



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



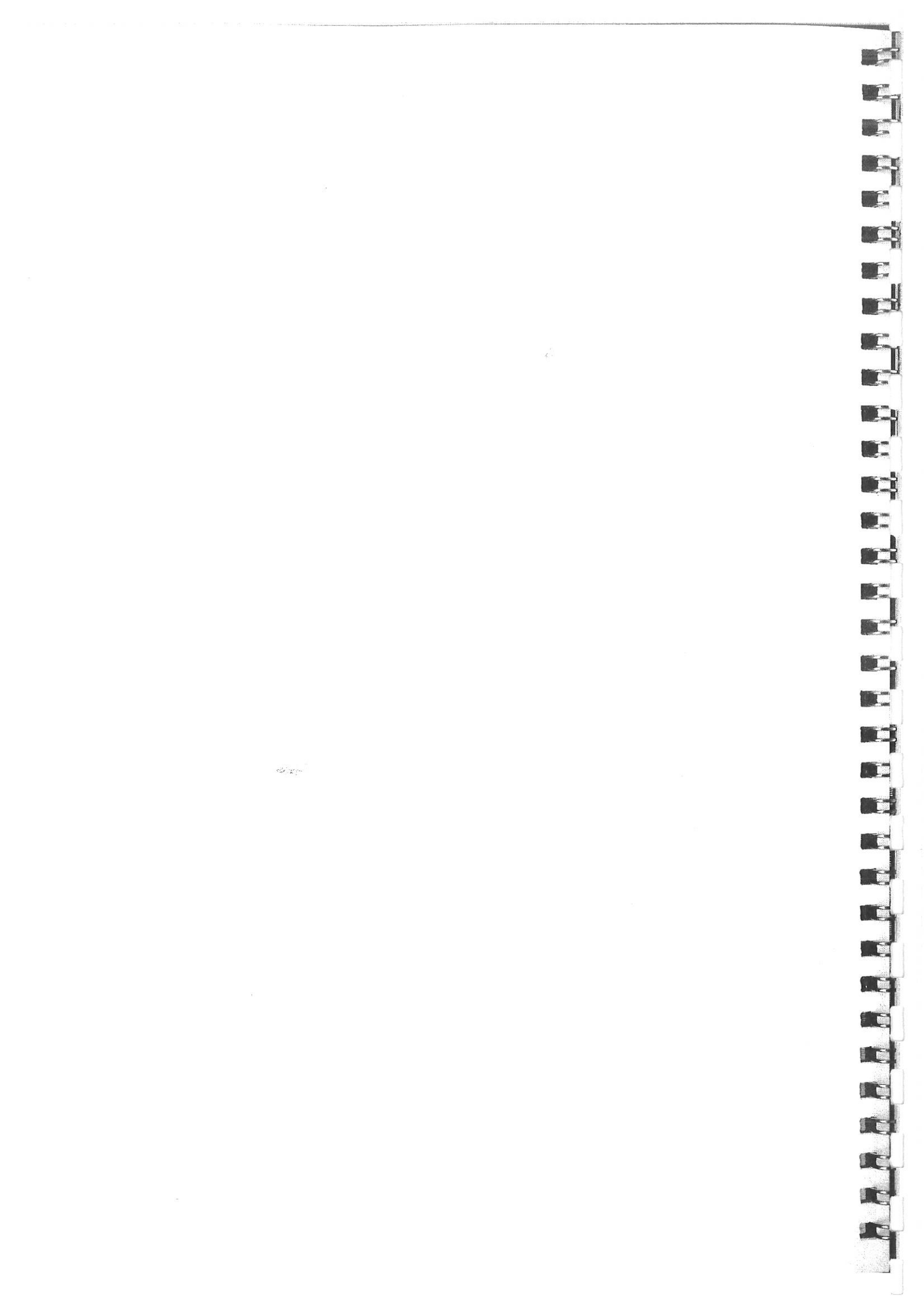
Ομότιμος Καθηγητής Γ. Μπατής  
Ηρώων Πολυτεχνείου 9  
15780-Ζωγράφου  
Τηλ. 2107723186  
Fax 2107723184  
Κινητό: 6944965730  
Email: [batis@chemeng.ntua.gr](mailto:batis@chemeng.ntua.gr)

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ  
Ε. Ζαχαροπούλου  
Ηρώων Πολυτεχνείου 9  
15780-Ζωγράφου  
Τηλ. 2107723186  
Κινητό: 6947304292  
Email: [evg.zachar@gmail.com](mailto:evg.zachar@gmail.com)

**ΘΕΜΑ: ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ & ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ  
ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΑΓΙΟΥ ΜΗΝΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ**



ΑΘΗΝΑ – Σεπτέμβριος 2021





## Πίνακας περιεχομένων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
Η διάβρωση του οπλισμού στο σκυρόδεμα και σε κονιάματα (υδραυλικά και αερικά).....	3
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	6
Μέτρηση δυναμικού διάβρωσης.....	6
Μέτρηση πυκνότητας ρεύματος διάβρωσης.....	8
Μέτρηση ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του περιβάλλοντος των μεταλλικών στοιχείων ...	10
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ .....	11
Περίδεση κίονα κεντρικού κλίτους .....	11
Προτεινόμενος τρόπος αντιμετώπισης της διάβρωσης: .....	12
Μεταλλική εξωτερική περίδεση του τρούλου .....	12
Προτεινόμενος τρόπος αντιμετώπισης της διάβρωσης για κάθε περίπτωση αντίστοιχα: .....	13
Οπλισμός σκυροδέματος περιμετρικού γείσου έδρασης τρούλλου .....	14
Πλάκα σκυροδέματος αριστερού κλίτους .....	14
Οπλισμοί εντός των πεσσών των καμπαναριών .....	15
Μεταλλική εσχάρα ανάρτησης κωδώνων Βόρειου καμπαναριού.....	16
Μεταλλική εσχάρα ανάρτησης κωδώνων Νότιου καμπαναριού.....	17
Προτεινόμενος τρόπος αντιμετώπισης της διάβρωσης για κάθε περίπτωση αντίστοιχα: .....	17





## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της Προγραμματικής Σύμβασης μεταξύ του Υπουργείου Πολιτισμού και Αθλητισμού, της Περιφέρειας Κρήτης και του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου με θέμα «ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΛΥΣΕΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ - ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΑΓΙΟΥ ΜΗΝΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ» με επιστημονικό Υπεύθυνο τον Β. Κουμούση Ομότιμο Καθηγητή Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ.

Ο μητροπολιτικός ναός του Αγίου Μηνά στο Ηράκλειο Κρήτης είναι Ορθόδοξος Καθεδρικός Ναός και έδρα του Αρχιεπισκόπου Κρήτης. Ο Ιερός Ναός άρχισε να κτίζεται το 1862. Η κατασκευή του διακόπηκε κατά την Κρητική Επανάσταση του 1866 και τελικά ολοκληρώθηκε στις αρχές του 1895. Είναι αφιερωμένος στον Άγιο Μηνά προστάτη της πόλεως του Ηρακλείου Κρήτης. Είναι λατρευτικό κέντρο της πόλεως του Ηρακλείου και στον Άγιο Μηνά αποδίδονται θαυματουργές επεμβάσεις για την προστασία των κατοίκων του Ηρακλείου. Το εμβαδόν του Ιερού Ναού είναι 1350 m<sup>2</sup> και είναι ο μεγαλύτερος Ιερός Ναός της Κρήτης και ένας από τους μεγαλύτερους της Ελλάδος. Η λατρευτική και η ιστορική σημασία του Ιερού Ναού είναι μεγάλη. Φυσική απόρροια όλων αυτών είναι ότι αποτελεί ένα σημαντικό κληρομένο μνημείο της πόλεως. Τα μεταλλικά στοιχεία του Ιερού Ναού δεν υπήρχαν εξαρχής, αλλά προσετέθησαν εκ των υστέρων σε διάφορες χρονικές στιγμές προκειμένου να τον προστατεύσουν από τις σεισμικές δονήσεις, (αξιοσημείωτο είναι ότι η ευρύτερη περιοχή του Ηρακλείου ανήκει σε ιδιαίτερα σεισμογενή ζώνη).

