

ΕΝΗΜ. 4 / 14.06.2006 / ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΘΕΜΑ : **Εκτίμηση της κατάστασης του σιδηρού οπλισμού κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος κατά την ανάληψη του κινδύνου ή μετά από μία ζημιά.**

Γενικά

Σε αρκετές περιπτώσεις κτιρίων, μετά από ένα σεισμό ή άλλο ζημιογόνο γεγονός π.χ. φωτιά, καθίζηση, κλπ, αναδεικνύονται βλάβες στο κτίριο, που οφείλονται σε προγενέστερες αιτίες (π.χ. χρόνια διάβρωση οπλισμού του σκυροδέματος, παθολογία της κατασκευής). Προϋπάρχοντα προβλήματα στο κτίριο αναδεικνύονται μετά από ένα σεισμό, φωτιά, κλπ και στις περισσότερες περιπτώσεις αυτά επιδεινώνονται, μεγεθύνοντας παράλληλα τις ζημιές στο κτίριο.

Σκοπός αυτού του ενημερωτικού φύλλου είναι να παρουσιάσει τις συνήθεις βλάβες – διαβρώσεις στο σιδηρό οπλισμό κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, τις αιτίες και τους μηχανισμούς που τις προκαλούν, τις επιπτώσεις ορισμένων περιβαλλοντικών δράσεων σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος και τις φυσικές και μηχανικές συνέπειές τους.

Τέλος γίνονται προτάσεις – συστάσεις προκειμένου :

- (i) **κατά την ανάληψη του κινδύνου** να εντοπίζονται έγκαιρα οι βλάβες αυτές, ώστε να αξιολογείται ανάλογα ο κίνδυνος και να ενημερώνεται ο ιδιοκτήτης του ακινήτου.
- (ii) **Μετά από ένα ζημιογόνο γεγονός** όταν πλέον γίνεται η εκτίμηση αποκατάστασης των ζημιών, εφόσον κρίνεται σκόπιμο να υπάρχει η δυνατότητα εκτίμησης του κόστους αποκατάστασης των ζημιών που προκλήθηκαν από ένα καλυπτόμενο ζημιογόνο γεγονός και όχι εν γένει των ζημιών – βλαβών που το κτίριο παρουσιάζει μετά το ζημιογόνο γεγονός.

Διαπιστώσεις

Η έντονη οικοδομική δραστηριότητα που αναπτύχθηκε στη δεκαετία 1950-1960 πραγματοποιήθηκε με σχετικά χαμηλές προδιαγραφές. Η δόμηση τότε γινόταν με την προοπτική ότι τα κτίρια θα 'ζούσαν' για 4-5 δεκαετίες και θα αντικαταστούσαμε αργότερα με άλλα σύγχρονα. Σήμερα όμως, λόγω της γενικότερης οικονομικής συγκυρίας και του μεγάλου κόστους, οι κατασκευές δεν συμφέρει να αντικαθιστούνται γρήγορα, ενώ η φθορά των κατασκευών κάνει τη χρήση τους προβληματική.

Ο σχεδιασμός των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος στον Ελληνικό χώρο αντιμετωπίζονταν μέχρι πρόσφατα σαν πρόβλημα αντοχής, ευστάθειας και λειτουργικότητας σε δεδομένες φορτίσεις ή επιβαλλόμενες παραμορφώσεις (μόνιμα φορτία, κινητά, σεισμός, άνεμος, καθιζήσεις, ερπυσμός, συστολή ξήρανσης, θερμοκρασιακά κτλ) χωρίς να δίνεται η πρέπουσα σημασία στην ανθεκτικότητα των κατασκευών σε διάρκεια χρόνου.

Η ανάπτυξη της βιομηχανίας και η εξέλιξη της τεχνολογίας είχαν ως αποτέλεσμα την ατμοσφαιρική ρύπανση αλλά

και την εκτεταμένη χρήση χημικών ουσιών που προκάλεσε χημικές επιδράσεις στο σκυρόδεμα και το χάλυβα.

