

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΣΚΩΡΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΣΤΟΛΕΩΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Αθανάσιος Ρούτουλας

Καθηγητής. Τμήμα Φυσικής Χημείας και Τεχνολογίας Υλικών, Τ.Ε.Ι. Πειραιά.

Γεώργιος Μπατής

Καθηγητής. Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Παρασκευή Πανταζοπούλου

Χημικός Μηχανικός. Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Λέξεις κλειδιά: Διάβρωση, σιδηροπλισμοί, Strain Gauges, αναστολείς, σκωρία υψικαμίνων, φαρίνα ηλεκτροφίλτρων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση της δομής και των αποτελεσμάτων υποέργου του ερευνητικού προγράμματος «Αρχιμήδης». Στην ερευνητική αυτή εργασία μελετήθηκε η αξιοποίηση παραπροϊόντων της χημικής βιομηχανίας, όπως η φαρίνα ηλεκτροφίλτρων, παραπροϊόν της βιομηχανίας τσιμέντου και η σκωρία υψικαμίνων, παραπροϊόν παρασκευής σιδήρου στην παραγωγή τσιμεντοκονιαμάτων υψηλής ανθεκτικότητας στην περιβαλλοντική διάβρωση. Διερευνάται η δυνατότητα συνδυασμένης χρήσης των ανωτέρω παραπροϊόντων με αναστολείς διάβρωσης και η αποτελεσματικότητά τους έναντι της διάβρωσης του οπλισμένου σκυροδέματος. Ο σχεδιασμός του τελικού προϊόντος είναι τέτοιος έτσι ώστε να καθιστά τα παραγόμενα υλικά φιλικά στο περιβάλλον και ταυτόχρονα ανταγωνιστικά στο χώρο των κατασκευαστικών υλικών τόσο στην Ελληνική όσο και στην διεθνή αγορά.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γενικά το οπλισμένο σκυρόδεμα έχει αποδειχθεί υλικό ιδιαίτερα ανθεκτικό, αν τηρούνται οι κατασκευαστικοί κανόνες και λαμβάνεται επαρκώς υπόψη η τεχνολογία σκυροδέματος. Τα μέτρα πρόσθετης προστασίας είναι απαραίτητα σε πολύ επιθετικά περιβάλλοντα ή σε περιπτώσεις που απαιτείται μεγάλος χρόνος ζωής. Η διάβρωση του σιδηροπλισμού όμως, ως θερμοδυναμικά αυθόρμητο φαινόμενο, συμβαίνει είτε οφειλόμενη στην ενανθράκωση του σκυροδέματος, που τελικά μειώνει την αλκαλικότητα, είτε στη διείσδυση των χλωριόντων που καταστρέφουν το προστατευτικό

στρώμα οξειδίων του σιδήρου (Mehta & Monteiro 2005). Η διάβρωση του σιδηροπλισμού αντιμετωπίζεται με τη χρήση προσθέτων, αναστολέων διάβρωσης, ανοξειδωτών σιδηροπλισμών, επιφανειακών επικαλύψεων, καθοδικής προστασίας ή και με συνδυασμούς των μεθόδων αυτών.

Κύρια αιτία διάβρωσης του σιδηροπλισμού του σκυροδέματος στο εξωτερικό, είναι η παρουσία μεγάλης ποσότητας χλωριόντων στο σκυρόδεμα. Το πρόβλημα της ενανθράκωσης περνά συνήθως σε δεύτερη μοίρα. Στη χώρα μας όμως, ο κίνδυνος για τη διάβρωση του σιδηροπλισμού και λόγω ενανθράκωσης είναι πολύ μεγάλος. Υπό συγκεκριμένες μάλιστα συνθήκες, οι οποίες και αποτελούν σύνηθες φαινόμενο στον ελλαδικό χώρο, η ενανθράκωση μπορεί να αποτελέσει τον πρώτο κίνδυνο για τη διάβρωση του σιδηροπλισμού του σκυροδέματος (Sideris & Savva 2000).

Η ενσωμάτωση στο σκυρόδεμα βιομηχανικών παραπροϊόντων όπως η ιπτάμενη τέφρα, η φαρίνα ηλεκτροφίλτρων, η σκωρία υψικαμίνων και η πυριτική παιπάλη ως προσθέτων μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την αντίσταση του σκυροδέματος σε διάφορες χημικές προσβολές και κατά συνέπεια τη διάρκεια ζωής του (Kouloumbi και Συνεργάτες 1995).

