

ΑΝΑΣΤΟΛΕΙΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Ελένη Ρακαντά,

Χημικός Μηχανικός, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Επιστήμη και Τεχνική των Υλικών, Ε.Μ.Π

Γεώργιος Μπατής

Καθηγητής, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Επιστήμη και Τεχνική των Υλικών, Ε.Μ.Π

Λέξεις κλειδιά: Διάβρωση, οπλισμένο σκυρόδεμα, αναστολείς διάβρωσης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η προστατευτική δράση διαχεόμενων αναστολέων διάβρωσης (τύπος αναστολέα: Μικτός) με κύρια δραστική ουσία τις αλκαλοαμίνες έναντι της διάβρωσης του δομικού χάλυβα σε τσιμεντοκονιάματα. Η εκτίμηση του βαθμού προστασίας των διαχεόμενων αναστολέων διάβρωσης μελετήθηκε σε δοκίμια οπλισμένης τσιμεντοκονίας αλλά και σε συνθετικό διάλυμα πόρων σκυροδέματος. Τα αποτελέσματα της εργασίας έδειξαν ότι η προσθήκη των αλκανολαμινών τόσο στα δοκίμια οπλισμένης τσιμεντοκονίας όσο και στο συνθετικό διάλυμα πόρων σκυροδέματος μείωσε τον ρυθμό διάβρωσης του χάλυβα Ο.Σ. Η μείωση του ρυθμού διάβρωσης των χαλύβων Ο.Σ. οφείλεται στη δράση των αλκανολαμινών οι οποίες σχηματίζουν ένα σταθερό και συνεκτικό με το υπόστρωμα παθητικό στρώμα στην επιφάνεια του χάλυβα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση των αναστολέων διάβρωσης στο οπλισμένο σκυρόδεμα με σκοπό την αποφυγή της διάβρωσης του οπλισμού έχει εφαρμογή πρακτικά από το 1978, αν και ερευνητικές εργασίες είχαν προηγηθεί κατά 15 χρόνια περίπου. Ενώ, αντίθετα με το σκυρόδεμα, η χρήση των αναστολέων διάβρωσης σε μεταλλικές κατασκευές προηγείται πολλές δεκαετίες πριν. Η χρονική αυτή υστέρηση οφείλεται σε διάφορους λόγους. Αρχικά, η χρήση των αναστολέων διάβρωσης π.χ. σε κλειστά συστήματα σωληνώσεων θα μπορούσε εύκολα να απομακρυνθεί εάν τα αποτελέσματα της προστασίας ήταν αρνητικά. Αντίθετα, στο σκυρόδεμα η προσθήκη του αναστολέα

διάβρωσης είναι μόνιμη και μη αντιστρεπτή διεργασία εάν διαπιστωθεί δράση αρνητική στις μηχανικές ιδιότητες του σκυροδέματος. Επίσης, ο χρονικός ορίζοντας της προστασίας που θα πρέπει να προσφέρουν στο σκυρόδεμα είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν σε κλειστά κυκλώματα αγωγών, δεξαμενών κ.α. Όλα τα παραπάνω είχαν ως συνέπεια την χρονική υστέρηση για την εφαρμογή των αναστολέων διάβρωσης στο σκυρόδεμα.

Αναστολέας διάβρωσης είναι οποιαδήποτε ουσία η οποία μπορεί να μειώσει τον ρυθμό διάβρωσης του χάλυβα (ή άλλου μετάλλου ή κράματος) όταν είναι παρούσα σε σχετικά μικρή συγκέντρωση πλησίον της επιφάνειας του χάλυβα (ή άλλου μετάλλου ή κράματος).