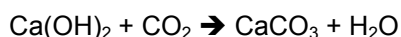
Πρόβλεψη της διάρκειας ζωής ενός κτιρίου μπορεί να γίνει μόνο όταν ο μηχανισμός φθοράς και η εξέλιξή της μέσα στον χρόνο είναι γνωστά με κάθε λεπτομέρεια. Είναι όμως δυνατόν ο μηχανισμός φθοράς να αλλάξει με το χρόνο. Τα υλικά και η κατασκευή έχουν διαφορετική διάρκεια ζωής. Ένα υλικό δεν κατασκευάζεται για ένα μόνο συγκεκριμένο περιβάλλον και είναι δυνατόν σε διαφορετικά περιβάλλοντα εκθέσεως το ίδιο υλικό να έχει διαφορετική διάρκεια ζωής.

Μηχανισμοί διάβρωσης σιδηρού οπλισμένου σκυροδέματος

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.** Οι ράβδοι οπλισμού που βρίσκονται στο σκυρόδεμα προστατεύονται από τη διάβρωση μέσω ενός λεπτού στρώματος ένυδρου οξειδίου, που δημιουργείται χάρη στην υψηλή αλκαλικότητα του σκυροδέματος που τις περιβάλλει. Η αλκαλικότητα του σκυροδέματος χαρακτηρίζεται από μια τιμή pH περίπου 12,5. 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. Ενανθράκωση σκυροδέματος

Διάλυση της παθητικής προστασίας του οπλισμού, μπορεί να συμβεί με τη μείωση του pH. Η μείωση του pH είναι αποτέλεσμα της ενανθράκωσης του σκυροδέματος. Η ενανθράκωση προκαλείται από τη χημική αντίδραση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) το οποίο υπάρχει στην ατμόσφαιρα με το υδροξείδιο του ασβεστίου Ca(OH)₂ του σκυροδέματος. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) μέσω των τριχοειδών ρηγματώσεων, διαπερνά την επιφάνεια του μπετόν, διαλυμένο στο νερό βροχής, συχνά μαζί και με SO₂ (σε βιομηχανικές και μολυσμένες περιοχές), με αποτέλεσμα την βαθμιαία εξουδετέρωση της αλκαλικότητας :



Η ενανθράκωση είναι μια διαδικασία η οποία συμβαίνει σε όλες τις κατασκευές οπλισμένου 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.

2. Είσοδος χλωριόντων στο σκυρόδεμα

Τα χλωριόντα μπορούν να διατηρήσουν το προστατευτικό στρώμα οξειδίου όταν φτάσουν μέσω του νερού των πόρων μέχρι τον οπλισμό. Μπορεί να προέρχεται είτε από το εσωτερικό του σκυροδέματος, αν έχουν χρησιμοποιήσει συλλεκτά αδρανή από παραλίες ή θαλασσινό νερό μείξης (νησιωτική Ελλάδα), ή πρόσμικτα βελτιωτικά του σκυροδέματος που περιέχουν χλωριούχα άλατα, είτε από το φυσικό περιβάλλον. Τα χλωριόντα μπορούν να διαπεράσουν το προστατευτικό στρώμα οξειδίων, μέσα από τους πόρους του στρώματος με

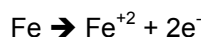
μεγαλύτερη ευκολία από άλλα ιόντα, με αποτέλεσμα την τοπική ή γενική καταστροφή του επιφανειακού προστατευτικού οξειδίου και την έναρξη της οξειδωσής του.

3. Ρηγματώσεις

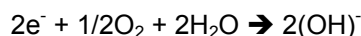
Η ύπαρξη ρωγμών στο σκυρόδεμα αποτελούν μέσο για να περάσουν, τόσο το CO₂ όσο και τα χλωριόντα στον οπλισμό και να επιταχύνουν τη διαδικασία της διάβρωσης. Οι ρωγμές αυτές μπορεί να προέρχονται από συστολή ξήρανσης, από υψηλές εντάσεις ή από διάφορες συγκρούσεις.