Η φαρίνα ηλεκτροφίλτρων (ΦΗΦ), παραπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας του τσιμέντου, είναι υλικό πολύ μικρής κοκκομετρίας σχετικά ομοιόμορφου μεγέθους και μορφολογίας παρόμοιας με αυτής του τσιμέντου Πόρτλαντ. Περιέχει κυρίως ανθρακικό ασβέστιο και μπορεί να καταταχθεί στα πρόσθετα τύπου I, σύμφωνα με την ευρωπαϊκή κωδικοποίηση. Με την προσθήκη της ΦΗΦ σαν πληρωτικό πρόσθετο στο τσιμέντο ή το σκυρόδεμα βελτιώνεται καταρχήν η ανθεκτικότητα του ως προς τη διάβρωση (Siddique 2006, Buchwald & Schulz 2005). Επιπλέον η υψηλή περιεκτικότητα της σε αλκάλια της δίνει ένα ακόμα πλεονέκτημα στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί μαζί με τη σκωρία στο τσιμέντο, αφού ενεργοποιεί την ενυδάτωση της σκωρίας (Shi & Day 1996).

Η σκωρία, παραπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας του χάλυβα, δεν είναι μεταλλικό προϊόν και αποτελείται κατά βάση από πυριτικά και αργιλοπυριτικά άλατα του ασβεστίου. Η σκωρία είναι υλικό κοκκομετρίας μικρότερης των 45μm και όταν χρησιμοποιείται ως πρόσθετο στο τσιμέντο πόρτλαντ προσδίδει πλεονεκτήματα όπως, υψηλή τελική αντοχή με χαμηλές πρώιμες αντοχές, υψηλή αναλογία σε κάμψη ως προς την αντοχή σε θλίψη, αντίσταση στα ιόντα των θεικών και χλωρίου, χαμηλή θερμοκρασία ενυδάτωσης και τέλος μείωση της συρρίκνωσης με επακόλουθα την μείωση του πορώδους και της διαπερατότητας του σκυροδέματος. Τα τσιμέντα σκωρίας έχουν επίσης καλή εργασιμότητα και χαμηλή απαίτηση σε νερό (Song & Saraswathy 2006, Mehta & Monteiro 2005).

Η χρήση των αναστολέων διάβρωσης αποκτά αυξανόμενο ενδιαφέρον, επειδή όχι μόνο χρησιμοποιούνται ως προληπτική μέθοδος προστασίας του οπλισμού στο σκυρόδεμα σε νέες κατασκευές, αλλά και ως επιφανειακά εφαρμοζόμενοι υλικά για αποκατάσταση παλαιών κατασκευών. Οι αναστολείς διάβρωσης με βάση τις αλκανολαμίνες διεισδύουν διαμέσου της πορώδους δομής με διάχυση, με ρυθμό περίπου 1cm την ημέρα. Στην επαφή με το χάλυβα του οπλισμού σχηματίζουν ένα μονομοριακό στρώμα, πάχους 20 – 100 Å, που μειώνει τη διάβρωση προστατεύοντας και τις ανοδικές και τις καθοδικές περιοχές του σιδηροπλισμού. Επίσης μειώνουν τη διάχυση των χλωριόντων στο κονίαμα (Elsener 2001, Gaidis & Rosenberg 2001, Broomfield 1999).

Η παρούσα εργασία εκτελέστηκε στα πλαίσια του προγράμματος «Αρχιμήδης» με την σύμπραξη τριών εκπαιδευτικών Ιδρυμάτων, του Τμήματος Φυσικής - Χημείας και Τεχνολογίας Υλικών του ΤΕΙ Πειραιά, του Τομέα Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. και του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Δ.Π.Θ.

