

Προστατευτική επίδραση οργανικής επικάλυψης στη διάβρωση οπλισμού του σκυροδέματος

Protective effect of organic coating on corrosion of reinforced concrete

E. Βούλγαρη¹, Α. Ζαχαροπούλου², Ν. Χουσίδης³, Γ. Μπατής⁴

Λέξεις κλειδιά: διάβρωση οπλισμού, αναστολείς διάβρωσης, οργανικές επικαλύψεις, χλωριόντα, ηλεκτροχημικές μετρήσεις, απώλεια μάζας.

Keywords: reinforcement corrosion, corrosion inhibitors, organic coatings, chloride ions, electrochemical measurements, mass loss

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η ανθεκτικότητα των οπλισμένων τσιμεντοκονιαμάτων από τη διάβρωση, με την χρησιμοποίηση οργανικής επικάλυψης, η οποία περιείχε αναστολέα διάβρωσης. Για την πειραματική διαδικασία προετοιμάστηκαν τέσσερις (4) κατηγορίες κυλινδρικών δοκιμίων, στα οποία τοποθετήθηκαν ομοαξονικά χαλύβδινοι οπλισμοί. Η προστατευτική ικανότητα του αναστολέα διάβρωσης εκτιμήθηκε με ηλεκτροχημικές μεθόδους, (αντίσταση, γραμμική πόλωση και δυναμικό διάβρωσης οπλισμού). Επίσης, η προστατευτική ικανότητα του αναστολέα διάβρωσης εκτιμήθηκε και με μετρήσεις απώλειας μάζας οπλισμού συναρτήσει του χρόνου έκθεσης των δοκιμίων σε διαβρωτικό περιβάλλον (3,5% κ.β. NaCl). Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι σε όλες τις εξεταζόμενες περιπτώσεις η οργανική επικάλυψη με αναστολέα διάβρωσης προσδίδει προστασία στον οπλισμό έναντι της διάβρωσης με χλωριόντα.

ABSTRACT: In the present study, the chloride penetration resistance on reinforced cement mortars using organic coating as additive containing was

¹ Υποψήφια Διδάκτωρ, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο email: youlgari@ntua.gr

² Μεταδιδακτορικός Ερευνητής, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο azachar@chemeng.ntua.gr

³ Μεταδιδακτορικός Ερευνητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Κύπρου, email: chousidis.nikolaos@ucy.ac.cy

⁴ Ομότιμος Καθηγητής, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, email: batis@chemeng.ntua.gr

studied. The aforementioned additive consist of corrosion inhibitor for protection of steel rebars against pitting corrosion. For the experimental procedure, four (4) different types of reinforced mortars were prepared. The corrosion protection of the additive was evaluated by electrochemical methods, (linear polarization resistance and Half-cell Potential Resistance). In addition, the mass loss of steel rebars against time of partially immersed in NaCl solution was carried out in the lab. The experimental results showed that in all the cases that are examined the organic coating protect steel rebars against to chloride corrosion.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται το φαινόμενο της φυσικής γήρανσης των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, κυρίως λόγω της μειωμένης ανθεκτικότητας του οπλισμένου σκυροδέματος, η οποία προκαλείται κατά κύριο λόγο από τη διάβρωση των οπλισμών. Η διάβρωση των μετάλλων είναι γενικά ένα σύνθετο φαινόμενο που εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και συχνά μη προβλέψιμο.

Γενικά οι κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι πολύ ανθεκτικές στη φθορά από φυσικά και χημικά αίτια, καθώς επίσης και από μηχανικές καταπονήσεις. Στην επιφάνεια του οπλισμού δημιουργείται ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα ένυδρου οξειδίου του σιδήρου, το οποίο λόγω της υψηλής αλκαλικότητας (pH= 12.5 – 13.5) τους προσφάτως χυτευμένου σκυροδέματος, προστατεύει τον οπλισμό από τη διάβρωση. Ωστόσο, η έκθεση του οπλισμένου σκυροδέματος σε διαβρωτικό περιβάλλον μπορεί να προκαλέσει την υποβάθμιση των ιδιοτήτων του σκυροδέματος και τη διάβρωση του οπλισμού. (Ζαχαροπούλου, Α., 2014)

Η διάβρωση του χάλυβα προκαλείται κυρίως από:

- Ενανθράκωση του σκυροδέματος,
- Επίδραση χλωριόντων,
- Συνδυαστική δράση χλωριόντων – διοξειδίου Άνθρακα,
- Δημιουργία ρωγμών λόγω μηχανικών καταπονήσεων ή κόπωσης.