4. Ηλεκτροχημική διάβρωση

Η διάβρωση είναι ένα σύνθετο χημικό και ηλεκτροχημικό φαινόμενο και για να πραγματοποιηθεί απαιτείται ένας ηλεκτρολύτης και μια ηλεκτρική σύνδεση. Το ρόλο του ηλεκτρολύτη παίζει το σκυρόδεμα το οποίο είναι γεμάτο μικρούς πόρους που περιέχουν υγρασία ενώ η ράβδος του χάλυβα παρέχει την ηλεκτρική σύνδεση. Η άνοδος δημιουργείται στην περιοχή του χάλυβα όπου έχει καταστραφεί το προστατευτικό στρώμα οξειδίων έτσι ώστε τα άτομα του σιδήρου να μετατρέπονται σε ιόντα, ελευθερώνοντας ηλεκτρόνια.



Τα ηλεκτρόνια λόγω διαφοράς δυναμικού που δημιουργείται κατευθύνονται προς την κάθοδο. Ως κάθοδος μπορεί να λειτουργήσει η περιοχή του χάλυβα που έχει νερό και οξυγόνο ανεξάρτητα αν έχει καταστραφεί το στρώμα οξειδίου, συνεπώς ολόκληρη η ράβδος. Εκεί αντιδρούν τα ηλεκτρόνια με το νερό και το οξυγόνο δίνοντας ιόντα υδροξυλίου.



Τα ιόντα υδροξυλίου κινούνται μέσα στο νερό των πόρων, από την περιοχή της καθόδου προς την άνοδο, όπου ενώνονται με τα ιόντα του σιδήρου και σχηματίζουν σκουριά.



Μετά την παραπάνω αντίδραση είναι δυνατόν να σχηματιστούν διάφορα οξείδια του σιδήρου (FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄).

Συνέπειες της διάβρωσης

Η διάβρωση του σιδηρού οπλισμού προκαλεί αύξηση του όγκου του, με αποτέλεσμα τη δημιουργία εσωτερικών τάσεων και ρηγματώσεων. Η ζημιά που προκαλείται είναι διπλή καθώς

- Μετά την οξειδωση του χάλυβα **μειώνεται η ενεργός διατομή** του, άρα **μειώνεται η στατική επάρκεια της κατασκευής**.
- Οι νεοσχηματισθείσες ρηγματώσεις αυξάνουν την διαπερατότητα του σκυροδέματος σε CO₂ δημιουργώντας έτσι τις προϋποθέσεις για νέες ρηγματώσεις και την επιτάχυνση της διάβρωσης του οπλισμού.

Εντοπισμός της διάβρωσης

Ο εντοπισμός του διαβρωμένου οπλισμού σε στοιχεία οπλισμού σκυροδέματος μπορεί να γίνει είτε οπτικά (με απλή παρατήρηση), είτε ενόργανα (όταν ενδιαφέρει να γίνουν ακριβείς μετρήσεις).

1. Οπτικός εντοπισμός

Η διάβρωση των οπλισμών του σκυροδέματος εντοπίζεται από τις συνέπειες της πάνω στο σκυρόδεμα. Τα σημάδια που μαρτυρούν ύπαρξη διαβρωμένου οπλισμού, εύκολα μπορούν να εντοπιστούν μετά από παρατήρηση του κτιρίου από τον πραγματογνώμονα – μηχανικό.



Ρηγματώση παράλληλα στους οπλισμούς

Τα προϊόντα της αντίδρασης που συμβαίνει κατά την διάβρωση του χάλυβα έχουν όγκο περίπου κατά 40% μεγαλύτερο από τον αρχικό όγκο χάλυβα. Αυτό έχει ως συνέπεια την δημιουργία ρηγματώσεων παράλληλα με τον οπλισμό (φωτ.1).



Αποφλοίωση σκυροδέματος

Συμβαίνει απόσπασση μεγάλου επιφανειακού κομματιού σκυροδέματος σε βάθος ίσο περίπου με την επικάλυψη του οπλισμού (φωτ.2).



Κηλίδες σκουριάς στην επιφάνεια του σκυροδέματος

Εμφανίζονται στις παρειές ή στον πυθμένα στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα (φωτ.3).