Ο πρώτος αναστολέας διάβρωσης που χρησιμοποιήθηκε για την προστασία του οπλισμού στο σκυρόδεμα ήταν το νιτρώδες ασβέστιο. Το νιτρώδες ασβέστιο προστιθέμενο στο σκυρόδεμα δεν μειώνει την θλιπτική του αντοχή αλλά αντιθέτως την αύξανε (Nuerberger, 1986). Η προστατευτική δράση του νιτρώδους ασβεστίου είχε διαπιστωθεί στο εργαστήριο και σύντομα επαληθεύτηκε στην πράξη. Στην συνέχεια προτάθηκαν αναστολείς διάβρωσης για το οπλισμένο σκυρόδεμα βασιζόμενοι στην προστατευτική δράση του αζώτου της αμινικής ομάδος. Έτσι έχουν προταθεί αναστολείς διάβρωσης με βάση τις αμινοαλκοόλες (Maeder, 1994), αλκανολαμίνες (Belgovic et al, 1994) και μίγματα αμινών και εστέρων (C. Gordon et al, 1994). Οι οργανικοί αυτοί αναστολείς προστιθέμενοι στο σκυρόδεμα δεν μειώνουν την αντοχή του σκυροδέματος. Σήμερα υπάρχει η γενική εκτίμηση ότι οι αναστολείς διάβρωσης χρησιμοποιούμενοι σωστά μπορούν να διπλασιάσουν την διάρκεια ζωής μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Σκοπός της εργασίας είναι η εκτίμηση του βαθμού προστασίας, από την διάβρωση, που μπορούν να προσφέρουν οι αναστολείς διάβρωσης με κύρια δραστική ουσία τις αλκανολαμίνες στον οπλισμό του σκυροδέματος.

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 Δοκίμια οπλισμένης τσιμεντοκονίας

Κατασκευάστηκαν πρισματικά δοκίμια οπλισμένης τσιμεντοκονίας διαστάσεων 80mm x 80mm x 100mm, τα οποία οπλίστηκαν με τέσσερις χάλυβες Ο.Σ. Ο οπλισμός των δοκιμίων ήταν τύπου B500C Tempcore διαμέτρου 12mm (Φ12) και μήκους 100mm για όλα τα δοκίμια, η χημική σύσταση των οποίων δίνεται στον πίνακα 1. Το πάχος επικάλυψης των οπλισμών στα δοκίμια ήταν 25mm. Για την κατασκευή όλων των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο Πόρτλαντ, του οποίου η χημική σύσταση δίνεται στον πίνακα 2. Ως αδρανή χρησιμοποιήθηκε ασβεστολιθική άμμος λατομείου και κίσηρη ψιλή μέσης διαμέτρου από 0-8mm. Η μέση διάμετρος της άμμου ήταν $250\mu\text{m} < d < 4\text{mm}$. Οι αναστολείς διάβρωσης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν πρόσθετα σκυροδέματος σε υγρή και στερεά

μορφή. Η αναλογία του αναστολέα διάβρωσης για την υγρή μορφή ήταν $1,24\text{t/m}^3$ κονιάματος και $0,632\text{ g/Kg}$ κονιάματος για τον αναστολέα σε στερεή μορφή. Η αναλογία του μίγματος ήταν τσιμέντο :νερό :αδρανή ίση με 1: 0,55: 3 και κρατήθηκε σταθερή για όλα τα δοκίμια για λόγους σύγκρισης. Οι αναλογίες των υλικών των οποίων χρησιμοποιήθηκαν και οι κωδική ονομασία των δοκιμίων δίνεται στον πίνακα 3.

Πίνακας 1. Χημική σύσταση % δομικού χάλυβα τύπου S500s Tempcore.

C	Mn	S	P	Si	N	Ni	Cr	Cu	Mo
0.18	0.99	0.047	0.023	0.15	0.009	0.09	0.09	0.21	0.021

Πίνακας 2. 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 δοκίμια των χαλύβδινων οπλισμών πριν τον εγκιβωτισμό τους στην τσιμεντοκονία, καθαρίστηκαν με διάλυμα υδροχλωρικού οξέος με αναστολέα διάβρωσης έτσι ώστε να απομακρυνθούν τυχόν οξειδία από την επιφάνεια τους ξεπλύθηκαν με απιονισμένο νερό και στην συνέχεια εμβαπτίστηκαν σε ακετόνη και ζυγίστηκαν με ακρίβεια τέταρτου δεκαδικού ψηφίου (ISO/DIS 8407.3). Όλα τα δοκίμια οπλισμένης τσιμεντοκονίας τοποθετήθηκαν σε θάλαμο ωρίμανσης υπό σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας, T και σχετικής υγρασίας, RH (T=25°C και RH=98%) για 24 ώρες.

