντικό ρόλο παίζει η επίδραση της θερμοκρασίας. Η ενυδάτωση επιτυγχάνεται στις υψηλές θερμοκρασίες και επιβραδύνεται στις χαμηλότερες, σε σχέση με την ενυδάτωση του τσιμέντου πόρτλαντ.[5]

5) Χρήση Χημικών προσθέτων αναστολής διάβρωσης (ΧΗΠΑ)

Αναστολέας διάβρωσης είναι οποιαδήποτε ουσία που μπορεί να μειώσει τον ρυθμό διάβρωσης του χάλυβα (ή άλλου μετάλλου ή κράματος) όταν είναι παρούσα σε σχετικά μικρή συγκέντρωση πλησίον της επιφάνειας του χάλυβα (ή άλλου μετάλλου ή κράματος) .

Οι αναστολείς διάβρωσης ενεργούν:

- στο ανοδικό ή καθοδικό τμήμα της ηλεκτροχημικής αντίδρασης της διάβρωσης και το επιβραδύνουν σημαντικά και η ενέργειά τους εντοπίζεται στην διεπιφάνεια μετάλλου - διαβρωτικού περιβάλλοντος.
- στην διαδικασία της διαβρωτικής δράσης με χημική αντίδραση και η ενέργειά τους επεκτείνεται σε όλο το διαβρωτικό περιβάλλον. Για τους αναστολείς της πρώτης περίπτωσης το πρώτο στάδιο είναι η ρόφηση στην επιφάνεια του μετάλλου. Η ρόφηση μπορεί να είναι φυσική ή χημική. Οι φυσικοί αναστολείς επιδρούν καλύπτοντας τα ενεργά κέντρα του μετάλλου, τα οποία είναι η αιτία της ύπαρξης ανοδικών και καθοδικών περιοχών στην επιφάνεια του μετάλλου. Οι φυσικοί αναστολείς ονομάζονται και πρωτογενείς, καθόσον το

στρώμα ρόφησης περιέχει μόνο μόρια του αναστολέα. Οι χημικοί αναστολείς επιδρούν με επιφανειακή χημική αντίδραση, η οποία καλύπτει την επιφάνεια του μετάλλου με το προϊόν της χημικής αντίδρασης. Οι χημικοί αναστολείς ονομάζονται και δευτερογενείς, λόγω του ότι το στρώμα ρόφησης περιέχει το προϊόν αντίδρασης μεταξύ μετάλλου - αναστολέα.

Η εφαρμογή τους όμως ως πρόσθετο σκυροδέματος παρόλα αυτά είναι πρόσφατη. Η χρονική αυτή υστέρηση οφείλεται σε διάφορους λόγους. Καταρχήν η χρήση των αναστολέων διάβρωσης π.χ. σε κλειστά συστήματα σωληνώσεων έχει σαν σκοπό την προστασία από τη διάβρωση για λίγα χρόνια. Μετά την πάροδο της χρονικής αυτής περιόδου ο αναστολέας ανανεώνεται. Στο σκυρόδεμα η προστασία του οπλισμού απαιτεί χρονικό ορίζοντα πάνω από πενήντα χρόνια και η ανανέωση του είναι δύσκολη αν όχι αδύνατη. Επίσης η προσθήκη του αναστολέα διάβρωσης δεν πρέπει να επηρεάζει σημαντικά άλλες ωφέλιμες ιδιότητες του σκυροδέματος όπως τη θλιπτική αντοχή. Αρχικά η χρήση των αναστολέων διάβρωσης ήταν η προσθήκη (του αναστολέα διάβρωσης) σαν πρόσθετο κατά την παραγωγή του σκυροδέματος. Σαν αναστολείς διάβρωσης είχαν προταθεί το νιτρώδες νάτριο (NaNO_2), το χρωμικό κάλιο και το βενζοϊκό νάτριο. Η χρήση των αναστολέων αυτών έδωσε θετικά αποτελέσματα όσον αφορά την διάβρωση του οπλισμού, ταυτόχρονα όμως παρουσίαζαν το μειονέκτημα της μείωσης της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. Η χρήση του νιτρώδους ασβεστίου, $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$, έδωσε για πρώτη φορά αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος και αύξησε την αντοχή σε διάβρωση. Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν και άλλοι αναστολείς διάβρωσης κατάλληλοι για το οπλισμένο σκυρόδεμα με βάση τις αλκανολαμίνες, αμινοαλκοόλες και μίγματα αμινών και εστέρων.

