

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΙΣ ΔΟΜΗΤΙΚΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΧΑΡΗΣ Α. ΑΠΟΣΤΟΛΟΠΟΥΛΟΣ

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία, αναφέρεται στα προβλήματα δομητικών επεμβάσεων σε μνημεία με φέροντα οργανισμό οπλισμένο σκυρόδεμα, ιδιαίτερα όταν αυτά, ευρίσκονται σε σειсмоγόνο χώρο. Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, οι λαοί ολόκληρου του κόσμου συνειδητοποιούν κάθε μέρα και περισσότερο, την ανάγκη της διατήρησης του πολιτιστικού αγαθού που αντιπροσωπεύουν αυτές οι μνημειακές δομές.

Ωστόσο, οι ανάγκες για επέμβαση σε πολλές κατασκευές (χαρακτηρισμένες ως διατηρητέα μνημεία που ήδη προέκυψαν), κρίνονται επείγουσες. Η σοβαρότητα αυτού του θέματος είναι πολύ μεγάλη, ιδιαίτερα, όταν οι δομές αυτές, ευρίσκονται σε χρήση και αποτελούν χώρο εργασίας, ή διαμονής ή ακόμη χώρο συνάθροισης πολλών ανθρώπων όπως για παράδειγμα είναι οι εκκλησίες.

Σήμερα, τα θέματα που σχετίζονται από ιστορικής και κτιριοδομικής άποψης με τις αρχές των επεμβάσεων, διέπονται από διεθνείς χάρτες και συμβάσεις όπως είναι ο Χάρτης της Βενετίας του 1964, η Διακήρυξη του Άμστερνταμ του 1975, ο Διεθνής Χάρτης για την προστασία των ιστορικών πόλεων του 1987 και η Σύμβαση της Γρανάδας του 1985. Διεθνώς όμως, παρατηρείται έλλειψη οδηγιών για τον σχεδιασμό και την εφαρμογή δομητικών επεμβάσεων σε κτίρια μνημειακού χαρακτήρα με φέροντα οργανισμό οπλισμένο σκυρόδεμα.

Η παρούσα εργασία, παράλληλα θίγει τους λόγους που καθιστούν αναγκαία την σύνταξη ενός σχεδίου οδηγιών για αξιόπιστες επεμβάσεις σε μνημεία από οπλισμένο σκυρόδεμα σε σεισογενείς περιοχές. Ο λόγος που κάνει το θέμα αυτό ιδιαίτερος σύνθετο, είναι ακριβώς η φύση των υλικών του φέροντος οργανισμού, δηλαδή το σκυρόδεμα και ο χάλυβας. Ήδη, η επιστημονική έρευνα έχει καταστήσει σαφή την σχέση της διάβρωσης λόγω των φυσικών περιβαλλοντικών επιδράσεων και της υποβάθμισης των μηχανικών χαρακτηριστικών του οπλισμένου σκυροδέματος.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη χώρα μας, η οποία παρουσιάζει την υψηλότερη σεισμική επικινδυνότητα στην Ευρώπη, ο σχεδιασμός και η κατασκευή των δομών ώστε να δέχονται με ασφάλεια τις σεισμικές καταπονήσεις, αποτελούσε και αποτελεί βασική προτεραιότητα [1].

Πολλοί είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης και την πρόβλεψη της σεισμικής συμπεριφοράς του φέροντος οργανισμού μίας τέτοιας δομής από

οπλισμένο σκυρόδεμα, όταν μάλιστα, αυτή έχει κηρυχθεί ως μνημείο, άξιο διατήρησης και κατασκευάστηκε σε μια σχετικά μακρινή χρονική περίοδο, πιθανόν ακόμη και προπολεμικά. Συνοψίζοντας ορισμένους από τους παράγοντες που συνιστούν τον γενικό προβληματισμό και τη δυσχέρεια στις δομητικές επεμβάσεις μνημείων από οπλισμένο σκυρόδεμα, αυτοί είναι:

•Η εξαιρετικά δύσκολη εργασία του εντοπισμού των τεχνικών σχεδίων των ξυλοτύπων. Σε πολλές μάλιστα περιπτώσεις οι στατικές μελέτες αυτών των κτιρίων, αν ευρεθούν και είναι διαθέσιμες, είναι δύσκολο να διαπιστωθεί η ακριβής εφαρμογή τους. Αυτό σημαίνει ότι πολλά κατασκευαστικά στοιχεία που είναι καθοριστικά στην σεισμική συμπεριφορά της κατασκευής, είναι αδύνατο να ελεγχθούν οπτικά και απαιτείται η χρήση εργαστηριακών δοκιμών και η χρήση διαγνωστικών μεθόδων.

•Ένας άλλος κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει την πρόβλεψη της σεισμικής συμπεριφοράς της δομής του μνημείου είναι και το αναμενόμενο μέγεθος του σεισμικού κινδύνου που το απειλεί [1]. Η σεισμική επικινδυνότητα μιας περιοχής, μόνο πιθανολογικά μπορεί να εκτιμηθεί και η μέγιστη αναμενόμενη σεισμική δράση στο συγκεκριμένο σημείο αλλά και η σφοδρότητα με την οποία θα καταπονηθεί τούτο, ενέχει πολλές αβεβαιότητες όπως έχει καταδειχτεί στους πρόσφατους σεισμούς στην Ελλάδα αλλά και διεθνώς.

