

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ ΣΚΩΡΙΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΣΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Γεώργιος Μπατής

Καθηγητής. Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Παρασκευή Πανταζοπούλου

Χημικός Μηχανικός. Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Νικόλαος Καρατζούνης

Πολιτικός Μηχανικός. Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Λέξεις κλειδιά: πορφυριτικό κοίτασμα Χαλκιδικής, ποζολανικά τσιμέντα, διάβρωση σιδηροπλισμού, χλωριόντα, θλιπτική αντοχή

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η δυνατότητα προσδιορισμού του εύρους χρήσης πορφυρίτη ως πρόσθετο στο τσιμέντο. Παρασκευάστηκαν σύνθετα δοκίμια οπλισμένης τσιμεντοκονίας, τα οποία εκτέθηκαν σε περιβάλλον πλήρους εμβάπτισης σε θαλασσινό νερό. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του δυναμικού διάβρωσης, του ρυθμού διάβρωσης και της απώλειας μάζας οπλισμού, ενώ ελέγχθηκε και η επίδραση του προσθέτου στις θλιπτικές αντοχές. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η χρήση του πορφυρίτη σε περιβάλλον χλωριόντων συνεπάγεται βελτιωμένη ανθεκτικότητα του κονιάματος χωρίς σημαντική μείωση των αντοχών, εφόσον χρησιμοποιηθεί σε ποσοστό έως 20% κ.β..

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διείδυση χλωριόντων είναι ο κύριος μηχανισμός έναρξης και συντήρησης - προώθησης της διάβρωσης του οπλισμού σε θαλάσσιο περιβάλλον και παράκτιες κατασκευές. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, και ιδίως σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές πλούσιες σε εκπομπές CO₂, η ενανθράκωση του σκυροδέματος είναι ο κύριος μηχανισμός που οδηγεί σε αποαθητικοποίηση του οπλισμού. Παρουσία χλωριόντων, το παθητικό στρώμα που έχει σχηματιστεί στο σιδηροπλισμό καταστρέφεται τοπικά και προκαλείται έναρξη εντοπισμένης διάβρωσης (Montemor & Συνεργάτες 2003). Η διάβρωση εξαρτάται, εκτός των άλλων, και από το ρυθμό διείδυσης των χλωριόντων από το περιβάλλον στη μάζα του κονιάματος, ουσιαστικά από τους ηλεκτρολυτικούς δρόμους, και κατά συνέπεια από τη

μικροδομή του κονιάματος, δηλ. το πορώδες, τη διασύνδεση των πόρων και την κατανομή μεγέθους των πόρων (Koleva & Συνεργάτες 2007).

Για την προστασία του οπλισμού στο σκυρόδεμα υπάρχουν διάφορες μέθοδοι, όπως η δημιουργία συμπαγούς σκυροδέματος, η χρήση ειδικών τύπων τσιμέντων, η χρήση της καθοδικής προστασίας, η προσθήκη αναστολέων διάβρωσης στη μάζα ή την επιφάνεια του σκυροδέματος και η χρήση επικαλύψεων στον οπλισμό ή την επιφάνεια του σκυροδέματος (Bertolini & Συνεργάτες 2004).

Τα σύνθετα τσιμέντα είναι ευρύτατα διαδεδομένα, αφενός μεν χάρη στη θετική συμβολή τους σε πολλές από τις ιδιότητες του σκυροδέματος, αφετέρου δε εξαιτίας του γεγονότος ότι πολλά από τα χρησιμοποιούμενα υλικά αποτελούν προϊόντα άλλων βιομηχανικών διαδικασιών, τα οποία αλλιώς θα δημιουργούσαν περιβαλλοντικά προβλήματα με την απόρριψή τους (Manso & Συνεργάτες 2006). Με τη χρήση σύνθετων τσιμέντων καλύπτονται ανάγκες όπως χαρακτηριστικά η οικονομία υλικού και η αξιοποίηση πρόσθετων υλικών, η εξοικονόμηση ενέργειας, η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και η αύξηση της δυναμικότητας της τσιμεντοβιομηχανίας (Basheer & Συνεργάτες 2002, Mehta & Monteiro 2005).

