

Διερεύνηση των Δυνατοτήτων Προστασίας του Χ.Ο.Σ. από την Διάβρωση με MCI

Ε. Ρακαντά,

Χημικός Μηχανικός, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Γ. Μπατής

Καθηγητής, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Λέξεις κλειδιά: Διάβρωση οπλισμένου σκυροδέματος, Αναστολείς Διάβρωσης,

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να εξετάσει την δράση των διαχεόμενων αναστολέων διάβρωσης (τύπος αναστολέα: Μικτός) με κύρια δραστική τις αλκανολαμίνες έναντι της διάβρωσης του δομικού χάλυβα σε τσιμεντοκονιάματα. Η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των διαχεόμενων αναστολέων διάβρωσης πραγματοποιήθηκε σε δοκίμια τσιμεντοκονίας και σε κισσηροκονιάματα. Η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας του αναστολέα διάβρωσης πραγματοποιήθηκε με ηλεκτροχημικές τεχνικές, μέτρηση της ενανθράκωσης και με σταθμικό προσδιορισμό της απώλειας μάζας. Τα αποτελέσματα της εργασίας έδειξαν ότι η προσθήκη των αλκανολαμινών στα δοκίμια οπλισμένης τσιμεντοκονίας και στα κισσηροκονιάματα μείωσε τον ρυθμό διάβρωσης του χάλυβα Ο.Σ. λόγω της δράσης των αλκανολαμινών να σχηματίζουν ένα σταθερό και συνεκτικό, με το υπόστρωμα παθητικό στρώμα στην επιφάνεια του χάλυβα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διάβρωση του σκυροδέματος αποτελεί ένα από τα κυριότερα κατασκευαστικά και οικονομικά προβλήματα στις μέρες μας διεθνώς. Τα προϊόντα διάβρωσης λόγω του μεγαλύτερου μοριακού τους όγκου από αυτόν του σιδήρου ασκούν εφελκυστικές τάσεις στο σκυρόδεμα με αποτέλεσμα την δημιουργία ρωγμών, καθώς επίσης μειώνουν την συνάφεια οπλισμού /σκυροδέματος. Ένας απλός και αποτελεσματικός τρόπος της αύξησης της αντοχής σε διάβρωση είναι η χρήση χημικών πρόσθετων αναστολέων διάβρωσης. Τα χημικά πρόσθετα αναστολής διάβρωσης στο σκυρόδεμα έχουν σαν στόχο τον περιορισμό της διάβρωσης ου οπλισμού μέσω της δράσης τους στην επιφάνεια του οπλισμού (Berke N.S., 1991, Berke N.S., 1992). Η προσθήκη του αναστολέα διάβρωσης δεν πρέπει να επηρεάζει σημαντικά άλλες ωφέλιμες ιδιότητες του σκυροδέματος όπως τη θλιπτική αντοχή. Γενικά ο βαθμός προστασίας ενός αναστολέα διάβρωσης εξαρτάται από την συγκέντρωση του σε σχέση με την συγκέντρωση των χλωριόντων. Επομένως ο ρυθμός εισόδου των χλωριόντων και ο ρυθμός απόπλυσης του αναστολέα διάβρωσης ρυθμίζουν το χρόνο προστασίας (Nuerberger U., 1986, Ramirez D., 1993). Γενικά οι αναστολείς διάβρωσης κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:(α) Ανοδικοί, (β) Καθοδικοί και (γ) Μικτοί. Οι *ανοδικοί αναστολείς διάβρωσης* αντιδρούν με τα προϊόντα της διάβρωσης του οπλισμού και δημιουργούν ένα προστατευτικό λεπτό στρώμα στην επιφάνεια του. Σταδιακά καλύπτεται όλη η επιφάνεια των χαλύβων, οπότε η διαδικασία της διάβρωσης σταμάτα. Οι *ανοδικοί αναστολείς διάβρωσης* θεωρούνται ότι είναι «επικίνδυνοι» εξαιτίας του ότι εάν χρησιμοποιούνται σε πολύ μικρές ποσότητες, προκαλούν αύξηση του ρυθμού διάβρωσης (Batis G., 1996). Οι *καθοδικοί αναστολείς διάβρωσης* επιδρούν στην καθοδική δράση με αντίδραση με τα υδροξυλιόντα προς κατακρήμνιση

αδιάλυτων συστατικών στην καθοδική περιοχή, οπότε παρεμποδίζεται η διάχυση του οξυγόνου στην περιοχή γύρω από τον οπλισμό. π.χ. άλατα του ψευδαργύρου, του μαγνησίου ή του ασβεστίου. Οι καθοδικοί αναστολείς διάβρωσης θεωρούνται ως «ασφαλείς αναστολείς» διότι η ενεργή καθοδική επιφάνεια μειώνεται σε συνάρτηση με την ποσότητα του αναστολέα που χρησιμοποιείται. Η αντίδραση αναστολής της διάβρωσης επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως: διαλυτότητα, διασπορά και την αναλογία αναστολέα χλωριόντων (για τους ανοδικούς αναστολείς), την χημική σύσταση του τσιμέντου, τις συνθήκες ωρίμανσης, θερμοκρασία και το pH του διαλύματος των πόρων του σκυροδέματος. Από τους δύο αυτούς τύπους των αναστολέων διάβρωσης, οι ανοδικοί αναστολείς βρέθηκε ότι είναι πιο δραστηριοί σε σχέση με τους καθοδικούς αναστολείς διάβρωσης. Οι *μικτοί αναστολείς* οι οποίοι ενεργούν τόσο στην ανοδική όσο και στην καθοδική δράση θεωρείται ότι παρέχουν την καλύτερη αντιδιαβρωτική προστασία (Batis G, 1999, Hansson C.M, 1998, Mammoliti, 1999).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να εξετάσει την δράση των διαχεόμενων αναστολέων διάβρωσης (τύπος αναστολέα: Μικτός) με κύρια δραστηριότητα τις αλκαλοαμίνες έναντι της διάβρωσης του δομικού χάλυβα σε τσιμεντοκονιάματα. Η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των διαχεόμενων αναστολέων διάβρωσης πραγματοποιήθηκε σε δοκίμια τσιμεντοκονίας τόσο σε περιβάλλον χλωριόντων όσο και σε αστικό περιβάλλον.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ

2.1 Υλικά

Για την κατασκευή όλων των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο Πόρτλαντ, του οποίου η χημική σύσταση δίνεται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Χημική σύσταση % τσιμέντου Πόρτλαντ (OPC).

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	CaO _(f)	LOI
20.67	4.99	3.18	63.60	2.73	0.37	0.29	2.414	2.41	2.52

Τα μισά από τα δοκίμια τα οποία κατασκευάστηκαν χρησιμοποιήθηκαν ελαφροβαρή αδρανή (κίσηρη), ενώ τα υπόλοιπα είχαν σαν αδρανή άμμο γνωστής κοκκομετρίας. Η χρήση των ελαφροβαρών αδρανών έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του πορώδους των τσιμεντοκονιάματων.

Ως ελαφροβαρή αδρανή χρησιμοποιήθηκε κίσηρη ψιλή μέσης διαμέτρου από 0-8mm. Η μέση διάμετρος της άμμου ήταν $250\mu\text{m} < d < 4\text{mm}$.

Ο οπλισμός των δοκιμίων ήταν τύπου S500s Tempcore διαμέτρου 12mm (Φ12) και μήκους 100mm για όλα τα δοκίμια, η χημική σύσταση των οποίων δίνεται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2. Χημική σύσταση % δομικού χάλυβα τύπου S500s Tempcore.

C	Mn	S	P	Si	Ni	Cr	Cu	V	Mo
0.18	0.99	0.047	0.023	0.15	0.09	0.09	0.21	0.002	0.021

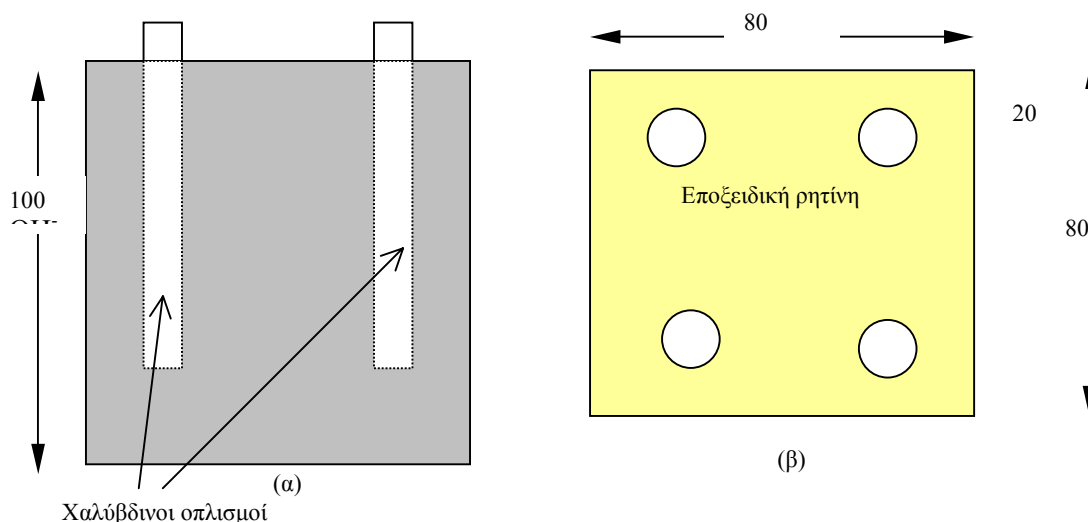
Η δοσολογία και η χρήση του διαχεόμενου αναστολέα διάβρωσης έγινε σύμφωνα με τις οδηγίες της κατασκευάστριας εταιρίας. Οι διαχεόμενοι αναστολείς διάβρωσης τύπου MCI προστατεύουν τόσο το ανοδικό όσο και το καθοδικό κομμάτι της διάβρωσης δημιουργώντας ένα προστατευτικό

φιλμ στην επιφάνεια του χάλυβα το οποίο λειτουργεί ως ένα φυσικό φράγμα, εμποδίζοντας την υγρασία και το οξυγόνο να έρθει σε επαφή με τον οπλισμό. Επιπρόσθετα έχουν την ιδιότητα να διαχέεται δια μέσο των πόρων του σκυροδέματος τόσο στην υγρή όσο και στην ατμώδη φάση. Η δοσολογία που χρησιμοποιήθηκε ο αναστολέας διάβρωσης τόσο στα τσιμεντοκονιάματα όσο και στα κισσηροκονιάματα ήταν σύμφωνα με τις οδηγίες της κατασκευάστριας εταιρείας. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε αναστολέας διάβρωσης σε *υγρή μορφή* με δοσολογία προσθήκης $1,24\text{lt}/\text{m}^3$ κονιάματος και αναστολέας διάβρωσης του ίδιου τύπου *αλλά σε στερεά μορφή* (παιπάλη) με δοσολογία $0,632\text{gr}/\text{Kgr}$ κονιάματος.

