

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
ΜΕ ΧΡΩΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ
ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
Γ. ΜΠΑΤΗΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή
Γ. Μπατής, Καθηγητής Ε.Μ.Π., μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής
Α. Μοροπούλου, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π., μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής
Ι. Χρυσουλάκης, Καθηγητής Ε.Μ.Π., μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής
Χ. Καραγιάννη, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.
Μ. Μπεάζη-Κατσιώτη, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.
Σ. Τσιβιλής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Α. Καραντώνης, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2016

Στην οικογένειά μου

Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από την Ανωτάτη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202)

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εκπονήθηκε στον Τομέα III Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου με επιβλέποντα τον Καθηγητή κ. Γεώργιο Μπατή.

Αντικείμενο της διατριβής ήταν η προστασία οπλισμένου σκυροδέματος με χρώματα, και ιδιαιτέρως στο ελαφρύ σκυρόδεμα με κίσηρη. Η πραγματοποίηση της έρευνας περιέλαβε την εξέταση διαφόρων παραμέτρων που επιδρούν στη διάβρωση του χάλυβα οπλισμού μέσα στο σκυρόδεμα, και σε έντονα διαβρωτικό περιβάλλον όπως είναι η έκθεση στον θάλαμο αλατονέφωσης και η μερική εμβάπτιση σε υδατικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου ως προσομοίωση θαλασσίου περιβάλλοντος, αλλά και σε μακροχρόνια έκθεση σε ατμοσφαιρική διάβρωση.

Η διδακτορική διατριβή περιλαμβάνει:

Το θεωρητικό μέρος, το οποίο απαρτίζεται από τέσσερα κεφάλαια: Το πρώτο αναφέρεται κατά κύριο λόγο στο οπλισμένο σκυρόδεμα και τα κύρια συστατικά του, δηλαδή το τσιμέντο, το νερό, τα αδρανή και τους χάλυβες. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη διάβρωση του χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος και στα συνήθη αίτια που την προκαλούν, δηλαδή την ενανθράκωση και τη δράση των χλωριόντων. Το τρίτο κεφάλαιο γίνεται ανάπτυξη των συνηθέστερων μεθόδων προστασίας του οπλισμού στο σκυρόδεμα από τη διάβρωση, όπως η καθοδική προστασία και οι αναστολείς διάβρωσης. Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο αναπτύσσεται η μέθοδος προστασίας με επικαλύψεις, όπου αναλύονται οι ιδιότητες των επικαλύψεων, οι κατηγορίες τους, τα συστατικά τους και οι μέθοδοι εφαρμογής. Γίνεται επίσης ιδιαίτερη μνεία στις επικαλύψεις σκυροδέματος.

Το πειραματικό μέρος, όπου παρουσιάζονται τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν (οπλισμοί, τσιμέντο, αδρανή, αναστολείς διάβρωσης, πρόσθετα, επικαλύψεις), καθώς και η μεθοδολογία εκτίμησης της επίδρασης των διαφόρων παραγόντων στη διάβρωση των οπλισμών. Ακολούθως, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων σε πίνακες και διαγράμματα.

Τη συζήτηση αποτελεσμάτων, όπου αναλύεται η επίδραση όλων των παραγόντων που μελετήθηκαν υπό το πρίσμα της προστασίας από τη διάβρωση των χάλυβων οπλισμού σκυροδέματος και αποτιμώνται τα αποτελέσματα του πειραματικού μέρους της διδακτορικής διατριβής.

Τις προοπτικές συνέχισης της έρευνας, όπου τονίζονται οι τομείς στους οποίους θα μπορούσε να υπάρξει περαιτέρω έρευνα και μελέτη, σε σχέση πάντα με την προστασία του χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος από τη διάβρωση.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς όλους όσους συνέβαλαν στην πραγματοποίηση και ολοκλήρωση της παρούσας διδακτορικής διατριβής και ιδιαίτερα:

Τον Καθηγητή της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. κ. Γεώργιο Μπατή, επιβλέποντα της διδακτορικής διατριβής, κατ' αρχήν για την ανάθεση της διδακτορικής διατριβής και στη συνέχεια για τις επιστημονικές γνώσεις που μου μετέδωσε, την αμέριστη υποστήριξη που μου παρείχε καθώς και την υπομονή που επέδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

Την Καθηγήτρια της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. κ. Αντωνία Μοροπούλου μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, για τη συνεχή καθοδήγηση, συμπαράσταση και συνεργασία σε όλα τα στάδια της παρούσας εργασίας.

Τον Καθηγητή της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. κ. Ιωάννη Χρυσουλάκη, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, για τις πολύτιμες υποδείξεις του επί της επιστημονικής ουσίας της διδακτορικής διατριβής.

Ευχαριστίες επίσης εκφράζονται σε όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου του Τομέα ΙΙΙ Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών για τη βοήθεια που προσέφερε κατά την εκπόνηση της διατριβής.

Επίσης εκφράζονται ευχαριστίες προς τα μέλη της επταμελούς εξεταστικής επιτροπής, την Καθηγήτρια Ε.Μ.Π. κ. Χ. Καραγιάννη, την Καθηγήτρια Ε.Μ.Π. κ. Μ. Μπεάζη-Κατσιώτη, τον Καθηγητή Ε.Μ.Π. Σ. Τσιβιλή και τον Επίκουρο Καθηγητή Α. Καραντώνη για την πολύ σημαντική επιστημονική υποστήριξη τους.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους και συναδέλφους που με τις διαρκείς παροτρύνσεις τους με ώθησαν να ολοκληρώσω τη διδακτορική διατριβή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο χάλυβας σε ένα υγιές σκυρόδεμα καλής ποιότητας βρίσκεται στην παθητική κατάσταση λόγω του υψηλού pH του υγρού των πόρων, που έχει τιμή μεγαλύτερη από 12,5. Η παθητική κατάσταση του χάλυβα οφείλεται στη δημιουργία επιφανειακού επιστρώματος μαγνητίτη (Fe_3O_4 ή/και Fe_2O_3) ανάλογα με τις τιμές του δυναμικού, που εξαρτώνται από το περιεχόμενο οξυγόνου. Η διείσδυση διαβρωτικών συστατικών του περιβάλλοντος στο σκυρόδεμα μέσω των πόρων μπορεί να προκαλέσει τη μετάπτωση του χάλυβα από την παθητική κατάσταση στην ενεργή, με αποτέλεσμα την έναρξη της διάβρωσης του οπλισμού. Η έναρξη της διάβρωσης μπορεί να προκληθεί μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα επώασης, η διάρκεια του οποίου εξαρτάται από παράγοντες του περιβάλλοντος π.χ. μερική πίεση του διοξειδίου του άνθρακα, αλλά και από παράγοντες του ίδιου του σκυροδέματος όπως το πορώδες κλπ.

Για να πραγματοποιηθεί διάβρωση του σιδηροπλισμού στο σκυρόδεμα θα πρέπει να εκπληρούνται τρεις προϋποθέσεις: να αποπαθητικοποιηθεί ο χάλυβας ώστε να είναι δυνατή η ανοδική διάλυση του σιδήρου, να υπάρχει οξυγόνο και να υπάρχει κατάλληλη αγωγιμότητα στο σκυρόδεμα μέσω του υγρού των πόρων. Η αποπαθητικοποίηση του χάλυβα στο σκυρόδεμα συμβαίνει είτε εξαιτίας της διάχυσης του διοξειδίου του άνθρακα στους πόρους του σκυροδέματος είτε εξαιτίας της διείσδυσης χλωριόντων. Το διοξείδιο του άνθρακα αντιδρά με το υδροξείδιο του ασβεστίου, το pH μειώνεται σε τιμές μικρότερες από 9,5 και η αποπαθητικοποίηση αρχίζει. Τα χλωριόντα προκαλούν αποπαθητικοποίηση όταν η συγκέντρωσή τους γίνει μεγαλύτερη από ένα όριο, που εξαρτάται από την αλκαλικότητα του σκυροδέματος. Όσο η αλκαλικότητα του σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη, τόσο η απαιτούμενη ποσότητα χλωριόντων για την έναρξη της διάβρωσης είναι μεγαλύτερη. Το οξυγόνο διαχέεται μέσω των πόρων του σκυροδέματος με ίδιους νόμους όπως το διοξείδιο του άνθρακα. Η αγωγιμότητα του σκυροδέματος εξαρτάται κύρια από την παρουσία του νερού, διότι το νερό διαλύει τα άλατα και δίνει ψηλές τιμές αγωγιμότητας και ακόμη μεταφέρει τα διάφορα ιόντα από το περιβάλλον στο εσωτερικό του σκυροδέματος. Σε περιπτώσεις χαμηλών θερμοκρασιών η μετατροπή του νερού σε πάγο έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ρωγμών στο σκυρόδεμα, που με τη σειρά τους διευκολύνουν τη διείσδυση των διαβρωτικών συστατικών προς τον οπλισμό.

Η επιφανειακή προστασία του οπλισμένου σκυροδέματος είναι συνήθως τακτική όταν το σκυρόδεμα είναι εκτεθειμένο σε διαβρωτικό περιβάλλον. Ως μέθοδος προστασίας είναι συνηθισμένη λόγω της εύκολης εφαρμογής, της οικονομικότητάς της, του αισθητικού της αποτελέσματος και της δυνατότητας εφαρμογής σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Ο σκοπός της επικάλυψης είναι να παρεμποδίσει την είσοδο στο σκυρόδεμα του διοξειδίου του άνθρακα, του οξυγόνου, των χλωριόντων και του νερού, αλλά και να επιτρέπει τη μεταφορά των υδρατμών. Ακόμη η επικάλυψη πρέπει να αντιμετωπίσει την αυξημένη αλκαλικότητα του σκυροδέματος, την ηλιακή ακτινοβολία αλλά και να έχει ελαστικότητα ώστε να ακολουθεί τις παραμορφώσεις του σκυροδέματος. Η ταυτόχρονη εκπλήρωση όλων αυτών των απαιτήσεων είναι εξαιρετικά δύσκολη και σε κάθε εφαρμογή θα πρέπει να σταθμίζονται οι απαιτήσεις που θα εκπληροί η επικάλυψη ανάλογα με το είδος της κατασκευής και του περιβάλλοντος. Τέλος η προσθήκη αναστολέων διάβρωσης στη μάζα του σκυροδέματος ή ο ψεκάσμός τους στην επιφάνειά του, βελτιώνει την προστασία που προσφέρουν οι επικαλύψεις.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή είχε ως αντικείμενο την προστασία του οπλισμένου σκυροδέματος με χρώματα και πιο συγκεκριμένα την προστασία του ελαφροβαρούς σκυροδέματος. Για τον σκοπό αυτό επιλέχθηκε η χρήση κίσηρης, ενός ελληνικού

ελαφροβαρούς αδρανούς, για την κατασκευή πρισματικών οπλισμένων δοκιμίων κισσηροκονιάματος και κισσηροδέματος.

Επίσης επιλέχθηκαν να εκτιμηθούν έξι παράμετροι που επιδρούν στη διάβρωση του χάλυβα οπλισμού μέσα στο σκυρόδεμα, που αφορούν και στη σύσταση του κισσηροδέματος και των οπλισμών, αλλά και στην προστασία του οπλισμού από τους εξωτερικούς παράγοντες που επιδρούν αρνητικά στην ακεραιότητα των χαλύβων και του κονιάματος. Στον ελληνικό χώρο η διάβρωση των οπλισμών στο σκυρόδεμα συμβαίνει κατά κύριο λόγο εξαιτίας πρώτον της ενανθράκωσης του σκυροδέματος από το διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και δεύτερον από τα χλωριόντα λόγω εγγύτητας των κατασκευών στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Οι παράμετροι αυτές ήταν:

I. Είδος τσιμέντου: CEM I 32.5, CEM I 42.5, CEM II/A-S 42.5 και CEM II/B-M 32.5.

II. Επικαλύψεις του κονιάματος: ακρυλική διασπορά με κύριο πιγμέντο TiO_2 , ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου (Fe_2O_3 και Fe_3O_4), επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ με πιγμέντο οξείδια σιδήρου (Fe_2O_3 και Fe_3O_4) και βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ.

III. Είδος χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος: S220, S400 και S500s.

IV. Κοκκομετρία αδρανούς και προσθήκη αναστολέα αλκαλοπυριτικής αντίδρασης. Τρεις διαφορετικές κοκκομετρίες κίσηρης χρησιμοποιήθηκαν: Λεπτή κίσηρη (0-5mm), μεσαία κίσηρη (0-8mm) και χονδρή κίσηρη (8-16mm) σε πέντε συνδυασμούς. Επίσης χρησιμοποιήθηκε φθοριούχο λίθιο (LiF) για την αποφυγή τυχόν αλκαλοπυριτικής αντίδρασης.

V. Ταυτόχρονη χρήση αναστολέα διάβρωσης και πρόσθετου αναστολής αλκαλοπυριτικής αντίδρασης. Χρησιμοποιήθηκε φθοριούχο λίθιο (LiF) είτε μόνο του, είτε σε συνδυασμό με νιτρώδες νάτριο ($NaNO_2$) σε διάφορες αναλογίες. Ελέγχθηκε επίσης ο συνδυασμός φθοριούχο λίθιο και οργανικές επικαλύψεις.

VI. Αναστολείς διάβρωσης. Επιλέχθηκε η χρήση τριών αναστολέων διάβρωσης: αναστολέα με βάση διάλυμα 30% νιτρώδες ασβέστιο, αναστολέα με βάση την αμινοαλκοόλη και αναστολέα με βάση τις αλκανολαμίνες, είτε ως πρόσθετο κατά τη διάρκεια της κατασκευής του κισσηροκονιάματος, είτε ψεκαζόμενοι στην επιφάνεια του κισσηροκονιάματος μετά την κατασκευή. Ταυτόχρονα χρησιμοποιήθηκε μια ανόργανη επικάλυψη με βάση την υδρύαλο για να συγκρατηθούν οι αναστολείς διάβρωσης.

Τα πρισματικά δοκίμια οπλισμένου κονιάματος που κατασκευάστηκαν εκτέθηκαν σε τρία διαφορετικά διαβρωτικά περιβάλλοντα:

1. Θάλαμο αλατονέφωσης για διάστημα 15 ημερών.

2. Μερική εμβάπτιση μέχρις ύψους 2cm σε υδατικό διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl για συνολικό διάστημα έως δώδεκα μηνών προσομοιάζοντας το θαλάσσιο περιβάλλον.

3. Ατμοσφαιρική έκθεση στην ταράτσα του κτιρίου Χημικών Μηχανικών στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου για διάστημα έως 36 μηνών.

Η επίδραση στον χάλυβα και το κονίαμα όλων των παραγόντων που μελετήθηκαν σε αυτήν την εργασία εκτιμήθηκε με τις ακόλουθες μεθόδους:

- Χρονική εξέλιξη του δυναμικού διάβρωσης,
- σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών και
- μέτρηση του βάθους ενανθράκωσης στο κονίαμα.

Σε κάποιες κατηγορίες δοκιμίων χρησιμοποιήθηκαν και οι ακόλουθες μέθοδοι εκτίμησης:

- Μέτρηση ρυθμού διείσδυσης χλωριόντων στο κονίαμα,

- μέτρηση του πορώδους και της μέσης διαμέτρου των πόρων του κισσηροδέματος,
- μέτρηση της ταχύτητας διάβρωσης μέσω της τεχνικής γραμμικής πόλωσης
- μετρήσεις ηλεκτροχημικής φασματοσκοπίας σύνθετης αντίστασης
- οπτικός έλεγχος σε λεπτές τομές κονιαμάτων
- μακροσκοπική εξέταση με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο οπτικών ινών των χαλύβων, των προϊόντων διάβρωσης των χαλύβων και των κισσηροκονιαμάτων.

Από τις πειραματικές μετρήσεις αυτής της εργασίας προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

I. Από τη σύγκριση της διάβρωσης που υπέστησαν οι οπλισμοί στα δοκίμια κισσηροκονιάματος με τα τέσσερα διαφορετικά είδη τσιμέντου, προέκυψε ότι τα δοκίμια οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32,5 παρουσιάζουν μικρότερη διάβρωση από τα δοκίμια με CEM II/B-M 32.5.

II. Στην περίπτωση των επικαλυμμένων με τις τέσσερις διαφορετικές επικαλύψεις δοκιμίων που συγκρίθηκαν με δοκίμια χωρίς επικάλυψη, αλλά και μεταξύ τους, γενικά παρατηρήθηκε ότι τη μεγαλύτερη διάβρωση παρουσίασαν τα δοκίμια χωρίς επικάλυψη. Όλες οι επικαλύψεις παρουσίασαν προστατευτική επίδραση έναντι της διάβρωσης των χαλύβδινων οπλισμών, ενώ οι επικαλύψεις ακρυλικής διασποράς επέδειξαν την καλύτερη συμπεριφορά.

III. Εξετάζοντας τη διάβρωση διαφόρων ειδών χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος (ΧΟΣ) (S220, S400 και S500s) σε δοκίμια κισσηροκονιάματος, προέκυψε ότι η ποιότητα ΧΟΣ S220 παρουσίασε τη μικρότερη απώλεια μάζας, ακολουθούμενη από την ποιότητα S400 και τη μεγαλύτερη διάβρωση παρουσίασε η ποιότητα S500s.

IV. Συγκρίνοντας δοκίμια που παρασκευάστηκαν με λεπτή κίσηρη, δηλαδή τα δοκίμια κισσηροκονιάματος, με τα δοκίμια ελαφροβαρούς σκυροδέματος με μεσαία και χονδρή κίσηρη, προέκυψε ότι την καλύτερη συμπεριφορά ως προς τη διάβρωση εμφάνισε το κισσηροκονίαμα. Η χρήση της ακρυλικής επικάλυψης μείωσε τη διάβρωση των οπλισμών και του κισσηροκονιάματος και όλων των κισσηροδεμάτων.

Vα. Εξετάζοντας τη διάβρωση των οπλισμών δοκιμίων κισσηροκονιάματος με πρόσθετο LiF και αναστολέα διάβρωσης NaNO_2 , προέκυψε ότι η προσθήκη LiF μείωσε τη διάβρωση των οπλισμών, ενώ η προσθήκη LiF και NaNO_2 μείωσε περαιτέρω τη διάβρωση των οπλισμών. Την καλύτερη συμπεριφορά έναντι της διάβρωσης παρουσίασε η προσθήκη 1%LiF και 5% NaNO_2 .

Vβ. Στα δοκίμια οπλισμένου κισσηροκονιάματος η χρήση οργανικών επικαλύψεων είχε προστατευτική επίδραση σε όλες τις περιπτώσεις.

VI. Τέλος από τη σύγκριση της διάβρωσης των οπλισμών στα δοκίμια κισσηροκονιάματος που περιείχαν τους τρεις αναστολείς διάβρωσης (νιτρώδες ασβέστιο, N-N'-διμεθυλοαμινοαιθανόλη και διαχεόμενο αναστολέα διάβρωσης με βάση τις αλκανολαμίνες) και επικάλυψη υδρυάλου προέκυψε ότι:

- Μόνη της η επικάλυψη υδρυάλου είχε μικρή προστατευτική επίδραση.
- Η ταυτόχρονη χρήση υδρυάλου και αναστολέα διάβρωσης έδωσε πολύ καλύτερα αποτελέσματα.

- Η χρήση των αναστολέων διάβρωσης ως προσθέτων προσέφερε μεγαλύτερη προστασία.

- Από τους τρεις αναστολείς διάβρωσης τα καλύτερα αποτελέσματα προέκυψαν από τη χρήση της N-N'-διμεθυλοαμινοαιθανόλης, είτε ως προσθέτου είτε ως εμποτισμού.

- Σε όλες τις περιπτώσεις, η χρήση αναστολέων διάβρωσης μείωσε το βάθος ενανθράκωσης.

ABSTRACT

Steel in good quality concrete is in the passive state because of the high pH value of the liquid in pores, which is higher than 12.5. The passive state of steel is due to the creation of a surface layer of magnetite (Fe_3O_4 or/and Fe_2O_3) depending on potential values and oxygen content. The penetration of corrosive agents from the environment into the concrete through pores can stimulate the transition of steel from the passive state to the active, resulting in the initiation of steel corrosion. Initiation of corrosion can be provoked after a certain incubation time, which is dependent on environmental factors, such as partial pressure of carbon dioxide as well as concrete properties, such as porosity.

Three conditions are necessary in order for corrosion of steel to happen in concrete: steel must be depassivated so that anodic dissolution of steel is possible, oxygen must be present and concrete must have the suitable conductivity via the liquid in the pores. Depassivation of steel in concrete happens either owing to the carbon dioxide diffusion through the concrete pores, or owing to the chlorides penetration. Carbon dioxide reacts with calcium hydroxide and decreases the pH to values lower than 9.5 and depassivation initiates. Chlorides cause depassivation when their concentration gets higher than a value, which depends on concrete alkalinity. As higher is concrete alkalinity, so the necessary chloride amount for the corrosion initiation is higher. Oxygen is diffused through concrete pores following the same with carbon dioxide laws. Concrete conductivity is mainly influenced by water presence, because water dissolves salts producing high conductivity values and transports various ions from the environment to the interior of concrete. In the case of low temperatures, water is converted to ice, resulting in crack formation inside the concrete, which in their turn facilitate the penetration of corrosive agents towards reinforcing steel.

The surface protection of reinforced concrete is common policy when concrete is exposed to a corrosive environment. It is an ordinary protection method, due to ease of application, low cost, aesthetic appearance and the possibility of application at any time. The aim of a coating is to inhibit the entrance of carbon dioxide, oxygen, chlorides and water into concrete, but to allow the water vapor transport. Furthermore, a coating must front the increased alkalinity of concrete and the solar radiation, as well as it must have elasticity to adjust to concrete deformation. The simultaneous achievement of all requirements is extremely difficult and in any application fulfilled demands are weighted against the type of construction and the kind of the environment. Finally the incorporation of corrosion inhibitors into the concrete mass or the spraying of inhibitors on its surface improves the protection offered by the coatings.

The aim of the present thesis was the protection of reinforced concrete by coatings, and specifically the protection of lightweight concrete. For this purpose, pumice, a Greek lightweight aggregate was chosen for the construction of reinforced prismatic mortar and concrete specimens. Six parameters that influence reinforcing steel corrosion inside concrete were chosen to be evaluated. They concern either steel or concrete composition or the steel protection from outside factors that influence negatively the integrity of steel or concrete. In Greece the major cause of corrosion of steel in concrete is firstly carbon dioxide from the atmosphere and secondly chlorides that are present due to the proximity of structures to sea.

These parameters were:

I. Type of cement: CEM I 32.5, CEM I 42.5, CEM II/A-S 42.5 and CEM II/B-M 32.5.

II. Coatings for mortar: acrylic dispersion with main pigment TiO_2 , acrylic dispersion with main pigment iron oxides (Fe_2O_3 and Fe_3O_4), chlorinated rubber with main pigment iron oxides (Fe_2O_3 and Fe_3O_4) and chlorinated rubber varnish.

III. Type of reinforcing steel: S220, S400 and S500s.

IV. Aggregate gradation and addition of alkali-silica reaction inhibitor. Three different aggregate sizes were used: fine (0-5mm), medium (0-8mm) and coarse (8-16mm) in five combinations. Also lithium fluoride was used as alkali-silica reaction inhibitor.

V. Simultaneous use of corrosion inhibitor and alkali-silica reaction inhibitor additives. Lithium fluoride (LiF) alone or in various combinations with sodium nitrite (NaNO_2) was used. Also the combination of lithium fluoride with an organic coating was examined.

VI. Corrosion inhibitors. Three corrosion inhibitors were chosen: a 30% calcium nitrite-based solution ($\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$), an inhibitor with N-N'-dimethyl-aminoethanol and a Migrating Corrosion Inhibitor based on alcanolamines, used either as admixture during the construction of mortars or spray-applied on the mortar surface after the construction (impregnation). Simultaneously, an inorganic silicate coating with main pigment TiO_2 was used in order to hold in the inhibitors.

Reinforced prismatic mortar specimens were exposed in three different corrosive environments:

1. Accelerated short-term corrosion in salt-spray chamber for 15 days.
2. Medium-term corrosion in partial immersion up to 2 cm in 3,5% wt. NaCl solution for up to twelve months, simulating marine environment.
3. Long-term corrosion in atmospheric exposure to the terrace of the building of the Chemical Engineering School in Zografou Athens for 24 to 36 months.

The influence on steel and mortars of the above mentioned parameters was evaluated by the following methods:

- Time evolution of corrosion potential of steels according to ASTM C876-91.
- Determination of mass loss of steels.
- Measurement of carbonation depth in pumice mortars according to BS EN 14630-2006.

In some categories of specimens additional evaluation methods were used:

- Measurement of chloride diffusion rate through mortars.
- Measurement of porosity and mean diameter of mortar pores.
- Measurement of corrosion rate by the linear polarization technique.
- Measurement of electrochemical impedance spectroscopy.
- Visual inspection in thin sections of mortars.
- Macroscopic examination by Fiber Optic Microscope of steel, of corrosion products and of pumice mortars.

The following observations resulted from the experimental measurements of this thesis:

I. Comparing the extent of corrosion of the reinforcing steel bars in the pumice specimens with the four types of cement, it came out that specimens with the cement type CEM I 32.5 were less corroded than the specimens with CEM II/B-M 32.5.

II. Specimens were coated with the four different organic coatings and compared with the reference uncoated specimens and between them. Uncoated specimens were corroded to a greater extent, whereas all coatings appeared to be protective against corrosion of the reinforcing steel. The acrylic dispersion coating presented the best protection level.

III. Specimens with the three types of reinforcing steel (S220, S400 and S500s) were compared as to the steel resistance to corrosion. It was proven that steel type S220 presented the lower mass loss, followed by S400 and steel type S500s was the most susceptible to corrosion.

IV. From the comparison between specimens made of fine pumice, e.g. in pumice lightweight mortar, and lightweight concrete specimens with medium and coarse pumice, it came out that the best corrosion resistance was present in specimens with the fine aggregate. The use of the acrylic dispersion coating reduced corrosion in all categories of specimens.

Va. When specimens with ASR inhibitor LiF and corrosion inhibitor NaNO_2 were tested against reference specimens, it was concluded that LiF alone reduced corrosion of steel, both inhibitors further reduced corrosion and the best performance was presented by the 1%LiF and 5% NaNO_2 addition.

Vb. The use of organic coatings on pumice mortar specimens improved the corrosion resistance of steel.

VI. Finally, an inorganic silicate coating was used along with three different corrosion inhibitors (calcium nitrite, N-N'-dimethyl-aminoethanol and Migrating Corrosion Inhibitor) that were either added to mortar or impregnated to the mortar surface.

- The silicate coating alone had a small beneficial effect against corrosion.
- The simultaneous use of the silicate coating with the corrosion inhibitors reduced corrosion of steel.
- The addition of inhibitors inside the mass of the mortar always produced less corrosion than the impregnations.
- The inhibitor N-N'-dimethyl-aminoethanol, either as additive or as impregnation, gave the best results as it concerns corrosion of steel in concrete.
- The silicate coating reduced carbonation depth, which was further decreased by the addition of all inhibitors.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT	10
1. ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	19
1.1. Σκυρόδεμα	19
1.1.1. Εισαγωγή.....	19
1.1.2. Ιστορική αναδρομή.....	20
1.1.3. Κανονισμοί - Πρότυπα για το σκυρόδεμα.....	22
1.1.3.1. Τύποι και κατηγορίες σκυροδέματος	23
1.1.3.1.1. Κατηγορίες για το νωπό σκυρόδεμα.....	23
1.1.3.1.2. Κατηγορίες για το σκληρυμένο σκυρόδεμα	23
1.1.3.1.3. Ανθεκτικότητα και κατηγορίες έκθεσης του σκυροδέματος.....	25
1.1.4. Κατηγορίες ειδικών σκυροδεμάτων	26
1.1.4.1. Ελαφροσκυρόδεμα	27
1.2. Το Τσιμέντο.....	27
1.2.1. Τύποι και κατηγορίες Ευρωπαϊκών τσιμέντων	28
1.2.2. Τσιμέντα ειδικού τύπου	32
1.2.2.1. Τσιμέντα αντοχής στα θειικά	32
1.2.2.2. Αλουμινικά τσιμέντα.....	33
1.2.2.3. Λοιπά τσιμέντα.....	33
1.2.2.3.1. Λευκό τσιμέντο	34
1.2.2.3.2. Χαμηλής θερμότητας ενυδάτωσης	34
1.2.2.3.3. Υδροφόβα τσιμέντα.....	34
1.2.2.3.4. Τσιμέντα διόγκωσης.....	34
1.2.3. Η παραγωγή του τσιμέντου	35
1.2.4. Υδραυλικές ιδιότητες τσιμέντου	37
1.2.5. Στατιστικά στοιχεία.....	40
1.3. Τα αδρανή	41
1.3.1. Εισαγωγή.....	41
1.3.2. Κατηγορίες αδρανών	42
1.3.3. Ιδιότητες των αδρανών.....	44
1.3.4. Η κίσηση.....	46
1.4. Το νερό	47
1.4.1. Ποιότητα Νερού.....	47
1.4.2. Λόγος νερού προς τσιμέντο	48
1.5. Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος.....	49
1.5.1. Εισαγωγή.....	49
1.5.2. Ορισμοί	50
1.5.3. Ιστορική αναδρομή της παρασκευής χάλυβα	50
1.5.4. Η παραγωγή του χάλυβα.....	50
1.5.5. Διαδικασία Παραγωγής Χάλυβα Οπλισμού στην Ελλάδα	51
1.5.6. Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος – Προηγούμενοι Κανονισμοί.....	53
1.5.7. Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος.....	54
1.5.8. Σήμανση Χαλύβων Οπλισμού	55
1.5.9. Διάκριση χαλύβων	55

1.5.10. Χημικά Χαρακτηριστικά	56
1.5.11. Επίδραση των κραματικών στοιχείων στα χαρακτηριστικά των Χ.Ο.Σ.	57
1.6. Πρόσμικτα Σκυροδέματος	59
1.6.1. Ορισμοί	59
1.6.2. Αποτελέσματα της χρήσης των πρόσμικτων.	60
1.6.3. Δοσολογία Προσμίκτων βάσει EN 206-1	60
1.7. Πρόσθετα Σκυροδέματος	61
1.8. Βιώσιμη ανάπτυξη και περιβάλλον	62
1.8.1. Εναλλακτικά καύσιμα και εναλλακτικές πρώτες ύλες	62
1.8.2. Μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂)	63
1.8.3. Παραγωγή σκυροδέματος με βελτιωμένες ιδιότητες	64
2. ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΧΑΛΥΒΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	65
2.1. Εισαγωγή	65
2.2. Είδη διάβρωσης.....	70
2.3. Μηχανισμός διάβρωσης του χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος.....	71
2.4. Ενανθράκωση σκυροδέματος	73
2.5. Η δράση των χλωριόντων	76
2.6. Ο σχηματισμός μακροστοιχείων	79
2.7. Αλκαλοπυριτική αντίδραση.....	80
2.8. Επιπτώσεις της διάβρωσης	82
3. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ	83
3.1. Εισαγωγή	83
3.2. Η καθοδική προστασία.....	84
3.3. Οι αναστολείς διάβρωσης.....	86
3.4. Ανοξειδωτοί χάλυβες	90
4. ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ	95
4.1. Εισαγωγή	95
4.2. Ορισμοί.....	96
4.3. Ιδιότητες χρωμάτων	97
4.3.1. Παράγοντες επιλογής σύνθεσης χρώματος	97
4.3.2. Χαρακτηριστικά χρωμάτων	97
4.3.3. Σχηματισμός υμένα (film formation).....	101
4.3.4. Κριτήρια επιλογής ενός συστήματος επικάλυψης.....	102
4.4. Οργανικά χρώματα.....	102
4.4.1. Εισαγωγή.....	102
4.4.2. Συνδετικό Μέσο.....	102
4.4.2.1. Τρόποι σχηματισμού υμένα.....	103
4.4.2.2. Ρητίνες.....	104
4.4.3. Διαλύτες.....	114
4.4.3.1. Οι πτητικές οργανικές ενώσεις	117
4.4.4. Πιγμέντα	119
4.4.4.1. Εισαγωγή.....	119
4.4.4.2. Μορφολογία πιγμένων.....	120
4.4.4.3. Φυσικοχημικές ιδιότητες των πιγμένων	121
4.4.4.4. Αντιδιαβρωτικά πιγμέντα	122
4.4.5. Πληρωτικά υλικά	128
4.4.6. Πρόσθετα	129

4.5. Ποιοτικά χαρακτηριστικά – Ιδιότητες	133
4.5.1. Ιδιότητες υγρού χρώματος	133
4.5.2. Ιδιότητες χρώματος κατά την εφαρμογή (βαφή).....	134
4.5.3. Ιδιότητες ξηρού υμένα χρώματος	135
4.5.4. Πολυστρωματικά συστήματα	136
4.6. Μέθοδοι εφαρμογής χρωμάτων	136
4.7. Χρώματα και βερνίκια φιλικά προς το περιβάλλον	138
4.7.1. Περιορισμός της χρήσης ουσιών επικίνδυνων για το περιβάλλον και την υγεία	139
4.7.2. Οργανικές Επικαλύψεις, Υγεία και Περιβάλλον.....	140
4.7.3. Διεθνείς τάσεις στην παραγωγή και εφαρμογή οργανικών επικαλύψεων	140
4.8. Νέες κατηγορίες χρωμάτων	141
4.9. Επικαλύψεις σκυροδέματος.....	144
4.9.1. Ανόργανα χρώματα	147
4.9.2. Οργανικά χρώματα	147
4.9.3. Σύγκριση μεταξύ ανόργανων και οργανικών χρωμάτων	150
5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ – ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	151
6. ΥΛΙΚΑ.....	153
6.1. Οπλισμοί.....	153
6.2. Τσιμέντο.....	153
6.3. Αδρανές	153
6.4. Νερό.....	155
6.5. Πρόσθετα.....	155
6.6. Αναστολείς διάβρωσης	155
6.6.1. Αναστολέας DI	156
6.6.2. Αναστολέας DO.....	160
6.6.3. Αναστολέας FI	160
6.6.4. Αναστολέας FO	161
6.6.5. Αναστολέας MI	162
6.6.6. Αναστολέας MO.....	163
6.7. Πιγμέντα οξειδίων σιδήρου	164
6.8. Επικαλύψεις	167
6.8.1. Ακρυλική διασπορά με κύριο πιγμέντο TiO_2	167
6.8.2. Ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου (Fe_2O_3 και Fe_3O_4)	168
6.8.3. Επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ με πιγμέντο οξείδια σιδήρου	168
6.8.4. Διαφανές βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ.....	169
6.8.5. Ανόργανο χρώμα με βάση την υδρύαλο απόχρωσης λευκής.....	169
6.9. Δοκίμια	171
6.10. Κατασκευή και έκθεση δοκιμών	171
7. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	173
7.1. Είδη δοκιμών διάβρωσης.....	173
7.1.1. Ηλεκτροχημικές μέθοδοι.....	174
7.1.2. Μέθοδοι βύθισης	184
7.1.3. Θάλαμος αλατονέφωσης.....	184
7.2. Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών	185
7.3. Μέτρηση του βάθους ενανθράκωσης	185
7.4. Μέτρηση ρυθμού διείδυσης χλωριόντων στο κονίαμα	186
7.5. Ποροσιμετρία υδραργύρου.....	186

7.6. Οπτικός έλεγχος σε λεπτές τομές κονιαμάτων	189
7.7. Μικροσκοπία Οπτικών Ινών (Fiber Optic Microscopy – F.O.M.)	189
8. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	191
8.1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ I: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΣΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	191
8.1.1. Διάβρωση μέσης διάρκειας με μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl ..	192
8.1.1.1. Χρονική εξέλιξη του δυναμικού διάβρωσης των οπλισμών	192
8.1.1.2. Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών	194
8.1.2. Πρώτο μερικό συμπέρασμα	199
8.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ II: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	201
8.2.1. Επιταχυνόμενη διάβρωση σε θάλαμο αλατονέφωσης.....	202
8.2.1.1. Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών.....	202
8.2.1.2. Οπτικός έλεγχος σε λεπτές τομές κονιαμάτων.....	207
8.2.2. Διάβρωση μέσης διάρκειας με μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl ..	208
8.2.2.1. Χρονική εξέλιξη του δυναμικού διάβρωσης των οπλισμών	208
8.2.2.2. Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών	217
8.2.2.3. Οπτικός έλεγχος σε λεπτές τομές κονιαμάτων.....	236
8.2.2.4. Βάθος ενανθράκωσης	237
8.2.3. Διάβρωση μακράς διάρκειας σε ατμόσφαιρα (ατμοσφαιρική διάβρωση)	239
8.2.3.1. Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών	239
8.2.3.2. Βάθος ενανθράκωσης	244
8.2.4. Διάχυση χλωριόντων	245
8.2.5. Δεύτερο μερικό συμπέρασμα	247
8.3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ III: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΙΔΟΥΣ ΧΑΛΥΒΑ ΣΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	254
8.3.1. Χρονική εξέλιξη του δυναμικού διάβρωσης των οπλισμών	254
8.3.2. Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών.....	256
8.3.3. Βάθος ενανθράκωσης.....	260
8.3.4. Τρίτο μερικό συμπέρασμα	261
8.4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ IV: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΚΟΚΚΩΝ ΑΔΡΑΝΟΥΣ	263
8.4.1. Διάβρωση μέσης διάρκειας με μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl ..	264
8.4.1.1. Χρονική εξέλιξη του δυναμικού διάβρωσης των οπλισμών	264
8.4.1.2. Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών	271
8.4.1.3. Βάθος ενανθράκωσης	285
8.4.2. Διάβρωση μακράς διάρκειας στην ατμόσφαιρα	287
8.4.2.1. Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών.....	287
8.4.3. Τέταρτο μερικό συμπέρασμα	290
8.5. ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ V: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ	294
8.5.1. Διάβρωση μέσης διάρκειας με μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl ..	295
8.5.1.1. Χρονική εξέλιξη του δυναμικού διάβρωσης των οπλισμών	295
8.5.1.2. Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών	300
8.5.1.3. Βάθος ενανθράκωσης	310
8.5.1.4. Μέτρηση της μέσης ακτίνας των πόρων και του ολικού ανοικτού πορώδους του κισσηροδέματος	312
8.5.1.5. Ηλεκτροχημική Φασματοσκοπία Σύνθετης Αντίστασης	313
8.5.1.6. Γραμμική πόλωση	314
8.5.2. Διάβρωση μακράς διάρκειας στην ατμόσφαιρα	314
8.5.2.1. Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών	314
8.5.3. Πέμπτο μερικό συμπέρασμα.....	317

8.6. ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ VI: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΝΑΣΤΟΛΕΩΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	321
8.6.1. Χρονική εξέλιξη του δυναμικού διάβρωσης των οπλισμών	322
8.6.2. Απώλεια μάζας οπλισμών	326
8.6.3. Μακροσκοπική εξέταση με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο οπτικών ινών	336
8.6.4. Βάθος ενανθράκωσης.....	340
8.6.4. Ηλεκτροχημική Φασματοσκοπία Σύνθετης Αντίστασης	341
8.6.5. Έκτο μερικό συμπέρασμα.....	341
9. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	347
10. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	361
ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΣΥΝΕΧΙΣΗΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	362
Εργασίες που προέκυψαν από τη Διδακτορική Διατριβή	363
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	365
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	377

1. ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

1.1. Σκυρόδεμα

1.1.1. Εισαγωγή

Το σκυρόδεμα είναι το πιο διαδεδομένο δομικό υλικό παγκοσμίως. Η ευρύτατη εφαρμογή του σε κάθε μορφή δόμησης έχει ως αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται η κατανάλωση σε σκυρόδεμα μίας χώρας, σε κυβικά μέτρα ανά κάτοικο, ως δείκτης ανάπτυξης.

Το σκυρόδεμα είναι ένα τεχνητό υλικό, ένας τεχνητός λίθος, με ιδιότητες που συνεχώς βελτιώνονται και διευρύνονται. Στη βασική του μορφή, με την οποία και χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα, αποτελείται από ένα ομογενοποιημένο μείγμα ελεγχόμενων αναλογιών από τσιμέντο, νερό και αδρανή υλικά, φυσικής ή τεχνητής προέλευσης. Στην αρχή είναι ρευστό και κατόπιν, με εξώθερμες χημικές διεργασίες, στερεοποιείται και αποκτά φέρουσα ικανότητα. Οι ιδιότητες του σκυροδέματος στον χρόνο, όπως η αρχική ανάμιξη, η διακίνηση, η διάστρωση, η συντήρηση και η μακροχρόνια ανθεκτικότητα ελέγχονται μέσω προσθήκης στο μείγμα χημικών προσθέτων (Σύνδεσμος Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, 2016a).

Η ανάμιξη του τσιμέντου (cement) με άμμο (sand) και νερό (water) δημιουργεί την **τσιμεντοκονία** (cement mortar). Η ανάμιξη του τσιμέντου με άμμο, χαλίκια και νερό δημιουργεί το **σκυρόδεμα ή μπετόν** (concrete). Ο συνδυασμός του χάλυβα με το σκυρόδεμα ονομάζεται **οπλισμένο σκυρόδεμα ή οπλισμένο μπετόν** (reinforced concrete, béton armé) (Μοροπούλου & Μπατής, 2012).

Το σκυρόδεμα έχει ευρύτατη αποδοχή στη δόμηση παγκοσμίως, σε όλο το εύρος των κλιματολογικών και οικονομικών συνθηκών. Αυτό οφείλεται στις παρακάτω βασικές του ιδιότητες (Σ.Τ.Ε., 2006):

- Έχει αντοχή στη δράση του νερού που δεν παρέχεται από άλλα δομικά υλικά όπως το ξύλο και ο σίδηρος.
- Επειδή στην αρχή είναι ρευστό παρέχει τεράστια ευελιξία στη μεταφορά, τη διακίνηση και τη διάστρωση, καθώς έχει τη δυνατότητα να μορφώνεται σε οποιοδήποτε επιθυμητό σχήμα. Έτσι έχει ένα ευρύτατο φάσμα κατασκευαστικών εφαρμογών όπως κάθε είδους κτιριακά και έργα υποδομής, καθώς και έργα προστασίας του κοινωνικού συνόλου.
- Είναι ένα ιδιαίτερα φθινό και ευέλικτο δομικό υλικό που είναι εύκολο να παραχθεί και να διαμορφωθεί επί τόπου, κάτω από οποιοδήποτε συνθήκες και σε οποιοδήποτε περιβάλλον δόμησης, ακόμη και μέσα στη θάλασσα, είτε σε συνθήκες ελεγχόμενης βιομηχανικής παραγωγής είτε όχι.
- Έχει μεγάλη θερμική αδράνεια, γεγονός που το καθιστά αποδοτικότερο από άλλα δομικά υλικά ως προς το ενεργειακό κόστος λειτουργίας των κατασκευών.
- Οι ιδιότητές του το καθιστούν το βέλτιστο υλικό σε συνθήκες πυρκαγιάς.
- Παρουσιάζει πολύ υψηλή αντοχή στη θλίψη, αλλά τα όριά του στον εφελκυσμό είναι χαμηλά.

Το σκυρόδεμα γνωρίζει τεράστια τεχνολογική ανάπτυξη, σαν ένα ποιοτικό υλικό υψηλής επιτελεστικότητας. Προκειμένου να ανταποκριθούν οι κατασκευαστές στις όλο και αυξανόμενες απαιτήσεις των οικοδομών, δημιουργούνται συνεχώς νέοι τύποι ειδικών τσιμεντών, ενισχυμένης σύστασης χάλυβες και ειδικά πρόσθετα, με συνεχώς βελτιούμενες ιδιότητες και εφαρμογές για οικονομικότερη και μακροβιότερη διάρκεια ζωής των κατασκευών (Σ.Τ.Ε., 2006; Μπατής, 1999).

1.1.2. Ιστορική αναδρομή

Η ύπαρξη ενός τεχνητού στερεού υλικού που προκύπτει από την ανάμειξη φυσικών υλικών με συνδετικές κονίες και νερό για να αποτελέσει ένα σώμα και έχει μετεξελιχθεί στο σημερινό σκυρόδεμα, έχει ιστορία 9000 ετών. Το αρχαιότερο γνωστό σήμερα σκυρόδεμα χρονολογούμενο από το 7000 π.Χ. βρίσκεται στη νότια Γαλιλαία, στο Ισραήλ. Αποτελείται από μίγμα ασβέστη με πέτρες. Ο ασβέστης όταν αναμιχθεί με νερό και άμμο δημιουργεί ένα κονίαμα το οποίο ερχόμενο σε επαφή με το διοξείδιο του άνθρακα του ατμοσφαιρικού αέρα σκληραίνει και δημιουργεί ένα στερεό σώμα. Αν το κονίαμα αυτό ανακατευτεί με πέτρες, συνδέει τις πέτρες και δημιουργεί ένα είδος σκυροδέματος.

Εύρημα σκυροδέματος υπάρχει στις όχθες του Δούναβη στο Lepenski Vir στη Γιουγκοσλαβία και χρονολογείται από το 5600 π.Χ.. Αποτελεί το δάπεδο μιας προϊστορικής καλύβας. Στη μεγάλη πυραμίδα στη Γκίζα της Αιγύπτου (2500 π.Χ.) οι λίθοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με κάποιο κονίαμα από ασβέστη ή γύψο. Στην ίδια χώρα, στις αρχαίες Θήβες, υπάρχει τοιχογραφία με αναπαράσταση των εργασιών παρασκευής ασβεστοκονιάματος και χτισίματος με το υλικό αυτό. Την ίδια εποχή αναφέρεται ότι στην Κίνα χρησιμοποιήθηκαν τσιμεντοειδή υλικά για την κατασκευή του Σινικού Τείχους.

Η τέχνη αυτή του χτισίματος φαίνεται ότι μεταφέρθηκε και στην αρχαία Ελλάδα όπου χρησιμοποιήθηκαν διάφορα μίγματα ασβέστη για χτίσιμο και για επικάλυψη πλίνθων φτιαγμένων από πηλό και ξεραμένων στον ήλιο.

Ο Ρωμαίος αρχιτέκτονας-συγγραφέας Marcus Vitruvius Pollio αποτελεί μία σημαντική πηγή πληροφοριών για την αρχαία Ελληνική αρχιτεκτονική και οικοδομική. Χρησιμοποιεί την ελληνική λέξη "έμπλεκτον" για να περιγράψει ένα υλικό, πρόδρομο του σημερινού σκυροδέματος, που αποτελείται από ένα συνδετικό κονίαμα στο οποίο αναμιγνύονται μικρά τεμάχια λίθων. Σε χειρόγραφό του γραμμένα περί το 13 π.Χ. («Δέκα βιβλία Αρχιτεκτονικής») έδινε οδηγίες στους αρχιτέκτονες για την παρασκευή κονιάματος που πήζει τόσο στον αέρα όσο και στο νερό. Τα αερικά κονιάματα με ασβέστη και νερό για να πήξουν και να σκληρυνθούν χρειάζεται να παραμείνουν στον αέρα ώστε να γίνει η χημική αντίδραση της άσβεστου με το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας. Οι αρχαίοι Έλληνες ήταν ίσως οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν υδραυλικές κονίες, δηλ. κονίες που όταν ανακατευτούν με το νερό μπορούν να πήξουν και να σκληρυνθούν τόσο στον αέρα όσο και μέσα στο νερό. Έτσι τα κονιάματα και τα σκυροδέματα που παρασκευάζονται με υδραυλικές κονίες έχουν πολύ μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στις χρόνιες επιδράσεις του περιβάλλοντος.

Οι αρχαίοι Έλληνες χρησιμοποίησαν υδραυλικά κονιάματα, όπως μίγμα ασβέστη και ηφαιστειακής γης από τη Θήρα ή τη Νίσυρο στην Ελλάδα ή τη Δικαιαρχεία, αργότερα Pozzuoli, στην ελληνική αποικία της Ιταλίας κοντά στη Νάπολη. Το μίγμα αυτό έχει τη δυνατότητα να πήζει και να σκληραίνει μέσα στο νερό (υδραυλική κονία) χωρίς να διαλύεται όπως τα ασβεστοκονιάματα. Από την άποψη αυτή το μίγμα ασβέστη και ηφαιστειακής γης είναι πολύ συγγενές με το τσιμέντο και θα μπορούσε να θεωρηθεί ως πρόδρομο υλικό του σημερινού τσιμέντου. Τέτοιο μίγμα φαίνεται ότι χρησιμοποιήθηκε για να γίνει υδατοστεγανή δεξαμενή χωρητικότητας 600 m³ στο ναό της Αθηνάς στην αρχαία Κάμιρο στη Ρόδο, καθώς και στην κατασκευή του λιμανιού του Πειραιά (Ζέα). Επίσης μίγματα ασβέστη, τριμμένης ηφαιστειακής γης και μαρμαρόσκονης χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα στην κατασκευή σοβάδων, ειδικών επικαλύψεων για να αποτελέσουν την επιφάνεια για ζωγραφική (στούκο), αλλά και για "συγκόλληση σπασμένων τεμαχίων μαρμάρων" (αρχαϊκός ναός Αρτέμιδος). Τα υλικά αυτά περιγράφονται από τους αρχαίους

συγγραφείς Θεόφραστο, Στράβωνα και Vitruvius, αλλά και σύγχρονους ερευνητές (Τάσιος, Μπαντέκα, Haegerman Botticher, Bullard, Ευσταθιάδης, Wilski κ.α.). Στη Ρόδο βρέθηκε βίλα ελληνιστικής περιόδου με τριμμένα κεραμίδια και πλίνθοι με ασβέστη σε θαλάσσια έργα, ενώ διάφορα άλλα υλικά βρέθηκαν στην Αρκαδία (τέφρες), στην Αγορά των Αθηνών (σιδερόσκονη) και στο Λαύριο (πρωτοξειδίο του μολύβδου).

Οι Ρωμαίοι φαίνεται ότι πήραν τις γνώσεις αυτές από τους Έλληνες, πιθανότατα των Ελληνικών αποικιών της Ιταλίας, και ήδη από το 300 π.Χ. τις ανέπτυξαν σε μεγάλο βαθμό τόσο ως προς τα ασβεστοκονιάματα (αερικά κονιάματα) όσο και ως προς τη χρήση μίγματος ασβέστη και ηφαιστειακής γης (υδραυλικά κονιάματα). Την ηφαιστειακή γη την προμηθεύονταν από το χωριό Pozzuoli κοντά στο Βεζούβιο. Το χωριό αυτό έδωσε το όνομα "Ποζολάνη" στα ηφαιστειακά υλικά, αλλά και σε τεχνητά υλικά με τις ίδιες περίπου ιδιότητες, που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη έκταση σήμερα (ποζολανικά τσιμέντα-ποζολανική χημική αντίδραση). Ένα από τα πρώτα σημαντικά έργα των Ρωμαίων είναι το αρχαίο Θέατρο Πομπηίας χωρητικότητας 20000 θεατών (75 π.Χ.). Ακολουθούν πλήθος θαυμαστών από τεχνικής και αρχιτεκτονικής άποψης έργων, όπως το Κολοσσαίο (82 μ.Χ.), το Πάνθεον (123 μ.Χ.) και τα διάφορα υδραγωγεία, όπως το υδραγωγείο στην πόλη Nimes στη Γαλλία (150 μ.Χ.).

Οι Ρωμαίοι επίσης προσέθεταν μερικές φορές στο σκυρόδεμα διάφορα υλικά για να βελτιώσουν τις ιδιότητές του, που θεωρούνται ως πρόδρομα των σύγχρονων χρησιμοποιούμενων χημικών προσθέτων. Για παράδειγμα, χρησιμοποίησαν αίμα του οποίου η δράση είναι παρόμοια με εκείνη των αερακτικών προσθέτων (υλικών που εισάγουν αέρα στο σκυρόδεμα με σκοπό να βελτιώσουν την ανθεκτικότητά του στη δράση του παγετού και να αυξήσουν την εργασιμότητα). Επίσης προσέθεσαν κατά την ανάμιξη τρίχες αλόγου, "πρόδρομο" υλικό των χρησιμοποιούμενων σήμερα πλαστικών και χαλύβδινων ινών (ινοπλισμένο σκυρόδεμα). Παρόμοιο υλικό χρησιμοποιήθηκε επίσης για την κατασκευή των κογχών και των τόξων στα κατώτερα επίπεδα της Αγίας Σοφίας στην Κωνσταντινούπολη περί το 540 μ.Χ.

Κατά το μεσαίωνα δεν παρουσιάζεται καμία εξέλιξη. Η ανακάλυψη των χειρογράφων του Vitruvius το 1414 μ.Χ. όμως, αναθέρμανε το ενδιαφέρον για το σκυρόδεμα και λίγα χρόνια μετά, το 1500 μ.Χ. χρησιμοποιείται ποζολανικό κονίαμα στα βάθρα της Παναγίας των Παρισίων που αποτελεί την πρώτη διαπιστευμένη χρήση σκυροδέματος στη νεότερη εποχή.

Το πρώτο ουσιαστικά βήμα για τη δημιουργία του τσιμέντου υπό τη μορφή που χρησιμοποιείται σήμερα θα μπορούσε να αποδοθεί στον Άγγλο μηχανικό J.Smeaton στα μέσα του 1700 μ.Χ., στον οποίο ανατέθηκε η κατασκευή ενός φάρου κοντά στο Plymouth. Ο φάρος είχε προηγουμένως κατασκευασθεί από ξύλο και είχε δύο φορές καταστραφεί, αρχικά από πυρκαγιά και τελικά από θύελλα, και θα έπρεπε πλέον να κατασκευαστεί από πέτρα αλλά η γειτνίαση με τη θάλασσα και η βραδύτητα πήξεως και σκλήρυνσης των ασβεστοκονιαμάτων δεν επέτρεπαν το ασφαλές χτίσιμο. Ο Smeaton άρχισε να ερευνά τα διάφορα υλικά και διαπίστωσε ότι τα ασβεστοκονιάματα με ασβέστη ο οποίος έχει παρασκευαστεί από το ψήσιμο ασβεστόλιθου που περιείχε άργιλο (δηλ. πυρίτιο και αργίλιο) μπορούσαν να πήξουν τόσο στον αέρα όσο και μέσα στο νερό. Αυτή η παρατήρηση θεωρείται ότι αποτελεί το πρώτο σημαντικό βήμα για την παραγωγή του τσιμέντου με τη μορφή που παράγεται σήμερα. Ανάλογες εξελίξεις την ίδια εποχή αναφέρονται στη Γαλλία αποδιδόμενες στους Vicat και Lesage. Ακολουθούν διάφορες άλλες εφευρέσεις με αντίστοιχα διπλώματα ευρεσιτεχνίας όπως του εφημέριου J.Parker με το "Ρωμαϊκό τσιμέντο". Η συστηματικότερη όμως παρασκευή τσιμέντου αποδίδεται στον Άγγλο

μηχανικό J.Aspsdin ο οποίος έδωσε στο υλικό το όνομα που και σήμερα χρησιμοποιείται, τσιμέντο Portland, για το οποίο πήρε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας. Το όνομα αυτό δόθηκε γιατί το χρώμα του σκληρυμένου τσιμέντου ήταν πολύ κοντά στο χρώμα των πετρωμάτων στο Portland. Σήμερα σώζεται (σε εγκαταστάσεις Βρετανικής Τσιμεντοβιομηχανίας) ένας από τους πέτρινους κλιβάνους που χρησιμοποίησε ο γιος του Aspsdin, William για την παραγωγή του τσιμέντου.

Έκτοτε η παραγωγή του τσιμέντου εξαπλώθηκε σε όλο τον κόσμο και παρουσίασε σημαντικές εξελίξεις για να φθάσει στο σημερινό επίπεδο εξέλιξης. Παράλληλα προχώρησε η εξέλιξη του σκυροδέματος και αναφέρεται η κατασκευή της πρώτης γέφυρας από άοπλο σκυρόδεμα στη Γαλλία το 1816, ενώ το 1818 ο Βρετανός μηχανικός R.Dodd απέκτησε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την προσθήκη ράβδων σφυρήλατου σιδήρου στο σκυρόδεμα. Εισάγεται έτσι αρχικά η έννοια του οπλισμού στο σκυρόδεμα που διευρύνεται σύντομα με τη χρήση σιδηροδοκών με σκυρόδεμα για κατασκευή δαπέδων (F.Corgnet, 1855) και σύρματος για την ενίσχυση γλαστρών από σκυρόδεμα (J.Monier, 1850-1861), που αποτελεί και την πλέον εξελιγμένη μέχρι τότε μορφή οπλισμένου σκυροδέματος. Το 1902 ο A.Rerrert κατασκεύασε στο Παρίσι πολυκατοικία με χρήση «συστήματος οπλισμένου σκυροδέματος» όπως το ονόμασε. Αυτή ήταν και η πρώτη εμφάνιση κτιρίου με φέροντα οργανισμό από υποστυλώματα, δοκούς και πλάκες χωρίς φέρουσες τοιχοποιίες.

Η πρόοδος της τεχνολογίας ήταν στη συνέχεια μεγάλη, τόσο σε ότι αφορά τα δομικά συστήματα κατασκευής με χρήση εξελιγμένων ποιοτήτων χάλυβα, συστημάτων προέντασης, ινοπλισμού, όσο και σε ότι αφορά το σκυρόδεμα με την εξέλιξη των μεθόδων παραγωγής και ποιοτικού ελέγχου και τη χρήση βελτιωτικών χημικών προσθέτων.

Σήμερα παράγονται ετησίως σε όλο τον κόσμο πάνω από 1,5 δισεκατομμύρια τόνοι τσιμέντου και το σκυρόδεμα που παρασκευάζεται από το τσιμέντο αυτό υπερβαίνει τα 10 δισεκατομμύρια τόνους. Το γεγονός αυτό καθιστά το τσιμέντο και το σκυρόδεμα τα σπουδαιότερα και πλέον διαδεδομένα δομικά υλικά της εποχής μας. Παρασκευάζεται σκυρόδεμα με θλιπτική αντοχή μεγαλύτερη από 200 MPa αλλά και σκυρόδεμα με προεπιλεγμένες ιδιότητες, όπως χαμηλής αντοχής, υψηλής ανθεκτικότητας σε διαβρωτικές επιδράσεις του περιβάλλοντος, αυτοσυμπυκνούμενο, με αντοχή σε τριβή και κρούση και σκυρόδεμα που απορροφά αέριες ενώσεις NO_x που μολύνουν το περιβάλλον (Σ.Τ.Ε., 2016b; Winter, 2012; Αναγνωστόπουλος, 2016; The Concrete Network, 2016).

1.1.3. Κανονισμοί - Πρότυπα για το σκυρόδεμα

Το Ευρωπαϊκό Πρότυπο για το σκυρόδεμα, EN 206 Σκυρόδεμα: Προδιαγραφή, Επιτελεστικότητα, Παραγωγή και Συμμόρφωση συμπεριλαμβάνεται στην ομάδα των Προτύπων, Κανονισμών και Τεχνικών Εγκρίσεων που διέπουν την αγορά των Δομικών Προϊόντων στην Ευρώπη, όπως καθορίστηκαν αρχικά από την Ευρωπαϊκή Οδηγία για τα Δομικά Προϊόντα 89/106 (ΠΔ 334/94) (Construction Products Directive CPD) της 21/12/88 και, πλέον, διέπονται από τον Ευρωπαϊκό Κανονισμό Δομικών Προϊόντων 305/2011 (Construction Products Regulation CPR), που καθορίζουν τις απαιτήσεις συμμόρφωσης ώστε τα προϊόντα που χρησιμοποιούνται στο σκυρόδεμα να φέρουν πλέον τη σήμανση CE.

Ήδη, η σήμανση έχει καταστεί υποχρεωτική για τα προϊόντα που αφορούν την παραγωγή έργων από σκυρόδεμα, και συγκεκριμένα:

- το τσιμέντο (με βάση τις απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 197-1-2011),
- τα αδρανή για το σκυρόδεμα (με βάση τις απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 12620-2002),

- τα πρόσθετα σκυροδέματος (με βάση τις απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 934-2-2001 και / A1-2005).

Στη χώρα μας, ο Κανονισμός που αυτή τη στιγμή διέπει την παραγωγή σκυροδέματος και την εκτέλεση των έργων από σκυρόδεμα είναι ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ-97) ΦΕΚ 315Β/1997 και η Προσαρμογή του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος προς τις απαιτήσεις του εναρμονισμένου Προτύπου ΕΛΟΤ EN 197-12002 (ΦΕΚ 537 Β/2001). Το 2015 τέθηκε σε δημόσια διαβούλευση το Σχέδιο Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος 2015. Τέλος υπάρχει ο Ελληνικός Κανονισμός για τη Μελέτη και Κατασκευή Έργων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα ΕΚΩΣ 2000 (ΦΕΚ 1329Β/2000).

1.1.3.1. Τύποι και κατηγορίες σκυροδέματος

1.1.3.1.1. Κατηγορίες για το νωπό σκυρόδεμα

Νωπό σκυρόδεμα ονομάζεται το πλήρως αναμεμιγμένο σκυρόδεμα, το οποίο μπορεί να συμπυκνωθεί με κατάλληλα επιλεγμένη μέθοδο (Sika, 2007). Οι κατηγορίες του νωπού σκυροδέματος ταξινομούνται με βάση τα εξής (Σ.Τ.Ε., 2016c).

α) Τη συνεκτικότητα, που είναι η φυσική ιδιότητα του σκυροδέματος που καθορίζει τη συνοχή του νωπού μείγματος των επί μέρους υλικών. Η συνεκτικότητα σχετίζεται έμμεσα με τις μετρήσεις εργασιμότητας. Η εργασιμότητα αφορά το έργο που απαιτείται για τη μεταφορά, διάστρωση και συμπύκνωση του υλικού και εκτιμάται έμμεσα με τις αριθμητικές ενδείξεις που δίνουν οι σχετικές τυποποιημένες δοκιμές κάθισης, δονητικής τράπεζας, εξάπλωσης, οι οποίες περιέχονται στο Πρότυπο (πρόσθετες πρότυπες δοκιμές καθορίζονται για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα), είτε

β) Την ονομαστική διάσταση του μέγιστου κόκκου αδρανούς στο σκυρόδεμα D_{max} όπως αυτή καθορίζεται στο EN 12620.

1.1.3.1.2. Κατηγορίες για το σκληρυμένο σκυρόδεμα

Σκληρυμένο Σκυρόδεμα ονομάζεται το σκυρόδεμα σε στερεή κατάσταση, το οποίο έχει αναπτύξει μετρήσιμη αντοχή (Sika, 2007). Το σκυρόδεμα διακρίνεται σε διάφορες κατηγορίες αναλόγως της αντοχής του σε θλίψη, σε ηλικία 28 ημερών, της εργασιμότητας, της ανθεκτικότητας (διάρκεια στον χρόνο) και της κατηγορίας έκθεσης σε διάφορα περιβάλλοντα, σύμφωνα με τα επόμενα (ειδικές απαιτήσεις που μπορεί να υπάρχουν ανάλογα με τις ανάγκες και τις συνθήκες του έργου) (Τ.Ε.Ε., 2004a).

Κατηγορίες αντοχής (strength classes)

Κατηγορίες κάθισης (workability classes)

Κατηγορίες ανθεκτικότητας (durability classes)

Το Πρότυπο EN 206 ταξινομεί το σκυρόδεμα (Σ.Τ.Ε., 2016c):

α) ανάλογα με τη χαρακτηριστική αντοχή σε θλίψη, δηλαδή την αντοχή κάτω από την οποία το πολύ ένα 5% ενός πληθυσμού δοκιμών ελέγχου σε θλίψη ενός όγκου από σκυρόδεμα, αναμένεται να πέσει και

β) την πυκνότητα του υλικού (σκυρόδεμα κανονικού βάρους, ελαφρό και βαρύ σκυρόδεμα). Όσον αφορά την αντοχή, προδιαγράφει τις εξής κατηγορίες αντοχής με βάση τη θλιπτική αντοχή κυλινδρικών και κυβικών δοκιμών (χαρακτηριστική αντοχή σε 28 ημέρες) σύμφωνα με τον Πίνακα 1.1 (Αντοχή κυλίνδρου [MPa] / Αντοχή κύβου [MPa]).

Η συμμόρφωση του σκυροδέματος ως προς τα όρια αντοχών είναι στατιστική και γίνεται με ελέγχους και κριτήρια που περιγράφονται στο Πρότυπο, ανάλογα αν υπάρχει έλεγχος παραγωγής από Ανεξάρτητο Φορέα Πιστοποίησης ή όχι.

Πίνακας 1.1. Κατηγορίες αντοχής και αντίστοιχη ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου / κύβου για το σκυρόδεμα

Κατηγορία αντοχής	Ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου (N/mm ²)	Ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή κύβου (N/mm ²)
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C26/32	26	32
C28/35	28	35
C30/37	30	37
C32/40	32	40
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

Οι κατηγορίες ανθεκτικότητας, δηλαδή εκείνες οι κατηγορίες που εκφράζουν την αντοχή του σκυροδέματος στη διάρκεια του χρόνου και την ικανότητά του να ανταπεξέρχεται ικανοποιητικά στην έκθεσή του σε εξωτερικό περιβάλλον (exposure classes), περισσότερο ή λιγότερο βλαπτικό ή διαβρωτικό, περιλαμβάνονται στον ΚΤΣ-97 και στις συστάσεις του ΕΛΟΤ EN 206-1 και απαιτούν συνήθως προσοχή σε (5) παράγοντες, τα λεγόμενα “**5C**”, δηλαδή (Τ.Ε.Ε., 2004α):

- α) **Cement content** (ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου)
- β) **Water / Cement ratio** (λόγος Νερού προς Τσιμέντο)
- γ) **Compaction** (συμπύκνωση / δόνηση σκυροδέματος)
- δ) **Curing** (συντήρηση σκυροδέματος)
- ε) **Cover** (πάχος της στρώσεως της επικάλυψης οπλισμού)

Το σκυρόδεμα διακρίνεται αν είναι σε :

- α) Εσωτερικό / εξωτερικό χώρο
- β) Περιβάλλον διαβρωτικό με χλωριόντα, σε θαλάσσιο περιβάλλον
- γ) Περιβάλλον με κίνδυνο παγοπληξίας
- δ) Περιβάλλον με κίνδυνο από ενανθράκωση (carbonation)
- ε) Περιβάλλον με κίνδυνο από δράση θεικών (π.χ. τσιμέντο με αντίσταση στα θειικά, κλπ)
- στ) Επιχρισμένο ή ανεπίχριστο.

1.1.3.1.3. Ανθεκτικότητα και κατηγορίες έκθεσης του σκυροδέματος

Το Πρότυπο EN 206 εισάγει και τις απαιτήσεις σχεδιασμού έργων από σκυρόδεμα για ανθεκτικότητα. Υιοθετούνται συγκεκριμένες Κατηγορίες Έκθεσης (με όρια συγκεκριμένης περιεκτικότητας σε ρύπους, εφόσον αυτό καθίσταται απαραίτητο) ενώ καθορίζονται (στο Εθνικό Προσάρτημα) και οι ελάχιστες επικαλύψεις για ανθεκτικότητα (συμβολίζονται και με $c_{min,dur}$ στον Ευρωκώδικα 2) για κατασκευές Κατηγορίας S4, δηλαδή αυτές με ωφέλιμη διάρκεια ζωής τα 50 χρόνια, κατά Ευρωκώδικα 0.

Οι Κατηγορίες Έκθεσης που καλύπτει το Πρότυπο αφορούν την ενανθράκωση του σκυροδέματος (XC), την έκθεση σε χλωριόντα από το θαλασσινό νερό (XS), την έκθεση σε χλωριόντα από άλλους παράγοντες, π.χ. αντιπαγωτικά άλατα (XD), την έκθεση σε χημικά από το έδαφος και τον υδροφόρο ορίζοντα (XA), την έκθεση σε ψύξη/απόψυξη (XF) και τη μηχανική απότριψη (XM). Ενδεικτικές χρήσεις ορισμένων από τις κατηγορίες αυτές δίδονται στον Πίνακα 1.2 (Σ.Τ.Ε., 2016c).

Για κάθε μία κατηγορία έκθεσης, το Πρότυπο παρέχει, ανάλογα και με τον τύπο τσιμέντου που χρησιμοποιείται στη σύνθεση, όρια για τον μέγιστο λόγο ενεργό νερό προς τσιμέντο, την ελάχιστη περιεκτικότητα σε τσιμέντο, την ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή σε θλίψη 28 ημερών, την ελάχιστη επικάλυψη και την ενδεχόμενη απαίτηση για χρήση αερακτικού στη σύνθεση (απαιτείται μόνο για περίπτωση παγοπληξίας). Ο μελετητής θα πρέπει να τηρήσει τα ελάχιστα ή μέγιστα αυτά όρια, ανάλογα με τη θέση του σκυροδέματος στο έργο και άλλες τυχόν παραμέτρους (π.χ., μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σχεδιασμού, διάσταση μέγιστου κόκκου αδρανούς πέραν των δεδομένων ορίων κλπ).

Πίνακας 1.2. Κατηγορίες περιβαλλοντικής έκθεσης για το σκυρόδεμα

Κατηγορία	Περιγραφή των συνθηκών περιβάλλοντος	Ενδεικτικές περιπτώσεις ισχύος
X0	Σκυρόδεμα χωρίς οπλισμό ή εντοιχισμένα ειδικά μεταλλικά τεμάχια. Οπλισμένο σκυρόδεμα με ή χωρίς εντοιχισμένα ειδικά μεταλλικά τεμάχια, σε εξαιρετικά ξηρή κατάσταση.	Σκυρόδεμα στο εσωτερικό κτιρίων με εξαιρετικά χαμηλό ποσοστό υγρασίας
Διάβρωση λόγω ενανθράκωσης		
XC1	Σκυρόδεμα σε περιβάλλον ξηρό ή μονίμως υγρό	Σκυρόδεμα στο εσωτερικό κτιρίων με χαμηλό ποσοστό υγρασίας Σκυρόδεμα μονίμως μέσα στο νερό
XC2	Περιβάλλον υγρό, σπανίως ξηρό	Σε μακροχρόνια επαφή με νερό Θεμελιώσεις
XC3	Περιβάλλον μέτριας υγρασίας	Σκυρόδεμα στο εσωτερικό κτιρίων με μέτριο ή υψηλό ποσοστό υγρασίας Σε εξωτερικό περιβάλλον προστατευμένο από τη βροχή
XC4	Διαδοχικοί κύκλοι υγρού και ξηρού	Σε επαφή με νερό και δεν ανήκει στην κατηγορία XC2 .
Διάβρωση λόγω χλωριόντων		
XD1	Μέτρια υγρασία	Επιφάνειες εκτεθειμένες σε εναέρια χλωριόντα

XD2	Υγρό, σπανίως ξηρό	Στοιχεία από σκυρόδεμα εκτεθειμένα σε βιομηχανικά λύματα που περιέχουν Cl ⁻ - Πισίνες
XD3	Διαδοχικοί κύκλοι υγρού και ξηρού	Τμήματα γεφυρών εκτεθειμένα σε διαβροχή περιεκτική σε Cl ⁻ Δάπεδα, Πλάκες σταθμών οχημάτων.
Διάβρωση λόγω χλωριόντων από θαλασσινό νερό		
XS1	Έκθεση σε εναέρια χλωριόντα αλλά σε μη άμεση επαφή με το νερό	Κατασκευές πλησίον ή επάνω στη θάλασσα
XS2	Μονίμως εντός του θαλασσινού νερού	Τμήματα λιμενικών έργων
XS3	Ζώνες διαβροχής, καταιονισμού και παλιρροϊκής εναλλαγής	
Διάβρωση λόγω χημικών δράσεων		
XA1	Ελάχιστα τοξικό περιβάλλον (βλ. EN 206)	Εδάφη και υδροφόρος ορίζοντας
XA2	Μέτρια τοξικό περιβάλλον (βλ. EN 206)	
XA3	Υψηλά τοξικό περιβάλλον (βλ. EN 206)	

1.1.4. Κατηγορίες ειδικών σκυροδεμάτων

Υπάρχουν πολλές κατηγορίες ειδικών σκυροδεμάτων, ανάλογα με την εφαρμογή και τις απαιτήσεις, με κατάλληλη κάθε φορά σύνθεση, και με ανάλογα πλεονεκτήματα, όπως (Sika, 2007):

- Αντλήσιμο Σκυρόδεμα
- Σκυρόδεμα για Περιοχές με Κίνηση Οχημάτων
- Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (SCC)
- Σκυρόδεμα με αντοχή σε Παγετό και Κύκλους Πήξης/Τήξης
- Σκυρόδεμα Υψηλής Αντοχής
- Σκυρόδεμα παραγόμενο με Ολισθαίνοντα Καλούπια
- Στεγανό Σκυρόδεμα
- Εμφανές Σκυρόδεμα
- Σκυρόδεμα Μεγάλου Όγκου
- Ινοπλισμένο Σκυρόδεμα
- Σκυρόδεμα μεγάλου ειδικού βάρους
- Σκυρόδεμα υποβρύχιων κατασκευών
- Ελαφροσκυρόδεμα
- Κυλινδρούμενο Σκυρόδεμα
- Έγχρωμο Σκυρόδεμα
- Ύφυγρο Σκυρόδεμα για Προκατασκευασμένα Στοιχεία Σκυροδέματος
- Σκυρόδεμα με αυξημένη Πυραντίσταση
- Σκυρόδεμα Επένδυσης Σηράγγων
- Μονολιθικό Σκυρόδεμα
- Γρανολιθικό Σκυρόδεμα

1.1.4.1. Ελαφροσκυρόδεμα

Με τον όρο αυτό περιγράφονται σκυροδέματα και κονιάματα χαμηλής πυκνότητας ($800 \text{ kg/m}^3 \div 2000 \text{ kg/m}^3$). Για σύγκριση αναφέρεται ότι το συμβατικό σκυρόδεμα έχει πυκνότητα από 2000 kg/m^3 έως 2600 kg/m^3 και το σκυρόδεμα μεγάλου ειδικού βάρους έχει πυκνότητα μεγαλύτερη από 2600 kg/m^3 . Το βάρος τους μειώνεται είτε με χρήση αδρανών χαμηλής πυκνότητας, είτε με την τεχνητή δημιουργία κενών στη μάζα του σκυροδέματος. Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται κυρίως από την εφαρμογή του ελαφροσκυροδέματος και τις απαιτούμενες ιδιότητές του (Sika, 2007).

Το ελαφροσκυρόδεμα χρησιμοποιείται κυρίως για:

- Θερμομονώσεις
- Κατασκευές μικρού βάρους (ταβάνια, τοίχοι, καταστρώματα γεφυρών, πλάκες)
- Προκατασκευασμένα προϊόντα
- Σκυρόδεμα εξομάλυνσης
- Σκυρόδεμα πλήρωσης

Τα ελαφροσκυροδέματα έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Μείωση της πυκνότητας του νωπού σκυροδέματος
- Μείωση της πυκνότητας του σκληρυμένου σκυροδέματος
- Σε περίπτωση που ελαφροσκυρόδεμα χρησιμοποιείται ως σκυρόδεμα πλήρωσης με χαμηλές απαιτήσεις φερόντων φορτίων, π.χ. για διαστασιολογική σταθερότητα, συνήθως παράγονται σκυροδέματα και κονιάματα υψηλού πορώδους (αεριο-ελαφροσκυροδέματα).

- Σε περίπτωση που απαιτείται ελαφροσκυρόδεμα με καλές μηχανικές ιδιότητες (π.χ. θλιπτική αντοχή), χρησιμοποιούνται ειδικά αδρανή (πολύ πορώδη από τη φύση τους αλλά πολύ σταθερά διαστασιολογικά).

1.2. Το Τσιμέντο

Το τσιμέντο είναι βιομηχανικό υλικό που παράγεται με την έψηση σε ειδικούς κλιβάνους μίγματος από αλεσμένο ασβεστόλιθο και άργιλο, σε θερμοκρασίες της τάξης των 1450°C . Το προϊόν που προκύπτει στις συνθήκες αυτές από τον ορυκτολογικό μετασχηματισμό των πρώτων υλών ονομάζεται κλίνκερ και στη συνέχεια αλέθεται σε σκόνη. Το τσιμέντο είναι το βασικό συστατικό για την παραγωγή του σκυροδέματος, που είναι το πλέον διαδεδομένο δομικό υλικό παγκοσμίως. Η παραγωγή τσιμέντου παγκοσμίως παρουσιάζει αλματώδη αύξηση και το 2009 ξεπέρασε τα 2,3 δισεκατομμύρια τόνους.

Το τσιμέντο ανήκει στις υδραυλικές κονίες λόγω της ιδιότητας του να αντιδρά με το νερό και να δημιουργεί ισχυρές κρυσταλλικές ενώσεις οξειδίων του πυριτίου, του ασβεστίου και του αργιλίου ανθεκτικές στο νερό, οι οποίες του προσδίδουν τις συνδετικές του ιδιότητες. Για την επιβράδυνση της διαδικασίας της ενυδάτωσης και για τον έλεγχο της σκλήρυνσης και της εργασιμότητας, προστίθεται κατά την άλεση μικρή ποσότητα γύψου.

Ο λόγος τιμή προς βάρος είναι πολύ μικρός για το τσιμέντο γεγονός που το κάνει να είναι πολύ ακριβό για μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις. Επίσης, επειδή οι πρώτες ύλες (θραυσμένος ασβεστόλιθος, αργιλικά πετρώματα, χαλαζιακά πετρώματα, σιδηρομετάλλευμα, βωξίτης) για την παραγωγή του τσιμέντου είναι ακόμη χαμηλότερης αξίας, για την ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς των πρώτων υλών οι μονάδες παραγωγής τσιμέντου χωροθετούνται πολύ κοντά στις πηγές πρώτων υλών (ιδιαίτερα κοντά στο λατομείο ασβεστολιθικού πετρώματος). Η μεγαλύτερη ποσότητα του παραγόμενου τσιμέντου, για τους παραπάνω λόγους, πρέπει να διατίθεται σε περιοχές και μονάδες παραγωγής σκυροδέματος σχετικώς κοντά στα εργοστάσια παραγωγής του (Τσακαλάκης, 2010).

1.2.1. Τύποι και κατηγορίες Ευρωπαϊκών τσιμέντων

Οι τύποι των τσιμέντων που παρασκευάζονται σε κάθε χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης εξαρτώνται από τις διαθέσιμες πρώτες ύλες, όπως επίσης από τη ζήτηση κάθε τύπου τσιμέντου. Έτσι, ανάλογα με τις διαθέσιμες και χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες, δημιουργήθηκαν οι διάφοροι τύποι τσιμέντων που μπορούν να παραχθούν. Οι τύποι αυτοί είναι το κοινό τσιμέντο Portland, τα τσιμέντα με ποζολάνη, ιπτάμενη τέφρα (πυριτική ή ασβεστιτική), τσιμέντα με σκωρία υψικαμίνου, τσιμέντα με πυριτική παιπάλη, με ασβεστόλιθο κλπ.

Το τσιμέντο αποτελείται από:

- Τα κύρια συστατικά (περιλαμβάνεται και το κλίνκερ (Κ))
- Τα δευτερεύοντα συστατικά
- Το θειικό ασβέστιο
- Τα πρόσθετα.

Τα κύρια και δευτερεύοντα συστατικά, που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή σύνθετων τσιμέντων και εμφανίζονται στον αναλυτικό πίνακα του ευρωπαϊκού προτύπου EN 197-1, δίνονται παρακάτω με το χαρακτηριστικό κεφαλαίο λατινικό γράμμα που αναφέρεται σε κάθε ένα από αυτά (Μοροπούλου & Μπατής, 2012; Τσακαλάκης, 2010, Τ.Ε.Ε., 2004b):

- S** – blastfurnace slag (σκωρία υψικαμίνων)
- D** – silica fume (πυριτική παιπάλη)
- P** – natural pozzolana (φυσική ποζολάνη)
- Q** – natural calcined pozzolana (φυσική ποζολάνη μετά από πύρωση)
- V** – siliceous fly ash (πυριτική ιπτάμενη τέφρα)
- W** – calcareous fly ash (ασβεστιτική ιπτάμενη τέφρα)
- L, LL** – limestone (ασβεστόλιθος)
- T** – burnt shale (τέφρα καύσης βιτουμενιούχων σχιστολίθων)
- M** – two or more of the above (μείγμα των παραπάνω).

Η σκωρία υψικαμίνων (S) είναι υλικό με λανθάνουσες υδραυλικές ιδιότητες που παρουσιάζει ποζολανικές ιδιότητες όταν ενεργοποιείται κατάλληλα. Η κοκκοποιημένη σκωρία υψικαμίνων παράγεται με ταχεία ψύξη ενός τήγματος σκωρίας κατάλληλης σύστασης που προκύπτει από την παραγωγή σιδήρου στις υψικαμίνους.

Η πυριτική παιπάλη (D) είναι υποπροϊόν της αναγωγής υψηλής καθαρότητας χαλαζία με άνθρακα σε καμίνους ηλεκτρικού τόξου. Πρέπει να καλύπτει τις ακόλουθες απαιτήσεις για τη συμμετοχή του ως κύριο συστατικό:

1. Το άμορφο διοξείδιο του πυριτίου πρέπει να είναι τουλάχιστον 85% κ.β.
2. Η απώλεια πύρωσης πρέπει να είναι μικρότερη του 4% κ.β.
3. Η ειδική του επιφάνεια πρέπει να είναι μεγαλύτερη του $15\text{m}^2/\text{g}$.

Οι φυσικές ποζολάνες (P) είναι υλικά συνήθως ηφαιστειογενούς προελεύσεως ή ιζηματογενή πετρώματα με κατάλληλη χημική και ορυκτολογική σύσταση. Μετά την άλεση τους συμπεριφέρονται όπως οι ιπτάμενες τέφρες.

Οι φυσικές ψημένες ποζολάνες (Q) είναι υλικά ηφαιστειογενούς προελεύσεως, άργιλοι, σχιστόλιθοι ή ιζηματογενή πετρώματα τα οποία έχουν ενεργοποιηθεί με θερμική κατεργασία.

Η πυριτική ιπτάμενη τέφρα (V) αποτελείται κυρίως από δραστικά SiO_2 και Al_2O_3 και σε μικρότερα ποσοστά από Fe_2O_3 και άλλα οξείδια.

Η ασβεστίτικη ιπτάμενη τέφρα (W) είναι το λεπτόκοκκο υλικό που έχει υδραυλικές και ποζολανικές ιδιότητες. Συνίσταται από δραστικό CaO, SiO₂, Al₂O₃ και σε μικρότερα ποσοστά από Fe₂O₃ και άλλα οξείδια.

Ο ασβεστόλιθος (L) πρέπει να καλύπτει τις ακόλουθες απαιτήσεις:

1. Το περιεχόμενο CaCO₃ να είναι τουλάχιστον 75% κ.β.
2. Η περιεχόμενη άργιλος να είναι μικρότερη του 1.2g/100g.
3. Ο περιεχόμενος ολικός οργανικός άνθρακας δεν πρέπει να ξεπερνά το 0.5% για τους ασβεστόλιθους με κωδικοποίηση L και το 0.2% για τους ασβεστόλιθους LL.

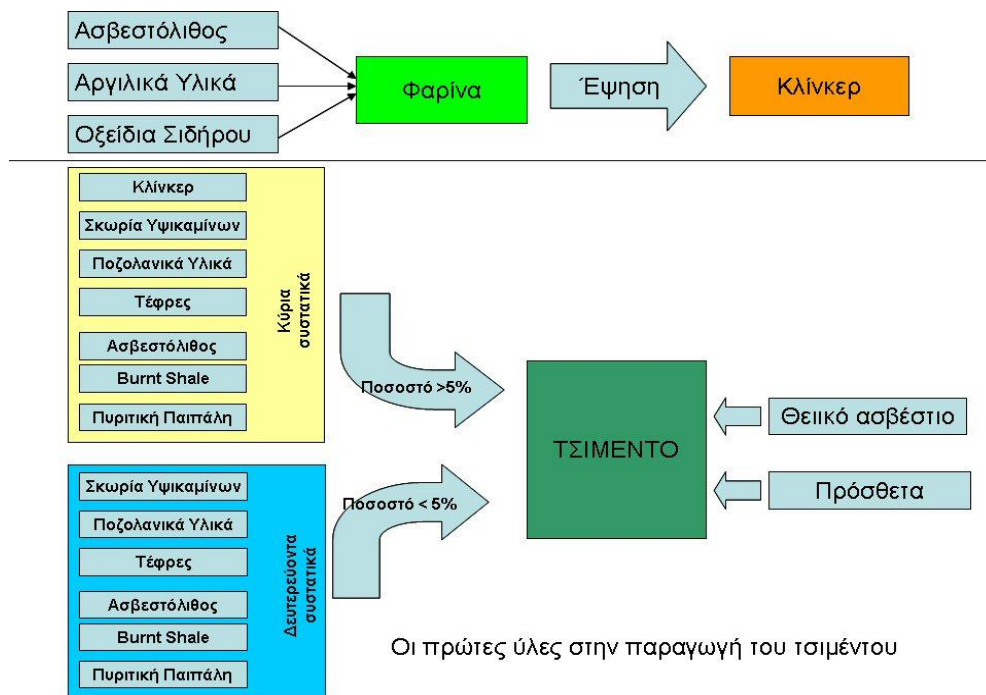
Ο ψημένος σχιστόλιθος (T) παράγεται με πύρωση στους 800°C. Εμφανίζει υδραυλικές ιδιότητες καθώς και ποζολανικές αφού περιέχει μικρά ποσοστά ελεύθερου CaO και CaSO₄ καθώς και SiO₂ σε μεγαλύτερες αναλογίες. Αλέθεται σε μεγάλη λεπτότητα και πρέπει να έχει αντοχή σε θλίψη τουλάχιστον 25,0 MPa σε ηλικία 28 ημερών όταν η δοκιμή διεξάγεται σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 196-1 (Μοροπούλου & Μπατής, 2012; Τ.Ε.Ε. 2004b).

Στο σχήμα 1.1 φαίνονται συνολικά οι πρώτες ύλες στην παραγωγή του τσιμέντου.

Το πρότυπο EN 197-1 προδιαγράφει σε γενική μορφή τους εξής πέντε τύπους τσιμέντου (Πίνακας 1.3).

Πίνακας 1.3. Βασικοί τύποι τσιμέντων ευρωπαϊκού προτύπου

ΤΥΠΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
CEM I	Κοινό τσιμέντο Portland
CEM II	Σύνθετο τσιμέντο Portland
CEM III	Σκωρισσιμένο
CEM IV	Ποζολανικό τσιμέντο
CEM V	Σύνθετο τσιμέντο



Σχήμα 1.1. Οι πρώτες ύλες στην παραγωγή του τσιμέντου (Τσακαλάκης, 2010).

Επίσης το πρότυπο προβλέπει μεγάλο αριθμό προϊόντων τσιμέντου, Πίνακας 1.4, τα οποία, για προφανείς λόγους, όμως δεν κυκλοφορούν κατ' ανάγκη όλα σε κάθε χώρα μέλος. Στον Πίνακα δίνονται αναλυτικά, σύμφωνα με το πρότυπο, το είδος και το ποσοστό των συστατικών του τσιμέντου, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή και καθορίζουν τα 27 διαφορετικά είδη τσιμέντων του Πίνακα (Σ.Τ.Ε., 2016d).

Επίσης, το πρότυπο προδιαγράφει και 6 κατηγορίες αντοχών, στις οποίες τα τσιμέντα κατατάσσονται ανάλογα με την αντοχή σε θλίψη κονιάματος πρότυπης σύνθεσης και τρόπου παρασκευής, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 196-1 (Μέθοδοι δοκιμών τσιμέντου - Μέρος 1 : Προσδιορισμός αντοχών).

Κάθε κατηγορία αντοχής ορίζεται από ένα κατώτερο και ένα ανώτερο όριο αντοχής. Το κατώτερο όριο αντοχής σε θλίψη (28 ημερών) χαρακτηρίζει τη συγκεκριμένη κατηγορία. Κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες περιλαμβάνει δύο υποκατηγορίες πρώιμης αντοχής **N** και **R** (Πίνακας 1.5).

Πίνακας 1.4. Τύποι τσιμέντου και σύνθεσή τους σύμφωνα με το Πρότυπο EN 197-1

Κυριότεροι Τύποι Τσιμέντου	Ονομασία	Τύπος Τσιμέντου	Σύνθεση (% μέρη κατά βάρος)										Δευτερεύοντα συστατικά	
			Κύρια συστατικά											
			Κλίγκερ τσιμέντου Portland	Σκωρία	Πυριτική Παιπάλη	Ποζολάνη		Ιπτάμενη Τέφρα		Ψημένος σχιστόλιθος	Ασβεστόλιθος			
						Φυσική	Τεχνητή	Πυριτική	Ασβεστούχος		L	LL		
Κ	S	D	P	Q	V	W	T	L	LL					
CEM I	Τσιμέντο Portland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Τσιμέντο Portland με σκωρία υφικαμίνων	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Τσιμέντο Portland με πυριτική παιπάλη	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Τσιμέντο Portland με ποζολάνη	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
	Τσιμέντο Portland με ιπτάμενη τέφρα	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
	Τσιμέντο Portland με ψημένο σχιστόλιθο	CEM II/A	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
		CEM II/B	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
	Τσιμέντο Portland με ασβεστόλιθο	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
CEM II/B-LL		65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5	
Τσιμέντο Portland - σύνθετο	CEM II/A-M	80-94	6-20										0-5	
	CEM II/B-M	65-79	21-35										0-5	
CEM III	Σκωριοτσιμέντο	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Ποζολανικό Τσιμέντο	CEM IV/A	65-89	-	11-35					-	-	-	0-5	
		CEM IV/B	45-64	-	36-55					-	-	-	0-5	
CEM V	Σύνθετο Τσιμέντο	CEM V/A	40-64	18-30	-	18-30		-	-	-	-	-	0-5	
		CEM V/B	20-39	31-50	-	31-50		-	-	-	-	-	0-5	

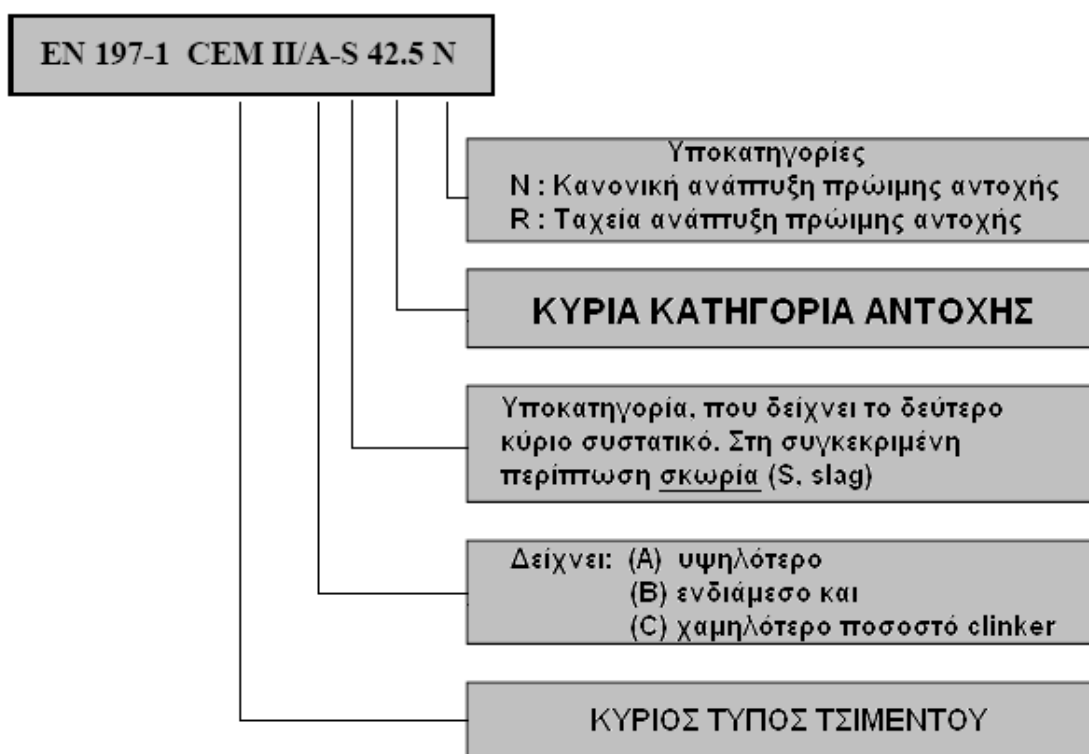
Πίνακας 1.5. Απαιτήσεις μηχανικές και φυσικές οριζόμενες ως χαρακτηριστικές τιμές

Κατηγορία αντοχής	Αντοχή σε θλίψη, MPa (N/mm ²)			Αρχικός χρόνος πήξης (min)	Διόγκωση (mm)
	Αρχική αντοχή		Τυπική αντοχή (όρια)		
	2 ημέρες	7 ημέρες	28 ημέρες		
32.5 N	-	≥ 16.0	≥ 32.5	≤ 52.5	≥ 75
32.5 R	≥ 10.0	-	≥ 42.5	≤ 52.5	≥ 60
42.5 N	≥ 10.0	-	≥ 52.5	-	≥ 45
42.5 R	≥ 20.0	-	-	-	≤ 10
52.5 N	≥ 20.0	-	-	-	-
52.5 R	≥ 30.0	-	-	-	-

Η συμμόρφωση των τσιμέντων ως προς τα όρια αντοχών είναι στατιστική και περιγράφεται στο πρότυπο.

Ο συμβολισμός των διαφόρων τσιμέντων, σύμφωνα με το πρότυπο EN 197-1, άρα και με το ΕΛΟΤ EN 197-1 (Σχήμα 1.1), καθορίζεται από:

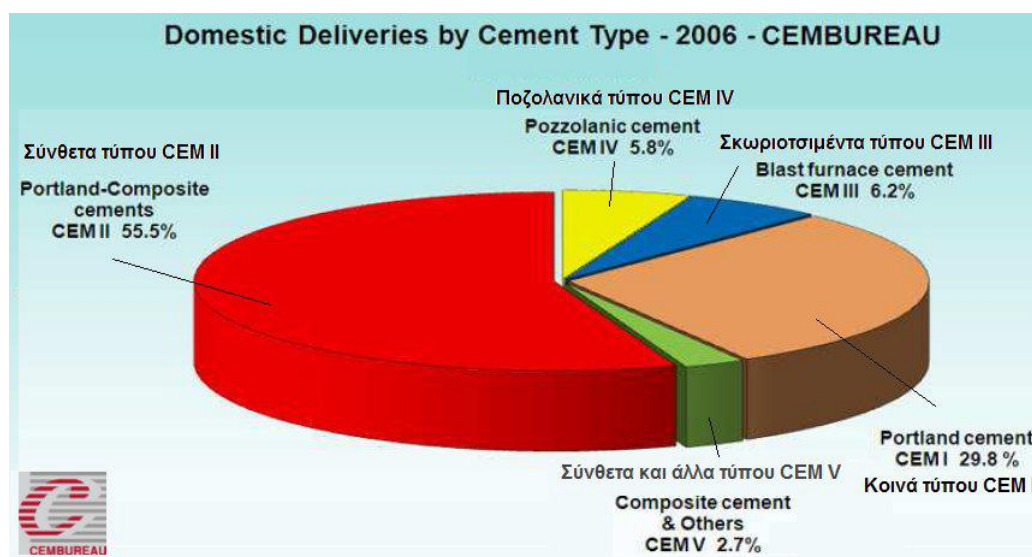
- τον κύριο τύπο τσιμέντου,
- το ποσοστό clinker που περιέχεται στο τσιμέντο,
- τον τύπο του δεύτερου κύριου συστατικού,
- την κατηγορία αντοχής,
- το επίπεδο της πρώιμης αντοχής.



Σχήμα 1.2. Συμβολισμός των διαφόρων τύπων τσιμέντου του ευρωπαϊκού προτύπου (Τσακαλάκης, 2010).

Η ποσοστιαία % κατανομή των παραγόμενων (κατά τύπο) ευρωπαϊκών τσιμέντων δίνεται στο Σχήμα 1.3. Είναι φανερό ότι, μεγάλο μερίδιο της ευρωπαϊκής παραγωγής αφορά σε σύνθετα τσιμέντα (CEM II), κυρίως για περιβαλλοντικούς λόγους (μείωση των

εκπεμπόμενων ποσοτήτων CO₂, αξιοποίηση των βιομηχανικών παραπροϊόντων). Οι ποσότητες αυτές CO₂ είναι πολύ σημαντικές στην περίπτωση της τσιμεντοβιομηχανίας και αφορούν: πρωτογενώς στην πύρωση (διάσπαση) του ασβεστολίθου και στην καύση ορυκτών καυσίμων στην κυρίως μεταλλουργική διεργασία και δευτερογενώς επίσης στην καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλίσκεται για την παραγωγή τσιμέντου.



Σχήμα 1.3. Ποσοστιαία % κατανομή (κατά τύπο) των παραγόμενων ευρωπαϊκών τσιμέντων (Πηγή: CEMBUREAU, 2006) (Τσακαλάκης, 2010).

Στην Ελλάδα παράγονται συνήθως οι ακόλουθοι τύποι και κατηγορίες τσιμέντων (Τσαματσούλης, 2004):

- CEM I 42.5 52.5
- CEM II/A-M 42.5
- CEM II/B-M 32.5 42.5
- CEM II/A-L 42.5
- CEM IV/B 32.5

1.2.2. Τσιμέντα ειδικού τύπου

1.2.2.1. Τσιμέντα αντοχής στα θειικά

Πρόκειται για τσιμέντα που όπως φανερώνει η ονομασία τους, είναι ανθεκτικά στα θειικά άλατα. Βασικό χαρακτηριστικό των τσιμέντων αυτών, είναι η χαμηλή περιεκτικότητα σε αργιλικό τριασβέστιο (C₃A). Σύμφωνα με τους Βρετανικούς κανονισμούς, η περιεκτικότητα σε C₃A είναι μικρότερη από 3,5%, ενώ σύμφωνα με τους αμερικάνικους, είναι μικρότερη από 5% και συγχρόνως υφίσταται όριο για το άθροισμα του C₄AF + 2 C₃A < 22%. Η απαίτηση για χαμηλό ποσοστό C₃A, οφείλεται στο προϊόν της αντίδρασης αυτού με τη γύψο CaSO₄·2H₂O, που είναι το θειοαργιλικό ασβέστιο. Στο σκληρυμένο τσιμέντο, το ένυδρο αργιλικό ασβέστιο μπορεί να αντιδράσει με θειικά άλατα που προέρχονται από το περιβάλλον, παράγοντας θειοαργιλικό ασβέστιο. Ο όγκος του άλατος αυτού, συγκρινόμενος

με τον όγκο της στερεάς φάσης, είναι 227% μεγαλύτερος, πράγμα που οδηγεί στη σταδιακή αποσάθρωση του σκυροδέματος. Υπάρχει επίσης και άλλη αντίδραση με την εναλλαγή των ιόντων OH^- του υδροξειδίου της ασβέστου με ιόντα SO_4 , με συνέπεια τη δημιουργία γύψου που έχει 124% μεγαλύτερο όγκο, με τις ίδιες συνέπειες που προαναφέρθηκαν. Τα θειικά άλατα του μαγνησίου και του νατρίου, είναι ιδιαίτερα δραστικά στην προσβολή του σκυροδέματος. Η προσβολή του σκυροδέματος από θειικά άλατα επιταχύνεται στις περιπτώσεις που το σκυρόδεμα υφίσταται διαδοχικούς κύκλους ύγρανσης και ξήρανσης. Δεδομένου ότι, τα τσιμέντα αντοχής στα θειικά είναι μικρής περιεκτικότητας σε C_3A , έχουν κατά συνέπεια και χαμηλή θερμότητα ενυδάτωσης. Τα ποζολανικά τσιμέντα, λόγω της μειωμένης περιεκτικότητας σε κλίνκερ, έχουν κατά συνέπεια χαμηλή περιεκτικότητα σε C_3A , με αποτέλεσμα να εμφανίζουν ικανοποιητική συμπεριφορά ανθεκτικότητας στα θειικά. Σε αυτό συμβάλλει επίσης και η καλύτερη δομή (μικρότερο πορώδες) του σκληρυμένου τσιμέντου.

1.2.2.2. Αλουμινικά τσιμέντα

Τα τσιμέντα αυτά διαφέρουν πλήρως από τα κοινά τσιμέντα, ως προς τη σύνθεση, τις ιδιότητες και τη χρήση τους. Η συνήθης σύνθεση είναι:

Πίνακας 1.6. Τυπική σύσταση αλουμινικού τσιμέντου

Συστατικό	% αναλογία
SiO_2	3-8%
Al_2O_3	37-41%
CaO	36-40%
Fe_2O_3	9-10%
FeO	5-6%
TiO_2	1,5-2%
MgO	1%
Αδιάλυτα υπόλ.	1%

Κύριες ορυκτολογικές φάσεις είναι CA και C_{12}A_7 . Άλλες φάσεις υπάρχουν επίσης και είναι οι: $\text{C}_6\text{A}_4 \cdot \text{FeO} \cdot \text{S}$, $\text{C}_6\text{A}_4 \cdot \text{MgO} \cdot \text{S}$. Τα αλουμινικά τσιμέντα παράγονται με σύντηξη ασβεστόλιθου και βωξίτη σε θερμοκρασίες 1600°C και άλεση του προϊόντος της σύντηξης. Τα αλουμινικά τσιμέντα δεν είναι κατάλληλα για τις συνήθεις κατασκευές σκυροδέματος λόγω της μεγάλης διόγκωσης που παρουσιάζουν. Λόγω της σχετικής ανθεκτικότητας που έχουν σε χημικές προσβολές ($\text{pH } 3.5 \div 4$) βρίσκουν εφαρμογή σε ειδικές περιπτώσεις, π.χ. επικάλυψη σωλήνων αποχέτευσης. Η χαρακτηριστική ιδιότητα των αλουμινικών τσιμέντων είναι ο πολύ μεγάλος ρυθμός ανάπτυξης αντοχών. Εντός 24 ωρών τα αλουμινικά τσιμέντα αναπτύσσουν αντοχές ισότιμες με τις αντοχές 28 ημερών των κοινών τσιμέντων. Η χρήση των αλουμινικών τσιμέντων περιορίζεται σε ειδικούς σκοπούς και κυρίως σε θερμομονωτικές κατασκευές ή για επισκευαστικές εφαρμογές σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης και για περιορισμένο χρόνο.

1.2.2.3. Λοιπά τσιμέντα

Υπάρχουν πολλές κατηγορίες τσιμέντων που έχουν αναπτυχθεί για διάφορες χρήσεις και ενδεικτικά αναφέρονται:

1.2.2.3.1. Λευκό τσιμέντο

Είναι κοινό τσιμέντο που έχει χαμηλή περιεκτικότητα οξειδίου σιδήρου (0,1-0,4%). Χρησιμοποιείται κυρίως για διακοσμητικούς λόγους.

1.2.2.3.2. Χαμηλής θερμότητας ενυδάτωσης

Πρόκειται για κοινό τσιμέντο χαμηλής περιεκτικότητας σε C_3A , βαθμού κορεσμού καθώς και χαμηλής ειδικής επιφάνειας. Χρησιμοποιείται σε ογκώδεις κατασκευές, όπου δεν είναι επιθυμητή η ανάπτυξη θερμοκρασιών.

1.2.2.3.3. Υδροφόβα τσιμέντα

Περιέχουν ειδικά πρόσθετα, που εμποδίζουν τη γρήγορη ενυδάτωση του τσιμέντου.

1.2.2.3.4. Τσιμέντα διόγκωσης

Τα τσιμέντα αυτά παρουσιάζουν ελεγχόμενη διόγκωση και η τεχνολογική τους βάση στηρίζεται στη δημιουργία θειοαλουμινικού ασβεστίου και στην ενυδάτωσή του παρουσία πρόσθετης ασβέστου και θεικού ασβεστίου. Η δημιουργία του θειοαλουμινικού ασβεστίου γίνεται μετά την ανάπτυξη κάποιων αρχικών αντοχών ώστε να είναι δυνατή η διόγκωση χωρίς να οδηγεί το σκυρόδεμα σε θρυμματισμό. Οι κύριες κατηγορίες τσιμέντων διόγκωσης είναι αυτή που προκαλεί εξισορρόπηση συστολής ξήρανσης και εκείνη που αναπτύσσει ελεγχόμενες εσωτερικές τάσεις. Οι γνωστοί τύποι τσιμέντων διόγκωσης χαρακτηρίζονται με τα γράμματα K, M, S, με πλέον γνωστούς τους δύο πρώτους. Τα τσιμέντα K τύπου παράγονται με συνάλωση κλίνκερ Portland με πρόσθετη γύψο ή ανυδρίτη γύψου και ειδικό κλίνκερ που περιέχει θειοαλουμινικό τετρασβέστιο (C_4A_3S) σε αναλογία που εξαρτάται από τον απαιτούμενο βαθμό διόγκωσης. Τα τσιμέντα M τύπου παράγονται με προσθήκη αλουμινικού τσιμέντου και ανυδρίτη γύψου σε τσιμέντο. Τα τσιμέντα διόγκωσης χρησιμοποιούνται σε κατασκευές και προϊόντα από σκυρόδεμα (T.E.E, 2004b).

Παραδείγματα τσιμέντων που παράγονται στην Ελλάδα (Lafarge, 2016):

Το CEM I 42,5 R είναι τσιμέντο Πόρτλαντ πρώιμης αντοχής ειδικά κατάλληλο για έργα πολιτικού μηχανικού, οικοδομικά έργα, προκατασκευής, έτοιμο σκυρόδεμα και προϊόντα σκυροδέματος, που απαιτείται γρήγορη αφαίρεση των καλουπιών.

Το CEM I 52,5 N είναι τσιμέντο Πόρτλαντ υψηλής πρώιμης αντοχής ειδικά κατάλληλο για ευκολότερο πρώιμο ξεκαλούπωμα και προκατασκευασμένα προϊόντα σκυροδέματος, που απαιτείται γρήγορη αφαίρεση των καλουπιών

Το CEM I 52,5N SR5 (ανθεκτικό στα θειικά) είναι τσιμέντο Πόρτλαντ κατάλληλο για ακραίες διαβρωτικές συνθήκες, με υψηλή συγκέντρωση θεικών.

Το λευκό τσιμέντο CEM I 52,5 R είναι κατάλληλο για εφαρμογή σοβά (τελευταία στρώση), καθώς και για όλες τις εφαρμογές σκυροδέματος, που απαιτείται λευκό χρώμα.

Το CEMII/B-L 32,5R είναι τσιμέντο τύπου Πόρτλαντ με ασβεστόλιθο με αυξημένες πρώιμες αντοχές. Είναι κατάλληλο για όλες τις οικοδομικές εφαρμογές όπως σοβάτισμα, γέμισμα δαπέδων, συνδετικά κονιάματα και σκυροδέματα.

Το CEM II/B-M (P-W-L) 42,5 N είναι ένα τσιμέντο Πόρτλαντ ιπτάμενης τέφρας - ποζολάνης - ασβεστόλιθου ειδικά κατάλληλο για έργα πολιτικού μηχανικού, οικοδομικά έργα, έτοιμο σκυρόδεμα και προϊόντα σκυροδέματος. Σε σύγκριση με το τσιμέντο CEM I είναι ανθεκτικότερο στην προσβολή θεικών και έχει χαμηλότερη θερμότητα ενυδάτωσης

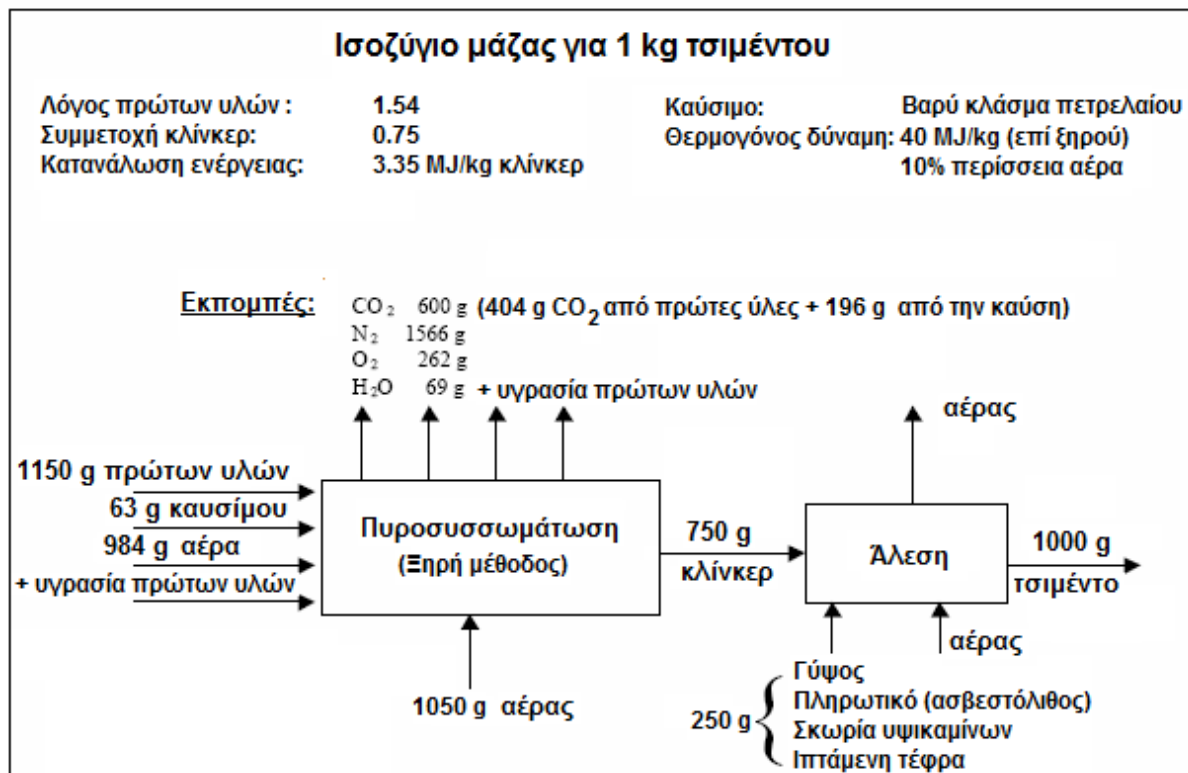
Το CEM II/A-P 42,5 N είναι τσιμέντο Πόρτλαντ με ποζολάνη ειδικά κατάλληλο για έργα πολιτικού μηχανικού, οικοδομικά έργα, έτοιμο σκυρόδεμα και προϊόντα σκυροδέματος. Σε

σύγκριση με το τσιμέντο CEM I είναι ανθεκτικότερο σε προσβολή θεικών και έχει χαμηλότερη θερμότητα ενυδάτωσης

Το CEM IV/B(P-W) 32,5 R είναι ένα ποζολανικό τσιμέντο ιπτάμενης τέφρας - ποζολάνης πρώτων αντοχών κατάλληλο για όλες τις οικοδομικές εφαρμογές (έργα πολιτικού μηχανικού, οικοδομικά έργα, έτοιμο σκυρόδεμα και προϊόντα σκυροδέματος)

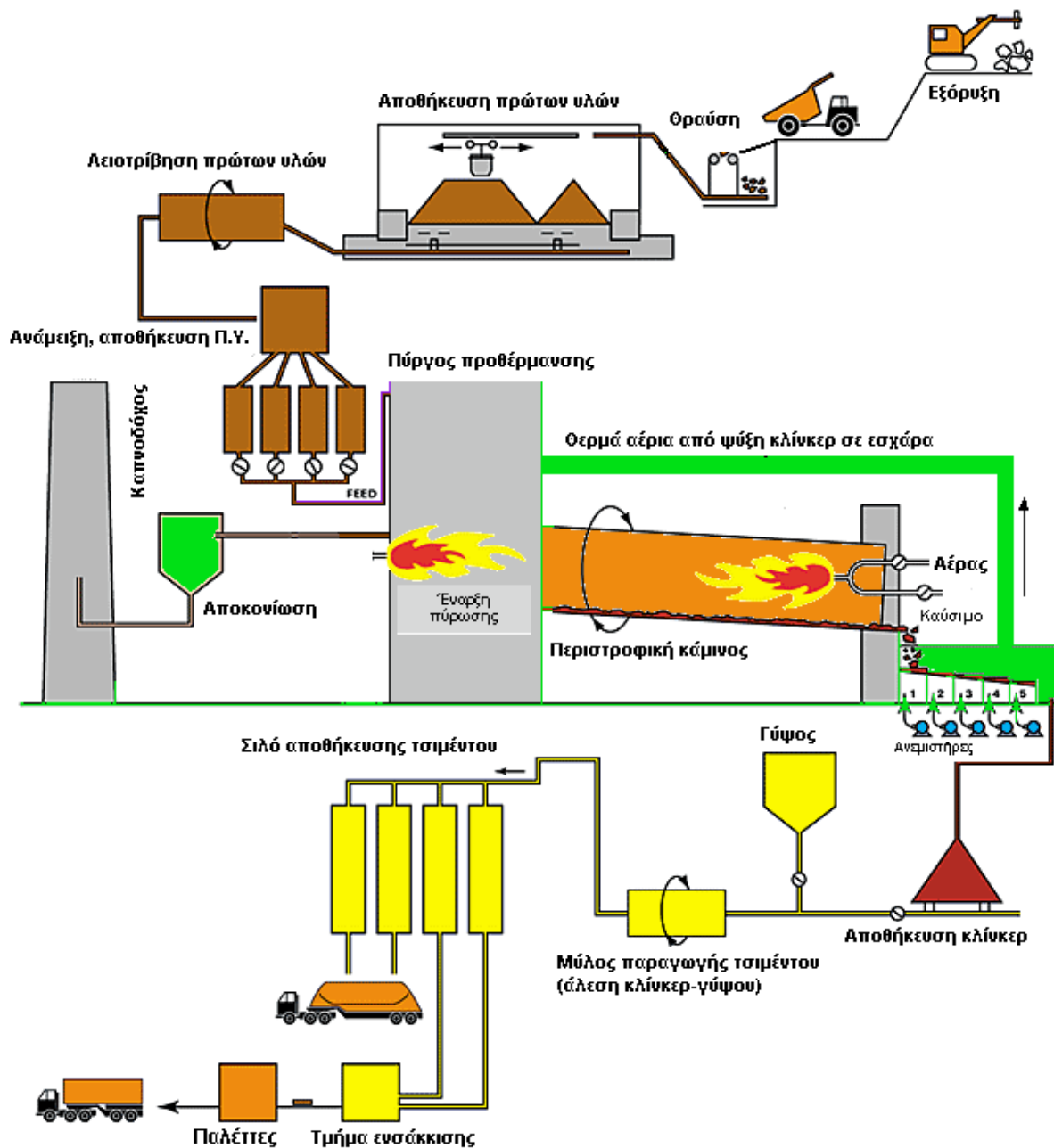
1.2.3. Η παραγωγή του τσιμέντου

Η σημαντικότερη πρώτη ύλη για την παραγωγή του κλίνκερ τσιμέντου είναι τα ασβεστολιθικά πετρώματα, που εξορύσσονται επιφανειακά κοντά στη μονάδα παραγωγής του τσιμέντου. Επειδή, ποσοστό περίπου 80% από τους 1.50-1.65 τόνους πρώτων υλών, που απαιτούνται για την παραγωγή 1 τόνου κλίνκερ, είναι ασβεστολιθικό υλικό, είναι προφανής η αναγκαιότητα γεινίασης της θέσης εξόρυξης ασβεστολιθικών πετρωμάτων και της μονάδας παραγωγής κλίνκερ τσιμέντου. Ενδεικτικό ισοζύγιο πρώτων υλών και οι πρώτες ύλες, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή τσιμέντου, δίνεται στο Σχήμα 1.4.



Το μείγμα των πρώτων υλών (θραυσμένος ασβεστόλιθος (CaO), αργιλικά πετρώματα (Al₂O₃), χαλαζιακά πετρώματα (SiO₂), σιδηρομετάλλευμα (Fe₂O₃), βωξίτης, κ.α.) αναμειγνύονται σε κατάλληλη αναλογία και λειοτριβούνται. Το λειοτριβημένο μείγμα («φαρίνα») υφίσταται πυρομεταλλουργική κατεργασία μέσα σε περιστροφική κάμινο (rotary kiln). Στην περιστροφική κάμινο οι λειοτριβημένες πρώτες ύλες, με χρήση καυσίμων (φυσικό αέριο, πετρέλαιο, γαιάνθρακες ή και εναλλακτικά καύσιμα), θερμαίνονται σε πολύ

υψηλές θερμοκρασίες. Έτσι, με φυσικοχημικές διεργασίες, μετατρέπονται σε ένα υλικό γκριζοπράσινου χρώματος μορφής σφαιριδίων διαμέτρου 10-25 mm, το οποίο ονομάζεται κλίνκερ τσιμέντου. Το κλίνκερ αποτελείται κυρίως από τέσσερις βασικές σύνθετες χημικές ενώσεις (άλατα) σε ποσοστά που βρίσκονται στα παρακάτω όρια και με την εξής χημική σύσταση: 40-80% C_3S (πυριτικό τριασβέστιο, άσπρο), 0-30% C_2S (πυριτικό διασβέστιο, άσπρο), 7-15% C_3A (αργλικό τριασβέστιο, άσπρο) και 4-15% C_4AF (αργλιοσιδηρικό τετρασβέστιο, σκούρο καφέ ή γκριζοπράσινο) όπου χρησιμοποιούνται οι συντομογραφίες $C=CaO$, $S=SiO_2$, $A=Al_2O_3$, $F=Fe_2O_3$ και $H=H_2O$, δηλ. $C_3S = 3CaO \cdot SiO_2$, $C_2S = 2CaO \cdot SiO_2$, $C_3A = 3CaO \cdot Al_2O_3$, $C_4AF = 4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ (Σίδηρης, 1997; Lea & Desch, 1997; Τριανταφύλλου, 2008).



Σχήμα 1.5. Διάγραμμα ροής διεργασιών παραγωγής τσιμέντου (Τσακαλάκης, 2010).

Εκτός τα τέσσερα βασικά συστατικά στο τσιμέντο Portland υπάρχουν σε μικρά ποσοστά:

- Μαγνησία (οξείδιο του μαγνησίου, MgO).
- Οξείδια αλκαλίων (K₂O και Na₂O).
- Γύψος (CaSO₄·2H₂O) σε ποσοστό 2-3% ως ρυθμιστής του χρόνου πήξης του τσιμέντου.

Οι ποσότητες των πρώτων υλών που θα χρησιμοποιηθούν εξαρτώνται από τις χημικές και ορυκτολογικές τους ιδιότητες και από τις ιδιότητες (απαιτήσεις) του κλίνκερ που θα παραχθεί. Μετά τον προσδιορισμό της κατάλληλης σύνθεσης του φορτίου, οι πρώτες ύλες (για ξηρή μέθοδο παραγωγής τσιμέντου) αναμειγνύονται κατάλληλα και ομογενοποιούνται για την παραγωγή ενός ομοιόμορφου μείγματος (φαρίνα) που θα υποστεί ελάττωση μεγέθους (λειοτρίβηση). Η καλή ανάμειξη εξασφαλίζει ομοιόμορφη κατανομή των πρώτων υλών στην τροφοδοσία του κυκλώματος θραύσης και λειοτρίβησης και οδηγεί στην παραγωγή κλίνκερ ομοιόμορφης ποιότητας.

Οι αναλογίες των πρώτων υλών καθορίζονται με τη βοήθεια τριών δεικτών ποιότητας κλίνκερ και συγκεκριμένα του δείκτη κορεσμού σε άσβεστο LSF (Lime Saturation Factor), του πυριτικού δείκτη SR (Silica Ratio) και του αργλικού δείκτη AR (Alumina Ratio). Τα συνήθη όρια μεταβολής των δεικτών είναι 0.92-0.98 για τον LSF, 2.2-2.8 για τον SR και 1.2-2.0 για τον AR (Τσίμας & Τσιβιλής, 2000; Mehta & Monteiro, 2009; Οικονόμου, 2006).

1.2.4. Υδραυλικές ιδιότητες τσιμέντου

Το τσιμέντο που σήμερα αποτελεί το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο υλικό στη δομική βιομηχανία, ανήκει στην κατηγορία των υδραυλικών υλικών, τα οποία σε λεπτόκοκκο διαμερισμό είναι ικανά να πήζουν και να σκληραίνουν, μετά από ανάμειξη με νερό, δίνοντας ένα στερεό προϊόν.

Η ανάμειξη του τσιμέντου με το νερό δίνει αρχικά ένα πολτό (πάστα), πλαστικό και κατεργάσιμο, ο οποίος διατηρεί αυτά τα χαρακτηριστικά για μια λανθάνουσα περίοδο.

Στο τέλος αυτής της περιόδου, ο πολτός παρόλο που είναι ακόμα μαλακός δεν είναι πια κατεργάσιμος (αρχικό πήξιμο). Ακολουθεί μια περίοδος που ο πολτός πήζει και εμφανίζεται σαν ένα δύσκαμπτο στερεό (τελικό πήξιμο), που είναι γνωστό σαν σκληρυνόμενος τσιμεντοπολτός, ο οποίος με την πάροδο του χρόνου συνεχίζει να σκληραίνει και να αναπτύσσει αντοχές (σκληρήνωση).

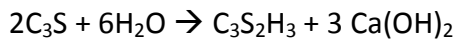
Το πήξιμο και η σκληρήνωση είναι αποτέλεσμα της ενυδάτωσης των συστατικών του τσιμέντου. Η ενυδάτωση του τσιμέντου είναι μια διαδικασία, που συνοδεύεται από έκλυση θερμότητας και περιλαμβάνει ένα σύνολο χημικών και φυσικοχημικών μεταβολών. Είναι μια λειτουργία περισσότερο περίπλοκη από την απλή μετατροπή άνυδρων ενώσεων στις αντίστοιχες ενυδατωμένες, η οποία πραγματοποιείται είτε με ένα μηχανισμό μέσω διαλύματος, είτε με μηχανισμό απευθείας τοποχημικών αντιδράσεων στερεάς κατάστασης.

Σύμφωνα με τον πρώτο μηχανισμό τα αντιδρώντα διαλύονται ή υδρολύονται και δίνουν ιόντα σε διάλυμα, τα οποία συνενώνονται σχηματίζοντας άλλα προϊόντα, τα οποία καταβυθίζονται. Στον δεύτερο μηχανισμό οι αντιδράσεις πραγματοποιούνται απευθείας στην επιφάνεια του στερεού, χωρίς τα συστατικά να μεταφερθούν στο διάλυμα. Κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου είναι πιθανόν να συμβαίνουν και οι δύο μηχανισμοί, κυρίως όμως στα πρώτα στάδια επικρατεί ο μηχανισμός μέσω διαλύματος και στα επόμενα ο μηχανισμός των τοποχημικών αντιδράσεων στερεάς κατάστασης.

Επειδή το τσιμέντο αποτελείται από διαφορετικά συστατικά, με συνέπεια την πραγματοποίηση ταυτόχρονων αντιδράσεων κατά την ενυδάτωσή του, συνηθίζεται να εξετάζεται ανεξάρτητα η ενυδάτωση των επιμέρους συστατικών του (Σ.Τ.Ε., 2016ε).

1. Πυριτικό τριασβέστιο - C_3S

Το πυριτικό τριασβέστιο είναι το κυριότερο συστατικό του κλίνκερ και αυτό που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την πορεία της πήξης και της σκλήρυνσης. Δεν έχει σταθερή σύσταση και δραστικότητα σε όλα τα τσιμέντα, καθώς κατά τον σχηματισμό του ενσωματώνει στο πλέγμα του και άλλα ιόντα, δίνοντας ένα στερεό διάλυμα που ονομάζεται αλίτης. Το προϊόν της ενυδάτωσης σε θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι μια άμορφη φάση, το ένυδρο πυριτικό ασβέστιο ο σχηματισμός του οποίου μπορεί να αποδοθεί ως εξής:

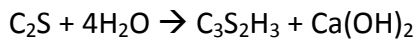


Το υδροξείδιο του ασβεστίου $Ca(OH)_2$ είναι υπεύθυνο για την αλκαλικότητα του πολτού ($pH=12.5$) και συνεπώς την προστασία που αυτή προσφέρει στον σιδηροπλισμό του σκυροδέματος. Το πυριτικό τριασβέστιο προσδίδει στο τσιμέντο πρώιμες και μακροχρόνιες αντοχές.

2. Πυριτικό διασβέστιο - C_2S

Η δραστικότητα του πυριτικού διασβεστίου είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή του πυριτικού τριασβεστίου, ενώ από τις υπάρχουσες μορφές του η β - C_2S , που καλείται μπελίτης είναι η πλέον σημαντική. Η μορφή αυτή είναι μετασταθής σε όλες τις θερμοκρασίες αλλά με την είσοδο ξένων ιόντων στο πλέγμα επιτυγχάνεται σταθεροποίηση της σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

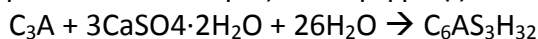
Η ενυδάτωση του πυριτικού διασβεστίου μπορεί να αποδοθεί ως εξής:



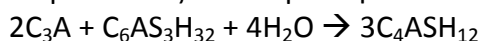
Τα προϊόντα ενυδάτωσης είναι παρόμοια με αυτά του πυριτικού τριασβεστίου με μόνη διαφορά τα μικρότερα ποσοστά υδροξειδίου του ασβεστίου $Ca(OH)_2$. Το πυριτικό διασβέστιο προσδίδει στο τσιμέντο μακροχρόνιες αντοχές.

3. Αργιλικό τριασβέστιο - C_3A

Η αντίδραση του αργιλικού τριασβεστίου με το νερό θα ήταν ταχύτατη και θα προκαλούσε γρήγορο πήξιμο όλου του τσιμέντου, όμως λόγω της γύψου που υπάρχει στο τσιμέντο ενυδατώνεται διαφορετικά από το καθαρό συστατικό. Η αντίδραση του αργιλικού τριασβεστίου με τη γύψο δίνει βελονοειδείς κρυστάλλους ενός ένυδρου θεικού αργιλικού τριασβεστίου που ονομάζεται ετριγγίτης.



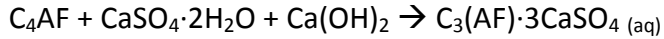
Η επιβραδυντική επίδραση της γύψου αποδίδεται στον σχηματισμό μιας στοιβάδας ετριγγίτη πάνω στην επιφάνεια των κόκκων του αργιλικού τριασβεστίου, η οποία καθυστερεί την ενυδάτωσή του, με αποτέλεσμα το πήξιμο του τσιμέντου να εξαρτάται κύρια από την ενυδάτωση του πυριτικού τριασβεστίου. Όταν καταναλωθεί η γύψος πραγματοποιείται η αντίδραση του C_3A με τον ετριγγίτη και παράγεται μονοθεικό ενυδατωμένο άλας ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται αύξηση του ρυθμού της ενυδάτωσης.



Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος η ενυδάτωση του αργιλικού τριασβεστίου μπορεί να ολοκληρωθεί μετά από διάστημα αρκετών μηνών. Το αργιλικό τριασβέστιο προσδίδει στο τσιμέντο πρώιμες αντοχές.

4. Αργιλοσιδηρικό τετρασβέστιο

Η ενυδάτωση της φάσης του φερρίτη επιβραδύνεται σημαντικά παρουσία γύψου και παριστάνεται κατά προσέγγιση με την αντίδραση:



Το στερεό διάλυμα που προέκυψε με την εξάντληση των θειικών μετατρέπεται σε $C_3(AF) \cdot CaSO_4 (aq)$ και $C_3(AF) \cdot Ca(SO_4(OH)_2) (aq)$



Σχήμα 1.6.α. Πυριτικό τριασβέστιο (C_3S)



Σχήμα 1.6.β. Πυριτικό διασβέστιο (C_2S)



Σχήμα 1.6.γ. Αργιλικό τριασβέστιο (C_3A)



Σχήμα 1.6.δ. Αργιλοσιδηρικό τετρασβέστιο (C_4AF)

Γενικότερα με την προσθήκη νερού στο τσιμέντο τα συστατικά του ενυδατώνονται κυρίως προς ένυδρο πυριτικό ασβέστιο (CSH gel) και υδροξείδιο του ασβεστίου $Ca(OH)_2$, με τα υπόλοιπα προϊόντα να είναι αργιλικά και φερρίτες.

Η πορεία της ενυδάτωσης επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, οι κυριότεροι των οποίων είναι:

A. Ηλικία

Η ταχύτητα ενυδάτωσης αρχικά είναι μέγιστη και βαθμιαία μειώνεται με τον χρόνο, ώσπου να σταματήσει εντελώς.

B. Σύσταση τσιμέντου

Στα πρώτα στάδια η ταχύτητα ενυδάτωσης είναι μεγαλύτερη σε τσιμέντα πλούσια σε C_3S και C_3A , ενώ αργότερα η ενυδάτωση πραγματοποιείται με ίσες ταχύτητες.

Γ. Λεπτότητα

Ο τελικός βαθμός ενυδάτωσης δεν επηρεάζεται, όμως στα πρώτα στάδια αυξάνεται με τη λεπτότητα.

Δ. Λόγος Ν/Τ

Αρχικά δεν επηρεάζει την ταχύτητα ενυδάτωσης, αλλά όσο μικρότερος είναι ο λόγος Ν/Τ τόσο πιο σύντομα αρχίζει να ελαττώνεται. Άρα ο τελικός βαθμός ενυδάτωσης μειώνεται με τη μείωση του λόγου Ν/Τ.

Ε. Θερμοκρασία

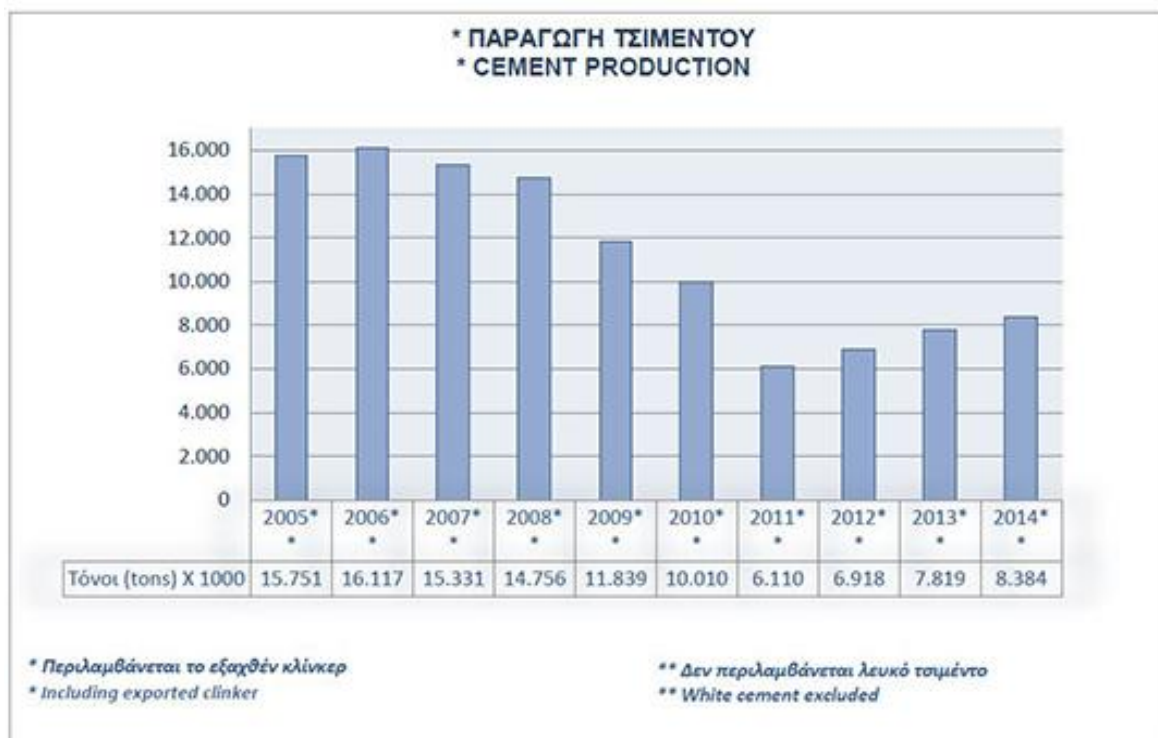
Η ταχύτητα ενυδάτωσης αρχικά αυξάνει με τη θερμοκρασία του τσιμεντοπολτού, χωρίς όμως να επηρεάζεται ο τελικός βαθμός ενυδάτωσης.

ΣΤ. Πρόσμικτα

Υπάρχουν υλικά που επιβραδύνουν την ενυδάτωση (σάκχαρα, λιγνοσουλφονικό οξύ κ.α.), και άλλα που την επιταχύνουν (χλωριούχο ασβέστιο κ.α.).

1.2.5. Στατιστικά στοιχεία

Η ετήσια παραγωγή της ελληνικής τσιμεντοβιομηχανίας ανήλθε το 2006 σε 16.1 εκατ. τόνους τσιμέντου. Το 35.8 % της παραγωγής (5.77 εκατ. τόνοι) εξήχθη σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στις Η.Π.Α. και τις χώρες της Μ. Ανατολής και της Αφρικής, ενώ το 64.2% (10.35 εκατ. τόνοι) διατίθεται στην ελληνική αγορά. Από το διατιθέμενο τσιμέντο στην ελληνική αγορά (Ι.Ο.Β.Ε, Ινστιτούτο Οικονομικών και Βιομηχανικών Ερευνών), ποσοστό 70% (7.25 εκατ. τόνοι) διατίθεται χύμα και 30% (3.1 εκατ. τόνοι) ενσασκισμένο. Το 80% (5.8 εκατ. τόνοι περίπου) του διατιθέμενου «χύμα» τσιμέντου στην ελληνική αγορά απορροφάται από τις εταιρείες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος και κονιαμάτων, το 12-15% από τις κατασκευαστικές εταιρείες και το 5-8% από τις μονάδες παραγωγής προϊόντων τσιμέντου (Τσακαλάκης, 2010).



Σχήμα 1.7. Παραγωγή τσιμέντου σε τόνους στην Ελλάδα κατά τα έτη 2005-2014 (Σ.Τ.Ε., 2016f).

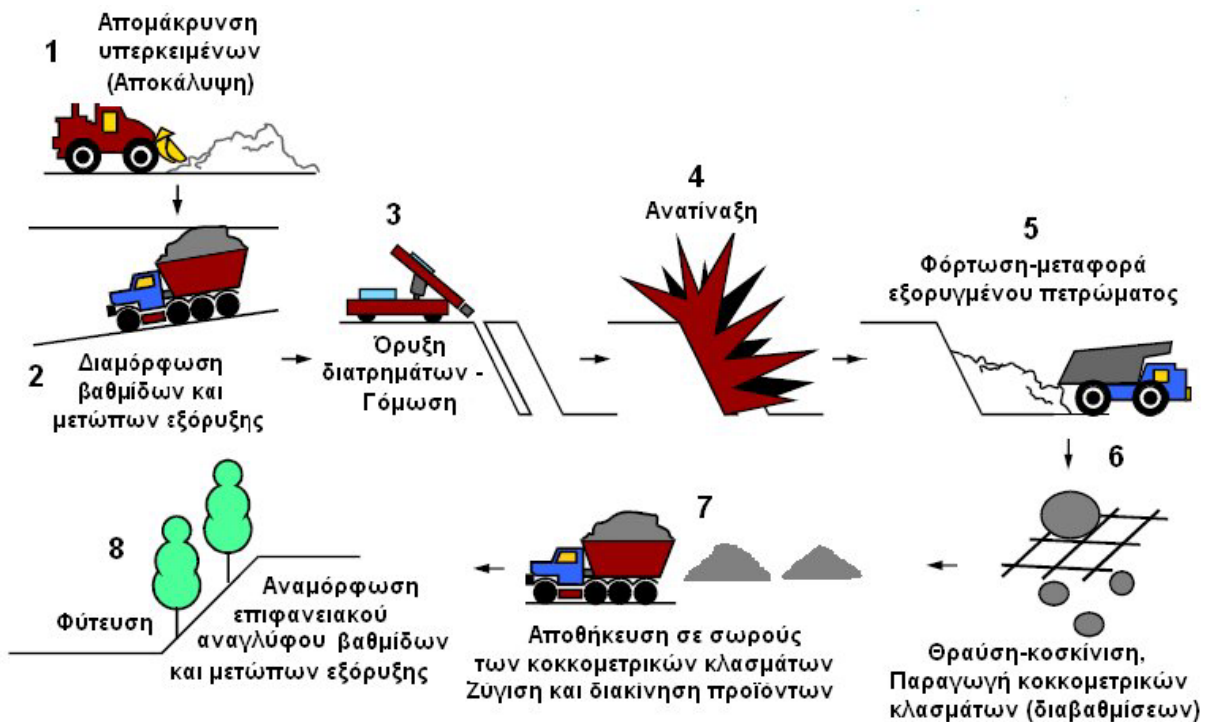
1.3. Τα αδρανή

1.3.1. Εισαγωγή

Αδρανή είναι τα διαβαθμισμένα, ορυκτής ή βιομηχανικής προέλευσης, υλικά που χρησιμοποιούνται είτε με συγκολλητικό μέσο (για παρασκευή κονιαμάτων, σκυροδεμάτων, ασφαλτομιγμάτων κλπ) είτε αυτούσια (έρμα σιδηροδρομικών γραμμών, στραγγιστηρίων, φίλτρων διηθήσεως ή καθαρισμού, βράχοι θωράκισης, κλπ), σε πάσης φύσεως τεχνικά έργα. Τα αδρανή δεν παρουσιάζουν χημικές συνδετικές ιδιότητες μεταξύ τους, παρά μόνο φυσική συνοχή λόγω της γεωμετρικής ταξινόμησης των κόκκων τους και του βάρους τους. Επίσης, σύμφωνα με την κλασική αντίληψη, δεν αντιδρούν χημικά με το συγκολλητικό μέσο παρά μόνο συγκρατούνται από αυτό (ΤΕΕ, 2004c; Portland Cement Association, 2016).

Τα αδρανή στην Ελλάδα είναι χημικώς αδρανή τεμάχια ασβεστολιθικών κυρίως πετρωμάτων τα οποία χρησιμοποιούνται στην παραγωγή σκυροδέματος και ως υλικά οδοστρώσεως, ενώ τα μεγάλοι μεγέθους τεμαχίων ως σκύρα σιδηροδρομικών γραμμών.

Η διαδοχή φάσεων παραγωγής αδρανών υλικών δίνεται στο σχήμα 1.8.



Σχήμα 1.8. Αλληλουχία φάσεων εξόρυξης και παραγωγής αδρανών υλικών (Τσακαλάκης, 2010).

Η κύρια χρήση των αδρανών είναι στην παραγωγή σκυροδέματος. Αυτά, λόγω γωνιώδους και ακανόνιστου σχήματος συνδέονται μεταξύ τους και συγκρατούνται στο σκυρόδεμα με τη βοήθεια της τσιμεντόπαστας (μείγμα τσιμέντου και νερού). Όμως, επειδή το τσιμέντο είναι πολύ ακριβό ως υλικό (μεγάλο κόστος παραγωγής), η περιεχόμενη ποσότητά του στο σκυρόδεμα πρέπει να ελαχιστοποιείται υπό την προϋπόθεση βέβαια διατήρησης ικανοποιητικής της αντοχής του.

Το 70-80% κατά βάρος (ή 60-75% του όγκου) του σκυροδέματος αποτελείται από αδρανή, γεγονός που συμβάλλει στο να διατηρείται χαμηλό το κόστος του σκυροδέματος,

επειδή τα αδρανή είναι σχετικώς φθηνά υλικά, τόσο ως πρώτη ύλη όσο και ως διαδικασία παραγωγής. Δρουν δηλαδή ως «πληρωτικά» στο σκυρόδεμα.

Αυτό δεν είναι το μοναδικό πλεονέκτημα από τη χρήση αδρανών. Τα αδρανή, εκτός των άλλων, προσφέρουν αξιόλογα πλεονεκτήματα και από τεχνικής άποψης στο σκυρόδεμα. Επηρεάζουν θετικά τη στατική συμπεριφορά των κατασκευών από σκυρόδεμα, εξασφαλίζουν μεγάλη “σταθερότητα όγκου” και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των κατασκευών σε σχέση με την περίπτωση χρήσης μόνο τσιμεντοκονιάματος. Είναι λιγότερο παραμορφώσιμα σε σχέση με την τσιμεντόπαστα και αντιστέκονται στη διάδοση και ανάπτυξη των μικρορωγματώσεων που προκαλούνται από τη συστολή ξήρανσης.

Τα αδρανή υλικά θα πρέπει να ικανοποιούν ορισμένες απαιτήσεις για να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν στο σκυρόδεμα. Θα πρέπει να αποτελούνται από κόκκους υγιείς, σκληρούς ανθεκτικούς απαλλαγμένους από βλαπτικές αργυλικές προσμίξεις, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν τόσο την ενυδάτωση του τσιμέντου όσο και την πρόσφυση των κόκκων των αδρανών με την τσιμεντόπαστα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η φύση των δεσμών που αναπτύσσονται στη διεπιφάνεια αδρανών και τσιμεντόπαστας οδηγούν στις μηχανικές αντοχές του σκυροδέματος.

Τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά (προδιαγραφές αντοχής και χρήσης) του σκυροδέματος καθορίζουν τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά των αδρανών που πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Η εκλογή του αδρανούς είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τη σύνθεση και την ποιότητα του σκυροδέματος, ο οποίος πρέπει να εξετάζεται σε συνάρτηση με τις επιδιωκόμενες απαιτήσεις, και ιδιαίτερα λαμβάνοντας υπόψη την ανθεκτικότητα.

Είναι γνωστό ότι, χαμηλής πυκνότητας αδρανή με μεγάλο πορώδες παράγουν ασθενές (χαμηλής αντοχής) σκυρόδεμα με μικρή αντίσταση σε φθορά, ενώ μεγάλης πυκνότητας και σκληρά αδρανή συμβάλλουν στην παραγωγή σκυροδέματος μεγάλης αντοχής (σε θλίψη και εκτριβή) (Τσακαλάκης, 2010).

1.3.2. Κατηγορίες αδρανών

Τα αδρανή που συμμετέχουν στην παραγωγή σκυροδέματος πρέπει να είναι καθαρά, χωρίς επιφανειακή σκόνη, άργιλο και οργανικές ύλες, σκληρά και μεγάλης αντοχής. Διακρίνονται σε κατηγορίες (Ρούτουλας, et al., 2011):

1. Με βάση την προέλευσή τους, σε (σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12620 για αδρανή σκυροδέματος):

- Φυσικής προέλευσης
- Τεχνητά ή βιομηχανικά
- Ανακυκλωμένα.

Φυσικής προέλευσης είναι τα αδρανή τα οποία έχουν ληφθεί από το φυσικό περιβάλλον και έχουν υποστεί μόνο μηχανική επεξεργασία θραύσης, πλυσίματος και διαλογής (π.χ. θραυστά πετρώματα, αλλουβιακοί σχηματισμοί, ποταμίσιες λιμναίες ή θαλάσσιες αποθέσεις, αποθέσεις άμμων ή χαλικιών, λάβα, ηφαιστειακοί τόφφοι, λατομικά προϊόντα κλπ).

Τεχνητά ή βιομηχανικά είναι τα αδρανή που έχουν προκύψει ως προϊόντα ή παραπροϊόντα βιομηχανικής δραστηριότητας από χημική ή θερμική επεξεργασία πρώτων υλών ορυκτής ή άλλης προέλευσης (π.χ. τέφρες, σκωρίες, υπολείμματα καύσεων, άργιλοι, βερμικουλίτης, περλίτης, υλικά στίλβωσης, κλπ).

Ανακυκλωμένα είναι τα αδρανή που προκύπτουν από την επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση δομικών υλικών από υφιστάμενες κατασκευές (υλικά κατεδαφίσεως σκυροδέματος, τοιχοποιίας, ασφαλτικών έργων κλπ).

2. Με βάση την πηγή λήψης τους, σε:

- Φυσικά ή συλλεκτά αδρανή
- Αδρανή λατομείων

Οι παραπάνω κατηγορίες αναφέρονται στα πρωτογενή αδρανή φυσικής προέλευσης, ανεξάρτητα αν ακολουθεί άλλη κατεργασία που μπορεί να τα μετατρέψει σε τεχνητά – βιομηχανικά.

Φυσικά ή συλλεκτά ονομάζονται τα αδρανή που λαμβάνονται από φυσικές αποθέσεις (π.χ. ποτάμια, ορυχεία κτλ.). Χρησιμοποιούνται όπως είναι, ή χρειάζονται περαιτέρω επεξεργασία ανάλογα με τις απαιτήσεις (π.χ. θραύση, πλύσιμο, κτλ.). Τα φυσικά αδρανή μπορεί να έχουν αργιλική παιπάλη, οπότε ελέγχονται για την παρουσία της. Επειδή η τυποποίηση των φυσικών αδρανών είναι δύσκολη και η βελτίωση των ιδιοτήτων τους αντιοικονομική, η χρήση των φυσικών αδρανών είναι πλέον περιορισμένη.

Αδρανή λατομείων ονομάζονται τα αδρανή που προκύπτουν από εξόρυξη και θραύση όγκων πετρώματος. Πρόκειται για την κύρια κατηγορία αδρανών υλικών που χρησιμοποιούνται στον Ελλαδικό χώρο και ως προς τη χημική τους σύσταση είναι κυρίως ασβεστολιθικής και σπανιότερα πυριτικής προέλευσης.

3. Το ειδικό τους βάρος, σε:

- Κανονικού ειδικού βάρους
- Ελαφροβαρή
- Βαριά

Κανονικού ειδικού βάρους είναι τα αδρανή με ειδικό βάρος από 2000 – 3000 kg/m³. Είναι τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα αδρανή για τεχνικά έργα (ασφαλτικά, οδοστρώσις, παραγωγή σκυροδέματος, κονιαμάτων, κτλ).

Ελαφροβαρή είναι τα αδρανή με ειδικό βάρος <2000 kg/m³. Χρησιμοποιούνται κυρίως για ελαφροβαρή θερμομονωτικά σκυροδέματα ή κονιάματα.

Βαριά είναι τα αδρανή με ειδικό βάρος >3000 kg/m³. Έχουν ειδικές χρήσεις (π.χ. κατασκευές από σκυρόδεμα για προστασία από την ακτινοβολία κλπ).

4. Το μέγεθος των κόκκων τους, σε (σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12620 για αδρανή σκυροδέματος):

- Χονδρόκοκκα
- Λεπτόκοκκα
- Filler

Λεπτόκοκκα είναι τα αδρανή με μέγιστο μέγεθος κόκκου 4 mm (διάφορα είδη άμμων).

Χονδρόκοκκα είναι τα αδρανή με μέγιστο μέγεθος κόκκου >4 mm, και ελάχιστο >2 mm (ογκόλιθοι, κροκάλες, έρμα, χαλίκι, γαρμπίλι, ρυζάκι).

Filler ή παιπάλη είναι το διαβαθμισμένο λεπτομερές αδρανές υλικό με μέγιστο κόκκο 2 mm, και το οποίο διέρχεται σε ποσοστό 70-100% από το κόσκινο 0,063 mm.

Τα αδρανή που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή σκυροδέματος έχουν διάφορα μεγέθη και ακανόνιστο σχήμα. Κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθός τους, συνήθως ως εξής:

Άμμος: μέσο μέγεθος κόκκων έως 8 mm ή 3/8" (=9,5 mm) (χονδρόκοκκη) και έως 4 mm (λεπτόκοκκη),

Γαρμπίλι: μέσο μέγεθος κόκκων από 5 έως 12,5 mm (λεπτόκοκκο ή χονδρόκοκκο),

Σκύρα: μέσο μέγεθος κόκκων από 12,5 έως 38 mm ή ακόμη μεγαλύτερα.

1.3.3. Ιδιότητες των αδρανών

Η καταλληλότητα των αδρανών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή σκυροδέματος προδιαγράφεται από τις απαιτήσεις του ΕΛΟΤ 408 και του ΚΤΣ -97, ενώ αντίστοιχα η καταλληλότητα των αδρανών σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές Προδιαγραφές καθορίζεται στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN12620. Οι ιδιότητες που πρέπει να πληρούν ελέγχονται ως προς τα εξής χαρακτηριστικά (Μπεάζη-Κατσιώτη, 2008; Λίτινας, 2008):

1) Γεωμετρικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τη σύνθεση και την αντλησιμότητα του σκυροδέματος (η συνολική επιφάνεια των αδρανών, το μέγεθος των κόκκων, το σχήμα του κόκκου). Το μέγεθος του κόκκου d είναι ανάλογο με τη μικρότερη διάσταση D του στοιχείου της κατασκευής που θα σκυροδετηθεί. Πρέπει $D/5 < d < D/3$. Ανάλογα με το σχήμα τους οι κόκκοι διακρίνονται σε σφαιρικούς, γωνιώδεις, πλακοειδείς επιμήκεις ή κυβικούς. Τα γωνιώδη αδρανή χρειάζονται μεγαλύτερη ποσότητα τσιμεντοπολτού σε σχέση με τα σφαιρικά για την ίδια εργασιμότητα του σκυροδέματος, αλλά παρουσιάζουν καλύτερη συνοχή μεταξύ τους και καλλίτερη πρόσφυση με το κονίαμα.

2) Φυσικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την αντοχή και την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

α) Αντοχή μητρικού πετρώματος

Το μητρικό πέτρωμα βάσει του κανονισμού πρέπει να έχει θλιπτική αντοχή τουλάχιστον 65 MPa (ΕΛΟΤ 408), αλλά ο ΚΤΣ προβλέπει δυνατότητα χρήσης και χαμηλότερης αντοχής εφόσον από τη μελέτη σύνθεσης αποδειχθεί ότι επιτυγχάνεται η απαιτούμενη αντοχή και ανθεκτικότητα του σκυροδέματος για το έργο που προορίζονται. Στο EN12620 δεν υπάρχει απαίτηση για έλεγχο αντοχής μητρικού πετρώματος.

β) Αντοχή σε επιφανειακή φθορά και κρούση

Για τα φυσικά αδρανή, στα οποία ο προσδιορισμός της αντοχής μητρικού πετρώματος είναι αδύνατη, η δοκιμή αυτή προσδιορίζει την καταλληλότητά τους στο σκυρόδεμα, εφόσον το αποτέλεσμα ελέγχου με τη μέθοδο Los Angeles δεν υπερβαίνει το 40%. Στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN12620 υπάρχουν κατηγορίες αντίστασης σε θρυμματισμό (προσδιορίζεται με τη μέθοδο της αντοχής σε Los Angeles) και είναι από 15 - 50).

γ) Ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση (υγεία)

Η σταθερότητα του όγκου και η μη απώλεια υλικού λόγω ύγρανσης, ξήρανσης, ψύξης - απόψυξης είναι προϋποθέσεις για τα αδρανή στο σκυρόδεμα. Η ανθεκτικότητα προσδιορίζεται είτε με την επίδραση διαλυμάτων θεικών αλάτων (Κατά ΚΤΣ 97 συνήθως χρησιμοποιείται το NaSO_4 ενώ στο ΕΛΟΤ EN12620 μόνο το MgSO_4) είτε με εναλλαγή σε κύκλους ψύξης - απόψυξης.

δ) Ειδικό βάρος διακρίνονται σε απόλυτο, φαινόμενο και μικτό με στόχο τη μέτρηση των κενών

Οι τιμές του ειδικού βάρους για τα αδρανή του σκυροδέματος πρέπει να βρίσκονται μεταξύ 2,4 και 3,0. Στο ΕΛΟΤ EN12620 δεν υπολογίζονται ειδικά βάρη αλλά πυκνότητα

αδρανών, ενώ δεν δίνονται όρια πυκνότητας για τα αδρανή που ενσωματώνονται στο σκυρόδεμα.

ε) Πορώδες

Σημαντική ιδιότητα που είναι σε αντίστροφη αναλογία με την αντοχή και την ανθεκτικότητα τους. Η τιμή του προσδιορίζεται με τη μέτρηση της υδατοαπορροφητικότητάς τους. Η δοκιμή προσδιορισμού της υδατοαπορροφητικότητας σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN12620 παρουσιάζει διαφορές σε σχέση με την αντίστοιχη του ASTM. Έτσι για τον προσδιορισμό της υδατοαπορροφητικότητας των λεπτόκοκκων υλικών κατά EN, πρέπει προηγουμένως να έχει πλυθεί το υλικό στο κόσκινο των 0,063mm, και μετά να γίνει η δοκιμή, ενώ στο ASTM συμμετέχει και η παιπάλη στον υπολογισμό της υδατοαπορροφητικότητας του υλικού. Αντίστοιχα για τον υπολογισμό της υδατοαπορροφητικότητας των χονδρόκοκκων υλικών το μεν ASTM προδιαγράφει ότι το υλικό είναι σε κορεσμένη και επιφανειακά ξηρή κατάσταση όταν φαίνεται ένα φιλμ νερού πάνω στον κόκκο, ενώ αντιθέτως στο EN όταν δεν υπάρχει αυτό το φιλμ.

στ) Κοκκομετρική διαβάθμιση, δηλαδή την επί της % σύνθεση του αδρανούς σε κόκκους διαφόρων μεγεθών

Τα αδρανή ανάλογα με το μέγεθος τους κατατάσσονται σε 4 βασικές κατηγορίες α) Άμμος (0-4 mm), β) Ρυζάκι (4-8 mm), γ) Γαρμπίλι (8-16 mm) και δ) Χαλίκι (16-31,5 mm). Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12620 καθιερώνει εκτός των βασικών κόσκινων της σειράς DIN την οποία υιοθετεί και ενδιάμεσα κόσκινα, ενώ καταργεί τα Αμερικάνικα κόσκινα και ορίζει την παιπάλη ως το διερχόμενο ποσοστό στο κόσκινο 0,063 αντί 0,075mm.

3) Φυσικά - Χημικά χαρακτηριστικά (καθαρότητα). Δεν πρέπει να επηρεάζουν δυσμενώς α) την πήξη, β) τη σκλήρυνση, γ) την αντοχή, δ) τη σταθερότητα του όγκου και ε) την προστασία του οπλισμού από τη διάβρωση. Οι παρακάτω ενώσεις θεωρούνται επιβλαβείς:

α) Ενώσεις θείου (ανυδρίτης γύψος) προκαλεί διόγκωση. Η περιεκτικότητα σε SO₃ πρέπει να είναι < 1%.

β) Ενώσεις σιδήρου, προκαλούν διόγκωση και κηλίδες.

γ) Νιτρικά άλατα και αλογόνα, προκαλούν διάβρωση. Η περιεκτικότητα σε Cl πρέπει να είναι < 0,2%.

δ) Ενώσεις του μολύβδου ή του ψευδαργύρου, προκαλούν επιτάχυνση ή επιβράδυνση με μείωση της αντοχής.

ε) Χλωριούχες ή φωσφορικές ενώσεις, επιδρούν στον χρόνο πήξης.

στ) Πυριτικές άργιλοι (ασβεστίου, νατρίου, καλίου).

ζ) Αποσαθρώσιμα συστατικά (αργιλικόι σχιστόλιθοι), προκαλούν μείωση αντοχής.

η) Οργανικά, προκαλούν μείωση αντοχής και καθυστέρηση στην πήξη.

θ) Γαϊάνθρακες ή λιγνίτες, προκαλούν μείωση αντοχής. Η περιεκτικότητά τους πρέπει να είναι < 1%.

ι) Κερατόλιθοι (ε.β. <2,35), να μην υπερβαίνουν το 5%.

Επίσης οι προδιαγραφές συνιστούν να αποφεύγονται πετρώματα με συστατικά που περιέχουν: Οπάλιο, ανδεσίτη, ρυόλιθο και δολομίτες γιατί προκαλούν διόγκωση και ζεόλιθους λόγω αντίδρασης με τα αλκάλια του τσιμέντου.

Τα μεγέθη των τεμαχίων των αδρανών σκυροδέματος, κυμαίνονται από μερικές δεκάδες mm μέχρι μεγεθών περίπου 1/10 mm. Το μέγιστο μέγεθος αδρανών που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές από σκυρόδεμα ποικίλει και εξαρτάται από την κατασκευή στην οποία θα χρησιμοποιηθούν. Σε ένα μίγμα τεμαχίων (σύνθεση διαφορετικών μεγεθών) αδρανών, η ποσοστιαία % κατά βάρος κατανομή μεγέθους των

τεμαχίων αναφέρεται ως “διαβάθμιση” (grading) και περιλαμβάνει επίσης ιδιότητες που δεν έχουν άμεση σχέση με το μητρικό πέτρωμα όπως:

1. Μέγεθος και σχήμα τεμαχίων
2. Επιφανειακή δομή (υφή)
3. Απορροφητικότητα (πορώδες αδρανών)
4. Κατάσταση κορεσμού των τεμαχίων.

1.3.4. Η κίσηρη

Η **ελληνική κίσηρη ή ελαφρόπετρα** εξορύσσεται στη νήσο **Γυαλί** και είναι ένα χημικά αδρανές πορώδες ηφαιστειογενές ορυκτό, το οποίο δημιουργήθηκε από υποθαλάσσια έκρηξη ηφαιστείου της ευρύτερης περιοχής της Νισύρου πριν από 10.000 χρόνια. Ο όγκος των πόρων μπορεί να καταλαμβάνει το 50% του συνολικού όγκου. Το πορώδες του υλικού οφείλεται στα κενά που προκαλούνται από τη διαφυγή ατμού κατά την ψύξη της λάβας (ΛΑΒΑ, 2016).



α) 0-3 mm Special Besser, β) 0-8 mm Besser



γ) 2-10 mm Rice



δ) 0-16 mm German



ε) 16-10 mm Stone Wash

Σχήμα 1.9. Κοκκομετρική διαβάθμιση κίσηρης.

Εξαιτίας των φυσικών ιδιοτήτων της, η κίσηρη ως φυσική πρώτη ύλη είναι:

- Φιλική προς το περιβάλλον
- Θερμομονωτική
- Ηχοαπορροφητική
- Άκαυστη.

Επίσης έχει:

- Ομοιογενή ποιότητα
- Λευκό χρώμα
- Μεγάλη μηχανική αντοχή
- Χαμηλό Ειδικό Βάρος.

Ως μειονέκτημα αναφέρεται ότι αποσαθρωμένα τεμάχια δημιουργούν προβλήματα διόγκωσης και μείωσης αντοχής (Τ.Ε.Ε., 2004c).

Για τα ελαφροβαρή αδρανή για σκυροδέματα υπάρχει το ευρωπαϊκό πρότυπο CE EN 13055-1:2001 (ελαφροβαρή αδρανή για σκυροδέματα, κονιάματα και ενέματα).

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται η τυπική χημική σύσταση της κίσηρης.

Πίνακας 1.7. Τυπική χημική σύσταση της κίσηρης

Οξείδιο του Πυριτίου SiO ₂	71.91%
Οξείδιο του Αργιλίου Al ₂ O ₃	12.66%
Τριοξείδιο του Σιδήρου Fe ₂ O ₃	1.13%
Οξείδιο του Ασβεστίου CaO	1.46%
Οξείδιο του Μαγνησίου MgO	0.32%
Τριοξείδιο του Θείου SO ₃	0.03%
Οξείδιο του Καλίου K ₂ O	4.30%
Οξείδιο του Νατρίου Na ₂ O	3.45%
Απώλεια Πυρώσεως	4.53%
Απροσδιόριστα	0.21%
	100.00%

1.4. Το νερό

Το νερό που προστίθεται στο τσιμέντο για τη δημιουργία της τσιμεντόπαστας, είναι απαραίτητο για τις αντιδράσεις ενυδάτωσης του τσιμέντου, οπότε ξεκινούν η πήξη και σκλήρυνση του σκυροδέματος με ταυτόχρονη έκλυση θερμότητας. Η ποιότητα και η ποσότητα του νερού επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητα του σκυροδέματος. Το νερό δεν πρέπει να περιέχει ουσίες που μπορούν να βλάψουν ή να επηρεάσουν τις αντιδράσεις ενυδάτωσης ή να προκαλέσουν διάβρωση του εγκιβωτισμένου οπλισμού.

1.4.1. Ποιότητα Νερού

Το νερό ανάμιξης που χρησιμοποιείται στην παραγωγή σκυροδέματος πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN 1008. Στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1008 γίνεται διάκριση «τύπων νερού», ανάλογα με την προέλευση του νερού. Συγκεκριμένα αναφέρεται ότι μπορεί να διακριθούν οι ακόλουθοι «τύποι νερού»: πόσιμο νερό, νερό που ανακτάται από τις διάφορες διεργασίες στη μονάδα παραγωγής σκυροδέματος, υπόγειο νερό, επιφανειακό νερό και νερό βιομηχανικών αποβλήτων, θαλασσινό νερό ή υφάλμυρο νερό, νερό αποχετεύσεων. Νερό που είναι αποδεδειγμένα πόσιμο, όπως είναι αυτό που προέρχεται από το δίκτυο ύδρευσης, θεωρείται κατάλληλο και δεν χρειάζεται έλεγχο. Νερό άλλης προέλευσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο εφ' όσον ελεγχθεί και διαπιστωθεί ότι πληρούνται οι απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ 1008.

Οι έλεγχοι που γίνονται στο νερό είναι (Sika, 2007):

Το νερό πρέπει πρώτα να αναλυθεί για ίχνη λιπαρών ουσιών και ελαίων, αφρογόνες ουσίες (απορρυπαντικά), αιωρούμενα συστατικά, οσμές (π.χ. χωρίς οσμή υδρόθειου μετά από προσθήκη υδροχλωρικού οξέος), οξύτητα (pH ≥ 4) και χουμικές ενώσεις.

Το περιεχόμενο του νερού σε χλώριο δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 500 mg/l, εάν πρόκειται για προεντεταμένο σκυρόδεμα ή κονίαμα χυτών αγκυρώσεων, τα 1000 mg/l για σκυρόδεμα με οπλισμό ή εμβαπτισμένα μεταλλικά στοιχεία τα επίπεδα ή τέλος τα 4500 mg/l για σκυρόδεμα χωρίς οπλισμό ή εμβαπτισμένα μεταλλικά στοιχεία.

Το περιεχόμενο του νερού σε θειικά δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2000 mg/l.

Σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται στο σκυρόδεμα αδρανή ευαίσθητα σε αλκάλια, πρέπει να ελέγχεται το περιεχόμενο του νερού σε αλκάλια. Το περιεχόμενο σε αλκάλια (ισοδύναμο Na_2O) δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 1500 mg/l. Σε περίπτωση που το όριο αυτό ξεπεραστεί, το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε περίπτωση που αποδειχθεί ότι έχουν ληφθεί κατάλληλα μέτρα για να αποτραπούν οι επιζήμιες αντιδράσεις αλκαλίων-αδρανών.

Τέλος το νερό ελέγχεται για επιβλαβείς ρύπους, οπότε διεξάγονται ποιοτικοί έλεγχοι για σάκχαρα, φωσφορικά οξείδια, νιτρικά οξέα, μόλυβδο και ψευδάργυρο. Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα είναι θετικά πρέπει είτε να καθοριστεί το περιεχόμενο ποσοστό της εντοπισμένης ουσίας, είτε να διεξαχθούν έλεγχοι για τον χρόνο πήξης και τη θλιπτική αντοχή. Τα όρια ουσιών κατά τη χημική ανάλυση είναι:

Σάκχαρα 100 mg/l

Φωσφορικά άλατα, εκφρασμένα σε P_2O_5 100 mg/l

Νιτρικά άλατα, εκφρασμένα σε NO^- 3500 mg/l

Μόλυβδος, εκφρασμένος σε Pb^{2+} 100 mg/l

Ψευδάργυρος, εκφρασμένος σε Zn^{2+} 100 mg/l

Η αρχή της πήξης κατά τον έλεγχο των δοκιμών με το νερό πρέπει να γίνει το νωρίτερο σε 1 ώρα και δεν πρέπει να διαφέρει περισσότερο από 25% από τον αρχικό χρόνο πήξης σε δοκίμια με απιονισμένο ή απεσταγμένο νερό. Η ολοκλήρωση της πήξης δεν πρέπει να ξεπερνά τις 12 ώρες και δεν πρέπει να διαφέρει περισσότερο από 25% από τον χρόνο ολοκλήρωσης της πήξης σε δοκίμια με απιονισμένο ή απεσταγμένο νερό.

Η μέση θλιπτική αντοχή μετά από 7 ημέρες σε δοκίμια που έχουν παραχθεί με τη συγκεκριμένη ποιότητα νερού πρέπει να φτάνει τουλάχιστον το 90% της θλιπτικής αντοχής αντίστοιχων δοκιμών που έχουν παραχθεί με απιονισμένο ή απεσταγμένο νερό.

Το νερό μπορεί να θερμανθεί κατά την ανάμιξη ή να ψυχθεί (παγάκια) για να επιτευχθεί η σωστή θερμοκρασία του σκυροδέματος κατά την παράδοση, όταν πρέπει να γίνει σκυροδέτηση σε κρύο ή ζεστό καιρό αντίστοιχα ($5^\circ\text{C} \leq T \leq 32^\circ\text{C}$) (Ζέρης, 2013).

Τέλος, τα νερά που δρουν εξωτερικά και μόνιμα στο σκυρόδεμα, όπως το θαλάσσιο νερό ή τα νερά των αποχετεύσεων, επηρεάζουν σημαντικά το σκυρόδεμα εφόσον η δράση τους είναι μόνιμη και η ποσότητα των επιβλαβών ουσιών ανεξάντλητη, αφού τα νερά αυτά ανανεώνονται συνεχώς (Ζαχαροπούλου, 2014).

1.4.2. Λόγος νερού προς τσιμέντο

Ο λόγος νερού / τσιμέντο (N/T ή W/C), είναι ο λόγος, κατά μάζα, της περιεκτικότητας σε ενεργό νερό προς την περιεκτικότητα σε τσιμέντο, στο νωπό σκυρόδεμα, ενώ περιεκτικότητα σε ενεργό νερό (effective water content) είναι διαφορά μεταξύ του συνολικού νερού που υπάρχει στο νωπό σκυρόδεμα και του νερού που απορροφάται από τα αδρανή έως την κορεσμένη και επιφανειακά ξηρή κατάσταση.

Τα όρια αναλογίας νερού προς τσιμέντο κυμαίνονται γενικά μεταξύ 0.6/1 και 0.4/1, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ρευστότητα του παραγόμενου υλικού προκειμένου να είναι κατάλληλο για κατασκευές αλλά και η αντοχή του στη διάβρωση. Όταν η αναλογία νερού προς τσιμέντο ξεπεράσει το 0.6/1, η διαπερατότητα του σκυροδέματος, άρα και η πιθανότητα χημικής προσβολής, αυξάνεται δυσανάλογα, εξαιτίας της μεγάλης αύξησης του μεγέθους και του αριθμού των τριχοειδών πόρων. Όταν η αναλογία νερού προς τσιμέντο κυμαίνεται μεταξύ 0.40/1 και 0.45/1, εξασφαλίζεται τόσο η μείωση του πορώδους όσο και η αύξηση της μηχανικής αντοχής του σκυροδέματος (Ρούτουλας, 2010).

1.5. Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος

1.5.1. Εισαγωγή

Σε μια χώρα με έντονη σεισμική δραστηριότητα, όπως η Ελλάδα, είναι μεγάλο το ενδιαφέρον των τεχνικών επιστημόνων και γενικότερα του τεχνικού κόσμου για την ποιότητα των βασικών δομικών υλικών. Τα τελευταία χρόνια γίνεται όλο και περισσότερο αντιληπτή η ξεχωριστή σημασία, που έχουν, μεταξύ άλλων, οι λειτουργικές ιδιότητες και η ποιότητα των χαλύβων οπλισμού, τόσο στην Ελλάδα και τις υπόλοιπες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αλλά και σε όλο τον κόσμο, καθώς εισάγονται νέες απαιτήσεις και τροποποιούνται οι παλιές. Οι μεταβολές είναι ριζικές. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι κατηγορίες ποιότητας χαλύβων οπλισμού, που ως πρόσφατα προδιαγράφονταν ως επαρκείς και χαρακτηρίζονταν σύγχρονες, σήμερα θεωρούνται επικίνδυνες, κατάλληλες μόνο για βοηθητικές κατασκευές (ΕΛΟΤ, 2016).

Οι νέες απαιτήσεις που εισάγονται συμβαδίζουν με τις σύγχρονες απαιτήσεις σχεδιασμού των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα και περιλαμβάνονται στα νέα Πρότυπα για τους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος ΕΛΟΤ EN 10080, ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3. Ο νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος ΚΤΧ 2008 (ΦΕΚ 1416/Β/17-07-2008 και ΦΕΚ 2113/Β/13-10-2008) προδιαγράφει τις ελάχιστες γενικές και ειδικές απαιτήσεις τις οποίες πρέπει να ικανοποιούν οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος.

Ο χάλυβας είναι κράμα σιδήρου (Fe) με περιεκτικότητα σε άνθρακα (C) έως 2% και με προσθήκη άλλων στοιχείων σε μικρές περιεκτικότητες όπως μαγγάνιο και πυρίτιο έτσι ώστε να επιτυγχάνονται οι απαιτούμενες μηχανικές ιδιότητες. Ο χάλυβας οπλισμού σκυροδέματος είναι χάλυβας με κυκλική ή πρακτικά κυκλική διατομή που χρησιμοποιείται για τον οπλισμό του σκυροδέματος και διατίθενται σε μορφή ράβδων, ρόλλων και πλεγμάτων (Χαλυβουργική, 2016a).

Είναι το πιο διαδεδομένο κατασκευαστικό υλικό μετά το σκυρόδεμα και το ξύλο. Χρησιμοποιείται παντού: από την αρχιτεκτονική και τη ναυπηγική μέχρι την κατασκευή χειρουργικών εργαλείων. Το ατσάλι είναι ένα από τα σημαντικότερα βιομηχανικά υλικά και οι χαλυβουργίες (εργοστάσια παραγωγής χάλυβα) ανήκουν στις βαριές βιομηχανίες. Σε παλαιότερες εποχές, η βιομηχανική παραγωγή μιας χώρας αξιολογούνταν από την παραγωγή της σε χάλυβα (wikipedia, 2016; Χρυσουλάκης & Παντελής, 2003).

Ο Χάλυβας Οπλισμού Σκυροδέματος χρησιμοποιείται με σκοπό την ανάληψη των εφελκυστικών δυνάμεων στις κατασκευές. Αποτελεί μαζί με το σκυρόδεμα (μπετόν), το οποίο χαρακτηρίζεται από υψηλή θλιπτική αντοχή, τον φέροντα οργανισμό (σκελετό) του κτιρίου. Τα δύο υλικά συμπεριφέρονται ως ενιαίος φορέας, και ο χάλυβας προφυλάσσει το σκυρόδεμα (μπετόν) από το να υποστεί ρωγμές σε κρίσιμα σημεία (περιοχές κόμβων). Επιπλέον, σε σεισμική δραστηριότητα ο χάλυβας απορροφά τη σεισμική ενέργεια μειώνοντας τις βλάβες και σε οριακές καταστάσεις διασφαλίζει τη μη κατάρρευση της κατασκευής (Μαυροειδής, 2005).

Η συνάφεια που είναι απαραίτητη για τη συνεργασία των ράβδων οπλισμού με το σκυρόδεμα εξασφαλίζεται από τη γεωμετρία της επιφάνειας των ράβδων. Η γεωμετρία της επιφάνειας τους καθορίζεται από την ύπαρξη νευρώσεων καθώς και από τη γεωμετρία αυτών (ύψος και απόσταση νευρώσεων, μορφολογία, κλπ.) (Βατάλης, 2009).

1.5.2. Ορισμοί

Σίδηρος (καθαρός): Ως καθαρός σίδηρος χαρακτηρίζεται συνήθως κράμα με περιεκτικότητα σε άνθρακα και λοιπά κραματικά στοιχεία μικρότερη από 0,05%.

Χάλυβας: Κράμα σιδήρου-άνθρακα (Fe-C) με περιεκτικότητα σε άνθρακα έως 2% και προσθήκες άλλων στοιχείων.

Χάλυβας οπλισμού: Χάλυβας με κυκλική ή πρακτικά κυκλική διατομή, για τον οπλισμό του σκυροδέματος.

Χάλυβας οπλισμού με νευρώσεις: Χάλυβας οπλισμού με δύο τουλάχιστον σειρές πλάγιων ανάγλυφων νευρώσεων, ομοιόμορφα κατανεμημένων κατά μήκος.

Λείος χάλυβας οπλισμού: Χάλυβας οπλισμού με πρακτικά λεία επιφάνεια.

Χάλυβας οπλισμού με έγγλυφες αυλακώσεις: Χάλυβας οπλισμού με καθορισμένες αυλακώσεις, ομοιόμορφα κατανεμημένες κατά μήκος.

Μορφοσίδηρος (δομικός χάλυβας - structural steel): Χάλυβας κατασκευών σε διάφορες μορφές διατομής.

1.5.3. Ιστορική αναδρομή της παρασκευής χάλυβα

Η ιστορία του χάλυβα ξεκινά γύρω στο 1000 π.Χ., όταν μεταλλουργοί της εποχής εκείνης άρχισαν να παράγουν χάλυβα συστηματικά με ενανθράκωση σπογγώδους σιδήρου. Πάντως οι Χετταίοι γνώριζαν μια παρόμοια μέθοδο παραγωγής χάλυβα ήδη από το 2300 π.Χ.. Την εποχή της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, πολλοί μεσογειακοί λαοί, αλλά και οι Ινδοί, οι Κινέζοι και οι Ιάπωνες γνώριζαν την τέχνη της παραγωγής σπογγώδους σιδήρου και χάλυβα, καθώς και την τέχνη της σκλήρυνσης του χάλυβα με θέρμανση και απότομη ψύξη («βαφή»). Περίφημα ήταν τα σφυρήλατα χαλύβδινα δαμασκηνά σπαθιά, που κατασκευάζονταν κατά τον Μεσαίωνα στη Συρία και στην Ιαπωνία.

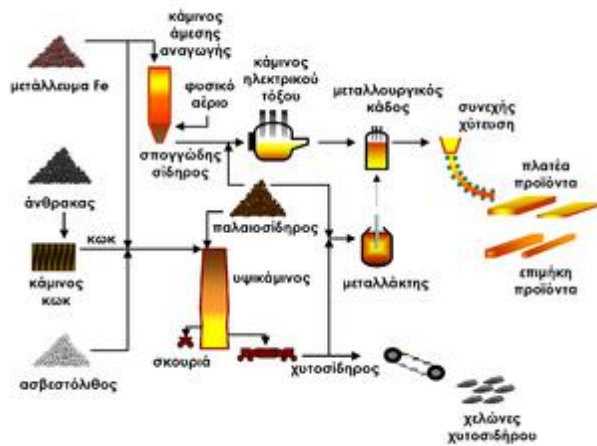
Αν και από την εποχή της Αναγέννησης υπήρχε η τεχνολογική δυνατότητα ανάπτυξης των υψηλών θερμοκρασιών τήξης του χάλυβα, οι πρώτοι χάλυβες σε κάμινο παρήχθησαν το 1740. Μέχρι τότε κατασκευάζονταν μόνο λεπτού πάχους τεμάχια από χάλυβα, όπως ξίφη και εργαλεία, με ενανθράκωση σιδήρου, δηλαδή με τεχνικές διάχυσης του άνθρακα σε τεμάχια σιδήρου. Η σύγχρονη ιστορία του χάλυβα αρχίζει ουσιαστικά στα μέσα του 19ου αιώνα, με τη δυνατότητα για πρώτη φορά μαζικής παραγωγής χάλυβα υψηλής ποιότητας, όταν το 1856 ο Άγγλος εφευρέτης Η.Bessemer ανακάλυψε πως να μετατρέπει τον τηγμένο χυτοσίδηρο σε χάλυβα με εμφύσηση οξυγόνου σε έναν κάδο («μεταλλάκτη») επενδυμένο με πυρίμαχα τούβλα. Την ίδια εποχή ανακαλύφθηκε η μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα σε καμίνους ανοικτής εστίας (κάμιнос Siemens-Martin). Σήμερα, η ανακάλυψη του Bessemer χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για την απανθράκωση του χυτοσιδήρου. Η κάμιнос Siemens-Martin εγκαταλείφθηκε ως πιο ενεργοβόρος και λιγότερο φιλική προς το περιβάλλον (wikipedia, 2016).

1.5.4. Η παραγωγή του χάλυβα

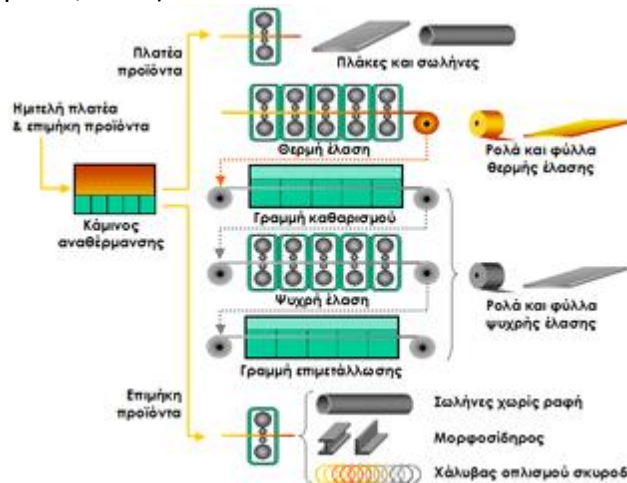
Ο χάλυβας παράγεται με τρεις βασικές μεθόδους (Πετρόπουλος, 1992):

1. με αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε υψικάμινο για την παραγωγή χυτοσιδήρου, και τη μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα μέσα σε μεταλλάκτη με εμφύσηση οξυγόνου,
2. με την άμεση αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων (δηλ. αναγωγή σε στερεά κατάσταση) σε φρεατώδη κάμινο για την παραγωγή σπογγώδους σιδήρου (Direct Reduced Iron - DRI), και τη μετατροπή του σπογγώδους σιδήρου σε χάλυβα μέσα σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου και

3. με την ανάτξη παλαιοσιδήρου (σκραπ) σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου (Electric Arc Furnace - EAF).



Σχήμα 1.10. Σχηματικό διάγραμμα της παραγωγής χυτοσιδήρου και ημιτελών προϊόντων χάλυβα (wikipedia, 2016).



Σχήμα 1.11. Σχηματικό διάγραμμα της παραγωγής τελικών προϊόντων χάλυβα (wikipedia, 2016).

1.5.5. Διαδικασία Παραγωγής Χάλυβα Οπλισμού στην Ελλάδα

1) Πρώτη ύλη: Παλαιοσίδηρος

Στην Ελλάδα, η παραγωγή χάλυβα βασίζεται στην τήξη παλαιοσιδήρου (scrap) με χρήση ηλεκτρικών καμίνων (EAF, Electric Arc Furnace). Η ανακύκλωση του παλαιοσιδήρου συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος. Η σημασία της ποιότητας του scrap στην παραγωγική διαδικασία, αποτυπώνεται στον αυστηρό έλεγχο ποιότητας τόσο κατά την προμήθεια όσο και κατά την παραλαβή του παλαιοσιδήρου στο εργοστάσιο (Βατάλης, 2009).

2) Φόρτωση παλαιοσιδήρου σε καλάθια

Κατάλληλες ποσότητες παλαιοσιδήρου φορτώνονται σε καλάθια, με τη βοήθεια γερανών μεγάλης δυναμικότητας, ώστε να μεταφερθούν στην ηλεκτρική κάμινο. Στο στάδιο αυτό μπορούν να φορτωθούν επίσης κατάλληλες ποσότητες πρόσθετων βοηθητικών υλών

(ασβέστης, ανθρακίτης κλπ) με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου χάλυβα.

3) Ηλεκτρική κάμινο – Φόρτωση πρώτων υλών

Η ηλεκτρική κάμινο έχει κατάλληλη περιστρεφόμενη οροφή, ενώ το καλάθι ανοίγει στο κάτω μέρος του και το φορτίο αδειάζει μέσα στην ηλεκτρική κάμινο. Μετά τη φόρτωση της ηλεκτρικής καμίνου, η οροφή της κλείνει, προστίθενται κατάλληλες ποσότητες βοηθητικών πρώτων υλών (ασβέστης, ανθρακίτης κλπ.) με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου χάλυβα και ξεκινά η διαδικασία τήξης του φορτίου.

4) Ηλεκτρική κάμινο - Τήξη

Η θέρμανση και η τήξη του παλαιοσιδήρου επιτυγχάνεται με τη διοχέτευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσω ηλεκτροδίων γραφίτη και τη χρήση ειδικών καυστήρων φυσικού αερίου και οξυγόνου, με αποτέλεσμα τη λήψη ρευστού χάλυβα σε θερμοκρασία περίπου 1700°C.

5) Ηλεκτρική κάμινο - Απόχυση

Ο υγρός χάλυβας αποχύνεται από την ηλεκτρική κάμινο μέσα σε ειδικά πυρίμαχα δοχεία (κάδοι) και προστίθενται στον κάδο κατάλληλες ποσότητες άλλων προσμίξεων με σκοπό τη ρύθμιση της χημικής σύστασης και τον μεταλλουργικό καθαρισμό του χάλυβα.

6) Μεταλλουργία κάδου (Ladle Furnace)

Ο κάδος που περιέχει τον υγρό χάλυβα με τις κατάλληλες προσμίξεις οδηγείται στην ηλεκτρική κάμινο κάδου, όπου συντελείται ο ακριβής έλεγχος της θερμοκρασίας και της χημικής σύστασης του χάλυβα καθώς επίσης και ο μεταλλουργικός καθαρισμός του. Για αυτό προστίθενται σιδηροκράματα και άλλες βοηθητικές ύλες (ασβέστης, αντιοξειδωτικά και αποθιωτικά πρόσθετα κλπ) στον κάδο με τον υγρό χάλυβα, διοχετεύεται ηλεκτρική ενέργεια μέσω ηλεκτροδίων γραφίτη και παρέχεται αέριο αργό από τον πυθμένα του κάδου.

7) Συνεχής χύτευση (Continuous Casting Machine)

Ο υγρός χάλυβας αποχύνεται από τον κάδο σε κατάλληλο διανομέα (σκάφη) που έχει ορισμένο αριθμό οπών στον πυθμένα, μέσα από τις οποίες το τήγμα ρέει σε αντίστοιχο αριθμό γραμμών συνεχούς χύτευσης. Στο στάδιο της χύτευσης συντελείται η στερεοποίηση του υγρού χάλυβα σε ημιτελικά προϊόντα (μπιγέτες). Η στερεοποίηση του χάλυβα επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλων χάλκινων καλουπιών, τον ψεκασμό με νερό και τέλος με απλή έκθεση στον αέρα. Όταν ολοκληρωθεί η στερεοποίηση, οι μπιγέτες κόβονται στο κατάλληλο και επιθυμητό μήκος.

8) Θερμή έλαση

Οι μπιγέτες χάλυβα τροφοδοτούνται μέσα σε φούρνο αναθέρμανσης έτσι ώστε να θερμανθούν σε κατάλληλη θερμοκρασία (περίπου στους 1000°C) προκειμένου να ξεκινήσει η θερμή έλαση. Κατά τη διάρκεια της έλασης, οι μπιγέτες διέρχονται μεταξύ ισχυρών ζευγών χαλύβδινων κυλίνδρων με αποτέλεσμα να μειώνεται η διατομή τους και να αυξάνεται αντίστοιχα το μήκος τους. Όσο μειώνεται η διατομή τόσο αυξάνεται το μήκος και κατά συνέπεια η ταχύτητα της έλασης, ο έλεγχος της οποίας είναι πλήρως αυτοματοποιημένος.

9) Θερμική κατεργασία

Μετά το στάδιο της θερμής έλασης ακολουθεί άμεση θερμική κατεργασία των χαλύβων. Η χαλύβδινη ράβδος μετά το τέλος της έλασης, εισέρχεται σε ειδικά υδροδοχεία μέσα στα οποία διοχετεύεται νερό με υψηλή πίεση. Εκεί συντελούνται μετασχηματισμοί της μικροδομής των χαλύβων που συνοδεύονται από αύξηση της αντοχής τους και

παράλληλης διατήρησης υψηλής ολκιμότητάς τους. Στο στάδιο αυτό προσδίδονται στους χάλυβες οπλισμού οι τελικές ιδιότητες που εξασφαλίζουν την υψηλή ποιότητα τους.