•Σημαντικός καθοριστικός παράγοντας είναι επίσης και η επισήμανση του περιβαλλοντικού μηχανισμού και η σοβαρότητα της προσβολής του φέροντος δομικού στοιχείου. Δηλαδή η καταγραφή της επελθούσας φθοράς του σκυροδέματος από το περιβάλλον, όπως από την επίδραση του εδάφους, από την παράκτια ατμόσφαιρα, από τα θαλάσσια ύδατα [2], της βιολογικής επίδρασης κ.λ.π.. Είναι γνωστό άλλωστε, ότι οι πιο πάνω δράσεις, ενέχονται για την απώλεια διατομής του σκυροδέματος, για την ενανθράκωση του, για την μεταβολή της πλαστιμότητας του καθώς και για αύξηση του ερπυσμού του.

•Όμοια, κρίσιμος παράγοντας για την αποτίμηση της υφισταμένης δομητικής κατάστασης είναι η επισήμανση της σοβαρότητας της επελθούσας φθοράς του σιδηροοπλισμού της κατασκευής λόγω διάβρωσης [3]. Είναι γνωστό ότι η διάβρωση επιδρά αρνητικά στην ολκιμότητα, στην φέρουσα ικανότητα, στην ενεργό διατομή του σιδηροοπλισμού και κατ' επέκταση στην φέρουσα ικανότητα και φυσικά στην πλαστιμότητα της φέρουσας από οπλισμένο σκυρόδεμα κατασκευής.

Μετά από αυτά γίνεται φανερό, ότι απαιτείται εργασία από διευρυμένη (ως προς το αντικείμενο) επιστημονικής ομάδας, που θα καταστήσει δυνατή την μετατροπή της διάσπαρτης επιστημονικής γνώσης σε σχέδιο οδηγιών για αξιόπιστες επεμβάσεις. Οι οδηγίες αυτές βεβαίως, γρήγορα θα συμπληρωθούν με τον εντοπισμό ειδικών θεμάτων, όπου η διατεθειμένη γνώση ακόμη δεν επαρκεί.

Σήμερα, η ακολουθούμενη συνήθης πρακτική επεμβάσεων (σε διατηρητέα από οπλισμένο σκυρόδεμα κτίρια), αναλώνεται σ' έναν τύπο προσεισμικών επεμβάσεων οι οποίες ευρίσκονται απ' αρχής σε λάθος κατεύθυνση, διότι αυτές αντιμετωπίζονται δίχως να προηγείται η αναγνώριση και η αναστολή του δρώντος περιβαλλοντικού παράγοντα και φυσικά δίχως σωστή αποτίμηση [4] της υφιστάμενης δομητικής κατάστασης. Οι επελθούσες βλάβες στις δομές με φέροντα οργανισμό οπλισμένο σκυρόδεμα, κατασκευάστηκαν σε εποχές με ελλιπή τεχνογνωσία περί τα υλικά και περί την ορθή εφαρμογή «της τότε νέας» τεχνολογίας. Έτσι λοιπόν, η προσπάθεια δομητικής

επέμβασης τέτοιων δομών, παρουσιάζει πολλές αβεβαιότητες και ο υπολογισμός της απομένουσας αντοχής δεν είναι εύκολη υπόθεση.

Η μέχρι σήμερα προσπάθεια αντιμετώπισης των αβεβαιοτήτων με στατιστικές μελέτες [5] σχετίζεται περισσότερο με τον οικονομικό σχεδιασμό και φυσικά δεν δίνουν διέξοδο.

Έτσι, γρήγορα πρέπει να γίνει κατανοητό, ότι η λογική σχεδιασμού επεμβάσεων σε μνημειακές δομές, με φέροντα οργανισμό οπλισμένο σκυρόδεμα πρέπει να αλλάξει ριζικά. Συγχρόνως δε, πρέπει να γίνει έγκαιρα κατανοητή η ανάγκη παροχής γνώσεων στους φοιτητές των Πολυτεχνείων μας, με έμφαση στα θέματα των φυσικών περιβαλλοντικών βλαπτικών δράσεων στα βασικά υλικά των δομών αυτών, που είναι ο χάλυβας και το σκυρόδεμα.

Σήμερα στο Εργαστήριο Τεχνολογίας και Αντοχής Υλικών του τμήματος Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών, για το θέμα αυτό, διενεργείται σημαντική προσπάθεια ποσοτικοποίησης της υποβάθμισης της φέρουσας ικανότητας του σιδηροοπλισμού και του αλουμινίου, λόγω περιβαλλοντικών επιδράσεων, στην διάρκεια του χρόνου [6].

3. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΜΟΡΦΗΣ ΒΛΑΒΩΝ

Σε πρόσφατη σχετική έρευνα σε διατηρητέες ή άξιες προς διατήρηση δομές στην Πάτρα, έγινε καταγραφή βλαβών με απλό οπτικό έλεγχο δίχως διερεύνηση κυρίως σε ζυγώματα - πλάκες και στύλους. Οι βλάβες, περιλαμβάνουν ρηγματώσεις – αποφλοιώσεις και αποκολλήσεις του σκυροδέματος οι οποίες συνοδεύονται από οπτικά εμφανείς ή λιγότερο εμφανείς διαβρώσεις του “κυρίου” διαμήκους οπλισμού και του εγκάρσιου οπλισμού συνδετήρων.