2.2. Κατασκευή δοκιμών τσιμεντοκονιάματος

στην παρούσα εργασία τα δοκίμια που κατασκευάστηκαν είχαν διαστάσεις 80 μήκος 80 πλάτος και 100 ύψος. Κάθε ένα από αυτά τα δοκίμια περιείχε τέσσερις οπλισμούς σε θέσεις όπως αυτές απεικονίζονται στο σχήμα 1. χάλκινα καλώδια συνδέθηκαν στο πάνω μέρος των οπλισμών (εκτός κονιάματος) για την διεξαγωγή των ηλεκτροχημικών μετρήσεων και στην συνέχεια επικαλύφθηκαν με εποξειδική ρητίνη έτσι ώστε να προστατευτούν από την ατμοσφαιρική διάβρωση. Τα δοκίμια των χαλύβων πριν την σκυροδέτηση τους στα δοκίμια τσιμεντοκονίας, καθαρίστηκαν με διάλυμα υδροχλωρικού οξέος με αναστολέα διάβρωσης έτσι ώστε να απομακρυνθούν τυχόν οξειδία από την επιφάνεια τους ξεπλύθηκαν με αποιονισμένο νερό και στην συνέχεια εμβαπτίστηκαν σε ακετόνη και ζυγίστηκαν με ακρίβεια τέταρτου δεκαδικού ψηφίου (ISO/DIS 8407.3).

Όλα τα δοκίμια κονιάματος τοποθετήθηκαν σε θάλαμο ωρίμανσης υπό σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας, T και σχετικής υγρασίας, RH ($T=25^\circ\text{C}$ και $RH=98\%$) για 24 ώρες. Μετά την ωρίμανση τους τα δοκίμια χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά δοκίμια τα οποία εμβαπτίστηκαν σε 3,5% κ.β. υδατικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου και η δεύτερη εκείνα τα οποία εκτέθηκαν στην ατμόσφαιρα. Κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες περιέχει έξι σειρές δοκιμών, με δοκίμια αναφοράς εκείνα χωρίς αναστολέα διάβρωσης.



Σχήμα 1. Σχηματική απεικόνιση πειραματικών δοκιμών οπλισμένου τσιμεντοκονιάματος (α) κάτοψη, (β) πλάγια όψη. Διαστάσεις σε mm

Οι αναλογίες των υλικών των οποίων χρησιμοποιήθηκαν και οι κωδική ονομασία των δοκιμών δίνεται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3. Κατηγορίες δοκιμών – Αναλογίες υλικών.

Ονομασία δοκιμών	Κατηγορίες Δοκιμών					
	Αναλογίες Υλικών					Παρατηρήσεις
	Τσιμέντο	Κίσηρη	Άμμος	Νερό	Αναστολέας Διάβρωσης Μ	
K-C	1	3	--	1	--	Κατηγορία I: Μερική εμβάπτιση σε 3,5%κ.β. NaCl
K_I-C	1	3	--	1	1,24 lt/m ³ κονιάματος	
K_II-C	1	3	--	1	0,632 g/Kg κονιάματος	
S-C	1	--	3	0,6	--	
S_I-C	1	--	3	0,6	1,24 lt/m ³ κονιάματος	
S_II-C	1	-	3	0,6	0,632 g/Kg κονιάματος	
K-A	1	3	--	1	--	Κατηγορία II: Έκθεση στην ατμόσφαιρα
K_I-A	1	3	--	1	1,24 lt/m ³ κονιάματος	
K_II-A	1	3	--	1	0,632 g/Kg κονιάματος	
S-A	1	--	3	0,6	--	
S_I-A	1	--	3	0,6	1,24 lt/m ³ κονιάματος	
S_II-A	1	--	3	0,6	0,632 g/Kg κονιάματος	

2.3. Μέθοδοι Εκτίμησης

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι να διερευνηθεί και να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα διαχεόμενων αναστολέων διάβρωσης στο σκυρόδεμα σαν μια μέθοδο προστασίας του οπλισμού έναντι της διάβρωσης παρουσίας χλωριόντων.

Η αποτελεσματικότητα των διαχεόμενων αναστολέων διάβρωσης εκτιμήθηκε σε κισσηροκονιάματα και συμβατικά τσιμεντοκονιάματα. Η αναστολή της διάβρωσης των οργανικών αμινοαλκοολών διαχεόμενων αναστολέων διάβρωσης εκτιμήθηκε τόσο σε περιβάλλον χλωριόντων (μερική εμβάπτιση των δοκιμών σε 3,5% διάλυμα NaCl κατηγορία I) όσο και σε αστικό (έκθεση δοκιμών στην ατμόσφαιρα – κατηγορία II).