10) Τελικά προϊόντα

Τα τελικά προϊόντα, αφού ψυχθούν, κόβονται και συσκευάζονται ανάλογα με τη μορφή τους σε α) ευθύγραμμες ράβδους, β) συμπαγείς κουλούρες και γ) χονδρόσυρμα (κουλούρες) και αποθηκεύονται.

11) Συγκόλληση - Πλέγματα

Ειδικότερα, για την παραγωγή (ηλεκτροσυγκολλημένων) πλεγμάτων ακολουθεί συγκόλληση με αυτόματες μηχανές και κοπή, έτσι ώστε να παραχθούν φύλλα πλέγματος στις κατάλληλες κάθε φορά διαστάσεις.

12) Αποθήκευση - Διανομή

1.5.6. Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος – Προηγούμενοι Κανονισμοί

Μέχρι πριν από λίγα χρόνια, ο πιο γνωστός τρόπος διακρίσεως των χαλύβων σκυροδέματος ήταν (σε συμφωνία και με τους Γερμανικούς Κανονισμούς και τα DIN που ακολουθούσε η Ελλάδα) ο διαχωρισμός τους στις κατηγορίες St I, St III και St IV (η κατηγορία St II είχε καταργηθεί). Οι κατηγορίες St III και St IV (οι “σκληροί” χάλυβες) διακρίνονταν σε υποκατηγορίες St IIIa, St IIIb και St IVa, St IVb αντίστοιχα, όπου η ένδειξη a έδειχνε τους φυσικώς σκληρούς χάλυβες, ενώ η ένδειξη b τους εν ψυχρώ κατεργασμένους. Στην κατηγορία St I η τάση διαρροής ήταν 2200 kp/cm^2 και η επιτρεπόμενη τάση λειτουργίας 1400 kp/cm^2 , στην κατηγορία St III οι αντίστοιχες τιμές ήταν 4200 kp/cm^2 για τη διαρροή και 2400 kp/cm^2 για την επιτρεπόμενη τάση και στην κατηγορία St IV οι τιμές ήταν 5000 kp/cm^2 και 2600 kp/cm^2 ή 2800 kp/cm^2 αντίστοιχα ($1 \text{ kp} \approx 10 \text{ N}$ και $1 \text{ kp/cm}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2$) ((Βουδικλάρης, 2004).

Στον Γερμανικό Κανονισμό Σκυροδέματος του 1972, οι συμβολισμοί τροποποιήθηκαν σε BSt 22/34 (για το St I), BSt 42/50 (για το St III) και BSt 50/55 (για το St IV), όπου ο αριθμητής του κλάσματος έδειχνε το εγγυημένο όριο διαρροής και ο παρανομαστής το εγγυημένο όριο θραύσεως σε εφελκυσμό, π.χ. για το BSt 22/34 έδειχνε όριο διαρροής 2200 kp/cm^2 και όριο θραύσεως 3400 kp/cm^2 . Άλλωστε, με τον ίδιο τρόπο εμφανιζόταν εξ αρχής και προ πολλού χρόνου ο χαρακτηρισμός των χαλύβων προεντάσεως (ένδειξη διαρροής και θραύσεως).

Αργότερα, η ποιότητα, οι διαστάσεις, οι ανοχές και οι λοιπές απαιτήσεις χαρακτηριστικών που έπρεπε να ικανοποιούνται από τους χάλυβες του οπλισμού σκυροδέματος που κυκλοφορούσαν στην Ελλάδα, προδιαγράφονταν στα Πρότυπα ΕΛΟΤ 959 “Χάλυβες Οπλισμού Σκυροδέματος” και ΕΛΟΤ 971 “Συγκολλησιμοί Χάλυβες Οπλισμού Σκυροδέματος”, που έγιναν υποχρεωτικά με την υπ’ αριθμ. Β 21538/2228/ 3-12-1987 (ΦΕΚ 702/Β/4-12-87) Απόφαση του Υπουργού Βιομηχανίας, όπως (ύστερα από διαδοχικές τροποποιήσεις - καταργήσεις - επαναφορές) διαμορφώθηκε τελικά με την Υπουργική Απόφαση 15283/Φ7/422/8-8-95 (ΦΕΚ 746/Β/30-8-95). Σύμφωνα με αυτά καθορίστηκαν τρεις κατηγορίες χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος, με βάση τη χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής τους (πραγματικού ή συμβατικού, για παραμένουσα παραμόρφωση 0,2%), ήτοι οι κατηγορίες S220, S400 και S400s, S500 και S500s, που κάθε μία τους είχε τάση ορίου διαρροής 220 MPa ($\approx 2200 \text{ kp/cm}^2$), 400 MPa ($\approx 4000 \text{ kp/cm}^2$) και 500 MPa ($\approx 5000 \text{ kp/cm}^2$), αντίστοιχα. Η ένδειξη s έδειχνε τους συγκολλησίμους χάλυβες. Για τον χάλυβα S220 δεν υπήρχε ιδιαίτερη κατηγορία S220s, ήταν όμως σχεδόν πάντα συγκολλησίμους. Οι λοιποί χάλυβες S400 και S500 ήταν επίσης συγκολλησίμους, αλλά υπό προϋποθέσεις (Βουδικλάρης, 2004).

1.5.7. Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος

Ο Κανονισμός αυτός (ΚΤΧ 2008) (ΦΕΚ 1416/Β/17-07-2008 και ΦΕΚ 2113/Β/13-10-2008) προδιαγράφει τις ελάχιστες γενικές και ειδικές απαιτήσεις τις οποίες πρέπει να ικανοποιούν οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος. Στον Κανονισμό γίνονται παραπομπές στα παρακάτω Πρότυπα και κανονιστικά κείμενα:

- ΕΛΟΤ ΕΝ 10080 (2005): Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος - Συγκολλησιμοι χάλυβες - Γενικές απαιτήσεις

- ΕΛΟΤ 1421-2 (2007): Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος - Συγκολλησιμοι χάλυβες - Μέρος 2: Τεχνική κατηγορία B500A

- ΕΛΟΤ 1421-3 (2007): Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος - Συγκολλησιμοι χάλυβες - Μέρος 3: Τεχνική κατηγορία B500C

Στο Εθνικό Πρότυπο (ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3) η Ελλάδα έχει επιλέξει για το όριο διαρροής (που ορίζει την κατηγορία του χάλυβα) την τιμή των 500 MPa. Όλες οι τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών που αναγράφονται στα Πρότυπα είναι **χαρακτηριστικές τιμές**, έχουν δηλαδή, γενικώς, πιθανότητα 5% να υπολείπονται ή να υπερβάλλονται.

Η μέση ολκιμότητα (B) έχει αποκλεισθεί για τους χάλυβες που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα ως οπλισμός σκυροδέματος (εθνική επιλογή). Η μικρή ολκιμότητα (A) επιτρέπεται μόνο για τους χάλυβες τους χρησιμοποιούμενους σε πλέγματα και μόνο μέχρι τη διάμετρο Φ8 (Πρότυπο ΕΛΟΤ 1421-2). Η σεισμικότητα της Ελλάδας υποδεικνύει ή και υποχρεώνει για χάλυβες μεγάλης ολκιμότητας, οι οποίοι επιτρέπουν μεγάλες πλαστιμότητες φερόντων στοιχείων. Έτσι, ο κύριος, ραβδόμορφος οπλισμός αντοχής που επιτρέπεται να χρησιμοποιείται πλέον στην Ελλάδα, είναι κατηγορίας B500C (Πρότυπο ΕΛΟΤ 1421-3).

Ο πλήρης χαρακτηρισμός της κατηγορίας του χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος γίνεται με την ένδειξη του ορίου διαρροής σε MPa και της ολκιμότητας (π.χ. B500C). Δεν υπάρχει πια ανάγκη αναφοράς στη συγκολλησιμότητα, αφού όλοι οι χάλυβες είναι συγκολλησιμοι.

Οι νέες κατηγορίες B500A και B500C αντιστοιχούν, από πλευράς αντοχής, προς αυτές των παλιών χαλύβων St IV και S500 (αν και υπάρχουν σημαντικές διαφορές στη σύνθεση των κραμάτων και ακόμα μεγαλύτερες στις μεθόδους παραγωγής, με επίπτωση κυρίως στη συγκολλησιμότητα και την ολκιμότητα). Άλλωστε, πολλοί ονόμαζαν μέχρι προ ολίγου το S400 και το S500 με τα "παλιά" τους ονόματα St III και St IV, ίσως και για τη διευκόλυνση της συνεννόησης με τους τεχνίτες.

Επομένως, μόνο νευροχάλυβες B500C, με εξέχουσες, ανάγλυφες νευρώσεις, επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα, για φέρουσες κατασκευές. Οι νευρώσεις έχουν σκοπό τη βελτίωση της ικανότητας συνάφειας - πρόσφυσης του χάλυβα στο σκυρόδεμα, ιδιαίτερα αναγκαίας στις σεισμικές περιοχές, στις οποίες υπάρχει πρόβλημα απομείωσης της συνάφειας από την εναλλασσόμενη φόρτιση. Στα δομικά πλέγματα ο χρησιμοποιούμενος χάλυβας (B500A ή B500C) πρέπει επίσης να είναι νευροχάλυβας.

Όλοι οι χάλυβες που χρησιμοποιούνται παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά, που δεν διαφέρουν αισθητά από αυτά του σιδήρου (Βουδικλάρης, 2004):

Μέτρο ελαστικότητας : $E = 200 \text{ GPa} (\approx 2.0 \times 10^6 \text{ kp/cm}^2)$

Μέτρο ολίσθησης (διάτμησης) : $G = 80 \text{ GPa} (\approx 0.8 \times 10^6 \text{ kp/cm}^2)$

Μέτρο διόγκωσης : $K = 165 \text{ GPa} (\approx 1.65 \times 10^6 \text{ kp/cm}^2)$

Λόγος Poisson ν : $\nu = 0.30 (0.27 \div 0.33)$

Συντελεστής θερμικής διαστολής : $\alpha = 12 \times 10^{-6} / \text{grad}$

Πυκνότητα : $d = 7.85 \text{ g/cm}^3$

Οι παραπάνω τιμές είναι οι χρησιμοποιούμενες για πρακτικές εφαρμογές και ισχύουν για θερμοκρασία περί τους 20°C, μεταβαλλόμενες αισθητά υπό την επίδρασή της (π.χ. τα Ε και Γ μειώνονται κατά 40% περίπου στους 650°C, ενώ ο συντελεστής α της θερμικής διαστολής αυξάνει κατά 15% περίπου για την ίδια θερμοκρασία). Η μεταβολή δεν είναι, αλλά μπορεί να θεωρηθεί, γραμμική για τις ενδιάμεσες θερμοκρασίες (Μαυροειδής, 2005; Βατάλης, 2009; Πετρόπουλος, 1992; Χαλυβουργική, 2016b).

1.5.8. Σήμανση Χαλύβων Οπλισμού

Όλα τα δέματα προϊόντων φέρουν ειδική ετικέτα ταυτοποίησης που εξασφαλίζει την ιχνηλασιμότητα τους. Η μετακίνηση των προϊόντων πραγματοποιείται κυρίως με μαγνητικούς γερανούς που προσφέρουν μεγάλη ταχύτητα φόρτωσης στους πελάτες και προστατεύουν την ασφάλεια των εργαζομένων. Η αποθήκευση πραγματοποιείται σε κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους στους οποίους διασφαλίζεται η προστασία της ποιότητας των προϊόντων.

Η σήμανση για την αναγνώριση της κατηγορίας ποιότητας των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος γίνεται με το διαφορετικό τρόπο διάταξης των πλάγιων νευρώσεων στην επιφάνεια της ράβδου. Οι χάλυβες κατηγορίας B500C φέρουν στην επιφάνειά τους δύο σειρές πλάγιων διαδοχικών νευρώσεων αντίθετης φοράς. Σε κάθε σειρά, οι διαδοχικές νευρώσεις έχουν εναλλασσόμενες γωνίες κλίσης ως προς το διαμήκη άξονα της ράβδου.

Η αναγνώριση της χώρας και της μονάδας παραγωγής ενός χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος γίνεται, συνήθως, μέσω ενός αριθμητικού συστήματος κανονικών πλάγιων νευρώσεων ανάμεσα σε ενισχυμένες που παρουσιάζονται επαναλαμβανόμενες στη μία πλευρά των πλάγιων νευρώσεων της ράβδου. Το σύμβολο για την έναρξη της σήμανσης καθώς και για την κατεύθυνση της ανάγνωσης υποδηλώνεται με δύο διαδοχικές ενισχυμένες πλάγιες νευρώσεις. Μετά την έναρξη ακολουθεί η σήμανση της χώρας παραγωγής (πεδίο Β). Ακολουθεί το πλήθος των νευρώσεων που συμβολίζει τη χώρα παραγωγής (κωδικός αριθμός χώρας) και μετά ακολουθεί η σήμανση της μονάδας παραγωγής του χάλυβα (πεδίο Γ). Εάν ο αριθμός που δηλώνει τη μονάδα παραγωγής είναι διψήφιος (το 10 και τα πολλαπλάσια του απαγορεύονται) τότε συμβολίζεται με δύο ομάδες πλάγιων νευρώσεων ανάμεσα σε ενισχυμένες, εκ των οποίων η πρώτη ομάδα δίνει το πρώτο ψηφίο και η δεύτερη ομάδα το δεύτερο ψηφίο του κωδικού του εργοστασίου (Βατάλης, 2009).

1.5.9. Διάκριση χαλύβων

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος διακρίνονται ως εξής (Ρούτουλας, et al., 2011).

Α. Σύμφωνα με τη μέθοδο παραγωγής, σε:

- Θερμής έλασης, χωρίς καμία άλλη περαιτέρω θερμική ή θερμομηχανική κατεργασία οποιασδήποτε μορφής (χάλυβες ΘΕ-Χ)
- Θερμής έλασης, που ακολουθείται από μία άμεση εν σειρά διαδικασία θερμικής κατεργασίας (χάλυβες ΘΕ-Θ)
- Ψυχρής κατεργασίας, με ολκή ή έλαση του αρχικού προϊόντος που προέρχεται από θερμή έλαση (χάλυβες ΨΚ-Ο) ή με στρέψη του αρχικού προϊόντος που προέρχεται από θερμή έλαση (χάλυβες ΨΚ-Σ) ή με συνδυασμό των παραπάνω.

Β. Σύμφωνα με τη μορφή της επιφάνειας της ράβδου σε:

- Λείους χάλυβες κυκλικής διατομής
- Χάλυβες με ανάγλυφες νευρώσεις, υψηλής συνάφειας
- Χάλυβες με κοιλότητες (έγγλυφες αυλακώσεις).

Γ. Σύμφωνα με την ολκιμότητα, σε:

- Χάλυβες χαμηλής ολκιμότητας
- Χάλυβες μέσης ολκιμότητας
- Χάλυβες υψηλής ολκιμότητας.

Δ. Σύμφωνα με τη συγκολλησιμότητα, σε:

- Χάλυβες συγκολλησίμους
- Χάλυβες μη συγκολλησίμους ή συγκολλησίμους υπό προϋποθέσεις.

Ε. Σύμφωνα με την αντοχή τους σε διάβρωση, σε:

• Κοινούς χάλυβες, που είναι κράματα σιδήρου με άνθρακα (Fe-C) και με άλλα στοιχεία σε μικρές περιεκτικότητες

• Ανοξειδωτους χάλυβες, που είναι κράματα σιδήρου με ελάχιστη περιεκτικότητα σε χρώμιο (Cr) 12%. Οι χάλυβες αυτοί είναι ανθεκτικοί σε διάβρωση. Η αντοχή τους σε διαβρωτικό περιβάλλον είναι μεγαλύτερη αν περιέχουν και άλλα κραματικά στοιχεία όπως νικέλιο (Ni), μολυβδένιο (Mo), τιτάνιο (Ti) κλπ.

1.5.10. Χημικά Χαρακτηριστικά

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος είναι χάλυβες ελαφρά κραματωμένοι ή μη κραματωμένοι. Η διαδικασία παραγωγής (μεταλλουργική μέθοδος) και ο τύπος της αποξείδωσης του χάλυβα επαφίενται στην κρίση του παραγωγού. Οι ακόλουθοι περιορισμοί για τη χημική σύσταση εξασφαλίζουν τη συγκολλησιμότητα και την ανθεκτικότητα στον χρόνο των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος.

Συγκολλησιμότητα είναι η ικανότητα ενός μετάλλου να συγκολλάται υπό προδιαγεγραμμένες συνθήκες, έτσι ώστε η προκύπτουσα σύνδεση να ικανοποιεί τις απαιτήσεις σχεδιασμού.

Σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10080, οι χάλυβες θεωρούνται συγκολλησίμιοι όταν οι περιεκτικότητες σε άνθρακα (C), θείο (S), φωσφόρο (P), άζωτο (N), χαλκό (Cu), καθώς και η ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα C_{eq} δεν υπερβαίνουν τις αντίστοιχες τιμές που δίνονται στον Πίνακα 5.

Η ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα, C_{eq} , υπολογίζεται σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$C_{eq}=C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Ni+Cu)/15,$$

όπου τα σύμβολα των χημικών στοιχείων δείχνουν την επί τοις εκατό περιεκτικότητα κατά βάρος (% κ.β.), όπως προσδιορίζεται από τη χημική ανάλυση.

Πίνακας 1.8. Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές για τη χημική σύσταση (περιεκτικότητα % κ.β.) κατά ΕΛΟΤ EN 10080

	Άνθρακας C ⁽²⁾	Θείο S	Φωσφόρος P	Άζωτο N ⁽¹⁾	Χαλκός Cu	Ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα Ceq ⁽²⁾
Ανάλυση ρευστού χάλυβα κατά τη χύτευση	0,22	0,050	0,050	0,012	0,80	0,50
Ανάλυση τελικού προϊόντος	0,24	0,055	0,055	0,014	0,85	0,52

(1) Υψηλότερες τιμές σε άζωτο επιτρέπονται εάν υπάρχουν επαρκείς ποσότητες στοιχείων που το δεσμεύουν.

(2) Επιτρέπεται η υπέρβαση των μέγιστων τιμών για τον άνθρακα κατά 0,03% κ.β., με την προϋπόθεση ότι μειώνονται αντίστοιχα οι ισοδύναμες τιμές σε άνθρακα κατά 0,02% κ.β.

1.5.11. Επίδραση των κραματικών στοιχείων στα χαρακτηριστικά των Χ.Ο.Σ.

Άνθρακας (C). Στους Χ.Ο.Σ., ο άνθρακας είναι από τα βασικότερα κραματικά στοιχεία καθώς επηρεάζει σημαντικά την αντοχή και τη συγκολλησιμότητα τους. Αύξηση της περιεκτικότητας σε C οδηγεί σε αύξηση της σκληρότητας και της αντοχής αλλά παράλληλα σε αναπόφευκτη μείωση της ολκιμότητας και της συγκολλησιμότητας. Η αύξηση της περιεκτικότητας σε C αυξάνει την εμβαιπτότητα (ικανότητα σκλήρυνσης με μαρτενιτικό μετασχηματισμό - hardenability) του χάλυβα που σχετίζεται με το βάθος βαφής των χαλύβων. Η τελευταία ιδιότητα είναι ιδιαίτερα σημαντική στους Χ.Ο.Σ. αφού είναι συνυφασμένη με συγκεκριμένη θερμομηχανική μεταλλοτεχνική επεξεργασία (θερμή έλαση με άμεση θερμική κατεργασία), η οποία ακολουθείται κατά την παραγωγή της πλειονότητας των Χ.Ο.Σ. σήμερα στην Ευρώπη (Tempcore, Thermex κλπ). Στην πράξη, περιεκτικότητα σε C μεταξύ 0,18-0,24% στο τελικό προϊόν αποτελεί έναν συμβιβασμό μεταξύ των παραπάνω αντικρουόμενων ιδιοτήτων και εξασφαλίζει υψηλή αντοχή, ικανοποιητική επιμήκυνση και καλή συγκολλησιμότητα.

Μαγγάνιο (Mn). Η κραμάτωση των χαλύβων με άνθρακα έχει ορισμένους περιορισμούς, επειδή με την αύξηση του ποσοστού του μειώνεται η συγκολλησιμότητα. Η επίδραση του μαγγανίου στη συγκολλησιμότητα είναι περίπου 5 με 6 φορές μικρότερη σε σχέση με τον άνθρακα (σύμφωνα και με τον υπολογισμό της τιμής του ισοδύναμου άνθρακα). Κατά συνέπεια η προσθήκη Mn αποτελεί έναν ιδιαίτερα ευέλικτο τρόπο ρύθμισης των μηχανικών ιδιοτήτων των Χ.Ο.Σ. (αύξηση της περιεκτικότητας από 0,1-1% μπορεί να έχει θετική επίδραση στις μηχανικές ιδιότητες μέχρι 15%). Επίσης, το Mn είναι ιδιαίτερα ωφέλιμο διότι δεσμεύει το ελεύθερο θείο (MnS), μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο δημιουργίας θειούχου σιδήρου (FeS) ο οποίος προκαλεί ψαθυροποίηση του χάλυβα κατά τη θέρμανση περί τους 900°C.

Πυρίτιο (Si). Το πυρίτιο και το μαγγάνιο υπάρχουν σχεδόν σε όλους τους χάλυβες, επειδή περιέχονται στα μεταλλεύματα από τα οποία εξάγεται ο σίδηρος. Επί πλέον, το πυρίτιο προέρχεται τόσο από τη διαδικασία κάθαρσης (αποξειδωσης) του τήγματος, όσο και από τις πυρίμαχες επενδύσεις που χρησιμοποιούνται στους κλιβάνους τήξης, στους οποίους εισάγεται στο τήγμα κατά τη διαδικασία παραγωγής του χάλυβα. Κραμάτωση με πυρίτιο οδηγεί σε σκλήρυνση του χάλυβα, δίχως να επηρεάζεται σημαντικά η εμβαιπτότητα και κατά συνέπεια και η συγκολλησιμότητα των χαλύβων. Αύξηση της περιεκτικότητας κατά ποσοστό 1% συνεπάγεται αύξηση της αντοχής κατά περίπου 100MPa, ενώ αντίστοιχη είναι και η αύξηση του ορίου διαρροής.

Φωσφόρος (P). Ο φωσφόρος αποτελεί κατά κανόνα επιβλαβή ακαθαρσία για τους χάλυβες. Ο P συνδέεται με ψαθυροποίηση και μικροδιαφορισμό κατά τη στερεοποίηση του

χάλυβα. Ως εκ τούτου, κατά τη μεταλλουργική διαδικασία παραγωγής, καταβάλλεται προσπάθεια, τα επίπεδα περιεκτικότητας για χάλυβες κατασκευών να διατηρούνται σε ποσοστά χαμηλότερα του 0,03%-0,05%. Για τους Χ.Ο.Σ., περιεκτικότητες μέχρι 0,055% είναι αποδεκτές.

Θείο (S). Η παρουσία θείου είναι ιδιαίτερα επιβλαβής στους χάλυβες επειδή αυξάνει την ευθραυστότητα. Προέρχεται κυρίως από τις πρώτες ύλες (scrap κλπ), και ελέγχεται κατά την παραγωγική διαδικασία. Περιεκτικότητες 0,025%-0,030% είναι αποδεκτές για τους ειδικούς χάλυβες, ενώ για τους Χ.Ο.Σ. αποδεκτά ποσοστά είναι μέχρι 0,055%. Η παρουσία Mn είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη διότι δεσμεύει το ελεύθερο θείο (MnS), μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο ψαθυροποίησης των χαλύβων.

Άζωτο (N). Ο ρόλος του αζώτου είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Παρ' ότι συναντάται σε χαμηλές περιεκτικότητες στους Χ.Ο.Σ., θεωρείται γενικά ως ανεπιθύμητη πρόσμιξη. Η παρουσία αζώτου πέραν ενός ορίου είναι βλαπτική επειδή μειώνει την ολκιμότητα και ευνοεί την ευθραυστότητα επαναφοράς (ευθραυστότητα στο κυανούν). Επιπροσθέτως, είναι ενδεχόμενο να προκαλέσει πέραν της ευθραυστότητας και φαινόμενα γήρανσης στους χάλυβες που έχουν υποστεί εν ψυχρώ κατεργασία/καταπόνηση. Για τους Χ.Ο.Σ. σε παλαιότερες τυποποιήσεις (π.χ. DIN 488), είχε καθορισθεί ανώτερο όριο περιεκτικότητας 0,01% (ανάλυση χυτηρίου) και σε περίπτωση που η περιεκτικότητα σε φωσφόρο ήταν χαμηλότερη του 0,05% επιτρεπόταν η περιεκτικότητα σε άζωτο να φτάσει μέχρι το 0,012%.

Στο Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10080 ορίζονται μέγιστες περιεκτικότητες 0,012% (ανάλυση χυτηρίου) και 0,014% (ανάλυση προϊόντος), και αναφέρεται σε υποσημείωση ότι είναι επιτρεπτές και μεγαλύτερες περιεκτικότητες εάν υπάρχουν επαρκείς ποσότητες στοιχείων που δεσμεύουν το άζωτο, χωρίς όμως να γίνεται περαιτέρω διευκρίνιση για τις "ποσότητες" και το "είδος" αυτών των κραματικών στοιχείων.

Χαλκός (Cu). Στους Χ.Ο.Σ. ο χαλκός προέρχεται κατά κανόνα από την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται. Παρά το γεγονός ότι, ακόμη και σε ελάχιστα ποσοστά, ο Cu, αυξάνει την αντοχή του χάλυβα σε οξειδωση κατά την έκθεσή του στις ατμοσφαιρικές συνθήκες και δεν επηρεάζει σημαντικά τη συγκολλησιμότητα, σχετίζεται άμεσα με τη θερμή ρηγμάτωση των κοινών χαλύβων. Ο χαλκός, ως ευγενέστερο του σιδήρου μέταλλο, δεν μπορεί να απομακρυνθεί από το τήγμα, με αποτέλεσμα να παρατηρείται συσσώρευσή του και αύξηση της περιεκτικότητάς του στους χάλυβες που παράγονται από τήξη παλαιοσιδήρου (scrap). Αυτό δεν παρατηρείται κατά την παραγωγή του χάλυβα μέσω χυτοσιδήρου, στην οποία χρησιμοποιούνται σιδηρομεταλλεύματα. Ο μόνος τρόπος ελέγχου της περιεκτικότητας του Cu στους Χ.Ο.Σ. (οι οποίοι ως επί το πλείστον παράγονται μέσω ηλεκτρικών καμίνων) είναι με κατάλληλη επιλογή της πρώτης ύλης, δηλ. της ποιότητας του παλαιοσιδήρου ή με αντικατάσταση ποσοστού του παλαιοσιδήρου με DRI (Direct Reduced Iron, δηλ. υψηλής καθαρότητας σίδηρος).

Βανάδιο (V). Το βανάδιο έχει χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή Χ.Ο.Σ., αφού και σε μικρές αναλογίες στο προϊόν (μικροκραμάτωση) επιτρέπει την απόκτηση των μηχανικών χαρακτηριστικών που προδιαγράφονται για την κατηγορία B500C (και παλαιότερα του S500s) δίχως να απαιτείται περαιτέρω θερμική κατεργασία. Το V είναι ισχυρό καρβιδιογόνο στοιχείο (ενώνεται με τον άνθρακα, τον οποίο δεσμεύει για σχηματισμό καρβιδίων). Ακόμη και σε μικρές περιεκτικότητες αυξάνει την αντοχή σε εφελκυσμό και το όριο διαρροής στη θερμοκρασία περιβάλλοντος αλλά και σε υψηλότερες, εμποδίζοντας την αύξηση του μεγέθους του κόκκου στη μικρογραφική μορφή του χάλυβα, σε καθορισμένες συνθήκες έλασης του. Σε συνδυασμό με προσθήκες Cr και W, χρησιμοποιείται στην παραγωγή ειδικών χαλύβων θερμών κατεργασιών και ταχυχαλύβων (εργαλείων).

Νιόβιο (Nb), Ταντάλιο (Ta). Όπως το βανάδιο, έτσι και το νιόβιο και το ταντάλιο μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως κραματικά στοιχεία αύξησης της αντοχής των Χ.Ο.Σ., διατηρώντας την ολκιμότητα σε σχετικά υψηλά επίπεδα. Τα στοιχεία αυτά συναντώνται συνήθως ως προσθήκες σταθεροποίησης στους ανοξειδωτους χάλυβες.

Νικέλιο (Ni), Χρώμιο (Cr), Μολυβδαίνιο (Mo). Τα στοιχεία αυτά είναι κατ' εξοχήν κραματικά για ειδικούς χάλυβες (χρωμονικελιούχοι, μολυβδαινιούχοι κλπ). Οι περιεκτικότητες 18% Cr, 8% Ni είναι τυπικές αναλογίες των πλέον διαδεδομένων ποιοτήτων ανοξειδωτων χαλύβων (18/8). Στους Χ.Ο.Σ. συναντώνται συνήθως ως προσμίξεις από την πρώτη ύλη (scrap). Σε αναλογίες άνω του 0,5% (ιδίως για τα Cr και Mo) σε συνδυασμό με την περιεκτικότητα σε άνθρακα, είναι ενδεχόμενο να επηρεάσουν σημαντικά τα χαρακτηριστικά των χαλύβων (υπεραντοχή, ευθραυστότητα κατά τη διαδικασία παραγωγής κλπ). Τα στοιχεία αυτά, λόγω και του κόστους τους, δεν εμφανίζονται σε μεγάλες αναλογίες στις συνθέσεις των Χ.Ο.Σ. και έτσι δεν δημιουργούνται προβλήματα στο τελικό προϊόν. Ενδεχόμενη παρουσία τους σε αυξημένα ποσοστά γίνεται αμέσως αντιληπτή κατά την παραγωγική διαδικασία (έλαση) και το πρόβλημα αντιμετωπίζεται πριν παραχθούν τελικά προϊόντα.

1.6. Πρόσμικτα Σκυροδέματος

1.6.1. Ορισμοί

Τα πρόσμικτα σκυροδέματος (Concrete Admixtures) είναι ουσίες σε υγρή μορφή ή σκόνη, οι οποίες προστίθενται στο σκυρόδεμα σε μικρές ποσότητες κατά τη φάση ανάμιξης, συνήθως βάσει του περιεχόμενου τσιμέντου (η δοσολογία τους εκφράζεται σε λίτρα/100 Kg τσιμέντο). Το ποσοστό τους δεν υπερβαίνει το 5% κβ τσιμέντου, αλλά συνήθως προστίθενται σε ποσοστά μέχρι 0,3 – 1,5%. Επηρεάζουν τις ιδιότητες του φρέσκου και/ή του σκληρυμένου σκυροδέματος με χημικό και / ή φυσικό τρόπο. Σύμφωνα με το Πρότυπο EN 206-1, οι ορισμοί και οι χρήσεις των προσμίκτων σκυροδέματος καθορίζονται από το Πρότυπο EN 934-2. Αυτό το πρότυπο περιλαμβάνει τους ακόλουθους ορισμούς (Sika, 2007; Schlumpf, Bicher & Schwoon, 2013; Reynolds, Steedman & Threlfall, 2008).

Τα κύρια χημικά πρόσμικτα:

Αερακτικό (air entrainer). Εισάγει συγκεκριμένη ποσότητα αέρα στο μίγμα με τη μορφή μικρών και ομοιόμορφα κατανεμημένων φυσαλίδων αέρα κατά τη φάση ανάμιξης και οι οποίες παραμένουν στη σκληρυμένη μάζα σκυροδέματος.

Επιβραδυντής (retarder). Επιβραδύνει τον χρόνο για την αρχική πήξη και επιμηκύνει την εργασιμότητα.

Επιταχυντής πήξης (accelerator). Μειώνει τον χρόνο που απαιτείται για την αρχική πήξη, αυξάνοντας τις πρώιμες αντοχές.

Μειωτής νερού (water reducer). Καθιστά δυνατή τη μείωση του περιεχόμενου νερού σε ένα μίγμα χωρίς επίδραση στη συνεκτικότητά του, ή αυξάνει το εργασιμό του χωρίς αλλαγή του περιεχόμενου νερού, ή επιτυγχάνει και τα δύο αποτελέσματα.

Επίσης υπάρχουν και τα ειδικά χημικά πρόσμικτα, όπως:

Αντιπαγωτικά. Για σκυροδετήσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες όπου απαιτείται η επιτάχυνση του χρόνου πήξης ή του χρόνου σκλήρυνσης του σκυροδέματος.

Επιταχυντής σκλήρυνσης. Επιταχύνει τις πρώιμες αντοχές με ή χωρίς επίδραση στον χρόνο πήξης.

Ρυθμιστής Ιξώδους (viscosity modifying agent). Μειώνει το νερό απόμιξης που προκύπτει λόγω εξίδρωσης στο νωπό σκυρόδεμα.

Σταθεροποιητές Ενυδάτωσης (stabilizer/water retaining admixture). Πρόσμικτα που χρησιμοποιούνται για παράταση του χρόνου εργασιμότητας του σκυροδέματος για μεγάλα χρονικά διαστήματα, χωρίς να επηρεάζεται η ποιότητα του σκυροδέματος. Απαραίτητα σε περιπτώσεις ιδιαίτερα αυξημένων απαιτήσεων για μεγάλους χρόνους διατήρησης εργασιμότητας.

Στεγανωτικό μάζας (water proofing). Μειώνει την απορρόφηση νερού από τους τριχοειδείς πόρους του σκληρυμένου σκυροδέματος.

Υπερρευστοποιητής (superplasticizer). Καθιστά δυνατή τη σημαντική μείωση του περιεχόμενου νερού σε ένα δεδομένο μίγμα σκυροδέματος, χωρίς επίδραση στη συνεκτικότητά του ή αυξάνει σημαντικά το εργάσιμο του χωρίς αλλαγή του περιεχόμενου νερού, ή επιτυγχάνει και τα δύο αποτελέσματα.

Τέλος, υπάρχουν προϊόντα που δεν περιλαμβάνονται στο Πρότυπο EN 934-2, όπως **Αναστολείς Διάβρωσης** (corrosion inhibitors). Υλικά που παρεμποδίζουν τη διάβρωση του οπλισμού. Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις έντονα διαβρωτικού περιβάλλοντος

Μειωτές συρρίκνωσης (Shrinkage reducing admixtures).

Βοηθητικά Άντλησης (Pumping aid). Βοηθητικά υλικά για τη διαδικασία της σκυροδέτησης, της άντλησης, της ωρίμανσης και της σκλήρυνσης του σκυροδέματος.

Βελτιωτικά επιφάνειας (Surface improving admixtures).

Πρόσμικτα για έλεγχο της ASR (Admixtures to control alkali-silica reaction), κλπ.

1.6.2. Αποτελέσματα της χρήσης των πρόσμικτων.

Με την εφαρμογή τους επηρεάζονται οι ακόλουθες ιδιότητες του σκυροδέματος (Κεχαγιά, Obbliger & Τσώχος, 2008):

- Η εργασιμότητα του νωπού μείγματος (μεταβολή της σύστασης και του χρόνου εφαρμογής)
- Η ανθεκτικότητα του σκληρυμένου σκυροδέματος (επιμήκυνση του χρόνου ζωής)
- Βελτίωση των συνθηκών μεταφοράς και διάστρωσης
- Η ταχύτητα πήξης και σκλήρυνσης του σκυροδέματος
- Η στεγανότητα του σκυροδέματος
- Ο περιεχόμενος αέρας στο νωπό και σκληρυμένο σκυρόδεμα
- Μείωση των απαιτήσεων σε νερό και ενέργεια
- Επιτυγχάνεται υψηλότερη θλιπτική αντοχή
- Μείωση της συστολής ξήρανσης.

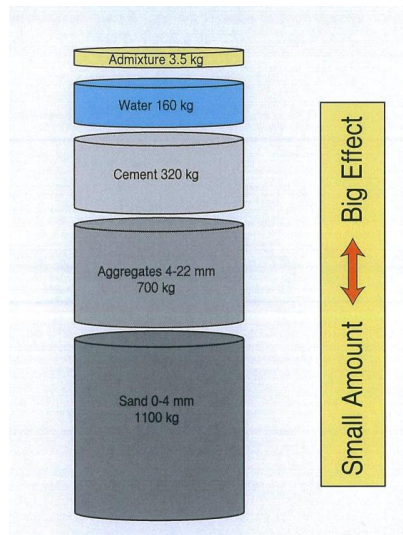
1.6.3. Δοσολογία Προσμίκτων βάσει EN 206-1

Η επιτρεπόμενη δοσολογία είναι $\leq 5\%$ κατά βάρος τσιμέντου (η επίδραση μεγαλύτερης δοσολογίας στην απόδοση και ανθεκτικότητα του σκυροδέματος πρέπει να επαληθεύεται.)

Χαμηλές δοσολογίες προσμίκτων $< 0,2\%$ του τσιμέντου επιτρέπονται μόνο σε περίπτωση που είναι διαλυμένα σε μέρος του νερού ανάμιξης.

Σε περίπτωση που η ολική ποσότητα υγρού προσμίκτου είναι $> 3 \text{ l/m}^3$ σκυροδέματος, η ποσότητα του νερού που περιέχεται στο πρόσμικτο πρέπει να συνυπολογίζεται κατά τον υπολογισμό του λόγου νερού / τσιμέντο.

Σε περίπτωση που περισσότερα από ένα πρόσμικτα προστίθενται στο σκυρόδεμα, πρέπει η συμβατότητά τους να επαληθεύεται με ξεχωριστή δοκιμή (Sika, 2007).



Σχήμα 1.12. Πρόσμικτα σκυροδέματος: μικρή ποσότητα ↔ μεγάλη επίδραση (Κεχαγιά, Obbliger & Τσώχος, 2008).

1.7. Πρόσθετα Σκυροδέματος

Τα πρόσθετα σκυροδέματος (Concrete Additions and Supplementary Cementitious Materials SCM) είναι λεπτόκοκκα υλικά, τα οποία προστίθενται στο σκυρόδεμα εν γένει σε αρκετά μεγάλες αναλογίες (περίπου 5-20%). Χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν ή να προσδώσουν συγκεκριμένες ιδιότητες στο νωπό και / ή στο σκληρυμένο σκυρόδεμα (Sika, 2007; Schlumpf, Bicher & Schwoon, 2013).

Το Πρότυπο EN 206-1 περιλαμβάνει 2 τύπους ανόργανων προσθέτων:

Τύπος I

Πρακτικά ανενεργά υλικά (nearly inert additions), όπως ασβεστολιθική πούδρα, χαλαζιακή σκόνη και χρωστικές ουσίες.

Χρωστικές. Χρωστικά μεταλλικά οξείδια (κυρίως οξείδια του σιδήρου) που χρησιμοποιούνται για να χρωματίσουν το σκυρόδεμα. Προστίθενται σε ποσοστά της τάξης του 0,5-5% κατά βάρος του τσιμέντου. Πρέπει να παραμένουν χρωματικώς σταθερά στη μάζα του σκυροδέματος και ανενεργά στο αλκαλικό περιβάλλον του σκυροδέματος. Με χρήση ορισμένων τύπων χρωστικών ουσιών μπορεί να αυξηθεί η απαίτηση του μίγματος σε νερό.

Πούδρα αδρανών (χαλαζιακή, ασβεστολιθική). Μίγματα με χαμηλή περιεκτικότητα σε λεπτά αδρανή μπορούν να βελτιωθούν με προσθήκη πούδρας αδρανών. Τα ανενεργά αυτά υλικά χρησιμοποιούνται για βελτίωση της κοκκομετρικής καμπύλης των αδρανών. Η απαίτηση σε νερό είναι αυξημένη, ιδιαιτέρως στην περίπτωση της ασβεστολιθικής πούδρας.

Τύπος II

Ποζολανικά ή λανθάνοντα υδραυλικά υλικά (pozzolanic or latent hydraulic additions), όπως φυσικές ποζολάνες, ιπτάμενες τέφρες και πυριτική πούδρα.

Η **ιπτάμενη τέφρα** είναι στάχτη που προέρχεται από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση γαιανθράκων και χρησιμοποιείται σαν πρόσθετο τόσο στο τσιμέντο, όσο και στο σκυρόδεμα. Η σύνθεσή της εξαρτάται κυρίως από τον τύπο του γαιάνθρακα, την προέλευση και τις συνθήκες καύσης του.

Η **πυριτική πούδρα** (παιπάλη) αποτελείται κυρίως από σφαιρικά σωματίδια άμορφου διοξειδίου του πυριτίου προερχόμενα από την παραγωγή πυριτίου και κραμάτων

πυριτίου. Έχει ειδική επιφάνεια περίπου 18-25 m² ανά γραμμάριο και αποτελεί μια πολύ ισχυρής δραστηριότητας ποζολάνη.

Τυπικές δοσολογίες πυριτικής παιπάλης κυμαίνονται μεταξύ 5% έως 10% μέγιστα κατά βάρος τσιμέντου.

1.8. Βιώσιμη ανάπτυξη και περιβάλλον

1.8.1. Εναλλακτικά καύσιμα και εναλλακτικές πρώτες ύλες

Η τσιμεντοβιομηχανία στην Ευρωπαϊκή Ένωση παράγαγε κατά τα έτη 2011-2012 περίπου 180 εκατομμύρια τόνους τσιμέντου τον χρόνο. Το τσιμέντο παράγεται κάτω από αυστηρές ποιοτικές προδιαγραφές σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή και εθνικές νομοθεσίες καθώς και εσωτερικές διαδικασίες. Εφαρμόζονται αυστηροί κανονισμοί και τα εργοστάσια λειτουργούν με βάση άδειες που χορηγούνται από τις αρμόδιες αρχές (Σ.Τ.Ε., 2016g; Σ.Τ.Ε., 2016h).

Η τσιμεντοβιομηχανία έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί άχρηστα υλικά ως εναλλακτικά καύσιμα ή πρώτες ύλες για να ενισχύσει την ανταγωνιστικότητά της και ταυτόχρονα να συνεισφέρει σε λύσεις των προβλημάτων της κοινωνίας που αφορούν στη διαχείριση των αποβλήτων της, με τέτοιο τρόπο που να τα αξιοποιεί και να ωφελεί το περιβάλλον. Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων σε χώρες της Ευρώπης ανερχόταν το 2012 σε 8 εκ. περίπου τόνους ετησίως, υποκαθιστώντας 4 εκ. τόνους άνθρακα. Άλλοι 6,2 εκ. περίπου τόνοι εναλλακτικών υλικών υποκαθιστούν αντίστοιχες ποσότητες φυσικών πρώτων υλών (The European Cement Association, 2016; The European Cement Association, 2012).

Η εφαρμογή των εναλλακτικών καυσίμων και πρώτων υλών στην τσιμεντοβιομηχανία αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο της ορθής πολιτικής διαχείρισης απορριμμάτων. Αυτή η πρακτική προωθεί την ενεργητική και πλήρη ανάκτηση και ανακύκλωση υλικών στη βιομηχανία, σύμφωνα με τις βασικές αρχές της ιεράρχησης των μεθόδων διαχείρισης απορριμμάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Τα άχρηστα υλικά που χρησιμοποιούνται στην τσιμεντοβιομηχανία είτε ως εναλλακτικά καύσιμα είτε ως πρώτες ύλες θα κατέληγαν διαφορετικά σε κάποια χωματερή ή θα ρύπαιναν το περιβάλλον από την ανεξέλεγκτη απόρριψή τους. Η χρησιμοποίησή τους στην τσιμεντοβιομηχανία αντικαθιστά ορυκτά καύσιμα, μεγιστοποιεί την ανάκτηση ενέργειας και υποκαθιστά πρώτες ύλες.

Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων στην τσιμεντοβιομηχανία προσφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη όπως:

- Μειώνει τη χρησιμοποίηση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως ο άνθρακας καθώς και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με την εξόρυξή του.
- Συνεισφέρει στη μείωση εκπομπών αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αντικαθιστώντας τη χρήση ορυκτών πόρων με υλικά που διαφορετικά θα έπρεπε να απορριφθούν ή να καούν με αντίστοιχες εκπομπές και κατάλοιπα.
- Μεγιστοποιεί την ανάκτηση ενέργειας από τα απορρίμματα. Όλη η ενέργεια χρησιμοποιείται άμεσα στον κλίβανο για την παραγωγή κλίνκερ. Επίσης μεγιστοποιεί την ανάκτηση του μη αναφλέξιμου μέρους των απορριμμάτων και εξαλείφει την ανάγκη απόρριψης σκουριάς ή τέφρας, καθώς τα περιεχόμενα ανόργανα στοιχεία υποκαθιστούν πρώτες ύλες στο τσιμέντο.

Η χρησιμοποίηση άχρηστων υλικών είτε ως εναλλακτικά καύσιμα είτε ως πρώτες ύλες είναι ορθή και αβλαβής καθώς το οργανικό μέρος καταστρέφεται πλήρως ενώ το ανόργανο μέρος δεσμεύεται και ενσωματώνεται στο προϊόν. Οι κλίβανοι τσιμέντου έχουν ένα σύνολο χαρακτηριστικών που τους καθιστά τις ιδανικές εγκαταστάσεις, όπου μπορούν να

αξιοποιηθούν και να καούν με ασφάλεια εναλλακτικά καύσιμα. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι:

- Υψηλές θερμοκρασίες καύσης
- Μεγάλος χρόνος παραμονής
- Οξειδωτική ατμόσφαιρα
- Αλκαλικό περιβάλλον
- Δέσμευση τέφρας στο κλίνκερ
- Συνεχής τροφοδοσία καυσίμου.

Σήμερα σχεδόν όλες οι Ευρωπαϊκές χώρες (Ολλανδία, Γαλλία, Σουηδία, Ελβετία, Βέλγιο, Γερμανία κ.α.) αξιοποιούν σε μεγάλο βαθμό πληθώρα αποβλήτων στους κλιβάνους των τσιμεντοβιομηχανιών τους εξοικονομώντας συνάλλαγμα και πρώτες ύλες, ενώ παράλληλα προστατεύουν το περιβάλλον δίνοντας ταυτόχρονα ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στον κλάδο. Στην Ελλάδα η αξιοποίηση είναι περιορισμένη παρά τις σύντονες προσπάθειες των παραγωγών τσιμέντου. Ενδεικτικά, η υποκατάσταση καυσίμων στις χώρες της Ε.Ε. υπερβαίνει το 36%, ενώ η αντίστοιχη στην Ελλάδα είναι κάτω από 5%.

Τα χρησιμοποιούμενα εναλλακτικά καύσιμα ποικίλουν και περιλαμβάνουν (Σ.Τ.Ε., 2016):

- Χρησιμοποιημένα ελαστικά / Πλαστικά
- Ζωοτροφές / Γεωργικά και οργανικά απορρίμματα
- Ιλύ βιολογικών καθαρισμών / Λάσπες καθαρισμών
- Απορρίμματα συσκευασίας / Χαρτί, ξύλο, πριονίδι
- Διαλύτες / Χρησιμοποιημένα λάδια και λιπαντικά.

Οι χρησιμοποιούμενες εναλλακτικές πρώτες ύλες μπορεί να είναι:

- Ιπτάμενη τέφρα / Υγρή τέφρα
- Αποφρύγματα σιδηροπυρίτη / Σκωρίες / Σιδηρούχα κατάλοιπα
- Σκόνες αλουμινίου
- Χημική γύψος.

Τέλος σκυρόδεμα μπορεί να παραχθεί με χρήση και υλικών κατεδαφίσεων ή παραγώγων υλικών βιομηχανιών ως αδρανών (ανάπτυξη νέων μεθόδων ανακύκλωσης) ή και το ίδιο το σκυρόδεμα μπορεί να ανακυκλωθεί μετά την κατεδάφιση κατασκευών για χρήση σε βάσεις οδοστρωμάτων ή για την προστασία ακτογραμμών (Κανιτάκη, 2009).

1.8.2. Μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂)

Η συσσώρευση θερμότητας στην ατμόσφαιρα κοντά στην επιφάνεια της γης (τροπόςφαιρα) που προκαλείται από τα αέρια θερμοκηπίου ευθύνεται για την κλιματική αλλαγή. Όπως τα γυάλινα τοιχώματα θερμοκηπίου αυξάνουν τη θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα, το φαινόμενο του θερμοκηπίου θερμαίνει την επιφάνεια του πλανήτη. Χωρίς το φυσικό αυτό φαινόμενο, η θερμοκρασία θα ήταν χαμηλότερη του σημείου πήξης του νερού. Εντούτοις, οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν εντείνει σε μεγάλο βαθμό το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, προκαλώντας την υπερθέρμανση του πλανήτη και πυροδοτώντας την κλιματική αλλαγή. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄), το υποξείδιο του αζώτου (N₂O) και οι υδροφθοράνθρακες (HFCs) αποτελούν παραδείγματα αερίων θερμοκηπίου, τα οποία απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία προκαλώντας κατ' αυτό τον τρόπο το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Λαμβάνοντας υπόψη το διαφορετικό δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη που έχουν τα αέρια θερμοκηπίου, οι εκπομπές τους συνήθως υπολογίζονται και εκφέρονται σε ισοδύναμα διοξειδίου του άνθρακα (CO₂e) (Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο, 2014).

Οι δύο σημαντικότερες πηγές εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στην Ευρώπη είναι η παραγωγή ενέργειας μέσω της καύσης καυσίμων και οι μεταφορές. Η πολιτική της Ένωσης για το περιβάλλον στοχεύει στην επίτευξη υψηλού επιπέδου προστασία. Στηρίζεται στην αρχή της προφύλαξης και στις αρχές της προληπτικής δράσης, της επανόρθωσης της βλάβης που υφίσταται το περιβάλλον, κατά προτεραιότητα στην πηγή, καθώς και στην αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει». Για το 2020 η ΕΕ έχει αναλάβει σθεναρή δέσμευση να επιτύχει μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 20 % σε σχέση με το 1990. Για το 2030 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει προτείνει τη θέσπιση στόχου μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά 40 % για τις εγχώριες εκπομπές της ΕΕ σε σύγκριση με τις εκπομπές του 1990 (Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο, 2014).

Κατά την παραγωγή του τσιμέντου προκύπτουν υψηλά επίπεδα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) αναπόφευκτα λόγω των διεργασιών ορυκτολογικού μετασχηματισμού. Το CO₂ που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα κατά την παραγωγή τσιμέντου αντιστοιχεί στο 1,5 – 2 % της συνολικής εκπομπής CO₂ που προέρχεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα στον πλανήτη (Κανιτάκη, 2009). Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων στην τσιμεντοβιομηχανία, εκτός των προαναφερθέντων, συνεισφέρει στη μείωση εκπομπών όπως των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αντικαθιστώντας ορυκτά καύσιμα με υλικά που διαφορετικά θα έπρεπε να απορριφθούν ή να καούν με αντίστοιχες εκπομπές και κατάλοιπα. Επίσης κατά τη συναποτέφρωση ανακτάται η ενέργεια αλλά και ανόργανα συστατικά των αποβλήτων αντικαθιστώντας μη ανανεώσιμα ορυκτά καύσιμα και πρώτες ύλες και συγχρόνως μειώνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Στο πλαίσιο της μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση και σε ότι αφορά στον κλάδο της τσιμεντοβιομηχανίας (κλάδος έντασης ενέργειας), η χρήση βιομάζας και εναλλακτικών καυσίμων αποτελεί το βασικό εργαλείο μείωσης τους.

1.8.3. Παραγωγή σκυροδέματος με βελτιωμένες ιδιότητες

Τα επόμενα χρόνια για να είναι το σκυρόδεμα υψηλής ποιότητας, ανθεκτικό, ανταγωνιστικό και αειφόρο και να έχει κυρίαρχη θέση τόσο στον ελλαδικό χώρο όσο και παγκοσμίως στην αειφόρο και πράσινη ανάπτυξη, θα πρέπει να προωθηθεί και η παραγωγή σκυροδεμάτων με βελτιωμένες ιδιότητες, όπως (Κανιτάκη, 2009):

- σκυροδέματα υπερυψηλής αντοχής καθώς και ελαφροσκυροδέματα (οδηγούν σε μείωση του όγκου των κατασκευών και συνεπώς σε μείωση κατανάλωσης ενέργειας στην παραγωγή και μεταφορά)
- σκυροδέματα με μονωτικές ιδιότητες (μείωση κατανάλωσης ενέργειας στην κατοικία)
- σκυροδέματα χαμηλής υδατοπερατότητας (υπόγεια έργα)
- σκυροδέματα ανθεκτικά στον χρόνο σε διαβρωτικό περιβάλλον (προστασία του οπλισμού από διάβρωση)
- σκυροδέματα με βελτιωμένη εξωτερική επιφάνεια και αίσθηση στην αφή, έγχρωμα σκυροδέματα.
- διαπερατά σκυροδέματα που χρησιμοποιούνται κυρίως σε επιστρώσεις εξωτερικών χώρων. Αυτά επιτρέπουν στο νερό να διέρχεται προς το έδαφος, ενώ συγχρόνως έχουν ικανοποιητική συμπεριφορά σε θλίψη, εφελκυσμό, κάμψη και ανθεκτικότητα σε κύκλους ψύξης-απόψυξης.

Θα μπορούσαν τέλος να αναφερθούν οι προσπάθειες που γίνονται και στον τομέα των μεταφορών με μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και χρήση εναλλακτικών καυσίμων (The European Cement Association, 2012; Κανιτάκη, 2009).

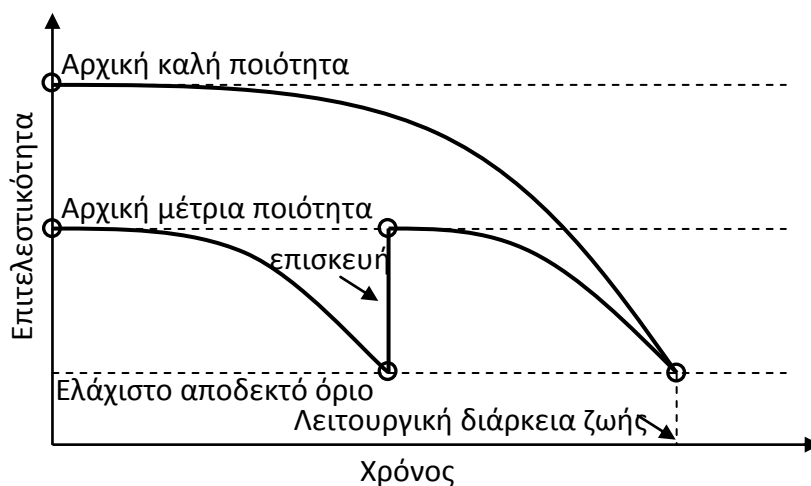
2. ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΧΑΛΥΒΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.1. Εισαγωγή

Στην Ελλάδα, αλλά και παγκοσμίως, τα τελευταία χρόνια παρατηρούνται έντονα προβλήματα μη ικανοποιητικής ανθεκτικότητας των κατασκευών, καθώς η διάβρωση του οπλισμού αναδεικνύεται το σημαντικότερο πρόβλημα στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι συνέπειες της διάβρωσης είναι σημαντικές και αφορούν και στο οικονομικό κόστος και σε σημαντικές επιπτώσεις στην ασφάλεια της κατασκευής έναντι επιβαλλόμενων δράσεων, όπως ο σεισμός (Παπαδάκης, 2004).

Ο τύπος και ο ρυθμός των διεργασιών φθοράς του σκυροδέματος και του οπλισμού του καθορίζει την αντίσταση των υλικών, των στοιχείων και των τμημάτων που συνθέτουν την κατασκευή. Η κατασκευή πληροί τις απαιτήσεις της **επιτελεστικότητας** (performance), όταν ταυτόχρονα καλύπτει τις προϋποθέσεις της ασφάλειας, της λειτουργικότητας και της εμφάνισης. **Ανθεκτικότητα** (durability) μιας κατασκευής σε διάρκεια ονομάζεται η ικανότητα της κατασκευής να αντιστέκεται σε περιβαλλοντικές επιδράσεις χωρίς η επιτελεστικότητά της να υποχωρεί κάτω από ένα ελάχιστο αποδεκτό όριο. **Φθορά** (deterioration) μιας κατασκευής στον χρόνο ορίζεται κάθε απώλεια επιτελεστικότητας και είναι αποτέλεσμα περιβαλλοντικών δράσεων, όπως μηχανικών, φυσικών, χημικών και βιοχημικών διεργασιών (Ρούτουλας, 1999).

Η επιθυμητή διάρκεια ζωής, δηλαδή η περίοδος του χρόνου που η επιτελεστικότητα της κατασκευής διατηρείται σε ένα αποδεκτό, σύμφωνα με προδιαγραφές επίπεδο, ακολουθώντας ένα κανονικό πρόγραμμα συντήρησης, μπορεί να επιτευχθεί είτε λόγω καλής αρχικής ποιότητας κατασκευής είτε λόγω συνεχών σοβαρών επισκευών μιας κακής αρχικής ποιότητας κατασκευής (σχήμα 2.1) (Παπαδάκης, 2004).

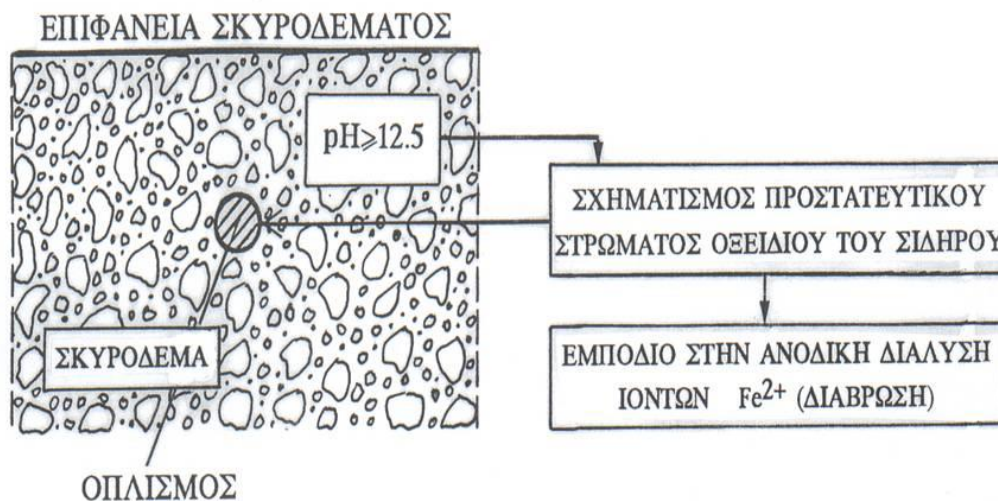


Σχήμα 2.1. Σχέση επιτελεστικότητας - διάρκειας ζωής κατασκευών από σκυρόδεμα

Διάβρωση (corrosion) είναι η αλληλεπίδραση ενός μετάλλου ή κράματος με το περιβάλλον του, που έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή των ιδιοτήτων του μετάλλου (ή κράματος) και που συχνά μπορεί να καταλήξει στην υποβάθμιση της λειτουργίας του μετάλλου (ή κράματος), του περιβάλλοντος ή του τεχνικού συστήματος, που αυτά αποτελούν τμήμα (ISO 8044:2015). Στον Κανονισμό Τεχνολογίας Χαλύβων 2008 (KTX 2008)

αναφέρεται ότι διάβρωση είναι κάθε αυθόρμητη, κατ' επέκταση εκβιασμένη, ηλεκτροχημικής φύσεως, κατ' επέκταση χημικής, κατ' επέκταση μηχανικής, αλλοίωση της επιφάνειας μετάλλων ή κραμάτων, η οποία οδηγεί σε απώλεια υλικού και άλλες συνέπειες. Η διάβρωση είναι φαινόμενο θερμοδυναμικά αυθόρμητο και μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε φυσικό περιβάλλον, όπως στον αέρα, στο γλυκό ή το θαλασσινό νερό ή και στο έδαφος. Χαρακτηριστικό της διάβρωσης είναι η επιφανειακή αλλοίωση του υλικού που οφείλεται στα προϊόντα διάβρωσης, τα οποία είτε συσσωρεύονται στην επιφάνεια καλύπτοντάς την τοπικά ή σε όλη την έκτασή της, είτε διαφεύγουν προς το διαβρωτικό περιβάλλον, χωρίς να αποκλείονται και τα δύο. Σε κάθε περίπτωση τα προϊόντα είναι χημικώς διάφορα από το μέταλλο ή το κράμα, δηλαδή συμβαίνει απώλεια υλικού. Η απώλεια υλικού δεν σημαίνει πάντα ότι η μάζα του υλικού μειώνεται, διότι υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι ενώσεις που σχηματίζονται έχουν ισχυρή πρόσφυση στο υλικό και μπορεί να φαίνεται ότι η μάζα του υλικού αυξάνει (Υφαντής, 2000).

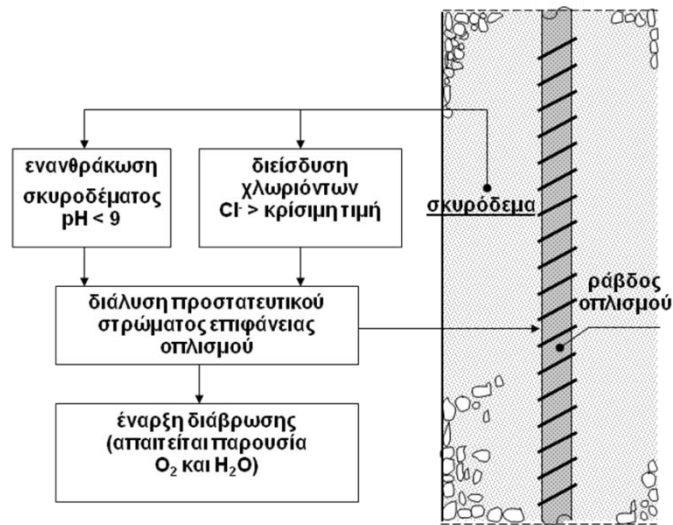
Το σκυρόδεμα παρέχει στον εγκιβωτισμένο χάλυβα προστασία έναντι της διάβρωσης, εξαιτίας της ισχυρά αλκαλικής φύσης του που οφείλεται στο υδροξείδιο του ασβεστίου $\text{Ca}(\text{OH})_2$, υποπροϊόν της ενυδάτωσης του τσιμέντου. Οι μεγάλες τιμές του pH (μεταξύ 12,5 και 13,5) στο σκληρυμένο σκυρόδεμα επιτρέπουν τον σχηματισμό στην επιφάνεια του χάλυβα ενός λεπτού, συνεκτικού και σφικτά προσκολλημένου παθητικού στρώματος οξειδίων του σιδήρου, που εμποδίζει την ανάπτυξη της διάβρωσης (σχήμα 2.2) (Ρούτουλας, 2010). Το στρώμα οξειδίων σχηματίζεται μόνο σε καθαρή επιφάνεια του μετάλλου. Όσο το προστατευτικό στρώμα είναι ακέραιο, δεν θα συμβεί διάβρωση του χάλυβα, ακόμη και αν υπάρχουν οι παράγοντες που απαιτούνται για την εξέλιξη του φαινομένου της διάβρωσης (Τάσιος και Αλιγιζάκη, 1992).



Σχήμα 2.2. Προστασία του οπλισμού στο σκυρόδεμα.

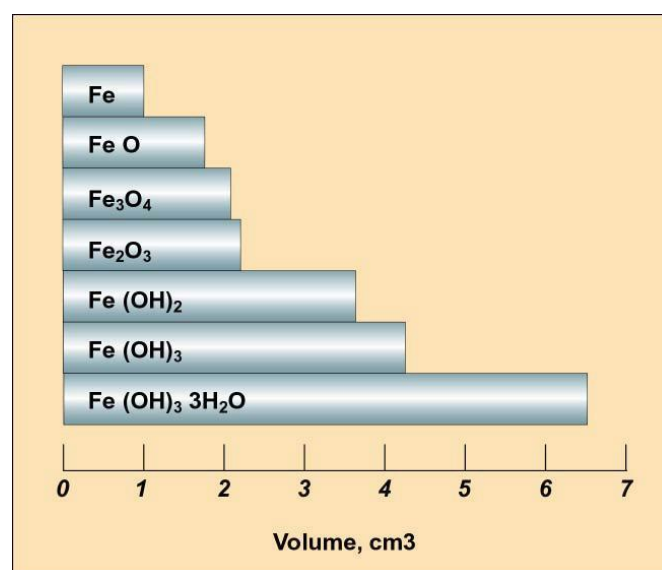
Το προστατευτικό στρώμα οξειδίων καταστρέφεται, είτε όταν συμβεί μείωση της αλκαλικότητας του σκυροδέματος, λόγω της αντίδρασης του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) με τα αλκάλια που υπάρχουν στο σκυρόδεμα, είτε όταν συμβεί διάτρηση του παθητικού στρώματος από τα χλωριόντα (Cl^-), που μπορεί να προκαλέσει διάβρωση ακόμη και σε συνθήκες υψηλού pH (σχήμα 2.3) (Ρούτουλας, 2010). Είναι επίσης δυνατόν να έχει καταστραφεί το στρώμα των οξειδίων, αλλά ο χάλυβας να μην διαβρώνεται επειδή οι περιβαλλοντικές συνθήκες δεν είναι «ευνοϊκές», π.χ. σε σκυρόδεμα βυθισμένο σε νερό

λόγω ανεπάρκειας οξυγόνου ή σε σκυροδέμα στο εσωτερικό κτιρίων λόγω έλλειψης υγρασίας.

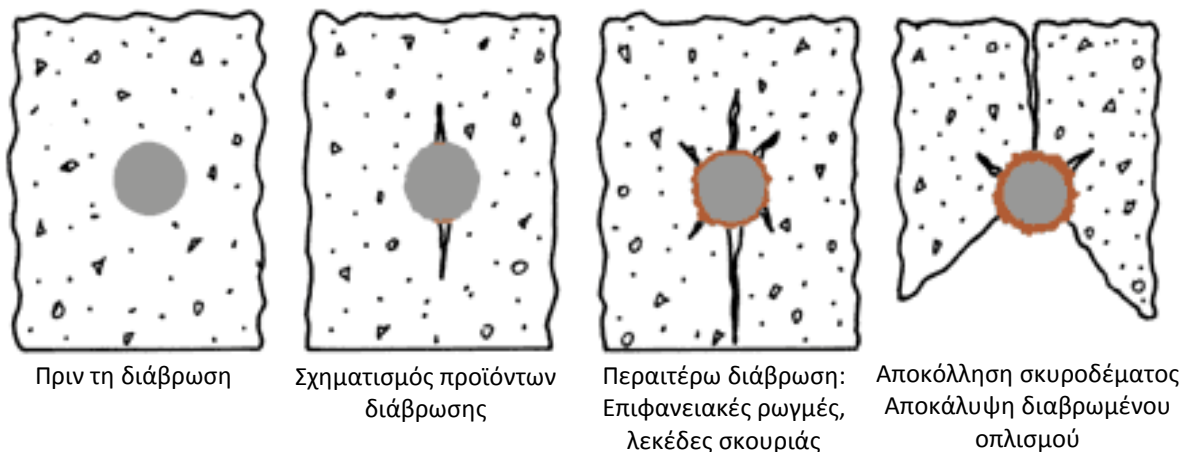


Σχήμα 2.3. Μηχανισμοί έναρξης διάβρωσης οπλισμού σκυροδέματος.

Ο μετασχηματισμός του μεταλλικού σιδήρου σε σκουριά συνοδεύεται από αύξηση του όγκου του που, ανάλογα με την κατάσταση της οξείδωσης, μπορεί να είναι τόσο μεγάλη που τα τελικά προϊόντα να καταλαμβάνουν έως και 6 φορές μεγαλύτερο όγκο από το αρχικό μέταλλο (σχήμα 2.4) (Mehta & Monteiro, 2009). Η σκουριά μπορεί να ασκήσει πιέσεις έως 27.6 MPa στο σκυροδέμα που περιβάλλει τον χάλυβα, που προκαλούν ρηγματώσεις, αποκόλληση τμημάτων του σκυροδέματος και τέλος αποκάλυψη του διαβρωμένου οπλισμού (σχήμα 2.5) (Grace, 2000) (http://www.galvanizedrebar.com/steel_concrete.htm).



Σχήμα 2.4. Η διάβρωση του χάλυβα οδηγεί σε αύξηση του στερεού όγκου.



Σχήμα 2.5. Συνέπειες της διάβρωσης του οπλισμού στο σκυροδέμα.

Διάβρωση του χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος μπορεί να συμβεί, αν:

- Το σκυρόδεμα είναι κακής ποιότητας και δεν παρέχει παθητική προστασία στον χάλυβα, π.χ. σκυρόδεμα υψηλής διαπερατότητας που επιτρέπει τη διείσδυση χλωριόντων.
- Το περιβάλλον δεν είναι το προβλεπόμενο ή άλλαξε κατά τη χρήση της κατασκευής, π.χ. χώροι αυξημένης υγρασίας.
- Ο χάλυβας εφάπτεται σε υλικά που δεν έχουν αλκαλικότητα, όπως π.χ. το έδαφος ή το νερό, και που έρχονται σε επαφή με τον χάλυβα μετά από τυχόν ρηγμάτωση του σκυροδέματος.
- Ο χάλυβας έχει κατασκευαστικές ατέλειες, ή είναι εξαιρετικά ευαίσθητος, ή έρχεται σε επαφή με άλλα μέταλλα (Τάσιος και Αλιγιζάκη, 1992).

Η ταχύτητα διάβρωσης (corrosion rate) αναφέρεται στον ρυθμό ανάπτυξης του προϊόντος της γενικής διάβρωσης στην επιφάνεια ενός μετάλλου στη μονάδα του χρόνου. Η ταχύτητα αποδίδεται ποσοτικά, είτε ως απώλεια μάζας (mass loss) του μετάλλου ανά μονάδα επιφάνειας ανά μονάδα χρόνου, είτε ως αύξηση του βάθους προώθησης της διάβρωσης στη μονάδα του χρόνου (penetration rate). Στην πρώτη περίπτωση μετράται το βάρος ενός καθαρού δοκιμίου πριν την έκθεση στο διαβρωτικό μέσο και μετά την έκθεση και την προσεκτική αφαίρεση του προϊόντος διάβρωσης από την επιφάνεια. Ισχύει η σχέση:

$$r = k \cdot M / (A \cdot t \cdot d) \quad (2.1)$$

όπου

r : η ταχύτητα διάβρωσης

k : σταθερά

M : απώλεια μάζας σε g μετρούμενη στο πλησιέστερο mg μέτρησης

A : η επιφάνεια του δοκιμίου στο πλησιέστερο 0,01 cm²

t : ο χρόνος του πειράματος σε ώρες

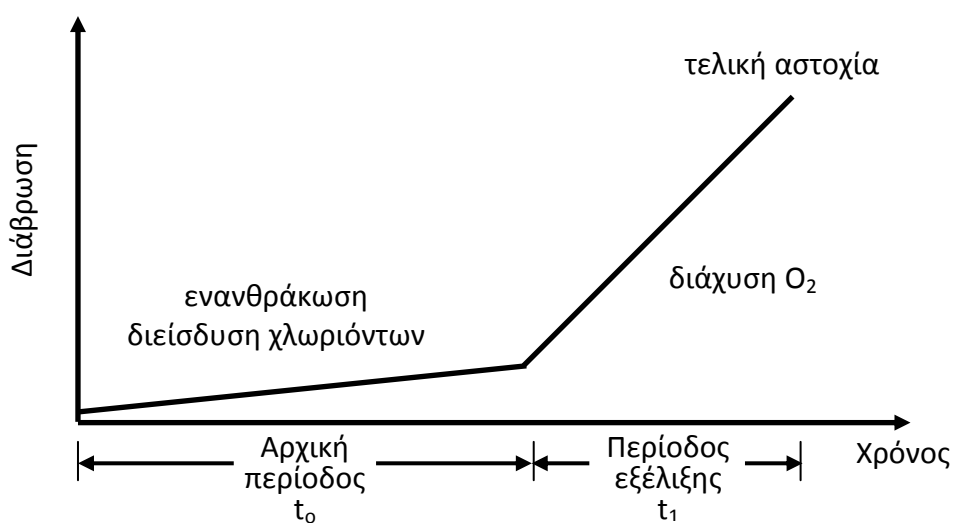
d : η πυκνότητα του υλικού σε g/cm³.

Για την ταχύτητα χρησιμοποιούνται διάφορες μονάδες, με συνηθέστερη στις αγγλοσαξονικές χώρες το mpy (mils per year, χιλιοστά της ίντσας τον χρόνο) ή το mmpry (mm per year, χιλιοστά τον χρόνο). Ταχύτητα μικρότερη του 1 mpy θεωρείται πολύ μικρή, ενώ μεγαλύτερη των 50 mpy θεωρείται πολύ υψηλή (Τριανταφυλλίδης, 2012).

Η ταχύτητα διάβρωσης του χάλυβα αυξάνεται, τόσο εντός όσο και εκτός σκυροδέματος, με (ΚΤΧ 2008):

- Την αύξηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας.
- Τη μείωση του pH.
- Την αύξηση της παρουσίας αλάτων (π.χ. θαλάσσιο περιβάλλον).
- Την επαφή του χάλυβα με το έδαφος, το νερό κλπ.
- Την επαφή του χάλυβα με διαφορετικά υλικά ή περιβάλλοντα.
- Την ύπαρξη ενεργών “κέντρων” στην επιφάνεια του χάλυβα (όπως π.χ. οξείες αιχμές ή πληγές, κάμψεις με μικρή ακτίνα καμπυλότητας κλπ.)
- Την ύπαρξη επιφανειακής αλλοίωσης λόγω προϋπάρχουσας διάβρωσης.
- Την επαφή χαλύβων διαφορετικού είδους και διαφορετικού ηλεκτροχημικού δυναμικού.
- Την επαφή χαλύβων διαφορετικού βαθμού διάβρωσης.
- Την ψυχρή κατεργασία (ολκή, έλαση κλπ).
- Το αυξημένο πορώδες του σκυροδέματος.

Η ύπαρξη προϊόντων διάβρωσης στην επιφάνεια του οπλισμού επηρεάζει την ταχύτητα της περαιτέρω διάβρωσης και τη συνάφεια μεταξύ του οπλισμού και του σκυροδέματος. Η ύπαρξη οξειδίων του σιδήρου στην επιφάνεια του χάλυβα, σε μικρές μεν ποσότητες βελτιώνει τη συνάφεια μεταξύ οπλισμού και σκυροδέματος, αλλά σε μεγαλύτερες ποσότητες τη μειώνει. Η ποσότητα οξειδίων του σιδήρου που δεν μπορεί να αφομοιωθεί από το νωπό σκυρόδεμα μέσω της μετατροπής των οξειδίων σε φερριτική φάση (C_4AF) θεωρείται βλαπτική και εξαρτάται από τη σύσταση του τσιμέντου, και ιδίως από την περιεκτικότητα σε C_3A , καθώς και από το πορώδες του σκυροδέματος. Με βάση θεωρητικούς υπολογισμούς, η ποσότητα οξειδίων του σιδήρου που μπορούν να αντιδρούν με αμιγές τσιμέντο Πόρτλαντ, κατά την παραπάνω διαδικασία, ανέρχονται σε 350 g/m^2 (ή πάχος οξειδίων σιδήρου της τάξης των $150 \mu\text{m}$). Για τα συνήθη τσιμέντα (CEM II) οι τιμές είναι μικρότερες, της τάξης των 300 g/m^2 (ΚΤΧ 2008).



Σχήμα 2.6. Εξέλιξη της διάβρωσης του χάλυβα στο σκυρόδεμα (Τάσιος και Αλιγιζάκη, 1992).

Για τον καθορισμό της διάρκειας ζωής μιας κατασκευής, είναι απαραίτητο να γίνει εκτίμηση της πιθανής χρονικής έναρξης της διάβρωσης του χάλυβα καθώς και των παραμέτρων και του τρόπου που επηρεάζουν τη διαδικασία διάβρωσης. Ο Tuutti (1980), χωρίζει τη διάρκεια ζωής μιας κατασκευής σε δύο περιόδους, την αρχική περίοδο (t_0) και την περίοδο εξέλιξης της διάβρωσης (t_1), όπως φαίνεται στο ποιοτικό διάγραμμα του σχήματος 2.6. Κατά την αρχική περίοδο συμβαίνουν εκείνες οι διαδικασίες οι οποίες καταστρέφουν την παθητική προστασία του χάλυβα (π.χ. ενανθράκωση του σκυροδέματος, διείδυση χλωριόντων στο σκυρόδεμα κλπ). Κατά την περίοδο εξέλιξης προάγεται η διαδικασία διάβρωσης με την παρουσία επαρκούς ποσότητας οξυγόνου και υγρασίας, έως ότου επέλθει η τελική αστοχία. Σε αυτή τη φάση δεν έχει συμβεί οπωσδήποτε καταστροφή του Χ.Ο.Σ., αλλά η κατασκευή δεν πληροί πλέον τις απαιτήσεις της επιτελεστικότητας, δηλαδή ταυτόχρονα της ασφάλειας, της λειτουργικότητας και της εμφάνισης (Τάσιος και Αλιγιζάκη, 1992).

2.2. Είδη διάβρωσης

Ο τρόπος με τον οποίο διαβρώνεται ο χάλυβας ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με την αιτία που προκαλεί τη διάβρωση. Οι μορφές διάβρωσης που παρουσιάζονται στους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος κατατάσσονται στις ακόλουθες περιπτώσεις (Ρούτουλας, 1999; Bardal, 2004; Ζαχαροπούλου, 2014; Bertolini and Elsener, 2004):

- Γενική ή ομοιόμορφη διάβρωση (uniform or general corrosion)
- Τοπική διάβρωση
 - Διάβρωση με βελονισμούς (pitting corrosion)
 - Διάβρωση σε σχισμές (crevice corrosion)
 - Περικρυσταλλική διάβρωση (intergranular)
- Διάβρωση λόγω ανάπτυξης εξωτερικής διαφοράς δυναμικού
 - Γαλβανική ή διμεταλλική διάβρωση (galvanic corrosion)
- Διάβρωση με μηχανική καταπόνηση (stress corrosion cracking).

Κατά τη γενική διάβρωση η επιφάνεια του μετάλλου καλύπτεται σχεδόν ομοιόμορφα από τα προϊόντα της διάβρωσης και συμβαίνει όταν η αλκαλικότητα του σκυροδέματος έχει χαθεί σε ευρεία περιοχή. Τότε το προστατευτικό στρώμα των οξειδίων καταστρέφεται και αρχίζει η διάβρωση. Οι αιτίες μείωσης του pH σε ευρεία περιοχή στο σκυρόδεμα μπορεί να είναι η απόπλυση του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ από το σκυρόδεμα λόγω επίδρασης του νερού, η ενανθράκωση του σκυροδέματος και η επίδραση ανθρακικών ή θεικών αλάτων.

Η διάβρωση με βελονισμούς συμβαίνει υπό την επίδραση των χλωριόντων, οπότε και εμφανίζεται εκλεκτικός τοπικός σχηματισμός προϊόντος διάβρωσης, ακόμα και όταν το μέταλλο ή κράμα έχει καλυφθεί με προστατευτικό επίστρωμα, ή εκλεκτική διάλυση της επιφάνειας, δηλαδή σχηματίζονται εσοχές και κρατήρες. Είναι ένα από τα πιο καταστρεπτικά είδη διάβρωσης, γιατί προκαλεί καταστροφή των υλικών λόγω διάτρησης ακόμα και για πολύ μικρές απώλειες μάζας της κατασκευής, επειδή συχνά είναι δύσκολο να εντοπιστούν οι βελονισμοί, είτε λόγω του μικρού τους μεγέθους, είτε γιατί συχνά καλύπτονται από προϊόντα διάβρωσης.

Η διάβρωση σε σχισμές είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ύπαρξη σχισμών ή προφυλαγμένων περιοχών μεταλλικής επιφάνειας, που μπορούν να προκαλέσουν συχνά έντονη εντοπισμένη διάβρωση εξαιτίας εμφάνισης διαφορετικής συγκέντρωσης μέσα και έξω από αυτή.

Η περικρυσταλλική διάβρωση παρουσιάζεται στα περατωτικά όρια των κόκκων, τα οποία είναι ανοδικότερα του κυρίως μετάλλου λόγω συγκέντρωσης σε αυτά ακαθαρσιών και στοιχείων κραματοποίησης. Έχει σαν συνέπεια την υποβάθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού, το οποίο υπό την επίδραση τάσεων υφίσταται περικρυσταλλικές ρηγματώσεις, ακόμη και αν το επιβαλλόμενο φορτίο είναι αρκετά μικρότερο από εκείνο της αντοχής του σε εφελκυσμό.

Γαλβανική διάβρωση συμβαίνει όταν δύο διαφορετικά μέταλλα ή κράματα έρχονται σε επαφή παρουσία ενός ηλεκτρολύτη (διαβρωτικό ή αγώγιμο περιβάλλον). Μεταξύ των δύο υλικών δημιουργείται διαφορά δυναμικού που προκαλεί ροή ηλεκτρονίων στο σύστημά τους, με συνέπεια την αύξηση της ταχύτητας διάβρωσης του λιγότερου ανθεκτικού στη διάβρωση μετάλλου και την ελάττωση της ταχύτητας διάβρωσης του περισσότερο ανθεκτικού μετάλλου. Το λιγότερο ανθεκτικό (λιγότερο ευγενές) μέταλλο γίνεται άνοδος και το περισσότερο ανθεκτικό (περισσότερο ευγενές) κάθοδος.

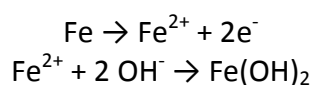
Η διάβρωση με μηχανική καταπόνηση εμφανίζεται μόνο στους προεντεταμένους χάλυβες.

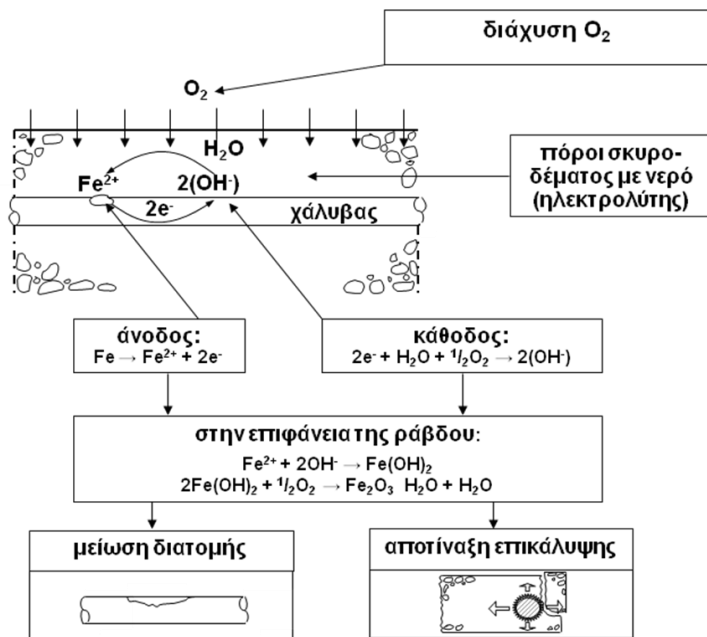
2.3. Μηχανισμός διάβρωσης του χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος

Η διάβρωση του χάλυβα οπλισμού του σκυροδέματος είναι ένα σύνθετο ηλεκτροχημικό φαινόμενο που απαιτεί την ύπαρξη ανοδικών και καθοδικών περιοχών και ενός ηλεκτρολύτη μέσω του οποίου διακινούνται τα ιόντα. Η διεξαγωγή των ηλεκτροχημικών δράσεων πραγματοποιείται στη διεπιφάνεια μετάλλου-ηλεκτρολύτη και ακολουθεί η μετακίνηση των ιόντων μέσω του ηλεκτρολύτη. Το φαινόμενο οφείλεται στη μικροσκοπική και μακροσκοπική ανομοιογένεια της επιφάνειας του χάλυβα σε συνδυασμό με το υγρό των πόρων του σκυροδέματος. Η ανοδική και η καθοδική δράση συμβαίνουν ταυτόχρονα σε διαφορετικές περιοχές του χάλυβα, ενώ ένας αριθμός ηλεκτρονίων μετακινείται μέσα στον χάλυβα. Ο λόγος σχηματισμού στην επιφάνεια του χάλυβα ταυτόχρονα ανοδικών και καθοδικών περιοχών οφείλεται στη δημιουργία τοπικών γαλβανικών στοιχείων (Μπατής, 1999).

Ένα κράμα όπως ο δομικός χάλυβας από τη μεταλλουργική διαδικασία παραγωγής του έχει αιτίες σχηματισμού τοπικών γαλβανικών στοιχείων. Ανομοιομορφίες μικρής κλίμακας στη χημική σύσταση του κράματος, γεωμετρικές ανωμαλίες ή η ύπαρξη οξειδίων στην επιφάνεια οδηγούν στον σχηματισμό τοπικών γαλβανικών στοιχείων με μία διαφορά ηλεκτρικού συνεχούς δυναμικού της τάξης των μερικών δεκάδων mV. Οι διαφορές αυτές δυναμικού είναι αρκετές για να οδηγήσουν στον σχηματισμό τοπικών ανοδικών και καθοδικών περιοχών (Μπατής 2007).

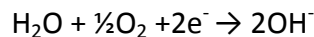
Η διάβρωση του χάλυβα σε επαφή με το νερό προκαλείται από τις ακόλουθες αντιδράσεις στην ανοδική περιοχή. Ως άνοδος συμπεριφέρεται το τμήμα του χάλυβα όπου έχει καταστραφεί το προστατευτικό στρώμα οξειδίων. Σ' αυτή την περιοχή, τα άτομα σιδήρου μετατρέπονται σε ιόντα, ενώ ελευθερώνονται ηλεκτρόνια. Το σχηματιζόμενο $\text{Fe}(\text{OH})_2$ είναι αδιάλυτο και σχηματίζει ένα μικρής συνάφειας πορώδες και ογκώδες στρώμα (σκουριά) πάνω στην επιφάνεια του χάλυβα (Σχήμα 2.7) (Ρούτουλας, 2010).





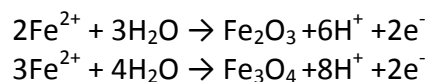
Σχήμα 2.7. Μηχανισμοί και αποτελέσματα διάβρωσης οπλισμού σκυροδέματος.

Αντίστοιχα στην καθοδική περιοχή συμβαίνει η ακόλουθη αντίδραση:



Ως κάθοδος συμπεριφέρεται εκείνη η περιοχή του χάλυβα όπου υπάρχει νερό και οξυγόνο, χωρίς να είναι απαραίτητο να έχει καταστραφεί το λεπτό στρώμα των οξειδίων. Ο ρυθμός της παραπάνω δράσης καθορίζεται από τον ρυθμό διάχυσης του οξυγόνου. Το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο φθάνει στην καθοδική περιοχή μέσω των τριχοειδών πόρων και των ρωγμών του σκυροδέματος και προκαλεί τη διάβρωση του χάλυβα όταν η τιμή του pH βρίσκεται μεταξύ 4 και 10. Το σχηματιζόμενο στρώμα του $\text{Fe}(\text{OH})_2$ δεν προσφέρει καμία προστασία στον οπλισμό καθώς είναι πορώδες και ελάχιστα συμπαγές, με αποτέλεσμα η διάβρωση να προχωρά μέχρι την πλήρη μετατροπή του σιδήρου σε υδροξείδιο του σιδήρου. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη συνέχιση της δράσης αυτής είναι η παρουσία οξυγόνου.

Όταν η τιμή του pH είναι μεγαλύτερη από 10 οι δράσεις που πραγματοποιούνται στην ανοδική περιοχή είναι οι ακόλουθες:



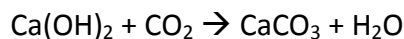
Τα προϊόντα των αντιδράσεων αυτών, δηλαδή τα οξείδια Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , σχηματίζουν ένα συμπαγές και αδιαπέραστο στρώμα που παθητικοποιεί τον οπλισμό και τον απομονώνει από το διαβρωτικό περιβάλλον.

Όσο η τιμή του pH του υγρού των πόρων του σκυροδέματος βρίσκεται μεταξύ 12,5 και 13,5, ο εγκιβωτισμένος οπλισμός παραμένει σε παθητικοποιημένη κατάσταση. Αν το σκυρόδεμα περιέχει ρωγμές, το νερό μπορεί να εισχωρήσει, να φθάσει στην περιοχή του οπλισμού και να απομακρύνει τα OH^- που συντελούν στην παθητικοποίηση του σιδήρου. Η

διάβρωση του χάλυβα επηρεάζεται επίσης από τις μεταβολές της υγρασίας του σκυροδέματος στην περιοχή του και ο ρυθμός διάβρωσης αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

2.4. Ενανθράκωση σκυροδέματος

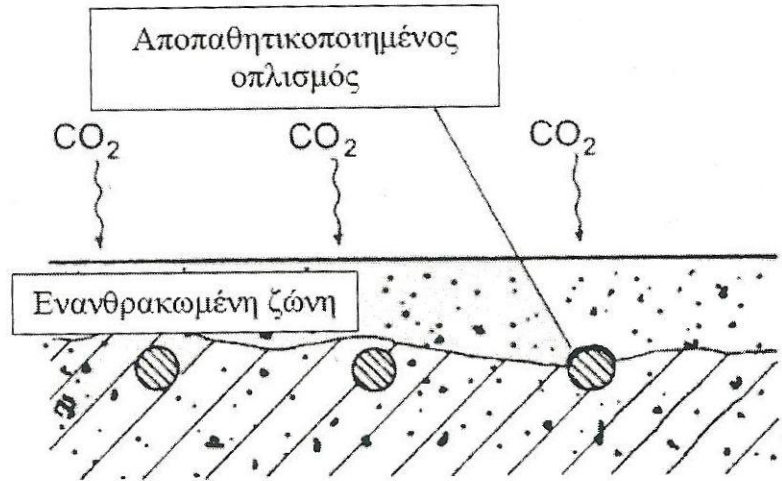
Ενανθράκωση είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα σε ένα υλικό. Το φαινόμενο οδηγεί σε προβλήματα ασφάλειας των έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα, λόγω της μείωσης της διατομής του οπλισμού και την εμφάνιση ρωγμών στις κατασκευές. Η ενανθράκωση του σκυροδέματος προκαλείται από τη χημική αντίδραση του διοξειδίου του άνθρακα το οποίο υπάρχει στην ατμόσφαιρα, με το υδροξείδιο του ασβεστίου του σκυροδέματος.



Αρχικά το διοξείδιο του άνθρακα διασκορπίζεται μέσω των πόρων του σκυροδέματος, λόγω διαφοράς συγκέντρωσης μεταξύ της ατμόσφαιρας και του αέρα στους πόρους. Ένα λεπτό στρώμα ενανθρακωμένου σκυροδέματος αναπτύσσεται, που μπορεί να είναι μικρότερο από ένα χιλιοστό στο πάχος. Η περαιτέρω πορεία της ενανθράκωσης του σκυροδέματος είναι συνάρτηση της διαπερατότητας του CO₂ και του ποσού του υδροξειδίου του ασβεστίου που είναι διαθέσιμο για την αντίδραση. Το διοξείδιο του άνθρακα σταδιακά διεισδύει σε βάθος στο σκυρόδεμα και τελικά το ενανθρακωμένο μέτωπο φθάνει στον οπλισμό, μειώνει το pH, και προκαλεί αποπαθητικοποίηση, δηλαδή την καταστροφή του προστατευτικού στρώματος οξειδίων. Η ενανθράκωση λοιπόν δεν έχει σοβαρές επιπτώσεις στο ίδιο το σκυρόδεμα, αλλά επηρεάζει την αντοχή του οπλισμού (σχήμα 2.8) (Σίδηρης, 2010).

Για την πραγματοποίηση της αντίδρασης, απαιτούνται μικρές ποσότητες νερού. Το μεγαλύτερο ποσοστό ενανθράκωσης παρατηρείται σε αέρα με σχετική υγρασία 50% ÷ 70%. Το ξηρό σκυρόδεμα δεν ενανθρακώνεται, λόγω απουσίας της απαιτούμενης υγρασίας, ενώ σε κορεσμένο με νερό σκυρόδεμα εμποδίζεται η διάχυση του αερίου CO₂ στους πόρους του σκυροδέματος. Το νερό που δημιουργείται μετά την αντίδραση, διαχέεται προς το εσωτερικό του σκυροδέματος και η διαδικασία συνεχίζεται σε μεγαλύτερα βάθη του σκυροδέματος. Το pH μειώνεται, σε πλήρως δε ενανθρακωμένο σκυρόδεμα παίρνει περίπου την τιμή 8.3 (Ρούτουλας, 1999).

Η μέτρηση του βάθους ενανθράκωσης γίνεται με τη βοήθεια διαλύματος δείκτη φαινολοφθαλεΐνης σύμφωνα με τα οριζόμενα στο πρότυπο BS EN 14630-2006: Βάθος ενανθράκωσης (d_k) είναι η μέση απόσταση, μετρούμενη σε χιλιοστά, από την επιφάνεια του σκυροδέματος ή κονιάματος, όπου το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) έχει μειώσει την αλκαλικότητα του ενυδατωμένου τσιμέντου σε βαθμό τέτοιο ώστε το διάλυμα δείκτη φαινολοφθαλεΐνης που ψεκάζεται στην επιφάνεια να παραμένει άχρωμο. Το μη ενανθρακωμένο κονίαμα χρωματίζεται ιώδες-ερυθρό.



Σχήμα 2.8. Διείσδυση της ενανθρακωμένης ζώνης στον οπλισμό.

Το βάθος ενανθράκωσης παρουσιάζεται να είναι ανάλογο προς τον λόγο νερού προς τσιμέντο και την τετραγωνική ρίζα του χρόνου (Σίδερης, 2010):

$$d_k = k \cdot t^{0,5} \quad (2.2)$$

όπου

d_k : βάθος ενανθράκωσης

k : παράγοντας εξαρτώμενος από τη διάχυση του CO_2 , την αλκαλικότητα του σκυροδέματος, τη συγκέντρωση του CO_2 στην ατμόσφαιρα και τις συνθήκες έκθεσης της κατασκευής.

t : χρόνος έκθεσης της κατασκευής στο συγκεκριμένο περιβάλλον.

Άλλοι ερευνητές, όπως οι Siemes, Vrouwenvelder και Van den Deukel (1985) εκτιμούν προσεγγιστικά το μέσο βάθος ενανθράκωσης από την εξής σχέση:

$$d_k = a \cdot \sqrt[n]{t} \quad (2.3)$$

όπου

d_c : μέσο βάθος ενανθράκωσης (mm)

t : χρόνος (έτη)

n : 2 για ξηρό περιβάλλον (εσωτερικοί χώροι)

$n > 2$ για μεταβαλλόμενη υγρασία (εξωτερικοί χώροι)

a : σταθερά ($\text{mm}^2/\text{έτος}$), η οποία υπολογίζεται από την εξής σχέση:

$$\alpha = (17 \cdot \omega - 6.5) \cdot R \cdot K \quad (2.4)$$

Το a εισάγει την επίδραση της ποιότητας του σκυροδέματος εφόσον η παράμετρος ω εξαρτάται από τον λόγο N/T και η παράμετρος R από την περιεκτικότητα σε τσιμέντο και το είδος του τσιμέντου και την επίδραση των συνθηκών του περιβάλλοντος αφού η παράμετρος K εξαρτάται από την υγρασία του σκυροδέματος και την περιεκτικότητα του αέρα σε CO_2 .

Για τις σταθερές K και R ισχύουν οι ακόλουθες τιμές :

- K=0.3 για υγρό σκυρόδεμα
- K=0.5 για εξωτερικούς χώρους
- K=1.0 για εσωτερικούς χώρους (ξηρό σκυρόδεμα)
- R=1.0 για τσιμέντο Portland
- R=2.2 για τσιμέντο Portland με σκωρίες υψικαμίνων σε περιεκτικότητα 60%.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ενανθράκωση του σκυροδέματος είναι (Ρούτουλας, 1999; Σίδερης, 2010; Φουντουκίδης, 2015):

α. Υγρασιακή καταπόνηση.

Το μέγιστο ποσοστό ενανθράκωσης παρατηρείται για σχετική υγρασία του αέρα 50%÷70%. Δεν μπορεί να γίνει διείσδυση των βλαπτικών ουσιών του περιβάλλοντος όσο αυτές είναι σε αέρια μορφή, παρά μόνο όταν διαλυθούν σε νερό.

β. Περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε τσιμέντο.

Η αυξημένη περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε τσιμέντο μειώνει την ταχύτητα ενανθράκωσης λόγω αύξησης της περιεκτικότητας σε $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

γ. Είδος τσιμέντου

Το ποσοστό του υδροξειδίου του ασβεστίου στο σκυρόδεμα είναι ανάλογο προς την περιεκτικότητα του τσιμέντου σε C_3S και C_2S . Επίσης η αλκαλικότητα στο σκυρόδεμα από σύνθετα τσιμέντα είναι χαμηλότερη από αυτή του καθαρού τσιμέντου Πόρτλαντ.

δ. Ο λόγος νερού-τσιμέντο

Το τσιμέντο δεσμεύει χημικά και φυσικά, περίπου 0,4 του βάρους του σε νερό. Για να επιτυγχάνεται όμως εργασιμότητα, συχνά αυξάνεται ο λόγος αυτός σε 0,5 ή και 0,6. Το πλεονάζον και μη δυνάμενο να δεσμευθεί νερό εξατμίζεται αφήνοντας τριχοειδείς πόρους, από όπου γίνεται η διείσδυση της υγρασίας και η διάχυση των αερίων.

ε. Ποιότητα και πάχος της επικάλυψης

Επικάλυψη με χαμηλή διαπερατότητα μειώνει ή και αναστέλλει τη διείσδυση του CO_2 , ενώ η ύπαρξη ρωγμών επιταχύνει πολύ τη διαδικασία ενανθράκωσης. Ο R.Currie αναφέρει ότι τα προϊόντα της ενανθράκωσης εναποτίθενται στους τριχοειδείς πόρους του σκυροδέματος και μειώνουν το πορώδες. Συνεπώς, σκυροδέματα με ενανθράκωση σε εξέλιξη μπορεί να εμφανίζουν μειωμένη διαπερατότητα. Η αύξηση του πάχους της επικάλυψης δεν εξασφαλίζει πάντα τον χάλυβα από τον κίνδυνο της διάβρωσης. Μικρό πάχος επικάλυψης καλής ποιότητας είναι καλύτερη επιλογή από επικάλυψη μεγάλου πάχους αλλά χαμηλής ποιότητας. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το βάθος ενανθράκωσης είναι συνάρτηση της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου. Επομένως, αν διπλασιασθεί το πάχος της επικάλυψης, τετραπλασιάζεται ο χρόνος για να φθάσει η ενανθράκωση στην επιφάνεια των οπλισμών και προκαλέσει την έναρξη της διάβρωσής τους. Επιπλέον, το πάχος της επικάλυψης δεν πρέπει να ξεπεράσει ένα ορισμένο όριο, διότι τότε απαιτείται πρόσθετος οπλισμός για να περιορισθεί το εύρος των ρωγμών. Το πάχος της επικάλυψης πρέπει να είναι επαρκές βάσει του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ) και συνιστάται συνήθως να είναι από 15 έως 50 mm.

στ. Η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στο περιβάλλον

Το ποσοστό της ενανθράκωσης αυξάνεται με την αυξανόμενη περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα. Τα υψηλότερα ποσοστά CO_2 στην ατμόσφαιρα εκτός από τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις βρίσκονται μέσα στα κτίρια και ποικίλει από ένα ελάχιστο στα παράκτια περιβάλλοντα σε ένα μέγιστο στα αστικά περιβάλλοντα.

ζ. Κακή δόνηση.

Τα σημεία που δεν έχουν δονηθεί καλά αποτελούν αφετηρίες ενανθράκωσης.

2.5. Η δράση των χλωριόντων

Τα χλωριόντα (Cl^-) βρίσκονται στο σκυρόδεμα είτε εξαρχής με την παρασκευή του σκυροδέματος, είτε διεισδύουν από το περιβάλλον αργότερα (Ρούτουλας, 1999).

Τα αρχικά χλωριόντα βρίσκονται ως:

- Τυχαίο συστατικό σε αδρανή, π.χ. άμμος που προέρχεται από τη θάλασσα.
- Μέσα σε πρόσθετο που επιταχύνει τη σκλήρυνση του σκυροδέματος, πχ. χλωριούχο ασβέστιο.

- Στο νερό ανάμιξης, π.χ. θαλασσινό νερό ανάμιξης.

Η αρχική παρουσία των χλωριόντων μπορεί να περιορισθεί αν γίνει κατάλληλη επιλογή και έλεγχος των υλικών σύνθεσης του σκυροδέματος.

Διείσδυση χλωριόντων μπορεί να γίνει με :

- Χρήση αντιπαγωτικών αλάτων
- Βιομηχανικά αλμυρά ύδατα
- Άμεση επαφή θαλασσινού νερού με κατασκευές
- Σταγονίδια θαλασσινού νερού, τα οποία μεταφέρονται με τον αέρα. Έχει παρατηρηθεί ότι τα σταγονίδια μπορεί να επηρεάσουν κατασκευή σε απόσταση μέχρι 10 km από τη θάλασσα.

- Μετά από πυρκαγιά στην οποία κάηκαν αντικείμενα από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC). Το πολυβινυλοχλωρίδιο διασπάται και δίνει αέριο HCl το οποίο διεισδύει στο σκυρόδεμα, αντιδρά με την άσβεστο και ελευθερώνει τελικά ιόντα χλωρίου (Marcus, 2002).

Η διείσδυση γίνεται μέσω του υγρού των πόρων του σκυροδέματος και η χρονική της εξέλιξη είναι ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου. Ιδιαίτερα επικίνδυνη είναι η εναλλασσόμενη διαβροχή και ξήρανση της επιφάνειας του σκυροδέματος από νερό το οποίο περιέχει χλωριούχα άλατα. Κατά τη διάρκεια της διαβροχής, μεγάλες ποσότητες νερού με διαλυμένα άλατα διεισδύουν στο σκυρόδεμα. Κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, το νερό εξατμίζεται, ενώ τα άλατα παραμένουν στο σκυρόδεμα. Όταν η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται, δημιουργούνται μεγάλες συγκεντρώσεις χλωριόντων στην περιοχή του σκυροδέματος που διαβρέχεται και ξηραίνεται.

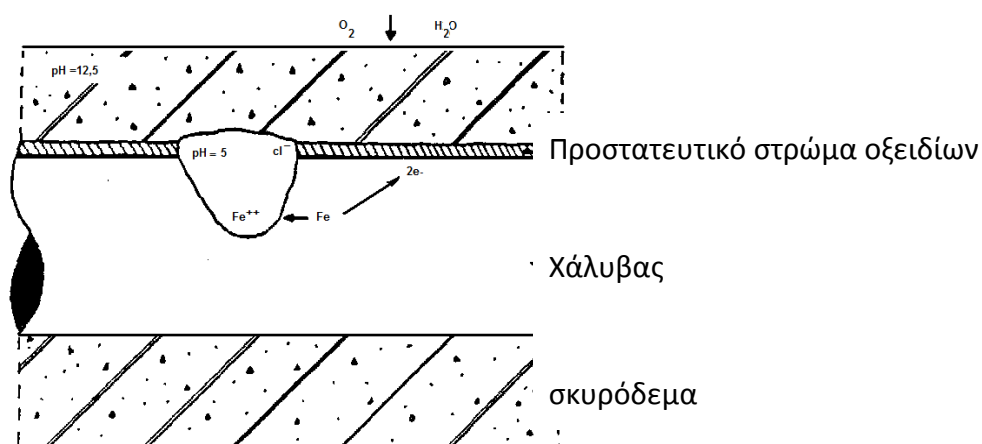
Από τα χλωριόντα που υπάρχουν στο σκυρόδεμα, μια ποσότητα δεσμεύεται χημικά από τον τσιμεντοπολτό, ενώ τα υπόλοιπα παραμένουν ελεύθερα. Η διάβρωση του χάλυβα προκαλείται από τα ελεύθερα χλωριόντα. Το τσιμέντο μπορεί να δεσμεύσει ποσότητα χλωριόντων μέχρι 0.4% κ.β. τσιμέντου. Σχηματίζεται έτσι άλας Friedel [$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCl}_2\cdot 10\text{H}_2\text{O}$] το οποίο είναι αβλαβές για τον χάλυβα. Για μεγαλύτερες όμως ποσότητες χλωριόντων, επιτυγχάνεται μια κατάσταση ισορροπίας, ώστε να υπάρχουν πάντα ελεύθερα χλωριόντα. Όταν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές, αυτά τα ελεύθερα χλωριόντα θα προκαλέσουν διάβρωση του οπλισμού. Η αντίδραση για τον σχηματισμό του άλατος Friedell γίνεται πιο δύσκολα αν τα χλωριόντα βρεθούν σε σκληρυμένο σκυρόδεμα.

Έχει βρεθεί πειραματικά ότι σε σκυρόδεμα το οποίο περιέχει εξαρχής χλωριόντα, ο χάλυβας διαβρώνεται λιγότερο από ότι θα συνέβαινε αν ο χάλυβας βρισκόταν σε σκυρόδεμα στο οποίο η ίδια ποσότητα χλωριόντων διεισδύει απ' έξω. Αυτό οφείλεται κατά τους Mehta και Monteiro (2009), στην ευκολότερη χημική δέσμευση των χλωριόντων τα οποία βρίσκονται στο σκυρόδεμα πριν από τη σκλήρυνσή του, από το C_3A της τσιμεντοκονίας.

Ο μηχανισμός διάβρωσης του χάλυβα λόγω επίδρασης χλωριόντων βασίστηκε στη θεωρία ότι τα χλωριόντα μειώνουν το pH των πόρων, καταστρέφοντας έτσι την παθητική προστασία την οποία παρέχει το σκυρόδεμα στον χάλυβα. Νεότερες έρευνες όμως έδειξαν

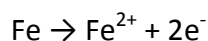
ότι η τιμή του pH στο σκυρόδεμα μετά την προσθήκη χλωριούχου άλατος εξαρτάται από το κατιόν του χλωριούχου άλατος. Για παράδειγμα, με την προσθήκη χλωριούχου νατρίου στο σκυρόδεμα, το pH δε μεταβάλλεται σχεδόν καθόλου, ενώ με την προσθήκη χλωριούχου ασβεστίου το pH μειώνεται.

Ο Markeset (2008) συγκρίνοντας την πιθανότητα διάβρωσης με την κρίσιμη περιεκτικότητα σε χλωριόντα (% κ.β. του τσιμέντου) και υποθέτοντας σκυρόδεμα με 350 kg τσιμέντο και πυκνότητα 2350 kg/m³, θεωρεί ότι η πιθανότητα διάβρωσης είναι αμελητέα, όταν η περιεκτικότητα είναι μικρότερη από 0,4%, είναι δυνατόν να συμβεί για 0,4÷1,0%, είναι πιθανή για 1,0÷2,0% και είναι σίγουρη για περιεκτικότητα σε χλωριόντα μεγαλύτερη από 2,0%. Επίσης έχει διατυπωθεί η άποψη ότι σημασία έχει ο λόγος [Cl⁻]/[OH⁻] και όχι το pH του νερού στους πόρους του σκυροδέματος. Σε σκυρόδεμα που περιέχει χλωριούχο ασβέστιο, ο λόγος [Cl⁻]/[OH⁻] είναι μεγαλύτερος από τον λόγο [Cl⁻]/[OH⁻] σκυροδέματος που περιέχει χλωριούχο νάτριο χωρίς βλαπτικό αποτέλεσμα. Ο Hausmann (1967), διατύπωσε την άποψη ότι διάβρωση του χάλυβα συμβαίνει όταν ο λόγος [Cl⁻]/[OH⁻] πάρει τιμή μεγαλύτερη από 0.6. Χαρακτηριστικό της διάβρωσης με βελονισμούς είναι ότι ο χάλυβας διαβρώνεται σε πολύ μικρές περιοχές της επιφάνειάς του. Εξαιτίας της διατήρησης της αλκαλικότητας του σκυροδέματος σε υψηλά επίπεδα και λόγω της τοπικής διάβρωσης, ο μηχανισμός διάβρωσης του χάλυβα λόγω της επίδρασης χλωριόντων είναι διαφορετικός από τον μηχανισμό της γενικής διάβρωσης του χάλυβα. Εφόσον η ποσότητα των χλωριόντων υπερβεί κάποιο όριο, τότε υπάρχουν ελεύθερα χλωριόντα, που διαχεόμενα φθάνουν στην επιφάνεια του χάλυβα και προκαλούν την αποπαθητικοποίησή του. Η διάβρωση του οπλισμού παρουσία χλωριόντων περιγράφεται στο σχήμα 2.9 (Ρούτουλας, 2010).

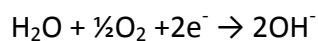


Σχήμα 2.9. Απλοποιημένο προσομοίωμα της διάβρωσης του χάλυβα λόγω της επίδρασης των χλωριόντων.

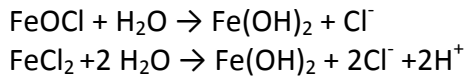
Στην άνοδο πραγματοποιείται η διάλυση του σιδήρου:



Στην κάθοδο πραγματοποιείται η δράση:



Τα ιόντα του σιδήρου αρχικά σχηματίζουν με τα χλωριόντα χλωριούχο σίδηρο (FeCl_2). Στη συνέχεια ένα μέρος του FeCl_2 με τη βοήθεια του οξυγόνου μετατρέπεται σε FeOCl (οξειδωση του σιδήρου σε τρισθενή σίδηρο) και παρουσία του νερού συμβαίνει υδρόλυση των προϊόντων της διάβρωσης:



Με την υδρόλυση τα χλωριόντα που είχαν δεσμευθεί στα προϊόντα διάβρωσης επιστρέφουν πάλι στο διάλυμα των πόρων του σκυροδέματος με ταυτόχρονη τοπική οξίνιση του διαλύματος. Επιβεβαιώνεται έτσι, ότι η δράση των χλωριόντων είναι μια αυτοκαταλύομενη αντίδραση. Στην περίπτωση αυτή, ακόμη και αν η περαιτέρω είσοδος των χλωριόντων παρεμποδιστεί, η διάβρωση συνεχίζεται, γιατί η ποσότητα των χλωριόντων στην επιφάνεια του οπλισμού παραμένει σταθερή. Η αναγκαία ροή των ηλεκτρονίων πραγματοποιείται μέσω του χάλυβα, ενώ η μετακίνηση των ιόντων διαμέσου των πόρων του σκυροδέματος.

Η διεύθυνση των χλωριόντων στο σκυρόδεμα θεωρείται γενικά ότι ακολουθεί το δεύτερο νόμο του Fick για τη διάχυση, σχηματίζοντας ένα μέτωπο χλωριόντων με βάθος μέσα στο σκυρόδεμα (Broomfield, 1997):

$$d[\text{Cl}^-]/dt = D_c \cdot d^2[\text{Cl}^-]/dx^2 \quad (2.5)$$

όπου

$[\text{Cl}^-]$: η συγκέντρωση των χλωριόντων σε βάθος x και χρόνο t

D_c : είναι ο συντελεστής διάχυσης (συνήθως της τάξης των $10^{-8} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διάβρωση από χλωριόντα του χάλυβα στο σκυρόδεμα είναι:

α. Η ποιότητα και το πάχος της επικάλυψης

Μικρός λόγος N/T εξασφαλίζει πυκνό σκυρόδεμα με μικρή διαπερατότητα οπότε μειώνεται η ποσότητα των χλωριόντων τα οποία μπορεί να διαχυθούν στο σκυρόδεμα. Οι ρωγμές βοηθούν τη διάχυση των χλωριόντων διότι έχει παρατηρηθεί ότι η περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε χλωριόντα στη ρίζα της ρωγμής (άρα και πλησιέστερα στον οπλισμό) είναι αυξημένη. Αυτό πιθανόν να οφείλεται σε τριχοειδή απορρόφηση μέσα στις ρωγμές.

β. Η περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε τσιμέντο και πρόσθετα

Ένα ποσοστό των χλωριόντων που βρίσκονται στο σκυρόδεμα δεσμεύονται χημικά από το C_3A του τσιμέντου. Επομένως, όσο αυξάνεται η ποσότητα του C_3A στο τσιμέντο, τόσο μειώνεται ο κίνδυνος διάβρωσης των οπλισμών από χλωριόντα. Σύμφωνα με τους Mehta και Monteiro (2009) το τσιμέντο πρέπει να περιέχει περισσότερο από 8% C_3A κ.β. τσιμέντου για να δεσμεύει τα χλωριόντα. Όταν όμως πιθανολογείται ταυτόχρονη επίδραση θεικών και χλωριούχων αλάτων, μεγάλη περιεκτικότητα του τσιμέντου σε C_3A είναι καταστροφική για το σκυρόδεμα, γιατί τα θειικά ιόντα διασπούν το άλας Friedell ελευθερώνοντας τα χλωριόντα, ενώ ο ετρινγκίτης που δημιουργείται διογκώνεται και προκαλεί θραύση στο σκυρόδεμα.

γ. Το είδος και η συγκέντρωση των χλωριούχων αλάτων

Πειραματικά αποτελέσματα συνηγορούν ότι το είδος του κατιόντος των χλωριούχων αλάτων επηρεάζει τον βαθμό διάβρωσης του χάλυβα στο σκυρόδεμα. Για παράδειγμα, το CaCl_2 προκαλεί μεγαλύτερη διάβρωση του χάλυβα απ' ό,τι το NaCl . Επίσης η διάχυση των

χλωριόντων του CaCl_2 είναι 3 έως 4 φορές μεγαλύτερη από τη διάχυση των χλωριόντων του NaCl . Έχει δε πρόσφατα αποδειχθεί ότι για τον σχηματισμό του άλατος Friedell, το CaCl_2 αντιδρά ευκολότερα απ' ότι το NaCl .

δ. Το περιβάλλον

Η διείσδυση των χλωριόντων μπορεί να γίνει είτε σε ξερό περιβάλλον (διείσδυση αερίου χλωρίου) είτε σε περιβάλλον με μεγάλα ποσοστά υγρασίας. Η διείσδυση χλωριόντων σε υγρό περιβάλλον είναι η περισσότερο συνηθισμένη και σοβαρή μορφή διείσδυσης. Ακόμα όμως και για χαμηλή υγρασία του περιβάλλοντος, η υγρασία στην επιφάνεια του σκυροδέματος αυξάνεται σημαντικά λόγω της υγροσκοπικής ικανότητας των χλωριόντων. Μ' αυτόν τον τρόπο, μεγαλώνει κατά πολύ ο κίνδυνος διάβρωσης του χάλυβα. Επίσης η θερμοκρασία επιταχύνει τις διαδικασίες διείσδυσης των χλωριόντων και κατά συνέπεια τη διάβρωση του χάλυβα.

2.6. Ο σχηματισμός μακροστοιχείων

Εάν υπήρχε μόνο η διαδικασία διάβρωσης μέσω των τοπικών γαλβανικών στοιχείων τότε οι αστοχίες από τη διάβρωση θα ήταν σημαντικά μικρότερες από αυτές που έχουν παρατηρηθεί. Τα γαλβανικά μακροστοιχεία, σε αντίθεση με τα τοπικά γαλβανικά στοιχεία, εμφανίζονται σε μεγάλες περιοχές του οπλισμού και οφείλονται στην όλη συγκρότηση και λειτουργία του οπλισμένου σκυροδέματος και όχι μόνο στον χάλυβα.

Ένα μακροστοιχείο δημιουργείται και στην περίπτωση της επαφής δύο διαφορετικών μετάλλων. Εάν ένας επιψευδαργυρωμένος χάλυβας έλθει σε ηλεκτρικά αγώγιμη επαφή με έναν κοινό χάλυβα μέσα στη μάζα του σκυροδέματος δημιουργείται γαλβανικό μακροστοιχείο λόγω διαφορετικών μετάλλων. Το ίδιο θα συμβεί και στην επαφή ανοξειδωτού χάλυβα με κοινό χάλυβα.

Στην περίπτωση όμως του οπλισμένου σκυροδέματος η δημιουργία μακροστοιχείων οφείλεται σε επιδράσεις του περιβάλλοντος. Η δημιουργία ενός μακροστοιχείου λόγω χλωριόντων εικονίζεται στα σχήματα 2.10α, β, γ και δ. Λόγω του θαλασσίου περιβάλλοντος τα χλωριόντα εισέρχονται στο σκυρόδεμα από μία διεύθυνση, όπως δείχνει το σχήμα 2.10α. Τα χλωριόντα φθάνουν μετά από ένα χρονικό διάστημα στους πρώτους οπλισμούς, ενώ οι ευρισκόμενοι προς το εσωτερικό τμήμα της κατασκευής δεν έχουν γύρω τους χλωριόντα. Μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών χαλύβων δημιουργείται μέσω των συνδετήρων μακροστοιχείο, όπως εικονίζεται στο σχήμα 2.10β. Οι οπλισμοί που έχουν ήδη γύρω τους χλωριόντα αποτελούν την άνοδο, ενώ οι οπλισμοί χωρίς χλωριόντα αποτελούν την κάθοδο του γαλβανικού στοιχείου, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.10γ. Στο ίδιο σχήμα περιγράφονται και οι ηλεκτροχημικές δράσεις του γαλβανικού μακροστοιχείου. Μέσω των πόρων του σκυροδέματος αρχίζει η μεταφορά των ιόντων, όπως εμφανίζεται στο σχήμα 2.10δ (Μπατής, 2007).

Η ταχύτητα διάβρωσης εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος του γαλβανικών μακροστοιχείου. Η ένταση του ρεύματος εξαρτάται από το δυναμικό του μακροστοιχείου, την ηλεκτρική αντίσταση του σκυροδέματος και τον λόγο μεταξύ της ανοδικής προς την καθοδική επιφάνεια.

Γαλβανικά μακροστοιχεία επίσης εμφανίζονται όταν υπάρχουν:

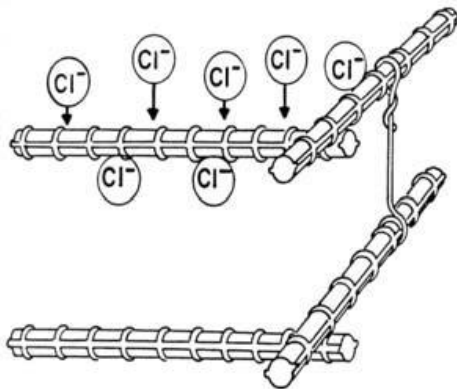
- Περιοχές οπλισμένου σκυροδέματος αεριζόμενες δίπλα σε μη αεριζόμενες.
- Περιοχές οπλισμένου σκυροδέματος υγρές δίπλα σε στεγνές.

- Περιοχές οπλισμένου σκυροδέματος με χαμηλό pH (λόγω ενανθράκωσης) δίπλα σε περιοχές με υψηλό pH.

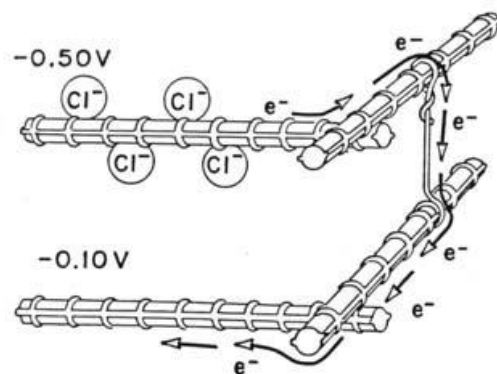
Η ύπαρξη και λειτουργία γαλβανικών μακροστοιχείων οδηγεί σε διάβρωση μεγάλης έκτασης και ταχύτητας που οδηγεί σε:

- Μείωση της διατομής του οπλισμού, με συνέπειες τη μείωση της συνάφειας οπλισμού και σκυροδέματος και τέλος τη μείωση της στατικής ικανότητας της κατασκευής.

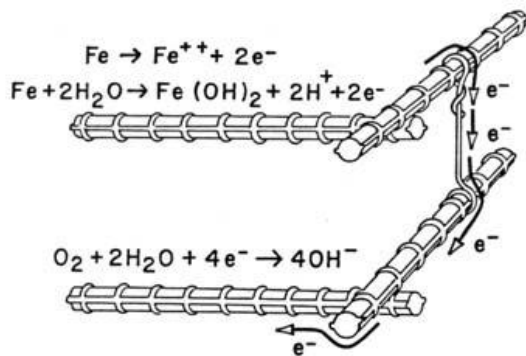
- Δημιουργία ρωγμών λόγω του σχηματισμού οξειδίων στην επιφάνεια του οπλισμού, τα οποία με τον μεγαλύτερο όγκο τους από του χάλυβα ασκούν εφελκυστικές τάσεις στο σκυρόδεμα.



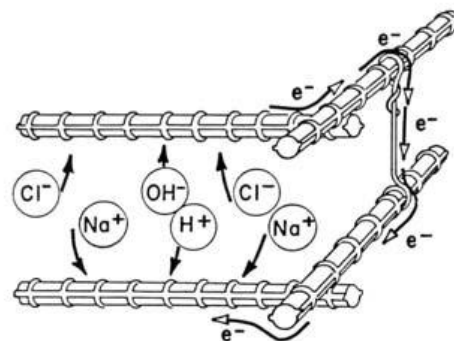
(α) Διείσδυση των χλωριόντων μέχρι τους πρώτους οπλισμούς



(β) Δημιουργία γαλβανικού μακροστοιχείου



(γ) Ηλεκτροχημικές αντιδράσεις του γαλβανικού μακροστοιχείου



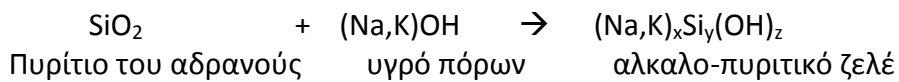
(δ) Μεταφορά ιόντων

Σχήμα 2.10. Σχηματισμός μακροστοιχείου σε σκυρόδεμα με χλωριόντα.

2.7. Αλκαλοπυριτική αντίδραση

Οι κατασκευές από σκυρόδεμα ή οπλισμένο σκυρόδεμα μπορούν να υποστούν φθορά από διάφορα φυσικά (π.χ. παγετός, τριβή) ή χημικά φαινόμενα (π.χ. ενανθράκωση, προσβολή από θειικές ενώσεις). Για να εμφανισθούν τα αποτελέσματα αυτών των φαινομένων απαιτείται κάποιο χρονικό διάστημα σχετικά μεγάλο. Υπάρχει όμως ένα χημικό φαινόμενο του οποίου τα αποτελέσματα εμφανίζονται άμεσα, δηλ. εντός ολίγων εβδομάδων. Το φαινόμενο αυτό είναι η αντίδραση του υδροξειδίου του ασβεστίου με τα αδρανή (τα οποία σε αυτήν την περίπτωση παύουν να είναι αδρανή). Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται σαν Alkali-Aggregate Reaction (AAR) και διακρίνεται σε Alkali-Carbonate

Reaction (ACR) και Alkali-Silica Reaction (ASR) (Swamy, 1992). Η αλκαλοπυριτική αντίδραση προκαλείται από την αλληλεπίδραση του πυριτίου του αδρανούς και των αλκαλίων στην πάστα του τσιμέντου (Na_2O , K_2O και σε μικρότερο βαθμό Li_2O), σχηματίζοντας ένα αλκαλοπυριτικό ζελέ, σύμφωνα με την ακόλουθη γενικευμένη αντίδραση (Attigbe and Farrington, 1993).



Η ταχύτητα αυτής της αντίδρασης ελέγχεται από πολλούς παράγοντες, που περιλαμβάνουν την ποσότητα του ενεργού πυριτίου στο αδρανές, την ποσότητα των διαθέσιμων αλκάλων και την παρουσία υγρασίας. Το ζελέ αυτό διογκώνεται με την πρόσληψη νερού και προκαλεί θραύση της πάστας του τσιμέντου, αλλά και του αδρανούς. Τα αποτελέσματα του φαινομένου αυτού είναι η διόγκωση του σκυροδέματος και ο σχηματισμός ρωγμών.

Τα κύρια αποτελέσματα της αλκαλοπυριτικής αντίδρασης που εμφανίζονται στο εξωτερικό του σκυροδέματος είναι τα εξής:

- Εμφάνιση μικρορωγμών στην επιφάνεια του σκυροδέματος
- Εμφάνιση εξανθημάτων στην επιφάνεια του σκυροδέματος
- Διαστολή του σκυροδέματος

Ενώ στο εσωτερικό του σκυροδέματος:

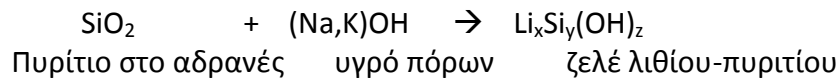
- Σχηματισμός περιβλήματος στην επιφάνεια του ευπαθούς κόκκου των αδρανών από τη δράση της αλκαλοπυριτικής αντίδρασης
- Εμφάνιση εσωτερικών τάσεων στο σκυρόδεμα (Σίδερης, 2010).

Τέλος η ρηγμάτωση που προκαλείται από την αλκαλοπυριτική δράση, ευνοεί τη διάβρωση του σιδηροπλισμού, ο οποίος εξαιτίας των ρωγμών, εκτίθεται πλέον στο διαβρωτικό περιβάλλον.

Τα ορυκτά που μπορούν να εμφανίσουν το φαινόμενο αυτό είναι τα πυριτικά (χαλαζίας υψηλής ενέργειας, τριδυμίτης, χριστοβαλίτης) αλλά και ανθρακικά (δολομίτης). Το φαινόμενο αυτό είναι ασυνήθιστο στην Ελλάδα, όπου η πλειοψηφία των πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή σκυροδέματος είναι ασβεστολιθικής προέλευσης, γεγονός που από μόνο του αποκλείει την εκδήλωση της αλκαλοπυριτικής αντίδρασης. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται πυριτικά αδρανή, όμως σε αυτά συνήθως το πυρίτιο είναι σε κρυσταλλική μορφή και δεν αντιδρά με τα αλκάλια. Γενικά, η αλκαλοπυριτική αντίδραση δεν αποτελεί πρόβλημα στην Ελλάδα, τουλάχιστον όσον αφορά το σκυρόδεμα που προέρχεται από οργανωμένες μονάδες που λειτουργούν με αδρανή από γνωστά λατομεία. Μόνο σε περιπτώσεις φυσικών αδρανών μπορεί να παρατηρηθεί το φαινόμενο αυτό. Σε άλλες χώρες, όπου συνήθως τα αδρανή προέρχονται από φυσικές πηγές, το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται συχνά και η ένταση του προβλήματος είναι τόσο μεγάλη, ώστε η αλκαλοπυριτική αντίδραση έχει χαρακτηριστεί ως «ο καρκίνος του σκυροδέματος» (Σίδερης, 2010).

Για την αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού χρησιμοποιούνται τσιμέντα με χαμηλό ποσοστό αλκαλίων (ισοδύναμο $\text{Na}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O} + 0,658 \cdot \text{K}_2\text{O} \leq 0,6\%$), ποζολανικά τσιμέντα και προσθήκη ενώσεων λιθίου όπως το φθοριούχο λίθιο σε ποσοστό 1% κ.β. του τσιμέντου (Lumley, 1997; Ramachandran, 1998; Mather, 1999). Σύμφωνα με ένα προτεινόμενο μηχανισμό, βάσει του οποίου το άλας αυτό μειώνει τη διόγκωση από την ASR, ένα

αδιάλυτο, μη-διογκούμενο ζελέ λιθίου-πυριτίου σχηματίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη γενικευμένη αντίδραση (Attigbe and Farrington, 1993):



Η χρήση των ενώσεων του λιθίου θεωρείται αποτελεσματική, αλλά ταυτόχρονα οδηγεί σε αύξηση της αγωγιμότητας του σκυροδέματος. Η αύξηση της αγωγιμότητας του σκυροδέματος είναι πιθανόν να αυξήσει τη διάβρωση του οπλισμού.

2.8. Επιπτώσεις της διάβρωσης

Οι συνέπειες της διάβρωσης είναι τεράστιες σε παγκόσμια κλίμακα. Κάποιες είναι προφανείς, όπως οι οικονομικές, αλλά μπορούν να αναφερθούν και οι περιβαλλοντικές (κατανάλωση φυσικών πόρων – προστασία πλουτοπαραγωγικών πηγών), οι αισθητικές (τα διαβρωμένα υλικά δεν είναι ευχάριστα στην όψη), αλλά υφίστανται και θέματα υγείας και ασφάλειας των εργαζομένων. Εκτός από το άμεσο κόστος, που περιλαμβάνει το κόστος για την προστασία και την αντικατάσταση των κατασκευών που διαβρώθηκαν, το έμμεσο κόστος είναι πιο δύσκολο να υπολογισθεί και περιλαμβάνει:

- Την απώλεια παραγωγής λόγω προληπτικής συντήρησης ή αναστολής λειτουργίας προς αντικατάσταση διαβρωμένου εξοπλισμού.
- Τη μείωση της απόδοσης της εγκατάστασης από συσσώρευση προϊόντων διάβρωσης με συνέπεια ενεργειακές απώλειες.
- Τη μόλυνση των προϊόντων παραγωγής, αλλά και του περιβάλλοντος.
- Τον υπερσχεδιασμό των εγκαταστάσεων ή τις ειδικές κατασκευές.
- Την απώλεια της αξίας του πάγιου εξοπλισμού.
- Τα διαφυγόντα κέρδη.
- Τα ατυχήματα.

Εκτίμηση του κόστους της διάβρωσης σε παγκόσμια κλίμακα προσδιορίζει ότι η διάβρωση συμμετέχει κατά 3,5% στο Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν. Αντιστοιχεί σε 50-100 δολάρια ανά κάτοικο χώρας, ενώ η ποσότητα σιδήρου που καταστρέφεται από διάβρωση ανά έτος μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι το ένα τέταρτο έως ένα τρίτο της ετήσιας παραγωγής, με κατανάλωση $150 \cdot 10^6$ τόννων ανά έτος ή 5 τόννων ανά δευτερόλεπτο.

Στη δυτική Ευρώπη εκτιμάται ότι δαπανώνται 5 δισεκατομμύρια ευρώ για επισκευή διαβρωμένων κατασκευών από σκυρόδεμα (Markeset, Rostam, and Klinghoffer, 2006). Άλλοι ερευνητές υπολογίζουν ότι στην Ευρώπη το 40-60% του προϋπολογισμού για τις κατασκευές αφιερώνεται στην επισκευή και συντήρηση των υπαρχουσών δομών, ενώ μόνο στο Ηνωμένο Βασίλειο κάθε χρόνο δαπανώνται 550 εκατομμύρια λίρες για τη συντήρηση και επισκευή κατασκευών σκυροδέματος (McCarter, 2012). Η διάβρωση των μετάλλων κοστίζει στην οικονομία των Η.Π.Α. περίπου 300 δισεκατομμύρια δολάρια τον χρόνο σε τιμές 2000. Το 25% όλων των προβλημάτων διάβρωσης θα μπορούσαν να προληφθούν με τη χρήση καθιερωμένων, συμβατικών τεχνικών (ASM International, 2000) (Κουλουμπή, 1999).

3. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

3.1. Εισαγωγή

Ο χάλυβας οπλισμού σκυροδέματος πρέπει να προστατεύεται από τη διάβρωση, τόσο πριν από την ενσωμάτωσή του στο σκυρόδεμα όσο και μετά από αυτήν. Κατά την τοποθέτηση στην τελική του θέση, ο χάλυβας πρέπει να είναι απαλλαγμένος από εμφανείς απολεπίσεις, αλλοιώσεις ή αθέλητες παραμορφώσεις και πληγές, οι οποίες εκτός των άλλων επιταχύνουν το φαινόμενο της διάβρωσης (KTX 2008).

Στην αρχή ο ενσωματωμένος στο σκυρόδεμα χάλυβας προστατεύεται από τη διάβρωση επειδή βρίσκεται σε παθητική κατάσταση χάρη στο αλκαλικό περιβάλλον του σκυροδέματος (όσο το pH είναι μεγαλύτερο από 9,5) και την επικάλυψη στεγανότητας του σκυροδέματος. Με την πάροδο του χρόνου μπορεί να ξεκινήσει η διάβρωση του οπλισμού στο σκυρόδεμα, που οφείλεται είτε στην ενανθράκωση είτε στην είσοδο χλωριόντων στο σκυρόδεμα. Αλλά και σε ειδικές περιπτώσεις, για τις οποίες απαιτείται μεγαλύτερη προστασία του οπλισμού από τη διάβρωση μέσα στο σκυρόδεμα, είτε επειδή υπάρχει έντονα διαβρωτικό περιβάλλον, είτε διότι απαιτείται μεγαλύτερη από τη συνήθη διάρκεια ζωής του έργου, μπορεί να λαμβάνονται κατά περίπτωση πρόσθετα μέτρα όπως:

- Αύξηση της περιεκτικότητας του σκυροδέματος σε τσιμέντο ή χρήση ειδικών τσιμέντων.

- Χρήση σκυροδέματος μειωμένου πορώδους ή υδατοπερατότητας.
- Αύξηση του πάχους της επικάλυψης των οπλισμών με σκυρόδεμα.
- Χρήση χαλύβων ανθεκτικότερων στη διάβρωση όπως οι επιψευδαργυρωμένοι (γαλβανισμένοι), οι καλυμμένοι με εποξικό επίστρωμα, οι καλυμμένοι με επίστρωμα ανοξειδωτού χαρακτήρα και οι ανοξειδωτοί χάλυβες.

- Χρήση επιχρισμάτων κατάλληλου πάχους.
- Επίστρωση / επίχρωση της επιφάνειας του σκυροδέματος με λεπτό προστατευτικό στρώμα από κατάλληλες οργανικές ή ανόργανες ουσίες.

- Χρήση αναστολέων διάβρωσης.

- Καθοδική προστασία.

Τα μέτρα αυτά έχουν διαφορετικό κόστος και εξασφαλίζουν διαφορετική διάρκεια προστασίας από τη διάβρωση και το καθένα τους μπορεί να εφαρμοσθεί κατά περίπτωση. Πριν την εφαρμογή τους θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τυχόν δυσμενείς συνέπειες και να σταθμίζεται η συνολική επίδρασή τους στον χάλυβα αλλά και στο σκυρόδεμα.

Η ποιότητα του σκυροδέματος, η οποία ασκεί σημαντικό ρόλο στην αντίσταση κατά της διάβρωσης εξαρτάται, εκτός από τη διαδικασία παρασκευής του, από την ποιότητα και τη σωστή κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών, την ποιότητα και το είδος του τσιμέντου και την ποσότητα του νερού στην παρασκευή του σκυροδέματος.

Ο περιορισμός των κενών του σκυροδέματος είναι εξαιρετικά σημαντικός, διότι τα χλωριόντα εισέρχονται στη μάζα του σκυροδέματος διαμέσου των κενών. Τα αδρανή θα πρέπει να μην έχουν κενά στη μάζα τους, δηλαδή να μην είναι πορώδη, και να είναι κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης. Για αντίσταση στη διάβρωση δεν συνιστάται ο τύπος τσιμέντου ανθεκτικού σε θειικά, αλλά τσιμέντο τύπου CEM II ή IV κατά ΕΛΟΤ EN 197. Η αναλογία νερού προς τσιμέντο δεν πρέπει να ξεπερνά το 0,50 και στις κατασκευές η επαρκής επικάλυψη του οπλισμού με σκυρόδεμα να είναι τουλάχιστον 6 εκατοστά.

Η σημασία της έγκαιρης και σωστά εφαρμοσμένης μεθόδου προστασίας από τη διάβρωση συνοψίζεται στον Νόμο των Πέντε του de Sitter (De Sitter's Law of Fives), όπου αναφέρει ότι κάθε 1 € που δαπανάται κατά την αρχική φάση σχεδιασμού, κατασκευής και

ωρίμανσης, ισοδυναμεί με 5 € που δαπανώνται για παρεμπόδιση των μηχανισμών έναρξης της διάβρωσης, με 25 € που δαπανώνται για παρεμπόδιση των μηχανισμών διάδοσης της διάβρωσης και με 125 € που δαπανώνται προς αποκατάσταση των εκτεταμένων φθορών της κατασκευής.

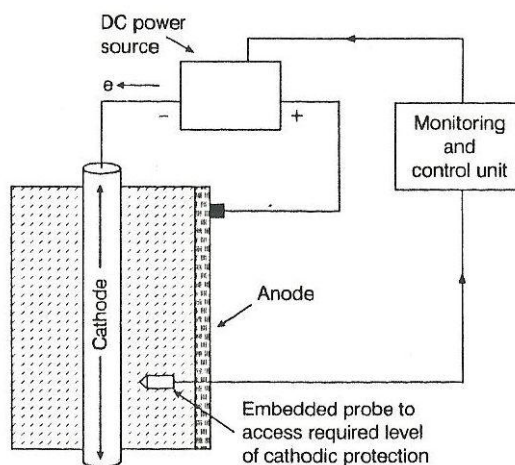
Τα συνηθέστερα μέτρα προστασίας που χρησιμοποιούνται για την αποτελεσματική προστασία του χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος είναι η καθοδική προστασία, η προσθήκη στο σκυρόδεμα αναστολέων διάβρωσης, η χρήση ανοξειδωτων χαλύβων και η χρήση οργανικών επικαλύψεων (χρωμάτων) (Μπατής 2007).

3.2. Η καθοδική προστασία

Η καθοδική προστασία είναι η μόνη μέθοδος που μπορεί να αναστείλει και να αντιστρέψει το δυναμικό διάβρωσης, μηδενίζοντας (θεωρητικά) την ταχύτητα διάβρωσης. Συνίσταται στην εφαρμογή δυναμικού αντίθετου του δυναμικού διάβρωσης, ώστε η μεταλλική κατασκευή να γίνει κάθοδος ενός ηλεκτρολυτικού κελιού, οπότε δεν πραγματοποιούνται πλέον οι αντιδράσεις οξειδωσης του μετάλλου, αλλά αντιθέτως είναι δυνατή η πραγματοποίηση αντιδράσεων αναγωγής. Το δυναμικό συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος που απαιτεί η καθοδική προστασία δίνεται με δύο τρόπους:

- Με την επιβολή τάσης από μια πηγή συνεχούς ρεύματος.
- Με τη χρησιμοποίηση ενός μετάλλου ή κράματος υψηλότερου δυναμικού από το προς προστασία μέταλλο ή κράμα.

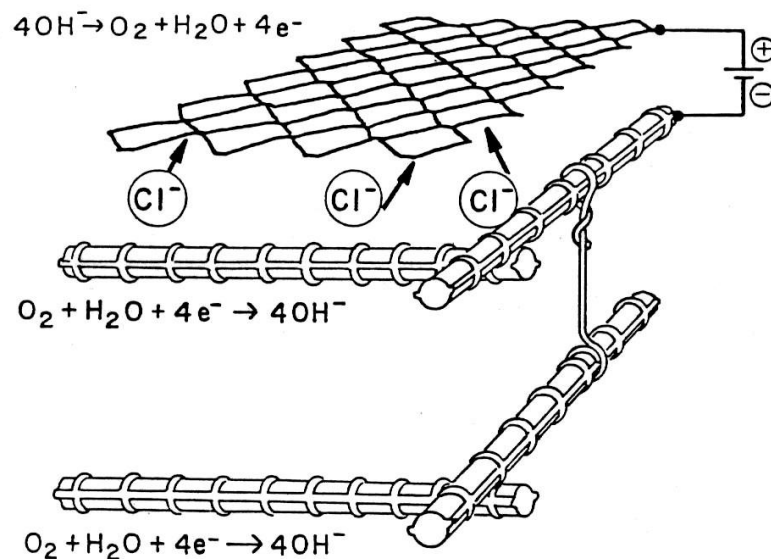
Η πρώτη μέθοδος ονομάζεται καθοδική προστασία με επιβολή εξωτερικού ρεύματος και η δεύτερη καθοδική προστασία με θυσιαζόμενες ανόδους. Η επιβολή εξωτερικού ρεύματος απαιτεί για την εφαρμογή της επίσης την ύπαρξη κατάλληλων ανόδων. Οι οξειδωτικές δράσεις δεν πραγματοποιούνται στην επιφάνεια της προς προστασία κατασκευής, αλλά στην άνοδο, είτε αυτή είναι θυσιαζόμενη άνοδος είτε άνοδος επιβολής εξωτερικού ρεύματος, η οποία υφίσταται την επίδραση των διαβρωτικών παραγόντων. Η εφαρμογή επομένως της καθοδικής προστασίας απαιτεί την ύπαρξη κατάλληλων ανόδων και η διάρκεια εφαρμογής της εξαρτάται από τη διάρκεια ζωής των ανόδων. Αν είναι δυνατή η ευχερής αλλαγή των ανόδων, τότε η διάρκεια εφαρμογής της καθοδικής προστασίας είναι απεριόριστη και ομοίως η διάρκεια ζωής της κατασκευής (Μπατής και Καρύδης, 1999; Roberge, 2008). Στο σχήμα 3.1 απεικονίζεται σχηματικά ένα σύστημα καθοδικής προστασίας (Beamish and El-Belbol, 1998).



Σχήμα 3.1. Σχηματική απεικόνιση συστήματος καθοδικής προστασίας.

Η αντιμετώπιση του σχηματισμού των γαλβανικών στοιχείων, όταν αυτά ήδη έχουν σχηματισθεί και έχουν προξενήσει βλάβες είναι αρκετά δύσκολη. Εάν π.χ. έχει σχηματισθεί γαλβανικό μακροστοιχείο λόγω διάχυσης χλωριόντων από το περιβάλλον σε ένα οπλισμένο σκυρόδεμα και η διάβρωση έχει ήδη προχωρήσει, η κάλυψη του οπλισμένου σκυροδέματος με μανδύα δεν προσφέρει προστασία. Το παλιό μακροστοιχείο εξακολουθεί να υπάρχει και να λειτουργεί. Ακόμη η ύπαρξη νέου οπλισμού στο νέο σκυρόδεμα που συγκολλάται με τον παλιό οπλισμό επιτείνει τη διαβρωτική δράση του γαλβανικού μακροστοιχείου. Ο παλιός οπλισμός εξακολουθεί να διαβρώνεται και να ασκεί εφελκυστικές τάσεις στο σκυρόδεμα και επομένως η δημιουργία και νέων ρωγμών αργά ή γρήγορα θα συμβεί.

Στις περιπτώσεις αυτές η μέθοδος της καθοδικής προστασίας μπορεί να δώσει αποτελεσματική λύση. Η εφαρμογή της καθοδικής προστασίας βασίζεται στην ύπαρξη πηγής συνεχούς ρεύματος και βοηθητικής ανόδου κοντά στην επιφάνεια του σκυροδέματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2. Ο οπλισμός συνδέεται ηλεκτρικά αγώγιμα με τον αρνητικό πόλο της πηγής του συνεχούς ρεύματος και η βοηθητική άνοδος συνδέεται με τον θετικό πόλο της πηγής συνεχούς ρεύματος. Το εξωτερικά εφαρμοζόμενο δυναμικό από την πηγή συνεχούς ρεύματος εξαλείφει την επίδραση των μακροστοιχείων. Ο οπλισμός τώρα σε όλη του την έκταση συμπεριφέρεται σαν κάθοδος όπου πραγματοποιείται μόνο η μετατροπή του οξυγόνου προς υδροξύλιο. Η δράση των χλωριόντων ή των άλλων διαβρωτικών ανιόντων μεταφέρεται στη βοηθητική άνοδο.



Σχήμα 3.2. Η αρχή της καθοδικής προστασίας του οπλισμού στο σκυρόδεμα.

Η μέθοδος της καθοδικής προστασίας εφαρμοζόμενη σωστά μπορεί πρακτικά να μηδενίσει τη διάβρωση του οπλισμού. Η εφαρμογή της είναι δυνατή τόσο σε κατασκευαζόμενες όσο και σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές (Μπατής, 2007). Επίσης είναι δυνατή η αναπροσαρμογή του εξωτερικά εφαρμοζόμενου δυναμικού, ανάλογα με τις πιθανές μεταβολές του δυναμικού διάβρωσης. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η ανάγκη για προηγούμενη λεπτομερή εργαστηριακή μελέτη του φαινομένου, ώστε να προσδιοριστούν τα όρια της καθοδικής τάσης που απαιτείται να επιβληθεί και η δυσκολία

στην αντιστάθμιση μεγάλων διακυμάνσεων του δυναμικού διάβρωσης, λόγω μεταβολών των ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών του διαβρωτικού περιβάλλοντος. Επίσης εάν η εξωτερική τάση είναι μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται υπάρχει κίνδυνος να επιταχυνθεί η διάβρωση (Καλογεροπούλου, 2015).

Η προστατευτική επίδραση της καθοδικής προστασίας είναι φανερό ότι διαρκεί όσο υπάρχουν άνοδοι. Η αντικατάσταση των ανόδων είναι ένα τεχνικά πολύ δύσκολο πρόβλημα. Για να επιτευχθεί μεγάλη διάρκεια ζωής των ανόδων, οι άνοδοι κατασκευάζονται από τιτάνιο. Είναι γνωστό ότι η αντοχή του τιτανίου στη διάβρωση ιδιαίτερα σε συνθήκες ανοδικής φόρτισης, είναι μεγάλη διότι σχηματίζεται οξειδίο τιτανίου (TiO_2) το οποίο σχηματίζει ένα ιδιαίτερα παθητικό στρώμα που προστατεύει το τιτάνιο από τη διάβρωση. Σημαντικό είναι ότι ο μοριακός όγκος του τιτανίου δεν διαφέρει σημαντικά από τον μοριακό όγκο του οξειδίου του (Perez, 2004; Bradford, 2002).

Το ίδιο αποτέλεσμα μπορεί να προκύψει με τη χρήση θυσιαζόμενων ανόδων αντί της παροχής συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος από εξωτερική πηγή (μετασχηματιστής - ανορθωτής). Η θυσιαζόμενη άνοδος θα πρέπει να είναι κατασκευασμένη από υλικό που ευρίσκεται υψηλότερα από τον χάλυβα στην ηλεκτροδιακή σειρά π.χ. από ψευδάργυρο. Στην περίπτωση αυτή το πλέγμα ψευδαργύρου συνδέεται αγώγιμα με τον οπλισμό. Όταν εξαντληθούν οι θυσιαζόμενες άνοδοι αντικαθίστανται.

3.3. Οι αναστολές διάβρωσης

Αναστολέας διάβρωσης (corrosion inhibitor) ονομάζεται μια ουσία που μπορεί να μειώσει τον ρυθμό διάβρωσης του χάλυβα, όταν είναι παρούσα σε σχετικά μικρή συγκέντρωση πλησίον της επιφάνειας του χάλυβα. Ο ορισμός που δίνει η Αμερικανική Ένωση Μηχανικών Διάβρωσης (National Association of Corrosion Engineers, NACE) είναι ότι αναστολέας διάβρωσης είναι μια ουσία που καθυστερεί τη διάβρωση όταν προστίθεται σε ένα περιβάλλον σε μικρές συγκεντρώσεις (a substance which retards corrosion when added to an environment in small concentrations) (Elsener, 2001).

Η βασική αρχή λειτουργίας των αναστολέων διάβρωσης στηρίζεται στη δημιουργία ενός λεπτού χημικού μονομοριακού ή διμοριακού στρώματος στην επιφάνεια του υπό προστασία χάλυβα μέσα στο σκυρόδεμα, που λειτουργεί ως ένα φυσικό εμπόδιο έναντι των διαβρωτικών στοιχείων του περιβάλλοντος (Μπατής, 2007).

Ανάλογα με τον μηχανισμό προστασίας τους, οι αναστολές διάβρωσης χωρίζονται σε (Söylev and Richardson, 2008).

A. Ανοδικούς. Οι ανοδικοί αναστολές επηρεάζουν τη διάλυση του σιδήρου και μειώνουν τον ρυθμό διάβρωσης αυξάνοντας το δυναμικό διάβρωσης του σιδήρου. Επιδρούν στα ήδη υπάρχοντα προϊόντα της διάβρωσης και σχηματίζουν ένα μη διαλυτό και πολύ συνεκτικό λεπτό φιλμ στην επιφάνεια του μετάλλου σταματώντας έτσι την αντίδραση διάβρωσης στην ανοδική περιοχή. Η απόδοσή τους εξαρτάται από το λόγο συγκέντρωσης τους ως τη συγκέντρωση των χλωριόντων. Ο πιο συνηθισμένος ανοδικός αναστολέας είναι το νιτρώδες ασβέστιο ($Ca(NO_2)_2$). Επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί το νιτρώδες νάτριο, το βενζοϊκό νάτριο και το χρωμικό νάτριο.

B. Καθοδικούς. Οι καθοδικοί αναστολές επηρεάζουν την αντίδραση του οξυγόνου πάνω στην επιφάνεια του σιδήρου και μειώνουν τον ρυθμό διάβρωσης μειώνοντας το δυναμικό διάβρωσης του σιδήρου. Οι πιο συνηθισμένοι καθοδικοί αναστολές είναι το υδροξείδιο του νατρίου και το ανθρακικό νάτριο, που θεωρητικά αυξάνουν το pH γύρω

στον χάλυβα και μειώνουν τη διάχυση οξυγόνου επικαλύπτοντας την επιφάνεια του χάλυβα. Επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί φωσφορικά, πυριτικά και πολυφωσφορικά άλατα.

Γ. Μικτούς. Οι μικτοί αναστολείς δρουν και στο ανοδικό και στο καθοδικό τμήμα της ηλεκτροχημικής αντίδρασης της διάβρωσης χωρίς σημαντική αλλαγή του δυναμικού διάβρωσης. Συνήθως προσροφώνται στην επιφάνεια του σιδήρου που είναι σε επαφή με τον αναστολέα και συνεπώς σχηματίζουν ένα λεπτό προστατευτικό στρώμα. Μικτοί αναστολείς είναι ουσίες με μια υδρόφοβη ομάδα που έχει πολικές ομάδες όπως N, S, OH. Επίσης χρησιμοποιούνται οργανικές ενώσεις, όπως οι αμίνες και οι αμινοαλκοόλες.

Οι ανοδικοί ή καθοδικοί αναστολείς δρουν με ρόφηση στην επιφάνεια του μετάλλου, που μπορεί να είναι φυσική ή χημική, οπότε και ονομάζονται φυσικοί και χημικοί αναστολείς αντίστοιχα. Οι διαφορές μεταξύ φυσικής και χημικής ρόφησης αναφέρονται στον Πίνακα 3.1.

Οι **φυσικοί αναστολείς** επιδρούν καλύπτοντας τα ενεργά κέντρα του μετάλλου, τα οποία είναι η αιτία της ύπαρξης ανοδικών και καθοδικών περιοχών στην επιφάνεια του μετάλλου. Οι φυσικοί αναστολείς ονομάζονται και πρωτογενείς, γιατί το στρώμα ρόφησης περιέχει μόνο μόρια του αναστολέα.

Οι **χημικοί αναστολείς** επιδρούν με επιφανειακή χημική αντίδραση, η οποία οδηγεί σε κάλυψη της επιφάνειας του μετάλλου με το προϊόν της χημικής αντίδρασης. Οι χημικοί αναστολείς ονομάζονται και δευτερογενείς, λόγω του ότι το στρώμα ρόφησης περιέχει το προϊόν της αντίδρασης μεταξύ μετάλλου και αναστολέα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1. Διαφορές μεταξύ φυσικής και χημικής ρόφησης αναστολέων διάβρωσης

ΦΥΣΙΚΗ ΡΟΦΗΣΗ	ΧΗΜΙΚΗ ΡΟΦΗΣΗ
Ασθενής αλληλεπίδραση μεταξύ μετάλλου-αναστολέα διάβρωσης	Ισχυρές δυνάμεις μεταξύ μετάλλου-αναστολέα διάβρωσης
Δυνάμεις WanderWaals. Μοριακή ενθαλπία ρόφησης 40 KJ/Mol	Χημικοί δεσμοί. Μοριακή ενθαλπία ρόφησης 600 KJ/Mol
Η επιφάνεια του μετάλλου δεν μεταβάλλεται	Η επιφάνεια του μετάλλου μεταβάλλεται χημικά
Εφαρμογή κυρίως σε όξινα περιβάλλοντα	Εφαρμογή σε όξινα, ουδέτερα και αλκαλικά περιβάλλοντα

Οι χημικοί αναστολείς διακρίνονται σε:

- **παθητικοποιητές**, όταν σχηματίζουν ένα λεπτό, ομοιόμορφο στρώμα, πυκνής δομής (20 nm) στην επιφάνεια του μετάλλου, π.χ. νιτρικά, χρωμικά ανιόντα.

- **επικαλυπτές**, όταν σχηματίζουν σχετικά παχύτερα, ανομοιόμορφα, μικρής πυκνότητας στρώματα στην επιφάνεια του μετάλλου, π.χ. φωσφορικά, αρσενικά.

- **ηλεκτροχημικούς αναστολείς**, όταν σχηματίζουν λεπτά επιφανειακά στρώματα στο προστατευόμενο μέταλλο με αντιμετάθεση του προστατευομένου μετάλλου με ευγενέστερα μεταλλοκατιόντα, όπως των Hg, As, Sb, που αυξάνουν την υπέρταση υδρογόνου.

- **Χημικοί αναστολείς διάβρωσης**, οι οποίοι ενεργούν στο διαβρωτικό περιβάλλον αντιδρώντας με διαβρωτικά συστατικά, ονομάζονται απομακρυντές, όπως π.χ. η υδραζίνη η οποία δεσμεύει το οξυγόνο.

Γενικά κάθε κατηγορία από τους παραπάνω αναστολείς διάβρωσης περιέχει συστατικά τα οποία λειτουργούν είτε με τη δημιουργία ενός προστατευτικού φιλμ οξειδίων

το οποίο παθητικοποιεί την επιφάνεια του χάλυβα, είτε επιδρούν στο διαβρωτικό περιβάλλον το οποίο έρχεται σε επαφή με το μέταλλο.

Οι αναστολείς διάβρωσης είναι αποτελεσματικοί όταν η χημική τους σύσταση πληροί τα παρακάτω κριτήρια:

- Το μονομοριακό στρώμα το οποίο δημιουργούν στην επιφάνεια του υπό προστασία οπλισμού να είναι ισχυρός δέκτης ηλεκτρονίων ή δότης ή και τα δύο.

- Πρέπει να είναι λειτουργικοί στο pH και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος σκυροδέματος στο οποίο χρησιμοποιούνται.

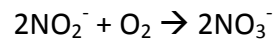
- Πρέπει να είναι συμβατοί με το όλο σύστημα έτσι ώστε να μην προκαλούν αρνητικές δράσεις τόσο στις μηχανικές όσο και στις φυσικοχημικές ιδιότητες του σκυροδέματος.

Οι αναστολείς διάβρωσης καταναλώνονται με την πάροδο του χρόνου και λειτουργούν για συγκεκριμένα κάθε φορά όρια συγκέντρωσης χλωριόντων. Εάν η δοσολογία τους είναι μικρότερη από την κατανάλωση τους μέσα στο σκυρόδεμα τότε δημιουργείται το πρόβλημα της εντοπισμένης διάβρωσης (Μπατής, 2007).

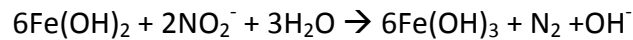
Η χρήση αναστολέων διάβρωσης στο οπλισμένο σκυρόδεμα με σκοπό την αποφυγή της διάβρωσης του οπλισμού, έχει εφαρμογή πρακτικά από το 1978, αν και ερευνητικές εργασίες είχαν προηγηθεί κατά 15 χρόνια περίπου. Αντίθετα η χρήση αναστολέων διάβρωσης σε μεταλλικές κατασκευές έχει πολύ μεγαλύτερη ιστορία. Η χρονική αυτή υστέρηση οφείλεται σε διάφορους λόγους. Καταρχήν η χρήση των αναστολέων διάβρωσης σε μεταλλικές κατασκευές, π.χ. σε κλειστά συστήματα σωληνώσεων, έχει σαν σκοπό την προστασία από τη διάβρωση για λίγα χρόνια, ενώ η προστασία του οπλισμού στο σκυρόδεμα απαιτεί χρονικό ορίζοντα πάνω από 50 χρόνια. Ακόμη η προσθήκη αναστολέων διάβρωσης στο σκυρόδεμα δεν πρέπει να επηρεάζει επιβλαβώς τις άλλες ωφέλιμες ιδιότητές του, όπως την αντοχή, τον χρόνο πήξης, την αεροπεριεκτικότητα ή την ανθεκτικότητα. Επίσης ένας αναστολέας θα πρέπει να παραμένει ενεργός για το συγκεκριμένο χρόνο ζωής της κατασκευής (Gaidis, 2004; Hansson, Mammoliti and Hope, 1998). Οι αναστολείς διάβρωσης έγιναν γρήγορα δημοφιλείς για την προστασία του οπλισμού του σκυροδέματος από τη διάβρωση επειδή έχουν χαμηλό κόστος και ευκολία χειρισμού σε σχέση με τις άλλες προστατευτικές μεθόδους (Ormellese, et al., 2006). Το Πρότυπο ASTM C1582 / C1582M - 11 προδιαγράφει τους αναστολείς διάβρωσης που χρησιμοποιούνται για την προστασία του χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος από τη διάβρωση με χλωριόντα, ενώ οι αναστολείς διάβρωσης πρέπει να καλύπτουν και το πρότυπο ASTM C494 / C494M - 15a. Αρχικά η χρήση των αναστολέων διάβρωσης γινόταν με ανάμιξή τους σαν πρόσθετα κατά την παραγωγή του σκυροδέματος. Σαν αναστολείς διάβρωσης είχαν προταθεί το νιτρώδες νάτριο (NaNO_2), το χρωμικό κάλιο και το βενζοϊκό νάτριο. Η χρήση των αναστολέων αυτών έδωσε θετικά αποτελέσματα όσον αφορά τη διάβρωση του οπλισμού. Το νιτρώδες νάτριο είχε τα καλύτερα αποτελέσματα. Ταυτόχρονα όμως παρουσίαζαν το μειονέκτημα της μείωσης της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος κατά 20 έως 40%. Η αύξηση του ποσοστού του αναστολέα διάβρωσης έχει σαν συνέπεια τη μεγαλύτερη μείωση της θλιπτικής αντοχής. Ακόμη η αύξηση της περιεκτικότητας των ιόντων του Na^+ ή K^+ στο σκυρόδεμα οδηγεί σε αύξηση της πιθανότητας της αλκαλοπυριτικής αντίδρασης, όταν βέβαια χρησιμοποιούνται αδρανή ευαίσθητα σε αλκαλοπυριτική αντίδραση.

Η χρήση του νιτρώδους ασβεστίου στη θέση του νιτρώδους νατρίου έδωσε για πρώτη φορά ταυτόχρονα αυξημένη αντοχή και αύξηση της αντίστασης σε διάβρωση. Η χρήση του νιτρώδους ασβεστίου δίνει καλά αποτελέσματα, τόσο στην περίπτωση του ενανθρακωμένου σκυροδέματος όσο και στην περίπτωση της διάβρωσης με χλωριόντα

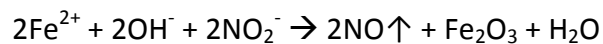
(Kondratova, Montes and Bremner, 2003). Η προστατευτική του επίδραση, κατά μία άποψη, μπορεί να θεωρηθεί ότι οφείλεται στην ιδιότητά του να αντιδρά σε αλκαλικό περιβάλλον με το οξυγόνο κατά την αντίδραση:



Είναι όμως επικρατέστερη η άποψη ότι το νιτρώδες ανιόν αντιδρά με το υδροξείδιο του δισθενούς σιδήρου, με αποτέλεσμα το ίδιο να ανάγεται προς άζωτο και το δισθενές υδροξείδιο του σιδήρου να μετατρέπεται σε τρισθενές κατά την αντίδραση:



Ο σχηματισμός του τρισθενούς υδροξειδίου του σιδήρου (ή ανάλογων προϊόντων) έχει σαν αποτέλεσμα την παρεμπόδιση του σχηματισμού χλωροσυμπλόκων του σιδήρου και της ανοδικής διάλυσής του. Σύμφωνα με μία άλλη υπόθεση, το νιτρώδες ανιόν προωθεί τον σχηματισμό τριοξειδίου του σιδήρου στην επιφάνεια του σπλισμού, σχηματίζοντας ένα είδος παθητικού στρώματος κατά την αντίδραση (Saraswathy and Song, 2007):



Η δυνατότητα παθητικοποίησης του χάλυβα μέσω του νιτρώδους ανιόντος είναι δυνατή μόνο άνω ενός ορίου. Έρευνες έχουν διεξαχθεί και έχουν οδηγήσει στη διατύπωση της άποψης ότι η παθητικοποίηση είναι δυνατή μέχρις ορισμένης τιμής του λόγου $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$. Εφόσον η τιμή του λόγου αυτού γίνει μικρότερη ενός ορίου η παθητικοποίηση δεν πραγματοποιείται. Έχουν δοθεί διάφορες τιμές για τον λόγο αυτό, αλλά επικρατέστερη θεωρείται η τιμή 1/6 (Berke and Hicks, 2004).

Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν και άλλοι αναστολείς διάβρωσης κατάλληλοι για το σπλισμένο σκυρόδεμα με βάση τις αλκανολαμίνες, αμινοαλκοόλες και μίγματα αμινών και εστέρων (Wombacher, Maeder and Marazzani 2004). Οι αναστολείς αυτοί είναι φυσικοί αναστολείς.

Αρχικά οι αναστολείς διάβρωσης εφαρμόστηκαν σαν πρόσθετο στο σκυρόδεμα, οπότε μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε καινούργιες κατασκευές σπλισμένου σκυροδέματος ή σε επιδιορθώσεις υφιστάμενων κατασκευών με προσθήκη τους στα κονιάματα επισκευών. Ο τρόπος αυτός χρήσης των αναστολέων παρουσιάζει το μειονέκτημα της δημιουργίας μακροστοιχείων, τα οποία περιορίζουν την ικανότητα προστασίας σε διάβρωση. Στη συνέχεια αναπτύχθηκε νέος τρόπος εφαρμογής με ψεκασμό ή εμποτισμό πάνω σε υπάρχουσα επιφάνεια σκυροδέματος. Ο τρόπος αυτός δίνει μία σημαντική επέκταση της χρήσης των αναστολέων διάβρωσης σε επισκευές. Στην περίπτωση αυτή η ικανότητα διάχυσης του αναστολέα διάβρωσης στους πόρους του σκυροδέματος είναι μία σημαντική ιδιότητα (Söylev, McNally and Richardson, 2007; Tritthart, 2003).

Οι αμινοαλκοόλες έχουν αναφερθεί στη διεθνή βιβλιογραφία σαν αναστολείς διάβρωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση του σπλισμένου σκυροδέματος (Maeder, 1996). Η προστατευτική επίδραση της αμινοαλκοόλης (N-N'-dimethylaminoethanol) οφείλεται στην υποκατάσταση των διαφόρων ιόντων (συμπεριλαμβανομένων και των χλωριόντων) από την επιφάνεια του χάλυβα, είτε αυτή είναι οξειδωμένη είτε όχι, σχηματίζοντας ένα ισχυρό παθητικό στρώμα (Welle, et al., 1997). Η προστατευτική της επίδραση ισχύει τόσο κατά τη χρησιμοποίησή της σαν πρόσθετο όσο

και κατά τον ψεκασμό της επιφάνειας του σκυροδέματος. Η πυκνότητα και η φύση του ροφημένου στρώματος εξαρτώνται από τη σύσταση του διαλύματος των πόρων του σκυροδέματος και από τη συγκέντρωση της αμινοαλκοόλης. Το ροφημένο στρώμα σχηματίζεται ακόμη και όταν υπάρχουν χλωριόντα. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για υπάρχουσες κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος (Saricimen, et al., 2002).

Στην περίπτωση της διάβρωσης με χλωριόντα, η προστασία των αναστολέων διάβρωσης εξαρτάται από τον λόγο συγκεντρώσεων των χλωριόντων προς τη συγκέντρωση του αναστολέα. Ο λόγος αυτός δίνει και την απαιτούμενη προσθήκη αναστολέα ανά περίπτωση.

Η εφαρμογή των αναστολέων διάβρωσης βασίζεται στη μετακίνησή τους προς την επιφάνεια του χάλυβα του οπλισμού σκυροδέματος. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην περίπτωση εφαρμογής τους σε επισκευές, όπου ο αναστολέας ψεκάζεται στην επιφάνεια. Η μετακίνηση των αναστολέων διάβρωσης γίνεται με διάχυση, δηλαδή με μετακίνηση από περιοχές υψηλής συγκέντρωσης σε περιοχές χαμηλής ή μηδενικής συγκέντρωσης.

Ο συνδυασμός αναστολέων διάβρωσης με επιφανειακές επικαλύψεις μπορεί να ενισχύσει τη δράση και των δύο. Για παράδειγμα σε ένα στοιχείο οπλισμένου σκυροδέματος που έχει ψεκασθεί με αναστολείς διάβρωσης χωρίς άλλο μέτρο προστασίας, το νερό της βροχής με τον καιρό μπορεί να εκπλύνει τον αναστολέα διάβρωσης. Εάν όμως το στοιχείο έχει καλυφθεί από κάποια οργανική επικάλυψη, τότε αυτή δυσχεραίνει την είσοδο του νερού στο σκυρόδεμα και προφυλάσσει τον αναστολέα διάβρωσης από την έκπλυση.

Ο ανωτέρω συνδυασμός αποδεικνύεται επωφελής και σε άλλες περιπτώσεις. Ένα στοιχείο οπλισμένου σκυροδέματος σε παραθαλάσσια περιοχή κινδυνεύει από την είσοδο των χλωριόντων. Εάν έχει ήδη εκτεθεί στο παραθαλάσσιο περιβάλλον και έχει ήδη αποκτήσει υψηλή συγκέντρωση χλωριόντων στο σκυρόδεμα, τέτοια ώστε να μπορεί να αρχίσει τη διάβρωση του οπλισμού, μια οργανική επικάλυψη παρεμποδίζει την είσοδο περισσότερων χλωριόντων, αλλά τα ήδη υπάρχοντα είναι αρκετά ώστε να συντηρούν τη διάβρωση του οπλισμού. Η συνδυασμένη εφαρμογή αναστολέα διάβρωσης με ψεκασμός και οργανικής επικάλυψης προσφέρει μία αποτελεσματική και φθηνή λύση προστασίας.

Η αποτελεσματικότητα των αναστολέων διάβρωσης εκφράζεται από τη σχέση:

$$\% \text{ Προστασία} = 100 \cdot (\Delta_x - \Delta_M) / \Delta_x \quad (3.1)$$

όπου:

Δ_x : Διάβρωση χωρίς αναστολέα

Δ_M : Διάβρωση με αναστολέα

3.4. Ανοξειδωτοι χάλυβες

Η χρήση ανοξειδωτων χαλύβων οπλισμού για την αποφυγή προβλημάτων διάβρωσης σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος σε όλο τον κόσμο, αλλά και στην Ελλάδα, αποτελεί ίσως την πιο αξιόπιστη λύση (Μπατής, 2007; Broomfield, 1997). Έχουν μεγαλύτερη αντίσταση στη διάβρωση, ακόμη και όταν βρίσκονται και στο πιο δραστικό περιβάλλον, που θα κατέστρεφε ταχύτατα τους κοινούς χάλυβες. Συνήθως, γίνεται μόνο μερική αντικατάσταση των ανθρακούχων χαλύβων, σε τμήματα της κατασκευής που υποφέρουν περισσότερο και σπανιότερα πλήρους αντικατάσταση αυτών, σε κατασκευές όπου υπάρχει έντονο διαβρωτικό περιβάλλον και ειδικότερα σημαντική παρουσία χλωριόντων, ενώ

παράλληλα είναι ζητούμενο η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της κατασκευής (Μαυροειδής, Ρακαντά και Μπατής, 2006).

Η ανθεκτικότητα σε διάβρωση των ανοξείδωτων χαλύβων επιτυγχάνεται με την παθητικοποίηση της επιφάνειάς τους λόγω του σχηματιζόμενου λεπτού επιφανειακού στρώματος οξειδίου του χρωμίου το οποίο εμποδίζει την περαιτέρω διάβρωση (προσθήκη χρωμίου σε ποσοστά συνήθως από 16% έως 20%) (Gardner, 2005). Εκτός από την προσθήκη χρωμίου, και η προσθήκη νικελίου (σε ποσοστά συνήθως από 8% έως 10%) έχει ως συνέπεια τον σχηματισμό ωστενιτικών ανοξείδωτων χαλύβων. Για την περαιτέρω αύξηση της ανθεκτικότητας, ιδίως παρουσία χλωριόντων, προστίθεται μολυβδένιο (Mo) σε ποσοστά συνήθως από 2% έως 3,5% (KTX 2008).

Υπάρχουν πολλές κατηγορίες ποιότητας ανοξείδωτων χαλύβων που κατατάσσονται σε τέσσερις βασικούς τύπους, ανάλογα με τη μικρογραφική τους δομή.

- Μαρτενσιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες
- Φερριτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες
- Ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες
- Φερριτο-ωστενιτικοί (duplex) ανοξείδωτοι χάλυβες

Η επιλογή είναι θέμα σχεδιασμού και συναρτάται με την επιζητούμενη κατά περίπτωση αντίσταση στη διάβρωση, τις αναγκαίες μηχανικές αντοχές και φυσικά το κόστος. Οι πλέον διαδεδομένες κατηγορίες ανοξείδωτων χαλύβων που χρησιμοποιούνται ως χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος είναι οι χρωμονικελιούχοι ωστενιτικοί και ειδικότερα οι κατηγορίες AISI 304 (304L) και AISI 316 (316L) κατά την Αμερικανική τυποποίηση, οι οποίες αντιστοιχούν στις κατηγορίες EN 1.4301 (1.4306) και EN 1.4401 (1.4404) κατά την Ευρωπαϊκή τυποποίηση. Περιέχουν ελάχιστο άνθρακα. Έχουν αυξημένα ποσοστά νικελίου από 8 έως και 25% και χρωμίου από 17 έως και 25%. Η προσθήκη μολυβδαινίου σε ποσοστά έως και 7%, αυξάνει την αντίσταση σε διάβρωση. Δεν σκληρύνονται με θερμική κατεργασία, ενώ αντίθετα μπορούν να διαμορφωθούν εν ψυχρώ για βελτίωση των αντοχών τους. Έχουν καλή συμπεριφορά σε χαμηλές και ψηλές θερμοκρασίες και μπορούν να συγκολληθούν μεταξύ τους (KTX 2008; Blanco, Bautista and Takenouti, 2006).

Στον Πίνακα 3.2 δίνονται κριτήρια επιλογής ανοξείδωτων χαλύβων συναρτήσει των συνθηκών περιβάλλοντος και της χρήσης της κατασκευής. Οι εφαρμογές που περιγράφονται στον πίνακα αυτόν, όπως διευκρινίζεται στο υπό επεξεργασία Ευρωπαϊκό Πρότυπο [ΧΡΑ A35-OK(E)] απ' όπου έχει ληφθεί, δεν περιορίζονται αυστηρά στους οπλισμούς που ενσωματώνονται στο σκυρόδεμα αλλά και σε άλλες συναφείς χρήσεις. Η επιλογή της κατάλληλης σύνθεσης υπαγορεύεται από τις απαιτήσεις και τα ειδικά χαρακτηριστικά της κατασκευής, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος (το οποίο αυξάνεται όσο αυξάνονται οι αναλογίες των κραματικών στοιχείων), αλλά και της δυνατότητας παραγωγής στις απαιτούμενες διαστάσεις και διατομές.

Στην Ελλάδα, δεν υπάρχει πρότυπο που να προδιαγράφει τις ιδιότητες των ανοξείδωτων χαλύβων οπλισμού και χρησιμοποιούνται ως βάση αναφοράς Εθνικά Πρότυπα άλλων χωρών. Δεν υπάρχει επίσης συστηματική διερεύνηση των μηχανικών χαρακτηριστικών, όπως επίσης και του βαθμού προστασίας από τη διάβρωση, με τρόπο που αυτό να λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό των έργων (π.χ. πιθανή μείωση επικάλυψης σκυροδέματος). Στις Η.Π.Α. χρησιμοποιείται το πρότυπο ASTM A276/A276M-16. Σε σύγκριση με τον απλό χάλυβα, οι οπλισμοί ανοξείδωτου χάλυβα είναι έξι με δέκα φορές ακριβότεροι (τιμές του 2006) (Markeset, Rostam, and Klinghoffer, 2006). Σε περίπτωση που, λόγω της υψηλής τιμής των ανοξείδωτων χαλύβων, γίνει μερική αντικατάσταση του οπλισμού, τότε δημιουργείται γαλβανικό στοιχείο μεταξύ ανοξείδωτων

και συμβατικών χαλύβων. Αν ο συμβατικός χάλυβας ευρίσκεται σε υγιές σκυρόδεμα και ο ανοξειδωτος σε σκυρόδεμα με χλωριόντα (ή ενανθρακωμένο), τότε η άνοδος του γαλβανικού στοιχείου ευρίσκεται στον ανοξειδωτο χάλυβα. Επομένως η διάβρωση του ανοξειδωτου χάλυβα επιταχύνεται ενώ ο συμβατικός προστατεύεται. Η ταχύτητα διάβρωσης του ανοξειδωτου χάλυβα, παρά την ύπαρξη του γαλβανικού στοιχείου, παραμένει πολύ μικρότερη από τη διάβρωση του χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος (Μπατής και Ρακαντά, 2006).

Πίνακας 3.2. Πεδίο εφαρμογής των ανοξειδωτων χαλύβων συναρτήσεως των συνθηκών περιβάλλοντος (από το υπό επεξεργασία Πρότυπο ΧΡ Α 35-014 Πίνακας Α4).

Ποιότητα ανοξειδωτου χάλυβα	Κατασκευές σε αγροτικές ή αστικές περιοχές χωρίς πιθανότητα παρουσίας χλωριόντων	Κατασκευές σε αγροτικό ή αστικό περιβάλλον με πιθανή εποχική προσβολή χλωριόντων (π.χ. αλάτι για αντιπαγετική προστασία)	Κατασκευές παραθαλάσσιες Κατασκευές μόνιμα εμβαπτισμένες σε γλυκό νερό (πισίνες κλπ)	Λιμενικές εγκαταστάσεις Κατασκευές εμβαπτιζόμενες σε θαλασσινό νερό
1.4511	(1) Οποιοσδήποτε κατασκευές. Ενδεδειγμένος, εάν οι εποχικές θερμοκρασιακές διαφορές είναι σημαντικές.	(3) Μπάρες ασφαλείας κατά μήκος αυτοκινητοδρόμων.	(4)	(4)
1.4301 1.4311 1.4597a	(1) Αερογέφυρες, σήραγγες εντός πόλεων, δημόσια κτίρια.	(1) Κατασκευές όπου ενδέχεται να προκληθεί στον χρόνο ζωής της κατασκευής μείωση της επικάλυψης από σκυρόδεμα	(4)	(4)
1.4401 1.4429 1.4436 1.4571	(1) Εμφανή τμήματα κατασκευών – Απαιτήσεις αισθητικής εμφάνισης.	(1) Έργα Πολ. Μηχανικού Βιομηχανικές εγκαταστάσεις σε περιοχές παρουσίας H ₂ S, SO ₂ , υγρασίας.	(3) Λιμενικές εγκαταστάσεις σε ποτάμια. Δεξαμενές επεξεργασίας αποβλήτων.	(4)
1.4539	(2)	(2)	(1) Δεξαμενές επεξεργασίας ύδατος, αλατούχων διαλυμάτων.	1) Μόνιμα εμβαπτισμένες ναυπηγικές κατασκευές. Κατασκευές χωρίς κίνηση.
1.4462	(2)	(2)	(1) Κολυμβητήρια. Αυξημένη αντοχή στη διάβρωση υπό τάση (stress corrosion). Γέφυρες.	(1) Βάσεις στήριξης πλατφορμών (off shore). Γέφυρες, Λιμενικές εγκαταστάσεις.
(1) Σωστή επιλογή, καλή σχέση ποιότητας / τιμής. (2) Αδικαιολόγητη πολυτέλεια σε σχέση με το περιβάλλον εφαρμογής. (3) Δυνατή επιλογή, απόφαση του κατασκευαστή / παραγωγού (4) Όχι – Μη ικανοποιητική αντοχή στη διάβρωση. (a): Χάλυβες που προστατεύονται από ευρεσιτεχνίες αναφέρονται στο prEN 10088-3:2002.				

Μια πρόσφατη εργασία από τους O'Reilly et al. (2011) όπως αναφέρεται από τον McDonald (2011) παρουσιάστηκε μια έρευνα σχετικά με την αποτελεσματικότητα διαφόρων συστημάτων προστασίας από τη διάβρωση, συμπεριλαμβανομένων των

αναστολέων διάβρωσης, όπως το νιτρώδες ασβέστιο, οι εστέρες και οι αμίνες και διάφορων τύπων χαλύβων οπλισμού. Στην εργασία αυτή, κριτήριο ήταν οι κρίσιμες περιεκτικότητες χλωριόντων, με δεδομένο ότι για μη επικαλυμμένους οπλισμούς οι τυπικές τιμές κυμαίνονται από 0,71 kg/m³ έως 1,19 kg/m³ (Πίνακας 3.3).

Πίνακας 3.3. Κρίσιμες περιεκτικότητες χλωριόντων για συστήματα προστασίας από τη διάβρωση

Σύστημα	Κρίσιμη περιεκτικότητα χλωριόντων (kg/m ³)
Χάλυβας	0,94
Χάλυβας καλυμμένος με εποξικό επίστρωμα	4,32
Ανοξείδωτος χάλυβας 2205	15,66
Αναστολέας διάβρωσης	0,49÷1,81
Αναστολέας διάβρωσης και χάλυβας καλυμμένος με εποξικό επίστρωμα	1,0÷5,84
Επιψευδαργυρωμένος χάλυβας	1,5

Για τα ίδια συστήματα, οι O'Reilly et al. (2011) παρουσίασαν συγκριτική μελέτη για τον χρόνο έναρξης της διάβρωσης, τον χρόνο εμφάνισης ρωγμών και τον χρόνο πρώτης επισκευής. Οι συγγραφείς επεσήμαναν ότι αν το σκυρόδεμα είχε ρωγμές, τότε θα χρειαζόταν επισκευή μετά από 14 χρόνια στην περίπτωση απλών χαλύβων και 33 χρόνια αν είχε χρησιμοποιηθεί αναστολέας διάβρωσης. Αν οι χάλυβες ήταν καλυμμένοι με εποξικό επίστρωμα, θα χρειαζόταν επισκευή μετά από 50 χρόνια και με τη χρήση αναστολέων διάβρωσης αυτός ο χρόνος θα έφτανε τα 63 χρόνια. Στην περίπτωση ανοξείδωτων οπλισμών δεν θα χρειαζόταν επισκευή για τα 75 χρόνια της περιόδου ανάλυσης.

Πίνακας 3.4. Χρόνος έναρξης, χρόνος εμφάνισης ρωγμών και χρόνος πρώτης επισκευής.

Σύστημα	Χρόνος έναρξης της διάβρωσης (χρόνια)	Από την έναρξη της διάβρωσης έως την εμφάνιση ρωγμών (χρόνια)	Αναμενόμενος χρόνος για την πρώτη επισκευή (χρόνια)
Χάλυβας	2,2	6,8	14
Χάλυβας καλυμμένος με εποξικό επίστρωμα	20,3	24,8	50
Ανοξείδωτος χάλυβας 2205	67,6	224	297
Αναστολέας διάβρωσης	1,0÷4,1	6,8÷26,6	16÷33
Αναστολέας διάβρωσης και χάλυβας καλυμμένος με εποξικό επίστρωμα	2,5÷24,0	24,8÷45,6	50÷63

4. ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ

4.1. Εισαγωγή

Ο σκοπός των επικαλύψεων (χρώματα) είναι να παρέχουν προστασία της επιφάνειας, διακόσμηση, κάλυψη (αδιαφάνεια) και πολλές ειδικές λειτουργίες για τα αγαθά και τα εμπορεύματα. Πολλά καθημερινά προϊόντα γίνονται χρηστικά και μπορούν να πουληθούν μόνο λόγω της επιφανειακής επεξεργασίας τους. Για να επιτευχθεί αυτό, χρειάζεται το σωστό συνταγολόγιο, η σωστή παραγωγή, το κατάλληλο υλικό επικάλυψης και η κατάλληλη διεργασία επίστρωσης. Ωστόσο, η ποιότητα δεν είναι το μόνο ζητούμενο. Θα πρέπει επίσης να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Τα χρώματα και τα υλικά επικάλυψης δεν είναι τελικά προϊόντα, αλλά απλώς αρχικά ή ενδιάμεσα προϊόντα τα οποία, για τους προαναφερθέντες λόγους, απαιτούν εξειδικευμένο και συνειδητοποιημένο χρήστη αν πρόκειται να μετατραπούν στο πραγματικό τελικό προϊόν, την ίδια την επίστρωση.

Οι δύο πιο σημαντικές λειτουργίες που πρέπει να πληρούν οι επιστρώσεις είναι η προστασία και η διακόσμηση. Όμως ουσιαστική επίσης είναι η χρήση για ενημερωτικούς σκοπούς, όπως π.χ. χρωματισμός οχημάτων υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης, σήμανση οδών ή αεροδρομίων, χρωματική διαίρεση περιοχών διαφόρων λειτουργιών, κωδικοποίηση δοχείων ή σωλήνων μεταφοράς υλικών. Τέλος η επιλογή των χρωμάτων σε δωμάτια και μηχανές που βασίζεται σε γνωστές φυσιολογικές και ψυχολογικές επιδράσεις των χρωμάτων συμβάλλει επίσης με διάφορους τρόπους στη βελτίωση των συνθηκών εργασίας και στην αυξημένη ασφάλεια (Goldsmith & Streitberger, 2007) (T.E.E., 2006).

Όταν τα χρώματα ανακαλύφθηκαν για πρώτη φορά στους αρχαίους χρόνους, παράχθηκαν αναμιγνύοντας μια φυσική ρητίνη από ένα φυτό ή ένα δέντρο με φυσικές χρωστικές ύλες από τη γη ή τα φυτά. Τα συστατικά πολτοποιήθηκαν μαζί σε κάποιο φορέα. Δεν ήταν πολύ ανθεκτικά, αλλά επέτρεψαν στους ανθρώπους να δημιουργήσουν έργα τέχνης και εικονογράφηση. Η σύγχρονη παρασκευή χρωμάτων είναι πολύ πιο εξελιγμένη, αλλά εξακολουθεί να περιλαμβάνει μια διαδικασία ανάμιξης ώστε να γίνει διασπορά του πιγμέντου μέσα στο σύστημα του φορέα.

Το σύστημα του φορέα, τυπικά μία ρητίνη ή ένα υλικό σαν βερνίκι, πρώτα φορτώνεται σε ένα διασπορέα με αραιωτικά και βοηθητικά διασποράς. Προστίθενται τα πιγμέντα και τα πληρωτικά υλικά. Στη συνέχεια ο διασπορέας λειτουργεί έως ότου τα σωματίδια του πιγμέντου διασπαρθούν ομοιόμορφα και δημιουργείται μια αλεσμένη πάστα. Η πάστα συμπληρώνεται με επιπλέον ρητίνες και διαλύτες και τοποθετείται στη δεξαμενή τελικού χρώματος. Εκεί, άλλα υλικά προστίθενται στη δεξαμενή για την παρασκευή του τελικού προϊόντος.

Σε αυτό το σημείο, ένα δείγμα του υλικού φέρεται στο εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου και δοκιμές διεξάγονται για να συγκριθεί η παρτίδα με τις τυποποιημένες παραμέτρους που έχει σχεδιαστεί να ανταποκριθεί. Εκπαιδευμένοι τεχνικοί αξιολογούν τα αποτελέσματα και, στη συνέχεια, κάνουν ρυθμίσεις για το ταίριασμα χρώματος και άλλα χαρακτηριστικά όπως το ιξώδες, η ανακλαστικότητα κλπ. Εκτός από τις συνήθεις προσαρμογές που γίνονται στις παρτίδες, οι έλεγχοι ποιότητας διενεργούνται καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου παραγωγής.

Όταν το χρώμα της δεξαμενής πληροί όλες τις προδιαγραφές, ο ποιοτικός έλεγχος δίνει την έγκριση για τη συσκευασία. Το χρώμα τότε φιλτράρεται για να απομακρυνθούν τυχόν μεγάλα ή ανεπιθύμητα σωματίδια και μεταγγίζεται σε δοχεία (Goldsmith & Streitberger, 2007).