Οι ρηγματώσεις που παρατηρήθηκαν ήταν διαφόρων μορφών, διαστάσεων και τύπων. Αυτές, ταξινομήθηκαν ως προς το εύρος τους σε τριχοειδείς με πλάτος μικρότερο από 0.30 mm σε τυχαίες θέσεις, σε μεσαίες μεταξύ 0.30mm και 2.00mm και σε μεγάλες, δηλαδή, μεγαλύτερες από 2.00mm.

Οι μεσαίου και μεγάλου εύρους ρωγμές όπου παρατηρήθηκαν, αυτές συνδυάστηκαν με διαβρωμένο σιδηροοπλισμό σε διάφορους βαθμούς.

Οι διαμήκεις ρωγμές παράλληλες στον άξονα του υποστρώματος ή του ζυγώματος συνοδεύονται με σοβαρές διαβρώσεις και σημαντική μείωση της διατομής του σιδηροοπλισμού, επίσης στον σιδηροοπλισμό φερόντων στοιχείων όπως είναι οι πλάκες δωμαίων παρουσιάζεται κατά κανόνα έντονη διάβρωση.

Το σύνολο των καταχωρηθέντων βλαβών διαβαθμίστηκε και ταξινομήθηκε όπως στις εργασίες [7], [8].

Τα κριτήρια με τα οποία αξιολογήθηκαν οι βλάβες των δομικών στοιχείων από σκυρόδεμα είναι τα παρακάτω:

Στοιχεία “υγιή”: δεν παρουσιάζουν βλάβη.

Στοιχεία με ασήμαντη βλάβη: παρουσιάζουν τριχοειδείς μικρού μήκους ρωγμές, ή τοπικές μικρές αποκολλήσεις σκυροδέματος χωρίς διάβρωση σιδηροοπλισμού ή μικρού πάχους επικαλύψεις με ελάχιστες σημειακές αποκαλύψεις όχι διαβρωμένου σιδηροοπλισμού.

Στοιχεία με μικρές βλάβες: παρουσιάζουν σημαντικό αριθμό τριχοειδών ρωγμών μεγάλου μήκους, εγκαρσίων και μορφής καννάβου ή μικρό αριθμό ρωγμών μεσαίου εύρους και μικρού μήκους, ή τοπικές αποκολλήσεις σκυροδέματος ή μικρή διάβρωση οπλισμού.

Στοιχεία με μέτριες βλάβες: παρουσιάζουν μεγάλο αριθμό μεσαίων εγκαρσίων ρωγμών και επίσης μεγάλο αριθμό μεσαίου εύρους διαμήκων ρωγμών ή μικρό αριθμό μεγάλου εύρους, ρωγμών, μικρού μήκους ή αποκολλήσεις σκυροδέματος ή σημαντική διάβρωση οπλισμού ή συνδυασμό δύο βλαβών της προηγούμενης κατηγορίας.

Στοιχεία με μεγάλες βλάβες: παρουσιάζουν πλήθος ρωγμών μεσαίου εύρους ή ρωγμές με μεγάλες αποκολλήσεις σκυροδέματος με διαβρωμένο σιδηροοπλισμό ή μεγάλου εύρους ρωγμές με μεγάλο μήκος ή συνδυασμό δύο βλαβών της προηγούμενης παραγράφου.

3.1 Αξιολόγηση Βλαβών

Από την επεξεργασία των δεδομένων της έρευνας φάνηκε ότι τα «υγιή» δομικά στοιχεία αποτελούν περίπου το 30% του συνολικού στατιστικού δείγματος, τα δομικά στοιχεία με ασήμαντες βλάβες 22%, με μικρές βλάβες 20% και δομικά στοιχεία με μέτριες βλάβες 19%, όμως το 9% περίπου του συνολικού στατιστικού δείγματος, παρουσιάζουν, κρίσιμες βλάβες.

Οι ηλικίες των δομών που εξετάστηκαν είναι 70 ετών – 60 ετών – 50 ετών – 40 ετών και 25 ετών. Εκτιμάται ότι η καταγραφή των βλαβών με σύγχρονες διαγνωστικές μεθόδους θα δώσει δυσμενέστερα αποτελέσματα.



Εικόνα 1.

Διάβρωση σιδηροοπλισμού πλάκας με διάκενα από οπτόπλινθους σε δώμα



Εικόνα2.

Διάβρωση σιδηροοπλισμού σε κόμβο.



Εικόνα 3.

Διάβρωση σιδηροοπλισμού δαπέδου ισογείου



Εικόνα 4.
Έντονες διαβρώσεις σε ζυγώματα
σιδηροοπλισμού υπογείου



Εικόνα 5.
Έντονες διαβρώσεις σε ζυγώματα
σιδηροοπλισμού υπογείου

Σε περιοχές υψηλής σεισμικής επικινδυνότητας, ο σεισμός αναμένεται να γίνει η κυρίαρχη αφορμή βλαβών και καταρρεύσεων ιστορικών κτιρίων, μνημείων από οπλισμένο σκυρόδεμα, τα οποία προηγουμένως, υπέστησαν σημαντική υποβάθμιση εξ αιτίας περιβαλλοντικής δράσης. Η αποκαλυπτόμενη ευαισθησία των υλικών που συνιστούν το οπλισμένο σκυρόδεμα λόγω φυσικών περιβαλλοντικών επιδράσεων, επί 50 ~ 60 έτη, πλέον είναι προφανής και μεγάλη.