Τα μεταλλικά στοιχεία που υπάρχουν και εξετάσθηκαν είναι:

- Περίδεση κεντρικού κίονα - υποστυλώματος (1<sup>ος</sup> κίονας δεξιά εισερχόμενοι στο κεντρικό κλίτος της εκκλησίας).
- Μεταλλική εξωτερική περίδεση του τρούλου.
- Πλάκα σκυροδέματος γείσου έδρασης τρούλλου
- Οπλισμοί εντός των πεσσών των κωδωνοστασίων.
- Μεταλλική εσχάρα ανάρτησης κωδώνων βόρειου καμπαναριού

### *Η διάβρωση του οπλισμού στο σκυρόδεμα και σε κονιάματα (υδραυλικά και αερικά)*

Στην γενική περίπτωση το σκυρόδεμα αποτελεί ένα προστατευτικό περιβάλλον του σιδηροπλισμού για δύο λόγους:

Το υδατικό διάλυμα των πόρων του σκυροδέματος είναι έντονα αλκαλικό εξαιτίας της υδρασβέστου, προϊόν της αντίδρασης σκλήρυνσης του τσιμέντου, με pH μεταξύ 12,5 και 13,9. Κάτω από αυτές τις συνθήκες ο χάλυβας καλύπτεται επιφανειακά από ένα παθητικό στρώμα οξειδίων σιδήρου που παρεμποδίζει την διάβρωσή του. Η διάβρωση του χάλυβα περιορίζεται στην συντήρηση του παθητικού αυτού στρώματος, δράση εξαιρετικά αργή, που πρακτικά μπορεί να αγνοηθεί.

Το σκυρόδεμα αποτελεί ένα φυσικό εμπόδιο στην επαφή του οπλισμού με τα διάφορα διαβρωτικά συστατικά του περιβάλλοντος (όπως οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου κ.λ.π.) και άλλες ουσίες που βοηθούν την διάβρωση (όπως χλωριόντα).

Με την πάροδο του χρόνου το σκυρόδεμα μπορεί να χάσει την προστατευτική του ικανότητα π.χ. λόγω ενανθράκωσης δηλ. αντίδρασης του διοξειδίου του άνθρακα με το υδροξείδιο του ασβεστίου, το pH μπορεί να αποκτήσει τιμές χαμηλότερες του 9,0 οπότε ο χάλυβας μεταπηδά από την παθητική στην ενεργή κατάσταση και η διάβρωση του οπλισμού αρχίζει. Ένας άλλος λόγος για την διάβρωση του οπλισμού είναι η παρουσία των χλωριόντων. Τα χλωριόντα διαπερνούν το παθητικό στρώμα των οξειδίων και προκαλούν διάβρωση με βελονισμούς. Για να



αρχίσει η διαβρωτική δράση των χλωριόντων αυτά πρέπει να υπερβούν μία ορισμένη τιμή, η οποία συνήθως εκφράζεται σε γραμμάρια χλωριόντων ανά 100 γραμμάρια τσιμέντου.

Η διάβρωση του οπλισμού στο σκυρόδεμα είναι μία ηλεκτροχημική δράση, που λαμβάνει χώρα κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις. Η ηλεκτροχημική δράση απαιτεί την ύπαρξη ανόδου, καθόδου και ηλεκτρολύτου μέσω του οποίου διακινούνται τα ιόντα. Η διεξαγωγή των ηλεκτροχημικών δράσεων πραγματοποιείται στην διεπιφάνεια μετάλλου-ηλεκτρολύτη και ακολουθεί η μετακίνηση των ιόντων μέσω του ηλεκτρολύτη.

Η ανοδική δράση στην περίπτωση της διάβρωσης του οπλισμού στο σκυρόδεμα είναι η ανοδική διάλυση του σιδήρου. Η δράση αυτή είναι οξειδωτική και συνοδεύεται με απόδοση ηλεκτρονίων κατά το σχήμα:



Η ταχύτητα της δράσης αυτής εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Στην περίπτωση της ύπαρξης του παθητικού στρώματος είναι μικρή. Όταν όμως η τιμή του pH γίνει μικρότερη από 9,0 η ταχύτητα αυξάνει σημαντικά. Το ίδιο συμβαίνει όταν το παθητικό στρώμα καταστραφεί από την ύπαρξη ικανής ποσότητας χλωριόντων.

Η καθοδική δράση είναι συνυφασμένη με την πρόσληψη ηλεκτρονίων. Για να πραγματοποιηθεί είναι αναγκαία η ύπαρξη ενός οξειδωτικού μέσου. Στην εξεταζόμενη περίπτωση το οξειδωτικό μέσο είναι το οξυγόνο. Το οξυγόνο μπορεί να προσλάβει ηλεκτρόνια προς σχηματισμό υδροξυλίων κατά το σχήμα:

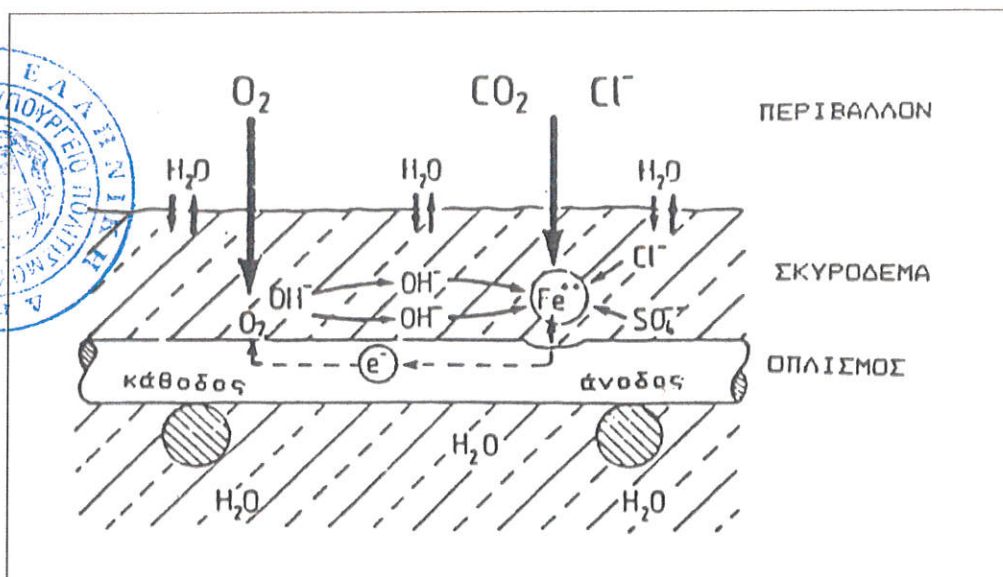


Το οξυγόνο για να φθάσει στην επιφάνεια του σιδήρου, όπου είναι κάθοδος πρέπει να διαχυθεί μέσα από τους πόρους του σκυροδέματος.