4.2. Ορισμοί

Ο όρος «χρώμα» έχει καθιερωθεί να περιλαμβάνει όλα τα προϊόντα που χρησιμοποιούνται για την προστασία και διακόσμηση οποιασδήποτε επιφάνειας με οποιονδήποτε τρόπο. Ο ορθότερος όρος «επίχρισμα» δεν χρησιμοποιείται ευρέως. Στην πραγματικότητα το **χρώμα** είναι η αίσθηση που δημιουργείται στον εγκέφαλο από μέρος της αλληλουχίας των ηλεκτρικών ώσεων που φθάνουν σε αυτόν μέσω του οπτικού νεύρου (wiki/Χρώμα, 2006).

Στο ΦΕΚ 1641B/2006 ορίζεται ότι **επίχρισμα** είναι κάθε παρασκεύασμα, συμπεριλαμβανομένων όλων των οργανικών διαλυτών ή παρασκευασμάτων που περιέχουν οργανικούς διαλύτες που είναι αναγκαίοι για την ορθή εφαρμογή του, το οποίο χρησιμοποιείται για τον σχηματισμό φιλμ με διακοσμητικό, προστατευτικό ή άλλο λειτουργικό αποτέλεσμα σε μία επιφάνεια,

Σύμφωνα με το ISO 4618:2014 το **επίχρισμα** (coating material) είναι το υλικό σε υγρή μορφή, σε πάστα ή σε μορφή σκόνης, που όταν εφαρμοσθεί σε ένα υπόστρωμα σχηματίζει ένα στρώμα που κατέχει προστατευτικές, διακοσμητικές ή / και άλλες ειδικές ιδιότητες.

Ένα σύστημα επιχρίσματος (χρώμα, coating system) αποτελείται από τα ακόλουθα συστατικά (Καμπάνης, 2007):

Την υμενογόνο ουσία ή ρητίνη (film former)

Τον διαλύτη (solvent)

Τα πιγμέντα (pigment)

Τα πληρωτικά μέσα (filler)

Τα πρόσθετα (additives)

Το ρευστό μίγμα συνδετικού μέσου και διαλύτη ονομάζεται **φορέας** (vehicle). Το ανωτέρω σύστημα χωρίς πιγμέντα αποκαλείται **βερνίκι** (varnish). Οι υμενογόνες ουσίες είναι πολυμερείς ή ολιγομερείς ενώσεις που σχηματίζουν μακρομοριακούς υμένους που έχουν σκληρυνθεί με σταυροδεσμούς (cross linking). Ονομάζονται επίσης **συνδετικά μέσα** (binder). Οι διαλύτες είναι πτητικές ουσίες που διαλύουν τις υμενογόνες ουσίες και εξατμίζονται μετά την εφαρμογή του χρώματος που στη συνέχεια σχηματίζει υμένα. Τα πιγμέντα είναι λεπτόκοκκα κονιομόρφα χρωστικά υλικά, αδιάλυτα στους διαλύτες του χρώματος. Ο ρόλος τους στο φιλμ είναι να προσφέρουν διακοσμητικότητα, καλυπτικότητα του υποστρώματος, προστασία και βελτίωση της ανθεκτικότητας. Τα πληρωτικά μέσα είναι λεπτόκοκκα κονιομόρφα μη χρωστικά υλικά, αδιάλυτα στους διαλύτες του χρώματος, που αυξάνουν τον όγκο του υμένα και σε ορισμένες περιπτώσεις βελτιώνουν ή ενισχύουν την πρόσφυση και κάποιες αντοχές. Τα πρόσθετα ανήκουν σε μια ευρεία κατηγορία συστατικών «κλειδιών» στον σχηματισμό του χρώματος. Συμμετέχουν σε μικρό ποσοστό στη σύσταση του χρώματος – η χρήση τους σπάνια ξεπερνά το 1 με 2% και το συνολικό ποσοστό όλων των προσθέτων σπάνια ξεπερνά το 5% στο τελικό προϊόν. Η επίδρασή τους όμως είναι σημαντική, γιατί συνεισφέρουν στην ευκολία παραγωγής, στη σταθερότητα του χρώματος, στην ευκολία εφαρμογής, στην ποιότητα και την εμφάνιση του τελικού φιλμ.

Τα χρώματα ανάλογα με τις εφαρμογές τους κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες (Καμπάνης, 2007):

- Οικοδομικά χρώματα, που περιλαμβάνουν τα πλαστικά και τα ακρυλικά χρώματα (υδατικά), τα αλκυδικά (οργανικού διαλύτη), τα πολυουρεθανικά και τα εποξεικά.
- Χρώματα συντήρησης
- Βιομηχανικά χρώματα
- Εξειδικευμένα χρώματα.

4.3. Ιδιότητες χρωμάτων

4.3.1. Παράγοντες επιλογής σύνθεσης χρώματος

Η σύνθεση ενός χρώματος εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

1. Την επιθυμητή φύση και λειτουργία του προϊόντος, π.χ. αστάρι (stopper, primer) ή χρώμα τελειώματος (top coat).
2. Το είδος εφαρμογής (πινέλο, ρολό, ψεκασμός, ηλεκτροεναπόθεση, πούδρα κλπ)
3. Το είδος του υποστρώματος (ξύλο, μέταλλο, ορυκτό, λεία ή ανώμαλη επιφάνεια, κλπ).
4. Τις επιθυμητές χημικές και φυσικές ιδιότητες (αντοχή στις καιρικές συνθήκες – weather resistance, αντοχή στα οξέα, τα αλκάλια και τις χημικές ουσίες - acid, alkali and chemical resistance, αντοχή στη χάραξη - scratch resistance, αντοχή στην αναγραφή συνθημάτων – antigraffiti, κλπ)
5. Τις οπτικές ιδιότητες (απόχρωση - hue, γυαλάδα - gloss, υφή – texture, κλπ).
6. Τους κανονισμούς ασφαλείας και αντιρρύπανσης του περιβάλλοντος, όπως η κοινοτική οδηγία 2004/42/EK που περιορίζει την περιεκτικότητα των πτητικών οργανικών Ενώσεων (ΠΟΕ).
7. Τη δυνατότητα χρησιμοποίησης του υπάρχοντος εξοπλισμού από το εργοστάσιο χρωμάτων ή αν υπάρχει ανάγκη νέας επένδυσης.
8. Το κόστος ή την τιμή πώλησης (Καμπάνης, 2007).

4.3.2. Χαρακτηριστικά χρωμάτων

Για την παρουσίαση των υπολογισμών που ισχύουν για όλα τα είδη χρωμάτων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη γενικευμένη και απλοποιημένη συνταγή:

Πίνακας 4.1. Συστατικά χρώματος και συμβολισμοί

Συστατικό	Συμβολισμός	Μάζα	Όγκος
Διάλυμα ρητίνης	RS	W_{RS}	V_{RS}
Ρητίνη	R	W_R	V_R
Διαλύτης ρητίνης	S1	W_{S1}	V_{S1}
Πρόσθετα σε διάλυμα	AS	W_{AS}	V_{AS}
Πρόσθετα	A	W_A	V_A
Διαλύτης προσθέτων	S2	W_{S2}	V_{S2}
Πιγμέντα	P	W_P	V_P
Πληρωτικά	F	W_F	V_F
Διαλύτης	S	W_S	V_S
Σύνολο	T	W_T	V_T

$$\text{Όπου } W_T = W_{RS} + W_{AS} + W_P + W_F + W_S \quad (4.1)$$

$$V_T = V_{RS} + V_{AS} + V_P + V_F + V_S \quad (4.2)$$

$$\text{Και πυκνότητα χρώματος } \rho = W_T / V_T \quad (4.3)$$

Από τα παραπάνω υπολογίζονται οι ακόλουθες παράμετροι:

1) Μη πτητική ουσία (NVM, Non Volatile Matter)

Σύμφωνα με το ISO 4618:2014 είναι το υπόλειμμα μάζας μετά την εξάτμιση των διαλυτών κάτω από καθορισμένες συνθήκες.

$$NVM = 100 * [(W_R + W_A + W_P + W_F) / W_T] \quad (4.4)$$

2) Απόδοση (Y, Yield) ή (SR, Spreading Rate)

Σύμφωνα με το ISO 4618:2014 είναι η επιφάνεια που μπορεί να καλύψει μια δεδομένη μάζα ή όγκος επιχρίσματος με ελάχιστο πάχος φιλμ d_{min} .

$$\text{Κατά βάρος } Y_W = NVM / (\rho_f \cdot d_{min} \cdot 100), m^2/kg \quad (4.5)$$

$$\text{Κατ' όγκο } Y_V = SR = 1 / d_{min}, m^2/L \quad (4.6)$$

$$\text{Όπου πυκνότητα του στεγνού φιλμ } \rho_f = (W_R + W_A + W_P + W_F) / (V_R + V_A + V_P + V_F) \quad (4.7)$$

Η παράμετρος αυτή σχετίζεται με την οικονομικότητα του επιχρίσματος για τον χρήστη.

3) Περιεκτικότητα πιγμέντων κατ' όγκο (PVC, Pigment Volume Concentration)

Σύμφωνα με το ISO 4618:2014 είναι ο λόγος των όγκων των πιγμέντων και των πληρωτικών προς τον όγκο του μη πτητικού μέρους του χρώματος.

$$PVC = [(V_P + V_F) / (V_R + V_P + V_F + V_A)] * 100 \quad (4.8)$$

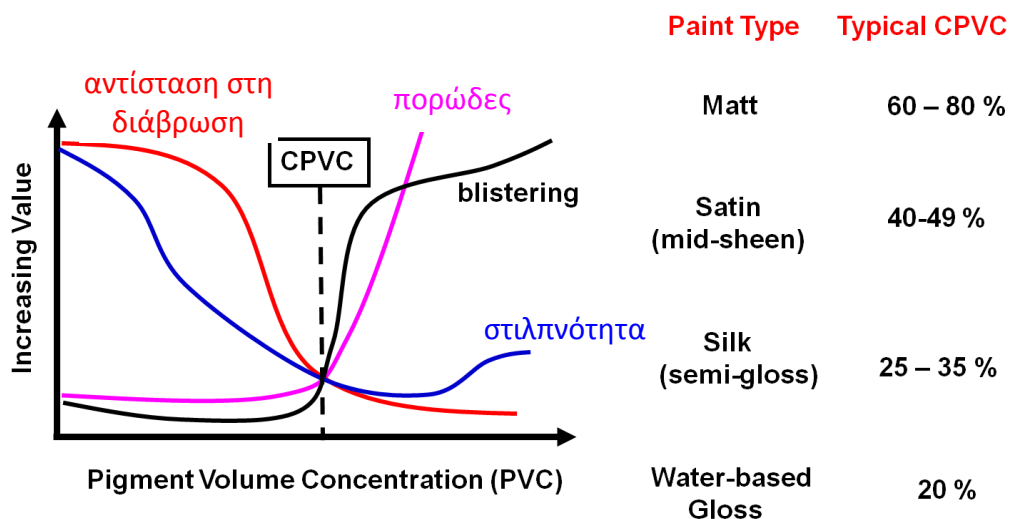
Το «100» μπαίνει στην εξίσωση γιατί ο όγκος των στερεών πάντοτε εκφράζεται ως ποσοστό. Εάν ένα χρώμα δεν έχει καθόλου πιγμέντα, τότε θα είναι πολύ γυαλιστερό και θα έχει PVC ίση με το μηδέν, όπως δηλαδή τα βερνίκια. Όσο χαμηλότερη είναι η PVC, τόσο λιγότερα πιγμέντα έχει το χρώμα και τόσο πιο γυαλιστερό είναι. Η PVC επηρεάζει καθοριστικά τις ιδιότητες του χρώματος. Για κάθε σύσταση χρώματος η PVC μπορεί να αυξηθεί μέχρι μια κρίσιμη τιμή, την CPVC, μετά την οποία παρατηρείται δραστική αλλαγή σε όλες τις ιδιότητες του χρώματος.

Όσο αυξάνεται το PVC,

- μειώνεται η γυαλάδα (Gloss)
- μειώνεται η ανθεκτικότητα (Exterior durability)
- μειώνεται η εκτριβή (Scrubbability)
- μειώνεται η πρόσφυση (Adhesion)
- αυξάνεται η καλυπτικότητα (Hiding power)
- αυξάνεται η πυκνότητα (Density)

4) Κρίσιμη Περιεκτικότητα πιγμέντων κατ' όγκο (CPVC, Critical Pigment Volume Concentration)

Όταν η PVC φθάσει την τιμή CPVC, τότε οι ενδιάμεσοι χώροι μεταξύ των εφαιπτόμενων σωματιδίων των πιγμέντων και των πληρωτικών έχουν μειωθεί στο ελάχιστο δυνατόν και είναι γεμάτοι από συνδετικό μέσο. Το υπόλοιπο μέρος του συνδετικού μέσου έχει προσροφηθεί στην επιφάνεια των σωματιδίων των πιγμέντων και των πληρωτικών.



Σχήμα 4.1. Αλλαγές στις ιδιότητες του χρώματος με την αύξηση της PVC.

<http://chem-is-you.blogspot.gr/2012/11/the-chemistry-inside-tin-of-paint.html>

Ανάλογα με την κατανομή μεγέθους των σωματιδίων (particle size distribution) ο ενδιάμεσος όγκος μεταξύ των εφαιπόμενων σωματιδίων μεταβάλλεται. Ο ενδιάμεσος χώρος είναι μεγαλύτερος στην περίπτωση σωματιδίων ενός μόνο μεγέθους από αυτόν σωματιδίων διαφόρων μεγεθών, όπου τα μικρά σωματίδια εισχωρούν μεταξύ των μεγάλων και έτσι μειώνουν τον ενδιάμεσο ελεύθερο χώρο. Επίσης ανάλογα με την προσροφητική ικανότητα (absorbancy) των πιγμέντων και των πληρωτικών υπάρχει μεγαλύτερος ή μικρότερος διαθέσιμος όγκος συνδετικού μέσου για να γεμίσει ο διαθέσιμος ελεύθερος όγκος μεταξύ εφαιπόμενων στερεών σωματιδίων.

Η CPVC εκφράζεται ως:

$$CPVC = [(V_p + V_f) / (V_p + V_f + V_{Ba} + V_{Bs})] \cdot 100 \quad (4.9)$$

Όπου V_{Ba} = όγκος προσροφηθέντος συνδετικού μέσου

V_{Bs} = ελάχιστος ενδιάμεσος χώρος γεμάτος με συνδετικό μέσο

Η CPVC εκφράζει μια οριακή κατάσταση στη σύνθεση ενός χρώματος, όπου ο όγκος των στερεών είναι τέτοιος ώστε το συνδετικό μέσο μόλις καταφέρνει να περιβρέχει τα στερεά σωματίδια και να γεμίζει τον ελάχιστο ελεύθερο χώρο, V_S , που έχει απομείνει. Αν η PVC ξεπεράσει την CPVC, τότε το V_S δεν μπορεί να γεμίσει με συνδετικό μέσο και η διαφορά $V_S - V_{Bs}$ είναι κενός χώρος, με συνέπεια τη χειροτέρευση των ιδιοτήτων του χρώματος.

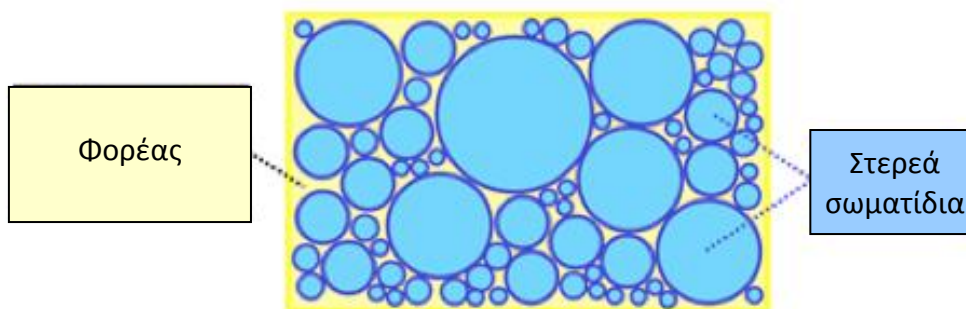
Η CPVC μπορεί να προσδιοριστεί από τη σχέση:

$$CPVC = 100 / [1 + (\rho_p / \rho_B) (OAV/100)] \quad (4.10)$$

Όπου ρ_p = πυκνότητα πιγμέντων

ρ_B = πυκνότητα συνδετικού μέσου

OAV = δείκτης απορρόφησης λιπιδίου, Oil Absorption Value



Σχήμα 4.2. Διάγραμμα του χρώματος στην CPVC.
<http://knowledge.ulprospector.com/795/pc-pigment-volume-concentration-part-ii/>

5) Λόγος Q = PVC / CPVC

Ανάλογα με την προβλεπόμενη χρήση του χρώματος θα πρέπει να ρυθμίζεται και ο λόγος PVC / CPVC. Π.χ. τα πολύ γυαλιστερά χρώματα και τα πλαστικά χρώματα πρέπει να έχουν Q < 50%, ενώ τα αντιδιαβρωτικά χρώματα πρέπει να έχουν Q: 70%±90% για να έχουν πυκνή στοίβαξη πιγμέντων και πληρωτικών.

6) Λόγος πιγμέντου / Συνδετικό μέσο (Pigment / Binder ratio)

Ορίζεται ως:

$$(P-B) \cdot W = (W_P + W_F) / (W_R + W_A)$$

$$\text{ή } (P-B) \cdot V = (V_P + V_F) / (V_R + V_A) \quad (4.11)$$

$$\text{και } (P-B) \cdot V = 1 / [(100/PVC)-1] \quad (4.12)$$

όπου το $V_P + V_F$ απλοποιείται στο V_P

και το $V_R + V_A$ απλοποιείται στο V_B .

7) Πτητικές Οργανικές Ενώσεις ΠΟΕ (Volatile Organic Compounds, VOC)

Η παράμετρος αυτή θεσπίστηκε ως γνώμονας ρύπανσης του περιβάλλοντος χώρου από τους οργανικούς διαλύτες που εκπέμπονται από τα χρώματα. Κάθε οργανική ένωση της οποίας το αρχικό σημείο βρασμού, μετρούμενο σε σταθερή πίεση 101.3 kPa (1 atm), είναι μικρότερο ή ίσο των 250°C θεωρείται ρυπογόνος, σύμφωνα με την ισχύουσα Κοινοτική Οδηγία 2004/42/EK (και ΦΕΚ 1641B/2006).

Οι VOC των διαφόρων χρωμάτων περιορίζονται σταδιακά κάτω από ορισμένες μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές (έτη 2007 και 2010). Η παραγωγή χρωμάτων οργανικού διαλύτη μειώνεται σε σχέση με τα χρώματα υδατικού διαλύτη.

Οι VOC ορίζονται ως εξής:

$$VOC = [(W_{S1} + W_{S2} + W_S) / V_T] \cdot 100, \text{ g/L} \quad (4.13)$$

8) Πάχος υγρού φιλμ (wet film build, WFB) και πάχος ξηρού φιλμ (dry film build, DFB)

Το πάχος ξηρού φιλμ περιγράφει το πάχος του χρώματος που μένει στο υπόστρωμα αφού ξηρανθεί πλήρως το χρώμα. Το πάχος του φιλμ πάντοτε μετράται σε μικρόμετρα (μm).

$$\text{Ισχύει: } DFB = (V_p \times 10) / SR \quad (4.14)$$

$$\text{Και } V_p = (DFB \cdot 100) / WFB \quad (4.15)$$

4.3.3. Σχηματισμός υμένα (film formation)

Σκοπός του χρώματος είναι η δημιουργία ενός συνεκτικού υμένα όταν απλωθεί σε μια επιφάνεια. Ο σχηματισμός υμένα (φιλμ) ολοκληρώνεται σε τρεις φάσεις: εναπόθεση (εφαρμογή, application), σταθεροποίηση (fixation) και διασκλήρυνση (curing).

Η εναπόθεση γίνεται με διάφορους τρόπους, όπως με πινέλο, ρολό, ψεκασμό, κουρτίνα, ηλεκτροαπόθεση, πούδρα κλπ. Η σταθεροποίηση δημιουργεί μια ακίνητη και αποδεκτή επιφάνεια φιλμ, που γίνεται με εξάτμιση των διαλυτών, θερμοπλαστική σύντηξη σωματιδίων ή μετατροπή του καθηλωμένου σταθεροποιημένου φιλμ μέσω χημικών αντιδράσεων.

1) Έναπόθεση

Η σύνθεση ενός χρώματος μπορεί να τροποποιείται ανάλογα με την πρακτική και τα μέσα εφαρμογής (π.χ. η εφαρμογή σε τοίχο απαιτεί χρώμα που δεν κρεμάει (non sagging), ενώ σε οριζόντια επιφάνεια χρειάζεται χρώμα με περισσότερο άπλωμα (leveling). Ανεξάρτητα από τη μέθοδο εφαρμογής, απαιτείται τελικά η επίτευξη ενός υγρού ομοιόμορφα απλωμένου φιλμ στην επιφάνεια.

2) Σταθεροποίηση

Αμέσως μετά την εφαρμογή του χρώματος, η ρευστή του κατάσταση βαθμιαία μεταβάλλεται σε τελικά μη ρευστή κατάσταση, μέσω εξάτμισης των διαλυτών και ρεολογίας. Υπάρχουν δύο μηχανισμοί εξάτμισης των διαλυτών: Η εξάτμιση από την επιφάνεια του υγρού φιλμ και η διάχυση του διαλύτη μέσα από το σώμα του φιλμ προς την επιφάνεια από όπου τελικά διαφεύγει.

Ένα χρώμα μπορεί να έχει χαρακτηριστικά ελεύθερης ροής ή να είναι οπλισμένο με μηχανισμούς αντίστασης στη ροή. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι δυο ειδών:

A) Συγκρότηση πλέγματος μεταξύ σωματιδίων που ακινητοποιεί τη ροή και χρειάζεται κάποια διατμητική τάση για να αποσυγκροτηθεί το πλέγμα και να αρχίσει η ροή. Αυτή η ελάχιστη διατμητική τάση ονομάζεται όριο διαρροής.

B) Δημιουργία ελαστικών πλεγμάτων μεταξύ σωματιδίων και κάποιων συνδεδειγμένων μέσων που αναστέλλουν τη ροή. Το φαινόμενο αυτό είναι η θιξοτροπία και παρέχεται από θιξοτροπικά μέσα.

3) Σκλήρυνση

Η σκλήρυνση προκύπτει από χημικές αντιδράσεις που καταλήγουν στη δημιουργία σταυροδεσμών (cross linking) και σε μια πολυμερική δομή απείρου μοριακού βάρους. Το σκληρωμένο φιλμ παρουσιάζει τις μεγαλύτερες δυνατές αντοχές που επιτρέπει η φύση του συνδεδειγμένου μέσου που τον αποτελεί (Καμπάνης, 2007).

4.3.4. Κριτήρια επιλογής ενός συστήματος επικάλυψης

Τα κριτήρια με τα οποία επιλέγεται ένα σύστημα επικάλυψης έχουν να κάνουν με τους παρακάτω παράγοντες:

Α) Τα χαρακτηριστικά του επιστρώματος (π.χ. αντίσταση σε τριβή, σε δόνηση, σε πρόσκρουση, ευκαμψία, απόχρωση του χρώματος και στιλπνότητα, χρόνος ξήρανσης του, αντίσταση στη μούχλα, αντίσταση στο νερό ή στα καύσιμα, διαβρεξιμότητα κ.α.)

Β) Τη φύση του υποστρώματος στο οποίο επικαλύπτεται το επίστρωμα (ξύλο, σίδηρο, παλιό επίστρωμα κλπ)

Γ) Τους περιβαλλοντικούς παράγοντες (Θερμοκρασία, υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία, βιολογικά προβλήματα, αντίσταση σε χημικά σε π.χ. οξέα, διαλύτες, άλατα, αλκάλια, κλπ)

Δ) Το κόστος κύκλου ζωής του συστήματος επικάλυψης

Ε) Το κόστος εργασίας για την προκατεργασία της επιφάνειας, την εφαρμογή και την επιδιόρθωση του επιστρώματος (Καμπάνης, 2007).

4.4. Οργανικά χρώματα

4.4.1. Εισαγωγή

Η επικάλυψη με οργανικές ουσίες (χρώματα) είναι ιστορικά η παλαιότερη μέθοδος προστασίας και διακόσμησης επιφανειών. Παλαιότερα η σύνθεση των οργανικών επικαλύψεων (συνταγολόγιο, formulation) και η μελέτη της προστατευτικής ικανότητας είχαν εμπειρικό χαρακτήρα. Τα τελευταία χρόνια είναι εμφανείς οι ερευνητικές προσπάθειες τόσο προς την κατεύθυνση της βασικής όσο και της εφαρμοσμένης έρευνας με την εισαγωγή σύγχρονων μεθοδολογιών ελέγχου και είναι συνεχείς οι βελτιώσεις του τεχνολογικού επιπέδου εφαρμογής των οργανικών επικαλύψεων, ιδίως σε βιομηχανική κλίμακα (Υφαντής, 2000).

Τα οργανικά χρώματα αποτελούνται από τα ακόλουθα συστατικά:

- Την υμενογόνο ουσία ή συνδεδετικό μέσο ή φορέα
- Τον διαλύτη
- Τα πιγμέντα
- Τα πληρωτικά μέσα
- Τα πρόσθετα

4.4.2. Συνδεδετικό Μέσο

Ο φορέας ή συνδεδετικό μέσο μετά την ξήρανσή του σχηματίζει τον υμένα (φίλμ) του χρώματος. Ο φορέας μπορεί να είναι φυσική ρητίνη ή λάδι, τροποποιημένα ή μη, συνθετική ρητίνη, ή βερνίκι που παράγεται από συνδυασμό των παραπάνω. Πλέον συνήθως ο φορέας αποτελείται από μία ή περισσότερες συνθετικές ρητίνες. Τις περισσότερες φορές οι ρητίνες είναι σε μορφή διαλυόμενη σε οργανικούς διαλύτες, αλλά και σε υδατικές διασπορές, γαλακτώματα, υδατοδιαλυτές μορφές ή άλλα. Πολλές συνθετικές ρητίνες έχουν σαν βάση είτε λάδια, είτε φυσικές ρητίνες ή και τα δύο (Τ.Ε.Ε., 2006).

Οι ρητίνες είναι πολυμερείς και ολιγομερείς ουσίες που συγκροτούν το συνδεδετικό μέσο (binder) και την υμενογόνο σύνθεση (film forming composition). Ανάλογα με την προέλευσή τους οι ρητίνες ανήκουν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Φυσικές ουσίες (κολοφώνιο, shellac, κλπ)
- Τροποποιημένες φυσικές ουσίες (κολοφωνιακές ρητίνες, λάδια)

- Συνθετικές ρητίνες (αλκυδικές, πολυουρεθανικές, εποξικές κλπ).

Οι φυσικές ουσίες δεν χρησιμοποιούνται τόσο συχνά πλέον. Το κύριο μέρος των υμενογόνων ουσιών αποτελούν οι τροποποιημένες φυσικές ουσίες και οι συνθετικές ρητίνες.

Ένα πολυμερές (polymer) αποτελείται από πολλά μονομερή που έχουν αντιδράσει μεταξύ τους και έχει μοριακό βάρος από μερικές χιλιάδες μέχρι μερικά εκατομμύρια g/mol. Ένα ολιγομερές (oligomer) συγκροτείται από δύο έως πέντε μονομερή και έχει μοριακό βάρος χαμηλότερο από 2000 g/mol. Το μονομερές (monomer) είναι μια μονομοριακή ουσία που μπορεί να αντιδράσει με ίδια ή διαφορετικά μόρια για να σχηματίσει ένα πολυμερές. Η δραστηριότητα του μονομερούς οφείλεται στην ύπαρξη δραστικών ομάδων στο μόριό του. Για να πολυμερισθεί το μονομερές πρέπει να έχει δύο ή περισσότερες δραστικές ομάδες.

Οι δραστικές ομάδες μπορεί να είναι:

- Διπλοί δεσμοί (double bonds, $\text{CH}_2=\text{C-R}$)
- Υδροξύλια (hydroxyl, R-OH)
- Καρβοξύλια (carboxyl, R-COOH)
- Ισοκυανικές ομάδες (isocyanate, R-N=C=O)
- Εποξικές ομάδες (epoxy, RCH(O)CH₂)
- Αμινομάδες (amine, R-NH₂)
- Αμιδομάδες (amide, R-NHCO-R)

Τα πολυμερή μπορεί να είναι γραμμικά, διακλαδιζόμενα, δενδρομερή ή διαδίκτυομένα με σταυροδεσμούς. Σε ένα γραμμικό πολυμερές τα μονομερή συνδέονται μεταξύ τους σε ευθεία γραμμή και αυτό συμβαίνει όταν το μονομερές έχει δύο δραστικές ομάδες. Στα διακλαδιζόμενα πολυμερή η αλυσίδα του πολυμερούς αναπτύσσεται και με παρακλάδια επειδή μερικά ή όλα τα μονομερή έχουν περισσότερες από δύο δραστικές ομάδες. Τα δενδρομερή αναπτύσσουν μικρούς κλάδους γύρω από μια γραμμική αλυσίδα. Τέλος τα πολυμερή διαδίκτυομένα με σταυροδεσμούς αναπτύσσονται στις τρεις διαστάσεις του χώρου και καταλήγουν σε μια αδιάλυτη σκληρή ύλη άπειρου μοριακού βάρους (Καμπάνης, 2007).

4.4.2.1. Τρόποι σχηματισμού υμένα

Μία ταξινόμηση των συνδετικών μέσων και κατά συνέπεια των χρωμάτων είναι με βάση τον τρόπο σχηματισμού του υμένα (δηλαδή τον τρόπο που ξηραίνεται ο φορέας). Οι βασικότερες κατηγορίες χρωμάτων μ' αυτή την ταξινόμηση είναι: (T.E.E., 2006)

I. Χρώματα οξειδωτικής ξήρανσης

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα χρώματα με αλκυδικές ρητίνες, λάδια, και μερικές άλλες ρητίνες, που κατά την ξήρανση οξειδώνονται από τον ατμοσφαιρικό αέρα και έτσι σχηματίζεται ο υμένας.

II. Χρώματα φυσικής ξήρανσης (εξάτμισης)

Με εξάτμιση του διαλύτη ξηραίνονται τα μεγαλομοριακά πολυμερή, όπως είναι οι βινυλικές ρητίνες, οι ακρυλικές, το χλωριωμένο καουτσούκ κτλ. Σ' αυτά ο πολυμερισμός έχει τελειώσει κατά την παραγωγή της ρητίνης και ο σχηματισμός του υμένα είναι μόνο φυσική διεργασία (εξάτμιση).

Χρησιμοποιήθηκαν για πολλά χρόνια, ιδιαίτερα σε βιομηχανικές χρήσεις, αλλά η υψηλή περιεκτικότητά τους σε πτητικά αναγκάζει τα συστήματα αυτά σε σταδιακή

απόσυρση. Επειδή οι ρητίνες στα συστήματα φυσικής ξήρανσης αποτελούνται από μόρια μεγάλου μήκους, απαιτείται συνήθως μεγάλη περιεκτικότητα σε διαλύτες. Τα τελευταία χρόνια προτιμώνται ρητίνες με μικρότερο μήκος αλυσίδας.

Τα περισσότερα χρώματα προστατεύουν το υπόστρωμα με τη δημιουργία φράγματος μεταξύ του υποστρώματος και του περιβάλλοντος. Ουσιαστικά, όσο πιο μεγάλο το πάχος του στρώματος, τόσο καλύτερη και η προστασία που παρέχει - με μέγιστο επιτρεπτό το αναφερόμενο πάχος στο τεχνικό φυλλάδιο του χρώματος. Τα χρώματα φυσικής ξήρανσης αποδίδουν μέτριο προς υψηλό πάχος στρώσης σε κανονικές εφαρμογές.

Τα χρώματα που ξηραίνονται με εξάτμιση συνήθως στεγνώνουν αρκετά γρήγορα. Η ξήρανση είναι δυνατή ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες (γύρω στο 0°C), σε αντίθεση με τα άλλα χρώματα. Σ' αυτά η τελική σκληρότητα επιτυγχάνεται από την πρώτη μέρα. Το πρόβλημα τους είναι ότι επαναδιαλύονται στους διαλύτες τους και επομένως δεν έχουν καλή αντοχή σε διαλύτες, πετρελαιοειδή και λάδια.

III. Χρώματα χημικής αντίδρασης

Τα πιο συνηθισμένα χρώματα αντίδρασης σε βιομηχανικές εφαρμογές είναι τα λεγόμενα χρώματα δύο (ή πολλαπλών) συστατικών. Τα χρώματα αυτά παραδίδονται για χρήση σε δύο (ή περισσότερες) συσκευασίες. Τα δύο συστατικά παραδίδονται στον καταναλωτή χωριστά, διότι από τη στιγμή της ανάμιξης αρχίζει η χημική αντίδραση, η οποία μέσα σε λίγες ώρες τελειώνει και το χρώμα πήζει. Σ' αυτά οι φορείς μπορεί να είναι εποξικές ρητίνες με τον σκληρυντή τους (αμίνες, πολυαμίδια, κτλ.), πολυουρεθάνες (σχηματίζονται από ισοκυανικές ρητίνες στο ένα συστατικό και ρητίνες περιέχουσες υδροξύλια στο άλλο), πολυεστέρες με τον καταλύτη και τον επιταχυντή και άλλα.

Στην ίδια κατηγορία χρωμάτων χημικής αντίδρασης υπάγονται και τα λεγόμενα χρώματα "φούρνου". Αυτά αποτελούνται από 2 ειδών ρητίνες: ρητίνες που περιέχουν υδροξύλια (όπως οι αλκυδικές ειδικού τύπου και οι ακρυλικές) και ρητίνες αζωτούχες (όπως οι μελαμίνης-φορμαλδεΰδης και οι ουρίας-φορμαλδεΰδης) οι οποίες αντιδρούν και πολυμερίζονται σε κάποια υψηλή σχετικά θερμοκρασία, συνήθως μεταξύ 100-150°C ή και υψηλότερες. Τα χρώματα αυτά, μετά την εξάτμιση των διαλυτών, "ψήνονται" σε φούρνο στην κατάλληλη θερμοκρασία για ορισμένο χρόνο. Δεν χρησιμοποιούνται καθόλου σε οικοδομικές χρήσεις, αλλά είναι καθαρά βιομηχανικών εφαρμογών. Οι συνηθέστερη χρήση είναι για τη βαφή οικιακών συσκευών.

IV. Χρώματα σκλήρυνσης με ακτινοβολία

Στα χρώματα **ακτινοβολίας** (radiation curing) ο υμένας ξηραίνεται με σύντομη ακτινοβολία είτε με υπεριώδεις ακτίνες (UV-curing) είτε με δέσμη ηλεκτρονίων (electron beam curing). Συνήθως με τον τρόπο αυτόν εφαρμόζονται διαφανή βερνίκια και ορισμένα μελάνια τυπογραφίας. Χρειάζονται ειδικές εγκαταστάσεις για αυτήν την εφαρμογή.

V. Χρώματα σκλήρυνσης με οξέα

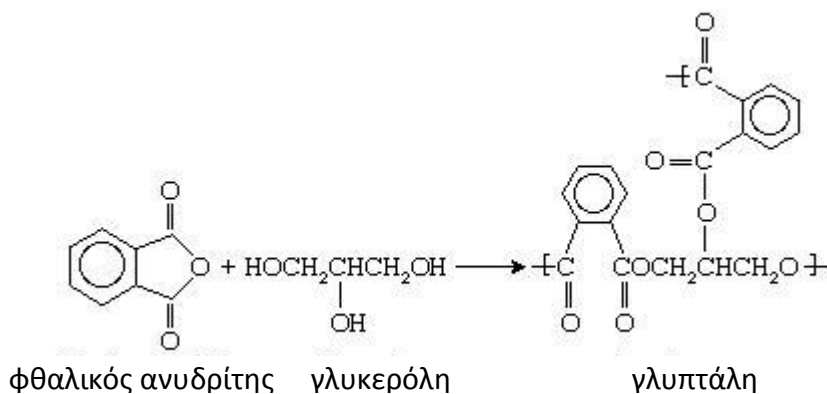
Τα χρώματα που ξηραίνονται παρουσία οξέος (acid curing), όπως τα βερνίκια ξύλου (επίπλων και πατωμάτων). Στη χώρα μας όμως δεν έχουν βρει ευρεία εφαρμογή.

4.4.2.2. Ρητίνες

Οι κυριότερες ρητίνες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή χρωμάτων είναι οι ακόλουθες:

Ι. Αλκυδικές

Η λέξη «alkyd» προέρχεται από το «alkyl» που είναι χημική συντομογραφία του «alcohol» και του «acid», δείχνει τη χημική προέλευση της ρητίνης, η οποία συνήθως βασίζεται σε μια αντίδραση πολυμερισμού μεταξύ μιας αλκοόλης, όπως γλυκερόλη, και ενός δικαρβοξυλικού οξέος ή του ανυδρίτη του, π.χ. του φθαλικού ανυδρίτη. Η γλυκερόλη και ο φθαλικός ανυδρίτης αντιδρούν για να σχηματίσουν τον πολυεστέρα glyptal. Η αντίδραση μπορεί να παρασταθεί ως εξής:



Σχήμα 4.3. Αντίδραση μεταξύ φθαλικού ανυδρίτη και γλυκερόλης προς σχηματισμό του πολυεστέρα γλυπτάλη (<http://www.britannica.com/science/alkyd-resin>).

Η κατηγορία των αλκυδικών χρωμάτων περιλαμβάνει πολλούς διαφορετικούς τύπους χρωμάτων με διαφορετικές ιδιότητες. Χρησιμοποιούνται περισσότερο για διακοσμητικούς λόγους, κυρίως σε ξύλα, μέταλλα κτλ. Τα αλκυδικά χρώματα έχουν μακρά παράδοση σε συστήματα αντιδιαβρωτικής προστασίας, και διατηρούν σε αρκετό βαθμό τη θέση τους έναντι νεότερων, πιο εξελιγμένων συστημάτων. Γι αυτό και συχνά αποκαλούνται και συμβατικά χρώματα. Αναπτύχθηκαν στη δεκαετία του 1920 και τότε τα αλκυδικής βάσεως βερνικοχρώματα ήταν μία από τις πιο σημαντικές κατηγορίες επικάλυψης της επιφάνειας. Επειδή περιλαμβάνουν πτητικούς οργανικούς διαλύτες και έχουν χαμηλή αντοχή τους σε εξωτερικές επιφάνειες, έχουν υποσκελιστεί από νεότερα συστήματα πολυμερών.

Όταν ένα ακόρεστο έλαιο όπως έλαιο tung, λινέλαιο, ή αφυδατωμένο καστορέλαιο προστίθεται στις ενώσεις σχηματισμού εστέρα, το αποτέλεσμα είναι ένας διακλαδισμένος πολυεστέρας που περιέχει πλευρικές ομάδες λιπαρών οξέων. Όταν ένας τέτοιος παράγοντας επικάλυψης εφαρμόζεται σε μία επιφάνεια, το τμήμα ελαίου του πολυεστέρα υφίσταται αντίδραση cross-linking εγκάρσια σύνδεσης με την παρουσία του οξυγόνου από τον περιβάλλοντα αέρα καθώς στεγνώνει, δίδοντας ένα μη κολλώδες στρώμα.

Αλκυδικά συστήματα με «μεγάλο μήκος» (υψηλή περιεκτικότητα ελαίου (long oil)) χρησιμοποιούνται συχνά για χρώματα εσωτερικής και εξωτερικής οικιακής χρήσης σε κατασκευές από ξύλο, ως διακοσμητικά χρώματα και ως αντιδιαβρωτικά χρώματα. Οι γνωστές «ριπολίνες» είναι το κυριότερο είδος αυτής της κατηγορίας. Με «μέσο μήκος» ελαίου (μέση περιεκτικότητα σε έλαιο - medium oil) χρησιμοποιούνται σε διακοσμητικά χρώματα καθώς και σε πατώματα και άλλες χρήσεις όπου απαιτείται υψηλή αντοχή σε φθορά. Επίσης χρησιμοποιούνται ως χρώματα τελικής στρώσης για αντιδιαβρωτική προστασία. Χρώματα με «μικρό μήκος ελαίου» (χαμηλή περιεκτικότητα σε έλαιο - short oil) χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικά χρώματα, όπως τα χρώματα φούρνου ή διάφορα αστάρια ή τελικά ταχυστέγνωτα βιομηχανικά χρώματα.

Τα αλκυδικά χρώματα είναι εύκολα στη χρήση αφού είναι προϊόντα ενός συστατικού. Παρουσιάζουν καλή διαβροχή, καλή πρόσφυση και διείσδυση στην επιφάνεια. Μια

προεργασία σύμφωνα με τα πρότυπα St 2 με St 3 είναι συνήθως επαρκής για ξηρές, εσωτερικές επιφάνειες. Εφαρμόζονται εύκολα με βούρτσα, πιστόλι ή ρολό. Έχουν υψηλή στιλπνότητα και σταθερότητα χρώματος και είναι εύκολο να γίνουν διορθώσεις λεπτομερειών κατά την εφαρμογή. Η συντήρησή τους είναι εύκολη χωρίς πολύπλοκες προεργασίες. Τέλος παρουσιάζουν αρκετά καλή εξωτερική αντοχή.

Επίσης αλκυδικές ρητίνες χρησιμοποιούνται ευρέως σε βερνίκια εξωτερικής και εσωτερικής χρήσης.

Τα αλκυδικά χρώματα δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται κάτω από την επιφάνεια του νερού - σε εμβάπτιση - καθώς δεν έχουν επαρκή αντοχή σε διαρκή επαφή με το νερό ή υγρασία. Επιπλέον δεν συνιστώνται για εφαρμογή σε αστάρια ψευδαργύρου ή γαλβανισμένη λαμαρίνα, ούτε σε τοίχους χωρίς ειδική προεργασία, λόγω σαπυνοποίησης και απώλειας πρόσφυσης. Επίσης δεν συνιστώνται σε επιφάνειες από σκυρόδεμα, διότι συμβαίνει σαπυνοποίηση των αλκυδικών εστέρων λόγω αντίδρασης με τα αλκαλικά του σκυροδέματος. Τέλος το πάχος εφαρμογής τους περιορίζεται σε 30-50 μικρά, το πολύ 80 μικρά για συγκεκριμένους τύπους.

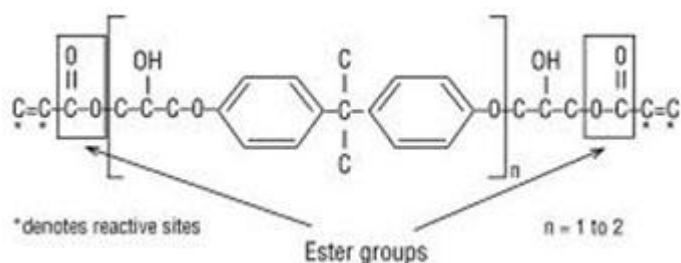
Τα αλκυδικά αντισκωριακά αστάρια περιέχουν αντιδιαβρωτικά πιγμέντα όπως φωσφορικό ψευδάργυρο τα οποία εμποδίζουν τη διάβρωση του χάλυβα.

Τα αλκυδικά χρώματα, που ξηραίνονται με οξείδωση, έχουν διάφορα στάδια ξήρανσης. Στην αρχή εξατμίζεται ο διαλύτης. Αργότερα αρχίζει η οξείδωση. Σε λίγες ώρες τελειώνει η πρώτη ξήρανση και ύστερα η οξείδωση συνεχίζεται για λίγες μέρες, κατά τις οποίες η σκληρότητα του χρώματος αυξάνει συνεχώς.

Υπάρχουν και ορισμένες αλκυδικές ρητίνες τροποποιημένες, για βελτίωση των ιδιοτήτων τους. Με αυτές παράγονται χρώματα για ειδικότερες χρήσεις. Μια συνήθης τροποποίηση αλκυδικής ρητίνης είναι με ουρεθάνη. Χρησιμοποιείται για χρώματα και βερνίκια ενός πάντοτε συστατικού, αλλά με λίγο καλύτερες αντοχές. Παραδείγματα είναι βερνίκια και χρώματα πατωμάτων και ξύλων γενικότερα.

II. Βινυλικές ρητίνες

Οι ρητίνες του βινυλικού εστέρα παράγονται από την αντίδραση («εστεροποίηση») μεταξύ μιας εποξεικής ρητίνης και ενός ακόρεστου μονοκαρβοξυλικού οξέος. Στη Χημεία, βινυλ- ή αιθενυλ- είναι η λειτουργική ομάδα $-\text{CH}=\text{CH}_2$, δηλαδή το μόριο του αιθυλενίου ($\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$) μείον ένα άτομο υδρογόνου. Το όνομα αυτό χρησιμοποιείται για οποιαδήποτε ένωση περιέχει αυτήν την ομάδα, δηλαδή $\text{R}-\text{CH}=\text{CH}_2$, όπου το R είναι οποιαδήποτε άλλη ομάδα ατόμων.



Σχήμα 4.4. Ιδεατή χημική δομή ενός τυπικού βινυλικού εστέρα
(<http://www.pultrac.com.au/pultrac-pultrusion-resin.html>)

Τα βινυλικά χρώματα χρησιμοποιήθηκαν ευρέως ως βιομηχανικά χρώματα για χημικές μονάδες, διυλιστήρια, δεξαμενές και γέφυρες. Έχουν παρόμοιες ιδιότητες με τα χρώματα χλωριωμένου καουτσούκ. Αυτές είναι ισχυρό σφράγισμα, χημική αντοχή, καλή εξωτερική αντοχή, και αντοχή σε τριβή και πρόσκρουση.

Τα βινυλικά παρέχουν καλή μόνωση από την υγρασία και το οξυγόνο, καθώς και αντοχή στο νερό, τα αλκάλια και τα οξέα. Όταν είναι ενός συστατικού, εφαρμόζονται εύκολα με πιστόλι airless, ρολό και βούρτσα. Τα χρώματα φυσικής ξήρανσης μπορούν να επαναδιαλυτοποιηθούν, συνεπώς έχουν άριστη συμπεριφορά σε επαναβαφή, ακόμη και μετά από πολλά χρόνια έκθεσης. Επίσης ξηραίνονται γρήγορα, ακόμη και σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Λόγω του μεγάλου μοριακού βάρους των ρητινών τους, τα βινυλικά χρώματα απαιτούν μεγάλες ποσότητες ισχυρών διαλυτών για να διατηρούν το χρώμα στην υγρή φάση κατά την εφαρμογή. Εξάλλου, λόγω της περιορισμένης τους διαβροχής, απαιτούν προεργασία της επιφάνειας με αμμοβολή κατά το πρότυπο Sa 2 1/2. Εναλλακτικά, εφαρμόζονται επάνω σε προσωρινό αστάρι (shopprimer) όταν αυτό είναι άθικτο. Τα βινυλικά επίσης έχουν ένα περιορισμό στο πάχος του εφαρμοζόμενου υμένα, καθώς υπερβολικό πάχος μπορεί να εγκλωβίσει αέρα μέσα στο φιλμ του χρώματος. Γενικά τα βινυλικά χρώματα δεν αντέχουν σε μακροχρόνια έκθεση σε θερμοκρασίες υψηλότερες από 75 - 80 °C, αφού προκαλείται αποσύνθεση του χρώματος, με κιτρίνισμα και αποσάθρωση της επιφάνειας.

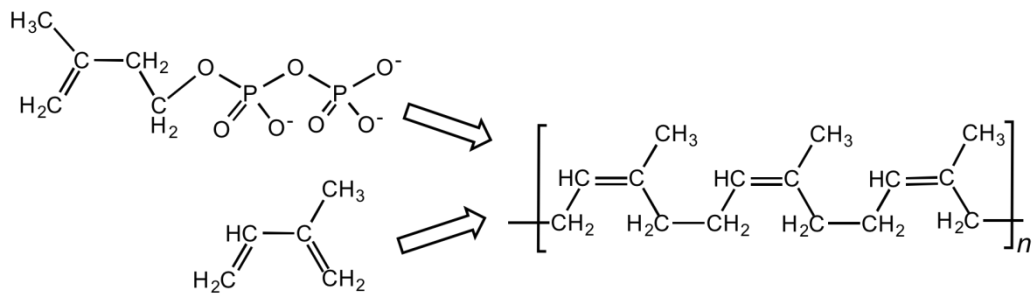
Τα χρώματα βινυλικού εστέρα έχουν καλή αντοχή σε διαλύτες και χημικά και εφαρμόζονται ιδιαίτερα για την προστασία εσωτερικού δεξαμενών. Είναι αποτελεσματικά σε προστασία από μια σειρά από χημικά, συμπεριλαμβανομένης της αμόλυβδης βενζίνης. Γενικά έχουν καλύτερες χημικές αντοχές από τα πολυεστερικά χρώματα. Έχουν καλύτερη αντοχή σε διαλύτες, πολύ καλύτερη αντοχή σε αλκαλικό περιβάλλον και ελαφρώς καλύτερη αντοχή σε οξέα. Η αντοχή τους σε θερμοκρασία είναι επίσης μεγαλύτερη.

Οι βινυλικοί εστέρες δύο συστατικών εφαρμόζονται σε κανονική θερμοκρασία, αλλά έχουν σχετικά μικρό χρόνο ζωής δοχείου και πρέπει να εφαρμόζονται από ειδικά airless πιστόλια. Προσφέρουν πολύ καλή πρόσφυση σε αμμοβολισμένο χάλυβα ή σκυρόδεμα. Τόσο οι επιφάνειες από χάλυβα, όσο και αυτές από σκυρόδεμα πρέπει να υφίστανται αμμοβολή με ψήγματα. Για χάλυβα, το ελάχιστο είναι Sa 2½. Σε επιφάνειες σκυροδέματος, πρέπει να εφαρμόζεται ένα σφραγιστικό βινυλικού εστέρα προκειμένου να εξασφαλίζεται η καλή πρόσφυση για το κυρίως χρώμα. Οι βινυλικοί εστέρες δεν πρέπει να εφαρμόζονται σε παλαιό χρώμα ή σε γαλβανισμένη λαμαρίνα.

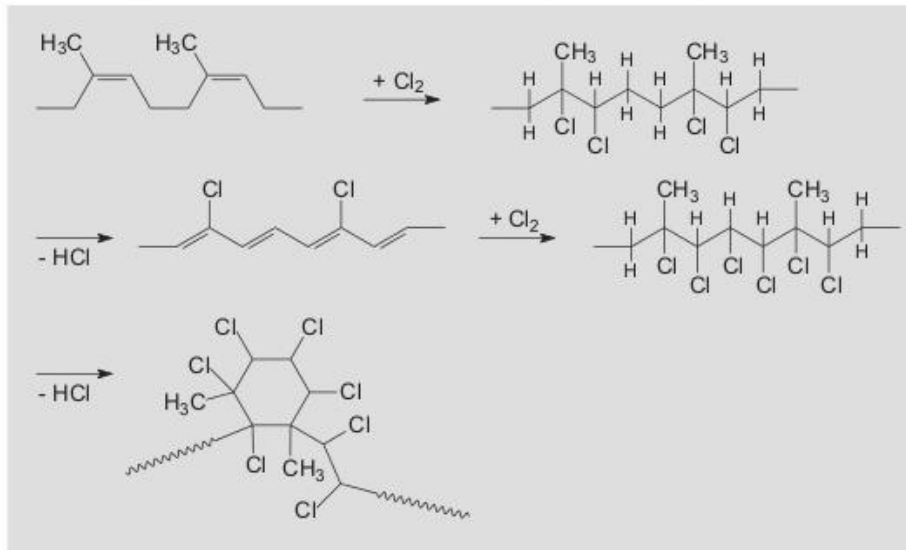
III. Ρητίνες χλωριωμένου καουτσούκ

Το καουτσούκ είναι ακόρεστος υδρογονάνθρακας με μοριακό βάρος πάνω από 100.000. Είναι πολυμερές του ισοπρενίου (2-μεθυλο-1,3-βουταδιένιο, $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{CH}=\text{CH}_2$). Το καουτσούκ χλωριώνεται υπό την επίδραση υπεριώδους ακτινοβολίας. Εξαιτίας της μεγάλης του πολικότητας, είναι διαλυτό μόνο σε πολικούς διαλύτες.

Τα χρώματα χλωριωμένου καουτσούκ χρησιμοποιούνται ευρέως ως βιομηχανικά χρώματα για χημικές μονάδες, διυλιστήρια, δεξαμενές και γέφυρες. Έχουν παρόμοιες ιδιότητες με τα βινυλικά, όπως ισχυρή σφράγιση, χημικές αντοχές, εξωτερική αντοχή και καλή αντοχή στην τριβή και την πρόσκρουση.



Σχήμα 4.5.α. Χημική δομή του cis-πολυισοπρενίου, κύριου συστατικού του καουτσούκ (https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_rubber).



Σχήμα 4.5.β. Χλωρίωση καουτσούκ (Goldsmith & Streitberger, 2007).

Όπως όλα τα χρώματα φυσικής ξήρανσης, είναι δυνατό να επαναδιαλυτοποιηθούν. Αυτό έχει ως πλεονέκτημα την ευελιξία στην επαναβαφή, με μειονέκτημα την έλλειψη αντοχής στους περισσότερους διαλύτες. Το φιλμ μπορεί να καταστραφεί με την επαφή του με κάποιο διαλύτη, ενώ μπορεί να παγιδευτεί διαλύτης μέσα στη στρώση του χρώματος. Αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα κατά την επαναβαφή ενός συστήματος χλωριωμένου καουτσούκ σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Τα συστήματα αυτά έχουν πολύ καλή αντοχή στο νερό, είναι αρκετά ανθεκτικά στα οξέα, τα αλκάλια και τα περισσότερα διαβρωτικά χημικά, ενώ η αντοχή τους σε φυτικά και ζωικά έλαια είναι περιορισμένη. Χρησιμοποιούνται με επιτυχία για πισίνες. Το πλεονέκτημα τους έναντι των εποξικών/ πολυουρεθανικών συστημάτων είναι ότι συντηρούνται (επαναβάφονται) πολύ ευκολότερα.

Τα χρώματα χλωριωμένου καουτσούκ απαιτούν μεγάλες ποσότητες ισχυρών διαλυτών για να διατηρούν το χρώμα στην υγρή φάση κατά την εφαρμογή λόγω του μεγάλου μοριακού βάρους των ρητινών τους. Λόγω της περιορισμένης τους διαβροχής, απαιτούν προεργασία της επιφάνειας με αμμοβολή κατά το πρότυπο Sa 2 1/2. Μπορούν όμως να εφαρμοσθούν πάνω σε προσωρινό αστάρι (shopprimer) όταν αυτό είναι σε άριστη κατάσταση.

Τέλος χρώματα χλωριωμένου καουτσούκ δεν αντέχουν σε μακροχρόνια έκθεση σε θερμοκρασίες υψηλότερες από 70 °C, αφού προκαλείται χημική αποσύνθεση του χρώματος, με δημιουργία υδροχλωρικού οξέος ως κύριο παραπροϊόν της αντίδρασης.

Χρώματα με ρητίνες από χλωριωμένο καουτσούκ χρησιμοποιούνται για την προστασία του σκυροδέματος επειδή το χλωριωμένο καουτσούκ δεν σαπωνοποιείται στην υψηλή αλκαλικότητα του σκυροδέματος. Οι μηχανικές αντοχές των χρωμάτων με ρητίνες από χλωριωμένο καουτσούκ υπολείπονται αυτών των χρωμάτων με εποξικές και πολυουρεθανικές ρητίνες, αλλά η εφαρμογή τους είναι πιο εύκολη.

IV. Ακρυλικές ρητίνες

Οι ακρυλικές ρητίνες είναι μια ομάδα θερμοπλαστικών ή θερμοσκληρυνόμενων πλαστικών ουσιών που προέρχονται από το ακρυλικό οξύ (προπ-2-ενικό οξύ, $\text{CH}_2=\text{CHCO}_2\text{H}$, είναι το απλούστερο ακόρεστο καρβοξυλικό οξύ αποτελούμενο από μια βινυλική ομάδα που συνδέεται απευθείας με την ομάδα του καρβοξυλίου) ή το μεθακρυλικό οξύ.

Οι ακρυλικές ρητίνες χαρακτηρίζονται από το λευκό τους χρώμα, την αντοχή τους στην αλλαγή απόχρωσης με τον χρόνο και την άριστη διαφάνειά τους. Χρησιμοποιούνται ευρέως ως επανοχρώματα (τελικά χρώματα) σε βινυλικά και χρώματα χλωριωμένου καουτσούκ και εφαρμόζονται σε πάχος περίπου 50 μm . Ορισμένα ακρυλικά χρώματα της κατηγορίας αυτής είναι κατάλληλα για τη βαφή πάνω σε πλαστικές ύλες.

Τα ακρυλικά χρώματα είναι πολύ κατάλληλα για εφαρμογή σε πέτρες, τσιμέντο, σκυρόδεμα και άλλες επιφάνειες τοίχων. Είναι πολύ ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες και στο νερό της βροχής, επίσης αντέχουν πολύ στην αλκαλικότητα του τσιμέντου και έτσι δεν καταστρέφονται. Τα ακρυλικά τσιμεντοχρώματα στους τοίχους έχουν το πλεονέκτημα ότι ενώ δεν επιτρέπουν στο νερό της βροχής να περάσει δια μέσου του υμένα στον τοίχο, είναι διαπερατά από τους υδρατμούς και έτσι επιτρέπουν στον τοίχο να «αναπνέει».

V. Εποξικές ρητίνες

Τα εποξικά χρώματα έχουν καλή πρόσφυση στην επιφάνεια, καλή αντοχή στο νερό, χημικές αντοχές και αντοχή σε αλκάλια. Παρουσιάζουν εξαιρετική αντοχή σε μηχανική καταπόνηση και μεγάλη διάρκεια ζωής. Ορισμένα συστήματα είναι εγκεκριμένα για επαφή με τρόφιμα και πόσιμο νερό. Τέλος υπάρχει δυνατότητα για υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά και χαμηλή σε πτητικά.

Επειδή είναι συστήματα δύο συστατικών απαιτούν καλή ανάμιξη και εξειδικευμένη γνώση για σωστή εφαρμογή, ενώ υπάρχει δυσκολία στην επαναβαφή μετά την αντίδραση. Παρουσιάζουν χαμηλή αντοχή σε υπεριώδη ακτινοβολία (εμφανίζουν κιμωλίαση στο φως του ήλιου). Η εφαρμογή τους εξαρτάται από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (τα κανονικά συστήματα απαιτούν θερμοκρασίες άνω των 10°C , ενώ τα συστήματα για χειμερινές συνθήκες μέχρι -5°C). Έχουν μέτρια αντοχή στα οξέα και μπορεί να προκαλέσουν αλλεργίες.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι εποξικών χρωμάτων με διαφορετικές χρήσεις.

Τα **καθαρά εποξικά** χρησιμοποιούνται σε χημικές δεξαμενές, δεξαμενές πόσιμο νερού και συστήματα γενικής βιομηχανικής χρήσης. Απαιτούν αμμοβολή με ελάχιστο St 2½. Επίσης χρησιμοποιούνται συχνά ως αστάρια σε συστήματα με τελικά χρώματα πολυουρεθάνης.

Τα **εποξυ-φαινολικά** χρησιμοποιούνται σε χημικές δεξαμενές, με καλύτερες ιδιότητες από τα καθαρά εποξικά. Έχουν μεγαλύτερη αντοχή σε ορισμένα χημικά καθώς και στη θερμοκρασία έναντι των καθαρών εποξικών. Απαιτούν αμμοβολή με ελάχιστο St 2 1/2.

Τα **εποξικά λιθανθρακόπισσας** χρησιμοποιούνται σε δεξαμενές (εσωτερικά καθώς και εξωτερικά για υπόγειες δεξαμενές). Επίσης πολύ κατάλληλο χρώμα για τη βαφή τοιχείου που θα καλυφθεί με χώμα (τοιχεία υπογείων, πρανών κτλ.).

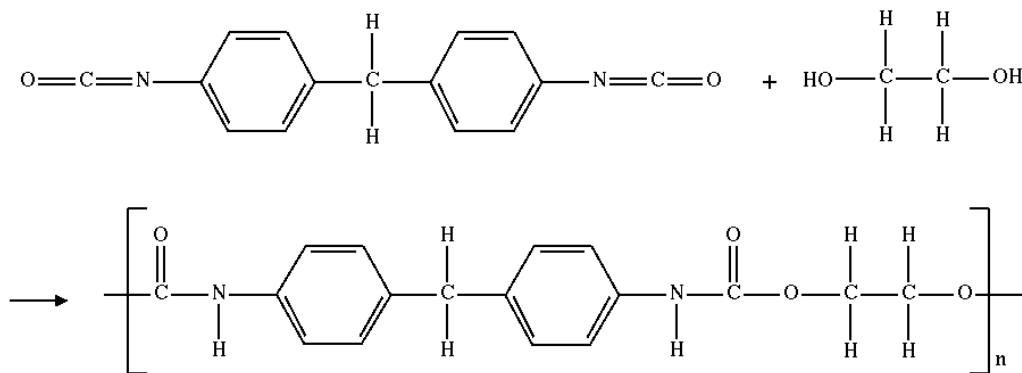
Οι **εποξικές μαστίχες** βρίσκουν πολλές εφαρμογές σε βιομηχανία και κατασκευές. Είναι κατάλληλα για χρήση πάνω και κάτω από την επιφάνεια του νερού. Σε έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία είναι απαραίτητη η χρήση επανοχρώματος. Έχουν καλή διείδυση και πρόσφυση στις περισσότερες επιφάνειες.

Τα **εποξικά χωρίς διαλύτες** (ελεύθερα διαλυτών) χρησιμοποιούνται σε δεξαμενές πόσιμο νερού και όπου οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί είναι καθοριστικοί.

Τα **υδατικά εποξικά** με διαλύτη το νερό έχουν χαμηλή οσμή, δεν είναι εύφλεκτα και μπορούν να εφαρμοστούν σε υγρές επιφάνειες, εφόσον η θερμοκρασία και η υγρασία του περιβάλλοντος είναι μέσα στα όρια εφαρμογής του χρώματος. Επίσης έχουν άριστη πρόσφυση στα περισσότερα υποστρώματα. Εφόσον γίνεται καλός έλεγχος στις συνθήκες εφαρμογής, η οποία είναι πιο απαιτητική από ότι στα συμβατικά εποξικά, οι ιδιότητες του τελικού χρώματος είναι σχεδόν εφάμιλλες, με την εξαίρεση των ελαφρά μειωμένων χημικών αντοχών για τα υδατοδιαλυτά. Εξάλλου, τα υδατοδιαλυτά εποξικά αραιώνονται μέχρι και ενός ποσοστού προκειμένου να μην αποσταθεροποιηθεί η βάση του χρώματος - συνήθως ένα 20% είναι εφικτό χωρίς προβλήματα. Υδατοδιαλυτό εποξικό αστάρι εμφανίζει καλές αντιδιαβρωτικές ιδιότητες με καλή αντοχή στο νερό, δυνατότητα γρήγορης επαναβαφής, αντιδρά και στους 5°C, και εμφανίζει καλή πρόσφυση και στο αλουμίνιο.

VI. Πολυουρεθανικές ρητίνες

Οι πολυουρεθάνες παράγονται από την αντίδραση ενός ισοκυανιδίου που περιέχει δύο ή περισσότερες ισοκυανικές ομάδες ανά μόριο ($(R-(N=C=O))_n, n \geq 2$) με μια πολυόλη που περιέχει κατά μέσο όρο δύο ή περισσότερες ομάδες υδροξυλίου ανά μόριο ($(R'-(OH))_{n \geq 2}$) παρουσία ενός καταλύτη ή με ενεργοποίηση με υπεριώδες φως (Stoye and Freitag, 1998).



Σχήμα 4.6. Σχηματισμός πολυουρεθάνης: Αντίδραση ισοκυανιδίου με διαιθυλενογλυκόλη.

Τα χρώματα **πολυουρεθάνης ενός συστατικού** (καθαρή πολυουρεθάνη σε αντίθεση με τα τροποποιημένα αλκυδικά) ξηραίνονται με την υγρασία της ατμόσφαιρας. Έχουν πολύ μεγάλη αντοχή, γυαλάδα και σκληρότητα, ενώ μειονεκτούν εξαιτίας του υψηλού κόστους, των ισχυρών οργανικών διαλυτών και του κινδύνου πολυμερισμού μέσα στο κουτί πριν τη χρήση.

Τα χρώματα **πολυουρεθάνης δύο συστατικών** έχουν εξαιρετική αντοχή στις καιρικές συνθήκες διατηρώντας τη στιλπνότητα και το χρώμα τους. Επιπλέον, είναι ανθεκτικά στο νερό, σε χημικά και διαλύτες και παρουσιάζουν μεγάλη σκληρότητα. Ως χημικά αντιδρώντα

χρώματα, ο χρόνος αντίδρασής τους εξαρτάται από τη θερμοκρασία, η οποία συνήθως οφείλει να είναι πάνω από 0° C. Μειονεκτήματα τους είναι το σχετικά υψηλό κόστος και οι ισχυροί οργανικοί διαλύτες. Όμως τελευταία έχουν αναπτυχθεί χρώματα και βερνίκια πολυουρεθάνης 2 συστατικών με νερό αντί διαλύτη, σε καλές σχετικά ποιότητες. Τα πολυουρεθάνια έχουν πλήθος εφαρμογών, για υψηλές επιδόσεις σε μέταλλο, σκυρόδεμα, ξύλο και πλαστικό και χρησιμοποιούνται κυρίως ως επανοχρώματα σε εποξικά συστήματα βαφής.

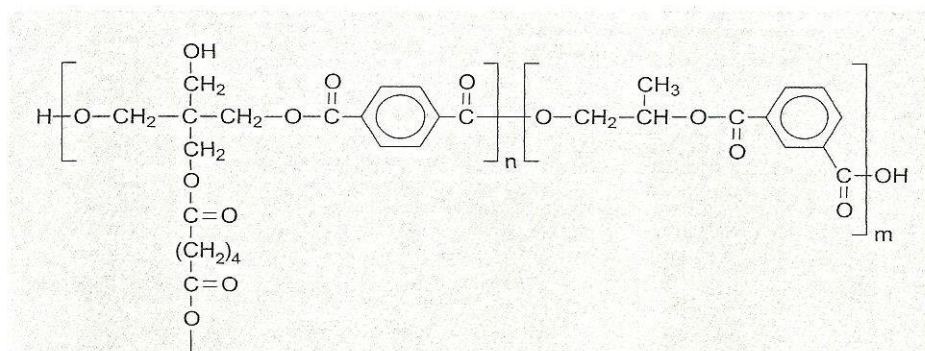
Αν στις πολυουρεθάνες χρησιμοποιηθεί αρωματική ισοκυανική ρητίνη, είναι και επιβλαβής για τους ανθρώπους και το περιβάλλον (στην αρχική της μορφή ως μονομερές ή ολιγομερές), και οι αντοχές του επιχρίσματος στις καιρικές συνθήκες και κυρίως τον ήλιο δεν είναι καλές. Αντιθέτως οι αλειφατικές ισοκυανικές ρητίνες δίνουν μεγάλες αντοχές και είναι πιο φιλικές προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Έχουν όμως σημαντικά μεγαλύτερο κόστος (πολλαπλάσιο) και το στέγνωμα τους είναι δυσκολότερο και απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή από τους παραγωγούς των επιχρισμάτων.

VII. Πολυεστερικές ρητίνες

Οι πολυεστέρες (polyesters), είναι πολυμερή που περιέχουν την ομάδα των εστέρων στην κύρια αλυσίδα τους (-COO-C- ή -COOR).

Τα πολυεστερικά χρώματα είναι γρήγορης αντίδρασης, μεγάλου πάχους, τα οποία ενισχύονται με νιφάδες γυαλιού. Προσδίδουν μακροχρόνια προστασία σε μεταλλικές κατασκευές και ειδικότερα σε αντικείμενα που υφίστανται μακροχρόνια υψηλές μηχανικές καταπονήσεις. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κατασκευές σκυροδέματος. Είναι γνωστά για την αντοχή τους σε διαλύτες, χημικά, νερό και διάβρωση.

Συνήθως είναι συστήματα δύο συστατικών, και εφαρμόζονται σε κανονικές θερμοκρασίες. Έχουν σχετικά μικρό χρόνο ζωής δοχείου και πρέπει να εφαρμόζονται από ειδικά airless πιστόλια. Συνήθως αντιδρούν εντός δύο ωρών από την εφαρμογή και μπορούν να εφαρμοστούν σε πάχη 600-1500 μικρών ανά στρώση. Παρουσιάζουν άριστη αντοχή στο νερό και την υγρασία, και προτιμώνται για εφαρμογές όπου υπάρχει έκθεση σε γλυκό ή θαλασσινό νερό. Επίσης έχουν καλή χημική αντοχή σε αργό πετρέλαιο, λιπαντικά λάδια, διαλύματα αλάτων, καθώς και σε πολλά οξέα και διαλύτες. Εντούτοις, έχουν περιορισμένη αντοχή σε αλκαλικό περιβάλλον.



Σχήμα 4.7. Παράδειγμα τυπικής δομής κορεσμένης πολυεστερικής ρητίνης (Goldsmith & Streitberger, 2007).

Λόγω του υψηλού πάχους εφαρμογής των συστημάτων αυτών, είναι βασική η σωστή προεργασία της επιφάνειας. Τόσο οι επιφάνειες από χάλυβα, όσο και αυτές από σκυρόδεμα πρέπει να υφίστανται αμμοβολή με ψήγματα. Για χάλυβα, το ελάχιστο είναι Sa

2½. Σε επιφάνειες σκυροδέματος, πρέπει να εφαρμόζεται ένα σφραγιστικό βινυλικού εστέρα προκειμένου να εξασφαλίζεται η καλή πρόσφυση για το πολυεστερικό χρώμα.

VIII. Αστάρια Ψευδαργύρου

Η χρήση ασταριών ψευδαργύρου είναι διαδεδομένη στην καθοδική προστασία. Η σωστή λειτουργία του συστήματος καθοδικής προστασίας απαιτεί το αστάρι να περιέχει ικανή ποσότητα μεταλλικού ψευδαργύρου, που εξασφαλίζει την κατάλληλη επαφή μεταξύ των σωματιδίων του ψευδαργύρου (ηλεκτρική συνέχεια) μέσα στο φιλμ της επικάλυψης και τη στενή επαφή μεταξύ του ψευδαργύρου και του υποστρώματος χάλυβα. Η κατηγοριοποίηση των ασταριών αυτών σε οργανικά και ανόργανα γίνεται με βάση τον φορέα. Οι ανόργανοι φορείς έχουν πολύ καλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα από τους οργανικούς, γι αυτό και οι απαιτήσεις σε περιεκτικότητα σε σκόνη ψευδαργύρου είναι χαμηλότερες. Τα περισσότερα ανόργανα αστάρια ψευδαργύρου για μακροπρόθεσμη αντιδιαβρωτική προστασία με μια στρώση έχουν περιεκτικότητα σε σκόνη ψευδαργύρου άνω του 75% κατά βάρος επί του στερεού υμένα για υδατοδιαλυτά και 82% για αστάρια διαλύτου.

A. Αστάρια Οργανικού Ψευδαργύρου

Τα οργανικά αστάρια ψευδαργύρου (θερμοσκληρυνόμενα) είναι τα πλέον κοινά. Το εποξικό αστάρι ψευδαργύρου έχει την καλύτερη απόδοση από όλους τους υπόλοιπους τύπους οργανικών ασταριών ψευδαργύρου. Προσφέρουν καλές ιδιότητες σε εφαρμογή με πιστόλι airless άρα εφαρμόζονται εύκολα, επαναβάφονται γρήγορα και εμφανίζουν άριστη συμβατότητα με τα περισσότερα συστήματα, εκτός από τα αλκυδικά, λόγω σαπωνοποίησης. Είναι πολύ καλά αστάρια για συστήματα πολλών στρώσεων, τόσο για νέες κατασκευές, όσο και για εφαρμογές συντήρησης.

B. Αστάρια Ανόργανου Ψευδαργύρου

Η εφαρμογή αυτών των ασταριών εξαρτάται από το περιβάλλον έκθεσης και τον τύπο της κατασκευής. Συνήθως εφαρμόζεται μια στρώση 75 - 125 μm (πάχος ξηρού υμένα). Είναι ανθεκτικά σε διάφορα χημικά, ιδιαίτερα διαλύτες, αλλά δεν χρησιμοποιούνται σε αλκαλικό ή όξινο περιβάλλον. Η αντοχή τους σε θερμοκρασία είναι περίπου 400° C. Γενικά δεν χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτείται μόνιμη εμβάπτιση σε νερό. Τα αστάρια ανόργανου ψευδαργύρου στεγνώνουν σε χρονικό διάστημα λίγων λεπτών, ενώ τα τυπικά συστήματα οργανικών χρωμάτων χημικής αντίδρασης χρειάζονται μερικές ώρες. Εντούτοις, η πλήρης αντίδραση απαιτεί μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, ανάλογα με την υγρασία. Ενώ τα αστάρια αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και αυτούσια, πολλές φορές εφαρμόζεται ένα οργανικό επανόχρωμα για βελτίωση της χημικής αντοχής, της γενικής αντοχής στη διάβρωση και της εμφάνισης. Οι περισσότεροι τύποι χρωμάτων, εκτός από τα περισσότερα αλκυδικά, έχουν χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με ανόργανα αστάρια ψευδαργύρου. Ως επανοχρώματα για βιομηχανική χρήση χρησιμοποιούνται πολυουρεθανικά συστήματα δύο συστατικών, λόγω της σταθερότητας απόχρωσης και στυλνότητας, χημικής αντοχής, αντοχής στην τριβή και της ευελιξίας τους.

IX. Υδατικές Διασπορές

Τα πιο γνωστά χρώματα υδατικής διασποράς είναι τα λεγόμενα “πλαστικά” χρώματα. Στα χρώματα υδατικής διασποράς ο φορέας είναι διεσπαρμένος μέσα σε μια υδατική φάση

υπό μορφή γαλακτώματος. Κατά την ξήρανση, όσο εξατμίζεται το νερό, τα σωματίδια πλησιάζουν μεταξύ τους ώσπου κάποια στιγμή συντήκονται σχηματίζοντας τον υμένα.

Το βασικό πολυμερές αυτής της κατηγορίας είναι το PVA (polyvinyl acetate), δηλαδή πολυμερισμένος οξικός εστέρας της βινυλικής αλκοόλης (vinyl acetate [monomer] – VAM).

Σήμερα τα ομοπολυμερή PVA δεν χρησιμοποιούνται σχεδόν καθόλου στα χρώματα, αλλά σχεδόν αποκλειστικά στις κόλλες. Στα χρώματα χρησιμοποιούνται συμπολυμερή PVA με versatic (Veo-Va), συμπολυμερή PVA με ακρυλικά, καθαρά ακρυλικά πολυμερή, συμπολυμερή στυρενίου- ακρυλικών καθώς και άλλα συμπολυμερή. Οι παραπάνω φορείς προσφέρουν στα χρώματα καλύτερες αντοχές στις εξωτερικές συνθήκες, στο νερό, στο πλύσιμο, στην τριβή, στον ήλιο κτλ.

Τα ομοπολυμερή χρησιμοποιούνται, εκτός από τις κόλλες, σε αστάρια τοίχων, φθηνά υδροχρώματα και άλλα σχετικά.

Τα συστήματα όπου διαλύτης είναι το νερό παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά: απουσία οσμής και κινδύνου για την υγεία, χωρίς κίνδυνο ανάφλεξης ή εκρήξεων, ελάχιστη εκπομπή οργανικών διαλυτών στην ατμόσφαιρα που καθιστά τα προϊόντα αυτά φιλικά προς το περιβάλλον, με μικρότερο κίνδυνο για το χρήστη. Τα μειονεκτήματα των υδατικών διασπορών είναι η αργή εξάτμιση και υψηλή σχετική υγρασία. Σε ορισμένες περιπτώσεις παρουσιάζουν μειωμένη αντοχή στο νερό, και βεβαίως το χρώμα παγώνει κάτω από τους 0°C.

A. Συμπολυμερή οξικού πολυβινυλεστέρα (Polyvinyl acetate, PVA)

Χρησιμοποιούνται κυρίως για οικοδομικά χρώματα τοίχων εσωτερικής χρήσης. Τα πιο συνηθισμένα συμπολυμερή PVA που χρησιμοποιούνται στα οικοδομικά χρώματα είναι:

- Συμπολυμερή PVA/ Veo-Va
- Συμπολυμερή PVA/ Ακρυλικά

B. Ακρυλικά

Χρησιμοποιούνται κυρίως για εξωτερικές εφαρμογές σε τοίχους οικοδομών. Διακρίνονται δύο είδη ακρυλικών χρωμάτων σ' αυτή την κατηγορία, τα καθαρά ακρυλικά και τα συμπολυμερή ακρυλικά στυρενίου.

Τα **καθαρά ακρυλικά γαλακτώματα** έχουν και αρκετές άλλες χρήσεις εκτός από χρώματα για τοίχους. Μάλιστα οι χρήσεις τους διευρύνονται όλο και περισσότερο επειδή είναι αρκετά φιλικά προς το περιβάλλον. Τα χρώματα αυτά διατίθενται σε γυαλιστερά και ημίστιλνα, και εφαρμόζονται σε ποικιλία από υποστρώματα, συμπεριλαμβανομένου του χάλυβα, γαλβανισμένων μετάλλων, αλουμινίου, σκυροδέματος, ξύλου. Ένα υδατικό ακρυλικό αστάρι στεγνώνει γρήγορα, επαναβάφεται σε μικρό χρονικό διάστημα και προσφέρει καλή πρόσφυση σε αμμοβολισμένο χάλυβα, γαλβανισμένη λαμαρίνα ή αλουμίνιο.

Ένα ακρυλικό επανόχρωμα εμφανίζει καλή διατήρηση στιλπνότητας, αντοχή στις καιρικές συνθήκες και στην υπεριώδη ακτινοβολία, χωρίς να κιτρινίζει. Στεγνώνει γρήγορα και εφαρμόζεται μέχρι και τους 5° C. Μπορεί να εφαρμοστεί και πάνω σε πολλά χρώματα διαλύτη, σχηματίζοντας υβριδικά συστήματα. Τα ημίστιλνα επανοχρώματα εφαρμόζονται σε πάχος έως και 80 μικρά, και εμφανίζουν εξίσου καλές ιδιότητες με τα γυαλιστερά, ενώ έχουν και καλύτερη αντοχή στο νερό.

Επιπλέον, τα ακρυλικά έχουν καλή αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία, στεγνώνουν γρήγορα, και δεν κιτρινίζουν, ούτε σαπωνοποιούνται.

4.4.3. Διαλύτες

Σύμφωνα με το DIN 55945 διαλύτης (solvent / diluent) είναι υγρό ή μίγμα υγρών που χρησιμοποιείται για να διαλύσει το συνδετικό μέσο χωρίς να χρειαστεί κάποια χημική αντίδραση. Διαλύτες θεωρούνται τα αραιωτικά (thinners), οι συνδιαλύτες (cosolvents) και οι δραστικοί διαλύτες - αραιωτικά (reactive solvents - thinners). Το αραιωτικό είναι διαλύτης που προστίθεται κατά τη διάρκεια της παραγωγής ή πριν την εφαρμογή για να ρυθμιστεί η εργασιμότητα του χρώματος, ενώ ο συνδιαλύτης δε διαλύει από μόνος του το συνδετικό μέσο, αλλά βοηθά τον κύριο διαλύτη. Οι δραστικοί διαλύτες και τα αραιωτικά συμπολυμερίζονται με το συνδετικό μέσο μετά την εναπόθεση του φιλμ. Οι διαλύτες θεωρούνται πτητικοί κατά την παρασκευή και την αποθήκευση του χρώματος. Ένας διαλύτης δουλεύει με την αρχή «το ίδιο διαλύει το ίδιο», άρα πρέπει να έχει παρόμοια χημικά χαρακτηριστικά με την ουσία που πρόκειται να διαλύσει. Ιδανικά, ένας διαλύτης δεν πρέπει να είναι τοξικός, θα πρέπει να είναι χαμηλού κόστους και να έχει αποδεκτή οσμή. Εφόσον ο διαλύτης τροποποιεί το ιξώδες του χρώματος, θα πρέπει επίσης να είναι συμβατός με τις μεθόδους αποθήκευσης και εφαρμογής. Τέλος ο διαλύτης θα πρέπει να έχει τέτοιο ρυθμό εξάτμισης ώστε να «δουλεύει» καλά στο περιβάλλον εφαρμογής. Το νερό είναι επίσης διαλύτης, αλλά περιγράφεται ως «άνοργανος» (που δεν περιέχει άνθρακα) (Talbert, 2008; Καμπάνης, 2007).

Αρκετές φορές, η επιλογή ενός διαλύτη υπαγορεύεται από τη διαλυτότητά του. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες διαλυτότητας: ισχυρού δεσμού υδρογόνου, μέτρια ισχυρού δεσμού υδρογόνου και ασθενούς δεσμού υδρογόνου. Οι αλκοόλες εμπίπτουν στην πρώτη κατηγορία, ενώ οι κετόνες, οι αιθέρες και οι εστέρες στη δεύτερη. Τέλος οι υδρογονάνθρακες ανήκουν στην τρίτη κατηγορία. Οι προσεγγιστικές τιμές αυτών των παραμέτρων διαφόρων κατηγοριών διαλυτών δίνονται στον Πίνακα 4.2. Οι ρητίνες που χρησιμοποιούνται ως συνδετικά μέσα στα χρώματα έχουν ιδιότητες που επηρεάζουν την επιλογή του διαλύτη. Ο διαλύτης και το συνδετικό πρέπει να είναι συμβατοί. Οι εποξεικές ρητίνες που έχουν τιμή 8-13 είναι διαλυτές στις κετόνες, τους αιθέρες και τους αστέρες, αλλά είναι αδιάλυτες στους υδρογονάνθρακες και τις αλκοόλες διότι οι τιμές είναι μηδέν. Εάν ένα χρώμα πρέπει να είναι ανθεκτικό σε διαλύτη, τότε θα πρέπει στη σύστασή του να έχει ρητίνη που να έχει παράμετρο διαλυτότητας σημαντικά διαφορετική από αυτή του διαλύτη στον οποίο πρέπει να ανθίσταται.

Πίνακας 4.2. Παράμετροι διαλυτότητας για κατηγορίες διαλυτών (δεσμών υδρογόνου)

Κατηγορία διαλυτών	Ισχυρή	Μέτρια	Χαμηλή
Αλκοόλες	11-13	-	-
Κετόνες	-	8-10	-
Αιθέρες	-	9-10	-
Εστέρες	-	8-9	-
Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες	-	-	7-8
Αρωματικοί υδρογονάνθρακες	-	-	8-9

Ο ρυθμός εξάτμισης ενός διαλύτη είναι πολύ σημαντικός παράγοντας, διότι οι διαλύτες που εξατμίζονται αργά μπορεί να οδηγήσουν σε μεγάλους χρόνους ξήρανσης και υπερβολική ρευστότητα του υγρού φιλμ. Υψηλοί ρυθμοί εξάτμισης μπορεί να προκαλέσουν επίσης προβλήματα στη ρευστότητα και την ακεραιότητα του φιλμ. Τέλος η επιλογή διαλύτη επηρεάζεται από τη μέθοδο εφαρμογής: τυπικά, χαμηλός ρυθμός εξάτμισης

απαιτείται σε χρώματα που εφαρμόζονται με βούρτσα, ενώ τα στα χρώματα ψεκασμού χρησιμοποιούνται ταχύτεροι ρυθμοί. Ιδιότητες μερικών διαλυτών, όπως το ειδικό βάρος, το σημείο βρασμού και ο ρυθμός εξάτμισης δίνονται στον Πίνακα 4.3 (Talbert, 2008).

Οι σημαντικότεροι διαλύτες είναι αλειφατικοί και αρωματικοί υδρογονάνθρακες όπως το τολουόλιο, τα mineral spirits και το ξυλόλιο και οξυγονωμένοι διαλύτες όπως οι αλκοόλες, οι γλυκολαιθέρες, οι κετόνες και οι γλυκολοαιθεροεστέρες.

Πίνακας 4.3. Ιδιότητες μερικών διαλυτών

Διαλύτης	Ειδικό βάρος	Σημείο βρασμού (°C)	Ρυθμός εξάτμισης ^a	Σημείο ανάφλεξης (°C)
Αιθανικός αιθυλεστέρας	0,90	77	480	-4,4
Αιθυλική αλκοόλη	0,79	79	253	12
Ακετόνη	0,79	56	944	-18
Βουτυλική αλκοόλη	0,881	118	36	35
Βουτυλικός αιθυλεστέρας	0,88	125	100	23
Μεθοξυαιθανόλη	0,93	135	24	49
Μεθυλ-αιθυλ-κετόνη	0,81	80	572	-7
Μεθυλ-ισοβουτυλ-κετόνη	0,83	116	164	13
Ξυλένιο	0,87	138-144	73	17-25
Τολουένιο	0,87	111	214	4,4
Mineral spirits	0,80	150-200	-18	38 (min)

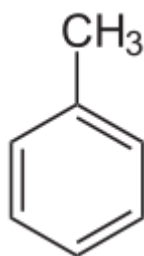
^a Οι ρυθμοί εξάτμισης έχουν υπολογιστεί με βάση τον βουτυλικό αιθυλεστέρα = 100. Αυτές οι τιμές αναφέρονται σε καθαρούς διαλύτες και είναι μικρότερες όταν υπάρχουν διαλυμένα στερεά ή αραιωτικά.

A. Υδρογονάνθρακες

Οι αλειφατικοί και οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες (hydrocarbons) συχνά χρησιμοποιούνται στα χρώματα. Είναι σύνθετα μίγματα διαφορετικών συστατικών με διαφορετικά σημεία ανάφλεξης, πυκνότητα και άλλες ιδιότητες.

I. Τολουόλιο

Το τολουόλιο (toluene, C₇H₈) είναι αρωματικός υδρογονάνθρακας που χρησιμοποιείται σε μίγματα διαλυτών για βινυλικά χρώματα οξειδωτικής ξήρανσης και για χρώματα χλωριωμένου καουτσούκ και ως diluents στα χρώματα νιτροκυτταρίνης.



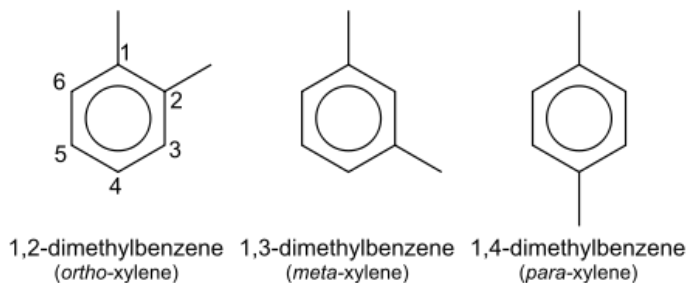
Σχήμα 4.8. Τολουένιο

II. Ελαφρύ πετρέλαιο

Το ελαφρύ πετρέλαιο (mineral spirit ή white spirit) είναι κυρίως αλειφατικά (περιέχουν όμως και 15–18% αρωματικά) μείγματα παραφινών διαφορετικής σύστασης. Εξατμίζονται αργά και διαλύουν τις περισσότερες φυσικές ρητίνες, τα ελαιορητινικά βερνίκια και τις αλκυδικές ρητίνες μέσου και μεγάλου μήκους ελαίου. Το ελαφρύ πετρέλαιο συνήθως είναι ο κύριος (και μόνος) διαλύτης για διακοσμητικά και προστατευτικά χρώματα που εφαρμόζονται με βούρτσα. Επίσης χρησιμοποιείται για καθάρισμα και απολίπανση (degreasing solvent).

III. Ξυλόλιο

Το ξυλόλιο (xylene, C_8H_{10} , $C_6H_4(CH_3)_2$) είναι αρωματικός υδρογονάνθρακας που χρησιμοποιείται συνήθως ως διαλύτης σε ρητίνες αλκυδικές μικρού μήκους ελαίου, στο χλωριωμένου καουτσούκ και στις πολυουρεθάνες. Έχει καλή δύναμη διάλυσης και μέτριο ρυθμό εξατμησης, οπότε χρησιμοποιείται σε χρώματα σπρέι sag-resistant και χρώματα φούρνου.

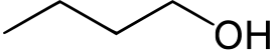


Σχήμα 4.9. Ισομερή ξυλολίου

B. Οξυγονωμένοι διαλύτες

Οι οξυγονωμένοι διαλύτες (oxygenated solvents) περιλαμβάνουν τις αλκοόλες, τους γλυκολαιθέρες, τις κετόνες και τους γλυκολαιθεροεστέρες και συνήθως είναι 99% καθαροί.

I. Βουτυλική αλκοόλη

Η βουτυλική αλκοόλη (βουτανόλη, butyl alcohol, C_4H_9OH)  είναι διαλύτης που εξατμίζεται αργά και χρησιμοποιείται σε μεγάλη ποικιλία ελαίων και ρητινών, κυρίως στις αμινο- και ακρυλικές ρητίνες και επίσης σε συνδυασμούς διαλυτών για ρητίνες νιτροκυτταρίνης.

II. Αιθυλική αλκοόλη

Η αιθυλική αλκοόλη (ethyl alcohol) συνήθως χρησιμοποιείται αναμιγμένη με μεθυλική αλκοόλη (βιομηχανική αλκοόλη, methylated spirits). Είναι διαλύτης γρήγορης εξατμησης που χρησιμοποιείται στα πολύ-βινυλικά χρώματα και μαζί με άλλους διαλύτες στη νιτροκυτταρίνη.

III. Μεθοξυαιθανόλη

Η μεθοξυαιθανόλη (ή μεθυλαιθέρας της αιθυλενογλυκόλης $C_3H_8O_2$, Ethylene Glycol Methyl Ether, EGME) είναι αργά εξατμιζόμενος διαλύτης για πολλές ρητίνες και συχνά προστίθεται σε συνταγολόγια που εφαρμόζονται με βούρτσα στα οποία δεν μπορούν να ενσωματωθούν αλειφατικοί υδρογονάνθρακες όπως το white spirit. Οι αιθέρες υψηλού σημείου βρασμού χρησιμοποιούνται ευρέως σε γαλακτώματα.

IV. Ακετόνη

Η ακετόνη (προπανόνη, acetone, CH_3COCH_3) είναι ένας ισχυρός διαλύτης γρήγορης εξάτμισης που χρησιμοποιείται στα βινυλικά συμπολυμερή και τη νιτροκυτταρίνη. Επίσης σε μικρά ποσοστά αναμιγνύεται με πολλούς άλλους διαλύτες, όπου η υψηλή δύναμη διάλυσης και ο ρυθμός εξάτμισης τροποποιούν τις ιδιότητες του υγρού χρώματος και του φιλμ.

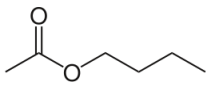
V. Μεθυλ-αιθυλ-κετόνη

Η μεθυλ-αιθυλ-κετόνη (βουτανόνη, Methyl Ethyl Ketone, MEK, $CH_3C(O)CH_2CH_3$) είναι ένας ισχυρός διαλύτης γρήγορης εξάτμισης που χρησιμοποιείται στα βινυλικά συμπολυμερή, στα εποξεικά και τα συστήματα πολυουρεθάνης. Συχνά αναμιγνύεται με λιγότερο ισχυρούς διαλύτες για να τροποποιήσει τις ιδιότητες σχηματισμού φιλμ και τα χαρακτηριστικά εφαρμογής ενός χρώματος.

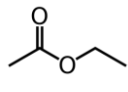
VI. Μεθυλ-ισοβουτυλ-κετόνη

Η μεθυλ-ισοβουτυλ-κετόνη (4-μεθυλ-2-πεντανόνη, Methyl Isobutyl Ketone, $(CH_3)_2CHCH_2C(O)CH_3$) είναι ένας ισχυρός διαλύτης γρήγορης εξάτμισης που χρησιμοποιείται σε παρόμοιες εφαρμογές με τη MEK, αλλά όταν χρειάζεται κάπως αργότερος ρυθμός εξάτμισης. Επίσης χρησιμοποιείται σε μικρά ποσοστά σε μίγματα διαλυτών, για την εκμετάλλευση του υψηλού ρυθμού εξάτμισης και της ισχυρής διαλυτικής ικανότητας.

VII. Βουτυλικός αιθυλεστέρας

Ο βουτυλικός αιθυλεστέρας (butyl acetate, $C_6H_{12}O_2$)  είναι ένας διαλύτης γενικής χρήσης με μέτρια γρήγορο ρυθμό εξάτμισης. Ενώ παλιότερα ήταν ο κύριος διαλύτης χρωμάτων νιτροκυτταρίνης, τώρα χρησιμοποιείται σε ευρεία ποικιλία συνθετικών ρητινών, αλλά είναι λιγότερο ισχυρός από τις κετόνες.

VIII. Αιθανικός αιθυλεστέρας

Ο αιθανικός αιθυλεστέρας (ethyl acetate, $C_4H_8O_2$)  είναι ένας διαλύτης με γρήγορο ρυθμό εξάτμισης. Η κύρια εφαρμογή του ήταν παλιά σε χρώματα νιτροκυτταρίνης, τώρα έχει ευρύτερη χρήση. Έχει μικρότερη δύναμη διάλυσης από τις κετόνες.

4.4.3.1. Οι πτητικές οργανικές ενώσεις

Ο όρος πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds) χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια ευρεία τάξη οργανικών ενώσεων με ένα έως δέκα άτομα άνθρακα. Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται αλκάνια, αλκένια, αρωματικές ενώσεις κ.α. Οι

πητικές οργανικές ενώσεις εκπέμπονται ως αέρια από διάφορες ουσίες που βρίσκονται σε στερεή ή υγρή κατάσταση και οι συγκεντρώσεις τους μπορεί να είναι υψηλότερες σε εσωτερικούς χώρους από ότι στο περιβάλλον.

Οι Π.Ο.Ε. θεωρούνται υπεύθυνες για την κακή ποιότητα του αέρα σε εσωτερικούς χώρους και πιθανότατα σχετίζονται με το σύνδρομο των «άρρωστων» κτιρίων (Sick Building Syndrome). Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να περιγράψει το σύνολο των συμπτωμάτων που εμφανίζονται σε άτομα που περνούν πολύ χρόνο μέσα σε κτίρια και εξαφανίζονται όταν τα άτομα βρίσκονται εκτός του κτιρίου. Παρόλο που τα αίτια του S.B.S. δεν έχουν διερευνηθεί πλήρως, θεωρείται ότι ο κακός αερισμός του κτιρίου, η χρήση συγκεκριμένων υλικών στην κατασκευή και οι πηγές ρύπανσης εντός και εκτός του κτιρίου συντελούν στη δημιουργία του φαινομένου (Βασιλάκος, et al., 2005).

Οι εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα προκαλούν σχηματισμό φωτοχημικών οξειδωτικών – κυρίως όζοντος - στο επίπεδο του εδάφους, παρουσία ηλιακού φωτός και οξειδίων του αζώτου. Αυτή η αποκαλούμενη «θερινή αιθαλομίχλη» έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου, τη γεωργία και τη φυσική βλάστηση (Φαλιάγκας). Η έκταση και η φύση της επίδρασης των Π.Ο.Ε. στον άνθρωπο εξαρτάται από τη συγκέντρωσή τους, τον χρόνο έκθεσης και την κατάσταση της υγείας του ατόμου.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, έχουν θεσμοθετηθεί οι ακόλουθες οδηγίες με σκοπό τη μείωση των Π.Ο.Ε.:

1) Η Οδηγία Εκπομπών Διαλυτών 1999/13/ΕΚ, που περιλαμβάνει τις εκπομπές από βιομηχανικές εγκαταστάσεις μόνο και το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα είναι μείωση 49% στις συνολικές εκπομπές VOC που προκαλούνται από τον άνθρωπο.

2) Η Οδηγία Ανώτατων Εθνικών Ορίων Εκπομπών, 2001/81/ΕΚ που έχει συνταχθεί επειδή απαιτούνται πρόσθετες μειώσεις μέχρι 60% για να αποτραπούν οι πιο πάνω δυσμενείς επιπτώσεις.

3) Η Οδηγία 2004/42/ΕΚ για τον περιορισμό των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων που οφείλονται στη χρήση οργανικών διαλυτών σε χρώματα διακόσμησης και βερνίκια και σε προϊόντα επισκευαστικής βαφής αυτοκινήτων.

Σε διεθνές επίπεδο, στόχοι μείωσης εκπομπών Π.Ο.Ε. έχουν συμφωνηθεί μέσα στο ευρύτερο πλαίσιο της Οικονομικής Επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη (UNECE) κατά τη διάρκεια της διάσκεψης του Gothenburg (*Gothenburg Protocol: Guidance document on control techniques for emissions of sulphur, NO_x, VOC, and particulate matter (including PM10, PM2.5 and black carbon) from stationary sources*) τον Δεκέμβριο του 1999.

Τέλος, η νομοθεσία των Κανονισμών REACH και CLP έχει θέσει κανόνες και όρια που διασφαλίζουν ότι τα παραγόμενα προϊόντα έχουν περιορισμένες επιπτώσεις στο περιβάλλον και ότι ο χρήστης μέσω των πληροφοριών επίσημησης και των Δελτίων Δεδομένων Ασφαλείας θα λάβει τα απαιτούμενα μέτρα προστασίας.

Ο Κανονισμός **REACH** αριθ. 1907/2006 (**Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals** - καταχώριση, αξιολόγηση, αδειοδότηση και περιορισμοί των χημικών προϊόντων) προβλέπει ένα ολοκληρωμένο νομοθετικό πλαίσιο για την παραγωγή χημικών προϊόντων και τη χρήση τους στην Ευρώπη. Μετατοπίζει την ευθύνη από τις δημόσιες αρχές στον βιομηχανικό κλάδο με στόχο να διασφαλιστεί η ασφάλεια των χημικών προϊόντων που παράγονται, εισάγονται, πωλούνται και χρησιμοποιούνται στην ΕΕ. Επίσης δημιουργεί ενιαία αγορά χημικών προϊόντων, έχει ως στόχο την προώθηση της καινοτομίας και της ανταγωνιστικότητας στον τομέα και τέλος ιδρύει έναν Ευρωπαϊκό Οργανισμό Χημικών Προϊόντων (ECHA, **European Chemicals Agency**).

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Χημικών Προϊόντων (ECHA) αποτελεί την κινητήρια δύναμη μεταξύ των κανονιστικών αρχών όσον αφορά την εφαρμογή της ριζοσπαστικής ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τα χημικά προϊόντα προς όφελος της υγείας του ανθρώπου και του περιβάλλοντος αλλά και της καινοτομίας και της ανταγωνιστικότητας. Ο ECHA βοηθά τις επιχειρήσεις να συμμορφώνονται προς τη νομοθεσία, προάγει την ασφαλή χρήση των χημικών προϊόντων, παρέχει πληροφορίες σχετικά με αυτά και αντιμετωπίζει τα σχετικά με χημικά προϊόντα που προκαλούν ανησυχία ζητήματα.

Ο Κανονισμός **CLP** αριθ. 1272/2008 (**Classification Labelling and Packaging** - ταξινόμηση επισήμανση και συσκευασία) διασφαλίζει ότι οι κίνδυνοι που ενέχουν τα χημικά προϊόντα κοινοποιούνται με σαφήνεια στους εργαζόμενους και στους καταναλωτές της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέσω της ταξινόμησης και επισήμανσης χημικών προϊόντων.

4.4.4. Πιγμέντα

4.4.4.1. Εισαγωγή

Το πρότυπο ΕΛΟΤ 547 ορίζει ως πιγμέντο τη χρωστική ύλη, γενικά σε μορφή λεπτών σωματιδίων, φυσική ή συνθετική, ανόργανη ή οργανική, πρακτικά αδιάλυτη στον φορέα στον οποίο διασπείρεται, που χρησιμοποιείται για τις οπτικές, προστατευτικές ή διακοσμητικές ιδιότητές της. Το πιγμέντο χρησιμοποιείται σε ανάμιξη με άλλες ουσίες για την επικάλυψη επιφανειών, προσφέροντας χρωματισμό, αδιαφάνεια, σκληρότητα, αντιδιαβρωτικές ιδιότητες, αντοχή στις καιρικές συνθήκες, καλύτερη ροή του χρώματος, κλπ. Η σημαντικότερη ιδιότητα ενός πιγμέντου είναι να δίνει χρώμα σε διαφανή και αδιαφανή φιλμ. Η υψηλή δύναμη χρωματισμού είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα για ένα πιγμέντο. Στις περιπτώσεις που το χρώμα πρέπει να καλύψει παλαιότερα στρώματα, το πιγμέντο απαιτείται να δίνει αδιαφανή φιλμ.

Τα πιγμέντα βρίσκονται συνήθως σε μορφή λεπτής σκόνης (με μέγεθος κόκκων συνήθως από 1-10 μm) ή σε φυλλίδια. Υπάρχουν και τα διεσπαρμένα πιγμέντα, που μπορεί να είναι ανόργανα ή οργανικά, αλλά αντί να είναι μόνα τους σε μορφή σκόνης είναι διεσπαρμένα μέσα σε ένα άλλο υλικό. Χρησιμοποιούνται κυρίως για τη βελτίωση των αντιδιαβρωτικών και των μηχανικών ιδιοτήτων, καθώς και της εμφάνισης του επιστρώματος. Αυτά δίνουν το χρώμα, την καλυπτικότητα και τη γεμιστικότητα (ικανότητα να καλύπτουν κοιλότητες της επιφάνειας που βάφεται). Επίσης αυξάνουν τον χρόνο ζωής του χρώματος. Αυτό οφείλεται στην απορρόφηση ή αντανάκλαση της υπεριώδους ακτινοβολίας και τη μετατροπή της σε αβλαβή παράγοντα. Προέρχονται από φυσικά μεταλλεύματα ή από οργανικές ενώσεις, και συνηθέστερα από μεταλλικά οξειδία.

Ο γενικότερος όρος χρωστική (colorant) περιλαμβάνει τα πιγμέντα (pigment) και τις βαφές (dye). Η διαφορά μεταξύ τους έγκειται στο γεγονός ότι το πιγμέντο παραμένει αδιάλυτο αλλά σε διασπορά στο μέσον εφαρμογής, ενώ μία χρωστική διαλύεται στο μέσον εφαρμογής σχηματίζοντας έγχρωμα διαυγή υλικά.

Μια κατάταξη των πιγμέντων είναι η ακόλουθη:

- Λευκά πιγμέντα (white)
- Έγχρωμα οργανικά και ανόργανα πιγμέντα (colored organic / inorganic)
- Μαύρα πιγμέντα (black)
- Πιγμέντα ειδικών αποχρώσεων (special effects), όπως τα
 - Κεραμικά πιγμέντα (Ceramic)

- Μεταλλικά πιγμέντα (Metallic)
- Πιγμέντα περλέ (Pearlescent)
- Φθορίζοντα πιγμέντα (fluorescent)

Τα πιγμέντα επίσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε σχέση με την απόχρωσή τους με τους ακόλουθους κωδικούς (Color Index) (ΕΛΙΝΥΑΕ, 2007) :

- Λευκό (W): Οξείδιο του τιτανίου (TiO_2), θειούχος ψευδάργυρος (ZnS), οξείδιο του ψευδαργύρου (ZnO), λιθοπόνιο ($ZnS+BaSO_4$), οξείδιο του αντιμονίου Sb_2O_3
- Κόκκινο (R): οξείδιο του σιδήρου, σεληνιούχο κάδμιο (CdSe), κόκκινο του μολύβδου
- Κίτρινο (Y): θειούχο κάδμιο (CdS), ώχρα, χρωμικός Pb/Zn
- Πράσινο (G): οξείδια του χρωμίου (Cr_2O_3)
- Μπλε (B): σιδηροκυανιούχος σίδηρος $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$
- Καφέ (Br): σιένα
- Πορτοκαλί (O): άλατα μολύβδου, καδμίου, μολυβδενίου
- Μεταλλικά (M): αλουμίνιο, ψευδάργυρος, μπρούτζος
- Διαφανές: ανθρακικό ασβέστιο, πυριτικό μαγνήσιο, θειικό βάριο
- Μαύρο (Bk): carbon black, lamp black (αιθάλη)

Αντί των χρωστικών βαρέων μετάλλων, χρησιμοποιούνται σήμερα οργανικές χρωστικές, οι οποίες κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

Μονοαζωπιγμέντα, διαζωπιγμέντα, ανθρακινόνες, βενζιμιδαζόλες, BONA, δικετο-πυρρολο-πυρόλες (DPP), διοξαζίνες, ισοϊνδολινόνες, ναφθαλικά, φθαλοκυανικά, κιννακρινονόνες, μεταλλοσύμπλοκα.

Τα οργανικά έγχρωμα πιγμέντα διαφέρουν από τα ανόργανα: έχοντας μικρότερα σωματίδια διαχέουν λιγότερο το φως. Οι αποχρώσεις τους είναι πιο έντονες, έχουν μικρότερη αντοχή στη θερμότητα και η επιφάνειά τους είναι υδρόφοβη, ενώ στα ανόργανα είναι υδρόφιλη.

Τα μεταλλικά πιγμέντα είναι πολύ δημοφιλή για χρώματα που χρησιμοποιούνται σε προϊόντα όπως αυτοκίνητα, μοτοσικλέτες, μεταλλικά έπιπλα γραφείου και άλλα προϊόντα που απαιτούν εξαιρετικά χαρακτηριστικά εμφάνισης. Ενώ το αλουμίνιο είναι το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο μεταλλικό οξείδιο, ο ανοξειδωτος χάλυβας, ο μολύβδος και ο ψευδάργυρος έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί σε συνθέσεις χρωμάτων.

4.4.4.2. Μορφολογία πιγμένων

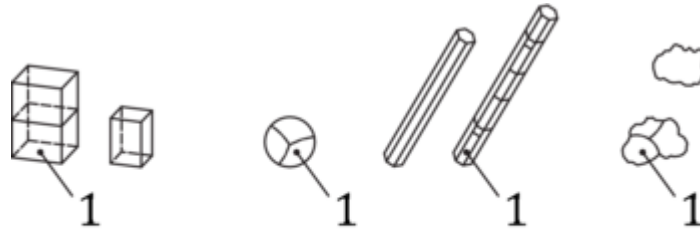
Οι ιδιότητες των πιγμένων (και των πληρωτικών) δεν εξαρτώνται μόνο από τη χημική τους σύνθεση, αλλά επίσης και από την κρυσταλλική τους δομή και τη μορφολογία τους. Επίσης η αλληλεπίδραση με τα συνδετικά μέσα και τα άλλα συστατικά επηρεάζουν τη συμπεριφορά τους.

Τα πιγμέντα εμφανίζονται με τις ακόλουθες μορφές (Καμπάνης, 2007; ISO 18451-1:2015; Oyarzún, 2015):

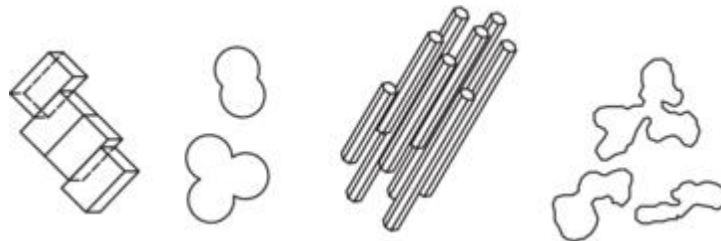
1. Πρωταρχικά κρυσταλλικά ή άμορφα σωματίδια (primary particles)
2. Συσσωμάτωμα (aggregates), είναι ομάδες πρωταρχικών σωματιδίων που εφάπτονται μεταξύ τους, έτσι ώστε η ολική επιφάνεια των συγκριμάτων να είναι μικρότερη αυτής των πρωταρχικών σωματιδίων.
3. Συγκράματα (agglomerates), είναι ομάδες πρωταρχικών σωματιδίων που εφάπτονται στις ακμές τους, έτσι ώστε η ολική επιφάνειά τους δεν διαφέρει αυτής των πρωταρχικών σωματιδίων.

4. Κροκιδώματα (flocclulates), είναι συγκράματα που περιέχουν και συνδετικό μέσο και διαχωρίζονται με μικρές διατμητικές τάσεις. Συναντώνται στις διασπορές υγρών χρωμάτων.

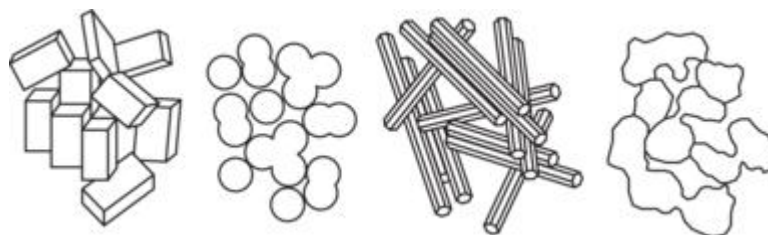
Σε ένα χρώμα, τα πιγμέντα (και τα πληρωτικά) διασπείρονται σε πρωταρχικά σωματίδια, συσσωματώματα, συγκράματα και κροκιδώματα. Επομένως οι σωματιδιακές διαστάσεις και κατανομές αφορούν σε όλες αυτές τις μορφές.



Σχήμα 4.10. Πρωταρχικά σωματίδια (πρισματικά, σφαιρικά, κυλινδρικά, άμορφα)



Σχήμα 4.11. Συσσωματώματα (aggregates)



Σχήμα 4.12. Συγκράματα (agglomerates)

4.4.4.3. Φυσικοχημικές ιδιότητες των πιγμένων

Αυτές αφορούν στις αλληλεπιδράσεις των πιγμένων με το συνδετικό μέσο (Καμπάνης, 2007).

1. Ελαιοαπορρόφηση (Oil Absorption, OA)

Εκφράζεται ως το βάρος λινελαίου που απορροφάται από 100 g πιγμένων. Όσο μεγαλύτερη η επιφάνεια και η λιποφιλικότητα των πιγμένων, τόσο μεγαλύτερη είναι η ελαιοαπορροφητικότητά τους και κυμαίνεται από 5 ÷ 25 g/100g για τα οργανικά πιγμένα.

2. Καλυπτικότητα (Hiding Power, HP)

Η καλυπτικότητα είναι η ιδιότητα της επικάλυψης να «κρύβει» την επιφάνεια του αντικειμένου πάνω στο οποίο εφαρμόζεται. (ή ένα φόντο με χρωματική αντίθεση). Η καλυπτικότητα είναι επίσης γνωστή ως αδιαφάνεια (opacity) και contrast ratio. Η αδιαφάνεια είναι ιδιότητα του φιλμ, ενώ η καλυπτικότητα όλου του χρώματος. Η καλυπτικότητα συνδέεται άμεσα με τη μέθοδο εφαρμογής του χρώματος και το πάχος του φιλμ. Σε μια επικάλυψη με ισχυρή καλυπτικότητα, τα σωματίδια του πιγμέντου σκεδάζουν το φως τόσο έντονα ώστε αυτό σχεδόν δεν φτάνει στο υπόστρωμα. Τα κύρια χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την καλυπτικότητα είναι ο υψηλός δείκτης διάθλασης και η βελτιστοποίηση του μεγέθους των σωματιδίων.

Ο δείκτης καλυπτικότητας (Hiding Power Index, HI) είναι η επιφάνεια ενός διαγραμμισμένου υποστρώματος που μπορεί να καλυφθεί αδιαφανώς από ένα λίτρο ή 1 kg του πιγμενταρισμένου μέσου.

3. Λευκαντικός δείκτης (Whitening Power Index, WPI)

Ο δείκτης αυτός προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$WPI = (q_{ref}/q_p) \cdot 100,$$

Όπου q_p είναι η ποσότητα του πιγμέντου που χρειάζεται για να λευκάνει μια γκριζα πάστα στον ίδιο βαθμό που επιτυγχάνει η ποσότητα q_{ref} ενός πιγμέντου αναφοράς.

4.4.4.4. Αντιδιαβρωτικά πιγμέντα

Τα αντιδιαβρωτικά πιγμέντα χρησιμοποιούνται κυρίως σε αστάρια (primers) για την προστασία μεταλλικών υλικών. Τα αντιδιαβρωτικά πιγμέντα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, όσον αφορά τη δράση τους:

I. Πιγμέντα παθητικοποίησης

Πρόκειται για πιγμέντα που έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν με οξείδωση ή άλλες χημικές αντιδράσεις ένα λεπτό παθητικό στρώμα, που εμποδίζει τη διάβρωση. Τα πιγμέντα παθητικοποίησης αντιδρούν επίσης με όξινα ιόντα που έχουν διαπεράσει το στρώμα ή έχουν δημιουργηθεί επί τόπου σχηματίζοντας αδιάλυτες ενώσεις, που είναι αβλαβείς και δεν προκαλούν διάβρωση. Τα πιγμέντα μολύβδου και τα πιγμέντα σκόνης ψευδαργύρου χρησιμοποιούνται κυρίως για παθητικοποίηση. Η δραστηριότητα των πιγμένων αυτών οφείλεται στη μικρή υδατοδιαλυτότητά τους και με μία συγκεκριμένη ποσότητα νερού που παρέχει οξειδωτικά μόρια, σχηματίζεται ένα αδιάλυτο στρώμα στην επιφάνεια του χάλυβα. Τα πιγμέντα παθητικοποίησης διασφαλίζουν καλή πρόσφυση των επιστρωμάτων και εμποδίζεται η δημιουργία φλукταινών λόγω όσμωσης.

II. Πιγμέντα με αλκαλική συμπεριφορά

Τα αντιδιαβρωτικά αυτά πιγμέντα αναστέλλουν τη διάβρωση με τους σάπωνες που σχηματίζουν με όξινα προϊόντα αποικοδόμησης ορισμένων φορέων. Ο κύριος εκπρόσωπος της κατηγορίας αυτής, το μίνιο με λινέλαιο, χρησιμοποιήθηκε για πάρα πολλά χρόνια. Οι σάπωνες επίσης ενισχύουν και τις μηχανικές ιδιότητες του υμένα. Πολλοί ερευνητές έχουν συνδέσει την ανασταλτική ικανότητα όχι με σάπωνες που προέρχονται από οξέα του φορέα, αλλά από οξέα που σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της οξειδωτικής αποικοδόμησης των ελαίων. Η αυτοοξείδωση π.χ. του λινέλαιου παράγει πλήθος μόνο- και δι-βασικών οξέων.

III. Πιγμέντα παρεμπόδισης

Πρόκειται για πιγμέντα με πολυστρωματική δομή, όπως τα λεπιδώδη οξειδία του σιδήρου, ρινίσματα ή σκόνη ψευδαργύρου και αλουμινίου, που προσφέρουν γενικά καλύτερη αντίσταση ενάντια στη διάχυση της υγρασίας διαμέσου του στρώματος του χρώματος, παρέχοντας χρόνο ζωής στο χρώμα μεγαλύτερο από 25 έτη. Τα πολυστρωματικά πιγμέντα επιμηκύνουν τη διαδρομή που πρέπει η υγρασία να διανύσει διαχεόμενη μέσω του στρώματος του χρώματος. Τα ρινίσματα αλουμινίου έχουν την ικανότητα να ανακλούν την υπεριώδη ακτινοβολία πίσω στην ατμόσφαιρα, σχηματίζοντας μία ασπίδα στην επιφάνεια του χρώματος.

Τα πιγμέντα – αναστολείς ελέγχουν τη διάβρωση επεμβαίνοντας στη διαβρωτική δράση, με την απελευθέρωση κάποιας διαλυτής ένωσης, που στη συνέχεια σχηματίζει ένα μη αγώγιμο στρώμα στην επιφάνεια του μετάλλου που διαβρώνεται. Έτσι τα ηλεκτρόνια που προέρχονται από την ανοδική δράση δεν καταναλώνονται, ή εναλλακτικά, μονώνεται η μεταλλική επιφάνεια από το περιβάλλον (Attwood, 1992).

Σύμφωνα με τον Sinko (2001) όλα τα εμπορικά πιγμέντα με δράση αναστολέα διάβρωσης ανήκουν σε οικογένειες ανοργάνων αλάτων τύπου $A_m^{n+}B_n^{m-}$ ή βασικών αλάτων τύπου $A_m^{n+}B_{n-z}^{m-}OH_z^-$, όπου $n, m = 2$ ή 3 , A^{n+} : Zn(II), Ca(II), Sr(II), Al(III), Ba(II), Mg(II), και B^{m-} : CrO_4^{2-} , PO_4^{3-} , MoO_4^{2-} , BO_2^- , $(SiO_3^{2-})_n, n>1$, NCN^{2-} ή άλλες παρόμοιες ενώσεις. Τα καθοδικά συστατικά (A^{n+}) γενικά δεν έχουν σημαντική δράση αναστολέα, αλλά καθορίζουν θεμελιώδεις φυσικές ιδιότητες, όπως η διαλυτότητα, το pH, η τοξικότητα κλπ. Το ιόν Zn^{2+} αποτελεί εξαίρεση, καθώς εμφανίζει σε ένα βαθμό δράση καθοδικού αναστολέα (Jones, 1992).

Το CrO_4^{2-} είναι ένας οξειδοαναγωγικά ενεργός παθητικοποιητής της ανοδικής περιοχής με μηχανισμό ανεξάρτητο των παραμέτρων του περιβάλλοντος (O_2 , pH κλπ) (Τσαούσογλου, 2001). Αντιθέτως όλα τα άλλα είδη των ανιονικών αναστολέων είναι οξειδοαναγωγικά ανενεργά και δρουν σύμφωνα με μηχανισμούς που εξαρτώνται από παραμέτρους του περιβάλλοντος, με συνέπεια να είναι λιγότερο αποτελεσματικά από τα χρωμικά (Sinco, 2001).

I. Ερυθρό μολύβδου (Μίνιο, Red lead, Pb_3O_4)

Το μίνιο, το παλαιότερο αντιδιαβρωτικό πιγμέντο, σύμφωνα με το DIN 55916 περιέχει τουλάχιστον 93,2% Pb_3O_4 . Η απόχρωσή του είναι πορτοκαλί, έχει ειδικό βάρος $8,9 \text{ g/cm}^3$, απορρόφηση ελαίου 6-9 g/100g, μέσο μέγεθος κόκκων 1-3 μm και προσφέρει ανοδική προστασία. Ο μηχανισμός δράσης του μίνιου είναι πολύπλοκος. Έχει αντιοξειδωτικές ιδιότητες και υδρολυόμενο αντιδρά με τα όξινα προϊόντα της διάσπασης του φορέα δημιουργώντας σάπωνες στον στεγνό υμένα ($PbO + 2HOOC-R \rightarrow Pb(OOC-R)_2 + H_2O$). Οι σάπωνες ενισχύουν τις μηχανικές ιδιότητες του υμένα, την αντοχή στο νερό και την πρόσφυση στην επιφάνεια (Τσαούσογλου, 2001).

Η χρησιμοποίηση του μολύβδου στην παρασκευή χρωμάτων έχει μειωθεί σημαντικά, παρά το γεγονός ότι το ερυθρό του μολύβδου παρέμενε για πολλά χρόνια αναντικατάστατο ως προστατευτικό της επιφάνειας των μετάλλων από τη σκουριά. Ο μολύβδος και οι χημικές του ενώσεις έχει αποδειχθεί ότι είναι τοξικές ουσίες οι οποίες εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό και τον καθιστούν επικίνδυνο ιδιαιτέρως για τα μικρά παιδιά καθώς προσβάλλει μακροχρόνια τον εγκέφαλό τους. Η Οριακή Τιμή Έκθεσης (Threshold Limit Value-TLV) για το μολύβδο στην Ελλάδα είναι σύμφωνα με το Π.Δ. 339/2001 τα 0.15 mg/m^3 (Προεδρικό

Διάταγμα 339/2001 - Τροποποίηση του Π.Δ. 307/86 «προστασία της υγείας των εργαζομένων που εκτίθενται σε ορισμένους χημικούς παράγοντες κατά τη διάρκεια της εργασίας τους (ΦΕΚ 227^Α/2001)) (Καμενόπουλος, 2004).

Ο μεγαλύτερος κίνδυνος πλέον προέρχεται από τα παλαιότερα κτίρια, κτισμένα κυρίως πριν το 1978, στα οποία γίνονται επισκευαστικές εργασίες, οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν αναταράξεις και απελευθέρωση του μολύβδου από τα χρώματα. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO, World Health Organisation) μαζί με το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Environment Programme) έχουν συστήσει την Παγκόσμια Ένωση για την κατάργηση των χρωμάτων μολύβδου (Global Alliance to Eliminate Lead Paint) (WHO, 2015).

Το μίνιο νέο τύπου που χρησιμοποιείται ως αντιοξειδωτικό υπόστρωμα διαλύτη περιέχει αντιδιαβρωτικά πιγμέντα χωρίς μόλυβδο, κυρίως οξειδία του σιδήρου.

II. Χρωμικά πιγμέντα

Τα κυριότερα χρωμικά πιγμέντα είναι τα ακόλουθα:

1. ο χρωμικός ψευδάργυρος ή κίτρινο ψευδαργύρου, $4\text{ZnO}\cdot\text{K}_2\text{O}\cdot 4\text{CrO}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$,
2. ο τετραοξυχρωμικός ψευδάργυρος $4\text{Zn}(\text{OH})_2\cdot\text{ZnCrO}_4$,
3. το χρωμικό στρόντιο SrCrO_4 .

Ο φορέας των χρωμάτων λόγω της χαμηλής διηλεκτρικής σταθεράς τους δεν επιτρέπει τη διέλευση των ιόντων, όταν όμως διεισδύει η υγρασία στον υμένα του χρώματος το πιγμέντο σχηματίζει ιόντα, με αποτέλεσμα τη μεταφορά αυτών στην επιφάνεια τη μεταξύ του χρώματος και του σιδήρου. Τα χρωμικά αντιδιαβρωτικά πιγμέντα έχουν χαμηλή διαλυτότητα στο νερό, δρουν στις ανοδικές και στις καθοδικές περιοχές με ένα πολύπλοκο μηχανισμό χημικών και ηλεκτροχημικών δράσεων, που τελικά οδηγεί σε παθητικά στρώματα. Στην καθοδική περιοχή το εξασθενές χρώμιο ανάγεται προς τρισθενές $\text{Cr}^{6+} + 3\text{e} \rightarrow \text{Cr}^{3+}$ με κατανάλωση ηλεκτρονίων, αναστέλλοντας την αναγωγή του O_2 . Τα Cr^{3+} στην ανοδική περιοχή δημιουργούν στρώμα μικτών υδροξυ-οξειδίων Cr^{3+} και Fe^{2+} .

1. Χρωμικός ψευδάργυρος (zinc potassium chromate, $4\text{ZnO}\cdot\text{K}_2\text{O}\cdot 4\text{CrO}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$)

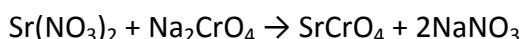
Ο χρωμικός ψευδάργυρος είναι το σπουδαιότερο αντιδιαβρωτικό πιγμέντο από τα χρωμικά. Η παρουσία του $\text{Zn}(\text{OH})_2$ στον χρωμικό ψευδάργυρο και τον τετραοξυχρωμικό ψευδάργυρο έχει θετική επίπτωση σε πολλά ελαιούχα συνδετικά, γιατί μικρές συγκεντρώσεις σαπώνων του Zn βελτιώνουν την αδιαπερατότητα και τις μηχανικές ιδιότητες του φορέα, ενώ συγχρόνως εξουδετερώνει τα όξινα προϊόντα διάσπασης του συνδετικού μέσου. Έχει κίτρινη απόχρωση, ειδικό βάρος $3,5 \text{ g/cm}^3$, απορρόφηση ελαίου $34\text{g}/100\text{g}$ και προσφέρει ανοδική προστασία. Χρησιμοποιείται κυρίως για την παρασκευή αντισκωριακών ασταριών και είναι συμβατό με όλους τους τύπους των πολυμερών.

2. Τετραοξυχρωμικός ψευδάργυρος (Zinc tetroxy chromate - Basic zinc chromate, $4\text{Zn}(\text{OH})_2\cdot\text{ZnCrO}_4$)

Ο τετραοξυχρωμικός ψευδάργυρος προσφέρει αντιδιαβρωτική προστασία χωρίς να προκαλεί τη δημιουργία φλукταινών. Έχει κίτρινη απόχρωση, ειδικό βάρος $3,87\div 3,97 \text{ g/cm}^3$, απορρόφηση ελαίου $46\text{g}/100\text{g}$ και προσφέρει ανοδική προστασία. Λόγω της μικρής διαλυτότητας στο νερό ($0,02 \text{ g CrO}_3/\text{l}$) χρησιμοποιείται στην παραγωγή wash primer και ναυτιλιακών ασταριών.

3. Χρωμικό στρόντιο (strontium chromate, SrCrO_4)

Παρασκευάζεται από την ανάμειξη διαλυμάτων νιτρικού στρόντιου και χρωμικού νατρίου:



Το χρωμικό στρόντιο αντιδρά με δύο τρόπους: αφενός μέσω της δράσης των χρωμικών ιόντων που έχουν διαλυτότητα περίπου ίση με 0,5g CrO₃/l, αφετέρου μέσω της δέσμευσης από ένα σημαντικό αριθμό χρωμικών ιόντων θειικών ιόντων πριν αυτά περάσουν τον υμένα του χρώματος αποκλείοντας να γίνουν αιτία διάβρωσης. Έχει κίτρινη απόχρωση, ειδικό βάρος 3,67÷3,77 g/cm³, απορρόφηση ελαίου 33g/100g και προσφέρει ανοδική προστασία. Αντέχει σε θερμοκρασία περίπου 1000°C, διότι δεν περιέχει κρυσταλλικό νερό, διασπείρεται εύκολα, δημιουργεί ομοιογενείς υμένες, έχει καλή αντοχή στο φως και δεν προκαλεί ζελάρισμα σε όξινους φορείς. Χρησιμοποιείται στην παρασκευή αντιδιαβρωτικών ασταριών για την προστασία των αεροσκαφών και στην παραγωγή σιλικονούχων χρωμάτων φούρνου λόγω της αντοχής του σε υψηλές θερμοκρασίες (Τσαούσογλου, 1998).

Τα χρωμικά πιγμέντα (Cr⁶⁺) έχουν χρησιμοποιηθεί ευρύτατα σε οργανικές αντιδιαβρωτικές επικαλύψεις ως άριστα προστατευτικά πιγμέντα. Χαρακτηρίζονται όμως ως ισχυρά τοξικά (*highly toxic*), καρκινογόνα (*carcinogenic*), μεταλλαξιογόνα (*mutagenic*), βλαπτικά ως προς την αναπαραγωγή (*reprotoxic*), οξειδωτικά και ως επικίνδυνα για το περιβάλλον και συνεπώς γίνεται προσπάθεια αντικατάστασής τους από μη-τοξικά πιγμέντα (Almeida, 2000; Kalendonά, 2000). Σχεδόν όλο το χρώμιο στη φύση βρίσκεται ως τρισθενές χρώμιο, Cr(III). Το εξασθενές χρώμιο, Cr(VI), που συναντάται στο περιβάλλον, είναι σχεδόν αποκλειστικά ανθρωπογενές (προέρχεται από δραστηριότητες του ανθρώπου). Το Cr(VI) είναι σταθερό στον αέρα και στο καθαρό νερό, αλλά ανάγεται ταχύτατα προς Cr(III), όταν έρθει σε επαφή με οργανική ύλη στο νερό, στο έδαφος και σε ζωντανούς οργανισμούς (Θωμαΐδης, Βαλαβανίδης & Ευσταθίου, 2007). Ο χρωμικός μόλυβδος (κίτρινο του χρωμίου, *Chrome Yellow PbCrO₄*) μια εξαιρετικής ποιότητας κίτρινη χρωστική, χρησιμοποιήθηκε στον χρωματισμό διαφόρων υλικών, αλλά πληροί τα κριτήρια για να ταξινομηθεί ως καρκινογόνος και τοξική για την αναπαραγωγή, σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 1272/2008.

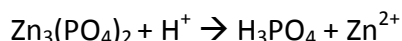
III. Πιγμέντα ψευδαργύρου

1. Φωσφορικός ψευδάργυρος (zinc phosphate, Zn₃(PO₄)₂·xH₂O, x=2÷4)

Ο φωσφορικός ψευδάργυρος είναι ένα από τα νεότερα μη μολυβδούχα, μη χρωμικά αντιδιαβρωτικά πιγμέντα που αναπτύχθηκαν. Έχει λευκή απόχρωση, ειδικό βάρος 3,14 g/cm³, απορρόφηση ελαίου 30g/100g, προσφέρει ανοδική προστασία και αντοχή στη θερμοκρασία μέχρι τους 180°C. Θεωρείται ως η εναλλακτική λύση ως προς τη χρήση των χρωμικών, γιατί δεν εμφανίζει τοξικότητα (Κουλουμπή et al., 2002). Όμως από τα μέχρι σήμερα δεδομένα προκύπτει ότι δεν μπορεί να αντικαταστήσει απόλυτα τα «παραδοσιακά» αντιδιαβρωτικά πιγμέντα. Γίνονται προσπάθειες να βελτιωθεί τόσο η αποδοτικότητά του, με συνδυασμό διαφόρων φωσφορικών ή με προσθήκη άλλων ενώσεων όπως το οξείδιο του ψευδαργύρου ή ο βορικός ψευδάργυρος, όσο και η δραστηριότητά του – για παράδειγμα με μείωση του μεγέθους των κόκκων σε επίπεδο μερικών μm (micronised). Ο φωσφορικός ψευδάργυρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί με όλους τους τύπους των συνδετικών μέσων και όταν προστίθεται σε ρητίνες βελτιώνει τόσο την ξήρανση όσο και την πρόσφυση στο μεταλλικό υπόστρωμα (Brock, Grotklaes & Mische, 2000).

Η αντιδιαβρωτική δράση του οφείλεται στον σχηματισμό προστατευτικού υμένα στις ανοδικές κυρίως περιοχές εξ αιτίας της υγρασίας που διεισδύει στον υμένα του χρώματος.

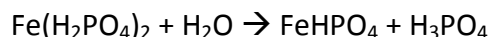
Στις ανοδικές περιοχές, η οξείδωση οδηγεί στην παραγωγή διαλυτωμένων μεταλλικών ιόντων που δημιουργούν άλατα, των οποίων η υδρόλυση παράγει H⁺ που αντιδρούν με τον Zn₃(PO₄)₂ του ασταριού σύμφωνα με τη δράση:



Το H_3PO_4 που ελευθερώνεται, αντιδρά με το μεταλλικό υπόστρωμα (π.χ. Fe):



Ο παραγόμενος $\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ είναι διαλυτός στο νερό με συνέπεια τη δημιουργία FeHPO_4 και H_3PO_4 :



Το μεν H_3PO_4 καταναλώνεται αντιδρώντας με το υπόστρωμα, ενώ ο FeHPO_4 οδηγεί στην παραγωγή αδιάλυτου φωσφορικού σιδήρου $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$:



Ο φωσφορικός σίδηρος $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ κατακρημνίζεται στις περιοχές διάβρωσης (ανοδικές περιοχές όπου το επίστρωμα εμφανίζει ελαττώματα, δημιουργώντας ένα μονωτικό στρώμα που τις απομονώνει από το περιβάλλον. Ο σχηματισμός Zn^{2+} συνεισφέρει στην αντιδιαβρωτική προστασία, γιατί συνδυάζεται με τα υδροξυλιόντα που παράγονται στην κάθοδο και παράγει υδροξείδιο του ψευδαργύρου που κατακρημνίζεται (Τσαούσογλου).

Άλλοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η προστατευτική δράση του φωσφορικού ψευδαργύρου είναι αποτέλεσμα συνδυασμού φωσφάτωσης του μεταλλικού υποστρώματος και σχηματισμού σύμπλοκων ενώσεων με τα συστατικά του συνδετικού μέσου (Chromy & Kaminska, 1990). Κατά άλλους (Koleske, 1995) ο φωσφορικός ψευδάργυρος θεωρείται ότι αναστέλλει τη διάβρωση με τρεις τρόπους: διαμέσου της προσφοράς φωσφορικών ιόντων, με τον σχηματισμό προστατευτικού ανοδικού στρώματος ή με τον σχηματισμό αντιδιαβρωτικών ενώσεων παρουσία κάποιων ελαιορητινικών φορέων. Ο μηχανισμός προστασίας θα μπορούσε να περιλάβει την πόλωση των καθοδικών περιοχών λόγω καθίζησης ελάχιστα διαλυτών αλάτων στο μεταλλικό υπόστρωμα. Όμως η μικρή διαλυτότητα και η αδρή κρυσταλλικότητα του πιγμέντου του φωσφορικού ψευδαργύρου δεν βοηθούν στη δημιουργία ενός αποτελεσματικού αντιδιαβρωτικού στρώματος.

Για να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία έχει προταθεί ο συνδυασμός του φωσφορικού ψευδαργύρου με άλλα αντιδιαβρωτικά πιγμέντα (συμπεριλαμβανομένων των χρωμικών) όπως και η χρήση τροποποιημένου φωσφορικού ψευδαργύρου (Del Amo, et al., 1998).

2. Σκόνη ψευδαργύρου (zinc dust)

Η σκόνη ψευδαργύρου έχει γκρι απόχρωση και ειδικό βάρος $7,06 \text{ g/cm}^3$. Περιέχει ψευδάργυρο $94\div 97\%$ (ως Zn) και οξείδιο του ψευδαργύρου $3\div 6\%$. Στα οργανικά χρώματα η δράση του εξαρτάται από την επαφή σωματιδίου με σωματίδιο και με την επιφάνεια του χάλυβα, ενώ στα ανόργανα χρώματα ο ψευδάργυρος συγκρατείται από αγωγίμο φορέα και δεν είναι τόσο απαραίτητη η επαφή μεταξύ των κόκκων του Zn. Η σκόνη ψευδαργύρου δρα ως άνοδος και υφίσταται διάβρωση προστατεύοντας τις μεταλλικές επιφάνειες που αποτελούν την κάθοδο του γαλβανικού στοιχείου. Έχει καλή αντοχή έναντι καιρικών συνθηκών και περιβάλλοντος, γεγονός που είναι σημαντικό όταν παρεμβάλλονται μεγάλα

χρονικά διαστήματα μεταξύ της εφαρμογής επάλληλων στρώσεων. Με την προσθήκη ορισμένων συνδετικών υλικών μπορεί να επιτευχθεί υψηλή θερμική αντοχή μέχρι τους 400÷420°C (Τσαούσογλου Π. 1998).

3. Οξείδιο του ψευδαργύρου (Zinc oxide, ZnO)

Το οξείδιο του ψευδαργύρου έχει λευκή απόχρωση, ειδικό βάρος 5,6g/cm³ και απορρόφηση ελαίου 10÷25g/100g. Συνήθως το οξείδιο του ψευδαργύρου δεν θεωρείται αντιδιαβρωτικό πιγμέντο και για πολλά χρόνια χρησιμοποιήθηκε με χρωμικό ψευδάργυρο και αλκυδική ρητίνη στα αστάρια για τη βελτίωση των ιδιοτήτων του χρωμικού ψευδαργύρου στον σχηματισμό του υμένα. Με την παραγωγή των υδατοδιαλυτών αντιδιαβρωτικών ασταριών, το οξείδιο του ψευδαργύρου παρουσίασε εξαιρετικές ιδιότητες προστασίας μετάλλων. Λόγω της αντίδρασής του με όξινα υλικά ελαττώνει τις συνθήκες διάβρωσης. Σχηματίζει επίσης σάπωνες εμποδίζοντας την καταβύθιση των πιγμένων μέσα στο δοχείο με το πέρασμα του χρόνου, αλλά προκαλεί ζελάρισμα σε πολύ όξινους φορείς (Τσαούσογλου Π. 1998).

IV. Φυλλιδωτά πιγμέντα

Ως φυλλιδωτά πιγμέντα χρησιμοποιούνται κυρίως τα λεπιδώδη οξείδια σιδήρου, αλλά και η σκόνη Αλουμινίου (Al), ο γραφίτης (graphite) και τα φυλλίδια υάλου.

Λεπιδώδη οξείδια σιδήρου (micaceous iron oxide, MIOX, Fe₂O₃)

Τα λεπιδώδη οξείδια σιδήρου έχουν γκρι μεταλλική απόχρωση, ειδικό βάρος 4,9g/cm³, απορρόφηση ελαίου 11g/100g, σκληρότητα 6 mohs και pH=7,7. Οι αντιδιαβρωτικές ικανότητες τους οφείλονται στο λεπιδώδες σχήμα τους. Όταν εφαρμόζονται τα χρώματα που περιέχουν MIOX, τα λεπτά πλακοειδή πιγμέντα προσανατολίζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να εκτείνονται σε επίπεδα σχεδόν παράλληλα προς την επιφάνεια του μετάλλου. Έτσι σχηματίζονται στρώσεις που η μια σκεπάζει την άλλη δυσχεραίνοντας τη διείσδυση της υγρασίας και των διαβρωτικών ιόντων. Επίσης ενισχύουν από μηχανικής άποψης τον υμένα του χρώματος και προφυλάσσουν το συνδετικό μέσο από την αποικοδομητική δράση της υπεριώδους ακτινοβολίας. Τέλος είναι συμβατά με όλες τις ρητίνες (Τσαούσογλου Π. 1998).

V. Φωσφορικά πιγμέντα

Έχει προταθεί η χρήση, εκτός του φωσφορικού ψευδάργυρου (Zn₃(PO₄)₂·2÷4 H₂O), του φωσφορικού χρώμιου (CrPO₄·3H₂O), του φωσφορικού αλουμινίου (Zinc Aluminium Phosphate Hydrate, Zn₃Al(PO₄)₂, 4-8 H₂O), του φωσφορικού ασβέστιου-μαγνήσιου, του φωσφορικού βάριου (Barium Phosphate Ba₃(PO₄)₂), του φωσφορικού αλουμινο-ψευδάργυρου (Zinc-aluminium phosphate, xZn₃(PO₄)₂·yAlPO₄·zH₂O), του φωσφορικού σιδηρο-ψευδάργυρου (zinc-iron phosphate, wZn₃(PO₄)₂·xFeO(OH)·yFeHPO₄·zH₂O) και του φωσφορικού μολυβδενιο-ψευδάργυρου (Zinc phosphomolybdate, xZn₃(PO₄)₂·yZnMoO₄·zH₂O) (Bethencourt, 2003; Kukackova, Vraštilová, Kalendova, 2013).

VI. Πιγμέντα οξειδίων του σιδήρου

Τα συνθετικά οξείδια του σιδήρου έχουν μεγάλη χρήση στην παρασκευή χρωμάτων, ενώ τα φυσικά χρησιμοποιούνται λιγότερο. Τα πιγμέντα οξειδίων του σιδήρου έχουν χαμηλό κόστος, σταθερότητα στο φως, καλή δύναμη χρωματισμού, δεν είναι τοξικά και συνεργάζονται καλά με πολλές ρητίνες.

Τα πιγμέντα οξειδίων του σιδήρου χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

Κίτρινα οξείδια του σιδήρου (FeOOH)

Κόκκινα οξείδια του σιδήρου (Fe_2O_3)

Μαύρα οξείδια του σιδήρου (Fe_3O_4)

Καφέ οξείδια του σιδήρου (μίγμα των προηγούμενων)

Τα φυσικά οξείδια του σιδήρου προέρχονται από μεταλλεύματα, όπως ο αιματίτης, ο λεμονίτης, ο σιδερίτης και ο μαγνητίτης και προέρχονται από χώρες όπως η Κύπρος, Η Ισπανία, η Ιταλία, η Γαλλία, οι ΗΠΑ κλπ

Τα συνθετικά πιγμέντα οξείδια του σιδήρου παρασκευάζονται από τον ένυδρο θειικό σίδηρο ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), τον δισθενή και τρισθενή χλωριούχο σίδηρο και διάφορα παλιοσίδηρα. Τα συνθετικά πιγμέντα οξείδια του σιδήρου παρουσιάζουν μεγαλύτερη χημική καθαρότητα και πιο ομοιόμορφο μέγεθος σωματιδίων από τα φυσικά.

1. Κίτρινα οξείδια του σιδήρου (Yellow Iron Oxides)

Τα φυσικά, κυμαίνονται στο χρώμα από θαμπό κίτρινο έως σκούρο κιτρινοκαφέ, αλλά έχουν περιορισμένο εύρος αποχρώσεων σε σχέση με τα συνθετικά παρασκευαζόμενα οξείδια. Έχουν καθαρότερα και φωτεινότερα χρώματα σε συνδυασμό με μεγαλύτερη χρωματική δύναμη λόγω της μεγαλύτερης καθαρότητας τους. Τόσο τα φυσικά όσο και τα συνθετικά οξείδια είναι ανθεκτικά στα αλκάλια και τα οργανικά οξέα, αλλά μπορεί να αποχρωματιστούν από ανόργανα οξέα. Σε αυξημένες θερμοκρασίες μπορεί να συμβεί αλλαγή των αποχρώσεων. Τα οξείδια του σιδήρου απορροφούν την ακτινοβολία UV και έχουν προστατευτική επίδραση σε εξωτερικά χρώματα.

2. Κόκκινα οξείδια του σιδήρου (Red Iron Oxides)

Τα φυσικά κόκκινα οξείδια, όπως αυτά που προέρχονται από την εξόρυξη μεταλλεύματος αιματίτη και τα συνθετικά κόκκινα οξείδια του σιδήρου χρησιμοποιούνται ως πιγμέντα. Η παρουσία προσμείξεων μαζί με τη διακύμανση στην περιεκτικότητα του οξειδίου του σιδήρου είναι η αιτία που τα πιγμέντα αυτά έχουν χρώματα που κυμαίνονται από πορτοκαλί-κόκκινο σε βαθύ καφέ. Τα φυσικά οξείδια χρησιμοποιούνται σε timber stains λεκέδες ξυλείας και σε μεταλλικά αστάρια χαμηλού κόστους. Τα συνθετικά οξείδια έχουν μαλακότερη υφή και μεγαλύτερη καθαρότητα, δίνοντας φωτεινότερα, καθαρότερα χρώματα και μεγαλύτερη δύναμη χρωματισμού. Τα φυσικά και τα συνθετικά οξείδια είναι ανθεκτικά στα αλκάλια και τα οργανικά οξέα αλλά μπορεί να αντιδρούν σε ανόργανα οξέα και στις υψηλές θερμοκρασίες. Απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία και αυξάνουν την αντίσταση των φιλμ χρώματος στο ξεθώριασμα.

3. Μαύρα οξείδια του σιδήρου (Black Iron Oxides)

Είναι συνθετικά πιγμέντα χαμηλής δύναμης χρωματισμού και χρησιμοποιούνται για να δώσουν χρώμα σε πληρωτικά και αστάρια. Τα πιγμέντα κοκκινίζουν όταν θερμαίνονται, αλλά γενικά έχουν καλή ανθεκτικότητα στα χημικά (Lambourne & Strivens, 1999).

4.4.5. Πληρωτικά υλικά

Τα πληρωτικά υλικά (fillers) απλώς συμπληρώνουν τον όγκο με αδιάλυτα συστατικά όπως επιτάσσουν οι προδιαγραφές του χρώματος, δηλαδή το PVC (Pigment Volume Concentration). Προσφέρουν σταθερότητα κατά την αποθήκευση του χρώματος, ενισχύουν την πρόσφυση και τις μηχανικές του αντοχές. Ελαττώνουν το συνολικό κόστος παραγωγής

του χρώματος υποβαθμίζοντας την ποιότητα. Ως πληρωτικά υλικά χρησιμοποιούνται το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), το θειικό βάριο (BaSO_4), η μίκα ($\text{K}_2\text{O}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$), η κιμωλία, ο καλσίτης, δολομίτες, πυριτικές πούδρες, τάλκης, καολίνης, κλπ.

4.4.6. Πρόσθετα

Τα πρόσθετα (additives) είναι υλικά που προστίθενται σε μικρές ποσότητες για την πρόσδοση επιθυμητών ιδιοτήτων και την αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων στα χρώματα.

Χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν τη σταθερότητα των οργανικών επιστρωμάτων στα δοχεία, να αποτρέψουν την ιζηματοποίηση των πιγμένων, να επιταχύνουν την ξήρανση, να εμποδίσουν την ανάπτυξη μυκήτων στο οργανικό επίστρωμα, να εξασφαλίσουν και να βελτιώσουν την πρόσφυση και τη συνοχή μετά την εφαρμογή του οργανικού επιστρώματος, να σταθεροποιήσουν το ιξώδες και να προβάλλουν εμπόδιο στη δημιουργία κρούστας κατά την αποθήκευση των οργανικών επιστρωμάτων.

Στην περίπτωση των υδατικών χρωμάτων και των χρωμάτων υψηλών στερεών η επίδραση αυτή είναι μεγαλύτερη παρά στα κλασσικά χρώματα. Ο λόγος είναι ότι σε αυτά τα είδη χρωμάτων, τα πρόσθετα συχνά παίζουν ένα ρόλο διορθωτικό και βοηθούν να γίνει δυνατή η επίτευξη των ιδιοτήτων αυτών.

Η επικέντρωση στις πράσινες τεχνολογίες, τη βιωσιμότητα, τις νανοτεχνολογίες, την επίτευξη χαμηλότερου κόστους αλλά και ασφαλέστερων προϊόντων οδήγησε στην εισαγωγή νεότερων προσθέτων. Η βιομηχανία απαιτεί από τα «πράσινα» πρόσθετα να αποδίδουν το ίδιο ή και καλύτερα με τα παραδοσιακά και να συνδυάζουν εκτελεστικότητα και αποδοτικότητα μαζί με το μικρότερο κόστος. Τα πρόσθετα γενικά κατηγοριοποιούνται με βάση τη λειτουργία τους και όχι με τη χημική σύνθεση ή τη φυσική κατάσταση (Koleske, Springate and Brezinski, 2013).

Αντιαφριστικά (antifoaming agents)

Αφρός είναι η διασπορά φυσαλίδων αέρα μέσα στην υγρή μάζα του χρώματος και σχηματίζεται κατά την παρασκευή, αποθήκευση ή άντλησή του. Συχνά ο αφρός σταθεροποιείται και γύρω από κάθε φυσαλίδα σχηματίζεται ένας λεπτός υμένας συνδετικού μέσου. Οι υμένες των φυσαλίδων συνενώνονται σχηματίζοντας μια παχειά μεμβράνη με βλαβερές συνέπειες στην ποιότητα του χρώματος. Για αυτόν τον λόγο προστίθενται αντιαφριστικά, που προλαμβάνουν τον σχηματισμό αφρού και αποσταθεροποιούν τις φυσαλίδες που τυχόν έχουν σχηματιστεί.

Αντιοξειδωτικά πρόσθετα (antioxidants)

Χρησιμοποιούνται για την αποφυγή σχηματισμού πήγματος στα τοιχώματα των δοχείων φύλαξης και για να ελαττώσουν την οξείδωση της περίσσειας του χρώματος που στραγγίζει από τα αντικείμενα και ανακυκλώνεται.

Αντιπετσωτικά (antiskin)

Τα αντιπετσωτικά έχουν ως σκοπό να εμποδίσουν την εμφάνιση της ανεπιθύμητης μεμβράνης («πέτσας») στο δοχείο κατά τον χρόνο αποθήκευσης των χρωμάτων.

Αντικαθιστικά (antisetling)

Επηρεάζουν τη ροή και ελαττώνουν την προς τα κάτω ροή του χρώματος αμέσως μετά την επικάλυψη, αποτρέποντας την ανομοιόμορφη κάλυψη του κάτω άκρου του αντικειμένου.

Antifouling

Τα προϊόντα antifouling είναι υλικά που εμποδίζουν την ανάπτυξη μυκήτων και την επικόλληση οστράκων στην υποθαλάσσια ή τη βυθισμένη επιφάνεια ενός σκάφους.

Απορροφητές UV (UV absorbers)

Οι απορροφητές UV ακτινοβολίας ελαττώνουν την οξειδωτική αποσύνθεση της ρητίνης του χρώματος εξαιτίας της υπεριώδους ακτινοβολίας.

Γαλακτοματοποιητές (emulsifiers)

Οι γαλακτοματοποιητές χρησιμοποιούνται κυρίως στην παρασκευή υδατικών επιχρισμάτων γαλακτωμάτων. Προστιθέμενα στα χρώματα διασποράς λειτουργούν σαν σταθεροποιητές κατά το διάστημα αποθήκευσης και βοηθούν στη διατήρηση του χρώματος.

Διαμορφωτές επιστρώματος

Επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά της ροής προκειμένου να μπορεί να χρησιμοποιηθεί η κατάλληλη μέθοδος επίχρισης.

Διασπορείς και Διαβρέκτες (dispersing and wetting agents)

Οι διασπορείς προσκολλώνται στην επιφάνεια των πιγμέντων δημιουργώντας μια προστατευτική ασπίδα ηλεκτροστατικής ή στερεοπαρεμποδιστικής μορφής που δεν επιτρέπει την επανασυσσωμάτωση των διεσπαρμένων σωματιδίων. Οι διαβρέκτες είναι τασιενεργά μέσα που επιτρέπουν τη διαβροχή των πιγμέντων από το συνδετικό μέσο.

Επιφανειοδραστικά (surfactants)

Οι επιφανειοδραστικές ουσίες είναι ενώσεις οι οποίες όταν προστίθεται σε ένα υγρό μεταβάλλουν τις ιδιότητές του όταν έρχεται σε επαφή με ένα άλλο υγρό, στερεό ή αέριο. Είναι πολυλειτουργικά, γιατί βελτιώνουν την επιπέδωση (leveling), την ανθεκτικότητα σε χαραγή, βοηθούν στην πρόληψη κρατήρων, της εμφάνισης «φλούδας πορτοκαλιού», fish eyes, οπών και την επίπλευση του πιγμέντου. Αυτές οι χημικές ουσίες μειώσουν την επιφανειακή τάση και βελτιώνουν τη διαβροχή και τη διασπορά (wetting agents), βοηθούν στη διασπορά των πιγμέντων (dispersants), αναστέλλουν τον σχηματισμό αφρού (defoamers, αντιαφριστικά), αν και άλλες σταθεροποιούν τον αφρό και προκαλούν ή να βελτιώνουν τον σχηματισμό γαλακτώματος (emulsifiers, γαλακτοματοποιητές).

Ματαριστικά (flattening / matting agents)

Πρόκειται για μια μεγάλη ποικιλία από φυσικά και συνθετικά υλικά που προστίθενται στα επιχρίσματα για να επηρεάσουν κυρίως τη γυαλάδα. Όταν το φως ανακλάται από μία λεία επιφάνεια, η επιφάνεια φαίνεται να είναι γυαλιστερή. Όταν το φως διαχέεται χτυπώντας την επιφάνεια, αντί να ανακλάται, θα δημιουργηθεί ματ εμφάνιση

Μυκητοκτόνα και βακτηριδιοκτόνα (Biocide / Fungicide)

Τα βακτηριδιοκτόνα είναι υλικά με τοξικές ιδιότητες που εμφανίζονται σε μέρη που επεξεργάζονται τρόφιμα όσο και μέσα στα κουτιά των πλαστικών χρωμάτων.

Τα μυκητοκτόνα καταπολεμούν τους μύκητες των επιχρισμάτων.

Ξηραντικά ή στεγνώματα πρόσθετα (siccatives / driers)

Τα στεγνώματα ενεργούν καταλυτικά ως μεταφορείς οξυγόνου και ελαττώνουν τον χρόνο στεγνώματος. Είναι κυρίως μεταλλικά άλατα (άλατα κοβαλτίου, μολύβδου, ασβεστίου και μαγγανίου), σάπωνες λινολεϊκού, αβιετικού ή ναφθενικού οξέος και άλατα συνθετικών οξέων, όπως του οκταϊκού οξέος.

Πηκτικά (thickeners)

Είναι υλικά που χρησιμοποιούνται για να πυκνώσει (να αυξήσει το ιξώδες) ενός υγρού. Τα πηκτικά παρέχουν την κατάλληλη συνάφεια με τις επικαλύψεις, ενισχύουν την εφαρμογή μίας επαρκούς πάχους επικάλυψης σε ένα υπόστρωμα, αναστέλλουν τον διαχωρισμό φάσεων και προλαμβάνουν την κάθιση του πιγμέντου.

Ρεολογικά (rheology modifiers)

Τα πρόσθετα ρεολογίας προστίθενται για να αποφεύγεται η καθίζηση των σωματιδίων των πιγμένων στο έτοιμο χρώμα.

Ρυθμιστές pH (pH-control agents)

Χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται για την αύξηση, μείωση ή ρύθμιση του pH των υδατοδιαλυτών συνθέσεων. Η ρύθμιση του pH σε υδατοδιαλυτές επικαλύψεις είναι σημαντική προκειμένου να διατηρήσουν σταθερή διασπορά πιγμέντου, να ελαχιστοποιήσουν τη διάβρωση, να μειώσουν την ανάπτυξη μικροοργανισμών και γενικά να βελτιστοποιήσουν την απόδοση της επικάλυψης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης και της εφαρμογής.

Συντηρητικά (preservatives)

Τα συντηρητικά δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη μικροοργανισμών μέσα ή πάνω σε οποιοδήποτε υπόστρωμα.

Φιλμογόνα (coalescing agents)

Τα φιλμογόνα έχουν υψηλό σημείο βρασμού το οποίο, όταν προστίθεται σε μία επικάλυψη, συμβάλλει στον σχηματισμό φιλμ μέσω της προσωρινής πλαστικοποίησης (μαλάκωμα) του φορέα. Διευκολύνουν έτσι τη μετάβαση από την υγρή στη στερεά κατάσταση κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχηματισμού του φιλμ. Τα επίπεδα των φιλμογόνων επηρεάζουν τον χρόνο στεγνώματος και τις τελικές ιδιότητες του φιλμ. Σημαντικές ιδιότητες ενός φιλμογόνου περιλαμβάνουν την υδρολυτική σταθερότητα, τη διαλυτότητα στο νερό, τον ρυθμό εξάτμισης, το σημείο πήξης, την οσμή και το χρώμα.

Πίνακας 4.4. Κύριες κατηγορίες προσθέτων χρωμάτων (Μπελεγράτης, 2001).

Στεγνωτικά Αντιπετωτικά	Άλατα Co, Pb, Ca, Mn, Zr, Zn Sr. Κετοξίμες, Αλδοξίμες, Παράγωγα φαινόλης, Υδραζίνες.
Πρόσθετα Antifouling	Μονοξειδίο του χαλκού, οργανικές ενώσεις Υδραργύρου, ενώσεις τριαλκυλικού κασσιτέρου, ενώσεις χαλκού και αρσενικού.
Μυκητοκτόνα, βακτηριδιοκτόνα και συντηρητικά ξύλου	Φαινύλ-οξικός Υδράργυρος, Φαινύλ-ολεϊκός Υδράργυρος, Ενώσεις Αλκύλ-κασσιτέρου, χλωριωμένες φαινόλες, χλωριωμένη τριασετίνη, <i>Thiocarbamat, Adamantan.</i>
Γαλακτοματοποιητής	Ανιονικοί Μη ιονικοί. Άλατα Ρητινικών και Ναφθενικών οξέων, παράγωγα θειϊκών και σουλφονικών οξέων με αμμωνία, Αμίνες, Αλκυλοαμίνες ή παράγωγα αιθυλεν οξειδίου με λιπαρά οξέα, Αλκοόλες, Αλκυλοφαινόλες π.χ. <i>Nonylphenol.</i>
Αντιαφριστικά	α. Σε συστήματα νερού. Ορυκτέλαια, παραφινέλαια με γαλακτοματοποιητές ή σιλκόνες. β. Σε συστήματα διαλυτών. Μείγματα διαλυτών και πολυσιλικονούχα παρασκευάσματα με M.B. 5-50000.
Απορροφητές ακτινοβολίας UV	Βενζίλιο, Σαλικικό οξύ, κινναμωνικό οξύ, Βενζοτριαζόλιο, Ferrocen, π.χ. <i>Hydroxybenzoferricen.</i>
Ανασχετικά διαβρώσεως και υγρασίας	Βενζοϊκό νάτριο, τριθυόνη, τεταρτοταγή άλατα αμμωνίας, νιτρώδη.
Πρόσθετα Ρεολογίας	Φυσικοί Μπετονίτες, τροποποιημένοι με οργανικές ενώσει, σύνθετοι Hectorite, πυριτικά οξέα, στεατικά άλατα, υδρογονωμένο κικινέλαιο, Μεθυλοκυτταρίνη, ακρυλικά και πολυουρεθανικά Παράγωγα.
Διαβρέκτες, Διασπορείς	Υδρόφιλο-Υδρό φοβο- 1. Ανιονικοί. $[NH_4]^+ - [OOC-(CH_2)_x \cdot CH_3]$ 2. Κατιονικοί. $[Cl]^- + [NH_3-(CH_2)_x \cdot CH_3]$ 3. Ηλεκτροουδέτεροι. $[CH_3-(CH_2)_x \cdot CH_2-NH_3]^+ - [OOC-CH_2 \cdot (CH_2)_x \cdot CH_3]$ 4. Αμφότεροι. $H_2N-CH_2-(CH_2)_x-CH_2-COOH$ 5. Μη Ιονικοί. $HO-C_2H_4-O-(C_2H_4)_x-C_2H_4O-CH_2-(CH_2)_x-CH_2-CH_3$

4.5. Ποιοτικά χαρακτηριστικά – Ιδιότητες

Το κάθε χρώμα χαρακτηρίζεται από ορισμένες φυσικές, χημικές και φυσικοχημικές ιδιότητες, που επηρεάζουν την καταλληλότητα του για ορισμένη χρήση, την εφαρμογή του και τη συμπεριφορά του (Τ.Ε.Ε., 2006).

Οι ιδιότητες των χρωμάτων διακρίνονται σε 3 κατηγορίες:

Ιδιότητες υγρού χρώματος (στο κουτί)

Ιδιότητες κατά την εφαρμογή

Ιδιότητες του ξηρού υμένα

4.5.1. Ιδιότητες υγρού χρώματος

Αυτές είναι οι ιδιότητες του χρώματος μέσα στο κουτί, όπως:

Το **ιξώδες** (viscosity) είναι η αντίσταση ενός υγρού στη διάτμηση (δηλαδή στην ανάδευση) και ενδιαφέρει περισσότερο αυτόν που θα εφαρμόσει το χρώμα, ειδικά όταν αυτό εφαρμόζεται με πιστόλι, οπότε τότε αραιώνεται το χρώμα μέχρι κάποιου δεδομένου ιξώδους.

Η **πυκνότητα** (density) είναι ο λόγος της μάζας του χρώματος προς τον όγκο του. Επειδή τα χρώματα πωλούνται σε όγκο, η αναγραφόμενη πυκνότητα καθορίζει τη μάζα του χρώματος που περιέχεται στο δοχείο.

Το **σημείο ανάφλεξης** (flash point) είναι η ελάχιστη θερμοκρασία ενός υγρού, στην οποία οι εκλυόμενοι ατμοί είναι αρκετοί για να σχηματίσουν με τον αέρα μίγμα που αναφλέγεται σε καθορισμένες συνθήκες. Η γνώση του σημείου ανάφλεξης είναι σημαντική για την ασφάλεια κατά την αποθήκευση και τη μεταφορά του χρώματος.

Ο **βαθμός λειοτρίβησης** (grinding degree) καθορίζει την τελική υφή του χρώματος, αφού εφαρμοστεί και στεγνώσει και ποικίλλει ανάλογα με την κατηγορία του χρώματος, τη χρήση που προορίζεται και την ποιότητα του χρώματος.

Η **περιεκτικότητα στερεών κατ' όγκον** (content by volume) είναι η εκατοστιαία αναλογία του όγκου των στερεών (= μη πτητικών) συστατικών ενός χρώματος προς τον συνολικό όγκο του χρώματος. Είναι δε τα στερεά συστατικά του χρώματος, τα πιγμέντα και ο φορέας, δηλαδή αυτό που μένει στο βαμμένο αντικείμενο μετά την εξάτμιση των πτητικών, δηλαδή των διαλυτών. Από την περιεκτικότητα μη πτητικών κατ' όγκον μπορεί να υπολογιστεί η θεωρητική απόδοση ενός χρώματος.

Η **απόδοση** (spreading rate) ενός χρώματος (τα τετραγωνικά μέτρα που καλύπτει ένα λίτρο από το χρώμα σε δεδομένο πάχος ξηρού υμένα) ενδιαφέρει περισσότερο απ' όλα τον χρήστη. Η απόδοση είναι αντιστρόφως ανάλογη του πάχους.

Ο **χρόνος ζωής μίγματος** (pot life) στα χρώματα δυο συστατικών είναι ο χρόνος κατά τον οποίο το μίγμα των 2 συστατικών μπορεί να εφαρμοσθεί στην επιφάνεια προς βαφή χωρίς να έχει χάσει τις ιδιότητές του. Ο χρόνος αυτός είναι συγκεκριμένος σε κάθε κατηγορία χρωμάτων και εξαρτάται από τη θερμοκρασία: όταν ανεβαίνει η θερμοκρασία, ο χρόνος μειώνεται.

4.5.2. Ιδιότητες χρώματος κατά την εφαρμογή (βαφή)

Αυτές οι ιδιότητες ενδιαφέρουν πολύ περισσότερο αυτόν που εφαρμόζει το χρώμα. Οι κυριότερες από τις ιδιότητες κατά την εφαρμογή είναι:

Τα **στάδια ξήρανσης** ενός χρώματος:

- «τράβηγμα» (set): οι διαλύτες έχουν εξατμισθεί και υ υμένας «τραβάει».
- ξηρό ως προς σκόνη (dust dry): όταν πέσει σκόνη πάνω στον υμένα, μπορεί να απομακρυνθεί χωρίς να κολλά
- ξηρό προς στοίβαξη (stackable): τα βαμμένα αντικείμενα μπορούν να στοιβαχτούν χωρίς να κολλήσουν
- ξηρό στην αφή (touch dry): ο υμένας δεν κολλά όταν ακουμπήσει κανείς το δάκτυλο του
- πλήρης ξήρανση (fully hardened, through dry): ο υμένας είναι ξηρός σε βάθος. Όταν ο αντίχειρας περιστρέφεται με πίεση πάνω στην επιφάνεια του επιχρίσματος, αυτό δεν αλλοιώνεται.

Συνήθως ορίζονται τρεις χρόνοι ξήρανσης:

Ο **χρόνος ξήρανσης δι' επαφής**, δηλαδή όταν το χρώμα παύει να είναι υγρό (ρευστό). Πρακτικά λέγεται και "τράβηγμα". Το χρώμα αρχίζει να κολλά.

Ο **χρόνος επιφανειακής ξήρανσης**, όπου παύει το χρώμα να κολλά, αλλά δεν είναι ακόμα τελείως ξηρό και αφήνει ίχνος στην ελαφρά χάραξη.

Τέλος ο **χρόνος πλήρους ξήρανσης**, όπου αν περιστραφεί ο αντίχειρας με πίεση πάνω στον υμένα του χρώματος, αυτός δεν παραμορφώνεται.

Στα χρώματα 2 συστατικών οι χρόνοι ξήρανσης συνδέονται και με τη χημική αντίδραση (curing). Οι χρόνοι ξήρανσης επηρεάζονται πάρα πολύ από τις καιρικές συνθήκες: θερμοκρασία, σχετική υγρασία και άνεμο, από το πάχος του υμένα και πολλούς άλλους παράγοντες. Στα τεχνικά φυλλάδια αναφέρονται συνήθως χρόνοι ξήρανσης σε 20, 23 ή 25°C και 50% σχετική υγρασία, υπό ελεγχόμενες συνθήκες και στο συνιστώμενο πάχος ξηρού υμένα.

Ο **χρόνος πλήρους αντίδρασης** (full curing) είναι ο χρόνος ολοκλήρωσης της αντίδρασης, μετά τον οποίον το αντικείμενο μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκεί όπου προορίζεται, π.χ. ένα πάτωμα να πατηθεί από ανθρώπους ή οχήματα, μια δεξαμενή να γεμιστεί με υλικό, κλπ. Για τα χρώματα 2 συστατικών, ο χρόνος αυτός συνήθως είναι 7 μέρες. Πριν περάσει αυτός ο χρόνος, το χρώμα δεν έχει ακόμα αποκτήσει όλες τις χημικές και μηχανικές του ιδιότητες.

Η **ευκολία εφαρμογής** (ease of application) είναι μια ιδιότητα που δεν περιγράφεται εύκολα σαν ένα φυσικοχημικό φαινόμενο, είναι όμως χαρακτηριστική για ένα χρώμα και σημαντική γι' αυτόν που το εφαρμόζει.

Ως **δάκρυσμα** (sagging) χαρακτηρίζεται το «τρέξιμο» του χρώματος όταν αυτό εφαρμόζεται με πάχος υγρού υμένα πάνω από ένα ορισμένο όριο.

Η **συμβατότητα** (compatibility) με την επιφάνεια ορίζεται είτε ως προς το υλικό που θα βαφεί (μέταλλο, ξύλο, τσιμέντο), είτε ως προς άλλο στρώμα χρώματος (υπόστρωμα, αστάρι ή παλαιότερο χρώμα). Σημαντική είναι η συμβατότητα μεταξύ ξηρών στρώσεων χρωμάτων, διότι ένα χρώμα δεν εφαρμόζεται πάνω σε οποιοδήποτε άλλο. Τα δύο χρώματα

μπορεί να μην είναι συμβατά, οπότε θα προκύψει αποκόλληση του χρώματος. Σε ένα σύστημα χρωμάτων χρησιμοποιείται ο ίδιος τύπος σε όλες τις στρώσεις (π.χ. εποξεικό), αλλά υπάρχουν και συστήματα με διάφορα είδη χρωμάτων σε κάθε στρώση, όπως π.χ. υποστρώματα εποξεικά και τελικό πολυουρεθάνης.

Το **πάχος υγρού υμένα** (wet film thickness) είναι φυσικό μέγεθος που μετράται κατά την εφαρμογή και από το οποίο προκύπτει και το πάχος ξηρού υμένα (dry film thickness). Υπάρχουν πολλές μέθοδοι μέτρησης που καλύπτονται από διάφορα πρότυπα, οι δε συσκευές είναι μικρές, εύχρηστες και πολύ οικονομικές.

4.5.3. Ιδιότητες ξηρού υμένα χρώματος

Απόχρωση (hue): αφορά μόνο τα τελικά χρώματα. Συγκρίνεται με κάποιο δείγμα που συνοδεύει την προδιαγραφή ή γίνεται αναφορά σε κάποιο από τα διεθνή πρότυπα χρωματολογία π.χ. RAL, B.S., U.S. Federal standard 595 κτλ. ή σε χρωματολόγιο του κατασκευαστή.

Στιλπνότητα (gloss) είναι η οπτική ιδιότητα μιας επιφάνειας που χαρακτηρίζεται από την ικανότητα της να αντανακλά το φως. Μετράται με στιλπνόμετρα 60, 20 ή 85 μοιρών, ανάλογα με τις προδιαγραφές και τα πρότυπα που εφαρμόζονται. Ξεχωριστή ιδιότητα είναι η διατήρηση της στιλπνότητας.

Καλυπτικότητα (hiding power) είναι η ικανότητα ενός χρώματος να εξαλείψει την απόχρωση ή τις διαφορές αποχρώσεων μιας επιφάνειας. Η καλυπτικότητα μετράται σε ορισμένη απόδοση ή σε ορισμένο πάχος υμένος.

Η **λευκότητα** αφορά μόνο τα λευκά χρώματα. Σπάνια ενδιαφέρει σε βιομηχανικές χρήσεις. Περισσότερο αφορά στα διακοσμητικά και οικοδομικά χρώματα ή όταν βάφονται αντικείμενα καταναλωτικά, όπως ψυγεία, ηλεκτρικές μικροσυσκευές κτλ. Η διατήρηση της λευκότητας είναι σημαντική ξεχωριστή ιδιότητα.

Ευκαμψία (flexibility) / **ελαστικότητα** (elasticity) είναι η ικανότητα ενός ξηρού υμένα να παρακολουθεί τις παραμορφώσεις της βαμμένης επιφάνειας χωρίς να καταστρέφεται. Υπάρχουν πολλές δοκιμές, που καλύπτονται από πρότυπα, όπως η δοκιμή κάμψης γύρω από άξονα, κυλινδρικό ή κωνικό, η δοκιμή κοίλανσης, όπου πάνω στο δοκίμιο δημιουργείται μία κοίλανση με πολύ μικρή ταχύτητα και η δοκιμή πίπτοντος βάρους, ίσια ή ανάποδα, σαν την κοίλανση αλλά απότομα με ελεύθερη πτώση βάρους.

Σκληρότητα (hardness) είναι η ιδιότητα ενός ξηρού υμένα να αντιστέκεται στην επίδραση μηχανικών επιδράσεων όπως είναι η αυλάκωση, η χάραξη και μετράται με διάφορες μεθόδους, όπως η μέτρηση απόσβεσης ταλαντώσεων εκκρεμούς, η χάραξη και η αυλάκωση.

Πρόσφυση (adhesion) είναι το σύνολο των συνδεδετικών δυνάμεων μεταξύ ενός ξηρού υμένα και της προς βαφή επιφάνειας. Η πιο πρακτική μέθοδος για τον έλεγχο της πρόσφυσης είναι η μέθοδος της σταυροειδούς χάραξης.

Πάχος ξηρού υμένα (Dry Film Thickness, DFT) είναι το πάχος της επικάλυψης που παραμένει στην επιφάνεια του υποστρώματος μετά τη σκλήρυνση της επικάλυψης (ISO 2808-2007) και μετράται σύμφωνα με το αντίστοιχο πρότυπο ASTM D4138-94(R01).

Τα χρώματα ελέγχονται ως προς την **αντοχή** τους στις **καιρικές συνθήκες** (weathering resistance) είτε με φυσική έκθεση στο ύπαιθρο ή με διάφορες συσκευές επιταχυνόμενης γήρανσης. Έχουν δημοσιευθεί πολλά άρθρα που δίνουν συντελεστές συνάρτησης της επιταχυνόμενης γήρανσης με την πραγματική, καμία όμως δεν είναι απολύτως αξιόπιστη, διότι η φυσική έκθεση επηρεάζεται από τόσους συντελεστές, που είναι αδύνατον να ληφθούν όλοι αυτοί υπόψη κατά τους υπολογισμούς.

Τέλος ελέγχονται η **αντοχή σε διάφορα περιβάλλοντα**, η **αντοχή σε διάφορα υγρά** (resistance to liquids) και η **αντοχή στην τριβή** (abrasion resistance).

Για τον έλεγχο όλων των ιδιοτήτων εφαρμόζονται τα πρότυπα του ΕΛΟΤ ή των άλλων διεθνών οργανισμών (ASTM, ISO, EN) καθώς και κατάλληλες συσκευές και όργανα.

4.5.4. Πολυστρωματικά συστήματα

Η αύξηση του πάχους ενός επιστρώματος γενικά αυξάνει και την αντιδιαβρωτική του ικανότητα. Πολλές φορές όμως, η δράση μιας επικάλυψης δεν είναι ικανή να ανταπεξέλθει σε όλους τους διαβρωτικούς παράγοντες προστατεύοντας το υπόστρωμα. Επίσης, σε επικαλύψεις ενός στρώματος με μεγάλο πάχος εμφανίζονται αρκετές φορές φαινόμενα όπως ρωγμές λόγω εσωτερικών μηχανικών τάσεων.

Καλύτερη αντιδιαβρωτική προστασία επιτυγχάνεται με χρήση συστημάτων πολλαπλών επικαλύψεων.

Ένα πολυστρωματικό σύστημα επικάλυψης γενικά περιλαμβάνει τα εξής στρώματα:

Το **αστάρι** (primer): Εξασφαλίζει καλή πρόσφυση με τη μεταλλική επιφάνεια και επιπλέον παρέχει αντιδιαβρωτική προστασία μέσω των επιλεγέντων ανά περίπτωση αντιδιαβρωτικών πιγμέντων.

Το **ενδιάμεσο στρώμα** (intermediate coat): εφαρμόζεται μετά το αστάρι, απομονώνει το σύστημα υπόστρωμα-αστάρι από το περιβάλλον και χρησιμοποιείται κυρίως για κάλυψη ατελειών της επιφάνειας επικάλυψης όταν απαιτούνται λείες και ομοιόμορφες επιφάνειες.

Το **τελικό στρώμα** (top coat): Προστατεύει τα προηγούμενα στρώματα από τους διαβρωτικούς παράγοντες του περιβάλλοντος π.χ. υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία κλπ. Ελέγχει ιδιότητες της επιφάνειας του χρώματος, όπως είναι η απόχρωση και η στιλπνότητα.

4.6. Μέθοδοι εφαρμογής χρωμάτων

Τα χρώματα δεν μπορούν να εφαρμοσθούν σε οποιοδήποτε πάχος. Πρώτα για τεχνικούς λόγους, διότι αν το πάχος είναι πολύ μεγάλο, μπορεί το χρώμα να τρέξει και να παρουσιάσει προβλήματα εφαρμογής. Επίσης αν το πάχος μιας στρώσης είναι μεγαλύτερο από κάποιο όριο, μπορεί το χρώμα να στεγνώσει επιφανειακά πριν προλάβουν να εξατμισθούν τα πτητικά του συστατικά, τα οποία θα εγκλωβισθούν μέσα στον υμένα του χρώματος, οπότε θα παρουσιασθούν προβλήματα: ο υμένας θα είναι μαλακός, αργότερα με τη σταδιακή τελικά απομάκρυνση των πτητικών θα έχει πόρους, ζάρες, φουσκάλες ή άλλες ατέλειες (Τ.Ε.Ε., 2006; Ζαγγογιάννης, 1997).

Το συνιστώμενο πάχος κάθε στρώσης για κάποιο χρώμα αναφέρεται συνήθως στο τεχνικό φυλλάδιο (data sheet) του χρώματος. Στα συνήθη χρώματα: αλκυδικά, χλωριωμένου καουτσούκ, εποξεικά, πολυουρεθάνης κτλ., συνήθως συνιστάται πάχος ξηρού υμένα 30-50 μικρά για κάθε στρώση. Στα χρώματα High Build, συνήθως το πάχος κάθε στρώσεως κυμαίνεται από 80-200 μικρά.

A) Κατασκευές που βάφονται μια φορά και αργότερα πιθανόν χρειάζονται απλά κάποια συντήρηση, όπως είναι τα κτίρια, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, μικρότερες κατασκευές κτλ. και

B) Συστηματική βαφή του προϊόντος παραγωγής, συνήθως σε κάποια γραμμή παραγωγής.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι εφαρμογής ενός χρώματος σε μια επιφάνεια. Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το ιξώδες του χρώματος, η κατάσταση της επιφάνειας, υλικού, των χρωμάτων. Οι πιο συνηθισμένοι είναι με πινέλο, πιστόλι αέρος, πιστόλι χωρίς αέρα (airless spray), ρολό, εμβάπτιση.

I. Βαφή με πινέλο

Η βαφή με πινέλο είναι ο παλαιότερος τρόπος. Εφαρμόζεται σε μικρές επιφάνειες και κυρίως στα υποστρώματα, γιατί με το πινέλο επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή διείσδυση του χρώματος στους πόρους της επιφάνειας.

II. Βαφή με εμβάπτιση

Με τη μέθοδο αυτή, τα προς βαφή αντικείμενα κινούνται προς το δοχείο του χρώματος, είτε αντίθετα το δοχείο κινείται προς τα αντικείμενα με μικρή ταχύτητα. Κατόπιν τα αντικείμενα αφήνονται να στεγνώσουν και το επιπλέον χρώμα στραγγίζει. Χρησιμοποιείται σε μικρά σχετικά αντικείμενα που χρειάζεται να επικαλυφθούν πλήρως. Με τον τρόπο αυτόν εφαρμόζονται συνήθως τα χρώματα σε γραμμές παραγωγής.

III. Επικάλυψη με ροή

Μέθοδος παρόμοια με τη μέθοδο βαφής με εμβάπτιση που εφαρμόζεται σε αντικείμενα που είναι δύσκολο να εμβαπτιστούν. Σε αυτήν τη μέθοδο, το χρώμα κατευθύνεται προς τα αντικείμενα με μια σειρά κατάλληλα τοποθετημένων ακροφυσίων μέσα σε περιορισμένο χώρο και η περίσσεια στραγγίζει στην κυρίως δεξαμενή. Ακολουθώντας τα αντικείμενα αφήνονται να στραγγίσουν σε χώρο κορεσμένο σε ατμούς του διαλύτη. Έτσι γίνεται οικονομία στην κατανάλωση χρώματος. Η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως στην εφαρμογή ασταριών.

IV. Βαφή κουρτίνας

Στη μέθοδο αυτή το χρώμα πέφτει μέσα από μια λεπτή σχισμή σχηματίζοντας μια συνεχή κουρτίνα, καθώς τα προς βαφή αντικείμενα κινούνται πάνω σε μεταφορική ταινία. Η οπή της σχισμής και η ταχύτητα της μεταφορικής ταινίας είναι ρυθμιζόμενες. Ως μέθοδος παρουσιάζει μικρή απώλεια χρώματος, μικρή κατανάλωση ενέργειας και καθαρότερες επικαλύψεις, εφαρμόζεται όμως μόνο σε επίπεδες επιφάνειες.

V. Βαφή με ρολό

Είναι η πιο συχνά εφαρμοζόμενη μέθοδος για μεγάλες επίπεδες επιφάνειες χωρίς πολλές γωνίες, ανοίγματα και άλλες ανωμαλίες. Κλασική περίπτωση βαφής με ρολό είναι οι τοίχοι οικοδομών.

VI. Βαφή με ψεκασμό

Η μέθοδος αυτή είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη χάρη στην ταχύτητα εφαρμογής και την προσαρμοστικότητα της σε οποιοδήποτε σχήμα ή μέγεθος αντικειμένου. Χρώματα που στεγνώνουν γρήγορα δίνουν έτσι λείες επιφάνειες

Το πιστόλι αέρος χρησιμοποιείται για μεγάλες επιφάνειες και για ταχύτεγνα χρώματα όπου το πινέλο δεν προφταίνει να απλώσει καλά. Σ' αυτό διοχετεύεται αέρας από ένα ψεκαστήρα. Με το σχηματιζόμενο κενό αναρροφάται το χρώμα, το οποίο μαζί με τον αέρα ψεκάζεται πάνω στην επιφάνεια που βάφεται.

Στο πιστόλι χωρίς αέρα (airless spray), το χρώμα βρίσκεται μέσα σ' ένα πιεστικό δοχείο. Εφαρμόζεται υψηλή πίεση πάνω στην επιφάνεια του χρώματος, οπότε αυτό οδηγείται με ταχύτητα μέσα από το πιστόλι (χωρίς αέρα) και πάνω στην επιφάνεια. Αυτό το πιστόλι είναι πολύ συνηθισμένο στη βιομηχανική βαφή συντήρησης και τη ναυτιλία, για τα υψηλού ιξώδους χρώματα, όπως τα ενδιάμεσα χρώματα High Build, που το πιστόλι αέρος δεν μπορεί να προωθήσει και να απλωθούν καλά χωρίς να προηγηθεί αραίωση.

Παραλλαγή του πιστολιού αέρος είναι το ηλεκτροστατικό πιστόλι. Το χρώμα, το οποίο με κατάλληλα πρόσθετα γίνεται αγώγιμο, φορτίζεται ηλεκτρικά. Το αντικείμενο φορτίζεται αντίθετα και έτσι το χρώμα διοχετεύεται επιλεκτικά μόνο πάνω στο αντικείμενο. Με τον τρόπο αυτόν βάφονται μεταλλικά (αγώγιμα) αντικείμενα με περίεργα συνήθως σχήματα. Και αυτός ο τρόπος βαφής ενδείκνυται για γραμμές παραγωγής.

VII. Ηλεκτροφορητική βαφή

Η ηλεκτροφόρηση είναι η νεότερη μέθοδος βαφής και χρησιμοποιείται σε υδατοδιαλυτά χρώματα, όπου κολλοειδή σωματίδια σε διάλυμα κινούνται κάτω από την επίδραση εφαρμοζόμενου ηλεκτρικού πεδίου. Έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως μικρή απώλεια χρώματος, το φιλμ χρώματος είναι ανεξάρτητο από τις επιδράσεις της θερμοκρασίας και της υγρασίας του περιβάλλοντος και παρέχεται καλή επικάλυψη σε γωνίες και εσωτερικές επιφάνειες. Η ηλεκτροφορητική βαφή είναι η συνηθέστερη για το αστάρωμα του πλαισίου των αυτοκινήτων σε γραμμές παραγωγής της αυτοκινητοβιομηχανίας.

4.7. Χρώματα και βερνίκια φιλικά προς το περιβάλλον

Η Ε.Ε. δεσμεύεται για τη βελτίωση του περιβάλλοντος. Το ευρωπαϊκό οικολογικό σήμα μπορεί να απονεμηθεί σε παντός είδους χρώματα και βερνίκια εσωτερικών και εξωτερικών χώρων για ερασιτεχνική και επαγγελματική χρήση. Για αυτό έχει θεσπίσει το Λουλούδι στα οικολογικά προϊόντα που εγγυάται: περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από διαλύτες, μείωση των θειούχων εκπομπών κατά την παραγωγή, περιορισμό των επικινδύνων αποβλήτων από υποπροϊόντα κατά την παραγωγή διοξειδίου του τιτανίου, απουσία βαρέων μετάλλων και ουσιών επιβλαβών για το περιβάλλον και την υγεία, ελάχιστη καλυπτικότητα, αντίσταση στο υγρό τρίψιμο, αντίσταση στο νερό και πρόσφυση.

Οι καταναλωτές είναι σήμερα πιο ευαίσθητοι σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος. Τέσσερις στους πέντε ευρωπαίους καταναλωτές θα ήθελαν να αγοράζουν οικολογικότερα προϊόντα, υπό τον όρο να έχουν πιστοποιηθεί δεόντως από ανεξάρτητο οργανισμό.

4.7.1. Περιορισμός της χρήσης ουσιών επικίνδυνων για το περιβάλλον και την υγεία

• Το προϊόν πρέπει να μην ταξινομείται ως πολύ τοξικό, τοξικό, επικίνδυνο για το περιβάλλον, καρκινογόνο, τοξικό για την αναπαραγωγή, επιβλαβές, διαβρωτικό, ερεθιστικό ή μεταλλαξιογόνο, σύμφωνα με την οδηγία 1999/45/EK.

• Στα συστατικά πρέπει να μην περιλαμβάνονται:

- Βαρέα μέταλλα (ή ενώσεις τους) Cd, Pb, Cr VI, Hg, As, Ba (πλην του θειικού βαρίου), Se, Sb, Co (εξαιρουμένων του κοβαλτίου σε πιγμέντα και των αλάτων κοβαλτίου που χρησιμοποιούνται ως στεγνωτικό σε αλκυδικά χρώματα όπου το κοβάλτιο δεν υπερβαίνει 0,05% κατά μάζα στο τελικό προϊόν)

- Αιθοξυλιωμένες αλκυλοφαινόλες (APEOS) (πριν από τον χρωματισμό ή κατά τη διάρκειά του)

• Περιορισμένη περιεκτικότητα σε επικίνδυνες ουσίες:

- Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται κανένα συστατικό, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που χρησιμοποιούνται στον χρωματισμό, στο οποίο, κατά τον χρόνο της αίτησης, έχει αποδοθεί οποιαδήποτε από τις ακόλουθες φράσεις κινδύνου (ή συνδυασμός τους) που ορίζονται στην οδηγία 67/548/EOK ή 1999/45/EK: R23, R24, R25, R26, R27, R28, R33, R39, R40, R42, R45, R46, R48, R49, R60, R61, R62, R63 και R68.

- Δραστικά συστατικά στα οποία αποδίδεται οποιαδήποτε από τις φράσεις κινδύνου R23, R24, R25, R26, R27, R28, R39, R40 ή R48 (ή συνδυασμός τους) επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται ως συντηρητικά : $\leq 0,1\%$ (κατά μάζα) της συνολικής σύνθεσης του χρώματος

- Συστατικά, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που χρησιμοποιούνται στον χρωματισμό, στα οποία, κατά τον χρόνο της αίτησης, έχει αποδοθεί οποιαδήποτε από τις φράσεις κινδύνου N R50, N R50/53, N R51/53, N R52/53, R51, R52, ή R53 που ορίζονται στην οδηγία 67/548/EOK ή 1999/45/EK: $\leq 2\%$ κατά μάζα προϊόντος.