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Για την κατασκευή δοκιμίων κονιάματος με σταθερή αναλογία νερό / τσιμέντο 0.5 χρησιμοποιήθηκαν ως τσιμέντο αναφοράς πρότυπο Ordinary Portland Cement (OPC) και σύνθετα τσιμέντα που περιέχουν σκωρία υψικαμίνων και ΦΗΦ, πειραματικά παρασκευασμένα στο εργαστήριο με συνάλεση κλίνκερ και ανάλογου ποζολανικού υλικού. Η χημική σύσταση των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στα δοκίμια δίνεται στον Πίνακα 1. Η σύσταση του χάλυβα S500s Tempcore που χρησιμοποιήθηκε ήταν η ακόλουθη: C:0.16%, Mn:0.77%, S:0.019%, P:0.019%, Si:0.19%, Ni:0.14%, Cr:0.22%, Cu:0.26% και Mo:0.054%. Χρησιμοποιήθηκαν ως αδρανές ελληνική άμμος διαμέτρου $250 \mu\text{m} < d < 4 \text{mm}$, νερό από το δίκτυο της Αθήνας και ένας αναστολέας διάβρωσης με βάση τις αλκανολαμίνες. Οι κωδικοί και οι αναλογίες των χρησιμοποιούμενων υλικών δίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 1. Χημική σύσταση των υλικών (%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	CaO _(f)	LOI
OPC	20.67	4.99	3.18	63.60	2.73	0.37	0.29	2.44	2.41	1.52
Σκωρία	33.34	11.37	2.44	41.30	6.90	0.32	0.38	0.12	-	0.09
ΦΗΦ	13.68	4.36	2.30	42.59	1.23	0.79	0.28	0.10	-	

Πίνακας 2. Κατηγορίες δοκιμίων – Σύσταση (κ.β.)

Κατηγορία	OPC	Σκωρία	ΦΗΦ	Άμμος	Νερό
S0-0	1.00	-	-	3.00	0.50
S65-0	0.35	0.65	-	3.00	0.50
S62-5	0.33	0.62	0.05	3.00	0.50
S60-10	0.30	0.60	0.10	3.00	0.50
S55-15	0.30	0.55	0.15	3.00	0.50

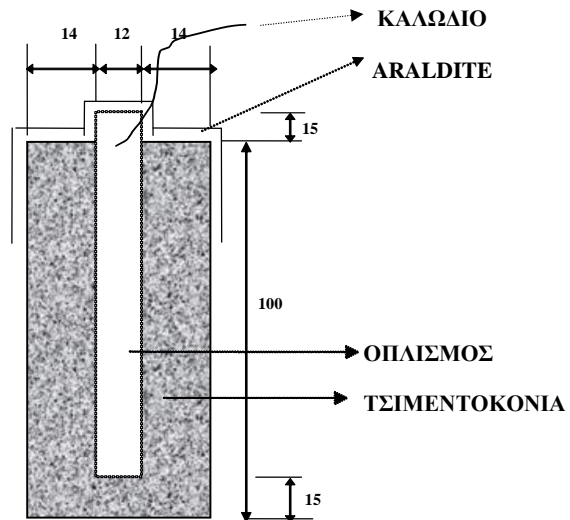
Προκειμένου να εκτιμηθεί η ανθεκτικότητα και η αποτελεσματικότητα καθενός προσθέτου, εφαρμόστηκε η ακόλουθη μεθοδολογία ελέγχου:

- Προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής των μειγμάτων.
- Μετρήσεις δυναμικού διάβρωσης μακράς διάρκειας σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-87.
- Μέτρηση της διάβρωσης με τεχνική Strain Gauges.
- Μέτρηση της πυκνότητας ρεύματος διάβρωσης μέσω της χάραξης ποτενσιοδυναμικών καμπυλών πόλωσης.
- Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών.
- Μέτρηση βάθους ενανθράκωσης.
- Μελέτη με μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, αμέσως μετά τη χημική προσβολή με Nital 3%, σε εγκάρσια διατομή διαβρωμένων και μη οπλισμών.