Τα ιόντα του σιδήρου από την ανοδική δράση και τα υδροξυλιόντα από την καθοδική δράση μετακινούνται μέσα στον ηλεκτρολύτη, στην περίπτωση αυτή ηλεκτρολύτης είναι το διάλυμα των πόρων του σκυροδέματος, και τελικά αντιδρούν προς σχηματισμό στερεού προϊόντος κατά την αντίδραση:



Το σχηματιζόμενο υδροξείδιο του δισθενούς σιδήρου παρουσία οξυγόνου μετατρέπεται σε υδροξείδιο του τρισθενούς σιδήρου ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ). Ανάλογα το είδος του ηλεκτρολύτη ο σχηματισμός του υδροξειδίου του σιδήρου πραγματοποιείται στην επιφάνεια του χάλυβα ή μακρύτερα. Ακόμη ανάλογα το είδος του ηλεκτρολύτη και τις αλλαγές στην σύσταση του μπορεί να σχηματισθούν και άλλα είδη προϊόντων όπως υδρόξυ-οξείδια, οξείδια του δισθενούς ή τρισθενούς σιδήρου. Η όλη διαδικασία περιγράφεται στο **Σχήμα 1**. Ο ίδιος ο χάλυβας αποτελεί τον αγωγό σύνδεσης ανοδικών και καθοδικών περιοχών, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1**. Τα σχηματιζόμενα προϊόντα διάβρωσης του οπλισμού μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικές δευτερεύουσες επιδράσεις. Έτσι αν σχηματισθούν μέσα στους πόρους και τους κλείσουν παρεμποδίζουν την συνέχιση της διαβρωτικής δράσης. Εάν όμως σχηματίζονται στην επιφάνεια του χάλυβα, επειδή έχουν μικρότερη πυκνότητα και συνεπώς μεγαλύτερο όγκο από αυτόν, εξασκούν εφελκυστικές τάσεις στο σκυρόδεμα και τελικά το ρηγματώνουν όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2**.



**Σχήμα 1:** Σχηματισμός γαλβανικού στοιχείου στον σιδηροπλισμό σκυροδέματος, με αποτέλεσμα την διάβρωση του οπλισμού (κατά Evans)

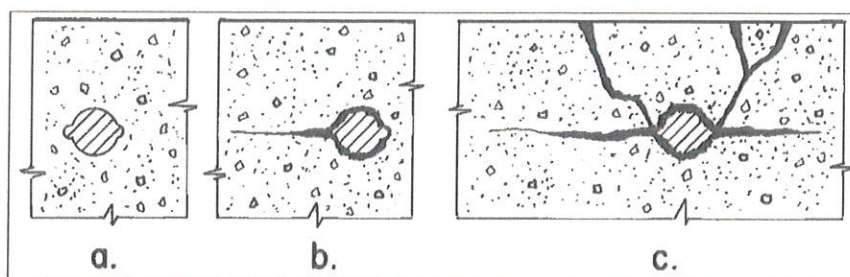
Θέση	Αντίδραση	Προϋποθέσεις
Ανοδος	$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$	Ενανθράκωση / $\text{Cl}^-$
Κάθοδος	$\frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-$	Παρουσία $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$
Ανοδος – Κάθοδος	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2$	Αγωγιμότητα Σκυροδέματος
Ανοδος – Κάθοδος	$\text{Fe}(\text{OH})_2 + \dots \text{O}_2 \rightarrow \dots \text{FeOOH}$	Παρουσία Νερού

Σύμφωνα με όσα έχουν ήδη αναφερθεί, για να υπάρξει διάβρωση του οπλισμού στο σκυρόδεμα πρέπει να εκπληρούνται τρεις προϋποθέσεις:

- Ανοδική διάλυση του σιδήρου.
- Παρουσία οξυγόνου.
- Ηλεκτρική αγωγιμότητα μέσω των πόρων του σκυροδέματος.

Εάν και οι τρεις αυτές προϋποθέσεις εκπληρώνονται, τότε η διάβρωση του σιδηροπλισμού αρχίζει. Η ταχύτητα, η μορφή και η έκταση της διάβρωσης εξαρτώνται και από άλλους παράγοντες.





**Σχήμα 2.** Εφελκυστικές τάσεις στο σκυρόδεμα εξαιτίας της διάβρωσης

Η ανοδική και η καθοδική (ηλεκτροχημική) δράση συμβαίνουν ταυτόχρονα σε διαφορετικές περιοχές του χάλυβα, ενώ ένας αριθμός ηλεκτρονίων μετακινείται μέσα στον χάλυβα. Ο λόγος σχηματισμού στην επιφάνεια του χάλυβα ταυτόχρονα ανοδικών και καθοδικών περιοχών οφείλεται στην δημιουργία τοπικών γαλβανικών στοιχείων.

Ένα κράμα όπως ο δομικός χάλυβας από την μεταλλουργική διαδικασία παραγωγής του έχει αιτίες σχηματισμού τοπικών γαλβανικών στοιχείων. Ανομοιομορφίες μικρής κλίμακας στην χημική σύσταση του κράματος, γεωμετρικές ανωμαλίες στην επιφάνεια, η ύπαρξη οξειδίων στην επιφάνεια οδηγούν στον σχηματισμό τοπικών γαλβανικών στοιχείων με μία διαφορά (ηλεκτρικού συνεχούς) δυναμικού της τάξης των μερικών δεκάδων mV. Οι διαφορές αυτές δυναμικού είναι αρκετές για να οδηγήσουν στον σχηματισμό ανοδικών και καθοδικών περιοχών. Η δημιουργία των τοπικών αυτών γαλβανικών στοιχείων είναι αποτέλεσμα της παραγωγικής διαδικασίας του χάλυβα.

Παρόμοια είναι και η διάβρωση του χάλυβα εντός των διαφόρων κονιαμάτων. Στην περίπτωση όπου στο δομικό στοιχείο συμμετέχουν και λίθοι θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η διάβρωση του χάλυβα από την τυχόν υγρασία η οποία έχει παρεισφρήσει μεταξύ των λίθων.