Σε προηγούμενη εργασία (Πανταζοπούλου & Συνεργάτες 2006) μελετήθηκε η δυνατότητα χρησιμοποίησης πορφυρίτη, προερχόμενου από τα μεταλλεία εξόρυξης χρυσού της τοποθεσίας «Σκουριές» στη Β.Α. Χαλκιδική, ως πρόσθετο στο τσιμέντο. Ο λειοτριβημένος πορφυρίτης, περιέχει οξείδια του ασβεστίου, πυριτίου, σιδήρου και αργιλίου. Αρχικά διενεργήθηκε ο απαραίτητος βάσει του EN 450-1 έλεγχος για την ενεργότητα του πορφυρίτη (προσδιορισμός ενεργού πυριτίου), και η τιμή της ενεργότητας βρέθηκε 25.5, γεγονός που επέτρεπε την περαιτέρω συνέχιση της μελέτης. Ακολούθως, μελετήθηκε η ανθεκτικότητα του παραγόμενου σύνθετου τσιμέντου με πορφυρίτη σε ποσοστό 20% κ.β. έναντι δύο συνήθων διαβρωτικών παραγόντων: της διεΐσδυσης χλωριόντων και της ενανθράκωσης.

Η παρούσα εργασία αποτελεί συνέχεια της προηγούμενης και εξετάζεται η δυνατότητα προσδιορισμού βέλτιστου εύρους αναλογιών πορφυρίτη ως πρόσθετο στο τσιμέντο. Παρασκευάστηκαν τσιμεντοκονιάματα όπου ο πορφυρίτης αντικαθιστούσε 10 - 25% κ.β. του τσιμέντου. Οπλισμένα κυλινδρικά δοκίμια με τα σύνθετα τσιμέντα καθώς και με τσιμέντο αναφοράς εκτέθηκαν στο διαβρωτικό περιβάλλον πλήρους εμβάπτισης σε θαλασσίνο νερό. Σε αυτά τα δοκίμια μετρήθηκαν το δυναμικό διάβρωσης, η ταχύτητα διάβρωσης μέσω γραμμικής πώλωσης και η απώλεια μάζας του σιδηροπλισμού και η μεταβολή της θλιπτικής αντοχής. Γενικά από τα μέχρι

τόρα πειραματικά αποτελέσματα φαίνεται ότι ο πορφυρίτης Χαλκιδικής είναι υλικό κατάλληλο για να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή ποζολανικών τσιμέντων, με ευεργετική επίδραση στη διάβρωση του οπλισμού σε περιβάλλοντα με χλωριόντα.

2. ΥΛΙΚΑ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Για την κατασκευή των δοκιμίων οπλισμένου τσιμεντοκονιάματος που εκτέθηκαν στο διαβρωτικό περιβάλλον θαλασσινού νερού χρησιμοποιήθηκαν τσιμέντο Portland τύπου CEM I 42.5N, άμμος περιοχής Ξάνθης και νερό δικτύου ΕΜΠ με αναλογίες 1:3:0.5 σύμφωνα με τον κανονισμό DIN 1164. Στα σύνθετα δοκίμια πορφυρίτη το CEM I αντικαταστάθηκε από πορφυρίτη σε ποσοστό 10, 20 και 25% κ.β. τσιμέντου (τύπος τσιμεντοκονιάματος CEM II/A-S κατά EN 197-1). Η χημική σύσταση του τσιμέντου Portland και του πορφυρίτη Χαλκιδικής δίνεται στον Πίνακα 1. Η λεπτότητα του πορφυρίτη ήταν της τάξης του τσιμέντου Portland.