- Ενώσεις ισοθειαζολιόνης $\leq 0,05\%$ (κατά μάζα) προϊόντος, πριν ή μετά τον χρωματισμό (περιεκτικότητα των επιχρισμάτων ξύλου εξωτερικής χρήσης σε ενώσεις ισοθειαζολιόνης $\leq 0,02\%$ (κατά μάζα) προϊόντος

- Μίγμα 5-χλωρο-2-μεθυλ-2H-ισοθειαζολόνης-3 (αριθ. EK 247-500-7) και 2-μεθυλ-2H-ισοθειαζολόνης-3: $\leq 0,0015\%$ (κατά μάζα) προϊόντος

- Ελεύθερη φορμαλδεΐδη $\leq 0,001\%$ (κατά μάζα) μετά τον χρωματισμό

- Επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται στο προϊόν, πριν από τον χρωματισμό ή κατά τη διάρκειά του, μόνο αλογονωμένες ενώσεις οι οποίες, κατά τον χρόνο της αίτησης, είχαν υποβληθεί σε εκτίμηση κινδύνων και δεν είχαν ταξινομηθεί με απόδοση των φράσεων κινδύνου R26/27, R45, R48/20/22, R50, R51, R52, R53, R50/53, R51/53, R52/53 και R59 (ή συνδυασμών τους) σύμφωνα με τις οδηγίες 67/548/EOK και 1999/45/EK

- Επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται στο προϊόν, πριν από τον χρωματισμό ή κατά τη διάρκειά του, μόνο φθαλικές ενώσεις οι οποίες, κατά τον χρόνο της αίτησης, είχαν υποβληθεί σε εκτίμηση κινδύνου και δεν είχαν ταξινομηθεί με απόδοση των φράσεων κινδύνου R60, R61, R62, R50, R51, R52, R53, R50/53, R51/53 και R52/53 (ή συνδυασμών τους) σύμφωνα με την οδηγία 67/548/EOK και τις τροποποιήσεις της. Επιπροσθέτως, το προϊόν δεν επιτρέπεται να περιέχει φθαλικό δικοκτύλιο, φθαλικό δι-ισοεννεύλιο και φθαλικό δι-ισοδεκύλιο.

• Το προϊόν πρέπει να μην περιέχει πλήρως φθοριωμένες αλκυλοσουλφονικές ενώσεις (PFAS), πλήρως φθοριωμένα καρβοξυλικά οξέα (PFCA), συμπεριλαμβανομένου του υπερφθοροκτανικού οξέος (PFOA), και συναφείς ενώσεις που περιλαμβάνονται στους «Προκαταρτικούς καταλόγους PFOS, PFAS, PFOA, PFCA, συναφών ενώσεων και χημικών

ουσιών που μπορούν να αποικοδομηθούν προς PFCA (όπως αναθεωρήθηκαν το 2007)» του ΟΟΣΑ (<http://ec.europa.eu/environment/archives/ecolabel/pdf/marketing/brochures/el/paints.pdf>)

4.7.2. Οργανικές Επικαλύψεις, Υγεία και Περιβάλλον

Οι οργανικές επικαλύψεις, δηλαδή τα χρώματα, βερνίκια και παρεμφερή υλικά προστατεύουν και καλλωπίζουν τις επιφάνειες των πάσης φύσεως υλικών που χρησιμοποιούνται στην πράξη (πχ. σίδηρος, χάλυβας, αλουμίνιο, σκυρόδεμα, ξύλο). Έμμεσα η προστασία των υλικών συμβάλλει στη συντήρηση των γήινων αποθεμάτων σε πρώτες ύλες (πχ. ξύλο, ορυκτά) και περιορίζει την κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή νέων. Παράλληλα το κύκλωμα “οργανικές επικαλύψεις” (πρώτες ύλες, βιομηχανική παραγωγή, μηχανολογικός εξοπλισμός, εφαρμογή, διάθεση) αποτελεί σημαντική οικονομική δραστηριότητα. Με την αυξανόμενη ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης σε θέματα υγείας και περιβάλλοντος αναπτύσσεται διεθνώς έντονος προβληματισμός για τις επιπτώσεις των προϊόντων της βιομηχανίας χρωμάτων, στην υγεία των εργαζομένων, των χρηστών και γενικότερα στο περιβάλλον. Ο προβληματισμός είναι εύλογος δεδομένου ότι σε μεγάλες μονάδες παραγωγής εκτιμάται ότι χρησιμοποιούνται ή κατεργάζονται 2000-3000 πρώτες ύλες, ενώ η παγκόσμια αγορά πρώτων υλών για τη βιομηχανία οργανικών επικαλύψεων διαθέτει 25000 πρώτες ύλες. Στο τεράστιο αυτό αριθμό υπάρχουν αρκετές πρώτες ύλες που δεν μπορούν να θεωρηθούν ως αδρανείς για τον ανθρώπινο οργανισμό αλλά και το περιβάλλον. Η αντικειμενική αξιολόγηση όλων αυτών των υλικών ως προς την τοξικότητά τους και τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον είναι πολύπλοκη και χρονοβόρος (Υφαντής, 2000).

4.7.3. Διεθνείς τάσεις στην παραγωγή και εφαρμογή οργανικών επικαλύψεων

Η βιομηχανία υπό την πίεση των συνεχώς αυξανόμενων περιβαλλοντικών προβλημάτων στρέφεται προς τις φιλικότερες στο περιβάλλον επικαλύψεις και τεχνολογίες εφαρμογής. Από τα στατιστικά στοιχεία προκύπτει ότι διεθνώς:

- Αυξάνεται η παραγωγή των υδατικών συστημάτων, δηλαδή χρωμάτων με βάση ρητίνες που αραιώνονται με νερό, με ετήσιο ρυθμό 15-20%.
- Υποκαθίστανται διαλύτες των κλασικών οργανικών επικαλύψεων με άλλους λιγότερο επιβλαβείς.
- Αυξάνεται η παραγωγή χρωμάτων με υψηλή περιεκτικότητα στερεών (High Solids, ποσοστό πτητικών οργανικών ενώσεων μικρότερο του 30%) με ετήσιο ρυθμό 18-23%.
- Αυξάνεται η παραγωγή χρωμάτων κόνεων πολυμερών (powder coating) με ετήσιο ρυθμό 15-17%. Τα χρώματα αυτά με σχεδόν μηδενική αποβολή πτητικών καταναλώνονται κυρίως στη βιομηχανία οικιακών συσκευών, μεταλλικών επίπλων, προφίλ αλουμινίου με την τεχνική της ηλεκτροστατικής βαφής.
- Μειώνεται, υποκαθίσταται ή καταργείται η χρήση πιγμέντων με βάση ενώσεις του μολύβδου και χρωμικά.
- Αυξάνεται η παραγωγή οργανικών επικαλύψεων που ξηραίνονται με ακτινοβολίες (πχ. UV, δέσμη ηλεκτρονίων electron beam) (Υφαντής, 2000).

Από τα οικοδομικά χρώματα, η κατηγορία στην οποία έχει σοβαρότερη επίπτωση η εφαρμογή της Οδηγίας ΠΟΕ, είναι οι λεγόμενες «ριπολίνες».

Η απαραίτητη μείωση στα οργανικά πτητικά των παραπάνω χρωμάτων μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους. Έτσι τα κυριότερα είδη χρωμάτων που έχουν αναπτυχθεί για τον σκοπό αυτό είναι:

- Χρώματα υδατικής βάσης, ακρυλικά
- Χρώματα υδατικής βάσης, αλκυδικά
- Αλκυδικά χρώματα βάσης διαλύτου, υψηλών στερεών.

Όπως είναι φυσικό, για τις οικοδομικές εφαρμογές τα χρώματα πούδρας δεν είναι πρακτικά εύκολο να χρησιμοποιηθούν, διότι απαιτούν ειδικές εγκαταστάσεις. Το ίδιο ισχύει και για τα χρώματα που ξηραίνονται με ακτινοβολία (radiation curing). Έτσι απομένουν κατά κύριο λόγο τα τρία παραπάνω είδη.

Κάθε μια από τις παραπάνω λύσεις έχει, όπως είναι φυσικό, τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα.

Φυσικά ο στόχος είναι το παραγόμενο χρώμα να έχει:

- τις ίδιες ή καλύτερες ιδιότητες από αυτές των παλαιότερων, συμβατικών χρωμάτων
- την ίδια ευκολία εφαρμογής, και βέβαια
- παρόμοιο κόστος (Ροκοτάς, 2008).

4.8. Νέες κατηγορίες χρωμάτων

Για τα οικοδομικά χρώματα δεν έχει θεσπιστεί εναρμονισμένο πρότυπο ως εκ τούτου δεν θεωρούνται δομικά υλικά υπό τον όρο του Κανονισμού 305/2011 και δεν φέρουν σήμανση CE. Μπορούν να πιστοποιηθούν όμως για διάφορες ιδιότητές τους με βάση διεθνή πρότυπα ή Κανονισμούς όπως:

I. Χρώματα που περιέχουν προϊόντα νανοτεχνολογίας

Τα χρώματα νανοτεχνολογίας αποτελούν νέα συστήματα επικαλύψεων τα οποία έχουν ήδη αρχίσει να χρησιμοποιούνται εκτενώς εξαιτίας των ιδιαίτερων ιδιοτήτων τους. Τα νανοϋλικά είναι χημικές ουσίες ή υλικά που παρασκευάζονται και χρησιμοποιούνται σε πολύ μικρή κλίμακα. Το μέγεθός τους κυμαίνεται μεταξύ 1 και 100 nm περίπου κατά τη μία τουλάχιστον διάσταση. Τα νανοϋλικά έχουν ιδιαίτερα και πιο έκδηλα χαρακτηριστικά σε σύγκριση με το ίδιο υλικό όταν αυτό δεν έχει γνωρίσματα νανοκλίμακας. Κατά συνέπεια, οι φυσικοχημικές ιδιότητες των νανοϋλικών ενδέχεται να διαφέρουν από τις ιδιότητες της χύδην ουσίας ή των σωματιδίων μεγαλύτερου μεγέθους (<http://echa.europa.eu/regulations/nanomaterials>).

Σημαντικές ιδιότητες των χρωμάτων νανοτεχνολογίας είναι:

- Παρέχουν σκληρά και ελαστικά φιλμ του χρώματος
- Προστασία από την UV ακτινοβολία
- Απώθηση θερμότητας και ψύχους από το κτήριο με συνέπεια εξοικονόμηση ενέργειας
- προστατευτική επίδραση σε επιθετικά περιβάλλοντα (συγκράτηση υγρασίας ακόμη και με αρνητική πίεση)
- Βελτίωση της αντιμικροβιακής, αντιβακτηριακής προστασίας και της ασηπτικότητας των τοίχων.
- αντοχή σε συχνό πλύσιμο
- σφράγιση των πόρων των τοίχων, δηλαδή βελτίωση της αδιαβροχοποίησης
- Αυτοκαθαρισμός των τοίχων με νερό ή με το νερό της βροχής
- συγκράτηση ρύπων (εσωτερικοί χώροι) και

- δυνατότητες αυτοϊάσης.

Τα χρώματα της κατηγορίας αυτής εμφανίζουν βελτιωμένες ιδιότητες σε σχέση με τα συμβατικά χρώματα όσον αφορά τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες αλλά και την προστατευτική τους επίδραση στο να αποτρέψουν τη διάβρωση του οπλισμού (<http://www.hellenicpaints.gr/el/enimerosi/nanotechnology>).

II. Οικολογικά χρώματα

Τα οικολογικά κριτήρια καθορίζονται με βάση πόσο "ρυπαίνει" ή αλλιώς αφήνει το "αποτύπωμά του" ένα προϊόν «από τη γέννηση μέχρι την ταφή», δηλαδή σε καθένα από τα στάδια της ζωής του, αρχίζοντας από την εξόρυξη και παραγωγή των πρώτων υλών, συνεχίζοντας με τη διαδικασία παραγωγής, τη συσκευασία, τη διανομή, τη χρήση, τη διάρκεια, καταλήγοντας στην τελική διάθεση στο περιβάλλον. Σε όλα αυτά τα στάδια λαμβάνονται υπόψη παράγοντες (πολλαπλά κριτήρια) όπως:

- ποιότητα αέρα, υδάτων
- προστασία εδάφους, μείωση αποβλήτων
- εξοικονόμηση ενέργειας, διαχείριση φυσικών πόρων
- πρόληψη της αύξησης θερμοκρασίας του πλανήτη
- προστασία της στοιβάδας του όζοντος
- περιβαλλοντική ασφάλεια
- τεχνικά χαρακτηριστικά και επιδόσεις του προϊόντος κατά την εφαρμογή και τη χρήση
- οδηγίες ασφαλούς χρήσης και διάθεσης υπολείμματος προϊόντος και συσκευασίας στο περιβάλλον (<http://www.hellenicpaints.gr/el/enimerosi/certification>).

III. Ψυχρά Χρώματα

Τα ψυχρά χρώματα (coolpaints) είναι λευκά ή έγχρωμα χρώματα που περιέχουν ειδικά ανακλαστικά πιγμέντα. Χαρακτηρίζονται από υψηλή ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία (SR), σε σύγκριση με τα συμβατικά χρώματα της ίδιας απόχρωσης, καθώς και από υψηλό συντελεστή εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας (ε). Η ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία (φάσμα 300-2500nm) ενός υλικού είναι η ικανότητά του να ανακλά την ηλιακή ακτινοβολία από την επιφάνειά του πίσω στην ατμόσφαιρα. Η τιμή SR είναι ένας αριθμός από 0 έως 1,0. Η τιμή «μηδέν» σημαίνει ότι το υλικό απορροφά όλη την ηλιακή ενέργεια και η τιμή «ένα» υποδηλώνει ολική ανάκλαση. Ο συντελεστής εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας (ε) ενός υλικού εκφράζει την ικανότητά του να αποβάλλει ποσοστά θερμότητας υπό μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας και η τιμή του κυμαίνεται μεταξύ 0 έως 1,0, με την τιμή μονάδας να αντιστοιχεί στην ιδανική περίπτωση. Τα ψυχρά χρώματα, δηλαδή, έχουν την ικανότητα να απορροφούν λιγότερη ηλιακή ενέργεια και να εκλύουν γρηγορότερα τα ποσά θερμότητας που έχουν απορροφήσει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εξασφαλίζουν χαμηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες, με συνέπεια να εισέρχεται στο κτίριο λιγότερη θερμότητα, μειώνοντας τη χρήση κλιματιστικού τη θερινή περίοδο, αλλά και λιγότερη θερμότητα να μεταδίδεται στον υπερκείμενο αέρα, αντιμετωπίζοντας το φαινόμενο της «αστικής θερμικής νησίδας».

IV. Φωτοκαταλυτικά

Η ενσωμάτωση φωτοκαταλυτών όπως του διοξειδίου του τιτανίου σε δομικά υλικά έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δομικών υλικών με φωτοκαταλυτικές ιδιότητες αυτοκαθαρισμού. Αυτά τα υλικά έχουν τη δυνατότητα να απομακρύνουν τους ρύπους από

την επιφάνειά τους, χωρίς να απαιτείται ιδιαίτερη προσπάθεια από το χρήστη, ενώ ταυτόχρονα λειτουργούν θετικά για την προστασία του περιβάλλοντος και την απολύμανση των χώρων χάρη στις φωτοδιασπαστικές τους ιδιότητες. Ειδικά για τους οργανικούς ρύπους, όπως είναι οι πτητικοί ή και οι αέριοι αρωματικοί υδρογονάνθρακες, τα προϊόντα της φωτοκατάλυσης είναι νερό και διοξείδιο του άνθρακα. Όσον αφορά στους ανόργανους ρύπους, η μέχρι τώρα μελέτη έχει δείξει ότι αποδομούνται με τη φωτοκατάλυση και παράγονται ακίνδυνα, μη τοξικά προϊόντα.

V. Αυτοκαθαριζόμενα

Τα αυτοκαθαριζόμενα δομικά υλικά προσφέρουν σημαντικά στη μείωση του κόστους υλικών καθαρισμού, της κατανάλωσης ενέργειας και των εργατοωρών καθαρισμού των εξωτερικών επιφανειών των κτιρίων, διεργασία απαραίτητη για την προστασία των εγκαταστάσεων και του προσωπικού. Για την ανάπτυξη αυτοκαθαριζόμενων επιφανειών υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι:

- α) η ανάπτυξη υπερυδρόφοβων και
- β) η ανάπτυξη υπερυδρόφιλων επιφανειών ή επικαλύψεων.

Και στις δύο περιπτώσεις ο καθαρισμός των επιφανειών επιτυγχάνεται μέσω της δράσης του νερού. Συγκεκριμένα, τα υπερυδρόφοβα υλικά αυτοκαθαρίζονται διά μέσου της δημιουργίας σταγονιδίων που "ξεπλένουν" την επιφάνειά τους, ενώ τα υπερυδρόφιλα διά μέσου της δημιουργίας λεπτών φύλλων νερού που δεν επιτρέπουν τη συσσώρευση των ρύπων (Κατσιώτης, 2011).

VI. Αντιρρυπαντικά (anti-graffiti)

Ως χρώμα antigraffiti ορίζεται το χρώμα που επιτρέπει εύκολα την εξάλειψη ενός άλλου πρόσθετου χρώματος επάνω σε αυτό, χωρίς το ίδιο να καταστρέφεται. Τα χρώματα anti graffiti χρησιμοποιούνται για την προστασία κτιρίων και οικοδομικών επιφανειών από χρώματα graffiti. Προστατεύουν την επιφάνεια που εφαρμόζονται με μια διάφανη προστατευτική μεμβράνη, οπότε δεν επιτρέπουν στα χρώματα να εισχωρήσουν στην επιφάνεια, ενώ καθαρίζονται πολύ εύκολα. Πρέπει να έχουν καλή πρόσφυση στις περισσότερες οικοδομικές επιφάνειες, αλλά να αφήνουν το υπόστρωμα να αναπνέει. Θα πρέπει να έχουν αντοχή στους ρύπους και τον ήλιο και στον παγετό και σε περίπτωση τοπικής ζημιάς στη μεμβράνη, αυτή να μπορεί να επισκευαστεί (Κασινάκης, 2001b).

VII. Χρώματα πούδρας

Για τη βαφή των αντικειμένων, εκτός από την τεχνολογία υγρού χρώματος που υπάρχει από τα αρχαία χρόνια και βιομηχανοποιήθηκε πριν 200 χρόνια, υπάρχει και η τεχνολογία **πούδρας** χρώματος που χρησιμοποιείται τα τελευταία 40 χρόνια.

Η πούδρα είναι χρώμα που διατίθεται σε μορφή ξηρής σκόνης, σε αντίθεση με τα υγρά χρώματα που εφαρμόζονται με πινέλο ή σπρέι. Τα χρώματα πούδρας προέρχονται από ποικίλους τρόπους παραγωγής και έχουν μια ευρεία γκάμα εφαρμογής και χρήσεων σε διακόσμηση και προστασία των επιφανειών. Κυρίως χρησιμοποιούνται για τη βαφή μεταλλικών αντικειμένων, όμως με νεώτερες τεχνολογίες εφαρμόζονται και σε υλικά όπως το MDF, το γυαλί και το πλαστικό.

Ο τρόπος εφαρμογής τους είναι απλός. Η πούδρα εφαρμόζεται σε ένα αντικείμενο με ηλεκτροστατικό σπρέι. Συμπιεσμένος αέρας παρασύρει την πούδρα από τη συσκευασία και την εκτοξεύει μέσα από το πιστόλι ψεκασμού. Στο μπεκ του πιστολιού υπάρχει ένα ηλεκτρόδιο που προσδίδει θετικό ηλεκτρικό φορτίο στα σωματίδια του χρώματος. Το

αντικείμενο προς βαφή είναι γειωμένο, έτσι τα θετικά φορτισμένα σωματίδια προσκολλώνται επί αυτού. Μόλις το αντικείμενο καλυφθεί πλήρως τοποθετείται σε φούρνο όπου ψήνεται και ωριμάζει η επικάλυψη. Στη διάρκεια της παραμονής στο φούρνο η πούδρα πρώτα τήκεται και στη συνέχεια μέσα από μια χημική διεργασία δημιουργεί ένα σκληρό και συμπαγές στρώμα χρώματος

(<http://www.hellenicpaints.gr/el/enimerosi/powder-colours>).

VIII. Χρώματα υψηλών στερεών

Στα χρώματα **υψηλών στερεών** (High Solids Systems) έχει μειωθεί δραστικά η περιεκτικότητα σε οργανικούς διαλύτες.

Τέλος, υπάρχουν τα επονομαζόμενα «**έξυπνα**» (smart) χρώματα (κατ' άλλους «λειτουργικά, functional» ή «πολυλειτουργικά, multifunctional»), τα οποία ορίζονται ως τα υλικά που είναι ικανά να προσαρμόσουν δυναμικά τις ιδιότητές τους σε ένα εξωτερικό ερέθισμα, δηλαδή τα χρώματα που είναι σε θέση να αντιλαμβάνονται το περιβάλλον τους και να ανταποκρίνονται ανάλογα (<http://www.pcimag.com/articles/98925-smart-coatings>).

4.9. Επικαλύψεις σκυροδέματος

Η χρήση διαφόρων προστατευτικών επικαλύψεων στην επιφάνεια του σκυροδέματος, όπως χρώματα και βερνίκια, για την προστασία του είναι πολύ συνηθισμένη μέθοδος προστασίας, κυρίως σε κατασκευές μεγάλης κλίμακας, όπου η μακροχρόνια ανθεκτικότητα της κατασκευής και η καλή λειτουργία της είναι ιδιαίτερα σημαντικοί παράγοντες. Οι επικαλύψεις αυτές προβάλλουν ένα φράγμα μεταξύ του σκυροδέματος και του εξωτερικού περιβάλλοντος, το οποίο περιέχει βλαβερά για το σκυρόδεμα στοιχεία, όπως άλατα χλωρίου, διοξείδιο του θείου και διοξείδιο του άνθρακα.

Η κάλυψη του σκυροδέματος (οπλισμένου ή μη) με διάφορα υλικά, είναι συνηθισμένη τακτική, ιδιαίτερα όταν το σκυρόδεμα είναι εκτεθειμένο σε διαβρωτικό περιβάλλον. Η επιφανειακή προστασία του σκυροδέματος μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους. Οι μέθοδοι αυτές, που μπορούν να προστατεύσουν τόσο τον οπλισμό όσο και το σκυρόδεμα, είναι οι εξής:

1. **Διαποτισμός.** Είναι η δημιουργία ενός λεπτού στρώματος στην επιφάνεια του σκυροδέματος χωρίς την κάλυψη των πόρων του σκυροδέματος με σκοπό την υδροφοβικότητα της επιφάνειάς του.

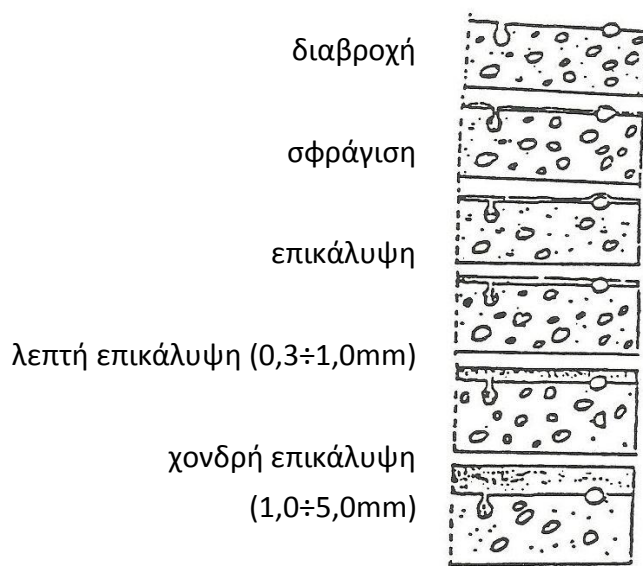
2. **Σφράγιση.** Είναι η δημιουργία ενός λεπτού στρώματος στην επιφάνεια του σκυροδέματος, πάχους μέχρι περίπου 300μm, με μερική ή ολική κάλυψη των πόρων του σκυροδέματος

3. **Επικάλυψη.** Είναι ο σχηματισμός ενός ομοιόμορφου στρώματος στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Η επικάλυψη διακρίνεται σε:

- **Λεπτή επικάλυψη,** με πάχος που κυμαίνεται μεταξύ 0,3÷1,0 mm. Με τη λεπτή επικάλυψη είναι πιθανόν να μην καλυφθούν όλες οι ανωμαλίες της επιφάνειας του σκυροδέματος.

- **Χονδρή επικάλυψη,** με πάχος που κυμαίνεται μεταξύ 1,0÷5,0 mm. Το πάχος της χονδρής επικάλυψης είναι αρκετό ώστε να εξαλείψει τις ανωμαλίες στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

- **Επικάλυψη με κονιάματα,** με πάχος που είναι μεγαλύτερο από 5,0 mm (Μπατής, 1999).



Σχήμα 4.13. Κατηγορίες επικαλύψεων του σκυροδέματος

Η επιφανειακή προστασία του σκυροδέματος μπορεί να γίνει με ανόργανες και οργανικές επικαλύψεις, δηλαδή τα χρώματα. Με δεδομένο επίσης ότι το συνολικό πάχος του χρώματος δεν υπερβαίνει τα 300μm, η επικάλυψη του σκυροδέματος με αυτή τη μέθοδο ανήκει στην κατηγορία του σφραγίσματος. Τέλος, τα χρώματα εκτός από την προστασία από τη φθορά, προσφέρουν και αξιολογα αισθητικά αποτελέσματα σε μια κατασκευή από σκυρόδεμα, χωρίς να αυξάνουν το βάρος της.

• Οι επιβλαβείς επιδράσεις του περιβάλλοντος που επιδρούν, όπως στο σκυρόδεμα, και στο χρώμα είναι:

- Η UV-ακτινοβολία
- η θερμότητα και οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας με την εναλλαγή ημέρας – νύκτας

- το νερό από το περιβάλλον, ως βροχή ή ομίχλη ή και ως χαλάζι
- η υγρασία και τα άλατα από το έδαφος
- η σκόνη που μεταφέρεται από τον αέρα
- τα διαβρωτικά αέρια CO₂, SO₂, NO_x από τα αυτοκίνητα και τις κεντρικές θερμάνσεις
- οι μηχανικές δονήσεις λόγω βαρείας κυκλοφορίας ή σεισμικής δραστηριότητας
- τα άλγη.

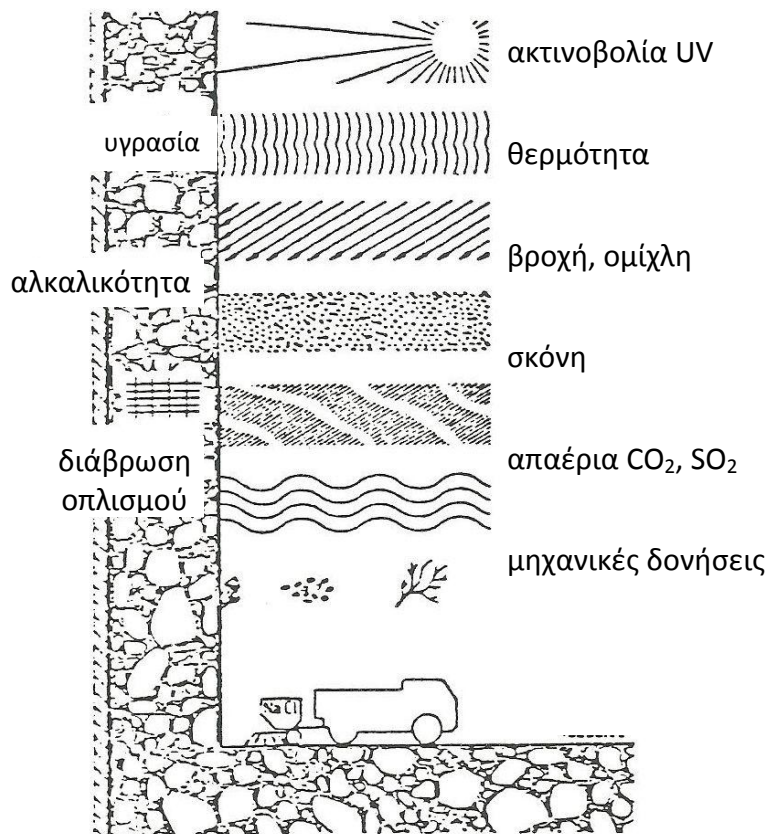
Επίσης το χρώμα θα πρέπει να αντιμετωπίσει:

- Την αυξημένη αλκαλικότητα του σκυροδέματος
- την ανταλλαγή υγρασίας μεταξύ σκυροδέματος και περιβάλλοντος
- τη διάβρωση του σπλισμού (Μπατής, 1999).

Το νερό υπάρχει στο σκυρόδεμα από:

- τυχόν περίσσεια νερού κατά τη σκυροδέτηση,
- τη βροχή ή την ομίχλη,
- τυχόν διαρροές σωληνώσεων νερού
- συμπύκνωση λόγω θερμοκρασίας χαμηλότερης από το σημείο δρόσου και
- την τριχοειδή πρόσληψη νερού από το έδαφος.

Το νερό που προέρχεται από το έδαφος μεταφέρει και άλατα, τα οποία όταν εξατμίζεται το νερό δημιουργούν εξανθίσεις, που έχουν επιπτώσεις στην αντοχή των χρωμάτων.



Σχήμα 4.14. Οι επιβλαβείς επιδράσεις του περιβάλλοντος στο σκυρόδεμα και τις επικαλύψεις του.

Μια επικάλυψη οργανική ή ανόργανη για να χρησιμοποιηθεί στο σκυρόδεμα θα πρέπει να πληροί τις ακόλουθες προϋποθέσεις (Μπατής, 1999; Adler, 1994):

- Να παρεμποδίζει τη διείσδυση του νερού
- Να παρουσιάζει υψηλή αντίσταση στη διείσδυση του διοξειδίου του θείου (SO_2) και του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2)
- Να παρεμποδίζει την είσοδο χλωριόντων
- Να παρουσιάζει υψηλή υδρατμοδιαπερατότητα
- Να είναι ανθεκτική στην υψηλή αλκαλικότητα του σκυροδέματος και στην παρουσία αλάτων
- Να παρουσιάζει υψηλή συνάφεια με το σκυρόδεμα, στεγνό ή βρεγμένο
- Να είναι ανθεκτική στην ηλιακή ακτινοβολία και τις καιρικές συνθήκες.
- Να έχει διεισδυτική ικανότητα στους πόρους και τις ρωγμές (μικρότερες από 0,3 mm) του σκυροδέματος.
- Να έχει καλή μηχανική αντοχή (ελαστικότητα), ώστε να ακολουθεί τις παραμορφώσεις της επιφάνειας του σκυροδέματος χωρίς να κάνει ρωγμές.

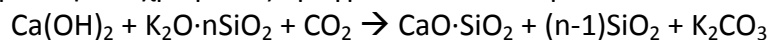
Η ταυτόχρονη εκπλήρωση όλων των παραπάνω απαιτήσεων δεν είναι πάντα εφικτή. Ανάλογα με την κατασκευή, θα πρέπει να γίνεται στάθμιση και ιεράρχηση των ιδιοτήτων, για το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα.

Οι επικαλύψεις που χρησιμοποιούνται στην προστασία του σκυροδέματος μπορεί να είναι οργανικές ή ανόργανες. Οι ανόργανες επικαλύψεις χρησιμοποιούν ως συνδετικό μέσο την υδρύαλο (πυριτικό κάλιο). Οι οργανικές επικαλύψεις είναι χρώματα σιλικόνης, σιλοξάνης, υδατικών διασπορών κυρίως ακρυλικών, πολυμερών ρητινών, χλωριωμένου καουτσούκ καθώς και χρώματα δύο συστατικών, εποξικά ή πολυουρεθάνης. Στην πράξη οι ακρυλικές διασπορές και το χλωριωμένο καουτσούκ εφαρμόζονται για την προστασία από την ενανθράκωση και τα χρώματα εποξικών ρητινών, πολυουρεθάνης και χλωριωμένου καουτσούκ εφαρμόζονται για την προστασία από τη διείδυση χλωριόντων.

4.9.1. Ανόργανα χρώματα

Τα ανόργανα χρώματα έχουν σαν συνδετικό μέσο την υδρύαλο (πυριτικό κάλιο) και ως χρωστικές ανόργανα πιγμέντα. Υδρύαλος, είναι η συνήθης ονομασία των πυριτικών αλάτων των αλκαλίων με γενικό τύπο $Me_2O \cdot nSiO_2$, όπου το Me είναι K ή Na και σπάνια Li, που άλλωστε είναι τα μόνα υδατοδιαλυτά κολλοειδώς πυριτικά άλατα με υψηλό pH μεταξύ 11 και 13. Η υδρύαλος δεν έχει καθορισμένο χημικό τύπο και η αναλογία του SiO_2 , είναι κυμαινόμενη μεταξύ 2 και 4. Όσο μεγαλύτερο είναι το n τόσο πιο δυσδιάλυτη στο νερό είναι η υδρύαλος.

Η συγκράτηση της υδρύαλου με το υπόστρωμα (σκυρόδεμα, λίθος ή σοβάς) και η σκλήρυνση του χρώματος πραγματοποιούνται με τον ακόλουθο τρόπο:



Η υδρύαλος, η οποία έρχεται σε επαφή λόγω διάχυσης με ιόντα ασβεστίου, και με την ενεργό συμμετοχή του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας μεταβάλλεται σε πυριτικό ασβέστιο και ανθρακικό κάλιο. Τα ανόργανα πιγμέντα που περιέχονται στην υδρύαλο συγκρατούνται στο σχηματιζόμενο πλέγμα από την προαναφερθείσα αντίδραση.

4.9.2. Οργανικά χρώματα

Οι οργανικές επικαλύψεις είναι η συχνότερη μέθοδος προστασίας του σκυροδέματος και του οπλισμένου σκυροδέματος. Υπάρχουν πολλές κατηγορίες οργανικών επικαλύψεων που χρησιμοποιούνται σήμερα για την προστασία του σκυροδέματος. Οι ιδιότητες των οργανικών επικαλύψεων που απαιτούνται είναι, όπως άλλωστε έχει αναφερθεί, η πρόσφυση της επικάλυψης με το σκυρόδεμα, η διαπερατότητα σε υδρατμούς η διαπερατότητα σε νερό, η διαπερατότητα σε διοξείδιο του άνθρακα, σε διοξείδιο του θείου, σε χλωριόντα και η δυνατότητα γεφύρωσης τυχόν ρωγμών του σκυροδέματος (Barbucci, Delucchi & Cerisola, 1999).

Η εφαρμογή όλων των χρωμάτων ακολουθεί την ίδια διαδικασία:

- Προετοιμασία της επιφάνειας του υποστρώματος σκυροδέματος με απομάκρυνση όλων των ξένων σωμάτων καθώς και των σαθρών τμημάτων σκυροδέματος.

- Ένα χέρι υπόστρωμα (αστάρι), με το ίδιο συνδετικό μέσο με το χρώμα που θα επικαλυφθεί.

- Δύο χέρια χρώματος.

Τα υποστρώματα (αστάρια), έχουν την ίδια περίπου χημική σύσταση με το χρώμα που θα ακολουθήσει, αλλά περιέχουν μεγαλύτερο ποσοστό διαλυτών, πράγμα που διευκολύνει τη διείδυση του χρώματος στους πόρους του σκυροδέματος και συνεισφέρει στην καλή

συνάφεια χρώματος και σκυροδέματος. Η σωστή εφαρμογή του υποστρώματος είναι μεγάλης σημασίας για τη διάρκεια ζωής του χρώματος.

Πολλές έρευνες εξετάζουν τους διάφορους τύπους οργανικών επικαλύψεων, συγκρίνοντας τις επιδόσεις τους έναντι της προστασίας που προσφέρουν στον σπλισμό του σκυροδέματος από τη διάβρωση, αλλά και συγκρίνοντας μηχανικές και φυσικοχημικές ιδιότητες (Selvaraj, Selvaraj & Iyer, 2009).

Τα χρώματα σιλικόνης έχουν σαν συνδετικό μέσο μία υδατική διασπορά ρητίνης σιλικόνης, όπου δημιουργούνται δεσμοί Si-O-Si. Ο δεσμός Si-O-Si δεν διασπάται με θέρμανση ή ακτινοβολία και είναι υδρόφοβος, άρα οι ρητίνες έχουν μεγάλη αντοχή στην υγρασία. Βασική προϋπόθεση της εφαρμογής τους είναι η εφαρμογή ενός υδρόφοβου ασταριού σιλικόνης. Συνήθως χρησιμοποιούνται στην προστασία του σκυροδέματος αλλά και στην προστασία μνημείων (Κασινάκης, 2001; Lambourne & Strivens, 1999).

Τα χρώματα σιλοξάνης συνδυάζουν τις υδρόφοβες ιδιότητες της οργανοπυριτικής σιλοξάνης με τις ιδιότητες σχηματισμού συνεχούς λεπτού στρώματος των πολυμερών ρητινών και ιδιαίτερα των μεθακρυλικών ρητινών (Ibrahim, et al., 1997).

Τα χρώματα των υδατικών διασπορών είναι τα πλέον συνηθισμένα στην προστασία του σκυροδέματος. Στην αγορά διατίθεται μεγάλη γκάμα χρωμάτων της κατηγορίας αυτής σε διάφορους χρωματισμούς. Οι ακρυλικές διασπορές είναι οι πλέον γνωστές. Η προσεκτική εφαρμογή του κατάλληλου ασταριού δίνει μεγάλες τιμές συνάφειας. Τα χρώματα της κατηγορίας αυτής εμφανίζουν μεγάλη διαπερατότητα σε υδρατμούς, πολύ μικρή διαπερατότητα σε CO₂ και SO₂, αλλά συνήθως εμφανίζουν μεγαλύτερη διαπερατότητα σε νερό από τις επόμενες κατηγορίες χρωμάτων. Νεότερες εξελίξεις στα χρώματα της κατηγορίας αυτής έχουν δώσει προϊόντα που μπορούν να εφαρμοστούν στην επιφάνεια του σκυροδέματος αμέσως μετά το ξεκαλούπωμα. Επίσης διατίθενται προϊόντα που σχηματίζουν ελαστικό στρώμα επικάλυψης ικανό για την κάλυψη των ρωγμών (Αποστολάκης, 2001).

Οι ρητίνες από ακρυλικά και μεθακρυλικά συμπολυμερή παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την παραγωγή προστατευτικών χρωμάτων στο σκυρόδεμα. Τα χρώματα της κατηγορίας αυτής παρουσιάζουν πολύ μικρή διαπερατότητα σε νερό και διοξείδιο του άνθρακα καθώς και καλή αντοχή στην ακτινοβολία UV. Επίσης παρουσιάζουν πολύ καλή διεισδυτικότητα στους πόρους του σκυροδέματος και καλή συνάφεια. Οι ακρυλικές διασπορές προσφέρουν προστασία τόσο σε θαλάσσιο, όσο και σε περιβάλλον υψηλής συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα (Ansari & Goswami, 2006). Μετά από συνεχείς κύκλους εμβάπτισης και ξήρανσης σε διάλυμα χλωριούχου νατρίου, διαπιστώθηκε ότι δεν υπήρξε διείσδυση ιόντων χλωρίου στη μάζα του σκυροδέματος. Στην ίδια εργασία, μετά από έκθεση στον ατμοσφαιρικό αέρα, βρέθηκε ότι το βάθος ενανθράκωσης για τα μη επικαλυμμένα δοκίμια κυμαινόταν από 7.6 έως 8.9 mm, ενώ στα δοκίμια που είχε εφαρμοστεί ακρυλική επικάλυψη το βάθος ενανθράκωσης δεν ξεπερνούσε τα 6 mm (Kamal & Salama, 1991). Ακρυλικές ελαστομερείς επικαλύψεις μελετήθηκαν ως προς την ικανότητά τους να λειτουργούν ως φράγμα νερού για ενανθρακωμένες επιφάνειες και να διατηρούν τη συμπεριφορά τους για το ζητούμενο χρονικό διάστημα (Al-Dulaijan, 2000).

Τα χρώματα με ρητίνες από χλωριωμένο καουτσούκ βρίσκουν ευρεία εφαρμογή για την προστασία από τη διάβρωση του σκυροδέματος, επειδή το χλωριωμένο καουτσούκ δεν σαπωνοποιείται σε αλκαλικά περιβάλλοντα. Χρησιμοποιούνται ως βιομηχανικά χρώματα για χημικές μονάδες, διυλιστήρια, δεξαμενές και γέφυρες. Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν εξαιρετική αντοχή σε νερό και χημικά (Chandler & Bayliss, 1985) και έχουν εφαρμοστεί σε επιφάνειες χαλύβων, σκυροδέματος και άλλων επιφανειών που συχνά εκτίθενται σε νερό ή

χημικές ουσίες, όπως πισίνες, γέφυρες, κτήρια σε παραθαλάσσιες περιοχές, κ.α. Στα χρώματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλά πιγμέντα, όπως διοξείδιο του τιτανίου, σκόνη ψευδαργύρου, οξείδια του σιδήρου (Swamy, Suryavanshi & Tanikawa, 1998).

Χρώματα δύο συστατικών με βάση τις εποξικές και πολυουρεθανικές ρητίνες έχουν χρησιμοποιηθεί για την προστασία του σκυροδέματος. Η σκλήρυνσή τους γίνεται με την αρχή της πολυπροσθήκης. Τα δύο συστατικά ρητίνη και σκληρυντής αναμιγνύονται λίγο πριν την εφαρμογή και αντιδρούν σχηματίζοντας ένα υψηλού μοριακού βάρους πολυμερές. Τα εποξικά χρώματα έχουν εφαρμοσθεί σε θεμέλια και προβλήτες με σκοπό την αποφυγή της υποβάθμισης του σκυροδέματος λόγω δράσης θεικών αλάτων. Σχετικές έρευνες έχουν δείξει ενθαρρυντικά αποτελέσματα όσον αφορά τη συμπεριφορά των επικαλύψεων αυτών ως προστατευτικές επικαλύψεις, ως μονωτικά υλικά και ως υδρατμοπερατές επιφάνειες (Kamal & Salama, 1991; Ibrahim, Al-Gahtani & Maslehuddin, 1999; Dulaijan, et al., 2000). Συγκριτικά μελετήθηκαν διάφορες ιδιότητες των εποξικών επικαλύψεων και διαπιστώθηκε ότι η συνάφειά τους, η ικανότητας γεφύρωσης ρωγμών και η διαπερατότητα του νερού ήταν καλύτερες στα εποξικά χρώματα. Η αντοχή στη δράση χημικών ουσιών υπερτερούσε και πάλι στα εποξικά χρώματα, ενώ η διαπερατότητα στην είσοδο διοξειδίου του άνθρακα ήταν η ίδια για όλα τα υπό εξέταση χρώματα (Dulaijan et al., 2000b).

Τα πολυουρεθανικά χρώματα χρησιμοποιούνται ως χρώματα τελικής στρώσης εξαιτίας της ικανοποιητικής προστασίας που προσφέρουν έναντι της διάβρωσης. Αντέχουν στην αλκαλικότητα του σκυροδέματος και επειδή προσφέρουν πολύ λεία επιφάνεια, παρουσιάζουν μεγάλη αντίσταση στο λέρωμα από εξωγενείς παράγοντες. Επίσης έχουν μεγάλη αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις και απορρυπαντικά και απολυμαντικά μέσα (Θέος, 2001; Horgnies, Willieme & Gabet, 2011). Οι πιο συνηθισμένοι τύποι χρωμάτων πολυουρεθάνης είναι τα αλειφατικά και τα ακρυλικά πολυουρεθανικά. Τα αλειφατικά πολυουρεθανικά χρώματα βασίζονται σε αλειφατικές ισοκυανικές ρητίνες, οι οποίες αντιδρούν με ακρυλικούς εστέρες που περιέχουν υδροξύλια και παρουσιάζουν πολύ ισχυρή πρόσφυση, αντοχή σε χημικά και αντοχή στη γήρανση (Fratricova, Simon & Schwarzer, 2006; Zhu, et al., 2010). Ακρυλικά πολυουρεθανικά χρώματα επέδειξαν καλύτερη συμπεριφορά από τα αντίστοιχα αλειφατικά όσον αφορά την αντίσταση της επιφάνειας (Seneviratne, Sergi & Page, 2000). Το μειονέκτημά τους είναι ότι μπορεί να κιτρινίσουν εύκολα λόγω της αποικοδόμησης των ουρεθανικών δεσμών. Πολυουρεθανικό χρώμα, ως τελική στρώση πάνω σε εποξικό χρώμα μελετήθηκε ως προς τις μηχανικές του επιδόσεις και συγκρίθηκε με ένα υδατοδιαλυτό ακρυλικό γαλάκτωμα δείχνοντας καλύτερα αποτελέσματα (Delucchi, Barbucci & Cerisola, 2004).

Τα χρώματα νανοτεχνολογίας αποτελούν νέα συστήματα επικαλύψεων που παρουσιάζουν ιδιαίτερες ιδιότητες, όπως προστατευτική επίδραση σε επιθετικά περιβάλλοντα (συγκράτηση υγρασίας ακόμη και με αρνητική πίεση), αντιμικροβιακές ιδιότητες, ανακλαστική ικανότητα στο φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας και αντοχή σε συχνό πλύσιμο. Επίσης υπάρχουν χρώματα νανοτεχνολογίας που παρουσιάζουν ενδιαφέρουσες ιδιότητες όπως αυτοκαθαρισμός, συγκράτηση ρύπων σε εσωτερικούς χώρους και δυνατότητες αυτοϊασης. Τα χρώματα της κατηγορίας αυτής εμφανίζουν βελτιωμένες ιδιότητες σε σχέση με τα συμβατικά χρώματα όσον αφορά τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες αλλά και την προστατευτική τους επίδραση στην αποτροπή της διάβρωσης του οπλισμού (Ζαφειροπούλου, Ρακαντά & Μπατής, 2012).

4.9.3. Σύγκριση μεταξύ ανόργανων και οργανικών χρωμάτων

Η βασική διαφορά μεταξύ ανόργανων και οργανικών χρωμάτων είναι ο τρόπος με τον οποίο προσφύονται στο υπόστρωμα. Στα ανόργανα χρώματα δεν σχηματίζεται υμένας και η πρόσφυση επιτυγχάνεται με χημική αντίδραση μεταξύ του υποστρώματος και του χρώματος. Στα οργανικά χρώματα σχηματίζεται υμένας, ο οποίος συγκρατείται με δυνάμεις συνοχής στο υπόστρωμα.

Τα ανόργανα χρώματα έχουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα έναντι των οργανικών χρωμάτων:

- Διεισδύουν στο υπόστρωμα στερεοποιώντας τυχόν αποσαθρώματα και ισχυροποιώντας την πρόσφυση.

- Έχουν εξαιρετική αισθητική εμφάνιση χάρη στη μικροκρυσταλλική τους υφή.

- Είναι ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία, γιατί δεν περιέχουν οργανική ρητίνη - όπως τα οργανικά χρώματα - που προκαλεί κιτρίνισμα.

- Ο καθαρισμός τους γίνεται ευκολότερα και σε μακρύτερους χρόνους, αυξάνοντας τον χρόνο επαναβαφής. Στην αυτήν την περίπτωση δεν διακρίνεται το νέο βάψιμο από το παλαιό.

- Έχουν υψηλή διαπερατότητα υδρατμών, που επιτρέπει την αναπνοή του υποστρώματος, δηλαδή την απομάκρυνση υγρασίας από το εσωτερικό του κτίσματος. Έτσι αποφεύγεται το φαινόμενο δημιουργίας συμπυκνωμάτων στους τοίχους και ο κίνδυνος αποκόλλησης του χρώματος από την εξάτμιση της παγιδευμένης υγρασίας μεταξύ τοίχου και χρώματος.

- Δεν φορτίζονται ηλεκτροστατικά και δεν έχουν κολλώδη επιφάνεια, άρα δεν επικολλάται η σκόνη πάνω στη βαμμένη επιφάνεια.

- Η βαμμένη επιφάνεια είναι σκληρή και ανθεκτική στις χαραγές.

- Δεν περιέχουν συστατικά που αποτελούν τροφή για τους μικροοργανισμούς, οπότε στις βαμμένες επιφάνειες δεν σχηματίζεται μούχλα.

- Έχουν ίδιο συντελεστή επιφανειακής διαστολής με τα ανόργανα δομικά υλικά

- Έχουν ως διαλύτη το νερό και άρα δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον.

- Δεν είναι εύφλεκτα.

- Παρεμποδίζουν ικανοποιητικά την είσοδο του νερού, αλλά παρεμποδίζουν λιγότερο την είσοδο αερίων, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου και το οξυγόνο.

- Δεν παρεμποδίζουν εξίσου αποτελεσματικά τη διάχυση χλωριόντων.

- Παρουσιάζουν μικρότερο βαθμό προστασίας του οπλισμού από τη διάβρωση.

- Τέλος προσφέρονται σε μικρή ποικιλία αποχρώσεων.

Συμπερασματικά, η επιλογή του κατάλληλου συστήματος χρωμάτων πρέπει να βασίζεται στις ιδιότητες του περιβάλλοντος της κατασκευής, στα προβλεπόμενα έξοδα συντήρησης και στις αισθητικές απαιτήσεις της κατασκευής (Μπατής, 1999).

5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ – ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Το αντικείμενο της παρούσας διατριβής είναι η εξέταση της προστασίας που μπορούν να προσφέρουν οι επικαλύψεις (χρώματα) στο οπλισμένο σκυρόδεμα και ιδιαίτερα στο ελαφροβαρές σκυρόδεμα. Για τον λόγο αυτό, δοκίμια οπλισμένου κισσηροκονιάματος και κισσηροδέματος (ελαφροβαρές κονίαμα και σκυρόδεμα) επικαλύφθηκαν με χρώματα και εκτέθηκαν σε τρία διαβρωτικά περιβάλλοντα: σε θάλαμο αλατονέφωσης, σε μερική εμβάπτιση σε υδατικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου (3.5% κ.β. NaCl) (προσομοίωση θαλάσσιου περιβάλλοντος) και στην ατμόσφαιρα της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου (ατμοσφαιρική διάβρωση).

Η επί μέρους εξέταση περιέλαβε τη μελέτη των οι ακόλουθων παραγόντων που επιδρούν στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος:

Παράγοντας I: Ο πρώτος παράγοντας του οποίου η επίδραση συνεκτιμήθηκε μαζί με την επίδραση των επικαλύψεων ήταν το τσιμέντο. Για τον λόγο αυτό, τέσσερις διαφορετικοί τύποι ελληνικού τσιμέντου (CEM I 32,5, CEM I 42,5, CEM II/A-S 42.5 και CEM II/B-M 32.5) χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή πρισματικών δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος, τα οποία εκτέθηκαν σε τρία διαβρωτικά περιβάλλοντα: σε θάλαμο αλατονέφωσης, σε μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl και στην ατμόσφαιρα της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου (ατμοσφαιρική διάβρωση).

Παράγοντας II: Ο δεύτερος παράγοντας του οποίου η επίδραση εκτιμήθηκε ήταν οι επικαλύψεις. Για τον λόγο αυτό, τέσσερις επικαλύψεις (ακρυλική διασπορά με κύριο πιγμέντο TiO_2 , ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου Fe_2O_3/Fe_3O_4 , επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ με πιγμέντο οξείδια σιδήρου Fe_2O_3/Fe_3O_4 και διαφανές βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ) επικάλυψαν τα πρισματικά δοκίμια οπλισμένου κισσηροκονιάματος. Τα δοκίμια εκτέθηκαν σε τρία διαφορετικά διαβρωτικά περιβάλλοντα: σε θάλαμο αλατονέφωσης, σε μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl και στην ατμόσφαιρα της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου (ατμοσφαιρική διάβρωση).

Παράγοντας III: Ο τρίτος παράγοντας του οποίου η επίδραση συνεκτιμήθηκε μαζί με την επίδραση των επικαλύψεων ήταν το είδος του χάλυβα. Για τον λόγο αυτό, τρεις διαφορετικές κατηγορίες χάλυβα (S220, S400 και S500s), χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή πρισματικών δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος, τα οποία επικαλύφθηκαν με την ανόργανη επικάλυψη με βάση την υδρύαλο και εκτέθηκαν στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl.

Παράγοντας IV: Ο τέταρτος παράγοντας του οποίου η επίδραση συνεκτιμήθηκε μαζί με την επίδραση των επικαλύψεων ήταν το μέγεθος του αδρανούς, δηλαδή της κίσηρης. Για τον λόγο αυτό, τρεις διαφορετικές κοκκομετρικές διαβαθμίσεις κίσηρης (λεπτή, μεσαία και χονδρή και συνδυασμοί μεσαίας και χονδρής κίσηρης) χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή πρισματικών δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος. Επίσης χρησιμοποιήθηκε φθοριούχο λίθιο (LiF) για την αποφυγή τυχόν αλκαλοπυριτικής αντίδρασης. Δοκίμια όλων των κοκκομετριών κίσηρης επικαλύφθηκαν με την ακρυλική διασπορά με κύριο πιγμέντο TiO_2 και εκτέθηκαν σε δύο διαφορετικά διαβρωτικά περιβάλλοντα: σε μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl και στην ατμόσφαιρα της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου (ατμοσφαιρική διάβρωση).

Παράγοντας V: Ο πέμπτος παράγοντας του οποίου η επίδραση συνεκτιμήθηκε μαζί με την επίδραση των επικαλύψεων ήταν η προσθήκη αναστολέα διάβρωσης και ένωσης η οποία αναστέλλει την αλκαλοπυριτική αντίδραση. Για τον λόγο αυτό, οι ενώσεις αυτές προστέθηκαν στο κονίαμα και τα πρισματικά δοκίμια οπλισμένου σκυροδέματος που

κατασκευάστηκαν, επικαλύφθηκαν και εκτέθηκαν στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl.

Παράγοντας VI: Ο έκτος παράγοντας του οποίου η επίδραση συνεκτιμήθηκε μαζί με την επίδραση των επικαλύψεων ήταν η προσθήκη αναστολέων διάβρωσης. Για τον λόγο αυτό, τρεις αναστολείς διάβρωσης είτε προστέθηκαν στο κονίαμα, είτε ψεκάστηκαν στην επιφάνεια του οπλισμένου σκυροδέματος, και τα πρισματικά δοκίμια οπλισμένου κισσηροκονιάματος που κατασκευάστηκαν επικαλύφθηκαν με την ανόργανη επικάλυψη με βάση την υδρύαλο και εκτέθηκαν στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl.

Σε κάθε περίπτωση υπήρχαν δοκίμια που έμεναν άβαφα και χρησιμοποιήθηκαν ως αναφορά.

Η προστατευτική ικανότητα των επικαλύψεων σε σχέση με όλους τους παράγοντες που μελετήθηκαν και σε σύγκριση με τον χάλυβα χωρίς προστασία εκτιμήθηκε με τις ακόλουθες μεθόδους:

- Χρονική εξέλιξη του δυναμικού διάβρωσης σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91
- Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών
- Μέτρηση του βάθους ενανθράκωσης στο κονίαμα σύμφωνα με το πρότυπο BS EN 14630-2006
- Μέτρηση ρυθμού διείσδυσης χλωριόντων στο κονίαμα
- Μέτρηση του πορώδους και της μέσης διαμέτρου των πόρων του κισσηροδέματος
- Μέτρηση της ταχύτητας διάβρωσης μέσω της τεχνικής γραμμικής πόλωσης (Linear Polarization) σύμφωνα με το πρότυπο ASTM G59 - 97(2009)
- Μετρήσεις ηλεκτροχημικής φασματοσκοπίας σύνθετης αντίστασης (Electrochemical Impedance Spectroscopy)
- Οπτικός έλεγχος σε λεπτές τομές κονιαμάτων.
- Μακροσκοπική εξέταση με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο οπτικών ινών σε μεγέθυνση X25 ή X50 των χαλύβων, των προϊόντων διάβρωσης των χαλύβων και των κισσηροκονιαμάτων.

6. ΥΛΙΚΑ

Για την κατασκευή των πρισματικών δοκιμών οπλισμένου σκυροδέματος (και των δοκιμών διαπερατότητας χλωριόντων) χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα υλικά:

6.1. Οπλισμοί

Χρησιμοποιήθηκαν ράβδοι χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος, S220, S400 και S500s, ονομαστικής διαμέτρου 12mm (Φ12) και μήκους 100 mm, με την ακόλουθη (%) χημική σύσταση (Πίνακας 6.1):

Πίνακας 6.1. Χημική σύσταση (%) χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος

	Fe	C	Mn	S	P	Si	Ni	Cr	Cu	V	Mo
S220	98,76	0,08	0,50	0,10	0,05	0,10	0,08	0,09	0,21	0,002	0,025
S400	98,06	0,30	0,80	0,20	0,05	0,20	0,08	0,08	0,20	0,002	0,025
S500s	98,20	0,18	0,99	0,047	0,023	0,15	0,09	0,09	0,21	0,002	0,021

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος S220 ήταν λείοι (χωρίς νευρώσεις), ενώ οι S400 και S500s ήταν νευροχάλυβες με εξέχουσες, ανάγλυφες νευρώσεις. Ο δείκτης s υποδηλώνει συγκολλησίμους χάλυβες. Οι ράβδοι S220, S400 και S500s είχαν τάση ορίου διαρροής 220 MPa (≈ 2200 kp/cm²), 400 MPa (≈ 4000 kp/cm²) και 500 MPa (≈ 5000 kp/cm²), αντίστοιχα.

6.2. Τσιμέντο

Για την κατασκευή των δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις τύποι τσιμέντου: CEM I 32,5, CEM I 42,5, CEM II/A-S 42.5 και CEM II/B-M 32.5, η χημική σύσταση των οποίων δίνεται στον πίνακα 6.2.

Πίνακας 6.2. Χημική ανάλυση (%) τσιμέντων

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	cor LOI	CaO _f	Sb (cm ² /g)
CEM I 32.5	20.67	4.99	3.18	63.20	2.73	0.37	0.29	2.44	1.52	2.41	4140
CEM I 42.5	22.44	5.94	4.10	55.44	3.93	0.85	0.58	2.54	3.60	1.43	3420
CEM II/A-S 42.5	21.64	5.85	4.60	58.10	2.63	0.51	0.30	2.61	3.80	1.11	3315
CEM II/B-M 32.5	27.38	9.10	5.65	45.39	2.73	0.94	0.56	2.71	5.04	2.67	4275

6.3. Αδρανές

Ως αδρανές χρησιμοποιήθηκε κίσηρη τριών κοκκομετρικών διαβαθμίσεων. Η **ελληνική κίσηρη ή ελαφρόπετρα** εξορύσσεται στη νησίδα Γυαλί (μεταξύ Κω και Νισύρου)

και είναι ένα χημικά αδρανές πορώδες ηφαιστειογενές ορυκτό, το οποίο δημιουργήθηκε από υποθαλάσσια έκρηξη ηφαιστείου της ευρύτερης περιοχής της Νισύρου πριν από 10.000 χρόνια.

Η διαδικασία παραγωγής της κίσηρης έχει ως εξής (ΛΑΒΑ, 2016):

Αρχικά γίνεται αποκάλυψη του κοιτάσματος της κίσηρης στο ορυχείο ελαφρόπετρας από τους υπερκείμενους άγονους γεωλογικούς σχηματισμούς (8-25m). Το ορυχείο είναι υπαίθριο και η εκμετάλλευση του γίνεται με τη μέθοδο των ορθών βαθμίδων. Στη συνέχεια γίνεται η εξόρυξη με προωθητές και το εξορυγμένο υλικό μέσω μεταφορικών ταινιών οδηγείται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας.

Η επεξεργασία συνίσταται στην κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού σε κύκλωμα στατικών και δονητικών κοσκίνων και τη θραύση μικρού μέρους σε σπαστήρες.

Τα τελικά προϊόντα (ελαφρόπετρα διαφορετικής κοκκομετρίας) αποτίθενται με μεταφορικές ταινίες σε υπαίθριους σωρούς από όπου, πάλι μέσω τεχνητών τούνελ και μεταφορικών ταινιών, παραλαμβάνονται και φορτώνονται στα πλοία με προορισμό τους πελάτες.

Η παραγωγική ικανότητα του ορυχείου αγγίζει τους 1.000.000 τν/έτος, ενώ στις ιδιόκτητες λιμενικές εγκαταστάσεις φόρτωσης, υπάρχει δυνατότητα εξυπηρέτησης πλοίων χωρητικότητας έως 27.000 τν και ρυθμό φόρτωσης 1.000 τν/ώρα.

Η εξόρυξη ελαφρόπετρας, η παραγωγή και εμπορία κοκκομετρικών κλασμάτων αυτής και η φόρτωση φορτηγών πλοίων χύδην συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις του προτύπου ISO 9001:2008.

Τα προϊόντα που παράγει το ορυχείο είναι πιστοποιημένα με σήμανση CE βάσει των προτύπων EN 13055-1:2002 (Ελαφρά αδρανή για σκυροδέματα, κονιάματα και ενέματα) και EN 13055-2:2004 (Ελαφρά αδρανή ασφαλτομιγμάτων, επιφανειακών επιστρώσεων και εφαρμογών με σταθεροποιημένα ή μη σταθεροποιημένα υλικά). Για τον σκοπό αυτό το ορυχείο διαθέτει εργαστήριο όπου γίνεται ποιοτικός έλεγχος της ελαφρόπετρας ως προς την κοκκομετρία, την υγρασία και το ειδικό βάρος της.

Η τυπική χημική ανάλυση (%) της κίσηρης δίνεται στον πίνακα 6.3, οι κοκκομετρικές αναλύσεις στον πίνακα 6.4 και το ειδικό βάρος και η υγρασία της κίσηρης στον Πίνακα 6.5 (ΛΑΒΑ Β, 2016).

Πίνακας 6.3. Τυπική χημική ανάλυση (%) κίσηρης

Συστατικό	% αναλογία
Οξείδιο του πυριτίου SiO₂	70.55
Οξείδιο του αργιλίου Al₂O₃	12.24
Τριοξείδιο του σιδήρου Fe₂O₃	0.89
Οξείδιο του ασβεστίου CaO	2.36
Οξείδιο του μαγνησίου MgO	0.10
Τριοξείδιο του θείου SO₃	0.03
Οξείδιο του καλίου K₂O	4.21
Οξείδιο του νατρίου Na₂O	3.49
Απώλεια πύρωσης	5.51
Απροσδιόριστα	0.62
Σύνολο	100.00

Πίνακας 6.4. Τυπική κοκκομετρία κίσηρης

Κοκκομετρική διαβάθμιση	SPECIAL BESSER 0-5 mm		BESSER 0-8 mm		GERMAN 8-16 mm	
	% Συγκρατούμενο					
Μέγεθος κόκκου (mm)	Ιδανικό	Ανοχή	Ιδανικό	Ανοχή	Ιδανικό	Ανοχή
19.00					0	0
16.00					1	0 - 3
12.70			0	0		
12.00					12	8 - 14
8.00			0.5	0 - 1.0	55	50 - 60
6.40	0	0				
4.76	2	0.5 - 4	21	17 - 28		
4.00					24	20 - 30
2.38	32	28 - 36	25.5	21 - 30		
1.19	22	19 - 25	17	13 - 21		
0.60	13	11 - 15	11.5	7 - 15.5		
0.30	9	7 - 11	9	5 - 13		
0.15	7	5.5 - 8.5	6.5	5 - 10.5		
Υποδοχέας	15	12 - 17	9	7 - 13	8	6 - 10

Πίνακας 6.5. Ειδικό βάρος και υγρασία κίσηρης.

	SPECIAL BESSER 0-5 mm	BESSER 0-8 mm	GERMAN 8-16 mm	Ανοχή
Ειδικό βάρος (kg/m ³) (ξηρό υλικό)	720	700	550	± 5%
υγρασία (%) (% υγρό υλικό)	19 - 25	10 - 25	20 - 28	

6.4. Νερό

Το νερό που χρησιμοποιήθηκε προερχόταν από το δίκτυο ύδρευσης του Ε.Μ.Π.

6.5. Πρόσθετα

Χρησιμοποιήθηκαν ως πρόσθετο το Sicament T3 (υπερρευστοποιητής) και χημικώς καθαρά φθοριούχο λίθιο (LiF) και νιτρώδες νάτριο (NaNO₂).

6.6. Αναστολείς διάβρωσης

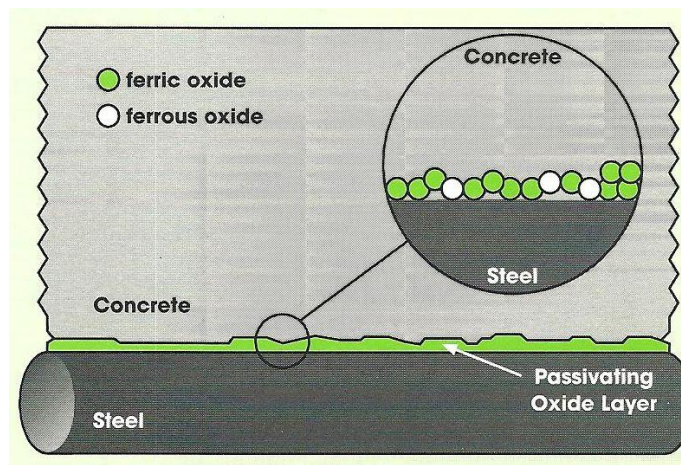
Ως αναστολείς διάβρωσης χρησιμοποιήθηκαν: α) αναστολέας με βάση διάλυμα 30% νιτρώδες ασβέστιο Ca(NO₂)₂ (αναστολέας **D**), β) αναστολέας με βάση την αμινοαλκοόλη (N-N'-dimethylaminoethanol) (αναστολέας **F**), και γ) αναστολέας με βάση τις αλκανολαμίνες (αναστολέας **M**). Οι αναστολείς αυτοί χρησιμοποιούνται με δύο τρόπους: είτε ως πρόσθετα

κατά τη διάρκεια της κατασκευής του σκυροδέματος (ποσοστό 3%, 3% και 1% κ.β. τιμέντο, αντίστοιχα), είτε μετά την κατασκευή ψεκάζοντας την επιφάνεια του σκυροδέματος σε τρία στρώματα με ρυθμό περίπου 1 l/m² για τους δύο πρώτους αναστολές και ένα στρώμα 0.3 l/m² για τον τρίτο αναστολέα.

6.6.1. Αναστολέας DI

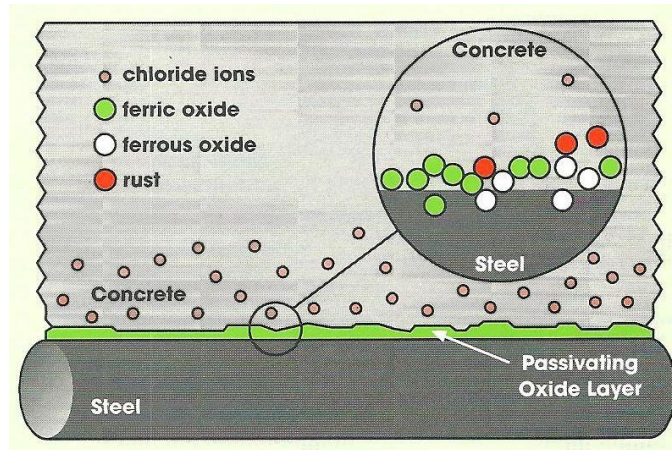
Ο αναστολέας DI είναι ένας υγρός αναστολέας διάβρωσης με βάση ένα υδατικό διάλυμα νιτρώδους ασβεστίου. Το προϊόν προστίθεται στο σκυρόδεμα τη στιγμή της παρασκευής του και αναστέλλει χημικά τη διαβρωτική δράση των χλωριόντων έναντι του χάλυβα οπλισμού στο οπλισμένο σκυρόδεμα. Είναι ένα προϊόν που έχει μελετηθεί για χρήσεις σε ήπια και θερμά κλίματα. Έχει ουδέτερα χαρακτηριστικά όσον αφορά τον χρόνο πήξης και τη διατήρηση της εργασιμότητας του σκυροδέματος.

Ο τρόπος λειτουργίας του αναστολέα νιτρώδους ασβεστίου παρουσία χλωριόντων στο οπλισμένο σκυρόδεμα φαίνεται περιληπτικά στα ακόλουθα σχήματα (Grace, 1996). Χάρη στο υψηλό pH του σκυροδέματος, ο χάλυβας οπλισμού καλύπτεται από ένα φυσικό στρώμα προστατευτικών οξειδίων του σιδήρου, που τον προστατεύει από τη διάβρωση (σχήμα 6.1). Το παθητικό στρώμα περιέχει κυρίως οξείδιο του τρισθενούς σιδήρου (ferric oxide, Fe₂O₃) και λιγότερο οξείδιο του δισθενούς σιδήρου (ferrous oxide, FeO). Οι θέσεις του οξειδίου του δισθενούς σιδήρου είναι σημεία ατέλειας, από όπου ξεκινά η διάβρωση εξαιτίας των χλωριόντων.



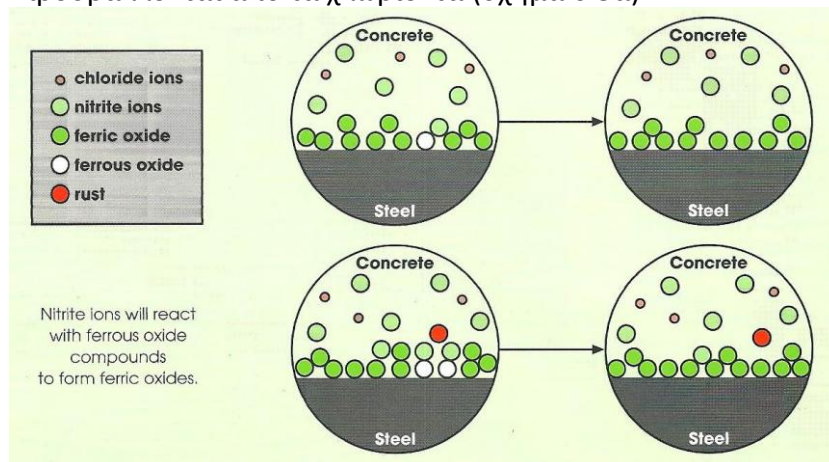
Σχήμα 6.1. Το φυσικά σχηματιζόμενο προστατευτικό στρώμα οξειδίων.

Τα χλωριόντα (chloride ions) προσβάλλουν το οξείδιο του δισθενούς σιδήρου, σχηματίζοντας ενώσεις οι οποίες απομακρύνονται από τον χάλυβα και γίνονται σκουριά (rust). Τα καινούρια άτομα σιδήρου που εκτίθενται, σχηματίζουν περισσότερο οξείδιο του δισθενούς σιδήρου, συνεχίζοντας την επιδεκτικότητα στην προσβολή των χλωριόντων (σχήμα 6.2).



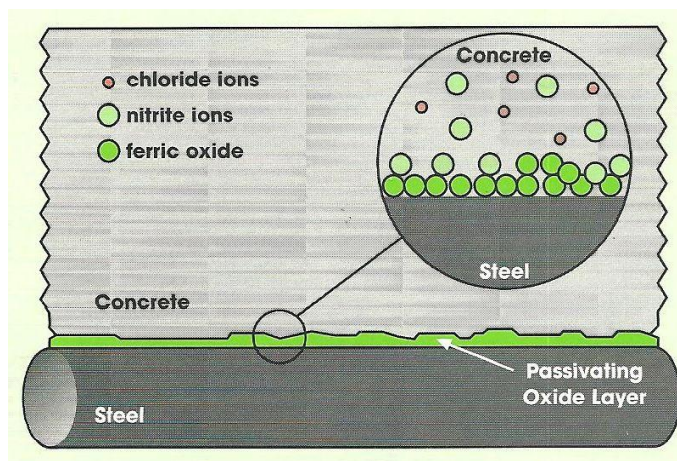
Σχήμα 6.2. Τα χλωριόντα προσβάλλουν τον χάλυβα.

Το νιτρικό ασβέστιο προστατεύει τον χάλυβα στο σκυρόδεμα βοηθώντας τη φυσική του άμυνα που είναι ήδη παρούσα. Πρώτα, τα νιτρικά ιόντα θα οξειδώσουν τα οξείδια του διασθενούς σιδήρου προς τον σχηματισμό των προστατευτικών οξειδίων του τρισθενούς σιδήρου, που δεν προσβάλλονται από τα χλωριόντα (σχήμα 6.3α).



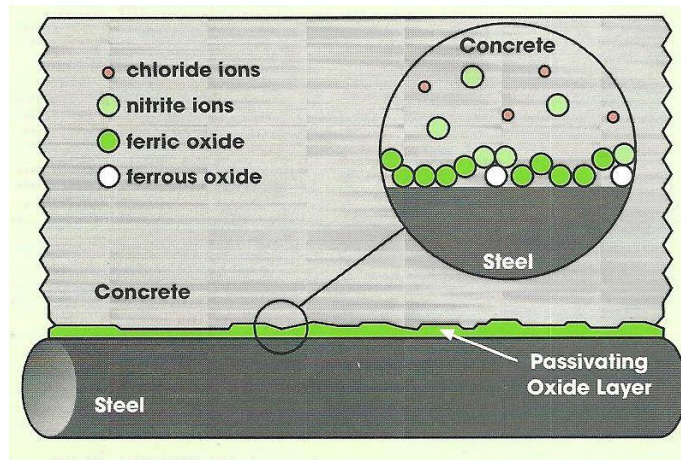
Σχήμα 6.3α. Η προστασία του χάλυβα από το νιτρώδες ασβέστιο

Στη συνέχεια, τα νιτρικά ανιόντα χημοροφώνται στην επιφάνεια του χάλυβα και σχηματίζουν ένα ισχυρό προστατευτικό στρώμα οξειδίων του τρισθενούς σιδήρου (σχήμα 6.3β).



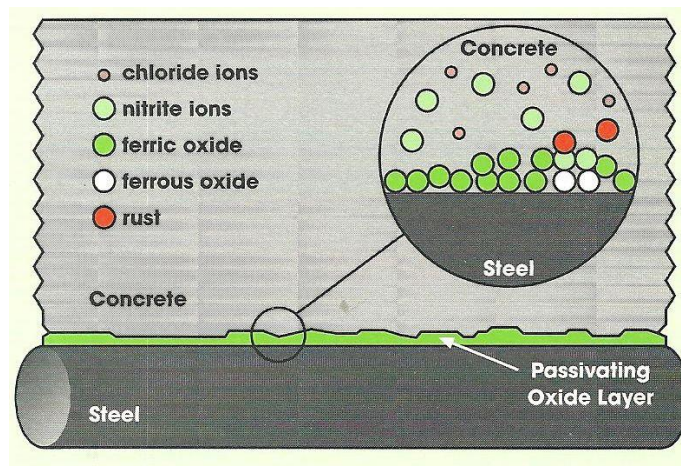
Σχήμα 6.3β. Η προστασία του χάλυβα από το νιτρώδες ασβέστιο

Τέλος, τα νιτρικά ιόντα περιβάλλουν τα οξειδία του δισθενούς σιδήρου, άρα λιγότερα σημεία ατελειών μπορούν να προσβληθούν από τα χλωριόντα (σχήμα 6.3γ).



Σχήμα 6.3γ. Η προστασία του χάλυβα από το νιτρώδες ασβέστιο

Αν τα χλωριόντα βρουν σημεία ατελειών, η διάβρωση θα αρχίσει. Όταν οι ενώσεις των οξειδίων του δισθενούς σιδήρου (σκουριά) απομακρύνονται από την επιφάνεια του χάλυβα, νέα ιόντα σιδήρου εκτίθενται στο περιβάλλον σκυρόδεμα. Τα νιτρικά ιόντα τα περιβάλλουν, τα θωρακίζουν έναντι των χλωριόντων, και προκαλούν την οξείδωση των δισθενών ιόντων σε τρισθενή. Έτσι το προστατευτικό στρώμα των οξειδίων επιδιορθώνεται και η διάβρωση σταματά (σχήμα 6.3δ).



Σχήμα 6.3δ. Η προστασία του χάλυβα από το νιτρώδες ασβέστιο

Εφαρμογές

Ο αναστολέας DI συνιστάται για όλα τα οπλισμένα και προεντεταμένα σκυροδέματα που εκτίθενται σε θαλάσσιο περιβάλλον ή που μπορεί να έρθουν σε επαφή με χλωριούχες ενώσεις από τη χρήση αλάτων απόψυξης. Παραδείγματα τέτοιων κατασκευών είναι:

- Κατασκευές σε άμεση επαφή με το θαλασσινό νερό (θαλάσσια έργα, όπως λιμενοβραχίονες, αποβάθρες κλπ).

- Κατασκευές εκτεθειμένες στην έμμεση δράση του θαλάσσιου περιβάλλοντος (χλωριούχες ενώσεις που μεταφέρονται από το θαλασσινό αερόλυμα σε περιοχές κοντά στις ακτές).
- Κατασκευές σε άμεση επαφή με χλωριούχες ενώσεις από τη χρήση αλάτων απόψυξης κατά τη χειμερινή περίοδο (πλάκες, καταστρώματα και κατασκευές υποστήριξης γεφυρών, πυλώνες, πλάκες πολυώροφων πάρκινγκ κλπ).
- Υπόγειες κατασκευές σε επαφή με το νερό ή / και εδάφη που περιέχουν χλωριούχες ενώσεις (εγκαταστάσεις καθαρισμού υδάτων, δεξαμενές υγρών κλπ).
- Σκυροδέματα που περιέχουν χλωριούχες ενώσεις λόγω ρύπανσης των συστατικών τους.

Χαρακτηριστικά

Ο αναστολέας DI είναι ένας αναστολέας διάβρωσης με βάση το νιτρώδες ασβέστιο που αντιδρά χημικά στην επιφάνεια επαφής οπλισμού – σκυροδέματος και εμποδίζει τα φαινόμενα διάβρωσης σχηματίζοντας, στην επιφάνεια του χάλυβα, ένα ισχυρό προστατευτικό στρώμα που είναι ανθεκτικό στις προσβολές των διαβρωτικών παραγόντων. Με αυτόν τον τρόπο καθυστερεί σημαντικά η περίοδος έναρξης της διάβρωσης, αλλά και η μετέπειτα ανάπτυξη της διάβρωσης εξελίσσεται με πολύ μικρότερη ταχύτητα. Ο αναστολέας DI όταν προστεθεί στο σκυρόδεμα στις ενδεδειγμένες ποσότητες, εμποδίζει όλα τα διαβρωτικά φαινόμενα: τόσο αυτά που προκαλούν οι χλωριούχες ενώσεις που υπάρχουν ήδη στο μίγμα (στο τσιμέντο, στα αδρανή ή στο νερό του μίγματος), όσο και αυτά που διεισδύουν από το εξωτερικό περιβάλλον στην προβλεπόμενη διάρκεια ζωής της κατασκευής (θαλασσινό νερό, χλωριούχα άλατα απόψυξης κλπ). Η συνιστώμενη δοσολογία εξαρτάται από την περιεκτικότητα χλωριούχων ιόντων στο σκυρόδεμα και ο βαθμός προστασίας είναι ευθέως ανάλογος με τη δοσολογία του αναστολέα DI. Η απαιτούμενη δοσολογία κυμαίνεται από 10 έως 30 l/m³.

Δεδομένου ότι πρόκειται για προϊόν σε υδατικό διάλυμα που χαρακτηρίζεται από υψηλή δοσολογία, για να τηρούνται οι τιμές της αναλογίας νερό / τσιμέντο που προβλέπονται από τις προδιαγραφές, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ποσότητα του νερού που προστίθεται με τον αναστολέα DI. Κατά συνέπεια, η προβλεπόμενη ποσότητα του νερού ανάμιξης θα πρέπει να μειωθεί, ώστε να αντισταθμιστεί το νερό που προστίθεται με τον αναστολέα διάβρωσης (Grace, 1998).

Πίνακας 6.6. Τεχνικά χαρακτηριστικά αναστολέα DI

Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Πυκνότητα	1.2÷1.3 kg/l
Ιξώδες	-
pH	8.0÷9.5
Σημείο ανάφλεξης	- (ανόργανο / υδατικό)
Σημείο βρασμού	108°C
Διαλυτότητα στο νερό	Πλήρης
Δοσολογία	10÷30 l/m ³
Χρώμα	διαυγές υγρό ανοικτό καφέ

6.6.2. Αναστολέας DO

Ο αναστολέας DO είναι ένας υγρός αναστολέας διάβρωσης ψεκασμού με βάση ένα υδατικό διάλυμα νιτρώδους ασβεστίου (10-20%). Χρησιμοποιείται για την επισκευή οπλισμένου σκυροδέματος που έχει επιβαρυνθεί με διάβρωση εξαιτίας των χλωριόντων. Όταν εφαρμοσθεί, ο αναστολέας DO διεισδύει στο σκυρόδεμα και προστατεύει τον χάλυβα οπλισμού περιβάλλοντάς τον. Το διάλυμα περιέχει και επιταχυντές διείσδυσης που διευκολύνουν τη διάχυση και προσκόλληση του αναστολέα στους υποκείμενους οπλισμούς, όπου εκεί γίνεται παθητικοποιητής ανοδικός αναστολέας διάβρωσης. Η επιφάνεια των εγκιβωτισμένων οπλισμών τότε μεταβάλλεται χημικά ώστε να ξεκινήσει και η παθητικοποίηση και σε μέρη όπου ήδη συμβαίνει διάβρωση. Στην περίπτωση σκυροδέματος που χρήζει επισκευής, εξαιτίας ρωγμών και αποκόλλησης τεμαχίων σκυροδέματος, θα πρέπει να προηγηθεί απομάκρυνση καταρχήν όλων των σαθρών τμημάτων. Ακολούθως, η έκταση της επισκευής υπαγορεύει πόσο επιπλέον σκυρόδεμα πρέπει να απομακρυνθεί, αλλά συνήθως στην περιοχή της επισκευής απομακρύνεται τόσο σκυρόδεμα, ώστε ο οπλισμός να παραμείνει επικαλυμμένος με το περισσότερο 12 mm σκυροδέματος. Κάποιες φορές είναι απαραίτητο, αλλά και επιτρεπτό, να εκτεθεί τελείως ο οπλισμός. Το σκυρόδεμα, που καλύπτει τις περιοχές επισκευής, συνιστάται να περιέχει αναστολέα διάβρωσης DI σε δοσολογία 20 l/m³.

Το σκυρόδεμα πρέπει να είναι στεγνό πριν την εφαρμογή του αναστολέα DO, διότι αυτό επιταχύνει τον ρυθμό διείσδυσης στο σκυρόδεμα. Η διαδικασία χρήσης περιλαμβάνει τρεις εφαρμογές, σε ρυθμό 0,33 l/m², που απλώνονται ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια του σκυροδέματος (συνολικά 1 l/m²). Ο αναστολέας DO περιέχει μια υδατοδιαλυτή πράσινη χρωστική, η οποία παρέχει στον εφαρμογέα οπτική ένδειξη της περιοχής εφαρμογής του προϊόντος και η οποία δεν χρωματίζει μόνιμα το σκυρόδεμα. Κάθε μια από τις τρεις εφαρμογές πρέπει να αφεθεί να διεισδύσει στο σκυρόδεμα πριν εφαρμοσθεί η επόμενη. Το σκυρόδεμα είναι έτοιμο για την επόμενη εφαρμογή, όταν η επιφάνεια χάνει τη γυαλάδα της (η επιφάνεια θα έχει ακόμη μια πράσινη απόχρωση) και δεν υπάρχει υγρός αναστολέας DO στην επιφάνεια. Οι πραγματικές συνθήκες υγρασίας του περιβάλλοντος επηρεάζουν τον ρυθμό διείσδυσης του αναστολέα στο σκυρόδεμα. Γενικά, συνιστάται χρόνος αναμονής μιας με δύο ώρες μετά την πρώτη εφαρμογή, τέσσερις έως έξι ώρες μετά τη δεύτερη και έξι με δώδεκα ώρες μετά την τρίτη. Ο αναστολέας δεν πρέπει να αφήνεται να 'λιμνάζει' πάνω στην επιφάνεια. Κατά τη διάρκεια και μεταξύ των περιόδων εφαρμογής, όσο δηλαδή ο αναστολέας διεισδύει στο σκυρόδεμα, η επιφάνεια θα πρέπει να προστατεύεται από την υγρασία ((Grace, 2000).

Πίνακας 6.7. Τεχνικά χαρακτηριστικά αναστολέα DO

Τεχνικά χαρακτηριστικά	
pH	~ 9.0
Δοσολογία	0,33 l/m ² (ανά εφαρμογή) τρεις εφαρμογές (συνολικά 1 l/m ²)
Χρώμα	διαυγές υγρό πράσινο

6.6.3. Αναστολέας FI

Ο αναστολέας FI είναι υγρό πρόσμικτο σκυροδέματος για χρήση σε οπλισμένο σκυρόδεμα και κονιάματα. Ενεργεί ως αναστολέας διάβρωσης στον οπλισμό του

σκυροδέματος. Με χρήση του αυξάνεται σημαντικά η διάρκεια ζωής και η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

Εφαρμογές

Ο αναστολέας FI είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για οπλισμένο σκυρόδεμα που υπόκεινται σε κίνδυνο διάβρωσης. Προστατεύει ειδικά από κίνδυνο διάβρωσης έναντι χλωριόντων. Τυπικές εφαρμογές βρίσκει σε:

Δρόμους από σκυρόδεμα
Γέφυρες
Σήραγγες
Τοίχους αντιστήριξης
Βιομηχανικές μονάδες
Χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων
Κατασκευές κοντά σε θάλασσα.

Χαρακτηριστικά / Πλεονεκτήματα

Με χρήση του αναστολέα FI μειώνονται σημαντικά οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις στην άνοδο και στην κάθοδο κατά τη διαδικασία διάβρωσης. Το προϊόν δημιουργεί ένα φιλμ στην επιφάνεια του οπλισμού και μειώνει σημαντικά τόσο την έναρξη της διάβρωσης, όσο και το ρυθμό εξέλιξής της. Ο αναστολέας FI αποτελεί συνδυασμό οργανικών αναστολέων διάβρωσης.

Με χρήση του αναστολέα FI προκύπτουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

Προστασία σκληρυμένου οπλισμένου σκυροδέματος έναντι διάβρωσης, ιδιαίτερα από επιθέσεις χλωριόντων

Προστασία του σκυροδέματος από τις καταστροφικές επιδράσεις της διάβρωσης του οπλισμού

Δεν επηρεάζει αρνητικά τις ιδιότητες του φρέσκου και σκληρυμένου σκυροδέματος. Ο αναστολέας FI μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς πρόβλημα σε προεντεταμένο σκυρόδεμα (Sika, 2014a).

Πίνακας 6.8. Τεχνικά χαρακτηριστικά αναστολέα FI

Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Σύσταση	αζωτούχες οργανικές και ανόργανες ενώσεις
Πυκνότητα	1.06 kg/l (20°C)
pH	10±1
Κατανάλωση	3÷4% κ.β. τσιμέντου
Τοξικότητα	μη τοξικό
Χρώμα	πράσινο υγρό

6.6.4. Αναστολέας FO

Ο αναστολέας FO είναι επιφανειακής εφαρμογής αναστολέας διάβρωσης για το χαλύβδινο οπλισμό κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος, σχεδιασμένος για χρήση με εμποτισμό. Ο αναστολέας FO βασίζεται σε οργανικά συστατικά, διεισδύει στο σκυρόδεμα και σχηματίζει μια μονομοριακή προστατευτική στρώση στην επιφάνεια του χάλυβα οπλισμού.

Η προστασία που προσφέρει ο αναστολέας FO έχει διπλή λειτουργία, τόσο αναστέλλοντας την έναρξης της διάβρωσης όσο μειώνοντας το ρυθμό διάβρωσης του

χαλύβδινου οπλισμού. Η προστασία έναντι διαβρώσεως με τον FO έχει ως αποτέλεσμα την επιμήκυνση του χρόνου ζωής και λειτουργίας της κατασκευής έως και 15 χρόνια.

Εφαρμογές

- Για την αντιδιαβρωτική προστασία του χαλύβδινου οπλισμού υπογείων και υπέργειων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος

- Για την επισκευή και συντήρηση κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος (χωρίς εμφανή συμπτώματα βλάβης), όπου ο χαλύβδινος οπλισμός διαβρώνεται ή διατρέχει κίνδυνο διάβρωσης λόγω των επιδράσεων του φαινομένου της ενανθρακώσεως ή της προσβολής χλωριόντων.

- Ο αναστολέας FO είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για την παράταση του χρόνου ζωής κατασκευών σκυροδέματος με επιφάνειες υψηλής αισθητικής αξίας (εμφανούς σκυροδέματος, ιστορικού ενδιαφέροντος κατασκευές).

Χαρακτηριστικά

- Συμμορφώνεται με την αρχή 11 του EN 1504-9, μέθοδος 11.3 (εφαρμογή αναστολέα διάβρωσης)

- Δεν αλλοιώνει την εμφάνιση της κατασκευής σκυροδέματος

- Δε μεταβάλλει την ικανότητα διάχυσης των υδρατμών

- Μακράς διάρκειας προστασία και ανθεκτικότητα

- Μπορεί να εφαρμόζεται σε επιφάνεια υφιστάμενων επισκευών και γειτονικές περιοχές επισκευής ως προληπτική δράση έναντι του φαινομένου της άρχουσας ανόδου

- Διπλή δράση προστασίας, τόσο της καθόδου (Αρχή 9) όσο και της ανόδου (Αρχή 11) του χαλύβδινου οπλισμού

- Μπορεί να εφαρμόζεται εκεί όπου άλλες επισκευαστικές/προληπτικές μέθοδοι προστασίας δεν είναι εφικτό να εφαρμοστούν

- Οικονομική επέκταση της διάρκειας ζωής των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος

- Εύκολη, οικονομική εφαρμογή, ανανεώσιμη

- Σύμφωνα με τη νέα νομοθεσία CLP (Ταξινόμηση – Επισήμανση – Συσκευασία)

- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέρος ενός απλού και αποτελεσματικού συστήματος επισκευής και προστασίας

- Το βάθος διείσδυσης μπορεί να μετράται επί τόπου στο έργο (Sika, 2014b).

Πίνακας 6.9. Τεχνικά χαρακτηριστικά αναστολέα FO

Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Πυκνότητα	1.13 kg/l (20°C)
Ιξώδες	25 mPa·s
pH	11
Κατανάλωση	0.3÷0.5 kg/m ²
Χρώμα	διαφανές υγρό, άχρωμο προς υποκίτρινο
Τοξικότητα	μη τοξικό
	προϊόν έτοιμο για χρήση / δεν διαλύεται

6.6.5. Αναστολέας MI

Ο αναστολέας MI είναι ένα ειδικό πρόσμικτο που προστίθεται κατά τη διαδικασία παραγωγής του σκυροδέματος με σκοπό την επίτευξη της καλύτερης δυνατής προστασίας του χάλυβα οπλισμού από τη διάβρωση. Το προϊόν δρα όχι μόνο κατά την επαφή του με τα

στοιχεία του δομικού χάλυβα, αλλά ταυτόχρονα μπορεί να διεισδύσει με διάχυση μέσω του πορώδους του σκυροδέματος, προσεγγίζοντας τις ράβδους του οπλισμού και δημιουργώντας τις προϋποθέσεις αναστολής της παθητικής διαδικασίας ανοδικής και καθοδικής διάβρωσης. Η χρήση του αποσκοπεί στη χρονική επέκταση της αναμενόμενης διάρκειας ζωής του οπλισμένου σκυροδέματος που εκτίθεται σε δράσεις επιθετικών παραγόντων που προάγουν τη διάβρωση, όπως το οξυγόνο, η υγρασία, τα θειικά και / ή παγολυτικά άλατα, τα χλωριόντα και οι λυιές δυσμενείς συνθήκες που εστιάζονται σε κατασκευές εκτεθειμένες κυρίως σε θαλασσινό περιβάλλον.

Ο αναστολέας MI είναι ουδέτερο προϊόν, που βασίζεται σε οργανικά συστατικά, τα οποία σε καμία περίπτωση δεν μεταβάλλουν και δεν επηρεάζουν τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των κονιαμάτων ή του σκυροδέματος. Η απαιτούμενη δοσολογία δεν επηρεάζεται από τη συγκέντρωση των χλωριόντων. Είναι προϊόν ασφαλές και φιλικό προς το περιβάλλον.

Ο αναστολέας MI συνιστάται σε όλα τα έργα και κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, κανονικό ή προεντεταμένο, και ιδιαίτερα σε συνθήκες έντονα διαβρωτικού περιβάλλοντος, όπως γέφυρες, δεξαμενές, υδραγωγεία, πύργοι ψύξης, διυλιστήρια και βιομηχανικές μονάδες, κτιριακές εγκαταστάσεις δίπλα ή / και μέσα στη θάλασσα, εκτεθειμένες όψεις κτιρίων από σκυρόδεμα, κλπ.

Η δοσολογία του αναστολέα MI εξαρτάται από τη μελέτη σύνθεσης και τις επικρατούσες στο έργο συνθήκες, αλλά συνήθως χρησιμοποιούνται 0,6 l/m³ σκυροδέματος. Ο αναστολέας MI προστίθεται κατά τη διαδικασία παραγωγής του σκυροδέματος, μαζί με ή λίγο μετά την προσθήκη του νερού (Cortec, 2002; Sintecno, 2010).

Πίνακας 6.10. Τεχνικά χαρακτηριστικά αναστολέα MI

Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Πυκνότητα	0.89÷0.93 kg/l (20°C)
Ιξώδες	15 c.p.s. (23°C)
pH	10÷11
Σημείο ανάφλεξης	>39°C
Δοσολογία	0,6 l/m ³
Χρώμα	ομιχλώδες υγρό ανοικτό πράσινο

6.6.6. Αναστολέας MO

Ο αναστολέας MO είναι ένας επιφανειακά εφαρμοζόμενος αναστολέας διάβρωσης, που προστατεύει τον χάλυβα οπλισμού ηλεκτροχημικά, διαχεόμενος ακόμη και μέσα στο πυκνότερο σκυρόδεμα. Η φύση του προϊόντος είναι να εκμεταλλεύεται την απορροφητικότητα του υποστρώματος, δημιουργώντας διάχυση μέσω του πορώδους του σκυροδέματος, προσεγγίζοντας τα στοιχεία του δομικού χάλυβα με σκοπό να τα προστατεύσει από περαιτέρω διάβρωση. Δρα και στις ανοδικές και τις καθοδικές περιοχές, επιμηκώνοντας ταυτόχρονα τη χρονική διάρκεια και τα όρια λειτουργίας της κατασκευής.

Ο αναστολέας MO μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτούσιο σε επιφάνειες οπλισμένου σκυροδέματος, ως μέτρο κατά της διάβρωσης των οπλισμών. Είναι οργανικό προϊόν υδατικού διαλύματος, μη εύφλεκτο και μη τοξικό, ασφαλές και φιλικό προς το περιβάλλον, απλό και εύκολο στην εφαρμογή. Η χρήση του σταματά την περαιτέρω διάβρωση στις σκουριασμένες επιφάνειες. Εφαρμόζεται σε ψεκασμό, με ρολό ή και με βούρτσα. Μετά την εφαρμογή του, το σκυρόδεμα μπορεί να αναπνέει και οι υδρατμοί να διαχέονται.

Ο αναστολέας ΜΟ συνιστάται σε όλες τις κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος, όπως και σε κατασκευές προεντεταμένου σκυροδέματος, και ιδιαίτερα σε συνθήκες δυσμενούς περιβάλλοντος, με έντονα διαβρωτικές συνθήκες, όπως γέφυρες, υδραγωγεία, χώροι στάθμευσης οχημάτων, σε κτίρια στα αστικά κέντρα ή σε βιομηχανικές ζώνες, εκτεθειμένες όψεις σκυροδέματος, παράκτιες κατασκευές και λιμενικά έργα, κλπ.

Ανάλογα με την απορροφητικότητα του υποστρώματος, συστήνεται η εφαρμογή του προϊόντος σε μια ή δύο στρώσεις, όπου η κατανάλωση κυμαίνεται στα 0,15 kg/m³ περίπου, ανά στρώση εφαρμογής. Η επιφάνεια πρέπει να είναι σταθερή, στεγνή και καθαρή, χωρίς σκόνη, ρύπους, εξανθήματα – αλατώσεις, βρύα και λειχήνες, παλαιές βαγές που έχουν κλείσει το πορώδες ή ελαιώδεις – λιπαρές ουσίες. Τυχόν αποκαλυμμένα τμήματα οπλισμών, αφού πρώτα προετοιμαστούν κατάλληλα, πρέπει να προστατεύονται με επισκευαστικά κονιάματα με αντιδιαβρωτική προστασία, με συμβατό αναστολέα διάβρωσης. Ο χρόνος αναμονής ανάμεσα στις δύο στρώσεις είναι οκτώ έως 24 ώρες (Cortec, 2010).

Πίνακας 6.11. Τεχνικά χαρακτηριστικά αναστολέα ΜΟ

Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Πυκνότητα	1.03÷1.05 kg/l (20°C)
pH	9÷9.5
Σημείο ανάφλεξης	>100°C (υδατοδιαλυτό)
Δοσολογία	3.68 m ² /l ανά στρώση
Χρώμα	διαυγές υγρό κίτρινο

6.7. Πιγμέντα οξειδίων σιδήρου

Στην Ελλάδα η παραγωγή σιδηρονικελίου γίνεται με την πυρομεταλλουργική μέθοδο και αξιοποιούνται φτωχά σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα καθώς και εγχώριοι λιγνίτες. Τα στερεά απόβλητα της διεργασίας προέρχονται από τη σκουριά των ηλεκτροκαμίνων και τη σκουριά των μεταλλακτών. Η παραγόμενη ως παραπροϊόν σκουριά ηλεκτροκαμίνων αποτελεί το 85% περίπου της τροφοδοσίας και προκύπτει από αναγωγικές διεργασίες. Κατά την έξοδό της από τις ηλεκτροκαμίνους κοκκοποιείται με ισχυρό ρεύμα θαλασσινού νερού και απορρίπτεται ή πωλείται στις τσιμεντοβιομηχανίες και τις μονάδες παραγωγής αμμοβολής. Η παραγόμενη - κατά τον εμπλουτισμό σε Νί στους μεταλλάκτες - σκουριά αποτελεί παραπροϊόν, που αποθηκεύεται προσωρινά και αφού λειοτριβηθεί σε διαστάσεις 5mm πωλείται, σαν βαρύ και αδρανές υλικό για την παραγωγή ειδικού τύπου μπετόν για επικάλυψη αγωγών πετρελαίου ή άλλων παρόμοιων έργων στην Ευρώπη τη Βόρειο Αφρική και τη Μέση Ανατολή (ΛΑΡΚΟ, 2016).

Έγινε προσπάθεια από το Τμήμα Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. να αξιοποιηθεί η σκουριά των μεταλλακτών ως πιγμέντο σιδήρου στην παραγωγή χρωμάτων στα πλαίσια διδακτορικής διατριβής (Ζαγγογιάννης, 1997). Για να χρησιμοποιηθεί ένα οξείδιο του σιδήρου ως πιγμέντο θα πρέπει να έχει ορισμένες φυσικοχημικές ιδιότητες, που περιγράφονται στα πρότυπα ΕΛΟΤ 835 και DIN 55913. Για τον λόγο αυτό έγιναν οι ακόλουθοι προσδιορισμοί:

- προσδιορισμός πτητικών και υδατοδιαλυτών συστατικών
- αριθμός ελαίου
- pH και ειδική αντίσταση
- κοκκομετρική ανάλυση

- εξέταση δομής.

Τα αποτελέσματα των προσδιορισμών φαίνονται στον Πίνακα 6.12 στη στήλη «πρώτη ύλη». Από τη σύγκριση των τιμών αυτών με τις τιμές του Πρότυπου ΕΛΟΤ 835 έγινε φανερό ότι η σκουριά των μεταλλακτών περιείχε πολύ υψηλό ποσοστό υδατοδιαλυτών υλών. Μετά τη διαπίστωση αυτή, έγινε έκπλυση δείγματος σκουριάς μεταλλακτών με νερό βρύσης, η οποία τελείωνε όταν το νερό έκπλυσης είχε αγωγιμότητα 6 mS. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού χρειαζόταν 50 ml νερού ανά g πρώτης ύλης. Ακολουθούσε κατόπιν ξήρανση και λειοτρίβηση του υλικού.

Οι προσδιορισμοί επαναλήφθηκαν με την επεξεργασμένη πρώτη ύλη. Οι τιμές των νέων προσδιορισμών δίνονται στον Πίνακα 6.12 τη στήλη «επεξεργασμένη ύλη», όπου φαίνεται ότι οι υδατοδιαλυτές ύλες μειώθηκαν σημαντικά. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά, η επεξεργασμένη ύλη μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως πιγμέντο στην παρασκευή χρωμάτων.

Πίνακας 6.12. Φυσικοχημικές αναλύσεις σκουριάς μεταλλακτών

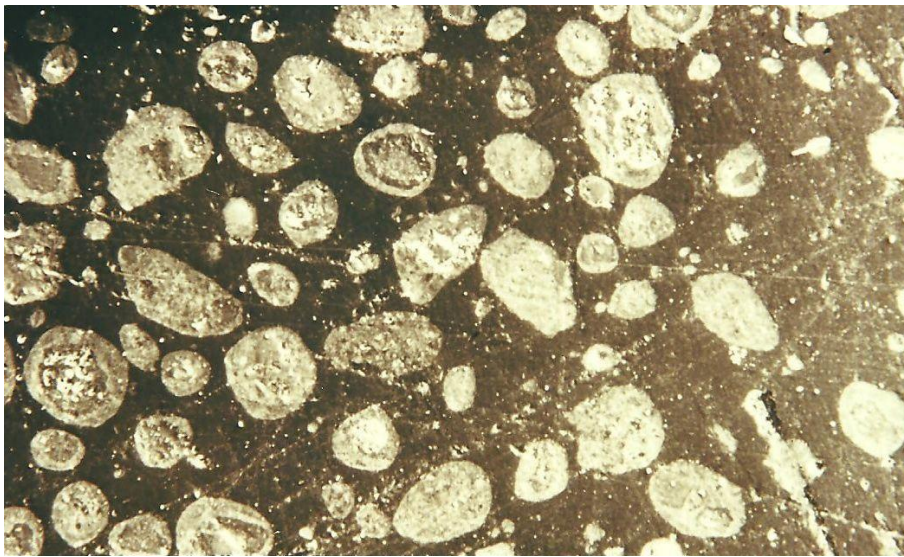
Είδος ανάλυσης	Πρώτη ύλη	Επεξεργασμένη ύλη
Πτητικές ύλες	0.4% (0.37-0.40%)	(0.12-0.13%)
Υδατοδιαλυτές ύλες (εν θερμώ)	13.47%	2.00%
Υδατοδιαλυτές ύλες (εν ψυχρώ)	11.70%	1.90%
pH	12.2-12.3	12.3-12.4
Αλκαλικότητα μεθυλίου (εν θερμώ)	706.25 ml N/10 HCl	1020.00 ml N/10 HCl
Αλκαλικότητα μεθυλίου (εν ψυχρώ)	956.25 ml N/10 HCl	1040.00 ml N/10 HCl
Ειδική αντίσταση	>11*10 ⁴ μS	5764 μS
Cl⁻ (εν θερμώ)	0.65%	-
Cl⁻ (εν ψυχρώ)	0.63%	-
SO₄²⁻ (εν θερμώ)	1.97%	0.30%
SO₄²⁻ (εν ψυχρώ)	1.50%	0.22%
CO₃²⁻ (εν θερμώ)	0.60%	0.96%
CO₃²⁻ (εν ψυχρώ)	0.60%	1.44%
OH⁻ (εν θερμώ)	1.03%	1.46%
OH⁻ (εν ψυχρώ)	1.46%	1.36%
Ca²⁺ (εν θερμώ)	1.67%	2.04%
Ca²⁺ (εν ψυχρώ)	2.28%	1.89%
CaO (εν θερμώ)	2.34%	2.86%
CaO (εν ψυχρώ)	3.19%	2.64%
Mg²⁺ (εν θερμώ)	1.02%	1.22%
Mg²⁺ (εν ψυχρώ)	1.44%	1.24%
MgO (εν θερμώ)	1.69%	2.02%
MgO (εν ψυχρώ)	2.38%	2.05%

Επίσης έγινε κοκκομετρική ανάλυση της σκουριάς, όπου διαπιστώθηκε ότι το 90% του υλικού ήταν κάτω των 12 μm και προσδιορίστηκε η ειδική επιφάνεια του υλικού με τη μέθοδο BET και βρέθηκε ίση με 3.0 m²/g.

Στη συνέχεια έγινε εξέταση της δομής του υλικού με περίθλαση ακτίνων X (X ray Diffraction). Από αυτήν διαπιστώθηκε ότι τα οξείδια του σιδήρου βρίσκονταν κυρίως υπό τη

μορφή Fe_3O_4 . Άλλωστε, το υλικό παρουσίαζε μαγνητικές ιδιότητες. Η μορφή αυτή του οξειδίου ήταν κατάλληλη για την παραγωγή αντιδιαβρωτικών χρωμάτων.

Η εξέταση των κόκκων του υλικού στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο έδειξε ότι οι περισσότεροι κόκκοι αποτελούνταν από ένα εξωτερικό στρώμα και ένα εσωτερικό στρώμα (σχήμα 6.4). Η μικροανάλυση με EPMA απέδειξε ότι η εξωτερική ζώνη αποτελούταν κύρια από οξείδια του σιδήρου, ενώ η εσωτερική από οξείδια μαγνησίου και ασβεστίου. Αυτή η δομή έδινε στο υλικό τις κατάλληλες ιδιότητες για τη χρήση του ως ενεργό αντιδιαβρωτικό πιγμέντο, εφόσον θα υπήρχε η δυνατότητα αλκαλικοποίησης της επιφάνειας του προστατευόμενου χάλυβα. Επίσης το πιγμέντο αυτό δεν περιείχε επιβλαβή για το περιβάλλον συστατικά, όπως PbO και Cr .



Σχήμα 6.4. Κόκκοι σκουριάς στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.



Σχήμα 6.5. Τομή κόκκου σκουριάς στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Τέλος με πιγμέντο την επεξεργασμένη πρώτη ύλη παρασκευάστηκαν χρώματα (αλκυδικών ρητινών, πολυουρεθάνης και χλωριωμένου καουτσούκ) τα οποία εφαρμόστηκαν σε δοκίμια χάλυβα που εκτέθηκαν στα διαβρωτικά περιβάλλοντα διαλύματος 3.5% κ.β. $NaCl$ και στον ατμοσφαιρικό αέρα. Η έρευνα απέδειξε ότι η σκουριά

των μεταλλακτών της βιομηχανίας σιδηρονικελίου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως πιγμένο αντιδιαβρωτικών χρωμάτων. Η αντιδιαβρωτική ικανότητα του πιγμένου οφειλόταν και στο φαινόμενο παρεμπόδισης (barrier effect) και στο υψηλό pH που οδηγούσε στον σχηματισμός παθητικού στρώματος οξειδίων και πιθανόν στις μαγνητικές ιδιότητες που εμφάνιζε. Τα πιγμένα οξειδίων σιδήρου έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι φιλικά προς το περιβάλλον και δεν έχουν επιβλαβή επίδραση στην υγεία των εργαζομένων στο κύκλωμα παραγωγής και χρήσης χρωμάτων. Επίσης η αξιοποίηση της σκουριάς των μεταλλακτών θα είχε ως αποτέλεσμα την οικονομική εκμετάλλευση ενός παραπροϊόντος και την προστασία του περιβάλλοντος.

Από την παραπάνω έρευνα προέκυψε επίσης ότι η ψύξη με θαλασσινό νερό της θερμής σκουριάς μεταλλακτών ήταν ο λόγος επιβάρυνσής της με υδατοδιαλυτές ύλες και κυρίως με NaCl. Από στατιστικά στοιχεία προέκυψε ότι η χρήση της σκουριάς των μεταλλακτών ως πιγμένο δεν ήταν δυνατόν να απορροφήσει τη συνολική παραγόμενη ποσότητα σκουριάς. Κατά συνέπεια, εάν επρόκειτο να αξιοποιηθεί η σκουριά των μεταλλακτών στην παρασκευή πιγμένου, θα έπρεπε να γίνεται έκπλυση με βιομηχανικό νερό μόνο του μέρους της σκουριάς που θα χρησιμοποιόταν για πιγμένο.

6.8. Επικαλύψεις

Οι επικαλύψεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- Ακρυλική διασπορά απόχρωσης γκρι, με κύριο πιγμένο TiO_2 (επικάλυψη AT).
- Ακρυλική διασπορά απόχρωσης καφέ με πιγμένο οξείδια σιδήρου (Fe_2O_3 και Fe_3O_4) (επικάλυψη AF).
- Επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ απόχρωσης καφέ με πιγμένο οξείδια σιδήρου (Fe_2O_3 και Fe_3O_4) (επικάλυψη XF).
- Διαφανές βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ (επικάλυψη XV).
- Ανόργανο χρώμα με βάση την υδρύαλο απόχρωσης λευκής (επικάλυψη Y).

6.8.1. Ακρυλική διασπορά με κύριο πιγμένο TiO_2

Πρόκειται για ακρυλική διασπορά του εμπορίου, ενός συστατικού, που αραιώνεται με νερό. Εφαρμόζεται σε δύο στρώσεις, η πρώτη στρώση αραιώνεται με 10% νερό και η δεύτερη στρώση εφαρμόζεται αναρραίωτη. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ακρυλικής διασποράς με κύριο πιγμένο TiO_2 παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.13 (Adler, 2013).

Πίνακας 6.13. Τεχνικά χαρακτηριστικά ακρυλικής διασποράς με TiO_2

Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Ειδικό βάρος	1,32 g/cm ³ (20°C)
Ιξώδες	4500 ÷ 5500 mPa·s (DIN EN ISO 2431)
pH	8.0 ÷ 8.5 (20°C)
Απόδοση	6 ÷ 8 m ² /l
Κατανάλωση (ολική)	0.44 kg/m ²
Αραίωση	10% με νερό
Σημείο ανάφλεξης	> 100 °C

6.8.2. Ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξειδία σιδήρου (Fe_2O_3 και Fe_3O_4)

Πρόκειται για ακρυλική διασπορά που παρασκευάστηκε για την έρευνα, περιέχοντας τη σκουριά των μεταλλακτών ως πιγμέντο. Εφαρμόζεται σε δύο στρώσεις, η πρώτη στρώση αραιώνεται με 10% νερό και η δεύτερη στρώση εφαρμόζεται αναραιώτη. Η σύσταση της ακρυλικής διασποράς με πιγμέντο οξειδία σιδήρου παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.14, ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά της παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.15.

Πίνακας 6.14. Σύσταση (%) της ακρυλικής διασποράς με πιγμέντο οξειδία σιδήρου

Συστατικό	Ποσοστό (%)
Πιγμέντο	13
Ακρυλικό γαλάκτωμα	30
Filler	30
Πρόσθετα	3
Νερό	24
Σύνολο	100

Πίνακας 6.15. Τεχνικά χαρακτηριστικά της ακρυλικής διασποράς με πιγμέντο οξειδία σιδήρου

Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Ειδικό βάρος	1,35 g/cm ³ (20°C)
pH	8.7 (20°C)
Απόδοση	6÷8 m ² /l
Αραίωση	10% με νερό

6.8.3. Επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ με πιγμέντο οξειδία σιδήρου

Πρόκειται για επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ που παρασκευάστηκε για την έρευνα, περιέχοντας τη σκουριά των μεταλλακτών ως πιγμέντο. Εφαρμόζεται σε δύο στρώσεις, η πρώτη στρώση αραιώνεται με 10% διαλύτη και η δεύτερη στρώση εφαρμόζεται αναραιώτη. Η % σύσταση της επικάλυξης παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.16, ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά της παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.17.

Πίνακας 6.16. Σύσταση (%) της επικάλυξης χλωριωμένου καουτσούκ με οξειδία σιδήρου

Συστατικό	Ποσοστό (%)
Πιγμέντο	13
ZnO	2
BaSO ₄	6
Πρόσθετα	4
Ρητίνη χλωριωμένου καουτσούκ	15
Διαλύτης	60
Σύνολο	100

Πίνακας 6.17. Τεχνικά χαρακτηριστικά της επικάλυψης χλωριωμένου καουτσούκ με οξείδια σιδήρου

Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Ειδικό βάρος	1,35 g/cm ³ (20°C)
pH	8.7 (20°C)
Απόδοση	6÷8 m ² /l
Αραιώση	10% με διαλύτη

6.8.4. Διαφανές βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ

Πρόκειται για επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ χωρίς πιγμέντο (βερνίκι). Εφαρμόζεται σε δύο στρώσεις, η πρώτη στρώση αραιώνεται με 10% διαλύτη και η δεύτερη στρώση εφαρμόζεται αναραιώτη. Η % σύσταση της επικάλυψης χλωριωμένου καουτσούκ χωρίς πιγμέντο παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.18, ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά της παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.19.

Πίνακας 6.18. Σύσταση (%) της επικάλυψης χλωριωμένου καουτσούκ χωρίς πιγμέντο

Συστατικό	Ποσοστό (%)
CaCO ₃	15
ZnO	2
BaSO ₄	6
Πρόσθετα	4
Ρητίνη χλωριωμένου καουτσούκ	15
Διαλύτης	58
Σύνολο	100

Πίνακας 6.19. Τεχνικά χαρακτηριστικά της επικάλυψης χλωριωμένου καουτσούκ χωρίς πιγμέντο

Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Ειδικό βάρος	1.2 g/cm ³ (20°C)
pH	7.9 (20°C)
Απόδοση	5÷7 m ² /l
Αραιώση	10% με διαλύτη

6.8.5. Ανόργανο χρώμα με βάση την υδρύαλο απόχρωσης λευκής

Το χρώμα Υ είναι ένα ορυκτό, ματ, καλυπτικό χρώμα με βάση την υδρύαλο που καλύπτει το υπόστρωμα αποτελεσματικά και προσφέρει στο σκυρόδεμα μία μακροχρόνια προστασία από τις καιρικές συνθήκες και την ενανθράκωση. Το χρώμα W προστατεύει το σκυρόδεμα από τον καιρό και δεν αφήνει ρυπογόνα και επικίνδυνα χημικά να διεισδύουν στο σκυρόδεμα. Το χρώμα λειτουργεί ταυτόχρονα σαν μεμβράνη και εξάγει ότι εσωτερική υγρασία υπάρχει προς τα έξω. Το χρώμα είναι ματ και συμβαδίζει με την αίσθηση του σκυροδέματος (και τα δύο είναι ορυκτά υλικά). Το χρώμα W είναι άφλεκτο σύμφωνα με την οδηγία DIN 4102 A2. Σε περίπτωση φωτιάς κανένα τοξικό αέριο δεν απελευθερώνεται στο χώρο. Το συνδετικό υλικό της επικάλυψης είναι φτιαγμένη από υδρύαλο "silica sol"

“potassium silicate” καθαρή, ακρυλική ρητίνη (acrylate). Ως πιγμέντο χρησιμοποιείται TiO_2 . Εφαρμόζεται σε δύο στρώσεις, η πρώτη στρώση αραιώνεται με τον ανάλογο διαλύτη (10%) και η δεύτερη στρώση αναραιώτη. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του διαλύτη του ανόργανου χρώματος παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.20 (Keim, 2009) (ABIO, 2016) και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ανόργανου χρώματος στον Πίνακα 6.21 (Keim, 2014). Οι ακρυλικές διασπορές και οι επικαλύψεις χλωριωμένου καουτσούκ δημιουργούν φιλμ στην επιφάνεια του σκυροδέματος, ενώ η ανόργανη επικάλυψη αντιδρά χημικά με το σκυρόδεμα.

Πίνακας 6.20. Τεχνικά χαρακτηριστικά διαλύτη ανόργανου χρώματος

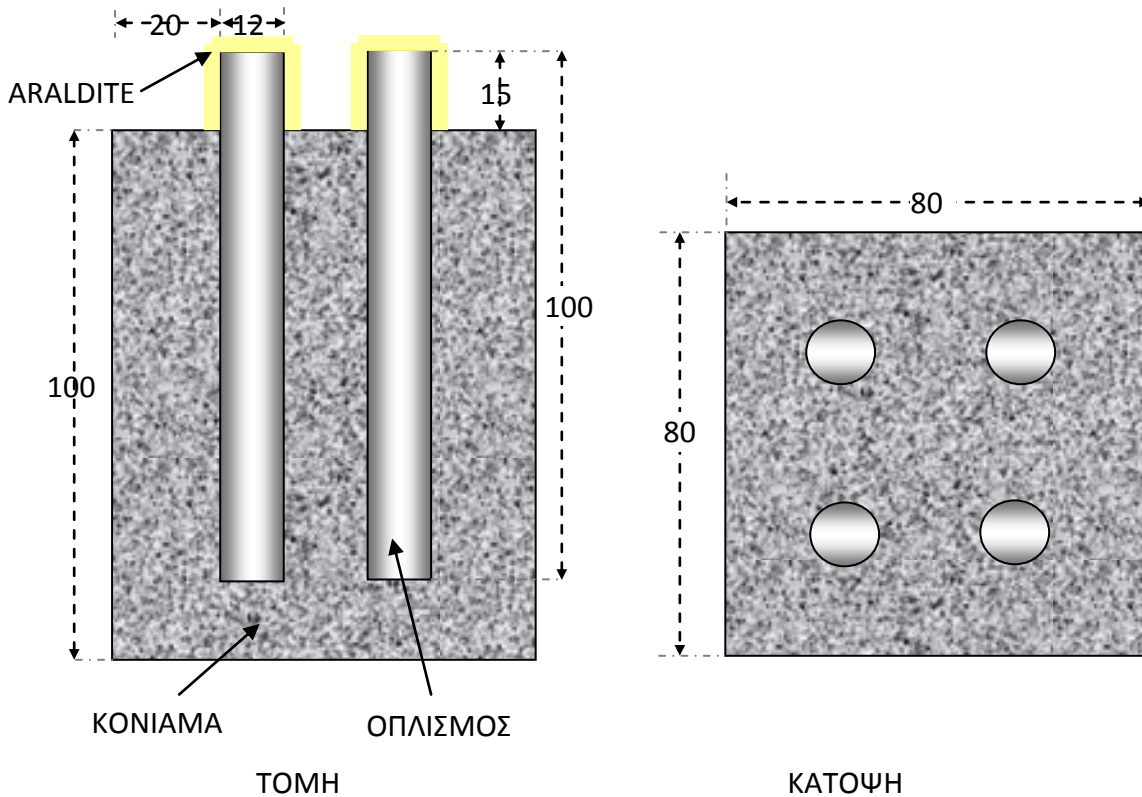
Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Ειδικό βάρος	$\approx 1,05 \text{ g/cm}^3$
pH	≈ 11
Κατανάλωση	0.05 l/m^2
Απόχρωση	γαλακτώδες

Πίνακας 6.21. Τεχνικά χαρακτηριστικά ανόργανου χρώματος

Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Ειδικό βάρος	$1,39 \text{ g/cm}^3 (20^\circ\text{C})$
VOCs (white or tinted) ASTM D6886	$< 8 \text{ g/l}$
αντίσταση στην ενανθράκωση $s_d (CO_2)$	110 m
αντίσταση στην ατμοδιαπερατότητα $s_d (H_2O)$	0.18 m
Συντελεστής απορρόφησης νερού W	$0.18 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$
Αντοχή σε εφελκυσμό T standard	1.9 N/mm^2
Απόδοση	$8,5 \div 10 \text{ m}^2/\text{l}$
Κατανάλωση (για δύο στρώσεις)	$0.3 \text{ kg/m}^2 + 0.05 \text{ l/m}^2$ (διαλύτη)
Αραίωση	Πρώτη στρώση: αρραίωση με τον αντίστοιχο διαλύτη 10%
Πάχος ξηρού φιλμ	τουλάχιστον $150 \mu\text{m} \approx 6 \text{ mil}$ για 2 στρώσεις

6.9. Δοκίμια

Το σχήμα των δοκιμίων, οι διαστάσεις καθώς και η θέση των οπλισμών στο δοκίμιο εικονίζονται στο σχήμα 6.6.



Σχήμα 6.6. Σχήμα και διαστάσεις δοκιμίων (mm).

6.10. Κατασκευή και έκθεση δοκιμίων

Τα δοκίμια των μετρήσεων ήταν πρισματικά, διαστάσεων 80×80×100 mm, με 4 χαλύβδινους οπλισμούς, διαμέτρου 12 mm και ύψους 100 mm.

Η διαδικασία κατασκευής δοκιμίων ήταν η ακόλουθη:

Τα δοκίμια τσιμεντοκονιάματος / σκυροδέματος κατασκευάζονταν μέσα σε χαλύβδινα καλούπια. Πριν από κάθε χρήση των καλουπιών ήταν απαραίτητος ο καθαρισμός και η λείανση της εσωτερικής επιφάνειάς τους, έτσι ώστε να αποκολλούνται εύκολα τα δοκίμια μετά τη σκλήρυνση του κονιάματος, αλλά και να αποφεύγονται τυχόν ανωμαλίες στην επιφάνειά τους.

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος προέρχονταν από ευθύγραμμες ράβδους 12 μέτρων που έχουν κοπεί στις κατάλληλες διαστάσεις. Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος όπως δίνονται από το εργοστάσιο είναι καλυμμένοι με λιπαρή ουσία για την προστασία από τη διάβρωση. Για την απομάκρυνση της λιπαρής ουσίας και τυχόν σχηματισθέντων οξειδίων, οι οπλισμοί εμβαπτιζόνταν σε υδροχλωρικό οξύ με αναστολέα διάβρωσης για 10 λεπτά, ξεπλένονταν με νερό βρύσης και μετά με απιονισμένο νερό και στεγνώνονταν με αλκοόλη και ακετόνη. Η διαδικασία του καθαρισμού του χάλυβα είναι πολύ σημαντική και γίνεται με σκοπό την ενεργοποίηση της επιφάνειάς του, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί καλύτερη πρόσδεση με το τσιμεντοκονίαμα όταν ο χάλυβας θα τοποθετηθεί μέσα σε αυτό.

Τέλος με τη διαδικασία αυτή απομακρύνονταν σκόνες και οξειδία από την επιφάνειά του καθώς και άλλα ανεπιθύμητα σωματίδια. Οι χάλυβες ζυγίζονταν σε ζυγό ακριβείας και καταγραφόταν η μάζα τους με ακρίβεια τέταρτου δεκαδικού του γραμμαρίου. σύμφωνα με το πρότυπο ISO/DIS 8407.3. Για την ηλεκτρική επαφή του χάλυβα χρησιμοποιόταν χάλκινο καλώδιο που στερεωνόταν πάνω στον οπλισμό.

Οι πρώτες ύλες παρασκευής του κονιάματος ζυγίζονταν με βάση τις σχεδιαζόμενες αναλογίες. Το τσιμέντο με την κίσηρη αναμειγνύονταν για αρκετά λεπτά για πλήρη ομογενοποίηση των στερεών υλικών και κατόπιν προστίθετο το νερό και το μίγμα αναδευόταν μέχρι πλήρους ομογενοποίησης της πάστας. Οι οπλισμοί τοποθετούνταν στην ειδική καθορισμένη διάταξη και το καλούπι γεμιζόταν πλήρως με κονίαμα. Μετά τον έλεγχο της σωστής πάκτωσης και τοποθέτησης των οπλισμών, τα καλούπια φυλάσσονταν επί 24 ώρες σε ξηρό και δροσερό περιβάλλον για τη σκλήρυνση του κονιάματος. Στη συνέχεια τα δοκίμια τοποθετούνταν σε υγρό περιβάλλον επί 24 ώρες για ωρίμανση. Ακολούθως τα δοκίμια αφήνονταν για 24 ώρες να στεγνώσουν και ο οπλισμός καλυπτόταν με εποξική κόλλα. Τα δοκίμια αφήνονταν για άλλες 24 ώρες να στεγνώσουν.

Η διαδικασία επικάλυψης περιλάμβανε, για όλες τις επικαλύψεις, καταρχήν εφαρμογή με πινέλο της πρώτης στρώσης της βαφής, όπου η βαφή αραιωνόταν σύμφωνα με τις οδηγίες χρήσης. Μετά από 24 ώρες εφαρμοζόταν με πινέλο η δεύτερη στρώση βαφής χωρίς αραιώση κάθετα στην πρώτη στρώση. Τέλος τα δοκίμια παρέμεναν σε περιβάλλον εργαστηρίου για μια ημέρα ώστε να στεγνώσει το χρώμα και να εξατμιστεί όλη η ποσότητα των διαλυτών.

Ανάλογα με το διαβρωτικό περιβάλλον, τα δοκίμια είτε εμβαπτιζόνταν (2 cm από το κάτω μέρος) σε δοχείο με διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl (μερική έκθεση σε περιβάλλον διαλύματος NaCl), είτε εισάγονταν στον θάλαμο αλατονέφωσης, σε καθορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας και αλατότητας, είτε εκτίθεντο στον ατμοσφαιρικό αέρα, όπου και παρέμεναν για όλο το χρονικό διάστημα έκθεσης.

Στα δοκίμια που εκτέθηκαν μερικά σε περιβάλλον διαλύματος NaCl, σε τακτά χρονικά διαστήματα, μετρήθηκαν τα δυναμικά διάβρωσης για όλο το χρονικό διάστημα έκθεσης.

Σε ορισμένα δοκίμια από αυτά που εκτέθηκαν μερικά σε περιβάλλον διαλύματος NaCl, προσδιορίστηκαν η ταχύτητα διάβρωσης μέσω της τεχνικής γραμμικής πόλωσης και έγιναν μετρήσεις ηλεκτροχημικής φασματοσκοπίας σύνθετης αντίστασης.

Μετά το πέρας του καθορισμένου χρόνου έκθεσης, τα δοκίμια απομακρύνονταν από το διαβρωτικό περιβάλλον και αφήνονταν να στεγνώσουν επί 24 ώρες. Την επόμενη ημέρα το δοκίμιο τεμαχιζόταν αξονικά σε δύο τμήματα.

Οι διαβρωμένες ράβδοι οπλισμού απομακρύνονταν από τα θραυσμένα τμήματα των δοκιμίων και καθαρίζονταν από τα οξειδία με την ίδια προαναφερθείσα διαδικασία. Ζυγίζονταν σε ζυγό ακριβείας και καταγραφόταν η μάζα τους με ακρίβεια τέταρτου δεκαδικού του γραμμαρίου σύμφωνα με το πρότυπο ISO/DIS 8407.3.

Στα θραυσμένα τμήματα του κισσηροκονιαμάτων και κισσηροδεμάτων γινόταν μέτρηση του βάθους ενανθράκωσης με το διάλυμα φαινολοφθαλεΐνης.

Με τμήματα κονιάματος από τα θραυσμένα δοκίμια μετρήθηκε το πορώδες και η μέση διάμετρος των πόρων του κονιάματος.

Επίσης με τμήματα κονιάματος από τα θραυσμένα δοκίμια παρασκευάστηκαν λεπτές τομές, οι οποίες μελετήθηκαν σε οπτικό μικροσκόπιο.

Τέλος έγινε μακροσκοπική εξέταση με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο οπτικών ινών σε μεγέθυνση X25 ή X50 των χαλύβων, των προϊόντων διάβρωσης των χαλύβων και των κισσηροκονιαμάτων.

7. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η επίδραση στον χάλυβα και το κονίαμα όλων των παραγόντων που μελετήθηκαν σε αυτήν την εργασία (είδος τσιμέντου, είδος επικαλύψεων των κονιαμάτων, είδος χάλυβα οπλισμού, κοκκομετρία αδρανούς, πρόσθετα αναστολής αλκαλοπυριτικής αντίδρασης, πρόσθετα αναστολής διάβρωσης και συνδυασμοί τους, που εφαρμόστηκαν σε πρισματικά δοκίμια οπλισμένου κονιάματος) εκτιμήθηκε με τις ακόλουθες μεθόδους:

- Χρονική εξέλιξη του δυναμικού διάβρωσης σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91
- Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών
- Μέτρηση του βάθους ενανθράκωσης στο κονίαμα σύμφωνα με το πρότυπο BS EN 14630-2006
- Μέτρηση ρυθμού διείσδυσης χλωριόντων στο κονίαμα
- Μέτρηση του πορώδους και της μέσης διαμέτρου των πόρων του κισσηροδέματος
- Μέτρηση της ταχύτητας διάβρωσης μέσω της τεχνικής γραμμικής πόλωσης (Linear Polarization) σύμφωνα με το πρότυπο ASTM G59 - 97(2009)
- Μετρήσεις ηλεκτροχημικής φασματοσκοπίας σύνθετης αντίστασης (Electrochemical Impedance Spectroscopy)
- Οπτικός έλεγχος σε λεπτές τομές κονιαμάτων
- Μακροσκοπική εξέταση με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο οπτικών ινών σε μεγέθυνση X25 ή X50 των χαλύβων, των προϊόντων διάβρωσης των χαλύβων και των κισσηροκονιαμάτων.

7.1. Είδη δοκιμών διάβρωσης

Οι δοκιμές διάβρωσης ταξινομούνται με βάση την κλίμακα εφαρμογής τους σε:

Εργαστηριακές δοκιμές (laboratory tests), όπου οι συνθήκες είναι αυστηρά καθορισμένες και ελεγχόμενες, αλλά συνήθως διαφορετικές από αυτές της πράξης. Διακρίνονται σε μη επιταχυνόμενες και επιταχυνόμενες.

Δοκιμές πεδίου (field tests), όπου ένας αριθμός πιστών αντιγράφων διαφόρων ειδών δοκιμών εκτίθεται σε όμοιες συνθήκες περιβάλλοντος με αυτές της πράξης.

Δοκιμές εργοστασίου (plant service tests), όπου τα δοκίμια ή οι προστατευτικές διεργασίες ενσωματώνονται στην υπό έλεγχο εγκατάσταση, δίνοντας τη δυνατότητα να αξιολογηθούν τα χρησιμοποιούμενα υλικά και οι μέθοδοι προστασίας στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, με μικρότερη όμως δυνατότητα ελέγχου από τις δοκιμές πεδίου, αφού οι συνθήκες του περιβάλλοντος μπορεί να μεταβληθούν.

Οι εργαστηριακές δοκιμές χρησιμεύουν για τη μελέτη του κινητικού μηχανισμού της διάβρωσης, την επιλογή του μετάλλου ή του υλικού ή της μεθόδου προστασίας ανάλογα με το διαβρωτικό περιβάλλον, τη διερεύνηση της επίδρασης του μετάλλου ή του υλικού στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, για τον έλεγχο απόκρισης ενός μετάλλου ή υλικού σε συγκεκριμένη προδιαγραφή και ως δοκιμές ελέγχου για τον σχεδιασμό ενός ανθεκτικού στη διάβρωση μετάλλου ή συστήματος για τον προσδιορισμό της άριστης σύστασης ή κατεργασίας για τον σκοπό αυτό.

Στις **μη επιταχυνόμενες δοκιμές** οι συνθήκες της πράξης εξομοιώνονται σε μικρές εργαστηριακές διατάξεις. Έχουν το πλεονέκτημα, σε σχέση με τις δοκιμές πεδίου και εργοστασίου, ότι δεν προκαλούν λειτουργικές παρενοχλήσεις στη βιομηχανική διαδικασία και ότι οι συνθήκες της δοκιμής ελέγχονται και διατηρούνται πιο εύκολα. Αντίθετα, έχουν το μειονέκτημα ότι απαιτούν μεγάλους χρόνους έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον. Συνήθως χρησιμοποιούνται ως μέθοδοι σε αυτήν την κατηγορία είναι η μέτρηση της

απώλειας μάζας του υλικού και ο οπτικός έλεγχος της έκτασης της διάβρωσης. Η μέθοδος της απώλειας μάζας είναι απλή και δεν απαιτεί δαπανηρές διατάξεις.

Στις **επιταχυνόμενες δοκιμές** ενισχύεται ένας ή περισσότεροι διαβρωτικοί παράγοντες, όπως για παράδειγμα αύξηση θερμοκρασίας, εφαρμογή ανοδικού ρεύματος, έντονο διαβρωτικό περιβάλλον, ώστε η διαβρωτική δράση να προχωρήσει γρηγορότερα. Η απόλυτη εκτίμηση των αποτελεσμάτων τους πρέπει να λαμβάνει πάντοτε υπόψη τον παράγοντα της επιτάχυνσης, διότι η προεκβολή τους σε κανονικές συνθήκες δεν είναι πάντοτε απολύτως αληθινή. Αντίθετα για συγκριτικές μετρήσεις οι επιταχυνόμενες μέθοδοι δίνουν απολύτως ικανοποιητικά αποτελέσματα. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να επιλέγεται η δοκιμή που οδηγεί σε προσβολή όμοιου χαρακτήρα με αυτό των φυσικών συνθηκών και να δεν προκαλεί παράπλευρες επιδράσεις.

Μεταξύ των επιταχυνόμενων δοκιμών οι περισσότερο εφαρμοζόμενες είναι:

1. οι ηλεκτροχημικές μέθοδοι
2. οι μέθοδοι βύθισης
3. ο θάλαμος αλατονέφωσης
4. ο κλιματιστικός θάλαμος (Κουλουμπή, 1999).

7.1.1. Ηλεκτροχημικές μέθοδοι

Οι ηλεκτροχημικές μέθοδοι βασίζονται στην ηλεκτροχημική φύση της διάβρωσης και μετρούν τις ηλεκτρικές ιδιότητες της ηλεκτρισμένης διπλοστοιβάδας, δηλαδή της διεπιφάνειας μετάλλου/διαλύματος, τόσο για τη διερεύνηση του μηχανισμού της διάβρωσης, όσο και για την παρακολούθησή της και τον έλεγχο της στην πράξη. Οι μέθοδοι αυτές επιτρέπουν τη διερεύνηση του μηχανισμού της διάβρωσης, την παρακολούθηση και τον έλεγχο της. Οι μέθοδοι αυτές είναι πολύ σημαντικές γιατί παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα, όπως:

- Επιτρέπουν τη μέτρηση της ταχύτητας διάβρωσης με γρήγορο και όχι καταστρεπτικό τρόπο.

- Σε ιδανικές συνθήκες εφαρμογής μπορούν να μετρήσουν με μεγάλη ακρίβεια πολύ χαμηλές ταχύτητες διάβρωσης ($<0.1 \text{ mpy}$), που δύσκολα προσδιορίζονται με τις καθιερωμένες μεθόδους μέτρησης της απώλειας μάζας ή με χημικές αναλυτικές τεχνικές.

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της ταχύτητας διάβρωσης κατασκευών που δεν μπορούν να μελετηθούν με πειράματα απώλειας μάζας, όπως π.χ. θαμμένοι σωλήνες και λέβητες.

- Επιτρέπουν τη μελέτη του μηχανισμού της δράσης της διάβρωσης.

Το κυριότερο μειονέκτημά τους είναι ότι οι μετρήσεις κρατούν λίγο χρόνο και έτσι δε λαμβάνουν υπόψη τους τις πιθανές επιδράσεις μακράς διάρκειας.

Οι παρακάτω μέθοδοι έχουν τύχει μεγαλύτερης εφαρμογής:

- Δυναμικό διάβρωσης και χρονική εξέλιξή του
- Καμπύλες πόλωσης
- Σύνθετη αντίσταση

I. Δυναμικό διάβρωσης και χρονική εξέλιξή του

Η καταγραφή της χρονικής εξέλιξης του δυναμικού διάβρωσης (E_{corr}) είναι από τις πιο συνηθισμένες τεχνικές για την εκτίμηση της διαβρωτικής κατάστασης του χάλυβα και αποτελεί μέθοδο μη καταστροφική, η οποία επιτρέπει την παρακολούθηση και τον

χαρακτηρισμό της κατάστασης του οπλισμού στο σκυρόδεμα συναρτήσει του χρόνου. Γενικά η μετατόπιση του δυναμικού προς σχετικά θετικότερη κατεύθυνση δηλώνει προδιάθεση μειωμένης διάβρωσης (π.χ. σχηματισμός προστατευτικού οξειδίου), ενώ η μετατόπισή του προς σχετικά αρνητικότερη κατεύθυνση δηλώνει προδιάθεση αυξημένης διάβρωσης (π.χ. καταστροφή επιστρώματος). Μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν δίνει πληροφορίες σχετικά με την κινητική της διάβρωσης, με αποτέλεσμα να γίνεται γνωστή η κατάσταση του οπλισμού, αλλά όχι ο ρυθμός με τον οποίο εξελίσσεται το φαινόμενο. Η τεχνική της αποτίμησης του δυναμικού διάβρωσης περιγράφεται αναλυτικά στο πρότυπο ASTM C876 – 91.

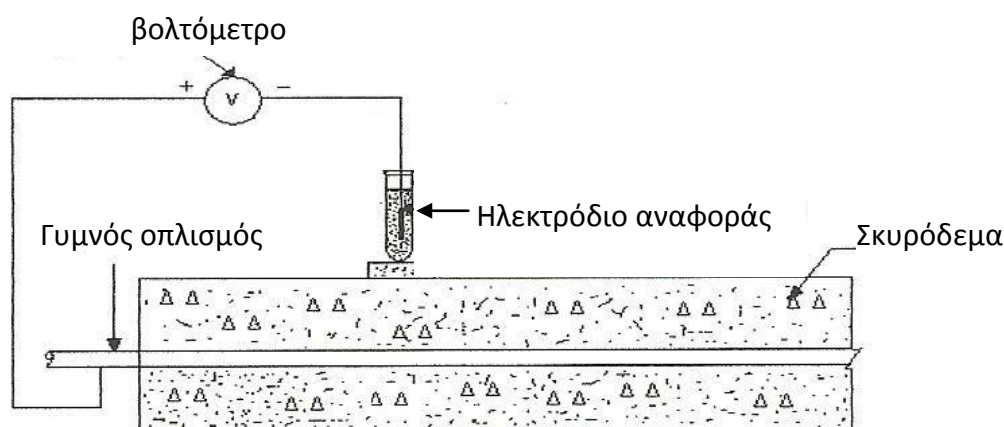
Ως δυναμικό διάβρωσης (E_{corr}) ή δυναμικό ισορροπίας ή δυναμικό ανοιχτού κυκλώματος (Open Circuit Potential, E_{OCP}) ορίζεται η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στον χαλύβδινο οπλισμό (ημιστοιχείο) και σε ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς (ημιστοιχείο). Οι προκύπτουσες τιμές εξαρτώνται από το ηλεκτρόδιο αναφοράς που χρησιμοποιείται και από την κατάσταση του εγκιβωτισμένου χάλυβα. Όταν επιτευχθεί ηλεκτρολυτική σύνδεση ανάμεσα στον οπλισμό και σε ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς, το ηλεκτρικό κύκλωμα είναι κλειστό και το δυναμικό διάβρωσης μπορεί να μετρηθεί με τη βοήθεια ενός βολτομέτρου μεγάλης εσωτερικής αντίστασης ($R_{οργ} > 10^{14} \Omega$), ώστε το ρεύμα το οποίο διέρχεται από αυτό να είναι πρακτικά μηδενικό ($I = V_{κελ} / (R_{κελ} + R_{οργ})$) και να μην προκληθεί μια επιπλέον τεχνητή διαφορά δυναμικού και επομένως να μεταβάλλει τη μετρούμενη τιμή δυναμικού.

Οι μετρήσεις του δυναμικού διάβρωσης δίνονται πάντα ως προς το ηλεκτρόδιο αναφοράς που χρησιμοποιείται. Για μετρήσεις σε εξωτερικούς χώρους χρησιμοποιείται κυρίως το ηλεκτρόδιο χαλκού/θειικού χαλκού CSE (Cu/CuSO₄) επειδή ετοιμάζεται γρήγορα, είναι πιο ανθεκτικό και παρέχει μεγάλη ακρίβεια και επαναληψιμότητα στις μετρήσεις. Σε εργαστηριακή κλίμακα χρησιμοποιείται συνήθως το ηλεκτρόδιο καλομέλανα SCE (Hg/HgCl/KCl) ή το ηλεκτρόδιο αργύρου/χλωριούχου αργύρου (Ag/AgCl/KCl). Το ηλεκτρόδιο καλομέλανα προσβάλλεται από άλατα βρωμίου και ιωδίου. Το ηλεκτρόδιο θειικού χαλκού προσβάλλεται από άλατα χλωρίου, το δε υγρό του χρειάζεται συχνή αντικατάσταση. Στον παρακάτω Πίνακα 7.1 δίνεται το δυναμικό των τριών ηλεκτροδίων ως προς το πρότυπο ηλεκτρόδιο υδρογόνου (SHE- Standard Hydrogen Electrode) (Roberge, 2008).

Πίνακας 7.1. Συνήθη ηλεκτρόδια αναφοράς για μετρήσεις δυναμικού διάβρωσης.

Ηλεκτρόδιο	Ονομασία	Δυναμικό ως προς το πρότυπο ηλεκτρόδιο υδρογόνου (SHE)
Χαλκού/θειικού χαλκού (Cu/CuSO ₄)	CSE – Copper / Copper Sulfate Electrode	+ 0,300 vs SHE
Κορεσμένου καλομέλανα (Hg/Hg ₂ Cl ₂) KCl	SCE - Saturated Calomel Electrode	+ 0,240 vs SHE
Αργύρου/χλωριούχου αργύρου (Ag/AgCl) KCl	SSCE – Silver / Silver Chloride Electrode	+ 0,200 vs SHE

Η διάταξη για τη μέτρηση του δυναμικού διάβρωσης του χάλυβα στο σκυρόδεμα φαίνεται στο σχήμα 7.1. Η επιφάνεια του σκυροδέματος κατά τη μέτρηση του δυναμικού δεν πρέπει να είναι κορεσμένη ούτε απολύτως ξηρή, αλλά απλώς υγρή για να υπάρχει αγωγιμότητα.



Σχήμα 7.1. Μέτρηση του δυναμικού διάβρωσης του χάλυβα στο σκυρόδεμα με ηλεκτρόδιο αναφοράς.

Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι τιμές του μετρούμενου δυναμικού διάβρωσης αποτελούν ένδειξη για την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο οπλισμός στο σκυρόδεμα. Για την περίπτωση ηλεκτροδίων αναφοράς κορεσμένου καλομέλανα (SCE) και αργύρου / χλωριούχου αργύρου (SSCE) οι τιμές διαμορφώνονται όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 7.2. (Song και Saraswathy, 2007).

Πίνακας 7.2. Πιθανότητα διάβρωσης ανάλογα με την τιμή του δυναμικού διάβρωσης σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91.

Δυναμικό διάβρωσης (mV) vs. SCE	Δυναμικό διάβρωσης (mV) vs. SSCE	Πιθανότητα διάβρωσης
>-125	>-83	Παθητική κατάσταση (90% πιθανότητα, ο οπλισμός δε διαβρώνεται)
-126 ÷ -275	-84 ÷ -233	Ασαφής κατάσταση
<-276	<-234	Υψηλή (90% κίνδυνος διάβρωσης)
<-426	<-384	Διάβρωση σε εκτεταμένο βαθμό

Η χρονική εξέλιξη του δυναμικού διάβρωσης για μακρές περιόδους, είναι αυτή που δίνει πιο αξιόπιστα στοιχεία για την προδιάθεση μετάλλων σε διάβρωση. Μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στη διάβρωση έχει εκείνο το μέταλλο, για το οποίο το δυναμικό διάβρωσης μένει σταθερότερο για ίδιες συνθήκες. Γρήγορη πτώση του δυναμικού διάβρωσης, δείχνει γρήγορο σχηματισμό προϊόντος διάβρωσης. Την πτώση αυτή ακολουθεί, συνήθως, στη συνέχεια απότομη αύξηση του δυναμικού διάβρωσης, λόγω ρήξης του στρώματος του προϊόντος διάβρωσης.

II. Καμπύλες πόλωσης

Οι καμπύλες πόλωσης [$I=f(E)$ ή $E=f(I)$] γράφονται είτε εντασιοστατικά είτε δυναμοστατικά είτε δυναμοδυναμικά.

Στην πρώτη περίπτωση ένα ορισμένο ποσό ρεύματος περνά από ένα βοηθητικό ηλεκτρόδιο στο ηλεκτρόδιο εργασίας και μετράται το δυναμικό του ηλεκτροδίου εργασίας

ως προς κάποιο ηλεκτρόδιο αναφοράς. Στις δυναμοστατικές μετρήσεις εφαρμόζεται ένα σταθερό δυναμικό μεταξύ ηλεκτροδίου εργασίας και ηλεκτροδίου αναφοράς και μετράται η μεταβολή της έντασης του ρεύματος. Στις δυναμοδυναμικές μετρήσεις το δυναμικό του ηλεκτροδίου μεταβάλλεται συνεχώς ή με βηματισμούς και καταγράφεται το αντίστοιχο ρεύμα. Ένα από τα βασικά στοιχεία του κυκλώματος για την επιβολή του δυναμικού ή του ρεύματος και τη μέτρηση των αντίστοιχων μεγεθών είναι ο ποτενσιοστάτης.

Μια καμπύλη πόλωσης μπορεί να μας δώσει πληροφορίες όπως:

- τη δυνατότητα του μετάλλου να παθητικοποιηθεί αυθόρμητα σε ορισμένο περιβάλλον

- την περιοχή του δυναμικού στην οποία το δοκίμιο παραμένει παθητικό
- την ταχύτητα διάβρωσης (ρεύμα διάβρωσης) στην παθητική περιοχή
- την πιθανότητα έντονων βελονισμών (διάβρωση στην υπερπαθητική ζώνη)
- την πιθανότητα εμφάνισης διάβρωσης σε σχισμές όταν το μέταλλο διαβρώνεται ταυτόχρονα στην παθητική και ενεργή περιοχή σε διάφορα σημεία του.

Για τη μέτρηση των απολύτων ταχυτήτων διάβρωσης χρησιμοποιούνται δύο συγκεκριμένες τεχνικές λήψης των καμπυλών πόλωσης, η τεχνική της γραμμικής πόλωσης και η τεχνική προεκβολής Tafel.

IIα. Τεχνική γραμμικής πόλωσης

Η τεχνική της γραμμικής πόλωσης είναι από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνικές για τη μέτρηση των βασικών ηλεκτροχημικών παραμέτρων κατά τη διάβρωση του οπλισμού του σκυροδέματος. Η τεχνική συνίσταται στη σάρωση του δυναμικού σε μια περιοχή από ± 5 μέχρι ± 25 mV από το δυναμικό διάβρωσης και την καταγραφή του αντίστοιχου ρεύματος. Η ακριβής διαδικασία της τεχνικής περιγράφεται στο πρότυπο ASTM G59 – 97 (2009).

Όπως είναι γνωστό, κοντά στο δυναμικό ισορροπίας ισχύει η προσεγγιστική μορφή χαμηλής υπέρτασης της εξίσωσης Butler-Volmer, ισχύει δηλαδή γραμμική σχέση μεταξύ δυναμικού και πυκνότητας ρεύματος. Η κλίση της ευθείας αυτής για το δυναμικό $E=E_{corr}$ συνιστά την αντίσταση πόλωσης R_p όπου $R_p = \Delta E / \Delta i$.

Με δεδομένο ότι:

$$di/d\xi(\xi=0) = i_{corr}(1/b_a + 1/b_c) \quad (7.1)$$

$$\text{οπότε } R_p = dE/di = d\xi/di = 1/i_{corr}(b_a \cdot b_c / b_a + b_c) \quad (7.2)$$

$$\text{ή } R_p = \Delta E / \Delta i = b_a \cdot b_c / 2.3 \cdot i_{corr} \cdot (b_a + b_c) \quad (7.3)$$

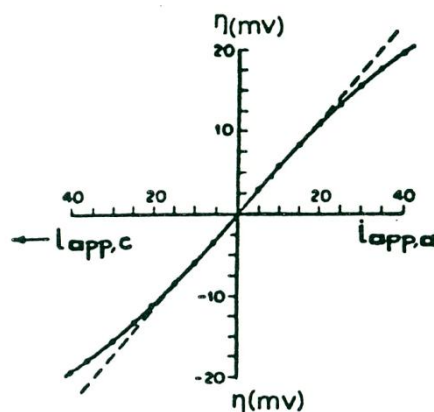
όπου b_a και b_c η ανοδική και καθοδική σταθερά του Tafel αντίστοιχα και R_p η αντίσταση πόλωσης (σε $\Omega \cdot \text{cm}^2$).

Η κινητική των ηλεκτροχημικών δράσεων ενός μετάλλου το οποίο διαβρώνεται μπορεί να προσδιοριστεί από τουλάχιστον τρεις παραμέτρους, την πυκνότητα ρεύματος διάβρωσης (i_{corr} , κατά Stern-Geary), το δυναμικό διάβρωσης (E_{corr}) και τις σταθερές Tafel. Η συμπεριφορά του μετάλλου μπορεί να απεικονιστεί από τις καμπύλες πόλωσης ($E - I$). Η πυκνότητα του ρεύματος διάβρωσης (i_{corr} , σε mA/cm^2) εκτιμάται με βάση τη σχέση:

$$i_{corr} = \frac{b_a \cdot b_c}{2.3 \cdot (b_a + b_c)} \cdot \frac{1}{R_p} = \frac{B}{R_p} \quad (7.4)$$

όπου: B σταθερά, η οποία για το οπλισμένο σκυρόδεμα κυμαίνεται από 26mV έως 52mV ανάλογα με την κατάσταση του οπλισμού ($B=26\text{mV}$ όταν ο οπλισμός είναι σε ενεργή κατάσταση και $B=52\text{mV}$ όταν ο οπλισμός είναι σε παθητική κατάσταση).

Η τεχνική της γραμμικής πόλωσης είναι μια πολύ γρήγορη τεχνική προσδιορισμού της ταχύτητας διάβρωσης. Επειδή η πόλωση που εφαρμόζεται είναι μικρή, έχει το πλεονέκτημα ότι η επιφάνεια του δοκιμίου δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα και έτσι το ίδιο δοκίμιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλες μετρήσεις και ότι οι ωμικές πτώσεις τάσης μπορεί να θεωρηθούν αμελητέες.



Σχήμα 7.2. Καμπύλη ρεύματος γραμμικής πόλωσης.

Για μετρήσεις με ακρίβεια θα πρέπει να προσδιοριστούν οι τιμές των b_a και b_c από τις κλίσεις των ευθειών Tafel, ενώ για πιο γρήγορες μετρήσεις μπορεί να γίνει μια σχετική εκτίμηση του i_{corr} , γιατί οι τιμές των σταθερών αυτών δεν ποικίλουν πολύ για τις διάφορες ηλεκτροχημικές δράσεις. Έτσι αν θεωρηθούν ίσες με $0.10 \div 0.12 \text{ V}$ μπορεί να εφαρμοστεί για όλα τα συστήματα διάβρωσης η σχέση:

$$R_p = 0.026/i_{corr} \quad (7.5)$$

Ο ρυθμός διάβρωσης (corrosion rate – CR) εκφράζεται μέσω των ηλεκτροχημικών απωλειών μάζας, οι οποίες υπολογίζονται από τις τιμές της έντασης του ρεύματος διάβρωσης με τη βοήθεια του νόμου του Faraday. Συγκεκριμένα η ηλεκτροχημική απώλεια μάζας (m) υπολογίζεται (σε g) από τη σχέση:

$$m = \frac{m_{Me} \cdot I_{corr} \cdot t}{n \cdot F} \quad (7.6)$$

όπου

M_{Me} : το ατομικό βάρος του μετάλλου (για τον Fe 55,85 g/mol)

I_{corr} : η μέση τιμή της έντασης του ρεύματος διάβρωσης για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (A)

F : η σταθερά του Faraday (96485 C/mol)

t : ο χρόνος έκθεσης (sec)

n : ο αριθμός ανταλασσομένων ηλεκτρονίων (για τον Fe ίσος με 2)

Ο ρυθμός διάβρωσης του οπλισμού στο σκυρόδεμα εκφράζεται σε μικρόμετρα ανά έτος (σε μm/y), δηλαδή σε μείωση διατομής του οπλισμού, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\text{Ρυθμός διάβρωσης} = \frac{M_{Me} \cdot I_{corr} \cdot 3.1536 \cdot 10^8}{d \cdot F \cdot A} \quad (7.7)$$

όπου :

d : η πυκνότητα του μετάλλου (για τον Fe $d_{Fe}=7,8 \text{ g/cm}^3$)

A: η επιφάνεια της ράβδου (cm^2).

Για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της γραμμικής πόλωσης και με βάση εργαστηριακές δοκιμές αναπτύχθηκε το κριτήριο που παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.3, όπου δίνονται τιμές τόσο για την πυκνότητα του ρεύματος διάβρωσης όσο και για την αντίσταση πόλωσης συναρτήσει της κατάστασης του χάλυβα οπλισμού του σκυροδέματος (Song and Saraswathy, 2007; Carino, 2003).

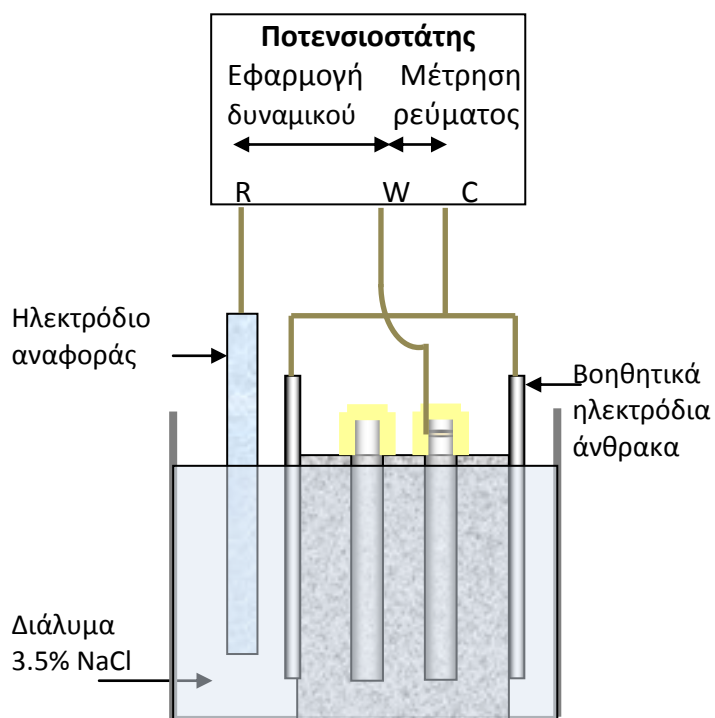
Πίνακας 7.3. Συσχετισμός μεταξύ των τιμών της πυκνότητας ρεύματος διάβρωσης, της αντίστασης πόλωσης και της κατάστασης του χάλυβα οπλισμού στο σκυρόδεμα.

i_{corr} ($\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$)	R_p ($\text{k}\Omega\cdot\text{cm}^2$)	Κατάσταση Οπλισμού
<0,1	>260	Παθητική κατάσταση
0,1-0,5	52-260	Χαμηλός ως μέτριος ρυθμός διάβρωσης
0,5-1	26-52	Μέτριος ως υψηλός ρυθμός διάβρωσης
>1	<26	Υψηλός ρυθμός διάβρωσης

Για την εκτίμηση του ρυθμού διάβρωσης δοκιμίων οπλισμένου κισσηροδέματος ελήφθησαν μετρήσεις γραμμικής πόλωσης, χρησιμοποιώντας ποτενσιοστάτη / γαλβανοστάτη τύπου 263A από την EG&G Princeton Applied Research (εικόνα 7.1) και το αντίστοιχο λογισμικό 352 Softcorr III της εταιρίας EG&G Princeton Applied Research για την ανάλυση των δεδομένων. Ο ποτενσιοστάτης επιτρέπει την εφαρμογή σταθερού δυναμικού στο ηλεκτρόδιο εργασίας ως προς ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς και την ταυτόχρονη μέτρηση του ρεύματος που ρέει μέσα από το σύστημα (Καραντώνης, 2009). Όλες οι μετρήσεις έγιναν σε συνθήκες περιβάλλοντος με τον ηλεκτρολύτη (υδατικό διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl) σε επαφή με την ατμόσφαιρα. Πριν από κάθε μέτρηση, το βυθισμένο στον ηλεκτρολύτη δοκίμιο οπλισμένου κισσηροκονιάματος έμενε σε ανοικτό κύκλωμα μέχρι τη σταθεροποίηση του δυναμικού του, τιμή που αναφέρεται ως δυναμικό διάβρωσης, E_{corr} . Η πειραματική διάταξη αποτελείται από τρία ηλεκτρόδια, όπου ένας χαλύβδινος οπλισμός του δοκιμίου αποτελεί το ηλεκτρόδιο εργασίας (Working Electrode, WE), το ηλεκτρόδιο καλομέλινα αντιπροσωπεύει το ηλεκτρόδιο αναφοράς (Reference Electrode, RE) και δύο βραχυκυκλωμένες ράβδοι άνθρακα αποτελούν το βοηθητικό ηλεκτρόδιο (Counter Electrode, CE) (σχήμα 7.3). Το δυναμικό σάρωσης ήταν $\pm 20 \text{ mV}$ από το δυναμικό ανοικτού κυκλώματος (OCP) με βήμα σάρωσης $0,1 \text{ mV/s}$.



Εικόνα 7.1. Ποτενσιοστάτης γραμμικής πόλωσης 263A EG&G.



Σχήμα 7.3. Πειραματική διάταξη μέτρησης γραμμικής πόλωσης

IIβ. Τεχνική προεκβολής του Tafel

Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, το μεταλλικό δοκίμιο πολώνεται τουλάχιστον 300 mV ανοδικά (δηλ. προς θετικές σχετικά κατευθύνσεις του δυναμικού) και καθοδικά (δηλ. προς αρνητικές σχετικά κατευθύνσεις του δυναμικού) από το δυναμικό διάβρωσης E_{corr} , και καταγράφεται το ρεύμα σε λογαριθμική κλίμακα. Η μεταβολή του δυναμικού μπορεί να γίνεται με βήματα ή με σάρωση, με πολύ μικρή όμως ταχύτητα (0.1 – 1 mV/sec) ώστε να αποκαθίσταται κάθε φορά σχεδόν μόνιμη κατάσταση.

Αρχικά για μικρές αποκλίσεις από την τομή του E_{corr} η καμπύλη πόλωσης δεν είναι γραμμική. Για μεγαλύτερες όμως ($\Delta E > 50-100$ mV) η καμπύλη πόλωσης γίνεται γραμμική συνάρτηση μεταξύ του δυναμικού και του λογαρίθμου της πυκνότητας ρεύματος (περιοχή Tafel). Η προέκταση μιας τέτοιας ευθείας μέχρι το δυναμικό E_{corr} επιτρέπει τον προσδιορισμό του i_{corr} .

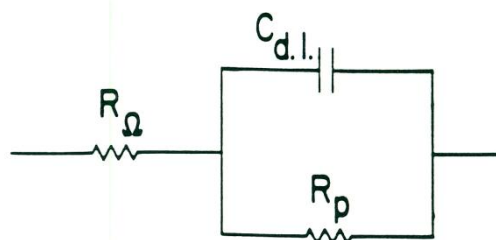
Σε ιδανικές συνθήκες η ακρίβεια της μεθόδου είναι ίση με αυτήν της μέτρησης της απώλειας μάζας, ενώ συγχρόνως είναι πολύ πιο γρήγορη τεχνική (λιγότερο από τη

γραμμική πόλωση). Επίσης παρέχει τις τιμές των b_a και b_c για τους υπολογισμούς της ταχύτητας διάβρωσης μέσω της γραμμικής πόλωσης.

III. Μέθοδος σύνθετης αντίστασης

Κάθε ηλεκτροχημικό σύστημα που αντιπροσωπεύει μια απλή αντίδραση διάβρωσης μπορεί να παρασταθεί από ένα ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα (σχήμα 7.4). Οι αντιστάσεις R_Ω και R_p αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα την αντίσταση του διαλύματος (αντίσταση μεταξύ ηλεκτροδίου εργασίας και ηλεκτροδίου αναφοράς) και την αντίσταση πόλωσης (αντίσταση ηλεκτροχημικής οξειδωσης του μετάλλου) και η C_{dl} τη χωρητικότητα της διπλοστοιβάδας.

Τα στοιχεία του ισοδύναμου κυκλώματος μπορούν να προσδιοριστούν χρησιμοποιώντας την τεχνική της σύνθετης αντίστασης, κατά την οποία εφαρμόζεται στο δείγμα μια διέγερση εναλλασσόμενου ρεύματος (συνήθως δυναμικό) και μετράται η απόκριση του εναλλασσόμενου ρεύματος (αντίστοιχα συνήθως ρεύμα διαφορετικού πλάτους από το δυναμικό και με διαφορά φάσης, θ , από αυτό). Για να ολοκληρωθεί μια εξέταση πρέπει να γίνουν μετρήσεις σε ευρεία κλίμακα συχνοτήτων του εφαρμοζόμενου δυναμικού (συνήθως από 10^{-3} Hz έως 10KHz) και να καταγραφεί η σύνθετη αντίσταση ή / και άλλα στοιχεία του συστήματος συναρτήσει της συχνότητας.



Σχήμα 7.4. Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα για ένα ηλεκτροχημικό κελί με δοκίμιο γυμνό.

Η σύνθετη αντίσταση, Z , είναι μια ημιτονοειδής συνάρτηση που αποτελείται από τον ωμικό όρο σε φάση με το σήμα εισόδου και από το χωρητικό όρο με διαφορά φάσης 90° από το σήμα εισόδου και υπολογίζεται από τη σχέση $E=I \cdot Z$, δηλ.

$$Z = E + E''j/I' + I''j = Z' + Z''j \quad (7.8)$$

όπου Z' το πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης και Z'' το φανταστικό της μέρος, ή από τη σχέση

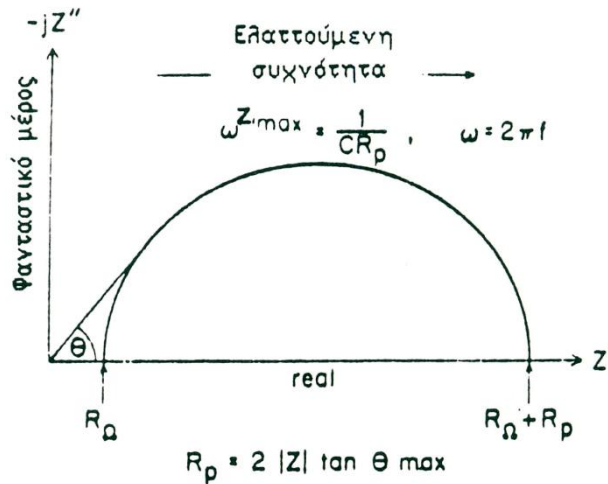
$$Z = R_\Omega + [R_p / (1 + j\omega \cdot C \cdot R_p)] \quad (7.9)$$

Για ένα απλό ισοδύναμο κύκλωμα τα δεδομένα της σύνθετης αντίστασης μπορούν να υπολογιστούν από ένα διάγραμμα Nyquist ή ένα διάγραμμα Bode. Στο διάγραμμα Nyquist γράφεται το φανταστικό ως προς το πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης για ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Το διάγραμμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των τιμών των R_Ω , R_p και C_{dl} , αφού στις υψηλές συχνότητες συνεισφέρει στο πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης μόνο η αντίσταση του λουτρού, R_Ω , και στις πολύ χαμηλές συχνότητες συνεισφέρει και η αντίσταση πόλωσης R_p .

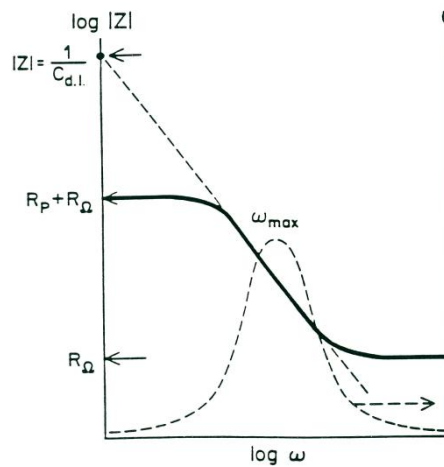
Στο διάγραμμα Bode γράφονται η γωνία φάσης, θ , (όπου $\tan\theta = Z''/Z'$) και ο λογάριθμος της απόλυτης τιμής της σύνθετης αντίστασης ($\log |Z|$) ως προς το λογάριθμο

της συχνότητας ($\omega=2\pi f$). Όπως φαίνεται από το σχήμα, οι τιμές των στοιχείων του ισοδύναμου κυκλώματος μπορούν να υπολογιστούν κατευθείαν από το διάγραμμα αυτό, ή / και μέσω εξισώσεων όπως αυτή που ισχύει για τη μέγιστη διαφορά φάσης, δηλαδή:

$$\omega^{\Theta_{\max}} = (1/C \cdot R_p)(1+R_p/R_\Omega)^{1/2} \quad (7.10)$$

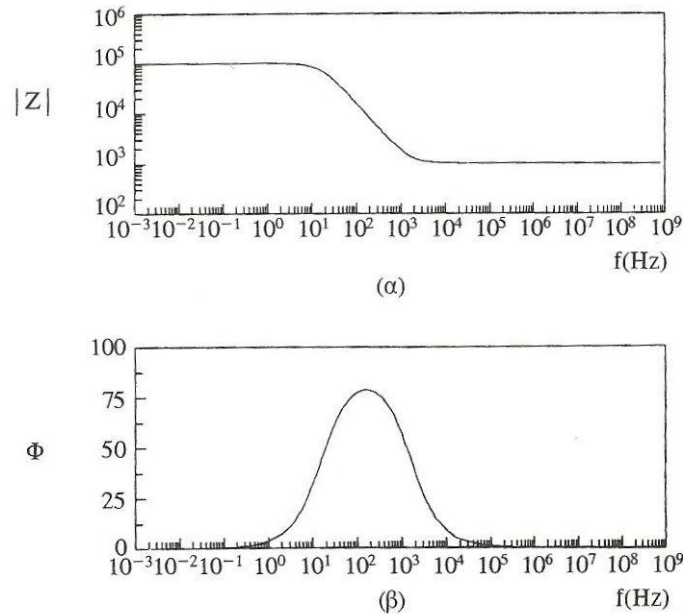


Σχήμα 7.5. Διάγραμμα Nyquist για ένα απλό ηλεκτροχημικό κελί.



Σχήμα 7.6. Μικτό διάγραμμα Bode για ένα απλό ηλεκτροχημικό κελί.

Η τεχνική της σύνθετης αντίστασης επιτρέπει τη μελέτη του μηχανισμού της διάβρωσης, τον υπολογισμό των ταχυτήτων μιας δράσης πολλών σταδίων, τη διερεύνηση της επίδρασης της διάχυσης κ.α. Έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της ποιότητας των επιστρωμάτων χρωμικού ψευδαργύρου και της αποτελεσματικότητας των αναστολέων, για τη μέτρηση ταχυτήτων διάβρωσης σε λουτρά μικρής αγωγιμότητας, όπου οι μέθοδοι συνεχούς ρεύματος δεν είναι επιτυχείς και για την αριστοποίηση της διαδικασίας των επιμεταλλώσεων. Ο μεγάλος όμως τομέας της εφαρμογής της, με πολλές προοπτικές είναι αυτός της εκτίμησης των οργανικών επιστρωμάτων (Karayanni, et al., 2007).



Σχήμα 7.7. Διαγράμματα (α) Bode, $\log|Z|=f(\log f)$ και (β) Bode, διαφορά φάσης $\Phi=f(\log f)$.

Από άποψη οργάνων το σύστημα αυτό είναι πιο πολύπλοκο από αυτό των μεθόδων συνεχούς ρεύματος και απαιτεί επεξεργασία μέσω υπολογιστή, αλλά παρέχει στοιχεία που δεν δίνουν άλλες κλασικές δοκιμές. Επειδή το εύρος των σημάτων της διέγερσης είναι μικρό (συχνά της τάξης των 5-10 mV), προκαλούνται ελάχιστες διαταραχές της επιφανειακής ενεργότητας των διαφόρων δραστικών ειδών (επιφάνεια μετάλλου, οξειδωτικά, κλπ), οπότε μειώνονται τα σφάλματα που μπορεί να προκληθούν από την ίδια την τεχνική μέτρησης. Επίσης επειδή η μέθοδος δεν περιλαμβάνει σάρωση δυναμικού, μπορούν να γίνουν αξιόπιστες μετρήσεις και σε διαλύματα χαμηλής αγωγιμότητας, όπου οι τεχνικές συνεχούς ρεύματος υφίστανται πολλά σφάλματα που προέρχονται από τις μεταβολές του δυναμικού.

Για την ηλεκτροχημική φασματοσκοπία σύνθετης αντίστασης χρησιμοποιήθηκε ποτενσιοστάτης / γαλβανοστάτης τύπου 263A από την EG&G Princeton Applied Research (εικόνα 7.1) και γεννήτρια παλμών 1260 Impedance Gain-Phase Analyzer της Solartron (εικόνα 7.2). Η γεννήτρια έχει τη δυνατότητα ημιτονοειδούς μεταβολής του δυναμικού μεταβλητής συχνότητας (Καραντώνης & Δραγατογιάννης, 2009). Χρησιμοποιήθηκε επίσης το αντίστοιχο λογισμικό Zplot της Solartron για την ανάλυση των δεδομένων και το Zview της Solartron για την επεξεργασία των δεδομένων. Το ηλεκτροχημικό κελί για τις μετρήσεις ηλεκτροχημικής φασματοσκοπίας σύνθετης αντίστασης ήταν το ίδιο με το προαναφερόμενο στις μετρήσεις γραμμικής πόλωσης (σχήμα 7.3). Όλες οι μετρήσεις έγιναν σε συνθήκες περιβάλλοντος με τον ηλεκτρολύτη (υδατικό διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl) σε επαφή με την ατμόσφαιρα. Πριν από κάθε μέτρηση, το βυθισμένο στον ηλεκτρολύτη δοκίμιο οπλισμένου κισσηροκονιάματος έμενε σε ανοικτό κύκλωμα μέχρι τη σταθεροποίηση του δυναμικού του, τιμή που αναφέρεται ως δυναμικό διάβρωσης, E_{corr} . Η πειραματική διάταξη αποτελείται από τρία ηλεκτρόδια, όπου ένας χαλύβδινος οπλισμός του δοκιμίου αποτελεί το ηλεκτρόδιο εργασίας (Working Electrode, WE), το ηλεκτρόδιο καλομέλανα αντιπροσωπεύει το ηλεκτρόδιο αναφοράς (Reference Electrode, RE) και δύο βραχυκυκλωμένες ράβδοι άνθρακα αποτελούν το βοηθητικό ηλεκτρόδιο (Counter Electrode, CE). Οι μετρήσεις EIS πραγματοποιήθηκαν με την επιβολή ημιτονοειδούς διέγερσης μικρού πλάτους (10 mV) σε εύρος συχνοτήτων από 1 MHz έως 1 mHz και

καταγραφή του μέτρου της σύνθετης αντίστασης και της διαφοράς φάσης. Κάθε τιμή λαμβάνεται με μια λογαριθμική σάρωση συχνοτήτων (10 σημεία ανά λογαριθμική μονάδα).



Εικόνα 7.2. Γεννήτρια παλμών 1260 Impedance Gain-Phase Analyzer της Solartron.

7.1.2. Μέθοδοι βύθισης

Τα δοκίμια βυθίζονται σε διαβρωτικό διάλυμα σε προτυποποιημένη διάταξη που επιτρέπει τον έλεγχο ενός από τους τρεις παράγοντες : θερμοκρασία, αερισμός, ταχύτητα ροής. Συνήθως μετριέται η απώλεια βάρους των δοκιμίων μετά την έκθεση, αφού απομακρυνθούν τα προϊόντα διάβρωσης από την επιφάνεια, ή άλλες παράμετροι, π.χ. μεταβολή πάχους του δείγματος, ποσότητα παραγομένου υδρογόνου, ηλεκτρική αγωγιμότητα των δειγμάτων κ.α. (Κουλουμπή, 1999).

7.1.3. Θάλαμος αλατονέφωσης

Τα δοκίμια τοποθετούνται σε ειδικό θάλαμο όπου και βρίσκονται σε ένα νέφος από διάλυμα NaCl ορισμένης συγκέντρωσης και θερμοκρασίας (συνήθως περιεκτικότητας C=5% κ.β., θερμοκρασίας T= 30°C και pH = 6,5÷7,2), σύμφωνα με το πρότυπο ISO 7253:2001. Με αυτόν τον τρόπο εξομοιώνονται οι συνθήκες στον θάλαμο με αυτές των συνθηκών διάβρωσης σε θαλασσινή ατμόσφαιρα. Η τοποθέτηση των δοκιμίων γίνεται σε ειδικές θέσεις ώστε το διαβρωτικό υγρό να μην εκνεφώνεται κατευθείαν πάνω σε αυτά, να μην αφήνει σταγόνες πάνω τους και να εξασφαλίζεται ελεύθερη ροή του νέφους σε όλα τα δοκίμια (Κουλουμπή, 1999).



Εικόνα 7.3. Θάλαμος αλατονέφωσης.

7.2. Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών

Μετά τον καθορισμένο χρόνο έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον (διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl, θάλαμος αλατονέφωσης ή ατμοσφαιρικός αέρας), τα οπλισμένα πρισματικά δοκίμια σκυροδέματος εξέρχονται από το διαβρωτικό περιβάλλον και αφήνονται να στεγνώσουν. Ακολουθεί θραύση τους, απογύμνωση των χαλύβδινων οπλισμών, απομάκρυνση των οξειδίων που έχουν σχηματιστεί πάνω στον οπλισμό και ζύγιση για τον προσδιορισμό της μάζας τους (κατά ISO 8407:2009). Για τον υπολογισμό της απώλειας μάζας των οπλισμών ως αρχική μάζα λαμβάνεται η μάζα του χαλύβδινου οπλισμού πριν την έκθεσή του στο διαβρωτικό περιβάλλον και ως τελική μάζα λαμβάνεται η μάζα του οπλισμού μετά την έκθεσή του στο διαβρωτικό περιβάλλον. Η απώλεια μάζας προκύπτει από τη διαφορά της αρχικής μάζας μείον την τελική μάζα του οπλισμού. Κάθε τιμή προκύπτει ως ο μέσος όρος των τιμών των τεσσάρων οπλισμών σε κάθε δοκίμιο.

Η εκτίμηση της διάβρωσης γίνεται με τον υπολογισμό του ποσοστού της επί της εκατό μεταβολής κατά βάρος των οπλισμών, που δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta m(\%) = \frac{m_{\text{αρχ}} - m_{\text{τελ}}}{m_{\text{αρχ}}} \cdot 100 \quad (7.11)$$

όπου

$m_{\text{αρχ}}$: η αρχική μάζα του οπλισμού πριν την έκθεσή του στο διαβρωτικό περιβάλλον

$m_{\text{τελ}}$: η τελική μάζα του οπλισμού μετά την έκθεσή του στο διαβρωτικό περιβάλλον και τον καθαρισμό του.

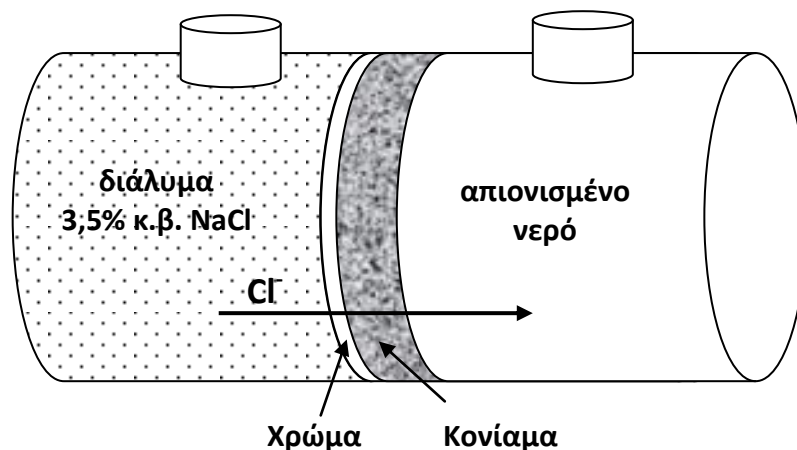
7.3. Μέτρηση του βάθους ενανθράκωσης

Μετά τον καθορισμένο χρόνο έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον, τα οπλισμένα πρισματικά δοκίμια σκυροδέματος εξέρχονται από το διαβρωτικό περιβάλλον και αφήνονται να στεγνώσουν. Ακολουθεί αξονική θραύση τους σε δύο τμήματα και μέτρηση του βάθους ενανθράκωσης στα τεμάχια του σκυροδέματος. Η μέτρηση του βάθους ενανθράκωσης γίνεται με τη βοήθεια διαλύματος δείκτη φαινολοφθαλεΐνης (1g φαινολοφθαλεΐνης διαλύεται σε 70 ml αιθυλικής αλκοόλης και συμπληρώνεται στα 100 ml με απιονισμένο νερό), που ψεκάζεται πάνω στο σκυρόδεμα σύμφωνα με τα οριζόμενα στο

πρότυπο BS EN 14630-2006. Βάθος ενανθράκωσης (d_k) είναι η μέση απόσταση, μετρούμενη σε χιλιοστά, από την επιφάνεια του σκυροδέματος ή κονιάματος, όπου το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) έχει μειώσει την αλκαλικότητα του ενυδατωμένου τσιμέντου σε βαθμό τέτοιο ώστε το διάλυμα δείκτη φαινολοφθαλεΐνης που ψεκάζεται στην επιφάνεια να παραμένει άχρωμο. Το μη ενανθρακωμένο κονίαμα χρωματίζεται ιώδες-ερυθρό. Οι μη χρωματισμένες επιφάνειες στην περίμετρο υποδηλώνουν την εμφάνιση ενανθράκωσης. Οι μετρήσεις έγιναν σε κάθε τεμάχιο στις δύο πλευρές του ανά περίπου 1 cm.

7.4. Μέτρηση ρυθμού διείσδυσης χλωριόντων στο κονίαμα

Για τη μέτρηση του ρυθμού διάχυσης χλωριόντων μέσω επικαλυμμένων κονιαμάτων χρησιμοποιείται η διάταξη του σχήματος 7.8 (Taywood Engineering Limited, 1998). Κυλινδρικά δοκίμια κονιάματος (πάχους 5 mm και διαμέτρου $\Phi = 20$ mm), κατασκευάστηκαν με τις ίδιες αναλογίες και τις ίδιες συνθήκες με τα πρισματικά δοκίμια κισσηροκονιάματος και επικαλύφθηκαν με τις ίδιες και πάλι συνθήκες. Τα δοκίμια τοποθετούνται ως διάφραγμα ανάμεσα σε δύο γυάλινα δοχεία, όπου το δοχείο σε επαφή με την επικαλυμμένη πλευρά του δοκιμίου περιέχει 3.5% κ.β. διάλυμα NaCl και το άλλο δοχείο περιέχει απιονισμένο νερό. Σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα (0.5 - 1.0 - 1.5 - 2.0 - 2.5 και 24 ώρες) λαμβάνονται δείγματα από το δεύτερο δοχείο και τα χλωριόντα που είχαν διαχυθεί διαμέσου του επικαλυμμένου δοκιμίου προσδιορίζονται με τιτλοδότηση.



Σχήμα 7.8. Διάταξη μέτρησης ρυθμού διείσδυσης χλωριόντων στο κονίαμα.

7.5. Ποροσιμετρία υδραργύρου

Η ποροσιμετρία υδραργύρου αποτελεί μια από τις σημαντικότερες μεθόδους εκτίμησης και ανάλυσης της μικροδομής των πορωδών υλικών και προσδιορισμού του πορώδους τους. Η πειραματική τεχνική βασίζεται στη βαθμιαία διείσδυση υδραργύρου (μη διαβρέχον υγρό) σε ένα πορώδες υλικό εκκενωμένο από αέρα, με αύξηση της εξωτερικής πίεσης και στην απομάκρυνση του υδραργύρου, καθώς η πίεση ελαττώνεται. Συγκεκριμένα, επειδή ο υδράργυρος αποτελεί μη διαβρέχον υγρό για το σύνολο σχεδόν των υλικών, απαιτεί την επιβολή πίεσης για να διεισδύσει στους πόρους ενός εκκενωμένου από αέρα πορώδους υλικού. Καθώς η εξωτερική πίεση αυξάνεται, ο υδράργυρος διεισδύει πρώτα στους πόρους μεγαλύτερου μεγέθους και προοδευτικά διεισδύει και στους μικρότερους πόρους. Τα τριχοειδή φαινόμενα και οι σχετιζόμενες δυνάμεις είναι σημαντικά στην

ποροσίμετρία υδραργύρου. Αν σε ένα σωλήνα λεπτής διατομής υπήρχε διαβρέχον νερό, όπως το νερό, τότε οι τριχοειδείς δυνάμεις θα ωθούσαν το νερό μέσα στον σωλήνα έως ότου επιτευχθεί ισορροπία με τις βαρυτικές δυνάμεις. Όταν όμως υπάρχει μη διαβρέχον υγρό, όπως ο υδράργυρος, τότε οι τριχοειδείς δυνάμεις δρουν κατά την αντίθετη κατεύθυνση, έτσι ώστε να κρατήσουν το υγρό έξω από τον σωλήνα. Τότε για κάθε τριχοειδή σωλήνα, η δύναμη F_1 που ασκείται στον υδράργυρο δίνεται από τον τύπο:

$$F_1 = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \gamma \cdot \cos\theta \quad (7.12)$$

Όπου:

R : ακτίνα σωλήνα (cm)

π : σταθερά ίση με 3,14

γ : η επιφανειακή τάση του υδραργύρου (480 dyn/cm)

θ : η γωνία επαφής του υδραργύρου με τα τοιχώματα του σωλήνα ($135 \div 145^\circ$).

Για να εισέλθει ο υδράργυρος στον σωλήνα, πρέπει να εφαρμοστεί εξωτερική δύναμη F_2 που δίνεται από τον τύπο:

$$F_2 = \pi \cdot R^2 \cdot P \quad (7.13)$$

Όπου:

P : η πίεση που ασκείται κάθετα στη διατομή του σωλήνα (dyn).

Ο συνδυασμός των δύο αυτών εξισώσεων δίνει την εξίσωση Washburn:

$$P = - (2 \cdot \gamma \cdot \cos\theta) / R \quad (7.14)$$

η οποία συσχετίζει την ακτίνα του τριχοειδούς σωλήνα με την πίεση που πρέπει να ασκηθεί για να εισέλθει ο υδράργυρος μέσα στο σωλήνα. Θεωρώντας κυλινδρικό μοντέλο, δηλαδή ότι ο σωλήνας αντιπροσωπεύει κυλινδρικό πόρο με διατομή $\pi \cdot R^2$, από τις ανωτέρω εξισώσεις υπολογίζονται οι ακτίνες των πόρων. Η κατανομή των πόρων ως προς το μέγεθος των ακτινών τους παράγεται από την καμπύλη διείδυσης ορίζοντας τον όγκο $dV(r)$ σε πόρους με ακτίνες μεταξύ r και $r+dr$. Έτσι με απλή διαφόριση της καμπύλης διείδυσης λαμβάνεται μια ογκομετρική κατανομή των πόρων ως προς τις ακτίνες τους.

Το ποροσίμετρο που χρησιμοποιήθηκε είναι της Karlo Erba και αποτελείται από δύο τμήματα. Το πρώτο τμήμα (Macropore Unit 120) χρησιμεύει για τη μέτρηση μεγάλων πόρων ακτίνας $7.5 \div 100 \mu\text{m}$, ενώ το δεύτερο (Porosimeter 2000) για τη μέτρηση μικρότερων πόρων ακτίνας $0.00375 \div 7.5 \mu\text{m}$. Και τα δύο τμήματα είναι συνδεδεμένα με ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω μιας μονάδας ελέγχου, στον οποίο γίνεται απευθείας η αποθήκευση και η επεξεργασία των δεδομένων.

Σε τμήμα του δείγματος, που έχει προηγουμένως κοπεί κατάλληλα για να χωράει στην κυψελίδα του ποροσίμετρου, γίνεται ξήρανση στους 105°C . Ακολούθως αφήνεται να ψυχθεί μέσα σε ξηραντήρα.

Το δείγμα ζυγίζεται με ακρίβεια τέταρτου δεκαδικού ψηφίου του γραμμαρίου, η μάζα του εισάγεται στον υπολογιστή και τοποθετείται στην κυψελίδα του ποροσίμετρου που εφαρμόζεται στο τμήμα Macropore Unit 120.