Το περιβάλλον έκθεσης των δοκιμίων ήταν μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β χλωριούχου νατρίου NaCl). Η δράση των αναστολέων διάβρωσης εκτιμήθηκε με: (α) Μετρήσεις του δυναμικού διάβρωσης (σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-87), προκειμένου να προσδιοριστεί η κατάσταση των οπλισμών (ενεργή – παθητική) συναρτήσει του χρόνου έκθεσης τους στο διαβρωτικό περιβάλλον μέσα στα τσιμεντοκονιάματα Το δυναμικό διάβρωσης των δοκιμίων μετρήθηκε σε τακτά περιοδικά χρονικά διαστήματα ως προς το ηλεκτρόδιο αναφοράς του κεκορεσμένου καλομέλανα (SCE). (β) Μετρήσεις ενανθράκωσης σύμφωνα με τη μέθοδο RILEM CPC-18, για τον προσδιορισμό της ενανθράκωσης των τσιμεντοκονιαμάτων. (γ) 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).

Πίνακας 3. Κατηγορίες δοκιμών – Αναλογίες υλικών.

Κατηγορίες Δοκιμών					
Αναλογίες Υλικών					
Δοκίμια	Τσιμέντο	Κίσηρη	Άμμος	Νερό	Αναστολέας Διάβρωσης
K-C	1	3	--	1	--
K_I-C	1	3	--	1	1,24 lt/m ³ κον.
K_II-C	1	3	--	1	0,632 g/Kg κον.
S-C	1	--	3	0,6	--
S_I-C	1	--	3	0,6	1,24 lt/m ³ κον.
S_II-C	1	-	3	0,6	0,632 g/Kg κον.

2.2 Συνθετικό διάλυμα πόρων σκυροδέματος

Η σύσταση του συνθετικού διαλύματος πόρων του σκυροδέματος ήταν 0,002M Ca(OH)₂, 0,45M NaOH, 0,26M KOH. Στο συνθετικό διάλυμα πόρων σκυροδέματος μεταβάλλεται η περιεκτικότητα των χλωριόντων (προστιθέμενα υπό την μορφή χλωριούχου νατρίου NaCl) από 0%, 1%, έως 5% κ.β διαλύματος), για συγκεντρώσεις αναστολέα διάβρωσης στο συνθετικό διάλυμα σκυροδέματος από 0-4% με ρυθμό αύξησης κατά μία μονάδα.

Η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας του αναστολέα διάβρωσης έναντι της διάβρωσης του χάλυβα Ο.Σ στο συνθετικό διάλυμα πόρων σκυροδέματος μελετήθηκε ηλεκτροχημικά με τις τεχνικές: (α) Γραμμικής πόλωσης για τον προσδιορισμό της πυκνότητας του ρεύματος διάβρωσης I_{corr} , της αντίστασης πόλωσης R_p και του ρυθμού διάβρωσης και (β) Κυκλικής πόλωσης για τον προσδιορισμό του δυναμικού διάρρηξης του παθητικού στρώματος E_{pitt} στην επιφάνεια του χάλυβα και το δυναμικό επαναπαθητικοποίησης E_{repass} του υπό εξέταση χάλυβα.