Σε χώρες που περιβάλλονται από θάλασσα και με θερμό κλίμα, όπως η Ελλάδα, η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, τα χλωριόντα και άλλοι αέριοι ρύποι όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το διοξείδιο του θείου (SO₂) και τα οξείδια του αζώτου (NO_x), είναι παράγοντες θεμελιώδους σημασίας για τη φθορά και κατά συνέπεια την καταστροφή του σκυροδέματος, η οποία προκαλείται κατά κύριο λόγο από τη διάβρωση του οπλισμού.

Η διείσδυση των χλωριόντων μπορεί να γίνει είτε λόγω διάχυσης είτε λόγω μεταφοράς από το νερό. Η διείσδυση χλωριόντων σε υγρό περιβάλλον είναι η περισσότερο συνηθισμένη και σοβαρή μορφή διείσδυσης καθιστώντας ευκολότερη τη διάχυση τους διαμέσου του σκυροδέματος που περιβάλλει τον οπλισμό. Ακόμα όμως και σε χαμηλή υγρασία του περιβάλλοντος, η υγρασία στην επιφάνεια του σκυροδέματος αυξάνεται σημαντικά λόγω της υγροσκοπικής

ικανότητας των χλωριούχων αλάτων αυξάνοντας την πιθανότητα διάβρωσης του οπλισμού. Επίσης η αυξημένη θερμοκρασία επιταχύνει τις διαδικασίες διείσδυσης των ιόντων χλωρίου και κατά συνέπεια την διάβρωση του χάλυβα. (Ρούτουλας Α., 2010)

Η αυξημένη συγκέντρωση χλωριόντων στα αιωρούμενα σωματίδια σε παραθαλάσσιες περιοχές είναι η κύρια αιτία διάβρωσης των οπλισμών στις γέφυρες, σε λιμενοβραχίονες κ.α. Επίσης σε ψυχρά κλίματα, η χρησιμοποίηση αλάτων τήξης χιονιού στους δρόμους είναι μία συνήθης πρακτική, με αποτέλεσμα τα χλωριόντα να διαλύονται στο νερό και να διεισδύουν αρκετά εύκολα στο σκυρόδεμα (Αποστολόπουλος Χ. κ.α., 2009).

Για την αποτελεσματική προστασία του χαλύβδινου οπλισμού μπορούν να εφαρμοστούν τα παρακάτω είδη προστασίας: (Talukdar, S. and Banthia, N., 2013)

- Ηλεκτροχημικές μέθοδοι (καθodική προστασία, ηλεκτροχημική αφαίρεση χλωριόντων κ.α.),
- Προσθήκη αναστολέων διάβρωσης στο σκυρόδεμα ή ψεκασμός αναστολέων διάβρωσης στην επιφάνεια του σκυροδέματος.
- Χρήση οργανικών επικαλύψεων (χρωμάτων),
- Η χρήση ειδικών χαλύβων,
- Χρήση ορυκτών πρόσθετων (ιπτάμενη τέφρα, σκωρίες, πυριτική παιπάλη κ.α.) στο σκυρόδεμα.

Οι αναστολείς διάβρωσης είναι χημικές ενώσεις, οι οποίοι όταν βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια του χάλυβα έχουν την ικανότητα να επιβραδύνουν σημαντικά το ρυθμό διάβρωσης του (Elsener, 2001). Οι αναστολείς διάβρωσης γενικά χρησιμοποιούνται σε μικρές συγκεντρώσεις και ο μηχανισμός της δράσης τους δεν έχει διευκρινιστεί πλήρως. Μπορούν να επηρεάσουν είτε τις ανοδικές, είτε τις καθodικές αντιδράσεις, είτε και τις δύο. Μπορεί να είναι οργανικά ή ανόργανα άλατα όπως, νιτρικό ασβέστιο, νιτρώδες νάτριο, αμινοαλκοόλες, αλκανολαμίνες. (Ρούτουλας Α., 2010)

Οι αναστολείς διάβρωσης που χρησιμοποιούνται στο σκυρόδεμα θα πρέπει να παρέχουν προστασία στον οπλισμό για μεγάλο χρονικό διάστημα και να μην επηρεάζουν αρνητικά τις υπόλοιπες ιδιότητες του.