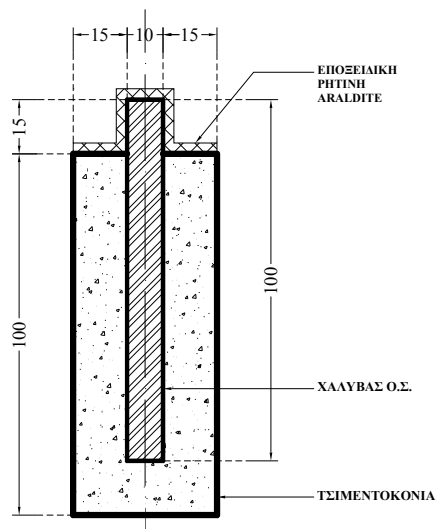
Πίνακας 1. Χημική σύσταση τσιμέντου Portland και πορφυρίτη Χαλκιδικής

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	CaO _(f)	LOI
CEM I	20.67	4.99	3.18	63.60	2.73	0.37	0.29	2.41	2.41	2.52
ΠΟΡΦΥΡΙΤΗΣ	34.34	10.37	2.44	41.30	6.90	0.32	0.38	0.12	-	0.09

Στα δοκίμια αυτά τοποθετήθηκαν αξονικά χαλύβδινοι οπλισμοί σκυροδέματος (Σχ. 1) τύπου Tempcore S500s, διαμέτρου 10mm και ύψους 10cm, με την ακόλουθη χημική σύσταση (C:0.18%, Mn:0.99%, S:0.047%, P:0.023%, Si:0.15%, Ni:0.09%, Cr:0.09%, Cu:0.21%, V:0.02%, Mo:0.021). Οι κατηγορίες δοκιμίων και η σύστασή τους κ.β. δίνονται στον Πίνακα 2.

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

Κατηγορία	CEM I	Πορφυρίτης	Άμμος	Νερό
SX0	1.00	-	3.00	0.50
SX10	0.90	0.10	3.00	0.50
SX20	0.80	0.20	3.00	0.50
SX25	0.75	0.25	3.00	0.50



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

Η θέση εμφάνισης των οπλισμένων δοκιμίων κονιαμάτων είναι η ευρύτερη περιοχή της ναυπηγοεπισκευαστικής ζώνης Σκαρμαγκά Αττικής, περιοχή με ιδιαίτερα μολυσμένη θάλασσα με (κυρίως) πετρελαιώδη κατάλοιπα (Σχ. 2). Το βάθος είναι περίπου 1.5 m στο σημείο αυτό που είναι λιμενοβραχίονας, είναι καλά φυλασσόμενος από ανέμους και ο πυθμένας είναι λασπώδης. Παρά την μόλυνση του θαλασσινού νερού, στην επιφάνεια των δοκιμίων αναπτύσσονται μικροοργανισμοί (Σχ. 3).



Σχήμα 2. Περιοχή εμφάνισης δοκιμίων



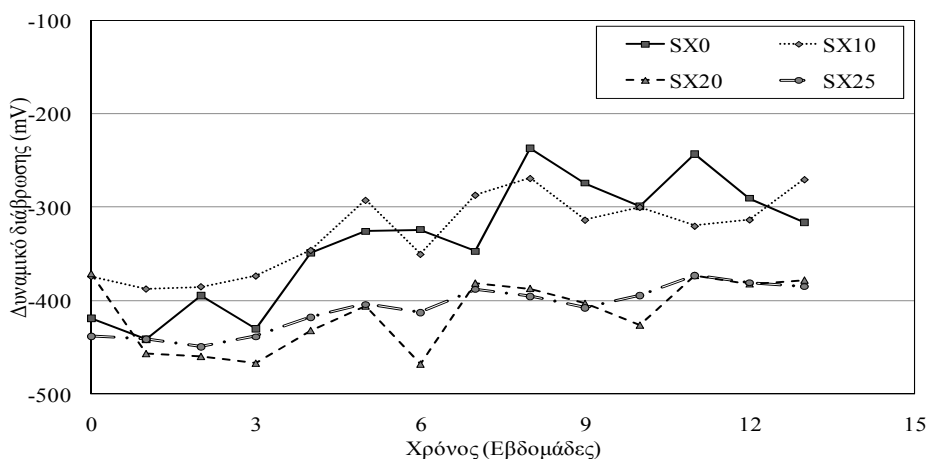
Σχήμα 3. Δοκίμια οπλισμένου κονιάματος μετά από περίπου 3.5 μήνες εμβάπτισης