Οι παράγοντες που επηρεάζονται από τους αναστολείς διάβρωσης είναι:

- Ο ρυθμός εισόδου των χλωριόντων από το διαβρωτικό περιβάλλον,
- Ο βαθμός με τον οποίο τα χλωριόντα χημικά ενσωματώνονται ή παγιδεύονται φυσικά στην επικάλυψη του σκυροδέματος,
- Η περιεκτικότητα των χλωριόντων που ο οπλισμός μπορεί να ανεχθεί χωρίς να διαρρηχθεί το υπάρχον παθητικό φιλμ,
- Ο ρυθμός εισόδου του διαλυμένου οξυγόνου που στηρίζει την καθοδική αντίδραση,
- Η ηλεκτρική αντίσταση του σκυροδέματος και
- Η χημική σύσταση του ηλεκτρολύτη (όπως το διάλυμα των πόρων στο τσιμέντο).

Γενικά ο βαθμός προστασίας ενός αναστολέα διάβρωσης εξαρτάται από την συγκέντρωση του σε σχέση με την συγκέντρωση των χλωριόντων, π.χ. για το νιτρώδες ασβέστιο πρέπει να ικανοποιείται η σχέση $\text{NO}_2^- / \text{Cl}^- \geq 1/6$. Επομένως ο ρυθμός εισόδου των χλωριόντων και ο ρυθμός απόπλυσης του αναστολέα διάβρωσης καθορίζουν το χρόνο προστασίας.

Οι αναστολείς διάβρωσης (Migrating Corrosion Inhibitors, MCI) με βάση τις αλκανολαμίνες διεισδύουν διαμέσου της πορώδους δομής μέσω διάχυσης, με ρυθμό περίπου 1 cm την ημέρα. Στην επαφή με το χάλυβα του οπλισμού σχηματίζουν ένα μονομοριακό στρώμα, πάχους 20 – 100 Å, που μειώνει τη διάβρωση προστατεύοντας και τις ανοδικές και τις καθοδικές περιοχές του σιδηροπλισμού.[5]

6) Χρήση υδατοστεγών μεμβρανών

Οι συνηθέστερες μορφές μεμβρανών είναι τα βιομηχανοποιημένα φύλλα και ορισμένα υλικά που βρίσκονται σε υγρή μορφή κατά την τοποθέτηση τους στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Μια υδατοστεγής μεμβράνη πρέπει να ικανοποιεί τις εξής απαιτήσεις: 1)Εύκολη τοποθέτηση, 2)Καλή πρόσφυση με το υπόστρωμα,3)Να μην αντιδρά με τα συστατικά του σκυροδέματος. Να εμποδίζει τη διείσδυση χλωριόντων και υγρασίας από το περιβάλλον.

Κατά την τοποθέτηση της μεμβράνης απαιτείται μεγάλη προσοχή στην αποτροπή δημιουργίας φυσαλίδων εξαιτίας των αερίων και της υγρασίας που παγιδεύονται στο σκυρόδεμα. Βέβαια, έχει παρατηρηθεί ότι οι φυσαλίδες αυτές δεν μειώνουν την παρεχόμενη από την μεμβράνη προστασία από τη διείσδυση χλωριόντων και υγρασίας. Το μεγάλο μειονέκτημα της χρήσης των μεμβρανών είναι η μικρή ανθεκτικότητα τους στο χρόνο, με συνέπεια να απαιτείται η ανανέωση τους ανά τακτά χρονικά διαστήματα .[5]

7) Προστατευτικά επιστρώματα από σκυρόδεμα

Πρόκειται για επιστρώματα με ειδικά σκυροδέματα που χρησιμοποιούνται για να μειώσουν τη διαπερατότητα του ήδη υπάρχοντος σκυροδέματος (υπόστρωμα). Προσφέρουν μεγάλη ανθεκτικότητα σε διάφορες επιδράσεις όπως παγετού και αντιπαγωτικών αλάτων, μηχανικές επιδράσεις κ.λπ.