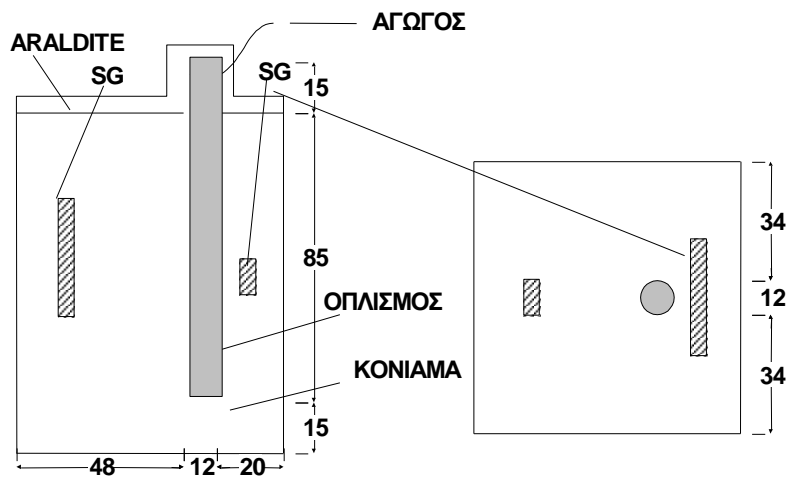
Παρασκευάστηκαν πρισματικά δοκίμια κονιάματος διαστάσεων $40 \times 40 \times 160$ mm, για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής των μειγμάτων που πραγματοποιήθηκε στην πρέσα κονιαμάτων και σκυροδεμάτων Buehl & Fabel (EN 196-1). Παρασκευάστηκαν επίσης κυλινδρικά δοκίμια 40×100 mm, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση του βάθους ενανθράκωσης. Σε τακτά χρονικά διαστήματα δοκίμια θραύονταν σε διάρρηξη και το βάθος ενανθράκωσης μετρήθηκε με χρήση διαλύματος φαινολοφθαλείνης (κατά RILEM CPC-18).

Στις μετρήσεις διάβρωσης χρησιμοποιήθηκαν πρότυπα κυλινδρικά δοκίμια 40×100 mm με ένα αξονικά τοποθετημένο οπλισμό ($d=10$ mm) (σχήμα 1). Τα δοκίμια των μετρήσεων Strain Gauge ήταν πρισματικά, διαστάσεων $80 \times 80 \times 100$ mm, με οπλισμούς διαμέτρου 12 mm. Τα αισθητήρια που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση του ρυθμού διάβρωσης των οπλισμών ήταν Strain Gauge (SG) τύπου KM-30-120 της KYOWA. (Routoulas και Batis 1999) (σχήμα 2). Τα δοκίμια παρέμειναν στον θάλαμο συντήρησης (20°C, 100% humidity) για 7 ημέρες και κατόπιν εμβαπτίστηκαν σε 3.5 % κ.β. διάλυμα NaCl. Για την επιτάχυνση της διάβρωσης των οπλισμένων δοκιμίων εφαρμόστηκε ανοδικό δυναμικό 1.5, 2.0 και 2.5 V για μερικές ημέρες. Η διάταξη μέτρησης περιλαμβάνει

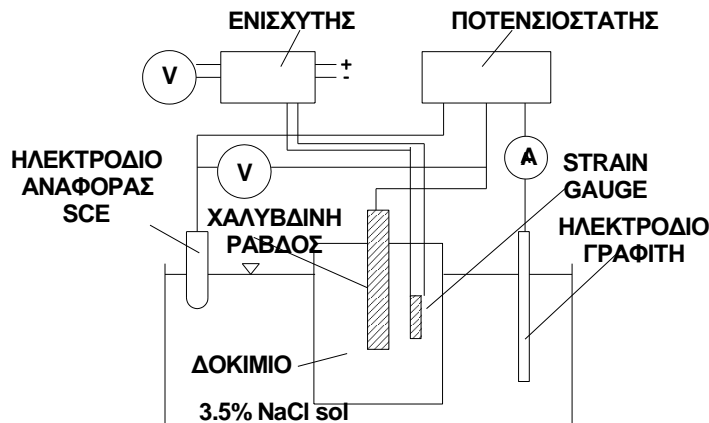
ποτενσιοστάτη για την εφαρμογή του ανοδικού δυναμικού, γέφυρα-εισχυτή SG και πολύμετρο (σχήμα 3).



Σχήμα 1. Μορφή και διαστάσεις (σε mm) κυλινδρικών δοκιμίων.