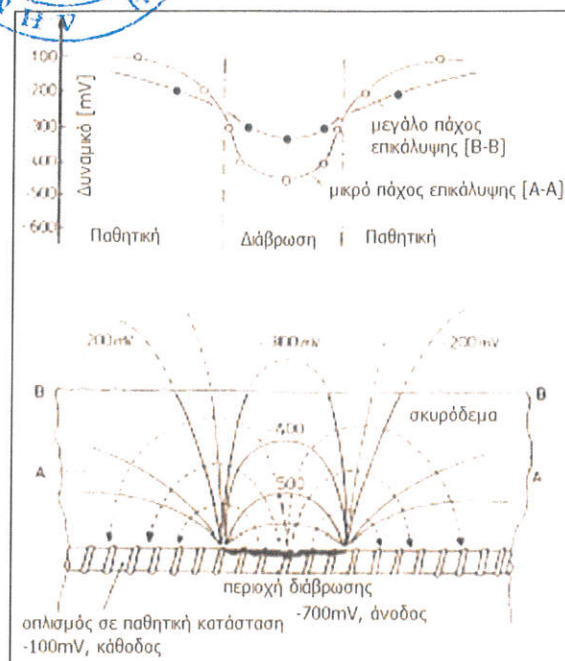
## ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Προκειμένου να εξεταστεί η τωρινή κατάσταση των μεταλλικών στοιχείων αλλά και για να προβλεφθεί η μελλοντική συμπεριφορά τους στην διάβρωση πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες ηλεκτροχημικές μετρήσεις:

- Δυναμικό διάβρωσης
- Πυκνότητα ρεύματος διάβρωσης
- Ειδική ηλεκτρική αντίσταση του περιβάλλοντος των μεταλλικών στοιχείων (λίθοι και κονιάματα, Σκυρόδεμα)

### Μέτρηση δυναμικού διάβρωσης

Το δυναμικό διάβρωσης είναι αποτέλεσμα της διαδικασίας της διάβρωσης και προσδιορίζεται από το άθροισμα των συνολικών ηλεκτροχημικών δράσεων αναγωγής και οξείδωσης. Η μέτρηση του δυναμικού διάβρωσης είναι μια μέθοδος μη καταστροφική, η οποία επιτρέπει την παρακολούθηση και τον χαρακτηρισμό της κατάστασης του οπλισμού στο σκυρόδεμα συναρτήσει του χρόνου. Το δυναμικό διάβρωσης εξαρτάται από τον τύπο του μετάλλου, τις συνθήκες περιβάλλοντος έκθεσης (υγρασία, pH, συγκέντρωση αλάτων), τη διαθεσιμότητα σε οξυγόνο, τα επαγόμενα ρεύματα και από τη θερμοκρασία.



Η παθητική και ενεργή περιοχή στην επιφάνεια του χάλυβα σχηματίζουν ένα μικρό- γαλβανικό στοιχείο με άνοδο την περιοχή όπου διαβρώνεται ο χάλυβας και κάθοδο την παθητική περιοχή. Η διαφορά δυναμικού του δημιουργούμενου στοιχείου (διαφορά δυναμικού  $\Delta V$  μεταξύ παθητικής και ενεργής περιοχής) παίρνει τιμές μερικών εκατοντάδων mV. Το προκύπτον ρεύμα  $I$  από το σχηματισμό του γαλβανικού στοιχείου προσδιορίζεται από την αντίσταση του σκυροδέματος και το άθροισμα των αντιστάσεων της ανοδικής και καθοδικής αντίδρασης

$$I = \frac{\Delta V}{R_E + R_A + R_C}$$

όπου:

$I$ : ρεύμα διάβρωσης από την άνοδο προς την κάθοδο

$\Delta V$ : Διαφορά δυναμικού μικρο-γαλβανικού στοιχείου

$R_E$ : Ηλεκτρική αντίσταση σκυροδέματος

$R_A$ : Αντίσταση ανοδικής αντίδρασης

$R_C$ : Αντίσταση καθοδικής αντίδρασης

**Σχήμα 3:** Κατανομή δυναμικών διάβρωσης σε διαβρωμένο χάλυβα – δημιουργία μικρο-γαλβανικού στοιχείου

Οι παράγοντες που επιδρούν στη μέτρηση της διαφοράς δυναμικού είναι το **πάχος επικάλυψης των οπλισμών** και η **αντίσταση του σκυροδέματος**. Αυξανόμενου του πάχους επικάλυψης του οπλισμού, οι τιμές του δυναμικού στην ενεργή και καθοδική περιοχή γίνονται σχεδόν ίσες. Επίσης μικρής έκτασης ανοδικές περιοχές δεν είναι εύκολο να προσδιοριστούν όταν το πάχος επικάλυψης των οπλισμών στην κατασκευή είναι μεγάλο. Σε σκυρόδεμα υψηλής αντίστασης το μετρούμενο δυναμικό είναι ηλεκτροθετικότερο από το πραγματικό, με συνέπεια να μην εντοπίζονται οι περιοχές διάβρωσης.

Η τιμή του δυναμικού διάβρωσης του οπλισμού στο σκυρόδεμα συναρτήσει του χρόνου αποτελεί ένδειξη της κατάστασης του οπλισμού στο σκυρόδεμα δηλαδή εάν ο χαλύβδινος οπλισμός βρίσκεται σε ενεργή ή παθητική κατάσταση.

Η διαφορά δυναμικού του οπλισμού στο σκυρόδεμα εμφανίζει διαφορετικές τιμές ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο σκυρόδεμα δηλαδή, τη σχετική υγρασία και τη συγκέντρωση των χλωριόντων. Στον πίνακα 1 γίνεται συσχέτιση μεταξύ των τιμών του δυναμικού του οπλισμού σε συνάρτηση με την κατάσταση του περιβάλλοντος σκυροδέματος. Τα δυναμικά αυτά συσχετίζονται με την κατάσταση του οπλισμού με βάση εμπειρικά δεδομένα.





Σύμφωνα με το πρότυπο **ASTM C876-87**: «*Standard test method for Half Cell Potentials of reinforcing Steel in Concrete*», οι τιμές του μετρούμενου δυναμικού διάβρωσης αποτελούν ένδειξη για την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο οπλισμός στο σκυρόδεμα. Για τιμές δυναμικού διάβρωσης έως **-200 mV**, ο οπλισμός βρίσκεται στην **παθητική περιοχή**. Για τιμές μεταξύ **-200 mV και -350 mV**, η κατάσταση του οπλισμού είναι **αβέβαιη** (δεν ευρίσκεται πια στην παθητική κατάσταση και υπάρχει **πιθανότητα 50%** για διάβρωση). Για τιμές ηλεκτροαρνητικότερες των **-350 mV** δείχνουν ότι ο οπλισμός ευρίσκεται στην ενεργή περιοχή από άποψη διάβρωσης και οι πιθανότητες **να διαβρωθεί είναι 90%** (Πίνακας 2).

**Πίνακας 1:** Συσχέτιση μεταξύ των τιμών του δυναμικού χαλύβδινου οπλισμού και της κατάστασης του σκυροδέματος<sup>1</sup>.