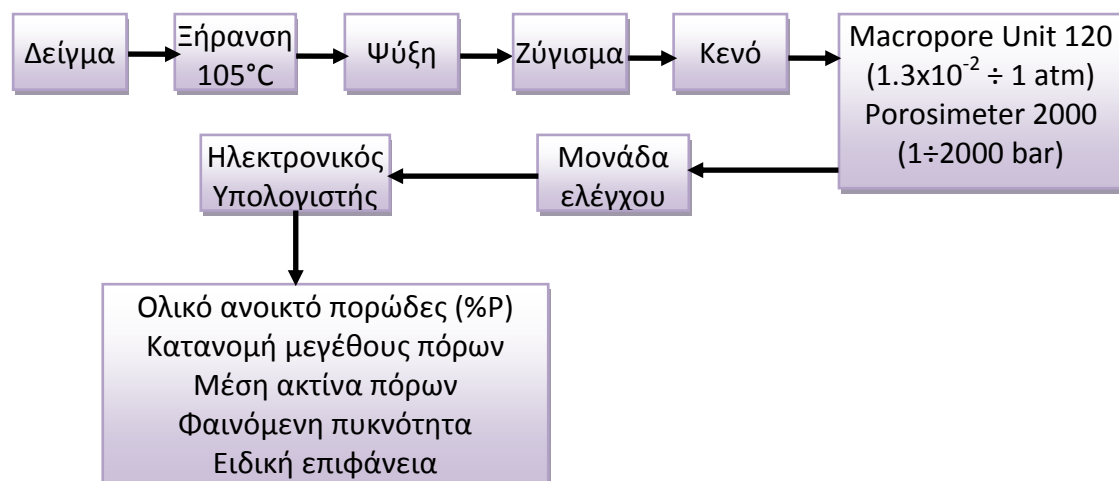
Ακολουθεί η εξαέρωση της κυψελίδας και του δείγματος με την περιστροφική αντλία κενού της συσκευής με πίεση έως $1.3 \cdot 10^{-5} \text{ atm}$. Η κυψελίδα πληρώνεται με υδράργυρο υπό

κενό και διαμέσου μιας βαλβίδας εισάγεται στο κύκλωμα αέρας. Έτσι ασκείται πίεση μέχρι την ατμοσφαιρική στον υδράργυρο, ο οποίος διεισδύει στους μεγάλους πόρους του υλικού. Η κυψελίδα με το δείγμα ζυγίζεται πάλι και η μάζα εισάγεται στον υπολογιστή.



Εικόνα 7.4. Ποροσίμετρο υδραργύρου.

Η διαδικασία μέτρησης με το ποροσίμετρο υδραργύρου δίνεται συνοπτικά στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 7.9. Σχηματική παράσταση της διαδικασίας μέτρησης με το ποροσίμετρο υδραργύρου.

Κατόπιν τοποθετείται η κυψελίδα στο τμήμα Porosimeter 2000, όπου ο υδράργυρος εισχωρεί σε μικρότερου εύρους πόρους με την άσκηση πίεσης 1÷2000 bar. Ο όγκος του υδραργύρου που διεισδύει σε μια δεδομένη πίεση στους πόρους μετριέται από το ποροσίμετρο και αποθηκεύεται αυτόματα στον υπολογιστή.

Τέλος, ακολουθεί η διαδικασία αποσυμπίεσης, όπου ο υδράργυρος εξέρχεται από τους πόρους.

Η συσκευή μετράει όγκο εισερχομένου υδράργυρου σε σχέση με την εφαρμοζόμενη πίεση και το ενσωματωμένο λογισμικό πρόγραμμα:

- υπολογίζει ολικό ειδικό όγκο εισερχομένου υδράργυρου, ειδική επιφάνεια πόρων, μέση ακτίνα πόρων, φαινόμενη και πραγματική πυκνότητα δείγματος και ολικό ανοικτό πορώδες

- κατασκευάζει διάγραμμα ειδικού όγκου εισερχομένου υδράργυρου – πίεσης και το ιστόγραμμα που παρουσιάζει την κατανομή του όγκου των ανοικτών πόρων με τις ακτίνες του υλικού (Επιστήμη & Τεχνική Υλικών, 2014).

Το πρότυπο EN 1936:2006 περιγράφει τον προσδιορισμό της φαινόμενης πυκνότητας και του ανοικτού πορώδους. Η φαινόμενη πυκνότητα εκφράζεται σε kg/m^3 και είναι ο λόγος της μάζας του δοκιμίου προς τον φαινόμενο όγκο του (όγκος υλικού + όγκος πόρων). Το ανοικτό πορώδες εκφράζεται σε ποσοστό % κ.ο. και είναι ο όγκος των ανοικτών πόρων του δοκιμίου, ως ποσοστό % του φαινόμενου όγκου του.

7.6. Οπτικός έλεγχος σε λεπτές τομές κονιαμάτων

Η πετρογραφική ανάλυση δειγμάτων κισσηροκονιαμάτων έγινε με τη χρήση λεπτών τομών, στις οποίες έγινε οπτική παρατήρηση σε πολωτικό μικροσκόπιο και λήψη φωτογραφιών. Το πρότυπο EN 12407 περιγράφει τον τρόπο διεξαγωγής της πετρογραφικής εξέτασης που, μαζί με τη χημική ανάλυση, ταξινομεί το υλικό και προσδιορίζει τα αισθητικά χαρακτηριστικά του. Τα ορυκτολογικά και πετρογραφικά χαρακτηριστικά που καθορίζονται από τις μακροσκοπικές και μικροσκοπικές παρατηρήσεις σε λεπτές τομές δειγμάτων, αποτελούν θεμελιώδη παράγοντα για τον χαρακτηρισμό ενός υλικού (Ελληνική Γεώσφαιρα, 2012).

Η κατασκευή των λεπτών τομών περιλαμβάνει τα εξής (Χατζηθεοδωρίδης):

- Κοπή του δείγματος σε πλακίδιο ορθογωνίου σχήματος διαστάσεων 2X4 cm,
- στερεοποίηση του πλακιδίου σε γυάλινη πλάκα (αντικειμενοφόρος πλάκα) με ρητίνη,
- λείανση του πλακιδίου έως ότου αποκτήσει το επιθυμητό πάχος των 0.02 – 0.03 mm και
- κάλυψη του παρασκευάσματος με λεπτό γυάλινο πλακίδιο (καλυπτρίδα) με τη βοήθεια ρητίνης.

Στις λεπτές τομές, πάχους 0.02-0.03 mm, το κισσηροκονίαμα γίνεται διαφανές. Το περιεχόμενο της λεπτής τομής, λόγω της οπτικής ανισοτροπίας των κονιαμάτων, επιτρέπει σε κάποιες ακτίνες να διέλθουν διαμέσου της και σε κάποιες άλλες να απορροφηθούν από αυτήν, με αποτέλεσμα η ασπρόμαυρη πλάκα να φαίνεται έγχρωμη.

Οι λεπτές τομές παρασκευάστηκαν στο Εργαστήριο παρασκευής λεπτών τομών, της Διεύθυνσης Ορυκτολογίας – Πετρογραφίας του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών & Μελετών (Ι.Γ.Μ.Ε.Μ.). Η εξέταση των λεπτών τομών στο μικροσκόπιο αποσκοπούσε στον εντοπισμό μικρορηγματώσεων εξαιτίας αλκαλοπυριτικής αντίδρασης.

7.7. Μικροσκοπία Οπτικών Ινών (Fiber Optic Microscopy – F.O.M.)

Οι οπτικές επικοινωνίες χρησιμοποιούν φως αντί ηλεκτρικού ρεύματος ως φορέα των σημάτων και οπτικές ίνες αντί μεταλλικών αγωγών για τη μετάδοσή του. Το προς μετάδοση ηλεκτρικό σήμα (φωνή, εικόνα, δεδομένα κλπ) μετατρέπεται στο ένα άκρο της οπτικής

ζεύξης σε ακολουθία ψηφιακών παλμών που διοχετεύονται στην οπτική ίνα. Στο άλλο άκρο της ζεύξης ανιχνεύονται οι παλμοί και μετατρέπονται στο αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα.

Η οπτική ίνα αποτελείται από υαλώδη κυλινδρικό πυρήνα και περίβλημα από το ίδιο υλικό με ελαφρά μικρότερο δείκτη διάθλασης από αυτόν του πυρήνα. Όταν η ακτίνα φωτός εισέρχεται στην ίνα υπό κατάλληλη γωνία ανακλάται διαδοχικά στο περίβλημα και μεταδίδεται παγιδευμένη στην ίνα.

Το μικροσκόπιο οπτικών ινών είναι φορητή διάταξη που χρησιμοποιεί ως φωτεινή πηγή λευκό φως. Το λευκό φως χαρακτηρίζεται από μήκη κύματος από 400nm έως 760nm.

Τα κυριότερα τμήματα της συσκευής είναι:

- Λάμπα αλογόνου που λειτουργεί στα 100W.

- Έλεγχος έντασης φωτός. Η ποσότητα φωτός που ανακλάται από το αντικείμενο εξαρτάται απ' το χρώμα και το υλικό του αντικειμένου. Το μικροσκόπιο αυτόματα προσαρμόζει την ένταση του φωτός της λάμπας έτσι ώστε να υπάρχει ένα σταθερό επίπεδο φωτεινότητας στη λαμβανόμενη εικόνα.

- Σύστημα εστίασης.

- Αντικειμενικοί φακοί. Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής μπορεί να αλλάξει κανείς περισσότερους φακούς για να πάρει εικόνες διαφορετικών μεγεθύνσεων. Οι φακοί συνδέονται στο σύστημα μετάδοσης εικόνας μέσω οπτικών ινών (Μοροπούλου, 2011).

Όλοι οι αντικειμενικοί φακοί των μικροσκοπίων χαρακτηρίζονται από τα ακόλουθα μεγέθη:

Η διακριτική ικανότητα (resolution) του αντικειμενικού φακού εκφράζει την ελάχιστη απόσταση (d_{min}) μεταξύ δύο σημείων, έτσι ώστε να είναι διακριτά με το μικροσκόπιο και δίδεται από τη σχέση:

$$d_{min} = \lambda / (2 \cdot A_n) \quad (7.15)$$

όπου λ : μήκος κύματος (wavelength) του χρησιμοποιούμενου φωτός και

A_n : το αριθμητικό άνοιγμα (numerical aperture) του αντικειμενικού φακού, ένα μέτρο της ικανότητας του φακού να συγκεντρώνει φως, που ορίζεται ως:

$$A_n = n \cdot \sin\theta \quad (7.16)$$

όπου n : ο δείκτης διάθλασης (refraction index) του μέσου (αέρας) ανάμεσα στο δοκίμιο και τον φακό και θ : η μισή γωνία μεταξύ των ακραίων ακτίνων φωτός οι οποίες εισέρχονται στον αντικειμενικό φακό.

Τέλος, σημαντικό ρόλο παίζει το βάθος πεδίου (focus depth), που καθορίζει το μέγιστο μήκος της τρίτης διάστασης του δείγματος (=βάθος) που παρέχει ευκρινές είδωλο. Η παράμετρος αυτή είναι αντιστρόφως ανάλογη του $(A_n)^2$, δηλαδή ελαττώνεται όσο αυξάνει το αριθμητικό άνοιγμα. Αυτό σημαίνει ότι όταν χρησιμοποιείται μεγάλη μεγέθυνση, οπότε το άνοιγμα πεδίου αυξάνεται, το βάθος πεδίου μειώνεται και δεν είναι δυνατή μια ευκρινής εικόνα, ιδίως όταν υπάρχουν επιφανειακές ανωμαλίες (Ρούτουλας, et al., 2011).

Κατά τη διαδικασία της μικροσκοπικής εξέτασης το φως πρέπει να πέφτει κατακόρυφα στην επιφάνεια του δείγματος και να ανακλάται πίσω διαμέσου των αντικειμενικών φακών. Χαρακτηριστικά της επιφάνειας, σε θέσεις πλάγιες σχετικά με τη δέσμη φωτός εμφανίζουν μεγαλύτερο κοντράστ από την υπόλοιπη εικόνα, διότι ανακλάσεις με γωνίες μεγαλύτερες του A_n συνεπάγονται απώλειες φωτός (Επιστήμη & Τεχνική Υλικών, 2014).

8. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

8.1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Ι: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΣΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Σε αυτήν την ενότητα εξετάζεται η κατηγορία δοκιμών Ι, η οποία περιλαμβάνει 24 πρισματικά δοκίμια οπλισμένου κονιάματος διαστάσεων 80×80×100 mm, με 4 χαλύβδινους οπλισμούς, διαμέτρου 12 mm και ύψους 100 mm, που κατασκευάστηκαν με σταθερή αναλογία «τσιμέντο : κίσηρη λεπτή : νερό» «1 : 3 : 0.85». Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις διαφορετικοί τύποι τσιμέντου, **CEM I 32.5**, **CEM I 42.5**, **CEM II/A-S 42.5** και **CEM II/B-M 32.5**. Οι κατηγορίες και οι αναλογίες σύστασης των δοκιμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.1.

Πίνακας 8.1. Κατηγορίες και αναλογίες σύστασης δοκιμών

Κωδικός	Κατηγορία τσιμέντου	Τσιμέντο	Κίσηρη (0÷5)	Νερό
O	CEM I 32.5	1	3	0.85
I	CEM I 42.5	1	3	0.85
K	CEM II/A-S 42.5	1	3	0.85
P	CEM II/B-M 32.5	1	3	0.85

Η μελέτη της επίδρασης του τύπου του τσιμέντου στη διάβρωση του οπλισμού των δοκιμών κισσηροκονιαμάτων, έγινε με έκθεση των δοκιμών σε τρία διαφορετικά διαβρωτικά περιβάλλοντα:

1. **Επιταχυνόμενη διάβρωση:** Οπλισμένα δοκίμια κισσηροκονιάματος τοποθετήθηκαν σε θάλαμο αλατονέφωσης, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 7253:2001, όπου βρίσκονταν σε νέφος από διάλυμα NaCl περιεκτικότητας C=5% κ.β., θερμοκρασίας T=30°C και pH=6,5÷7,2 για διάστημα 15 ημερών, με σκοπό τη μελέτη σε επιταχυνόμενες συνθήκες. Στα δοκίμια αυτά υπολογίστηκε η απώλεια μάζας των οπλισμών.

2. **Διάβρωση μέσης διάρκειας:** Οπλισμένα δοκίμια κισσηροκονιάματος εκτέθηκαν μερικά σε υδατικό διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl (μερική εμβάπτιση μέχρι ύψους 2cm) για συνολικό διάστημα οκτώ μηνών προσομοιάζοντας το θαλάσσιο περιβάλλον. Στα δοκίμια αυτά πραγματοποιήθηκαν:

- Χρονική καταγραφή του δυναμικού διάβρωσης (E_{CORR}) ή δυναμικού ανοικτού κυκλώματος (E_{OCP}) των οπλισμών ως προς ηλεκτρόδιο αναφοράς κορεσμένου καλομέλανα (SCE) συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91. Κάθε τιμή προκύπτει ως ο μέσος όρος των τιμών των τεσσάρων οπλισμών σε κάθε δοκίμιο. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι τιμές του μετρούμενου δυναμικού διάβρωσης αποτελούν ένδειξη για την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο οπλισμός στο κονίαμα και για το ηλεκτρόδιο αναφοράς κορεσμένου καλομέλανα (SCE) οι τιμές διαμορφώνονται όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.2.

- Υπολογισμός της (%) απώλειας μάζας των οπλισμών. Η απώλεια μάζας των οπλισμών για κάθε χρονικό διάστημα υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος της απώλειας μάζας των τεσσάρων οπλισμών του πρισματικού δοκιμίου οπλισμένου κονιάματος. Η απώλεια μάζας προκύπτει ως η διαφορά της αρχικής μάζας ($m_{αρχ}$) μείον την τελική μάζα ($m_{τελ}$) σε γραμμάρια και κατόπιν υπολογίζεται η % Απώλεια Μάζας (AM%) ως ο λόγος της απώλειας μάζας προς την αρχική μάζα.

- Υπολογισμός του βάθους ενανθράκωσης στα κισσηροκονιάματα σύμφωνα με το πρότυπο BS EN 14630-2006.

3. **Διάβρωση μακράς διάρκειας:** Οπλισμένα δοκίμια κισσηροκονιάματος εκτέθηκαν για διάστημα 36 μηνών σε ατμοσφαιρική διάβρωση στην ταράτσα του κτιρίου Χημικών Μηχανικών στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Στα δοκίμια αυτά πραγματοποιήθηκαν:

- Υπολογισμός της (%) απώλειας μάζας των οπλισμών, που προκύπτει από τη διαφορά της αρχικής μάζας μείον την τελική μάζα του οπλισμού προς την αρχική μάζα. Κάθε τιμή προκύπτει ως ο μέσος όρος των τιμών των τεσσάρων οπλισμών σε κάθε δοκίμιο.

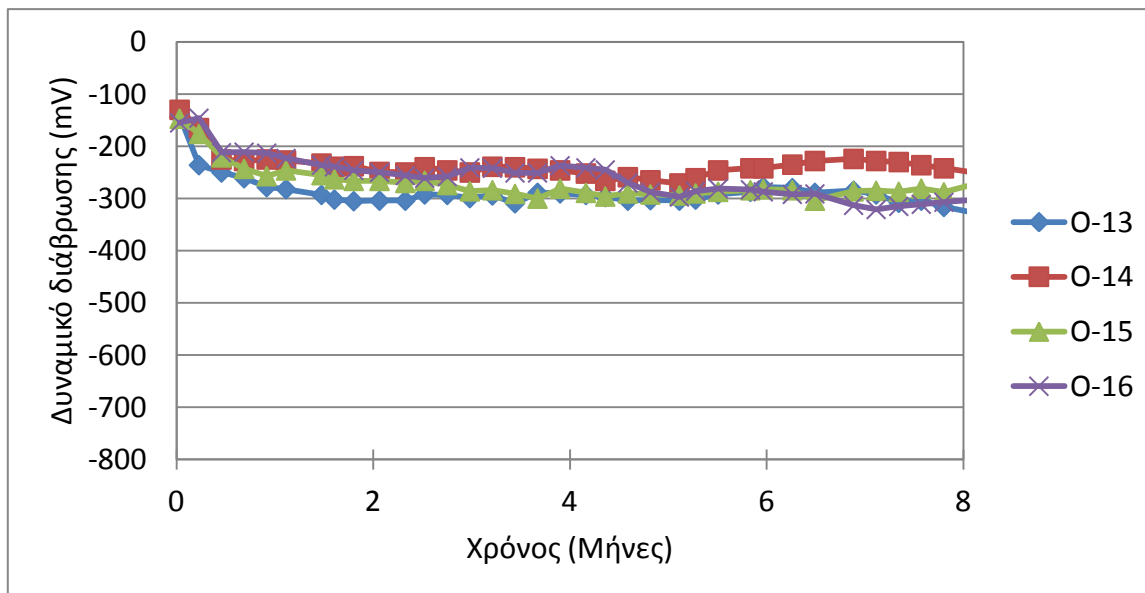
- Υπολογισμός του βάθους ενανθράκωσης στα κισσηροκονιάματα σύμφωνα με το πρότυπο BS EN 14630-2006.

Τέλος μετρήθηκε ο ρυθμός διάχυσης χλωριόντων μέσω των κισσηροκονιαμάτων σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα (0.5 - 1.0 - 1.5 - 2.0 - 2.5 και 24 ώρες).

8.1.1. Διάβρωση μέσης διάρκειας με μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl

8.1.1.1. Χρονική εξέλιξη του δυναμικού διάβρωσης των οπλισμών

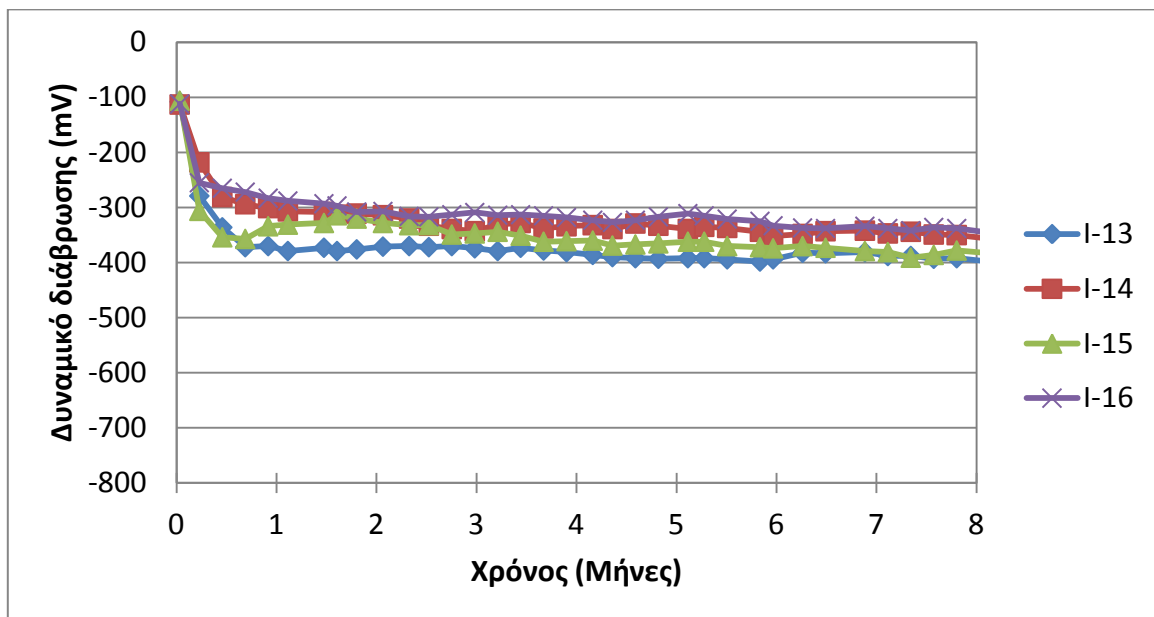
Το δυναμικό διάβρωσης μετρήθηκε σε τακτά χρονικά διαστήματα σε όλους τους οπλισμούς ως προς ηλεκτρόδιο αναφοράς κορεσμένου καλομέλανα SCE. Τα αναλυτικά αποτελέσματα του δυναμικού διάβρωσης για κάθε οπλισμό παρατίθενται σε Πίνακες στο Παράρτημα. Στα σχήματα 8.1 έως 8.4 παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις του δυναμικού διάβρωσης συναρτήσει του χρόνου για τα δοκίμια και των τεσσάρων κατηγοριών τσιμέντου (CEM I 32.5, CEM I 42.5, CEM II/A-S 42.5 και CEM II/B-M 32.5).



Σχήμα 8.1. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32.5 συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

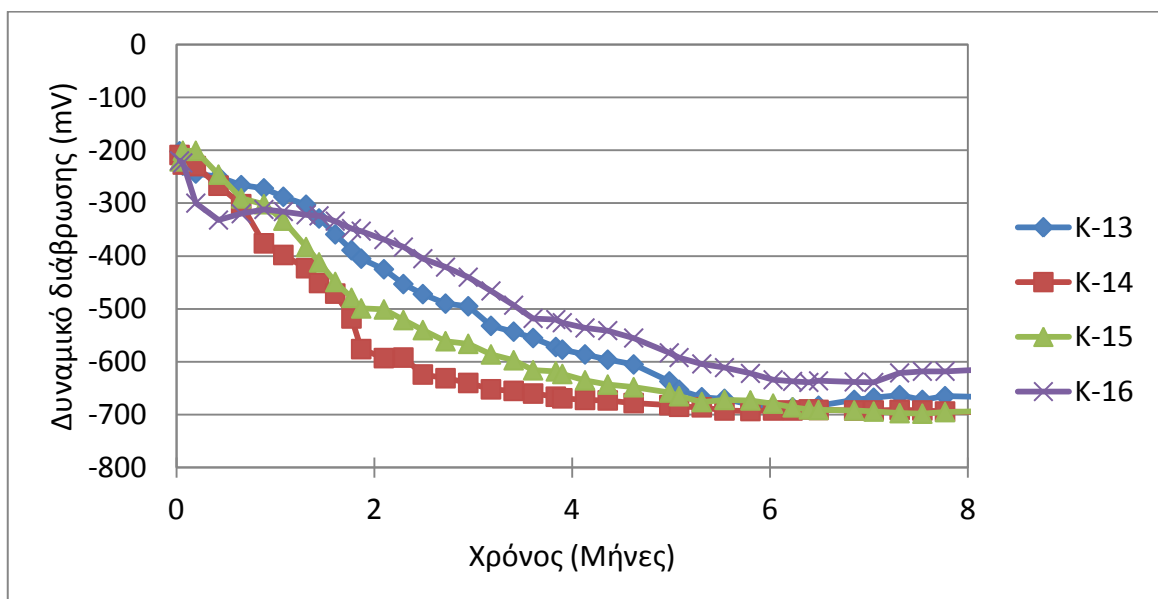
Όπως φαίνεται από το ανωτέρω σχήμα το δυναμικό διάβρωσης όλων των χαλύβων για όλο το χρονικό διάστημα έκθεσης παραμένει σχετικά σταθερό και μεταξύ των -200mV και -300mV. Η σταθερότητα τού δυναμικού διάβρωσης δείχνει ανθεκτικότητα στη

διάβρωση, αλλά σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91 θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι υπάρχει μέτρια προς υψηλή πιθανότητα διάβρωσης των οπλισμών.



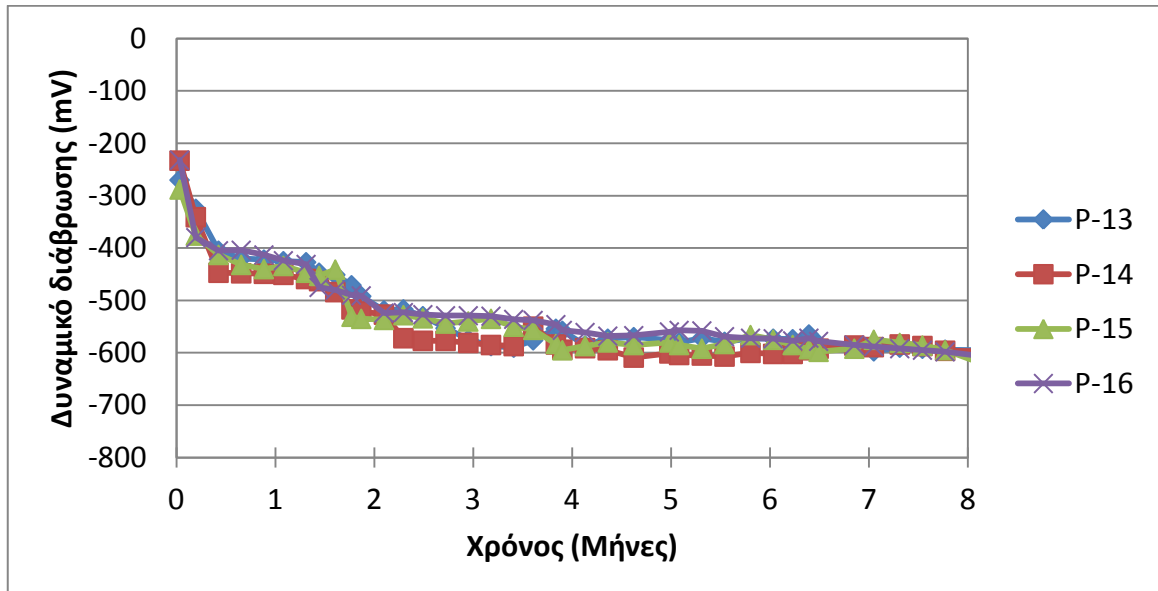
Σχήμα 8.2. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 42.5 συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω σχήμα το δυναμικό διάβρωσης όλων των χαλύβων παρουσιάζει μικρή πτώση προς ηλεκτραρνητικότερα δυναμικά με την εξέλιξη του χρονικού διαστήματος έκθεσης και οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ των -300mV και -400mV. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-87 θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι υπάρχει υψηλή πιθανότητα διάβρωσης των οπλισμών.



Σχήμα 8.3. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω σχήμα το δυναμικό διάβρωσης όλων των χαλύβων παρουσιάζει απότομη πτώση από τα -300mV στα -700mV περίπου τους πρώτους έξι μήνες έκθεσης, ενώ ακολουθεί σταθεροποίηση τους επόμενους δύο μήνες. Η γρήγορη πτώση του δυναμικού διάβρωσης δείχνει γρήγορο σχηματισμό προϊόντος διάβρωσης και σύμφωνα και με το πρότυπο ASTM C876-91 θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι υπάρχει υψηλή πιθανότητα διάβρωσης των οπλισμών.



Σχήμα 8.4. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

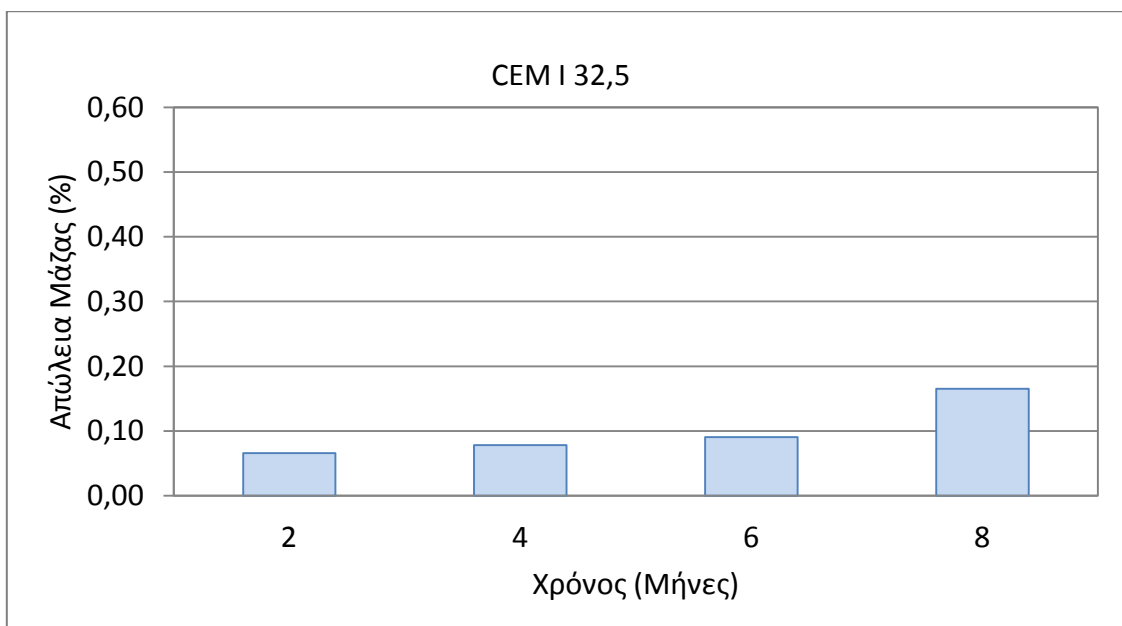
Όπως φαίνεται από το ανωτέρω σχήμα το δυναμικό διάβρωσης όλων των χαλύβων παρουσιάζει πτώση από τα -400mV στα -600mV περίπου τους πρώτους δύο μήνες έκθεσης, ενώ ακολουθεί σταθεροποίηση του δυναμικού τους επόμενους έξι μήνες. Σύμφωνα με το ASTM C876-91 θεωρείται ότι υπάρχει διάβρωση των οπλισμών σε εκτεταμένο βαθμό.

8.1.1.2. Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών

Η (%) απώλεια μάζας των οπλισμών υπολογίστηκε μετά από δύο, τέσσερις, έξι και οκτώ μήνες έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Στους Πίνακες 8.2 έως 8.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα απώλειας μάζας συναρτήσεως του χρόνου για τα δοκίμια και των τεσσάρων κατηγοριών τσιμέντου (CEM I 32.5, CEM I 42.5, CEM II/A-S 42.5 και CEM II/B-M 32.5) και στα σχήματα 8.5 έως 8.8 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Πίνακας 8.2. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου με τσιμέντο CEM I 32.5 (μερική εμφάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

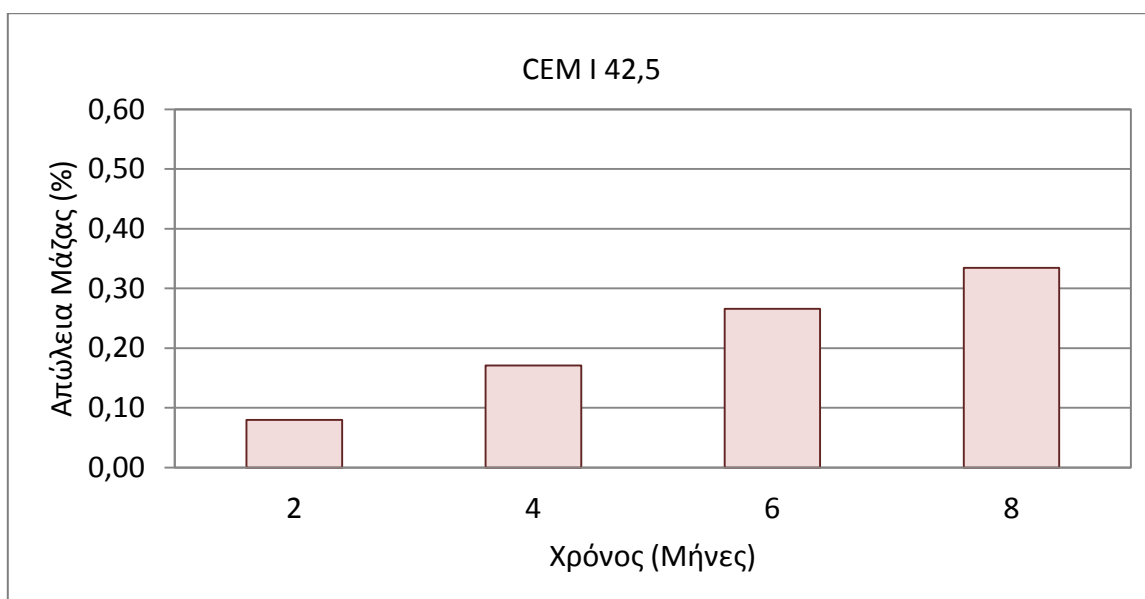
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
O-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	94,7987	94,7438	0,0549	0,058
O-2		94,7416	94,6696	0,0720	0,076
O-3		91,0163	90,9651	0,0512	0,056
O-4		93,9720	93,9040	0,0680	0,072
M.O.				0,0615	0,066
Τυπ.απόκλιση				0,0100	0,0100
O-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	90,1244	90,0532	0,0712	0,079
O-6		90,8865	90,8217	0,0648	0,071
O-7		91,2812	91,2071	0,0741	0,081
O-8		89,7312	89,6580	0,0732	0,082
M.O.				0,0708	0,078
Τυπ.απόκλιση				0,0042	0,0048
O-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	88,6591	88,5904	0,0687	0,077
O-10		90,0118	89,9256	0,0862	0,096
O-11		90,8295	90,7496	0,0799	0,088
O-12		91,0215	90,9302	0,0913	0,100
M.O.				0,0815	0,090
Τυπ.απόκλιση				0,0097	0,0100
O-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	90,6001	90,4483	0,1518	0,168
O-14		86,1433	85,9993	0,1440	0,167
O-15		90,9178	90,7807	0,1371	0,151
O-16		89,9973	89,8387	0,1586	0,176
M.O.				0,1479	0,165
Τυπ.απόκλιση				0,0093	0,0106



Σχήμα 8.5. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32.5 συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμφάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.3. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου με τσιμέντο CEM I 42.5 (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

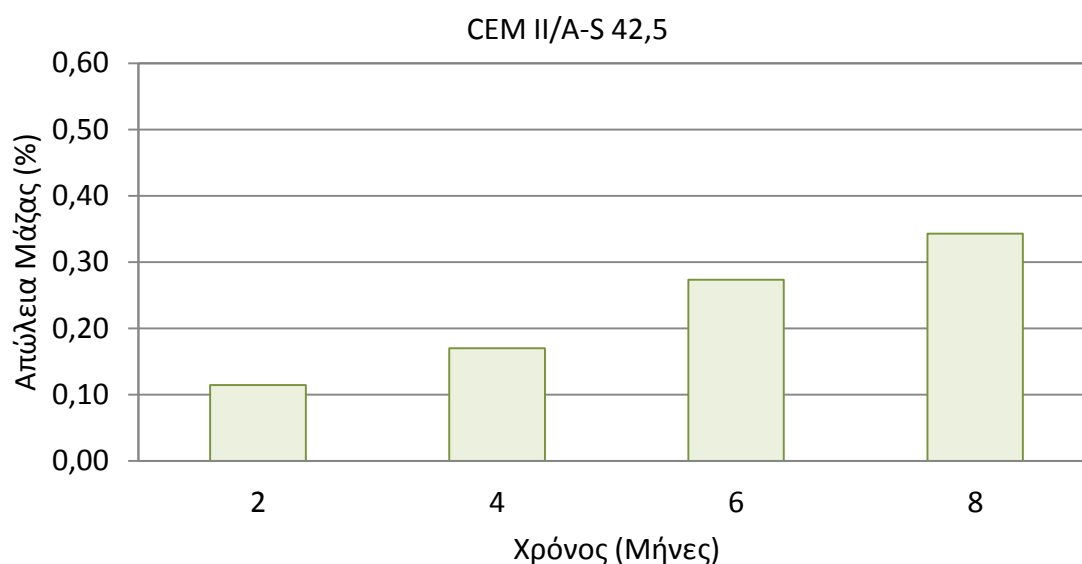
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
I-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	93,9418	93,8589	0,0829	0,088
I-2		90,7602	90,6960	0,0642	0,071
I-3		93,5090	93,4174	0,0916	0,098
I-4		93,8447	93,7789	0,0658	0,070
M.O.				0,0761	0,080
Τυπ.απόκλιση				0,0133	0,0137
I-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	89,9217	89,7616	0,1601	0,178
I-6		86,1808	86,0570	0,1238	0,144
I-7		85,4011	85,2520	0,1491	0,175
I-8		90,4778	90,3023	0,1755	0,194
M.O.				0,1521	0,171
Τυπ.απόκλιση				0,0218	0,0210
I-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	86,6727	86,4349	0,2378	0,274
I-10		90,6617	90,4284	0,2333	0,257
I-11		89,5014	89,2651	0,2363	0,264
I-12		90,0620	89,8140	0,2480	0,275
M.O.				0,2389	0,266
Τυπ.απόκλιση				0,0064	0,0086
I-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	90,9859	90,6961	0,2898	0,319
I-14		89,9487	89,6711	0,2776	0,309
I-15		85,7233	85,4116	0,3117	0,364
I-16		93,5613	93,2514	0,3099	0,331
M.O.				0,2972	0,334
Τυπ.απόκλιση				0,0164	0,0239



Σχήμα 8.6. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 42.5 συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.4. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

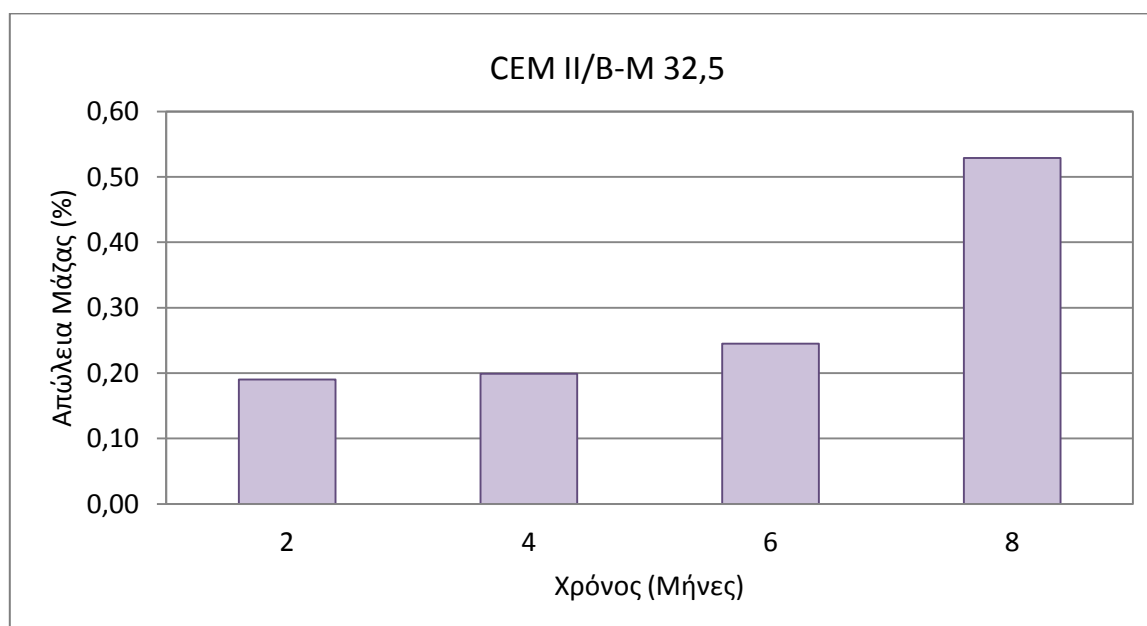
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
K-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	89,0630	88,9625	0,1005	0,113
K-2		90,4666	90,3495	0,1171	0,129
K-3		94,5704	94,4745	0,0959	0,101
K-4		93,5532	93,4473	0,1059	0,113
Μ.Ο.					0,1048
<i>Τυπ.απόκλιση</i>				<i>0,0091</i>	<i>0,0115</i>
<hr/>					
K-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	94,1017	93,9431	0,1586	0,169
K-6		93,1620	93,0088	0,1532	0,164
K-7		91,6343	91,4845	0,1498	0,163
K-8		91,3124	91,1462	0,1662	0,182
Μ.Ο.					0,1570
<i>Τυπ.απόκλιση</i>				<i>0,0072</i>	<i>0,0085</i>
<hr/>					
K-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	90,8457	90,5716	0,2741	0,302
K-10		89,8071	89,5618	0,2453	0,273
K-11		90,2041	89,9469	0,2572	0,285
K-12		93,4940	93,2497	0,2443	0,261
Μ.Ο.					0,2552
<i>Τυπ.απόκλιση</i>				<i>0,0139</i>	<i>0,0173</i>
<hr/>					
K-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	91,2156	90,9018	0,3138	0,344
K-14		94,1954	93,8929	0,3025	0,321
K-15		92,0729	91,7505	0,3224	0,350
K-16		93,4457	93,1122	0,3335	0,357
Μ.Ο.					0,3181
<i>Τυπ.απόκλιση</i>				<i>0,0131</i>	<i>0,0155</i>



Σχήμα 8.7. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.5. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
P-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	90,8308	90,6550	0,1758	0,194
P-2		86,4470	86,2838	0,1632	0,189
P-3		85,5058	85,3271	0,1787	0,209
P-4		92,4626	92,3033	0,1593	0,172
M.O.					0,1692
Τυπ.απόκλιση				0,0094	0,0151
<hr/>					
P-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	92,6218	92,4420	0,1798	0,194
P-6		94,0750	93,9025	0,1725	0,183
P-7		89,0291	88,8508	0,1783	0,200
P-8		84,2775	84,0974	0,1801	0,214
M.O.					0,1777
Τυπ.απόκλιση				0,0035	0,0127
<hr/>					
P-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	90,8303	90,6087	0,2216	0,244
P-10		93,2505	93,0257	0,2248	0,241
P-11		94,5972	94,3630	0,2342	0,248
P-12		92,4873	92,2597	0,2276	0,246
M.O.					0,2271
Τυπ.απόκλιση				0,0054	0,0028
<hr/>					
P-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	87,6771	87,2066	0,4705	0,537
P-14		89,8234	89,3766	0,4468	0,497
P-15		91,4870	91,0041	0,4829	0,528
P-16		86,7798	86,2919	0,4879	0,562
M.O.					0,4720
Τυπ.απόκλιση				0,0183	0,0267

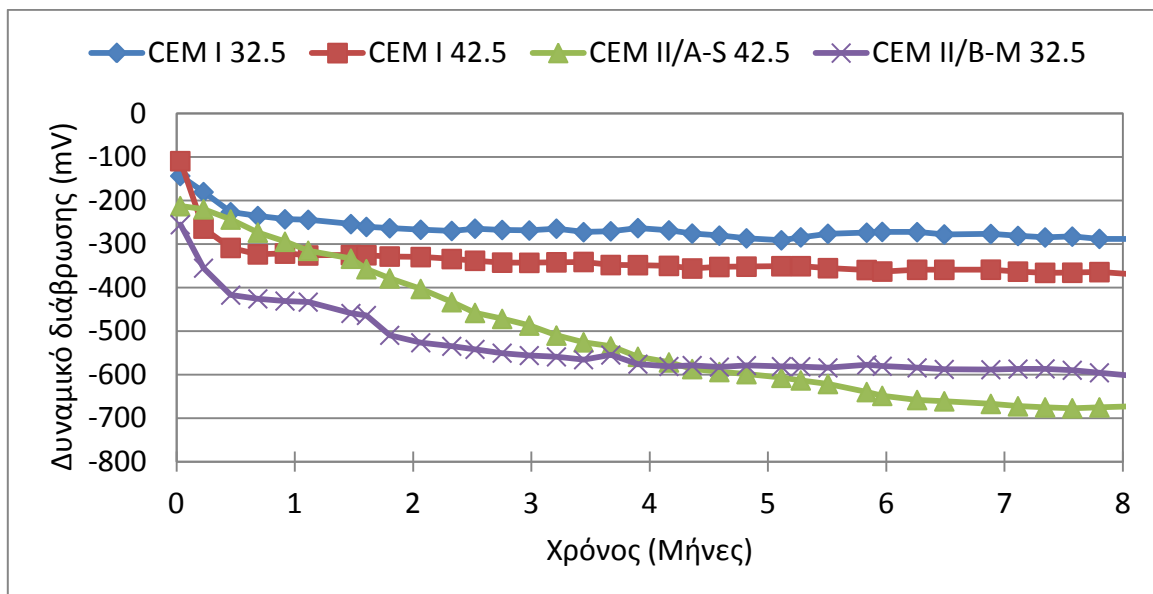


Σχήμα 8.8. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

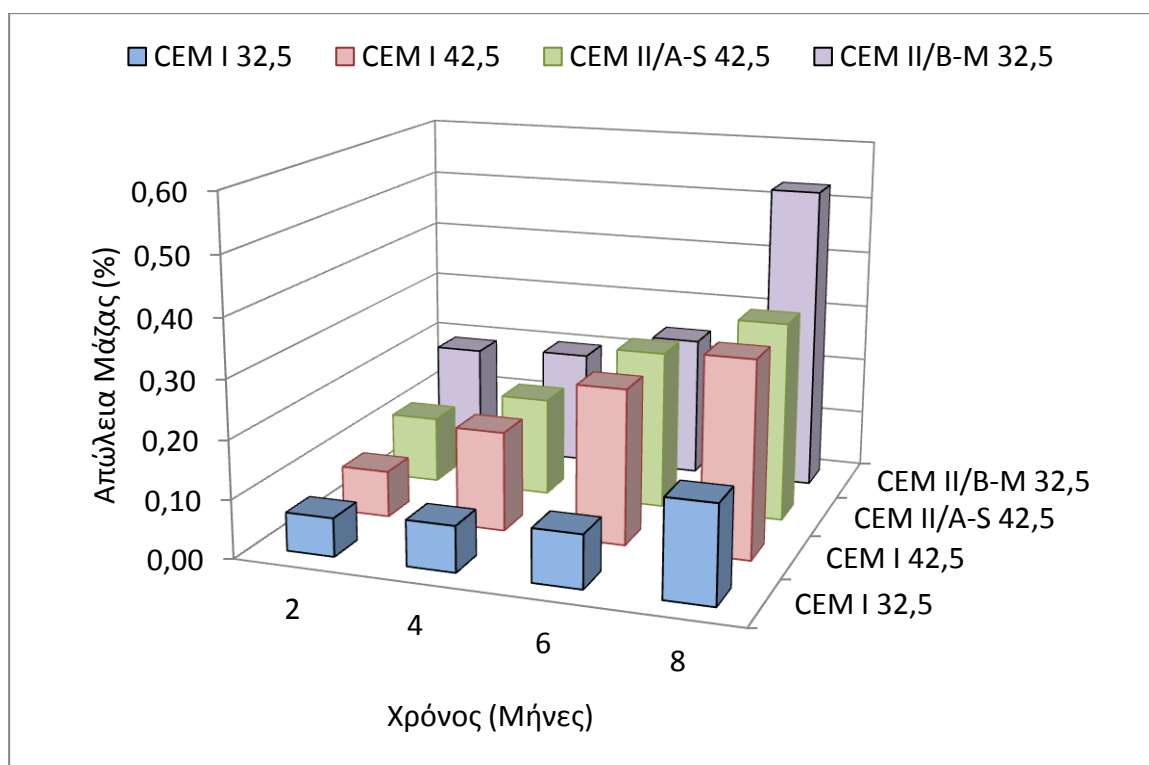
Από τους πίνακες αυτούς και τα διαγράμματα, σε όλους τους τύπους τσιμέντου παρατηρείται αύξηση της ποσοστιαίας επί τοις εκατό απώλειας μάζας των οπλισμών των δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος με την αύξηση του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Η αύξηση της απώλειας μάζας συναρτήσει του χρόνου δεν είναι η ίδια για όλες τις κατηγορίες τσιμέντου. Οι μικρότερες τιμές (%) απώλειας μάζας εμφανίζονται στα δοκίμια με τσιμέντο CEM I 32,5, ενώ οι μεγαλύτερες στα δοκίμια CEM II/B-M 32.5. Οι κατηγορίες CEM I 42,5 και CEM II/A-S 42,5 εμφανίζουν ενδιάμεσες, παραπλήσιες μεταξύ τους, τιμές.

8.1.2. Πρώτο μερικό συμπέρασμα

Όπως προκύπτει από τα διαγράμματα Δυναμικού διάβρωσης – Χρόνου έκθεσης (σχήμα 8.9) τα δοκίμια οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32,5 παρουσιάζουν μικρότερη προδιάθεση για διάβρωση από τα δοκίμια με CEM II/B-M 32.5 και τα δοκίμια CEM I 42,5 από τα δοκίμια CEM II/A-S 42,5, ενώ από τα διαγράμματα Απώλειας μάζας – Χρόνου έκθεσης (σχήμα 8.10), τα δοκίμια οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32,5 παρουσιάζουν μικρότερη διάβρωση από τα δοκίμια με CEM II/B-M 32.5 και τα δοκίμια CEM I 42,5 παρουσιάζουν περίπου την ίδια διάβρωση με τα δοκίμια CEM II/A-S 42,5.



Σχήμα 8.9. Συγκριτικό διάγραμμα δυναμικού διάβρωσης των χαλύβων των δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος με όλα τα τσιμέντα συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.10. Συγκριτικό διάγραμμα απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίων οπλισμένου κίσηροκονιάματος με όλα τα τσιμέντα συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Τα αποτελέσματα αυτά αρχικά φαίνεται να έρχονται σε αντίθεση με τη γενικά επικρατούσα αντίληψη ότι τα ποζολανικά τσιμέντα έχουν καλύτερη συμπεριφορά από τα τσιμέντα Portland σε έκθεση σε θαλάσσιο περιβάλλον. Η προστατευτική επίδραση των ποζολανικών τσιμέντων αποδίδεται κατά κύριο λόγο στην ποζολανική αντίδραση, η οποία μειώνει το μέγεθος των πόρων του ζελ (πορτλαντίτη) του τσιμέντου. Όμως στην παρούσα περίπτωση το μεγαλύτερο μέρος του πορώδους οφείλεται στο αδρανές υλικό (κίσηρη) παρά στο ζελ του τσιμέντου. Με τον τρόπο αυτό, η μείωση του πορώδους του ζελ του τσιμέντου δεν μπορεί να ασκήσει προστατευτική επίδραση. Επίσης η προστατευτική επίδραση των ποζολανικών τσιμέντων σε περιβάλλον χλωριόντων αποδίδεται στην ικανότητα των ποζολανών να συγκρατούν σε κρυσταλλικές ενώσεις τα χλωριόντα (άλας Friedel). Η μετακίνηση όμως των χλωριόντων διαμέσου των πόρων της κίσηρης εκτελείται χωρίς συγκράτηση χλωριόντων.

8.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ II: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Σε αυτήν την ενότητα εξετάζεται η κατηγορία δοκιμών II, η οποία περιλαμβάνει 96 πρισματικά δοκίμια οπλισμένου κονιάματος διαστάσεων 80×80×100 mm, με 4 χαλύβδινους οπλισμούς, διαμέτρου 12 mm και ύψους 100 mm, που κατασκευάστηκαν με σταθερή αναλογία «τσιμέντο : κίσηρη λεπτή : νερό» «1 : 3 : 0.85». Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις διαφορετικοί τύποι τσιμέντου, CEM I 32.5, CEM I 42.5, CEM II/A-S 42.5 και CEM II/B-M 32.5 και τα δοκίμια επικαλύφθηκαν με τέσσερις επικαλύψεις:

- **Ακρυλική διασπορά** απόχρωσης γκρι, με κύριο πιγμένο TiO_2 (επικάλυψη **AT**).
- **Ακρυλική διασπορά** απόχρωσης καφέ με πιγμένο **οξείδια σιδήρου** (Fe_2O_3 και Fe_3O_4) (επικάλυψη **AF**).
- Επικάλυψη **χλωριωμένου καουτσούκ** απόχρωσης καφέ με πιγμένο **οξείδια σιδήρου** (Fe_2O_3 και Fe_3O_4) (επικάλυψη **XF**).
- Διαφανές **βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ** (επικάλυψη **XV**).

Οι κατηγορίες και οι αναλογίες σύστασης των δοκιμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.6.

Πίνακας 8.6. Κατηγορίες και αναλογίες σύστασης δοκιμών κατηγορίας II

Κωδικός	Κατηγορία τσιμέντου	Τσιμέντο	Κίσηρη (0-5)	Νερό	Επικάλυψη
O-AT	CEM I 32.5	1	3	0.85	AT
O-AF	CEM I 32.5	1	3	0.85	AF
O-XF	CEM I 32.5	1	3	0.85	XF
O-XV	CEM I 32.5	1	3	0.85	XV
I-AT	CEM I 42.5	1	3	0.85	AT
I-AF	CEM I 42.5	1	3	0.85	AF
I-XF	CEM I 42.5	1	3	0.85	XF
I-XV	CEM I 42.5	1	3	0.85	XV
K-AT	CEM II/A-S 42.5	1	3	0.85	AT
K-AF	CEM II/A-S 42.5	1	3	0.85	AF
K-XF	CEM II/A-S 42.5	1	3	0.85	XF
K-XV	CEM II/A-S 42.5	1	3	0.85	XV
P-AT	CEM II/B-M 32.5	1	3	0.85	AT
P-AF	CEM II/B-M 32.5	1	3	0.85	AF
P-XF	CEM II/B-M 32.5	1	3	0.85	XF
P-XV	CEM II/B-M 32.5	1	3	0.85	XV

Η μελέτη της επίδρασης του είδους της επικάλυψης στη διάβρωση του οπλισμού των επικαλυμμένων δοκιμών κίσηροκονιαμάτων, έγινε με έκθεση των δοκιμών σε τρία διαφορετικά διαβρωτικά περιβάλλοντα:

1. **Επιταχυνόμενη διάβρωση:** Επικαλυμμένα οπλισμένα δοκίμια κίσηροκονιάματος τοποθετήθηκαν σε θάλαμο αλατονέφωσης όπου βρίσκονταν σε νέφος από διάλυμα NaCl περιεκτικότητας C=5% κ.β., θερμοκρασίας T=30°C και pH=6,5÷7,2, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 7253:2001 για διάστημα 15 ημερών με σκοπό τη μελέτη σε επιταχυνόμενες συνθήκες. Στα δοκίμια αυτά υπολογίστηκε η απώλεια μάζας των οπλισμών.

2. Διάβρωση μέσης διάρκειας: Επικαλυμμένα οπλισμένα δοκίμια κισσηροκονιάματος εκτέθηκαν μερικά σε υδατικό διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl (μερική εμβάπτιση μέχρις ύψους 2cm) για συνολικό διάστημα οκτώ μηνών προσομοιάζοντας το θαλάσσιο περιβάλλον. Στα δοκίμια αυτά πραγματοποιήθηκαν:

- Χρονική καταγραφή του δυναμικού διάβρωσης (E_{CORR}) ή δυναμικού ανοικτού κυκλώματος (E_{OCP}) των οπλισμών ως προς ηλεκτρόδιο αναφοράς κορεσμένου καλομέλανα (SCE) συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91. Κάθε τιμή προκύπτει ως ο μέσος όρος των τιμών των τεσσάρων οπλισμών σε κάθε δοκίμιο. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι τιμές του μετρούμενου δυναμικού διάβρωσης αποτελούν ένδειξη για την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο οπλισμός στο κονίαμα και για το ηλεκτρόδιο αναφοράς κορεσμένου καλομέλανα (SCE) οι τιμές διαμορφώνονται όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.2.

- Υπολογισμός της (%) απώλειας μάζας των οπλισμών. Η απώλεια μάζας των οπλισμών για κάθε χρονικό διάστημα υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος της απώλειας μάζας των τεσσάρων οπλισμών του πρισματικού δοκιμίου οπλισμένου κονιάματος. Η Απώλεια Μάζας προκύπτει ως η διαφορά της αρχικής μάζας ($m_{αρχ}$) μείον την τελική μάζα ($m_{τελ}$) σε γραμμάρια και κατόπιν υπολογίζεται η % Απώλεια Μάζας ως ο λόγος της απώλειας μάζας προς την αρχική μάζα.

- Υπολογισμός του βάθους ενανθράκωσης στα κισσηροκονιάματα σύμφωνα με το πρότυπο BS EN 14630-2006.

3. Διάβρωση μακράς διάρκειας: Επικαλυμμένα οπλισμένα δοκίμια κισσηροκονιάματος εκτέθηκαν για διάστημα 36 μηνών σε ατμοσφαιρική διάβρωση στην ταράτσα του κτιρίου Χημικών Μηχανικών στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Στα δοκίμια αυτά πραγματοποιήθηκαν:

- Υπολογισμός της (%) απώλειας μάζας των οπλισμών, που προκύπτει από τη διαφορά της αρχικής μάζας μείον την τελική μάζα του οπλισμού προς την αρχική μάζα. Κάθε τιμή προκύπτει ως ο μέσος όρος των τιμών των τεσσάρων οπλισμών σε κάθε δοκίμιο

- Υπολογισμός του βάθους ενανθράκωσης στα κισσηροκονιάματα σύμφωνα με το πρότυπο BS EN 14630-2006.

Τέλος μετρήθηκε ο ρυθμός διάχυσης χλωριόντων μέσω επικαλυμμένων κισσηροκονιαμάτων σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα (0.5 - 1.0 - 1.5 - 2.0 - 2.5 και 24 ώρες).

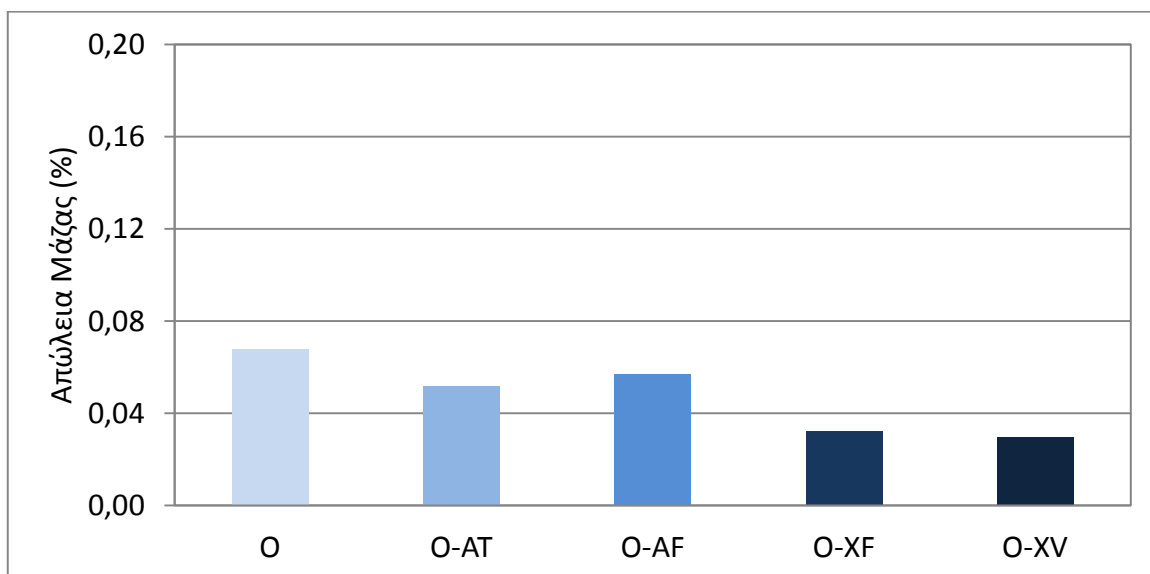
8.2.1. Επιταχυνόμενη διάβρωση σε θάλαμο αλατονέφωσης

8.2.1.1. Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών

Η (%) απώλεια μάζας των οπλισμών όλων των δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος (επικαλυμμένων και μη) σε θάλαμο αλατονέφωσης υπολογίστηκε μετά από 15 ημέρες έκθεσης. Στους Πίνακες 8.7 έως 8.10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα (%) απώλειας μάζας για τα επικαλυμμένα δοκίμια και των τεσσάρων κατηγοριών τσιμέντου (CEM I 32.5, CEM I 42.5, CEM II/A-S 42.5 και CEM II/B-M 32.5) και στα σχήματα 8.11 έως 8.14 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Πίνακας 8.7. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM I 32.5 και όλες τις επικαλύψεις στον θάλαμο αλατονέφωσης (χρόνος έκθεσης 15 ημέρες)

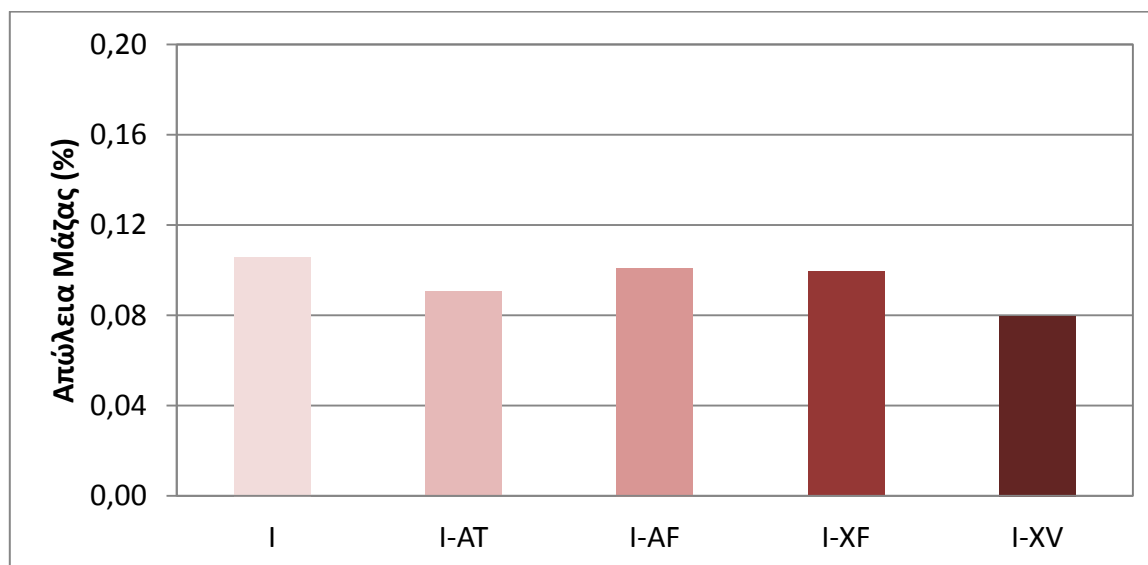
Κωδικός	$m_{\text{αρχ}}$ (g)	$m_{\text{τελ}}$ (g)	AM (g)	AM (%)
O-S1	94,3888	94,3294	0,0594	0,063
O-S2	93,9308	93,8639	0,0669	0,071
O-S3	89,7550	89,6910	0,0640	0,071
O-S4	89,4111	89,3531	0,0580	0,065
M.O. O			0,0621	0,068
<i>Τυπ. απόκλιση</i>			<i>0,0041</i>	<i>0,0043</i>
O-AT-S1	89,9881	89,9307	0,0574	0,064
O-AT-S2	89,4674	89,4339	0,0335	0,037
O-AT-S3	94,0467	94,0001	0,0466	0,050
O-AT-S4	90,5926	90,5418	0,0508	0,056
M.O. O-AT			0,0471	0,052
<i>Τυπ. απόκλιση</i>			<i>0,0101</i>	<i>0,0112</i>
O-AF-S1	89,3491	89,2979	0,0512	0,057
O-AF-S2	93,5829	93,5297	0,0532	0,057
O-AF-S3	87,8743	87,8208	0,0535	0,061
O-AF-S4	90,5132	90,4661	0,0471	0,052
M.O. O-AF			0,0512	0,057
<i>Τυπ. απόκλιση</i>			<i>0,0029</i>	<i>0,0036</i>
O-XF-S1	90,9738	90,9372	0,0366	0,040
O-XF-S2	89,9000	89,8718	0,0282	0,031
O-XF-S3	94,5445	94,5238	0,0207	0,022
O-XF-S4	89,4808	89,4488	0,0320	0,036
M.O. O-XF			0,0294	0,032
<i>Τυπ. απόκλιση</i>			<i>0,0067</i>	<i>0,0078</i>
O-XV-S1	89,3241	89,2987	0,0254	0,028
O-XV-S2	90,2389	90,2092	0,0297	0,033
O-XV-S3	93,1267	93,1021	0,0246	0,026
O-XV-S4	93,7845	93,7559	0,0286	0,030
M.O. O-XV			0,0271	0,030
<i>Τυπ. απόκλιση</i>			<i>0,0025</i>	<i>0,0028</i>



Σχήμα 8.11. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών επικαλυμμένων και μη δοκιμών κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32.5 στον θάλαμο αλατονέφωσης (χρόνος έκθεσης 15 ημέρες).

Πίνακας 8.8. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM I 42.5 και όλες τις επικαλύψεις στον θάλαμο αλατονέφωσης (χρόνος έκθεσης 15 ημέρες)

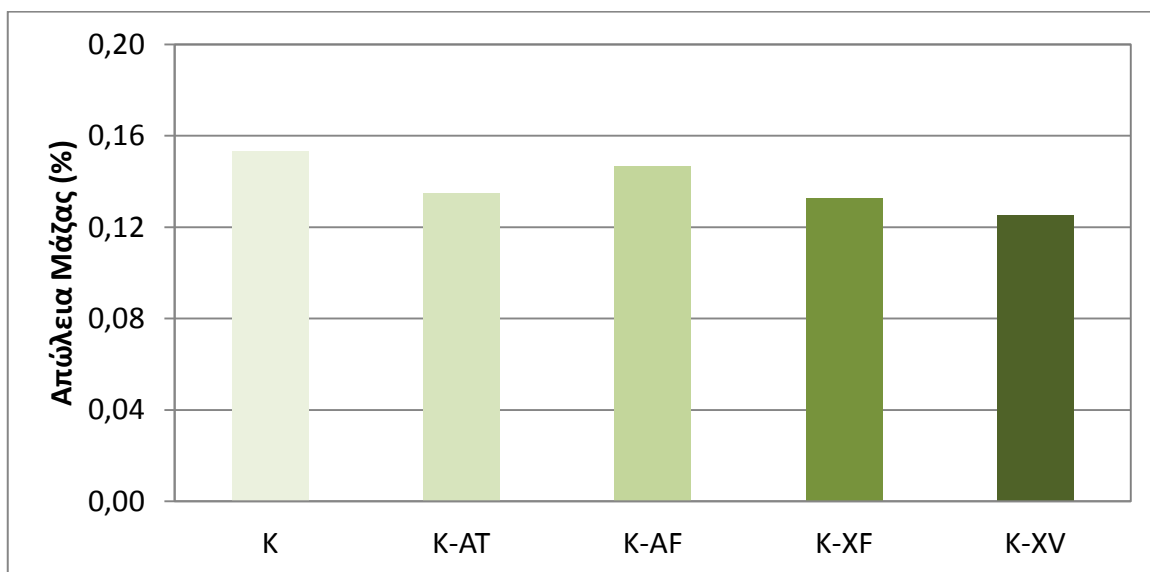
Κωδικός	$m_{\text{αρχ}}$ (g)	$m_{\text{τελ}}$ (g)	AM (g)	AM (%)
I-S1	89,6652	89,5669	0,0983	0,110
I-S2	94,8571	94,7720	0,0851	0,090
I-S3	88,8750	88,7796	0,0954	0,107
I-S4	87,1017	87,0000	0,1017	0,117
M.O. I			0,0951	0,106
<i>Τυπ. απόκλιση</i>			<i>0,0072</i>	<i>0,0115</i>
I-AT-S1	87,8255	87,7355	0,0900	0,102
I-AT-S2	85,4764	85,4041	0,0723	0,085
I-AT-S3	94,4018	94,3286	0,0732	0,078
I-AT-S4	95,0683	94,9754	0,0929	0,098
M.O. I-AT			0,0821	0,091
<i>Τυπ. απόκλιση</i>			<i>0,0109</i>	<i>0,0115</i>
I-AF-S1	90,9731	90,8798	0,0933	0,103
I-AF-S2	88,7420	88,6492	0,0928	0,105
I-AF-S3	94,5562	94,4673	0,0889	0,094
I-AF-S4	95,0226	94,9250	0,0976	0,103
M.O. I-AF			0,0932	0,101
<i>Τυπ. απόκλιση</i>			<i>0,0036</i>	<i>0,0047</i>
I-XF-S1	94,3671	94,2881	0,0790	0,084
I-XF-S2	85,2954	85,1957	0,0997	0,117
I-XF-S3	94,8367	94,7482	0,0885	0,093
I-XF-S4	86,1061	86,0167	0,0894	0,104
M.O. I-XF			0,0891	0,099
<i>Τυπ. απόκλιση</i>			<i>0,0085</i>	<i>0,0142</i>
I-XV-S1	89,4346	89,3637	0,0709	0,079
I-XV-S2	89,4240	89,3387	0,0853	0,095
I-XV-S3	93,9280	93,8484	0,0796	0,085
I-XV-S4	93,9895	93,9335	0,0560	0,060
M.O. I-XV			0,0730	0,080
<i>Τυπ. απόκλιση</i>			<i>0,0128</i>	<i>0,0150</i>



Σχήμα 8.12. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών επικαλυμμένων και μη δοκιμών κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 42.5 στον θάλαμο αλατονέφωσης (χρόνος έκθεσης 15 ημέρες).

Πίνακας 8.9. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίων με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 και όλες τις επικαλύψεις στον θάλαμο αλατονέφωσης (χρόνος έκθεσης 15 ημέρες)

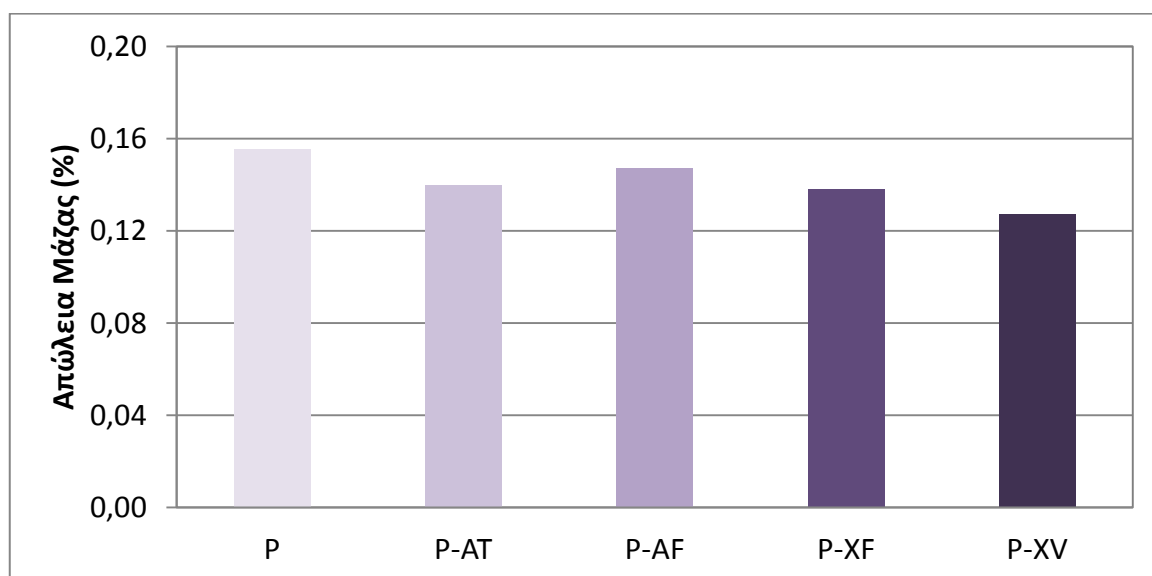
Κωδικός	$m_{\text{αρχ}}$ (g)	$m_{\text{τελ}}$ (g)	AM (g)	AM (%)
K-S1	91,7194	91,5857	0,1337	0,146
K-S2	91,8520	91,7150	0,1370	0,149
K-S3	91,8715	91,7334	0,1381	0,150
K-S4	87,0046	86,8738	0,1308	0,150
Μ.Ο. Κ			0,1349	0,149
<i>Τυπ. απόκλιση</i>			<i>0,0033</i>	<i>0,0022</i>
K-AT-S1	90,6028	90,4800	0,1228	0,136
K-AT-S2	91,5678	91,4296	0,1382	0,151
K-AT-S3	87,6619	87,5450	0,1169	0,133
K-AT-S4	90,9710	90,8620	0,1090	0,120
Μ.Ο. Κ-ΑΤ			0,1217	0,135
<i>Τυπ. απόκλιση</i>			<i>0,0124</i>	<i>0,0127</i>
K-AF-S1	91,0919	90,9610	0,1309	0,144
K-AF-S2	90,3383	90,2038	0,1345	0,149
K-AF-S3	96,3792	96,2432	0,1360	0,141
K-AF-S4	90,6108	90,4906	0,1202	0,133
Μ.Ο. Κ-ΑΦ			0,1304	0,142
<i>Τυπ. απόκλιση</i>			<i>0,0071</i>	<i>0,0068</i>
K-XF-S1	90,0225	89,8780	0,1445	0,161
K-XF-S2	90,8367	90,7092	0,1275	0,140
K-XF-S3	92,8096	92,6953	0,1143	0,123
K-XF-S4	85,1767	85,0854	0,0913	0,107
Μ.Ο. Κ-ΧΦ			0,1194	0,133
<i>Τυπ. απόκλιση</i>			<i>0,0224</i>	<i>0,0229</i>
K-XV-S1	91,4024	91,2945	0,1079	0,118
K-XV-S2	85,7648	85,6522	0,1126	0,131
K-XV-S3	88,5267	88,4074	0,1193	0,135
K-XV-S4	93,5445	93,4357	0,1088	0,116
Μ.Ο. Κ-ΧV			0,1122	0,125
<i>Τυπ. απόκλιση</i>			<i>0,0052</i>	<i>0,0093</i>



Σχήμα 8.13. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών επικαλυμμένων και μη δοκιμίων κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 στον θάλαμο αλατονέφωσης (χρόνος έκθεσης 15 ημέρες).

Πίνακας 8.10. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και όλες τις επικαλύψεις στον θάλαμο αλατονέφωσης (χρόνος έκθεσης 15 ημέρες)

Κωδικός	$m_{\text{αρχ}}$ (g)	$m_{\text{τελ}}$ (g)	AM (g)	AM (%)
P-S1	91,3183	91,2057	0,1126	0,123
P-S2	89,5625	89,4126	0,1499	0,167
P-S3	93,6090	93,4524	0,1566	0,167
P-S4	94,0968	93,9426	0,1542	0,164
M.O. P			0,1433	0,155
<i>Τυπ. απόκλιση</i>			<i>0,0207</i>	<i>0,0215</i>
P-AT-S1	93,6420	93,5178	0,1242	0,133
P-AT-S2	89,8794	89,7512	0,1282	0,143
P-AT-S3	91,1001	90,9701	0,1300	0,143
P-AT-S3	95,1621	95,0288	0,1333	0,140
M.O. P-AT			0,1289	0,140
<i>Τυπ. απόκλιση</i>			<i>0,0038</i>	<i>0,0047</i>
P-AF-S1	90,3422	90,2057	0,1365	0,151
P-AF-S2	94,7566	94,6217	0,1349	0,142
P-AF-S3	90,7537	90,6237	0,1300	0,143
P-AF-S4	92,0253	91,8854	0,1399	0,152
M.O. P-AF			0,1353	0,147
<i>Τυπ. απόκλιση</i>			<i>0,0041</i>	<i>0,0051</i>
P-XF-S1	91,4562	91,3239	0,1323	0,145
P-XF-S2	93,2189	93,0954	0,1235	0,132
P-XF-S3	92,0934	91,9536	0,1398	0,152
P-XF-S4	91,1956	91,0829	0,1127	0,124
M.O. P-XF			0,1271	0,138
<i>Τυπ. απόκλιση</i>			<i>0,0117</i>	<i>0,0126</i>
P-XV-S1	91,7048	91,5980	0,1068	0,116
P-XV-S2	88,1523	88,0386	0,1137	0,129
P-XV-S3	91,8378	91,7216	0,1162	0,127
P-XV-S4	90,3934	90,2702	0,1232	0,136
M.O. P-XV			0,1150	0,127
<i>Τυπ. απόκλιση</i>			<i>0,0068</i>	<i>0,0082</i>

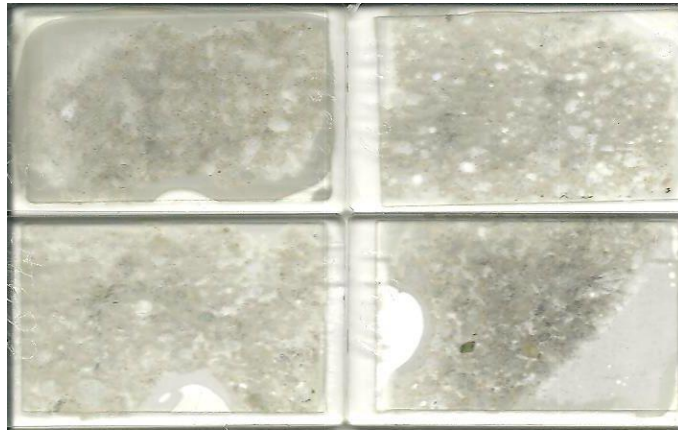


Σχήμα 8.14. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών επικαλυμμένων και μη δοκιμών κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 στον θάλαμο αλατονέφωσης (χρόνος έκθεσης 15 ημέρες).

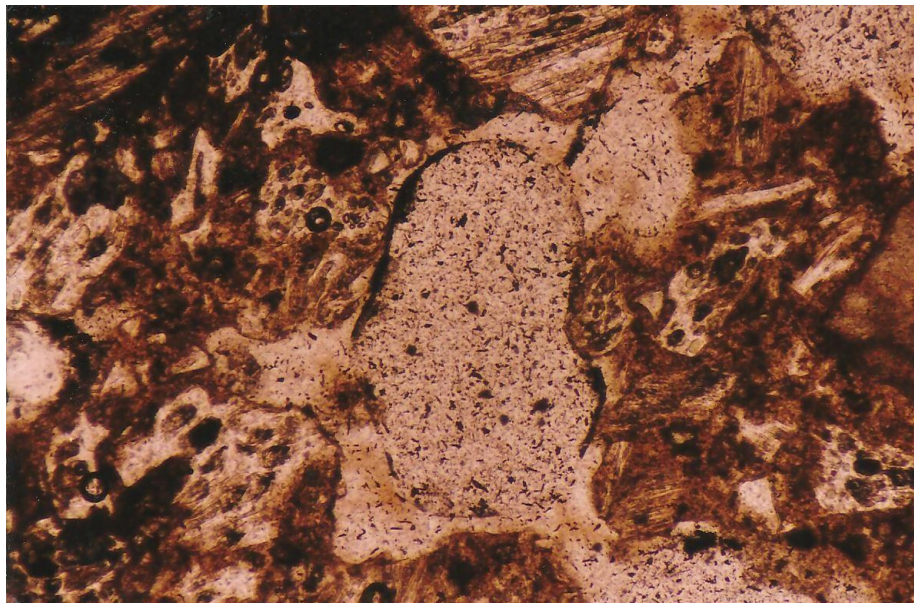
Όπως φαίνεται από τους ανωτέρω πίνακες και τα διαγράμματα, κατά την έκθεση στον θάλαμο αλατονέφωσης για 15 ημέρες, σε όλες τις περιπτώσεις των επικαλυμμένων και μη δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος, η (%) απώλεια μάζας των οπλισμών των μη επικαλυμμένων δοκιμίων ήταν μεγαλύτερη, όπως ήταν αναμενόμενο, από την (%) απώλεια μάζας των οπλισμών των επικαλυμμένων δοκιμίων. Υπάρχουν μικρές διαφορές στην προστασία έναντι της διάβρωσης που προσέφεραν οι επικαλύψεις στους οπλισμούς, όμως η επικάλυψη με το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ παρουσίασε τις μικρότερες συγκριτικά τιμές απώλειας μάζας.

8.2.1.2. Οπτικός έλεγχος σε λεπτές τομές κονιαμάτων

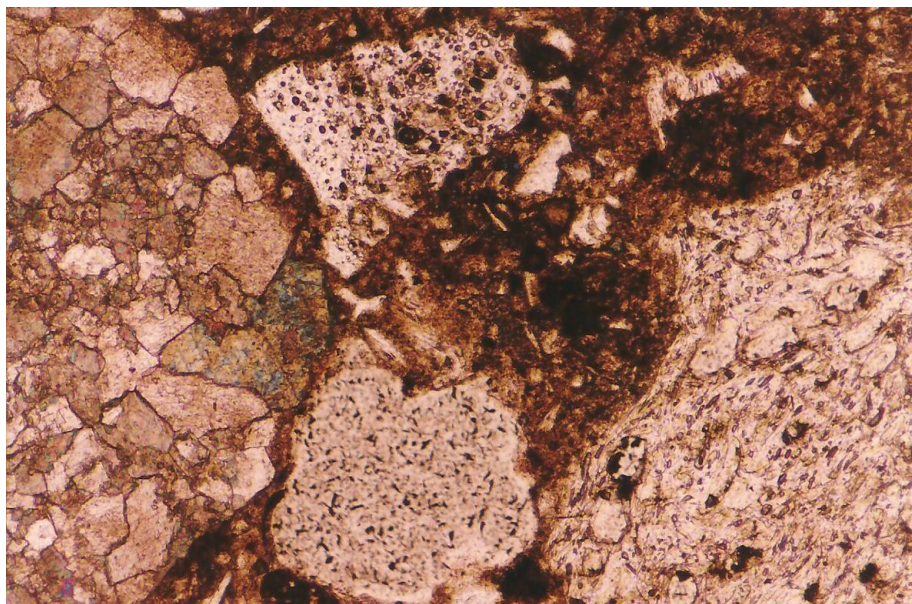
Ακολουθως παρατίθενται ενδεικτικές φωτογραφίες λεπτών τομών κονιαμάτων (σε φυσικό μέγεθος) και φωτογραφίες από μεγεθύνσεις (X100) των λεπτών τομών στο οπτικό μικροσκόπιο.



Φωτογραφία 8.1. Λεπτές τομές κονιαμάτων σε φυσικό μέγεθος.



Φωτογραφία 8.2. Μεγέθυνση X100 κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 42.5 και λεπτή κίσηρη μετά από 15 ημέρες στον θάλαμο αλατονέφωσης.



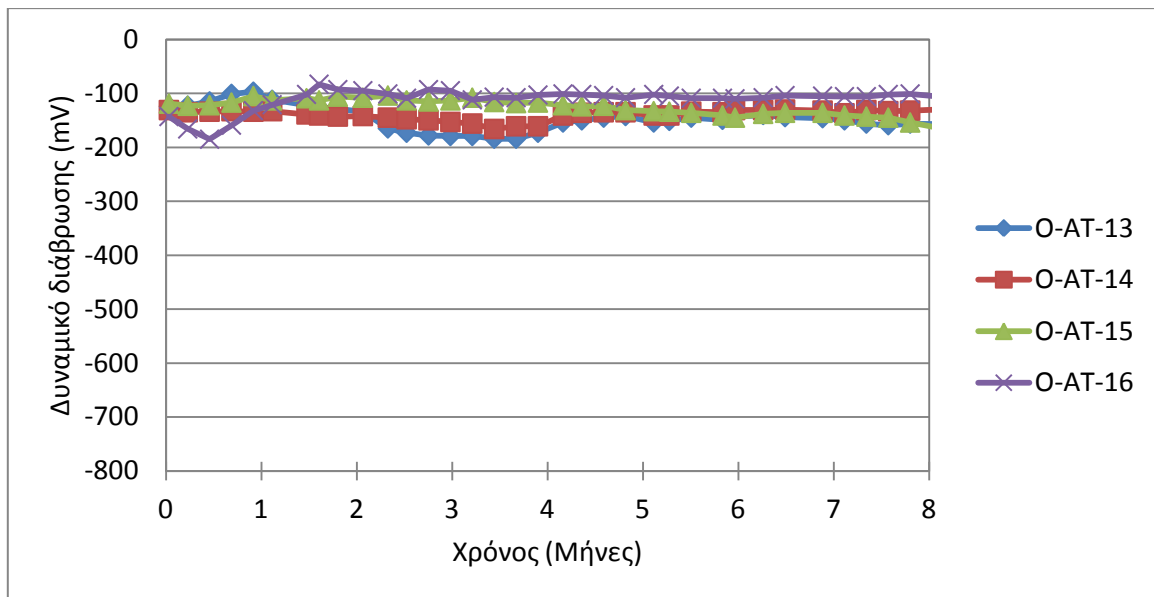
Φωτογραφία 8.3. Μεγέθυνση X100 κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και λεπτή κίσσηρη μετά από 15 ημέρες στον θάλαμο αλατονέφωσης.

Από τη μελέτη των λεπτών τομών των δειγμάτων κονιαμάτων στο οπτικό μικροσκόπιο προέκυψε ότι σε κανένα δοκίμιο κισσηροκονιάματος δεν εμφανίστηκε αλκαλοπυριτική αντίδραση.

8.2.2. Διάβρωση μέσης διάρκειας με μερική εμφάπτιση σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl

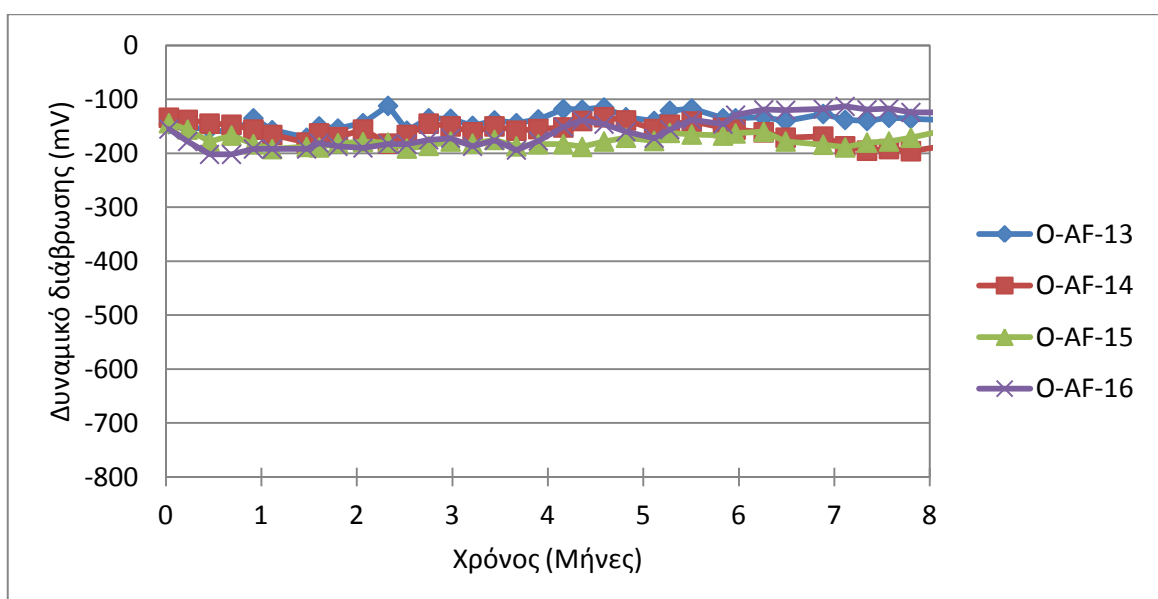
8.2.2.1. Χρονική εξέλιξη του δυναμικού διάβρωσης των οπλισμών

Το δυναμικό διάβρωσης μετρήθηκε σε τακτά χρονικά διαστήματα σε όλους τους οπλισμούς ως προς ηλεκτρόδιο αναφοράς κορεσμένου καλομέλανα SCE. Τα αναλυτικά αποτελέσματα του δυναμικού διάβρωσης για κάθε οπλισμό παρατίθενται σε Πίνακες στο Παράρτημα. Στα σχήματα 8.15 έως 8.18 παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις του δυναμικού διάβρωσης συναρτήσει του χρόνου για τα δοκίμια τσιμέντου CEM I 32.5 που επικαλύφθηκαν με τις τέσσερις επικαλύψεις.



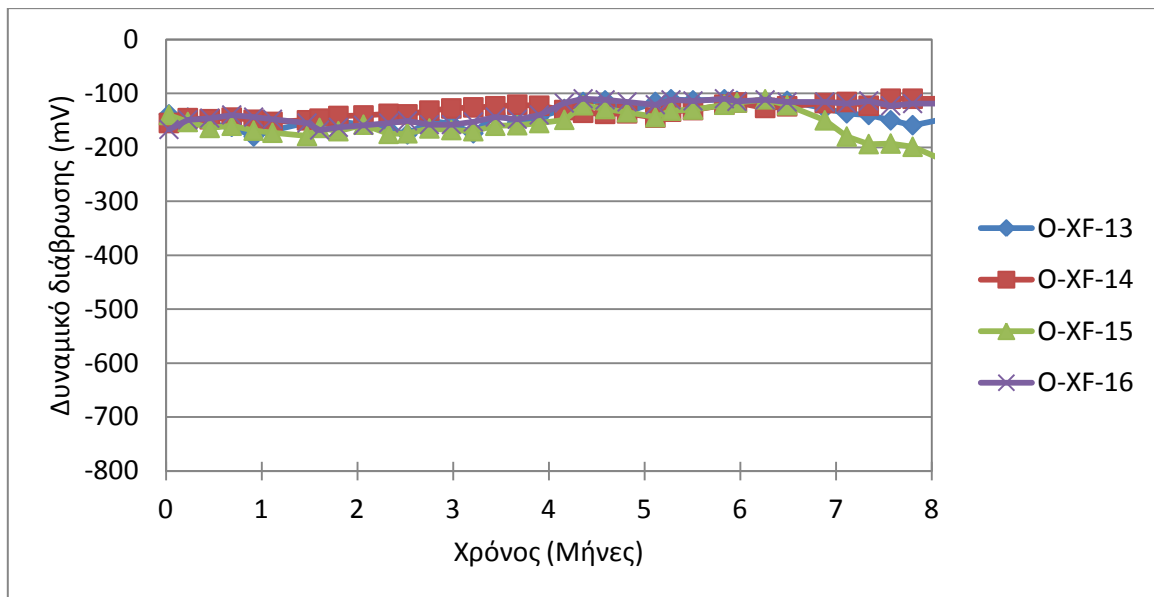
Σχήμα 8.15. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο TiO_2 , συναρτήσε του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω σχήμα το δυναμικό διάβρωσης όλων των χαλύβων για όλο το χρονικό διάστημα έκθεσης παραμένει σταθερό και μεταξύ των -100mV και -200mV. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91 δεν υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης.



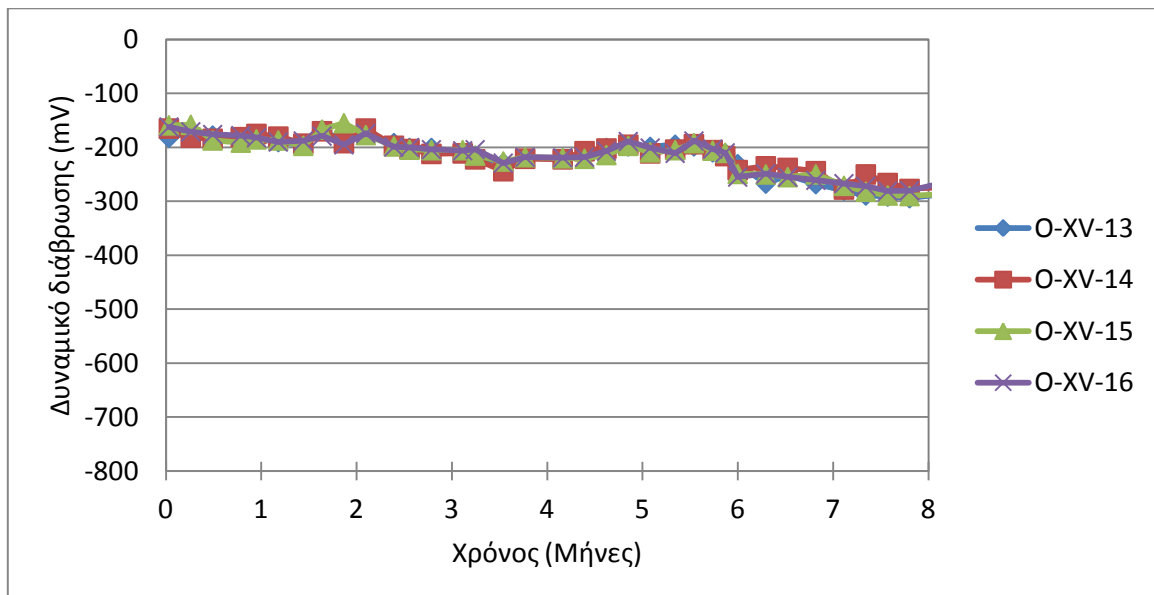
Σχήμα 8.16. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου, συναρτήσε του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

Όπως φαίνεται στο ανωτέρω διάγραμμα το δυναμικό διάβρωσης όλων των χαλύβων για όλο το χρονικό διάστημα έκθεσης παραμένει σταθερό και μεταξύ των -100mV και -200mV. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91 δεν υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης.



Σχήμα 8.17. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32.5 και επικαλυμμένου με το χλωριωμένο καουτσούκ και πιγμέντο οξείδια σιδήρου, συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

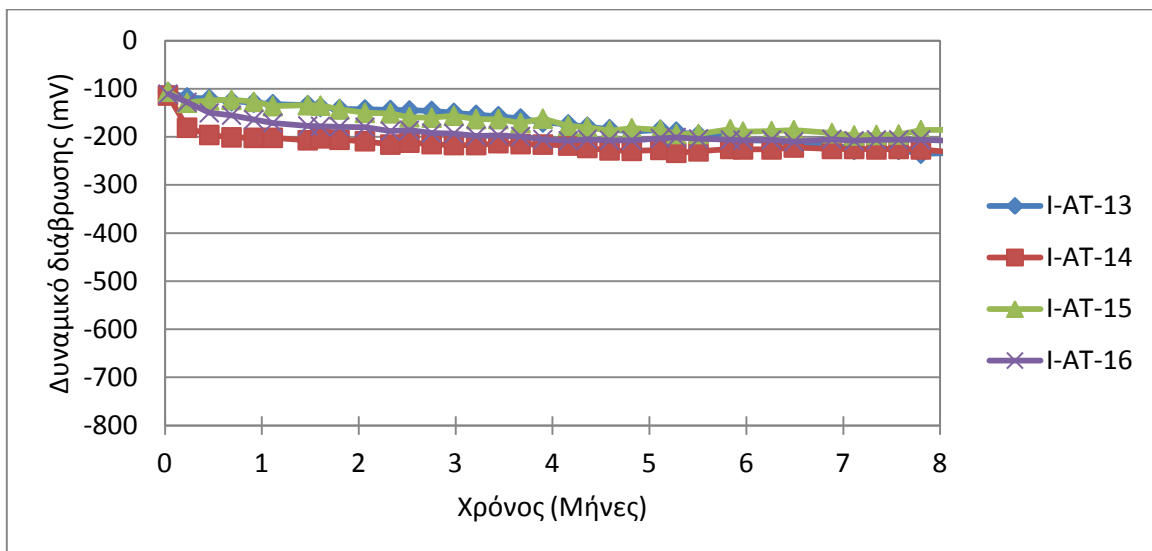
Όπως φαίνεται στο ανωτέρω διάγραμμα το δυναμικό διάβρωσης όλων των χαλύβων στο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα έκθεσης παραμένει σταθερό και μεταξύ των -100mV και -150mV. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91 οι οπλισμοί βρίσκονται σε παθητική κατάσταση.



Σχήμα 8.18. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32.5 και επικαλυμμένου με το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ, συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

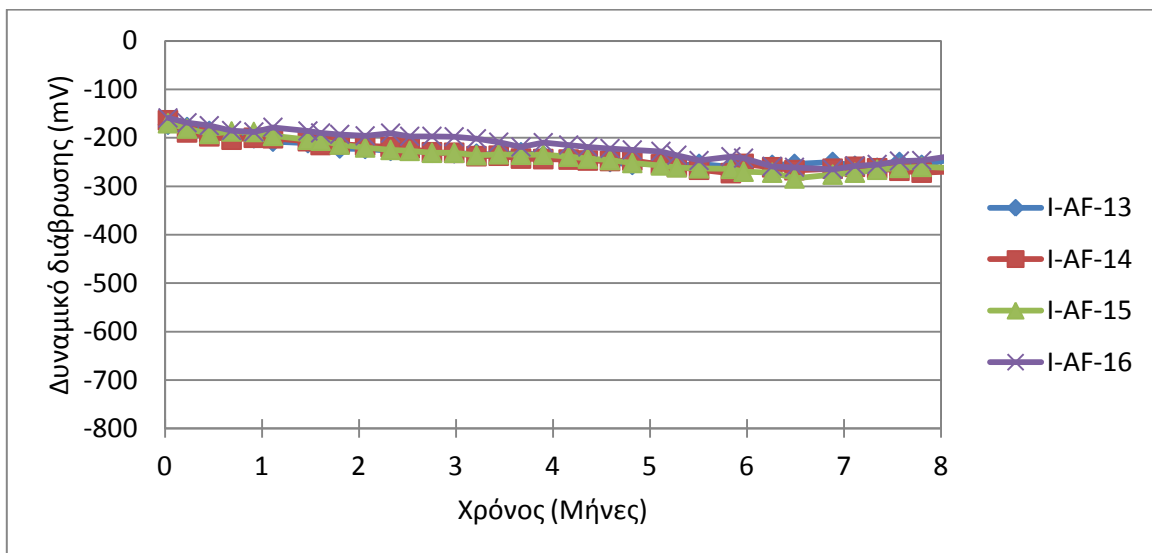
Όπως φαίνεται στο ανωτέρω διάγραμμα το δυναμικό διάβρωσης όλων των χαλύβων παραμένει σταθερό περίπου στα -200mV για τους έξι πρώτους μήνες έκθεσης, ενώ στη συνέχεια κατεβαίνει ομαλά προς τα -300mV. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, η κατάσταση των οπλισμών δεν είναι σαφής.

Ακολούθως, στα σχήματα 8.19 έως 8.22 παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις του δυναμικού διάβρωσης συναρτήσει του χρόνου για τα δοκίμια τσιμέντου CEM I 42.5 που επικαλύφθηκαν με τις τέσσερις επικαλύψεις.



Σχήμα 8.19. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 42.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο TiO_2 , συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

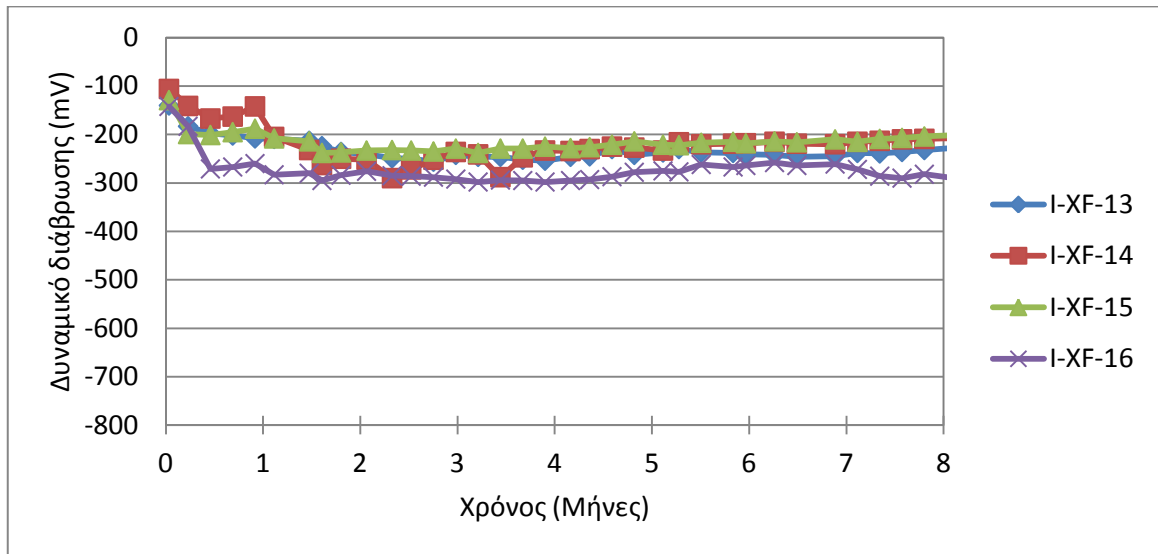
Στο ανωτέρω διάγραμμα το δυναμικό διάβρωσης όλων των χαλύβων ξεκινώντας από τιμές στα -100mV παρουσιάζει μια μικρή και ομαλή πτώση προς τα -200mV, έως τον πέμπτο μήνα έκθεσης, ενώ στη συνέχεια σταθεροποιείται. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, η κατάσταση των οπλισμών δεν είναι σαφής.



Σχήμα 8.20. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 42.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

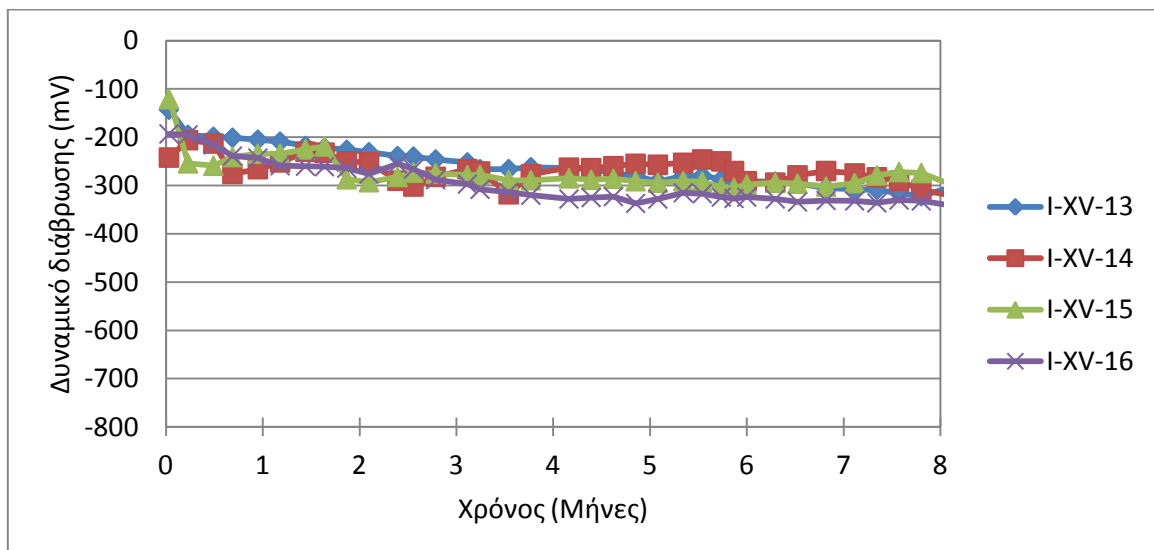
Στο ανωτέρω διάγραμμα το δυναμικό διάβρωσης όλων των χαλύβων φαίνονται να έχουν ομαλή πτώση από τα -150mV προς τα -250mV, έως τον έκτο μήνα έκθεσης, ενώ στη

συνέχεια σταθεροποιείται. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, υπάρχει υψηλή πιθανότητα διάβρωσης των οπλισμών.



Σχήμα 8.21. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 42.5 και επικαλυμμένου με το χλωριωμένο καουτσούκ και πιγμέντο οξείδια σιδήρου, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

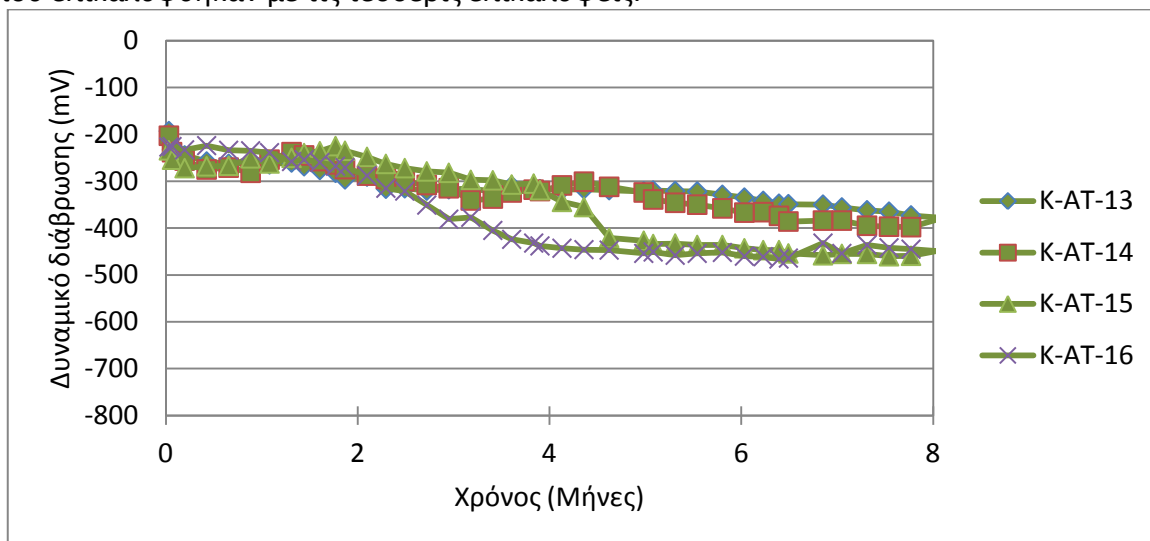
Όπως φαίνεται στο ανωτέρω διάγραμμα το δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων κυμαίνεται μεταξύ των -200mV και των -300mV για όλο το χρονικό διάστημα έκθεσης. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, η κατάσταση των οπλισμών δεν είναι σαφής.



Σχήμα 8.22. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 42.5 και επικαλυμμένου με το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

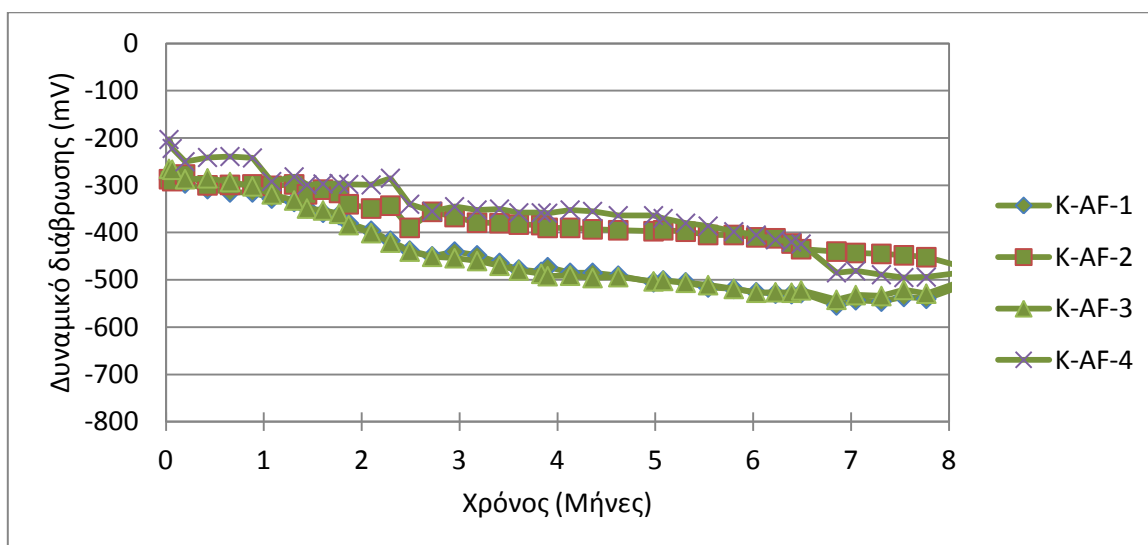
Όπως φαίνεται στο ανωτέρω διάγραμμα το δυναμικό διάβρωσης όλων των χαλύβων μειώνεται ομαλά από τα -200mV προς τα -300mV περίπου μέχρι τον τέταρτο μήνα έκθεσης, ενώ στη συνέχεια παραμένει σταθερό. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, η κατάσταση των οπλισμών δεν είναι σαφής.

Στη συνέχεια, στα σχήματα 8.23 έως 8.26 παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις του δυναμικού διάβρωσης συναρτήσει του χρόνου για τα δοκίμια τσιμέντου CEM II/A-S 42.5 που επικαλύφθηκαν με τις τέσσερις επικαλύψεις.



Σχήμα 8.23. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμένο TiO_2 , συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

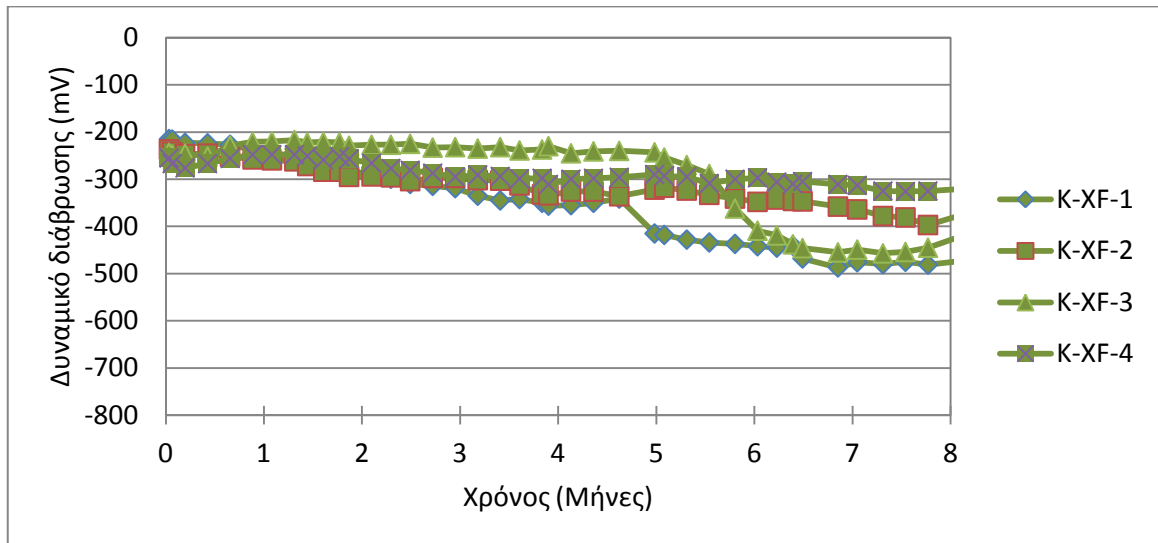
Στο ανωτέρω διάγραμμα το δυναμικό διάβρωσης δύο χαλύβων ακολουθεί μια ομαλή πτώση από τα -250mV περίπου προς τα -400mV , ενώ το δυναμικό διάβρωσης των άλλων δύο χαλύβων παρουσιάζει πιο απότομη πτώση έως τα -450mV με -500mV . Η γρήγορη πτώση του δυναμικού διάβρωσης δείχνει και γρήγορο σχηματισμό προϊόντος διάβρωσης, σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91.



Σχήμα 8.24. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμένο οξείδια σιδήρου, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

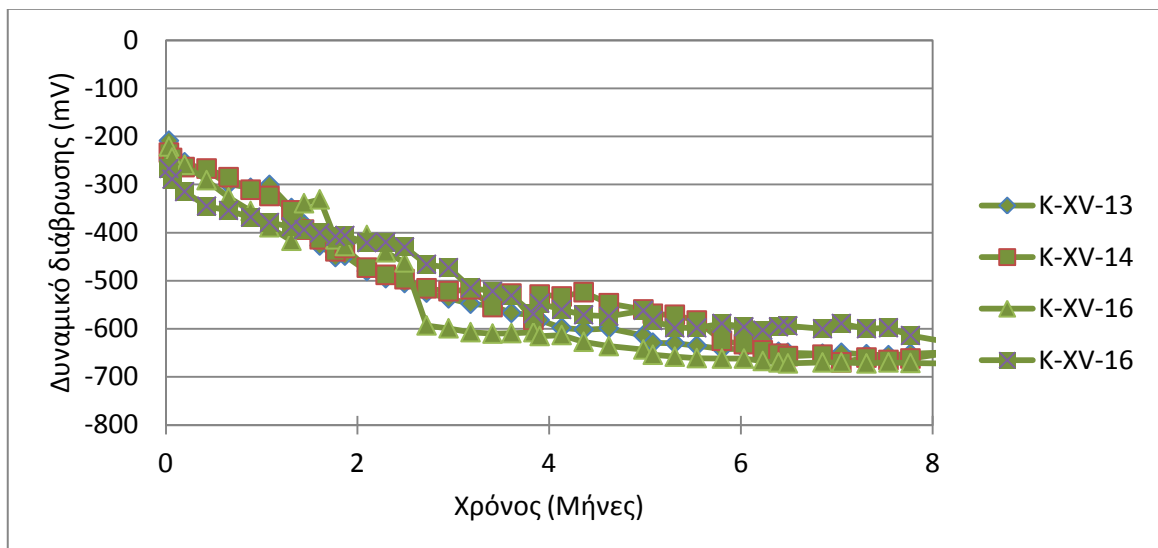
Όπως φαίνεται στο ανωτέρω διάγραμμα το δυναμικό διάβρωσης όλων των χαλύβων παρουσιάζει αρκετά μεγάλη αλλά ομαλή πτώση από τα -300mV προς τα -450mV με -

550mV. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, στο τέλος της περιόδου έκθεσης, οι οπλισμοί έχουν υποστεί διάβρωση σε εκτεταμένο βαθμό.



Σχήμα 8.25. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 και επικαλυμμένου με το χλωριωμένο καουτσούκ και πιγμέντο οξειδία σιδήρου, συναρτήσε του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

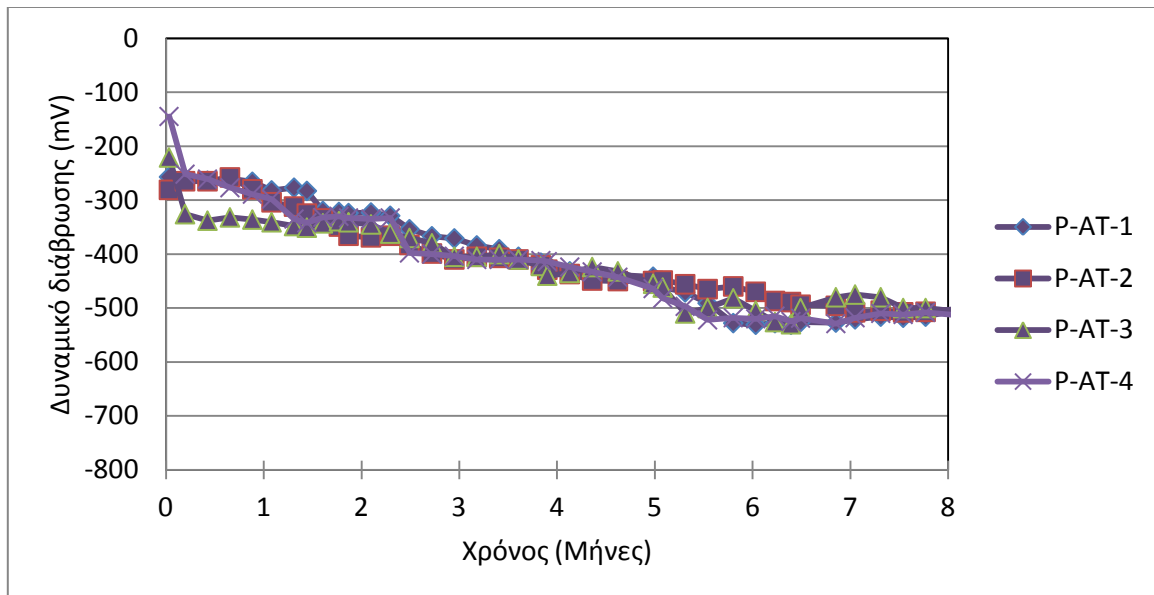
Από το ανωτέρω διάγραμμα φαίνεται ότι το δυναμικό διάβρωσης των δύο χαλύβων παρουσιάζει ομαλή πτώση από τα -250mV προς τα -350mV, ενώ οι άλλοι δύο χάλυβες παρουσιάζουν πιο μεγάλη πτώση των δυναμικών προς τα -450mV. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, μέχρι τον πέμπτο μήνα υπάρχει υψηλή πιθανότητα διάβρωσης, ενώ προς το τέλος της έκθεσης οι οπλισμοί φαίνεται να είναι διαβρωμένοι σε εκτεταμένο βαθμό.



Σχήμα 8.26. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 και επικαλυμμένου με το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ, συναρτήσε του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

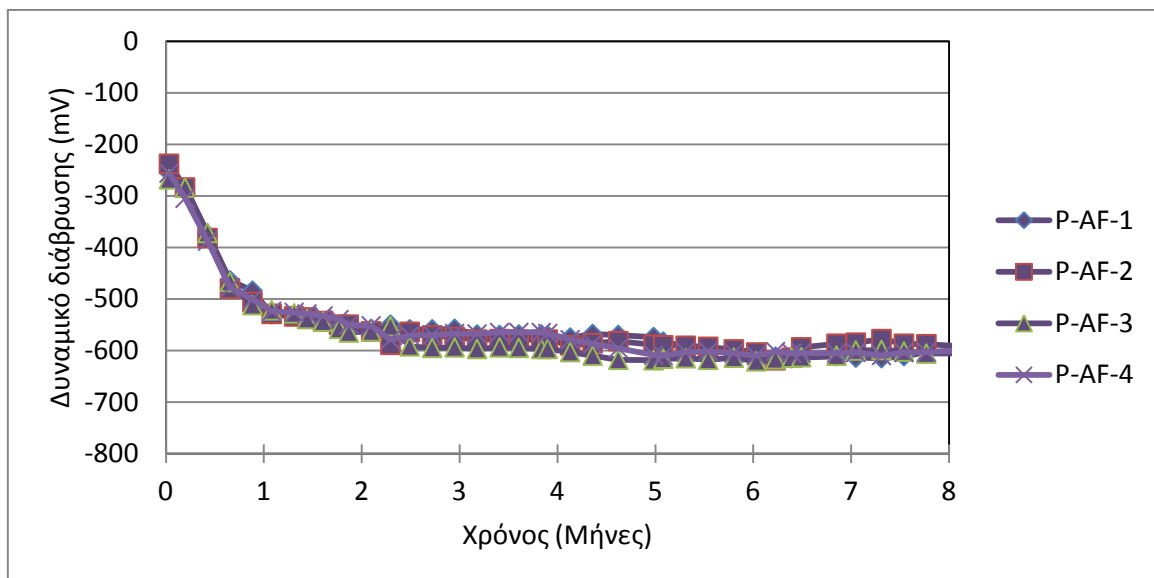
Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα ότι το δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων εμφανίζει γρήγορη και μεγάλη πτώση προς ηλεκτραρνητικότερες τιμές, από τα -250mV περίπου προς τα -600mV με -700mV. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91 υπάρχει διάβρωση των οπλισμών σε εκτεταμένο βαθμό και μάλιστα από τον τρίτο μήνα έκθεσης.

Στη συνέχεια, στα σχήματα 8.27 έως 8.30 παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις του δυναμικού διάβρωσης συναρτήσει του χρόνου για τα δοκίμια τσιμέντου CEM II/B-M 32.5 που επικαλύφθηκαν με τις τέσσερις επικαλύψεις.



Σχήμα 8.27. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο TiO_2 , συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

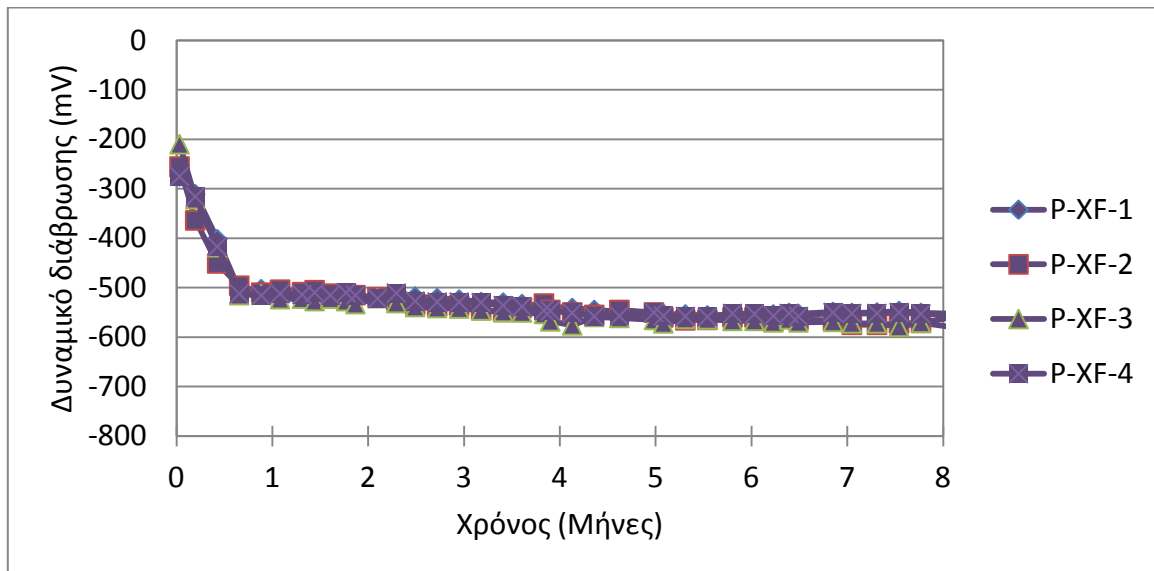
Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα το δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων εμφανίζει σε όλο το χρονικό διάστημα έκθεσης ομαλή αλλά μεγάλη πτώση προς ηλεκτραρνητικότερες τιμές, από τα -300mV περίπου προς τα -500mV. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91 υπάρχει διάβρωση των οπλισμών σε εκτεταμένο βαθμό.



Σχήμα 8.28. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

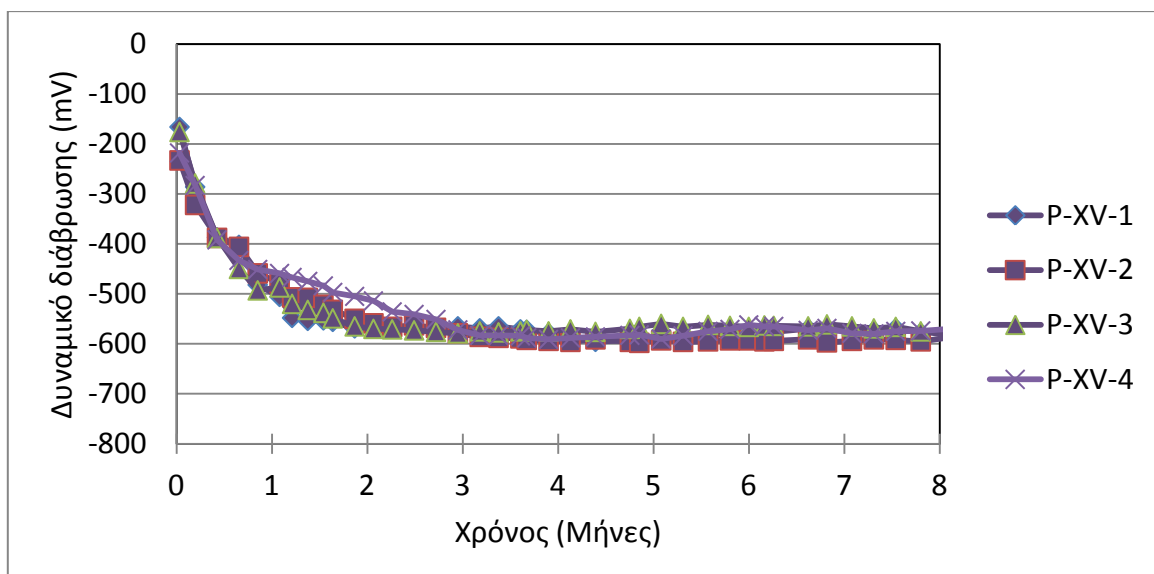
Το δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων, όπως φαίνεται στο ανωτέρω διάγραμμα, παρουσιάζει αρχικά πτώση των τιμών του από τα -250mV προς τα -600mV, ενώ μετά τον

τρίτο μήνα έκθεσης ακολουθεί σταθεροποίηση. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι οπλισμοί έχουν υποστεί διάβρωση σε εκτεταμένο βαθμό.



Σχήμα 8.29. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και επικαλυμμένου με το χλωριωμένο καουτσούκ και πιγμέντο οξείδια σιδήρου, συναρτήσε του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

Το δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων, όπως φαίνεται στο ανωτέρω διάγραμμα, παρουσιάζει πολύ σύντομα πτώση των τιμών του από τα -250mV προς τα -550mV, ενώ μετά τον πρώτο μήνα έκθεσης ακολουθεί σχετική σταθεροποίηση. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι οπλισμοί έχουν υποστεί εξαρχής διάβρωση σε εκτεταμένο βαθμό.



Σχήμα 8.30. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και επικαλυμμένου με το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ, συναρτήσε του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

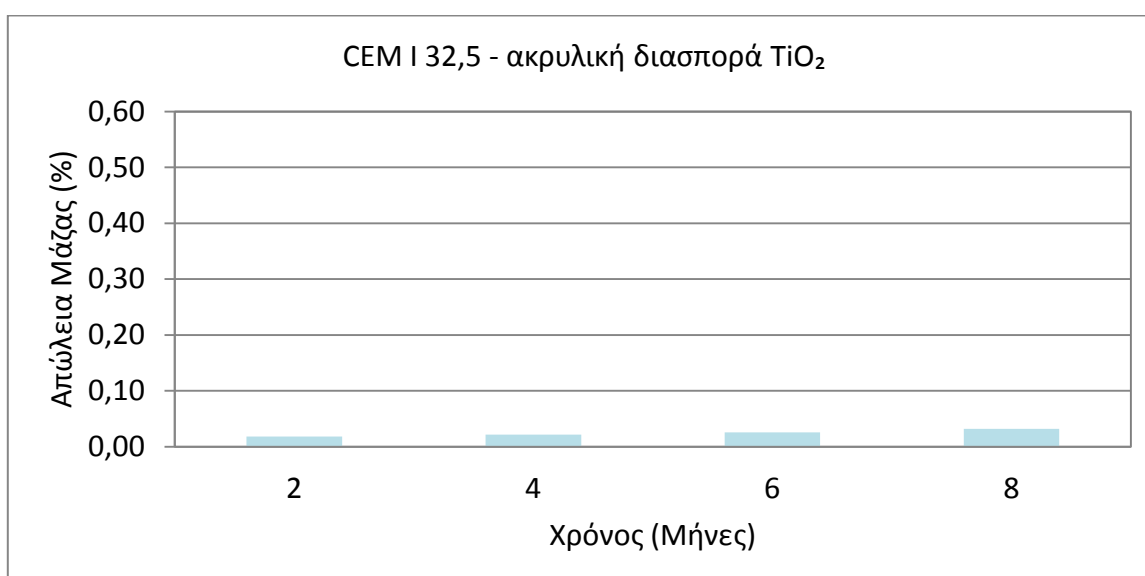
Το δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων, όπως φαίνεται στο ανωτέρω διάγραμμα, παρουσιάζει πολύ σύντομα πτώση των τιμών του από τα -200mV προς τα -600mV, ενώ μετά τον τέταρτο μήνα έκθεσης ακολουθεί σχετική σταθεροποίηση. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι οπλισμοί έχουν υποστεί διάβρωση σε εκτεταμένο βαθμό.

8.2.2.2. Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών

Η (%) απώλεια μάζας των οπλισμών όλων των δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος (επικαλυμμένων και μη) υπολογίστηκε μετά από μερική έκθεση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Στους Πίνακες 8.11 έως 8.14 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα (%) απώλειας μάζας συναρτήσει του χρόνου για τα επικαλυμμένα δοκίμια τσιμέντου CEM I 32.5 και στα σχήματα 8.31 έως 8.34 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Πίνακας 8.11. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM I 32.5 και την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο TiO₂ (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

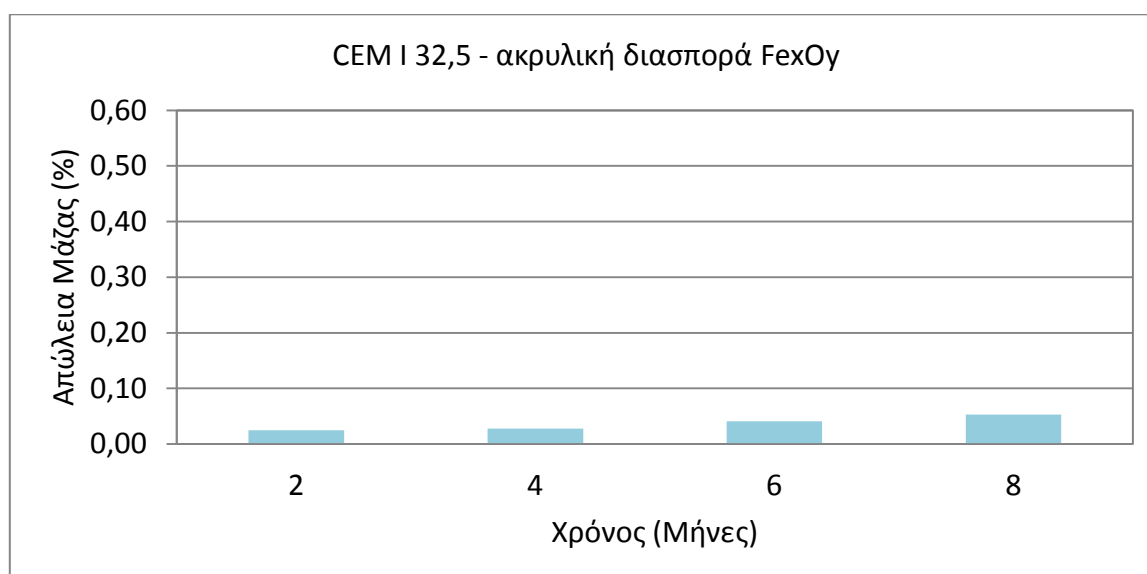
Κωδικός		m _{αov} (g)	m _{τελ} (g)	AM (g)	AM (%)
O-AT-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	88,5665	88,5536	0,0129	0,015
O-AT-2		90,1099	90,0893	0,0206	0,023
O-AT-3		86,3308	86,3148	0,0160	0,019
O-AT-4		89,3369	89,3230	0,0139	0,016
M.O.				0,0159	0,018
Τυπ.απόκλιση				0,0034	0,0037
<hr/>					
O-AT-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	92,7636	92,7459	0,0177	0,019
O-AT-6		88,0940	88,0744	0,0196	0,022
O-AT-7		90,6032	90,5859	0,0173	0,019
O-AT-8		87,0281	87,0055	0,0226	0,026
M.O.				0,0193	0,022
Τυπ.απόκλιση				0,0024	0,0033
<hr/>					
O-AT-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	90,5503	90,5230	0,0273	0,030
O-AT-10		94,5490	94,5257	0,0233	0,025
O-AT-11		90,6692	90,6452	0,0240	0,026
O-AT-12		87,5144	87,4952	0,0192	0,022
M.O.				0,0235	0,026
Τυπ.απόκλιση				0,0033	0,0034
<hr/>					
O-AT-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	93,9284	93,9049	0,0235	0,025
O-AT-14		89,7015	89,6691	0,0324	0,036
O-AT-15		91,1130	91,0811	0,0319	0,035
O-AT-16		88,2660	88,2378	0,0282	0,032
M.O.				0,0290	0,032
Τυπ.απόκλιση				0,0041	0,0050



Σχήμα 8.31. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο TiO₂, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.12. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM I 32.5 και την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

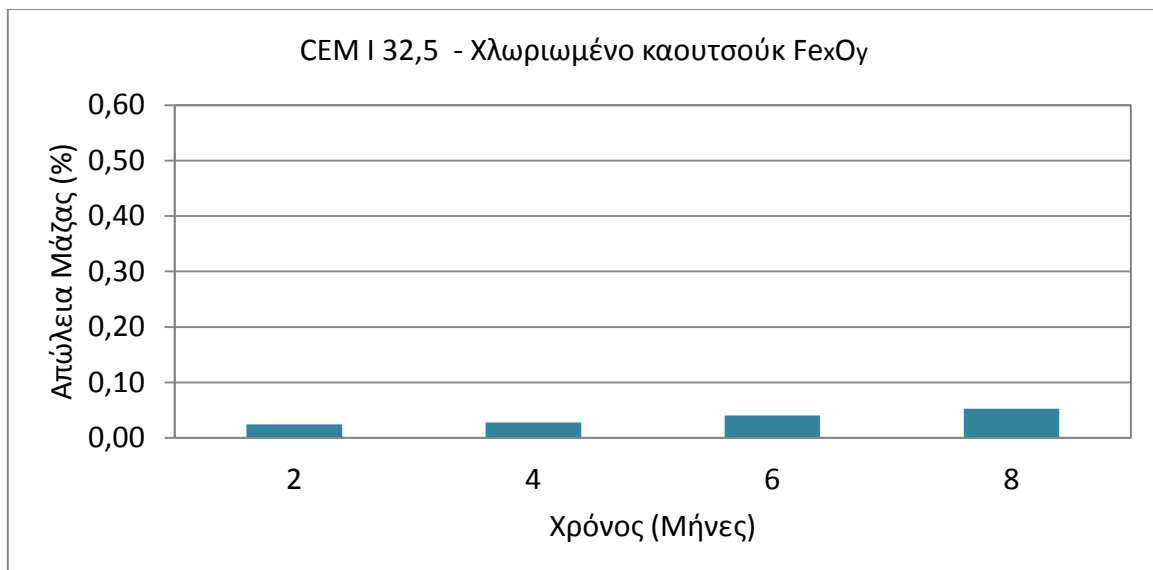
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
O-AF-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	94,2396	94,2148	0,0248	0,026
O-AF-2		91,9855	91,9672	0,0183	0,020
O-AF-3		90,4659	90,4432	0,0227	0,025
O-AF-4		94,3654	94,3404	0,0250	0,026
M.O.				0,0227	0,024
Τυπ.απόκλιση				<i>0,0031</i>	<i>0,0031</i>
O-AF-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	93,1820	93,1571	0,0249	0,027
O-AF-6		86,3570	86,3298	0,0272	0,031
O-AF-7		92,0441	92,0242	0,0199	0,022
O-AF-8		86,7471	86,7205	0,0266	0,031
M.O.				0,0247	0,028
Τυπ.απόκλιση				<i>0,0033</i>	<i>0,0045</i>
O-AF-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	88,7177	88,6755	0,0422	0,048
O-AF-10		89,6028	89,5580	0,0448	0,050
O-AF-11		86,3166	86,2844	0,0322	0,037
O-AF-12		86,5932	86,5692	0,0240	0,028
M.O.				0,0358	0,041
Τυπ.απόκλιση				<i>0,0096</i>	<i>0,0102</i>
O-AF-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	94,9066	94,8579	0,0487	0,051
O-AF-14		91,9782	91,9386	0,0396	0,043
O-AF-15		89,7992	89,7383	0,0609	0,068
O-AF-16		86,3633	86,3213	0,0420	0,049
M.O.				0,0478	0,053
Τυπ.απόκλιση				<i>0,0095</i>	<i>0,0106</i>



Σχήμα 8.32. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.13. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίων με τσιμέντο CEM I 32.5 και την επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ και πιγμέντου οξειδίων σιδήρου (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

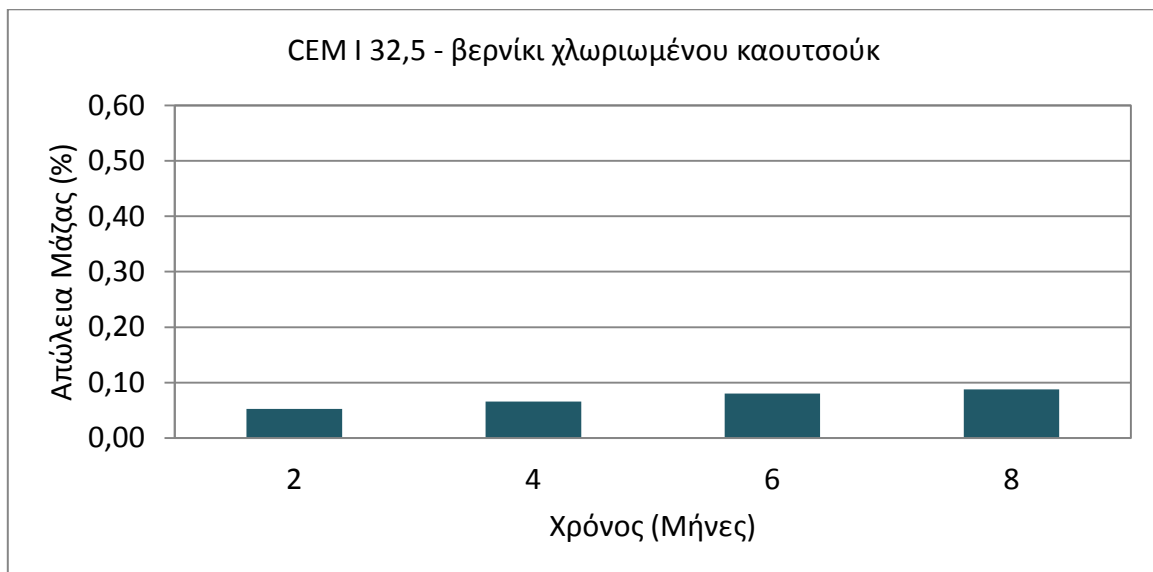
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
O-XF-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	91,1655	91,1291	0,0364	0,040
O-XF-2		90,3432	90,3180	0,0252	0,028
O-XF-3		90,5383	90,5004	0,0379	0,042
O-XF-4		85,5056	85,4856	0,0200	0,023
Μ.Ο.					0,0299
Τυπ. απόκλιση				0,0087	0,0090
O-XF-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	89,7452	89,7029	0,0423	0,047
O-XF-6		91,0340	90,9922	0,0418	0,046
O-XF-7		94,4312	94,4005	0,0307	0,033
O-XF-8		85,5212	85,4837	0,0375	0,044
Μ.Ο.					0,0381
Τυπ. απόκλιση				0,0054	0,0067
O-XF-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	86,0041	85,9571	0,0470	0,055
O-XF-10		90,4147	90,3661	0,0486	0,054
O-XF-11		89,1957	89,1472	0,0485	0,054
O-XF-12		89,5607	89,5143	0,0464	0,052
Μ.Ο.					0,0476
Τυπ. απόκλιση				0,0011	0,0013
O-XF-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	91,5640	91,4858	0,0782	0,085
O-XF-14		93,8818	93,8252	0,0566	0,060
O-XF-15		92,9496	92,8867	0,0629	0,068
O-XF-16		91,0077	90,9362	0,0715	0,079
Μ.Ο.					0,0673
Τυπ. απόκλιση				0,0095	0,0112



Σχήμα 8.33. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32.5 και επικαλυμμένου με χλωριωμένο καουτσούκ με πιγμέντο οξείδια σιδήρου, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.14. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM I 32.5 και το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
O-XV-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	91,1984	91,1513	0,0471	0,052
O-XV-2		94,9080	94,8634	0,0446	0,047
O-XV-3		90,8899	90,8444	0,0455	0,050
O-XV-4		89,5167	89,4621	0,0546	0,061
Μ.Ο.					0,0480
Τυπ.απόκλιση				0,0046	0,0060
<hr/>					
O-XV-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	89,1289	89,0649	0,0640	0,072
O-XV-6		86,6045	86,5436	0,0609	0,070
O-XV-7		93,6417	93,5896	0,0521	0,056
O-XV-8		91,5775	91,5177	0,0598	0,065
Μ.Ο.					0,0592
Τυπ.απόκλιση				0,0051	0,0073
<hr/>					
O-XV-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	88,5005	88,4280	0,0725	0,082
O-XV-10		89,5475	89,4698	0,0777	0,087
O-XV-11		90,6856	90,6166	0,0690	0,076
O-XV-12		89,5169	89,4483	0,0686	0,077
Μ.Ο.					0,0719
Τυπ.απόκλιση				0,0042	0,0050
<hr/>					
O-XV-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	90,8266	90,7332	0,0934	0,103
O-XV-14		87,9120	87,8456	0,0664	0,076
O-XV-15		91,9924	91,9090	0,0834	0,091
O-XV-16		90,3581	90,2839	0,0742	0,082
Μ.Ο.					0,0793
Τυπ.απόκλιση				0,0117	0,0118



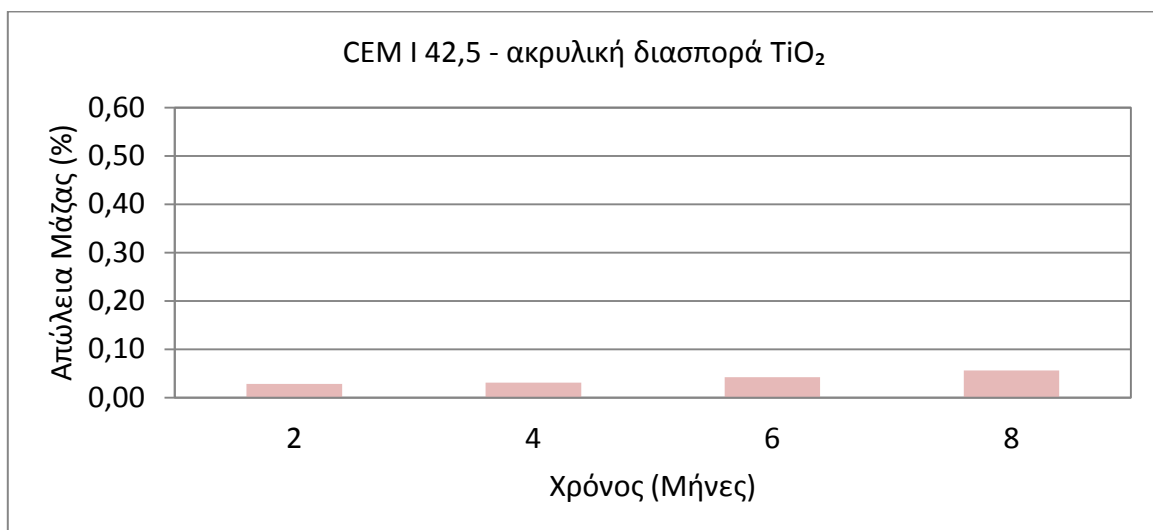
Σχήμα 8.34. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32.5 και επικαλυμμένου με βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ, συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Από τους πίνακες αυτούς και τα διαγράμματα, σε όλα τα επικαλυμμένα δοκίμια και με τις τέσσερις επικαλύψεις (ακρυλική διασπορά με πιγμένο TiO_2 , ακρυλική διασπορά με πιγμένο οξείδια σιδήρου, επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ με πιγμένο οξείδια σιδήρου και βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ) με τσιμέντο CEM I 32.5 παρατηρείται αύξηση της ποσοστιαίας επί τοις εκατό απώλειας μάζας των οπλισμών των δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος με την αύξηση του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Η αύξηση αυτή είναι μικρή και οι τιμές απώλειας μάζας παραμένουν χαμηλές ακόμη και μετά τους οκτώ μήνες έκθεσης. Τις χαμηλότερες τιμές απώλειας μάζας παρουσιάζουν τα δοκίμια με την ακρυλική διασπορά με TiO_2 , η οποία προσφέρει εξαιρετική προστατευτική επίδραση έναντι της διάβρωσης των οπλισμών της τάξης του 80% σε σχέση με τα μη επικαλυμμένα δοκίμια στους 8 μήνες, ενώ τις υψηλότερες τιμές απώλειας μάζας το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ, που όμως προσφέρει και αυτό προστασία της τάξης του 47%. Οι άλλες δυο επικαλύψεις προσφέρουν ενδιάμεσες τιμές προστατευτικής επίδρασης, 68% η ακρυλική διασπορά με πιγμένο οξείδια σιδήρου και 56% η επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ με πιγμένο οξείδια σιδήρου.

Η (%) απώλεια μάζας των οπλισμών όλων των δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος (επικαλυμμένων και μη) υπολογίστηκε μετά από δύο, τέσσερις, έξι και οκτώ μήνες έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Στους Πίνακες 8.15 έως 8.18 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα (%) απώλειας μάζας συναρτήσει του χρόνου για τα επικαλυμμένα δοκίμια τσιμέντου CEM I 42.5 και στα σχήματα 8.35 έως 8.38 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Πίνακας 8.15. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM I 42.5 και την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο TiO_2 (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

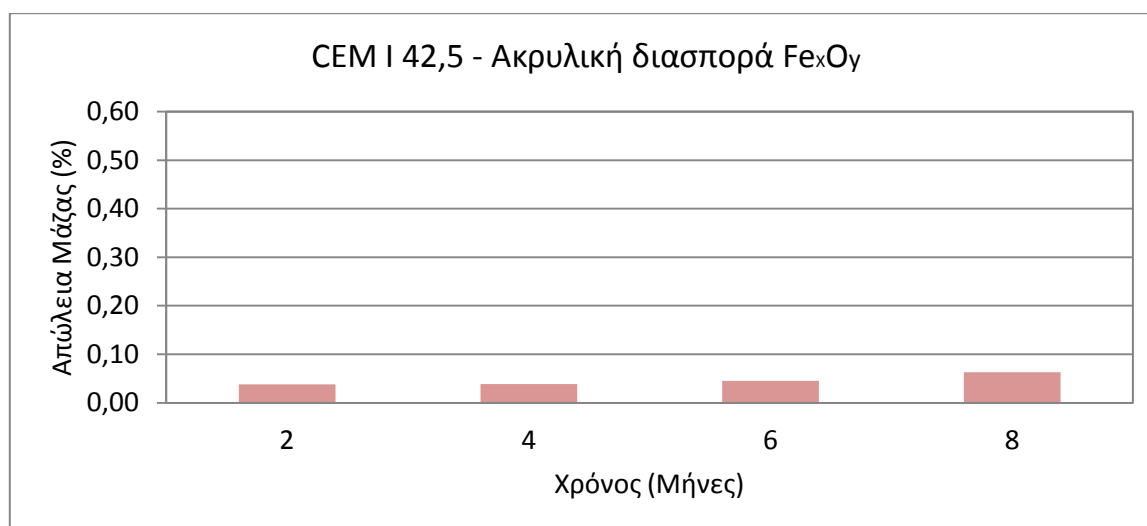
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
I-AT-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	90,7775	90,7532	0,0243	0,027
I-AT-2		87,3893	87,3629	0,0264	0,030
I-AT-3		87,9326	87,9077	0,0249	0,028
I-AT-4		94,7827	94,7582	0,0245	0,026
M.O.				0,0250	0,028
Τυπ.απόκλιση				0,0010	0,0019
I-AT-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	89,5726	89,5359	0,0367	0,041
I-AT-6		95,0517	95,0303	0,0214	0,023
I-AT-7		85,4768	85,4418	0,0350	0,041
I-AT-8		91,6225	91,5952	0,0273	0,030
M.O.				0,0301	0,031
Τυπ.απόκλιση				0,0071	0,0090
I-AT-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	89,9004	89,8609	0,0395	0,044
I-AT-10		89,1529	89,1114	0,0415	0,047
I-AT-11		90,5517	90,5155	0,0362	0,040
I-AT-12		89,3680	89,3324	0,0356	0,040
M.O.				0,0382	0,042
Τυπ.απόκλιση				0,0028	0,0033
I-AT-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	89,6786	89,6252	0,0534	0,060
I-AT-14		86,9173	86,8675	0,0498	0,057
I-AT-15		88,9361	88,8849	0,0512	0,058
I-AT-16		91,2479	91,1997	0,0482	0,053
M.O.				0,0506	0,056
Τυπ.απόκλιση				0,0022	0,0028



Σχήμα 8.35. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 42.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο TiO_2 , συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.16. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίων με τσιμέντο CEM I 42.5 και την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

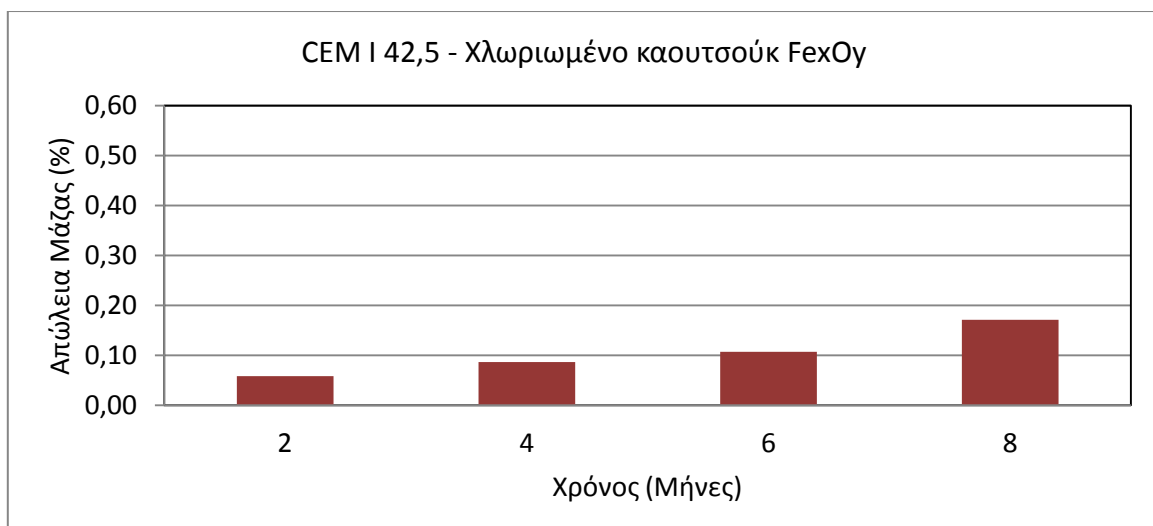
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
I-AF-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	90,3006	90,2527	0,0479	0,053
I-AF-2		87,0692	87,0353	0,0339	0,039
I-AF-3		90,1724	90,1315	0,0409	0,045
I-AF-4		93,5316	93,5039	0,0277	0,030
M.O.				0,0376	0,038
Τυπ.απόκλιση				0,0087	0,0099
I-AF-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	94,1875	94,1565	0,0310	0,033
I-AF-6		91,2066	91,1752	0,0314	0,034
I-AF-7		89,7352	89,6978	0,0374	0,042
I-AF-8		87,6081	87,5728	0,0353	0,040
M.O.				0,0338	0,039
Τυπ.απόκλιση				0,0031	0,0043
I-AF-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	94,3467	94,3115	0,0352	0,037
I-AF-10		94,7474	94,7040	0,0434	0,046
I-AF-11		86,9105	86,8674	0,0431	0,050
I-AF-12		92,5161	92,4779	0,0382	0,041
M.O.				0,0400	0,046
Τυπ.απόκλιση				0,0040	0,0053
I-AF-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	91,1595	91,1058	0,0537	0,059
I-AF-14		93,9645	93,9075	0,0570	0,061
I-AF-15		87,1949	87,1375	0,0574	0,066
I-AF-16		86,1977	86,1434	0,0543	0,063
M.O.				0,0556	0,063
Τυπ.απόκλιση				0,0019	0,0030



Σχήμα 8.36. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 42.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.17. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM I 42.5 και την επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ και πιγμέντου οξειδίων σιδήρου (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

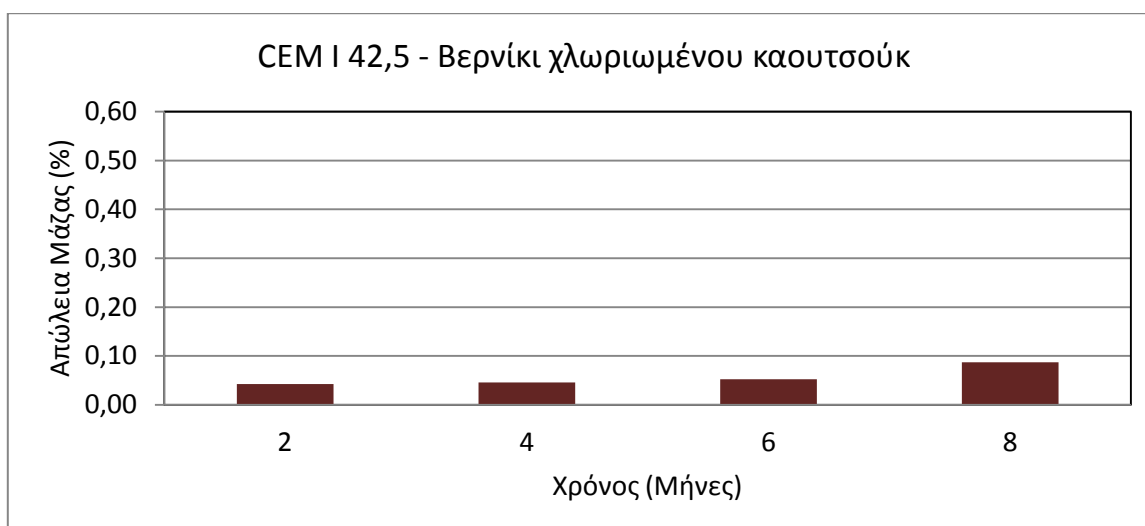
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
I-XF-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	88,9356	88,8988	0,0368	0,041
I-XF-2		91,7778	91,7358	0,0420	0,046
I-XF-3		92,2260	92,1850	0,0410	0,044
I-XF-4		86,5403	86,5086	0,0317	0,037
Μ.Ο.				0,0379	0,042
Τυπ.απόκλιση				0,0047	0,0041
I-XF-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	86,7816	86,7382	0,0434	0,050
I-XF-6		86,7037	86,6633	0,0404	0,047
I-XF-7		91,7461	91,7021	0,0440	0,048
I-XF-8		86,6006	86,5637	0,0369	0,043
Μ.Ο.				0,0412	0,046
Τυπ.απόκλιση				0,0033	0,0031
I-XF-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	93,7047	93,6554	0,0493	0,053
I-XF-10		90,1788	90,1346	0,0442	0,049
I-XF-11		87,7534	87,6979	0,0555	0,063
I-XF-12		92,2778	92,2371	0,0407	0,044
Μ.Ο.				0,0474	0,052
Τυπ.απόκλιση				0,0064	0,0081
I-XF-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	85,3755	85,2979	0,0776	0,091
I-XF-14		87,8799	87,7993	0,0806	0,092
I-XF-15		94,6094	94,5226	0,0868	0,092
I-XF-16		89,4993	89,4301	0,0692	0,077
Μ.Ο.				0,0786	0,087
Τυπ.απόκλιση				0,0073	0,0071



Σχήμα 8.37. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 42.5 και επικαλυμμένου με χλωριωμένο καουτσούκ με πιγμένο οξείδια σιδήρου, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.18. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM I 42.5 και το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)	
I-XV-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	91,5785	91,5253	0,0532	0,058	
I-XV-2		94,4548	94,3922	0,0626	0,066	
I-XV-3		94,8143	94,7600	0,0543	0,057	
I-XV-4		93,7037	93,6553	0,0484	0,052	
Μ.Ο.					0,0546	0,058
Τυπ.απόκλιση					0,0059	0,0060
I-XV-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	91,1024	91,0086	0,0938	0,103	
I-XV-6		89,6902	89,6048	0,0854	0,095	
I-XV-7		86,9420	86,8662	0,0758	0,087	
I-XV-8		94,9707	94,8967	0,0740	0,078	
Μ.Ο.					0,0822	0,087
Τυπ.απόκλιση					0,0092	0,0107
I-XV-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	88,8570	88,7601	0,0969	0,109	
I-XV-10		95,1753	95,0820	0,0933	0,098	
I-XV-11		91,1057	90,9981	0,1076	0,118	
I-XV-12		95,1455	95,0458	0,0997	0,105	
Μ.Ο.					0,0994	0,107
Τυπ.απόκλιση					0,0061	0,0084
I-XV-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	85,7179	85,5594	0,1585	0,185	
I-XV-14		92,9000	92,7405	0,1595	0,172	
I-XV-15		94,1791	94,0220	0,1571	0,167	
I-XV-16		89,9382	89,7804	0,1578	0,175	
Μ.Ο.					0,1582	0,171
Τυπ.απόκλιση					0,0010	0,0077



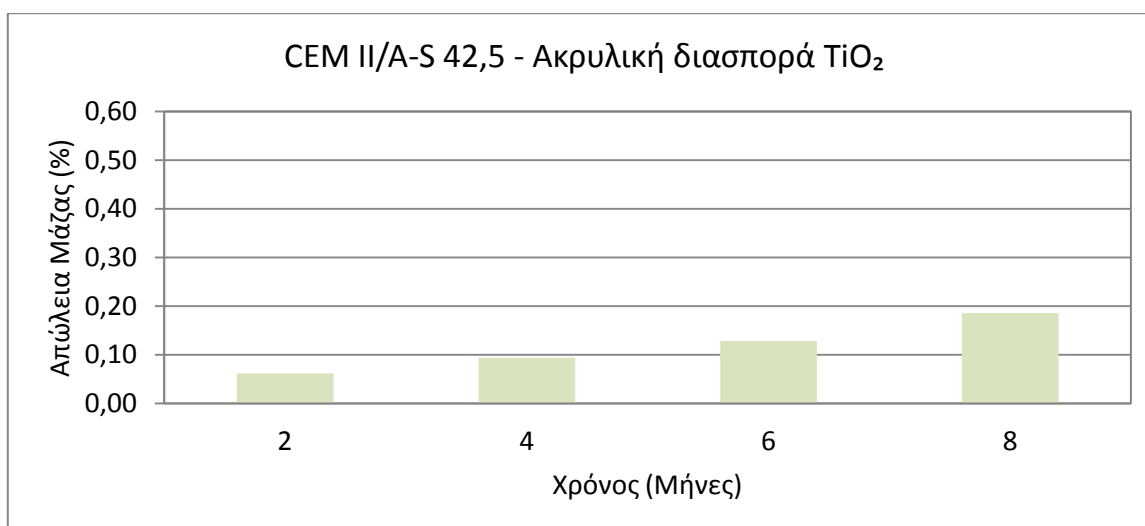
Σχήμα 8.38. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 42.5 και επικαλυμμένου με βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ, συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Από τους ανωτέρω πίνακες και διαγράμματα, σε όλα τα επικαλυμμένα δοκίμια και με τις τέσσερις επικαλύψεις (ακρυλική διασπορά με πιγμέντο TiO_2 , ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου, επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ με πιγμέντο οξείδια σιδήρου και βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ) με τσιμέντο CEM I 42.5 παρατηρείται αύξηση της ποσοστιαίας επί τοις εκατό απώλειας μάζας των οπλισμών των δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος με την αύξηση του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Η αύξηση αυτή είναι μικρή και οι τιμές απώλειας μάζας παραμένουν χαμηλές, σε σχέση με τις τιμές του μη επικαλυμμένου δοκιμίου, ακόμη και μετά τους οκτώ μήνες έκθεσης. Τις χαμηλότερες τιμές απώλειας μάζας παρουσιάζουν τα δοκίμια με την ακρυλική διασπορά με TiO_2 , της οποίας η προστατευτική ικανότητα έναντι της διάβρωσης των οπλισμών αγγίζει το 83% σε σχέση με τα μη επικαλυμμένα δοκίμια στους 8 μήνες, ενώ το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ υπολείπεται των άλλων επικαλύψεων, αλλά προσφέρει και αυτό προστασία της τάξης του 50%.

Η (%) απώλεια μάζας των οπλισμών όλων των δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος (επικαλυμμένων και μη) υπολογίστηκε μετά από δύο, τέσσερις, έξι και οκτώ μήνες έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Στους Πίνακες 8.19 έως 8.22 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα (%) απώλειας μάζας συναρτήσει του χρόνου για τα επικαλυμμένα δοκίμια τσιμέντου CEM II/A-S 42.5 και στα σχήματα 8.39 έως 8.42 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Πίνακας 8.19. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 και την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο TiO₂ (μερική εμφάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

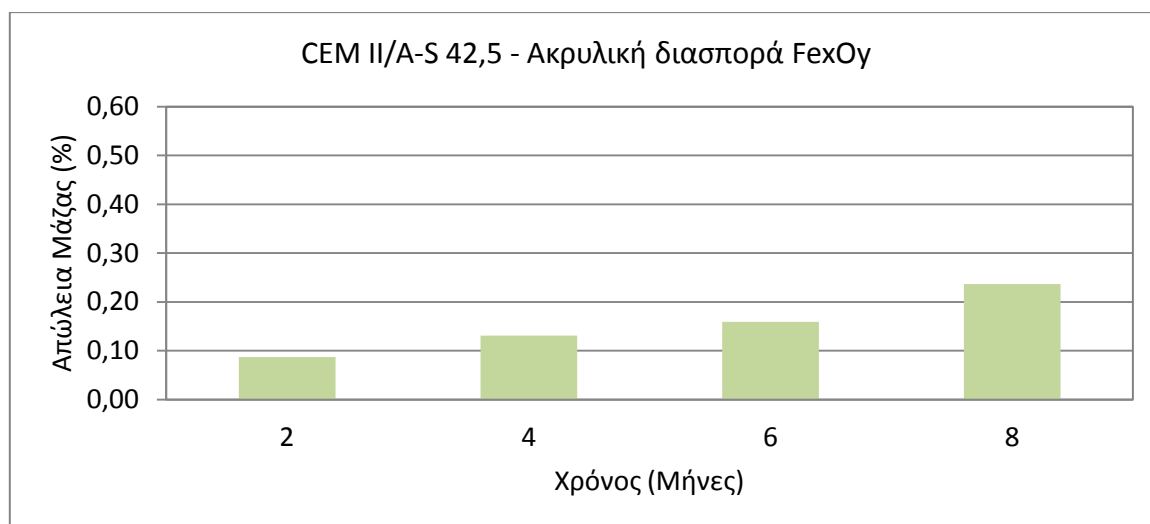
Κωδικός		m _{αρχ} (g)	m _{τελ} (g)	AM (g)	AM (%)
K-AT-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	88,1059	88,0577	0,0482	0,055
K-AT-2		92,0293	91,9699	0,0594	0,065
K-AT-3		92,6033	92,5495	0,0538	0,058
K-AT-4		93,7358	93,6769	0,0589	0,063
M.O.				0,0551	0,062
Τυπ.απόκλιση				0,0052	0,0045
K-AT-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	93,9921	93,9068	0,0853	0,091
K-AT-6		88,6863	88,6021	0,0842	0,095
K-AT-7		92,8873	92,7982	0,0891	0,096
K-AT-8		93,6247	93,5390	0,0857	0,092
M.O.				0,0861	0,094
Τυπ.απόκλιση				0,0021	0,0025
K-AT-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	91,2849	91,1678	0,1171	0,128
K-AT-10		93,3754	93,2490	0,1264	0,135
K-AT-11		93,7351	93,6262	0,1089	0,116
K-AT-12		93,5274	93,4023	0,1251	0,134
M.O.				0,1194	0,128
Τυπ.απόκλιση				0,0081	0,0087
K-AT-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	90,2938	90,1255	0,1683	0,186
K-AT-14		89,9263	89,7612	0,1651	0,184
K-AT-15		90,9144	90,7451	0,1693	0,186
K-AT-16		94,6474	94,4710	0,1764	0,186
M.O.				0,1698	0,185
Τυπ.απόκλιση				0,0048	0,0014



Σχήμα 8.39. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο TiO₂, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμφάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.20. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 και την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

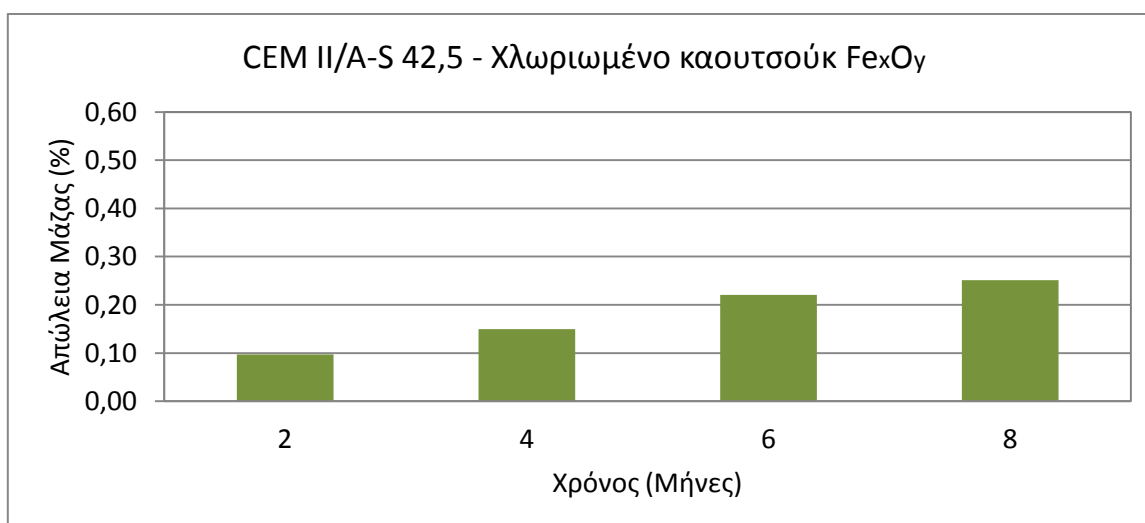
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
K-AF-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	94,1544	94,0706	0,0838	0,089
K-AF-2		90,5669	90,4872	0,0797	0,088
K-AF-3		89,3885	89,3068	0,0817	0,091
K-AF-4		90,8390	90,7640	0,0750	0,083
Μ.Ο.					0,0801
Τυπ.απόκλιση				0,0038	0,0037
K-AF-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	90,7900	90,6347	0,1553	0,171
K-AF-6		94,2688	94,1423	0,1265	0,134
K-AF-7		90,9356	90,8087	0,1269	0,140
K-AF-8		93,0670	92,9561	0,1109	0,119
Μ.Ο.					0,1299
Τυπ.απόκλιση				0,0185	0,0218
K-AF-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	94,9215	94,7558	0,1657	0,175
K-AF-10		90,6394	90,4963	0,1431	0,158
K-AF-11		90,9939	90,8538	0,1401	0,154
K-AF-12		92,5602	92,4068	0,1534	0,166
Μ.Ο.					0,1506
Τυπ.απόκλιση				0,0116	0,0091
K-AF-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	91,6125	91,3864	0,2261	0,247
K-AF-14		91,0340	90,8011	0,2329	0,256
K-AF-15		93,5963	93,3597	0,2366	0,253
K-AF-16		92,1184	91,9321	0,1863	0,202
Μ.Ο.					0,2205
Τυπ.απόκλιση				0,0232	0,0251



Σχήμα 8.40. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου, συναρτήσε του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.21. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 και την επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ και πιγμέντου οξειδίων σιδήρου (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

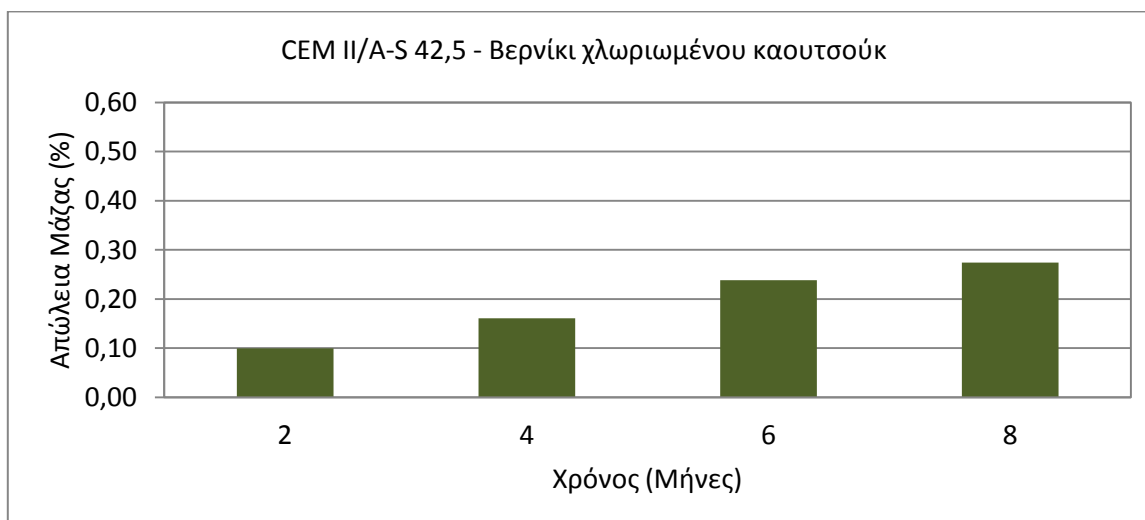
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
K-XF-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	91,0707	90,9911	0,0796	0,087
K-XF-2		89,8570	89,7648	0,0922	0,103
K-XF-3		88,3658	88,2821	0,0837	0,095
K-XF-4		89,5757	89,4912	0,0845	0,094
M.O.					0,0850
Τυπ.απόκλιση				0,0053	0,0062
K-XF-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	91,6981	91,5448	0,1533	0,167
K-XF-6		91,0159	90,8765	0,1394	0,153
K-XF-7		92,2209	92,0838	0,1371	0,149
K-XF-8		89,9925	89,8596	0,1329	0,148
M.O.					0,1407
Τυπ.απόκλιση				0,0088	0,0090
K-XF-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	91,7773	91,5850	0,1923	0,210
K-XF-10		92,2200	91,9955	0,2245	0,243
K-XF-11		89,6848	89,4733	0,2115	0,236
K-XF-12		93,1713	93,0020	0,1693	0,182
M.O.					0,1994
Τυπ.απόκλιση				0,0240	0,0280
K-XF-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	91,8777	91,6835	0,1942	0,211
K-XF-14		90,1233	89,8888	0,2345	0,260
K-XF-15		92,8117	92,5835	0,2282	0,246
K-XF-16		92,5447	92,3163	0,2284	0,247
M.O.					0,2213
Τυπ.απόκλιση				0,0183	0,0208



Σχήμα 8.41. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 και επικαλυμμένου με χλωριωμένο καουτσούκ με πιγμέντο οξείδια σιδήρου, συναρτήσε του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.22. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM I 42.5 και το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
K-XV-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	90,2158	90,1129	0,1029	0,114
K-XV-2		89,4678	89,3746	0,0932	0,104
K-XV-3		90,5564	90,4538	0,1026	0,113
K-XV-4		93,5531	93,4772	0,0759	0,081
Μ.Ο.					0,0936
Τυπ.απόκλιση				0,0127	0,0154
K-XV-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	91,2156	91,0924	0,1232	0,135
K-XV-6		94,1954	94,0542	0,1412	0,150
K-XV-7		92,0729	91,9170	0,1559	0,169
K-XV-8		93,4457	93,2932	0,1525	0,163
Μ.Ο.					0,1432
Τυπ.απόκλιση				0,0147	0,0152
K-XV-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	94,1017	93,8730	0,2287	0,243
K-XV-10		93,1620	92,9455	0,2165	0,232
K-XV-11		91,6343	91,3947	0,2396	0,261
K-XV-12		91,3124	91,1101	0,2023	0,222
Μ.Ο.					0,2218
Τυπ.απόκλιση				0,0160	0,0170
K-XV-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	89,0630	88,7924	0,2706	0,304
K-XV-14		90,4666	90,2211	0,2455	0,271
K-XV-15		94,5704	94,3079	0,2625	0,278
K-XV-16		93,5532	93,2972	0,2560	0,274
Μ.Ο.					0,2586
Τυπ.απόκλιση				0,0106	0,0150



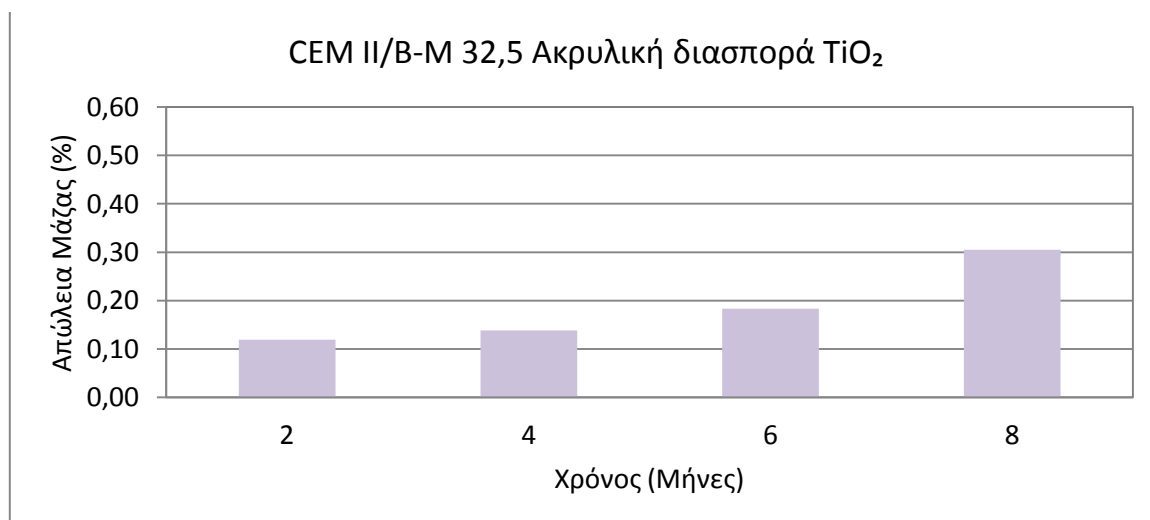
Σχήμα 8.42. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 και επικαλυμμένου με βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ, συναρτήσε του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Από τους πίνακες αυτούς και τα διαγράμματα, σε όλα τα επικαλυμμένα δοκίμια και με τις τέσσερις επικαλύψεις (ακρυλική διασπορά με πιγμέντο TiO_2 , ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου, επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ με πιγμέντο οξείδια σιδήρου και βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ) με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 παρατηρείται αύξηση της ποσοστιαίας επί τοις εκατό απώλειας μάζας των οπλισμών των δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος με την αύξηση του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Οι αυξήσεις αυτές είναι μεγαλύτερες από ότι στις προηγούμενες κατηγορίες τσιμέντου, αλλά και πάλι οι τιμές απώλειας μάζας παραμένουν χαμηλότερες από τις τιμές των μη επικαλυμμένων δοκιμών σε όλο το χρονικό διάστημα έκθεσης. Τις χαμηλότερες τιμές απώλειας μάζας παρουσιάζουν τα δοκίμια με την ακρυλική διασπορά με TiO_2 , της οποίας η προστατευτική ικανότητα έναντι της διάβρωσης των οπλισμών φτάνει το 46% σε σχέση με τα μη επικαλυμμένα δοκίμια, ενώ το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ προσφέρει προστασία της τάξης του 20%.

Η (%) απώλεια μάζας των οπλισμών όλων των δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος (επικαλυμμένων και μη) υπολογίστηκε μετά από δύο, τέσσερις, έξι και οκτώ μήνες έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Στους Πίνακες 8.23 έως 8.26 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα (%) απώλειας μάζας συναρτήσει του χρόνου για τα επικαλυμμένα δοκίμια τσιμέντου CEM II/A-S 42.5 και στα σχήματα 8.43 έως 8.46 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Πίνακας 8.23. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο TiO₂ (μερική εμφάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

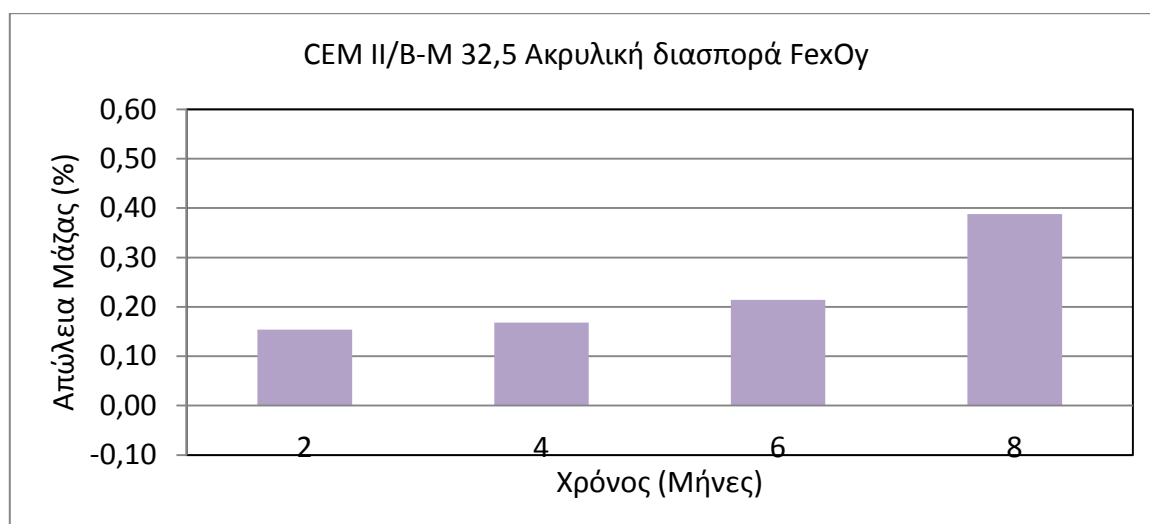
Κωδικός		m _{αρχ} (g)	m _{τελ} (g)	AM (g)	AM (%)
P-AT-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	90,0242	89,9094	0,1148	0,128
P-AT-2		85,8308	85,7236	0,1072	0,125
P-AT-3		86,3500	86,2527	0,0973	0,113
P-AT-4		89,6388	89,5312	0,1076	0,120
M.O.				0,1067	0,119
Τυπ.απόκλιση				0,0072	0,0065
<hr/>					
P-AT-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	86,2793	86,1437	0,1356	0,157
P-AT-6		94,2437	94,1139	0,1298	0,138
P-AT-7		94,4938	94,3735	0,1203	0,127
P-AT-8		86,1941	86,0654	0,1287	0,149
M.O.				0,1286	0,138
Τυπ.απόκλιση				0,0063	0,0131
<hr/>					
P-AT-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	85,3539	85,1805	0,1734	0,203
P-AT-10		90,9765	90,8054	0,1711	0,188
P-AT-11		89,9174	89,7522	0,1652	0,184
P-AT-12		94,3679	94,2003	0,1676	0,178
M.O.				0,1693	0,183
Τυπ.απόκλιση				0,0036	0,0109
<hr/>					
P-AT-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	89,5763	89,3251	0,2512	0,280
P-AT-14		90,2043	89,9267	0,2776	0,308
P-AT-15		90,3526	90,0798	0,2728	0,302
P-AT-16		90,4633	90,1867	0,2766	0,306
M.O.				0,2695	0,305
Τυπ.απόκλιση				0,0124	0,0126



Σχήμα 8.43. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο TiO₂, συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμφάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.24. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

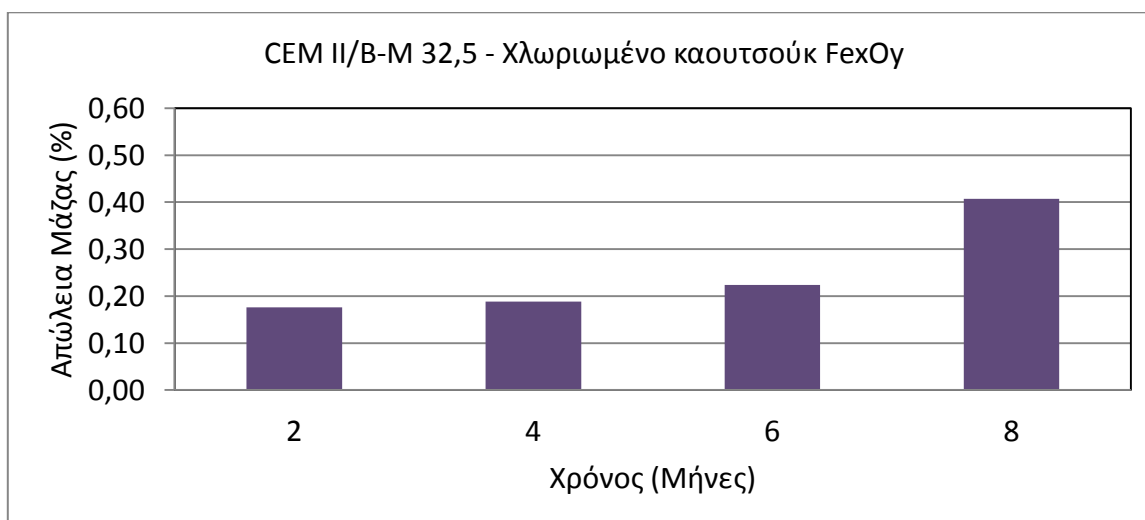
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
P-AF-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	85,9264	85,7889	0,1375	0,160
P-AF-2		92,1177	91,9779	0,1398	0,152
P-AF-3		94,0075	93,8541	0,1534	0,163
P-AF-4		95,2431	95,1025	0,1406	0,148
M.O.					0,1428
Τυπ.απόκλιση				0,0072	0,0072
<hr/>					
P-AF-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	93,0979	92,9433	0,1546	0,166
P-AF-6		94,6504	94,4921	0,1583	0,167
P-AF-7		89,8922	89,7354	0,1568	0,174
P-AF-8		86,8318	86,6907	0,1411	0,162
M.O.					0,1527
Τυπ.απόκλιση				0,0079	0,0050
<hr/>					
P-AF-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	85,8728	85,6848	0,1880	0,219
P-AF-10		91,2637	91,0673	0,1964	0,215
P-AF-11		89,4341	89,2395	0,1946	0,218
P-AF-12		92,0745	91,8805	0,1940	0,211
M.O.					0,1932
Τυπ.απόκλιση				0,0036	0,0036
<hr/>					
P-AF-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	91,0008	90,6498	0,3510	0,386
P-AF-14		86,8257	86,4548	0,3709	0,427
P-AF-15		94,6242	94,2986	0,3256	0,344
P-AF-16		90,3729	90,0177	0,3552	0,393
M.O.					0,3507
Τυπ.απόκλιση				0,0188	0,0341



Σχήμα 8.44. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου, συναρτήσε του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.25. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 και την επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ και πιγμέντου οξειδίων σιδήρου (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

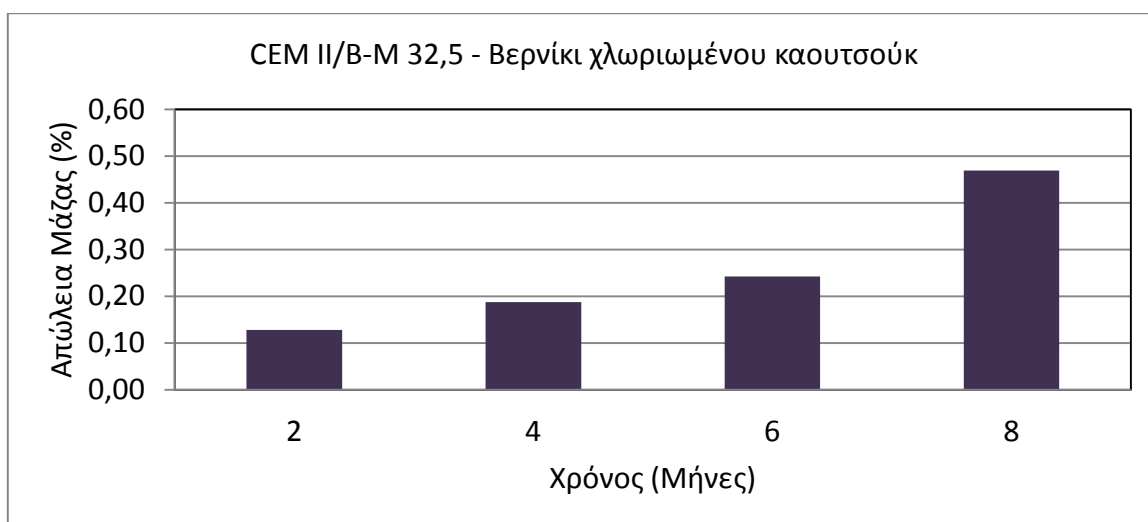
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
P-XF-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	88,9070	88,7519	0,1551	0,174
P-XF-2		91,2431	91,0888	0,1543	0,169
P-XF-3		92,4114	92,2492	0,1622	0,176
P-XF-4		87,6188	87,4580	0,1608	0,184
M.O.				0,1581	0,176
Τυπ.απόκλιση				0,0040	0,0060
P-XF-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	85,7272	85,5381	0,1891	0,221
P-XF-6		91,2154	91,0512	0,1642	0,180
P-XF-7		93,8054	93,6351	0,1703	0,182
P-XT-8		91,8253	91,6384	0,1869	0,204
M.O.				0,1776	0,188
Τυπ.απόκλιση				0,0123	0,0194
P-XF-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	91,9463	91,7521	0,1942	0,211
P-XF-10		91,9021	91,7114	0,1907	0,208
P-XF-11		85,8187	85,6162	0,2025	0,236
P-XF-12		91,2314	91,0233	0,2081	0,228
M.O.				0,1989	0,224
Τυπ.απόκλιση				0,0079	0,0136
P-XF-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	90,1539	89,7737	0,3802	0,422
P-XF-14		89,1106	88,7457	0,3649	0,409
P-XF-15		89,1652	88,7845	0,3807	0,427
P-XF-16		90,7454	90,3961	0,3493	0,385
M.O.				0,3688	0,407
Τυπ.απόκλιση				0,0149	0,0187



Σχήμα 8.45. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και επικαλυμμένου με χλωριωμένο καουτσούκ με πιγμένο οξείδια σιδήρου, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.26. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM I 42.5 και το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
P-XV-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	91,3595	91,2527	0,1068	0,117
P-XV-2		92,2601	92,1598	0,1003	0,109
P-XV-3		92,2926	92,1671	0,1255	0,136
P-XV-4		91,1703	91,0435	0,1268	0,139
Μ.Ο.					0,1148
Τυπ.απόκλιση				0,0133	0,0147
P-XV-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	90,2563	90,0898	0,1665	0,184
P-XV-6		93,7090	93,5416	0,1674	0,179
P-XV-7		89,8642	89,6979	0,1663	0,185
P-XV-8		85,9371	85,7659	0,1712	0,199
Μ.Ο.					0,1678
Τυπ.απόκλιση				0,0023	0,0087
P-XV-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	83,3802	83,1674	0,2128	0,255
P-XV-10		90,4619	90,2329	0,2290	0,253
P-XV-11		86,4645	86,2708	0,1937	0,224
P-XV-12		89,6391	89,4154	0,2237	0,250
Μ.Ο.					0,2148
Τυπ.απόκλιση				0,0156	0,0145
P-XV-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	92,7634	92,3746	0,3888	0,419
P-XV-14		89,5902	89,1477	0,4425	0,494
P-XV-15		85,5639	85,1825	0,3814	0,446
P-XV-16		92,0528	91,6219	0,4309	0,468
Μ.Ο.					0,4109
Τυπ.απόκλιση				0,0303	0,0319

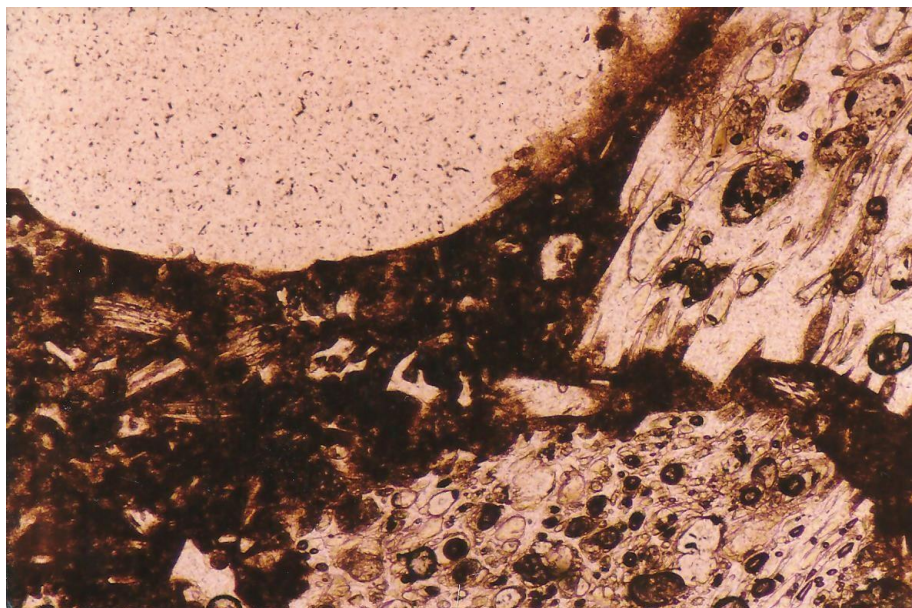


Σχήμα 8.46. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και επικαλυμμένου με βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ, συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Από τους ανωτέρω πίνακες και διαγράμματα, σε όλα τα επικαλυμμένα δοκίμια και με τις τέσσερις επικαλύψεις (ακρυλική διασπορά με πιγμέντο TiO_2 , ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου, επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ με πιγμέντο οξείδια σιδήρου και βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ) με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 παρατηρείται αύξηση της ποσοστιαίας επί τοις εκατό απώλειας μάζας των οπλισμών των δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος με την αύξηση του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Μεγαλύτερη αύξηση σημειώνεται στο τέλος της περιόδου έκθεσης των οκτώ μηνών, όπου και πάλι οι τιμές απώλειας μάζας παραμένουν χαμηλότερες από τις τιμές των μη επικαλυμμένων δοκιμίων. Τις χαμηλότερες τιμές απώλειας μάζας παρουσιάζουν και πάλι τα δοκίμια με την ακρυλική διασπορά με TiO_2 , της οποίας η προστατευτική ικανότητα έναντι της διάβρωσης των οπλισμών φτάνει το 42% σε σχέση με τα μη επικαλυμμένα δοκίμια, ενώ το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ προσφέρει μικρή προστασία της τάξης του 11%.

