

Εξέταση της δυνατότητας αξιοποίησης των αποβλήτων κοιτάσματος πορφυρίτη Χαλκιδικής στην τσιμεντοβιομηχανία

Γ. Μπατής, Π. Πανταζοπούλου

*Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Ηρώων
Πολυτεχνείου 9, 157 73 Ζωγράφου Αθήνα*

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία ερευνά τη χρησιμοποίηση πορφυρίτη, παραπροϊόντος των μεταλλείων εξόρυξης χρυσού της τοποθεσίας «Σκουριές» στη Β.Α. Χαλκιδική, ως πρόσθετο για την παραγωγή σύνθετων τσιμέντων. Οπλισμένα κυλινδρικά δοκίμια με κονιάματα πορφυρίτη σε ποσοστά 10 - 25% κ.β. είτε εκτέθηκαν στον ατμοσφαιρικό αέρα είτε εμβαπτίστηκαν σε διάλυμα 3.5% κ.β. χλωριούχου νατρίου ή σε θαλασσινό νερό. Μετρήθηκαν η μεταβολή της θλιπτικής αντοχής και το βάθος ενανθράκωσης των κονιαμάτων, το δυναμικό διάβρωσης, η ταχύτητα διάβρωσης και η απώλεια μάζας των οπλισμών. Από τα μέχρι τώρα αποτελέσματα φαίνεται ότι ο πορφυρίτης είναι υλικό κατάλληλο για την παραγωγή ποζολανικών τσιμέντων, με ευεργετική επίδραση στη διάβρωση του οπλισμού στα προαναφερθέντα διαβρωτικά περιβάλλοντα.

Investigation of the possible exploitation of porfiritis waste in cement industry

G. Batis, P. Pantazopoulou

*Department of Materials Science and Engineering, School of Chemical Engineering N.T.U.A., 9
Iroon Polytechniou str. 157 73 Athens*

Keywords: Porfiritis, pozzolanic cements, compressive strength, corrosion, chlorides.

ABSTRACT

The possible exploitation of porfiritis, a natural waste product from the gold mines located in N.E. Chalkidiki Greece, as a supplementary cementing material, is investigated in the present work. Reinforced mortar specimens, where porfiritis replaced PC by 10-25% w/w were either exposed to atmospheric conditions or partially immersed in 3.5% w/w NaCl solution or in sea water. The experimental methods used were: measurements of the compressive strength and the carbonation depth of mortars, as well as corrosion potential, corrosion rate and mass loss of reinforcement. Based on the up-to-now results of this study, it is concluded that porfiritis is material suitable for the production of pozzolanic cements, having beneficial effect on reinforcement corrosion in the above corrosive environments.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα σύνθετα τσιμέντα είναι πλέον ευρύτερα 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, Fajardo και Συνεργάτες 2009). 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). Τα σύνθετα τσιμέντα εμφανίζουν επιπλέον σημαντικά τεχνικά πλεονεκτήματα συγκρινόμενα με το αμιγές τσιμέντο Portland, όσον αφορά στην ανθεκτικότητα τους σε ποικίλα διαβρωτικά περιβάλλοντα (Kouloumbi & Batis 1992).

Σε προηγούμενες εργασίες (Πανταζοπούλου και Συνεργάτες 2006, Μπατής και Συνεργάτες 2008) 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.

Στην παρούσα εργασία συνεχίζεται η έρευνα 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 σε: περιβάλλον ατμοσφαιρικού αέρα, περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl και θαλάσσιο περιβάλλον. Σε αυτά τα δοκίμια μετρήθηκαν η μεταβολή της θλιπτικής αντοχής, το βάθος ενανθράκωσης, το δυναμικό διάβρωσης, η ταχύτητα διάβρωσης μέσω γραμμικής πόλωσης και η απώλεια μάζας των σιδηροπλισμών.

2 ΥΛΙΚΑ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Ο προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής έγινε σε κυβικά δοκίμια σκυροδέματος ακμής 15cm (βάσει του EN 196-1) σε ηλικίες 7 και 28 ημερών. Για την κατασκευή όλων των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκαν τσιμέντο Portland (OPC) 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 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.