Διαφορά δυναμικού χάλυβα Ο.Σ. ως προς Cu/CuSO <sub>4</sub> ,sat [mV]	Κατάσταση σκυροδέματος
-1100 < ΔV < -600	Υγρό σκυρόδεμα χωρίς διαθεσιμότητα σε οξυγόνο
-600 < ΔV < -200	Υγρασία, σκυρόδεμα με χλωριόντα Υπαρξη υγρασίας, σκυρόδεμα ενανθρακωμένο
-200 < ΔV < + 200	Υπαρξη υγρασίας, σκυρόδεμα χωρίς χλωριόντα Ξηρό και ενανθρακωμένο σκυρόδεμα Ξηρό σκυρόδεμα

**Πίνακας 2:** Συσχέτιση μεταξύ των τιμών του δυναμικού χαλύβδινου οπλισμού και της κατάστασης του οπλισμού στο σκυρόδεμα, σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-87

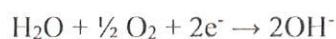
Δυναμικό διάβρωσης χάλυβα ΟΣ ως προς Cu/CuSO <sub>4</sub> ,sat [mV]	Κατάσταση οπλισμού
$E_{\text{corr}} > -200 \text{ mV}_{\text{CSE}}$	Ο οπλισμός βρίσκεται στην παθητική κατάσταση (δεν διαβρώνεται), με 90% πιθανότητα
$-200 \text{ mV}_{\text{CSE}} > E_{\text{corr}} > -350 \text{ mV}_{\text{CSE}}$	Κατάσταση οπλισμού αβέβαιη
$E_{\text{corr}} < -350 \text{ mV}_{\text{CSE}}$	Ο οπλισμός βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση (διαβρώνεται), με 90% πιθανότητα

#### Μέτρηση πυκνότητας ρεύματος διάβρωσης

Ο ρυθμός διάβρωσης είναι δυνατόν να προσδιοριστεί με ακρίβεια από τη μέτρηση της διαλυμένης ποσότητας του μετάλλου το οποίο καταναλώνεται στο μετασχηματισμό του σε οξείδιο (σκουριά). Αυτό μπορεί να γίνει άμεσα μετρώντας την πυκνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο δημιουργείται από την ανοδική αντίδραση του σιδήρου:



και η καθοδική αντίδραση:



ή



<sup>1</sup> Πηγή: J. P. Broomfield, "Corrosion of steel in concrete: Understanding, investigation and repair", E&FN SPON, 1997.



Μετατρέποντας τη ροή ηλεκτρονίων σε απώλεια μάζας με βάση τον νόμο του Faraday προκύπτουν τα ακόλουθα:

$$m = \frac{MIt}{zF}$$

Όπου:

$m$ : η μάζα του μετάλλου που καταναλώνεται,

$I$ : ηλεκτρικό ρεύμα (A),

$t$ : χρόνος (s),

$F$ : σταθερά Faraday (A s ή Cb/mol)

$z$ : αριθμός ανταλλασσόμενων ηλεκτρονίων ( $z=2$  για την αντίδραση  $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ )

$M$ : Ατομικό βάρος μετάλλου (56 g για το Fe).

Ο ρυθμός διάβρωσης του οπλισμού στο σκυρόδεμα εκφράζεται σε μικρόμετρα ανά έτος [ $\mu\text{m/y}$ ], δηλαδή σε απομείωση διατομής οπλισμού. Ωστόσο πολλές φορές στη βιβλιογραφία ο ρυθμός διάβρωσης εκφράζεται δια μέσου της πυκνότητας του ηλεκτρικού ρεύματος. Η μετατροπή της απομείωσης της διατομής σε ένταση ρεύματος και αντίστροφα γίνεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\text{Ρυθμός διάβρωσης} = \frac{i_{\text{corr}} \cdot t_a \cdot M_{\text{Mc}}}{zF \cdot d_{\text{Mc}}} \cdot 10^6 \quad [\mu\text{m/y}]$$

Όπου :

$i_{\text{corr}}$ : Πυκνότητα ρεύματος διάβρωσης σε [ $\text{A/m}^2$ ]

$t_a$ : Χρόνος έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον σε [s] (31557600s/y)

$M_{\text{Mc}}$ : Ατομικό βάρος μετάλλου (για το Fe 0,056Kg/mol)

$z$ : Αριθμός ανταλλασσόμενων ηλεκτρονίων (για το Fe,  $z=2$ )

$F$ : Σταθερά του Faraday [96485 Cb/mol]

$d_{\text{Mc}}$ : Πυκνότητα μετάλλου (για το Fe  $d_{\text{Fe}}=7860\text{Kg/m}^3$ )

Ο συσχετισμός του ρεύματος διάβρωσης συναρτήσει της κατάστασης των οπλισμών δίνεται στους πίνακες 3 και 4.

**Πίνακας 3:** Συσχέτιση μεταξύ των τιμών της πυκνότητας ρεύματος διάβρωσης χαλύβδινων οπλισμών σε σκυρόδεμα και της κατάστασης του οπλισμού στο σκυρόδεμα<sup>2</sup>.

$i_{\text{corr}}$ ( $\mu\text{A cm}^{-2}$ )	Κατάσταση οπλισμού
$i_{\text{corr}} < 0,1 \mu\text{A cm}^{-2}$	Παθητική κατάσταση
$0,1 < i_{\text{corr}} < 0,5 \mu\text{A cm}^{-2}$	Χαμηλός ως μέτριος ρυθμός διάβρωσης
$0,5 < i_{\text{corr}} < 1 \mu\text{A cm}^{-2}$	Μέτριος ως υψηλός ρυθμός διάβρωσης
$i_{\text{corr}} > 1 \mu\text{A cm}^{-2}$	Υψηλός ρυθμός διάβρωσης

<sup>2</sup> Πηγή: Broomfield, J.P., Rodriguez, J., Ortega, L.M., Garcia, A.M., "Corrosion rate measurements in reinforced concrete structures by linear polarization device", in Weyers R.E. (ed.) Philip D. Cady Symposium on Corrosion of Steel in Concrete, American Concrete Institute, Special Publication 151, 1994.



**Πίνακας 4:** Συσχέτιση μεταξύ των τιμών της πυκνότητας ρεύματος διάβρωσης χαλύβδινων οπλισμών σε σκυρόδεμα και της κατάστασης του οπλισμού στο σκυρόδεμα

$i_{corr}$ ( $\mu A\ cm^{-2}$ )	Κατάσταση κατασκευής
$i_{corr} < 0,2\ \mu A\ cm^{-2}$	Δεν αναμένονται φαινόμενα διάβρωσης
$0,2 < i_{corr} < 1,0\ \mu A\ cm^{-2}$	Πιθανότητα διάβρωσης σε 10-15 χρόνια
$1,0 < i_{corr} < 10\ \mu A\ cm^{-2}$	Πιθανότητα διάβρωσης σε 2-10 χρόνια
$i_{corr} > 10\ \mu A\ cm^{-2}$	Πιθανότητα διάβρωσης σε 2 χρόνια ή λιγότερο

#### Μέτρηση ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του περιβάλλοντος των μεταλλικών στοιχείων

Η επί τόπου μέτρηση πεδίου της αντίστασης του σκυροδέματος ή του περιβάλλοντος των μεταλλικών στοιχείων (κονιάματα, λίθοι) πραγματοποιήθηκε με την χρήση της τεχνικής των τεσσάρων σημείων, τεχνική Wenner. Η βασική αρχή της μεθόδου στηρίζεται στην δίοδο / επιβολή ενός εναλλασσομένου ηλεκτρικού ρεύματος μεταξύ των δύο εξωτερικών ηλεκτροδίων τα οποία έρχονται σε επαφή με το σκυρόδεμα. Η διαφορά δυναμικού η οποία μετράται από τα δύο εσωτερικά ηλεκτρόδια οδηγεί στον προσδιορισμό της αντίστασης του σκυροδέματος σύμφωνα με τον τύπο:

$$\rho = \pi \cdot \frac{U}{I} \cdot \frac{b(b+a)}{a}$$

όπου:

$U/I$ : Η μετρούμενη αντίσταση,

$b$ : Η απόσταση μεταξύ των εξωτερικών ηλεκτροδίων

$a$ : Η απόσταση μεταξύ των εσωτερικών ηλεκτροδίων

Συνηθίζεται η απόσταση μεταξύ των εξωτερικών και των εσωτερικών ηλεκτροδίων να είναι ίση, δηλαδή  $a = b$  οπότε η παραπάνω εξίσωση διαμορφώνεται ως εξής:

$$\rho = 2\pi \cdot a \cdot \frac{U}{I}$$

Η απόσταση των ηλεκτροδίων θα πρέπει να υπερβαίνει το μέγιστο μέγεθος των αδρανών έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η επίδραση των οπλισμών στον προσδιορισμό της αντίστασης του σκυροδέματος.