Για την κατασκευή των δοκιμίων των μετρήσεων της θλιπτικής αντοχής χρησιμοποιήθηκε επίσης τσιμέντο Portland τύπου CEM I 32.5N, σκύρα και χαλίκια ελληνικής προέλευσης και νερό δικτύου Ε.Μ.Π.. Παρασκευάστηκαν δοκίμια άοπλου σκυροδέματος, με τις ακόλουθες αναλογίες σε Kg/m^3 (τσιμέντο : 280, γαρμπίλι : 480, χαλίκι : 480, άμμος : 960, νερό : 180). Στα σύνθετα δοκίμια πορφυρίτη το OPC αντικαταστάθηκε, από πορφυρίτη σε ποσοστό 10, 15, 20 και 25% κ.β. τσιμέντου (τύπος τσιμεντοκονιάματος CEM II/A-S κατά EN 197-1). Ο προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής έγινε σε κυβικά δοκίμια σκυροδέματος ακμής 15cm (βάσει του EN 196-1), σε ηλικίες 7 και 28 ημερών.

Η εκτίμηση της ανθεκτικότητας των δοκιμίων έναντι της διάβρωσης πραγματοποιήθηκε με ηλεκτροχημικές μετρήσεις του δυναμικού διάβρωσης ως προς ηλεκτρόδιο αναφοράς κορεσμένου καλομέλανα SCE (κατά ASTM C876-87), με μετρήσεις της έντασης του ρεύματος διάβρωσης μέσω της χάραξης ποτενσιοδυναμικών καμπυλών πόλωσης και μετρήσεις απώλειας μάζας του σιδηροπλισμού (κατά ISO/DIS 8407.3) προκειμένου να εκτιμηθεί ο ρυθμός διάβρωσης του οπλισμού στο σκυρόδεμα.

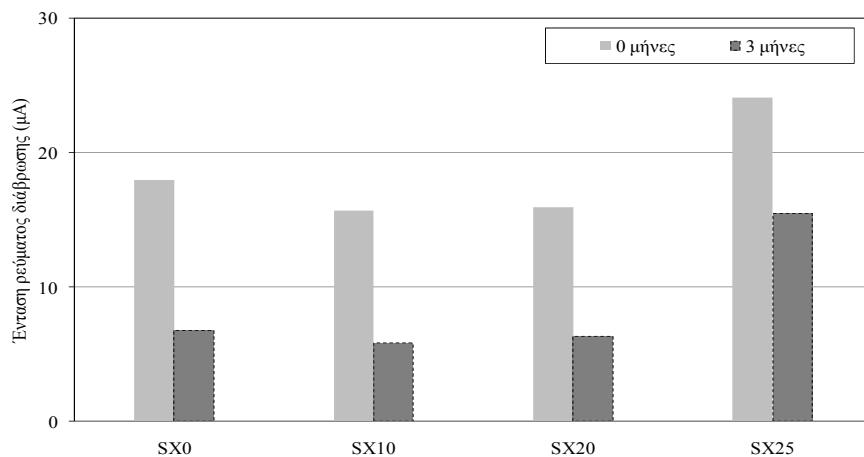
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η μέτρηση του δυναμικού διάβρωσης παρέχει ενδείξεις ως προς την θερμοδυναμική πορεία της διάβρωσης και όχι ως προς το ρυθμό διάβρωσης και έχει σκοπό να προσδιορίσει την κατάσταση των οπλισμών και την πιθανότητα διάβρωσης του χάλυβα στο δεδομένο διαβρωτικό περιβάλλον (Broomfield & Συνεργάτες 2002). Στο Σχήμα 4 παρουσιάζονται τα δυναμικά διάβρωσης οπλισμένων δοκιμίων κονιαμάτων μετά από 3 μήνες εμφάνισης στο διαβρωτικό περιβάλλον. Με βάση το σχήμα αυτό παρατηρείται προστατευτική επίδραση του πορφυρίτη έναντι της επίδρασης του θαλασσινού νερού σε ποσοστό 10% κ.β.. Τα ποσοστά 20 και 25% κ.β. δίνουν ηλεκτραρνητικότερες τιμές δυναμικών κατά περίπου 100 mV, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει αναγκαστικά μεγαλύτερη διάβρωση.