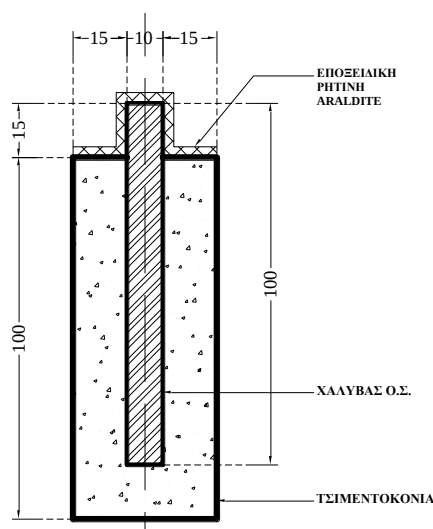
Πίνακας 1. Χημική σύσταση τσιμέντου Portland και πορφυρίτη Χαλκιδικής

	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 κυλινδρικά δοκίμια τσιμεντοκονιάματος τοποθετήθηκε αξονικά χαλύβδινη ράβδος (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%). Η μορφή και οι διαστάσεις των δοκιμών δίνονται στο Σχήμα 1. Οι κατηγορίες δοκιμών και η σύστασή τους κ.β. δίνονται στον Πίνακα 2.

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

Κατηγορία	OPC	Πορφυρίτης	Άμμος	Νερό
PX0	1.00	-	3.00	0.50
PX10	0.90	0.10	3.00	0.50
PX20	0.80	0.20	3.00	0.50
PX25	0.75	0.25	3.00	0.50



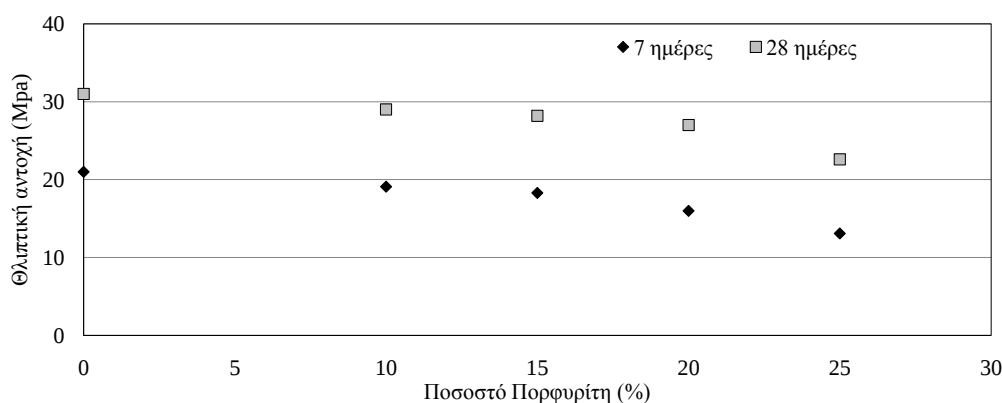
Σχήμα 1. Μορφή και διαστάσεις (σε mm) κυλινδρικών δοκιμών

Τα κυλινδρικά δοκίμια οπλισμένου τσιμεντοκονιάματος μετά την παρασκευή τους εκτέθηκαν σε: περιβάλλον ατμοσφαιρικού αέρα (Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου), περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl (2 cm από τη βάση των δοκιμών) για 6 μήνες και 3) θαλάσσιο περιβάλλον για 9 μήνες. Η θέση εμβάπτισης των δοκιμών είναι η ευρύτερη περιοχή της ναυπηγοεπισκευαστικής ζώνης Σκαρामαγκά Αττικής, περιοχή με ιδιαίτερα μολυσμένη θάλασσα με (κυρίως) πετρελαιώδη κατάλοιπα). 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 δοκιμών αναπτύσσονται μικροοργανισμοί.

Η εκτίμηση της ανθεκτικότητας των δοκιμών έναντι της διάβρωσης πραγματοποιήθηκε με μετρήσεις του βάθους ενανθράκωσης (κατά RILEM CPC-18) για τον προσδιορισμό της ανθεκτικότητας των υπό εξέταση τσιμεντοκονιαμάτων σε διοξείδιο του άνθρακα και με μετρήσεις απώλειας μάζας του σιδηροπλισμού (κατά ISO/DIS 8407.3) προκειμένου να εκτιμηθεί ο ρυθμός διάβρωσης του οπλισμού στο σκυρόδεμα. Στην περίπτωση των δοκιμών που εκτέθηκαν σε περιβάλλον χλωριόντων χρησιμοποιήθηκαν περαιτέρω ηλεκτροχημικές μετρήσεις του δυναμικού διάβρωσης ως προς ηλεκτρόδιο αναφοράς κορεσμένου καλομέλανα SCE (κατά ASTM C876-87), καθώς και μετρήσεις γραμμικής πόλωσης (Linear Polarization) μέσω της χάραξης ποτενσιοδυναμικών καμπυλών πόλωσης (Kouloumbi & Batis 1992).