4. ΑΙΤΙΑ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΟΠΛΙΣΜΟΥ

Είναι γνωστό, ότι το σκυρόδεμα παρέχει την «παθητική» προστασία στο σιδηροοπλισμό έναντι διάβρωσης με την δημιουργία στρώματος οξειδίων του σιδήρου στην επιφάνεια του χάλυβα. Όσο υπάρχει αυτό το προστατευτικό στρώμα, δεν συμβαίνει διάβρωση. Είναι επίσης δυνατόν, να καταστραφεί το προστατευτικό στρώμα των οξειδίων και ο χάλυβας να μην διαβρώνεται, διότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες δεν είναι ευνοϊκές. Δυστυχώς, όμως, διάβρωση του χάλυβα, συμβαίνει σε όλες τις άλλες περιπτώσεις όπως αυτές αναφέρονται πιο κάτω:

-Όταν το σκυρόδεμα είναι κακής ποιότητας και παύει να παρέχει παθητική προστασία στον χάλυβα.

-Όταν το περιβάλλον δεν είναι το αναμενόμενο ή άλλαξε κατά την διάρκεια της χρήσης (π.χ. χώροι που παρουσιάζουν αυξημένη υγρασία ή οι ξηρές συνθήκες μεταβλήθηκαν ξαφνικά σε υγρές).

-Όταν ο χάλυβας λόγω ελλειπούς επικάλυψης έρχεται σε επαφή με υλικά τα οποία δεν παρουσιάζουν αλκαλικότητα.

-Όταν ο χάλυβας έχει κατασκευαστικές ατέλειες ή είναι εξαιρετικά ευαίσθητος ή έρχεται σε επαφή με άλλα μέταλλα (όπως ο χαλκός που «τρώει» τον σίδηρο) ή ακόμη και με άλλη ποιότητα σιδηροοπλισμού. Τέτοιες βλάβες καθημερινά και με δικές μας εντολές παρακολουθούμε, ιδιαίτερα στις εργασίες επισκευής ή επέκτασης κτιρίων όπου συνδέουμε με απλή παράθεση ή ηλεκτροσυγκόλληση (π.χ. S220-S500 και S400-S500).

Η διάβρωση σιδηροπλισμών επιταχύνεται όταν ο φέρων οργανισμός των κτιρίων ευρίσκεται σε περιβάλλον μεταβολής της θερμοκρασίας ή υπό την επίδραση μικρού πλάτους ταλαντώσεων (π.χ κυκλοφορία οχημάτων).

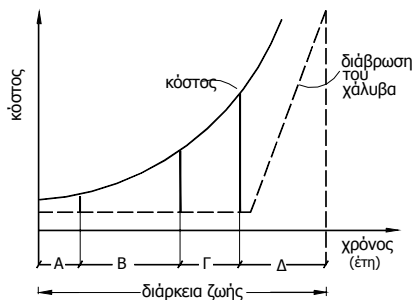
Ο τρόπος με τον οποίο διαβρώνεται ο χάλυβας, ποικίλει σημαντικά ανάλογα με την αιτία που προκαλεί τη διάβρωση. Η καταγραφή της μορφής της διάβρωσης πάνω στον χάλυβα κατατάσσει την διάβρωση στις πιο κάτω κατηγορίες:

- Γενική ομοιόμορφη διάβρωση.
- Τοπική διάβρωση, ήτοι διάβρωση κατά βελονισμό (pitting), διάβρωση μεταξύ κόκκων (intergranular), μικρορηγματώδης διάβρωση (crevice).
- Διάβρωση από ανάπτυξη εξωτερικής διαφοράς δυναμικού μεταξύ χαλύβων διαφορετικής ποιότητας, από ηλεκτρική εκκένωση, από γαλβανική δράση (galvanic) ή από ηλεκτρολυτική διάβρωση (electrolytic), από την ύπαρξη μεγάλης ισχύος ηλεκτρικών αντιστάσεων κ.λ.π..
- Διάβρωση υπό μηχανική τάση (stress- corrosion). Αυτή η κατηγορία διάβρωσης από άποψη αποτελέσματος, οδηγεί σε εξαιρετικά μεγάλες καταστροφές ειδικά σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα. Μία παραλλαγή αυτού του φαινομένου είναι η θραύση του σιδηροοπλισμού σε διαβρωτικό περιβάλλον από ολιγοκυκλική κόπωση όπως μπορεί να συμβεί, στην περίπτωση σεισμικής φόρτισης.

4.1 Ελαχιστοποίηση του κόστους αποκατάστασης σιδηροοπλισμού μιας κατασκευής

Η ελαχιστοποίηση του γενικευμένου κόστους αποκατάστασης λόγω διάβρωσης του σιδηροοπλισμού, γίνεται με την λήψη έγκαιρων αποφάσεων. Το πότε όμως θα επέμβουμε αλλά και με ποιο τρόπο, έχει μεγάλη σημασία για την πρόληψη της αστοχίας και για την ελαχιστοποίηση της απαιτούμενης για το θέμα δαπάνης. Πολλές φορές, πρέπει να γίνει «προληπτική επισκευή» και άλλες φορές προκύπτει ανάγκη πλήρους αντικατάστασης, όμως ανάλογα πάντα με το κόστος κάθε λύσης.

Ως κύριο παράδειγμα αναφέρεται από τον W. De Sitter [9], η διάβρωση των σιδηροπλισμών μιάς κατασκευής και δίνεται προς σύγκριση το κόστος επισκευής για κάθε φάση.



Σχήμα 1

Φάση Α. Φάση σχεδιασμού και κατασκευής, όπου λαμβάνονται μέτρα προστασίας και φυσικά δεν έχει συμβεί διάβρωση του σιδηροοπλισμού.