Η πειραματική διάταξη για την διεξαγωγή των ηλεκτροχημικών μετρήσεων (γραμμική και κυκλική πόλωση) περιελάμβανε Ποτενσιοστάτη/γαλβανοστάτη της *E.G & G Model 263* συνδεδεμένο με υπολογιστή για την καταγραφή των πειραματικών δεδομένων. Για την επεξεργασία των ηλεκτροχημικών αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε λογισμικό *Softcorr III* της εταιρίας *E.G & G Princeton Research*. Η διάταξη ήταν τριών ηλεκτροδίων. Ως ηλεκτρόδιο αναφοράς χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρόδιο κεκορεσμένου καλομέλανα SCE. Ως ηλεκτρόδιο εργασίας είναι το υπό εξέταση οπλισμός, ενώ ως βοηθητικό ηλεκτρόδιο χρησιμοποιήθηκε πλέγμα πλατίνας διαστάσεων 2cm². Ο ηλεκτρολύτης ο οποίος χρησιμοποιήθηκε ήταν κάθε φορά το υπό εξέταση διάλυμα. Στην τεχνική γραμμικής πόλωσης

η περιοχή πόλωσης ήταν $[E_{eq}-20mV, E_{eq}+20mV]$ όπου E_{eq} το δυναμικό ισορροπίας και ο ρυθμός μεταβολής επιβαλλόμενου δυναμικού ήταν (*Scan rate*) $0.1mV/sec$. Στην τεχνική της κυκλικής πόλωσης οι παράμετροι που ορίστηκαν για την πόλωση του δοκιμίου ήταν οι ακόλουθοι: Ρυθμός μεταβολής επιβαλλόμενου δυναμικού (*Scan rate*) $0.7mV/sec$. Αρχικό δυναμικό σάρωσης (*Initial potential*) $100 mV$ πιο αρνητικό από το δυναμικό ισορροπίας E_{eq} . Δυναμικό αναστροφής (*Return potential*) $900 mV$ πιο θετικό από το E_{eq} , και τελικό δυναμικό (*Final potential*) $100 mV$ ηλεκτρανητικότερα του E_{eq} ,

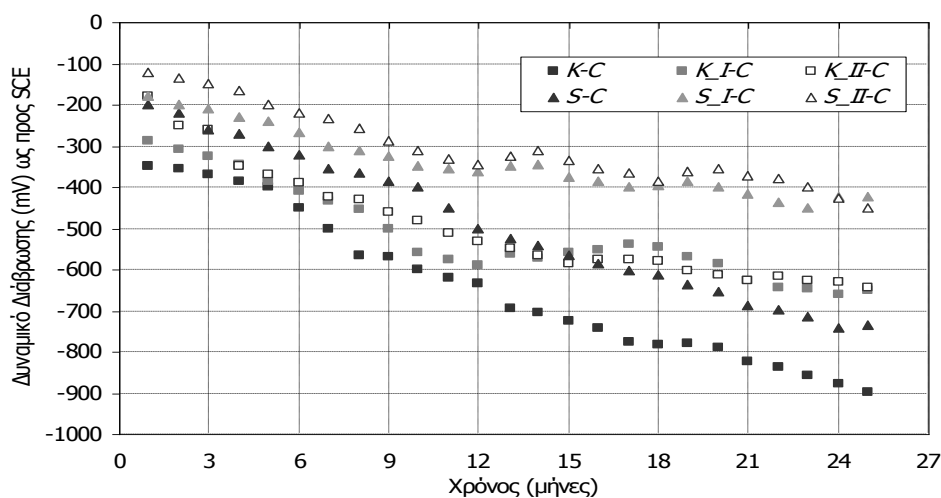
3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

3.1 Δοκίμια μερικών εμβαπτισμένα 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 1. 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 1 παρατηρούνται τα εξής:

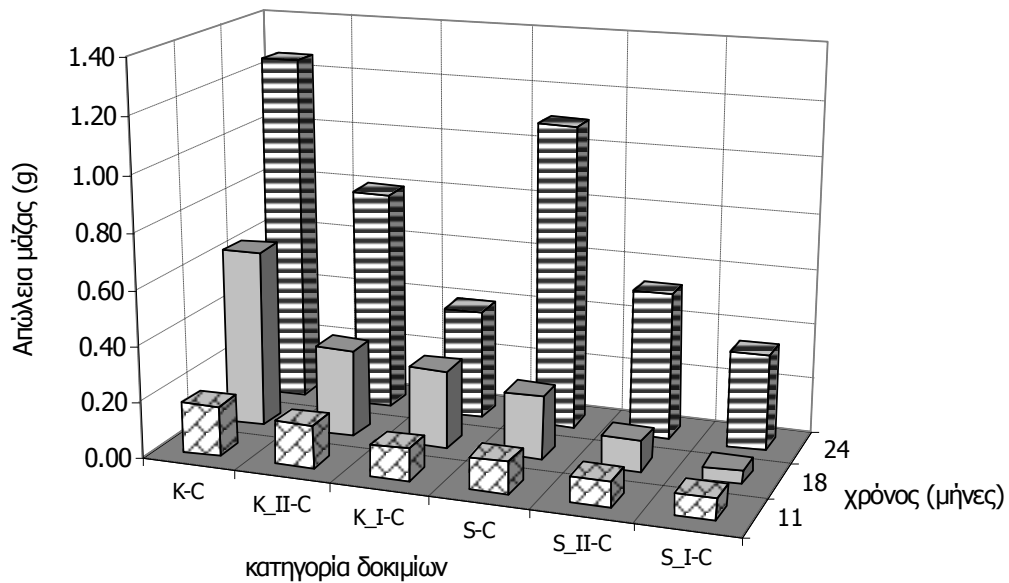
Τα δοκίμια ελέγχου από κισσηροκονία K-C έχουν την τάση για μείωση των δυναμικών διάβρωσης από την περιοχή $[-350mV \div -450mV]_{v.s SCE}$, για τους πρώτους μήνες εμβάπτισης τους σε διάλυμα χλωριούχου νατρίου στην, $[-800mV \div -900mV]_{v.s SCE}$ στο τέλος του χρόνου εμβάπτισης. Τέτοιες τιμές δυναμικού 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 $[-150mV \div -250mV]_{v.s SCE}$ στην περιοχή $[-350mV \div -450mV]_{v.s SCE}$ για τον πρώτο χρόνο εμβάπτισης στο διάλυμα χλωριούχου νατρίου, ενώ στην συνέχεια για τους επόμενους μήνες σταθεροποίηση του δυναμικού διάβρωσης στην περιοχή $[450mV \div -550mV]_{v.s SCE}$. Τα δοκίμια ελέγχου οπλισμένης τσιμεντοκονίας S-C έχουν την τάση για μείωση των δυναμικών διάβρωσης από την περιοχή $[-200mV \div -250mV]_{v.s SCE}$, στην $[-500mV \div -550mV]_{v.s SCE}$ για τον πρώτο χρόνο εμβάπτισης (από 1 έως 11 μήνες) στο διάλυμα χλωριούχου νατρίου. Ενώ για το δεύτερο χρόνο εμβάπτισης (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 $[-550mV \div -600mV]_{v.s SCE}$, στην $[-700mV \div -$

720mV]_{v.s SCE} στο τέλος του 2^{ου} χρόνου εμφάνισης. 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 [-120mV ÷ -150mV]_{v.s SCE} στην περιοχή [-250mV ÷ -300mV]_{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 [350mV ÷ -420mV]_{v.s SCE}. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C 876, ο οπλισμός των δοκιμίων βρίσκεται σε παθητική κατάσταση, δηλαδή δεν διαβρώνεται, για 1^ο χρόνο μερικής εμφάνισης σε διάλυμα χλωριόντων, ενώ η κατάσταση του μεταβαίνει το 2^ο χρόνο σε αβέβαιη.