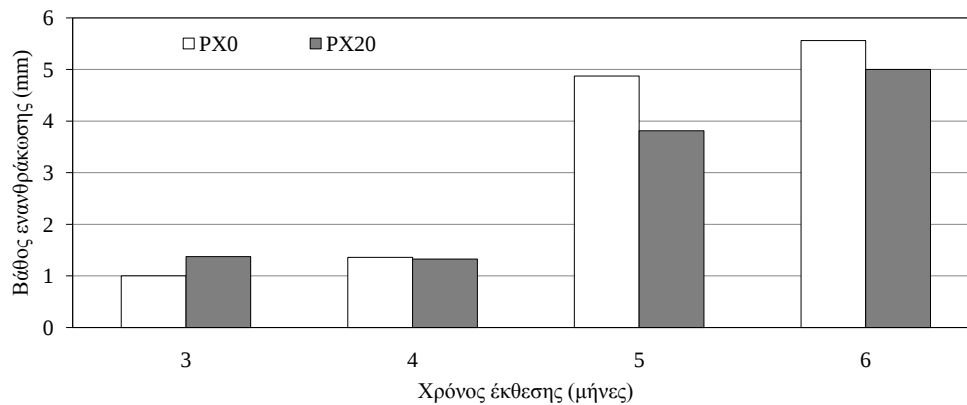
3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

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. Από τη μελέτη του σχήματος 2 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 ανεκτή μείωση της θλιπτικής αντοχής των 28 ημερών σε ποσοστό από 6% έως 27%. Το γεγονός αυτό ήταν σε μεγάλο βαθμό αναμενόμενο, τόσο για το συγκεκριμένο πορφυρίτη, όσο και τα περισσότερα από τα ποζολανικά υλικά που χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα στην παραγωγή σύνθετων τσιμέντων. Για τα σκυροδέματα με σύνθετα τσιμέντα παρατηρείται εντούτοις αυξημένη αντοχή σε μεγαλύτερες ηλικίες. Οι λόγοι καθυστέρησης της ανάπτυξης αντοχών στα σύνθετα τσιμέντα με σκωρίες έχουν εκτενώς περιγραφεί στη βιβλιογραφία (Neville 1996, Μπατής 1997). Η διαφορά όμως που παρατηρείται στη θλιπτική αντοχή μεταξύ δοκιμίων με τσιμέντο Portland και ποζολανικών τσιμέντων μειώνεται μετά τους 3 πρώτους μήνες και εξαλείφεται πλήρως σε ηλικία 12 περίπου μηνών.



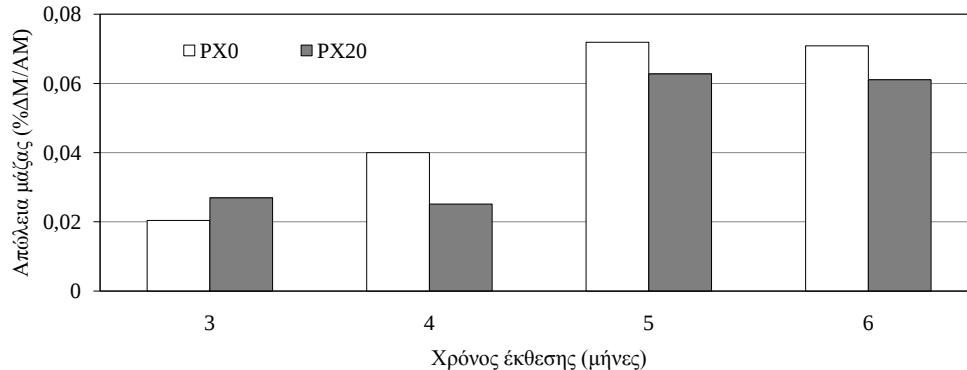
Σχήμα 2. Θλιπτική αντοχή δοκιμίων αναφοράς και πορφυρίτη στις 7 και 28 ημέρες