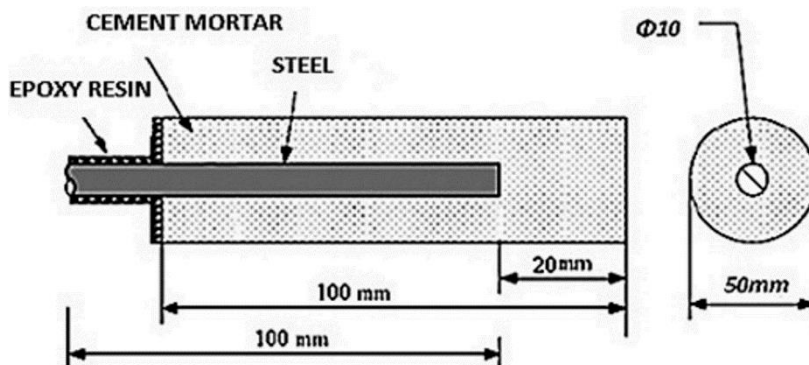
Οι οργανικοί αναστολείς διάβρωσης παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, καθώς μπορούν να διεισδύουν μέσω διάχυσης ή υπό αέρια μορφή (εξαχνούμενοι αναστολείς διάβρωσης). Όταν ο αναστολέας έλθει σε επαφή με τον οπλισμό, σχηματίζει ένα μονομοριακό προστατευτικό φιλμ, το οποίο μειώνει δραματικά τη διάβρωση, παρουσιάζοντας διπλή δράση, τόσο ανοδική όσο και καθodική (Zacharopoulou et al., 2013). Η παρούσα εργασία εξετάζει την ανθεκτικότητα των κονιαμάτων από τη διάβρωση με την χρήση οργανικής επικάλυψης η οποία περιέχει εξαχνούμενο αναστολέα διάβρωσης.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Τα πειράματα έλαβαν χώρα σε δοκίμια τσιμεντοκονίας μερικώς εμβαπτισμένα σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Η προστατευτική ικανότητα του αναστολέα διάβρωσης εξετάστηκε σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες κυλινδρικών δοκιμίων, οι οποίες περιλαμβάνουν αξονικά οπλισμό. Στην πρώτη κατηγορία εφαρμόστηκε επικάλυψη στην εξωτερική επιφάνεια του κονιάματος, στη δεύτερη πάνω στην επιφάνεια του οπλισμού και στην τρίτη κατηγορία στην επιφάνεια του οπλισμού και στην εξωτερική επιφάνεια του κονιάματος ταυτόχρονα. Και στις τρεις κατηγορίες η επικάλυψη εφαρμόστηκε με ψεκάσμο. Τα δοκίμια όλων των κατηγοριών εκτέθηκαν σε μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πρώτες ύλες

Για την κατασκευή των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο Portland CEM I 42.5N, αβεστολιθική άμμος (0-4 mm) και νερό δικτύου ΕΜΠ με σταθερό λόγο τσιμέντο: άμμος: νερό = 1:3:0.5. Κατασκευάστηκαν κυλινδρικά δοκίμια οπλισμένης τσιμεντοκονίας ύψους 100 mm και διαμέτρου 50 mm, στα οποία τοποθετήθηκε ομοαξονικά οπλισμός τύπου *Tempcore* B500C ύψους 100 mm και διαμέτρου 10 mm (ΕΛΟΤ 1421-37). Ο οπλισμός τοποθετήθηκε σε ύψος 15 mm από τη βάση των δοκιμίων, όπως δείχνει το σχήμα 1.



Σχήμα 1: Σκαρίφημα οπλισμένου τσιμεντοκονιάματος

Το προστατευτικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε είχε δύο επικαλυπτικά:

- Η πρώτη επικάλυψη ήταν βερνίκι που περιείχε τον πτητικό αναστολέα διάβρωσης. Ο πτητικός αναστολέας διάβρωσης εξαχνώνεται και η αέρια φάση εισέρχεται στο κονίαμα (ή σκυρόδεμα) και σχηματίζει ένα στρώμα παθητικό στην επιφάνεια του οπλισμού.
- Η δεύτερη επικάλυψη ήταν επίσης βερνίκι υδατοδιαλυτό το οποίο έχει υψηλό pH και έχει δυνατότητα παρεμπόδισης της υγρασίας στο κονίαμα. Αυτό εφαρμόζεται πάνω στην επικάλυψη 1.