Φάση Β. Έχει συμβεί ενανθράκωση του σκυροδέματος, η διείδυση χλωριόντων ή άλλων βλαβερών ουσιών έχουν διαπεράσει την επικάλυψη χωρίς να συμβεί διάβρωση,

όπου προτείνονται μέτρα για να "προστατευθεί ο σιδηροοπλισμός.

Φάση Γ. Έχει αρχίσει η διεργασία διάβρωσης του σιδηροοπλισμού και προτείνονται πλέον ριζικά μέτρα.

Φάση Δ. Ο σιδηροοπλισμός έχει διαβρωθεί σε εκτεταμένες περιοχές, όπου πρέπει να επισκευαστούν και κατά τμήματα να αντικατασταθούν ολόκληρα μέρη της φέρουσας κατασκευής.

5. ΑΙΤΙΑ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

α. Μία σοβαρή αιτία υποβάθμισης του σκυροδέματος οφείλεται σε χημικές διαβρώσεις ανάλογα δε με τον μηχανισμό με τον οποίο προκαλείται η φθορά, διακρίνουμε:

- Την διάβρωση λόγω απόπλυσης όπου αφαιρείται ένα τμήμα ή το σύνολο του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού. Αυτού του είδους η βλάβη, εμφανίζεται αρχικώς στα άκρα, στις ακμές και αργότερα δημιουργούνται κοιλότητες μέχρις ότου επέρχεται η τελική αποσύνθεση.
- Την διάβρωση λόγω αντιδράσεων ανταλλαγής μάζας, η οποία προκαλείται από άλατα - φαινόλες - οξέα κ.λ.π.
- Την διάβρωση λόγω διόγκωσης, η οποία κυρίως προκαλείται από άλατα χλωρίου και θειικά άλατα. Τα προϊόντα της αντίδρασης είναι σταθερά και ογκώδη και προκαλούν ρηγματώσεις λόγω των ιδιοτήσεων που αναπτύσσονται στο τσιμεντοπολτό.

β. Επίσης, αίτια που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος, οφείλονται στην επίδραση άλλων ουσιών.

Οι φυτικοί και ζωικοί μικροοργανισμοί, μπορεί να προκαλέσουν διάβρωση στο σκυρόδεμα. Οι μικροοργανισμοί αυτοί για την ανάπτυξη τους, χρειάζονται ίχνη μεταλλικών στοιχείων, τα οποία προμηθεύονται από την επιφάνεια του σκυροδέματος. Η επίδραση αυτή, μπορεί να συμβεί σε επιφάνειες σκυροδέματος οι οποίες ευρίσκονται κοντά στην θάλασσα, σε υγρό περιβάλλον ή στο εσωτερικό αγωγών ύδρευσης - αποχέτευσης [10].

γ. Βιολογική επίδραση στο σκυρόδεμα προκαλούν:

- Οι ρίζες φυτών που εισδύουν στο σκυρόδεμα και με τις διαρρηκτικές τους δυνάμεις προκαλούν πρόσθετη ρηγμάτωση. Με την ανάπτυξη των φυτών εκκρίνονται οξέα από τις ρίζες και έτσι συμβαίνει χημική διάβρωση του τσιμεντοκονιάματος.
- Λειχήνες και βρύα που αναπτύσσονται σε υγρό σκυρόδεμα μειώνουν την τιμή του PH στην επιφάνεια του σκυροδέματος και επιταχύνουν την ανάπτυξη τους [11].

δ. Επίδραση θαλασσίου ύδατος :

Στην Ελλάδα μία κατ' εξοχήν παραθαλάσσια χώρα, η φθορά κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα λόγω επίδρασης θαλασσίου περιβάλλοντος ιδιαίτερα στις παράκτιες περιοχές, είναι αρκετά εκτεταμένη. Ο μηχανισμός φθοράς λόγω επίδρασης θαλασσίου ύδατος είναι πολύπλοκος, διότι συνδυάζει πολλές φυσικές και χημικές επιδράσεις όπως:

- Η υδροφθορά.
- Η επίδραση του CO₂ της ατμόσφαιρας.
- Η επίδραση των αλάτων μέσα στο νερό, κυρίως χλωριούχων και θεικών καθώς και μαγνησίου.
- Η επίδραση αλκαλίων
- Ο σχηματισμός βιολογικής μεμβράνης στην επιφάνεια του σκυροδέματος. [2],[12].

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα τελευταία χρόνια, με σταθερό ρυθμό αυξάνεται το πλήθος των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα που παρουσιάζουν φθορές και βλάβες.

Οι λόγοι πρόκλησης των βλαβών αυτών, είναι πολλοί, οι σπουδαιότεροι όμως απ' αυτούς είναι:

- Η ελλιπής γνώση πολλών και σύνθετων μηχανισμών φθοράς και προσβολής, σε συνδυασμό με το περιβάλλον ή το μικροπεριβάλλον των κατασκευών.

- Γενικώς η ελλιπής τεχνογνωσία του οπλισμένου σκυροδέματος.

- Σφάλματα εφαρμογής εξ' αιτίας του ότι οι παλαιότεροι κανονισμοί μελέτης και κατασκευής των δομών, έδιναν πολύ λίγες οδηγίες και παράλληλα είχαν ελάχιστες λειτουργικές απαιτήσεις. Οι λειτουργικές αυτές απαιτήσεις όμως, δεν εκφράζονταν ποσοτικά σαν οριακές τιμές (π.χ. μετακινήσεις).