Ως μέθοδοι εξέτασης της συμπεριφοράς των δοκιμών ως προς την διάβρωση ήταν:

➤ Ηλεκτροχημικές μετρήσεις μη καταστρεπτικές μέθοδοι εκτίμησης της διάβρωσης) όπως:

Μετρήσεις του δυναμικού διάβρωσης (σύμφωνα με το πρότυπο *ASTM C876-87*), προκειμένου να προσδιοριστεί η κατάσταση των οπλισμών συναρτήσει του χρόνου έκθεσης τους στο διαβρωτικό περιβάλλον μέσα στα τσιμεντοκονιάματα Το δυναμικό διάβρωσης

των δοκιμών μετρήθηκε σε τακτά περιοδικά χρονικά διαστήματα ως προς το ηλεκτρόδιο αναφοράς του κεκορεσμένου καλομέλανα (SCE).

- Ενανθράκωσης σύμφωνα με τη μέθοδο *RILEM CPC-18*, για τον προσδιορισμό της ενανθράκωσης των τσιμεντοκονιαμάτων.
- Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας του σιδηροπλισμού μετά από συγκεκριμένο χρόνο έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον, για τον προσδιορισμό του ρυθμού διάβρωσης τους στο σκυρόδεμα και κατά συνέπεια της εκτίμησης της ανθεκτικότητας των τσιμεντοκονιαμάτων / σκυροδεμάτων στις περιβαλλοντικές συνθήκες της Ελλάδας (*ISO / DIS 8407.3*).

Η εκτίμηση του ρυθμού διάβρωσης από τις μετρήσεις της απώλειας μάζας των οπλισμών υπολογίστηκε σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$\text{Ρυθμός Διάβρωσης } (\mu\text{m/y}) = 8.76 \times 10^7 W / (A * T * D)$$

W: Απώλεια μάζας σε [g], *A*: Επιφάνεια οπλισμού σε [cm²], *T*: Χρόνος έκθεσης σε ώρες [h], *D*: Πυκνότητα χάλυβα σε [g/cm³]

3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

3.1 Δοκίμια μερικής εμβάπτισμένα σε υδατικό διάλυμα 3.5%κ.β. NaCl

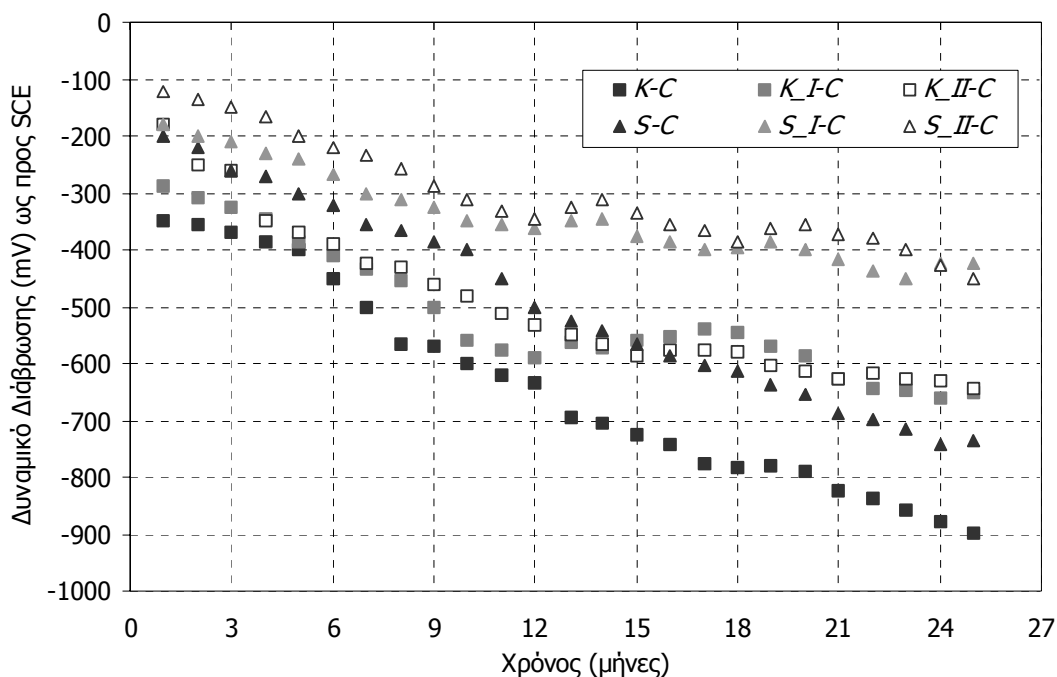
Οι μετρήσεις του δυναμικού διάβρωσης συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον απεικονίζονται στο διάγραμμα του σχήματος 2. Σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ASTM C 876, «*Standard test method for Half Cell Potentials of reinforcing Steel in Concrete*», όσο πιο αρνητικές είναι οι ενδείξεις του δυναμικού διάβρωσης τόσο μεγαλύτερη η πιθανότητα ο οπλισμός στο σκυρόδεμα να βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση. Ειδικότερα τιμές δυναμικού μικρότερες από -350 mV αποτελούν ένδειξη ότι ο οπλισμός κατά 90% βρίσκεται στην περιοχή της ενεργής διάβρωσης. Από το διάγραμμα του σχήματος 2 παρατηρούνται τα εξής:

Τα δοκίμια ελέγχου από κισσηροκονία K-C έχουν την τάση για μείωση των δυναμικών διάβρωσης από την περιοχή [-350mV ÷ -450mV]_{v.s SCE}, για τους πρώτους μήνες εμβάπτισης τους σε διάλυμα χλωριούχου νατρίου στην, [-800mV ÷ -900mV]_{v.s SCE} στο τέλος του χρόνου εμβάπτισης. Τέτοιες τιμές δυναμικού συνιστούν πιθανότητα διάβρωσης των οπλισμών πολύ μεγάλη (ο οπλισμός βρίσκεται στην ενεργή περιοχή των δυναμικών διάβρωσης).