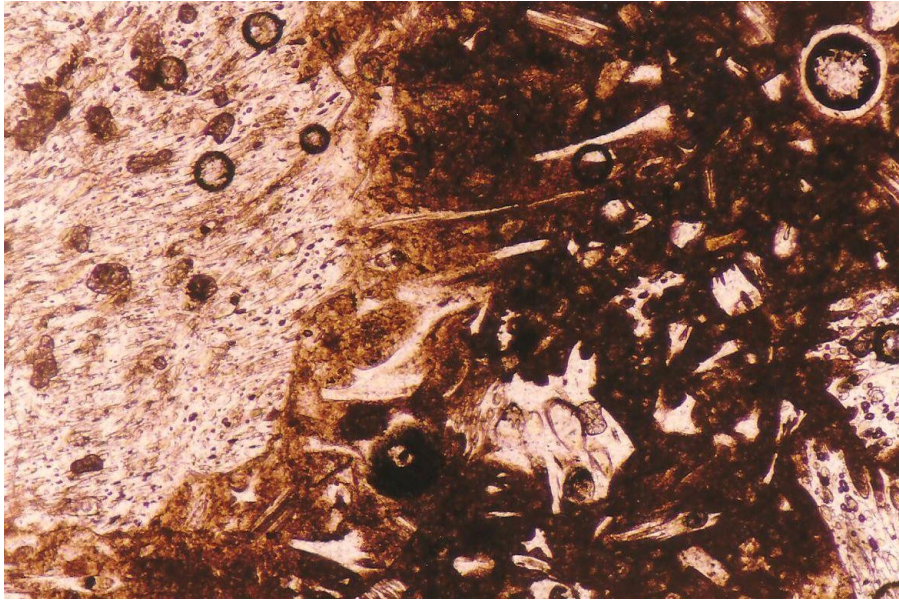
8.2.2.3. Οπτικός έλεγχος σε λεπτές τομές κονιαμάτων

Ακολουθως παρατίθενται ενδεικτικές φωτογραφίες από μεγεθύνσεις (X100) λεπτών τομών στο οπτικό μικροσκόπιο.



Φωτογραφία 8.4. Μεγέθυνση X100 κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32.5 και λεπτή κίσηρη μετά από 6 μήνες στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Από τη μελέτη των λεπτών τομών των δειγμάτων κονιαμάτων στο οπτικό μικροσκόπιο προέκυψε ότι σε κανένα δοκίμιο κισσηροκονιάματος δεν εμφανίστηκε αλκαλοπυριτική αντίδραση.



Φωτογραφία 8.5. Μεγέθυνση X100 κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 42.5 και λεπτή κίσηρη μετά από 8 μήνες στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

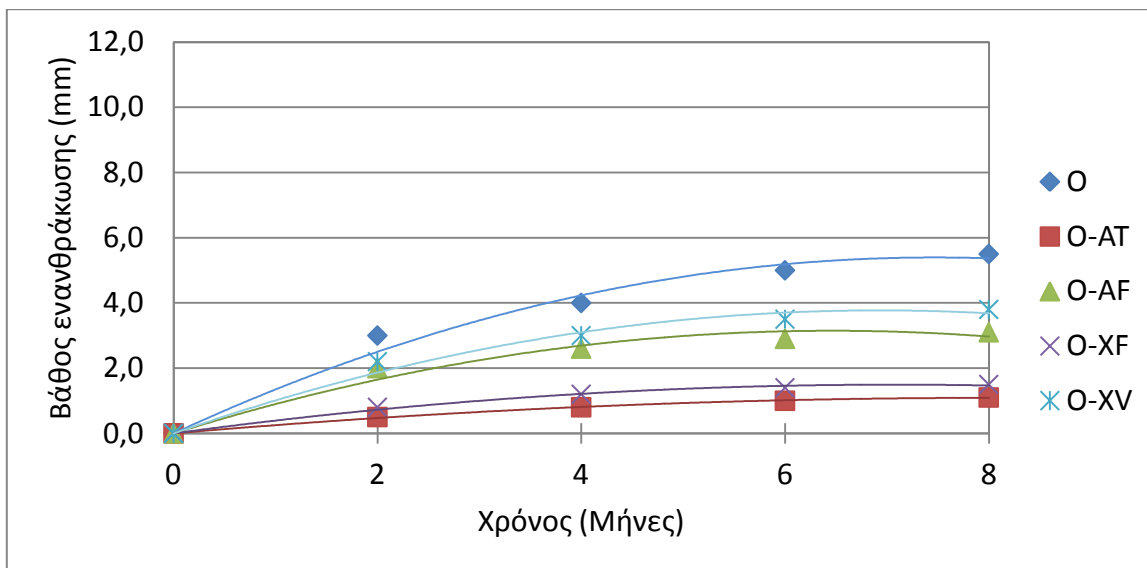
8.2.2.4. Βάθος ενανθράκωσης

Το βάθος ενανθράκωσης μετρήθηκε στα θραυσμένα τμήματα των κισσηροκονιαμάτων από τα επικαλυμμένα και μη δοκίμια, μετά από 2, 4, 6 και 8 μήνες έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Στον Πίνακα 8.27 παρουσιάζονται οι τιμές βάθους ενανθράκωσης για δοκίμια με τσιμέντο CEM I 32.5 και CEM II/B-M 32.5 και στα σχήματα 8.47 και 8.48 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

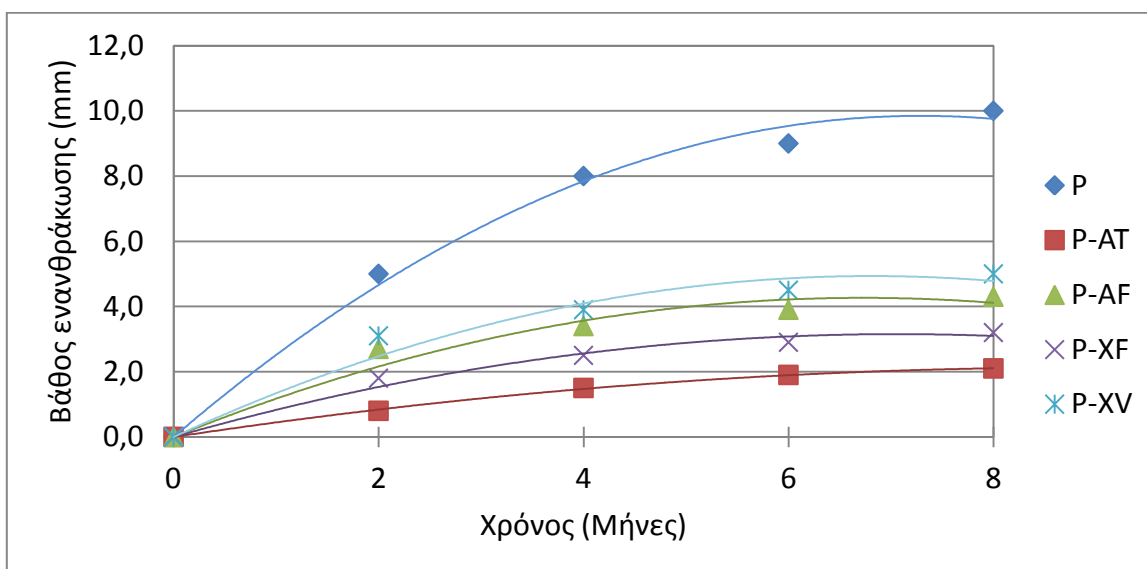
Πίνακας 8.27. Βάθος ενανθράκωσης για επικαλυμμένα και μη δοκίμια με τσιμέντο CEM I 32.5 και CEM II/B-M 32.5 στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl

Χρόνος (Μήνες)	Βάθος ενανθράκωσης (mm)				
	O	O-AT	O-AF	O-XF	O-XV
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	3,0	0,5	2,0	0,8	2,2
4	4,0	0,8	2,6	1,2	3,0
6	5,0	1,0	2,9	1,4	3,5
8	5,5	1,1	3,1	1,5	3,8

Χρόνος (Μήνες)	Βάθος ενανθράκωσης (mm)				
	P	P-AT	P-AF	P-XF	P-XV
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	5,0	0,8	2,7	1,8	3,1
4	8,0	1,5	3,4	2,5	3,9
6	9,0	1,9	3,9	2,9	4,5
8	10,0	2,1	4,3	3,2	5,0



Σχήμα 8.47. Βάθος ενανθράκωσης για επικαλυμμένα και μη δοκίμια με τσιμέντο CEM I 32.5 στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.48. Βάθος ενανθράκωσης για επικαλυμμένα και μη δοκίμια με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Οι σχετικά υψηλές τιμές βάθους ενανθράκωσης που παρατηρούνται μπορούν να εξηγηθούν από το υψηλό πορώδες των κισσηροκονιαμάτων. Όπως φαίνεται και από τα παρακάτω σχήματα, το βάθος ενανθράκωσης στα δοκίμια με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 είναι διπλάσιο από αυτό των δοκιμίων CEM I 32.5. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στον ποζολανικό χαρακτήρα των δοκιμίων με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, διότι όπως είναι γνωστό τα ποζολανικά τσιμέντα υπόκεινται σε ενανθράκωση νωρίτερα από τα τσιμέντα Portland (Malami, et al., 1994) λόγω της κατανάλωσης των υδροξυλίωντων κατά την ποζολανική αντίδραση. Όλες οι επικαλύψεις μειώνουν σημαντικά το βάθος ενανθράκωσης και αυτή η μείωση είναι πιο σημαντική στην περίπτωση του τσιμέντου CEM II/B-M 32.5. Σε αυτήν την

περίπτωση, μετά από 8 μήνες έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον, τα δοκίμια με την ακρυλική διασπορά και πιγμέντο TiO_2 , παρουσιάζουν τιμές βάθους ενανθράκωσης κατά 80% μικρότερες από αυτές των μη επικαλυμμένων δοκιμίων, ενώ ακόμη και τα δοκίμια με το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ προσέφεραν μείωση του βάθους ενανθράκωσης κατά 50%. Οι αντίστοιχες τιμές για τα τσιμέντα CEM I 32.5 είναι 80% και 30%, αντίστοιχα.

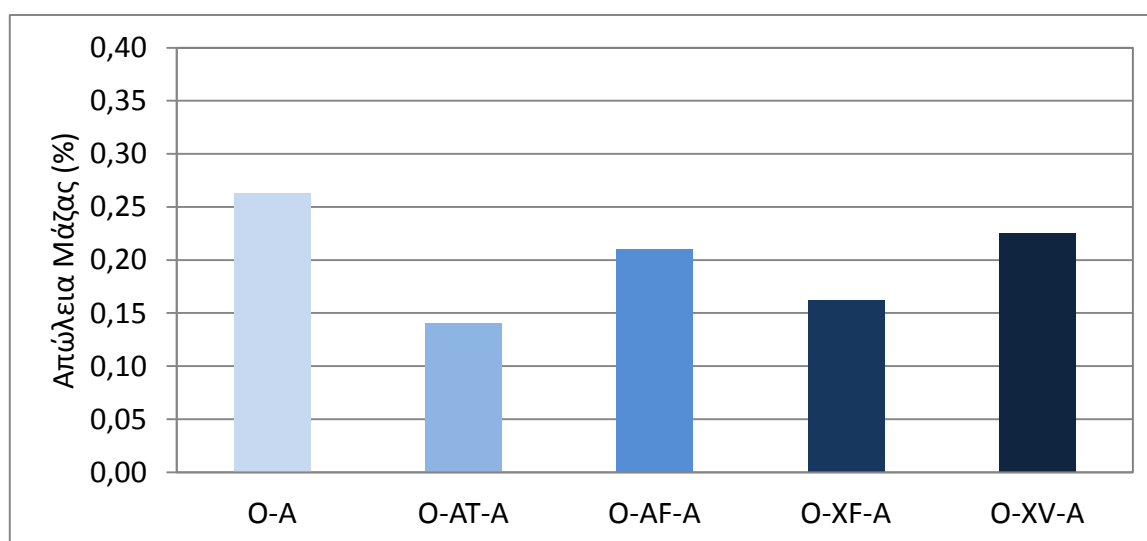
8.2.3. Διάβρωση μακράς διάρκειας σε ατμόσφαιρα (ατμοσφαιρική διάβρωση)

8.2.3.1. Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών

Η (%) απώλεια μάζας των οπλισμών όλων των δοκιμίων οπλισμένου κίσηροκονιάματος (επικαλυμμένων και μη) υπολογίστηκε μετά 36 μήνες έκθεσης σε ατμοσφαιρική διάβρωση. Στους Πίνακες 8.28 έως 8.31 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα απώλειας μάζας για τα δοκίμια και των τεσσάρων κατηγοριών τσιμέντου (CEM I 32.5, CEM I 42.5, CEM II/A-S 42.5 και CEM II/B-M 32.5) και στα σχήματα 8.49 έως 8.52 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Πίνακας 8.28. Απώλεια μάζας (%) σπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM I 32.5 και όλες τις επικαλύψεις σε ατμοσφαιρική διάβρωση (χρόνος έκθεσης 36 μήνες)

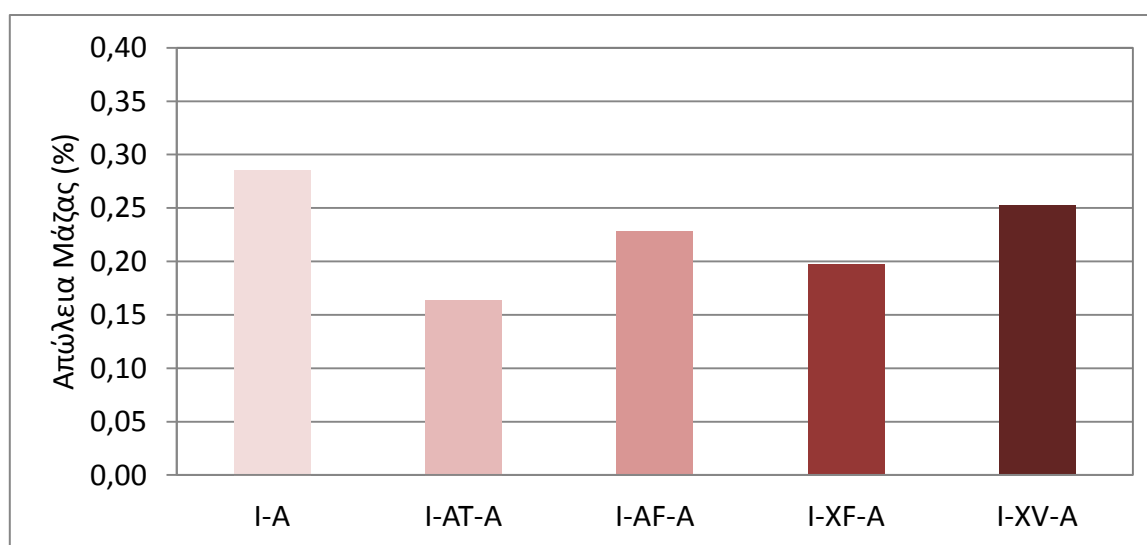
Κωδικός	$m_{\alpha\rho\chi}$ (g)	$m_{\tau\epsilon\lambda}$ (g)	AM (g)	AM (%)
O-A1	87,5675	87,3301	0,2374	0,271
O-A2	89,7756	89,5478	0,2278	0,254
O-A3	91,2227	90,9783	0,2444	0,268
O-A4	88,5864	88,3554	0,2310	0,261
M.O.			0,2351	0,263
<i>Τυπ.απόκλιση</i>			<i>0,0073</i>	<i>0,0077</i>
O-AT-A1				
O-AT-A1	86,0428	85,9364	0,1064	0,124
O-AT-A2	87,3741	87,2708	0,1033	0,118
O-AT-A3	89,8562	89,7049	0,1513	0,168
O-AT-A4	87,0823	86,9499	0,1324	0,152
M.O.			0,1234	0,141
<i>Τυπ.απόκλιση</i>			<i>0,0227</i>	<i>0,0237</i>
O-AF-A1				
O-AF-A1	87,5985	87,4217	0,1768	0,202
O-AF-A2	85,5225	85,3412	0,1813	0,212
O-AF-A3	89,6326	89,4378	0,1948	0,217
O-AF-A4	91,9159	91,7226	0,1933	0,210
M.O.			0,1865	0,210
<i>Τυπ.απόκλιση</i>			<i>0,0089</i>	<i>0,0064</i>
O-XF-A1				
O-XF-A1	89,4958	89,3619	0,1339	0,150
O-XF-A2	90,0717	89,8957	0,1760	0,195
O-XF-A3	93,2408	93,1088	0,1320	0,142
O-XF-A4	94,5173	94,3640	0,1533	0,162
M.O.			0,1488	0,162
<i>Τυπ.απόκλιση</i>			<i>0,0205</i>	<i>0,0237</i>
O-XV-A1				
O-XV-A1	92,9092	92,6816	0,2276	0,245
O-XV-A2	93,9253	93,7169	0,2084	0,222
O-XV-A3	90,6546	90,4547	0,1999	0,221
O-XV-A4	86,9062	86,7195	0,1867	0,215
M.O.			0,2056	0,226
<i>Τυπ.απόκλιση</i>			<i>0,0171</i>	<i>0,0133</i>



Σχήμα 8.49. Απώλεια μάζας (%) σπλισμών επικαλυμμένων και μη δοκιμών κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32.5 σε ατμοσφαιρική διάβρωση (χρόνος έκθεσης 36 μήνες).

Πίνακας 8.29. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM I 42.5 και όλες τις επικαλύψεις σε ατμοσφαιρική διάβρωση (χρόνος έκθεσης 36 μήνες)

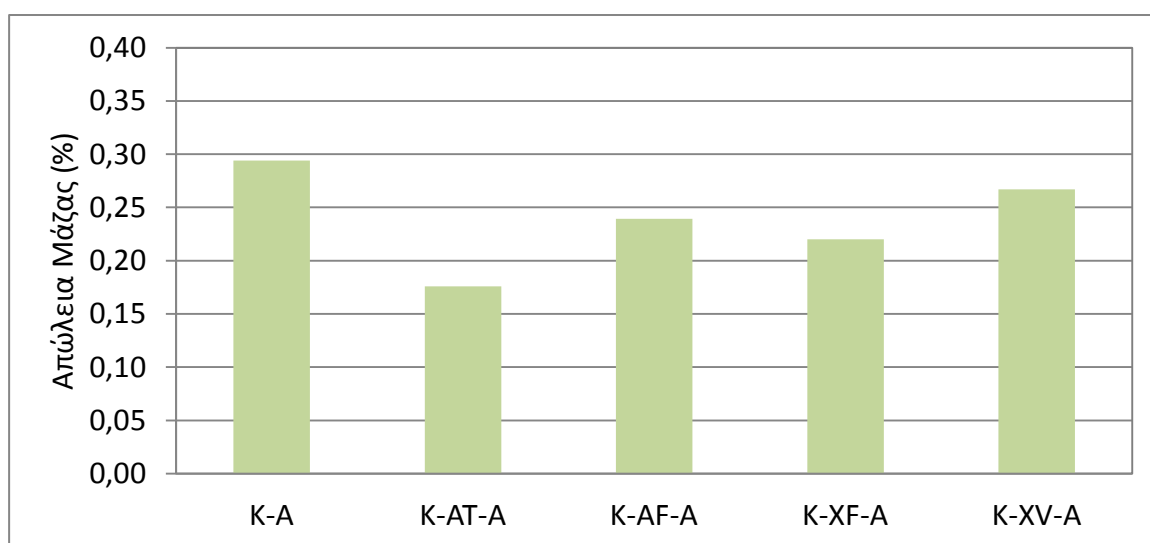
Κωδικός	$m_{\text{αρχ}}$ (g)	$m_{\text{τελ}}$ (g)	AM (g)	AM (%)
I-A1	91,1935	90,9533	0,2402	0,263
I-A2	94,3425	94,1034	0,2391	0,253
I-A3	87,2911	87,0342	0,2569	0,294
I-A4	89,7198	89,4234	0,2964	0,330
Μ.Ο.			0,2582	0,285
<i>Τυπ.απόκλιση</i>			<i>0,0268</i>	<i>0,0347</i>
I-AT-A1	87,9105	87,7578	0,1527	0,174
I-AT-A2	89,1691	89,0362	0,1329	0,149
I-AT-A3	90,3029	90,1429	0,1600	0,177
I-AT-A4	93,8358	93,6893	0,1465	0,156
Μ.Ο.			0,1480	0,164
<i>Τυπ.απόκλιση</i>			<i>0,0115</i>	<i>0,0136</i>
I-AF-A1	94,6963	94,4852	0,2111	0,223
I-AF-A2	86,9982	86,8093	0,1889	0,217
I-AF-A3	95,0087	94,8128	0,1959	0,206
I-AF-A4	89,5152	89,2773	0,2379	0,266
Μ.Ο.			0,2084	0,228
<i>Τυπ.απόκλιση</i>			<i>0,0217</i>	<i>0,0261</i>
I-XF-A1	90,6273	90,4564	0,1709	0,189
I-XF-A2	89,8383	89,6427	0,1956	0,218
I-XF-A3	89,5608	89,4087	0,1521	0,170
I-XF-A4	89,8237	89,6329	0,1908	0,212
Μ.Ο.			0,1774	0,197
<i>Τυπ.απόκλιση</i>			<i>0,0199</i>	<i>0,0222</i>
I-XV-A1	90,2750	90,0278	0,2472	0,274
I-XV-A2	90,3893	90,1927	0,1966	0,218
I-XV-A3	87,0736	86,8361	0,2375	0,273
I-XV-A4	86,1262	85,9143	0,2119	0,246
Μ.Ο.			0,2233	0,253
<i>Τυπ.απόκλιση</i>			<i>0,0232</i>	<i>0,0267</i>



Σχήμα 8.50. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών επικαλυμμένων και μη δοκιμών κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 42.5 σε ατμοσφαιρική διάβρωση (χρόνος έκθεσης 36 μήνες).

Πίνακας 8.30. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 και όλες τις επικαλύψεις σε ατμοσφαιρική διάβρωση (χρόνος έκθεσης 36 μήνες)

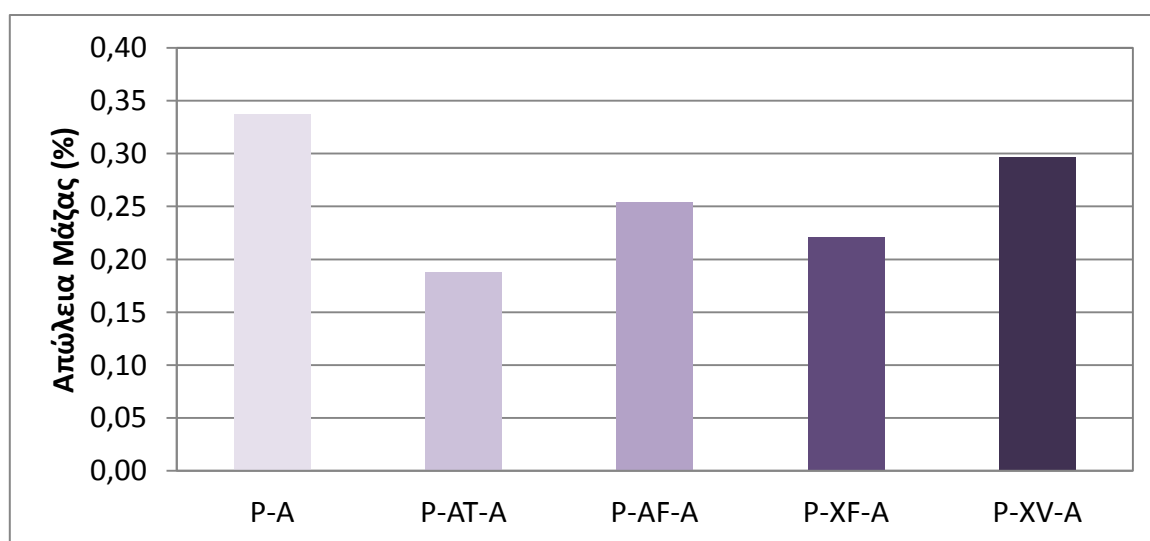
Κωδικός	$m_{\text{αρχ}}$ (g)	$m_{\text{τελ}}$ (g)	AM (g)	AM (%)
K-A1	90,5676	90,2971	0,2705	0,299
K-A2	89,6546	89,3937	0,2609	0,291
K-A3	86,0382	85,7862	0,2520	0,293
K-A4	88,3837	88,1237	0,2600	0,294
Μ.Ο.			0,2609	0,294
<i>Τυπ.απόκλιση</i>			<i>0,0076</i>	<i>0,0033</i>
K-AT-A1	86,3836	86,2203	0,1633	0,189
K-AT-A2	89,0282	88,8636	0,1646	0,185
K-AT-A3	90,2893	90,1312	0,1581	0,175
K-AT-A4	90,0241	89,8853	0,1388	0,154
Μ.Ο.			0,1562	0,176
<i>Τυπ.απόκλιση</i>			<i>0,0119</i>	<i>0,0156</i>
K-AF-A1	93,4836	93,2805	0,2031	0,217
K-AF-A2	85,0909	84,8692	0,2217	0,261
K-AF-A3	94,0238	93,7985	0,2253	0,240
K-AF-A4	89,0304	88,8172	0,2132	0,239
Μ.Ο.			0,2158	0,239
<i>Τυπ.απόκλιση</i>			<i>0,0099</i>	<i>0,0177</i>
K-XF-A1	89,0262	88,8267	0,1995	0,224
K-XF-A2	89,5472	89,3394	0,2078	0,232
K-XF-A3	89,0282	88,8589	0,1693	0,190
K-XF-A4	86,4629	86,2605	0,2024	0,234
Μ.Ο.			0,1948	0,220
<i>Τυπ.απόκλιση</i>			<i>0,0173</i>	<i>0,0204</i>
K-XV-A1	91,0253	90,7856	0,2397	0,263
K-XV-A2	89,1826	88,8945	0,2881	0,323
K-XV-A3	88,1927	87,9761	0,2166	0,246
K-XV-A4	88,3872	88,1786	0,2086	0,236
Μ.Ο.			0,2383	0,267
<i>Τυπ.απόκλιση</i>			<i>0,0358</i>	<i>0,0390</i>



Σχήμα 8.51. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών επικαλυμμένων και μη δοκιμών κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 σε ατμοσφαιρική διάβρωση (χρόνος έκθεσης 36 μήνες).

Πίνακας 8.31. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και όλες τις επικαλύψεις σε ατμοσφαιρική διάβρωση (χρόνος έκθεσης 36 μήνες)

Κωδικός	$m_{\alpha\rho\chi}$ (g)	$m_{\tau\epsilon\lambda}$ (g)	AM (g)	AM (%)
P-A1	86,0428	85,7541	0,2887	0,336
P-A2	87,3741	87,0665	0,3076	0,352
P-A3	89,8562	89,5705	0,2857	0,318
P-A4	87,0823	86,7836	0,2987	0,343
M.O.			0,2952	0,337
Τυπ.απόκλιση			0,0100	0,0145
P-AT-A1	87,5675	87,3763	0,1912	0,218
P-AT-A2	89,7756	89,5836	0,1920	0,214
P-AT-A3	91,2227	91,0740	0,1487	0,163
P-AT-A4	88,5864	88,4499	0,1365	0,154
M.O.			0,1671	0,187
Τυπ.απόκλιση			0,0287	0,0335
P-AF-A1	92,9092	92,6751	0,2341	0,252
P-AF-A2	93,9253	93,6702	0,2551	0,272
P-AF-A3	90,6546	90,4392	0,2154	0,238
P-AF-A4	86,9062	86,6843	0,2219	0,255
M.O.			0,2316	0,254
Τυπ.απόκλιση			0,0175	0,0140
P-XF-A1	89,4958	89,2976	0,1982	0,221
P-XF-A2	90,0717	89,8767	0,1950	0,216
P-XF-A3	93,2408	93,0220	0,2188	0,235
P-XF-A4	94,5173	94,3195	0,1978	0,209
M.O.			0,2024	0,220
Τυπ.απόκλιση			0,0110	0,0107
P-XV-A1	87,5985	87,3034	0,2951	0,337
P-XV-A2	85,5225	85,2812	0,2413	0,282
P-XV-A3	89,6326	89,3609	0,2717	0,303
P-XV-A4	91,9159	91,6745	0,2414	0,263
M.O.			0,2624	0,296
Τυπ.απόκλιση			0,0261	0,0318



Σχήμα 8.52. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών επικαλυμμένων και μη δοκιμών κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 σε ατμοσφαιρική διάβρωση (χρόνος έκθεσης 36 μήνες).

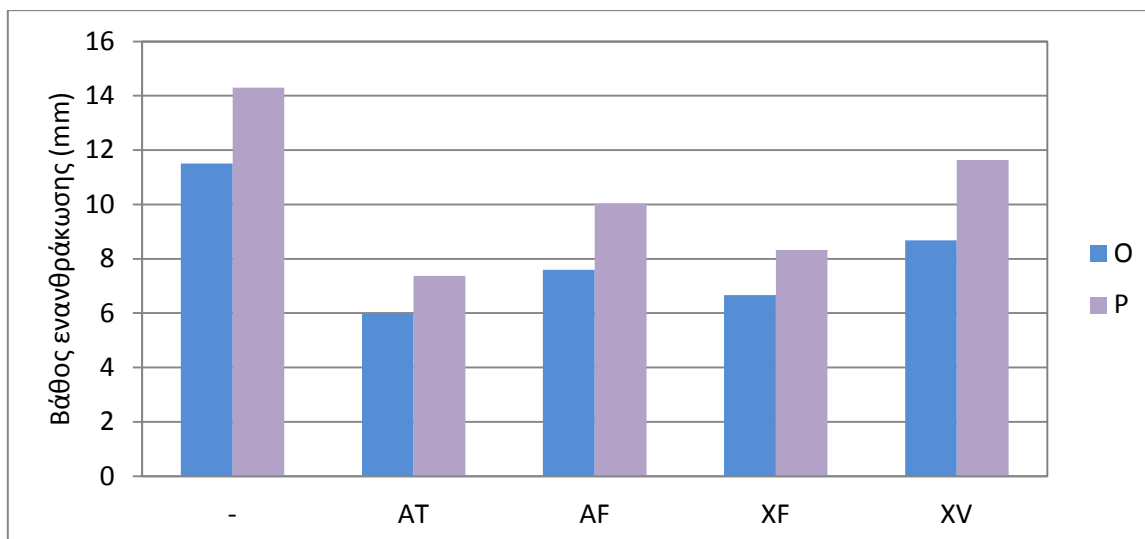
Από αυτούς τους πίνακες και τα αντίστοιχα διαγράμματα ατμοσφαιρικής έκθεσης των δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος για 36 μήνες, φαίνεται ότι όταν τα δοκίμια εκτίθενται στην ατμόσφαιρα, όπου η διαβρωτικότητα του περιβάλλοντος δεν είναι τόσο έντονη όσο αυτή του περιβάλλοντος προσομοίωσης θαλασσινού νερού, όλα τα δοκίμια όλων των κατηγοριών τσιμέντου, παρουσίασαν μικρές τιμές (%) απώλειας μάζας των οπλισμών, παρά το μεγάλο χρονικό διάστημα έκθεσης. Όλα τα επικαλυμμένα δοκίμια επέδειξαν μικρότερη απώλεια μάζας, όπως προβλέπεται, από την (%) απώλεια μάζας των οπλισμών των μη επικαλυμμένων δοκιμών. Τα δοκίμια με την ακρυλική διασπορά με TiO_2 παρουσίασαν τις μικρότερες τιμές απώλειας μάζας, ακολουθούμενα από τα δοκίμια με τις υπόλοιπες επικαλύψεις. Η προστατευτική ικανότητα της επικάλυψης ακρυλικής διασποράς με TiO_2 κυμάνθηκε από 40% έως 47%, της ακρυλικής διασποράς με πιγμέντο οξείδια σιδήρου από 19% έως 25%, του χλωριωμένου καουτσούκ με πιγμέντο οξείδια σιδήρου ήταν της τάξης του 25%÷38% και του βερνικιού χλωριωμένου καουτσούκ ήταν μόλις 9%÷14%.

8.2.3.2. Βάθος ενανθράκωσης

Το βάθος ενανθράκωσης των κισσηροκονιαμάτων από τα οπλισμένα δοκίμια (επικαλυμμένα και μη) υπολογίστηκε μετά 36 μήνες έκθεσης σε ατμοσφαιρική διάβρωση. Στον Πίνακα 8.32 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα βάθους ενανθράκωσης για τα δοκίμια των δύο κατηγοριών τσιμέντου (CEM I 32.5 και CEM II/B-M 32.5) και στο σχήμα 8.53 παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα.

Πίνακας 8.32. Βάθος ενανθράκωσης κισσηροκονιαμάτων με τσιμέντα CEM I 32.5 και CEM II/B-M 32.5 και όλες τις επικαλύψεις σε ατμοσφαιρική διάβρωση.

Κωδικός	Βάθος ενανθράκωσης (mm)
O-A	11,5
O-AT-A	5,9
O-AF-A	7,6
O-XF-A	6,7
O-XV-A	8,7
P-A	14,3
P-AT	7,4
P-AF-A	10,0
P-XF-A	8,3
P-XV-A	11,6



Σχήμα 8.53. Βάθος ενανθράκωσης κισσηροκονιαμάτων με τσιμέντα CEM I 32.5 και CEM II/B-M 32.5 και όλες τις επικαλύψεις σε ατμοσφαιρική διάβρωση.

Το βάθος ενανθράκωσης των κισσηροκονιαμάτων με τσιμέντο CEM I 32.5 είναι ελαφρώς μικρότερο από αυτό των δοκιμών με CEM II/B-M 32.5. Όλες οι επικαλύψεις βοήθησαν στη μείωση του βάθους ενανθράκωσης σε σχέση με τα μη επικαλυμμένα δοκίμια, με τιμές (κατά μέσο όρο) 50% για την επικάλυψη ακρυλικής διασποράς με TiO_2 , 32% για την ακρυλική διασποράς με πιγμέντο οξειδία σιδήρου, 42% για την επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ με πιγμέντο οξειδία σιδήρου και 22% για το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ.

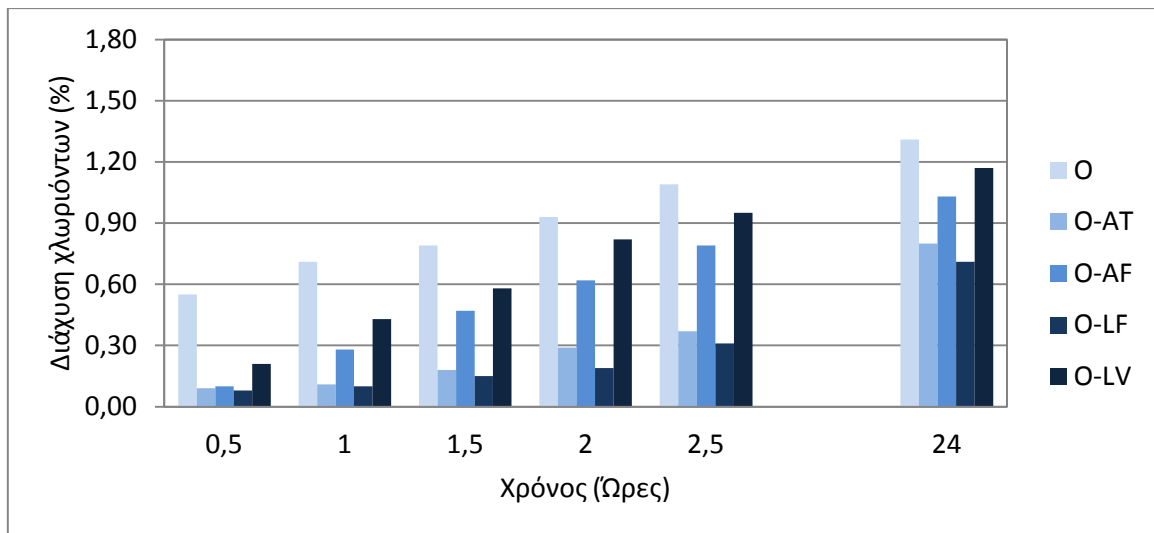
8.2.4. Διάχυση χλωριόντων

Η μέτρηση του ρυθμού διάχυσης χλωριόντων έγινε σε επικαλυμμένα και μη δοκίμια κισσηροκονιαμάτων σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα (0.5 - 1.0 - 1.5 - 2.0 - 2.5 και 24 ώρες). Στον Πίνακα 8.33 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διάχυσης χλωριόντων για τα δοκίμια των δύο κατηγοριών τσιμέντου (CEM I 32.5 και CEM II/B-M 32.5) και στα σχήματα 8.54 και 8.55 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

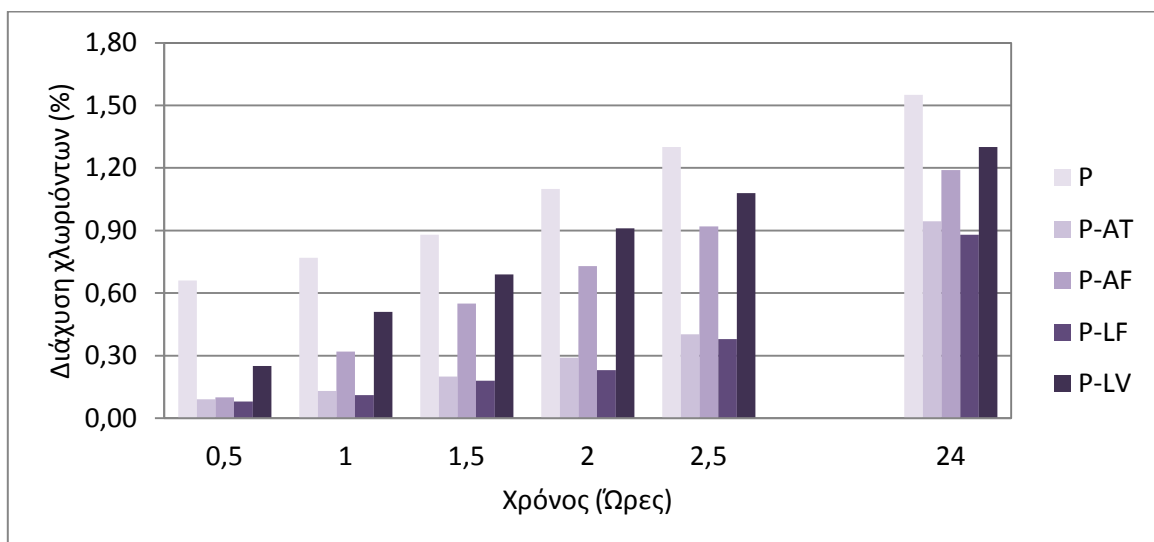
Πίνακας 8.33. Διάχυση χλωριόντων σε κισσηροκονιάματα με τσιμέντα CEM I 32.5 και CEM II/B-M 32.5 και όλες τις επικαλύψεις.

Χρόνος (Ωρες)	Διάχυση χλωριόντων (%)				
	O	O-AT	O-AF	O-LF	O-LV
0,5	0,55	0,09	0,10	0,08	0,21
1	0,71	0,11	0,28	0,10	0,43
1,5	0,79	0,18	0,47	0,15	0,58
2	0,93	0,29	0,62	0,19	0,82
2,5	1,09	0,37	0,79	0,31	0,95
24	1,31	0,80	1,03	0,71	1,17

Χρόνος (Ώρες)	P	P-AT	P-AF	P-LF	P-LV
0,5	0,66	0,09	0,10	0,08	0,25
1	0,77	0,13	0,32	0,11	0,51
1,5	0,88	0,20	0,55	0,18	0,69
2	1,10	0,29	0,73	0,23	0,91
2,5	1,30	0,40	0,92	0,38	1,08
24	1,55	0,95	1,19	0,88	1,30



Σχήμα 8.54. Διάχυση χλωριόντων επικαλυμμένων και μη δοκιμίων κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32.5.

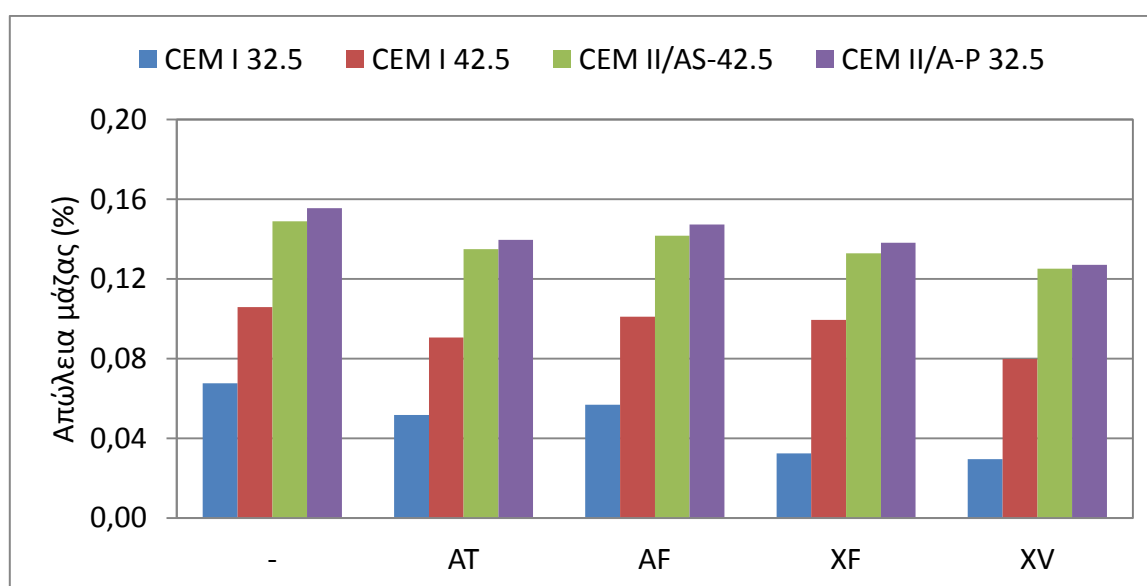


Σχήμα 8.55. Διάχυση χλωριόντων επικαλυμμένων και μη δοκιμίων κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5.

Όπως είναι φανερό από τα ανωτέρω διαγράμματα, όλες οι επικαλύψεις αναχαιτίζουν τη διείδυση χλωριόντων, ιδιαιτέρως στους αρχικούς χρόνους έκθεσης. Και στις δυο κατηγορίες τσιμέντου (CEM I 32.5 και CEM II/B-M 32.5), τα κισσηροκονιάματα με την ακρυλική διασπορά με TiO_2 και την επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ με πιγμέντο οξειδία σιδήρου παρουσιάζουν τη χαμηλότερη διάχυση χλωριόντων, έχοντας πραγματικά μικρές διαφορές μεταξύ τους. Τα ποσά των χλωριόντων που διαχύθηκαν μέσω των κισσηροκονιαμάτων με τα δύο τσιμέντα δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές.

8.2.5. Δεύτερο μερικό συμπέρασμα

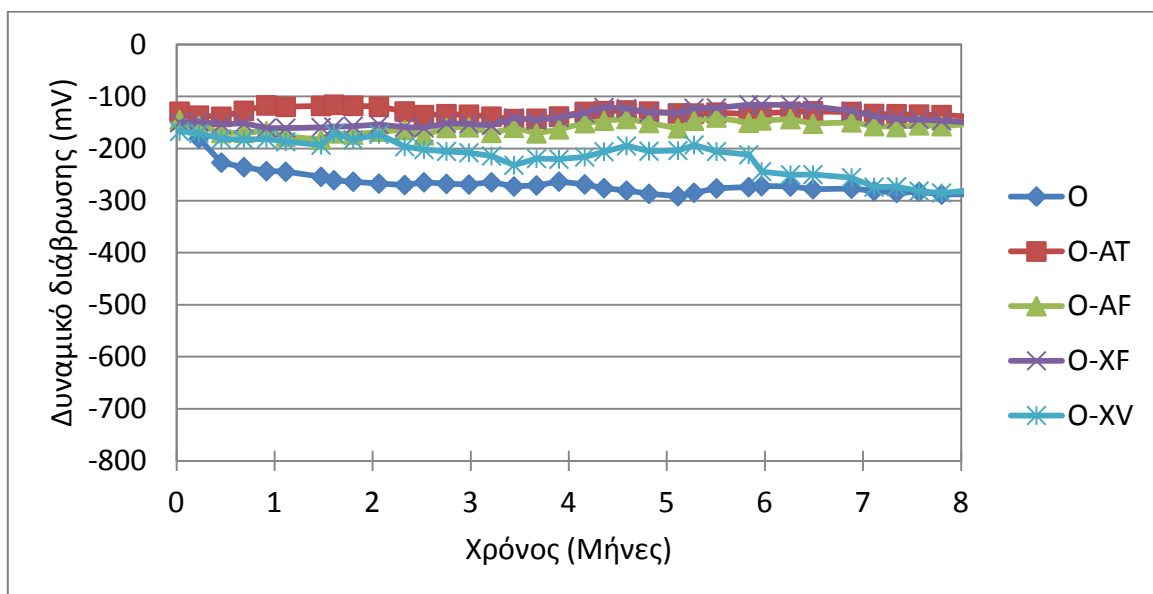
1. Από δοκιμές που έγιναν στον θάλαμο αλατονέφωσης με χρόνο έκθεσης 15 ημερών σε επικαλυμμένα και μη δοκίμια οπλισμένου κισσηροκονιάματος με όλα τα τσιμέντα (CEM I 32.5, CEM I 42.5, CEM II/A-S 42.5 και CEM II/B-M 32.5) (σχήμα 8.56), προέκυψε ότι όλα τα επικαλυμμένα δοκίμια είχαν μικρότερη (%) απώλεια μάζας των οπλισμών τους από τα μη επικαλυμμένα. Συγκρίνοντας τα επικαλυμμένα δοκίμια μεταξύ τους, φάνηκε ότι τα επικαλυμμένα δοκίμια με βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα. Αυτό οφείλεται στο ότι η επιφάνεια του βερνικιού ήταν πολύ καλύτερη (επίπεδη) από αυτή των υπόλοιπων επικαλύψεων που περιείχαν πιγμέντα. Ως αποτέλεσμα αυτού, οι σταγόνες του διαλύματος της αλατονέφωσης (5% κ.β. NaCl) να μη μπορούν να συγκρατηθούν στην επιφάνεια των επικαλυμμένων με βερνίκι δοκιμίων. Οι διαφορές των τριών υπόλοιπων επικαλύψεων με πιγμέντα ήταν συγκριτικά μικρές.



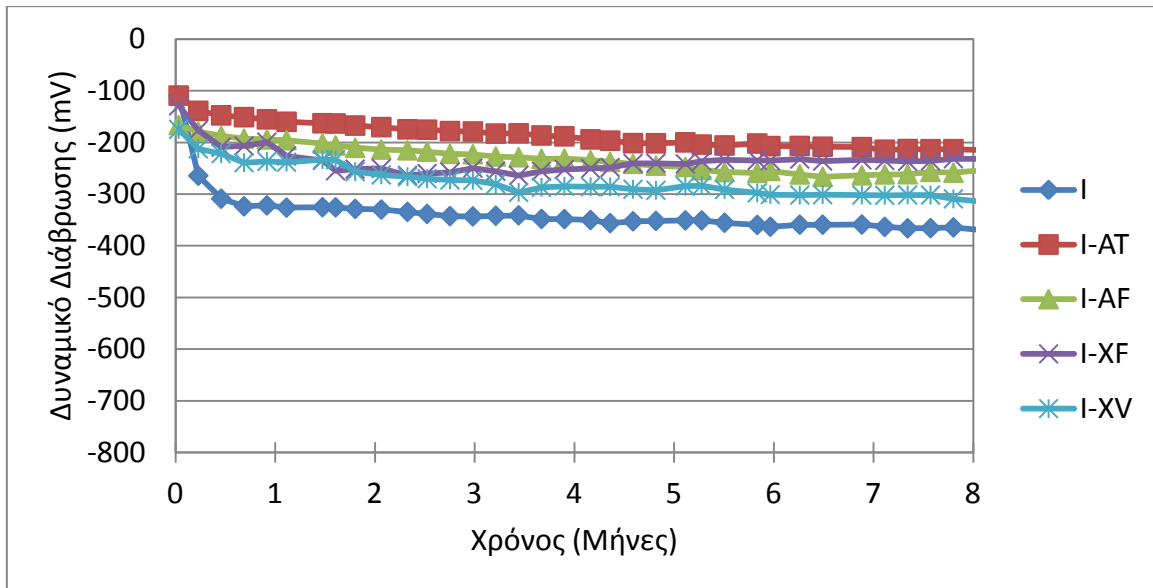
Σχήμα 8.56. Συγκριτικό διάγραμμα απώλειας μάζας (%) οπλισμών μη επικαλυμμένων και επικαλυμμένων με όλες τις επικαλύψεις δοκιμίων κισσηροκονιάματος με τσιμέντα CEM I 32.5, CEM I 42.5, CEM II/A-S 42.5 και CEM II/B-M 32.5 στον θάλαμο αλατονέφωσης (χρόνος έκθεσης 15 ημέρες).

2. Ακολούθως παρατίθενται τα συγκριτικά διαγράμματα δυναμικού διάβρωσης – χρόνου έκθεσης (σχήματα 8.57 έως 8.60), απώλειας μάζας – χρόνου έκθεσης (σχήματα 8.61 έως 8.64) για τα δοκίμια οπλισμένου κισσηροκονιάματος με όλα τα τσιμέντα (CEM I 32.5,

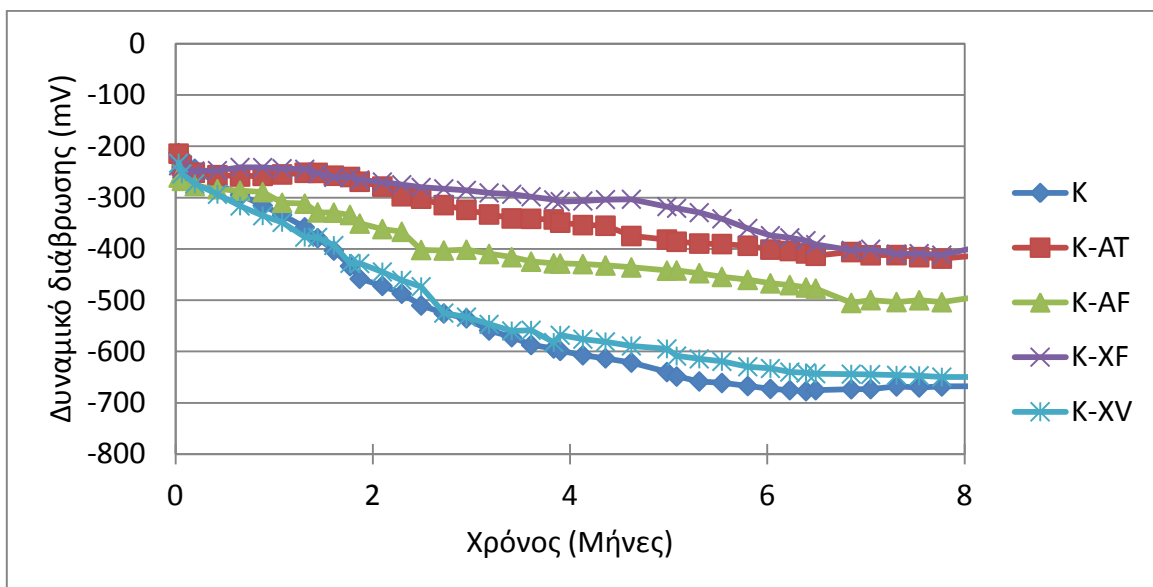
CEM I 42.5, CEM II/A-S 42.5 και CEM II/B-M 32.5), μη επικαλυμμένα ή με όλες τις επικαλύψεις (ακρυλική διασπορά με TiO_2 , ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξειδία σιδήρου, χλωριωμένο καουτσούκ με πιγμέντο οξειδία σιδήρου και βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ) συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Όπως φαίνεται από αυτά τα διαγράμματα και όπως προκύπτει από όλες τις μεθόδους με τις οποίες εξετάστηκε η επίδραση των επικαλύψεων, γενικά παρατηρήθηκε ότι τη μεγαλύτερη διάβρωση παρουσίασαν τα δοκίμια χωρίς επικάλυψη, όπως άλλωστε αυτό ήταν αναμενόμενο. Όλες οι επικαλύψεις παρουσίασαν προστατευτική επίδραση έναντι της διάβρωσης των χαλύβδινων οπλισμών. Συγκρίνοντας τις διάφορες κατηγορίες επικαλύψεων μεταξύ τους, προέκυψε ότι οι επικαλύψεις ακρυλικής διασποράς επέδειξαν την καλύτερη συμπεριφορά. Οι διαφορές στα χρησιμοποιούμενα πιγμέντα (TiO_2 ή Fe_2O_3 και Fe_3O_4) ήταν μικρές. Η χρησιμοποίηση οργανικής επικάλυψης με ρητίνη χλωριωμένου καουτσούκ με ή χωρίς πιγμέντο (Fe_2O_3/Fe_3O_4) γενικά έδωσε αποτελέσματα μικρότερης προστασίας από τη διάβρωση σε σύγκριση με τις ακρυλικές διασπορές. Μεταξύ της επικάλυψης βερνικιού χλωριωμένου καουτσούκ (δηλαδή χωρίς πιγμέντο) και της επικάλυψης με πιγμέντο (Fe_2O_3/Fe_3O_4), φάνηκε ότι η χρησιμοποίηση του πιγμέντου είχε ως αποτέλεσμα βελτιωμένη συμπεριφορά.



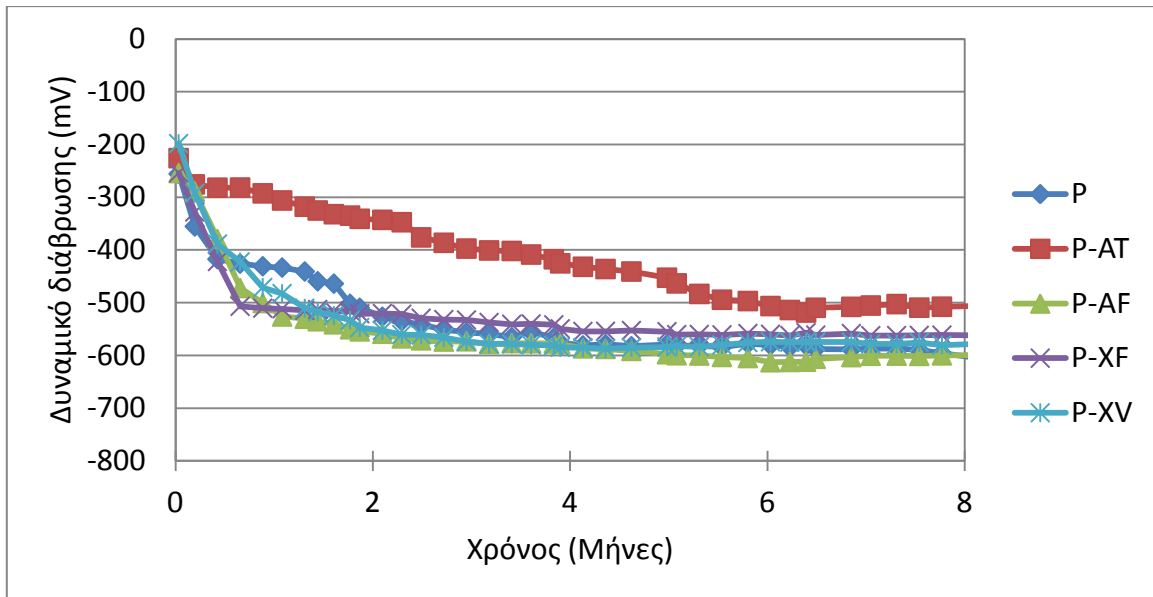
Σχήμα 8.57. Συγκριτικό διάγραμμα δυναμικού διάβρωσης των χαλύβων των δοκιμίων οπλισμένου κίσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32.5 και όλες τις επικαλύψεις συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.



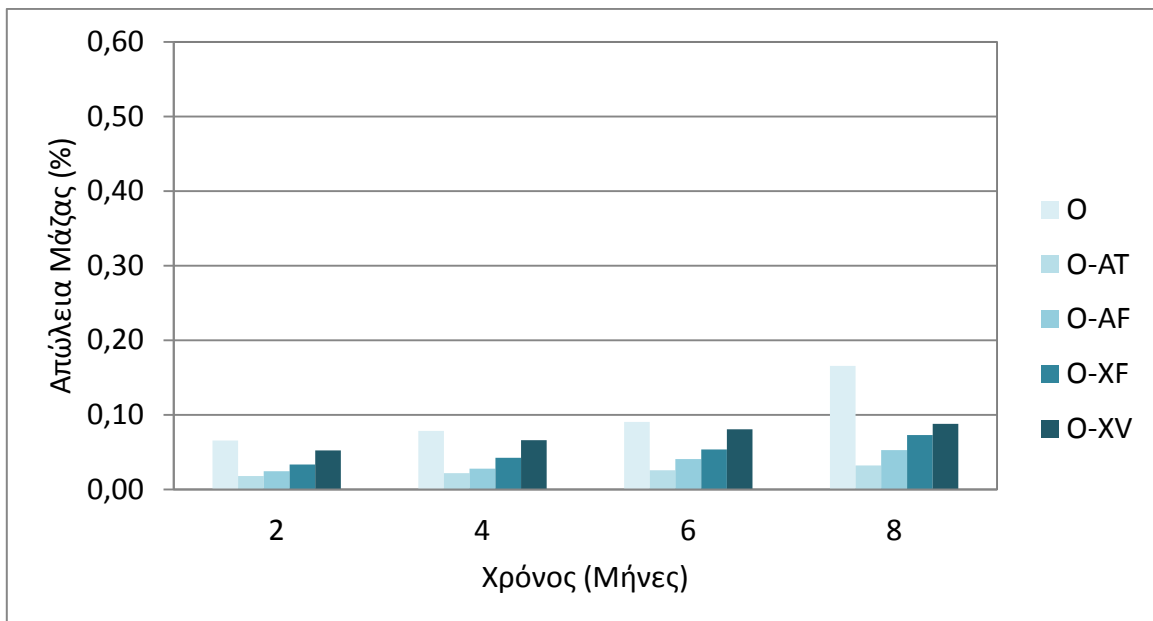
Σχήμα 8.58. Συγκριτικό διάγραμμα δυναμικού διάβρωσης των χαλύβων των δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 42.5 και όλες τις επικαλύψεις συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.



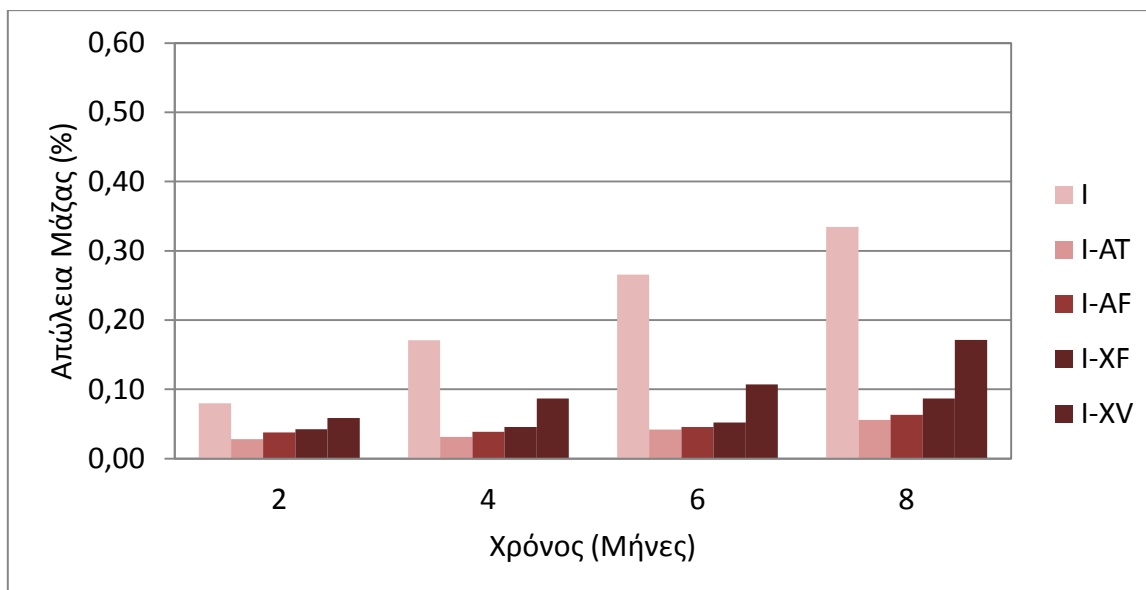
Σχήμα 8.59. Συγκριτικό διάγραμμα δυναμικού διάβρωσης των χαλύβων των δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 και όλες τις επικαλύψεις συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.



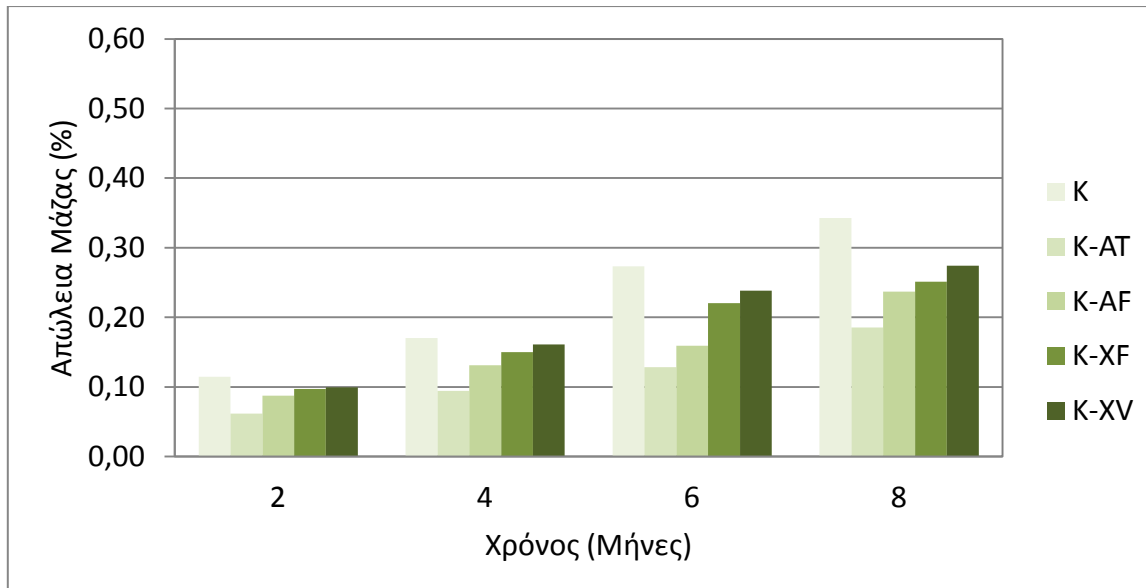
Σχήμα 8.60. Συγκριτικό διάγραμμα δυναμικού διάβρωσης των χαλύβων των δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και όλες τις επικαλύψεις συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.



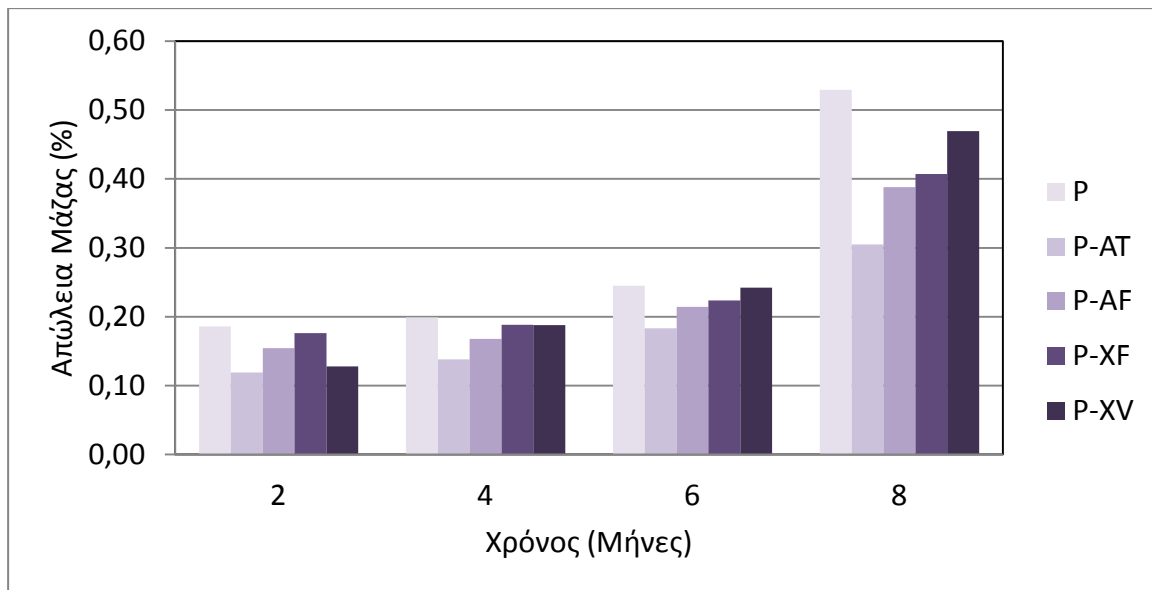
Σχήμα 8.61. Συγκριτικό διάγραμμα απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32,5 και όλες τις επικαλύψεις συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.62. Συγκριτικό διάγραμμα απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 42,5 και όλες τις επικαλύψεις συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



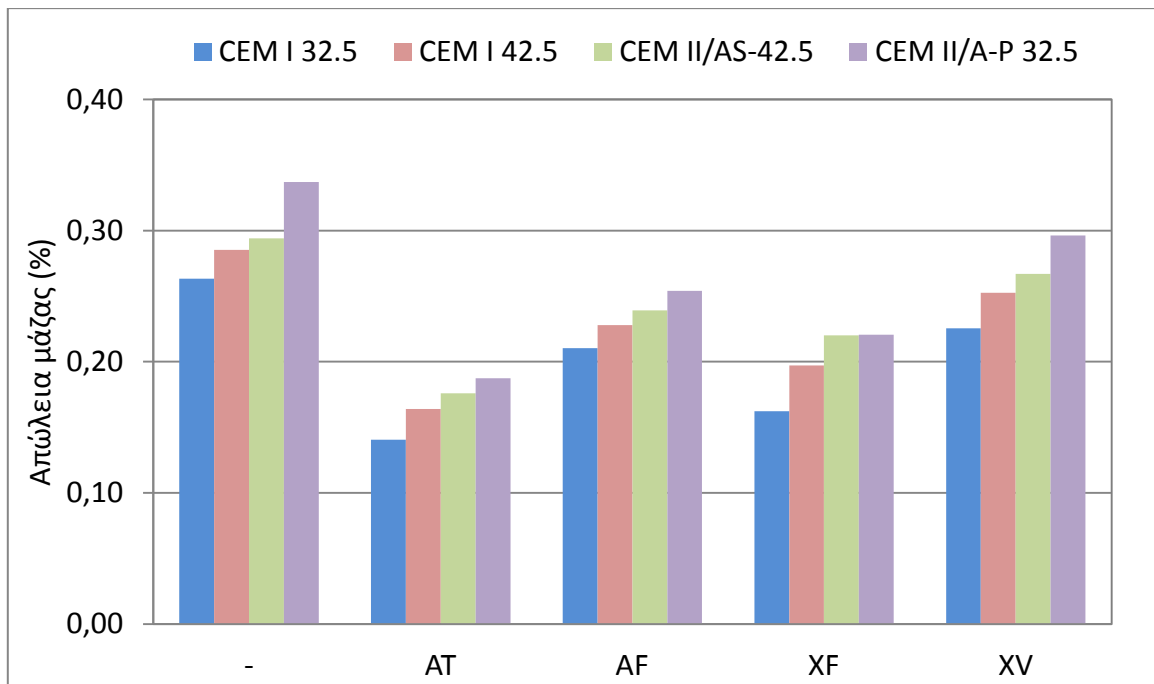
Σχήμα 8.63. Συγκριτικό διάγραμμα απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/A-S 42,5 και όλες τις επικαλύψεις συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.64. Συγκριτικό διάγραμμα απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32,5 και όλες τις επικαλύψεις συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

3. Στην έκθεση των επικαλυμμένων και μη δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος με όλα τα τσιμέντα (CEM I 32.5, CEM I 42.5, CEM II/A-S 42.5 και CEM II/B-M 32.5) και όλες τις επικαλύψεις (ακρυλική διασπορά με TiO_2 , ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου, χλωριωμένο καουτσούκ με πιγμέντο οξείδια σιδήρου και βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ) σε ατμοσφαιρική διάβρωση στο περιβάλλον της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, με χρόνο έκθεσης 36 μήνες (σχήμα 8.65), τα επικαλυμμένα δοκίμια παρουσίασαν μικρότερη απώλεια μάζας από τα μη επικαλυμμένα. Συγκρίνοντας τα επικαλυμμένα δοκίμια μεταξύ τους προέκυψε ότι τα καλύτερα αποτελέσματα έδωσε η ακρυλική διασπορά με πιγμέντο TiO_2 . Στην περίπτωση αυτή, η καλύτερη συμπεριφορά της οργανικής επικάλυψης με πιγμέντο TiO_2 αποδίδεται στο ανοικτό χρώμα της σε σύγκριση με τις υπόλοιπες επικαλύψεις (απόχρωσης καφέ). Το ανοικτό χρώμα αντανακλά τις ακτίνες του ήλιου και επομένως έχει τη μικρότερη επίδραση από τη UV ακτινοβολία. Τη χειρότερη συμπεριφορά παρουσίασε το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ. Αυτό αποδίδεται στην έλλειψη πιγμέντου, οπότε η ρητίνη του είναι περισσότερο εκτεθειμένη από ότι των επικαλύψεων (που περιέχουν πιγμέντο).

Τα ίδια αποτελέσματα προκύπτουν από τη μέτρηση του βάθους ενανθράκωσης των δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος μετά από παρέλευση 36 μηνών.



Σχήμα 8.65. Απώλεια μάζας (%) σπλισμών επικαλυμμένων και μη δοκιμίων κισσηροκονιάματος με όλα τα τσιμέντα σε ατμοσφαιρική διάβρωση (χρόνος έκθεσης 36 μήνες).

4. Η εξέταση της διάχυσης των χλωριόντων διαμέσου των οργανικών επικαλύψεων στα κισσηροκονιάματα κατέδειξε ότι όλες οι επικαλύψεις παρεμπόδισαν τα χλωριόντα (σύγκριση επικαλυμμένων και μη δοκιμίων). Τα κισσηροκονιάματα με την ακρυλική διασπορά με TiO_2 και την επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ με πιγμέντο οξείδια σιδήρου παρουσίασαν τη χαμηλότερη διάχυση χλωριόντων, έχοντας μικρές διαφορές μεταξύ τους. Αντίθετα, το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ παρουσίασε μεγαλύτερη διαπερατότητα χλωριόντων.

8.3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΙΙΙ: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΙΔΟΥΣ ΧΑΛΥΒΑ ΣΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Σε αυτήν την ενότητα εξετάζεται η κατηγορία δοκιμών ΙΙΙ, η οποία περιλαμβάνει 12 πρισματικά δοκίμια οπλισμένου κισσηροκονιάματος διαστάσεων 80×80×100 mm, με 4 χαλύβδινους οπλισμούς σκυροδέματος, είτε **S220**, είτε **S400** ή **S500s**, διαμέτρου 12 mm και ύψους 100 mm, που κατασκευάστηκαν με σταθερή αναλογία «τσιμέντο : κίσηρη λεπτή : νερό» «1 : 3 : 0.85». Οι χάλυβες S220 ήταν λείοι, ενώ οι S400 και S500s ήταν νευροχάλυβες με εξέχουσες, ανάγλυφες νευρώσεις. Χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο CEM ΙΙ/Β-Μ 32.5 και τα δοκίμια επικαλύφθηκαν με ανόργανη επικάλυψη με βάση την υδρύαλο απόχρωσης λευκής (επικάλυψη Υ). Οι κατηγορίες και οι αναλογίες σύστασης των δοκιμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.34.

Πίνακας 8.34. Κατηγορίες και αναλογίες σύστασης δοκιμών

Κωδικός	Χάλυβας	Τσιμέντο CEM ΙΙ/Β-Μ 32.5	Κίσηρη (0-5)	Νερό	Επικάλυψη
S2	S220	1	3	0.85	Υ
S4	S400	1	3	0.85	Υ
S5	S500s	1	3	0.85	Υ

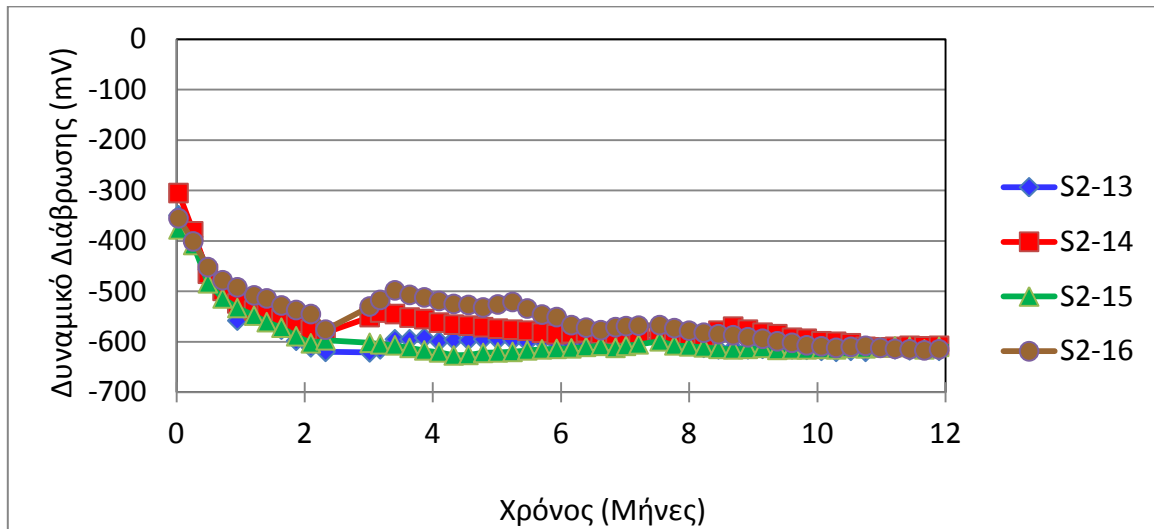
Η μελέτη της επίδρασης του είδους του χάλυβα στη διάβρωση του οπλισμού των δοκιμών κισσηροκονιαμάτων, έγινε με έκθεση των δοκιμών στο διαβρωτικό περιβάλλον υδατικού διαλύματος 3,5% κ.β. NaCl (μερική εμβάπτιση μέχρις ύψους 2cm) για συνολικό διάστημα δώδεκα μηνών προσομοιάζοντας το θαλάσσιο περιβάλλον. Στα δοκίμια αυτά πραγματοποιήθηκαν:

- Χρονική καταγραφή του δυναμικού διάβρωσης (E_{CORR}) ή δυναμικού ανοικτού κυκλώματος (E_{OCP}) των οπλισμών ως προς ηλεκτρόδιο αναφοράς κορεσμένου καλομέλανα (SCE) συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91. Κάθε τιμή προκύπτει ως ο μέσος όρος των τιμών των τεσσάρων οπλισμών σε κάθε δοκίμιο. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι τιμές του μετρούμενου δυναμικού διάβρωσης αποτελούν ένδειξη για την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο οπλισμός στο κονίαμα και για το ηλεκτρόδιο αναφοράς κορεσμένου καλομέλανα (SCE) οι τιμές διαμορφώνονται όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.2.
- Υπολογισμός της (%) απώλειας μάζας των οπλισμών. Η απώλεια μάζας των οπλισμών για κάθε χρονικό διάστημα υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος της απώλειας μάζας των τεσσάρων οπλισμών του πρισματικού δοκιμίου οπλισμένου κονιάματος. Η Απώλεια Μάζας προκύπτει ως η διαφορά της αρχικής μάζας ($m_{αρχ}$) μείον την τελική μάζα ($m_{τελ}$) σε γραμμάρια και κατόπιν υπολογίζεται η % Απώλεια Μάζας ως ο λόγος της απώλειας μάζας προς την αρχική μάζα.
- Υπολογισμός του βάθους ενανθράκωσης στα κισσηροκονιάματα σύμφωνα με το πρότυπο BS EN 14630-2006.

8.3.1. Χρονική εξέλιξη του δυναμικού διάβρωσης των οπλισμών

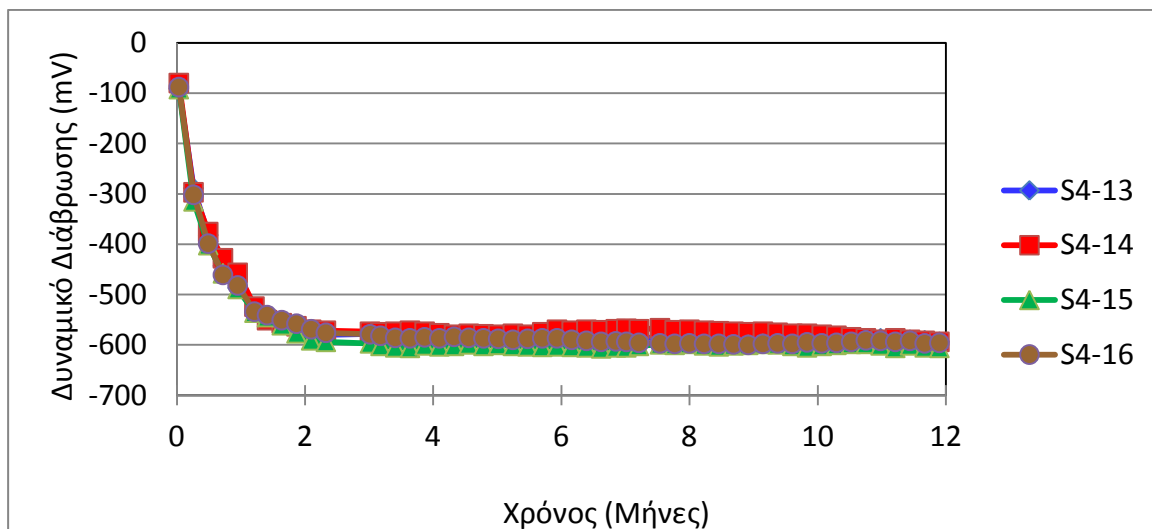
Το δυναμικό διάβρωσης μετρήθηκε σε τακτά χρονικά διαστήματα σε όλους τους οπλισμούς ως προς ηλεκτρόδιο αναφοράς κορεσμένου καλομέλανα SCE. Τα αναλυτικά αποτελέσματα του δυναμικού διάβρωσης για κάθε οπλισμό παρατίθενται σε Πίνακες στο Παράρτημα. Στα σχήματα 8.66 έως 8.68 παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις του

δυναμικού διάβρωσης συναρτήσει του χρόνου για τα δοκίμια των τριών κατηγοριών χάλυβα S220, S400 και S500s.



Σχήμα 8.66. Δυναμικό διάβρωσης των χάλυβων S220 του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

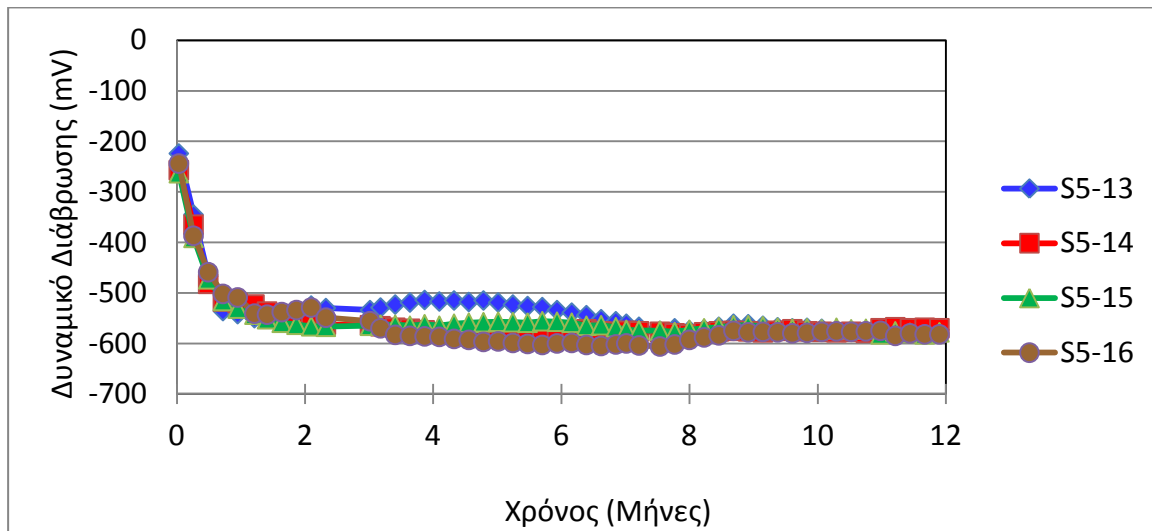
Όπως φαίνεται στο ανωτέρω διάγραμμα το δυναμικό διάβρωσης όλων των χάλυβων παρουσιάζει στην αρχή πτώση των δυναμικών προς τα -550mV με -600mV, όπου και τελικά σταθεροποιούνται μέχρι το τέλος της περιόδου έκθεσης. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι οπλισμοί παρουσιάζουν διάβρωση σε εκτεταμένο βαθμό.



Σχήμα 8.67. Δυναμικό διάβρωσης των χάλυβων S400 του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζουν οι χάλυβες κατηγορίας S400, όπως φαίνεται στο ανωτέρω διάγραμμα, όπου το δυναμικό διάβρωσης παρουσιάζει μέχρι τον δεύτερο

μήνα πτώση των δυναμικών προς τα -600mV , όπου και τελικά σταθεροποιούνται μέχρι το τέλος της περιόδου έκθεσης. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι οπλισμοί παρουσιάζουν διάβρωση σε εκτεταμένο βαθμό.



Σχήμα 8.68. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων S500s του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

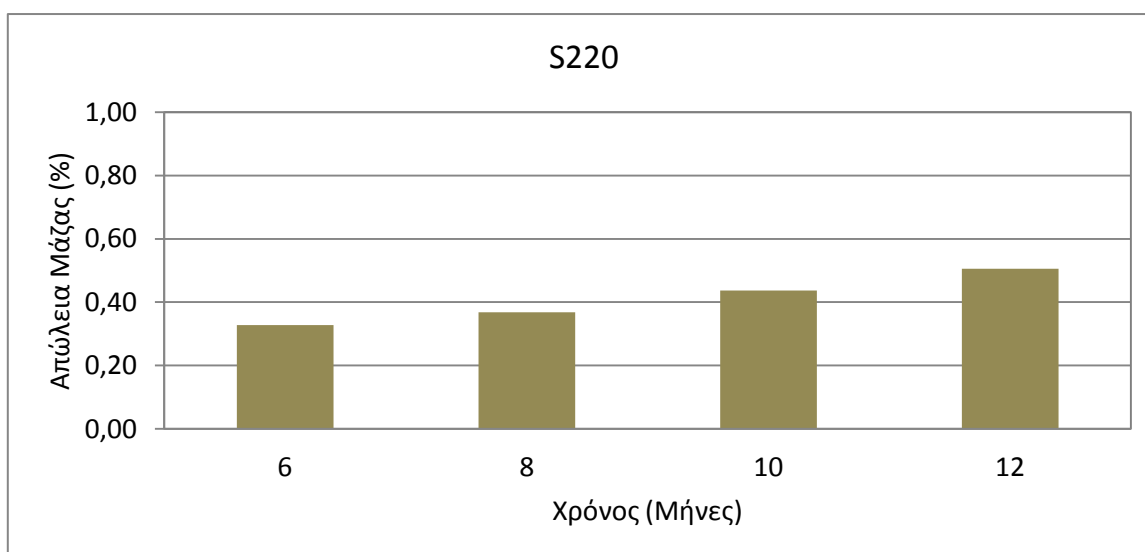
Από το ανωτέρω διάγραμμα των χαλύβων κατηγορίας S500s φαίνεται η αντίστοιχη πτώση των δυναμικών προς τα -580mV περίπου, όπου και τελικά σταθεροποιούνται μέχρι το τέλος της περιόδου έκθεσης. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι οπλισμοί παρουσιάζουν διάβρωση σε εκτεταμένο βαθμό.

8.3.2. Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών

Η (%) απώλεια μάζας των οπλισμών υπολογίστηκε μετά από δύο, τέσσερις, έξι και οκτώ μήνες έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Στους Πίνακες 8.35 έως 8.37 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα απώλειας μάζας συναρτήσει του χρόνου για τα δοκίμια και των τριών κατηγοριών χάλυβα S220, S400 και S500s και στα σχήματα 8.69 έως 8.71 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Πίνακας 8.35. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με χάλυβα S220 (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

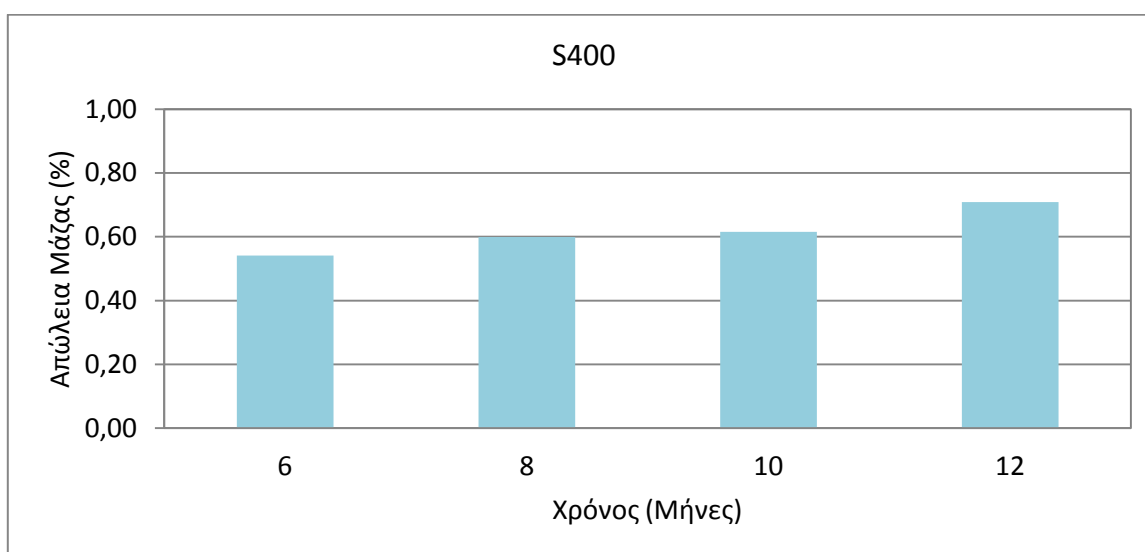
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
S2-1	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	84,7469	84,4786	0,2683	0,317
S2-2		89,7755	89,5092	0,2663	0,297
S2-3		82,0136	81,7220	0,2916	0,356
S2-4		85,4970	85,2054	0,2916	0,341
M.O.				0,2794	0,327
Τυπ.απόκλιση				<i>0,0141</i>	<i>0,0261</i>
S2-5	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	88,4569	88,1483	0,3086	0,349
S2-6		89,8122	89,4923	0,3199	0,356
S2-7		86,8888	86,5376	0,3512	0,404
S2-8		92,3670	92,0310	0,3360	0,364
M.O.				0,3289	0,368
Τυπ.απόκλιση				<i>0,0186</i>	<i>0,0247</i>
S2-9	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	83,0794	82,6957	0,3837	0,462
S2-10		88,3761	87,9850	0,3911	0,443
S2-11		89,8012	89,4266	0,3746	0,417
S2-12		93,7384	93,3403	0,3981	0,425
M.O.				0,3869	0,437
Τυπ.απόκλιση				<i>0,0101</i>	<i>0,0199</i>
S2-13	Χρόνος έκθεσης 12 μήνες	89,3452	88,8715	0,4737	0,530
S2-14		88,5431	88,0920	0,4511	0,509
S2-15		90,6740	90,2394	0,4346	0,479
S2-16		91,5409	91,0788	0,4621	0,505
M.O.				0,4554	0,506
Τυπ.απόκλιση				<i>0,0166</i>	<i>0,0209</i>



Σχήμα 8.69. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος με χάλυβα S220 συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.36. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίων με χάλυβα S400 (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

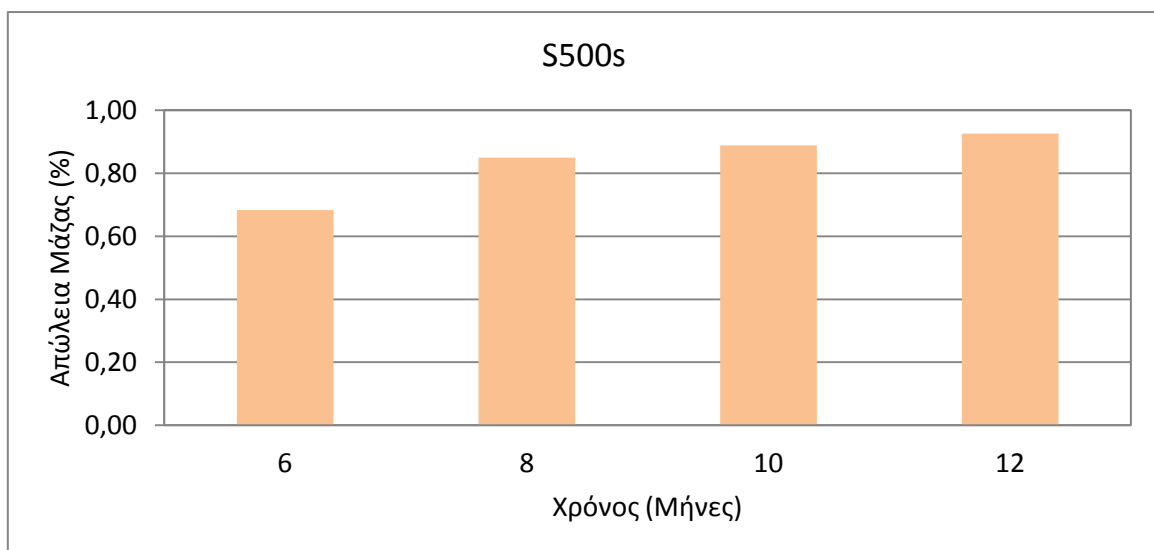
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
S4-1	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	84,6821	84,2224	0,4597	0,543
S4-2		84,9370	84,4685	0,4685	0,552
S4-3		81,9661	81,5313	0,4348	0,530
S4-4		83,3237	82,8732	0,4505	0,541
Μ.Ο.					0,4534
<i>Τυπ.απόκλιση</i>				<i>0,0144</i>	<i>0,0087</i>
<hr/>					
S4-5	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	84,1717	83,6437	0,5280	0,627
S4-6		85,5244	85,0228	0,5016	0,586
S4-7		83,0379	82,5458	0,4921	0,593
S4-8		89,4821	88,9533	0,5288	0,591
Μ.Ο.					0,5126
<i>Τυπ.απόκλιση</i>				<i>0,0186</i>	<i>0,0188</i>
<hr/>					
S4-9	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	84,1305	83,6070	0,5235	0,622
S4-10		81,5570	81,0068	0,5502	0,675
S4-11		83,8236	83,3292	0,4944	0,590
S4-12		89,4797	88,9637	0,5160	0,577
Μ.Ο.					0,5210
<i>Τυπ.απόκλιση</i>				<i>0,0230</i>	<i>0,0436</i>
<hr/>					
S4-13	Χρόνος έκθεσης 12 μήνες	89,5623	88,9608	0,6015	0,672
S4-14		88,5124	87,8945	0,6179	0,698
S4-15		85,6569	85,0292	0,6277	0,733
S4-16		84,2274	83,6093	0,6181	0,734
Μ.Ο.					0,6163
<i>Τυπ.απόκλιση</i>				<i>0,0109</i>	<i>0,0300</i>



Σχήμα 8.70. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος με χάλυβα S400 συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.37. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με χάλυβα S500s (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

Κωδικός	$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
S5-1	90,0690	89,4742	0,5948	0,660
S5-2	87,3501	86,7504	0,5997	0,687
S5-3	83,5425	82,9635	0,5790	0,693
S5-4	87,7181	87,1110	0,6071	0,692
M.O.			0,5952	0,683
Τυπ. απόκλιση			0,0119	0,0154
Χρόνος έκθεσης 6 μήνες				
S5-5	86,6778	85,9153	0,7625	0,880
S5-6	90,3452	89,5734	0,7718	0,854
S5-7	90,0236	89,2686	0,7550	0,839
S5-8	89,7938	89,0552	0,7386	0,823
M.O.			0,7570	0,849
Τυπ. απόκλιση			0,0140	0,0243
Χρόνος έκθεσης 8 μήνες				
S5-9	94,9410	94,1424	0,7986	0,841
S5-10	86,9366	86,1480	0,7886	0,907
S5-11	86,2654	85,4693	0,7961	0,923
S5-12	87,8675	87,0981	0,7694	0,876
M.O.			0,7882	0,887
Τυπ. απόκλιση			0,0132	0,0361
Χρόνος έκθεσης 10 μήνες				
S5-13	87,3854	86,5895	0,7959	0,911
S5-14	88,3987	87,5665	0,8322	0,941
S5-15	86,5369	85,7367	0,8002	0,925
S5-16	85,2124	84,4214	0,7910	0,928
M.O.			0,8048	0,926
Τυπ. απόκλιση			0,0186	0,0126
Χρόνος έκθεσης 12 μήνες				

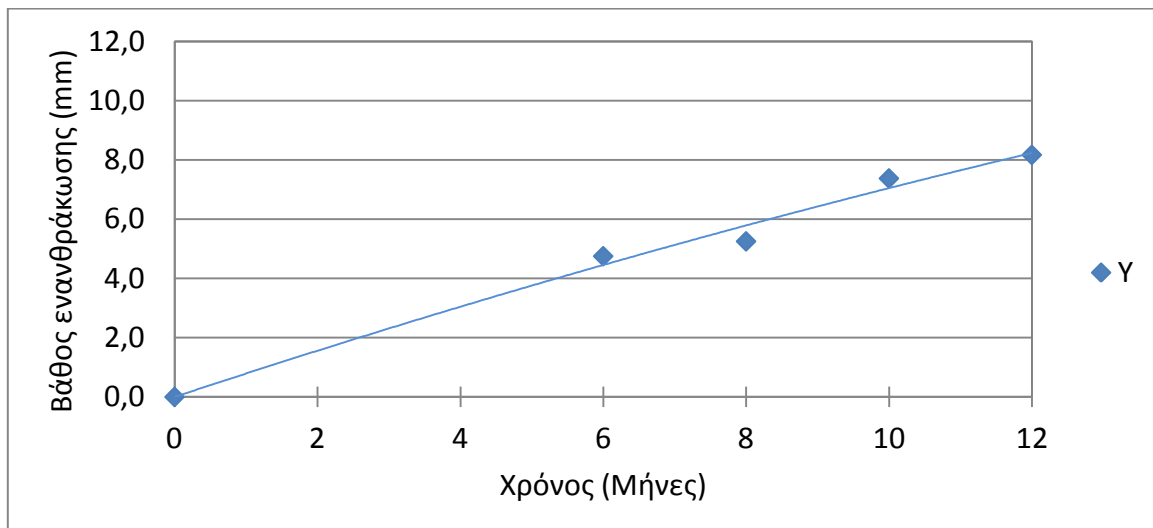


Σχήμα 8.71. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος με χάλυβα S500s συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Από τους πίνακες αυτούς και τα διαγράμματα, και στις τρεις κατηγορίες χαλύβων στα δοκίμια κισσηροκονιάματος, παρατηρείται αύξηση της ποσοστιαίας επί τοις εκατό απώλειας μάζας των οπλισμών με την αύξηση του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμφάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Ο ρυθμός αύξησης είναι μικρός και στις τρεις κατηγορίες χαλύβων. Η ποιότητα χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος παρουσιάζει τη μικρότερη απώλεια μάζας, ακολουθούμενη από την ποιότητα S400 και τέλος τη μεγαλύτερη διάβρωση παρουσιάζει η ποιότητα S500s.

8.3.3. Βάθος ενανθράκωσης

Το βάθος ενανθράκωσης μετρήθηκε στα θραυσμένα τμήματα των κισσηροκονιαμάτων από δοκίμια με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και την ανόργανη επικάλυψη με βάση την υδρύαλο μετά από 6, 8, 10 και 12 μήνες έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμφάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Στο σχήμα 8.72 παρουσιάζεται το διάγραμμα με τις τιμές βάθους ενανθράκωσης.



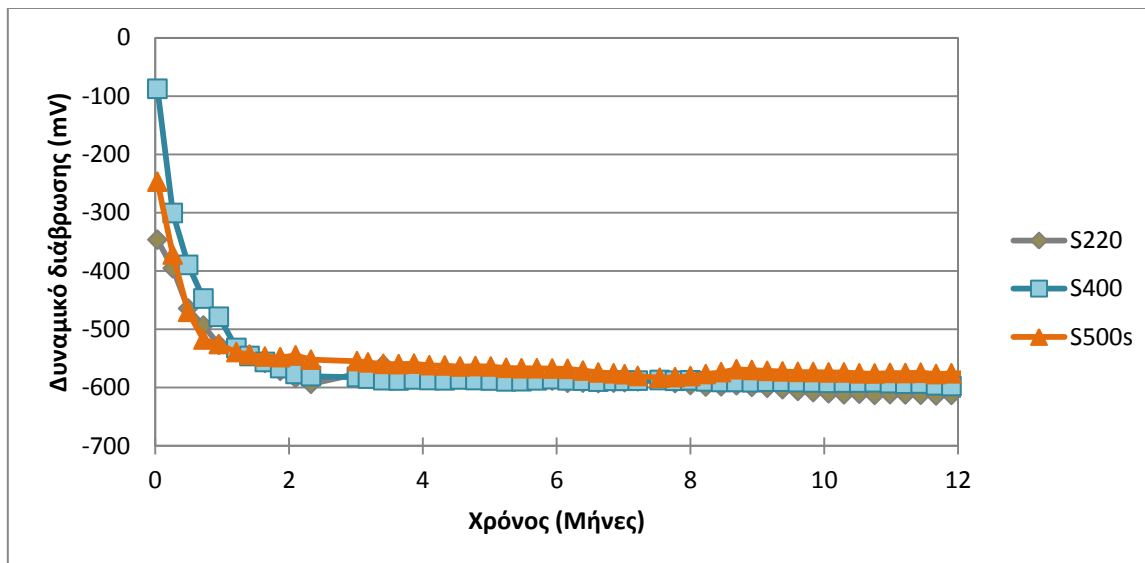
Σχήμα 8.72. Βάθος ενανθράκωσης για δοκίμια με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και την ανόργανη επικάλυψη με βάση την υδρύαλο στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμφάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Από το ανωτέρω σχήμα και με σύγκριση με τις τιμές του βάθους ενανθράκωσης δοκιμίων με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και τις τέσσερις προηγούμενες επικαλύψεις (σχήμα 8.48), προκύπτει ότι και η ανόργανη επικάλυψη με βάση την υδρύαλο μειώνει το βάθος ενανθράκωσης (η μείωση αυτή είναι της τάξης του 50% στους 8 μήνες έκθεσης). Η μείωση αυτή είναι μικρότερη αυτής που προσέφερε η ακρυλική διασπορά με TiO_2 , αλλά η ακρυλική διασπορά δημιουργεί φιλμ στην επιφάνεια του σκυροδέματος, που εμποδίζει τη διείδυση του διοξειδίου του άνθρακα στο σκυρόδεμα, εν αντιθέσει με την ανόργανη επικάλυψη που δεν σχηματίζει φιλμ.

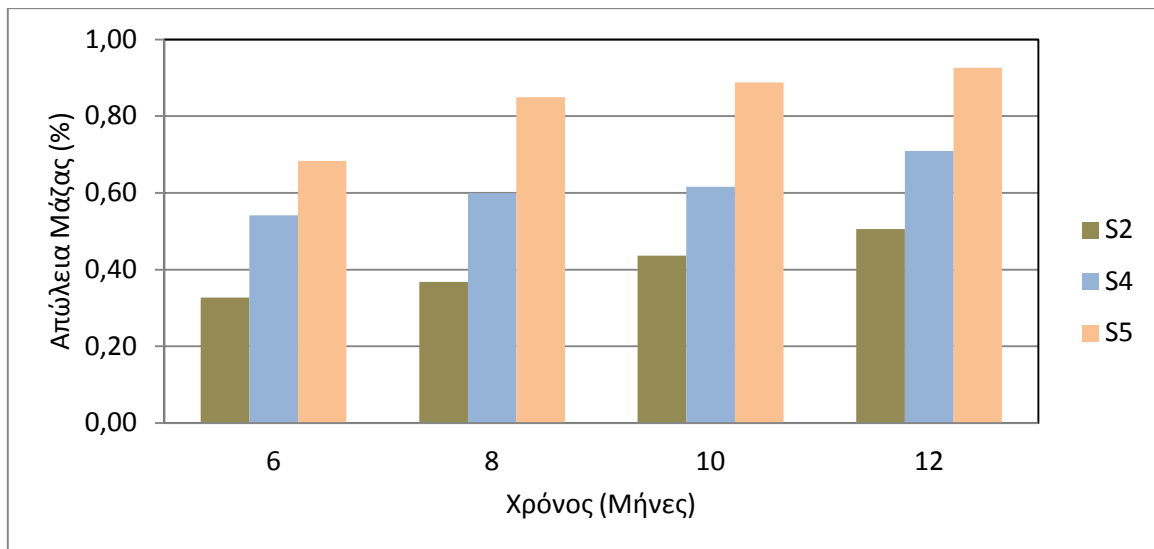
8.3.4. Τρίτο μερικό συμπέρασμα

Εξετάζοντας τη διάβρωση διαφόρων ειδών χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος (ΧΟΣ) (S220, S400 και S500s) σε δοκίμια κισσηροκονιάματος μετά από 6, 8, 10 και 12 μήνες έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl, δεν προκύπτει κάποια σημαντική διαφοροποίηση της συμπεριφοράς των οπλισμών από την πορεία του δυναμικού διάβρωσης με τον χρόνο (σχήμα 8.73). Εξετάζοντας όμως την πορεία της απώλειας μάζας με τον χρόνο (σχήμα 8.74), προκύπτει ότι η ποιότητα ΧΟΣ S220 παρουσιάζει τη μικρότερη απώλεια μάζας. Ακολουθεί η ποιότητα S400 και τη μεγαλύτερη διάβρωση παρουσιάζει η ποιότητα S500s. Η απώλεια μάζας των ΧΟΣ S220 είναι κατά 45% μικρότερη αυτής των ΧΟΣ S500s, ενώ είναι κατά 29% μικρότερη αυτής των ΧΟΣ S400. Η μικρότερη διάβρωση των οπλισμών S220 οφείλεται στην απουσία νευρώσεων. Οι νευρώσεις που έχουν σχηματιστεί με εξέλαση του χάλυβα δημιουργούν τοπικά γαλβανικά στοιχεία. Οι δυο τύποι χάλυβα με νευρώσεις προκύπτουν από την κατηγορία S220 μετά από εφελκυσμό με θερμική κατεργασία. Η όλη διαδικασία προκαλεί αύξηση της εσωτερικής ενέργειας των Χ.Ο.Σ. με αποτέλεσμα την αύξηση της διάβρωσής τους. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τις δοκιμές διάβρωσης των ιδίων ποιοτήτων Χ.Ο.Σ. σε αέρα, νερό βρύσης και διάλυμα NaCl (Batis and Rakanta, 2005).

Οι νευρώσεις έχουν σκοπό τη βελτίωση της ικανότητας συνάφειας - πρόσφυσης του χάλυβα στο σκυρόδεμα, ιδιαίτερα αναγκαίας στις σεισμικές περιοχές, στις οποίες υπάρχει πρόβλημα μείωσης της συνάφειας από την εναλλασσόμενη φόρτιση.



Σχήμα 8.73. Συγκριτικό διάγραμμα δυναμικού διάβρωσης χαλύβων S220, S400 και S500s δοκιμών κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και την ανόργανη επικάλυψη με βάση την υδρύαλο, συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.74. Συγκριτικό διάγραμμα απώλεια μάζας (%) χαλύβων S220, S400 και S500s δοκιμίων κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και την ανόργανη επικάλυψη με βάση την υδρύαλο, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

8.4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ IV: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΚΟΚΚΩΝ ΑΔΡΑΝΟΥΣ

Σε αυτήν την ενότητα εξετάζεται η κατηγορία δοκιμών IV, η οποία περιλαμβάνει 60 πρισματικά δοκίμια οπλισμένου κισσηροκονιάματος διαστάσεων 80×80×100 mm, με 4 χαλύβδινους οπλισμούς σκυροδέματος, διαμέτρου 12 mm και ύψους 100 mm. Χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και τρεις κοκκομετρίες κίσηρης: Λεπτή κίσηρη (“Special Besser”), μεσαία κίσηρη (“Besser”) και χονδρή κίσηρη (“German”). Στα δοκίμια που κατασκευάστηκαν με τη χονδρή κίσηρη προστέθηκε ρευστοποιητής. Επίσης χρησιμοποιήθηκε φθοριούχο λίθιο (LiF) για την αποφυγή τυχόν αλκαλοπυριτικής αντίδρασης (ASR). Δοκίμια όλων των κοκκομετριών κίσηρης επικαλύφθηκαν με την ακρυλική διασπορά με κύριο πιγμέντο TiO₂. Οι κατηγορίες και οι αναλογίες σύστασης των δοκιμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.38.

Οι τρεις διαφορετικές αναλογίες μεταξύ μεσαίας και χονδρής κίσηρης για τα δοκίμια οπλισμένου κισσηροκονιάματος είχαν προταθεί για περαιτέρω διερεύνηση από τη Σκωτσέζικη Εταιρία “STATS Consultant Engineers and Materials Scientists”, η οποία είχε αναλάβει μια προκαταρκτική έρευνα κατ’ αρχήν για την καταλληλότητα της κίσηρης για την κατασκευή ελαφροβαρών δομικών μονάδων. Στη συνέχεια δοκίμασαν διάφορες αναλογίες μεταξύ μεσαίας και χονδρής κίσηρης με σκοπό τον βέλτιστο σχεδιασμό σύνθεσης, ώστε το σκυρόδεμα που θα προέκυπτε να έχει ικανοποιητικές αντοχές και θερμικά χαρακτηριστικά, ενώ ταυτόχρονα θα είχε και τις κατάλληλες πλαστικές ιδιότητες για την κατασκευή δομικών μονάδων. Για μεγιστοποίηση των θερμικών ιδιοτήτων ήταν επιθυμητή η μείωση του ποσοστού της μεσαίας κίσηρης σε ένα ελάχιστο που θα μείωνε την πυκνότητα του σκυροδέματος, αλλά θα έπρεπε να είναι επαρκές ώστε το σκυρόδεμα να μπορεί να πάρει τη μορφή του φορέα που σκυροδετείται χωρίς να προκύπτουν κενά στη νωπή κατάσταση. Η έρευνα πολλών δοκιμαστικών παρτίδων με διάφορες αναλογίες μεσαίας / χονδρή κίσηρη κατέληξαν στις αναλογίες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Πίνακας 8.38. ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ 4. Κατηγορίες και αναλογίες σύστασης δοκιμών.

Κωδικός	Τσιμέντο	Κίσηρη (0÷5)	Κίσηρη (0÷8)	Κίσηρη (8÷16)	Νερό	Πρόσθετο	Επικάλυψη
SB	1	3			1		
B	1		3		1		
BG	1		0.65	1.90	0.7	0.12T3	
BG2	1		0.56	1.60	0.6	0.13T3	
BG3	1		0.70	2.30	0.8	0.10T3	
SB-AT	1	3			1		AT
B-AT	1		3		1		AT
BG-AT	1		0.65	1.90	0.7	0.12T3	AT
BG2-AT	1		0.56	1.60	0.6	0.13T3	AT
BG3-AT	1		0.70	2.30	0.8	0.10T3	AT
SB-LF	0.99	3			1	0.01 LiF	
B-LF	0.99		3		1	0.01 LiF	

Η μελέτη της επίδρασης της κοκκομετρίας της κίσηρης, του προσθέτου και της

ακρυλικής επικάλυψης στη διάβρωση του οπλισμού των δοκιμίων κισσηροκονιαμάτων, έγινε με έκθεση των δοκιμίων:

Α. στο διαβρωτικό περιβάλλον υδατικού διαλύματος 3,5% κ.β. NaCl (μερική εμβάπτιση μέχρι ύψους 2cm) για συνολικό διάστημα δέκα μηνών προσομοιάζοντας το θαλάσσιο περιβάλλον. Στα δοκίμια αυτά πραγματοποιήθηκαν:

- Χρονική καταγραφή του δυναμικού διάβρωσης (E_{CORR}) ή δυναμικού ανοικτού κυκλώματος (E_{OCP}) των οπλισμών ως προς ηλεκτρόδιο αναφοράς κορεσμένου καλομέλανα (SCE) συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91. Κάθε τιμή προκύπτει ως ο μέσος όρος των τιμών των τεσσάρων οπλισμών σε κάθε δοκίμιο. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι τιμές του μετρούμενου δυναμικού διάβρωσης αποτελούν ένδειξη για την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο οπλισμός στο κονίαμα και για το ηλεκτρόδιο αναφοράς κορεσμένου καλομέλανα (SCE) οι τιμές διαμορφώνονται όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.2.

- Υπολογισμός της (%) απώλειας μάζας των οπλισμών. Η απώλεια μάζας των οπλισμών για κάθε χρονικό διάστημα υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος της απώλειας μάζας των τεσσάρων οπλισμών του πρισματικού δοκιμίου οπλισμένου κονιάματος. Η Απώλεια Μάζας προκύπτει ως η διαφορά της αρχικής μάζας ($m_{αρχ}$) μείον την τελική μάζα ($m_{τελ}$) σε γραμμάρια και κατόπιν υπολογίζεται η % Απώλεια Μάζας ως ο λόγος της απώλειας μάζας προς την αρχική μάζα.

- Μέτρηση του βάθους ενανθράκωσης.

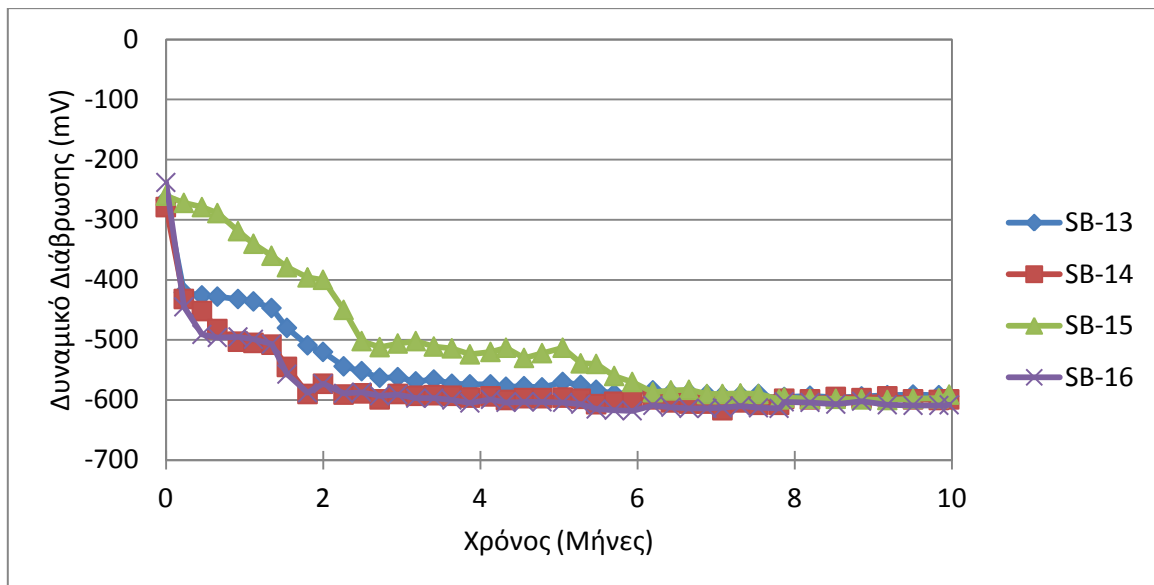
Β. Σε ατμοσφαιρική διάβρωση. Οπλισμένα δοκίμια κισσηροκονιάματος εκτέθηκαν για διάστημα 36 μηνών στο περιβάλλον στην ταράτσα του κτιρίου Χημικών Μηχανικών στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Στα δοκίμια αυτά πραγματοποιήθηκαν:

- Υπολογισμός της (%) απώλειας μάζας των οπλισμών, που προκύπτει από τη διαφορά της αρχικής μάζας μείον την τελική μάζα του οπλισμού προς την αρχική μάζα. Κάθε τιμή προκύπτει ως ο μέσος όρος των τιμών των τεσσάρων οπλισμών σε κάθε δοκίμιο.

8.4.1. Διάβρωση μέσης διάρκειας με μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl

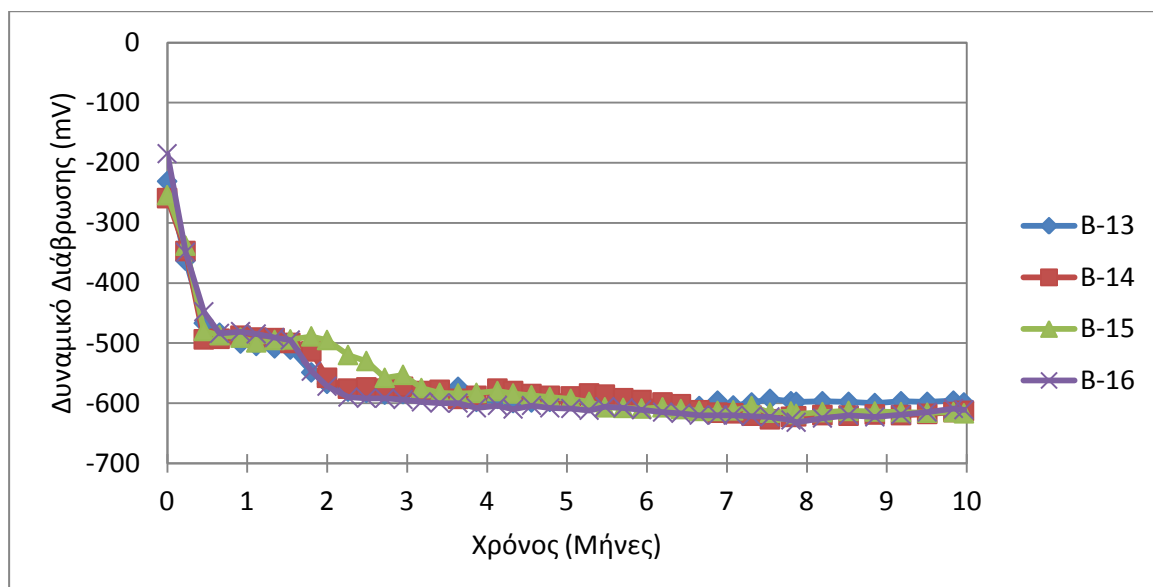
8.4.1.1. Χρονική εξέλιξη του δυναμικού διάβρωσης των οπλισμών

Το δυναμικό διάβρωσης των δοκιμίων κισσηροκονιαμάτων και κισσηροσκυροδεμάτων με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 για συνολικό χρόνο έκθεσης δέκα μηνών στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl μετρήθηκε σε τακτά χρονικά διαστήματα σε όλους τους οπλισμούς ως προς ηλεκτρόδιο αναφοράς κορεσμένου καλομέλανα SCE. Τα αναλυτικά αποτελέσματα του δυναμικού διάβρωσης για κάθε οπλισμό παρατίθενται σε Πίνακες στο Παράρτημα. Στα σχήματα 8.75 έως 8.79 παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις του δυναμικού διάβρωσης συναρτήσει του χρόνου όλων των διαφορετικών κοκκομετριών κίσηρης δοκιμίων χωρίς επικάλυψη.

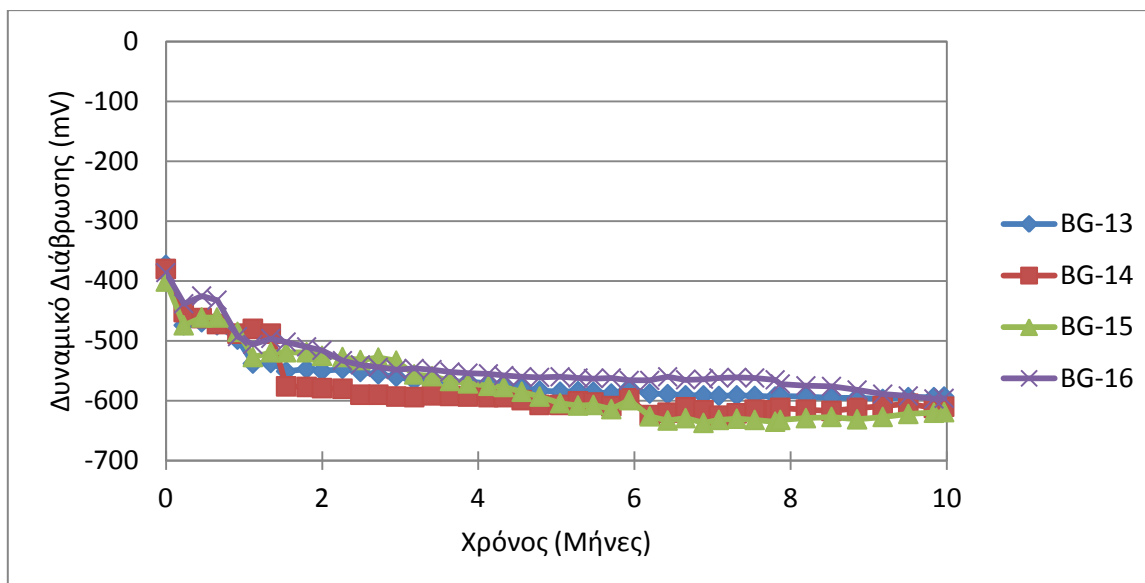


Σχήμα 8.75. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και λεπτή κίσσηρη (0-5 mm) συναρτήσεϊ του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα, το δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων παρουσιάζει στην αρχή πτώση των δυναμικών από τα -250mV---300mV προς τα -600mV, όπου μετά τον έκτο μήνα σταθεροποιούνται μέχρι το τέλος της περιόδου έκθεσης. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι σπλισμοί παρουσιάζουν διάβρωση σε εκτεταμένο βαθμό.

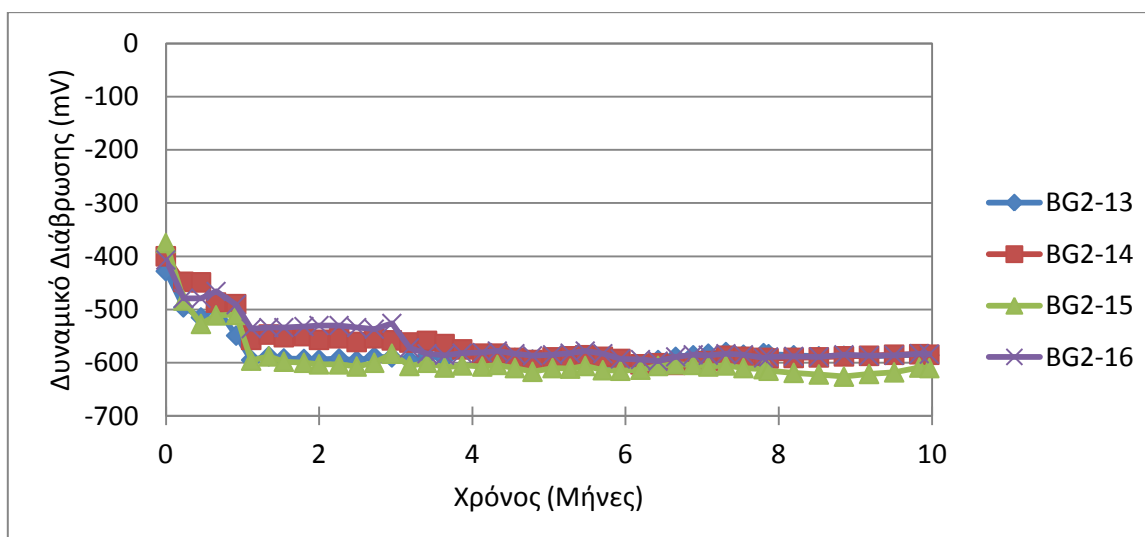


Σχήμα 8.76. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και μεσαία κίσσηρη (0-8 mm) συναρτήσεϊ του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

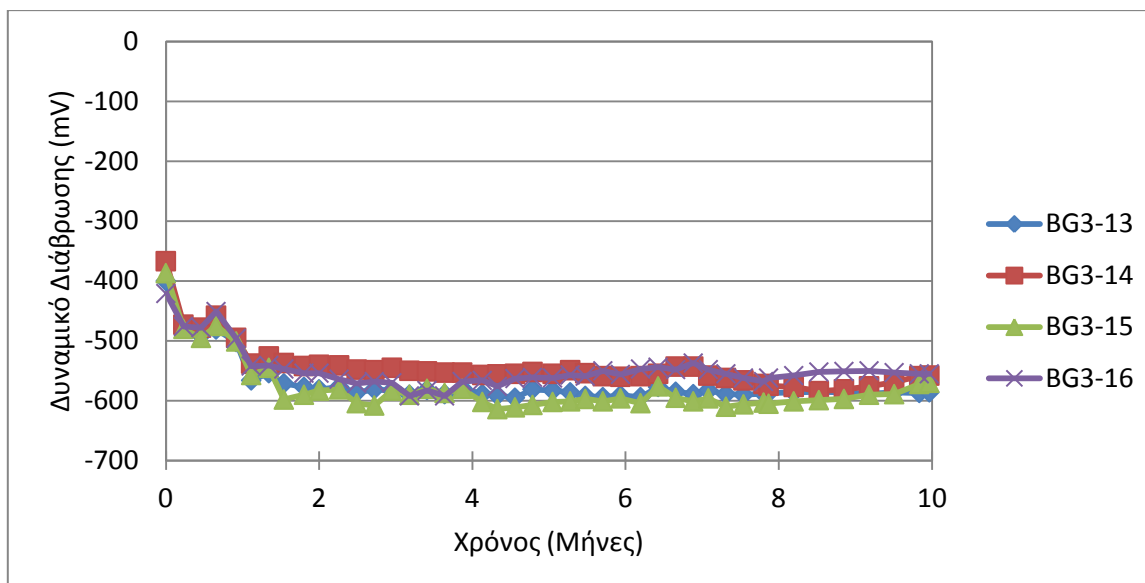


Σχήμα 8.77. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και τον πρώτο συνδυασμό μεσαίας (0-8 mm) και χονδρής (8-16 mm) κίσηρης συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Παρόμοια εικόνα παρουσιάζουν οι σπλισμοί στα ανωτέρω διαγράμματα, όπου το δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων παρουσιάζει από πολύ νωρίς πτώση των δυναμικών προς τα -600mV, όπου και σταθεροποιούνται μέχρι το τέλος της περιόδου έκθεσης. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι σπλισμοί παρουσιάζουν διάβρωση σε εκτεταμένο βαθμό.



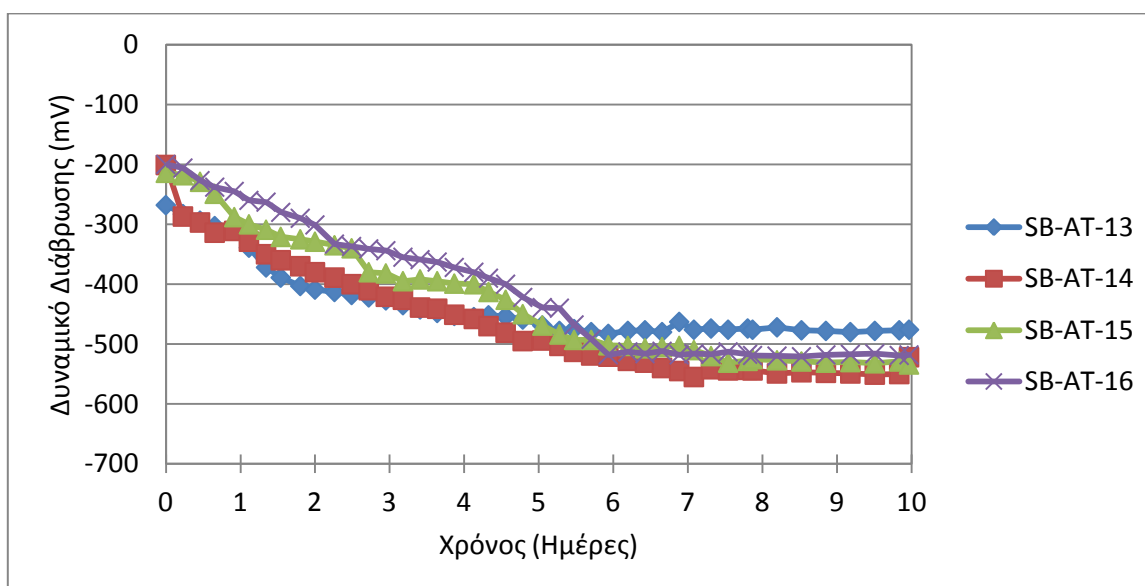
Σχήμα 8.78. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και τον δεύτερο συνδυασμό μεσαίας και χονδρής κίσηρης συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



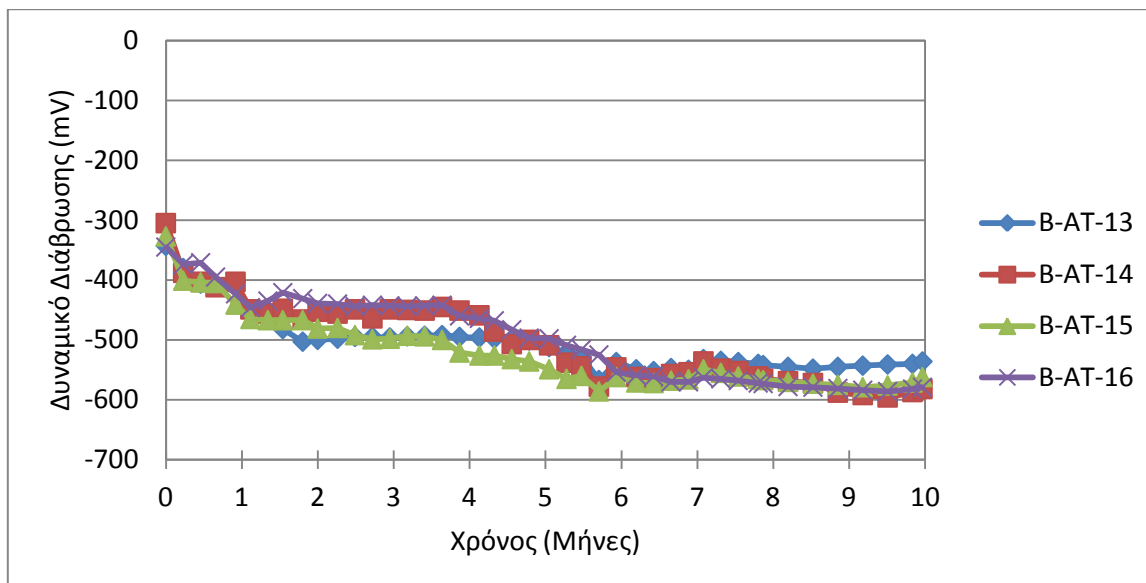
Σχήμα 8.79. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και τον τρίτο συνδυασμό μεσαίας και χονδρής κίσηρης συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Η κατάσταση των οπλισμών στα ανωτέρω διαγράμματα, είναι παρόμοια με των προηγούμενων, μόνο που το δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων της κατηγορίας BG2 παρουσιάζει από την αρχή πτώση των δυναμικών και σταθεροποίηση στα -600mV, ενώ των χαλύβων της κατηγορίας BG3 σταθεροποίηση στα -550mV÷-600mV, μέχρι το τέλος της περιόδου έκθεσης. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι οπλισμοί παρουσιάζουν διάβρωση σε εκτεταμένο βαθμό.

Στα σχήματα 8.80 έως 8.84 παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις του δυναμικού διάβρωσης συναρτήσεως του χρόνου όλων των διαφορετικών κοκκομετριών κίσηρης δοκιμίων με την επικάλυψη της ακρυλικής διασποράς με κύριο πιγμέντο TiO₂.

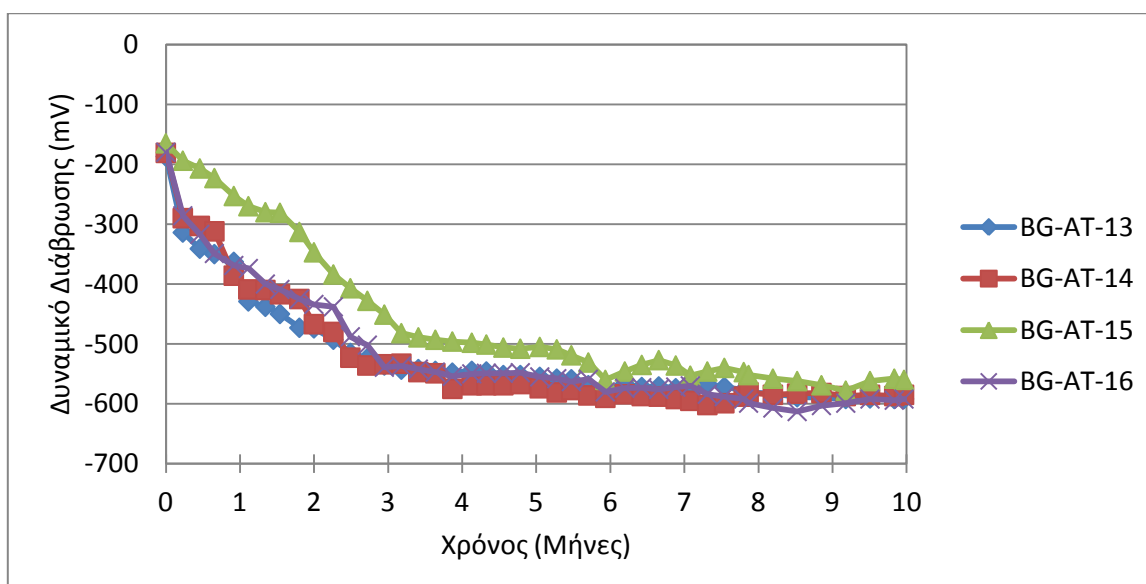


Σχήμα 8.80. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, λεπτή κίσηρη και επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

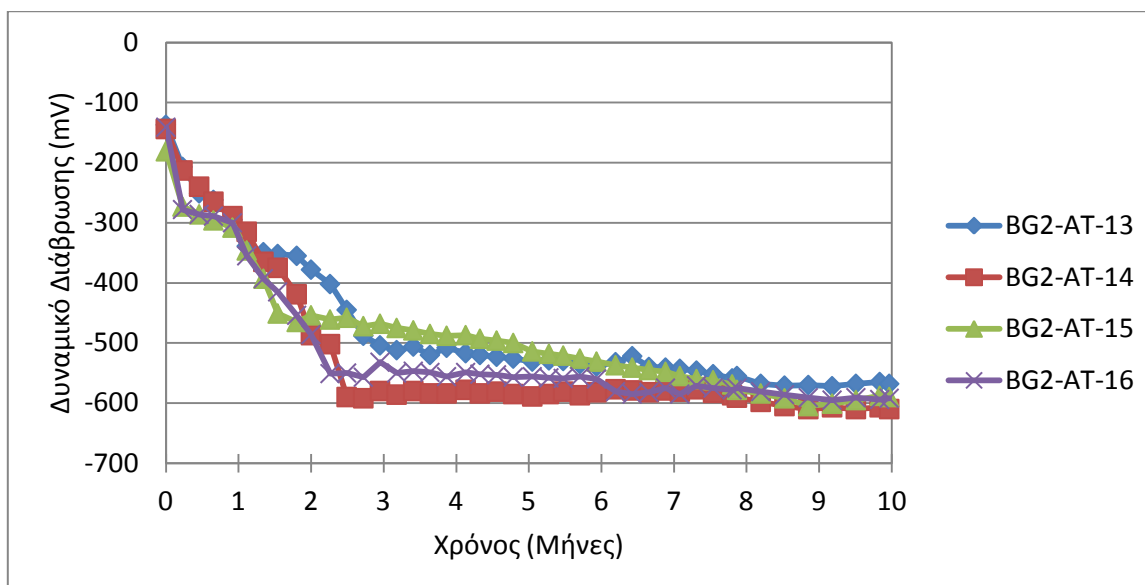


Σχήμα 8.81. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32,5, μεσαία κίσηρη και επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Στο διάγραμμα των δυναμικών διάβρωσης των χαλύβων στα δοκίμια με λεπτή κίσηρη και επικάλυψη, φαίνεται ότι το δυναμικό μειώνεται ομαλά από τα $-250\text{mV} \div -300\text{mV}$ έως τον έκτο μήνα, όπου και σταθεροποιείται στα $-500\text{mV} \div -550\text{mV}$, ενώ στα δοκίμια με μεσαία κίσηρη και επικάλυψη, η πτώση των δυναμικών γίνεται σε δύο στάδια, με μια πρώτη σταθεροποίηση στα -450mV μέχρι τον τέταρτο μήνα και μια δεύτερη στα -550mV ως το τέλος της περιόδου έκθεσης. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι οπλισμοί παρουσιάζουν διάβρωση σε εκτεταμένο βαθμό.

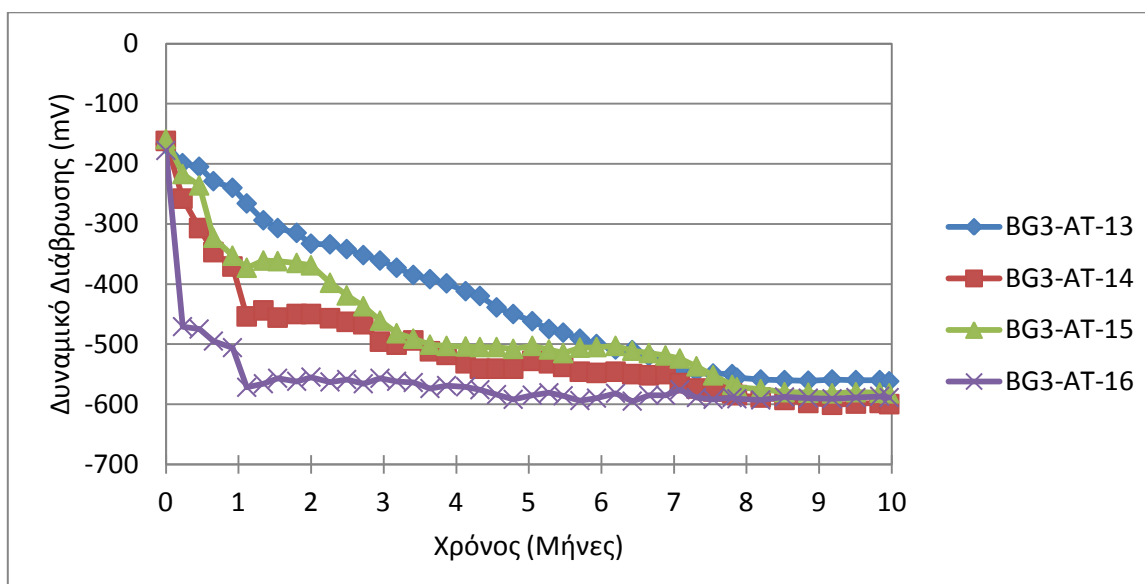


Σχήμα 8.82. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32,5, τον πρώτο συνδυασμό μεσαίας και χονδρής κίσηρης και επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.83. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον δεύτερο συνδυασμό μεσαίας και χονδρής κίσηρης και επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά συναρτήσεϊ του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

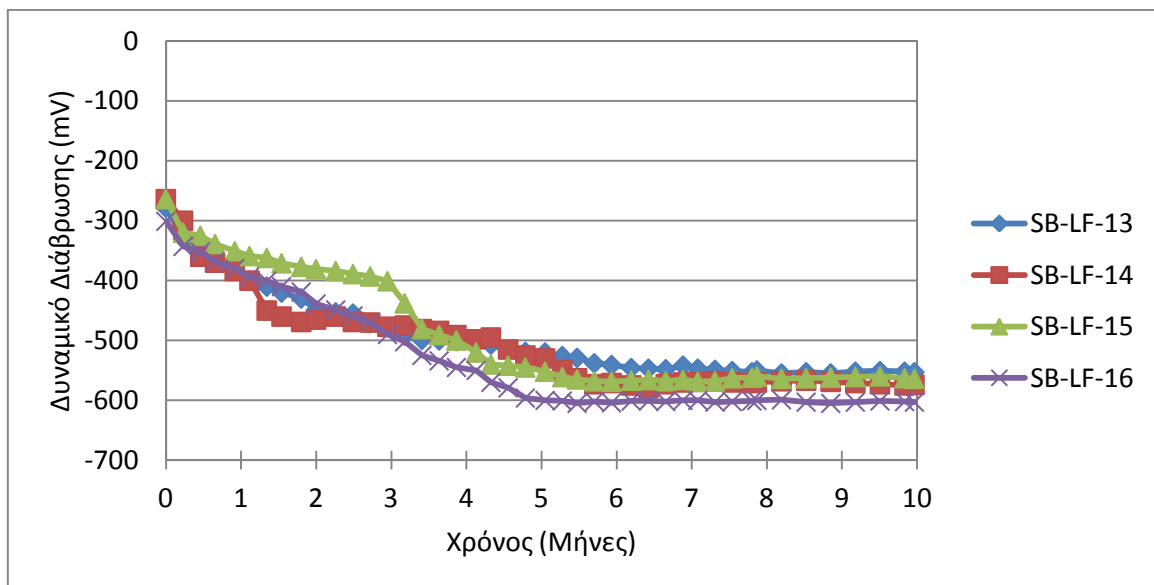
Η εικόνα στα διαγράμματα των δυναμικών διάβρωσης των χαλύβων στα δοκίμια με τους δύο συνδυασμούς μεσαίας και χονδρής κίσηρης είναι παρόμοια, με μείωση των δυναμικών μέχρι τον 3^ο-4^ο μήνα και σταθεροποίηση στα -600mV ως το τέλος της περιόδου έκθεσης. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι σπλισμοί παρουσιάζουν διάβρωση σε εκτεταμένο βαθμό.



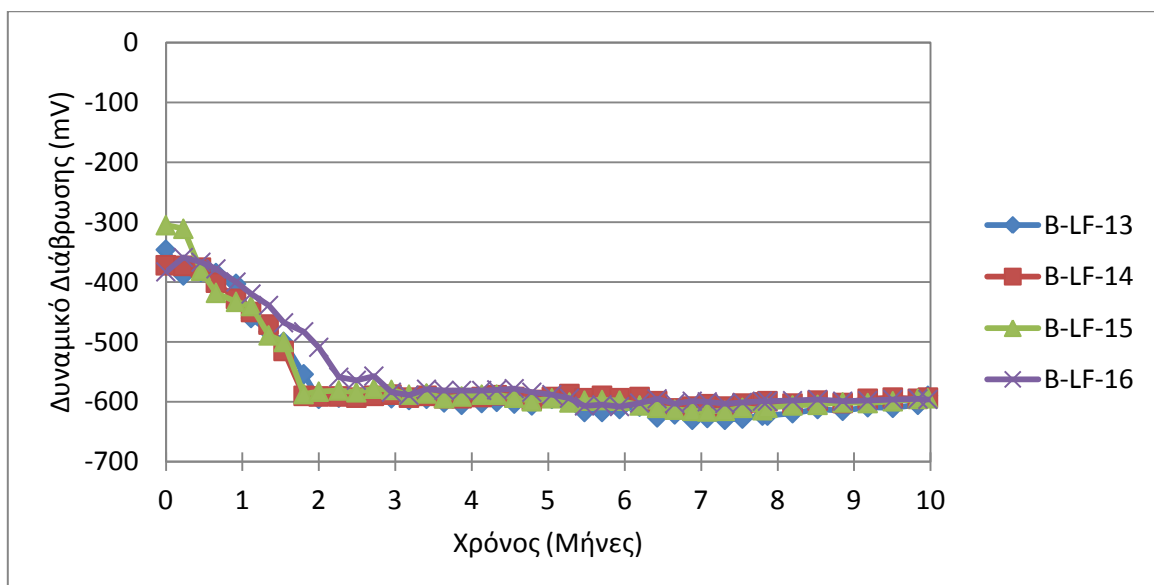
Σχήμα 8.84. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον τρίτο συνδυασμό μεσαίας και χονδρής κίσηρης και επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά συναρτήσεϊ του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

Στο διάγραμμα των δυναμικών διάβρωσης των χαλύβων της κατηγορίας BG3 με επικάλυψη, υπάρχει στην αρχή διασπορά των δυναμικών, η οποία όμως μετά τον 8^ο μήνα εξαλείφεται και όλα τα δυναμικά τελικά σταθεροποιούνται στα -600mV. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι οπλισμοί παρουσιάζουν διάβρωση σε εκτεταμένο βαθμό.

Στα σχήματα 8.85 έως 8.86 παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις του δυναμικού διάβρωσης συναρτήσει του χρόνου όλων των διαφορετικών κοκκομετριών κίσηρης δοκιμίων με την επικάλυψη της ακρυλικής διασποράς με κύριο πιγμέντο TiO₂.



Σχήμα 8.85. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, λεπτή κίσηρη και LiF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.86. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, μεσαία κίσηρη και LiF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Τέλος στο διαγράμματα των δυναμικών διάβρωσης των χαλύβων με λεπτή ή μεσαία κίσηρη και LiF, στην πρώτη περίπτωση παρατηρείται σχετικά ομαλή πτώση των δυναμικών προς ηλεκτραρνητικότερες τιμές και σταθεροποίηση μετά τον 6^ο μήνα στα -550mV÷-600mV, ενώ στη δεύτερη περίπτωση η μείωση των τιμών του δυναμικού είναι απότομη και η σταθεροποίηση στα -600mV συμβαίνει από τον 2^ο μήνα. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι οπλισμοί παρουσιάζουν διάβρωση σε εκτεταμένο βαθμό.

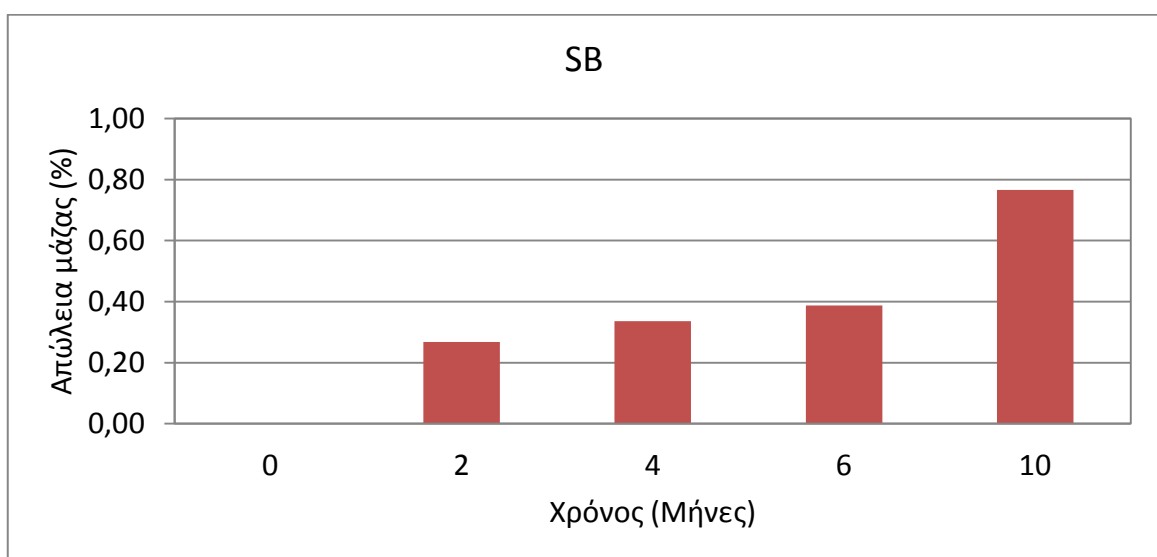
8.4.1.2. Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών

Η (%) απώλεια μάζας των οπλισμών των δοκιμών κισσηροκονιαμάτων και κισσηροσκυροδεμάτων με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 όλων των διαφορετικών κοκκομετριών κίσηρης υπολογίστηκε μετά από δύο, τέσσερις, έξι και δέκα μήνες έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Στους Πίνακες 8.39 έως 8.43 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα (%) απώλειας μάζας συναρτήσει του χρόνου και στα σχήματα 8.87 έως 8.91 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα όλων των διαφορετικών κοκκομετριών κίσηρης δοκιμών χωρίς επικάλυψη.

Από τους πίνακες αυτούς και τα διαγράμματα, και στις πέντε κατηγορίες κοκκομετρίας κίσηρης (λεπτή, μεσαία και τρεις συνδυασμοί μεσαίας και χονδρής), παρατηρείται αύξηση της ποσοστιαίας επί τοις εκατό απώλειας μάζας των οπλισμών με την αύξηση του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Οι μικρότερες τιμές (%) απώλειας μάζας καταγράφονται για δοκίμια με λεπτή κίσηρη (κισσηροκονίαμα), ενώ οι μεγαλύτερες στους συνδυασμούς μεσαίας και χονδρής κίσηρης (κισσηρόδεμα).

Πίνακας 8.39. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και κίσηρη 0÷5 (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

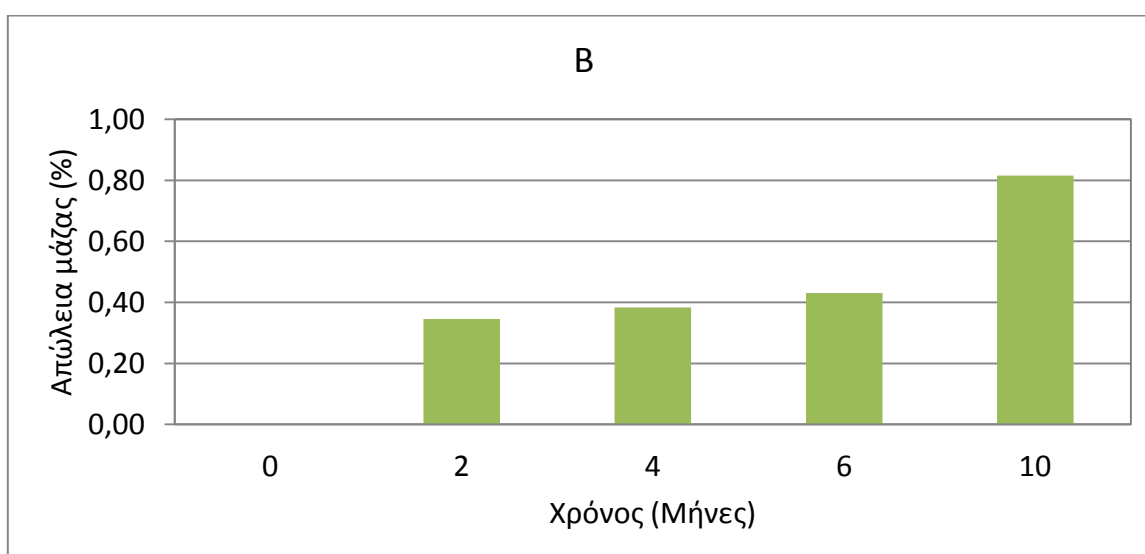
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
SB-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	88,8975	88,6560	0,2415	0,272
SB-2		94,5458	94,2929	0,2529	0,267
SB-3		92,1222	91,9116	0,2106	0,229
SB-4		92,2968	92,0180	0,2788	0,302
M.O.				0,2459	0,267
Τυπ.απόκλιση				0,0283	0,0301
SB-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	89,5034	89,2206	0,2828	0,316
SB-6		91,0507	90,7575	0,2932	0,322
SB-7		94,0945	93,7973	0,2972	0,316
SB-8		89,9040	89,5529	0,3511	0,391
M.O.				0,3061	0,336
Τυπ.απόκλιση				0,0306	0,0364
SB-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	89,3436	89,0388	0,3048	0,341
SB-10		85,5533	85,2471	0,3062	0,358
SB-11		87,4962	87,1310	0,3652	0,417
SB-12		90,0793	89,6871	0,3922	0,435
M.O.				0,3421	0,388
Τυπ.απόκλιση				0,0437	0,0455
SB-13	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	90,9154	90,1740	0,7414	0,815
SB-14		90,2709	89,6086	0,6623	0,734
SB-15		90,0919	89,4250	0,6669	0,740
SB-16		90,2955	89,5949	0,7006	0,776
M.O.				0,6928	0,766
Τυπ.απόκλιση				0,0366	0,0377



Σχήμα 8.87. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών οπλισμένου κίσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και κίσηρη 0÷5 συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.40. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και κίσηρη 0÷8 (μερική εμφάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

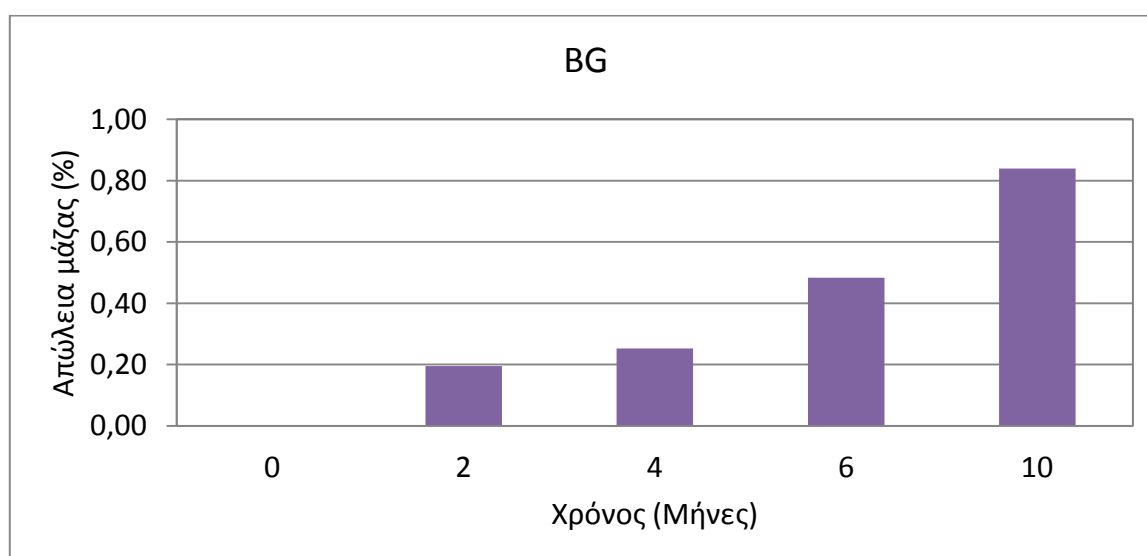
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
B-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	85,5174	85,2001	0,3173	0,371
B-2		94,3932	94,0819	0,3113	0,330
B-3		88,1743	87,8562	0,3181	0,361
B-4		94,1272	93,8265	0,3007	0,319
M.O.				0,3118	0,345
Τυπ.απόκλιση			0,0080	0,0246	
B-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	92,5269	92,2085	0,3184	0,344
B-6		89,9275	89,5871	0,3404	0,379
B-7		94,5442	94,1957	0,3485	0,369
B-8		86,2801	85,8989	0,3812	0,442
M.O.				0,3471	0,383
Τυπ.απόκλιση			0,0260	0,0416	
B-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	92,7480	92,3220	0,4260	0,459
B-10		91,3958	90,9977	0,3981	0,436
B-11		95,0365	94,6441	0,3924	0,413
B-12		92,1723	91,7890	0,3833	0,416
M.O.				0,4000	0,431
Τυπ.απόκλιση			0,0184	0,0214	
B-13	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	89,3755	88,6830	0,6925	0,775
B-14		86,2692	85,5537	0,7155	0,829
B-15		95,1989	94,4633	0,7356	0,773
B-16		89,2368	88,4485	0,7883	0,883
M.O.				0,7330	0,815
Τυπ.απόκλιση			0,0409	0,0526	



Σχήμα 8.88. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών οπλισμένου κίσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και κίσηρη 0÷8 συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμφάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.41. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και τον πρώτο συνδυασμό κίσηρης 0÷8 και 8÷16 (μερική εμφύσηση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

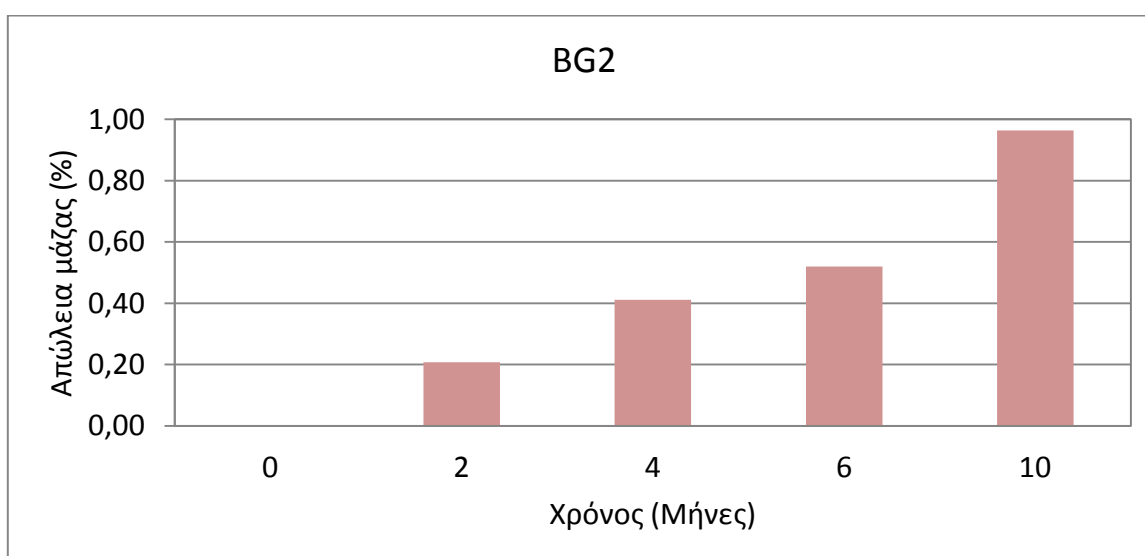
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
BG-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	93,1344	93,0065	0,1279	0,137
BG-2		89,2890	89,0450	0,2440	0,273
BG-3		87,4506	87,2917	0,1589	0,182
BG-4		88,6591	88,4910	0,1681	0,190
M.O.				0,1747	0,195
Τυπ.απόκλιση			0,0493	0,0567	
BG-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	89,6162	89,4339	0,1823	0,203
BG-6		88,8304	88,5587	0,2717	0,306
BG-7		90,4651	90,2400	0,2251	0,249
BG-8		93,9052	93,6700	0,2352	0,250
M.O.				0,2286	0,252
Τυπ.απόκλιση			0,0368	0,0419	
BG-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	90,1243	89,6660	0,4583	0,509
BG-10		90,7901	90,3012	0,4889	0,538
BG-11		93,8689	93,4407	0,4282	0,456
BG-12		94,4598	94,0547	0,4051	0,429
M.O.				0,4451	0,483
Τυπ.απόκλιση			0,0364	0,0496	
BG-13	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	93,6581	92,8734	0,7847	0,838
BG-14		93,7583	92,9893	0,7690	0,820
BG-15		86,9799	86,2609	0,7190	0,827
BG-16		89,5922	88,8087	0,7835	0,875
M.O.				0,7641	0,840
Τυπ.απόκλιση			0,0309	0,0243	



Σχήμα 8.89. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών οπλισμένου κίσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και τον πρώτο συνδυασμό κίσηρης 0÷8 και 8÷16 συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμφύσησης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.42. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και τον δεύτερο συνδυασμό κίσηρης 0÷8 και 8÷16 (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

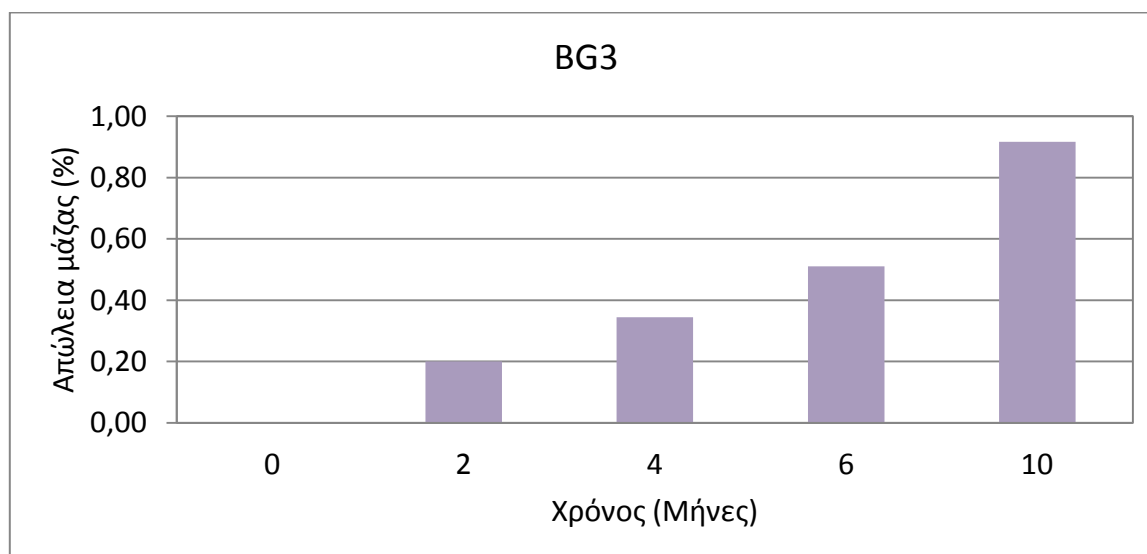
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
BG2-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	90,1838	90,0155	0,1683	0,187
BG2-2		88,9956	88,7635	0,2321	0,261
BG2-3		90,7259	90,5670	0,1589	0,175
BG2-4		92,5594	92,3655	0,1939	0,209
M.O.				0,1883	0,208
Τυπ.απόκλιση				0,0327	0,0380
BG2-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	90,7700	90,4282	0,3418	0,377
BG2-6		85,9777	85,6205	0,3572	0,415
BG2-7		86,0830	85,6921	0,3909	0,454
BG2-8		86,1580	85,8124	0,3456	0,401
M.O.				0,3589	0,412
Τυπ.απόκλιση				0,0223	0,0324
BG2-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	88,0819	87,6346	0,4473	0,508
BG2-10		94,6738	94,1603	0,5135	0,542
BG2-11		94,8967	94,4088	0,4879	0,514
BG2-12		89,8104	89,3472	0,4632	0,516
M.O.				0,4780	0,520
Τυπ.απόκλιση				0,0290	0,0153
BG2-13	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	92,2535	91,3523	0,9012	0,977
BG2-14		91,5890	90,7048	0,8842	0,965
BG2-15		94,0630	93,1476	0,9154	0,973
BG2-16		91,0798	90,2233	0,8565	0,940
M.O.				0,8893	0,964
Τυπ.απόκλιση				0,0253	0,0164



Σχήμα 8.90. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών οπλισμένου κίσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και τον δεύτερο συνδυασμό κίσηρης 0÷8 και 8÷16 συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.43. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και τον τρίτο συνδυασμό κίσηρης 0÷8 και 8÷16 (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
BG3-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	85,9640	85,7900	0,1740	0,202
BG3-2		85,5166	85,3393	0,1773	0,207
BG3-3		94,4254	94,2423	0,1831	0,194
BG3-4		90,7385	90,5581	0,1804	0,199
M.O.				0,1787	0,201
Τυπ.απόκλιση				0,0039	0,0057
BG3-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	89,4795	89,2090	0,2705	0,302
BG3-6		85,0831	84,8458	0,2373	0,279
BG3-7		86,1154	85,7475	0,3679	0,427
BG3-8		89,3065	88,9765	0,3300	0,370
M.O.				0,3014	0,344
Τυπ.απόκλιση				0,0586	0,0672
BG3-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	86,6401	86,1943	0,4458	0,515
BG3-10		91,7757	91,3279	0,4478	0,488
BG3-11		89,9961	89,4919	0,5042	0,560
BG3-12		94,7235	94,2703	0,4532	0,478
M.O.				0,4628	0,510
Τυπ.απόκλιση				0,0278	0,0366
BG3-13	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	90,8098	89,9935	0,8163	0,899
BG3-14		90,6264	89,7866	0,8398	0,927
BG3-15		89,0414	88,2168	0,8246	0,926
BG3-16		86,8391	86,0432	0,7959	0,917
M.O.				0,8191	0,917
Τυπ.απόκλιση				0,0183	0,0130

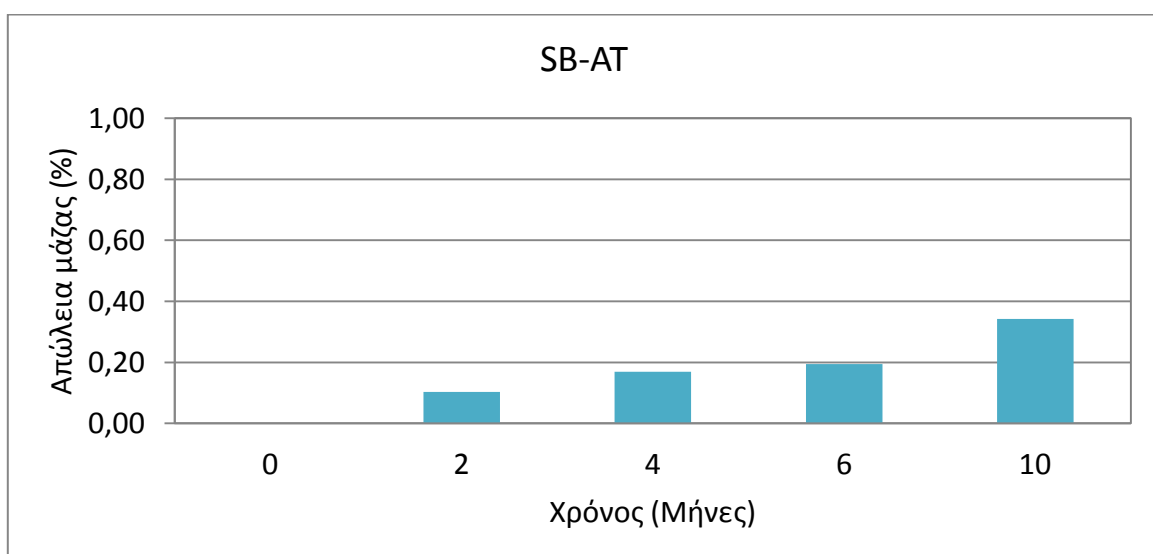


Σχήμα 8.91. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και τον τρίτο συνδυασμό κίσηρης 0÷8 και 8÷16 συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Στους Πίνακες 8.44 έως 8.48 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα (%) απώλειας μάζας συναρτήσει του χρόνου και στα σχήματα 8.92 έως 8.96 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα όλων των διαφορετικών κοκκομετριών κίσηρης δοκιμίων με επικάλυψη.

Πίνακας 8.44. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίων με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, κίσηρη 0÷5 και την ακρυλική διασπορά (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

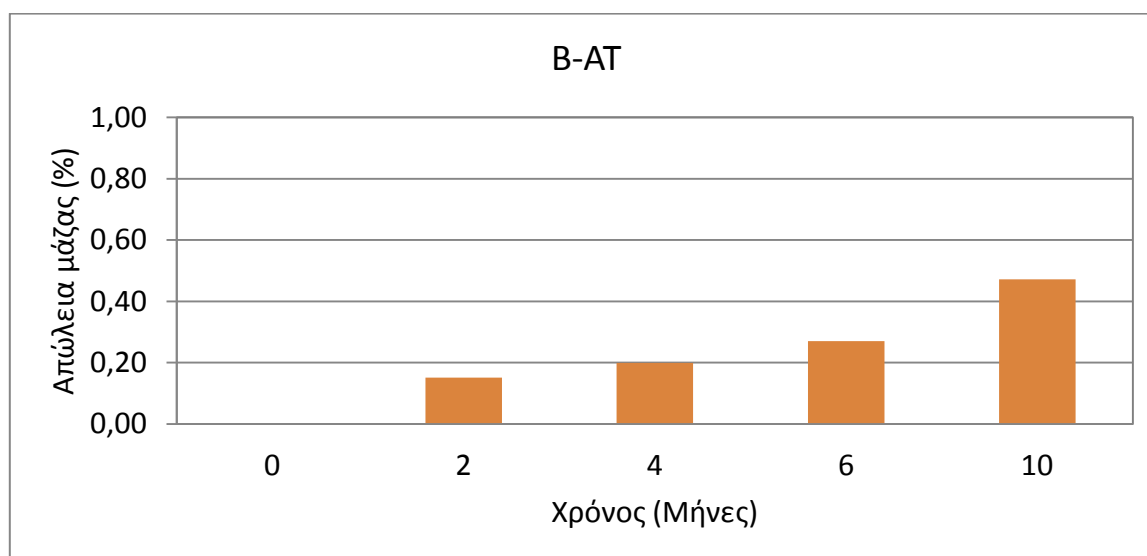
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
SB-AT-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	93,3616	93,2597	0,1019	0,109
SB-AT-2		90,8740	90,7806	0,0934	0,103
SB-AT-3		90,5581	90,4865	0,0716	0,079
SB-AT-4		90,6388	90,5277	0,1111	0,123
M.O.					0,0945
Τυπ.απόκλιση				0,0169	0,0182
SB-AT-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	89,4838	89,3512	0,1326	0,148
SB-AT-6		89,2758	89,1257	0,1501	0,168
SB-AT-7		88,5170	88,3879	0,1291	0,146
SB-AT-8		89,8127	89,6201	0,1926	0,214
M.O.					0,1511
Τυπ.απόκλιση				0,0292	0,0318
SB-AT-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	90,9006	90,7054	0,1952	0,215
SB-AT-10		87,1504	86,9476	0,2028	0,233
SB-AT-11		94,1366	93,9772	0,1594	0,169
SB-AT-12		93,5968	93,4441	0,1527	0,163
M.O.					0,1775
Τυπ.απόκλιση				0,0251	0,0341
SB-AT-13	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	93,0042	92,6186	0,3856	0,415
SB-AT-14		90,4725	90,1580	0,3145	0,348
SB-AT-15		89,2777	89,0067	0,2710	0,304
SB-AT-16		94,3825	94,0964	0,2861	0,303
M.O.					0,3143
Τυπ.απόκλιση				0,0508	0,0526



Σχήμα 8.92. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίων οπλισμένου κίσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, κίσηρη 0÷5 και επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.45. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, κίσηρη 0÷8 και επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά (μερική εμφάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

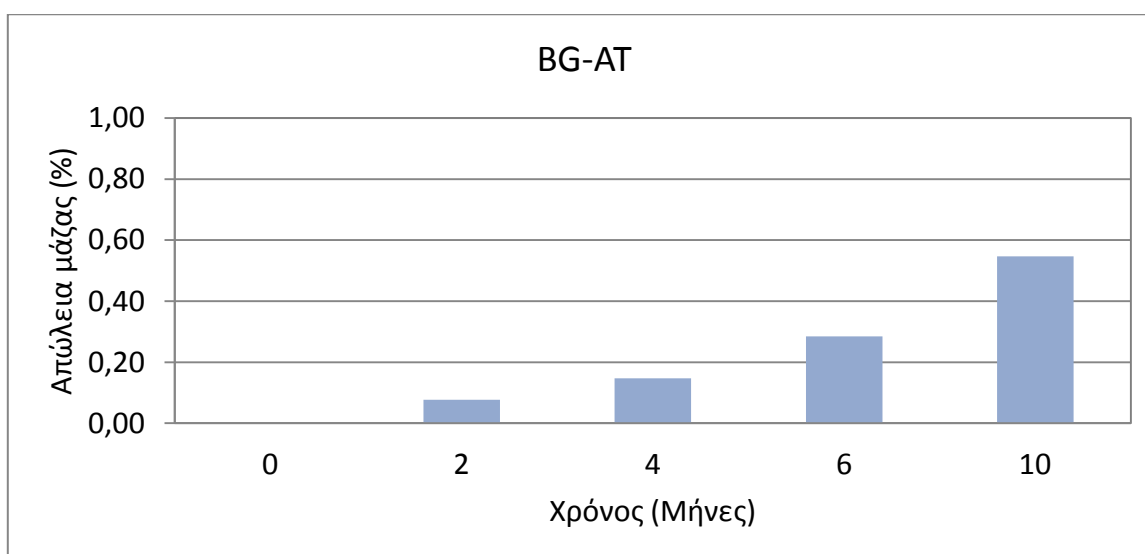
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
B-AT-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	91,0422	90,8816	0,1606	0,176
B-AT-2		92,7714	92,6652	0,1062	0,114
B-AT-3		89,0900	88,9451	0,1449	0,163
B-AT-4		89,8053	89,6704	0,1349	0,150
M.O.				0,1366	0,151
Τυπ.απόκλιση			0,0229	0,0266	
<hr/>					
B-AT-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	85,0252	84,8933	0,1319	0,155
B-AT-6		85,4170	85,2447	0,1723	0,202
B-AT-7		94,8443	94,6288	0,2155	0,227
B-AT-8		91,7513	91,5559	0,1954	0,213
M.O.				0,1788	0,199
Τυπ.απόκλιση			0,0359	0,0312	
<hr/>					
B-AT-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	88,7449	88,5111	0,2338	0,263
B-AT-10		86,2852	86,0284	0,2568	0,298
B-AT-11		90,5097	90,2702	0,2395	0,265
B-AT-12		89,8131	89,5830	0,2301	0,256
M.O.				0,2401	0,270
Τυπ.απόκλιση			0,0118	0,0185	
<hr/>					
B-AT-13	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	91,7889	91,3361	0,4528	0,493
B-AT-14		92,7365	92,2656	0,4709	0,508
B-AT-15		93,4112	92,9509	0,4603	0,493
B-AT-16		88,9075	88,5560	0,3515	0,395
M.O.				0,4339	0,472
Τυπ.απόκλιση			0,0554	0,0518	



Σχήμα 8.93. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, κίσηρη 0÷8 και επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμφάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.46. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίων με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον πρώτο συνδυασμό κίσηρης 0÷8 και 8÷16 και επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

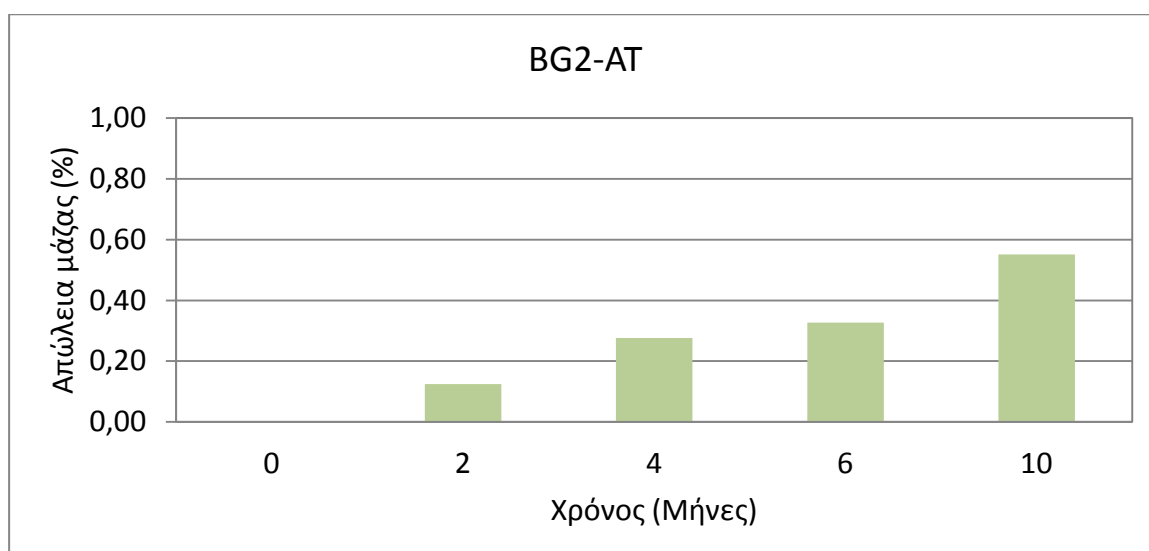
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
BG-AT-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	90,1836	90,1603	0,0233	0,026
BG-AT-2		91,9410	91,8115	0,1295	0,141
BG-AT-3		88,2221	88,1235	0,0986	0,112
BG-AT-4		85,0613	85,0362	0,0251	0,030
M.O.				0,0691	0,077
Τυπ.απόκλιση				0,0534	0,0582
BG-AT-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	86,7244	86,6007	0,1237	0,143
BG-AT-6		91,4675	91,2986	0,1689	0,185
BG-AT-7		96,1452	96,0270	0,1182	0,123
BG-AT-8		89,1340	89,0115	0,1225	0,137
M.O.				0,1333	0,147
Τυπ.απόκλιση				0,0238	0,0265
BG-AT-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	90,8889	90,6560	0,2329	0,256
BG-AT-10		86,3540	86,0971	0,2569	0,297
BG-AT-11		88,3462	88,1038	0,2424	0,274
BG-AT-12		90,3801	90,1008	0,2793	0,309
M.O.				0,2529	0,284
Τυπ.απόκλιση				0,0202	0,0236
BG-AT-13	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	90,8659	90,3851	0,4808	0,529
BG-AT-14		90,4416	89,9098	0,5318	0,588
BG-AT-15		89,0951	88,5818	0,5133	0,576
BG-AT-16		94,2068	93,7401	0,4667	0,495
M.O.				0,4981	0,547
Τυπ.απόκλιση				0,0297	0,0429



Σχήμα 8.94. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίων με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον πρώτο συνδυασμό κίσηρης 0÷8 και 8÷16 και επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.47. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον δεύτερο συνδυασμό κίσηρης 0÷8 και 8÷16 και επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

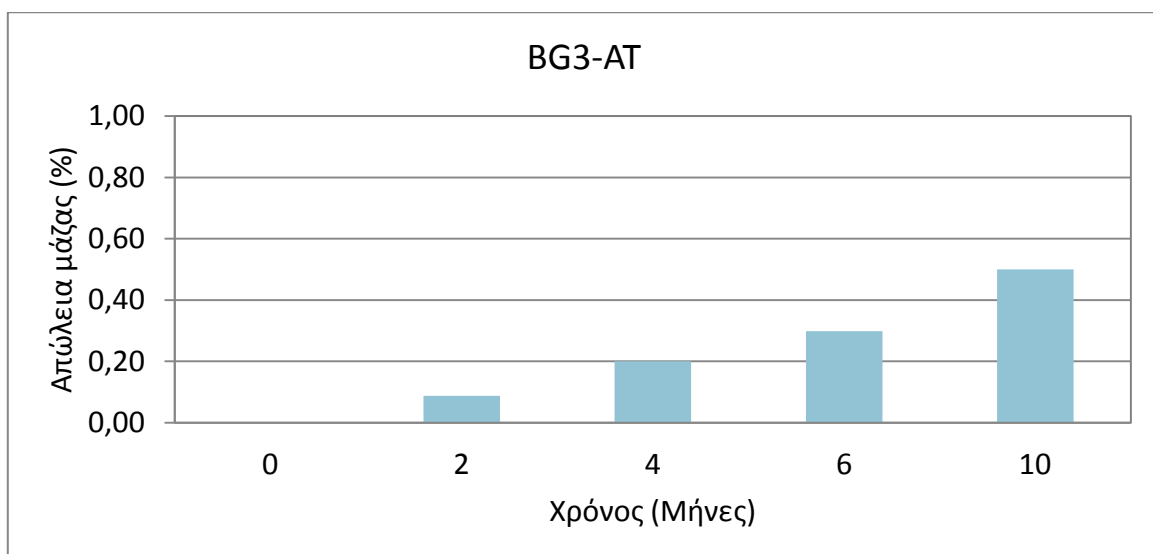
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
BG2-AT-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	91,4128	91,2811	0,1317	0,144
BG2-AT-2		92,8812	92,8002	0,0810	0,087
BG2-AT-3		86,8642	86,7200	0,1442	0,166
BG2-AT-4		94,9704	94,8757	0,0947	0,100
Μ.Ο.					0,1129
Τυπ.απόκλιση				0,0299	0,0370
BG2-AT-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	92,4739	92,2075	0,2664	0,288
BG2-AT-6		94,7511	94,5020	0,2491	0,263
BG2-AT-7		90,6178	90,3607	0,2571	0,284
BG2-AT-8		90,0772	89,8331	0,2441	0,271
Μ.Ο.					0,2542
Τυπ.απόκλιση				0,0098	0,0116
BG2-AT-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	92,9826	92,6842	0,2984	0,321
BG2-AT-10		91,4044	91,1046	0,2998	0,328
BG2-AT-11		91,5088	91,2170	0,2918	0,319
BG2-AT-12		89,6577	89,3540	0,3037	0,339
Μ.Ο.					0,2984
Τυπ.απόκλιση				0,0050	0,0090
BG2-AT-13	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	90,6793	90,2055	0,4738	0,523
BG2-AT-14		85,6172	85,1281	0,4891	0,571
BG2-AT-15		89,8520	89,3346	0,5174	0,576
BG2-AT-16		93,9899	93,4859	0,5040	0,536
Μ.Ο.					0,4961
Τυπ.απόκλιση				0,0188	0,0262



Σχήμα 8.95. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον δεύτερο συνδυασμό κίσηρης 0÷8 και 8÷16 και επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.48. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον τρίτο συνδυασμό κίσηρης 0÷8 και 8÷16 και επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
BG3-AT-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	91,2619	91,1833	0,0786	0,086
BG3-AT-2		90,4710	90,3948	0,0762	0,084
BG3-AT-3		91,0545	90,9806	0,0739	0,081
BG3-AT-4		91,4761	91,3869	0,0892	0,098
M.O.				0,0795	0,087
Τυπ.απόκλιση				0,0068	0,0071
BG3-AT-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	93,7472	93,5850	0,1622	0,173
BG3-AT-6		92,5247	92,4016	0,1231	0,133
BG3-AT-7		89,2622	89,0618	0,2004	0,225
BG3-AT-8		89,6048	89,3610	0,2438	0,272
M.O.				0,1824	0,201
Τυπ.απόκλιση				0,0517	0,0606
BG3-AT-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	91,8129	91,5714	0,2415	0,263
BG3-AT-10		91,7409	91,4786	0,2623	0,286
BG3-AT-11		85,1395	84,8580	0,2815	0,331
BG3-AT-12		91,9047	91,6148	0,2899	0,315
M.O.				0,2688	0,299
Τυπ.απόκλιση				0,0216	0,0302
BG3-AT-13	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	91,0963	90,6483	0,4480	0,492
BG3-AT-14		89,4494	89,0441	0,4053	0,453
BG3-AT-15		90,9318	90,4704	0,4614	0,507
BG3-AT-16		90,8273	90,3278	0,4995	0,550
M.O.				0,4535	0,501
Τυπ.απόκλιση				0,0389	0,0401



Σχήμα 8.96. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον τρίτο συνδυασμό κίσηρης 0÷8 και 8÷16 και επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

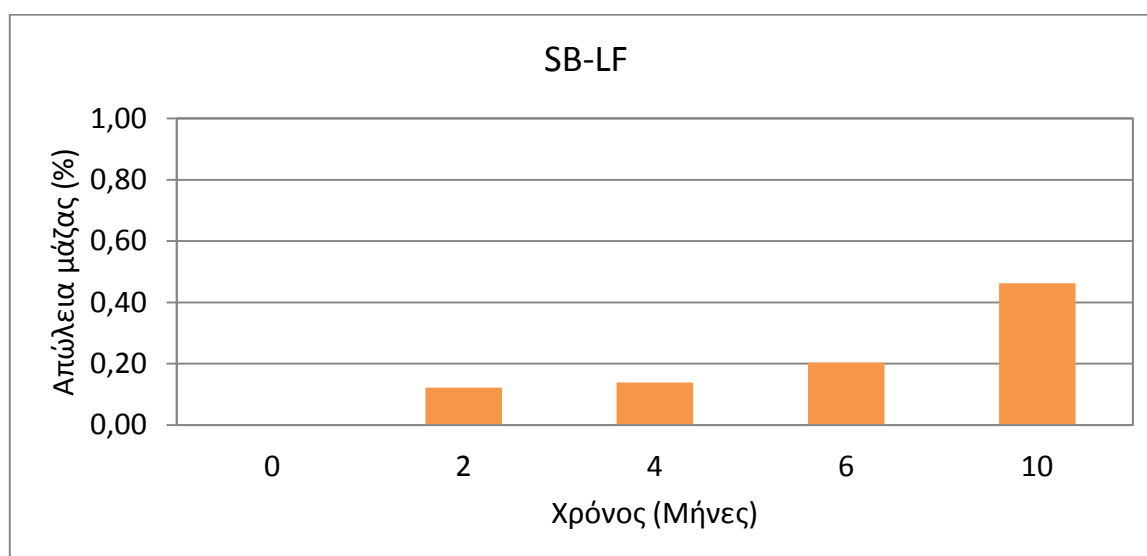
Από τους πίνακες αυτούς και τα διαγράμματα, και στις πέντε κατηγορίες κοκκομετρίας κίσηρης (λεπτή, μεσαία και τρεις συνδυασμοί μεσαίας και χονδρής) δοκιμίων επικαλυμμένων με την ακρυλική διασπορά με TiO_2 , παρατηρείται αύξηση της ποσοστιαίας επί τοις εκατό απώλειας μάζας των οπλισμών με την αύξηση του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Και πάλι οι μικρότερες τιμές (%) απώλειας μάζας καταγράφονται για δοκίμια με λεπτή κίσηρη (κισσηροκονίαμα) και επικάλυψη, ενώ οι μεγαλύτερες στους συνδυασμούς μεσαίας και χονδρής κίσηρης (κισσηρόδεμα) και επικάλυψη. Η χρήση της ακρυλικής επικάλυψης μείωσε τις (%) απώλειες μάζας των οπλισμών του κισσηροκονιάματος κατά 55%, ενώ των κισσηροδεμάτων από 35% έως 45%.