- Η εντονότατη οικοδομική δραστηριότητα που πραγματοποιήθηκε μεταπολεμικά με χαμηλής στάθμης προδιαγραφές.

- Η γενικότερη χρήση του ανεπίχριστου σκυροδέματος σε συνδυασμό με την ελλιπή επικάλυψη των σιδηροοπλισμών με σκυρόδεμα καθώς και ο συνδυασμός όλων αυτών με άλλα αίτια όπως οι μηχανικές υπερφορτίσεις.

Η γνώση των φυσικών ιδιοτήτων των κρίσιμων υλικών της μνημειακής φέρουσας από οπλισμένο σκυρόδεμα κατασκευής, μας βοηθά να εκτιμήσουμε την απομένουσα αντοχή και συνεπώς κατά πόσο η κατασκευή λειτουργεί ικανοποιητικά και μπορεί να μεταφέρει με ασφάλεια τα φορτία σχεδιασμού αν υπάρχουν ή αυτά που θα υιοθετηθούν. Όταν ανακαλυφθεί ο μηχανισμός της φθοράς, πρέπει αυτός να διερευνηθεί καθώς και η εξέλιξη της φθοράς μέσα στον χρόνο, γιατί η ταχύτητα διάδοσης της είναι σημαντικός παράγοντας, για τον προσδιορισμό του χρόνου

επέμβασης. Κατ' αυτόν τον τρόπο, φαίνεται πόσο μεγάλη σημασία έχει η γνώση της μεταβολής των χαρακτηριστικών των υλικών, λόγω των φυσικών και χημικών επιδράσεων.

Σε κάθε περίπτωση πάντως, τόσο για το σκυρόδεμα όσο και για τον χάλυβα χωριστά, απαιτείται να ερευνηθούν τα εξής χαρακτηριστικά.

Σκυρόδεμα

- Η απώλεια διατομής λόγω αποφλοιώσης.
- Η μεταβολή της αντοχής λόγω γήρανσης, ενανθράκωσης κ.λ.π.
- Η μεταβολή της πλαστιμότητας σκυροδέματος.
- Η αυξητική μεταβολή του ερπυσμού.

Χάλυβας

- Η απώλεια διατομής λόγω διάβρωσης από το περιβάλλον, λόγω σχέσης της ηλεκτρικής γείωσης αλεξικεραύνων, λόγω ηλεκτρόλυσης, όσο και της συνεχούς υγρασίας στην θεμελίωση και αλλού.
- Η απώλεια συνάφειας.
- Ο προσδιορισμός των νέων μηχανικών ιδιοτήτων με πειραματικές δοκιμές εφελκυσμού-ολιγοκυκλικής κόπωσης, σκληρομέτρησης κλπ.

Σήμερα, οι πλέον διαδεδομένες μέθοδοι δομητικής επέμβασης σε φέροντες οργανισμούς από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι:

Τα ινοπλισμένα πολυμερή.

Σύμφωνα με επιστημονικά αποτελέσματα μακροχρόνιας έρευνας, η ποιότητα κατασκευής των σύνθετων ράβδων κατόπιν πολύ καλού σχεδιασμού, παρέχουν αρκετά υψηλή ανθεκτικότητα σε υφιστάμενα δομικά στοιχεία[13][14].

Οι ενισχύσεις με χαλύβδινες γωνιακές λάμες.

Αυτή η παραδοσιακή πλέον μέθοδος επέμβασης ενίσχυσης, μπορεί οπωσδήποτε να δώσει ικανοποιητική λύση όταν ο χαλύβδινος κλωβός (των γωνιακών ελασμάτων και των συνδετικών λαμών) συνδεθεί μονολιθικά με το από οπλισμένο σκυρόδεμα δομικό στοιχείο άλλως ο κλωβός (σε μεγάλες καταπονήσεις) δεν συνεργάζεται με το σκυρόδεμα [15],[16].

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (gunite) τελευταίως απετέλεσε βασική επιλογή ενίσχυσης βλαμμένων από το σεισμό δομικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η επιτυχία της εφαρμογής αυτής της μεθόδου, σχετίζεται με την απαραίτητη προεργασία στο υφιστάμενο δομικό στοιχείο (εκτράχυνση-συγκόλληση σιδηροπλισμών κ.λ.π.) και στην ορθή εκτόξευση και μετέπειτα συντήρηση [17].

Όμως είναι γνωστό, ότι οι διεθνείς χάρτες και οι διεθνείς συμβάσεις που διέπουν τις αρχές επέμβασης σε κτίρια- δομές που έχουν χαρακτηριστεί ως μνημεία, αναφέρονται “ στο σεβασμό στο πρωτότυπο υλικό και τα αυθεντικά στοιχεία.....οι σύγχρονες τεχνικές και τα υλικά θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν μόνο κατά τρόπο που θα επιτρέψουν εύκολη διορθωτική δράση σε μεταγενέστερη ημερομηνία”. Οι πιο πάνω αναφερθείσες μέθοδοι ακολουθούμενης δομητικής επέμβασης όμως, δεν εξασφαλίζουν αντιστρέψιμη επέμβαση.