Τα δοκίμια οπλισμένης κισσηροκονίας με αναστολέα διάβρωσης σε υγρή ή στερεά μορφή K_I-C και K_II-C παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά από ότι τα δοκίμια ελέγχου. Συγκεκριμένα παρατηρείται μείωση των δυναμικών διάβρωσης από την περιοχή [-150mV ÷ -250mV]_{v.s SCE} στην περιοχή [-350mV ÷ -450mV]_{v.s SCE} για τον πρώτο χρόνο εμβάπτισης στο διάλυμα χλωριούχου νατρίου, ενώ στην συνέχεια για τους επόμενους μήνες σταθεροποίηση του δυναμικού διάβρωσης στην περιοχή [450mV ÷ -550mV]_{v.s SCE}.

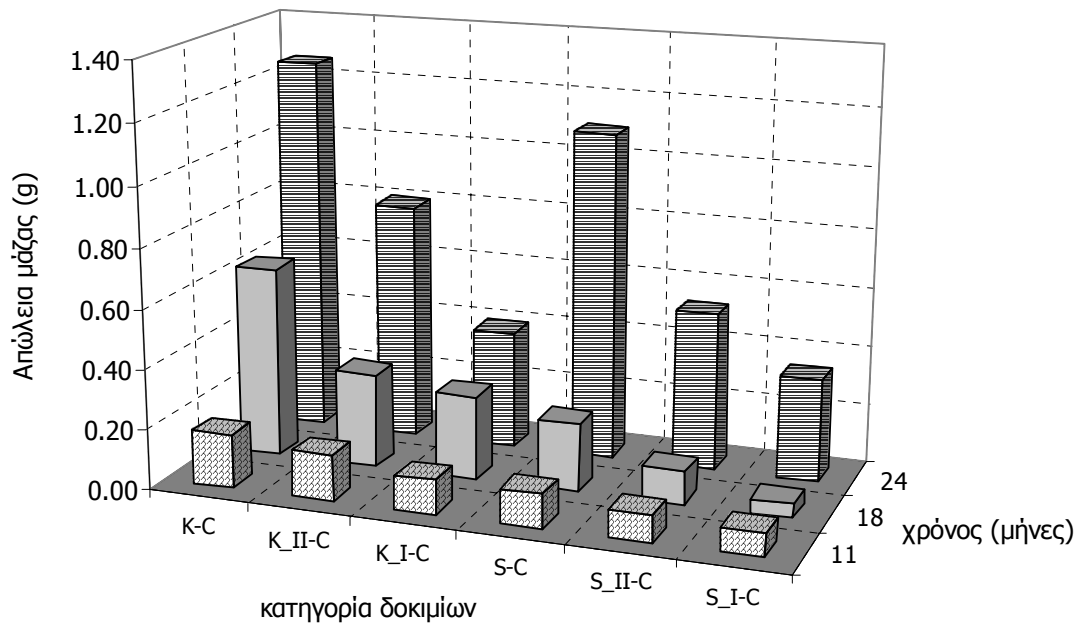
Τα δοκίμια ελέγχου οπλισμένης τσιμεντοκονίας S-C έχουν την τάση για μείωση των δυναμικών διάβρωσης από την περιοχή [-200mV ÷ -250mV]_{v.s SCE}, στην [-500mV ÷ -550mV]_{v.s SCE} για τον πρώτο χρόνο εμβάπτισής τους σε διάλυμα χλωριούχου νατρίου. Ενώ για τον δεύτερο χρόνο (από 12 έως 24 μήνες) εμβάπτισης τους η τάση για μείωση του δυναμικού διάβρωσης των οπλισμών παρουσιάζει ύφεση. Συγκεκριμένα στο 2^ο χρόνο έχουμε ηπιότερες μεταβολές του δυναμικού από την περιοχή [-550mV ÷ -600mV]_{v.s SCE}, στην [-700mV ÷ -720mV]_{v.s SCE} στο τέλος του 2^{ου} χρόνου εμβάπτισης. Τέτοιες τιμές δυναμικού συνιστούν ότι ο οπλισμός βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση, δηλαδή διαβρώνεται.

Τα δοκίμια οπλισμένης τσιμεντοκονίας με αναστολέα διάβρωσης σε υγρή ή στερεά μορφή S_I-C και S_II-C παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά από ότι τα δοκίμια ελέγχου. Συγκεκριμένα παρατηρείται μείωση των δυναμικών διάβρωσης από την περιοχή $[-120\text{mV} \div -150\text{mV}]_{\text{v.s SCE}}$ στην περιοχή $[-250\text{mV} \div -300\text{mV}]_{\text{v.s SCE}}$ για τον πρώτο χρόνο εμφάνισης στο διάλυμα χλωριούχου νατρίου, ενώ στην συνέχεια για τους επόμενους μήνες σταθεροποίηση του δυναμικού διάβρωσης στην περιοχή $[350\text{mV} \div -420\text{mV}]_{\text{v.s SCE}}$. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C 876, ο οπλισμός των δοκιμίων βρίσκεται σε παθητική κατάσταση, δηλαδή δεν διαβρώνεται, για τον 1^ο χρόνο μερικής εμφάνισης σε διάλυμα χλωριόντων, ενώ η κατάσταση του μεταβαίνει το 2^ο χρόνο σε αβέβαιη.