Ο συσχετισμός μεταξύ της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σκυροδέματος και του ρυθμού διάβρωσης δίνεται στον **πίνακα 5**.

**Πίνακας 5:** Συσχέτιση μεταξύ των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του σκυροδέματος και του ρυθμού διάβρωσης του οπλισμένου σκυροδέματος.

Ειδική ηλεκτρική αντίσταση $\rho$ ( $k\Omega\ cm$ )	Συσχετισμός
$\rho > 20\ k\Omega\ cm$	Χαμηλός ρυθμός διάβρωσης
$10 < \rho < 20\ k\Omega\ cm$	Χαμηλός ως μέτριος ρυθμός διάβρωσης
$5 < \rho < 10\ k\Omega\ cm$	Υψηλός ρυθμός διάβρωσης
$\rho < 5\ k\Omega\ cm$	Πολύ υψηλός ρυθμός διάβρωσης

<sup>3</sup> Πηγή: Clear, K.C., "Measuring the rate of corrosion of steel in field concrete structures", Transportation Research Record 1211, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 1989.





## ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ

Επιλέχθηκαν πέντε (5) σημεία για την διεξαγωγή της παρούσας προμελέτης και ο λόγος ήταν διότι σε αυτά τα σημεία υπήρχαν εκτεθειμένα μεταλλικά στοιχεία, τα οποία επέτρεψαν την διεξαγωγή των μετρήσεων. Επιπλέον, ήταν τα πιο αντιπροσωπευτικά για την εξέταση του Ναού.

1. Περίδεση κίονα - υποστυλώματος κεντρικού κλίτους (1<sup>ος</sup> κίονας εισερχόμενοι δεξιά στην εκκλησία).
2. Μεταλλική εξωτερική περίδεση του τρούλου
3. Πλάκα σκυροδέματος στο γείσο έδρασης του τρούλλου  
Οπλισμοί εντός των πεσσών των καμπαναριών.
4. Μεταλλική εσχάρα έδρασης κωδώνων **βόρειου & νότιου** καμπαναριού

### *Περίδεση κίονα κεντρικού κλίτους*



**Εικόνα 1 :** Υποστύλωμα (κίονας) κεντρικού κλίτους στο εσωτερικό του ναού

**Πίνακας 6:** Ηλεκτροχημικές μετρήσεις περίδεσης κεντρικού υποστυλώματος

Είδος δοκιμής	Μέτρηση	Σύμφωνα με τους πίνακες 2,3 & 5
Μέτρηση Δυναμικού διάβρωσης	247 mV – 290 mV	Κατάσταση οπλισμού αβέβαιη
Μέτρηση πυκνότητας ρεύματος	2,31 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	Υψηλός ρυθμός διάβρωσης
Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση υποστυλώματος	5,21 K $\Omega$ .cm	Πολύ υψηλός ρυθμός διάβρωσης
Επιφανειακή Μέτρηση Υγρασίας	6,3%	Υψηλός ρυθμός διάβρωσης

Το κύριο πρόβλημα της διάβρωσης της περίδεσης στον πέτρινο κίονα - υποστύλωμα είναι η ανερχόμενη υγρασία. Η θεμελίωση του Ναού πραγματοποιείται επί μάργας, καθώς επίσης στο κεντρικό τμήμα υπάρχει δεξαμενή συλλογής των ομβρίων, η οποία δεν χρησιμοποιείται πλέον, όμως η υγρασία εντός της δεξαμενής παραμένει υψηλή. Άλλωστε οι κίονες όπως και η



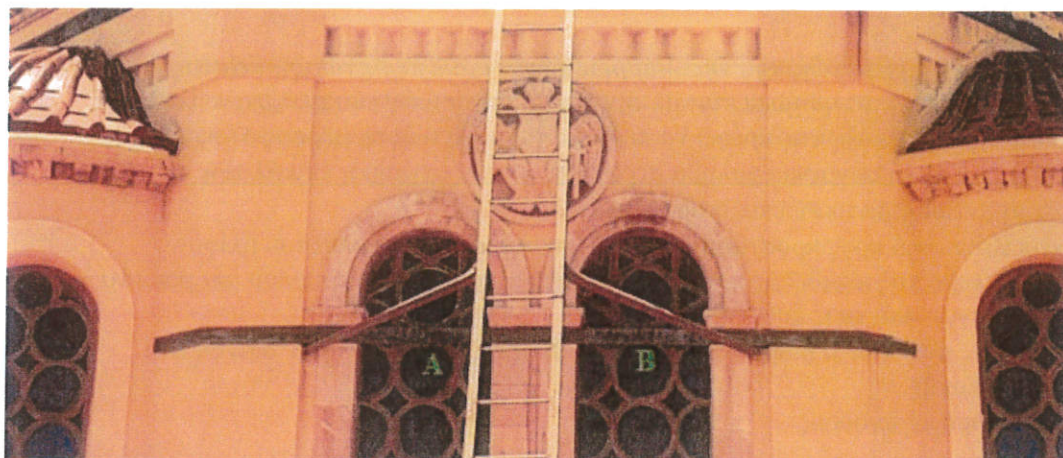
περιμετρική τοιχοποιία τροφοδοτείται από την ανερχόμενη υγρασία από το έδαφος. Αξίζει να σημειωθεί ότι μετρήθηκε η επιφανειακή υγρασία σκυροδέματος (6.3%) στην συγκεκριμένη περιοχή και βρέθηκε αρκετά χαμηλή, αυτό οφείλεται επειδή η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 38 °C την καλοκαιρινή περίοδο. Οι υπόλοιπες ηλεκτροχημικές μετρήσεις δείχνουν την ύπαρξη ανερχόμενης υγρασίας.

Η χαλύβδινη περίδεση έχει προστατευθεί με οργανική επικάλυψη (χρώμα) μεγάλου σχετικά πάχους. Η υγρασία όμως βοηθά την διάχυση ιόντων εντός της οργανικής επικάλυψης, η οποία με την πάροδο του χρόνου οδηγεί σε σημαντική διάβρωση. Το φαινόμενο αυτό, επιβεβαιώνεται από την Εικόνα 1 και τα αποτελέσματα του των μετρήσεων του Πίνακα 6.

#### *Προτεινόμενος τρόπος αντιμετώπισης της διάβρωσης:*

Ένας ασφαλής τρόπος ώστε να διακοπεί η διάβρωση είναι η καθοδική προστασία με θυσιαζόμενες ανόδους. Οι θυσιαζόμενες άνοδοι τοποθετούνται σχετικά απλά και αντικαθίστανται εύκολα.