Στους Πίνακες 8.49 έως 8.50 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα (%) απώλειας μάζας συναρτήσει του χρόνου και στα σχήματα 8.97 και 8.98 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα των δοκιμίων με κονιάματα με λεπτή ή μεσαία κίσηρη και LiF.

Από τους πίνακες αυτούς και τα διαγράμματα, εμφανίζεται αύξηση της ποσοστιαίας επί τοις εκατό απώλειας μάζας των οπλισμών με την αύξηση του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Οι μικρότερες τιμές (%) απώλειας μάζας παρουσιάζονται στα δοκίμια με προσθήκη LiF. Η μείωση της απώλειας μάζας σε σχέση με τα δοκίμια αναφοράς στους δέκα μήνες έφτασε το 40% για τους οπλισμούς του δοκιμίου με λεπτή κίσηρη (κισσηροκονίαμα), ενώ αντίστοιχα στο δοκίμιο με κίσηρη 0÷8 η μείωση αυτή ήταν 19%.

Πίνακας 8.49. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, κίσηρη 0÷5 και LiF (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

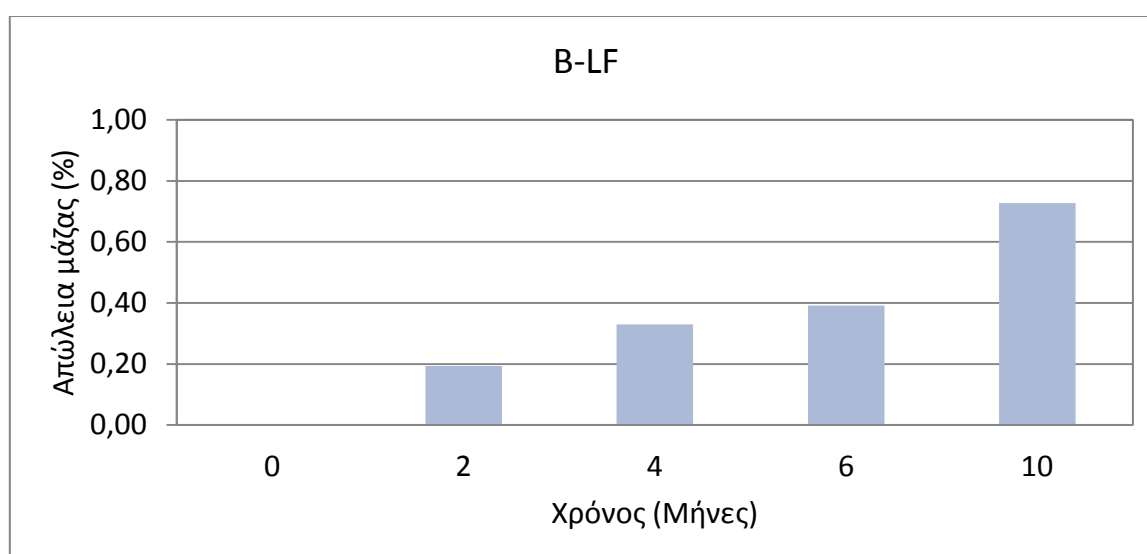
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
SB-LF-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	90,8353	90,7374	0,0979	0,108
SB-LF-2		92,4330	92,3294	0,1036	0,112
SB-LF-3		93,2229	93,1306	0,0923	0,099
SB-LF-4		94,3038	94,1421	0,1617	0,171
M.O.				0,1139	0,123
Τυπ.απόκλιση			0,0322	0,0330	
<hr/>					
SB-LF-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	85,9884	85,8604	0,1280	0,149
SB-LF-6		85,1958	85,0812	0,1146	0,135
SB-LF-7		86,2663	86,1483	0,1180	0,137
SB-LF-8		89,7402	89,6192	0,1210	0,135
M.O.				0,1204	0,139
Τυπ.απόκλιση			0,0057	0,0068	
<hr/>					
SB-LF-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	90,7734	90,5580	0,2154	0,237
SB-LF-10		89,7100	89,4920	0,2180	0,243
SB-LF-11		85,3704	85,2517	0,1187	0,139
SB-LF-12		92,2532	92,0743	0,1789	0,194
M.O.				0,1827	0,203
Τυπ.απόκλιση			0,0463	0,0481	
<hr/>					
SB-LF-13	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	92,9205	92,4988	0,4217	0,454
SB-LF-14		86,9772	86,5509	0,4263	0,490
SB-LF-15		92,2335	91,8293	0,4042	0,438
SB-LF-16		85,6881	85,2860	0,4021	0,469
M.O.				0,4136	0,463
Τυπ.απόκλιση			0,0122	0,0222	



Σχήμα 8.97. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, κίσηρη 0÷5 και LiF συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl

Πίνακας 8.50. Απώλεια μάζας (%) σπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, κίσηρη 0÷8 και LiF (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
B-LF-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	87,5275	87,3722	0,1553	0,177
B-LF-2		89,5329	89,3153	0,2176	0,243
B-LF-3		84,5234	84,3572	0,1662	0,197
B-LF-4		94,7433	94,5933	0,1500	0,158
M.O.				0,1723	0,194
Τυπ.απόκλιση				0,0310	0,0363
B-LF-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	90,3870	90,0390	0,3480	0,385
B-LF-6		89,6247	89,3313	0,2934	0,327
B-LF-7		91,7364	91,4853	0,2511	0,274
B-LF-8		94,4455	94,1311	0,3144	0,333
M.O.				0,3017	0,330
Τυπ.απόκλιση				0,0406	0,0455
B-LF-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	89,5923	89,2822	0,3101	0,346
B-LF-10		90,7241	90,3473	0,3768	0,415
B-LF-11		94,7246	94,3410	0,3836	0,405
B-LF-12		85,5923	85,2480	0,3443	0,402
M.O.				0,3537	0,392
Τυπ.απόκλιση				0,0337	0,0312
B-LF-13	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	84,0598	83,4948	0,5650	0,672
B-LF-14		91,4308	90,8215	0,6093	0,666
B-LF-15		93,1750	92,5595	0,6155	0,661
B-LF-16		89,2922	88,7180	0,5742	0,643
M.O.				0,5910	0,661
Τυπ.απόκλιση				0,0251	0,0126



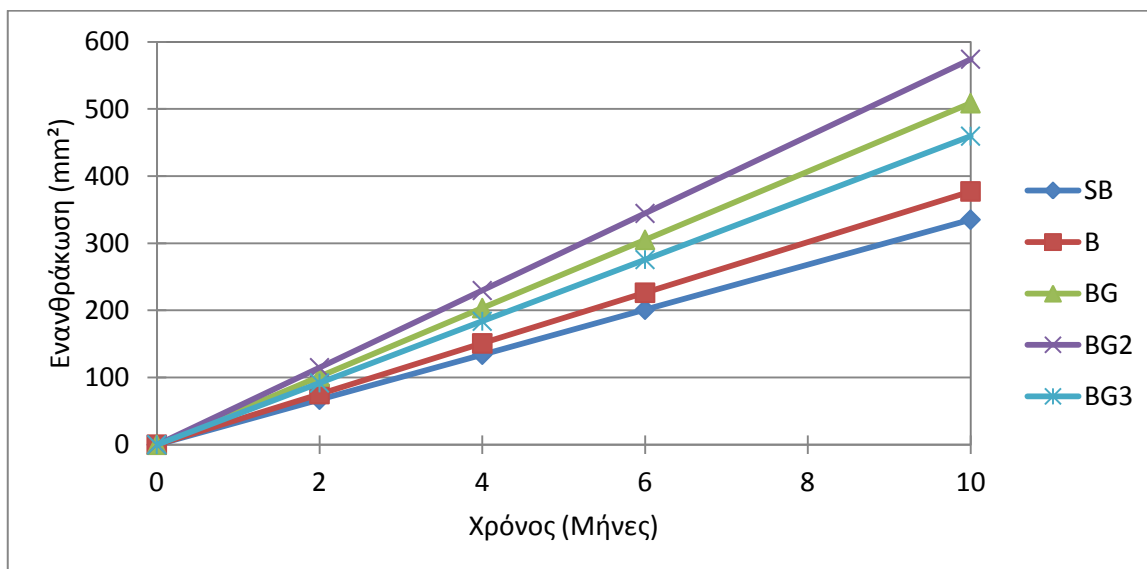
Σχήμα 8.98. Απώλεια μάζας (%) σπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, κίσηρη 0÷8 και LiF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl

8.4.1.3. Βάθος ενανθράκωσης

Το βάθος ενανθράκωσης μετρήθηκε στα θραυσμένα τμήματα των δοκιμών μετά από 2, 4, 6 και 10 μήνες έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Στον Πίνακα 8.51 παρουσιάζονται οι τιμές ενανθράκωσης για δοκίμια με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, όλες τις κοκκομετρικές κίσηρης και τα δοκίμια με πρόσθετο LiF, ενώ στον Πίνακα 8.52 παρουσιάζονται οι τιμές ενανθράκωσης για τα αντίστοιχα δοκίμια με την ακρυλική επικάλυψη. Στα σχήματα 8.99, 8.100 και 8.101 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Πίνακας 8.51. Ενανθράκωση για δοκίμια με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, όλες τις κοκκομετρικές κίσηρης και τα δοκίμια με πρόσθετο LiF, στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl

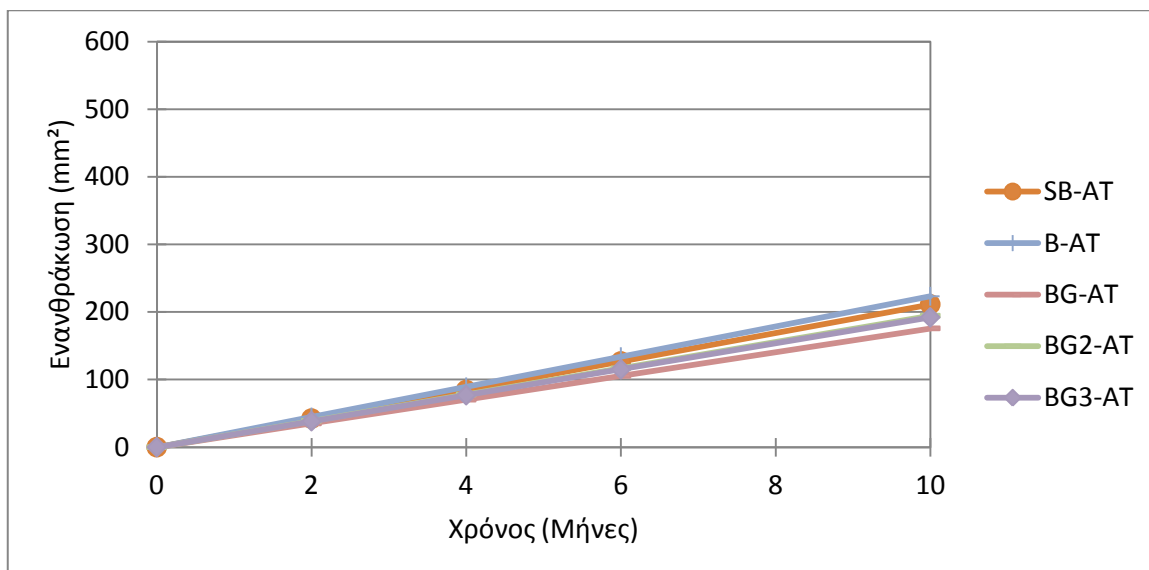
Χρόνος (Μήνες)	Ενανθράκωση (mm ²)						
	SB	B	BG	BG2	BG3	SB-LF	B-LF
0	0	0	0	0	0	0	0
2	67	75	102	115	92	62	59
4	134	151	204	230	184	124	118
6	201	226	305	345	276	186	177
10	335	377	509	574	460	310	294



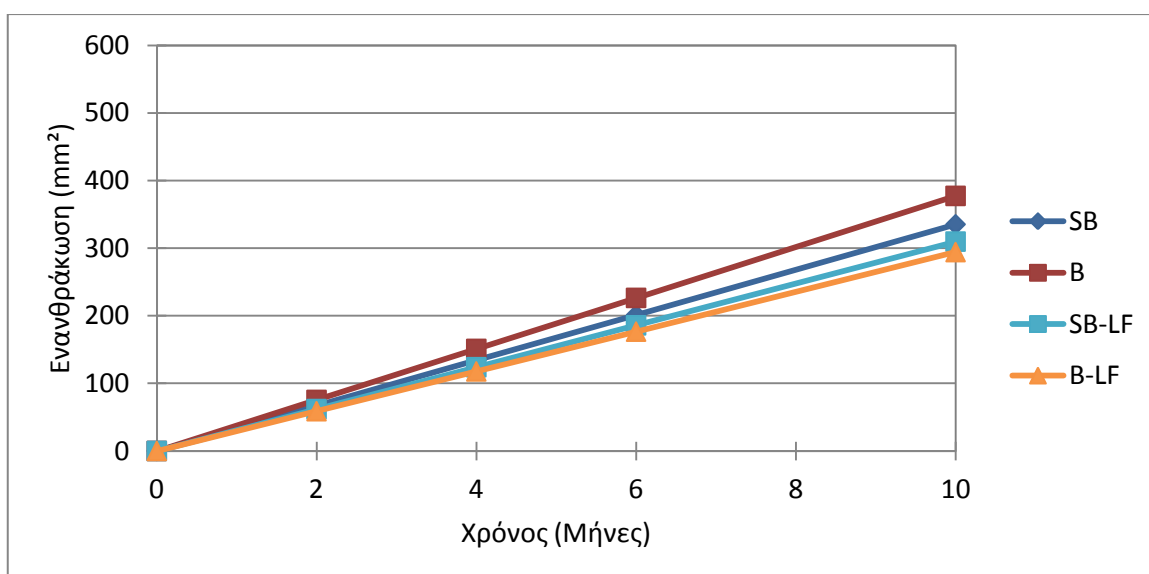
Σχήμα 8.99. Βάθος ενανθράκωσης κίσηροκονιαμάτων και κίσηροδεμάτων με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και όλες τις κοκκομετρικές κίσηρης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.52. Βάθος ενανθράκωσης για δοκίμια με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, όλες τις κοκκομετρίες κίσηρης και την επικάλυψη ακρυλικής διασποράς, στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Μήνες)	Ενανθράκωση (mm ²)				
	SB-AT	B-AT	BG-AT	BG2-AT	BG3-AT
0	0	0	0	0	0
2	42	45	35	39	38
4	85	89	70	78	77
6	127	134	105	117	115
10	211	223	176	194	192



Σχήμα 8.100. Βάθος ενανθράκωσης κίσηροκονιαμάτων και κίσηροδεμάτων με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, όλες τις κοκκομετρίες κίσηρης και την επικάλυψη ακρυλικής διασποράς στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.101. Βάθος ενανθράκωσης κίσηροκονιαμάτων και κίσηροδεμάτων με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, όλες τις κοκκομετρίες κίσηρης και τα δοκίμια με πρόσθετο LiF, στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Από τα ανωτέρω σχήματα προκύπτει ότι σε όλες τις κατηγορίες των δοκιμών η ενανθράκωση αυξάνει με την αύξηση του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον. Στα δοκίμια χωρίς επικάλυψη, οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται στα δοκίμια με τους συνδυασμούς μεσαίας και χονδρής κίσηρης, ενώ οι μικρότερες τιμές στα δοκίμια του κισηροκονιάματος. Στην περίπτωση όλων των δοκιμών με επικάλυψη, οι τιμές ενανθράκωσης παρουσιάζουν τιμές με ελάχιστες διαφορές, γεγονός που καταδεικνύει τη σημαντική επίδραση της επικάλυψης στην ενανθράκωση. Ακόμη και η προσθήκη του LiF μείωσε ελαφρά την ενανθράκωση.

8.4.2. Διάβρωση μακράς διάρκειας στην ατμόσφαιρα

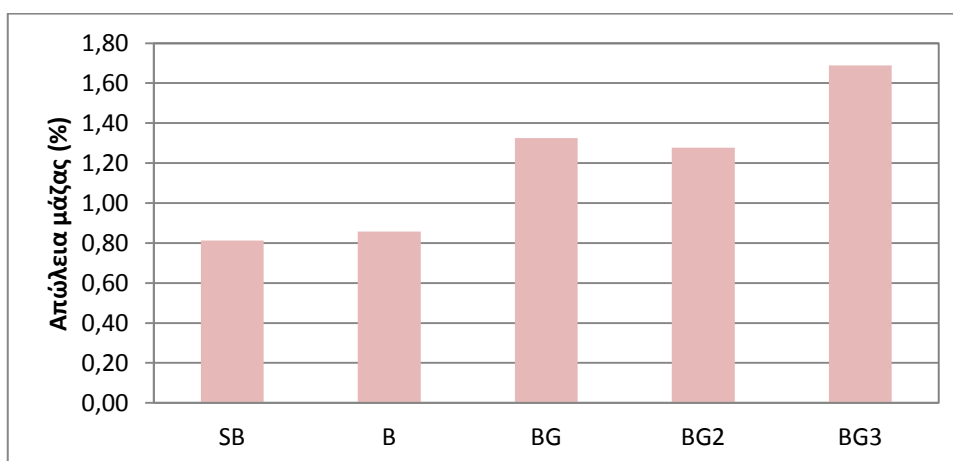
8.4.2.1. Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών

Η (%) απώλεια μάζας των οπλισμών όλων των δοκιμών οπλισμένων κισηροκονιαμάτων και κισηροδεμάτων με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και όλες τις κοκκομετρικές κίσηρης υπολογίστηκε μετά από 24 μήνες έκθεσης σε ατμοσφαιρική διάβρωση στην ταράτσα του κτιρίου Χημικών Μηχανικών στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Στον Πίνακα 8.53 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα απώλειας μάζας για τα δοκίμια όλων των κοκκομετριών κίσηρης, στον Πίνακα 8.54 για τα επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά δοκίμια όλων των κοκκομετριών κίσηρης και στον Πίνακα 8.55 για τα δοκίμια με κίσηρη 0÷5 και 0÷8 και πρόσθετο LiF. Ακολούθως στα σχήματα 8.102 έως 8.104 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Από τους πίνακες αυτούς και τα αντίστοιχα διαγράμματα της (%) απώλειας μάζας των οπλισμών των δοκιμών μετά από 24 μήνες έκθεσης σε ατμοσφαιρική διάβρωση προκύπτει η ίδια εικόνα με αυτήν των δοκιμών που εκτέθηκαν στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Η διάβρωση των οπλισμών των κισηροδεμάτων ήταν μεγαλύτερη από τη διάβρωση των οπλισμών του κισηροκονιάματος. Η επικάλυψη ακρυλικής διασποράς με TiO₂ είχε προστατευτική επίδραση σε όλες τις κατηγορίες διαφορετικής κοκκομετρίας κίσηρης, με ποσοστά προστασίας της τάξης του 10% για τα δοκίμια λεπτής και μεσαίας κίσηρης και της τάξης κατά μέσο όρο του 25% για τους τρεις συνδυασμούς μεσαίας και χονδρής κίσηρης. Η προσθήκη του LiF μείωσε κατά ένα μικρό ποσοστό 8% τη διάβρωση των οπλισμών.

Πίνακας 8.53. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και όλες τις κοκκομετρίες κίσηρης σε ατμοσφαιρική διάβρωση (χρόνος έκθεσης 24 μήνες)

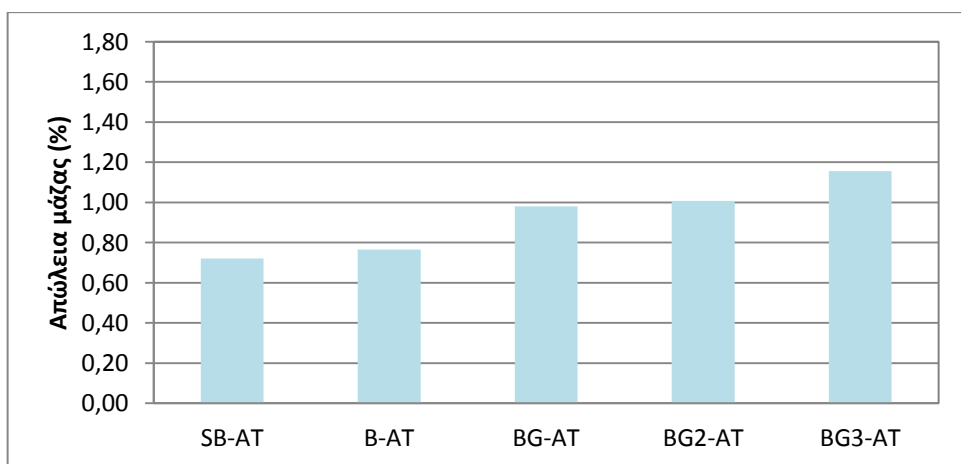
Κωδικός	$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
SB-17	91,0681	90,3536	0,7145	0,785
SB-18	90,6305	89,8790	0,7515	0,829
SB-19	90,7996	90,0544	0,7452	0,821
SB-20	92,8234	92,0676	0,7558	0,814
Μ.Ο.			0,7418	0,812
<i>Τυπ.Απόκλιση</i>			<i>0,0187</i>	<i>0,0194</i>
B-17	91,4804	90,7200	0,7604	0,831
B-18	89,6420	88,8731	0,7689	0,858
B-19	91,5023	90,7189	0,7834	0,856
B-20	91,6042	90,7912	0,8130	0,888
Μ.Ο.			0,7814	0,858
<i>Τυπ.Απόκλιση</i>			<i>0,0231</i>	<i>0,0230</i>
BG-17	85,0977	83,9885	1,1092	1,303
BG-18	92,7654	91,5575	1,2079	1,302
BG-19	92,1554	90,8962	1,2592	1,366
BG-20	93,4644	92,2241	1,2403	1,327
Μ.Ο.			1,2042	1,325
<i>Τυπ.Απόκλιση</i>			<i>0,0668</i>	<i>0,0300</i>
BG2-17	90,0560	88,9186	1,1374	1,263
BG2-18	93,4197	92,2274	1,1923	1,276
BG2-19	90,9312	89,7219	1,2093	1,330
BG2-20	94,6276	93,4529	1,1747	1,241
Μ.Ο.			1,1784	1,278
<i>Τυπ.Απόκλιση</i>			<i>0,0308</i>	<i>0,0377</i>
BG3-17	90,0729	88,5490	1,5239	1,692
BG3-18	89,4610	87,9674	1,4936	1,670
BG3-19	91,1873	89,6763	1,5110	1,657
BG3-20	86,5556	85,0507	1,5049	1,739
Μ.Ο.			1,5084	1,689
<i>Τυπ.Απόκλιση</i>			<i>0,0126</i>	<i>0,0359</i>



Σχήμα 8.102. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και όλες τις κοκκομετρίες κίσηρης σε ατμοσφαιρική διάβρωση (χρόνος έκθεσης 24 μήνες).

Πίνακας 8.54. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, όλες τις κοκκομετρίες κίσηρης και την ακρυλική επικάλυψη σε ατμοσφαιρική διάβρωση (χρόνος έκθεσης 24 μήνες)

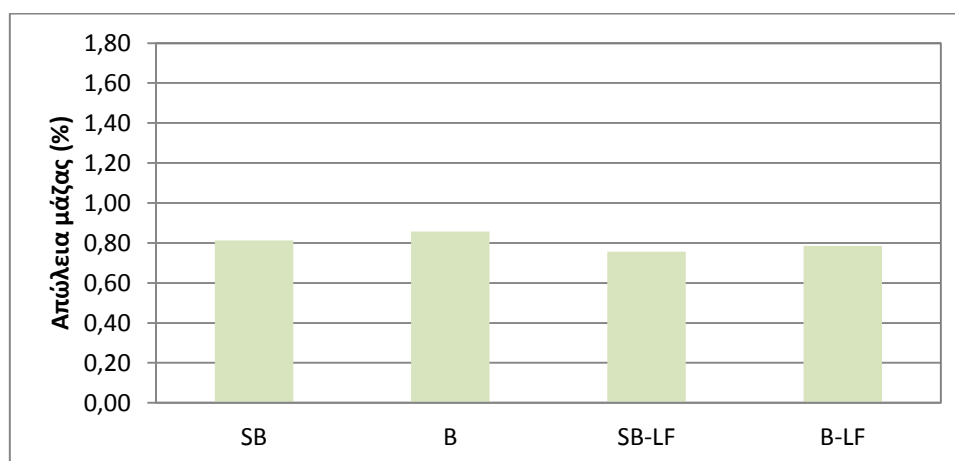
Κωδικός	m _{αρχ} (g)	m _{τελ} (g)	AM (g)	AM (%)
SB-AT-17	93,5569	92,8741	0,6828	0,730
SB-AT-18	89,3279	88,7078	0,6201	0,694
SB-AT-19	85,4578	84,8269	0,6309	0,738
SB-AT-20	94,2954	93,6165	0,6789	0,720
Μ.Ο.			0,6532	0,721
<i>Τυπ.Απόκλιση</i>			<i>0,0323</i>	<i>0,0191</i>
B-AT-17	89,5694	88,8919	0,6775	0,756
B-AT-18	84,9655	84,2926	0,6729	0,792
B-AT-19	90,3342	89,6504	0,6838	0,757
B-AT-20	89,1908	88,5190	0,6718	0,753
Μ.Ο.			0,6765	0,765
<i>Τυπ.Απόκλιση</i>			<i>0,0055</i>	<i>0,0183</i>
BG-AT-17	93,8882	92,9590	0,9292	0,990
BG-AT-18	91,9996	91,1268	0,8728	0,949
BG-AT-19	88,5133	87,6470	0,8663	0,979
BG-AT-20	93,5677	92,6270	0,9407	1,005
Μ.Ο.			0,9022	0,981
<i>Τυπ.Απόκλιση</i>			<i>0,0381</i>	<i>0,0239</i>
BG2-AT-17	87,4781	86,5852	0,8929	1,021
BG2-AT-18	87,6978	86,7957	0,9021	1,029
BG2-AT-19	93,4912	92,5884	0,9028	0,966
BG2-AT-20	89,2489	88,3403	0,9086	1,018
Μ.Ο.			0,9016	1,008
<i>Τυπ.Απόκλιση</i>			<i>0,0065</i>	<i>0,0288</i>
BG3-AT-17	86,1537	85,1271	1,0266	1,192
BG3-AT-18	94,9473	93,8948	1,0525	1,109
BG3-AT-19	91,1289	90,0749	1,0540	1,157
BG3-AT-20	94,2568	93,1577	1,0991	1,166
Μ.Ο.			1,0581	1,156
<i>Τυπ.Απόκλιση</i>			<i>0,0301</i>	<i>0,0348</i>



Σχήμα 8.103. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, όλες τις κοκκομετρίες κίσηρης και την ακρυλική επικάλυψη σε ατμοσφαιρική διάβρωση (χρόνος έκθεσης 24 μήνες).

Πίνακας 8.55. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, με κίσηρη 0÷5 και 0÷8 και πρόσθετο LiF σε ατμοσφαιρική διάβρωση (χρόνος έκθεσης 24 μήνες)

Κωδικός	$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
SB-LF-17	93,8360	93,1344	0,7016	0,748
SB-LF-17	90,3191	89,6161	0,7030	0,778
SB-LF-17	93,9257	93,2200	0,7057	0,751
SB-LF-17	93,8879	93,1857	0,7022	0,748
Μ.Ο.			0,7031	0,756
Τυπ.Απόκλιση			0,0018	0,0148
B-LF-17	93,9564	93,1754	0,7810	0,831
B-LF-17	90,1125	89,4023	0,7102	0,788
B-LF-17	86,5361	85,8895	0,6466	0,747
B-LF-17	90,9201	90,2175	0,7026	0,773
Μ.Ο.			0,7101	0,785
Τυπ.Απόκλιση			0,0551	0,0352



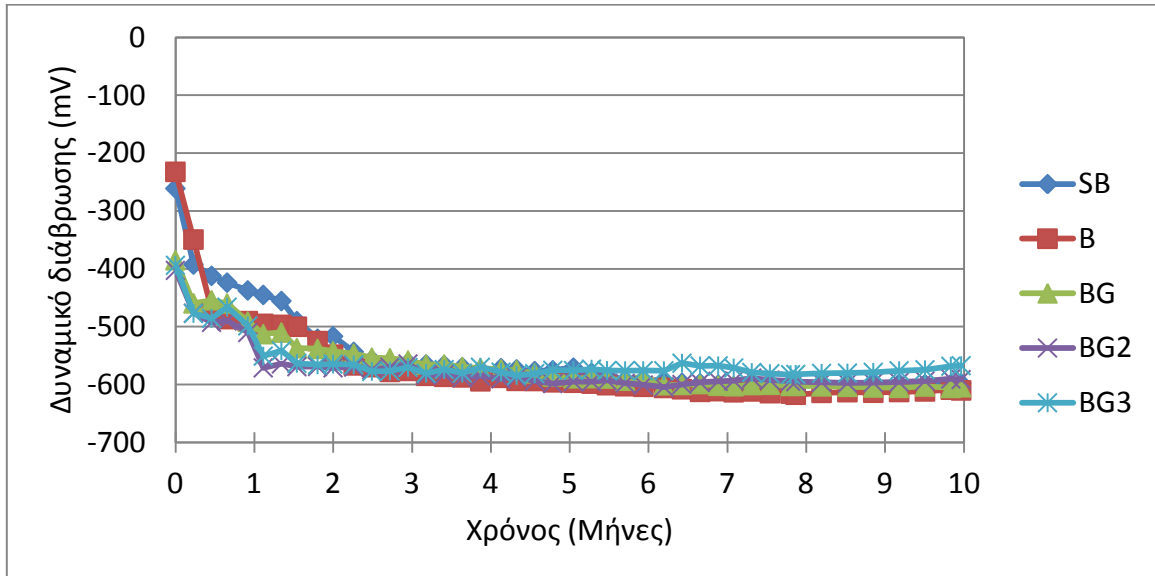
Σχήμα 8.104. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, με κίσηρη 0÷5 και 0÷8 και πρόσθετο LiF σε ατμοσφαιρική διάβρωση (χρόνος έκθεσης 24 μήνες).

8.4.3. Τέταρτο μερικό συμπέρασμα

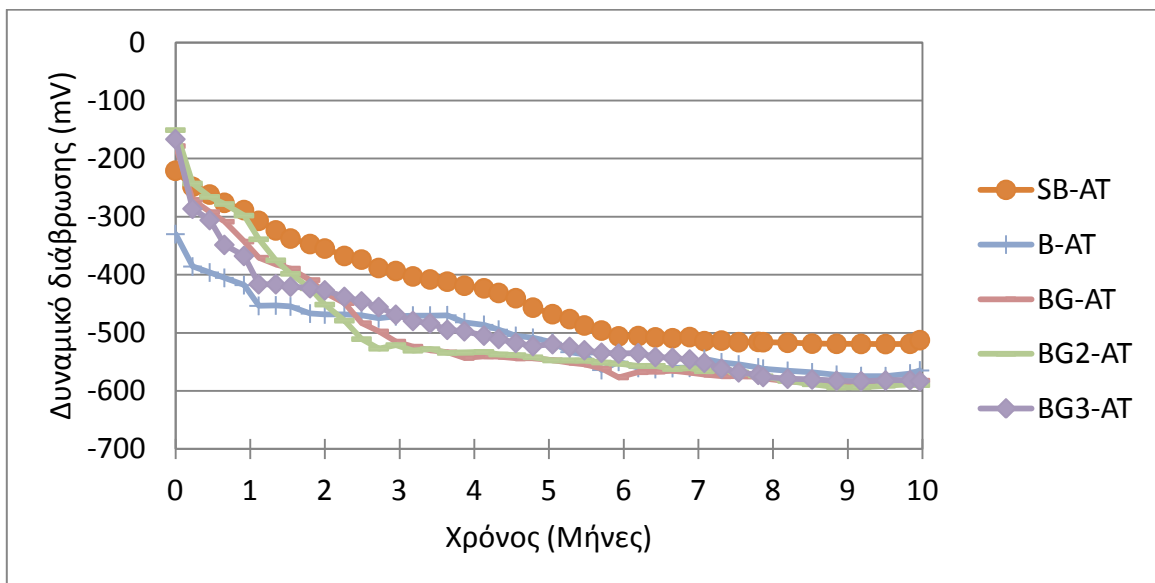
Ακολουθούν τα συγκριτικά διαγράμματα δυναμικού διάβρωσης – χρόνου έκθεσης και απώλειας μάζας – χρόνου έκθεσης για όλες τις κοκκομετρίες κίσηρης (σχήματα 8.105 και 8.108), όλες τις κοκκομετρίες κίσηρης και την ακρυλική επικάλυψη (σχήματα 8.106 και 8.109) και τα δοκίμια με λεπτή και μεσαία κίσηρη και LiF (σχήματα 8.107 και 8.110) δοκιμών που εκτέθηκαν στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Όπως προκύπτει από αυτά και συγκρίνοντας από άποψη διάβρωσης το κίσηροκονίαμα (SB) με τα τέσσερα κίσηρο-σκυροδέματα προκύπτει ότι τη μικρότερη διάβρωση παρουσίασε το κίσηροκονίαμα. Η διάκριση μεταξύ των κίσηροσκυροδεμάτων είναι επίφοβη.

Η χρήση της ακρυλικής επικάλυψης μείωσε, όπως ήταν αναμενόμενο, τη διάβρωση του οπλισμού όλων των κίσηροδεμάτων κατά 35%÷40%.

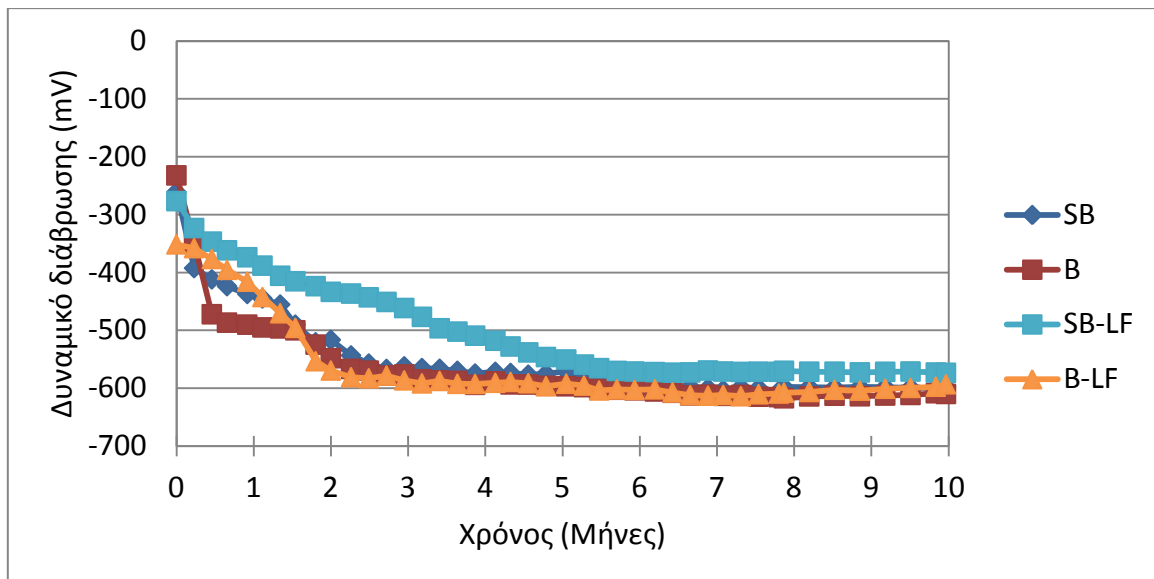
Επιχειρήθηκε η χρησιμοποίηση του LiF ως αναχαιτιστή αλκαλοπυριτικής αντίδρασης, αν και στην περίπτωση όλων των κισσηροκονιαμάτων και κισσηροδεμάτων δεν διαπιστώθηκε αλκαλοπυριτική αντίδραση. Η χρήση LiF δεν αύξησε τη διάβρωση, αλλά μάλλον τη μείωσε.



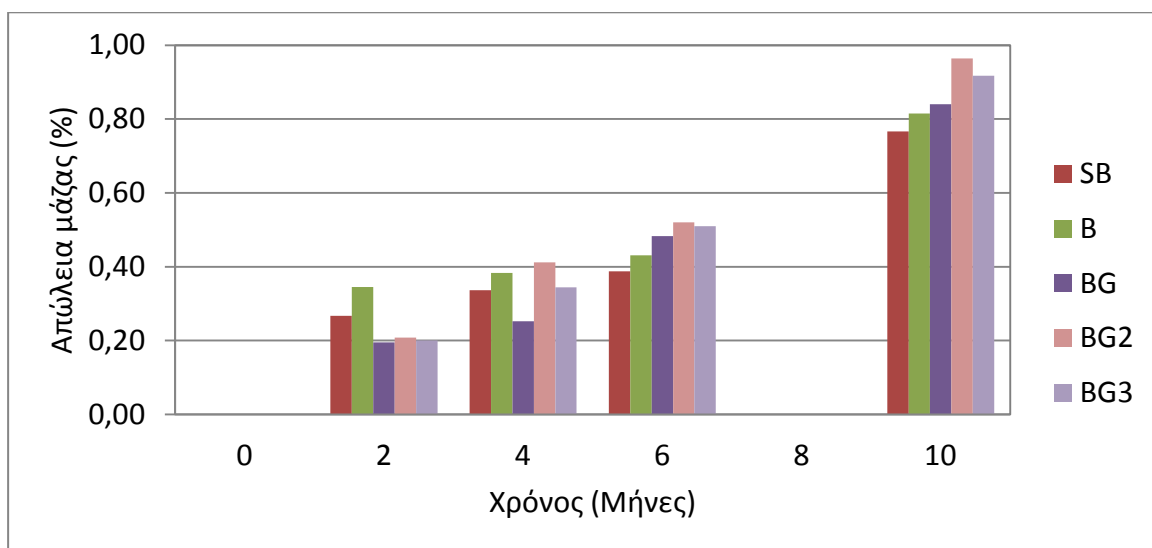
Σχήμα 8.105. Συγκριτικό διάγραμμα δυναμικών διάβρωσης οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και όλες τις κοκκομετρικές κίσηρης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



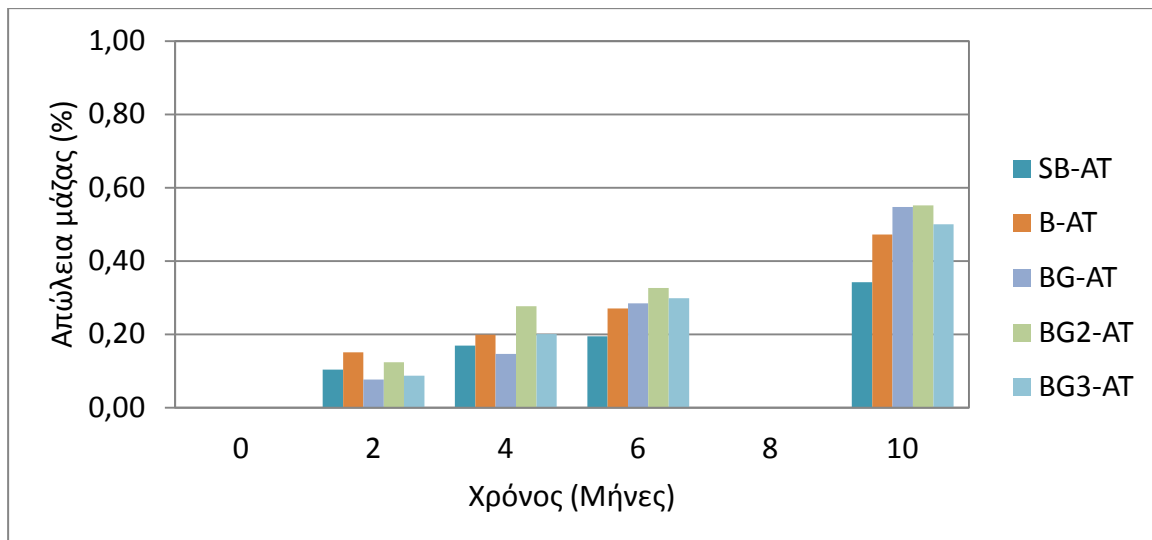
Σχήμα 8.106. Συγκριτικό διάγραμμα δυναμικών διάβρωσης οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, όλες τις κοκκομετρικές κίσηρης και την ακρυλική επικάλυψη στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



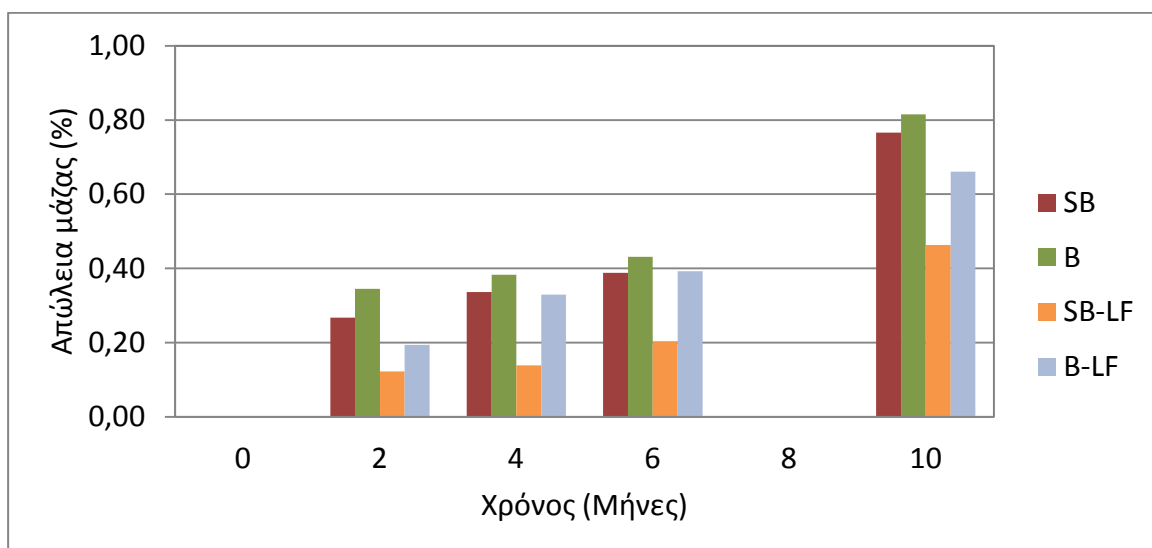
Σχήμα 8.107. Συγκριτικό διάγραμμα δυναμικών διάβρωσης σπλισμών δοκιμίων με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 με κίσηρη 0÷5 και 0÷8, αναφοράς και με LiF, στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.108. Συγκριτικό διάγραμμα απώλεια μάζας (%) σπλισμών δοκιμίων με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και όλες τις κοκκομετρικές κίσηρης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.109. Συγκριτικό διάγραμμα απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίων, με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, όλες τις κοκκομετρικές κίσηρη και την ακρυλική επικάλυψη, στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.110. Συγκριτικό διάγραμμα απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίων, με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 με κίσηρη 0÷5 και 0÷8, αναφοράς και με LiF, στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Στην έκθεση στον αέρα των αντίστοιχων δοκιμίων, όπου μετρήθηκαν μετά από 24 μήνες οι απώλειες μάζας των οπλισμών, προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η διάβρωση των οπλισμών των κισσηροδεμάτων ήταν μεγαλύτερη από τη διάβρωση του κισσηροκονιάματος.
- Η επικάλυψη ακρυλικής διασποράς είχε σε όλες τις περιπτώσεις προστατευτική επίδραση.
- Η χρήση του LiF μείωσε τη διάβρωση των οπλισμών.

8.5. ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ V: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ

Σε αυτήν την ενότητα εξετάζεται η κατηγορία δοκιμών V, η οποία περιλαμβάνει 54 πρισματικά δοκίμια οπλισμένου κισσηροκονιάματος διαστάσεων 80×80×100 mm, με 4 χαλύβδινους οπλισμούς σκυροδέματος, διαμέτρου 12 mm και ύψους 100 mm, που κατασκευάστηκαν με σταθερή αναλογία «τσιμέντο : κίσηρη λεπτή : νερό» «1 : 3 : 0.85». Χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και φθοριούχο λίθιο (LiF) είτε μόνο του, είτε σε συνδυασμό με νιτρώδες νάτριο (NaNO₂) σε διάφορες αναλογίες. Το φθοριούχο λίθιο προστίθεται για την αποφυγή τυχόν αλκαλοπυριτικής αντίδρασης (ASR) και το νιτρώδες νάτριο ως αναστολέας διάβρωσης. Τέλος δοκίμια με φθοριούχο λίθιο επικαλύφθηκαν με τις δύο επικαλύψεις με πιγμέντα οξειδία σιδήρου (Fe₂O₃ και Fe₃O₄), δηλαδή με την ακρυλική διασπορά και την επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ. Οι κατηγορίες και οι αναλογίες σύστασης των δοκιμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.56.

Πίνακας 8.56. Κατηγορίες και αναλογίες σύστασης δοκιμών κατηγορίας V

Κωδικός	Τσιμέντο CEM II/B-M 32.5	Κίσηρη (0-5)	Νερό	Πρόσθετο	Επικάλυψη
P	1	3	0.85	-	-
LF	1	3	0.85	1%LiF	-
LF ₁ +NN ₂	1	3	0.85	1%LiF 2%NaNO ₂	-
LF _{1.5} +NN ₂	1	3	0.85	1.5%LiF 2%NaNO ₂	-
LF ₁ +NN ₅	1	3	0.85	1%LiF 5%NaNO ₂	-
AF	1	3	0.85	-	AF
XF	1	3	0.85	-	XF
LF-AF	1	3	0.85	1%LiF	AF
LF-XF	1	3	0.85	1%LiF	XF

Η μελέτη της επίδρασης του προσθέτου, του αναστολέα διάβρωσης, του συνδυασμού τους και της ταυτόχρονης χρήσης προσθέτου και επικάλυψης στη διάβρωση του οπλισμού των δοκιμών κισσηροκονιαμάτων, έγινε με έκθεση των δοκιμών στα διαβρωτικά περιβάλλοντα:

A. Μερική έκθεση σε υδατικό διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl (μερική εμβάπτιση μέχρις ύψους 2cm) για συνολικό διάστημα δέκα μηνών προσομοιάζοντας το θαλάσσιο περιβάλλον. Στα δοκίμια αυτά πραγματοποιήθηκαν:

- Χρονική καταγραφή του δυναμικού διάβρωσης (E_{CORR}) ή δυναμικού ανοικτού κυκλώματος (E_{OCP}) των οπλισμών ως προς ηλεκτρόδιο αναφοράς κορεσμένου καλομέλανα (SCE) συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91. Κάθε τιμή προκύπτει ως ο μέσος όρος των τιμών των τεσσάρων οπλισμών σε κάθε δοκίμιο. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι τιμές του μετρούμενου δυναμικού διάβρωσης αποτελούν ένδειξη για την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο οπλισμός στο κονίαμα και για το ηλεκτρόδιο αναφοράς κορεσμένου καλομέλανα (SCE) οι τιμές διαμορφώνονται όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.2.

- Υπολογισμός της (%) απώλειας μάζας των οπλισμών. Η απώλεια μάζας των οπλισμών για κάθε χρονικό διάστημα υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος της απώλειας μάζας των τεσσάρων οπλισμών του πρισματικού δοκιμίου οπλισμένου κονιάματος. Η Απώλεια Μάζας προκύπτει ως η διαφορά της αρχικής μάζας ($m_{αρχ}$) μείον την τελική μάζα ($m_{τελ}$) σε γραμμάρια και κατόπιν υπολογίζεται η % Απώλεια Μάζας ως ο λόγος της απώλειας μάζας προς την αρχική μάζα.

- Μέτρηση του βάθους ενανθράκωσης.
- Μέτρηση της μέσης ακτίνας των πόρων και του ολικού ανοικτού πορώδους του κισσηροδέματος με ποροσιμετρία υδραργύρου.
- Μέτρηση της ταχύτητας διάβρωσης μέσω της τεχνικής γραμμικής πόλωσης (Linear Polarization)
- Μετρήσεις φασματοσκοπίας σύνθετης αντίστασης (Electrochemical Impedance Spectroscopy).

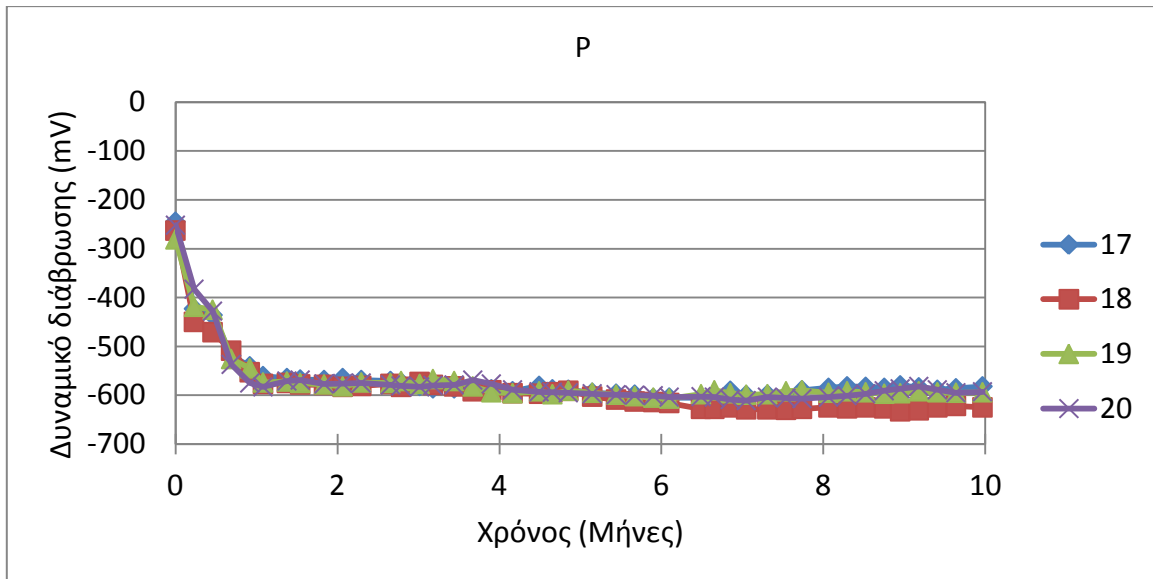
Β. Ατμοσφαιρική διάβρωση: Παραμονή στην ταράτσα του κτιρίου Χημικών Μηχανικών στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου για διάστημα 24 μηνών. Στα δοκίμια αυτά πραγματοποιήθηκαν:

- Υπολογισμός της (%) απώλειας μάζας των οπλισμών, που προκύπτει από τη διαφορά της αρχικής μάζας μείον την τελική μάζα του οπλισμού προς την αρχική μάζα. Κάθε τιμή προκύπτει ως ο μέσος όρος των τιμών των τεσσάρων οπλισμών σε κάθε δοκίμιο
- Υπολογισμός του βάθους ενανθράκωσης στα κισσηροκονιάματα σύμφωνα με το πρότυπο BS EN 14630-2006.

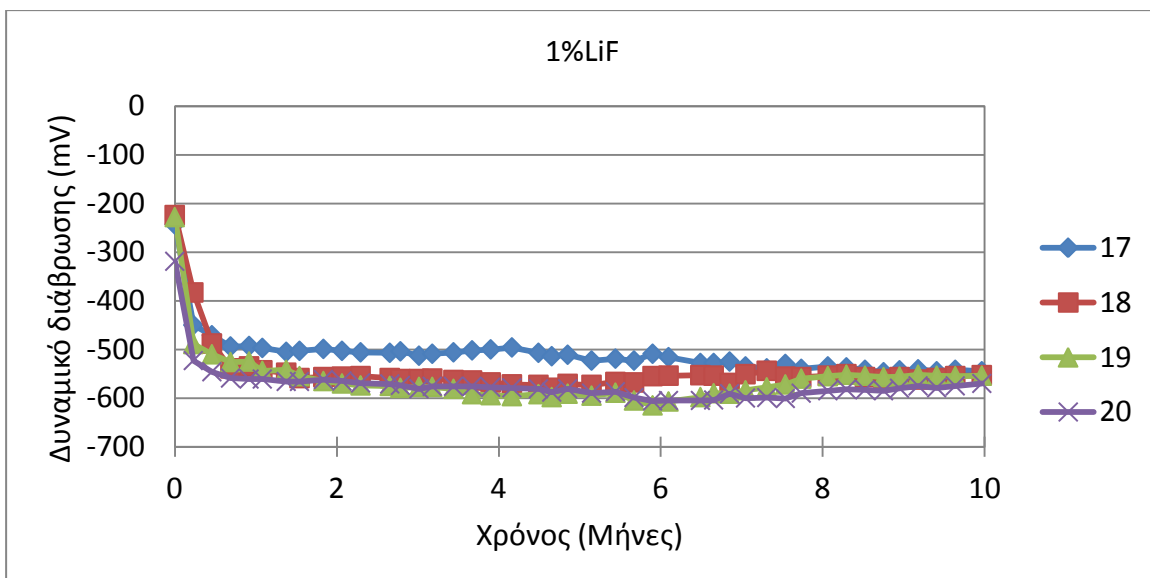
8.5.1. Διάβρωση μέσης διάρκειας με μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl

8.5.1.1. Χρονική εξέλιξη του δυναμικού διάβρωσης των οπλισμών

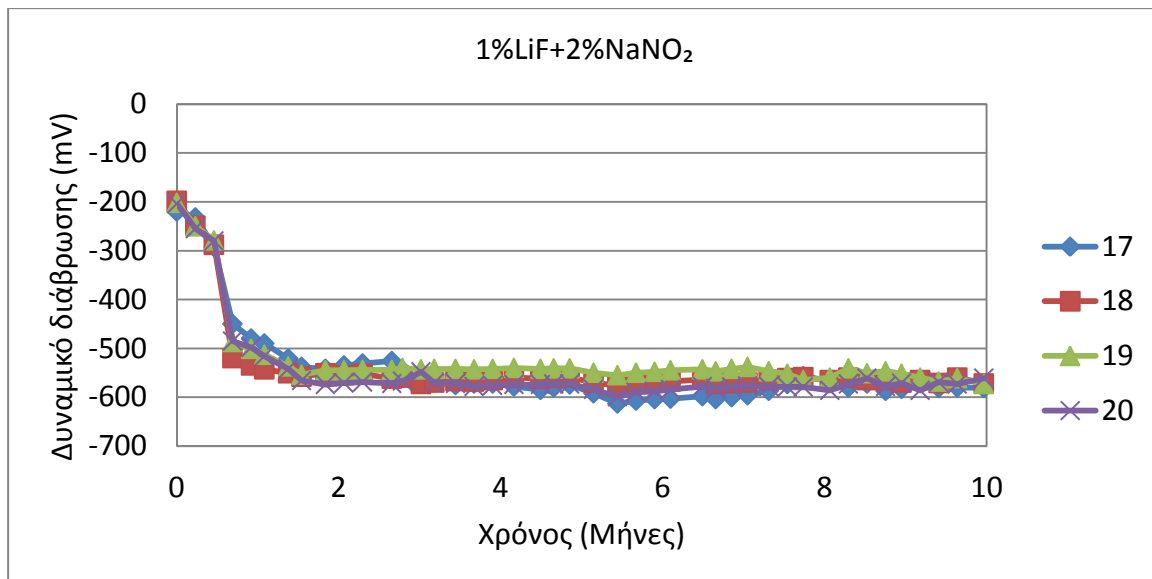
Το δυναμικό διάβρωσης μετρήθηκε σε τακτά χρονικά διαστήματα σε όλους τους οπλισμούς ως προς ηλεκτρόδιο αναφοράς κορεσμένου καλομέλανα SCE. Τα αναλυτικά αποτελέσματα του δυναμικού διάβρωσης για κάθε οπλισμό παρατίθενται σε Πίνακες στο Παράρτημα. Στα σχήματα 8.111 έως 8.115 παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις του δυναμικού διάβρωσης συναρτήσει του χρόνου για τα δοκίμια αναφοράς μόνο με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και τα δοκίμια με τα πρόσθετα LiF και NaNO₂ των όλων των κατηγοριών.



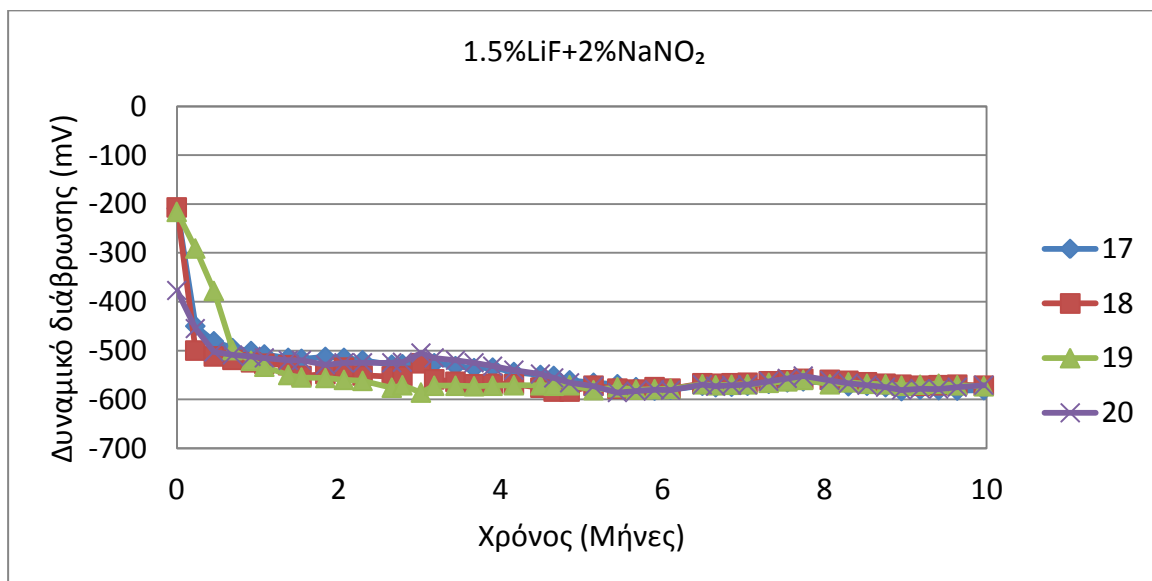
Σχήμα 8.111. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τιμμένο CEM II/B-M 32.5 συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



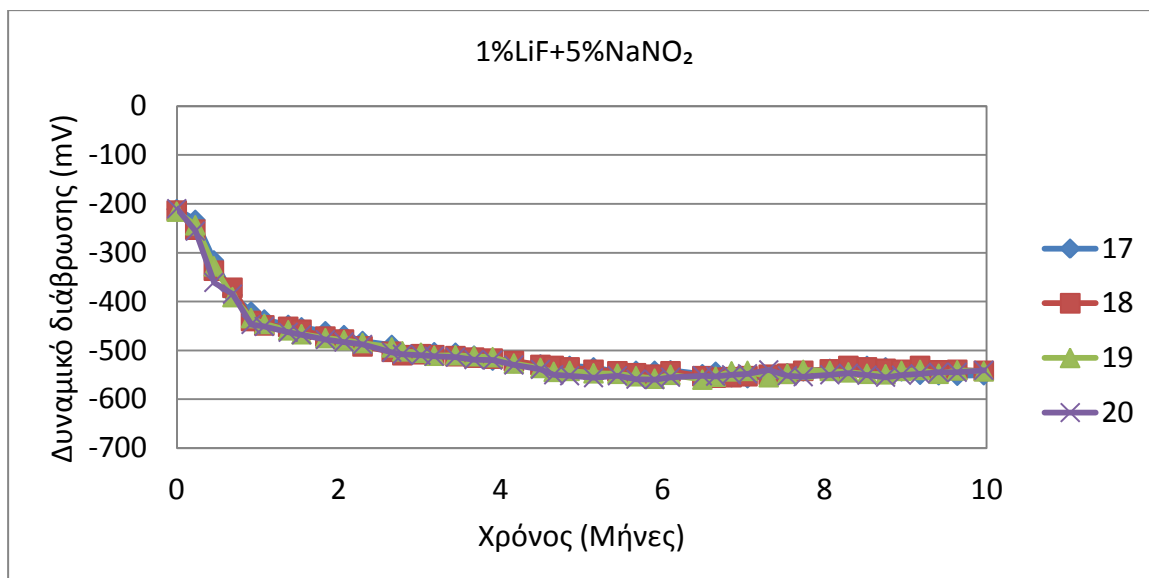
Σχήμα 8.112. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τιμμένο CEM II/B-M 32.5 και LiF συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.113. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και 1%LiF+2%NaNO₂ συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.114. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και 1.5%LiF+2%NaNO₂ συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

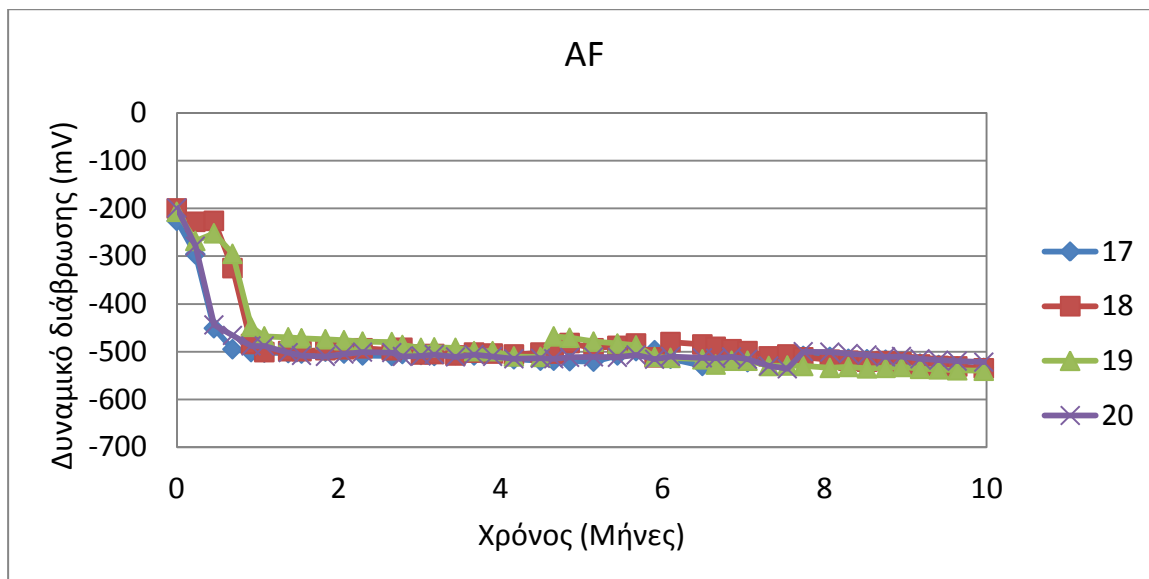


Σχήμα 8.115. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και 1%LiF+5%NaNO₂ συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

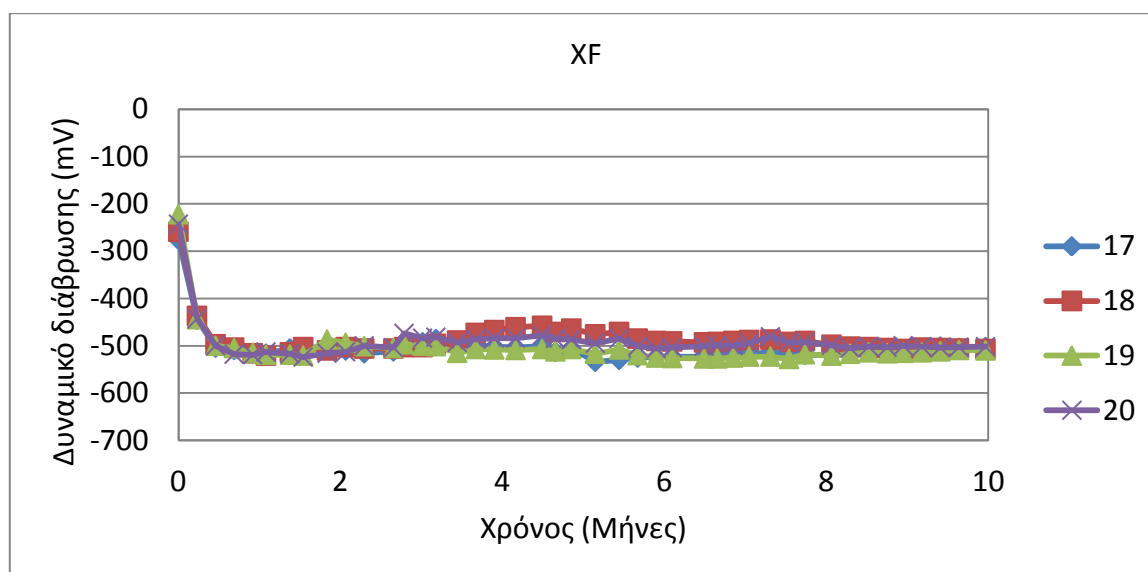
Όπως φαίνεται από το διάγραμμα των δυναμικών διάβρωσης των χαλύβων στα δοκίμια αναφοράς (μόνο με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5) (σχήμα 8.111), το δυναμικό ξεκινώντας από τα -250mV μειώνεται απότομα στα -600mV από τον πρώτο μήνα, όπου και σταθεροποιείται για τον υπόλοιπο χρόνο του διαστήματος έκθεσης. Τα δοκίμια μόνο με LiF (σχήμα 8.112), παρουσιάζουν εξ αρχής πτώση περίπου στα -550mV, τιμή που διατηρούν έως το τέλος της έκθεσης. Τα δοκίμια με 1%LiF+2%NaNO₂ (σχήμα 8.113) και 1,5%LiF+2%NaNO₂ (σχήμα 8.114) παρουσιάζουν ανάλογη πορεία και τελική σταθεροποίηση στα -550mV÷-600mV. Τέλος στο δοκίμιο 1%LiF+5%NaNO₂ (σχήμα 8.115) οι σπλισμοί εμφανίζουν γρήγορη μείωση των δυναμικών τους τον πρώτο μήνα, ακολουθούμενη από πιο αργή μείωση τους επόμενους τέσσερις μήνες, οπότε και σταθεροποιούνται στα -550mV ως το τέλος του χρόνου έκθεσης. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι σπλισμοί παρουσιάζουν διάβρωση σε εκτεταμένο βαθμό.

Ακολούθως στα σχήματα 8.116 έως 8.119 παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις του δυναμικού διάβρωσης συναρτήσεως του χρόνου για τα δοκίμια LiF και τις δύο επικαλύψεις με πιγμέντα οξειδία σιδήρου (Fe₂O₃ και Fe₃O₄), δηλαδή με την ακρυλική διασπορά και την επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ. Τα αναλυτικά αποτελέσματα του δυναμικού διάβρωσης για κάθε σπλισμό παρατίθενται σε Πίνακες στο Παράρτημα.

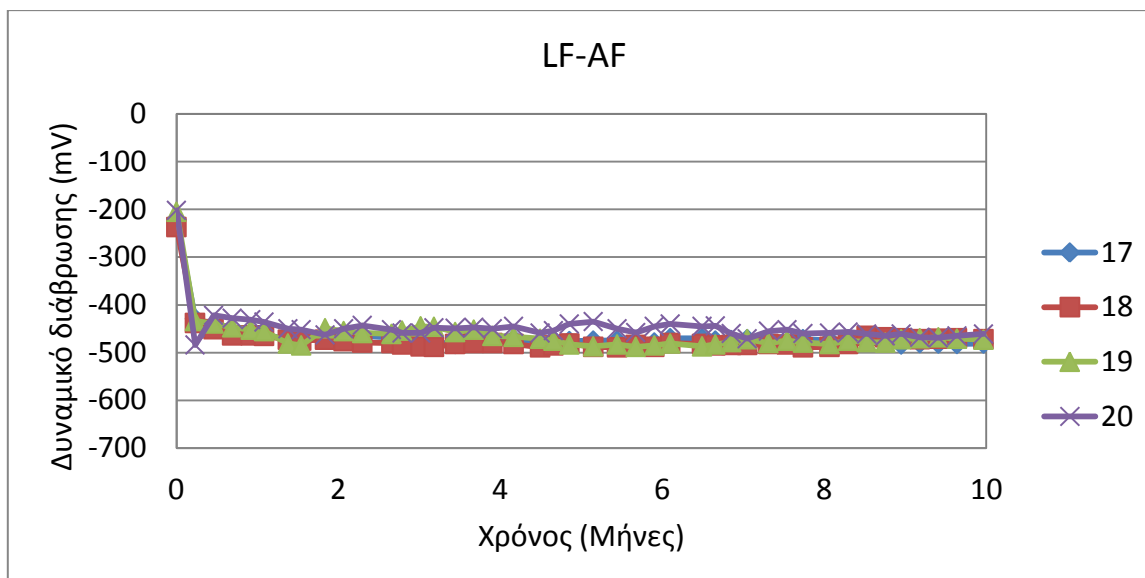
Από τα διαγράμματα των δυναμικών διάβρωσης των χαλύβων στα δοκίμια με τις δυο επικαλύψεις (σχήματα 8.116 και 8.117) παρατηρούνται ελαφρά μεγαλύτερες τιμές δυναμικών από τις προηγούμενες κατηγορίες, αφού η τελική σταθεροποίηση για τα δοκίμια ακρυλικής διασποράς AF συμβαίνει στα -500mV÷-550mV, ενώ για τα δοκίμια χλωριωμένου καουτσούκ XF στα -500mV. Στα δοκίμια με LiF και τις δύο επικαλύψεις, υπάρχει περαιτέρω μικρή αύξηση των δυναμικών, στα μεν δοκίμια ακρυλικής διασποράς η σταθεροποίηση παίρνει τιμές -450mV÷-500mV, στα δε δοκίμια χλωριωμένου καουτσούκ στα -450mV (σχήματα 8.118 και 8.119). Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι σπλισμοί παρουσιάζουν διάβρωση σε εκτεταμένο βαθμό.



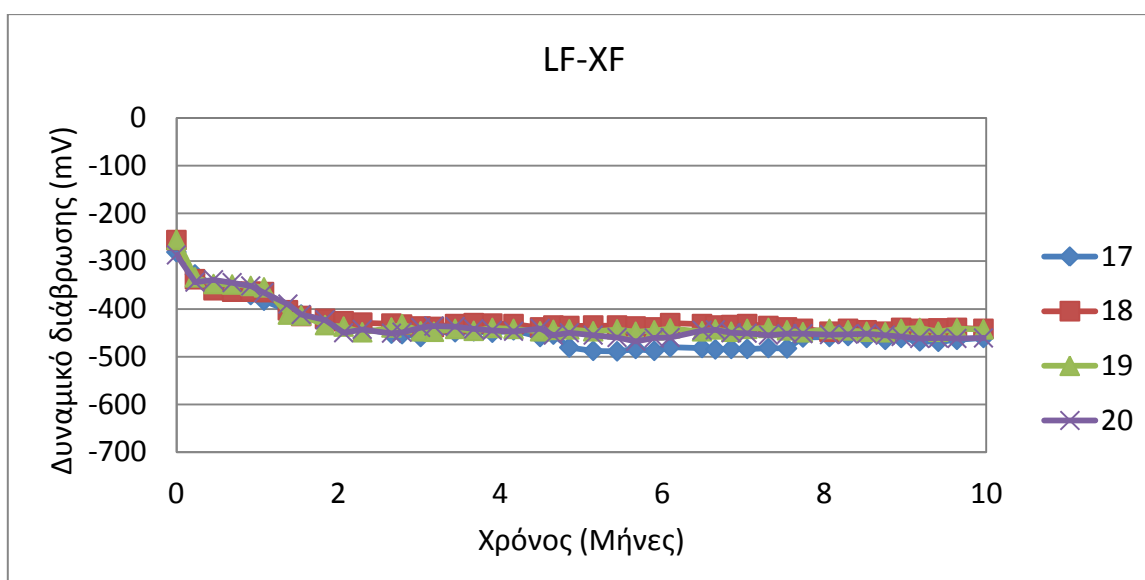
Σχήμα 8.116. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και την επικάλυψη AF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.117. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και την επικάλυψη XF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.118. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, LiF και την επικάλυψη AF συναρτήσεϊ του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



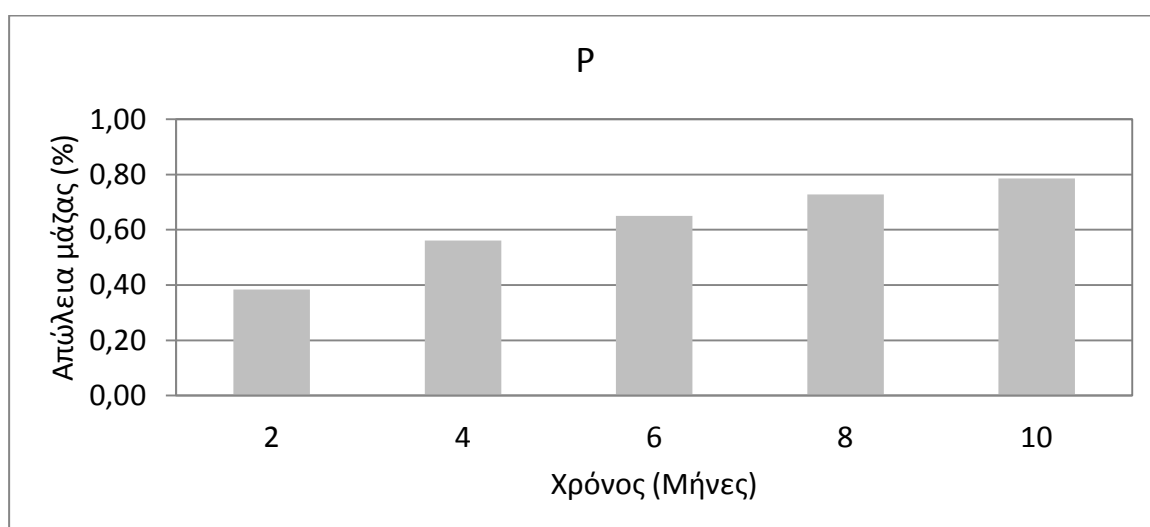
Σχήμα 8.119. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, LiF και την επικάλυψη XF συναρτήσεϊ του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

8.5.1.2. Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών

Η (%) απώλεια μάζας των οπλισμών υπολογίστηκε μετά από δύο, τέσσερις, έξι, οκτώ και δέκα μήνες έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Στους Πίνακες 8.57 έως 8.65 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα απώλειας μάζας συναρτήσεϊ του χρόνου για τα δοκίμια όλων των κατηγοριών δοκιμίων και στα σχήματα 8.120 έως 8.128 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Πίνακας 8.57. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

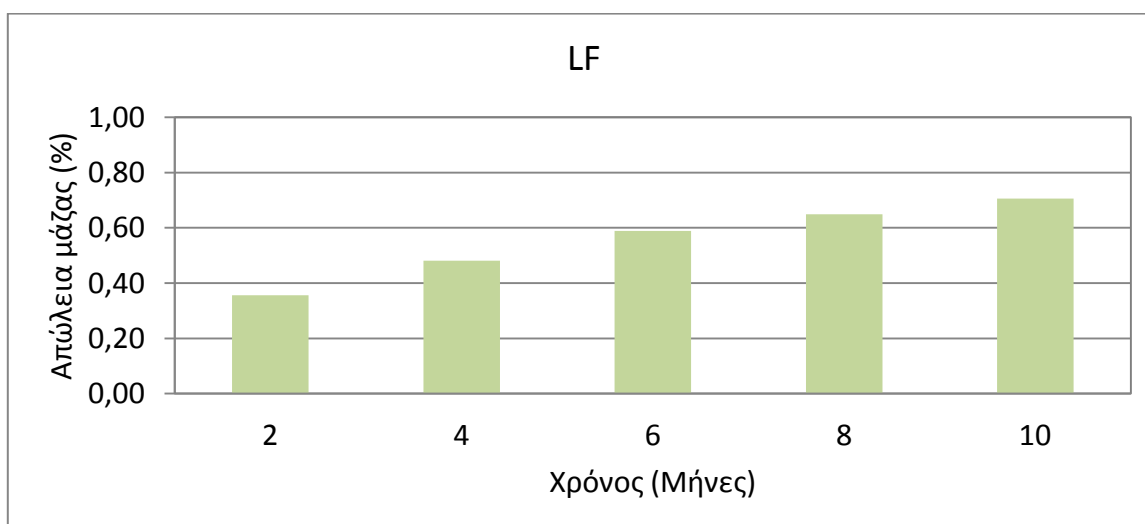
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
P-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	89,4627	89,1029	0,3598	0,402
P-2		89,5324	89,1975	0,3349	0,374
P-3		93,9679	93,6398	0,3281	0,349
P-4		88,6906	88,3286	0,3620	0,408
M.O.				0,3462	0,383
Τυπ. απόκλιση				0,0172	0,0272
P-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	94,3804	93,8497	0,5307	0,562
P-6		90,0611	89,5720	0,4891	0,543
P-7		89,4399	88,9454	0,4945	0,553
P-8		85,7977	85,2928	0,5049	0,588
M.O.				0,5048	0,562
Τυπ. απόκλιση				0,0185	0,0195
P-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	85,9688	85,3954	0,5734	0,667
P-10		92,2206	91,5950	0,6256	0,678
P-11		93,4948	92,9164	0,5784	0,619
P-12		93,8680	93,2693	0,5987	0,638
M.O.				0,5940	0,650
Τυπ. απόκλιση				0,0237	0,0272
P-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	85,9503	85,3320	0,6183	0,719
P-14		88,6683	87,9872	0,6811	0,768
P-15		89,2457	88,6121	0,6336	0,710
P-16		92,3024	91,6445	0,6579	0,713
M.O.				0,6477	0,728
Τυπ. απόκλιση				0,0276	0,0273
P-17	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	91,6231	90,9100	0,7131	0,778
P-18		87,4563	86,7735	0,6828	0,781
P-19		90,8198	90,0982	0,7216	0,795
P-20		89,0173	88,3150	0,7023	0,789
M.O.				0,7050	0,786
Τυπ. απόκλιση				0,0167	0,0075



Σχήμα 8.120. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.58. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και LiF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

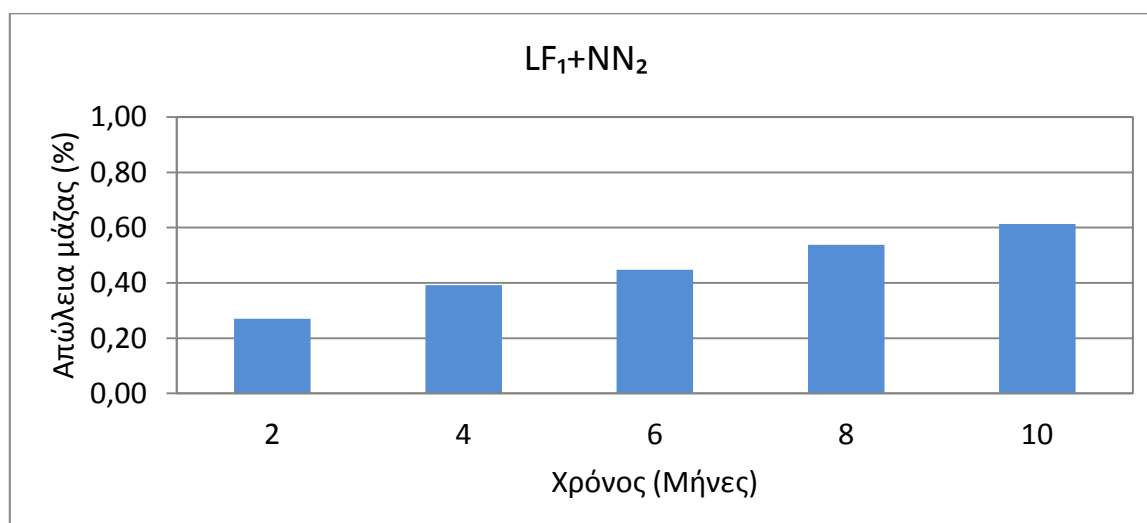
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
LF-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	83,8896	83,5652	0,3244	0,387
LF-1		93,7824	93,4701	0,3123	0,333
LF-1		94,2005	93,8940	0,3065	0,325
LF-1		85,5278	85,2027	0,3251	0,380
M.O.					0,3171
Τυπ.απόκλιση				0,0092	0,0316
LF-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	93,7677	93,3096	0,4581	0,489
LF-6		87,9515	87,5242	0,4273	0,486
LF-7		91,4277	91,0299	0,3978	0,435
LF-8		85,6712	85,2310	0,4402	0,514
M.O.					0,4309
Τυπ.απόκλιση				0,0254	0,0330
LF-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	89,0792	88,5855	0,4937	0,554
LF-10		88,6136	88,0698	0,5438	0,614
LF-11		89,9306	89,3959	0,5347	0,595
LF-12		85,4286	84,9213	0,5073	0,594
M.O.					0,5199
Τυπ.απόκλιση				0,0233	0,0250
LF-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	90,7182	90,0996	0,6186	0,682
LF-14		94,2858	93,6984	0,5874	0,623
LF-15		87,3419	86,7621	0,5798	0,664
LF-16		90,8121	90,2428	0,5693	0,627
M.O.					0,5888
Τυπ.απόκλιση				0,0212	0,0287
LF-17	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	92,6754	92,0369	0,6385	0,689
LF-18		88,0923	87,4940	0,5983	0,679
LF-19		89,7239	89,0841	0,6398	0,713
LF-20		87,0989	86,4517	0,6472	0,743
M.O.					0,6309
Τυπ.απόκλιση				0,0221	0,0285



Σχήμα 8.121. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και LiF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.59. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και 1%LiF+2%NaNO₂ συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl

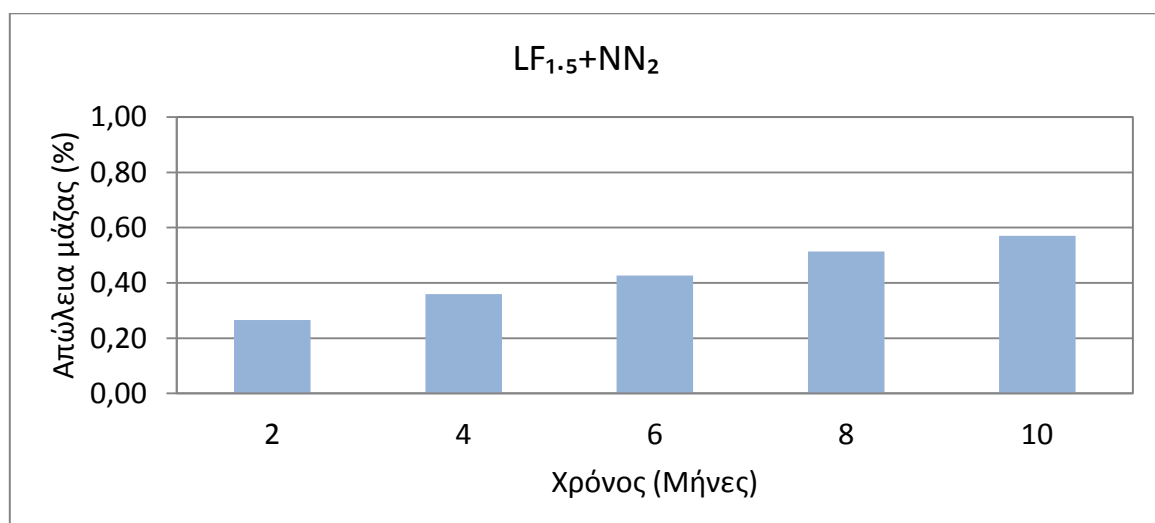
Κωδικός		m _{αρχ} (g)	m _{τελ} (g)	AM (g)	AM (%)
LF ₁ +NN ₂ -1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	94,5107	94,2709	0,2398	0,254
LF ₁ +NN ₂ -2		94,9410	94,7145	0,2265	0,239
LF ₁ +NN ₂ -3		90,6799	90,4240	0,2559	0,282
LF ₁ +NN ₂ -4		86,9332	86,6688	0,2644	0,304
Μ.Ο.					0,2466
Τυπ.απόκλιση				0,0169	0,0293
LF ₁ +NN ₂ -5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	89,6534	89,2652	0,3882	0,433
LF ₁ +NN ₂ -6		89,8615	89,5290	0,3325	0,370
LF ₁ +NN ₂ -7		90,4146	90,0726	0,3420	0,378
LF ₁ +NN ₂ -8		87,7670	87,4286	0,3384	0,386
Μ.Ο.					0,3503
Τυπ.απόκλιση				0,0256	0,0283
LF ₁ +NN ₂ -9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	94,2629	93,8648	0,3981	0,422
LF ₁ +NN ₂ -10		90,4263	89,9890	0,4373	0,484
LF ₁ +NN ₂ -11		93,4986	93,0773	0,4213	0,451
LF ₁ +NN ₂ -12		93,4282	93,0211	0,4071	0,436
Μ.Ο.					0,4159
Τυπ.απόκλιση				0,0171	0,0264
LF ₁ +NN ₂ -13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	92,6559	92,1857	0,4702	0,507
LF ₁ +NN ₂ -14		93,9941	93,4884	0,5057	0,538
LF ₁ +NN ₂ -15		90,8652	90,3518	0,5134	0,565
LF ₁ +NN ₂ -16		94,4694	93,9567	0,5127	0,543
Μ.Ο.					0,5005
Τυπ.απόκλιση				0,0205	0,0237
LF ₁ +NN ₂ -17	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	87,4676	86,8840	0,5836	0,667
LF ₁ +NN ₂ -18		87,8429	87,3300	0,5129	0,584
LF ₁ +NN ₂ -19		90,4688	89,9311	0,5377	0,594
LF ₁ +NN ₂ -20		92,5746	92,0112	0,5634	0,609
Μ.Ο.					0,5494
Τυπ.απόκλιση				0,0307	0,0372



Σχήμα 8.122. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και 1%LiF+2%NaNO₂ συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.60. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και 1.5%LiF+2%NaNO₂ συναρτήσε του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl

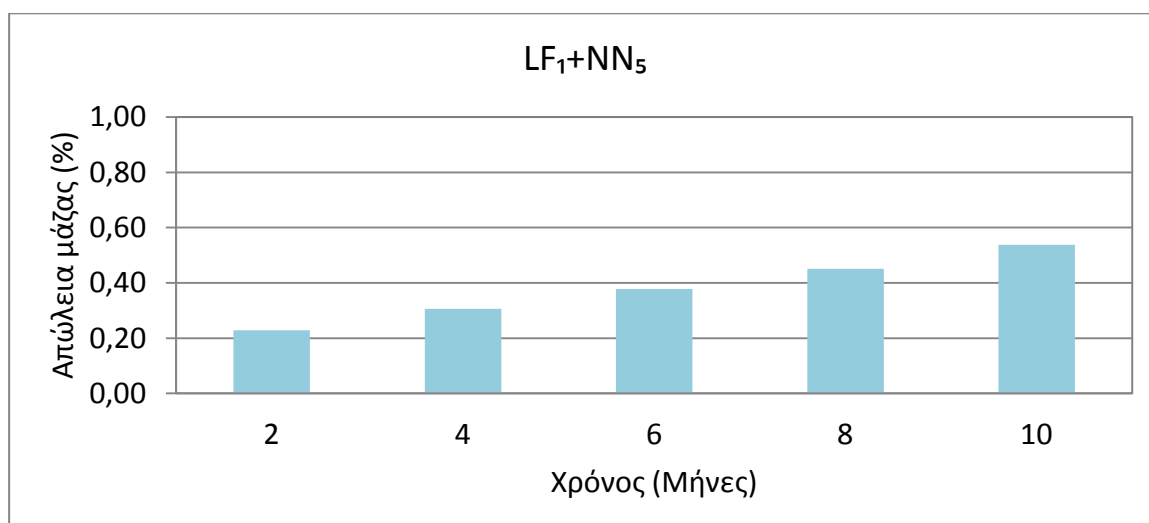
Κωδικός		m _{αρχ} (g)	m _{τελ} (g)	AM (g)	AM (%)
LF _{1.5} +NN ₂ -1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	88,8416	88,6329	0,2087	0,235
LF _{1.5} +NN ₂ -2		90,5360	90,2965	0,2395	0,265
LF _{1.5} +NN ₂ -3		85,8386	85,5824	0,2562	0,298
LF _{1.5} +NN ₂ -4		86,7042	86,4753	0,2289	0,264
Μ.Ο.					0,2333
Τυπ.απόκλιση				0,0199	0,0260
LF _{1.5} +NN ₂ -5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	94,3344	93,9919	0,3425	0,363
LF _{1.5} +NN ₂ -6		90,9696	90,6429	0,3267	0,359
LF _{1.5} +NN ₂ -7		90,4735	90,1692	0,3043	0,336
LF _{1.5} +NN ₂ -8		88,5614	88,2240	0,3374	0,381
Μ.Ο.					0,3277
Τυπ.απόκλιση				0,0169	0,0183
LF _{1.5} +NN ₂ -9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	91,8009	91,4183	0,3826	0,417
LF _{1.5} +NN ₂ -10		90,9937	90,5831	0,4106	0,451
LF _{1.5} +NN ₂ -11		89,8064	89,4347	0,3717	0,414
LF _{1.5} +NN ₂ -12		90,4307	90,0459	0,3848	0,426
Μ.Ο.					0,3874
Τυπ.απόκλιση				0,0165	0,0170
LF _{1.5} +NN ₂ -13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	89,3226	88,8715	0,4511	0,505
LF _{1.5} +NN ₂ -14		89,9272	89,4538	0,4734	0,526
LF _{1.5} +NN ₂ -15		85,0208	84,5788	0,4420	0,520
LF _{1.5} +NN ₂ -16		89,4185	88,9673	0,4512	0,505
Μ.Ο.					0,4544
Τυπ.απόκλιση				0,0134	0,0109
LF _{1.5} +NN ₂ -17	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	86,8935	86,3623	0,5312	0,611
LF _{1.5} +NN ₂ -18		88,6822	88,1899	0,4923	0,555
LF _{1.5} +NN ₂ -19		89,0824	88,5590	0,5234	0,588
LF _{1.5} +NN ₂ -20		91,3297	90,8473	0,4824	0,528
Μ.Ο.					0,5073
Τυπ.απόκλιση				0,0236	0,0364



Σχήμα 8.123. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και 1.5%LiF+2%NaNO₂ συναρτήσε του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.61. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και 1%LiF+5%NaNO₂ συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl

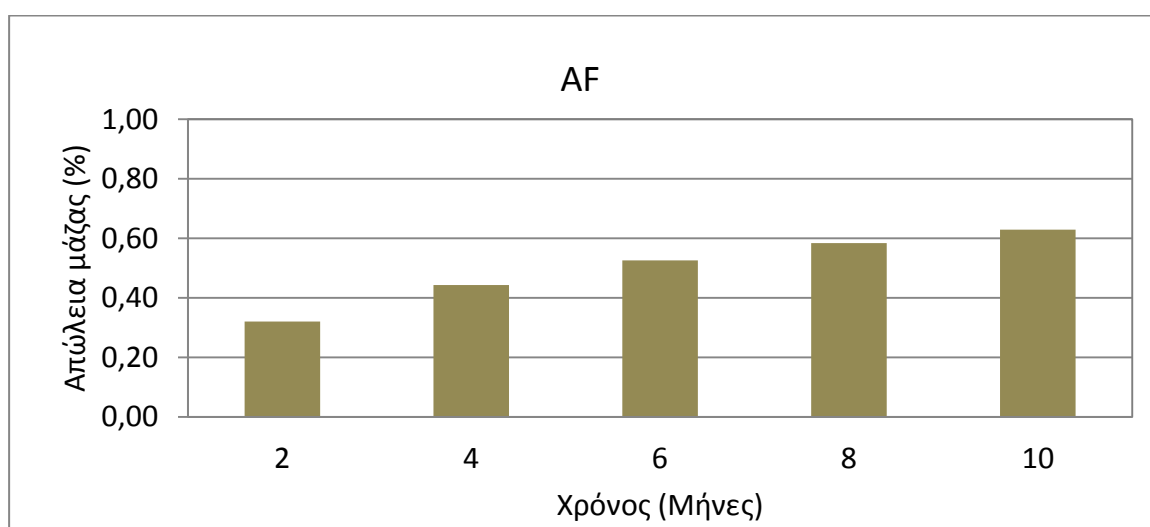
Κωδικός		m _{αρχ} (g)	m _{τελ} (g)	AM (g)	AM (%)
LF ₁ +NN ₅ -1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	88,4765	88,2872	0,1893	0,214
LF ₁ +NN ₅ -2		90,1835	89,9564	0,2271	0,252
LF ₁ +NN ₅ -3		94,4343	94,2356	0,1987	0,210
LF ₁ +NN ₅ -4		90,5190	90,3034	0,2156	0,238
Μ.Ο.					0,2077
Τυπ.απόκλιση				0,0169	0,0198
LF ₁ +NN ₅ -5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	93,8710	93,6248	0,2462	0,262
LF ₁ +NN ₅ -6		88,9918	88,7031	0,2887	0,324
LF ₁ +NN ₅ -7		85,8736	85,5814	0,2922	0,340
LF ₁ +NN ₅ -8		90,2657	89,9957	0,2700	0,299
Μ.Ο.					0,2743
Τυπ.απόκλιση				0,0211	0,0340
LF ₁ +NN ₅ -9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	89,7598	89,4058	0,3540	0,394
LF ₁ +NN ₅ -10		88,4197	88,0949	0,3248	0,367
LF ₁ +NN ₅ -11		88,6856	88,3151	0,3705	0,418
LF ₁ +NN ₅ -12		89,8549	89,5546	0,3003	0,334
Μ.Ο.					0,3374
Τυπ.απόκλιση				0,0311	0,0360
LF ₁ +NN ₅ -13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	86,1109	85,7182	0,3927	0,456
LF ₁ +NN ₅ -14		87,7019	87,2782	0,4237	0,483
LF ₁ +NN ₅ -15		89,0473	88,6681	0,3792	0,426
LF ₁ +NN ₅ -16		89,5672	89,1725	0,3947	0,441
Μ.Ο.					0,3976
Τυπ.απόκλιση				0,0187	0,0245
LF ₁ +NN ₅ -17	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	88,4876	88,0240	0,4636	0,524
LF ₁ +NN ₅ -18		85,2856	84,7954	0,4902	0,575
LF ₁ +NN ₅ -19		93,7581	93,2846	0,4735	0,505
LF ₁ +NN ₅ -20		88,4834	88,0011	0,4823	0,545
Μ.Ο.					0,4774
Τυπ.απόκλιση				0,0115	0,0299



Σχήμα 8.124. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και 1%LiF+5%NaNO₂ συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.62. Απώλεια μάζας (%) σπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και την επικάλυψη AF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης (μερική εμβάπτιση σε 3,5% κ.β. NaCl)

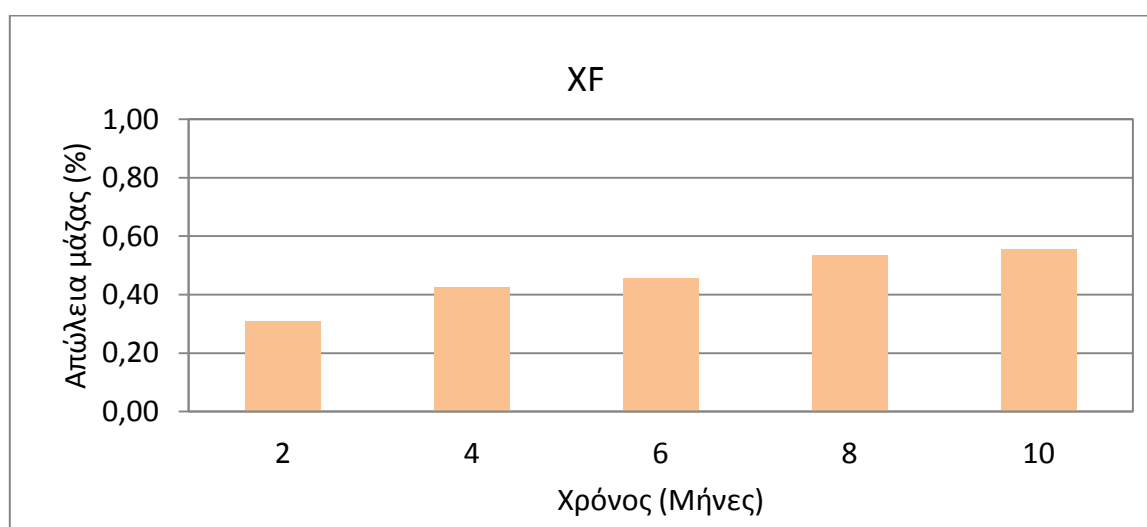
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
AF-1	Χρόνος	90,3064	89,9877	0,3187	0,353
AF-2	έκθεσης 2	90,1503	89,8830	0,2673	0,297
AF-3	μήνες	89,8985	89,6140	0,2845	0,316
AF-4		93,1758	92,8820	0,2938	0,315
M.O.				0,2911	0,320
Τυπ.απόκλιση				0,0214	0,0236
AF-5	Χρόνος	89,3420	88,9236	0,4184	0,468
AF-6	έκθεσης 4	90,3461	89,9531	0,3930	0,435
AF-7	μήνες	89,8206	89,4133	0,4073	0,453
AF-8		90,1411	89,7682	0,3729	0,414
M.O.				0,3979	0,443
Τυπ.απόκλιση				0,0196	0,0236
AF-9	Χρόνος	89,1578	88,6596	0,4982	0,559
AF-10	έκθεσης 6	84,8517	84,4115	0,4402	0,519
AF-11	μήνες	93,5302	93,0598	0,4704	0,503
AF-12		89,3024	88,8347	0,4677	0,524
M.O.				0,4691	0,526
Τυπ.απόκλιση				0,0237	0,0235
AF-13	Χρόνος	85,3289	84,8333	0,4956	0,581
AF-14	έκθεσης 8	88,3423	87,8132	0,5291	0,599
AF-15	μήνες	94,3305	93,7909	0,5396	0,572
AF-16		89,0673	88,5480	0,5193	0,583
M.O.				0,5209	0,584
Τυπ.απόκλιση				0,0188	0,0112
AF-17	Χρόνος	89,4891	88,9399	0,5492	0,614
AF-18	έκθεσης	90,3780	89,7891	0,5889	0,652
AF-19	10 μήνες	92,2734	91,7000	0,5734	0,621
AF-20		88,4982	87,9413	0,5569	0,629
M.O.				0,5671	0,629
Τυπ.απόκλιση				0,0177	0,0164



Σχήμα 8.125. Απώλεια μάζας (%) σπλισμών δοκιμών σπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και την επικάλυψη AF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.63. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και την επικάλυψη XF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης (μερική εμβάπτιση σε 3,5% κ.β. NaCl)

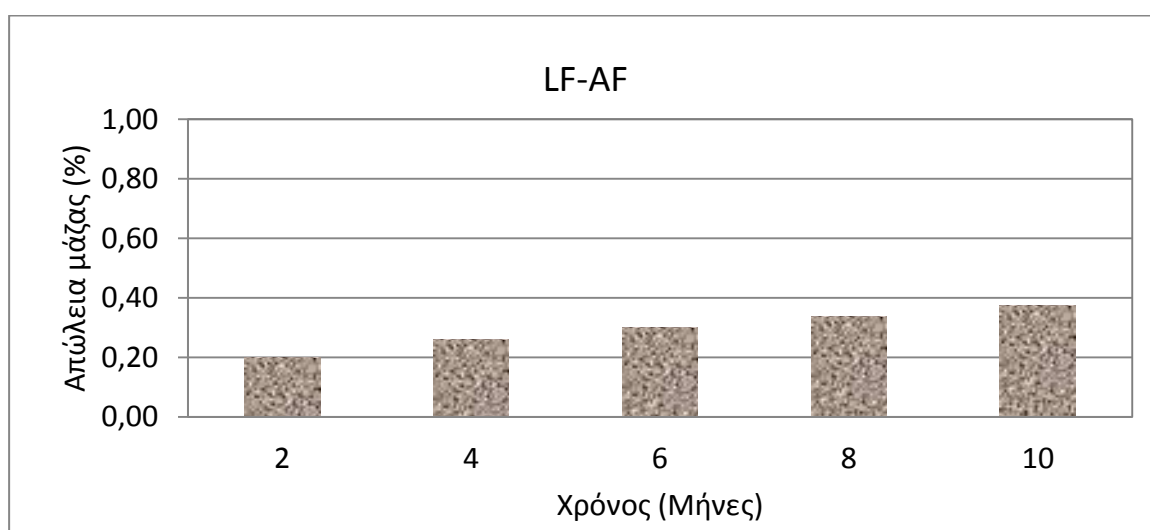
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
XF-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	90,3981	90,1286	0,2695	0,298
XF-2		89,4621	89,2006	0,2615	0,292
XF-3		89,7804	89,5016	0,2788	0,311
XF-4		89,5584	89,2601	0,2983	0,333
M.O.				0,2770	0,309
Τυπ.απόκλιση				0,0158	0,0181
XF-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	86,5124	86,1126	0,3998	0,462
XF-6		89,3548	89,0005	0,3543	0,397
XF-7		84,8666	84,5057	0,3609	0,425
XF-8		90,4435	90,0643	0,3792	0,419
M.O.				0,3735	0,426
Τυπ.απόκλιση				0,0204	0,0272
XF-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	89,4756	89,0410	0,4346	0,486
XF-10		88,2614	87,8292	0,4322	0,490
XF-11		94,6180	94,2154	0,4026	0,426
XF-12		93,8974	93,5026	0,3948	0,420
M.O.				0,4160	0,455
Τυπ.απόκλιση				0,0203	0,0375
XF-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	90,9773	90,4796	0,4977	0,547
XF-14		89,3504	88,8481	0,5023	0,562
XF-15		89,1820	88,7331	0,4489	0,503
XF-16		85,2270	84,7749	0,4521	0,530
M.O.				0,4752	0,536
Τυπ.απόκλιση				0,0287	0,0252
XF-17	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	89,6203	89,1386	0,4817	0,537
XF-18		88,8636	88,3808	0,4828	0,543
XF-19		89,4000	88,8891	0,5109	0,571
XF-20		88,9244	88,4217	0,5027	0,565
M.O.				0,4945	0,554
Τυπ.απόκλιση				0,0146	0,0165



Σχήμα 8.126. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και την επικάλυψη XF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.64. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίων με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, LiF και την επικάλυψη AF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης (μερική εμβάπτιση σε 3,5% κ.β. NaCl)

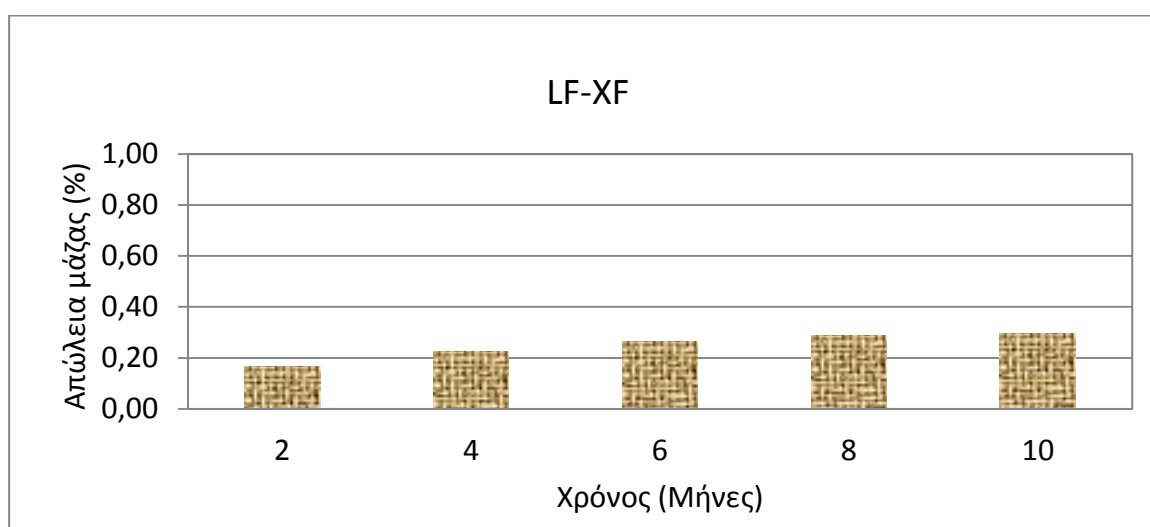
Κωδικός		$m_{\text{αρχ}}$ (g)	$m_{\text{τελ}}$ (g)	AM (g)	AM (%)
LF-AF-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	93,7375	93,5636	0,1739	0,186
LF-AF-2		89,2840	89,0653	0,2187	0,245
LF-AF-3		92,8525	92,6591	0,1934	0,208
LF-AF-4		92,3778	92,1684	0,2094	0,227
M.O.				0,1989	0,216
Τυπ.απόκλιση			0,0196	0,0254	
LF-AF-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	92,3640	92,0724	0,2916	0,316
LF-AF-6		93,5951	93,3325	0,2626	0,281
LF-AF-7		90,3781	90,1377	0,2404	0,266
LF-AF-8		94,0820	93,8303	0,2517	0,268
M.O.				0,2616	0,282
Τυπ.απόκλιση			0,0220	0,0231	
LF-AF-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	94,3709	94,0963	0,2746	0,291
LF-AF-10		94,7345	94,4243	0,3102	0,327
LF-AF-11		90,3140	90,0194	0,2946	0,326
LF-AF-12		86,6588	86,3354	0,3234	0,373
M.O.				0,3007	0,329
Τυπ.απόκλιση			0,0210	0,0337	
LF-AF-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	89,5436	89,1877	0,3559	0,397
LF-AF-14		89,8256	89,5062	0,3194	0,356
LF-AF-15		90,3746	90,0259	0,3487	0,386
LF-AF-16		87,6617	87,3381	0,3236	0,369
M.O.				0,3369	0,377
Τυπ.απόκλιση			0,0181	0,0184	
LF-AF-17	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	88,3745	88,0239	0,3506	0,397
LF-AF-18		89,5638	89,1720	0,3918	0,437
LF-AF-19		93,6849	93,3227	0,3622	0,387
LF-AF-20		90,0425	89,6482	0,3943	0,438
M.O.				0,3747	0,415
Τυπ.απόκλιση			0,0217	0,0269	



Σχήμα 8.127. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, LiF και την επικάλυψη AF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.65. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32,5, LiF και την επικάλυψη XF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης (μερική εμβάπτιση σε 3,5% κ.β. NaCl)

Κωδικός		$m_{\text{αρχ}}$ (g)	$m_{\text{τελ}}$ (g)	AM (g)	AM (%)
LF-XF-1		89,5746	89,4130	0,1616	0,180
LF-XF-2	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	89,3158	89,1766	0,1392	0,156
LF-XF-3		89,0839	88,9316	0,1523	0,171
LF-XF-4		92,7113	92,5672	0,1441	0,155
M.O.				0,1493	0,166
Τυπ. απόκλιση				0,0098	0,0122
LF-XF-5		88,9124	88,7231	0,1893	0,213
LF-XF-6	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	89,6429	89,4300	0,2129	0,237
LF-XF-7		89,4291	89,2357	0,1934	0,216
LF-XF-8		89,4797	89,2758	0,2039	0,228
M.O.				0,1999	0,224
Τυπ. απόκλιση				0,0106	0,0112
LF-XF-9		88,6497	88,3978	0,2519	0,284
LF-XF-10	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	84,5278	84,3106	0,2172	0,257
LF-XF-11		92,8064	92,5825	0,2239	0,241
LF-XF-12		88,6972	88,4545	0,2427	0,274
M.O.				0,2339	0,264
Τυπ. απόκλιση				0,0161	0,0188
LF-XF-13		84,9189	84,6593	0,2596	0,306
LF-XF-14	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	87,7724	87,4914	0,2810	0,320
LF-XF-15		93,8342	93,6051	0,2291	0,244
LF-XF-16		88,7587	88,5134	0,2453	0,276
M.O.				0,2538	0,287
Τυπ. απόκλιση				0,0220	0,0336
LF-XF-17		89,2031	88,9593	0,2438	0,273
LF-XF-18	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	89,8811	89,5934	0,2877	0,320
LF-XF-19		84,9366	84,6695	0,2671	0,314
LF-XF-20		89,3385	89,0922	0,2463	0,276
M.O.				0,2612	0,296
Τυπ. απόκλιση				0,0205	0,0248



Σχήμα 8.128. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32,5, LiF και την επικάλυψη XF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Από τους πίνακες αυτούς και τα διαγράμματα, εμφανίζεται αύξηση της ποσοστιαίας επί τοις εκατό απώλειας μάζας των οπλισμών με την αύξηση του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Σε σχέση με τα δοκίμια αναφοράς, στους 10 μήνες έκθεσης, η προσθήκη του LiF μείωσε τη διάβρωση των οπλισμών κατά ποσοστό 10%. Η προσθήκη LiF και αναστολέα διάβρωσης NaNO₂ μείωσε περαιτέρω τη διάβρωση των οπλισμών, ενώ την καλύτερη συμπεριφορά έναντι της διάβρωσης παρουσίασε η προσθήκη 1%LiF και 5%NaNO₂, που πρόσδοσαν μειωμένη τιμή απώλεια μάζας κατά 32%.

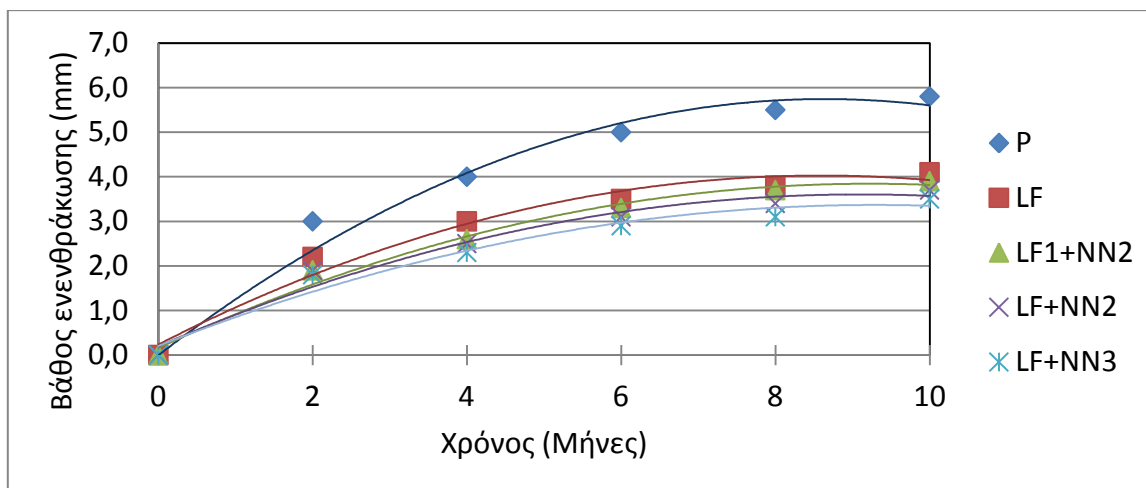
Οι δύο οργανικές επικαλύψεις παρουσίασαν απώλειες μάζας μικρότερες από αυτή του δοκιμίου αναφοράς. Στους 10 μήνες έκθεσης, η ακρυλική διασπορά μείωσε την απώλεια μάζας των οπλισμών κατά 20%, ενώ η επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ κατά 29%. Το ποσοστό της προστασίας των οπλισμών αυξήθηκε ακόμη περισσότερο με την ταυτόχρονη χρήση LiF και οργανικών επικαλύψεων, όπου τα δοκίμια με LiF και την επικάλυψη του χλωριωμένου καουτσούκ παρουσίασαν τη μικρότερη διάβρωση από όλες τις κατηγορίες των δοκιμίων και προστασία της τάξης του 62%.

8.5.1.3. Βάθος ενανθράκωσης

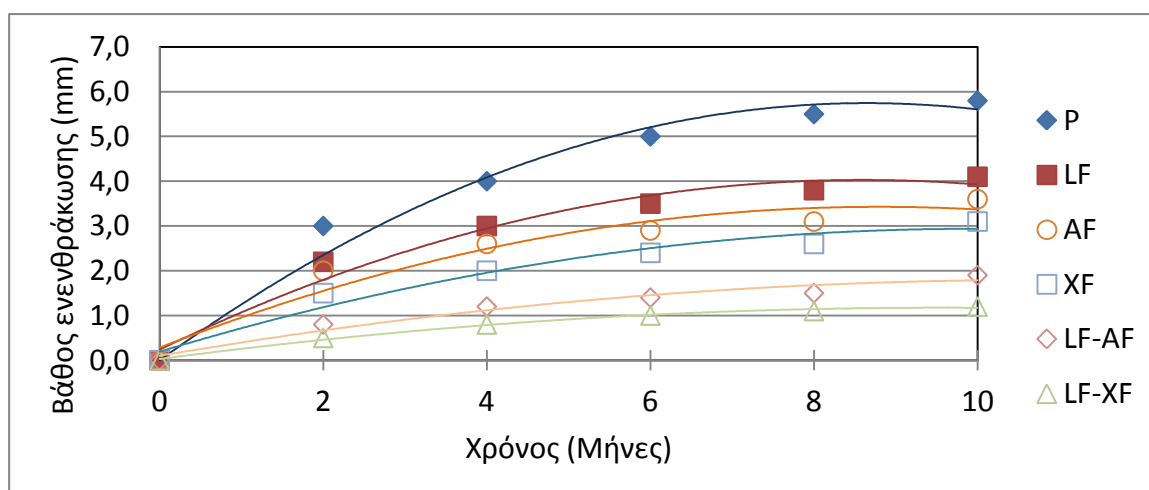
Το βάθος ενανθράκωσης των κισσηροκονιαμάτων από όλα τα δοκίμια της κατηγορίας V υπολογίστηκε μετά από 2, 4, 6, 8 και 10 μήνες έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Στον Πίνακα 8.66 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, ενώ στο σχήμα 8.129 παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα για τα δοκίμια με LiF και NaNO₂ και στο σχήμα 8.130 παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα για τα δοκίμια με LiF και επικαλύψεις.

Πίνακας 8.66. Βάθος ενανθράκωσης κισσηροκονιαμάτων με τσιμέντα CEM I 32.5, LiF και NaNO₂ και επικαλύψεις σε μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl

Χρόνος (μήνες)	Βάθος ενανθράκωσης (mm)								
	P	LF	LF ₁ +NN ₂	LF _{1.5} +NN ₂	LF ₁ +NN ₅	AF	XF	LF-AF	LF-XF
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	3,0	2,2	1,9	1,9	1,8	2,0	1,5	0,8	0,5
4	4,0	3,0	2,6	2,5	2,3	2,6	2,0	1,2	0,8
6	5,0	3,5	3,3	3,1	2,9	2,9	2,4	1,4	1,0
8	5,5	3,8	3,7	3,4	3,1	3,1	2,6	1,5	1,1
10	5,8	4,1	3,9	3,7	3,5	3,6	3,1	1,9	1,2



Σχήμα 8.129. Βάθος ενανθράκωσης κισσηροκονιαμάτων με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, LiF και NaNO_2 συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

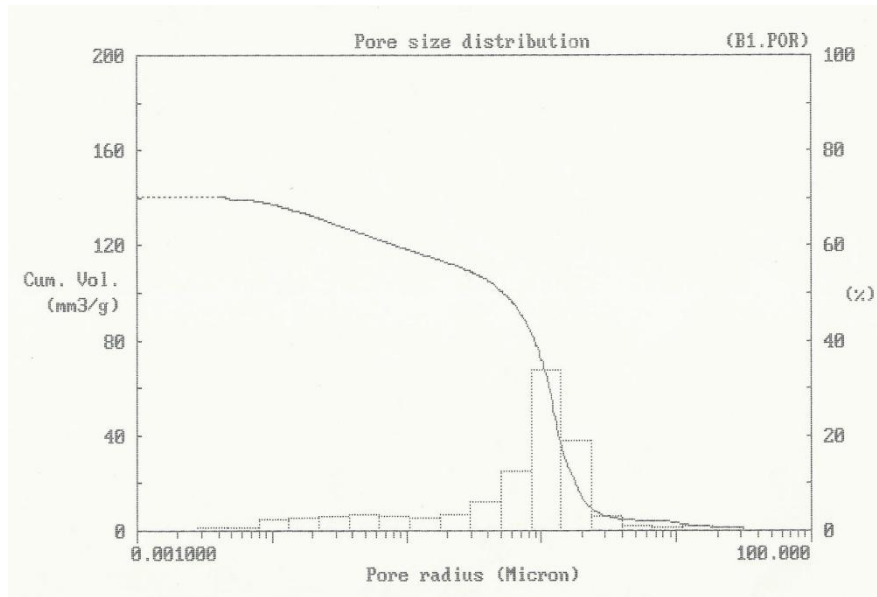


Σχήμα 8.130. Βάθος ενανθράκωσης κισσηροκονιαμάτων με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, LiF και τις επικαλύψεις AF και XF σε συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

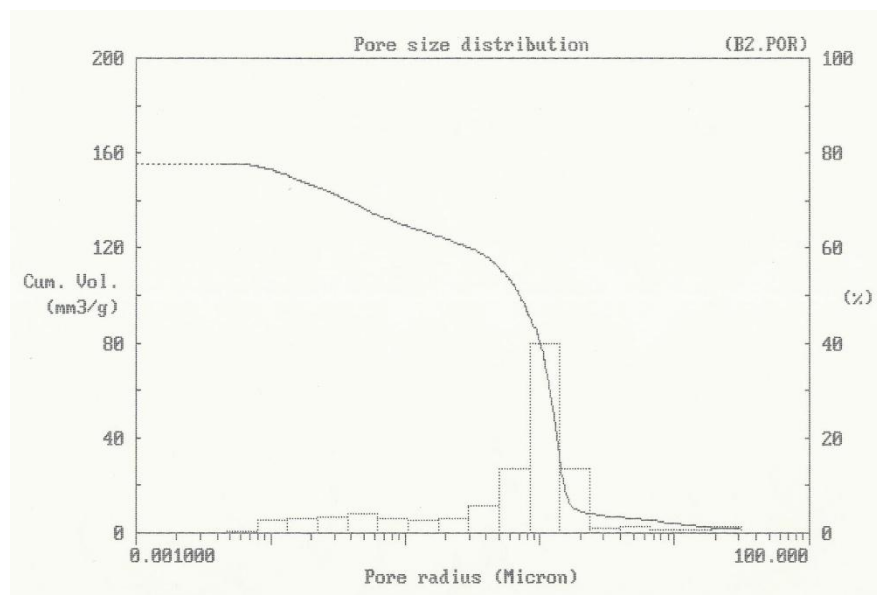
Από το σχήμα 8.129 προκύπτει ότι η προσθήκη LiF μειώνει το βάθος ενανθράκωσης των κισσηροκονιαμάτων κατά ποσοστό 29% στους δέκα μήνες και η ταυτόχρονη προσθήκη LiF και NaNO_2 έχει λίγο καλύτερα αποτελέσματα, αλλά χωρίς μεγάλες διαφορές μεταξύ των τριών αναλογιών. Από το σχήμα 8.130 είναι φανερό ότι οι επικαλύψεις έχουν καλύτερη προστατευτική επίδραση, για μεν την ακρυλική διασπορά της τάξης του 38%, για δε την επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ το 46%. Το ποσοστό της μείωσης της ενανθράκωσης των κισσηροκονιαμάτων αυξήθηκε ακόμη περισσότερο με την ταυτόχρονη χρήση LiF και οργανικών επικαλύψεων, και φθάνει το σημαντικό ποσοστό του 79% στην περίπτωση της επικάλυψης χλωριωμένου καουτσούκ. Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί ότι για όλα τα είδη των δοκιμίων η ενανθράκωση δεν έχει φθάσει στον οπλισμό.

8.5.1.4. Μέτρηση της μέσης ακτίνας των πόρων και του ολικού ανοικτού πορώδους του κισσηροδέματος

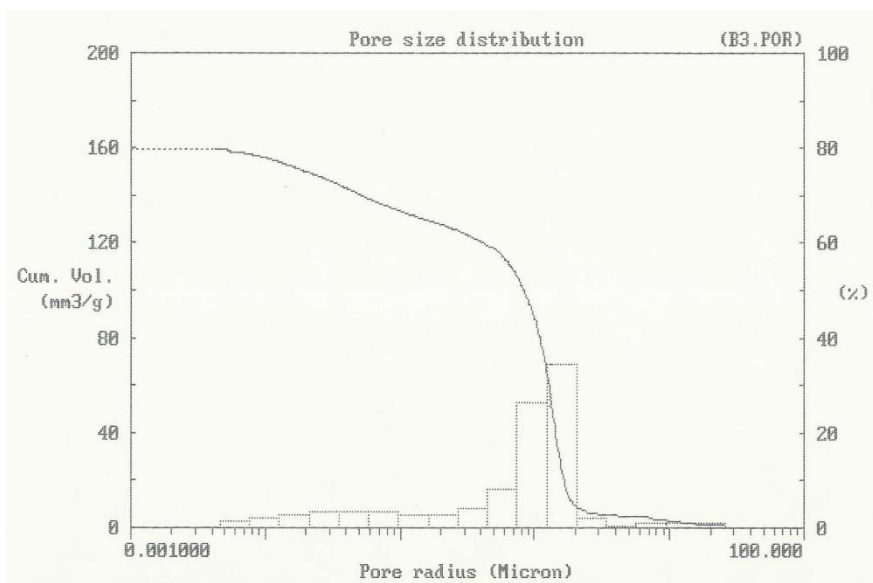
Σε τμήματα κισσηροκονιαμάτων από το δοκίμιο αναφοράς (μόνο τσιμέντο CEM II/B-M 32.5), από το δοκίμιο με 1%LiF και από το δοκίμιο με 1%LiF και 5%NaNO₂ έγινε μέτρηση της μέσης ακτίνας των πόρων και του ολικού ανοικτού πορώδους μέσω της ποροσιμετρίας υδραργύρου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα σχήματα 8.131 έως 8.133.



Σχήμα 8.131. Κατανομή μεγέθους πόρων κισσηροδέματος δοκιμίων αναφοράς.



Σχήμα 8.132. Κατανομή μεγέθους πόρων κισσηροδέματος δοκιμίων με LiF.

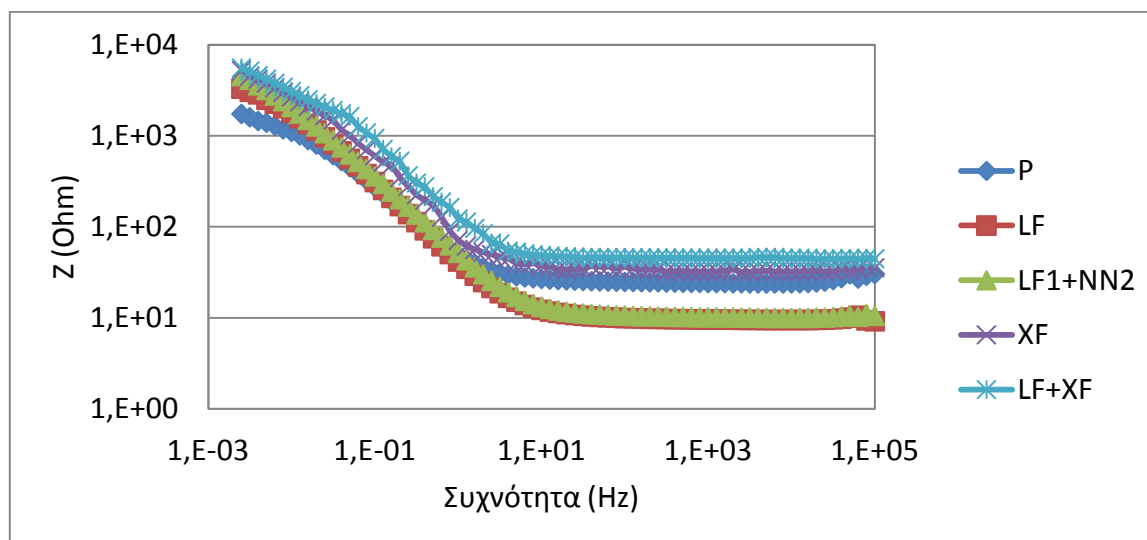


Σχήμα 8.133. Κατανομή μεγέθους πόρων κισσηροδέματος δοκιμίων με LiF και NaNO₂.

Από τα ανωτέρω σχήματα όπου δίνεται η κατανομή των πόρων για όλα τα δοκίμια, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό πόρων ευρίσκεται σε διάμετρο περίπου 1.3 μm, ενώ το ολικό πορώδες είναι της τάξης του 28% με 30%, δηλαδή δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή στο πορώδες εξαιτίας της προσθήκης των LiF και NaNO₂.

8.5.1.5. Ηλεκτροχημική Φασματοσκοπία Σύνθετης Αντίστασης

Στο σχήμα 8.134 δίνονται τα διαγράμματα του μέτρου της σύνθετης αντίστασης συναρτήσει της συχνότητας μετά από χρόνο έκθεσης ενός μηνός των δοκιμίων κισσηροκονιαμάτων στο διαβρωτικό περιβάλλον διαλύματος 3.5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.134. Διάγραμμα Bode για τα δοκίμια: αναφοράς, με LiF, με LiF και NaNO₂, με την επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ και τον συνδυασμό LiF και χλωριωμένου καουτσούκ.

Από το διάγραμμα αυτό μπορεί να υπολογισθεί η αντίσταση πόλωσης των σιδηροπλισμών των δοκιμίων. Είναι φανερό ότι $R_p(P) < R_p(LF) < R_p(LF_1+NN_2) < R_p(XF) < R_p(LF+XF)$. Η σειρά αυτή συμφωνεί με τα αποτελέσματα των μετρήσεων απώλειας μάζας.

8.5.1.6. Γραμμική πόλωση

Στον Πίνακα 8.67 δίνεται η τιμή της ταχύτητας διάβρωσης των οπλισμών των δοκιμίων κισσηροκονιάματος αναφοράς, με LiF, με LiF και NaNO₂, με την επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ και τον συνδυασμό LiF και χλωριωμένου καουτσούκ, όπως προέκυψε από την εφαρμογή της μεθόδου γραμμικής πόλωσης και την κατάλληλη επεξεργασία των διαγραμμάτων, μετά από χρόνο έκθεσης ενός μηνός των δοκιμίων κισσηροκονιαμάτων στο διαβρωτικό περιβάλλον διαλύματος 3.5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.67. Ταχύτητα διάβρωσης από την τεχνική γραμμικής πόλωσης

Κωδικός	Ταχύτητα διάβρωσης (mpy)
P	0.55
LF	0.31
LF1+NN2	0.29
XF	0.25
LF+XF	0.20

Από τις μετρήσεις αυτές προκύπτουν τα ίδια συμπεράσματα με αυτά της απώλειας μάζας και της ηλεκτροχημικής φασματοσκοπίας σύνθετης αντίστασης.

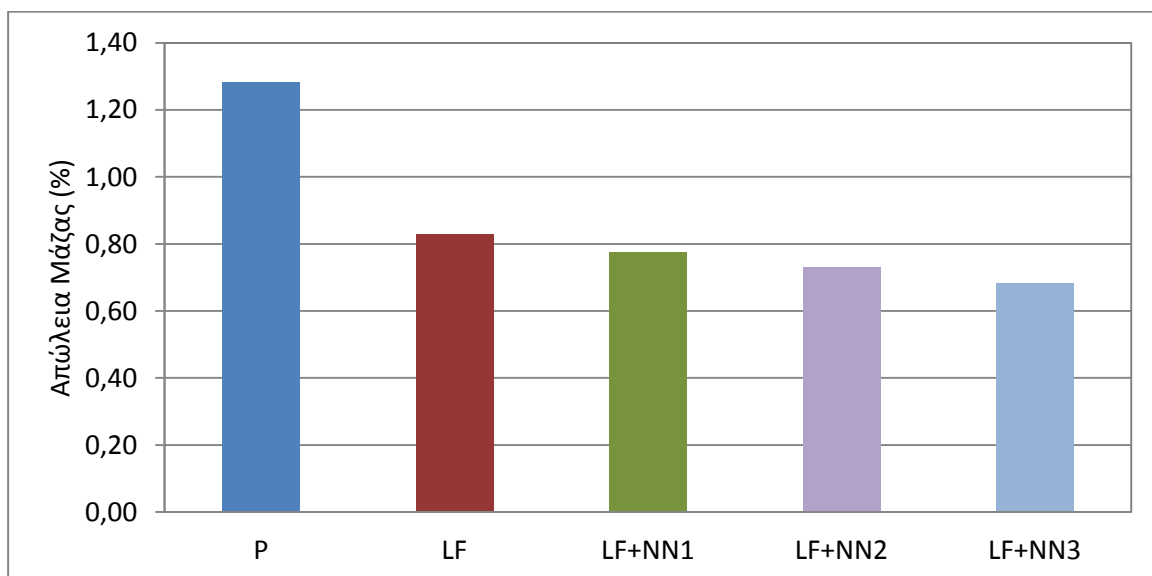
8.5.2. Διάβρωση μακράς διάρκειας στην ατμόσφαιρα

8.5.2.1. Σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των οπλισμών

Η (%) απώλεια μάζας των οπλισμών δοκιμίων κισσηροδεμάτων με πρόσθετα και επικαλύψεις υπολογίστηκε μετά από 24 μήνες έκθεσης σε ατμοσφαιρική διάβρωση. Στους Πίνακες 8.68 και 8.69 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα απώλειας μάζας για τα δοκίμια όλων των κατηγοριών και στα σχήματα 8.135 έως 8.136 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Πίνακας 8.68. Απώλεια μάζας (%) σπλισμών δοκιμών αναφοράς και με LiF ή LiF και NaNO₂ σε ατμοσφαιρική διάβρωση (χρόνος έκθεσης 24 μήνες)

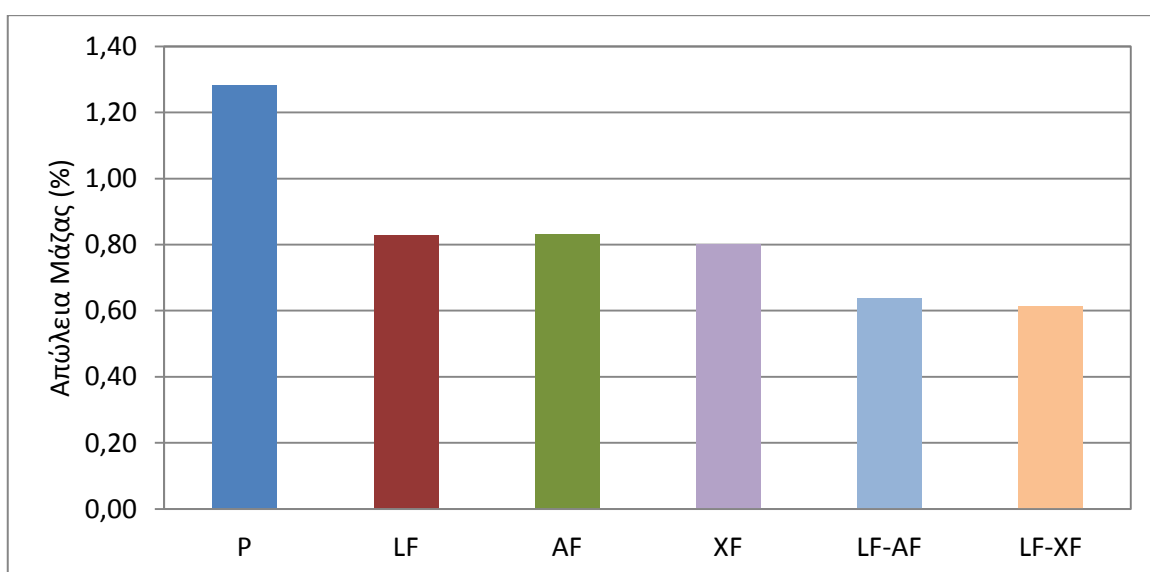
Κωδικός	m _{αρχ} (g)	m _{τελ} (g)	AM (g)	AM (%)
P-21	88,2015	87,0913	1,1102	1,259
P-22	90,5565	89,4376	1,1189	1,236
P-23	86,0849	84,9496	1,1353	1,319
P-24	86,6617	85,5234	1,1383	1,313
Μ.Ο.			1,1257	1,282
<i>Τυπ.απόκλιση</i>			<i>0,0134</i>	<i>0,0410</i>
LF-21	94,6845	93,8841	0,8004	0,845
LF-22	94,8944	94,1234	0,7710	0,812
LF-23	93,8345	93,0651	0,7694	0,820
LF-24	89,5057	88,7567	0,7490	0,837
Μ.Ο.			0,7725	0,829
<i>Τυπ.απόκλιση</i>			<i>0,0212</i>	<i>0,0151</i>
LF+NN1-21	88,9290	88,1975	0,7315	0,823
LF+NN1-22	94,5787	93,8524	0,7263	0,768
LF+NN1-23	89,2548	88,5752	0,6796	0,761
LF+NN1-24	94,1240	93,4245	0,6995	0,743
Μ.Ο.			0,7092	0,774
<i>Τυπ.απόκλιση</i>			<i>0,0242</i>	<i>0,0342</i>
LF+NN2-21	87,1064	86,4738	0,6326	0,726
LF+NN2-22	92,1366	91,4631	0,6735	0,731
LF+NN2-23	90,6102	89,9800	0,6302	0,696
LF+NN2-24	86,5534	85,8827	0,6707	0,775
Μ.Ο.			0,6518	0,732
<i>Τυπ.απόκλιση</i>			<i>0,0235</i>	<i>0,0327</i>
LF+NN3-21	90,2832	89,6316	0,6516	0,722
LF+NN3-22	93,9649	93,3850	0,5799	0,617
LF+NN3-23	90,9248	90,2722	0,6526	0,718
LF+NN3-24	85,7544	85,1724	0,5820	0,679
Μ.Ο.			0,6165	0,684
<i>Τυπ.απόκλιση</i>			<i>0,0411</i>	<i>0,0485</i>



Σχήμα 8.135. Απώλεια μάζας (%) σπλισμών δοκιμών αναφοράς και με LiF ή LiF και NaNO₂ σε ατμοσφαιρική διάβρωση (χρόνος έκθεσης 24 μήνες).

Πίνακας 8.69. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με LiF και επικαλύψεις σε ατμοσφαιρική διάβρωση (χρόνος έκθεσης 24 μήνες)

Κωδικός	m _{αρχ} (g)	m _{τελ} (g)	AM (g)	AM (%)
AF-21	90,2325	89,4903	0,7422	0,823
AF-22	93,9252	93,1665	0,7587	0,808
AF-23	94,2577	93,4893	0,7684	0,815
AF-24	86,6650	85,8969	0,7681	0,886
M.O.			0,7594	0,833
Τυπ. απόκλιση			0,0123	0,0361
XF-21	90,5445	89,8322	0,7123	0,787
XF-22	89,1042	88,4085	0,6957	0,781
XF-23	94,2472	93,4981	0,7491	0,795
XF-24	88,7520	88,0034	0,7486	0,843
M.O.			0,7264	0,801
Τυπ. απόκλιση			0,0268	0,0286
LF-AF-21	91,4984	90,9238	0,5746	0,628
LF-AF-22	92,3729	91,8205	0,5524	0,598
LF-AF-23	93,2741	92,6779	0,5962	0,639
LF-AF-24	88,2398	87,6339	0,6059	0,687
M.O.			0,5823	0,638
Τυπ. απόκλιση			0,0238	0,0368
LF-XF-21	94,2872	93,6940	0,5932	0,629
LF-XF-22	92,3483	91,8021	0,5462	0,591
LF-XF-23	91,8363	91,2834	0,5529	0,602
LF-XF-24	89,4636	88,8945	0,5691	0,636
M.O.			0,5653	0,615
Τυπ. απόκλιση			0,0209	0,0214



Σχήμα 8.136. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με LiF και επικαλύψεις σε ατμοσφαιρική διάβρωση (χρόνος έκθεσης 24 μήνες)

Από τους πίνακες αυτούς και τα αντίστοιχα διαγράμματα φαίνεται ότι τα δοκίμια οπλισμένου κισσηροκονιάματος αναφοράς παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές (%) απώλειας μάζας. Η προσθήκη του LiF μείωσε τη διάβρωση των οπλισμών κατά ποσοστό 35%, ενώ η προσθήκη LiF και αναστολέα διάβρωσης NaNO₂ μείωσε ακόμη περισσότερο τη διάβρωση των οπλισμών. Τις καλύτερες τιμές προστασίας από τη διάβρωση παρουσίασε η προσθήκη 1%LiF και 5%NaNO₂, η οποία έφτασε στο 47%.

Οι οργανικές επικαλύψεις μόνες τους επέδειξαν μειωμένες τιμές απώλειας μάζας και ποσοστά προστασίας 35% η ακρυλική διασπορά και 37% το χλωριωμένο καουτσούκ. Το ποσοστό της προστασίας των οπλισμών αυξήθηκε με την ταυτόχρονη χρήση LiF και οργανικών επικαλύψεων, το οποίο έφτασε στο 52% στα δοκίμια με LiF και την επικάλυψη του χλωριωμένου καουτσούκ.

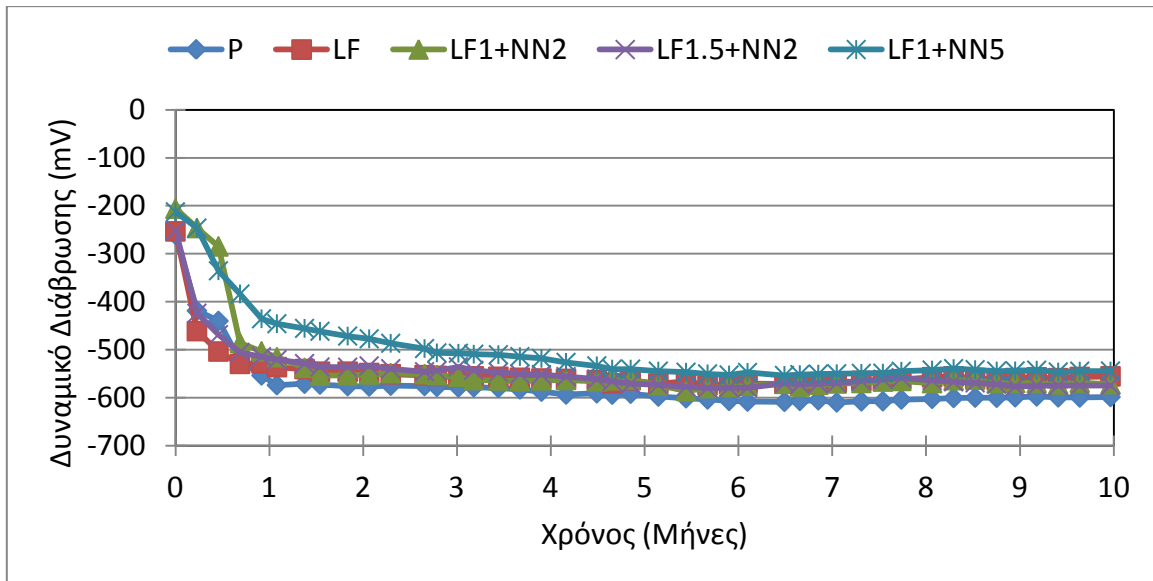
8.5.3. Πέμπτο μερικό συμπέρασμα

Με αυτήν την κατηγορία δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος έγινε προσπάθεια σύγκρισης των διαφόρων τρόπων προστασίας του οπλισμού αλλά και του κονιάματος, δηλαδή:

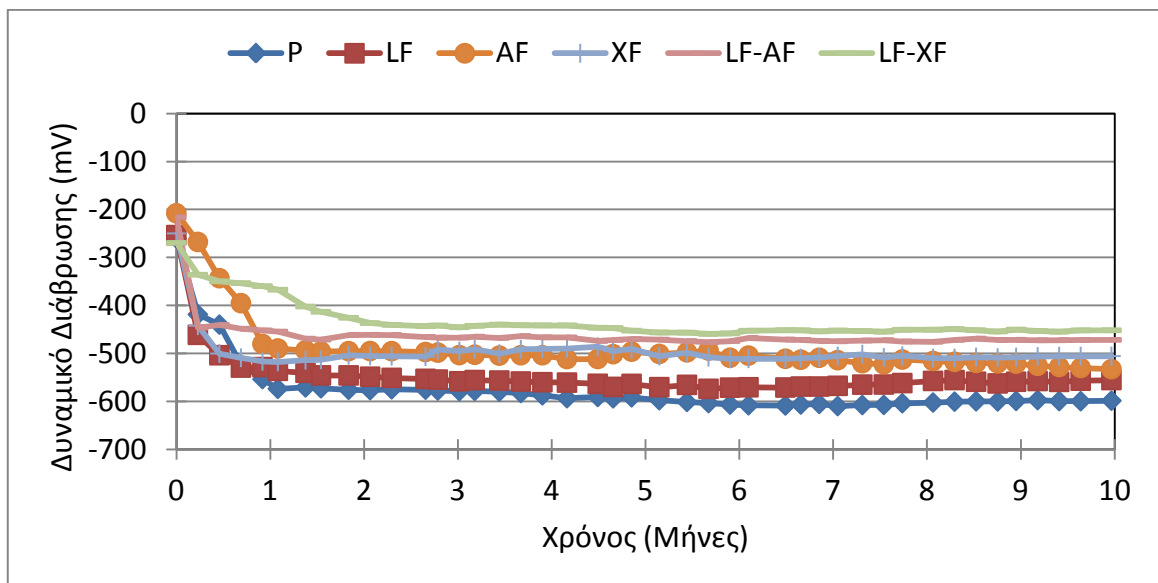
1. Προσθήκη LiF για αποφυγή αλκαλοπυριτικής αντίδρασης (ASR)
2. Προσθήκη NaNO₂ ως αναστολέα διάβρωσης μαζί με το LiF, ώστε να αποφευχθεί ASR λόγω αύξησης της αλκαλικότητας του κονιάματος εξαιτίας των Na⁺
3. Επικάλυψη με χλωριωμένο καουτσούκ με πιγμέντα οξειδία του σιδήρου για την προστασία από τη διάβρωση
4. Προσθήκη LiF και επικάλυψη με χλωριωμένο καουτσούκ με πιγμέντα οξειδία του σιδήρου.

Το σχήμα 8.137 αποτελεί συγκριτικό διάγραμμα των δυναμικών διάβρωσης συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης των δοκιμών αναφοράς μόνο με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 με τα δοκίμια με τα πρόσθετα LiF και NaNO₂ των όλων των κατηγοριών, ενώ το σχήμα 8.138 αποτελεί συγκριτικό διάγραμμα των δυναμικών διάβρωσης συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης των δοκιμών αναφοράς μόνο με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, των δοκιμών με 1%LiF, των δοκιμών με τις επικαλύψεις ακρυλικής διασποράς και χλωριωμένου καουτσούκ και των δοκιμών με τον συνδυασμό του LiF και των επικαλύψεων.

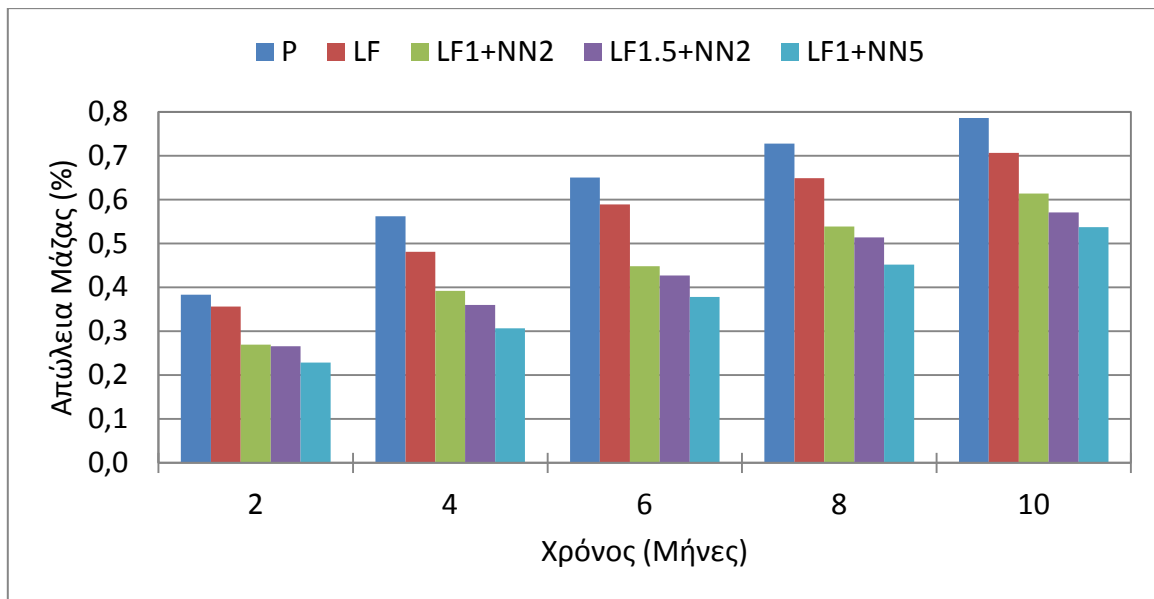
Αντίστοιχα, το σχήμα 8.139 αποτελεί το συγκριτικό διάγραμμα των (%) απωλειών μάζας συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης των δοκιμών αναφοράς μόνο με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 με τα δοκίμια με τα πρόσθετα LiF και NaNO₂ των όλων των κατηγοριών, ενώ το σχήμα 8.140 αποτελεί το συγκριτικό διάγραμμα των (%) απωλειών μάζας συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης των δοκιμών αναφοράς μόνο με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, των δοκιμών με 1%LiF, των δοκιμών με τις επικαλύψεις ακρυλικής διασποράς και χλωριωμένου καουτσούκ και των δοκιμών με τον συνδυασμό του LiF και των επικαλύψεων.



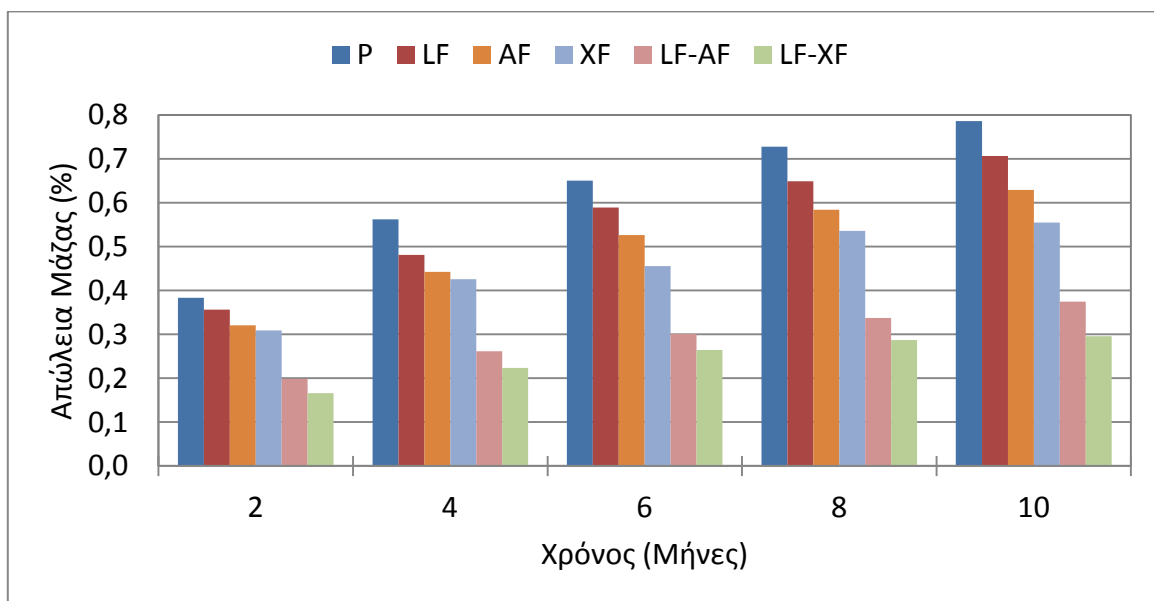
Σχήμα 8.137. Συγκριτικό διάγραμμα των δυναμικών διάβρωσης των δοκιμών μόνο με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 με τα δοκίμια με τα πρόσθετα LiF και NaNO_2 συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.138. Συγκριτικό διάγραμμα των δυναμικών διάβρωσης δοκιμών αναφοράς, με LiF και με LiF και επικαλύψεις συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.139. Συγκριτικό διάγραμμα (%) απώλειας μάζας των δοκιμίων μόνο με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και με τα δοκίμια με LiF και NaNO₂ συναρτήσεϊ του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.140. Συγκριτικό διάγραμμα (%) απώλειας μάζας δοκιμίων αναφοράς, με LiF και με LiF και επικαλύψεις συναρτήσεϊ του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

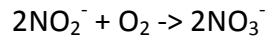
Εξετάζοντας τη διάβρωση των σπλισμών δοκιμίων κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 με πρόσθετο LiF και αναστολέα διάβρωσης NaNO₂, προέκυψε ότι:

- Η προσθήκη του LiF μείωσε τη διάβρωση των σπλισμών
- Η προσθήκη LiF και αναστολέα διάβρωσης NaNO₂ μείωσε περαιτέρω τη διάβρωση των σπλισμών.
- Την καλύτερη συμπεριφορά έναντι της διάβρωσης παρουσίασε η προσθήκη 1%LiF και 5%NaNO₂.

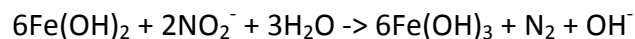
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι από τις διάφορες μετρήσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως, προκύπτει ότι η προσθήκη φθοριούχου λιθίου μειώνει τη διάβρωση του

οπλισμού, παρά την αυξημένη αγωγιμότητα του κισσηροδέματος. Αυτό αποδίδεται σε μικρή μείωση της μέσης διαμέτρου των πόρων, που οφείλεται στον σχηματισμό CaF_2 (Mather, 1999), το οποίο είναι εν μέρει αδιάλυτο στους πόρους του κισσηροδέματος.

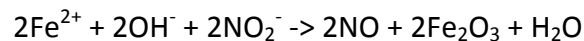
Η χρήση του NaNO_2 είναι γνωστό ότι προκαλεί μείωση της διάβρωσης του οπλισμού. Η προστατευτική του επίδραση κατά μια άποψη μπορεί να θεωρηθεί ότι οφείλεται στην ιδιότητά του να αντιδρά σε αλκαλικό περιβάλλον με το οξυγόνο κατά την αντίδραση:



Είναι όμως επικρατέστερη η άποψη ότι το νιτρώδες ανιόν αντιδρά με το υδροξείδιο του δισθενούς σιδήρου, με αποτέλεσμα το ίδιο να ανάγεται προς άζωτο και το δισθενές υδροξείδιο του σιδήρου να μετατρέπεται σε τρισθενές κατά την αντίδραση:



Ο σχηματισμός του τρισθενούς υδροξειδίου του σιδήρου (ή αναλόγων προϊόντων) έχει ως αποτέλεσμα την παρεμπόδιση του σχηματισμού χλωροσυμπλόκων του σιδήρου και παρεμποδίζει την ανοδική διάλυση του σιδήρου. Σύμφωνα με μια άλλη υπόθεση, το νιτρώδες ανιόν προωθεί τον σχηματισμό του τριοξειδίου του σιδήρου στην επιφάνεια του οπλισμού, σχηματίζοντας ένα είδος παθητικού στρώματος κατά την αντίδραση:



Όμως σε αυτή την περίπτωση η προδιάθεση για διάβρωση του οπλισμού δεν μειώθηκε σημαντικά. Η εξήγηση του φαινομένου αυτού οφείλεται στην παρουσία Na^+ , που ευνοεί την ASR (Swamy, 1992; Mehta, 1987).

Στα δοκίμια οπλισμένου κισσηροκονιάματος η χρήση οργανικών επικαλύψεων είχε προστατευτική επίδραση σε όλες τις περιπτώσεις, όπως άλλωστε έχει αναγραφεί σε προηγούμενες εργασίες (Loulizi, Al-Quadi & Diefenderfer, 2000; Tanikawa and Swamy, 1994).

Η ίδια σειρά προστασίας παρατηρείται και παρουσία του LiF . Το ποσοστό της προστασίας των οπλισμών αυξήθηκε με την ταυτόχρονη χρήση LiF και οργανικών επικαλύψεων. Το αυξημένο ποσοστό προστασίας δικαιολογείται από τη μείωση της διαπερατότητας σε νερό, χλωριόντα και διοξείδιο του άνθρακα, τόσο από την οργανική επικάλυψη όσο και από τη μείωση της μέσης διαμέτρου των πόρων από το φθοριούχο λίθιο. Τα δοκίμια με LiF και την επικάλυψη του χλωριωμένου καουτσούκ παρουσίασαν τη μικρότερη διάβρωση από όλες τις κατηγορίες των δοκιμών.

8.6. ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ VI: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΝΑΣΤΟΛΕΩΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Σε αυτήν την ενότητα εξετάζεται η κατηγορία δοκιμών VI, η οποία περιλαμβάνει πρισματικά δοκίμια οπλισμένου κισσηροκονιάματος διαστάσεων 80×80×100 mm, με 4 χαλύβδινους οπλισμούς σκυροδέματος, διαμέτρου 12 mm και ύψους 100 mm, που κατασκευάστηκαν με σταθερή αναλογία «τσιμέντο : κίσηρη λεπτή : νερό» «1 : 3 : 0.7». Χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο CEM II/B-M 32.5. Ως αναστολείς διάβρωσης χρησιμοποιήθηκαν:

α) αναστολέας με βάση διάλυμα 30% νιτρώδης ασβέστιο $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ ως πρόσθετο κατά τη διάρκεια της κατασκευής του κισσηροκονιάματος (αναστολέας **DI**),

β) αναστολέας με βάση διάλυμα 30% νιτρώδης ασβέστιο $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ ψεκαζόμενος στην επιφάνεια του κισσηροκονιάματος μετά την κατασκευή (αναστολέας **DO**),

γ) αναστολέας με βάση την αμινοαλκοόλη (N-N'-dimethylaminoethanol) ως πρόσθετο κατά τη διάρκεια της κατασκευής του κισσηροκονιάματος (αναστολέας **FI**),

δ) αναστολέας με βάση την αμινοαλκοόλη (N-N'-dimethylaminoethanol) ψεκαζόμενος στην επιφάνεια του κισσηροκονιάματος μετά την κατασκευή (αναστολέας **FO**),

ε) αναστολέας με βάση τις αλκανολαμίνες ως πρόσθετο κατά τη διάρκεια της κατασκευής του κισσηροκονιάματος (αναστολέας **MI**) και

στ) αναστολέας με βάση τις αλκανολαμίνες ψεκαζόμενος στην επιφάνεια του κισσηροκονιάματος μετά την κατασκευή (αναστολέας **MO**).

Όλα τα δοκίμια επικαλύφθηκαν με **ανόργανη επικάλυψη** με βάση την **υδρύαλο**. Οι κατηγορίες και οι αναλογίες σύστασης των δοκιμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.70.

Πίνακας 8.70. Κατηγορίες και αναλογίες σύστασης δοκιμών

Κωδικός	Τσιμέντο CEM II/B-M 32.5	Κίσηρη (0-5)	Νερό	Αναστολέας	Επικάλυψη
P	1	3	0.7	-	-
Y	1	3	0.7	-	Y
DIY	1	3	0.7	DI	Y
DOY	1	3	0.7	DO	Y
FIY	1	3	0.7	FI	Y
FOY	1	3	0.7	FO	Y
MIY	1	3	0.7	MI	Y
MOY	1	3	0.7	MO	Y

Η μελέτη της επίδρασης όλων των αναστολέων διάβρωσης σε συνδυασμό με την ανόργανη επικάλυψη στη διάβρωση των οπλισμών των δοκιμών κισσηροκονιαμάτων έγινε με έκθεση των δοκιμών στο διαβρωτικό περιβάλλον υδατικού διαλύματος 3,5% κ.β. NaCl (μερική εμβάπτιση μέχρις ύψους 2cm) για συνολικό διάστημα δέκα μηνών προσομοιάζοντας το θαλάσσιο περιβάλλον. Στα δοκίμια αυτά πραγματοποιήθηκαν:

- Χρονική καταγραφή του δυναμικού διάβρωσης (E_{CORR}) ή δυναμικού ανοικτού κυκλώματος (E_{OCP}) των οπλισμών ως προς ηλεκτρόδιο αναφοράς κορεσμένου καλομέλανα (SCE) συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91. Κάθε τιμή προκύπτει ως ο μέσος όρος των τιμών των τεσσάρων οπλισμών σε κάθε δοκίμιο. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-91, οι τιμές του μετρούμενου δυναμικού διάβρωσης αποτελούν ένδειξη για την κατάσταση

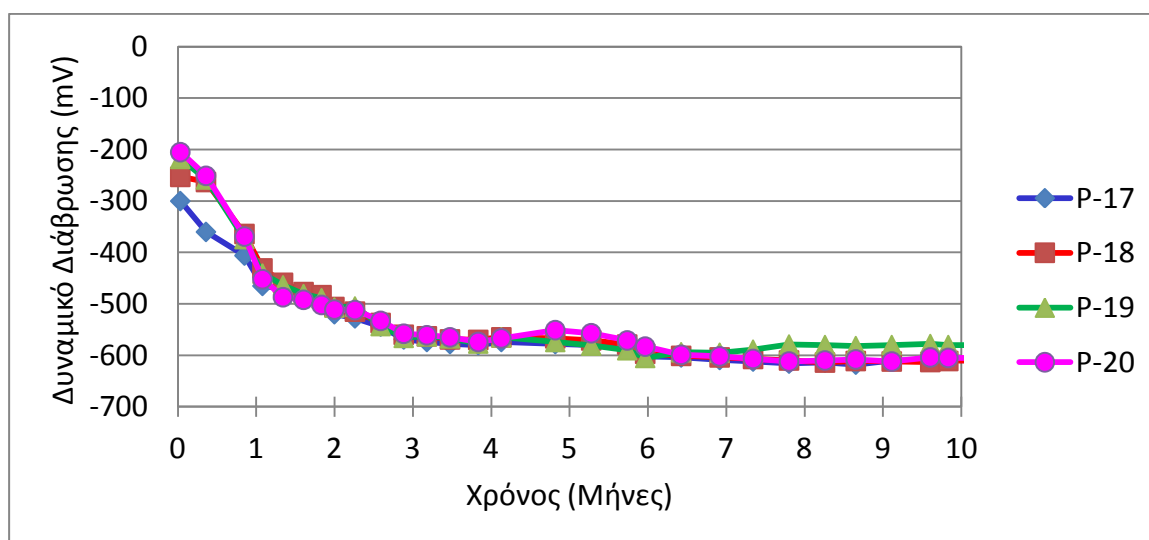
στην οποία βρίσκεται ο οπλισμός στο κονίαμα και για το ηλεκτρόδιο αναφοράς κορεσμένου καλομέλανα (SCE) οι τιμές διαμορφώνονται όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.2.

- Υπολογισμός της (%) απώλειας μάζας των οπλισμών. Η απώλεια μάζας των οπλισμών για κάθε χρονικό διάστημα υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος της απώλειας μάζας των τεσσάρων οπλισμών του πρισματικού δοκιμίου οπλισμένου κονιάματος. Η Απώλεια Μάζας προκύπτει ως η διαφορά της αρχικής μάζας ($m_{αρχ}$) μείον την τελική μάζα ($m_{τελ}$) σε γραμμάρια και κατόπιν υπολογίζεται η % Απώλεια Μάζας ως ο λόγος της απώλειας μάζας προς την αρχική μάζα.

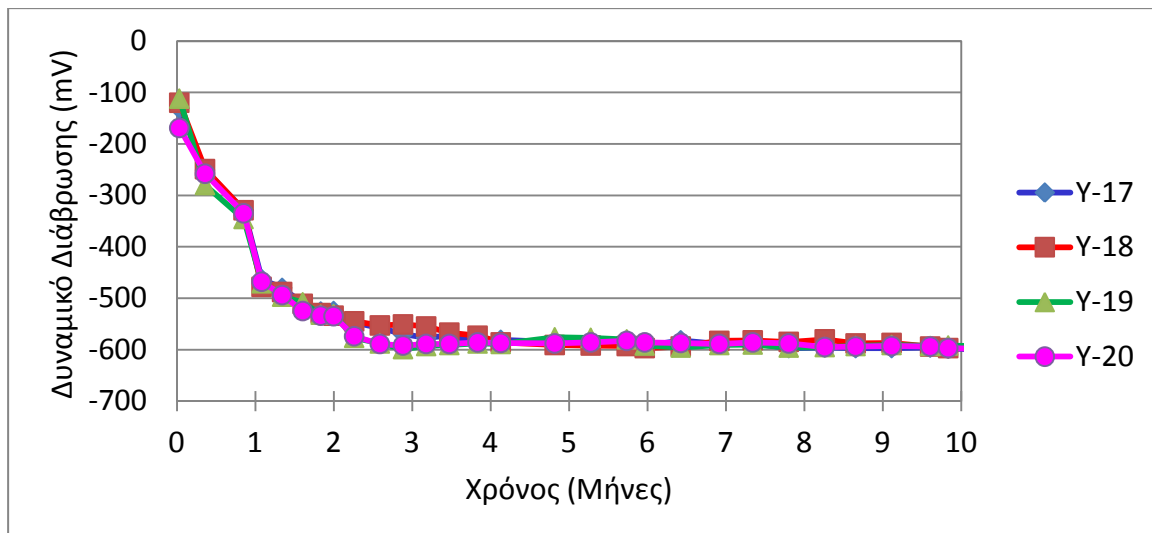
- Μέτρηση του βάθους ενανθράκωσης.
- Μετρήσεις φασματοσκοπίας σύνθετης αντίστασης (Electrochemical Impedance Spectroscopy).

8.6.1. Χρονική εξέλιξη του δυναμικού διάβρωσης των οπλισμών

Το δυναμικό διάβρωσης μετρήθηκε σε τακτά χρονικά διαστήματα σε όλους τους οπλισμούς ως προς ηλεκτρόδιο αναφοράς κορεσμένου καλομέλανα SCE. Τα αναλυτικά αποτελέσματα του δυναμικού διάβρωσης για κάθε οπλισμό παρατίθενται σε Πίνακες στο Παράρτημα. Στα σχήματα 8.141 έως 8.148 παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις του δυναμικού διάβρωσης συναρτήσει του χρόνου για τα δοκίμια όλων των κατηγοριών.

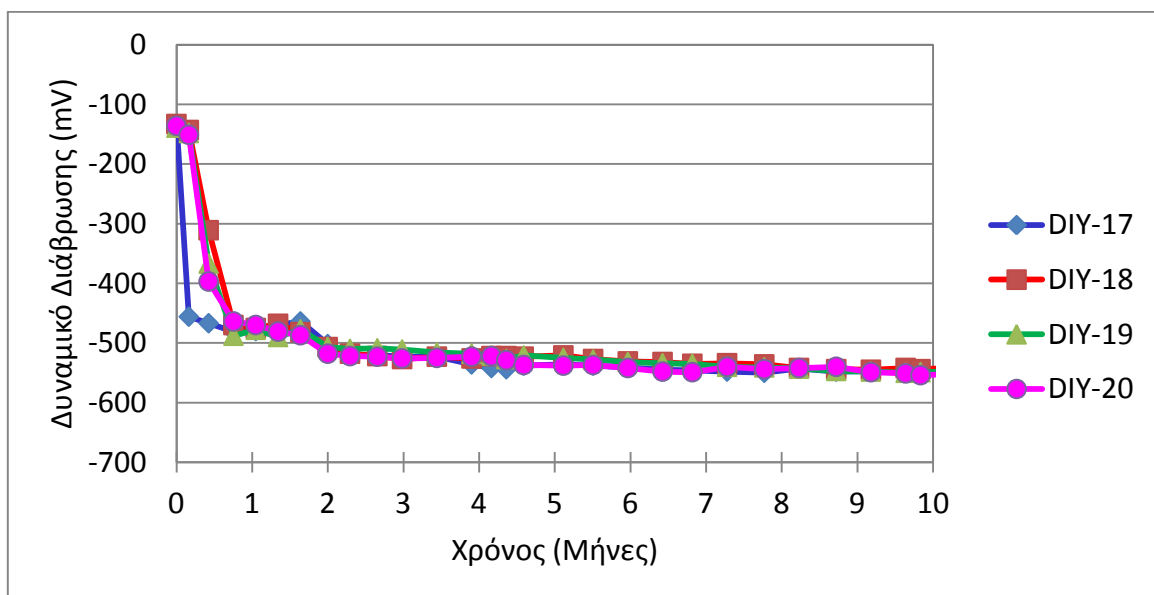


Σχήμα 8.141. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

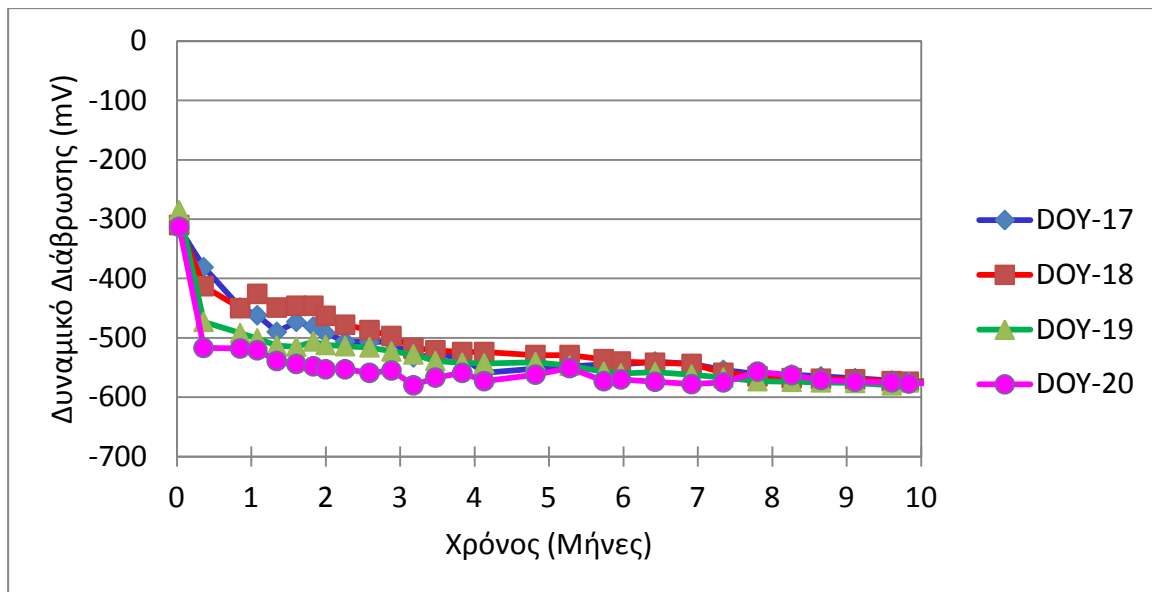


Σχήμα 8.142. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και την ανόργανη επικάλυψη συναρτήσε του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Όπως φαίνεται από τα ανωτέρω διαγράμματα, το δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων παρουσιάζει πτώση από τις αρχικές τιμές προς τα -600mV, όπου και σταθεροποιούνται μετά τον έκτο μήνα μέχρι το τέλος της περιόδου έκθεσης στην περίπτωση των δοκιμίων αναφοράς ή μετά τον τέταρτο μήνα στην περίπτωση των επικαλυμμένων δοκιμίων. Σύμφωνα με το ASTM C876-91 θεωρείται ότι υπάρχει διάβρωση των οπλισμών σε εκτεταμένο βαθμό.

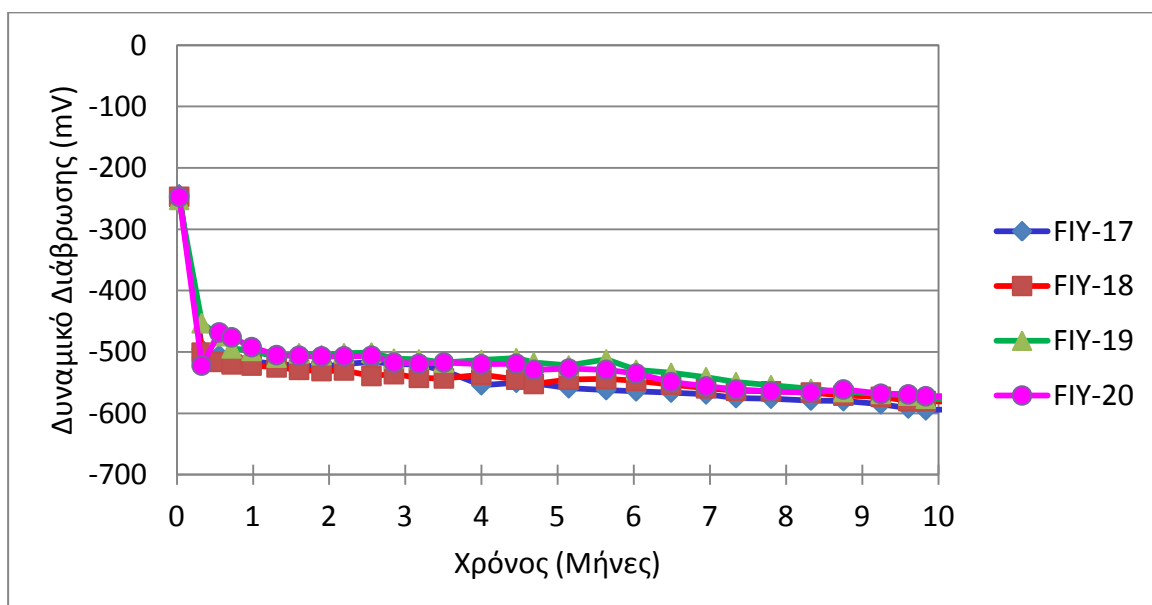


Σχήμα 8.143. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον αναστολέα DI και την ανόργανη επικάλυψη συναρτήσε του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

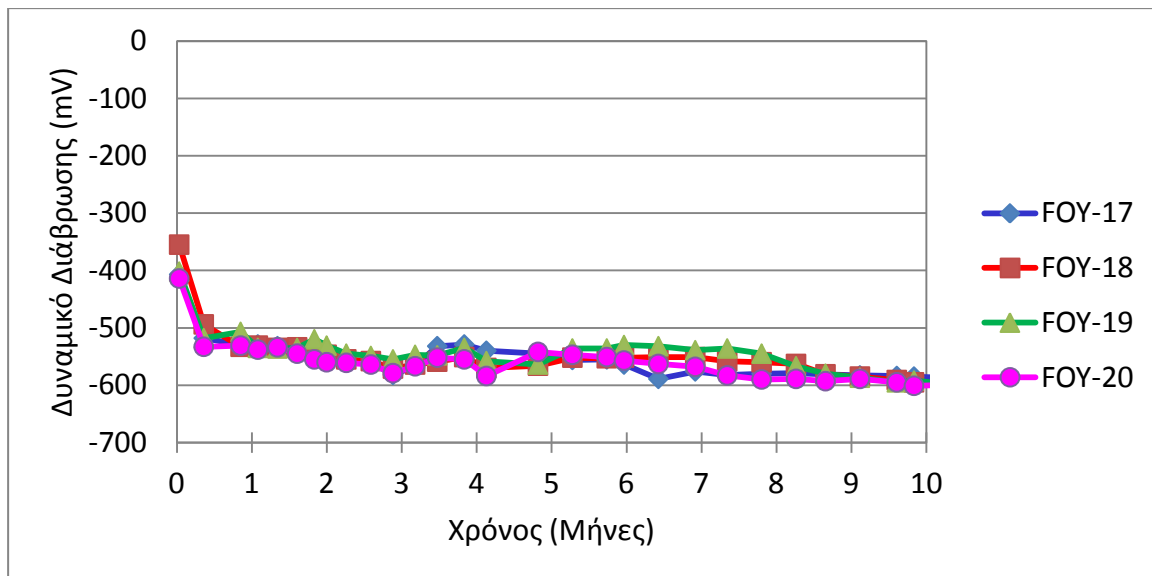


Σχήμα 8.144. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον αναστολέα DO και την ανόργανη επικάλυψη συναρτήσε του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Όπως φαίνεται από τα ανωτέρω διαγράμματα, το δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων των δοκιμίων με τον αναστολέα DI μετά από μια σύντομη σε διάρκεια πτώση από τις αρχικές τιμές τείνει προς σταθεροποίηση στα -550mV περίπου, ενώ οι σπλισμοί των δοκιμίων με τον αναστολέα DO παρουσιάζουν μεγαλύτερη διασπορά των τιμών δυναμικών διάβρωσης στους αρχικούς χρόνους έκθεσης. Οι διαφορές αυτές εξομαλύνονται στην πορεία και τα δυναμικά σταθεροποιούνται στα -550mV÷-570mV. Σύμφωνα με το ASTM C876-91 θεωρείται ότι υπάρχει διάβρωση των σπλισμών σε εκτεταμένο βαθμό.

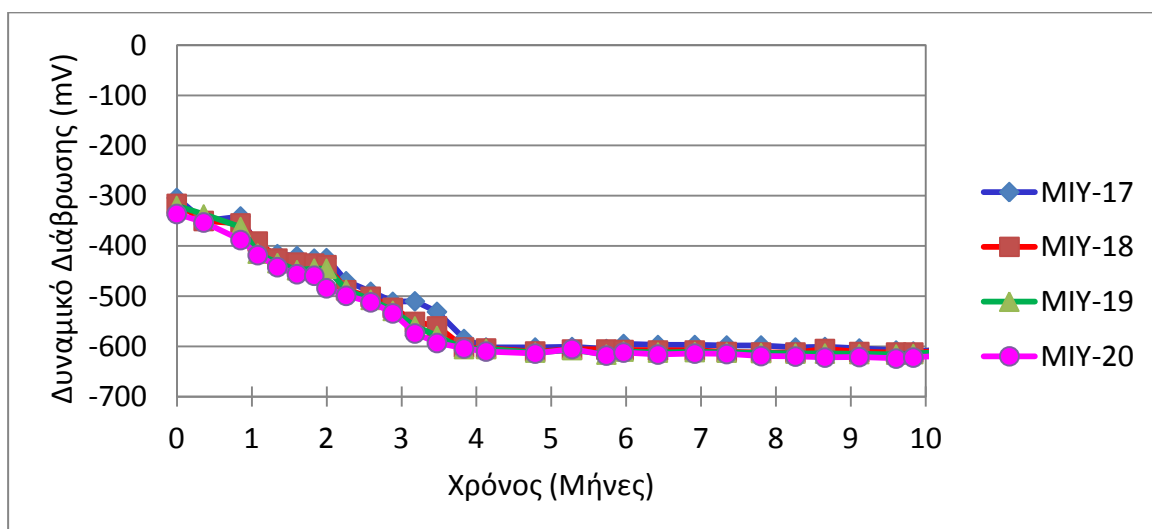


Σχήμα 8.145. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον αναστολέα FI και την ανόργανη επικάλυψη συναρτήσε του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

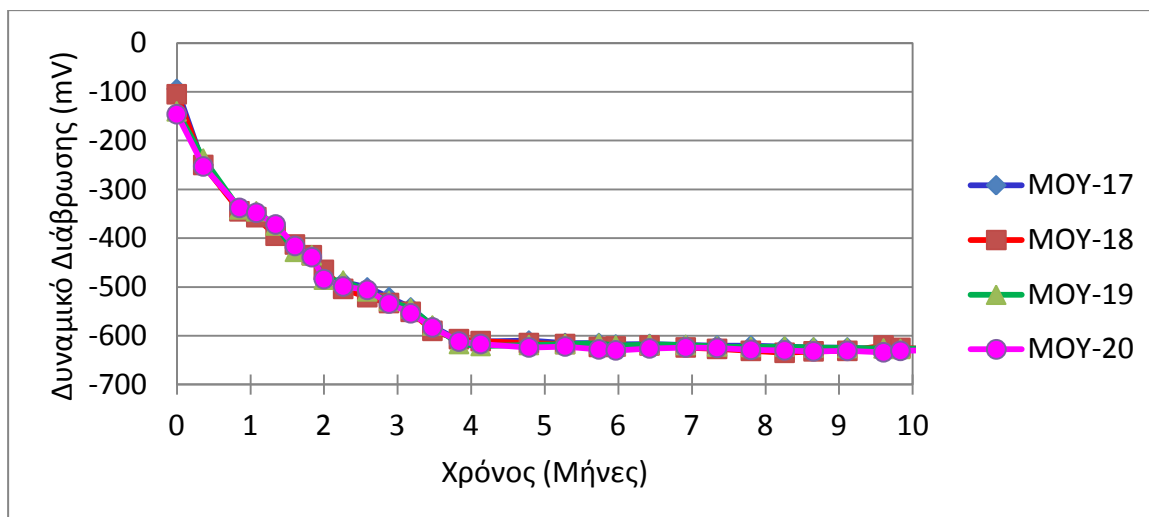


Σχήμα 8.146. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον αναστολέα FO και την ανόργανη επικάλυψη συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Όπως φαίνεται από τα ανωτέρω διαγράμματα, το δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων των δοκιμών με τον αναστολέα FO ξεκινά από χαμηλότερες τιμές και σύντομα σταθεροποιείται στα $-550\text{mV} \div -600\text{mV}$, ενώ στην περίπτωση των δοκιμών FI εμφανίζεται μια πρώτη σταθεροποίηση στα $-500\text{mV} \div -550\text{mV}$ για τους πρώτους πέντε μήνες, ακολουθούμενη από μια τάση για σταθεροποίηση στα $-550\text{mV} \div -580\text{mV}$. Σύμφωνα με το ASTM C876-91 θεωρείται ότι υπάρχει διάβρωση των οπλισμών σε εκτεταμένο βαθμό.



Σχήμα 8.147. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον αναστολέα MI και την ανόργανη επικάλυψη συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.148. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον αναστολέα MI και την ανόργανη επικάλυψη συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

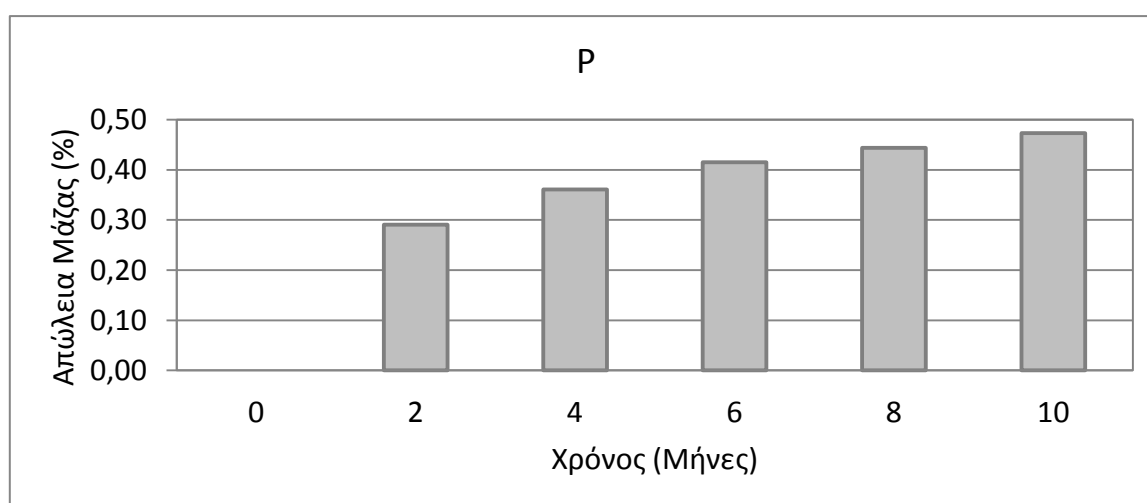
Όπως φαίνεται από τα ανωτέρω διαγράμματα, το δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων των δοκιμών με τον αναστολέα MI παρουσιάζει ομαλή μείωση προς ηλεκτραρνητικότερες τιμές κατά τους τέσσερις πρώτους μήνες, με τελική σταθεροποίηση στη συνέχεια στα -600mV, ενώ στα δοκίμια με τον αναστολέα MO η αρχική πτώση των δυναμικών κατά το ίδιο χρονικό διάστημα είναι μεγαλύτερη και η σταθεροποίηση συμβαίνει στα -600mV÷-620mV. Σύμφωνα με το ASTM C876-91 θεωρείται ότι υπάρχει διάβρωση των οπλισμών σε εκτεταμένο βαθμό.