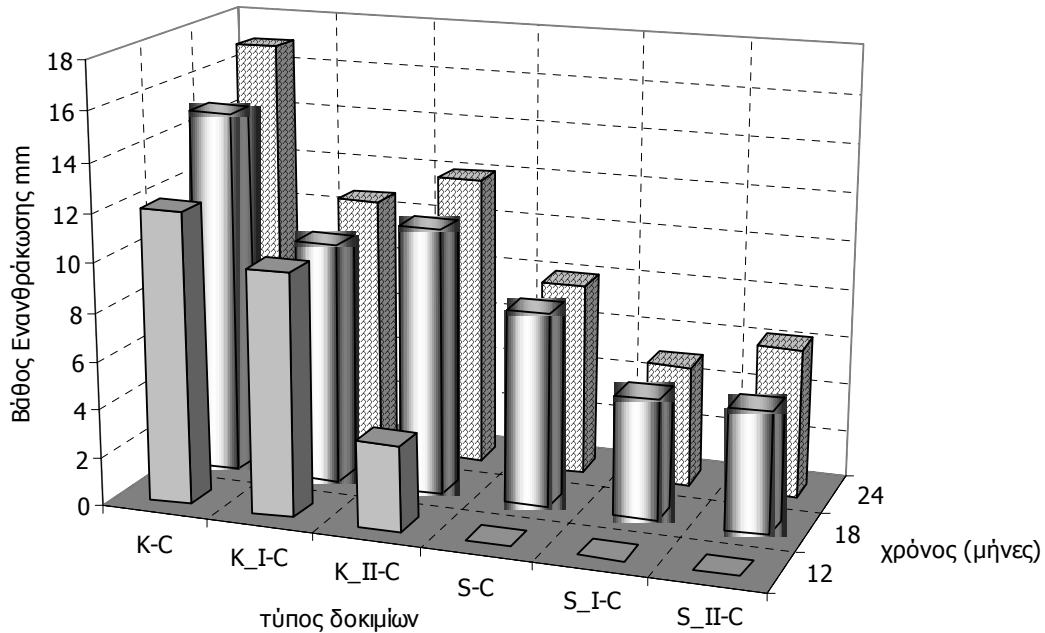
Σχήμα 2. Μετρήσεις Δυναμικού διάβρωσης συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον διάβρωσης.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της απώλειας μάζας των οπλισμών (μέσοι όροι) μετά από έκθεση σε διάλυμα 3,5% κ.β. χλωριούχου νατρίου, απεικονίζονται στο διάγραμμα του σχήματος 3. Είναι φανερό ότι η απώλεια μάζας των κισσηροκονιαμάτων σε σχέση με αυτήν που μετράται στα συμβατικά τσιμεντοκονιάματα με άμμο είναι πολύ μεγαλύτερη. Επίσης παρατηρείται ότι η διαφορά μάζας η οποία προέκυψε σε δοκίμια κατασκευασμένα με αναστολέα διάβρωσης τόσο στα κισσηροκονιάματα όσο και στα κοινά κονιάματα είναι πολύ μικρότερη συγκρινόμενη από αυτή των δοκιμίων χωρίς αναστολέα διάβρωσης. Ειδικότερα, η χρήση του οργανικού αναστολέα διάβρωσης μείωσε την απώλεια μάζας των οπλισμών μετά από 12 μήνες έκθεσης σε περιβάλλον χλωριόντων κατά 45% και 50% στα κισσηροκονιάματα και συμβατικά τσιμεντοκονιάματα αντίστοιχα.



Σχήμα 3. Μετρήσεις απώλειας μάζας δοκιμίων από κισσηροκονιάματα και τσιμεντοκονιάματα μετά από 12 μήνες μερική εμβάπτιση σε διάλυμα NaCl 3.5%κ.β.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του βάθους ενανθράκωσης, ως μέσες τιμές των δοκιμίων από κάθε σειρά, φαίνονται στο σχήμα 4.