Η ανθεκτικότητα των δοκιμίων σε περιβάλλον έκθεσης ατμοσφαιρικού αέρα ελέγχθηκε με τον προσδιορισμό του βάθους ενανθράκωσης των δοκιμίων και με μετρήσεις της απώλειας μάζας των οπλισμών. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε δοκίμια αναφοράς και δοκίμια πορφυρίτη 20% κ.β. για περίοδο έκθεσης 3, 4, 5 και 6 μηνών. Οι μέσοι όροι των αποτελεσμάτων του μέσου βάθους ενανθράκωσης ανά κατηγορία δοκιμίων δίνονται υπό μορφή διαγράμματος στο Σχήμα 3. Παρατηρείται ότι το βάθος ενανθράκωσης των δοκιμίων αναφοράς ήταν αισθητά μεγαλύτερο για διάρκεια παραμονής 5 και 6 μηνών σε ατμοσφαιρικές συνθήκες, σε όλες τις περιπτώσεις όμως το μέτωπο της ενανθράκωσης δεν έχει εισχωρήσει ως τον οπλισμό. Επομένως, ο οπλισμός των δοκιμίων βρίσκεται ακόμα σε αλκαλικό περιβάλλον δεν έχει αποπαθητικοποιηθεί. Εξαιτίας της μικρής ταχύτητας της ποζολανικής αντίδρασης η μείωση των πόρων του κονιάματος δεν είναι μεγάλη σε μικρούς χρόνους έκθεσης. Επομένως το μετρούμενο βάθος ενανθράκωσης σε πρώιμες ηλικίες είναι αυξημένο σε σχέση με το αμιγές τσιμέντο Portland. Αφ' ετέρου η χαμηλή διαπερατότητα ενός καλά συντηρημένου σκυροδέματος με πορφυρίτη αποτρέπει την περαιτέρω αύξηση του βάθους ενανθράκωσης. Συμπερασματικά, η προσθήκη πορφυρίτη σε ποσοστό 20% ευνοεί την ανθεκτικότητα έναντι ενανθράκωσης μέσω της μείωσης του πορώδους.



Σχήμα 3. Μέσο βάθος ενανθράκωσης των δοκιμίων αναφοράς και πορφυρίτη συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στον ατμοσφαιρικό αέρα.

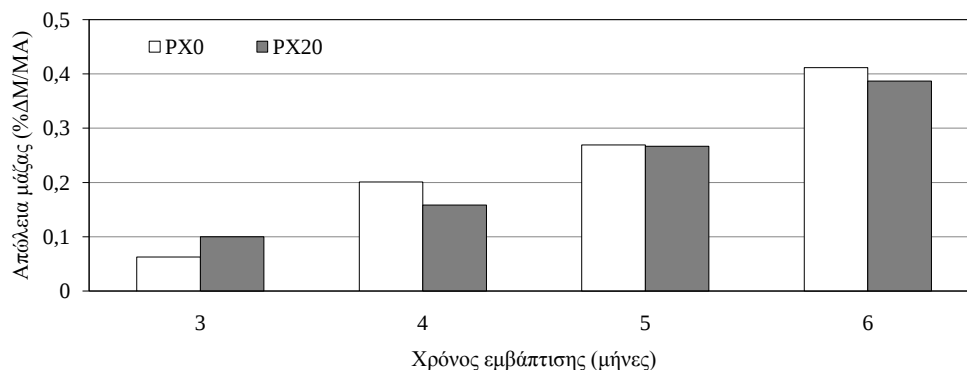
Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται η απώλεια μάζας των οπλισμών μετά από 6 μήνες έκθεση στον ατμοσφαιρικό αέρα, εκφρασμένη ως ποσοστό % της διαφοράς μάζας ως προς την αρχική μάζα. Από το σχήμα αυτό προκύπτει ότι η διάβρωση των σιδηροπλισμών των δοκιμίων αναφοράς είναι μεγαλύτερη για περίοδο έκθεσης 4, 5 και 6 μηνών. Για περίοδο παραμονής 3 μηνών εντούτοις οι οπλισμοί των δοκιμίων πορφυρίτη εμφανίζονται πιο διαβρωμένοι. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην αυξημένη αρχικά διαπερατότητα των δοκιμίων πορφυρίτη, η οποία μειώνεται όσο ο χρόνος έκθεσης αυξάνει με την εξέλιξη της ποζολανικής αντίδρασης (Neville 1996, Bakharev και Συνεργάτες 2001).