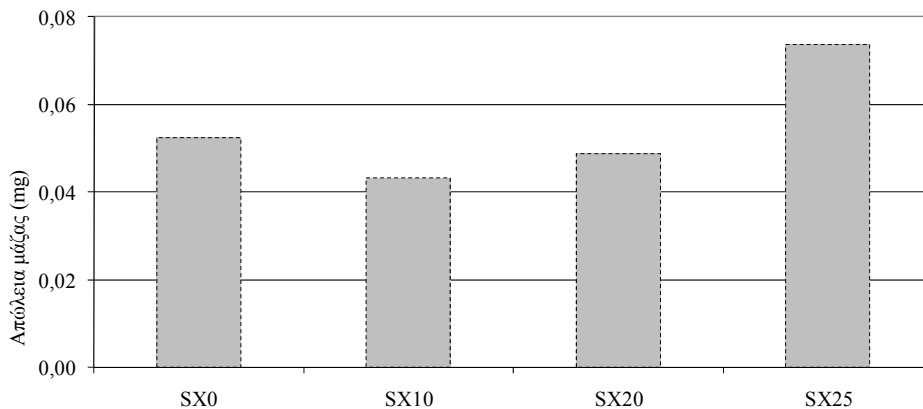
Σχήμα 4. Δυναμικά διάβρωσης ως προς χρόνο έκθεσης σε θαλασσινό νερό όλων των κατηγοριών οπλισμένων δοκιμίων

Η επίδραση του ποσοστού πορφυρίτη στην προστασία του οπλισμού των δοκιμίων από τη διάβρωση εκτιμήθηκε με προσδιορισμό της ταχύτητας διάβρωσης μέσω χάραξης των ποτενσιοδυναμικών καμπυλών πόλωσης (Σχ. 5). Παρατηρείται ότι η προσθήκη πορφυρίτη σε ποσοστά 10 και 20% κ.β. έχει προστατευτική επίδραση, σε αντίθεση με το ποσοστό 25% κ.β., όπου οι τιμές έντασης ρεύματος είναι μεγαλύτερες αυτών των δοκιμίων αναφοράς. Σε όλες τις περιπτώσεις το ρεύμα διάβρωσης είναι μικρότερο στους τρεις μήνες έκθεσης από αυτό στην έναρξη μέτρησης του χρόνου. Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται στη μείωση των επιφανειακών πόρων του κονιάματος εξαιτίας της παρουσίας των θαλάσσιων μικροοργανισμών.



Σχήμα 5. Ένταση ρεύματος διάβρωσης μετά από 3 μήνες έκθεσης σε θαλασσινό νερό για όλες τις κατηγορίες οπλισμένων δοκιμίων

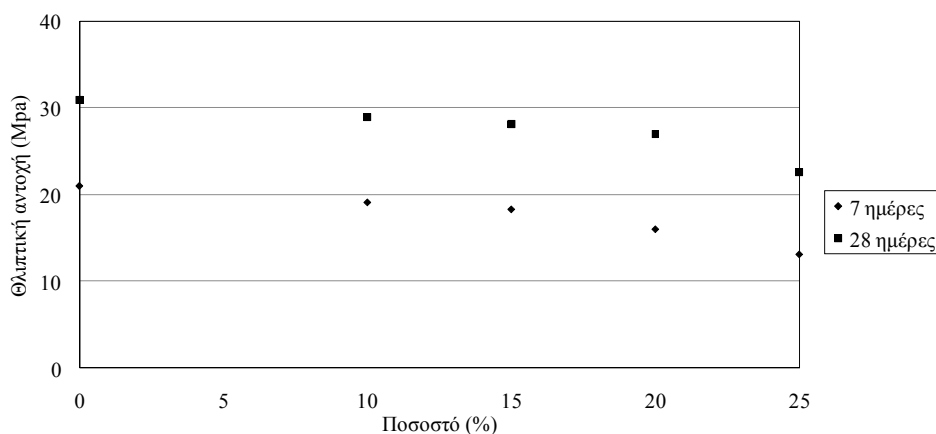
Τα αποτελέσματα αυτά βρίσκονται σε πλήρη συμφωνία με τα αποτελέσματα απώλειας μάζας των οπλισμών μετά από 3 μήνες έκθεσης στο θαλασσινό νερό (Σχ. 6), όπου τα ποσοστά πορφυρίτη 10 και 20% κ.β. προκαλούν μειωμένη απώλεια μάζας κατά 18% και 7%, αντίστοιχα.