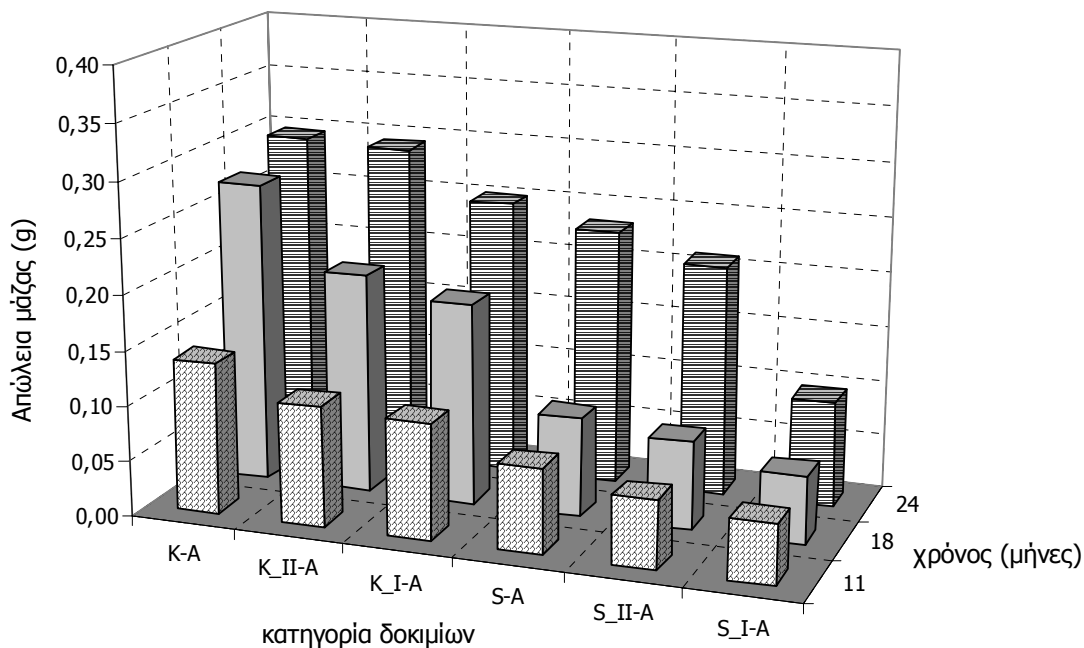


Σχήμα 4. Μετρήσεις βάθους ενανθράκωσης δοκιμίων μετά από 12, 18 και 24 μήνες έκθεσης σε περιβάλλον χλωριόντων.

Τα δοκίμια τα οποία υπέστησαν την μεγαλύτερη ενανθράκωση ήταν αυτά από κισσηροκονίαμα. Είναι σημαντικό να τονισθεί ότι μεταξύ των κισσηροκονιαμάτων χωρίς αναστολέα διάβρωσης και αυτών με αναστολέα διάβρωσης (ως πρόσθετο) το βάθος ενανθράκωσης ήταν 3,5 φορές πιο υψηλό. Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι η προσθήκη του αναστολέα διάβρωσης στην τσιμεντοκονία επιδρά στην δίοδο του διοξειδίου του άνθρακα στην μάζα του . Η επίδραση αυτή των αναστολέων διάβρωσης στην ενανθράκωση έχει παρατηρηθεί και σε άλλες εργασίες (Μπατής Γ.,2003, Μπατής Γ.,2003)

3.2. Δοκίμια εκτεθειμένα στην ατμόσφαιρα.

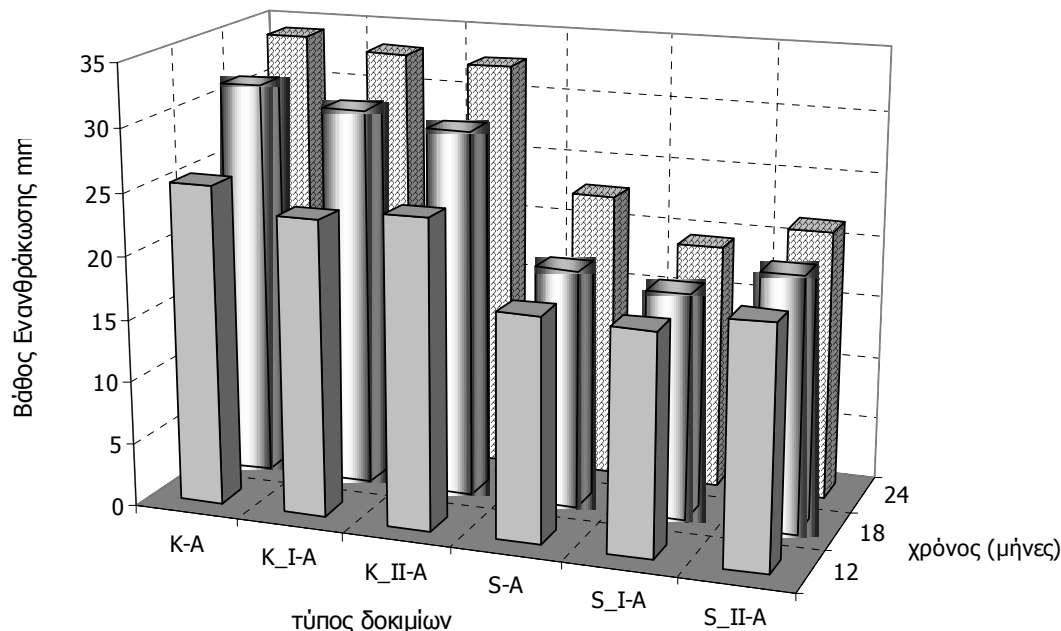
Στο σχήμα 5 απεικονίζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων απώλειας μάζας χαλύβδινων οπλισμών τσιμεντοκονίας με και χωρίς προσθήκη αναστολέα διάβρωσης μετά από 12, 18 και 24 μήνες έκθεσης στην ατμόσφαιρα. Η προσθήκη του αναστολέα διάβρωσης INHIB-M μείωσε την απώλεια μάζας των χαλύβδινων οπλισμών κατά 44% και 45% στα δοκίμια από κισσηροκονία και κοινό κονίαμα αντίστοιχα. Η προστασία στην διάβρωση που προσφέρουν οι αναστολείς διάβρωσης στον οπλισμό εξακολουθεί να ισχύει ακόμη και στους 24 μήνες για ελαφροβαρές σκυρόδεμα, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι δεν έχουν απομακρυνθεί από την επιφάνεια του χάλυβα παρά τις αντίξοες συνθήκες.