Το σκυρόδεμα επίστρωσης μπορεί να είναι :

7.1). Σκυρόδεμα υψηλής ποιότητας από τσιμέντο πόρτλαντ. Το σκυρόδεμα αυτό απαιτείται να έχει :

- Περιεκτικότητα σε τσιμέντο τουλάχιστον 470Kg/m³
- Αναλογία νερού προς τσιμέντο ίση με 0.32
- Κάθιση μικρότερη από 25mm

Στο σκυρόδεμα μπορεί να προστεθούν ρευστοποιητές για τη μείωση της ποσότητας του απαιτούμενου ύδατος, η δε συντήρηση του πρέπει να είναι 72 ώρες τουλάχιστον. Η μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως για τη προστασία του σιδηροπλισμού από διάβρωση εξαιτίας της επίδρασης αντιπαγωτικών αλάτων στις νέες γέφυρες,

7.2). Σκυρόδεμα με πρόσθετα πολυμερή

Παρασκευάζεται από τσιμέντο πόρτλαντ και περιέχει ως πρόσθετο ένα γαλάκτωμα πολυμερών το οποίο μειώνει την απαιτούμενη ποσότητα νερού και ταυτόχρονα προσδίδει στο σκυρόδεμα χαμηλή διαπερατότητα και μεγάλη αντίσταση στη διείσδυση χλωριόντων. Το γαλάκτωμα είναι κολλοειδές διάλυμα ελαστικού σε νερό. Η συνήθης χρησιμοποιούμενη περιεκτικότητα σε γαλάκτωμα είναι 15% κ.β. τσιμέντου. Το πάχος του επιστρώματος είναι συνήθως 40-50mm και μετά την τοποθέτηση του απαιτείται συντήρηση για 72 ώρες.[5]

8) Εμποτισμός του σκυροδέματος με πολυμερή

Ο εμποτισμός του σκυροδέματος με πολυμερή γίνεται με σκοπό να μειωθεί η διαπερατότητα του όταν το περιβάλλον είναι πολύ διαβρωτικό. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου, πληρώνονται τα κενά του σκυροδέματος με πολυμερές, σε βάθος 35 έως 50 mm συνήθως. Το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο υλικό είναι το πολυμερισμένο μεθακρυλικό μεθύλιο. Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι εφαρμόζεται σε όλα τα σκυροδέματα, ανεξάρτητα από την ποιότητα και τα συστατικά τους, τα δε αποτελέσματα είναι μόνιμα. Μειονέκτημα της

μεθόδου είναι ότι συχνά κατά την εφαρμογή της, όταν δεν δίνεται η απαιτούμενη προσοχή, προκαλείται εκτεταμένη ρηγμάτωση του σκυροδέματος. Ακόμη απαιτείται ειδικός εξοπλισμός και ειδικευμένο προσωπικό.[5]

Προστασία σιδηροπλισμών από διάβρωση

Γενικότητες:

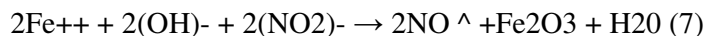
Προκειμένου να εξασφαλιστεί η καλή ποιότητα μιας κατασκευής από σκυρόδεμα, απαιτείται κατάλληλη επιλογή υλικών, καλή δόνησή του και μεγάλος χρόνος συντήρησης. Ειδικά η προστασία του χάλυβα στο σκυρόδεμα μπορεί να επιτευχθεί είτε μειώνοντας τη διαπερατότητα του σκυροδέματος για να εμποδιστεί η διείσδυση των διαβρωτικών ουσιών, είτε με άμεση προστασία του ίδιου του χάλυβα εμποδίζοντας την προσβολή του μετάλλου. Τα μέτρα που λαμβάνονται για την προστασία του σιδηροπλισμού από την διάβρωση, χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες :

- Μέτρα στην μάζα του σκυροδέματος
- Μέτρα στην επιφάνεια του οπλισμού
- Μέτρα στην επιφάνεια του σκυροδέματος
- Καθοδική προστασία
- Χρήση ανοξειδωτων χαλύβων
- Λοιπές ηλεκτροχημικές μέθοδοι

Τα μέτρα αυτά λαμβάνονται είτε εκ των προτέρων προκειμένου να αποκλεισθεί το ενδεχόμενο της διάβρωσης, είτε εκ των υστέρων προκειμένου να ανασταλεί μια εξελισσόμενη διαδικασία φθοράς σε μια ήδη υπάρχουσα κατασκευή από σκυρόδεμα.[4]

1) Προσμίξεις στο Σκυρόδεμα – Αναστολείς διάβρωσης

Πρόκειται για ουσίες οι οποίες προστίθενται στο σκυρόδεμα κατά την παρασκευή του, με σκοπό να προστατέψουν τον ενσωματωμένο χάλυβα από τη διάβρωση. Οι αναστολείς διάβρωσης μπορεί να είναι οργανικά ή ανόργανα άλατα όπως, νιτρώδες ασβέστιο, νιτρώδες νάτριο, αμινοαλκοόλες, αλκανολαμίνες . Ο κυριότερα χρησιμοποιούμενος αναστολέας διάβρωσης είναι το νιτρώδες ασβέστιο($\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$). Ως τρόπος δράσης του αναφέρεται η δημιουργία και συντήρηση ενός ανθεκτικού λεπτού παθητικού στρώματος στον χάλυβα οπλισμού, ακόμη και υπό συνθήκες παρουσίας χλωριόντων με συγκέντρωση πολύ υψηλότερη από την κρίσιμη για τη διάβρωση του χάλυβα ($0,9 \text{ Kg/m}^3$). Το $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ αντιδρά με τα παραγόμενα προϊόντα των αντιδράσεων της ανοδικής περιοχής και χαρακτηρίζεται ανοδικός αναστολέας. Η χημική αντίδραση του μηχανισμού προστασίας θεωρείται ότι είναι η :



Έτσι το $(\text{NO}_2)^-$ ανταγωνίζεται τα χλωριόντα δεσμεύοντας τα ιόντα Fe^{++} σχηματίζοντας σταθερό φιλμ Fe_2O_3 . Άλλοι ερευνητές θεωρούν ότι η προστασία οφείλεται στο σχηματισμό κρυσταλλικού $\text{Ca}(\text{OH})_2$ στην περιοχή του οπλισμού. Αυτός ο τύπος αναστολέα διάβρωσης δεν επηρεάζει την ανθεκτικότητα των δεσμών του σκυροδέματος. Οι αναστολείς διάβρωσης που βασίζονται σε αμινοαλκοόλες (AMA) μερικά εξουδετερωμένες, αντιδρούν με τον χάλυβα οπλισμού σχηματίζοντας λεπτό στρώμα οργανομεταλλικής προέλευσης και