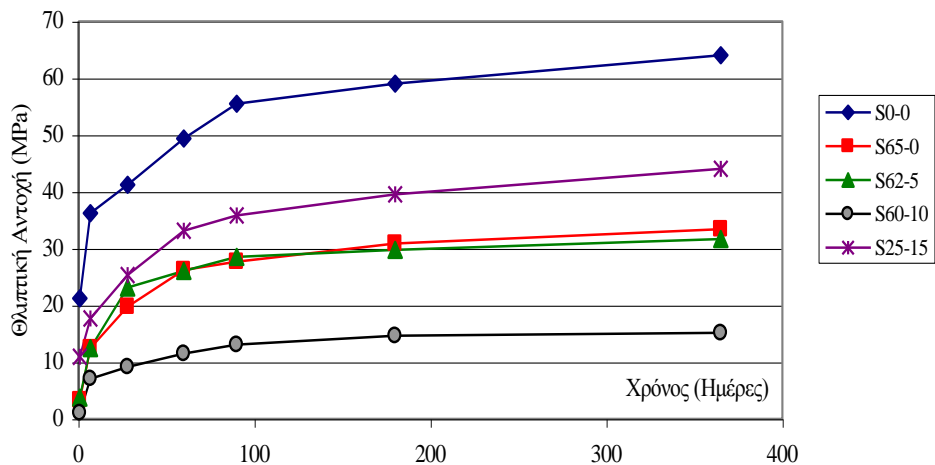
Σχήμα 2. Σχήμα και διαστάσεις δοκιμίων Strain Gauge (mm).



Σχήμα 3. Σχηματικό Διάγραμμα Διάταξης Μετρήσεων.

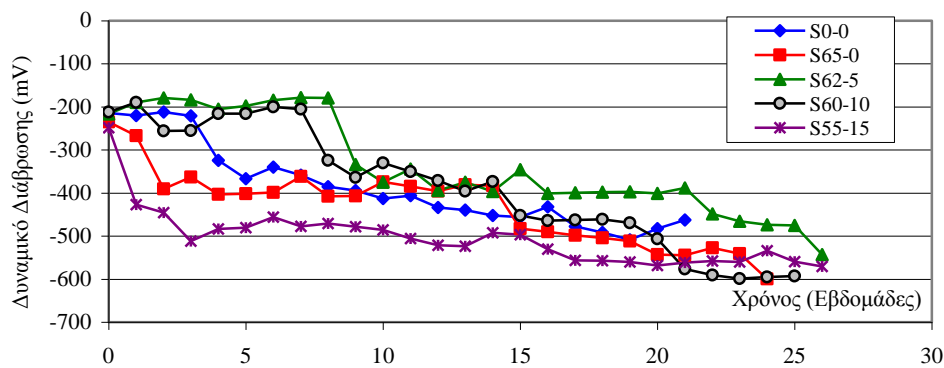
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Η θλιπτική αντοχή όλων των κατηγοριών δοκιμίων εξετάστηκε ως προς το χρόνο και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 4. Παρατηρείται απότομη αύξηση των αντοχών μέχρι τις 90 ημέρες, κατόπιν και μέχρι τους 6 μήνες μικρότερος ρυθμός αύξησης και τέλος τάση για σταθεροποίηση μέχρι το τέλος του χρόνου έκθεσης. Οι μεγαλύτερες αντοχές σημειώνονται για το αμιγές τσιμέντο Portland, ενώ οι χαμηλότερες για το συνδυασμό σκωρίας 60% και ΦΗΦ10%.



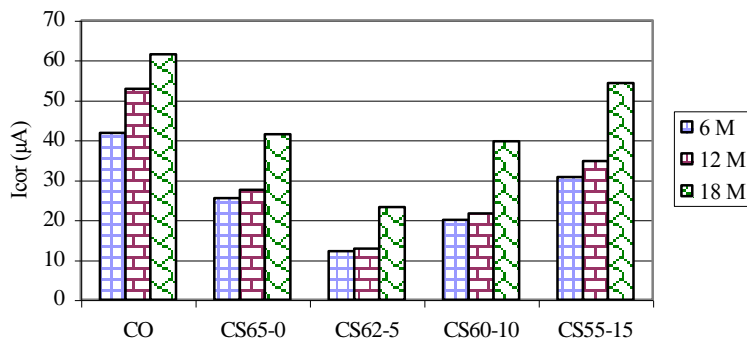
Σχήμα 4. Χρονική εξέλιξη θλιπτικών αντοχών όλων των κατηγοριών κονιαμάτων.

Η τάση για διάβρωση όλων των δοκιμίων εκτιμήθηκε με την καταγραφή του δυναμικού διάβρωσης ως προς χρόνο έκθεσης (σχήμα 5). Από την εξέλιξη αλλά και τις τελικές τιμές των δυναμικών διάβρωσης των οπλισμών φαίνεται ότι τα δοκίμια με σκωρία και 5-10% ΦΗΦ έχουν την καλύτερη συμπεριφορά στην αντιδιαβρωτική προστασία των οπλισμών.