Σχήμα 5. Μετρήσεις απώλειας μάζας χαλύβδινων οπλισμών σε κισσηροκονίαματα και τσιμεντοκονίαματα με και χωρίς αναστολέα διάβρωσης, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης. Περιβάλλον έκθεσης ατμόσφαιρα.

Οι μετρήσεις του βάθους ενανθράκωσης για την δεύτερη κατηγορία δοκιμίων μετά από 12, 18 και 24 μήνες έκθεσης στη ατμόσφαιρα, δίνεται στο σχήμα 6. Σε αντίθεση με τα δοκίμια της πρώτης κατηγορίας, στην δεύτερη κατηγορία δεν παρατηρείται επίδραση του αναστολέα διάβρωσης στο βάθος ενανθράκωσης όμοια με αυτήν της μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα NaCl. Παρόλα αυτά θα πρέπει να σημειωθεί ότι, τα δοκίμια με αναστολέα διάβρωσης παρουσιάζουν μικρότερο βάθος ενανθράκωσης από ότι τα δοκίμια ελέγχου (χωρίς αναστολέα διάβρωσης). Ωστόσο όμως αυτές οι διαφορές στο βάθος ενανθράκωσης είναι πολύ μικρές για να διαπιστωθεί αναμφίβολα η

παρεμποδιστική δράση των διαχεόμενων αναστολέων διάβρωσης έναντι του φαινομένου της ενανθράκωσης του σκυροδέματος. Επιπρόσθετα και όπως είναι αναμενόμενο το βάθος ενανθράκωσης των δοκιμίων από κισσηροκονίαμα είναι μεγαλύτερο από αυτό των κονιαμάτων τα οποία κατασκευάστηκαν από άμμο λεπτής κοκκομετρίας.



Σχήμα 6. Μετρήσεις βάθους ενανθράκωσης σε δοκίμια τσιμεντοκονιάματος με και χωρίς αναστολέα διάβρωσης, μετά από 12 μήνες έκθεση στην ατμόσφαιρα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρήση του αναστολέα διάβρωσης μείωσε τον ρυθμό διάβρωσης τόσο στα δοκίμια τα οποία ήταν μερικώς εμβαπτισμένα σε διάλυμα 3,5%κ.β. NaCl (Κατηγορία-I) όσο και σε αυτά τα οποία ήταν εκτεθειμένα στην ατμόσφαιρα (Κατηγορία- II), σε ποσοστό περίπου 45% και 50% αντίστοιχα.

Η ενανθράκωση στα δοκίμια με πορώδη αδρανή είναι σαφώς μεγαλύτερη από αυτή των δοκιμίων με κοινό κονίαμα από άμμο. Η διάβρωση στα κισσηροκονιάματα έφτασε έως την επιφάνεια των οπλισμών μέσα σε ένα χρόνο, στην περίπτωση αυτή ο αναστολέας διάβρωσης μείωσε την διάβρωση του οπλισμού κατά 50%.

Κατά συνέπεια τα αποτελέσματα της εργασίας συμφωνούν με την γενική παραδοχή ότι ο αναστολέας διάβρωσης διπλασιάζει την διάρκεια ζωής κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Batis G., Kouloumbi N., Katsiamboulas A., 1996. "Durability of Reinforced Lightweight Mortar with Corrosion Inhibitors" Cement, Concrete, and Aggregates, Vol 18, No 18, pp 118-125.

Batis G., Routoulas Th., 1999. "Steel Rebars Corrosion Investigation with Strain Gages" *Cement & Concrete Composites*, Vol 21, pp 163-171.

Μπατής Γ., Ρακαντά Ε., Θεωδορίδης Β., Σίδερης Κ.Κ., 2003 "Προστασία του οπλισμού του σκυροδέματος λόγω ενανθράκωσης και ταυτόχρονης παρουσίας χλωριόντων", 14^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Κώς 2003, Τόμος Β. σελ.91-100.

Μπατής Γ., Γρηγοριάδης Γ., 2003 "Η επίδραση οργανικών αναστολέων διάβρωσης στο οπλισμένο ελαφροβαρές σκυρόδεμα", 14^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Κώς 2003, Τόμος Β. σελ.112-119.

Berke N. S., Rosenberg A., 1991. "Technical Review of Calcium Nitrate Corrosion Inhibitor in Concrete", *Transportation Research Record*, No 1211, p 19-27,

Berke N. S., et al, 1992. "Impregnation of Concrete with Corrosion Inhibitors", *Corrosion Forms and Control of Infrastructure*, ASTM STP 1137, Philadelphia,

Hansson C.M., Mammoliti L., and Hope B.B. 1998. "Corrosion Inhibitors In Concrete - PART I: THE PRINCIPLES", *cement and Concrete Research*, Vol. 28, No. 12, pp. 1775-1781

Mammoliti L., Hansson C.M., Hope B.B., 1999. "Corrosion inhibitors in concrete, PART II: Effect on chloride threshold values for corrosion of steel in synthetic pore solutions", *Cement and Concrete Research*, 29, pp.1583–1589

Nuerbeger U. et al, 1986. "Korrosionsschutz im Massivbau", *Expert Verlag, Boebbigen*, pp 108-114,

Ramirez D., Oters E., Conzalas J. A., 1993. "Determination of Critical Inhibition Threshold in Fe-Ca(OH)₂-Cl--NO₂- System, *Br. Corrosion Journal*, Vol 28, No 2, pp121-124.