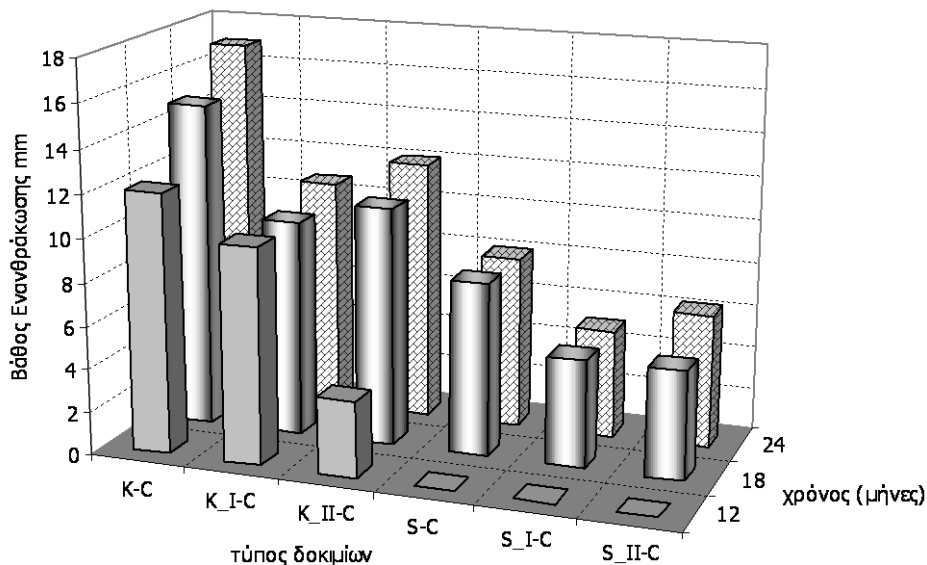
Σχήμα 1. Μετρήσεις Δυναμικού διάβρωσης συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον διάβρωσης.

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 2. 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 2. 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 3. Τα δοκίμια τα οποία υπέστησαν την μεγαλύτερη ενανθράκωση ήταν αυτά από κισσηροκονιάματα. Είναι σημαντικό να τονισθεί ότι μεταξύ των κισσηροκονιαμάτων χωρίς αναστολέα διάβρωση 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., et.al., 2003).



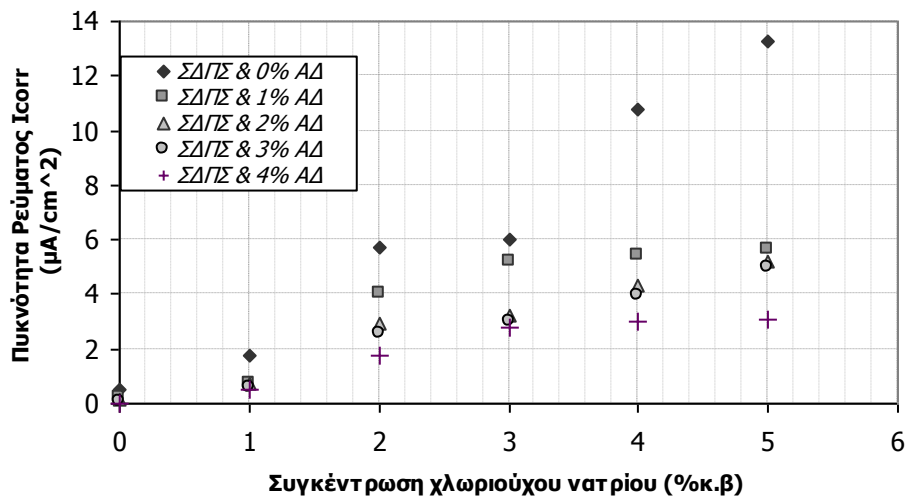
Σχήμα 3. Μετρήσεις βάθους ενανθράκωσης δοκιμίων μετά από 12, 18 και 24 μήνες έκθεσης σε περιβάλλον χλωριόντων.

3.3. Δοκίμια χάλυβα Ο.Σ σε συνθετικό διάλυμα πόρων σκυροδέματος.