προστατεύουν τόσο τις ανοδικές όσο και τις καθοδικές περιοχές του (μικτοί αναστολείς). Οι αναστολείς διάβρωσης που βασίζονται σε αλκανολαμίνες είναι κυρίως μίγματα αμινοαλάτων και επιφανειακά ενεργών ουσιών σε υδατικό διάλυμα. Η προστατευτική δράση τους βασίζεται στη ρόφησή τους στην επιφάνεια του χάλυβα οπλισμού και τη δημιουργία ενός μονομοριακού προστατευτικού στρώματος τόσο των ανοδικών όσο και των καθοδικών περιοχών του. Η δράση των αναστολέων διάβρωσης θεωρείται ότι εξαρτάται από τη συγκέντρωσή τους και κυρίως από τον λόγο της συγκέντρωσης, αναστολέα προς χλωριόντα. Ικανοποιητική προστασία επιτυγχάνεται με λόγο 1-1,5. Κατόπιν τούτου η δράση τους περιορίζεται χρονικά στην περίπτωση συνεχούς προσβολής του σκυροδέματος από διαβρωτικό περιβάλλον. Επίσης, στις μη προστατευμένες με αναστολέα περιοχές των οπλισμών η επίδραση του διαβρωτικού περιβάλλοντος είναι ισχυρότερη από αυτήν που θα υπήρχε με πλήρη απουσία αναστολέα. Ειδικά για την προστασία του σιδηροπλισμού από την επίδραση των χλωριόντων, αναφέρεται ότι η προσθήκη 1.4% φωσφορικού άλατος στο σκυρόδεμα, εξουδετερώνει την επίδραση χλωριόντων που βρίσκονται σε αυτό σε περιεκτικότητα 0.3% κ.β. τσιμέντου. Άλλοι ερευνητές προτείνουν τη χρήση νιτρώδους νατρίου, βενζοϊκού νατρίου και οξειδίου του σιδήρου, με κυριότερο το νιτρώδες νάτριο, για τη μείωση της διάβρωσης του σιδηροπλισμού του ελαφροβαρούς σκυροδέματος.

Έχει παρατηρηθεί ότι ορισμένοι αναστολείς διάβρωσης μπορεί να επηρεάσουν δυσμενώς τις φυσικές ιδιότητες του σκυροδέματος προκαλώντας μείωση της θλιπτικής αντοχής του και επιβράδυνση της σκλήρυνσης του τσιμέντου ή μπορεί να γίνουν επιβλαβείς σε μετέπειτα ηλικίες. Οι περισσότεροι από τους αναστολείς διάβρωσης διατίθενται σε μορφές που μπορούν να εφαρμοστούν με ψεκασμό της επιφάνειας του σκυροδέματος, που ακολουθείται από διάχυση στη μάζα αυτού, προσεγγίζοντας τους οπλισμούς σε χρόνους της τάξης του μήνα.

Η αποτελεσματικότητα των αναστολέων διάβρωσης εκφράζεται από την σχέση:

$$\text{Παρεχόμενη Προστασία \%} = 100 \times (\delta - \delta^*) / \delta \quad (8)$$

όπου: δ = διάβρωση χωρίς αναστολέα και δ^* = διάβρωση με αναστολέα [4]

2) Επιχρίσματα Σιδηροπλισμών

Τα επιχρίσματα πάνω στο χάλυβα χρησιμοποιούνται με σκοπό να τον εμποδίσουν να έρθει σε επαφή με οξυγόνο, υγρασία ή χλωριόντα. Για την εφαρμογή των επιχρισμάτων, ο χάλυβας πρέπει να είναι απόλυτα καθαρός, απαλλαγμένος από ελαιώδεις ουσίες, σκόνη ή σκουριά προκειμένου να αποφευχθεί απώλεια συνάφειας μεταξύ των υλικών. Τα επιχρίσματα μπορεί να είναι μεταλλικά ή μη μεταλλικά.

• Μη Μεταλλικά Επιχρίσματα:

Μπορεί να χρησιμοποιηθούν οργανικά ή ανόργανα υλικά. Τα πλέον συνηθισμένα υλικά επίχρισης είναι οι εποξειδικές ρητίνες και το χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC). Το χλωριούχο πολυβινύλιο έχει μικρή διαπερατότητα από νερό, αέρια και ηλεκτρολύτες, παρουσιάζει δε μεγάλη ανθεκτικότητα σε χημική προσβολή από οξέα και βάσεις. Οι εποξειδικές ρητίνες παρουσιάζουν καλή πρόσφυση στο χάλυβα και έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα σε αλκαλικό περιβάλλον, όπως αυτό του σκυροδέματος. Όμως ορισμένοι ερευνητές αναφέρουν ότι οι επιχρισμένοι με ρητίνες χάλυβες παρουσιάζουν μειωμένη συνάφεια με το σκυρόδεμα.