Παρασκευή Δοκιμίων

Κατασκευάστηκαν 4 ομάδες δοκιμίων:

- Δοκίμια με επικάλυψη (και των δύο επικαλυπτικών) στην επιφάνεια του κονιάματος – Ομάδα Α
- Δοκίμια με επικάλυψη (και των δύο επικαλυπτικών) στην επιφάνεια του οπλισμού – Ομάδα Β
- Δοκίμια με επικάλυψη (και των δύο επικαλυπτικών) στην επιφάνεια του οπλισμού και του κονιάματος – Ομάδα Γ
- Δοκίμια χωρίς επικάλυψη (δοκίμια αναφοράς) - Ομάδα Δ

Τα δοκίμια όλων των κατηγοριών εκτέθηκαν σε μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 1. Χημική σύσταση τσιμέντου για την παρασκευή δοκιμίων

Οξείδια	CEM I 42.5N
SiO ₂	19.50
Al ₂ O ₃	4.80
Fe ₂ O ₃	3.60
CaO	63.50
MgO	3.40
K ₂ O	0.69
Na ₂ O	0.22
SO ₃	2.60
CaO _f	1.00
LOI	3.49
Αδιάλυτο Υπόλοιπο	0.20

Πειραματικές Μετρήσεις

A) Μετρήσεις Δυναμικού Διάβρωσης οπλισμών

Η μέτρηση του δυναμικού διάβρωσης του χάλυβα ως προς το ηλεκτρόδιο αναφοράς Ag/AgCl προσφέρει πληροφορίες για την πιθανότητα διάβρωσης του οπλισμού μέσα στο σκυρόδεμα (Broomfield, J. P., 2006). Η μετατόπιση του δυναμικού προς ηλεκτροθετικές τιμές σημαίνει ότι ο χάλυβας προστατεύεται και δείχνει προδιάθεση μειωμένης διάβρωσης, ενώ η μετατόπιση προς πιο

ηλεκτροαρνητικές τιμές δηλώνει προδιάθεση αυξημένης διάβρωσης, (Χουσίδης, Ν. 2015).

B) Μετρήσεις ηλεκτροχημικής απώλειας μάζας

Για τη διεξαγωγή των ηλεκτροχημικών μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε πειραματική διάταξη που περιελάμβανε ποτενσιοστάτη/γαλβανοστάτη συνδεδεμένο με υπολογιστή για την καταγραφή των πειραματικών δεδομένων. Ως ηλεκτρόδιο αναφοράς χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρόδιο Ag/AgCl, ως ηλεκτρόδιο εργασίας είναι ο υπό εξέταση οπλισμός και ως βοηθητικό ηλεκτρόδιο χρησιμοποιήθηκε ράβδος άνθρακα.

Για την εφαρμογή της μεθόδου της γραμμικής πόλωσης, απαιτείται να προσδιοριστεί αρχικά το δυναμικό διάβρωσης του χάλυβα. Εφαρμόζονται διάφορες τιμές δυναμικού στο χάλυβα και μετράται κάθε φορά το ρεύμα αποκρίσεως. Τα εφαρμοζόμενα δυναμικά είναι της τάξεως των mV από το δυναμικό διάβρωσης του χάλυβα. Με τις τιμές του δυναμικού E και τις αντίστοιχες εντάσεως ρεύματος i, προκύπτει το διάγραμμα E=f(i) το οποίο ονομάζεται καμπύλη πόλωσης.

Η αντίσταση πόλωσης υπολογίζεται από τη μαθηματική Εξίσωση 1:

$$R_p = \Delta E / \Delta I \quad (1)$$

Η ένταση του ρεύματος διάβρωσης υπολογίστηκε από την Εξίσωση 2:

$$I_{\text{corr}} = B / R_p \quad (2)$$

Όπου B είναι η σταθερά Tafel (B = 0,026 mV)

Με γνωστό το ρεύμα διάβρωσης προσδιορίζεται η απώλεια μάζας, με βάση το νόμο του Faraday, σύμφωνα με την Εξίσωση 3:

$$\beta = I \cdot M \cdot t / n_e \cdot F \quad (3)$$

Όπου: β είναι η απώλεια μάζας του οπλισμού (g)

I το ρεύμα διάβρωσης I_{corr} ,

M το ατομικό βάρος του μετάλλου (56 g για τον Fe),

t ο χρόνος έκθεσης των δοκιμίων (s),

n_e ο αριθμός των e^- (= 2 για $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e^-$),

F η σταθερά Faraday 96.500 (A * s).