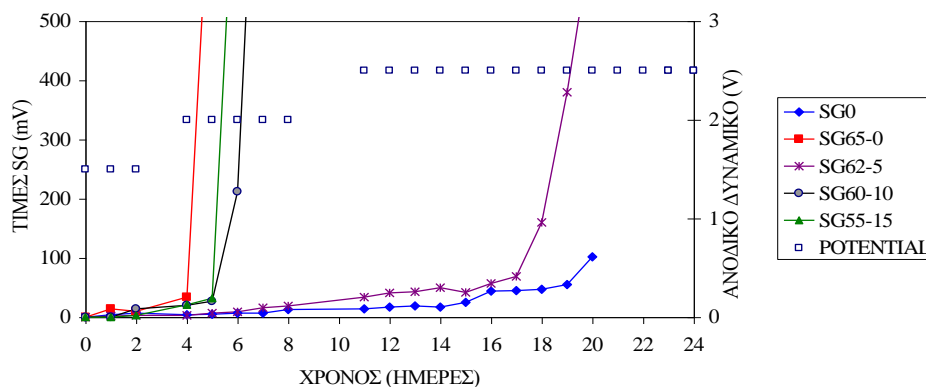
Σχήμα 5. Δυναμικά διάβρωσης ως προς χρόνο εμφάνισης.

Από τις ηλεκτροχημικές μετρήσεις (Batis και Συνεργάτες 2005) σε όλες τις κατηγορίες δοκιμίων προέκυψαν οι τιμές έντασης ρεύματος διάβρωσης που παρουσιάζονται στο σχήμα 6. Σε όλες τις κατηγορίες παρατηρείται αύξηση της έντασης του ρεύματος όσο αυξάνεται ο χρόνος παραμονής αυτών στο διαβρωτικό περιβάλλον. Τα δοκίμια αναφοράς εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές έντασης ρεύματος για όλο το χρονικό διάστημα, ενώ τα δοκίμια με ΦΗΦ 5% παρουσιάζουν τις μικρότερες. Οι μικρές διαφορές στην ένταση του ρεύματος μεταξύ 6 και 12 μηνών στα σύνθετα δοκίμια με σκωρία μπορεί να αποδοθούν στο γεγονός ότι τα κονιάματα με σκωρία ανέπτυξαν τις αντοχές τους μετά από παρέλευση 6 μηνών.



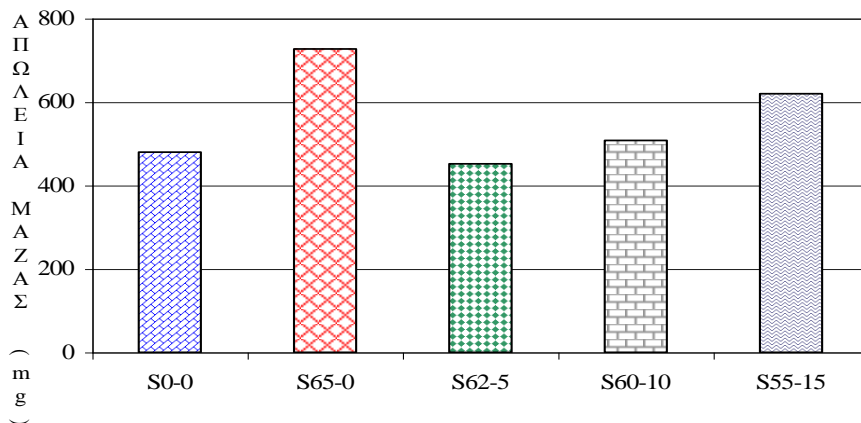
Σχήμα 6. Ένταση ρεύματος διάβρωσης συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης.