Έτσι, πρέπει να αναζητηθούν εναλλακτικοί τρόποι προστασίας των φερόντων στοιχείων με διαφορετική μεθοδολογία και πρακτική, όπου κύριο και πρωταρχικό μέλημα, είναι η αναστολή

της διαβρωτικής δράσης με την βοήθεια καθοδικής προστασίας και με χρήση αναστολέων διάβρωσης. Μετά την αναστολή των φαινομένων της υποβάθμισης θα διατυπωθούν κανόνες και πρακτικές ήπιας επέμβασης στα φέροντα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος. Βεβαίως στην φάση αυτή θα γίνει επικάλυψη του σιδηροοπλισμού και του σκυροδέματος με προστατευτικά επιχρίσματα – χρήση σιδηροοπλισμού ειδικού τύπου (π.χ. επικαλυμμένης με εποξειδικό επίστρωμα, ανοξειδωτος χάλυβας, χάλυβας επιψευδαργυρωμένος)[18],[19]. Οι προτεινόμενες εναλλακτικές ενέργειες στατικής επέμβασης φυσικά, και τεχνογνωσία απαιτούν και μεγαλύτερο (υψηλότερο) κόστος.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά λοιπόν, μπορεί να διατυπωθεί η άποψη, ότι η ανάλυση και η διαστασιολόγηση κατά την στατική αποκατάσταση κατασκευών με φέροντα οργανισμό οπλισμένο σκυρόδεμα, είναι θέμα ειδικής θεωρίας των κατασκευών σε μνημειακές δομές. Επισημαίνεται, ότι η εφαρμογή μεθόδων σειράς που καθημερινά επαναλαμβάνεται κατά τον σχεδιασμό επέμβασης σε σύγχρονα κτίρια, διαφέρει ριζικά από την επιβαλλόμενη μέθοδο δομητικής επέμβασης μνημειακών έργων με φέροντα οργανισμό επίσης οπλισμένο σκυρόδεμα. Στα μνημειακά έργα, δίνεται έμφαση στην διατήρηση της αισθητικής και της ιστορικής τους αξίας. Τα προβλήματα αυτά, γίνονται εντονότερα, όταν οι προς διατήρηση δομές είναι χώροι συνάθροισης κοινού (όπως είναι οι ιεροί ναοί) και σύμφωνα με τις προδιαγραφές είναι κτίρια μεγάλης σπουδαιότητας [1].

Ο στόχος της δομητικής επέμβασης για την στατική αποκατάσταση λοιπόν, πρέπει να εναρμονίζεται με τις Διεθνείς Συμβάσεις και Διακηρύξεις αρχών που απαιτούν:

- Σεβασμό στο πρωτότυπο υλικό και τα αυθεντικά στοιχεία.
- Η αναπλήρωση των ελλειπόντων στοιχείων, να εναρμονίζεται προς το σύνολο αλλά ταυτόχρονα πρέπει να είναι διακριτή σε σχέση με την πρωτότυπη κατασκευή.
- Προσθήκες δεν επιτρέπονται, εκτός εάν δεν αφαιρούν από τα ενδιαφέροντα τμήματα της κατασκευής.
- Οι παραδοσιακές τεχνικές και τα παραδοσιακά υλικά, είναι σαφώς προτιμότερα για δομικές αποκαταστάσεις (στην συγκεκριμένη περίπτωση όμως τίθεται θέμα, σχετικά με το ποια υλικά χαρακτηρίζονται παραδοσιακά).
- Σύγχρονες τεχνικές και υλικά είναι αποδεκτά, όταν η απαιτούμενη φέρουσα ικανότητα δεν μπορεί να εξασφαλιστεί από παραδοσιακές τεχνικές. Διαφορετικά, οι σύγχρονες τεχνικές και τα υλικά, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν μόνο κατά τρόπο που θα επιτρέψει εύκολη διορθωτική δράση σε μεταγενέστερη ημερομηνία (αντιστρέψιμη επέμβαση).
- Ειδικά μέτρα, είναι απαραίτητο να προστατεύουν και να ασφαλίζουν τις τυχόν τοιχογραφίες και τις διακοσμήσεις από ψηφιδωτά. Αυτή η απαίτηση, μπορεί να αποκλείσει την χρήση κάποιων τεχνικών ενίσχυσης οι οποίες είναι πιθανόν να προκαλέσουν ζημιές. Ο σχεδιασμός, οι υπολογισμοί και η επίβλεψη επέμβασης σε μία τέτοια διατηρητέα μνημειακή κατασκευή, πρέπει να γίνεται από μία ομάδα πεπειραμένων και ειδικευμένων μηχανικών, πολλών ειδικοτήτων (Αρχιτεκτόνων – Χημικών Μηχανικών – Μηχανολόγων, Μεταλλουργών – Πολιτικών

Μηχανικών σε συνεργασία με Αρχαιολόγους, Συντηρητές – Μαρμαροτεχνίτες – Ζωγράφους – Βιολόγους κ.λ.π.).