Γ) Υπολογισμός απώλειας μάζας

Για τον υπολογισμό της απώλειας μάζας των χαλύβδινων οπλισμών υπολογίζεται η διαφορά μεταξύ του αρχικού και του τελικού βάρους του οπλισμού πριν και μετά την έκθεσή του σε διαβρωτικό περιβάλλον.

$$\Delta m = m_{\text{αρχ}} - m_{\text{τελ}} \quad (4)$$

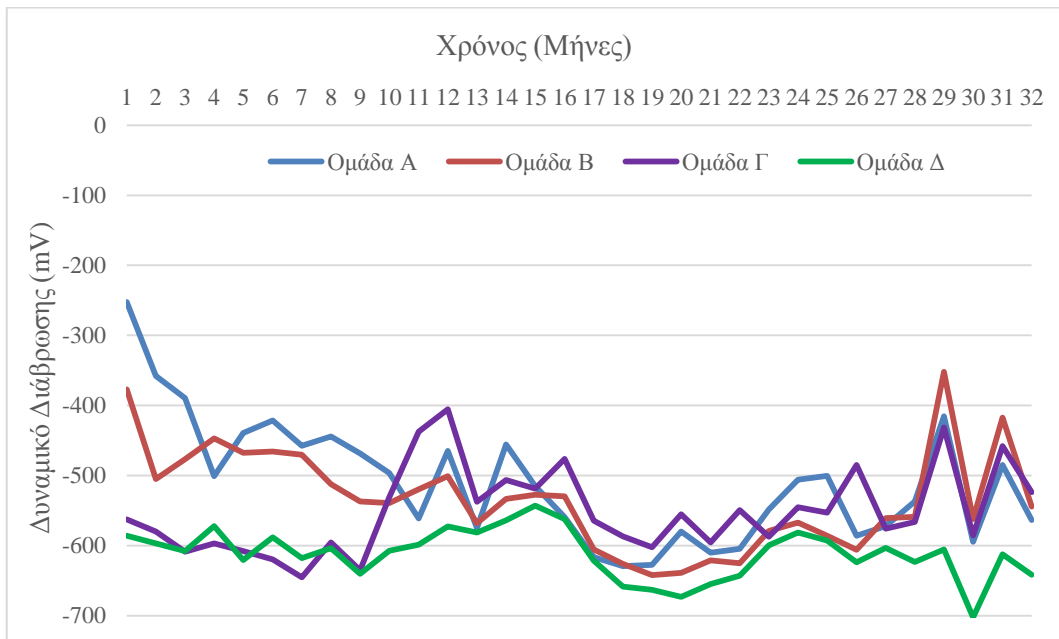
Όπου Δm η διαφορά μάζας του οπλισμού σε gr.

Οι οπλισμοί αρχικά καθαρίζονται με νερό, απιονισμένο νερό και ακετόνη για απομάκρυνση τυχόν οξειδίων, ελαίων κ.α. από την επιφάνειά τους, και στη συνέχεια ζυγίζονται με ακρίβεια 0.1 mg. (ISO/DIS 8407.3)

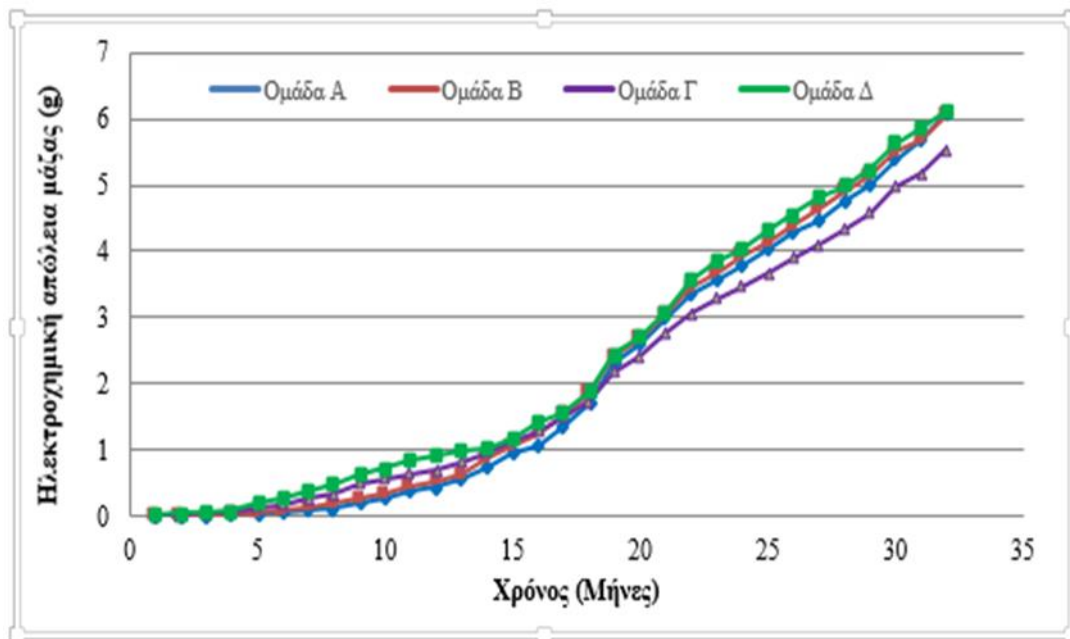
ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται ο μέσος όρος των δυναμικών διάβρωσης έξι (6) δοκιμίων σε συνάρτηση με το χρόνο έκθεσης των δοκιμίων στο διαβρωτικό περιβάλλον. Από το γράφημα παρατηρείται ότι η εφαρμογή του αναστολέα επέφερε μετακίνηση του δυναμικού σε ηλεκτροθετικότερες τιμές σε σχέση με τα δοκίμια χωρίς αναστολέα διάβρωσης. Από τις μετρήσεις προκύπτει ότι η εφαρμογή της διπλής επικάλυψης επί του κονιάματος επέφερε μετακίνηση του δυναμικού σε ηλεκτροθετικότερη τιμή για τους πρώτους 10 μήνες, σε σχέση με την εφαρμογή του αναστολέα διάβρωσης μόνο στον οπλισμό. Μετά τον 11^ο μήνα από τις μετρήσεις προκύπτει ότι η εφαρμογή της επικάλυψης στον οπλισμό και στο κονίαμα επέφερε μετακίνηση του δυναμικού σε ηλεκτροαρνητικότερες τιμές έως τον 26^ο μήνα. Είναι αξιοσημείωτο ότι οι τιμές του δυναμικού διάβρωσης των δοκιμίων με την διπλή επικάλυψη είτε στον κονίαμα, είτε στον οπλισμό είτε και στα δυο, είναι ηλεκτροθετικότερες σε όλη την διάρκεια του πειράματος από τις τιμές του δοκιμίου αναφοράς (χωρίς επικάλυψη).