#### *Μεταλλική εξωτερική περίδεση του τρούλου*



Εικόνα 2. Μεταλλική περίδεση του Τρούλου εξωτερικά. Μέτρηση σε 2 σημεία (A & B)

Πίνακας 7: Ηλεκτροχημικές μετρήσεις σημείου A μεταλλικής περίδεσης τρούλου εξωτερικά

Είδος δοκιμής – Σημείο A	Μέτρηση	Σύμφωνα με τους πίνακες 2,3 & 5
Μέτρηση Δυναμικού διάβρωσης	457 mV	Ο οπλισμός βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση (διαβρώνεται), με 90% πιθανότητα
Μέτρηση πυκνότητας ρεύματος	8.6 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	Υψηλός ρυθμός διάβρωσης
Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση σκυροδέματος	9,64 $\text{K}\Omega \cdot \text{cm}$	Πολύ υψηλός ρυθμός διάβρωσης
Επιφανειακή Μέτρηση Υγρασίας	15%	Χαμηλός ως μέτριος ρυθμός διάβρωσης



**Πίνακας 8: Ηλεκτροχημικές μετρήσεις σημείου Β μεταλλικής περίδεσης τρούλου εξωτερικά**

Είδος δοκιμής – Σημείο Β	Μέτρηση	Σύμφωνα με τους πίνακες 2,3 & 5
Μέτρηση Δυναμικού διάβρωσης	320mV -345mV	Ο σπλισμός βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση (διαβρώνεται), με 90% πιθανότητα
Μέτρηση πυκνότητας ρεύματος	29,61 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	Υψηλός ρυθμός διάβρωσης
Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση σκυροδέματος	8.4 $\text{K}\Omega \cdot \text{cm}$	Πολύ υψηλός ρυθμός διάβρωσης
Επιφανειακή Μέτρηση Υγρασίας	15%	Χαμηλός ως μέτριος ρυθμός διάβρωσης

Η διάβρωση της περίδεσης του τρούλου έχει δύο περιπτώσεις:

1. Την **ατμοσφαιρική διάβρωση** στην εξωτερική πλευρά της περίδεσης. Η οποία έχει ήδη αρχίσει και είναι ορατή με γυμνό μάτι, όπως φαίνεται από την **Εικόνα 2**.
2. Την **διάβρωση του μετάλλου** στις περιοχές όπου η περίδεση εφάπτεται των τοιχιών του τρούλου. Η διάβρωση του μετάλλου είναι ιδιαίτερα υψηλή και ο σπλισμός βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση διάβρωσης 90%, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα των μετρήσεων του **Πίνακα 7** και του **Πίνακα 8**.

**Προτεινόμενος τρόπος αντιμετώπισης της διάβρωσης για κάθε περίπτωση αντίστοιχα:**

Η ατμοσφαιρική διάβρωση αντιμετωπίζεται με την χρήση οργανικών επικαλύψεων. Το σύστημα της οργανικής επικάλυψης πρέπει να περιέχει τα ακόλουθα επιμέρους στοιχεία:

- Το αστάρι για καλή συνάφεια χάλυβα περίδεσης με την οργανική επικάλυψη
- Δύο χέρια αντιδιαβρωτικού εποξικού χρώματος
- Ένα χέρι βερνικιού προς προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου

Οι περιοχές του χάλυβα της περίδεσης που εφάπτονται των τοιχιών του τρούλου μπορούν να προστατευθούν με έναν από τους δύο τρόπους:

- Με αμπούλες αναστολέα διάβρωσης που τοποθετούνται στο τοιχίο με διάνοιξη καταλλήλου οπής
- Με Θυσιαζόμενες ανόδους



### Οπλισμός σκυροδέματος περιμετρικού γείσου έδρασης τρούλλου



Εικόνα 3. Πλάκα σκυροδέματος

Πίνακας 9: Ηλεκτροχημικές μετρήσεις οπλισμού σκυροδέματος περιμετρικού γείσου

Είδος δοκιμής – Πλάκα σκυροδέματος	Μέτρηση	Σύμφωνα με τους πίνακες 2,3 & 5
Μέτρηση Δυναμικού διάβρωσης	385 mV	Ο οπλισμός βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση (διαβρώνεται), με 90% πιθανότητα
Μέτρηση πυκνότητας ρεύματος	0,18 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	Χαμηλός ως μέτριος ρυθμός διάβρωσης
Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση σκυροδέματος	90 $\text{K}\Omega \cdot \text{cm}$	Χαμηλός ρυθμός διάβρωσης
Επιφανειακή Μέτρηση Υγρασίας	15%	Χαμηλός ως μέτριος ρυθμός διάβρωσης

Ο οπλισμός την πλάκας σκυροδέματος του γείσου στη στάθμη έδρασης του τρούλλου δεν έχει υποστεί σημαντική διάβρωση παρά μόνον επιφανειακή. Η συνέχιση όμως της της διάβρωσης θα δημιουργήσει δυσάρεστες καταστάσεις.

Προκειμένου να μην υπάρξουν δυσάρεστες εξελίξεις θα πρέπει ο σχετικός οπλισμός να προστατευθεί με αναστολείς διάβρωσης με αμπούλες ή με ψεκάσμο.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε μέτρηση της επιφανειακής υγρασίας στην πλάκα σκυροδέματος του αριστερού κλίτους, (πρόσβαση από τον φεγγίτη).

#### Πλάκα σκυροδέματος αριστερού κλίτους

Πίνακας 10: Μέτρηση Επιφανειακής υγρασίας Πλάκα σκυροδέματος αριστερού κλίτους

Είδος δοκιμής	Μέτρηση	Σύμφωνα με τους πίνακες 2,3 & 5
Επιφανειακή Μέτρηση Υγρασίας	20 %	Χαμηλός ως μέτριος ρυθμός διάβρωσης

Δεν υπήρχε ακάλυπτος οπλισμός ώστε να πραγματοποιηθούν ηλεκτροχημικές μετρήσεις. Θα ακολουθήσει τα μέτρα προστασίας όπως στην περίπτωση του σκυροδέματος περιμετρικού γείσου.





### Οπλισμοί εντός των πεσσών των καμπαναριών

Στους πεσσούς των δύο καμπαναριών, βόρειου και νοτίου, έχουν τοποθετηθεί μεταγενέστερα της αρχικής κατασκευής εκ των άνω με κατακόρυφη διάτρηση ράβδοι ανοξείδωτου χάλυβα προκειμένου να ενισχύσουν την διατμητική αντοχή των πεσσών στις σεισμικές δράσεις. Η επαφή με τους οπλισμούς αυτούς δεν είναι δυνατή παρά μόνον από προεξέχοντα τμήματα τους. Ηλεκτροχημικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μόνο στο βόρειο καμπαναριό, γιατί μόνον εκεί εντοπίστηκε προεξέχον τμήμα ανοξείδωτου χάλυβα. Με την βοήθεια αυτών ελήφθησαν οι μετρήσεις που αναφέρονται στους παρακάτω πίνακες.