Τα αποτελέσματα της τεχνικής SG για όλες τις κατηγορίες δοκιμών παρουσιάζονται στο σχήμα 7. Τα δοκίμια που εξετάστηκαν κάτω από τις ίδιες συνθήκες σταθερού ανοδικού δυναμικού ταξινομούνται ανάλογα με την αντιδιαβρωτική τους συμπεριφορά. Ο χρόνος μηδέν είναι η στιγμή της εφαρμογής του ανοδικού δυναμικού στο δοκίμιο. Σε όλες τις περιπτώσεις υπάρχει αύξηση της τιμής SG, που σχετίζεται με τη διάβρωση. Κατά τη διάρκεια των πρώτων 18 ημερών εφαρμογής ανοδικού δυναμικού, παρατηρείται χαμηλός ρυθμός διόγκωσης των δοκιμών SG0-0. Ο χρόνος έναρξης της διάβρωσης, όπως υποδηλώνεται από την αύξηση στην τιμή SG για τα δοκίμια SG65-0, SG55-15 και SG60-10 ήταν η 4^η ημέρα, ενώ παρατηρήθηκαν ρωγμές από την 5^η ημέρα, με καθυστέρηση μιας ημέρας, αντίστοιχα. Τέλος για τα δοκίμια SG62-5 η έναρξη της διάβρωσης παρατηρείται μετά από 17 ημέρες, με θραύση την 19^η ημέρα. Η καλύτερη αντιδιαβρωτική συμπεριφορά των δοκιμών SG0-0 και SG62-5 είναι προφανής, συγκρινόμενη με αυτή των υπολοίπων δοκιμών με σύνθετα τσιμέντα. Η ενσωμάτωση του αναστολέα διάβρωσης στα δοκίμια με σύνθετα τσιμέντα που παρουσίασαν τη χειρότερη συμπεριφορά καθυστέρησε τη θραύση των δοκιμών για περίπου 4 έως 7 ημέρες, χωρίς να αλλάξει τη σειρά κατάταξή τους.



Σχήμα 7. Τιμές SG για όλες τις κατηγορίες δοκιμών ως προς χρόνο

Τα αποτελέσματα του προσδιορισμού της απώλειας μάζας των οπλισμών όλων των κατηγοριών δοκιμών μετά από 24 μήνες έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον παρουσιάζονται στο σχήμα 8. Η συνδυασμένη χρήση σκωρίας και ΦΗΦ σε ποσοστό 5% και 10% προκάλεσε απώλειες μάζας σχεδόν ίσες με αυτές των δοκιμών αναφοράς, ενώ η χρήση σκωρίας μόνο, όπως και η συνδυασμένη χρήση σκωρίας και ΦΗΦ σε ποσοστό 15% είχε ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες απώλειες μάζας.



Σχήμα 8. Απώλεια μάζας οπλισμών μετά από 24 μήνες στο διάλυμα 3.5% κβ NaCl

Στα σχήματα 9 και 10 παρουσιάζεται ενδεικτικά η μεταλλογραφική απεικόνιση των οπλισμών S500s των δοκιμίων SGO και SG60-10. Πριν την έκθεσή τους στο διαβρωτικό περιβάλλον οι οπλισμοί καλύπτονται από μια στρώση σκουριάς πάχους 18-20 μm , ως αποτέλεσμα της διαδικασίας παρασκευής τους. Στους διαβρωμένους οπλισμούς των δοκιμίων SGO, υπάρχουν επιπλέον συγκεντρώσεις οξειδίων με ανομοιόμορφο μέγεθος στην επιφάνεια και στις ελάχιστες περιοχές όπου παρατηρήθηκαν μικρορωγμές τα οξείδια εισχωρούν μέσα σε αυτές. Στην εσωτερική στοιβάδα υπάρχουν διασκορπισμένα μικρότερα οξείδια. Στους οπλισμούς των δοκιμίων SG60-10 η διάβρωση της επιφάνειας είναι λιγότερη, με αραιότερα και μικρότερων διαστάσεων οξείδια, αλλά σε ορισμένες περιοχές παρατηρούνται συγκεντρώσεις οξειδίων.