Σχήμα 4. Απώλεια μάζας των δοκιμίων αναφοράς και πορφυρίτη συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στον ατμοσφαιρικό αέρα.

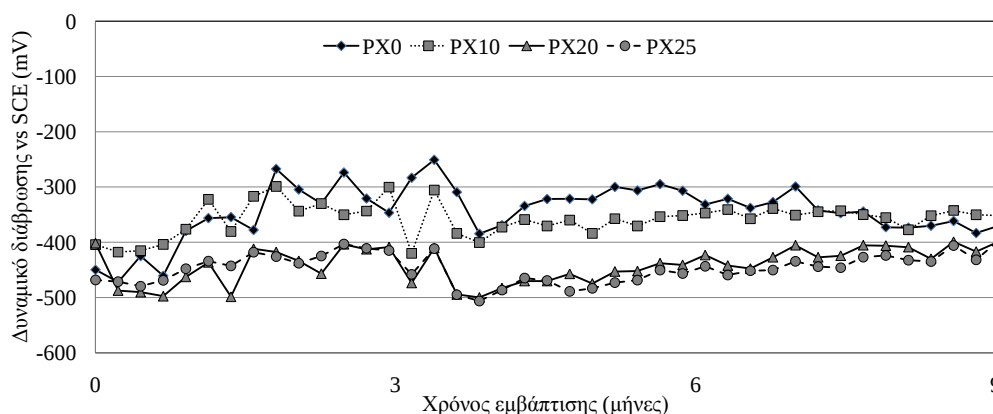
Στο επόμενο σχήμα 5 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των αποτελεσμάτων απώλειας μάζας των οπλισμών των δοκιμίων μερικής εμβάπτισης στο διάλυμα NaCl 3.5% κ.β. για περίοδο έκθεσης 3, 4, 5 και 6 μηνών. Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται αύξηση της διάβρωσης των σιδηροπλισμών όσο αυξάνεται ο χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον. Η διάβρωση των σιδηροπλισμών (εντός των δοκιμίων) είναι μεγαλύτερη για την κατηγορία των δοκιμίων αναφοράς στις ηλικίες των 4, 5 και 6 μηνών. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί τόσο στο μικρότερο

πορώδες του ενυδατούμενου τσιμεντοπολτού (η ταχύτητα της ποζολανικής δράσης είναι μεγαλύτερη σε υγρό περιβάλλον), όσο και στην αυξημένη ικανότητα των σύνθετων τσιμέντων να δεσμεύουν τα χλωριόντα στα προϊόντα της ενυδάτωσής τους (Μπατής 1997, Neville 1996).



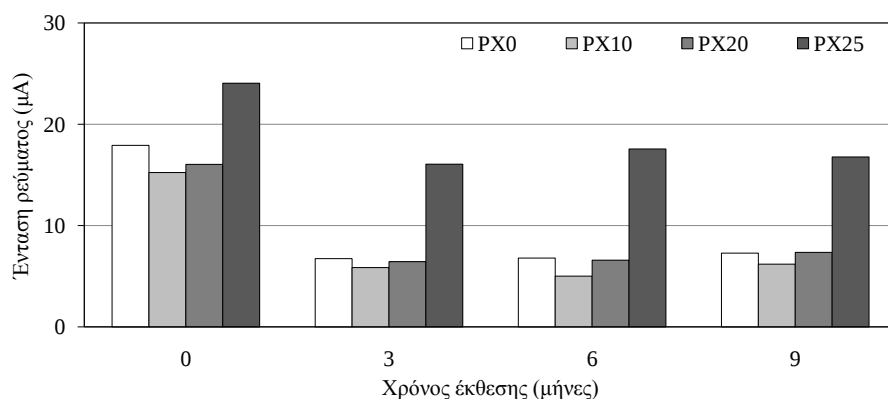
Σχήμα 5. Απώλεια μάζας των δοκιμίων αναφοράς και πορφυρίτη συναρτήσει του χρόνου μερικής εμφάνισης στο διάλυμα NaCl 3.5% κ.β.