- **Μεταλλικά Επιχρίσματα:**

Τα μεταλλικά επιχρίσματα προστατεύουν το χάλυβα με τη δική τους καταστροφή. Πρόκειται για μέταλλα με δυναμικό διάβρωσης ηλεκτραρνητικότερο από αυτό του χάλυβα, όπως ο ψευδάργυρος, το αλουμίνιο κ.α. Τα επιχρίσματα αυτά διαβρώνονται κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο που διαβρώνονται ως συμπαγή μέταλλα, μέχρι ο προστατευόμενος χάλυβας να εκτεθεί στο διαβρωτικό περιβάλλον σε μικρές περιοχές. Τότε εξαιτίας της γαλβανικής δράσης, επιταχύνεται η διάβρωση του «θυσιαζόμενου» επιχρίσματος, συνεχίζοντας έτσι την προστασία του χάλυβα.

Έχει παρατηρηθεί ότι η χρήση των επιχρισμάτων δεν αποτρέπει τελείως τη διάβρωση του σιδηροπλισμού, πολλές φορές δε, εισάγει πρόσθετους κινδύνους. Για παράδειγμα, η χρήση γαλβανισμένων χαλύβων και χαλύβων επιχρισμένων με ψευδάργυρο, εμπεριέχει τον κίνδυνο της αντίδρασης του ψευδαργύρου με συστατικά του σκυροδέματος ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) και της γαλβανικής δράσης μεταξύ γαλβανισμένων και μη χαλύβων, σε περίπτωση που συνυπάρχουν στην ίδια κατασκευή.

Σχετικά πειράματα έδειξαν ότι οι επιχρισμένοι με εποξειδικές ρητίνες χάλυβες συμπεριφέρονται καλύτερα όσον αφορά τη διάβρωση από τους γαλβανισμένους, ανεξάρτητα από το νερό ανάμιξης του σκυροδέματος, το πάχος επικάλυψης και το περιβάλλον στο οποίο εκτίθενται.[4]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Μηχανισμός Διάβρωσης-Καθοδική Προστασία, Αλεξόπουλος Αθανάσιος
- [2] Διάβρωση Χάλυβα Οπλισμένου Σκυροδέματος & Τρόποι Αποκατάστασης, Δημάκη Κωνσταντίνα & Κατσεινίου Γεωργία
- [3] Σχεδιασμός Φορέων από Σκυροδέμα με βάση Τον Ευρωκώδικα 2, Ανθεκτικότητα & Επικαλύψεις Χρ. Ζέρης Επίκουρος Καθηγητής
Εργαστήριο ΩΣ, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ
- [4] Έλεγχος ποιότητας και τεχνολογία δομήσιμων υλικών, σημειώσεις μαθήματος Οκτώβριος 2010, ΤΕΙ Πειραιά, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Φυσικής Χημείας και Τεχνολογίας Υλικών, Δρ. Αθ. Ρούτουλας Καθηγητής
- [5] <http://ikaros.teipir.gr/phyche/Subjects/Routoulas/Petyl/%D0%C5%D4%D5%CB%20%CA%20%20%20%D62.pdf>
- [6] http://monosimac.on.blogspot.gr/2009/06/blog-post_10.html
- [7] http://www.skyrodemanet.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=164:-16&catid=62&Itemid=66
- [8] http://www.realestatecorner.gr/el/article_groups/2/articles/435
- [9] <http://www.e-archimedes.gr/latest/item/4233->
- [10] JENHM . 4 / 1 4 . 0 6 . 2 0 0 6 / Διάβρωση Οπλισμένου Σκυροδέματος
Τεχνολογική ΕΠΕ Επιθεωρήσεις Κινδύνων – Εκτιμήσεις Ζημιών
- [11] Διάβρωση Οπλισμένου σκυροδέματος – μετρά επέμβασης, Κουρνέτας Δημήτριος, ‘16^ο Φοιτητικό συνέδριο’
- [12] «Πρόληψη και αποκατάσταση του Σκυροδέματος από διαφόρους παράγοντες», Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών-Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής, Ραφαήλ Όλγα και Παπαδόπουλος Κωνσταντίνος