Η παράθεση μερικών εκ των αρχών αυτών, δείχνει το πολύ αυστηρό πλαίσιο που μπορεί να κινηθεί μία μελετητική ομάδα μηχανικών στηριζόμενη συχνά σε ελλειπή ή ανύπαρκτα εργαστηριακά αποτελέσματα και σε αμφίβολες πληροφορίες για τα υλικά και την δόμηση. Η συνεργασία των παραπάνω ειδικοτήτων είναι απαραίτητη [20] διότι οι άνθρωποι που στερούνται βασικής μόρφωσης στην περιοχή της συντήρησης δεν είναι συχνά ικανοί να πραγματοποιήσουν σωστά την επεξεργασία. Δεν γνωρίζουν παρά μόνον στοιχειώδεις επεξεργασίες που εφαρμόζουν χωρίς να λαμβάνουν υπ' όψιν τα αίτια της φθοράς και τις ειδικές ιδιότητες του αντικειμένου. Συμβαίνει, τα αποτελέσματα της επεξεργασίας, ενίοτε να είναι βλαβερά. Επειδή όμως η πολιτεία, παραχωρεί το δικαίωμα εργασίας στους πτυχιούχους όλων των πιο πάνω ειδικοτήτων, οφείλει να αναπροσαρμόσει τις απαιτήσεις εξειδίκευσης με τις απαραίτητες εξετάσεις από επιτροπή ειδικών. Σε κάθε περίπτωση, να μπορούν να ασκήσουν το επάγγελμά τους υπό την εποπτεία ενός διαπρεπούς ειδικού. Έτσι, η ανάγκη σύνταξης σχεδίου οδηγιών για αξιόπιστη ανάλυση – διαστασιολόγηση – επιλογή τεχνικών και υλικών κατά την δομική επέμβαση αποκατάστασης μνημείων με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα σε σεισμογενείς περιοχές, αποτελεί πρόκληση και θέμα για άμεση ευρεία επιστημονική ερευνητική συνεργασία.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000(ΕΑΚ 2000), Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος 2000, (ΕΚΩΣ 2000), Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος 1997(ΚΤΣ 1997), Κανονισμός Τεχνολογίας χαλύβων οπλισμού Σκυροδέματος (Κ.Τ.Χ –2000)
- [2]. Regourd, M., Hormain, H., Mortureux, B., “Microstructure of Concrete in Aggressive Environments”, Durability of Building Materials and Components, ASTM STP 691, American Society for Testing and Materials 1980, p.p. 2253-2268.
- [3]. Andrade, C., Castelo, V., Alonso, C., Gonzalez, J.A., “The determination of Corrosion Rate of Steel embedded in concrete by the Polarization Resistance and Anodic Current Impedance Methods”, Corrosion Effect of Stray Currents and the Techniques of Evaluating Corrosion of Rebars in Concrete, ASTM STP 906, American Society for Testing and Materials, 1985.
- [4]. Federal Emergency Management Agency, “FEMA 356: Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings” Prepared by ASCE, Washington D.C., November 2000.
- [5]. Müller K.F., “The possibility of evolving a theory for predicting the service life of reinforced concrete structures”, *Materiaux et Constructions*, Vol. 18, No 108, 1985.
- [6]. Sp. G.Pantelakis, Th. B. Kermanidis, P.G. Daglaras and Ch. Alk. Apostolopoulos, “The effect of existing corrosion on the structural integrity of aging aircraft”, In: Proc. of the RTO AVT workshop on “Fatigue in the Presence of Corrosion”. Corfu, Greece 7-8 October 1998: AGARD RTO MP - 18, 1999, pp. 6.1 to 6.13.
- [7]. W. Griese – Muller Elektrizitätswirtschaft 85 (1986). H. 3, S81 – 88. efrassung von schaden an betonmasten und deren statistische auswertung.
- [8]. L.I. Parrot *Materials and structures* 23 – 135/ 1990. Damage caused by carbonation of Reinforced concrete.
- [9]. De Sitter W.R., “Costs for Service life Optimization, the Law of Fives”, CEB-RILEM Work shop

- Report, Copenhagen, May, 1983, pp 131-134.
- [10]. Biczok I., “concrete corrosion – concrete Protection” 8th Edition, Budapest, 1972.
- [11]. Regourd M., “Durability, Physico-chemical and biological processes related to concrete”, CEB-RILEM Workshop Report, Copenhagen, May, 1983, pp 49-71.
- [12]. Soroka I., « Portland cement paste and concrete », Israel, 1979.
- [13]. Demis, S., Sheard, P., Byars, E., Pilakoutas, K. (1999). EYROCRETE durability FRP testing programme, Research leading to the development of design Guidelines for the Use of FRP in concrete structures. Proceedings of the second confibre crete meeting, Sintra.
- [14]. Pilakoutas, K. (1999) Composite in concrete construction, Mc Graw Hill.
- [15]. CEB. BULLETIN 162: “assessment of concrete structures and design procedures for upgrading”, Paris, 1983.
- [16] H. Apostolopoulos, S. Dritsos, Finite element analysis of Reinforced concrete columns strengthened by the steel caging technique. The sixth second International Conference, University of Oxford, 26-27 March 1998, pp. 503-508.
- [17]. Σχέδιο προδιαγραφής για το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα βάσει της Δ14/28663/οικ/20.01.1999 Απόφαση του ΥΠΕΧΩΔΕ.
- [18]. N.S. Berke, D.W. Preifer, T. G. Weil, Protection against chloride-induced corrosion” concrete International, December, pp. 45-55, 1998.
- [19]. Γ.Μπατής, Γ.Κατσαντώνης, Ανθεκτικότητα σκυροδεμάτων με αναστολείς διάβρωσης οπλισμού τεχνικά χρονικά ΤΕΕ, Μάιος pp.111-119, 1999.
- [20]. W.Domaslovski: “Les Problemes Actuels de Protection et de Conservation des Monuments en Pierre” Intern. Congress «Patrimonio Historico, Artistico y Contamination».

Χάρης Α Αποστολόπουλος
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός
Λέκτορας στο Εργαστήριο Τεχνολογίας και Αντοχής Υλικών,
του τμήματος Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών
του Πανεπιστημίου Πατρών.
Τηλ.: 2610-422090
e-mail: capostolo@tee.gr