Στο Σχήμα 4 δίνεται το διάγραμμα της πυκνότητας του ρεύματος διάβρωσης I_{corr} συναρτήσει της συγκέντρωσης των χλωριόντων και της περιεκτικότητας σε αναστολέα διάβρωσης στο συνθετικό διάλυμα πόρων σκυροδέματος. Παρατηρείται ότι η πυκνότητα ρεύματος διάβρωσης για δεδομένη σταθερή περιεκτικότητα σε αναστολέα διάβρωσης, αυξάνεται όταν αυξάνεται η συγκέντρωση των χλωριόντων. Αντίθετα, για μία ορισμένη συγκέντρωση χλωριόντων η πυκνότητα του ρεύματος μειώνεται όσο αυξάνει η συγκέντρωση του αναστολέα διάβρωσης. Επίσης, η αντίσταση γραμμικής πόλωσης R_p (B/I_{corr}) των οπλισμών στο διάλυμα μειώνεται αυξανόμενης της συγκέντρωσης των χλωριόντων στο διάλυμα. Αυτό οφείλεται στην αύξηση της ιοντικής αγωγιμότητας λόγω της αύξησης της συγκέντρωσης των χλωριόντων στο διάλυμα. Η παραπάνω προστατευτική επίδραση του αναστολέα διάβρωσης φαίνεται και από τις μετρήσεις κυκλικής πόλωσης του σχήματος 5 στο οποίο παρουσιάζονται οι καμπύλες συμπεριφοράς του οπλισμού υπό ανοδική φόρτιση σε διάλυμα πόρων σκυροδέματος με προσθήκη 2% αναστολέα διάβρωσης και συγκέντρωση χλωριόντων σε διάφορες αναλογίες.

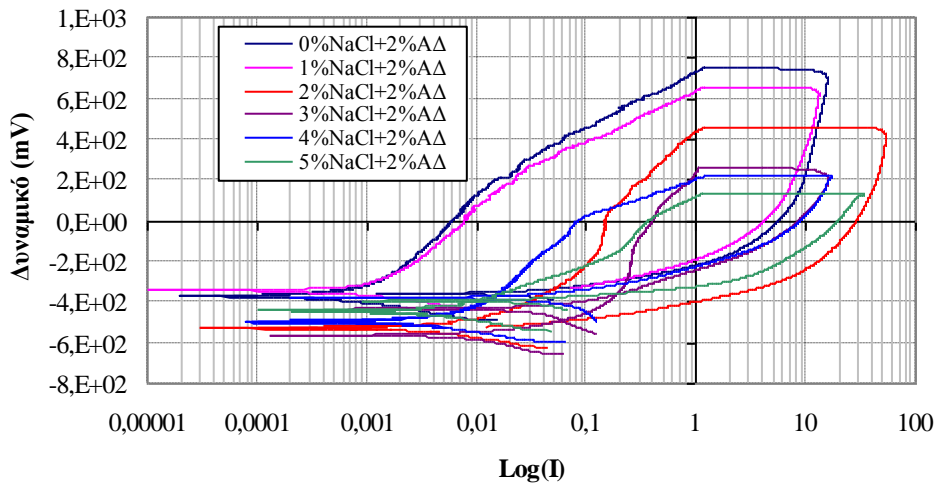
Το δυναμικό διάρρηξης ή αποπαθητικοποίησης E_{pitt} του χάλυβα εξαρτάται άμεσα από την συγκέντρωση των διαβρωτικών στοιχείων στο

διάλυμα των πόρων του σκυροδέματος. Επιπρόσθετα, όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση των ιόντων αναστολής (αναστέλλουν την διάλυση του μετάλλου) και μικρότερη των διαβρωτικών ιόντων (καταλύουν την αντίδραση διάλυσης του μετάλλου) στο διάλυμα των πόρων σκυροδέματος τόσο θετικότερες είναι οι τιμές που παίρνει το δυναμικό διάρρηξης (αύξηση της αντίστασης του μετάλλου έναντι της διάβρωσης).



Σχήμα 4: Πυκνότητα Ρεύματος διάβρωσης συναρτήση της συγκέντρωσης των χλωριόντων στο συνθετικό διάλυμα πόρων σκυροδέματος.