Σχήμα 9. Μικροδομή του χάλυβα S500s Tempcore του δοκιμίου SGO (M X200)



Σχήμα 10. Μικροδομή του χάλυβα S500s Tempcore του δοκιμίου SG60-10 (M X200)

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης, παρατηρείται ότι η χρήση σκωρίας και ΦΗΦ 5 έως 10% παρείχε προστασία στον οπλισμό ισοδύναμη με αυτήν του δοκιμίου αναφοράς, ενώ η χρήση μόνο σκωρίας, όπως και η συνδυασμένη χρήση σκωρίας και ΦΗΦ 10 έως 15%, είχε ως αποτέλεσμα ταχύτερους ρυθμούς διάβρωσης. Είναι φανερό ότι η μείωση του ποσοστού της σκωρίας και η προσθήκη ΦΗΦ μέχρις ενός ορίου προκαλούν βελτίωση της αντιδιαβρωτικής συμπεριφοράς των οπλισμών. Η προσθήκη ΦΗΦ αντισταθμίζει τη διαβρωτική δράση της σκωρίας με μια σχετική μείωση του μεγέθους των πόρων, με συνέπεια τη βελτίωση της ανθεκτικότητας των εξωτερικών στρωμάτων του κονιάματος. Η ενσωμάτωση του αναστολέα διάβρωσης στα δοκίμια με σύνθετα τσιμέντα προκαλεί μια επιπλέον αύξηση της προστασίας που παρέχει η ΦΗΦ.

5. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Batis, G., Routoulas, Th. & Meletiou, C.A, “Kiln Dust Influence in Corrosion Protection of Steel Rebars in Mortars with Composite Cements Containing Pozzolans”, in Proceedings of the International Conference Infrastructure Regeneration and Rehabilitation Improving the Quality of Life Through Better Construction (Sheffield England June 28 – July 2, 1999) Sheffield Academic Press Sheffield England (1999) 581-590

Batis, G., Pantazopoulou, P., Tsivilis, S. & Badogiannis, E., "The effect of metakaolin on the corrosion behavior of cement mortars", *Cement and Concrete Composites*, Vol.27, No 1 (2005) 125-130

Bertolini, L., Elsener, B., Pedeferri, P. & Polder, R., "Corrosion of steel in concrete: Prevention, Diagnosis, Repair", Wiley VCH, New York (2004)

Broomfield, J.P., "Corrosion Inhibitors for Steel in Concrete", *Concrete*, Vol. 33, No 6 (1999), 44-47

Buchwald, A. & Schulz, M., "Alkali-activated binders by use of industrial by-products", *Cement and Concrete Research*, Vol. 35 (2005) 968-973.

Elsener, B., "Corrosion inhibitors for steel in concrete – State of the art report", Maney Publishing, London (2001)

Gaidis, J.M. & Rosenberg, A.M., "Avoiding Corrosion Damage in Reinforced Concrete", *Concrete International*, Vol.11 (2001), 80-83

Jau, W. & Tsay, D., "A study of the basic engineering properties of slag cement concrete and its resistance to seawater corrosion", *Cement and Concrete Research*, Vol.28, No 10 (1998) 1363-1371

Kelly, R.G., Scully, J.R., Shoesmith, D.W. & Buchheit, R.G., "Electrochemical Techniques in Corrosion Science and Engineering", Marcel Dekker, New York (2002)

Kouloumbi, N., Batis, G. & Pantazopoulou, P., "Efficiency of Natural Greek Pozzolan in Chloride-Induced Corrosion of Steel Reinforcement", *Cement, Concrete and Aggregates*, Vol.17 (1995) 18-25

Mehta, P.K. & Monteiro, P., *Concrete Microstructure, Properties & Materials*, McGraw-Hill (2005)

Routoulas, A. & Batis, G., "Performance Evaluation of Steel Rebars Corrosion Inhibitors with Strain Gauges", *Anti-Corrosion Methods and Materials*, Vol. 46, No 4 (1999) 276 -283

Shi, C. & Day, R.L., "Some factors affecting early hydration of alkali slag cement", *Cement and Concrete Research*, Vol. 26, No 3 (1996), 439-447

Siddique, R., "Utilization of cement kiln dust (CKD) in cement mortar and concrete – an overview", *Resources Conversation & Recycling*, Vol. 48 (2006) 315-338

Sideris, K.K. & Savva, A., "Durability of Blended Cements", in Proceedings of the II International Symposium Cement and Concrete Technology in the 2000's (Istanbul Turkey September 6-10, 2000), Vol. II (2000) 283-291

Song, H-W., Saraswathy, V., "Studies on the corrosion resistance of reinforced steel in concrete with ground granulated blast-furnace slag – an overview", Journal of Hazardous Materials, Vol. B138 (2006) 226-233

Torii, K. & Kawamura, M., "Pore structure and chloride ion permeability of mortars containing silica fume", Cement & Concrete Composites, Vol. 16, No 4 (1994) 279-286