Προκειμένου να εξαχθεί συμπέρασμα για την ανθεκτικότητα των κονιαμάτων για κάθε ομάδα δοκιμίων, τα αποτελέσματα της απώλειας μάζας παριστάνονται γραφικά σε συνάρτηση με τον χρόνο. Στο Σχήμα 3 απεικονίζεται η ηλεκτροχημική απώλεια της μάζας του οπλισμού των τεσσάρων ομάδων δοκιμίων συναρτήσει με τον χρόνο. Από το γράφημα γενικά προκύπτει ότι η ηλεκτροχημική απώλεια μάζας αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου για όλες τις κατηγορίες δοκιμίων. Όλες οι μετρήσεις της ηλεκτροχημικής απώλειας μάζας των δοκιμίων που είχε εφαρμοστεί διπλή επικάλυψη είναι μικρότερες από αυτές των δοκιμίων αναφοράς. Μετά τους 19 μήνες παρατηρείται μικρότερη απώλεια μάζας στα δοκίμια στα οποία έχει γίνει εφαρμογή του αναστολέα διάβρωσης και στον οπλισμό και στο κονίαμα.

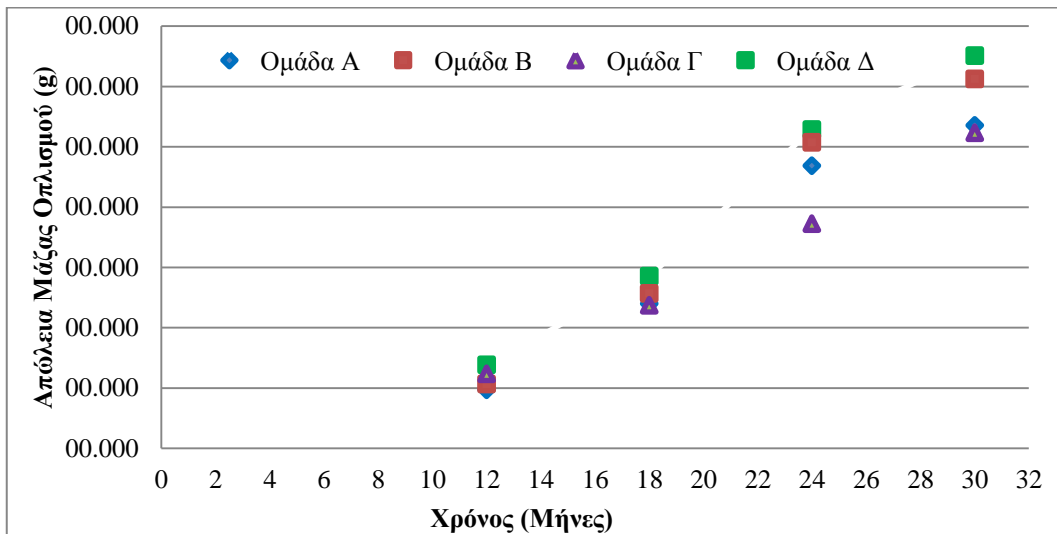


Σχήμα 2: Δυναμικό διάβρωσης (mV) συναρτήσει του χρόνου (μήνες) για τις 4 ομάδες δοκιμίων.