Από το σχήμα 5, είναι φανερό ότι τα χλωριόντα συμβάλουν στην αποπαθητικοποίηση του χάλυβα και στην έναρξη της τοπικής διάβρωσης. Σε καμπύλες κυκλικής πόλωσης η πιθανότητα εντοπισμένης διάβρωσης σχετίζεται με την διαφορά του δυναμικού επαναπαθητικοποίησης, E_{repass} και του δυναμικού διάβρωσης E_{corr} . Δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η διαφορά δυναμικού τόσο μικρότερη η πιθανότητα διάβρωσης με βελονισμούς (M Saremi, et.al., 2002, L. Dhouibi, et.al., 2002, Oladis T., et.al., 2002.).



Σχήμα 5: Κυκλική πόλωση χάλυβα Ο.Σ. σε συνθετικό διάλυμα πόρων σκυροδέματος (κορεσμένο διάλυμα $\text{Ca}(\text{OH})_2$) με 2%κ.β, αναστολέα διάβρωσης παρουσία χλωριόντων Cl^- .

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- ✓ Η χρήση του αναστολέα διάβρωσης με κύρια δραστική τις αλκαλοαμίνες μείωσε τον ρυθμό διάβρωσης τόσο στα δοκίμια οπλισμένης τσιμεντοκονίας όσο και στα κισσηροκονιάματα σε ποσοστό περίπου 45%.
- ✓ Η ενανθράκωση στα δοκίμια με πορώδη αδρανή είναι σαφώς μεγαλύτερη από αυτή των δοκιμίων με 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%.
- ✓ Ο ρυθμός διάβρωσης των χαλύβων σε τεχνητό διάλυμα πόρων αυξάνει αυξανόμενης της συγκέντρωσης των χλωριόντων και μειώνεται αυξανόμενης της συγκέντρωσης του αναστολέα διάβρωσης.
- ✓ Η προσθήκη των αλκαλοαμιμών στο τεχνητό διάλυμα πόρων σκυροδέματος παρουσία χλωριόντων μείωσε τον ρυθμό διάβρωσης του χάλυβα Ο.Σ., λόγω της δράσης των αλκαλοαμιμών να σχηματίζουν ένα σταθερό και συνεκτικό με το υπόστρωμα παθητικό στρώμα στην επιφάνεια του χάλυβα. Ωστόσο, όταν η συγκέντρωση των χλωριόντων στο διάλυμα αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό πάνω από 4%κ.β.NaCl, το

παθητικό στρώμα γίνεται ασταθές και η αποτελεσματικότητα του αναστολέα διάβρωσης κρίνεται ανεπαρκής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Oladis Troconis de Rincon, Orlando Perez, Edgar Paredes, Yaxcelys Caldera, Carolina Urdaneta, Isabel Sandoval.: Long – term performance of ZnO as a rebar corrosion inhibitor, *Cement & Concrete Composites*, 24, 2002, pp. 79-87.

L. Dhouibi, E. Triki, A. Raharinaivo.: The application of electrochemical impedance spectroscopy to determine the long – term effectiveness of corrosion inhibitors for steel in concrete, *Cement & Concrete Composites*, 24, 2002, pp. 35-43.

M Saremi, E. Mahallati.: A study on chloride – induced depassivation of mild steel in simulated concrete pore solution, *Cement and Concrete Research*, 32, 2002, pp. 1915-1921.

Nuerberger U., “Korrosionsschutz im Massivebau”, Expert Verlag, Boebligen, pp 108-114, 1986.

Maeder U., A new Class of Corrosion Inhibitors, *Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete*, International Conference, Sheffield, pp 851-864, 1994.

Belgovic D., Siros L., Ukrainczyk V., Miskic B., “Diffusion of the MCI 2020 and 2000 Corrosion Inhibitors into Concrete”, *Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete*, International Conference, Sheffield, pp 865-877, 1994.

Gordon C., Zoltanestzky P., Parnes, Jr., “New Development in Corrosion Inhibiting Admixtures Systems for Reinforced Concrete”, *Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete*, International Conference, Sheffield, pp 878-887, 1994.

Μπατής Γ., Γρηγοριάδης Γ., «Η επίδραση των οργανικών αναστολέων διάβρωσης στο οπλισμένο ελαφροβαρές σκυρόδεμα», 14^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Κως, Β Τόμος, σ. 112-119, 2003