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζονται τα δυναμικά διάβρωσης οπλισμένων δοκιμίων κονιαμάτων μετά από 9 μήνες εμφάνισης στο θαλάσσιο διαβρωτικό περιβάλλον. Είναι φανερό ότι η διαφορά με το προηγούμενο περιβάλλον 3.5 % NaCl είναι η προκαλούμενη ρύπανση των δοκιμίων από τους οργανισμούς της θάλασσας. 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). 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 ηλεκτρικότερες τιμές δυναμικών κατά περίπου 100 mV, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει αναγκαστικά μεγαλύτερη διάβρωση.



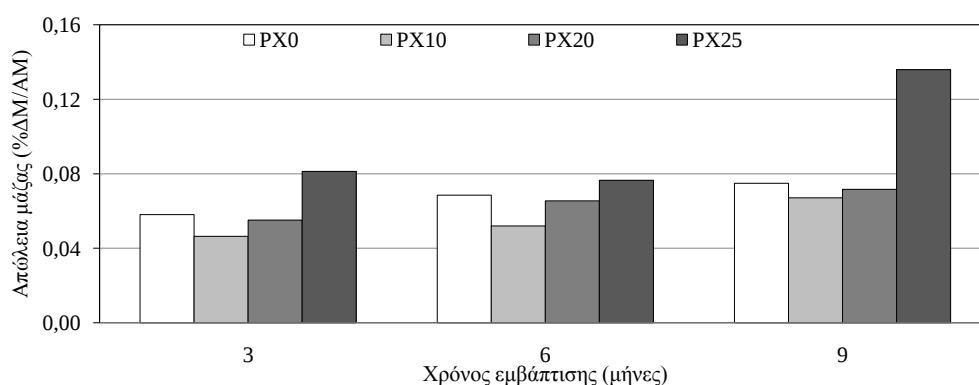
Σχήμα 6. Δυναμικά διάβρωσης ως προς χρόνο έκθεσης σε θαλασσινό νερό όλων των κατηγοριών οπλισμένων δοκιμίων

Η επίδραση του ποσοστού πορφυρίτη στην προστασία του οπλισμού των δοκιμών από τη διάβρωση εκτιμήθηκε και με προσδιορισμό της ταχύτητας διάβρωσης μέσω χάραξης των ποτενσιοδυναμικών καμπυλών πόλωσης (Σχ.7). Παρατηρείται ότι σε όλες τις περιπτώσεις το ρεύμα διάβρωσης είναι μικρότερο σε όλους τους χρόνους 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. Η προσθήκη πορφυρίτη σε ποσοστό 10% έχει προστατευτική επίδραση, σε αντίθεση με το ποσοστό 25% κ.β., όπου οι τιμές έντασης ρεύματος είναι μεγαλύτερες αυτών των δοκιμών αναφοράς. Η ποσότητα πορφυρίτη 20% δίνει τους ίδιους ρυθμούς διάβρωσης με το τσιμέντο πόρτλαντ.



Σχήμα 7. Ένταση ρεύματος διάβρωσης μετά από 9 μήνες έκθεσης σε θαλασσινό νερό για όλες τις κατηγορίες οπλισμένων δοκιμών.

Τέλος η απώλεια μάζας των οπλισμών μετά από 9 μήνες έκθεσης στο θαλασσινό νερό δίνεται στο σχήμα 8. Τα ποσοστά πορφυρίτη 10% και 20% παρέχουν προστατευτική επίδραση, αντίθετα με το ποσοστό 25% που δεν παρέχει προστασία. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην μεγάλη ποσότητα πορφυρίτη που δεν μπορεί πλέον να αντιδράσει με τον πορτλαντίτη και να κλείσει τους πόρους.



Σχήμα 8. Απώλεια μάζας οπλισμών δοκιμών εμφάνισης σε θαλασσινό νερό.