Εκτίναξη επικάλυψης

Λόγω της μεγάλης τάσης εφελκυσμού που ασκείται από τον χάλυβα στο σκυρόδεμα συμβαίνει εκτίναξη της επικάλυψης. Παρατηρείται συνήθως σε περιπτώσεις χαμηλής ποιότητας σκυροδέματος και μεγάλης πυκνότητας οπλισμών (φωτ.4).

2. Ενόργανος εντοπισμός

Με τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού μπορούν να γίνουν συγκεκριμένες μετρήσεις είτε στον χάλυβα, είτε στο σκυρόδεμα, είτε σε ολόκληρη την κατασκευή με σκοπό την διαπίστωση του μεγέθους της διάβρωσης του οπλισμού. Οι μετρήσεις αυτές ελέγχουν το βάθος της ενανθράκωσης, το πορώδες, το βάθος και το εύρος των ρωγμών, την εμπεριεχόμενη υγρασία, το πάχος της επικάλυψης, την ενεργό διάμετρο των ράβδων και τον βαθμό διάβρωσης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Το κύριο πρόβλημα από άποψη ανθεκτικότητας του οπλισμένου σκυροδέματος είναι η διάβρωση των οπλισμών. Αιτίες που προκαλούν διάβρωση των οπλισμών είναι η ενανθράκωση του σκυροδέματος, η είσοδος χλωριόντων στο σκυρόδεμα, οι ρηγματώσεις στην επιφάνειά του και η ηλεκτροχημική διάβρωση. Η ζημιά που τελικά προκαλείται στα κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος είναι διπλή καθώς με την οξειδωση του χάλυβα μειώνεται η ενεργός διατομή του, άρα μειώνεται η στατική επάρκεια της κατασκευής, οι Δε νεοσχηματισθείσες ρηγματώσεις αυξάνουν την διαπερατότητα του σκυροδέματος σε CO₂, δημιουργώντας έτσι τις προϋποθέσεις για νέες ρηγματώσεις και την επιτάχυνση της διάβρωσης οπλισμού.

Η έγκαιρη διάγνωση ζημιών – βλαβών από διάβρωση οπλισμού, ή διερεύνηση του μεγέθους διάβρωσης μετά από ένα ζημιογόνο γεγονός (π.χ. σεισμός, καθίζηση, κλπ) δίνει τη δυνατότητα **κατά την ανάληψη του κινδύνου** να εντοπίζονται έγκαιρα οι βλάβες αυτές, ώστε να αξιολογείται ανάλογα ο κίνδυνος και να ενημερώνεται ο ιδιοκτήτης και οι χρήστες του ακινήτου προκειμένου να λάβουν έγκαιρα τα απαραίτητα μέτρα (επισκευές, ενισχύσεις) ώστε να αποφύγουν τα χειρότερα, **μετά δε από ένα ζημιογόνο γεγονός** όταν πλέον γίνεται εκτίμηση αποκατάστασης των ζημιών, εφ' όσον κρίνεται σκόπιμο, υπάρχει η δυνατότητα εκτίμησης του κόστους αποκατάστασης των ζημιών που προκλήθηκαν από ένα καλυπτόμενο ζημιογόνο γεγονός και όχι εν γένει των ζημιών – βλαβών που το κτίριο παρουσιάζει μετά το ζημιογόνο γεγονός.

Η διάβρωση των οπλισμών εντοπίζεται από τις συνέπειές της πάνω στο σκυρόδεμα. Τα σημάδια που μαρτυρούν ύπαρξη διαβρωμένου οπλισμού, εύκολα μπορούν να εντοπιστούν μετά από παρατήρηση του κτιρίου από τον **πραγματογνώμονα – μηχανικό** κατά την επιθεώρηση του κτιρίου, εφ' όσον δε κριθεί απαραίτητο να γίνουν ακριβείς μετρήσεις πριν ή μετά από μια ζημιά, η ύπαρξη πλέον σύγχρονων τεχνολογικών μέσων δίνει τη δυνατότητα αυτή.