Σχήμα 6. Απώλεια μάζας οπλισμών μετά από 3 μήνες έκθεσης σε θαλασσινό νερό

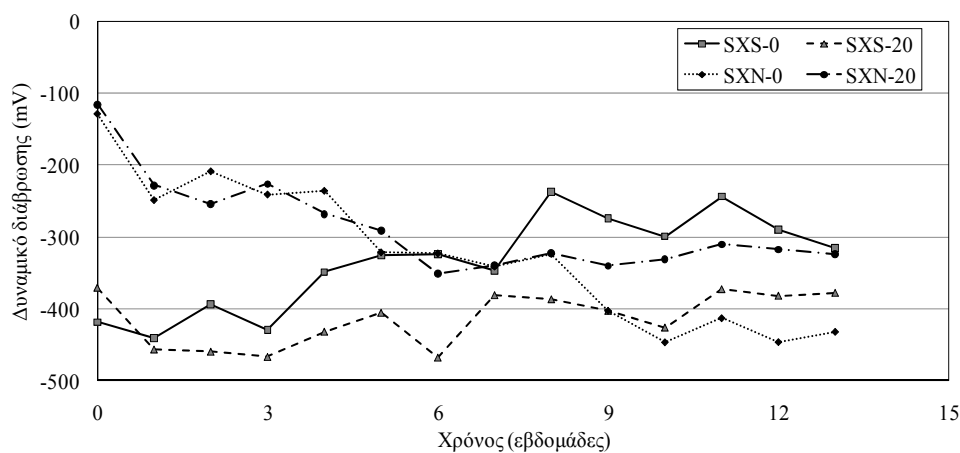
Η θλιπτική αντοχή δοκιμίων αναφοράς και δοκιμίων με προσθήκη πορφυρίτη ελέγχθηκε για ποσοστά από 10 έως 25% κ.β. σε ηλικίες 7 και 28 ημερών. Στο Σχήμα 7 γίνεται σύγκριση των αντοχών στις δύο ηλικίες

ελέγχου και έχουν χρησιμοποιηθεί οι μέσοι όροι των αποτελεσμάτων που προέκυψαν. Από τη μελέτη του σχήματος προκύπτει ότι η θλιπτική αντοχή των δοκιμίων πορφυρίτη είναι μικρότερη από αυτή των δοκιμίων αναφοράς και μάλιστα αύξηση του ποσοστού του προσθέτου προκαλεί αντίστοιχα μείωση των αντοχών. Από τη σύγκριση των τιμών της θλιπτικής αντοχής στις δύο ηλικίες προκύπτει για όλα τα δοκίμια αύξηση της αντοχής από τις 7 στις 28 ημέρες κατά περίπου 30%. Η προσθήκη πορφυρίτη σε όλες τις αναλογίες οδηγεί σε μείωση της θλιπτικής αντοχής των 28 ημερών σε ποσοστό από 6% έως 27%, γεγονός που παρατηρείται και σε άλλες ποζολάνες.



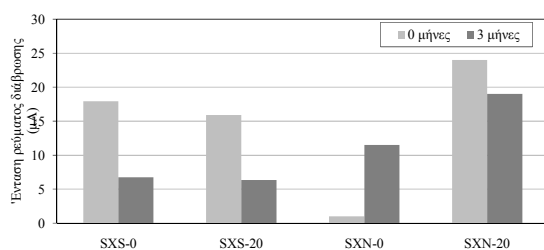
Σχήμα 7. Θλιπτική αντοχή δοκιμίων αναφοράς και πορφυρίτη στις 7 και 28 ημέρες