Σχήμα 3: Ηλεκτροχημική απώλεια μάζας (g) συναρτήσει του χρόνου (μήνες) για τις 4 ομάδες δοκιμίων.

Για τον υπολογισμό της απώλειας μάζας των οπλισμών θραύτηκαν δοκίμια και από τις τέσσερις ομάδες στους 12, 18, 24 και 30 μήνες. Στο σχήμα 4 απεικονίζεται η απώλεια μάζας των οπλισμών συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρατηρείται ότι και τα τρία συστήματα προσέφεραν προστασία στα δοκίμια. Επίσης, ενώ τους πρώτους 12 μήνες προκύπτει ότι τα δοκίμια με εφαρμογή της οργανικής επικάλυψης με αναστολέα διάβρωσης επί του κονιάματος είχαν μικρότερη απώλεια μάζας οπλισμού, στη συνέχεια τα δοκίμια με εφαρμογή της οργανικής επικάλυψης με αναστολέα διάβρωσης επί του κονιάματος και στον οπλισμό παρουσιάζουν μικρότερη απώλεια μάζας.



Σχήμα 4: Απώλεια μάζας (g) συναρτήσεως του χρόνου (μήνες) για τις 4 ομάδες δοκιμίων.

Με βάση και των τριών μεθόδων εκτίμησης της διάβρωσης προκύπτει ότι στα δοκίμια που έχει εφαρμοστεί διπλή επικάλυψη έχουν μικρότερη διάβρωση από τα δοκίμια αναφοράς. Το μεγαλύτερο βαθμό προστασίας παρουσιάζουν τα δοκίμια στα οποία έχει εφαρμοστεί διπλή επικάλυψη και στο οπλισμό και στην επιφάνεια του κονιάματος, της τάξεως του 19%. Ο βαθμός αυτός προστασίας δεν είναι ικανοποιητικός δεδομένου ότι υπάρχουν αναστολές διάβρωσης που δίνουν βαθμό προστασίας 50%. Ο μικρός βαθμός προστασίας πιθανόν να οφείλεται στην εξάτμιση του αναστολέα διάβρωσης, που αφήνει κενά στην επικάλυψη που τον περιέχει.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων προκύπτουν τα πιο κάτω συμπεράσματα:

- Η οργανική επικάλυψη με αναστολέα διάβρωσης σε όλες τις εξεταζόμενες περιπτώσεις προσδίδει προστασία στον οπλισμό έναντι των ιόντων χλωρίου.
- Το σύστημα με εφαρμογή της οργανικής επικάλυψης με αναστολέα διάβρωσης στην επιφάνεια του κονιάματος και στην επιφάνεια του οπλισμού προσέφερε καλύτερη προστασία με τις άλλες δύο συστήματα.
- Το μεγαλύτερο ποσοστό προστασίας από την διάβρωση ανέρχεται στο 19%.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Broomfield, J. P. (2006). Corrosion of Steel in Concrete: Understanding, Investigation and Repair, Second Edition, Taylor & Francis.

Chousidis, N., E. Rakanta, I. Ioannou and G. Batis (2015). "Anticorrosive Effect of Electrochemical Manganese Dioxide By-Products in Reinforced Concrete." Journal of Materials Science and Chemical Engineering Vol.03No.05: 12.

Chousidis, N., E. Rakanta, I. Ioannou and G. Batis (2015). Effect of Iron Oxides scrups on mechanical properties and hydration of concrete. 10o Conference of Chemical Engineering: Challenges and Prospects.

Chousidis, N., E. Rakanta, I. Ioannou and G. Batis (2015). "Mechanical properties and durability performance of reinforced concrete containing fly ash." Construction and Building Materials 101, Part 1: 810-817.

Chousidis, N., E. Rakanta, I. Ioannou and G. Batis (2016). "Influence of iron mill scale additive on the physico-mechanical Eproperties and chloride penetration resistance of concrete." Advances in Cement Research 28(6): 389-402.

Elsener, B. (2001). Corrosion Inhibitors for steel in concrete (European Federation of Corrosion Publications) Maney Pub.