Εικόνα 4. Βόρειο Καμπαναριό προεξέχον τμήμα ανοξείδωτου χάλυβα

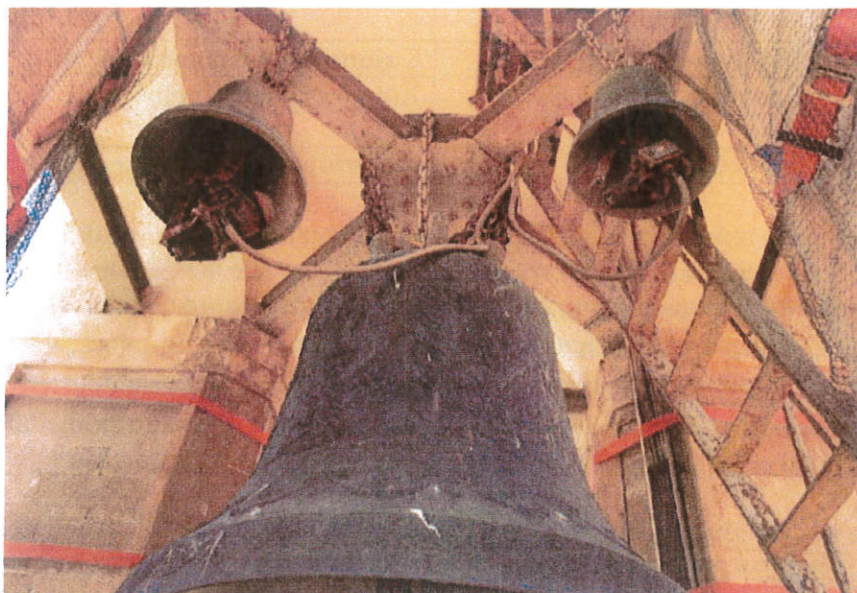
Πίνακας 11: Ηλεκτροχημικές μετρήσεις οπλισμού υποστυλώματος Βόρειου Καμπαναριού

Είδος δοκιμής	Μέτρηση	Σύμφωνα με τους πίνακες 2,3 & 5
Μέτρηση Δυναμικού διάβρωσης	392 mV-394 mV	Ο οπλισμός βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση (διαβρώνεται), με 90% πιθανότητα
Μέτρηση πυκνότητας ρεύματος	2.37 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	Υψηλός ρυθμός διάβρωσης
Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση σκυροδέματος	49 K $\Omega$ .cm	Χαμηλός ρυθμός διάβρωσης
Επιφανειακή Μέτρηση Υγρασίας	4.1-6.1%	Υψηλός ρυθμός διάβρωσης

Στην περίπτωση των πεσσών του καμπαναριού, θα πρέπει να σημειωθεί ότι εφόσον ο χάλυβας είναι ανοξείδωτος, έχει σημαντικά μικρότερη πιθανότητα να διαβρωθεί από έναν κοινό τύπο χάλυβα. Θα ήταν δυνατή η ενίσχυση της αντιδιαβρωτικής τους ικανότητα με χρήση αναστολέων διάβρωσης ή με χρήση θυσιαζομένων ανόδων.



*Μεταλλική εσχάρα ανάρτησης κωδώνων Βόρειου καμπαναριού*



Εικόνα 5. Μεταλλική εσχάρα ανάρτησης κωδώνων βόρειου καμπαναριού

**Πίνακας 12:** Ηλεκτροχημικές μετρήσεις Μεταλλικής εσχάρας βόρειου καμπαναριού (σε ύψος που οι δοκοί εισχωρούν στην τοιχοποιία)

Είδος δοκιμής	Μέτρηση	Σύμφωνα με τους πίνακες 2,3 & 5
Μέτρηση Δυναμικού διάβρωσης	427 mV	Ο οπλισμός βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση (διαβρώνεται), με 90% πιθανότητα
Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση σκυροδέματος	82KΩ .cm	Χαμηλός ρυθμός διάβρωσης
Επιφανειακή Μέτρηση Υγρασίας	7,5%	Υψηλός ρυθμός διάβρωσης



Εικόνα 6. Μεταλλική εσχάρα ανάρτησης κωδώνων βόρειου καμπαναριού



*Μεταλλική εσχάρα ανάρτησης κωδώνων Νότιου καμπαναριού*

**Πίνακας 13: Ηλεκτροχημικές μετρήσεις** (σε ύψος που οι δοκοί εισχωρούν στην τοιχοποιία)

Είδος δοκιμής	Μέτρηση	Σύμφωνα με τους πίνακες 2,3 & 5
Μέτρηση Δυναμικού διάβρωσης	294 mV	Κατάσταση οπλισμού αβέβαιη
Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση σκυροδέματος	7,8 KΩ .cm	Χαμηλός ρυθμός διάβρωσης
Επιφανειακή Μέτρηση Υγρασίας	8,6 %	Υψηλός ρυθμός διάβρωσης

Για την περίπτωση των δοκών της εσχάρας των καμπαναριών και για τις μεταλλικές υποστηρίξεις των καμπαναριών (Σημεία 4 και 5). Διαπιστώθηκαν δύο είδη διάβρωσης:

1. Η **ατμοσφαιρική διάβρωση** στην εξωτερική επιφάνεια των καμπαναριών. Η οποία έχει ήδη αρχίσει και είναι ορατή με γυμνό μάτι, όπως φαίνεται στις εικόνες 4,5 και 6.
2. Η **διάβρωση του μετάλλου**, η οποία είναι ιδιαίτερα υψηλή και όπως διαπιστώνεται από τους πίνακες 11,12 και 13, ο οπλισμός βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση διάβρωσης και έχει πιθανότητα να διαβρωθεί 90%,.

**Προτεινόμενος τρόπος αντιμετώπισης της διάβρωσης για κάθε περίπτωση αντίστοιχα:**

Η ατμοσφαιρική διάβρωση αντιμετωπίζεται με την χρήση οργανικών επικαλύψεων. Το σύστημα της οργανικής επικάλυψης πρέπει να περιέχει τα ακόλουθα επιμέρους στοιχεία:

- Το αστάρι για καλή συνάφεια χάλυβα περίδεσης με την οργανική επικάλυψη
- Δύο χέρια αντιδιαβρωτικού εποξικού χρώματος
- Ένα χέρι βερνικιού προς προστασία από την υπερύοδη ακτινοβολία του ήλιου

Σε όλους τους παραπάνω τρόπους προστασίας, οι επιφάνειες πρέπει να προετοιμάζονται, χρησιμοποιώντας εγκεκριμένες τεχνικές καθαρισμού. Όταν ο οπλισμός μολύνεται από χλωρίδια ή άλλες ουσίες που μπορεί να προκαλέσουν διάβρωση, πρέπει να καθαρίζεται με υδροβολή χαμηλής πίεσης, ώστε η επιφάνεια να είναι κατάλληλη για την παραπάνω εφαρμογή προστασίας.

Όπου προτείνεται η προστασία με θυσιαζόμενες ανόδους ή με αναστολείς διάβρωσης η εργασία πρέπει να πραγματοποιηθεί από εξειδικευμένα συνεργεία σε τέτοιου είδους επεμβάσεις

Η έκταση και η πλέον εξειδικευμένη εφαρμογή των παραπάνω προτεινόμενων τρόπων αντιμετώπισης της διάβρωσης των μεταλλικών στοιχείων του Ιερού Ναού του Αγίου Μηνά στο Ηράκλειο Κρήτης θα πραγματοποιηθεί κατά την φάση της κατασκευής του έργου, μετά την απομάκρυνση σαθρών τμημάτων επικαλύψεων και την ευρύτερη αποκάλυψη των μεταλλικών στοιχείων που θα επιτρέψουν την λεπτομερέστερη καταγραφή των χαρακτηριστικών τους.

Ομότιμος Καθηγητής Γ. Μπατής	Δρ. Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ Ε.Ζαχαροπούλου