Στη συνέχεια διαμορφώθηκαν για τις ανωτέρω μετρήσεις συγκριτικά διαγράμματα για τα δύο διαβρωτικά περιβάλλοντα με χλωριόντα, στα οποία εκτίθενται τα οπλισμένα δοκίμια κονιάματος αναφοράς και με πορφυρίτη ποσοστό 20% κ.β. (διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl και θαλασσινό νερό). Αντίστοιχες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί και από άλλους ερευνητές (Lindvall 2007) για εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την επίδραση του είδους των χλωριόντων και του pH στο ρυθμό διείσδυσης των χλωριόντων. Συγκρίνοντας τις τιμές των δυναμικών διάβρωσης (Σχ. 8) προκύπτει ότι, ενώ στην αρχή της έκθεσης οι τιμές στο θαλασσινό νερό είναι ηλεκτραρνητικότερες αυτών στο χλωριούχο νάτριο, γεγονός που αποδίδεται στην πλήρη εμφάνιση των δοκιμίων αυτών, μετά από 3 μήνες υπάρχει μια σχετική σύγκλιση όλων των τιμών στα ίδια περίπου επίπεδα των -300 με -350 mV, συνεπώς σύμφωνα με το πρότυπο ASTM G76 τα δοκίμια παρουσιάζουν πιθανότητα διάβρωσης 50%.



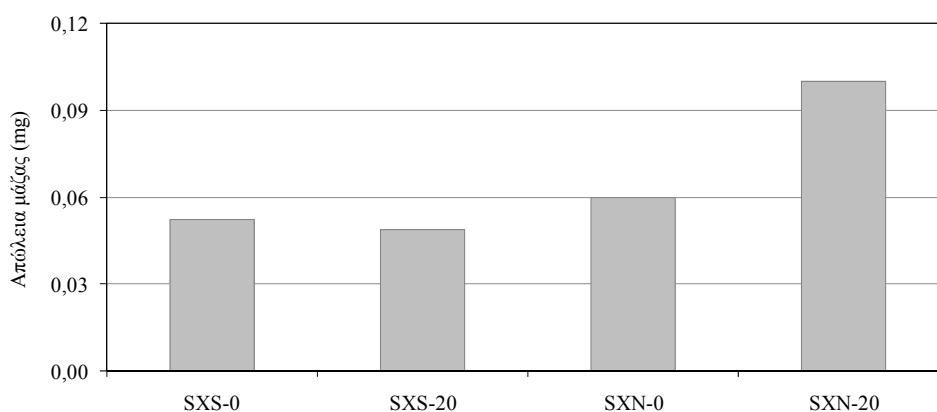
Σχήμα 8. Συγκριτικό διάγραμμα δυναμικών διάβρωσης δοκιμίων εμβαπτισμένων σε θαλασσινό νερό και σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl

Στο Σχήμα 9 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα συγκριτικά αποτελέσματα έντασης ρεύματος διάβρωσης των σιδηροπλισμών των δοκιμίων αναφοράς και με πορφυρίτη 20% κ.β.. Σε αντίθεση με την πορεία των δυναμικών, το ρεύμα διάβρωσης των δοκιμίων μετά από 3 μήνες έκθεσης στο θαλασσινό νερό είναι μικρότερο αυτών στο διάλυμα NaCl. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί αφενός μεν στην μικρότερη περιεκτικότητα σε διαλυμένο οξυγόνο του θαλασσινού νερού και αφετέρου στην μείωση του επιφανειακού πορώδους εξαιτίας των θαλάσσιων μικροοργανισμών.



Σχήμα 9. Συγκριτικό διάγραμμα έντασης ρεύματος διάβρωσης δοκιμίων σε θαλασσινό νερό και σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl

Παρομοίως, όπως παρατηρείται από το συγκριτικό διάγραμμα των απωλειών μάζας μετά από 3 μήνες έκθεσης στα δύο διαβρωτικά περιβάλλοντα για τα δοκίμια αναφοράς SX-0 και τα δοκίμια πορφυρίτη SX-20 (Σχ. 10), οι απώλειες μάζας στο θαλασσινό νερό είναι μικρότερες αυτών στο διάλυμα NaCl. Στο δε διάλυμα NaCl, οι απώλειες μάζας των δοκιμίων πορφυρίτη είναι μεγαλύτερες αυτών των δοκιμίων αναφοράς, που όμως διαπιστώθηκε μόνο στον χρόνο έκθεσης 3 μηνών, αφού μεταγενέστερα και μέχρι τους 6 μήνες έκθεσης, η διάβρωση των σιδηροπλισμών είναι μεγαλύτερη για τα δοκίμια αναφοράς. Είναι γνωστό ότι τα κονιάματα με σκωρίες αργούν να αναπτύξουν τις αντοχές τους, συνήθως μετά από παρέλευση 6 μηνών (De Schutter & Luo 2004).



Σχήμα 10. Συγκριτικό διάγραμμα απωλειών μάζας δοκιμίων εμβαπτισμένων για 3 μήνες σε θαλασσινό νερό και σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας προκύπτουν τα ακόλουθα γενικά συμπεράσματα: (α) η προσθήκη πορφυρίτη σε αντικατάσταση του τσιμέντου σε ποσοστά 10 και 20% κ.β. έχει προστατευτική επίδραση τόσο σε θαλασσινό νερό όσο και σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl, (β) η προσθήκη σε ποσοστό 25% κ.β. δεν παρουσίασε καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με το αμιγές τσιμέντο Portland και (γ) η προσθήκη πορφυρίτη σε όλες τις αναλογίες οδηγεί σε ανεκτή μείωση της θλιπτικής αντοχής των 28 ημερών. Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι η χρήση του πορφυρίτη των μεταλλείων της Χαλκιδικής μπορεί να αποδειχθεί

επωφελής εφόσον χρησιμοποιείται σε ποσοστό μέχρι 20%, αφού τα παραγόμενα κονιάματα χαρακτηρίζονται από βελτιωμένη ανθεκτικότητα έναντι των χλωριόντων, χωρίς σημαντική μείωση των αντοχών.

5. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Basheer, P.A.M., Gilleece, P.R.V, Long, A.E. & McCarter, W.J., “Monitoring electrical Resistance of Concretes containing Alternative Cementitious Materials to Assess their Resistance to Chloride Penetration”, *Cement & Concrete Composites*, Vol.24 (2002) 437-449

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

Broomfield, J.P., Davies, K., Hladky, K., “The use of permanent corrosion monitoring in new and existing reinforced concrete structures”, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 24 (2002) 27-34

De Schutter, G. & Luo, L., “Effect of corrosion inhibiting admixtures on concrete properties”, *Construction and Building Materials*, Vol. 18 (2004) 483-489

Koleva, D.A., Hu, J., Fraaij, A.L.A., van Breugel, K. & de Wit, J.H.W., “Microstructural analysis of plain and reinforced mortars under chloride-induced deterioration”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 37 (2007) 604-617

Lindvall, A., “Chloride ingress data from field and laboratory exposure – influence of salinity and temperature”, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 29 (2007) 88-93

Manso, J.M., Polanco, J.A., Losanez, M. & Gonzalez, J.J., “Durability of concrete made with EAF slag as aggregate”, *Cement & Concrete Composites*, Vol. 28 (2006) 528-534

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

Montemor, M.F., Simoes, A.M.P. & Ferreira, M.G.S, “Chloride-induced corrosion on reinforcing steel: from the fundamentals to the monitoring techniques”, *Cement & Concrete Composites*, Vol. 25 (2003) 491-502

Πανταζοπούλου, Π., Σταυροπούλου, Ο., Παπαθανασίου, Κ., Μπατής, Γ.,
“Διερεύνηση δυνατότητας χρησιμοποίησης Πορφυρίτη κοιτάσματος
«Σκουριές» Χαλκιδικής στη παραγωγή ποζολανικών τσιμέντων”, 15ο
Συνέδριο Σκυροδέματος, Αλεξανδρούπολη, 25-27/10/2006, Τόμος Δ', 243-
252

Bakharev, T., Sanjayan, J., G. & Cheng, Y. “Resistance of Alkali-
Activated Slag Concrete to Carbonation”, Cement and Concrete Research,
Vol.31 (2001) 1277-1283