Zazharopoulou, E., Zacharopoulou, A., Seyedalhosseini, A., Batis, G. & Tsivilis, S. (2013). Effect of corrosion Inhibitors in Limestone cements. Materials sciences and Applications, vil.4,12A, pp.12-19.

S. Talukdar, N. Banthia, Carbonation in concrete infrastructure in the context of global climate change: Development of a service lifespan model, Construction and Building Materials 40 (2013) 775–782.

Rakanta, E., T. Zafeiropoulou and G. Batis (2013). "Corrosion protection of steel with DMEA-based organic inhibitor." Construction and Building Materials **44**(0): 507-513.

Αποστολόπουλος Χ., Παπαδάκης Ε., Δέμης Σ., «Διερεύνηση της ανθεκτικότητας των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα και της επακόλουθης υποβάθμισης λόγω διάβρωσης οπλισμού από τη δράση χλωριόντων», 16^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, 2009, Πάφος, Κύπρος.

Ζαχαροπούλου, Α., «Επίδραση προσθέτων- πρόσμικτων στη διάβρωση του χάλυβα οπλισμού του σκυροδέματος» Διδακτορική Διατριβή (υπό την επίβλεψη του Καθ. Γ. Μπατή), Σχολή Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα (2014).

- Μπατής Γ., Σημειώσεις Φθορά και Προστασία Υλικών, Αθήνα 2006.
- Μπατής Γ., «Χρήση νέων υλικών για την αύξηση της ανθεκτικότητας των κατασκευών», Ημερίδα ΤΕΕ «Ενίσχυση κτιρίων με σύγχρονα υλικά», 2007, Αθήνα.
- Μπατής Γ., Γρηγοριάδης Γ., «Η επίδραση οργανικών αναστολέων διάβρωσης στο οπλισμένο ελαφροβαρές σκυρόδεμα», Αθήνα 2003.
- Μπατής Γ., Σιόβα Ε., «Ανθεκτικότητα Κονιαμάτων Αποκατάστασης με Λευκό Τσιμέντο – Δυνατότητες Προστασίας», 16^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, 2009, Πάφος, Κύπρος.
- Ντάφλου Ε., Καραντώνης Α., Μπατής Γ., «Προστασία του δομικού χάλυβα με τη χρήση πτητικών αναστολέων διάβρωσης. Μελέτη της προσρόφησης του αναστολέα στη μεταλλική επιφάνεια», 16^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, 2009, Πάφος, Κύπρος.
- Ντάφλου Ε., Ρακαντά Ε., Μπατής Γ., «Αντιδιαβρωτικές μέθοδοι προστασίας του εκτεθειμένου στην ατμόσφαιρα δομικού χάλυβα με τη χρήση επιστρωμάτων που περιέχουν αναστολείς διάβρωσης», 15^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, 2006, Αλεξανδρούπολη.
- Παναγιωτίδης Θ., «Αναστολείς Διάβρωσης: Ένα αποτελεσματικό όπλο κατά της διάβρωσης», 2011, www.e-archimedes.gr.
- Ρακαντά Ε., Μπατής Γ., «Αναστολείς διάβρωσης για την προστασία κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος», 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, 2008, Αθήνα.
- Ρούτουλας Α., Σημειώσεις Μαθήματος «Έλεγχος Ποιότητας και Τεχνολογία Δομήσιμων Υλικών», Αθήνα 2010.
- Ρούτουλας Α., Μπατής Γ., Μανίτα Π., Μαρουσάκη Α., «Επίδραση ορυκτών προσθέτων και αναστολέων διάβρωσης στην αντιδιαβρωτική προστασία οπλισμών σκυροδέματος», 15^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, 2006, Αλεξανδρούπολη.
- Σιδέρης Κ., Μπατής Γ., Πανταζοπούλου Π., «Μελέτη της επίδρασης της προσθήκης νιτρώδους ασβεστίου σε τσιμεντοκονιάματα εκτεθειμένα σε περιβάλλον χλωριόντων – θεικών», 16^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, 2009, Πάφος, Κύπρος.
- Τσίμας Σ., Τσιβιλής Σ., Επιστήμη και Τεχνολογία Τσιμέντου, Εκδόσεις Ε.Μ.Π. Αθήνα 2004.
- Υφαντής Δ., «Υλικά – Διάβρωση και Προστασία», Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2008.

Χουσίδης, Ν. «Επίδραση ορυκτών προσθέτων παραπροϊόντων βιομηχανίας στη διάβρωση του οπλισμού σκυροδέματος», Διδακτορική Διατριβή (υπό την επίβλεψη του Καθ. Γ. Μπατή), Σχολή Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα (2015).