Κρίνοντας συνολικά την προσθήκη του πορφυρίτη είναι φανερό ότι η προσθήκη 10% παρέχει προστασία τόσο στην ενανθράκωση όσο και στην προσβολή από χλωριόντα. Η απώλεια θλιπτικής αντοχής στις 28 ημέρες είναι σχετικά μικρή. Η προσθήκη 20% σε πορφυρίτη δίνει αποτελέσματα διάβρωσης παρόμοια με αυτά του πόρτλαντ, αλλά η απώλεια θλιπτικής αντοχής είναι σχετικά μεγαλύτερη. Το ποσοστό 25% πορφυρίτη δεν δίνει προστατευτικά αποτελέσματα και η απώλεια θλιπτικής αντοχής είναι η μεγαλύτερη. Είναι φανερό ότι η προσθήκη του πορφυρίτη στο τσιμέντο από μόνη της δεν μπορεί να λύσει το πρόβλημα της απόθεσης του. Μπορεί όμως να το λύσει σε συνδυασμό με άλλες χρήσεις.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας προκύπτουν τα ακόλουθα γενικά συμπεράσματα:

- Η προσθήκη του πορφυρίτη σε ποσοστό 10 % δίνει γενικά προστασία από την διάβρωση και μικρή μείωση της θλιπτικής αντοχής.
- Σε ποσοστό 20 % η προσθήκη του πορφυρίτη δίνει από άποψη διάβρωσης των οπλισμών τα ίδια περίπου αποτελέσματα με το τσιμέντο πόρτλαντ. Η προκαλούμενη μείωση της θλιπτικής αντοχής είναι μεγαλύτερη.
- Εάν το ποσοστό του πορφυρίτη ανέλθει στο 25%, τότε η ταχύτητα διάβρωσης των οπλισμών είναι γενικά μεγαλύτερη από αυτήν του τσιμέντου πόρτλαντ και η μείωση της θλιπτικής αντοχής των 28 ημερών είναι μεγάλη.

5 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Bakharev, T., Sanjayan, J., G. & Cheng, Y. 2001. Resistance of Alkali-Activated Slag Concrete to Carbonation. *Cement and Concrete Research*, vol.31:1277-1283.
- Basheer, P.A.M., Gilleece, P.R.V, Long, A.E. & McCarter, W.J. 2002. Monitoring electrical Resistance of Concretes containing Alternative Cementitious Materials to Assess their Resistance to Chloride Penetration. *Cement & Concrete Composites*, vol.24: 437-449.
- Broomfield, J.P., Davies, K., Hladky, K. 2002. The use of permanent corrosion monitoring in new and existing reinforced concrete structures. *Cement and Concrete Composites*, vol.24:27-34
- Fajardo, G., Valdez, P., Pacheco, J., 2009. Corrosion of steel rebar embedded in natural pozzolan based mortars exposed to chlorides. *Construction and Building Materials*, vol.23: 768-774.
- Kouloumbi, N. & Batis, G. 1992. Chloride Corrosion of Steel Rebars in Mortars with Fly Ash Admixtures. *Cement and Concrete Composites*, vol.14: 199-207.
- Manso, J.M., Polanco, J.A., Losanez, M. & Gonzalez, J.J., 2006. Durability of concrete made with EAF slag as aggregate. *Cement & Concrete Composites*, vol.28: 528-534.
- Mehta, P.K. & Monteiro, P., 2005. *Concrete Microstructure, Properties & Materials*, McGraw-Hill
- Μπατής, Γ. 1997. Διάβρωση Οπλισμένου Σκυροδέματος με Πρόσθετα Παραπροϊόντα Ελληνικών Βιομηχανιών. *Πρακτικά 1^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου Χημικής Μηχανικής*: 161-168.
- Μπατής, Γ., Πανταζοπούλου, Π., Καρατζούνης, Ν. 2008. Αξιοποίηση στερεών αποβλήτων κοιτάσματος σκυρίων ως πρόσθετο στο τσιμέντο. *1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων*, Αθήνα, Τόμος Β, 787-798.
- Neville, A.M. (4th and final edition) 1996. *Properties of Concrete*. England: Addison Wesley Longman Limited.
- Πανταζοπούλου, Π., Σταυροπούλου, Ο., Παπαθανασίου, Κ., Μπατής, Γ. 2006. Διερεύνηση δυνατότητας χρησιμοποίησης Πορφυρίτη κοιτάσματος «Σκουριές» Χαλκιδικής στη παραγωγή ποζολανικών τσιμέντων. *15ο Συνέδριο Σκυροδέματος*, Αλεξανδρούπολη, Τόμος Δ', 243-252