8.6.2. Απώλεια μάζας οπλισμών

Η (%) απώλεια μάζας των οπλισμών υπολογίστηκε μετά από δύο, τέσσερις, έξι, οκτώ και δέκα μήνες έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Στους Πίνακες 8.71 έως 8.78 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα απώλειας μάζας συναρτήσεως του χρόνου για τα δοκίμια όλων των κατηγοριών και στα σχήματα 8.149 έως 8.156 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Πίνακας 8.71. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

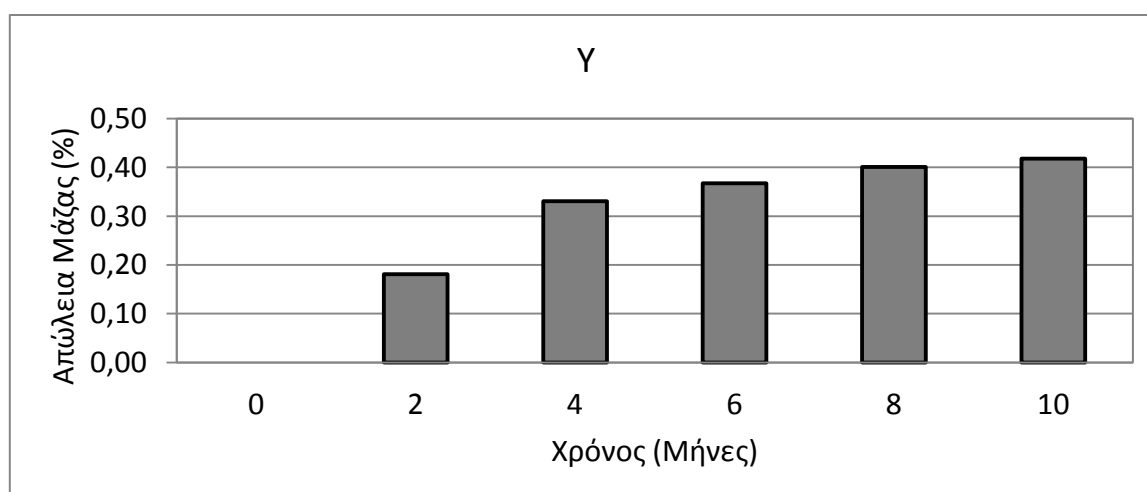
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
P-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	88,2374	87,9812	0,2562	0,290
P-2		89,3378	89,0861	0,2517	0,282
P-3		88,6465	88,3855	0,2610	0,294
P-4		87,4075	87,1475	0,2600	0,297
M.O.					0,2572
Τυπ.απόκλιση				0,0042	0,0068
P-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	87,1414	86,8338	0,3076	0,353
P-6		89,6082	89,2691	0,3391	0,378
P-7		89,2546	88,9722	0,2824	0,316
P-8		88,5087	88,1583	0,3504	0,396
M.O.					0,3199
Τυπ.απόκλιση				0,0309	0,0345
P-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	88,2090	87,8654	0,3436	0,390
P-10		87,4678	87,1066	0,3612	0,413
P-11		85,6896	85,2998	0,3898	0,455
P-12		88,3314	87,9751	0,3563	0,403
M.O.					0,3627
Τυπ.απόκλιση				0,0195	0,0282
P-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	90,7497	90,3473	0,4024	0,443
P-14		88,8815	88,4517	0,4298	0,484
P-15		88,4149	88,0285	0,3864	0,437
P-16		87,6459	87,2858	0,3601	0,411
M.O.					0,3947
Τυπ.απόκλιση				0,0292	0,0301
P-17	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	89,1204	88,7211	0,3993	0,448
P-18		86,9123	86,4924	0,4199	0,483
P-19		88,3756	87,9390	0,4366	0,494
P-20		89,8974	89,4763	0,4211	0,468
M.O.					0,4192
Τυπ.απόκλιση				0,0153	0,0199



Σχήμα 8.149. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.72. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και επικάλυψη υδραύλου (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

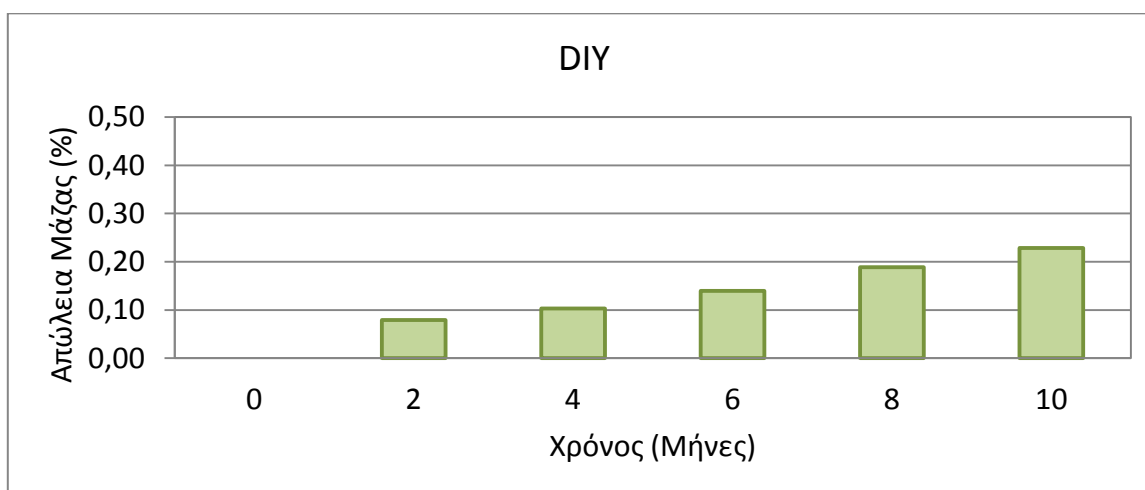
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
Υ-1		87,3870	87,2541	0,1329	0,152
Υ-2	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	87,6926	87,5376	0,1550	0,177
Υ-3		89,1735	88,9891	0,1844	0,207
Υ-4		89,4113	89,2434	0,1679	0,188
Μ.Ο.				0,1601	0,181
Τυπ.απόκλιση			0,0217	0,0228	
Υ-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	89,2303	88,9064	0,3239	0,363
Υ-6		89,8758	89,6142	0,2616	0,291
Υ-7		89,3787	89,0997	0,2790	0,312
Υ-8		88,6406	88,3240	0,3166	0,357
Μ.Ο.				0,2953	0,331
Τυπ.απόκλιση			0,0298	0,0349	
Υ-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	88,2379	87,9128	0,3251	0,368
Υ-10		88,1569	87,8292	0,3277	0,372
Υ-11		89,3611	89,0379	0,3232	0,362
Υ-12		87,8831	87,5597	0,3234	0,368
Μ.Ο.				0,3248	0,367
Τυπ.απόκλιση				0,0021	0,0042
Υ-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	87,0461	86,6593	0,3868	0,444
Υ-14		89,3347	88,9919	0,3428	0,384
Υ-15		88,3687	88,0439	0,3248	0,368
Υ-16		89,5078	89,1424	0,3654	0,408
Μ.Ο.				0,3550	0,401
Τυπ.απόκλιση			0,0270	0,0334	
Υ-17	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	88,9127	88,5692	0,3435	0,386
Υ-18		89,4592	89,0863	0,3729	0,417
Υ-19		87,9034	87,4879	0,4155	0,473
Υ-20		89,2451	88,8920	0,3531	0,396
Μ.Ο.				0,3713	0,418
Τυπ.απόκλιση			0,0319	0,0387	



Σχήμα 8.150. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και επικάλυψη υδραύλου συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.73. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, αναστολέα DI και επικάλυψη υδρούλου (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

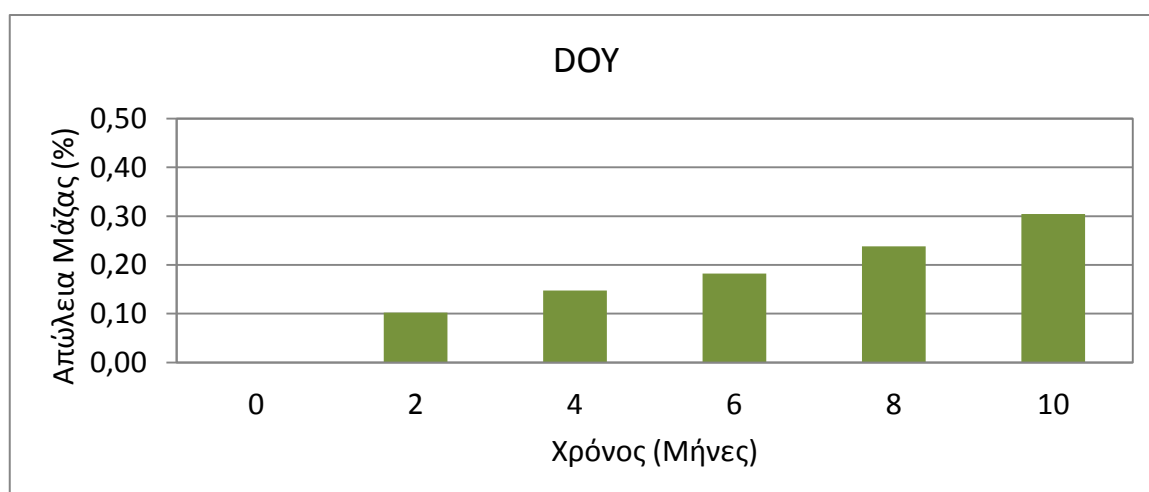
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
DIY-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	87,6299	87,5456	0,0843	0,096
DIY-2		89,2440	89,1765	0,0675	0,076
DIY-3		87,2823	87,2253	0,0570	0,065
DIY-4		89,1400	89,0683	0,0717	0,080
M.O.				0,0701	0,079
Τυπ.απόκλιση				0,0113	0,0129
DIY-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	89,2336	89,1227	0,1109	0,124
DIY-6		90,7066	90,6042	0,1024	0,113
DIY-7		86,0016	85,9175	0,0841	0,098
DIY-8		88,9029	88,8334	0,0695	0,078
M.O.				0,0917	0,103
Τυπ.απόκλιση				0,0186	0,0199
DIY-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	90,4294	90,3235	0,1059	0,117
DIY-10		86,5693	86,4311	0,1382	0,160
DIY-11		86,7636	86,6358	0,1278	0,147
DIY-12		89,3697	89,2486	0,1211	0,136
M.O.				0,1232	0,140
Τυπ.απόκλιση				0,0135	0,0181
DIY-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	90,4326	90,2467	0,1859	0,206
DIY-14		89,3476	89,1696	0,1780	0,199
DIY-15		88,9874	88,8418	0,1456	0,164
DIY-16		90,2652	90,0975	0,1677	0,186
M.O.				0,1693	0,189
Τυπ.απόκλιση				0,0175	0,0186
DIY-17	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	91,5872	91,3831	0,2041	0,223
DIY-18		93,2846	93,0792	0,2054	0,220
DIY-19		88,2783	88,0523	0,2260	0,256
DIY-20		90,3879	90,1936	0,1943	0,215
M.O.				0,2074	0,229
Τυπ.απόκλιση				0,0133	0,0186



Σχήμα 8.151. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, αναστολέα DI και επικάλυψη υδρούλου συναρτησί του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.74. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32,5, αναστολέα DO και επικάλυψη υδρυάλου (μερική εμφάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

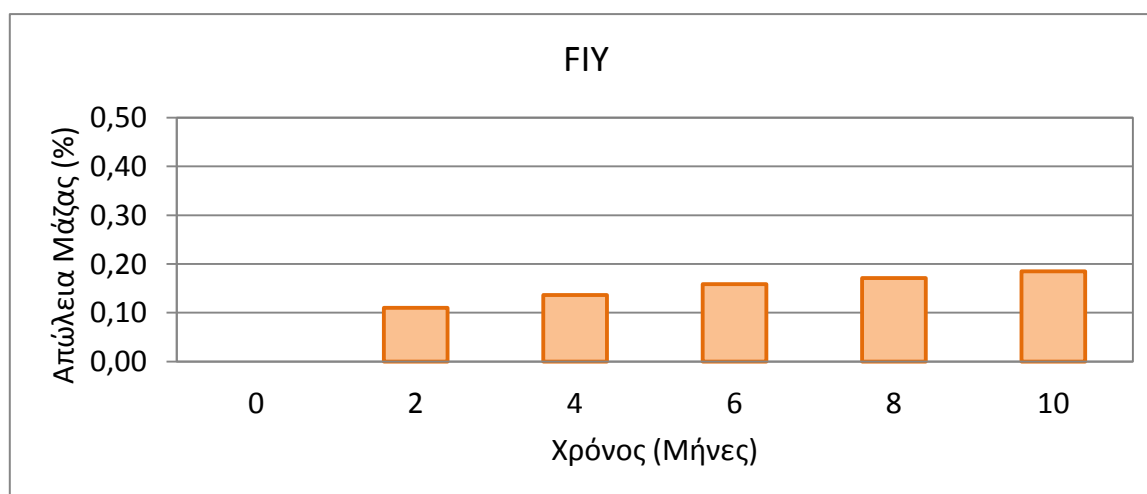
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
DOY-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	86,7274	86,6468	0,0806	0,093
DOY-2		88,6888	88,5886	0,1002	0,113
DOY-3		88,0660	87,9865	0,0795	0,090
DOY-4		89,7598	89,6590	0,1008	0,112
M.O.				0,0903	0,102
Τυπ.απόκλιση				0,0118	0,0122
DOY-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	84,9906	84,8519	0,1387	0,163
DOY-6		88,9067	88,7717	0,1350	0,152
DOY-7		89,2743	89,1492	0,1251	0,140
DOY-8		88,5065	88,3876	0,1189	0,134
M.O.				0,1294	0,147
Τυπ.απόκλιση				0,0091	0,0128
DOY-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	85,9178	85,7842	0,1336	0,155
DOY-10		87,9499	87,7689	0,1810	0,206
DOY-11		89,5021	89,3488	0,1533	0,171
DOY-12		87,7511	87,5783	0,1728	0,197
M.O.				0,1602	0,182
Τυπ.απόκλιση				0,0212	0,0231
DOY-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	86,2127	85,9881	0,2246	0,261
DOY-14		88,9900	88,7852	0,2048	0,230
DOY-15		89,2011	89,0092	0,1919	0,215
DOY-16		88,8508	88,6317	0,2191	0,247
M.O.				0,2101	0,238
Τυπ.απόκλιση				0,0147	0,0197
DOY-17	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	89,6567	89,3482	0,3085	0,344
DOY-18		88,5586	88,2689	0,2897	0,327
DOY-19		87,1501	86,8922	0,2579	0,296
DOY-20		88,9067	88,6831	0,2236	0,251
M.O.				0,2699	0,305
Τυπ.απόκλιση				0,0373	0,0407



Σχήμα 8.152. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32,5, αναστολέα DO και επικάλυψη υδρυάλου συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμφάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.75. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, αναστολέα FI και επικάλυψη υδρούαλου (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

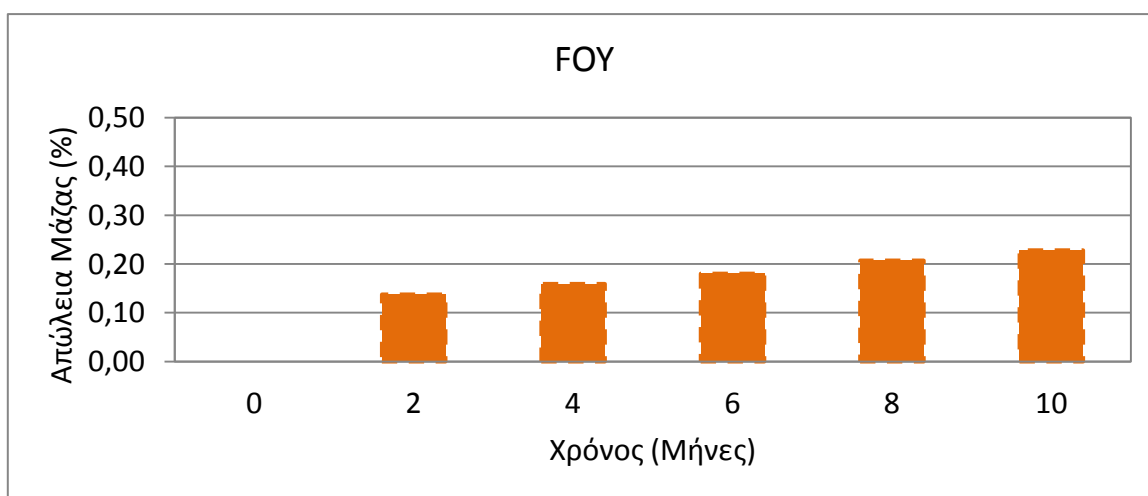
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
FIY-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	89,6844	89,6013	0,0831	0,093
FIY-2		87,7802	87,6735	0,1067	0,122
FIY-3		88,1967	88,0855	0,1112	0,126
FIY-4		88,8360	88,7461	0,0899	0,101
M.O.				0,0977	0,110
Τυπ.απόκλιση			0,0134	0,0160	
<hr/>					
FIY-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	89,3621	89,2369	0,1252	0,140
FIY-6		86,1546	86,0229	0,1317	0,153
FIY-7		90,4309	90,3307	0,1002	0,111
FIY-8		86,9746	86,8523	0,1223	0,141
M.O.				0,1198	0,136
Τυπ.απόκλιση			0,0137	0,0179	
<hr/>					
FIY-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	89,3617	89,2152	0,1465	0,164
FIY-10		87,9248	87,7899	0,1349	0,153
FIY-11		88,2717	88,1149	0,1568	0,178
FIY-12		89,6912	89,5665	0,1247	0,139
M.O.				0,1407	0,159
Τυπ.απόκλιση			0,0139	0,0163	
<hr/>					
FIY-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	91,4820	91,3271	0,1549	0,169
FIY-14		90,2187	90,0797	0,1390	0,154
FIY-15		89,3248	89,1683	0,1565	0,175
FIY-16		92,8937	92,7208	0,1729	0,186
M.O.				0,1558	0,171
Τυπ.απόκλιση			0,0139	0,0134	
<hr/>					
FIY-17	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	89,8923	89,7245	0,1678	0,187
FIY-18		91,4738	91,3129	0,1609	0,176
FIY-19		90,4389	90,2587	0,1802	0,199
FIY-20		89,5363	89,3767	0,1596	0,178
M.O.				0,1671	0,185
Τυπ.απόκλιση			0,0094	0,0106	



Σχήμα 8.153. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, αναστολέα FI και επικάλυψη υδρούαλου συναρτήσε του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.76. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίων με τσιμέντο CEM II/B-M 32,5, αναστολέα FO και επικάλυψη υδραύλου (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

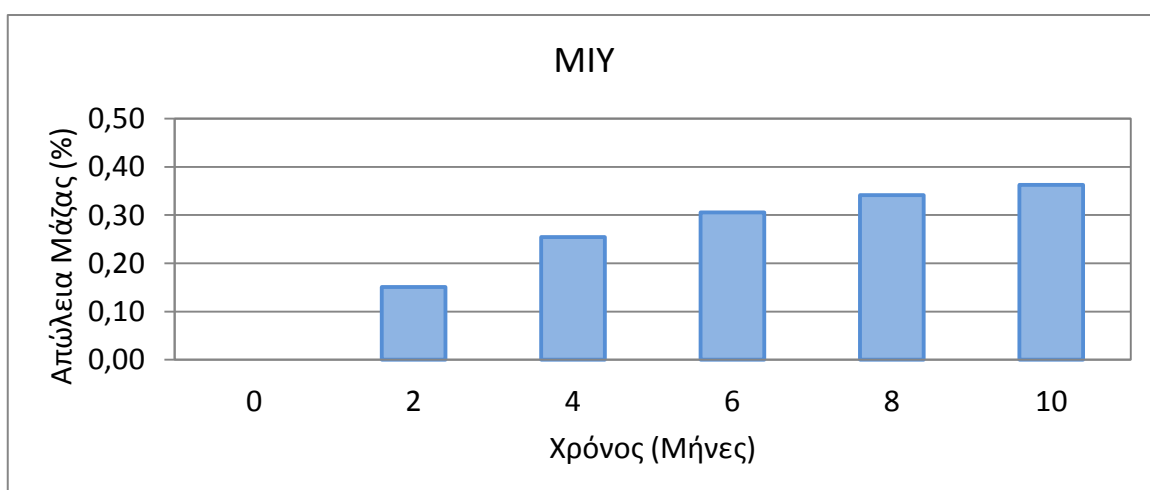
Κωδικός		$m_{\text{αρχ}}$ (g)	$m_{\text{τελ}}$ (g)	AM (g)	AM (%)
FOY-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	90,8398	90,7359	0,1039	0,114
FOY-2		88,2197	88,0799	0,1398	0,158
FOY-3		88,9522	88,8199	0,1323	0,149
FOY-4		89,0910	88,9760	0,1150	0,129
M.O.				0,1228	0,138
Τυπ.απόκλιση			0,0163	0,0198	
FOY-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	89,5390	89,4064	0,1326	0,148
FOY-6		88,4211	88,2767	0,1444	0,163
FOY-7		89,4798	89,3495	0,1303	0,146
FOY-8		87,7843	87,6265	0,1578	0,180
M.O.				0,1413	0,159
Τυπ.απόκλιση			0,0126	0,0158	
FOY-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	88,6313	88,4691	0,1622	0,183
FOY-10		87,9260	87,7804	0,1456	0,166
FOY-11		87,1387	86,9823	0,1564	0,179
FOY-12		87,8296	87,6588	0,1708	0,194
M.O.				0,1588	0,181
Τυπ.απόκλιση			0,0106	0,0119	
FOY-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	86,0926	85,8845	0,2081	0,242
FOY-14		88,5827	88,4153	0,1674	0,189
FOY-15		88,2142	88,0239	0,1903	0,216
FOY-16		89,8973	89,7325	0,1648	0,183
M.O.				0,1827	0,207
Τυπ.απόκλιση			0,0205	0,0269	
FOY-17	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	86,8912	86,6946	0,1966	0,226
FOY-18		89,0092	88,8234	0,1858	0,209
FOY-19		88,4571	88,2357	0,2214	0,250
FOY-20		88,8274	88,6242	0,2032	0,229
M.O.				0,2018	0,229
Τυπ.απόκλιση			0,0149	0,0170	



Σχήμα 8.154. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32,5, αναστολέα FO και επικάλυψη υδραύλου συναρτήσε του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.77. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32,5, αναστολέα MI και επικάλυψη υδρούλου (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

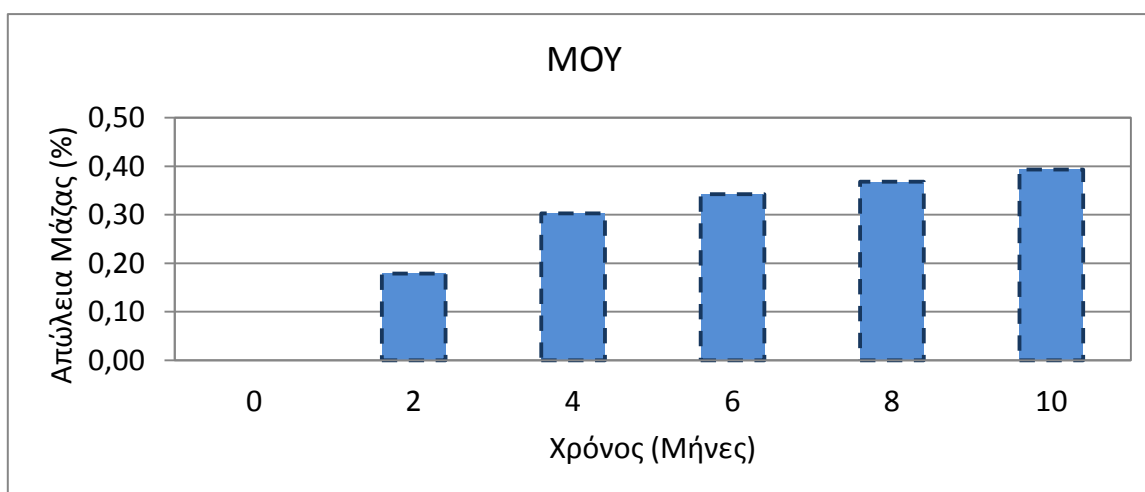
Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
MIY-1	Χρόνος	90,3478	90,2153	0,1325	0,147
MIY-2	έκθεσης 2	88,3427	88,2056	0,1371	0,155
MIY-3	μήνες	88,6844	88,5386	0,1458	0,164
MIY-4		87,6485	87,5274	0,1211	0,138
M.O.				0,1341	0,151
Τυπ.απόκλιση				0,0103	0,0113
MIY-5	Χρόνος	90,7923	90,5418	0,2505	0,276
MIY-6	έκθεσης 4	91,3468	91,1362	0,2106	0,231
MIY-7	μήνες	92,6791	92,4592	0,2199	0,237
MIY-8		90,6429	90,3955	0,2474	0,273
M.O.				0,2321	0,254
Τυπ.απόκλιση				0,0199	0,0236
MIY-9	Χρόνος	87,2098	86,9562	0,2536	0,291
MIY-10	έκθεσης 6	88,3292	88,0531	0,2761	0,313
MIY-11	μήνες	90,9827	90,7034	0,2793	0,307
MIY-12		92,5892	92,2996	0,2896	0,313
M.O.				0,2747	0,306
Τυπ.απόκλιση				0,0152	0,0103
MIY-13	Χρόνος	88,8903	88,5763	0,3140	0,353
MIY-14	έκθεσης 8	87,6541	87,3257	0,3284	0,375
MIY-15	μήνες	90,1761	89,8845	0,2916	0,323
MIY-16		89,9189	89,6359	0,2830	0,315
M.O.				0,3042	0,341
Τυπ.απόκλιση				0,0207	0,0276
MIY-17	Χρόνος	88,7873	88,4732	0,3141	0,354
MIY-18	έκθεσης 10	89,1541	88,8192	0,3349	0,376
MIY-19	μήνες	88,9179	88,5896	0,3283	0,369
MIY-20		87,8590	87,5493	0,3097	0,352
M.O.				0,3217	0,363
Τυπ.απόκλιση				0,0118	0,0115



Σχήμα 8.155. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32,5, αναστολέα MI και επικάλυψη υδρούλου συναρτήσε του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Πίνακας 8.78. Απώλεια μάζας (%) σπλισμών δοκιμίων με τσιμέντο CEM II/B-M 32,5, αναστολέα MI και επικάλυψη υδρούλου (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl)

Κωδικός		$m_{αρχ}$ (g)	$m_{τελ}$ (g)	AM (g)	AM (%)
MOY-1	Χρόνος έκθεσης 2 μήνες	90,6723	90,5101	0,1622	0,179
MOY-2		87,7641	87,6236	0,1405	0,160
MOY-3		88,8389	88,6572	0,1817	0,205
MOY-4		86,5437	86,3961	0,1476	0,171
M.O.					0,1580
Τυπ.απόκλιση				0,0182	0,0190
MOY-5	Χρόνος έκθεσης 4 μήνες	88,1236	87,8503	0,2733	0,310
MOY-6		90,4704	90,2231	0,2473	0,273
MOY-7		87,0856	86,7888	0,2968	0,341
MOY-8		88,8719	88,6178	0,2541	0,286
M.O.					0,2679
Τυπ.απόκλιση				0,0222	0,0297
MOY-9	Χρόνος έκθεσης 6 μήνες	89,3066	89,0122	0,2944	0,330
MOY-10		87,0984	86,7712	0,3272	0,376
MOY-11		87,6475	87,3645	0,2830	0,323
MOY-12		87,8492	87,5487	0,3005	0,342
M.O.					0,3013
Τυπ.απόκλιση				0,0187	0,0235
MOY-13	Χρόνος έκθεσης 8 μήνες	89,3096	88,9540	0,3556	0,398
MOY-14		88,8470	88,5277	0,3193	0,359
MOY-15		90,1816	89,8775	0,3041	0,337
MOY-16		89,2095	88,8734	0,3361	0,377
M.O.					0,3288
Τυπ.απόκλιση				0,0222	0,0259
MOY-17	Χρόνος έκθεσης 10 μήνες	90,1946	89,8187	0,3759	0,417
MOY-18		89,5672	89,1799	0,3873	0,432
MOY-19		89,6710	89,3517	0,3193	0,356
MOY-20		88,3289	88,0037	0,3252	0,368
M.O.					0,3519
Τυπ.απόκλιση				0,0347	0,0370



Σχήμα 8.156. Απώλεια μάζας (%) σπλισμών δοκιμίων σπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32,5, αναστολέα MO και επικάλυψη υδρούλου συναρτηίσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Από το σύνολο των πειραματικών μετρήσεων όπως φαίνεται και από τους πίνακες και τα διαγράμματα, εμφανίζεται αύξηση της ποσοστιαίας επί τοις εκατό απώλειας μάζας των οπλισμών με την αύξηση του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Ο ρυθμός αύξησης της απώλειας μάζας είναι μεγαλύτερος στην αρχή και μειώνεται με την πάροδο του χρόνου έκθεσης, γιατί την αρχή ο ρυθμός σχηματισμού παθητικών οξειδίων στη μεταλλική επιφάνεια είναι μεγαλύτερος. Το στρώμα των οξειδίων του σιδήρου είναι γνωστό ότι είναι πορώδες και δεν είναι αρκετά προστατευτικό, οπότε η διάβρωση του σιδήρου συνεχίζεται.

Οι τιμές της απώλειας μάζας των δοκιμών κισσηροκονιάματος μόνο με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 (δοκίμια αναφοράς) είναι μεγαλύτερες από τις απώλειες μάζας όλων των υπόλοιπων δοκιμών. Στους 10 μήνες έκθεσης η ανόργανη επικάλυψη με υδρύαλο μείωσε την απώλεια μάζας των οπλισμών κατά 12%.

Η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας του συνδυασμού αναστολέων διάβρωσης με επικάλυψη υδρυάλου στην περίπτωση μερικής εμβάπτισης σε περιβάλλον χλωριόντων μέσω του σταθμικού προσδιορισμού της απώλειας μάζας των χαλύβδινων οπλισμών δοκιμών κισσηροκονιάματος, έδειξε ότι όλοι οι αναστολείς βελτίωσαν την αντίσταση των οπλισμών έναντι της διάβρωσης και μάλιστα σε αρκετά υψηλά ποσοστά.

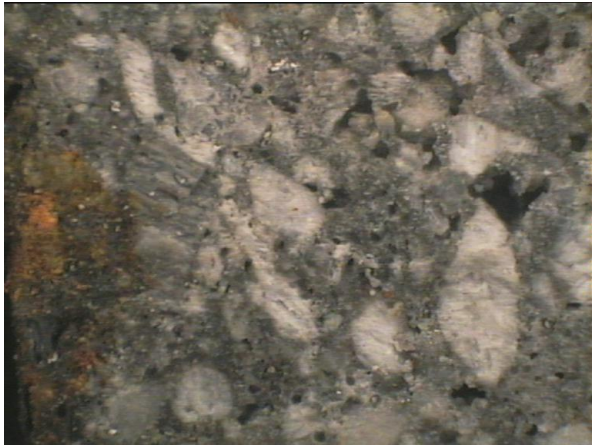
Με δεδομένο της ύπαρξη της ανόργανης επικάλυψης, ιδιαίτερα ικανοποιητική προστασία προσέφερε ο αναστολέας D, όπου στην περίπτωση προσθήκης του στο κονίαμα, αυτή συνδυαστικά έφτασε το 52% στους 10 μήνες έκθεσης, ενώ στην περίπτωση ψεκασμού του αναστολέα το ποσοστό αυτό ήταν 36%.

Την καλύτερη συμπεριφορά παρουσίασαν τα δοκίμια με τον αναστολέα F, όπου στην περίπτωση προσθήκης του στο κονίαμα, η συνολική προστασία έφτασε το 61% στους 10 μήνες έκθεσης, ενώ στην περίπτωση ψεκασμού του αναστολέα το ποσοστό αυτό ήταν λίγο μικρότερο (52%).

Ο αναστολέας M προσέφερε μικρότερη προστασία στην περίπτωση προσθήκης του στο κονίαμα της τάξης του 23%, ενώ στην περίπτωση ψεκασμού του αναστολέα το ποσοστό αυτό ήταν ακόμη μικρότερο (17%).

8.6.3. Μακροσκοπική εξέταση με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο οπτικών ινών

Ακολουθως παρατίθενται ενδεικτικές φωτογραφίες σε μεγέθυνση X25 ή X50 των χαλύβων, των προϊόντων διάβρωσης των χαλύβων και των κισσηροκονιαμάτων. Οι φωτογραφίες ελήφθησαν σε θραυσμένα δοκίμια κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και λεπτή κίσηρη μετά από 10 μήνες στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Φωτογραφία 8.6. α. Μεγέθυνση X25 κισσηροκονιάματος από δοκίμιο με αναστολέα διάβρωσης DI. Διακρίνονται οι κόκκοι της κίσηρης (λευκό) και η τσιμεντόπαστα (φαιό). **β.** Μεγέθυνση X25 κισσηροκονιάματος από δοκίμιο με αναστολέα διάβρωσης DO. Το κισσηροκονίαμα έχει χρωματιστεί ερυθρό-καστανό από τη σκουριά του χάλυβα.



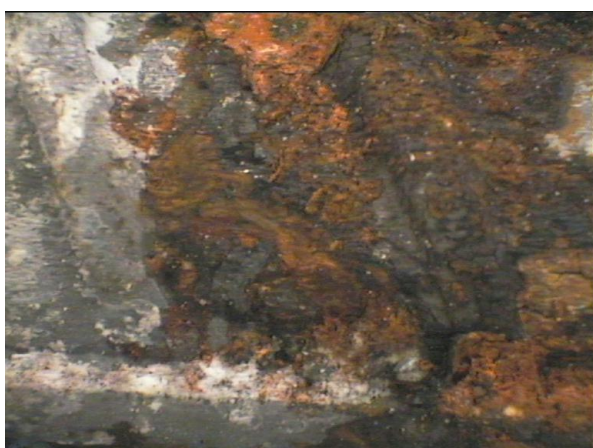
Φωτογραφία 8.7. α. Μεγέθυνση X25 κισσηροκονιάματος από δοκίμιο με αναστολέα διάβρωσης FO. Το κισσηροκονίαμα έχει χρωματιστεί ερυθρό-καστανό στο σημείο που διαχύθηκε η σκουριά του χάλυβα. **β.** Έντονος χρωματισμός κισσηροκονιάματος από τη σκουριά του χάλυβα.



Φωτογραφία 8.8. α, β. Μεγέθυνση X25 χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος, πριν τον καθαρισμό του από τα προϊόντα διάβρωσης, από δοκίμιο κισσηροκονιάματος με αναστολέα διάβρωσης DO (αριστερά) και FO (δεξιά). Είναι εμφανή τα προϊόντα διάβρωσης πάνω στον οπλισμό. Διακρίνονται κόκκινα οξειδία του σιδήρου (Fe_2O_3) και τοπικός σχηματισμός μαύρου οξειδίου του σιδήρου (Fe_3O_4).



Φωτογραφία 8.9. α, β. Μεγέθυνση X25 χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος, πριν τον καθαρισμό του από τα προϊόντα διάβρωσης, από δοκίμιο κισσηροκονιάματος με αναστολέα διάβρωσης MO. Είναι εμφανή τα σαθρά και ρηγματωμένα προϊόντα διάβρωσης πάνω στον οπλισμό. Η μεγαλύτερη μεγέθυνση X50 (δεξιά) εμφανίζει πιο καθαρά την κατάσταση των προϊόντων διάβρωσης.



Φωτογραφία 8.10. α, β. Μεγέθυνση X25 χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος, πριν τον καθαρισμό του από τα προϊόντα διάβρωσης, από δοκίμιο κισσηροκονιάματος με αναστολέα διάβρωσης DI.



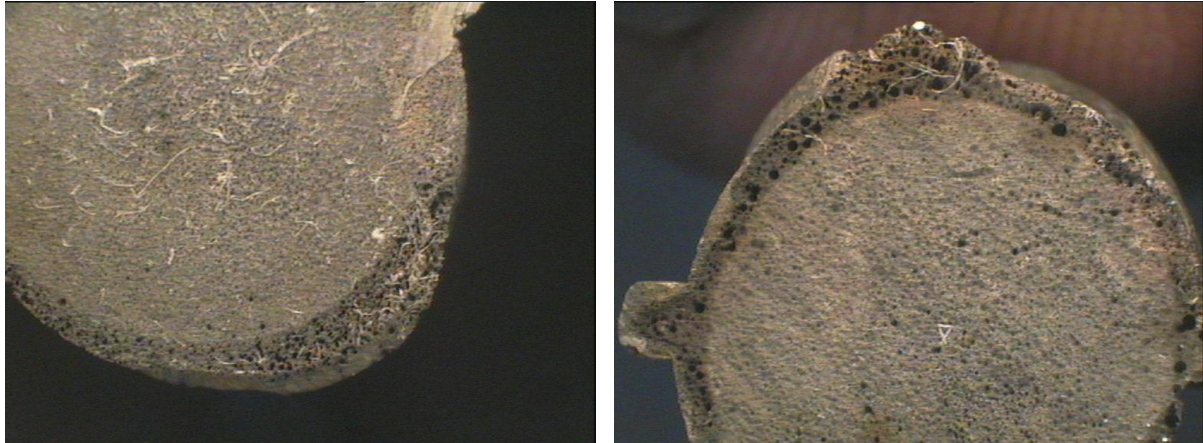
Φωτογραφία 8.11. α, β. Μεγέθυνση X25 χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος, μετά τον καθαρισμό του από τα προϊόντα διάβρωσης, από δοκίμιο κισσηροκονιάματος με αναστολέα διάβρωσης DO. Διακρίνεται έντονη διάβρωση με βελονισμούς στην ανάγλυφη νεύρωση (αριστερά).



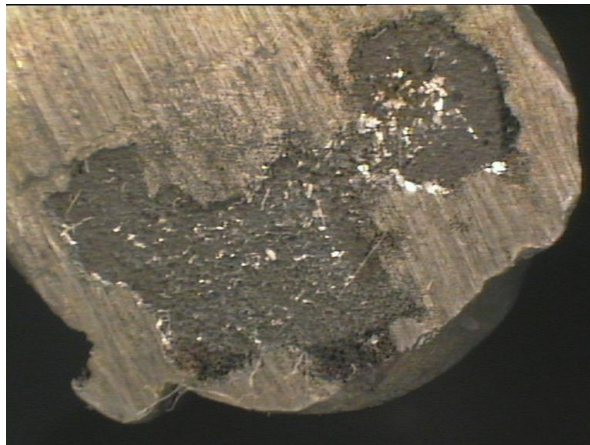
Φωτογραφία 8.12. α, β. Μεγέθυνση X25 χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος, μετά τον καθαρισμό του από τα προϊόντα διάβρωσης, από δοκίμιο κισσηροκονιάματος με αναστολέα διάβρωσης MO. Διακρίνεται έντονη τοπική διάβρωση.



Φωτογραφία 8.13. α, β. Μεγέθυνση X25 χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος, μετά τον καθαρισμό του από τα προϊόντα διάβρωσης, από δοκίμιο κισσηροκονιάματος με αναστολέα διάβρωσης FO. Διακρίνεται έντονη τοπική διάβρωση.



Φωτογραφία 8.14. Μεγέθυνση X25 διατομής χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος από δοκίμιο κισσηροκονιάματος με αναστολέα διάβρωσης DI (α) και δοκίμιο με επικάλυψη υδρυάλου (β). Διακρίνεται διάβρωση με βελονισμούς στη μαρτενσιτική ζώνη, ενώ η φερριτοπερλιτική περιοχή δεν δείχνει σημάδια έντονης διάβρωσης.



Φωτογραφία 8.15. Μεγέθυνση X25 διατομής χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος από δοκίμιο κισσηροκονιάματος με αναστολέα διάβρωσης FO. Φαίνεται ομοιόμορφη διάβρωση σε τμήμα της διατομής.



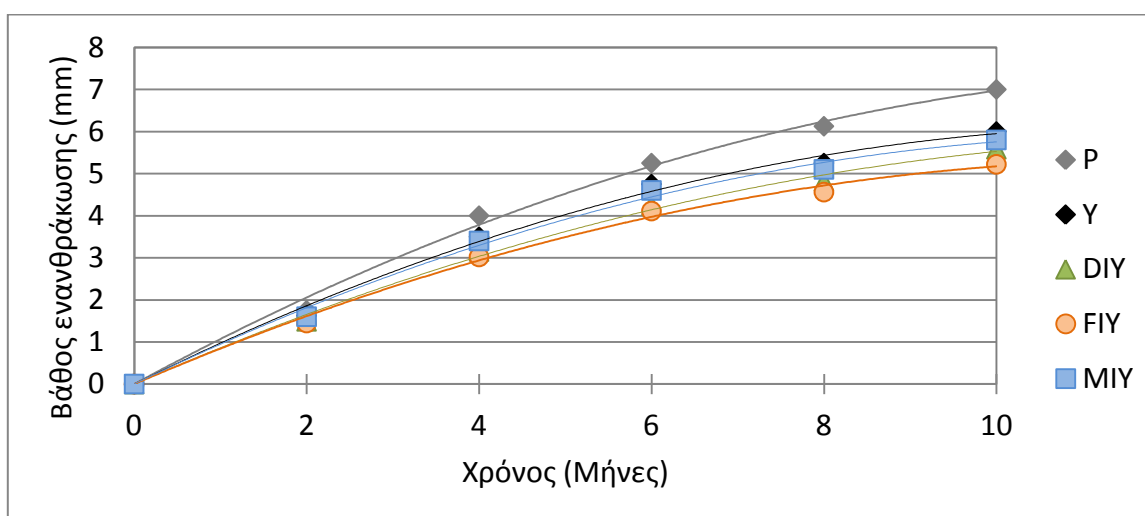
Φωτογραφία 8.16. Μεγέθυνση X25 παράπλευρου τμήματος και διατομής χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος από δοκίμιο κισσηροκονιάματος με αναστολέα διάβρωσης FI. Δεξιά φαίνεται ανέπαφο τμήμα οπλισμού, ενώ αριστερά φαίνονται οι γραμμές που προκάλεσε ο κοπτικός τροχός στη διατομή του χάλυβα.

8.6.4. Βάθος ενανθράκωσης

Το βάθος ενανθράκωσης των κισσηροκονιαμάτων του δοκιμίου αναφοράς με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, του δοκιμίου με την επικάλυψη υδρυάλου και του δοκιμίου με τον αναστολέα ως πρόσθετο υπολογίστηκε μετά από 2, 4, 6, 8 και 10 μήνες έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl. Στον Πίνακα 8.79 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και στο σχήμα 8.157 παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα.

Πίνακας 8.79. Βάθος ενανθράκωσης κισσηροκονιαμάτων με τσιμέντο CEM I 32.5, αναστολείς διάβρωσης ως πρόσθετο και επικάλυψη υδρυάλου στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl

Χρόνος (Μήνες)	Βάθος ενανθράκωσης (mm)				
	P	Y	DIY	FIY	MIY
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	1,8	1,6	1,5	1,5	1,6
4	4,0	3,5	3,2	3,0	3,4
6	5,3	4,8	4,2	4,1	4,6
8	6,1	5,3	4,8	4,6	5,1
10	7,0	6,0	5,6	5,2	5,8



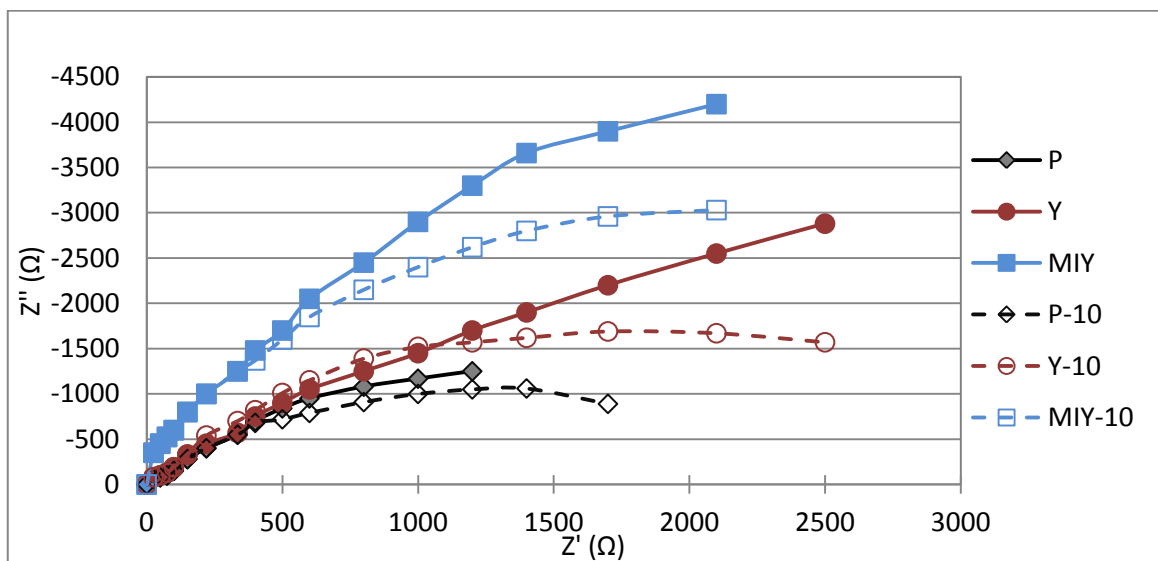
Σχήμα 8.157. Βάθος ενανθράκωσης κισσηροκονιαμάτων με τσιμέντο CEM I 32.5, αναστολείς διάβρωσης ως πρόσθετο και επικάλυψη υδρυάλου στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Όπως φαίνεται από το σχήμα 8.157 το βάθος ενανθράκωσης όλων των κισσηροκονιαμάτων αυξάνεται ομαλά με την αύξηση του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον. Η ανόργανη επικάλυψη κατ' αρχήν βοήθησε στη μείωση του βάθους ενανθράκωσης σε σχέση με τα μη επικαλυμμένα δοκίμια κατά 14%. Με τη χρήση των αναστολέων υπήρξε μια περαιτέρω μείωση του βάθους ενανθράκωσης, με τιμές που κυμαίνονται από 17% για τον αναστολέα MI έως 25% για τον αναστολέα FI. Είναι γνωστό ότι

οι ανόργανες επικαλύψεις δεν κλείνουν αρκετά τους πόρους του σκυροδέματος, με αποτέλεσμα μικρή βελτίωση του βάθους ενανθράκωσης σε σχέση με τα μη επικαλυμμένα δοκίμια.

8.6.4. Ηλεκτροχημική Φασματοσκοπία Σύνθετης Αντίστασης

Από μετρήσεις ηλεκτροχημικής φασματοσκοπίας σύνθετης αντίστασης που έγιναν στα δοκίμια αναφοράς, σε αυτά με την ανόργανη επικάλυψη και σε δοκίμια με τον συνδυασμό αναστολέα διάβρωσης και ανόργανης επικάλυψης μετά από 10 ημέρες και μετά από 10 μήνες έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμφάνισης στο διάλυμα 3.5 % κ.β. NaCl, προέκυψε το διάγραμμα του σχήματος 8.158, όπου το φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης (Z'') σχεδιάζεται ως προς το πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης (Z'). Η αντίσταση πόλωσης των χαλύβων σπλισμού όλων των δοκιμίων μετά από 10 μήνες ήταν μικρότερη αυτών των 10 ημερών, όπως αναμενόταν, αφού τα δοκίμια μετά από 10 μήνες ήταν περισσότερο διαβρωμένα. Οι χάλυβες στα δοκίμια αναφοράς παρουσίασαν τη μικρότερη αντίσταση πόλωσης, είτε στην αρχή είτε στο τέλος του χρόνου έκθεσης, ακολουθούμενα από τα δοκίμια με ανόργανη επικάλυψη. Τη μεγαλύτερη αντίσταση πόλωσης εμφάνισαν τα δοκίμια του συνδυασμού αναστολέα διάβρωσης – ανόργανης επικάλυψης.



Σχήμα 8.158. Καμπύλη Nyquist από τα αποτελέσματα σύνθετης αντίστασης. Δοκίμια P, Y και MIY μετά από 10 ημέρες έκθεσης και δοκίμια P-10, Y-10 και MIY-10 μετά από 10 μήνες έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής έκθεσης στο διάλυμα 3.5 % κ.β. NaCl.

8.6.5. Έκτο μερικό συμπέρασμα

Για την προστασία του κισσηροκονιάματος χρησιμοποιήθηκε ανόργανη επικάλυψη με βάση την υδρύαλο, η οποία παρουσιάζει τα εξής προτερήματα:

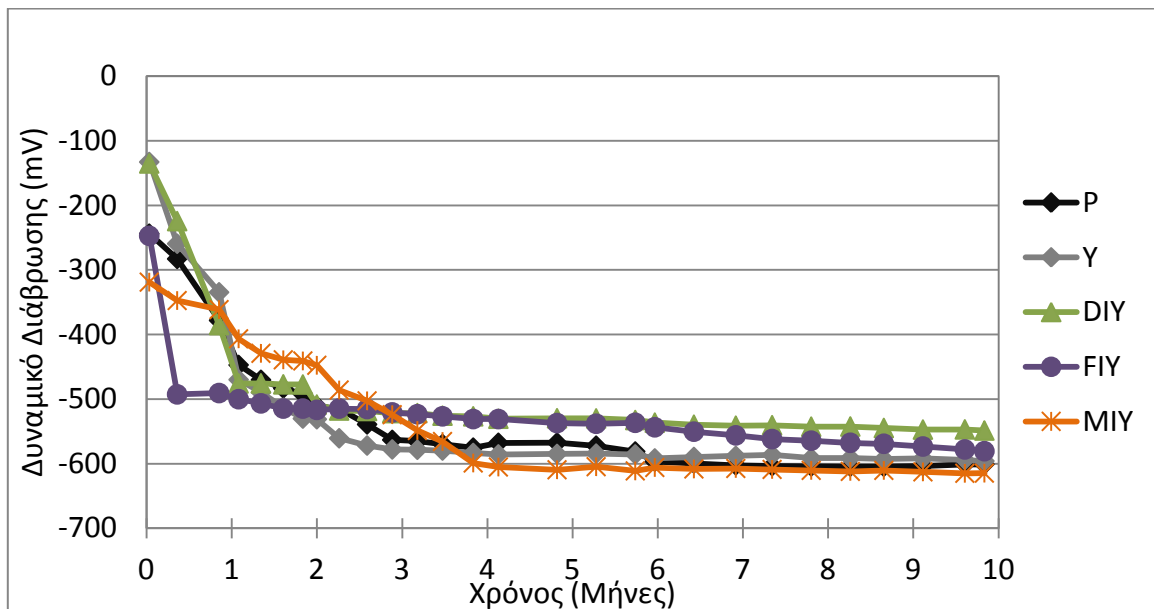
- Έχει μικροκρυσταλλική υφή με αποτέλεσμα την εξαιρετική αισθητική εμφάνιση
- Δεν επηρεάζεται από την UV ακτινοβολία, δηλαδή δεν εμφανίζει κιμωλίαση.
- Λόγω της ανόργανης υφής της δεν υφίσταται αλλαγή του χρωματισμού της (ξεθώριασμα) λόγω της UV ακτινοβολίας με την πάροδο του χρόνου.
- Δεν αποκολλάται από το υπόστρωμα (κονίαμα ή σκυρόδεμα) (δεν «ξεφλουδίζει»).

- Εάν κάποιο κομμάτι υποστεί βλάβη και ξαναβαφεί, δεν διακρίνεται το νέο βάψιμο από το παλιό.

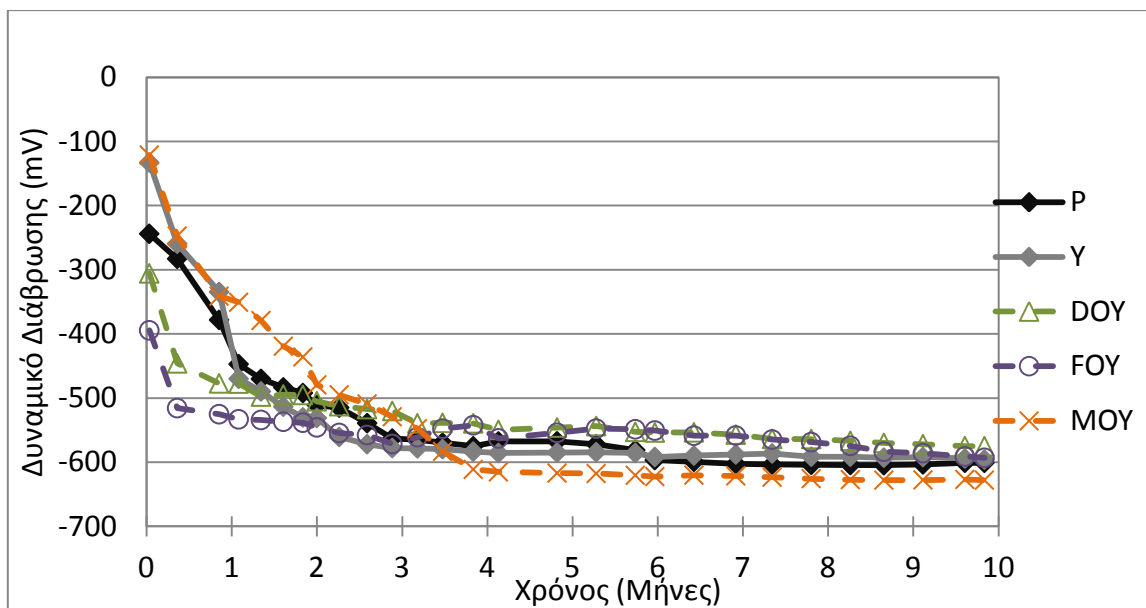
- Δεν ευνοείται η ανάπτυξη μικροοργανισμών.
- Έχοντας σαν διαλύτη το νερό δεν προκαλεί ρύπανση του περιβάλλοντος.

Έχει όμως το μειονέκτημα ότι δεν κλείνει αρκετά τους πόρους του σκυροδέματος, με αποτέλεσμα να μην παρέχει ικανοποιητική προστασία σε έντονα διαβρωτικά περιβάλλοντα, όπως π.χ. παρουσία χλωριόντων. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν και τρεις αναστολείς διάβρωσης του εμπορίου, είτε ως πρόσθετο κατά τη διάρκεια της κατασκευής του κισσηροκονιάματος είτε ως εμποτισμός (με ψεκασμό στην επιφάνεια του κισσηροκονιάματος μετά την κατασκευή), δηλαδή,

- Το διάλυμα νιτρώδους ασβεστίου $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ (αναστολέας **DI και DO**),
- Η αμινοαλκοόλη (N-N'-dimethylaminoethanol) (αναστολέας **FI και FO**),
- Οι αλκανολαμίνες (Migrating Corrosion Inhibitors) (αναστολέας **MI και MO**)

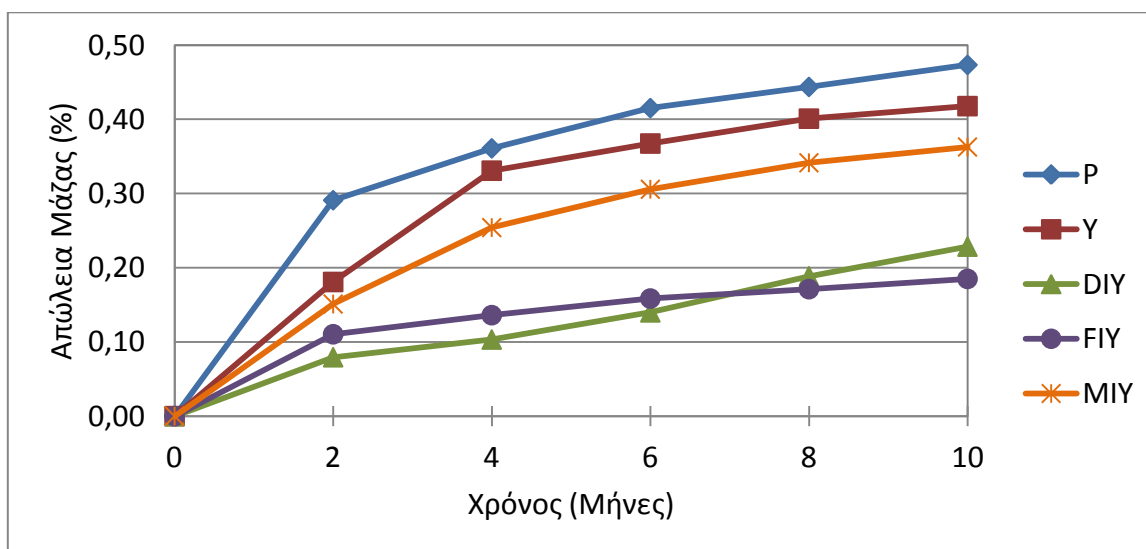


Σχήμα 8.159. Συγκριτικό διάγραμμα δυναμικού διάβρωσης των χαλύβων των δοκιμών αναφοράς, με την ανόργανη επικάλυψη και τους τρεις αναστολείς διάβρωσης ως πρόσθετο συναρτήσει του χρόνου έκθεσης (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl).

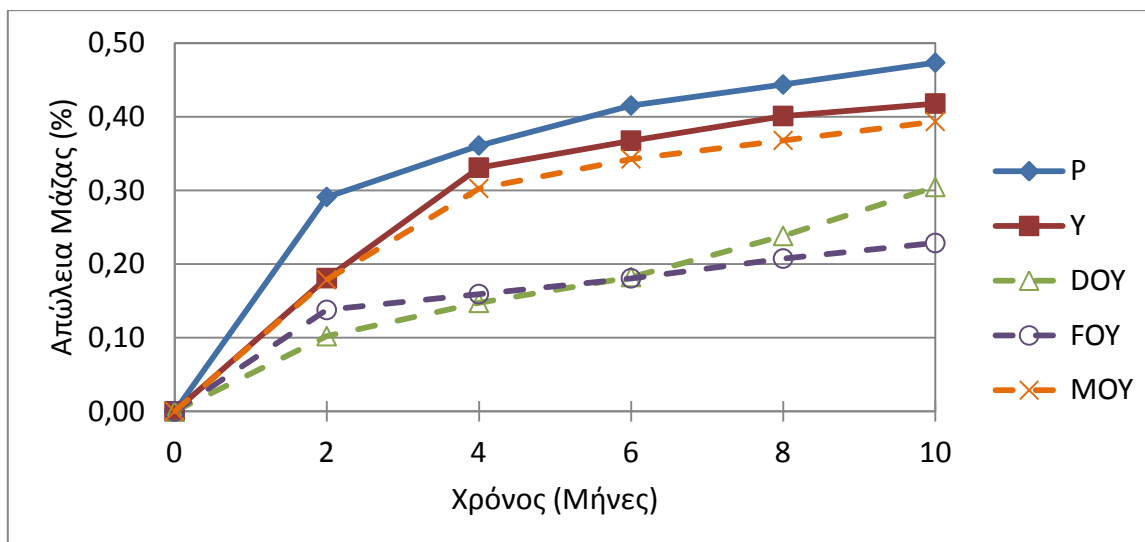


Σχήμα 8.160. Συγκριτικό διάγραμμα δυναμικού διάβρωσης των χαλύβων των δοκιμίων αναφοράς, με την ανόργανη επικάλυψη και τους τρεις αναστολείς διάβρωσης ψεκασμού συναρτήσει του χρόνου έκθεσης (μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl).

Από τα διαγράμματα δυναμικού διάβρωσης των χαλύβων όλων των κατηγοριών δεν προκύπτουν σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τη συμπεριφορά των δοκιμίων έναντι της διάβρωσης εξαιτίας της χρήσης της ανόργανης επικάλυψης ή και της χρήσης των αναστολέων διάβρωσης, εφόσον όλα τα δυναμικά διάβρωσης σταθεροποιούνται σε παραπλήσιες τιμές στο τέλος του χρονικού διαστήματος έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.161. Συγκριτικό διάγραμμα (%) απώλειας μάζας των χαλύβων των δοκιμίων αναφοράς και των δοκιμίων με την ανόργανη επικάλυψη και τους τρεις αναστολείς διάβρωσης ως πρόσθετο συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 8.162. Συγκριτικό διάγραμμα (%) απώλειας μάζας των χαλύβων των δοκιμών αναφοράς και των δοκιμών με την ανόργανη επικάλυψη και τους τρεις αναστολείς διάβρωσης ως πρόσθετο συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Από τα αποτελέσματα (%) απώλειας μάζας προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Η επικάλυψη υδρυάλου προσέφερε κατ' αρχήν μικρή προστασία στον σπλισμό από τη διάβρωση. Αυτό σημαίνει ότι μείωσε τη διάχυση του διοξειδίου του άνθρακα και τη διάχυση των χλωριόντων. Γενικά οι ανόργανες βάσης επικαλύψεις παρουσιάζουν το μειονέκτημα της σχετικά μεγάλης διαπερατότητας σε CO₂ (Bagda, 1986). Επομένως η κύρια δυνατότητα προστασίας οφείλεται στη μείωση της διαπερατότητας σε νερό, το οποίο και μεταφέρει τα ιόντα του χλωρίου. Η χρήση των ανόργανων επικαλύψεων του σπλισμένου σκυροδέματος δίνει μια καλή αισθητική εμφάνιση και μακρά διάρκεια ζωής της επικάλυψης και μπορεί να χρησιμοποιούνται σε ήπια διαβρωτικά περιβάλλοντα. Σε έντονα διαβρωτικά περιβάλλοντα δεν συνίσταται η χρήση τους.

2. Η προσθήκη του αναστολέα M μείωσε ακόμη περισσότερο τη διάβρωση, και ως πρόσθετο και ως εμποτισμός. Η καλύτερη προστασία παρείχε η χρήση του αναστολέα ως πρόσθετο.

3. Η χρήση του αναστολέα D έδωσε πολύ καλύτερα αποτελέσματα και ως πρόσθετο και ως ψεκαζόμενο.

4. Η προστασία που παρείχε ο αναστολέας F ως πρόσθετο ήταν η μεγαλύτερη και περίπου ίση με 60%.

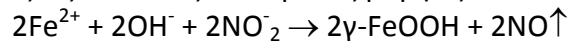
5. Πάντοτε οι αναστολείς ως πρόσθετα προσέφεραν την καλύτερη προστασία.

Θα πρέπει να προστεθεί ακόμη ότι η επικάλυψη υδρυάλου μείωσε το βάθος ενανθράκωσης, το οποίο μειώθηκε ακόμη περισσότερο με τη χρήση αναστολέων.

Οι διαχεόμενοι αναστολείς διάβρωσης (Migrating Corrosion Inhibitors, MCI), είτε προστίθενται μέσα στο σκυρόδεμα είτε χρησιμοποιούνται ως εμποτισμός στην επιφάνειά του, μετακινούνται σε υγρή μορφή μέσα στο σκυρόδεμα μέσω των πόρων του σκυροδέματος. Η κίνηση αυτή διέπεται από τον νόμο του Fick, που σημαίνει ότι τα μόρια κινούνται τυχαία στη μάζα του σκυροδέματος από περιοχές υψηλής συγκέντρωσης σε περιοχές χαμηλής συγκέντρωσης. Όταν το MCI έρθει σε επαφή με τον χάλυβα, ελκύεται ιοντικά προς αυτόν και δημιουργεί ένα λεπτό μονομοριακό προστατευτικό στρώμα. Το MCI προσροφάται πάνω στο μέταλλο σε βάθος 75-85 nm σχηματίζοντας ένα στρώμα με πάχος

μεταξύ 20 και 100Å, ενώ τα χλωριόντα μπορούν να διεισδύσουν έως τα 60 nm. Αυτό σημαίνει ότι το MCl εκτοπίζει τα χλωριόντα από τη μεταλλική επιφάνεια παρέχοντας προστασία. Το προστατευτικό στρώμα μπορεί να αποκαθίσταται και να αυτοαναπληρώνεται (Bjegonic & Miksic, 1999; Morris & Vázquez, 2002). Η χρήση των διαχεόμενων αναστολέων διάβρωσης (MCI) έδωσε μικρότερα ποσοστά προστασίας από τους άλλους δυο αναστολείς διάβρωσης, διότι κάτω από τις συνθήκες διεξαγωγής των πειραμάτων εμφάνισε μικρότερη δυνατότητα ρόφησης επί του οπλισμού.

Η ανωτέρω βελτιωμένη συμπεριφορά του αναστολέα νιτρώδους ασβεστίου $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ είναι αποτέλεσμα του προστατευτικού στρώματος στην επιφάνεια του χάλυβα, που προσφέρει ο αναστολέας, ο οποίος διαχέεται μέσα στο σκυρόδεμα. Η ανασταλτική επίδραση των νιτρωδών ιόντων στη διάβρωση του χάλυβα που προκαλείται από τα χλωριόντα, αποδίδεται στον σχηματισμό ενός σταθερού παθητικού στρώματος στον οπλισμό, αποφεύγοντας όλες τις ασταθείς ενδιάμεσες μορφές:



Δηλαδή, τα νιτρώδη συναγωνίζονται με τα χλωριόντα για τα Fe^{2+} στην άνοδο. Νιτρώδη ιόντα πρέπει να υπάρχουν σε επαρκείς ποσότητες και να έρχονται σε άμεση επαφή, με διάχυση, με την επιφάνεια που πρέπει να προστατευθεί (Berke, 1989; Loulizi, Al-Quadri, Diefenderfer, 2000; Cigna, et al. 1994).

Οι αμινοαλκοόλες έχουν αναφερθεί στη διεθνή βιβλιογραφία σαν αναστολείς διάβρωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση του οπλισμένου σκυροδέματος (Mäder, 1994; Mäder 1996). Η χρησιμοποίηση της αμινοαλκοόλης (N-N'-dimethylaminoethanol) στην παρούσα εργασία επιβεβαιώνει την άποψη αυτή. Η προστατευτική της επίδραση ισχύει τόσο κατά τη χρησιμοποίησή της σαν πρόσθετο όσο και κατά τον ψεκασμό της επιφάνειας του σκυροδέματος. Η προστατευτική επίδραση της αμινοαλκοόλης οφείλεται στη ρόφησή της πάνω στην επιφάνεια του χάλυβα, ακόμη και όταν η επιφάνεια είναι οξειδωμένη (Welle, et al., 1997). Η πυκνότητα και η φύση του ροφημένου στρώματος εξαρτώνται από τη σύσταση του διαλύματος των πόρων του σκυροδέματος και από τη συγκέντρωση της αμινοαλκοόλης. Το ροφημένο στρώμα σχηματίζεται ακόμη και όταν υπάρχουν χλωριόντα. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για υπάρχουσες κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος. Το φαινόμενο της αναστολής της διάβρωσης οφείλεται στο ότι η αμινοαλκοόλη υποκαθιστά, εξαιτίας των ισχυρών της δεσμών, τα διάφορα ιόντα (συμπεριλαμβανομένων και των χλωριόντων) από την επιφάνεια του χάλυβα, είτε αυτή είναι οξειδωμένη είτε όχι και σχηματίζει ένα ισχυρό παθητικό στρώμα.

Επομένως η προστατευτική δράση του συνδυασμού ανόργανο χρώμα - αναστολέας διάβρωσης βασίζεται στη μείωση της διάχυσης ύδατος (λόγω της ανόργανης επικάλυψης) και στον σχηματισμό προστατευτικού στρώματος στην επιφάνεια του οπλισμού (λόγω αναστολέα διάβρωσης). Η προστατευτική αυτή δράση είναι ιδιαίτερα επιτυχής, όπως δείχνουν τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας.

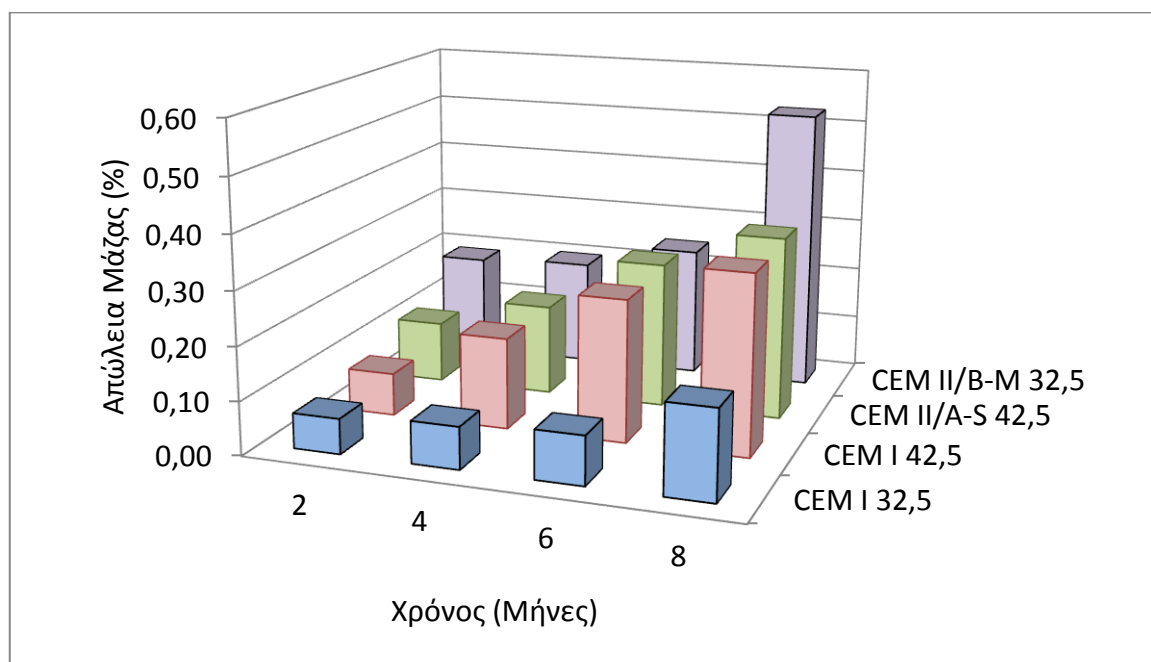
Ο συνδυασμός ανόργανης επικάλυψης - αναστολέα διάβρωσης έχει το μειονέκτημα της υψηλότερης τιμής σε σύγκριση με τις οργανικές επικαλύψεις. Παρουσιάζει όμως το πλεονέκτημα της σημαντικά μικρότερης συντήρησης. Εάν ληφθεί υπόψη και το κόστος της αναγκαίας συντήρησης μέσα στον χρονικό ορίζοντα των 20 ετών, τότε ο συνδυασμός ανόργανης επικάλυψης - αναστολέα διάβρωσης είναι πιθανόν συνολικά χαμηλότερης τιμής από μια οργανική επικάλυψη. Το γεγονός αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε έργα όπου η συντήρηση είναι σχετικά δύσκολη π.χ. γέφυρες. Φυσικά εξακολουθούν και ισχύουν όλα τα πλεονεκτήματα της ανόργανης επικάλυψης.

9. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διατριβή εξετάσθηκε η προστασία που μπορούν να προσφέρουν οι επικαλύψεις στο οπλισμένο σκυρόδεμα. Δοκίμια οπλισμένου κονιάματος και σκυροδέματος με ελληνική κίσηρη ως ελαφροβαρές αδρανές (ελαφροβαρές κονίαμα και ελαφροβαρές σκυρόδεμα) επικαλύφθηκαν με χρώματα και εκτέθηκαν σε τρία διαβρωτικά περιβάλλοντα: σε θάλαμο αλατονέφωσης, σε μερική εμβάπτιση σε υδατικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου (3.5% κ.β. NaCl) (προσομοίωση θαλάσσιου περιβάλλοντος) και στην ατμόσφαιρα της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου (ατμοσφαιρική διάβρωση). Η προσφερόμενη προστασία των επικαλύψεων εκτιμήθηκε σε συνδυασμό με τους υπόλοιπους παράγοντες που επιδρούν στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

Ι. Ο πρώτος παράγοντας του οποίου η επίδραση έναντι της διάβρωσης συνεκτιμήθηκε μαζί με την επίδραση των επικαλύψεων ήταν ο **τύπος του τσιμέντου**. Για τον λόγο αυτό, τέσσερις διαφορετικοί τύποι ελληνικού τσιμέντου (CEM I 32,5, CEM I 42,5, CEM II/A-S 42.5 και CEM II/B-M 32.5) χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή πρισματικών δοκιμών οπλισμένου κίσηροκονιάματος.

Στο σχήμα 9.1 φαίνεται το συγκριτικό διάγραμμα απώλεια μάζας (%) οπλισμών των δοκιμών οπλισμένου κίσηροκονιάματος με τα τέσσερα τσιμέντα συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



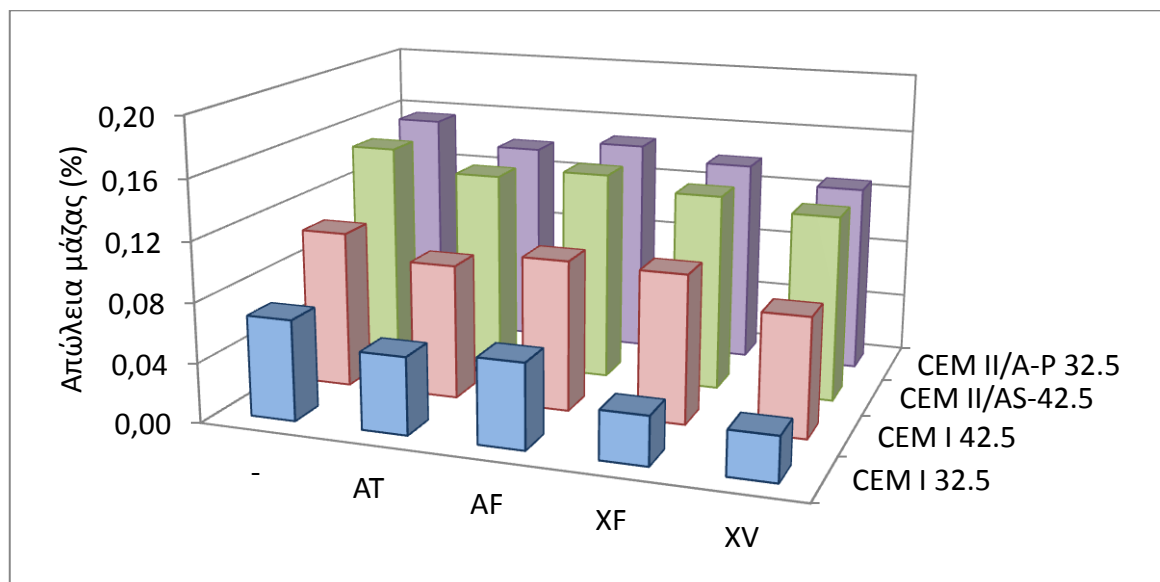
Σχήμα 9.1. Συγκριτικό διάγραμμα απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών οπλισμένου κίσηροκονιάματος με τα τέσσερα τσιμέντα συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι τα κίσηροκονιάματα με τσιμέντο CEM I 32,5 παρουσιάζουν μικρότερη προδιάθεση για διάβρωση από τα δοκίμια με CEM II/B-M 32.5. Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε αντίθεση με παρόμοιες δοκιμές σε συνήθη

τσιμεντοκονιάματα. Στις δοκιμές αυτές, τα δοκίμια των τσιμεντοκονιαμάτων με ποζολανικά τσιμέντα έδειξαν μικρότερη διάβρωση του χάλυβα οπλισμού σε περιβάλλον χλωριόντων από ότι τα δοκίμια με τσιμέντο τύπου CEM I (Portland) (Batis, Kouloumbi & Malami, 1993; Kouloumbi & Batis, 1994; Malami, et al., 1994). Η προστατευτική επίδραση των ποζολανικών τσιμέντων αποδίδεται κατά κύριο λόγο στην ποζολανική αντίδραση, η οποία μειώνει το μέγεθος των πόρων του ζελ (πορτλαντίτη) του τσιμέντου. Όμως στην παρούσα περίπτωση το μεγαλύτερο μέρος του πορώδους οφείλεται στο αδρανές υλικό (κίσηρη) παρά στο ζελ του τσιμέντου. Με τον τρόπο αυτό, η μείωση του πορώδους του ζελ του τσιμέντου δεν μπορεί να ασκήσει προστατευτική επίδραση. Επίσης η προστατευτική επίδραση των ποζολανικών τσιμέντων σε περιβάλλον χλωριόντων αποδίδεται στην ικανότητα των ποζολανών να συγκρατούν σε κρυσταλλικές ενώσεις τα χλωριόντα (άλας Friedel). Η μετακίνηση όπως των χλωριόντων διαμέσου των πόρων της κίσηρης εκτελείται χωρίς συγκράτηση χλωριόντων.

II. Ο δεύτερος παράγοντας του οποίου η επίδραση έναντι της διάβρωσης εκτιμήθηκε ήταν το **είδος της επικάλυψης**. Για τον λόγο αυτό, τέσσερις επικαλύψεις (ακρυλική διασπορά με κύριο πιγμένο TiO_2 , ακρυλική διασπορά με πιγμένο οξείδια σιδήρου Fe_2O_3/Fe_3O_4 , επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ με πιγμένο οξείδια σιδήρου Fe_2O_3/Fe_3O_4 και διαφανές βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ) χρησιμοποιήθηκαν στα πρισματικά δοκίμια οπλισμένου κίσηροκονιάματος. Τα δοκίμια επικαλύφθηκαν με τις τέσσερις επικαλύψεις και εκτέθηκαν σε τρία διαφορετικά διαβρωτικά περιβάλλοντα: σε θάλαμο αλατονέφωσης, σε μερική εμβάπτιση σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl και στην ατμόσφαιρα της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου (ατμοσφαιρική διάβρωση).

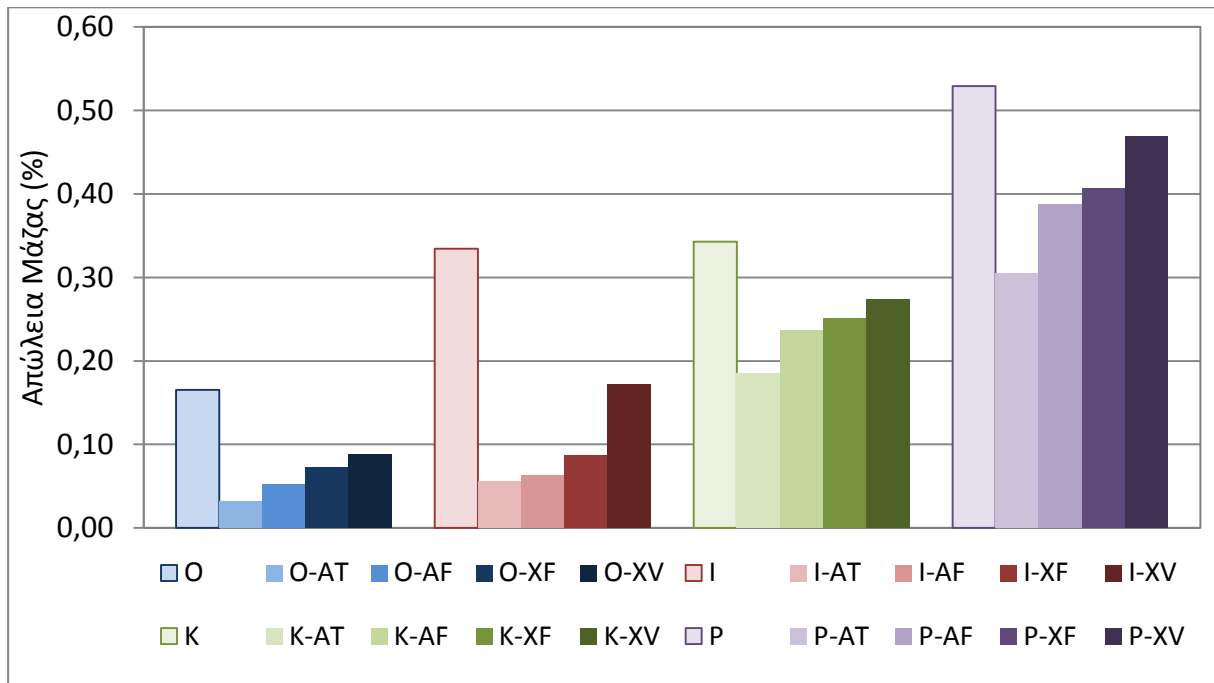
Από δοκιμές που έγιναν στον θάλαμο αλατονέφωσης με επικαλυμμένα και μη δοκίμια οπλισμένου κίσηροκονιάματος με όλα τα τσιμέντα (CEM I 32.5, CEM I 42.5, CEM II/A-S 42.5 και CEM II/B-M 32.5) (σχήμα 9.2), προέκυψε ότι όλα τα επικαλυμμένα δοκίμια είχαν μικρότερη (%) απώλεια μάζας των οπλισμών τους από τα μη επικαλυμμένα.



Σχήμα 9.2. Συγκριτικό διάγραμμα απώλειας μάζας (%) οπλισμών μη επικαλυμμένων και επικαλυμμένων με όλες τις επικαλύψεις δοκιμίων κίσηροκονιάματος με τσιμέντα CEM I 32.5, CEM I 42.5, CEM II/A-S 42.5 και CEM II/B-M 32.5 στον θάλαμο αλατονέφωσης (χρόνος έκθεσης: 15 ημέρες).

Συγκρίνοντας τα επικαλυμμένα δοκίμια μεταξύ τους, φάνηκε ότι τα επικαλυμμένα δοκίμια με βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα. Αυτό οφείλεται στο ότι η επιφάνεια του βερνικιού ήταν πολύ καλύτερη (επίπεδη) από αυτή των υπόλοιπων επικαλύψεων που περιείχαν πιγμέντα. Ως αποτέλεσμα αυτού, οι σταγόνες του διαλύματος της αλατονέφωσης (5% κ.β. NaCl) δεν μπορούν να συγκρατηθούν στην επιφάνεια των επικαλυμμένων με βερνίκι δοκιμίων. Οι διαφορές των τριών υπόλοιπων επικαλύψεων με πιγμέντα ήταν συγκριτικά μικρές.

2. Ακολουθώς παρατίθεται το συγκριτικό διάγραμμα απώλειας μάζας για χρόνο έκθεσης 8 μηνών στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl (σχήμα 9.3) για τα δοκίμια σπλισμένου κισσηροκονιάματος με τη χρήση των τεσσάρων τσιμέντων που δεν είχαν επικάλυψη. Επίσης αναφέρονται οι απώλειες μάζας κάθε τσιμέντου με τις τέσσερις διαφορετικές επικαλύψεις (ακρυλική διασπορά με TiO₂, ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξειδία σιδήρου, χλωριωμένο καουτσούκ με πιγμέντο οξειδία σιδήρου και βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ).



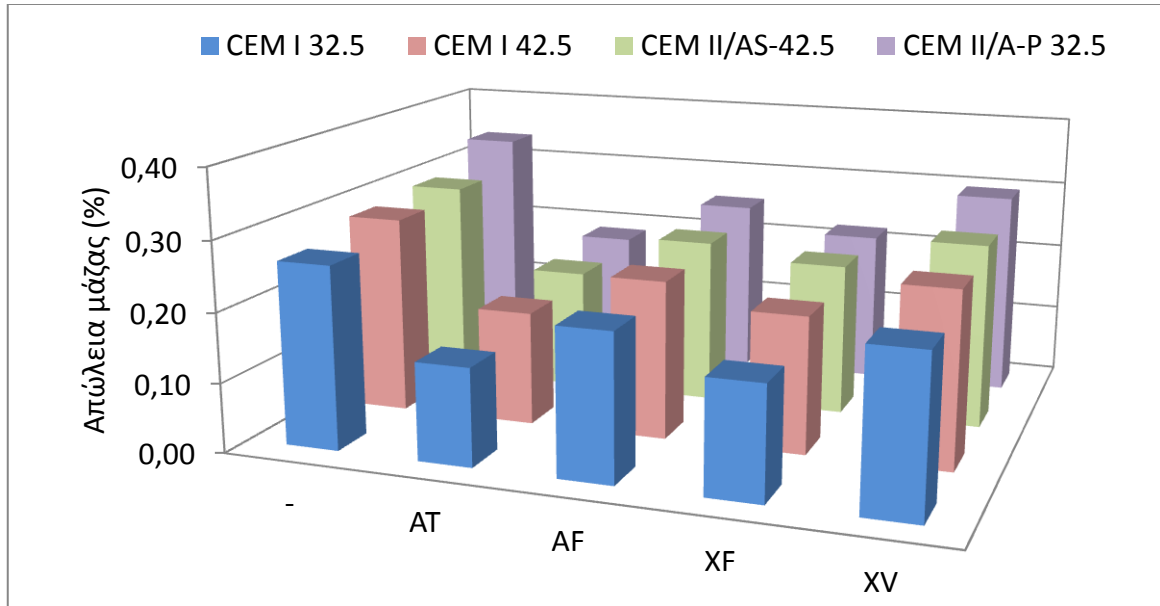
Σχήμα 9.3. Συγκριτικό διάγραμμα απώλεια μάζας (%) σπλισμών δοκιμίων σπλισμένου κισσηροκονιάματος με όλα τα τσιμέντα και όλες τις επικαλύψεις μετά από 8 μήνες έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα και όπως προκύπτει από όλες τις μεθόδους με τις οποίες εξετάστηκε η επίδραση των επικαλύψεων, γενικά παρατηρήθηκε ότι τη μεγαλύτερη διάβρωση παρουσίασαν τα δοκίμια χωρίς επικάλυψη, όπως άλλωστε αυτό ήταν αναμενόμενο. Όλες οι επικαλύψεις παρουσίασαν προστατευτική επίδραση έναντι της διάβρωσης των χαλύβδινων σπλισμών. Συγκρίνοντας τις διάφορες κατηγορίες επικαλύψεων μεταξύ τους, προέκυψε ότι οι επικαλύψεις ακρυλικής διασποράς επέδειξαν την καλύτερη συμπεριφορά. Οι διαφορές στα χρησιμοποιούμενα πιγμέντα (TiO₂ ή Fe₂O₃ και Fe₃O₄) ήταν μικρές. Η χρησιμοποίηση οργανικής επικάλυψης με ρητίνη χλωριωμένου καουτσούκ με ή χωρίς πιγμέντο (Fe₂O₃/Fe₃O₄) γενικά έδωσε αποτελέσματα μικρότερης προστασίας από τη διάβρωση σε σύγκριση με τις ακρυλικές διασπορές. Μεταξύ της επικάλυψης βερνικιού χλωριωμένου καουτσούκ (δηλαδή χωρίς πιγμέντο) και της επικάλυψης με πιγμέντο

($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$), φάνηκε ότι η χρησιμοποίηση του πιγμέντου είχε ως αποτέλεσμα βελτιωμένη συμπεριφορά.

Με δεδομένο ότι όλες οι επικαλύψεις παρουσίασαν προστατευτική επίδραση έναντι της διάβρωσης των χαλύβδινων οπλισμών, η σύγκριση μεταξύ των επικαλύψεων ως προς τη βέλτιστη προσφερόμενη προστασία στην παρούσα εργασία κατέδειξε τις επικαλύψεις ακρυλικής διασποράς. Σε εργασίες άλλων ερευνητών (Tanikawa and Swamy, 1994; Ζαφειροπούλου, Ρακαντά και Μπατής, 2012), σε σύγκριση μεταξύ ανάλογων επικαλύψεων, βρέθηκε ότι η επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ προσέφερε μεγαλύτερη προστασία. Ωστόσο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι και άλλες ανάλογες εργασίες που έχουν γίνει, έχουν χρησιμοποιήσει συμβατικά κονιάματα και όχι ελαφροβαρή, που παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά σε περιβάλλον χλωριόντων.

3. Στην έκθεση των δοκιμών χωρίς επικάλυψη και των επικαλυμμένων με τις τέσσερις επικαλύψεις δοκιμών οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τα τέσσερα τσιμέντα στο περιβάλλον της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, με χρόνο έκθεσης 36 μήνες, τα επικαλυμμένα δοκίμια παρουσίασαν μικρότερη απώλεια μάζας από τα μη επικαλυμμένα. Συγκρίνοντας τα επικαλυμμένα δοκίμια μεταξύ τους προέκυψε ότι τα καλύτερα αποτελέσματα έδωσε η ακρυλική διασπορά με πιγμέντο TiO_2 . Στην περίπτωση αυτή, η καλύτερη συμπεριφορά της οργανικής επικάλυψης με πιγμέντο TiO_2 αποδίδεται στο ανοικτό χρώμα της σε σύγκριση με τις υπόλοιπες επικαλύψεις (απόχρωσης καφέ). Το ανοικτό χρώμα αντανακλά τις ακτίνες του ήλιου και επομένως έχει τη μικρότερη επίδραση από τη UV ακτινοβολία. Τη χειρότερη συμπεριφορά παρουσίασε το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ. Αυτό αποδίδεται στην έλλειψη πιγμέντου, οπότε η ρητίνη του είναι περισσότερο εκτεθειμένη από ότι των επικαλύψεων (που περιέχουν πιγμέντο).



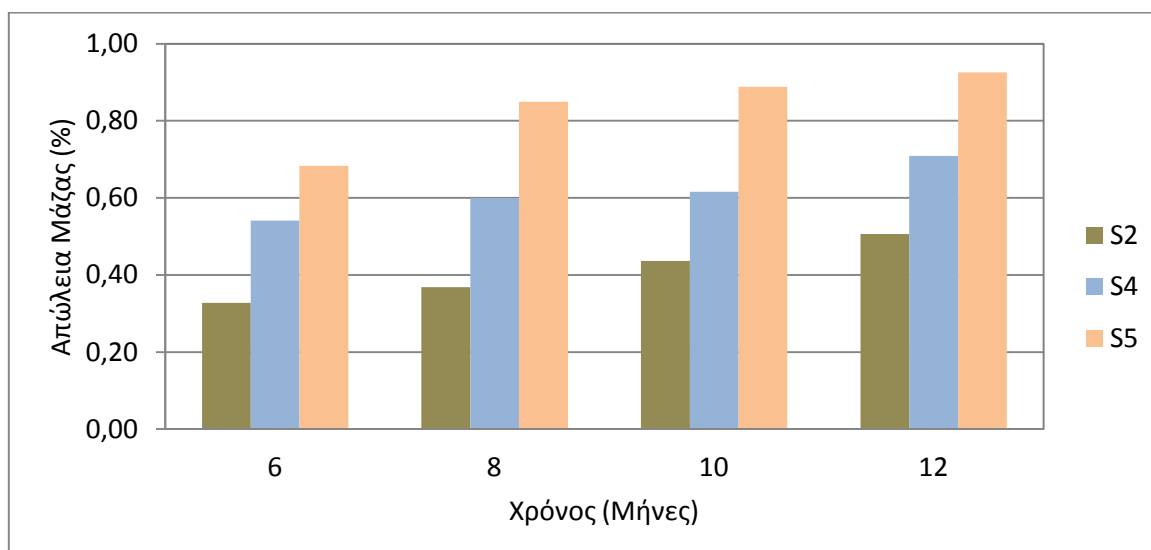
Σχήμα 9.4. Απώλεια μάζας (%) οπλισμών επικαλυμμένων και μη δοκιμών κισσηροκονιάματος με όλα τα τσιμέντα σε ατμοσφαιρική διάβρωση (χρόνος έκθεσης 36 μήνες).

4. Η εξέταση της διάχυσης των χλωριόντων διαμέσου των οργανικών επικαλύψεων στα κισσηροκονιάματα κατέδειξε ότι όλες οι επικαλύψεις παρεμπόδισαν τα χλωριόντα (σύγκριση επικαλυμμένων και μη δοκιμών). Τα κισσηροκονιάματα με την ακρυλική διασπορά με TiO_2 και την επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ με πιγμέντο οξείδια σιδήρου

παρουσίασαν τη χαμηλότερη διάχυση χλωριόντων, έχοντας μικρές διαφορές μεταξύ τους. Αντίθετα, το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ παρουσίασε μεγαλύτερη διαπερατότητα χλωριόντων.

III. Ο τρίτος παράγοντας του οποίου η επίδραση συνεκτιμήθηκε μαζί με την επίδραση των επικαλύψεων ήταν το **είδος του χάλυβα**. Για τον λόγο αυτό, τρεις διαφορετικές κατηγορίες χάλυβα (S220, S400 και S500s), χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή πρισματικών δοκιμίων οπλισμένου κισσηροκονιάματος, τα οποία επικαλύφθηκαν με ανόργανη επικάλυψη και εκτέθηκαν στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl.

Εξετάζοντας την πορεία της απώλειας μάζας με τον χρόνο (σχήμα 9.5) εξαιτίας της διάβρωσης των τριών ειδών χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος (ΧΟΣ) (S220, S400 και S500s) σε δοκίμια κισσηροκονιάματος μετά συνολική έκθεση 12 μηνών στο διαβρωτικό περιβάλλον προκύπτει ότι η ποιότητα ΧΟΣ S220 παρουσιάζει τη μικρότερη απώλεια μάζας. Ακολουθεί η ποιότητα S400 και τη μεγαλύτερη διάβρωση παρουσιάζει η ποιότητα S500s. Η απώλεια μάζας των ΧΟΣ S220 είναι κατά 45% μικρότερη αυτής των ΧΟΣ S500s, ενώ είναι κατά 29% μικρότερη αυτής των ΧΟΣ S400.



Σχήμα 9.5. Συγκριτικό διάγραμμα απώλεια μάζας (%) χάλυβων S220, S400 και S500s δοκιμίων κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και την ανόργανη επικάλυψη, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

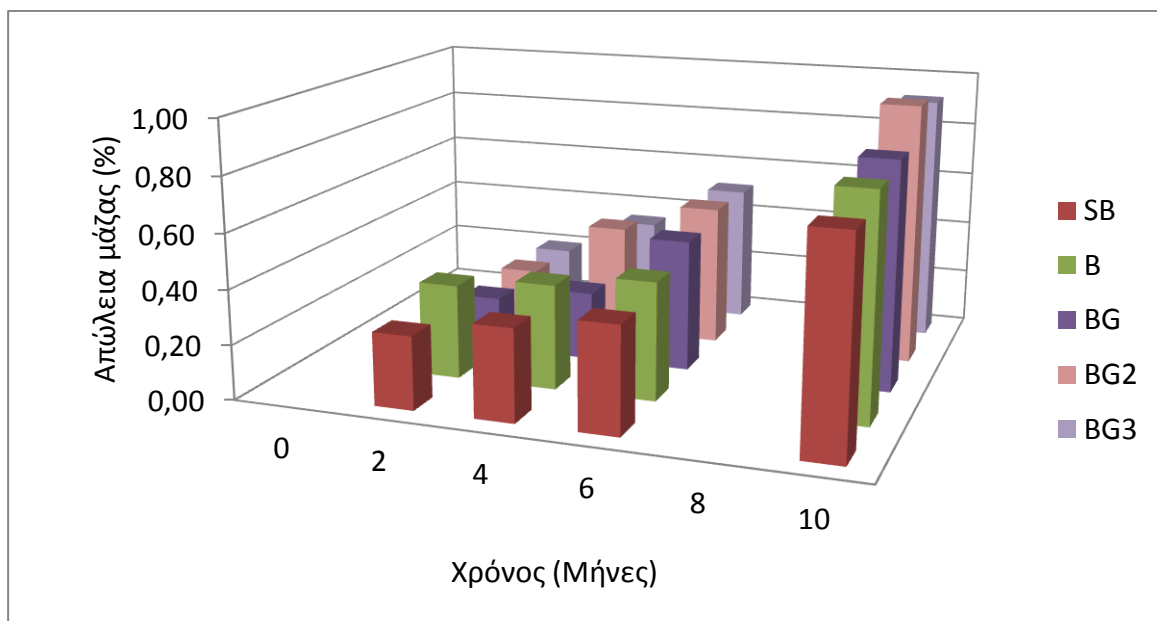
Η μικρότερη διάβρωση των οπλισμών S220 οφείλεται στην απουσία νευρώσεων. Οι νευρώσεις που έχουν σχηματιστεί με εξέλαση του χάλυβα δημιουργούν τοπικά γαλβανικά στοιχεία. Οι δυο τύποι χάλυβα με νευρώσεις προκύπτουν από την κατηγορία S220 μετά από εφελκυσμό με θερμική κατεργασία. Η όλη διαδικασία προκαλεί αύξηση της εσωτερικής ενέργειας των Χ.Ο.Σ. με αποτέλεσμα την αύξηση της διάβρωσής τους. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τις δοκιμές διάβρωσης των ιδίων ποιοτήτων Χ.Ο.Σ. σε αέρα, νερό βρύσης και διάλυμα NaCl (Batis and Rakanta, 2005), όπου ο χάλυβας S220 έδειξε τα καλύτερα αποτελέσματα από άποψη διάβρωσης.

Η αξιολόγηση των διαφόρων ειδών Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος δεν εξαντλείται μόνον με τη συμπεριφορά τους στη διάβρωση, αλλά και από τις υπόλοιπες ιδιότητές τους. Ο χάλυβας S500s έχει υψηλότερη αντοχή εφελκυσμού και καλύτερη

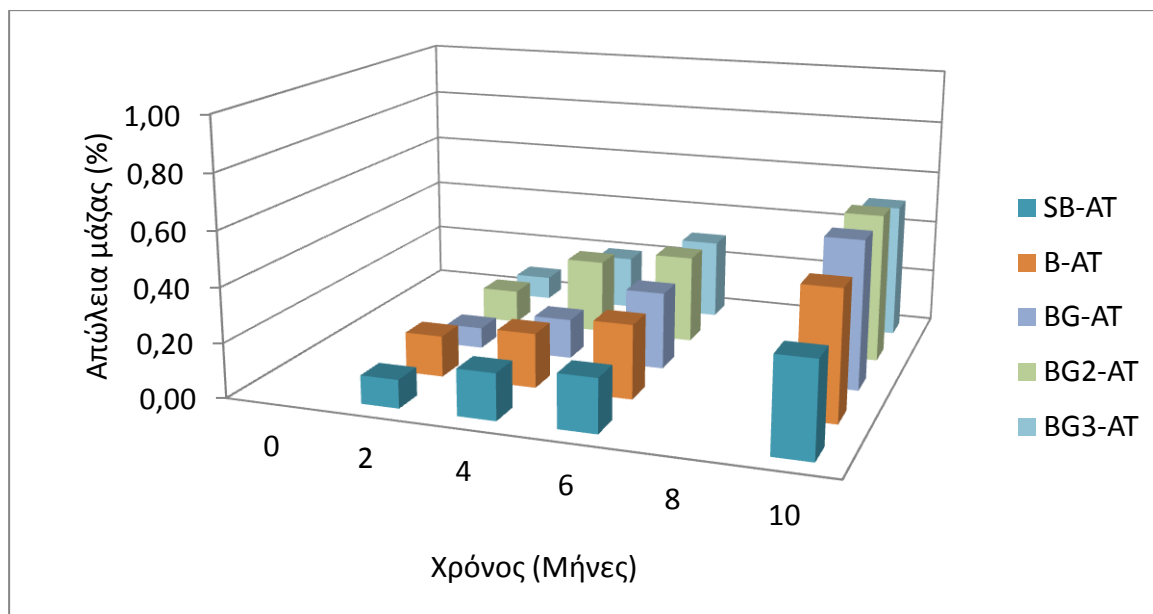
συνάφεια με το σκυρόδεμα σε σύγκριση με τον χάλυβα S220. Η συνάφεια που είναι απαραίτητη για τη συνεργασία των ράβδων οπλισμού με το σκυρόδεμα εξασφαλίζεται από τη γεωμετρία της επιφάνειας των ράβδων, δηλαδή από την ύπαρξη νευρώσεων καθώς και από τη γεωμετρία αυτών. Ακόμη ο χάλυβας S500s έχει καλύτερη πλαστιμότητα. Η εξέλιξη του S500s σε B500C δίνει πλαστιμότητα τουλάχιστον 1.15. Η σεισμικότητα της Ελλάδας, όπου υπάρχει πρόβλημα διατήρησης της συνάφειας από την εναλλασσόμενη φόρτιση, υποχρεώνει για χάλυβες μεγάλης ολκιμότητας, οι οποίοι επιτρέπουν μεγάλες πλαστιμότητες φερόντων στοιχείων. Η όλη εξέταση της συμπεριφοράς σε διάβρωση έχει ως προτροπή την καλύτερη προστασία του B500C σε σχέση με τον S220.

IV. Ο τέταρτος παράγοντας, ο οποίος συνεκτιμήθηκε μαζί με την επίδραση των επικαλύψεων, ήταν το **μέγεθος του αδρανούς**, δηλαδή της κίσηρης. Για τον λόγο αυτό, τρεις διαφορετικές κοκκομετρικές διαβαθμίσεις κίσηρης (λεπτή κίσηρη 0-5mm, μεσαία κίσηρη 0-8mm και χονδρή κίσηρη 8-16mm) χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή πρισματικών δοκιμών οπλισμένου κίσηροκονιάματος. Δοκίμια όλων των κοκκομετριών κίσηρης (βλ. 8.4) επικαλύφθηκαν με την ακρυλική διασπορά με κύριο πιγμέντο TiO_2 και εκτέθηκαν σε δύο διαφορετικά διαβρωτικά περιβάλλοντα: σε μερική εμβάπτιση σε διάλυμα NaCl 3.5% κ.β. και στην ατμόσφαιρα της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου (ατμοσφαιρική διάβρωση).

Ακολουθούν τα συγκριτικά διαγράμματα απώλειας μάζας – χρόνου έκθεσης για τα δοκίμια με όλες τις κοκκομετρίες κίσηρης (σχήμα 9.6) και όλες τις κοκκομετρίες κίσηρης και επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά (σχήμα 9.7).



Σχήμα 9.6. Συγκριτικό διάγραμμα απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμών με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και όλες τις κοκκομετρίες κίσηρης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 9.7. Συγκριτικό διάγραμμα απώλεια μάζας (%) οπλισμών δοκιμίων, με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, όλες τις κοκκομετρίες κίσηρης και την ακρυλική επικάλυψη, στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

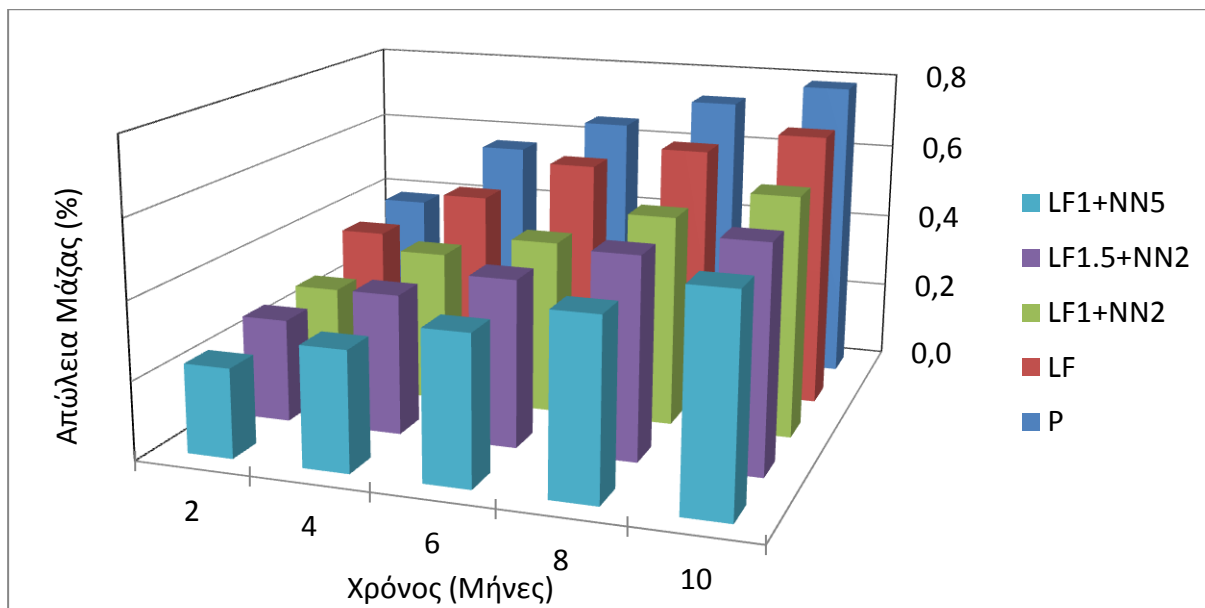
Συγκρίνοντας από άποψη διάβρωσης το κισσηροκονίαμα με τα τέσσερα κισσηροσκυροδέματα προκύπτει ότι τη μικρότερη διάβρωση παρουσίασε το κισσηροκονίαμα. Η χρήση της ακρυλικής επικάλυψης μείωσε, όπως ήταν αναμενόμενο, τη διάβρωση του οπλισμού όλων των κισσηροδεμάτων κατά 35%÷45%.

V. Ο πέμπτος παράγοντας του οποίου η επίδραση συνεκτιμήθηκε μαζί με την επίδραση των επικαλύψεων ήταν η προσθήκη αναστολέα διάβρωσης και ένωσης που αναστέλλει την αλκαλοπυριτική αντίδραση. Χρησιμοποιήθηκε φθοριούχο λίθιο (LiF) είτε μόνο του, είτε σε συνδυασμό με νιτρώδες νάτριο (NaNO_2) σε διάφορες αναλογίες. Το φθοριούχο λίθιο προστέθηκε για την αποφυγή τυχόν αλκαλοπυριτικής αντίδρασης (ASR), ειδικά όταν γινόταν χρήση του νιτρώδους νατρίου ως αναστολέα διάβρωσης. Τέλος δοκίμια με φθοριούχο λίθιο επικαλύφθηκαν με τις δύο επικαλύψεις με πιγμέντα οξειδία σιδήρου (Fe_2O_3 και Fe_3O_4), δηλαδή με την ακρυλική διασπορά και την επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ. Τα πρισματικά δοκίμια οπλισμένου σκυροδέματος που κατασκευάστηκαν εκτέθηκαν στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl.

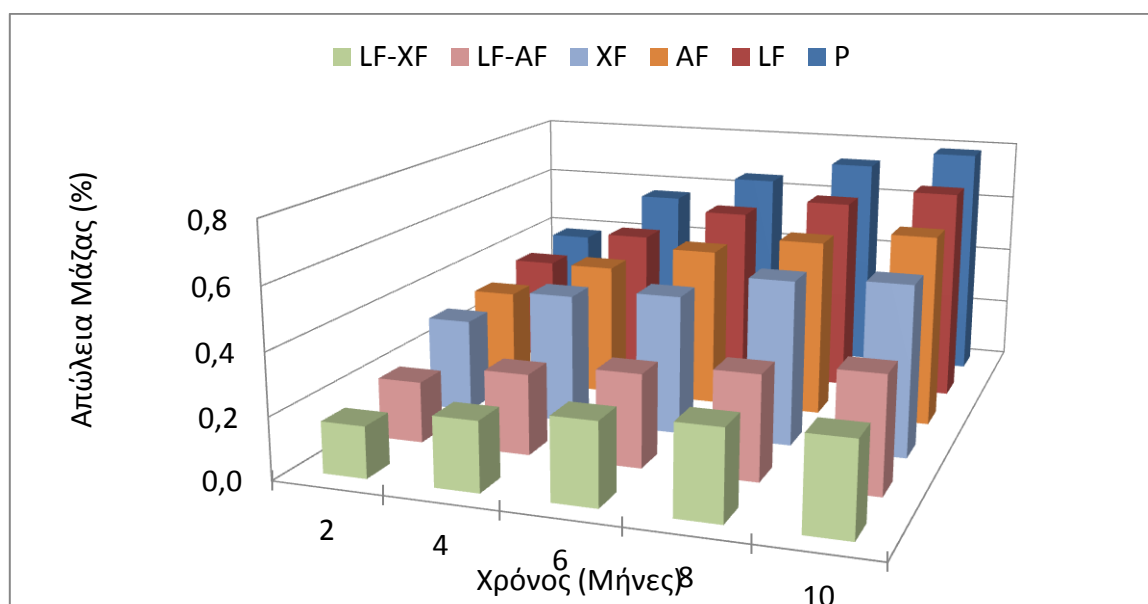
Στη συνέχεια στο σχήμα 9.8 παρουσιάζονται τα συγκριτικά διαγράμματα των (%) απωλειών μάζας συναρτήσει του χρόνου έκθεσης των δοκιμίων αναφοράς με τα δοκίμια με τα πρόσθετα LiF και NaNO_2 και στο σχήμα 9.9 των δοκιμίων αναφοράς με τα δοκίμια με τις επικαλύψεις και με τον συνδυασμό του LiF και των επικαλύψεων.

Εξετάζοντας τη διάβρωση των οπλισμών δοκιμίων κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 με πρόσθετο LiF και αναστολέα διάβρωσης NaNO_2 , προέκυψε ότι:

- Η προσθήκη του LiF μείωσε τη διάβρωση των οπλισμών.
- Η προσθήκη LiF και αναστολέα διάβρωσης NaNO_2 μείωσε περαιτέρω τη διάβρωση των οπλισμών.
- Την καλύτερη συμπεριφορά έναντι της διάβρωσης παρουσίασε η προσθήκη 1%LiF και 5% NaNO_2 .



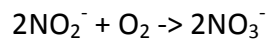
Σχήμα 9.8. Συγκριτικό διάγραμμα (%) απώλειας μάζας δοκιμών αναφοράς και δοκιμών με συνδυασμούς LiF και NaNO₂ συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



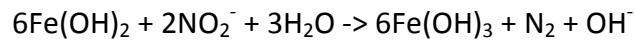
Σχήμα 9.9. Συγκριτικό διάγραμμα (%) απώλειας μάζας δοκιμών αναφοράς, με LiF και με LiF και επικαλύψεις συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι από τις διάφορες μετρήσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως, προκύπτει ότι η προσθήκη φθοριούχου λιθίου μειώνει τη διάβρωση του οπλισμού, παρά την αυξημένη αγωγιμότητα του κισσηροδέματος. Αυτό μπορεί να αποδοθεί σε μικρή μείωση της μέσης διαμέτρου των πόρων, που οφείλεται στον σχηματισμό CaF₂ (Mather, 1999) και το οποίο είναι εν μέρει αδιάλυτο στους πόρους του κισσηροδέματος.

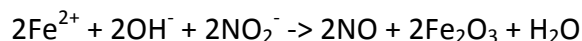
Η χρήση του NaNO_2 είναι γνωστό ότι προκαλεί μείωση της διάβρωσης του οπλισμού. Η προστατευτική του επίδραση κατά μια άποψη μπορεί να θεωρηθεί ότι οφείλεται στην ιδιότητά του να αντιδρά σε αλκαλικό περιβάλλον με το οξυγόνο κατά την αντίδραση:



Είναι όμως επικρατέστερη η άποψη ότι το νιτρώδες ανιόν αντιδρά με το υδροξείδιο του δισθενούς σιδήρου, με αποτέλεσμα το ίδιο να ανάγεται προς άζωτο και το δισθενές υδροξείδιο του σιδήρου να μετατρέπεται σε τρισθενές κατά την αντίδραση:



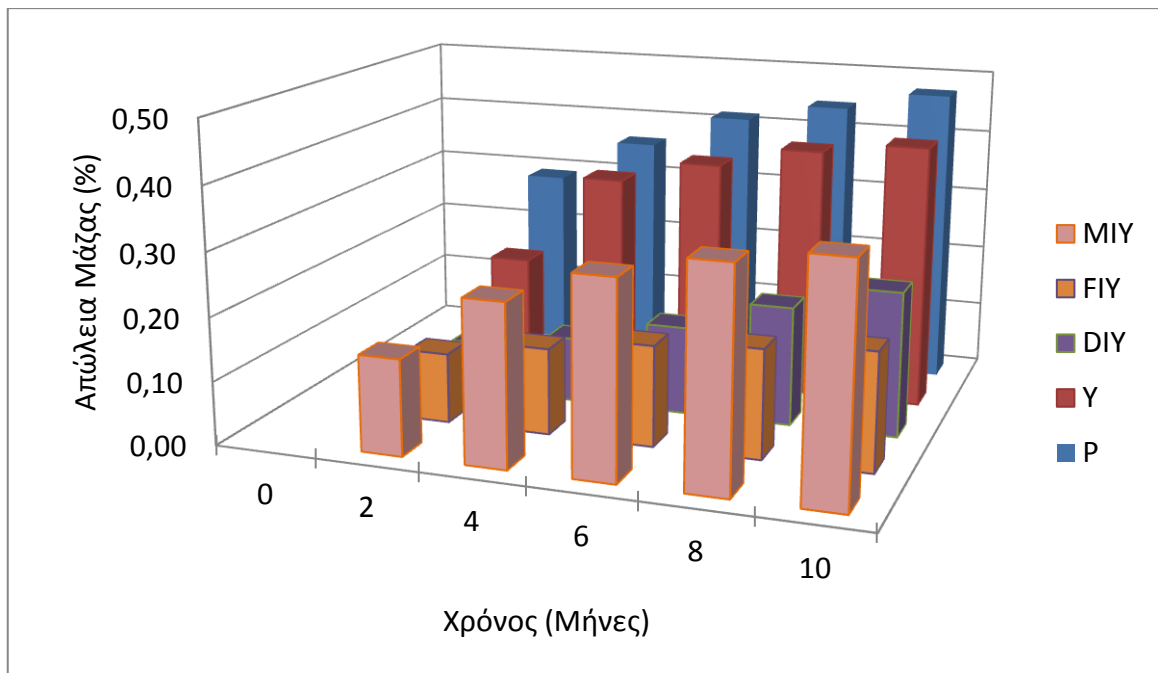
Ο σχηματισμός του τρισθενούς υδροξειδίου του σιδήρου (ή αναλόγων προϊόντων) έχει ως αποτέλεσμα την παρεμπόδιση του σχηματισμού χλωροσυμπλόκων του σιδήρου και παρεμποδίζει την ανοδική διάλυση του σιδήρου. Σύμφωνα με μια άλλη υπόθεση, το νιτρώδες ανιόν προωθεί τον σχηματισμό του τριοξειδίου του σιδήρου στην επιφάνεια του οπλισμού, σχηματίζοντας ένα είδος παθητικού στρώματος κατά την αντίδραση:



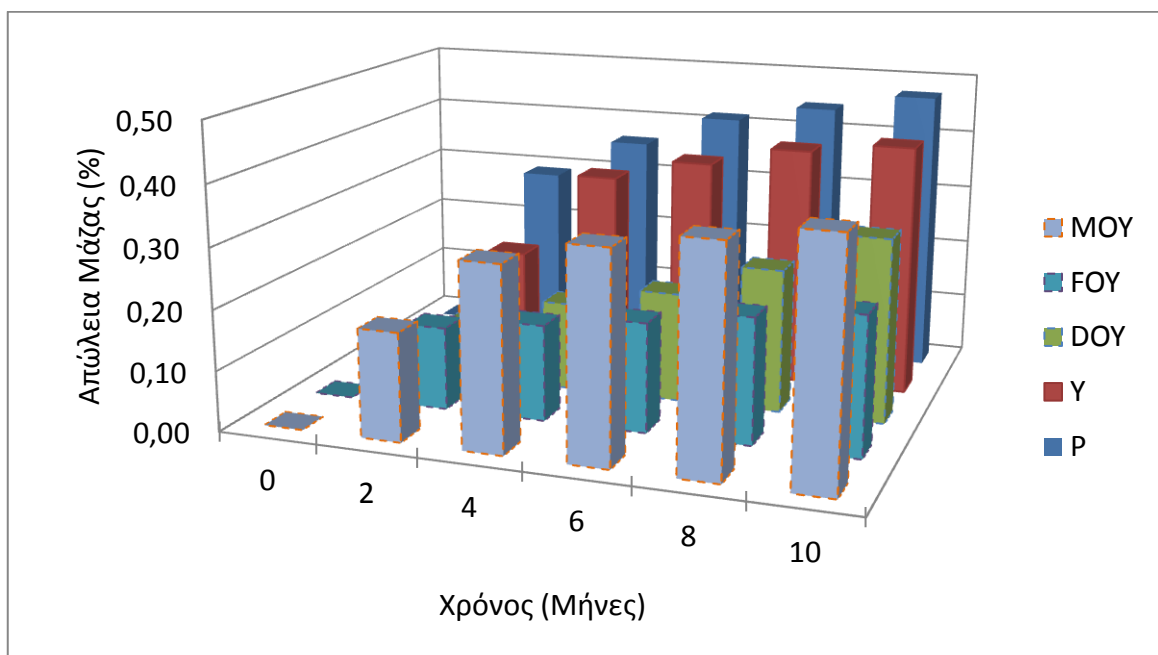
Στα δοκίμια οπλισμένου κισσηροκονιάματος η χρήση οργανικών επικαλύψεων είχε προστατευτική επίδραση σε όλες τις περιπτώσεις, όπως άλλωστε έχει διαπιστωθεί σε προηγούμενες εργασίες (Loulizi, Al-Quadri and Diefenderfer, 2000; Tanikawa and Swamy, 1994). Η παρουσία των επικαλύψεων μείωσε τόσο τη διείσδυση του νερού, αλλά και του διοξειδίου του άνθρακα, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα των μετρήσεων ενανθράκωσης.

Το ποσοστό της προστασίας των οπλισμών αυξήθηκε με την ταυτόχρονη χρήση LiF και οργανικών επικαλύψεων. Το αυξημένο ποσοστό προστασίας δικαιολογείται από τη μείωση της διαπερατότητας σε νερό, χλωρίοντα και διοξείδιο του άνθρακα, τόσο από την οργανική επικάλυψη όσο και από τη μείωση της μέσης διαμέτρου των πόρων από το φθοριούχο λίθιο. Τα δοκίμια με LiF και την επικάλυψη του χλωριωμένου καουτσούκ παρουσίασαν τη μικρότερη διάβρωση από όλες τις κατηγορίες των δοκιμίων.

Παράγοντας VI: Ο έκτος παράγοντας του οποίου η επίδραση συνεκτιμήθηκε μαζί με την επίδραση των επικαλύψεων ήταν η προσθήκη αναστολέων διάβρωσης. Για τον λόγο αυτό, τρεις αναστολείς διάβρωσης είτε προστέθηκαν στο κονίαμα, είτε ψεκάστηκαν στην επιφάνεια του κονιάματος και τα πρισματικά δοκίμια οπλισμένου κισσηροκονιάματος που κατασκευάστηκαν επικαλύφθηκαν με την ανόργανη επικάλυψη και εκτέθηκαν στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3.5% κ.β. NaCl . Ακολουθώντας στο σχήμα 9.10 παρουσιάζονται τα συγκριτικά διαγράμματα των (%) απωλειών μάζας συναρτήσει του χρόνου έκθεσης των δοκιμίων αναφοράς με τα δοκίμια με τους τρεις αναστολείς ως πρόσθετο, ενώ τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τους αναστολείς εμποτισμού εμφανίζονται στο σχήμα 9.11.



Σχήμα 9.10. Συγκριτικό διάγραμμα (%) απώλειας μάζας των χαλύβων των δοκιμίων αναφοράς και των δοκιμίων με την ανόργανη επικάλυψη και τους τρεις αναστολείς διάβρωσης ως πρόσθετο συναρτήσεϊ του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.



Σχήμα 9.11. Συγκριτικό διάγραμμα (%) απώλειας μάζας των χαλύβων των δοκιμίων αναφοράς και των δοκιμίων με την ανόργανη επικάλυψη και τους τρεις αναστολείς διάβρωσης ως εμποτισμός συναρτήσεϊ του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Από τα αποτελέσματα (%) απώλειας μάζας προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Η επικάλυψη υδριάλου προσέφερε κατ' αρχήν μικρή προστασία στον σπλισμό από τη διάβρωση. Αυτό σημαίνει ότι μείωσε τη διάχυση του διοξειδίου του άνθρακα και τη

διάχυση των χλωριόντων. Γενικά οι ανόργανης βάσης επικαλύψεις παρουσιάζουν το μειονέκτημα της σχετικά μεγάλης διαπερατότητας σε CO₂ (Bagda, 1986). Επομένως η κύρια δυνατότητα προστασίας οφείλεται στη μείωση της διαπερατότητας σε νερό, το οποίο και μεταφέρει τα ιόντα του χλωρίου. Η χρήση των ανόργανων επικαλύψεων του οπλισμένου σκυροδέματος δίνει μια καλή αισθητική εμφάνιση και μακρά διάρκεια ζωής της επικάλυψης και μπορεί να χρησιμοποιούνται σε ήπια διαβρωτικά περιβάλλοντα. Σε έντονα διαβρωτικά περιβάλλοντα δεν συνίσταται η χρήση τους.

2. Η προσθήκη του αναστολέα M μείωσε ακόμη περισσότερο τη διάβρωση, και ως πρόσθετο και ως εμποτισμός. Την καλύτερη προστασία παρείχε η χρήση του αναστολέα ως πρόσθετο.

3. Η χρήση του αναστολέα D έδωσε πολύ καλύτερα αποτελέσματα και ως πρόσθετο και ως ψεκαζόμενο.

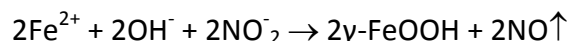
4. Η προστασία που παρείχε ο αναστολέας F ως πρόσθετο ήταν η μεγαλύτερη και περίπου ίση με 60%.

5. Πάντοτε οι αναστολείς ως πρόσθετα προσέφεραν την καλύτερη προστασία.

Θα πρέπει να προστεθεί ακόμη ότι η επικάλυψη υδρούλου μείωσε το βάθος ενανθράκωσης, το οποίο μειώθηκε ακόμη περισσότερο με τη χρήση αναστολέων.

Οι διαχεόμενοι αναστολείς διάβρωσης (Migrating Corrosion Inhibitors, MCI), είτε προστίθενται μέσα στο σκυρόδεμα είτε χρησιμοποιούνται ως εμποτισμός στην επιφάνειά του, μετακινούνται σε υγρή μορφή μέσα στο σκυρόδεμα μέσω των πόρων του σκυροδέματος. Η κίνηση αυτή διέπεται από τον νόμο του Fick, που σημαίνει ότι τα μόρια κινούνται τυχαία στη μάζα του σκυροδέματος από περιοχές υψηλής συγκέντρωσης σε περιοχές χαμηλής συγκέντρωσης. Όταν το MCI έρθει σε επαφή με τον χάλυβα, ελκύεται ιοντικά προς αυτόν και δημιουργεί ένα λεπτό μονομοριακό προστατευτικό στρώμα. Το MCI προσροφάται πάνω στο μέταλλο σε βάθος 75-85 nm σχηματίζοντας ένα στρώμα με πάχος μεταξύ 20 και 100Å, ενώ τα χλωριόντα μπορούν να διεισδύσουν έως τα 60 nm. Αυτό σημαίνει ότι το MCI εκτοπίζει τα χλωριόντα από τη μεταλλική επιφάνεια παρέχοντας προστασία. Το προστατευτικό στρώμα μπορεί να αποκαθίσταται και να αυτο-αναπληρώνεται (Bjegovic & Miksic, 1999; Morris & Vázquez, 2002). Η χρήση των διαχεόμενων αναστολέων διάβρωσης (MCI) έδωσε μικρότερα ποσοστά προστασίας από τους άλλους δυο αναστολείς διάβρωσης, διότι κάτω από τις συνθήκες διεξαγωγής των πειραμάτων εμφάνισε μικρότερη δυνατότητα ρόφησης επί του οπλισμού.

Η ανωτέρω βελτιωμένη συμπεριφορά του αναστολέα νιτρώδους ασβεστίου Ca(NO₂)₂ είναι αποτέλεσμα του προστατευτικού στρώματος στην επιφάνεια του χάλυβα, που προσφέρει ο αναστολέας, ο οποίος διαχέεται μέσα στο σκυρόδεμα. Η ανασταλτική επίδραση των νιτρωδών ιόντων στη διάβρωση του χάλυβα που προκαλείται από τα χλωριόντα, αποδίδεται στον σχηματισμό ενός σταθερού παθητικού στρώματος στον οπλισμό, αποφεύγοντας όλες τις ασταθείς ενδιάμεσες μορφές:



Δηλαδή, τα νιτρώδη συναγωνίζονται με τα χλωριόντα για τα Fe²⁺ στην άνοδο. Νιτρώδη ιόντα πρέπει να υπάρχουν σε επαρκείς ποσότητες και να έρχονται σε άμεση επαφή, με διάχυση, με την επιφάνεια που πρέπει να προστατευθεί (Berke, 1989; Loulizi, Al-Quadi, Diefenderfer, 2000; Cigna, et al., 1994).

Οι αμινοαλκοόλες έχουν αναφερθεί στη διεθνή βιβλιογραφία σαν αναστολείς διάβρωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση του οπλισμένου

σκυροδέματος (Mäder, 1994; Mäder 1996). Η χρησιμοποίηση της αμινοαλκοόλης (N-N'-dimethylaminoethanol) στην παρούσα εργασία επιβεβαιώνει την άποψη αυτή. Η προστατευτική της επίδραση σε συνδυασμό με ανόργανο χρώμα δίνει βαθμό προστασίας από τη διάβρωση του οπλισμού σε ελαφροβαρές σκυρόδεμα καλύτερο από αυτόν των οργανικών χρωμάτων. Η προστατευτική της επίδραση ισχύει τόσο κατά τη χρησιμοποίησή της σαν πρόσθετο όσο και κατά τον ψεκασμό της επιφάνειας του σκυροδέματος.

Η προστατευτική επίδραση της αμινοαλκοόλης (N-N'-dimethylaminoethanol) οφείλεται στη ρόφησή της πάνω στην επιφάνεια του χάλυβα, ακόμη και όταν η επιφάνεια είναι οξειδωμένη (Welle, et al., 1997). Η πυκνότητα και η φύση του ροφημένου στρώματος εξαρτώνται από τη σύσταση του διαλύματος των πόρων του σκυροδέματος και από τη συγκέντρωση της αμινοαλκοόλης. Το ροφημένο στρώμα σχηματίζεται ακόμη και όταν υπάρχουν χλωριόντα. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για υπάρχουσες κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος. Το φαινόμενο της αναστολής της διάβρωσης οφείλεται στο ότι η αμινοαλκοόλη υποκαθιστά, εξαιτίας των ισχυρών της δεσμών, τα διάφορα ιόντα (συμπεριλαμβανομένων και των χλωριόντων) από την επιφάνεια του χάλυβα, είτε αυτή είναι οξειδωμένη είτε όχι και σχηματίζει ένα ισχυρό παθητικό στρώμα.

Επομένως η προστατευτική δράση του συνδυασμού ανόργανο χρώμα - αναστολέας διάβρωσης βασίζεται στη μείωση της διάχυσης ύδατος (λόγω της ανόργανης επικάλυψης) και στον σχηματισμό προστατευτικού στρώματος στην επιφάνεια του οπλισμού (λόγω αναστολέα διάβρωσης). Η προστατευτική αυτή δράση είναι ιδιαίτερα επιτυχής, όπως δείχνουν τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας.

Ο συνδυασμός ανόργανης επικάλυψης - αναστολέα διάβρωσης έχει το μειονέκτημα της υψηλότερης τιμής σε σύγκριση με τις οργανικές επικαλύψεις. Παρουσιάζει όμως το πλεονέκτημα της σημαντικά μικρότερης συντήρησης. Εάν ληφθεί υπόψη και το κόστος της αναγκαίας συντήρησης μέσα στον χρονικό ορίζοντα των 20 ετών, τότε ο συνδυασμός ανόργανης επικάλυψης - αναστολέα διάβρωσης είναι πιθανόν συνολικά χαμηλότερης τιμής από μια οργανική επικάλυψη. Το γεγονός αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε έργα όπου η συντήρηση είναι σχετικά δύσκολη π.χ. γέφυρες. Φυσικά εξακολουθούν και ισχύουν όλα τα πλεονεκτήματα της ανόργανης επικάλυψης.

Το ελαφροβαρές σκυρόδεμα παρουσιάζει μια σειρά από πλεονεκτήματα, όπως το μικρό ειδικό βάρος, η θερμική και ακουστική μόνωση και η αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες. Εξαιτίας όμως του υψηλού πορώδους του, η διάχυση των διαβρωτικών συστατικών είναι μεγαλύτερη από ότι στο σύννηθες σκυρόδεμα. Η τεχνολογική πρόοδος στον τομέα των επικαλύψεων προσφέρει απλές, φθηνές και αποτελεσματικές μεθόδους προστασίας.

Ελαφροβαρές σκυρόδεμα μπορεί να παραχθεί με ελληνικές πρώτες ύλες, όπως τα ελληνικά τσιμέντα CEM I 32.5, CEM I 42.5, CEM II/A-S 42.5 και CEM II/B-M 32.5 και ελαφροβαρή αδρανή, όπως η κίσηρη. Τα παραγόμενα ελαφροβαρή σκυροδέματα, αναλόγως των σχέσεων αδρανή / τσιμέντο και νερό / τσιμέντο έχουν αντοχές ακόμη και 30-35 N/mm² όταν χρησιμοποιείται η συνήθης ποσότητα τσιμέντου (300 έως 400 kg/m³). Η προκύπτουσα διαφορά μεταξύ διόγκωσης λόγω αυξημένης υγρασίας και συρρίκνωσης λόγω ξήρανσης είναι κατά πολύ μικρότερη της αποδεκτής τιμής από τα διεθνή πρότυπα. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του κίσηροδέματος κυμαίνεται μεταξύ 0.17 και 0.32 W/m·K, εξαρτώμενος από την πυκνότητά του. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μείωση του κόστους για τη θερμομόνωση του κτιρίου και την κατανάλωση ενέργειας (STATS, 1990a; STATS 1990b).

Τα ελαφροβαρή αυτά σκυροδέματα παρουσιάζουν μειωμένη ανθεκτικότητα σε σύγκριση με τα συνήθη σκυροδέματα. Όμως η κατάλληλη επιλογή των σχέσεων αδρανή / τσιμέντο και νερό / τσιμέντο μπορούν να επιτύχουν μικρό επίπεδο διάβρωσης του χάλυβα οπλισμού και της ενανθράκωσης. Με κατάλληλη επιλογή προστατευτικής επικάλυψης μπορεί να επιτευχθούν βαθμοί διάβρωσης του χάλυβα οπλισμού και της ενανθράκωσης μικρότεροι από αυτούς του συνήθους σκυροδέματος.

Η χρήση ελαφροβαρούς σκυροδέματος γίνεται κατά κανόνα σε άοπλα στοιχεία, γιατί χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο ως μονωτικό υλικό. Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η χρήση του οπλισμένου κισσηροκονιάματος, ώστε να διερευνηθεί η διάβρωση που προξενεί στον οπλισμό, εφόσον είναι ανάγκη να χρησιμοποιηθεί οπλισμένο ελαφροβαρές σκυρόδεμα με κίσηρη. Στην εργασία αυτή εξετάστηκαν όλες οι δυνατότητες χρησιμοποίησης κισσηροκονιαμάτων και κισσηροδεμάτων, η επίδραση που έχουν στη διάβρωση του οπλισμού, καθώς και η προστασία που μπορούν να προσφέρουν οι οργανικές και η ανόργανη επικαλύψεις από μόνες τους ή με την ταυτόχρονη χρήση αναστολέων διάβρωσης ή αναστολέων αλκαλοπυριτικής αντίδρασης. Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής, το οπλισμένο ελαφροβαρές σκυρόδεμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συμβατικές κατασκευές (χρόνος ζωής 50 χρόνια), εφόσον χρησιμοποιηθούν μέθοδοι προστασίας με επικαλύψεις ή και με την ταυτόχρονη χρήση αναστολέων διάβρωσης και επικαλύψεων.

10. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αντικείμενο της διατριβής ήταν η προστασία οπλισμένου σκυροδέματος με χρώματα. Για τον λόγο αυτό, δοκίμια οπλισμένου κονιάματος και σκυροδέματος με ελληνική κίσηρη ως ελαφροβαρές αδρανές (ελαφροβαρές κονίαμα και ελαφροβαρές σκυρόδεμα) επικαλύφθηκαν με χρώματα και εκτέθηκαν σε τρία διαβρωτικά περιβάλλοντα (θάλαμο αλατονέφωσης, μερική εμβάπτιση σε 3.5% κ.β. NaCl και στην ατμόσφαιρα).

1. Από τους τέσσερις διαφορετικούς τύπους ελληνικού τσιμέντου (CEM I 32,5, CEM I 42,5, CEM II/A-S 42.5 και CEM II/B-M 32.5) που χρησιμοποιήθηκαν σε δοκίμια οπλισμένου κίσηροκονιάματος τη μικρότερη διάβρωση έδωσε το τσιμέντο CEM I 32,5.

2. Τέσσερις επικαλύψεις (ακρυλική διασπορά με κύριο πιγμέντο TiO_2 , ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου Fe_2O_3/Fe_3O_4 , επικάλυψη χλωριωμένου καουτσούκ με πιγμέντο οξείδια σιδήρου Fe_2O_3/Fe_3O_4 και διαφανές βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ) εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία ως προς την προστασία που προσέφεραν σε δοκίμια οπλισμένου κίσηροκονιάματος που κατασκευάστηκαν με τα τέσσερα τσιμέντα. Όλες οι επικαλύψεις προσέφεραν προστασία των οπλισμών από τη διάβρωση, ενώ την καλύτερη συμπεριφορά έδωσε η ακρυλική διασπορά με πιγμέντο TiO_2 .

3. Η κατηγορία χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος που έδωσε τις μικρότερες τιμές διάβρωσης ήταν η S220 σε σύγκριση με τις κατηγορίες S400 και S500s.

4. Η χρήση επικαλύψεων στο ελαφροβαρές κονίαμα που κατασκευάστηκε με λεπτή κίσηρη 0-5mm μείωσε τη διάβρωση των οπλισμών κατά 55%, ενώ αντίστοιχα η χρήση επικαλύψεων στα ελαφροβαρή κίσηροδέματα με μεσαία κίσηρη 0-8mm και χονδρή κίσηρη 8-16mm έδωσε προστασία της τάξης του 35%÷45%.

5. Η προσθήκη αναστολέα διάβρωσης και αναστολέων αλκαλοπυριτικής αντίδρασης μείωσε τη διάβρωση των οπλισμών. Η προστασία ήταν της τάξης του 30%.

6. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις αναστολείς διάβρωσης, με βάση το νιτρώδες ασβέστιο, τη N-N'-διμεθυλοαμινοαιθανόλη και τις αλκανολαμίνες (διαχεόμενοι αναστολείς διάβρωσης), είτε ως πρόσθετα στο κονίαμα είτε ως εμποτισμός στην επιφάνεια των δοκιμίων οπλισμένου κίσηροκονιάματος, σε συνδυασμό με μια ανόργανη επικάλυψη. Η επικάλυψη υδρούλου προσέφερε κατ' αρχήν μικρή προστασία στον οπλισμό από τη διάβρωση. Η ταυτόχρονη χρήση αναστολέων διάβρωσης και ανόργανης επικάλυψης μείωσε περαιτέρω τη διάβρωση των οπλισμών. Το καλύτερο ποσοστό προστασίας έφτασε το 60%.

ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΣΥΝΕΧΙΣΗΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Οι δοκιμές της παρούσας εργασίας έγιναν με οργανικές επικαλύψεις ενός συστατικού, όπως οι ακρυλικές διασπορές και οι επικαλύψεις με ρητίνη χλωριωμένου καουτσούκ. Στη συνέχεια έχουν εμφανισθεί επικαλύψεις δύο συστατικών, όπως οι επικαλύψεις με εποξική ρητίνη ή με ρητίνη πολυουρεθάνης, καθώς και οι επικαλύψεις νανοτεχνολογίας. Οι επικαλύψεις αυτές θα πρέπει να δοκιμαστούν στο ελαφροβαρές σκυρόδεμα με κίσηρη.

Οι αναστολείς διάβρωσης με βάση διάλυμα 30% νιτρώδες ασβέστιο $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$, αμινοαλκοόλη (N-N'-dimethylaminoethanol) και αλκανολαμίνες (Migrating Corrosion Inhibitors) δοκιμάστηκαν στην παρούσα εργασία ως πρόσθετα σε ποσοστά 3%, 3% και 1% κ.β. τσιμέντο, αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια της κατασκευής του κίσηροκονιάματος. Πιθανόν στις ελαφροβαρείς κατασκευές μια αύξηση του ποσοστού του αναστολέα μέχρι 4% να εμφανίσει καλύτερα αποτελέσματα. Αυτό θα μπορούσε να αποτελέσει συνέχιση της έρευνας.

Εργασίες που προέκυψαν από τη Διδακτορική Διατριβή

1. Δημοσιεύσεις σε Διεθνή Περιοδικά με κριτές (για κάθε εργασία ο αριθμός των αναφορών από άλλους ερευνητές παρατίθεται στο τέλος σε παρένθεση - πηγή Scopus, Ιούνιος 2016).

1.1. G.Batis, N.Kouloumbi, P.Pantazopoulou

“Protection of reinforced concrete by coatings and corrosion inhibitors”

Pigment and Resin Technology, Vol.29, No.3, 2000, pp. 159-163 (4)

<http://www.emeraldinsight.com/10.1108/03699420010334312>

1.2. G.Batis, P.Pantazopoulou, A.Routoulas

“Synergistic Effect of Corrosion Inhibitor and Inorganic Coating on Reinforcement Corrosion”

Anti-Corrosion Methods and Materials, Vol.48, No.2, 2001, pp. 107-115 (11)

<http://www.emeraldinsight.com/10.1108/00035590110384092>

1.3. G.Batis, P.Pantazopoulou, A.Routoulas

“Corrosion Protection Investigation of Reinforcement by Inorganic Coating in the Presence of Alkanolamine-based Inhibitor”

Cement and Concrete Composites, Vol.25, No.3, 2003, pp. 371-377 (30)

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0958946502000616>

1.4. G.Batis, P.Pantazopoulou, A.Routoulas

“Investigation of the protective effect of inorganic coating with corrosion inhibitors against deterioration of structural damages”

Invited Paper, Advances in Architecture 15, 2003, pp. 183-192.

<http://library.witpress.com/pages/PaperInfo.asp?PaperID=2550>

1.5. G.Batis, N.Kouloumbi, P.Pantazopoulou

“Corrosion protection of steel in pumice lightweight mortar by coatings”

Cement and Concrete Composites, Vol.27, No.2, 2005, pp. 261-267 (3)

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0958946504000319>

Συνολικές αναφορές: 48

2. Δημοσιεύσεις σε πρακτικά Διεθνών Συνεδρίων μετά από κρίση

2.1. G.Batis, P.Pantazopoulou

“Protection of steel rebars in lightweight concrete with surface barrier coatings”

Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete, Vol.2, Ed. R.N.Swamy, Sheffield Academic Press, Sheffield, 1994, pp. 1104-1113.

2.2. G.Batis, P.Pantazopoulou, J.Louvaris, E.Phedros

“The durability of pumice lightweight concrete”

Structural Lightweight Aggregate Concrete, Sandefjord Norway, 1995, pp. 421-431.

2.3. G.Batis, P.Pantazopoulou

“Comparative examination of the durability of reinforced concrete through coatings and corrosion inhibitors”

Infrastructure regeneration and rehabilitation, Improving the quality of life through better construction, A vision for the next millennium, Ed. R.N.Swamy, Sheffield Academic Press, Sheffield, 1999, pp. 683-692.

2.4. G.Batis, P.Pantazopoulou, C.A.Meletiou
“Comparing organic and inorganic coatings on lightweight concrete in the Cl⁻ corrosive environment”
Controlling Concrete Degradation, Eds R.K.Dhir, M.D.Newlands, Thomas Telford, London, 1999, pp. 93-102.

2.5. G.Batis, P.Pantazopoulou
“Advantages of the Simultaneous Use of Corrosion Inhibitors and Inorganic Coatings”
II International Symposium Cement and Concrete Technology in the 2000s, Istanbul Turkey, 2000, pp. 474-483.

2.6. G.Batis, A.Routoulas, P.Pantazopoulou
“Concurrent action of corrosion inhibitors and silicate coating in cases of concrete repair”,
1st International Conference on Concrete Repair, St-Malo France, 2003, pp. 519-525.

3. Δημοσιεύσεις σε Ελληνικά Περιοδικά

3.1. Γ.Μπατής, Π.Πανταζοπούλου, Ε.Ρακαντά, Α.Ρούτουλας
«Τεχνικές ελέγχου της αποτελεσματικότητας των αναστολέων διάβρωσης στο οπλισμένο σκυρόδεμα»
Δελτίο ΣΠΜΕ, No 285-286, 4-5/2001, 54-56, 56-58.

4. Δημοσιεύσεις σε πρακτικά Ελληνικών Συνεδρίων μετά από κρίση

4.1. Γ.Μπατής, Π.Πανταζοπούλου, Α.Αϊδίνη, Ι.Λούβαρης
«Προστασία του σκυροδέματος με οργανικές επικαλύψεις»
5ο Συμπόσιο Χρωμάτων, Αθήνα, 4-6/5/1995, 359-382.

4.2. Γ.Μπατής, Π.Πανταζοπούλου
«Συγκριτική εξέταση της ανθεκτικότητας οπλισμένου σκυροδέματος με ανόργανες και οργανικές επικαλύψεις»
6ο Συμπόσιο Χρωμάτων, Αθήνα, 8-9/5/1997, 101-113.

4.3. Γ.Μπατής, Π.Πανταζοπούλου
«Συγκριτική εξέταση της ανθεκτικότητας οπλισμένου σκυροδέματος με επικαλύψεις και αναστολείς διάβρωσης»
7ο Συμπόσιο Χρωμάτων, Αθήνα, 13-14/5/1999, 71-89.

4.4. Γ.Μπατής, Π.Πανταζοπούλου, Κ.Μελετίου
«Προστασία του οπλισμού στο σκυρόδεμα με επικαλύψεις με και χωρίς συνδυασμό αναστολέων διάβρωσης»
13ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Ρέθυμνο, 25-27/10/1999, 335-344.

4.5. Γ.Μπατής, Π.Πανταζοπούλου, Ε.Ρακαντά, Α.Ρούτουλας
«Προστασία του οπλισμού στο σκυρόδεμα με αναστολείς διάβρωσης»
3^ο ΠΕΣΧΜ, Αθήνα, 31/5-2/6/2001, 405-408.

4.6. Γ.Μπατής, Π.Πανταζοπούλου
«Προστασία σκυροδεμάτων αυξημένης αγωγιμότητας με οργανικές επικαλύψεις»
8^ο Συμπόσιο Χρωμάτων, Αθήνα, 16-17/5/2002, 37-49.

4.7. Γ.Μπατής, Π.Πανταζοπούλου, Α.Ρούτουλας
«Συνεργιστική δράση αναστολέων διάβρωσης και χρώματος υδρούλου σε επιδιορθώσεις κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος»
4^ο ΠΕΣΧΜ, Πάτρα, 29-31/5/2003, 145-148.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ABIO, 2016. <http://www.abio.gr/images/eshop/catalog/products/0988/files/ConcretalWΤεχνικό Δελτίο.pdf>.
- Adler, 2013. Technisches Merkblatt. Adler Beton-Siegel.
- Adler, K.K., 1994. Protection of concrete against carbonation", in: R.N. Swamy (Ed.), Proceedings of the International Conference on Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete, Sheffield, pp. 1081–1093.
- Admixtures for Concrete, http://www.ce.memphis.edu/1101/notes/concrete/PCA_manual/Chap06.pdf
- Al-Dulaijan, S.U., Maslehuddin, M., Al-Zahrani, M.M., Sharif, A.M., Al-Juraifani, E.A., Al-Idi, S.H., 2000. Performance evaluation of resin-based surface coatings", in: Deterioration and Repair of Reinforced Concrete in the Arabian Gulf, Proceedings of 6th ACI International Conference, Bahrain, pp.345–362.
- Almeida, E., 2000. New anti-corrosive painting technologies at the beginning of the 21st century, *Journal of Coatings Technology* 72, 911, pp.73-84.
- Ansari, M.F., Goswami, D. N., 2006. Shellac-Acrylic emulsion paint cementations surfaces, *Pigment and Resin Technology*, 35/4, pp.183-187.
- ASM International, 2000. The Effects and Economic Impact of Corrosion (American Society for Metals).
- Attigbe, E.K., Farrington, S.A., 1993. Chemical Admixtures for Inhibition of ASR in Concrete, proc. "Concrete 2000", Dundee UK, pp. 1033-1042.
- Attwood, S.C.J., 1992. Corrosion and coatings", *JOCCA*, 4, pp.128-137.
- Bagda, E., 1986. Beschichtungen fur Stahlbeton. Farbe+Lack (2), pp.97-99.
- Barbucci, A., Delucchi, M., Cerisola, G., 1997. Organic Coatings for concrete Protection: liquid water and water vapour permeabilities", *Progress in Organic Coatings*, 30, pp.293-297.
- Bardal, E., 2004. Corrosion and Protection (Engineering Materials and Processes), Springer.
- Batis, G. and Rakanta, E., 2005. Corrosion of Steel Reinforcement due to Atmospheric Pollution. *Cement and Concrete Composites* (27), pp. 269-275.
- Batis, G., Kouloumbi, N. & Malami, Ch. 1993. Corrosion Resistance of Steel Rebars in Mortars Specimens with Santorin Earth. *OEBALIA XIX*, 53-60.
- Beamish, S., and El-Belbol, S, 1998. Appraisal of corrosion-damaged structures. Cathodic protection of steel in concrete, Ed. P.Chess, Gronvold and Karnov, E&FN Spon, London.
- Berke S. N., 1989. Review: Corrosion Inhibitors in Concrete. *Materials Performance*, 28(10), pp.41-44/
- Berke, N.S. and Hicks, M.C., 2004. Predicting long-term durability of steel reinforced concrete with calcium nitrite corrosion inhibitor", *Cement and Concrete Composites* 26(3), pp.191–198.
- Bertolini, L., Elsener, B., 2004. Corrosion of steel in concrete: Prevention, Diagnosis, Repair John Wiley & Sons.
- Bethencourt, M., Botana, F.J., Marcos, M., Osuna, R.M., Sánchez-Amaya, J.M, 2003. Inhibitor properties of "green" pigments for paints, *Progress in Organic Coatings* 46 (2003) 280–287.
- Bjegoviz, D. & Miksic, B., 1999, Migrating Corrosion Inhibitor Protection of Concrete, *Materials Performance*, 38(11), pp. 52-56.
- Blanco, G., Bautista, A., Takenouti, H., 2006, EIS study of passivation of austenitic and duplex stainless steels reinforcements in simulated pore solutions. *Cement and Concrete Composites*, 28(3), pp.212-219.
- Bortak, T.N., 2002. Guide to Protective Coatings: Inspection and Maintenance, United States Department of the Interior.
- Bradford, S., 2002, Corrosion Control, ASM International.
- Brock T., Groteklaes M., Mische P., 2000. European Coatings Handbook, Ed. Ulrich Zorll, Hannover.

Broomfield J., 1997, Corrosion of steel in concrete understanding, investigation and repair. E & FN SPON, UK.

BS EN 14630-2006 "Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Test methods - Determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein method".

Carino, N.J., 2003. Methods to Evaluate Corrosion of Reinforcement, Chapter 11, in "Handbook of nondestructive testing of concrete", 2nd edition, ed. By V.M. Malhotra, M.J. Carino, CRC Press.

Chandler K.A., Bayliss, D.A. 1985. Corrosion protection of steel structures, Elsevier App Scien Pubs.

Chattopadhyay D.K. and Raju K.V.S.N., 2007. Structural engineering of polyurethane coatings for high performance applications, Prog Polym Sci, 2 pp.352–418.

Chromy, L. and Kaminska, E., 1990. Non-toxic anticorrosive pigments, *Progress in Organic Coatings*, 18(4), pp.319-324.

Cigna, R., Familiari, G., Gianetti, P., Proverbio, E. (1994), Influence of Calcium Nitrite on the Reinforcement Corrosion in Concrete Mixtures Containing Different Cements. Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete, Sheffield, pp. 878-892

Clingerman, M., Smart Coatings, Definitions and Opportunities
<http://www.pcmag.com/articles/98925-smart-coatings>

Cortec, 2002. Product Data Sheet. MCI® 2000.

Currie, R.J., 1986. Carbonation depths in structural – quality concrete: an assessment of evidence from investigations of structures and from other sources. BRE 75, Building Research Establishment.

De Sitter Jr, W.R., 1984. Costs for service life optimization, the Law of Fives, proceedings of the CEB-RILEM International Workshop on "Durability of Concrete Structures", Copenhagen.

Del Amo, B., Romagnoli, R., Vetere, V.F., Hernandez, L.S., 1998. Study of the anticorrosive properties of zinc phosphate in vinyl paints, *Progress in Organic Coatings*, 33(1), pp.28-35.

Delucchi, M., Barbucci, A., Cerisola, G., 2004. Crack-bridging ability of organic coatings for concrete: influence of the method of concrete cracking, thickness and nature of the coating, *Progress in Organic Coatings*, 49, pp.336–341

Dulaijan S.U., Maslehuddin M., Al-Zahrani M.M., Al-Juraifani E.A., Alidi S.A., Al-Meththel M., 2000. Performance evaluation of cement based surface coatings, In: Proceedings of 2000 International Conference, Repair, Rehabilitation and Maintenance of Concrete Structures and Innovations in Design and Construction, Seoul, Korea, September 19–22, pp. 321–338.

Dulaijan S.U., Maslehuddin M., Al-Zahrani M.M., Sharif A.M., Al- Juraifani E.A., Al-Idi S.H., 2000. Performance evaluation of resin based surface coatings", In: Proceedings of 6th International Conference in Deterioration and Repair of Reinforced Concrete in the Arabian Gulf, Bahrain, November 20–22, pp. 345–362.

Elsener, B., 2001. Corrosion Inhibitors for steel in concrete (European Federation of Corrosion Publications) Maney Pub.

Fontana, M.G. and Greene, N.D., 1987. *Corrosion Engineering*, Mc Graw-Hill, 3rd edition.

Fratricova M., Simon P., Schwarzer P., 2006. Residual stability of polyurethane automotive coatings measured by chemiluminescence and equivalence of Xenotest and Solisi ageing tests, *Polymer Degradation & Stability*, 91, pp. 94–100.

Gaidis, J.M., 2004. Chemistry of corrosion inhibitors", *Cement & Concrete Composites*, 26, pp. 181–189.

Gardner, L., 2005. The use of stainless steel in structures. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 7(2), pp. 45-55.

Glass, G.K., Hassanein, A.M., Buenfeld N.R., 2001. Cathodic protection afforded by an intermittent current applied to reinforced concrete. *Corrosion Science*, 43, pp. 1111-1131.

Goldsmith, A. & Streitberger, H-J., 2007. BASF Handbook on Basics of Coating Technology", 2nd Rev.Ed, Vincentz, Hannover.

Grace, 1996. Concrete Engineering Bulletin 5, How DCI® works.

- Grace, 1998. Προϊόντα Σκυροδέματος. Τεχνικά χαρακτηριστικά DCI® S.
- Grace, 2000. Concrete Product Information. Postrite®.
- Hansson, C.M., Mammoliti, L. and Hope, B.B., 1998. Corrosion inhibitors in concrete – Part I: The principles, *Cement and Concrete Research*, 28(12), pp.1775–1781.
- Hausmann, D.A., 1967. Steel corrosion in concrete - How does it occur? *Materials Protection*, 6, pp. 19-23.
- Hernández L.S., García G., López C., delAmo B., Romagnoli R., 1998. Evaluation, using EIS, of anticorrosive paints pigmented with Zinc Phosphate. *Surface Coatings International*, 81(1), pp. 19-25.
- Horgnies M, Willieme P, Gabet O., 2011. Influence of the surface properties of concrete on the adhesion of coating: Characterization of the interface by peel test and FT-IR spectroscopy. *Progress in Organic Coatings*, 72, pp. 360– 379.
- <http://chem-is-you.blogspot.gr/2012/11/the-chemistry-inside-tin-of-paint.html> (4^{ος}/2016).
- <http://ec.europa.eu/environment/archives/ecolabel/pdf/marketing/brochures/el/paints.pdf>
- <http://echa.europa.eu/el/about-us> (4^{ος}/2016).
- <http://echa.europa.eu/regulations/nanomaterials> (4^{ος}/2016).
- <http://echa.europa.eu/web/guest/regulations/clp> (4^{ος}/2016).
- <http://echa.europa.eu/web/guest/regulations/reach/> (4^{ος}/2016).
- <http://knowledge.ulprospector.com/795/pc-pigment-volume-concentration-part-ii/>
- <http://www.britannica.com/science/alkyd-resin> (4^{ος}/2016).
- http://www.galvanizedrebar.com/steel_concrete.htm (4^{ος}/2016).
- <http://www.hellenicpaints.gr/el/enimerosi/certification> (4^{ος}/2016).
- <http://www.hellenicpaints.gr/el/enimerosi/nanotechnology> (4^{ος}/2016).
- <http://www.hellenicpaints.gr/el/enimerosi/powder-colours> (4^{ος}/2016).
- <http://www.pultrac.com.au/pultrac-pultrusion-resin.html> (4^{ος}/2016).
- <https://el.wikipedia.org/wiki/Χρώμα> (4^{ος}/2016).
- https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_rubber (4^{ος}/2016).
- Ibrahim M., Al-Gahtani A.S., Maslehuddin. M., 1999. Use of surface treatment materials to improve concrete durability. *ACI Materials Journal*, 11(1), pp. 36–40.
- Ibrahim, M., Al-Gahtani, A.S., Maslehuddin, M., Almusallam, A.A., 1997. Effectiveness of concrete surface treatment materials in reducing chloride-induced reinforcement corrosion, *Construction and Building Materials*, 11 (7–8), pp. 43–451.
- Jones D.A., 1992. *Principles and Prevention of Corrosion*, McMillan, New York.
- Kalendová A., 2000. Alkalis and neutralising effects of anticorrosive pigments containing Zn, Mg, Ca and Sr cations. *Progress in Organic Coatings*, 38(3-4), pp. 199-206.
- Kamal, M.M., Salama, A.E., 1991. Protection of reinforced concrete elements against corrosion by polymer coatings. In: Dhir RK, Green JW, editors, *Proceedings of International Conference on Protection of Concrete*, London: E & FN Spon, pp. 281–291.
- Karayanni, C., Tetagioti, D., Batis, G., Papathanassiou, K., 2007. Corrosion Study with EIS of reinforcement steel in mortar with slag and organic inhibitors. 7th International Symposium on Electrochemical Impedance Spectroscopy, Argelès-sur-Mer, France.
- Keim, 2009. Technical Data Sheet. Keim Concretal®-Fixativ.
- Keim, 2014. Technical Data Sheet. Keim Concretal®.
- Koleske, J.V. Springate R. and Brezinski, D., 2013. Additives Reference Guide, JUNE 2013, www.pcimag.com.
- Koleske, J.V., 1995. *Paint and Coating Testing Manual*. Philadelphia: ASTM.
- Kondratova, I.L., Montes, P., Bremner, T.W., 2003. Natural marine exposure results for reinforced concrete slabs with corrosion inhibitors. *Cement & Concrete Composites*, 25, pp. 483–490.
- Kouloumbi, N., Batis, G. & Malami, Ch. 1994. The Anticorrosive Effect of Fly Ash, Slag and a Greek Pozzolan in Reinforced Concrete. *Cement and Concrete Composites*, Vol.16: 253-260.
- Krieg, S., 1996. Lead and Chromate free anticorrosive pigments based on phosphates, *Paints and Varnishes*, 12, pp. 18-23.

- Kukackova, H., Vraštílová, A., Kalendova, A., 2013. Non-toxic Anticorrosive Pigments Intended for Applications in High-solids and Waterborne Paints. *Physics Procedia* (44), pp. 238–246.
- Kumar Mehta P. & Monteiro, P.J.M., 2009. Σκυρόδεμα μικροδομή, ιδιότητες και υλικά, εκδ. Κλειδάριθμος, Αθήνα.
- Lafarge, 2016. http://www.lafarge.gr/wps/portal/gr/el/2_3_B-Bulk
- Lambourne, R. Strivens, T.A., 1999. *Paint and surface coatings, Theory & practice*. Woodhead Publishing Ltd, Cambridge.
- Lea, F.M. & Desch, C.H., 1997. *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. Elsevier Science and Technology, Netherlands.
- Loulizi, A., Al-Quadi, I.L., Diefenderfer, B.K., 2000. Effects of Nitrite-Based Corrosion Inhibitor on Concrete's Rapid Chloride Permeability Values and its Dielectric Properties. *ACI Materials Journal*, 97(4), pp.465-471.
- Lumley, J.S., 1997. ASR Suppression by Lithium Compounds. *Cement and Concrete Research*, 27(2), pp. 235-244.
- Mäder, U., 1994. A New Class of Corrosion Inhibitors, International Conference "Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete", Sheffield, R.D.Swamy Ed., Vol II, pp.851-864.
- Mäder, U., 1996. A New Class of Corrosion Inhibitors for Reinforced Concrete, Third CAMNET/ACI International Conference "Concrete in Marine Environment", St.Andrews by-the-Sea, Canada, V.M.Malotra Ed., SP-163 10.
- Malami, Ch., Kaloidas, V., Batis, G. & Kouloumbi, N. 1994. Carbonation and Porosity of Mortar Specimens with Pozzolanic and Hydraulic Cement Admixtures. *Cement and Concrete Research*, Vol.24: 1444-1454.
- Malami, Ch., Kaloidas, V., Batis, G., Kouloumbi, N., 1994. Carbonation and porosity of mortar specimens with pozzolanic and hydraulic cement admixtures. *Cement & Concrete Research*, 24(8), pp. 1444-1454.
- Marcus, P., 2002. *Corrosion Mechanisms in Theory and Practice (Corrosion Technology)*. Marcel Dekker 2nd.
- Markeset, G., 2008. Critical chloride content and its influence on service life predictions, Critical chloride content in reinforced concrete COIN workshop, Trondheim, Norway.
- Markeset, G., Rostam, S. and Klinghoffer, O., 2006. Guide for the use of stainless steel reinforcement in concrete structures, Nordic Innovation Centre project – 04118.
- Mather, B., 1999. How to Make Concrete that will not suffer Deleterious Alkali-silica Reaction, *Cement and Concrete Research*, 29, pp. 1277-1280.
- McCarter, W.J., 2012. A Performance-based Strategy for Ensuring Sustainable Concrete Infrastructure). Proceedings of the International Conference on Sustainability Challenges and Advances in Concrete Technology, India.
- McDonald, B.D., 2011, Cost-Effective Methods for Improving the Corrosion Resistance of Concrete, PCI 57th Annual Bridge Convention Conference, At Salt Lake City.
- Mehta, P.K., 1987. Effect of Chemical Addition on the Alkali-Silica Reaction, proc. 4th Int. Conf. "Effect of Alkalies in Cement and Concrete", Purdue University, USA, pp. 229-234.
- Morris, W. and Vázquez, M., 2002. A migrating corrosion inhibitor evaluated in concrete containing various contents of admixed chlorides. *Cement and Concrete Research*, 32, pp. 259–267.
- Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος KTX 2008(ΦΕΚ 1416/B/17-07-2008 και ΦΕΚ 2113/B/13-10-2008).
- O'Reilly, M., Darwin, D., Browning, J., Carl, E., Locke, J., 2011. Evaluation of Multiple Corrosion Protection Systems for Reinforced Concrete Bridge Decks." Lawrence, Kan.: The University of Kansas Research Inc.
- Ormellese, M., Berra, M., Bolzoni, F., Pastore, T., 2006. Corrosion inhibitors for chlorides induced corrosion in reinforced concrete structures", *Cement and Concrete Research* 36(3), pp. 536–547.
- Oyarzún, J.M., 2015. Pigment Processing Physico-Chemical Principles, 2nd Rev Ed, European Coatings, Vincentz Network, Hanover, Germany.

- Perez, N., 2004. *Electrochemistry and Corrosion Science*, Springer Verlag.
- Portland Cement Association, 2016. *PCA Manual, Aggregates for concrete*, University of Memphis.
- Ramachandran, V.S., 1998. Alkali-aggregate Expansion Inhibiting Admixtures. *Cement and Concrete Composites*, 28, pp. 149-161.
- Reynolds, C.E, Steedman, J.C. & Threlfall, A.J., 2008. *Reinforced Concrete Designer's Handbook*, Taylor & Francis, 11th Ed, New York.
- Roberge, P.R., 2008. *Corrosion Engineering, Principles & Practice*, McGraw Hill.
- Saraswathy, V. and Song H-W., 2007. Improving the durability of concrete by using inhibitors", *Building and Environment*, 42, pp.464–472.
- Saricimen, H., Mohammad, M., Quddus, A., Shameem, M., Barry, M.S., 2002. Effectiveness of concrete inhibitors in retarding rebar corrosion", *Cement & Concrete Composites* 24, pp.89–100.
- Schlumpf, J., Bicher, B. & Schwoon, O., 2013. *Sika Concrete Handbook*, Zurich.
- Selvaraj, R., Selvaraj, M., Iyer S.V.K., 2009. Studies on the evaluation of the performance of organic coatings used for the prevention of corrosion of steel rebars in concrete structures", *Progress in Organic Coatings*, 64, pp.454–459.
- Seneviratne, A.M.G., G. Sergi, C.L. Page, 2000. Performance characteristics of surface coatings applied to concrete for control of reinforcement corrosion, *Construct.Build. Mater.* 14, pp.55–59.
- Siemes, A.J.M, Vrouwenvelder, A.C.W.M., Van den Deukel, A., 1985. Durability of Buildings: a reliability analysis. *Heron*, 30(3), Delft The Netherlands.
- Sika, 2007. *Εγχειρίδιο Τεχνολογίας Σκυροδέματος*.
- Sika, 2014a. Φύλλο Ιδιοτήτων προϊόντος. Sika Ferroguard® 901.
- Sika, 2014b. Φύλλο Ιδιοτήτων προϊόντος. Sika Ferroguard® 903.
- Sinco, J., 2001. Challenges of chromate inhibitor pigments replacement in organic coatings", *Progress in Organic Coatings*, 42(3-4), pp.267-282.
- Sintecno, 2010. *Τεχνικό Φυλλάδιο MuCis®*.
- Song, H.W., Saraswathy, V., 2007. Corrosion Monitoring of Reinforced Concrete Structures – A Review, *International Journal of Electrochemical Science*, 2, pp. 1-28.
- Sørensen, P.A., Kiil, S., Dam-Johansen, K., Weinell, C. E., 2009. Anticorrosive coatings: a review. *Journal of Coatings Technology and Research*, 6(2), pp. 135–176.
- Söylev, T.A., McNally, C., Richardson, M.G., 2007. The effect of a new generation surface-applied organic inhibitor on concrete properties. *Cement & Concrete Composites*, 29, pp.357–364.
- Söylev, T.A., Richardson, M.G., 2008. Corrosion inhibitors for steel in concrete: State-of-the-art report. *Construction and Building Materials*, 22, 609–622.
- STATS CONSULTING ENGINEERS & MATERIALS SCIENTISTS, 1990a. *Structural Concrete Using Yali Pumice Coarse and Fine Aggregates"*, 89/3408E/3379.
- STATS CONSULTING ENGINEERS & MATERIALS SCIENTISTS, 1990b. *"Lightweight Masonry Units Using Yali Pumice Coarse and Fine Aggregates"*, 89/3408D/2923.
- Steffens, A., Dinkler, D., Ahrens, H., 2002. Modeling carbonation for corrosion risk prediction of concrete structures. *Cement and Concrete Research*, 32, pp. 935–941.
- Stoye, D. Freitag, W., 1998. *Paints, coatings and solvents*, Wiley-VCH, 2nd Ed, Weinheim.
- Swamy, R.N, Suryavanshi, A.K, Tanikawa, S., 1998. Protective ability of an acrylic based surface coating system against chloride and carbonation penetration into concrete, *ACI Materials Journal*, 95(2), pp.101–112.
- Swamy, R.N., 1992. *Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, Van Nostrand, London, pp. 96-121.
- Talbert, R., 2008. *Paint Technology Handbook*, CRC Press, Boca Raton.
- Tanikawa, S. Swamy, R.N., 1994. Protection of Steel in Chloride Contaminated Concrete using an Acrylic Rubber Surface Coating. *proc. Int. Conf. "Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete"*, Sheffield UK, pp. 1055-1068.
- Taywood Engineering Limited. *In-House Test Method - A9, Measurement of Ionic Diffusion Coefficient*, 1988.
- The Concrete Network, 2016. <http://www.concretenetwork.com/concrete-history/>

- The European Cement Association, 2012. Cements for a low-carbon Europe.
- The European Cement Association, 2016. The role of cement in the 2050 low carbon economy.
- Tritthart, J., 2003. Transport of a surface-applied corrosion inhibitor in cement paste and concrete”, *Cement and Concrete Research*, 33, pp.829–834.
- Turner, G.P.A., 1991. *Introduction to paint chemistry and principles of paint technology*. 3rd Ed., Chapman & Hall, London.
- Tuutti, K., 1980. Performance of concrete in marine environment – ACI SP-65. American Concrete Institute, Detroit, pp.223-266.
- Welle, A., Liao, J.D., Kaiser, K., Grunze, M., Mäder, U., Blank, N., 1997. Interactions of N-N'-dimethylaminoethanol with Steel Surfaces in Alkaline and Chlorine Containing Solutions. *Applied Surface Science*, 119, pp. 185-198.
- WHO, 2015, Lead poisoning and health, Fact sheet N°379, Reviewed August 2015.
- Wikipedia, 2016. <https://el.wikipedia.org/wiki/Χάλυβας>
- Winter, N.B., 2012. Cement history, Understanding Cement, WHD Microanalysis Consultants Ltd, Woodbridge UK. <http://www.understanding-cement.com/history.html>
- Wombacher, F, Mäder, U, Marazzani, B., 2004. Aminoalcohol based mixed corrosion inhibitors. *Cement & Concrete Composites* 26, pp.209–216.
- Zhu Y., Xiong J., Tang Y., Zuo Y., 2010. EIS study on failure process of two polyurethane composite coatings. *Progress in Organic Coatings*, 69, pp.7–11.
- Αναγνωστόπουλος, Π., 2016. Ιστορία του Τσιμέντου και του Σκυροδέματος, <http://www.e-archimedes.gr/faq/item/72->
- Αποστολάκης, Κ., 2001. Χρώματα υδατικής διασποράς εσωτερικού χώρου με χαμηλά VOC. Ομιλίες περί χρωμάτων, Ένωση Ελλήνων Χημικών, Αθήνα.
- Βασιλάκος, Χ., Γεωργίου, Μ., Μάγγος, Θ., Πατεράκη, Σ., Σαραγά Δ., 2005. Ταυτόχρονη καταγραφή των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{2,5}) και οργανικών πτητικών ενώσεων (VOC's) σε εργασιακούς χώρους, *Heleco '05, TEE, Αθήνα, 3-6 Φεβρουαρίου 2005*
- Βατάλης, Α., 2009. Επιστήμη & Τεχνολογία Υλικών, 2^η εκδ, εκδ. Ζήτη, Θεσ/κη.
- Βουδικλάρης, Θ.Γ., 2004. Από τον Κανονισμό Τεχνολογίας Χαλύβων – 2000 στο σχέδιο Προτύπου prEN 10080, Ημερίδα: Θέματα Τεχνολογίας Σκυροδέματος και Δομικών Χαλύβων με τα Νέα Ευρωπαϊκά Πρότυπα ΕΛΟΤ EN, ΤΕΕ.
- ΕΛΙΝΥΑΕ, 2007. Εκτίμηση και πρόληψη του επαγγελματικού κινδύνου στη βιομηχανία παραγωγής χρωμάτων, (Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας), Αθήνα.
- Ελληνική Γεωσφαιρα, 2012. Περιοδική έκδοση Ι.Γ.Μ.Ε.Μ., τεύχος 17.
- Ελληνικός Κανονισμός για τη Μελέτη και Κατασκευή Έργων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα ΕΚΩΣ 2000 (ΦΕΚ Β'1329/6-11-2000).
- ΕΛΟΤ 1421-2-2007. Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος-Συγκολλησιμοί χάλυβες – Μέρος 2: Τεχνική κατηγορία B500A και ΕΛΟΤ 1421-3-2007: Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος-Συγκολλησιμοί χάλυβες – Μέρος 3: Τεχνική κατηγορία B500C και Υ.Α. οικ. 9529/645/2006: Έλεγχος τεχνικών χαρακτηριστικών χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος ΦΕΚ 649B/2006.
- ΕΛΟΤ 835-1985. Πιγμέντα οξειδίων του σιδήρου για χρώματα (Iron oxide pigments for paints).
- ΕΛΟΤ EN 1008. Νερό ανάμειξης σκυροδέματος - Προδιαγραφή για δειγματοληψία, έλεγχο και αξιολόγηση της καταλληλότητας του νερού, συμπεριλαμβανομένου του νερού που ανακτάται από διεργασίες στη βιομηχανία σκυροδέματος, για τη χρήση του ως νερό ανάμειξης σκυροδέματος (EN 1008:2002 Mixing water for concrete — Specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete).
- ΕΛΟΤ EN 10080-2005. Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος - Συγκολλησιμοί χάλυβες - Μέρος 1: Γενικές απαιτήσεις.
- ΕΛΟΤ, 2016. http://www.elot.gr/470_ell_html.aspx
- EN 13055-1:2002. Ελαφρά αδρανή για σκυροδέματα, κονιάματα και ενέματα.
- Επιστήμη & Τεχνική Υλικών, Εργαστηριακός Οδηγός, 7^ο εξάμηνο Χ-Μ ΕΜΠ, 2014.

Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο, 2014. Με ποιον τρόπο υπολογίζουν, περιορίζουν και αντισταθμίζουν τα θεσμικά και λοιπά όργανα της ΕΕ τα αέρια θερμοκηπίου που εκπέμπουν;; Ειδική έκθεση Νο 14, Luxembourg.

Ευρωπαϊκός Κανονισμός Δομικών Προϊόντων 305/2011 (Construction Products Regulation CPR).

Ζαγγογιάννης, Α., 1997. Παρασκευή πιγμένων χρωμάτων με αξιοποίηση των παραπροϊόντων μεταλλακτών της ΛΑΡΚΟ. Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Αθήνα.

Ζαφειροπούλου, Θ., Ρακαντά, Ε., Μπατής, Γ., 2012. Προστατευτική επίδραση συμβατικών, υδατικών διασπορών και χρωμάτων νανοτεχνολογίας στο οπλισμένο σκυρόδεμα. 12ο Συμπόσιο Χρωμάτων και Βερνικιών, Αθήνα.

Ζαχαροπούλου, Α., 2014. Επίδραση πρόσθετων – πρόσμικτων στη διάβρωση του χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος. Διδακτορική διατριβή, Ε.Μ.Π., Τμήμα Χημικών Μηχανικών.

Ζέρης, Χ., 2013. Στοιχεία τεχνολογίας σκυροδέματος - Τα επί μέρους υλικά, Σχολή Αρχιτεκτόνων Ε.Μ.Π., <http://courses.arch.ntua.gr/106102.html>

Θέος, Π., 2001. Πολυουρεθανικά συστήματα επιστρώσεων. Βασικές έννοιες – περιβαλλοντικά προβλήματα. Ομιλίες περί χρωμάτων, ΕΕΧ, Αθήνα.

Θωμαΐδης, Ν., Βαλαβανίδης, Θ., Ευσταθίου, Κ., 2007, Η χημική ένωση του μήνα: Εξασθενές χρώμιο Cr(VI) (ενώσεις του), http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_cr6.htm.

Καλογεροπούλου, Σ., 2015. Σημειώσεις Εργαστηρίου Ηλεκτροχημείας, ΑΕΙ Πειραιά ΤΤ.

Καμενόπουλος, Σ., 2004, Υγιεινή και ασφάλεια: Ο μόλυβδος στα χρώματα των κτιρίων ως παράγοντας κινδύνου στην ανθρώπινη υγεία. Τεχνικά χρονικά, 9-10/2004).

Καμπάνης, Σ., 2007. Χημεία Χρωμάτων, Ένωση Ελλήνων Χημικών, Αθήνα.

Κανιτάκη, Ε., 2009. Οι κατασκευές από σκυρόδεμα είναι και αειφόρες και πράσινες, 16ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Πάφος, Κύπρος.

Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 125/2012 της Επιτροπής της 14/2/2012 για τροποποίηση του παραρτήματος XIV του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1907/2006 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την καταχώριση, την αξιολόγηση, την αδειοδότηση και τους περιορισμούς των χημικών προϊόντων

Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 305/2011 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 9ης Μαρτίου 2011, για τη θέσπιση εναρμονισμένων όρων εμπορίας δομικών προϊόντων και για την κατάργηση της Οδηγίας 89/106/ΕΟΚ του Συμβουλίου

Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 1272/2008 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 16ης Δεκεμβρίου 2008, για την ταξινόμηση, την επισήμανση και τη συσκευασία των ουσιών και των μειγμάτων, την τροποποίηση και την κατάργηση των οδηγιών 67/548/ΕΟΚ και 1999/45/ΕΚ και την τροποποίηση του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1907/2006 (L 353/2008) (CLP, Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures)

Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 1907/2006 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 18ης Δεκεμβρίου 2006 για την καταχώριση, την αξιολόγηση, την αδειοδότηση και τους περιορισμούς των χημικών προϊόντων (REACH) και για την ίδρυση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Χημικών Προϊόντων καθώς και για την τροποποίηση της οδηγίας 1999/45/ΕΚ και για κατάργηση του κανονισμού (ΕΟΚ) αριθ. 793/93 του Συμβουλίου και του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1488/94 της Επιτροπής καθώς και της οδηγίας 76/769/ΕΟΚ του Συμβουλίου και των οδηγιών της Επιτροπής 91/155/ΕΟΚ, 93/67/ΕΟΚ, 93/105/ΕΚ και 2000/21/ΕΚ (396L/2006) (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH)).

Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ '97) ΦΕΚ 315B/1997.

Καραντώνης, Α. και Δραγατογιάννης, Δ., 2009. Επιταχυνόμενες μέθοδοι μελέτης της φθοράς: Μέθοδος Tafel και μέθοδος ηλεκτροχημικής εμπέδησης. Διδακτικές σημειώσεις μαθήματος «Φθορά και Προστασία Υλικών» 9ου εξαμήνου, ΕΜΠ, Αθήνα.

Καραντώνης, Α., 2009. Ηλεκτροχημική εμπέδηση στη Χημική Μηχανική.

Κασινάκης, Σ., 2001. Antigraffiti. Ομιλίες περί χρωμάτων, ΕΕΧ, Αθήνα.

Κασινάκης, Σ., 2001. Σιλικόνες. Ομιλίες περί χρωμάτων, ΕΕΧ, Αθήνα.

- Κατσιώτης, Μ., 2011. Φωτοκαταλυτικά Αυτοκαθαριζόμενα δομικά υλικά. *Περιοδικό Κτίριο*, 02/2011, 93-98.
- Κεχαγιά, Φ., Obbliger, M. & Τσώχος, Γ., 2008. Χημικά Πρόσμικτα σκυροδέματος. 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα.
- Κουλουμπή, Ν, 2000. Διάβρωση και Προστασία, εκδ. ΕΜΠ, Αθήνα, 2000.
- Κουλουμπή, Ν., 2002. Ηλεκτροχημεία, εκδ. Συμεών, Αθήνα.
- Κουλουμπή, Ν., Πανταζοπούλου, Π., Πεφάνη, Ε., Marcheua, J., 2002. Επιταχυνόμενες δοκιμές και η αξιοπιστία τους κατά την εκτίμηση της προστατευτικής δράσης τοξικών και μη αντιδιαβρωτικών πιγμένων, 8^ο Συμπόσιο Χρωμάτων, Αθήνα, pp. 51-72.
- ΛΑΒΑ, 2016a. <http://www.lava.gr/whoweare/facilities/mine-pumice-Giali/> (Απρ. 2016)
- ΛΑΒΑ, 2016b. <http://www.lava.gr/products/holystone/> (Απρ. 2016)
- ΛΑΡΚΟ, 2016. http://www.larco.gr/el.smelting_plant.php (Απρ. 2016)
- Λίτινας, Ν., 2008. Νέες απαιτήσεις για τα αδρανή υλικά στις κατασκευές, 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα.
- Μαυροειδής Π., Ρακαντά Ε., Μπατής Γ., 2006. Ανοξειδωτοι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος, Μηχανικές ιδιότητες και συμπεριφορά απέναντι στη διάβρωση. 15^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Αλεξανδρούπολη, σελ. 598-608.
- Μαυροειδής, Π., 2005. Χάλυβες Οπλισμένου Σκυροδέματος, εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- Μοροπούλου, Α., Μπατής, Γ., 2014. Δομικά Υλικά. Διδακτικές σημειώσεις μαθήματος Δομικά Υλικά 9ου εξαμήνου Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Μοροπούλου, Α., 2011. Χαρακτηρισμός, έλεγχος ποιότητας, διάγνωση φθοράς και συντήρηση δομικών υλικών. Μεθοδολογία ενόργανων και μη καταστρεπτικών Τεχνικών. Διδακτικές σημειώσεις μαθήματος Φθορά και Προστασία Υλικών 9ου εξαμήνου Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Μοροπούλου, Α., 2014. Έλεγχος ποιότητας δομικών υλικών και έργων. Διδακτικές σημειώσεις μαθήματος Δομικά Υλικά 9ου εξαμήνου Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2014
- Μπατής Γ., Ρακαντά Ε., 2006. Η καθοδική προστασία του οπλισμού στο σκυρόδεμα. *Σκυρόδεμα*, Τεύχος 3, σελ. 72-83.
- Μπατής, Γ, 1998. Επικάλυψη του σκυροδέματος με χρώματα, Επιστημονική Ημερίδα: Σκυρόδεμα, Κύπρος.
- Μπατής, Γ, 1999. Φθορά και προστασία υλικών. Σημειώσεις Μεταπτυχιακού Προγράμματος Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Μπατής, Γ., 2007. Χρήση νέων υλικών για την αύξηση της ανθεκτικότητας των κατασκευών, *Ενίσχυση κτιρίων με σύγχρονα υλικά*, ΤΕΕ, Αθήνα.
- Μπατής, Γ., Καρύδης, Π., 1999. Καθοδική προστασία του οπλισμού στο σκυρόδεμα. 13^ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Ρέθυμνο, pp. 326-334.
- Μπεάζη-Κατσιώτη, Μ., 2008. Αδρανή σκυροδέματος, τυποποίηση, μύθος & πραγματικότητα, Ημερίδα «Σχεδιασμός & Κατασκευή», Τρίπολη.
- Μπελεγράτης, Κ., 2001. Πρόσθετα ή βοηθητικά χρωμάτων. Ομιλίες περί χρωμάτων, Ένωση Ελλήνων Χημικών, Αθήνα, pp.221-242.
- Οδηγία 1999/13/ΕΚ του Συμβουλίου της 11ης Μαρτίου 1999 για τον περιορισμό των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων που οφείλονται στη χρήση οργανικών διαλυτών σε ορισμένες δραστηριότητες και εγκαταστάσεις (L85/1999).
- Οδηγία 2001/81/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2001 σχετικά με εθνικά ανώτατα όρια εκπομπών για ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους (L309/2001).
- Οδηγία 2004/42/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21ης Απριλίου 2004 για τον περιορισμό των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων που οφείλονται στη χρήση οργανικών διαλυτών σε χρώματα διακόσμησης και βερνίκια και σε προϊόντα φανοποιίας αυτοκινήτων και για την τροποποίηση της οδηγίας 1999/13/ΕΚ (L143/30.4.2004).
- Οικονόμου, Χ.Μ., 2006. Τεχνολογία του Σκυροδέματος, 3η έκδοση, ΣΕΛΚΑ-4Μ.
- Παπαδάκης, Ε., 2004. Υπολογισμός διάρκειας ζωής οπλισμένου σκυροδέματος λόγω διάβρωσης οπλισμού, Ημερίδα Τεχνολογίας Σκυροδέματος και Χαλύβων ΤΕΕ, Ιωάννινα.

Πετρόπουλος, Π., 1992. Μεταλλουργία, εκδ. Ιδρύματος Ευγενίδου, Αθήνα.

Προϊόντα Δομικών Κατασκευών (ΠΔ 334/94, ΦΕΚ 176Α/94, Construction Products Directive CPD 89/106).

Προσαρμογή του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ- 97) προς τις απαιτήσεις του εναρμονισμένου Προτύπου ΕΛΟΤ EN 197-1 «Τσιμέντο – Μέρος 1: Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για τα κοινά τσιμέντα» Υ.Α. Δ14/50504/2002 (ΦΕΚ 537 Β/2001).

Πρότυπο ASTM A276/A276M-16 Standard Specification for Stainless Steel Bars and Shapes.

Πρότυπο ASTM C1582/C1582M-11 Standard Specification for Admixtures to Inhibit Chloride-Induced Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete.

Πρότυπο ASTM C494/C494M-15a Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.

Πρότυπο ASTM C876 – 91 (1999). Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete.

Πρότυπο ASTM D4138-94(R01). Standard Test Methods for Measurement of Dry Film Thickness of Protective Coating Systems by Destructive Means.

Πρότυπο ASTM D6886 - 14e1. Standard Test Method for Determination of the Weight Percent Individual Volatile Organic Compounds in Waterborne Air-Dry Coatings by Gas Chromatography

Πρότυπο ASTM G59 - 97(2009). Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements.

Πρότυπο CE EN 13055-1:2001. Ελαφροβαρή αδρανή για σκυροδέματα, κονιάματα και ενέματα (Lightweight aggregates. Lightweight aggregates for concrete, mortar and grout).

Πρότυπο DIN 4102:2014. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen Fire behaviour of building materials and building components

Πρότυπο DIN 55913-2:1972-03. Pigmente; Eisenoxid-Pigmente, Analysen-Verfahren (Pigments; iron oxide pigments, methods for analysis)

Πρότυπο DIN 55916. Pigments; red lead; technical delivery specifications.

Πρότυπο DIN 55945. Paints and varnishes - Additional terms and definitions to DIN EN ISO 4618.

Πρότυπο DIN EN ISO 2431:2011. Beschichtungsstoffe - Bestimmung der Auslaufzeit mit Auslaufbechern (Paints and varnishes - Determination of flow time by use of flow cups).

Πρότυπο EN 12407. Natural stone test methods. Petrographic examination.

Πρότυπο EN 12620. Αδρανή σκυροδέματος (Aggregates for concrete).

Πρότυπο EN 13055-2:2004. Ελαφρά αδρανή ασφαλτομιγμάτων, επιφανειακών επιστρώσεων και εφαρμογών με σταθεροποιημένα ή μη σταθεροποιημένα υλικά.

Πρότυπο EN 1504-9:2008. Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity. General principles for use of products and systems.

Πρότυπο EN 1936:2006. Natural stone test methods. Determination of real density and apparent density, and of total and open porosity.

Πρότυπο EN 206-1. Σκυρόδεμα: Προδιαγραφή, Επιτελεστικότητα, Παραγωγή και Συμμόρφωση (EN 206-1 Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity).

Πρότυπο ISO 18451-1:2015. Pigments, dyestuffs and extenders - Terminology - Part 1: General terms.

Πρότυπο ISO 4618:2014. Paints and varnishes - Terms and definitions.

Πρότυπο ISO 7253:2001. Paints and varnishes -- Determination of resistance to neutral salt spray (fog).

Πρότυπο ISO 8044:2015. Διάβρωση μετάλλων και κραμάτων – Βασικοί όροι και ορισμοί (Corrosion of metals and alloys - Basic terms and definitions).

Πρότυπο ISO 8407:2009. Corrosion of metals and alloys - Removal of corrosion products from corrosion test specimens.

Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1-2011. Τσιμέντο - Μέρος 1 : Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για κοινά τσιμέντα (Cement. Composition, specifications and conformity criteria for common cements).

Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 934-2-2001 &/A1-2005. Πρόσθετα σκυροδέματος, κονιαμάτων και ενεμάτων - Μέρος 2: Πρόσθετα σκυροδέματος - Ορισμοί απαιτήσεις, συμμόρφωση, σήμανση και επισήμανση.

Ροκοτάς, Σ.Π., 2008. Νέες Τάσεις στα Οικοδομικά Χρώματα, ΕΕΧ.

Ρούτουλας, Α., 1999. Ανθεκτικότητα σκυροδεμάτων με σύνθετα τσιμέντα. Διδακτορική διατριβή, Ε.Μ.Π., Τμήμα Χημικών Μηχανικών.

Ρούτουλας, Α., 2010. Υπολογισμός διάρκειας ζωής κατασκευών από σκυρόδεμα και πειραματική επιβεβαίωση. Σημειώσεις Εφαρμογών ΠΕΤΥΛ, ΤΕΙ Πειραιά.

Ρούτουλας, Α., Μέντρεα, Κ., Κολοβός, Κ., Πανταζοπούλου, Π., 2011. Έλεγχος Ποιότητας και Τεχνολογία Δομήσιμων Υλικών – Σημειώσεις Εργαστηριακού Μαθήματος, ΤΕΙ Πειραιά, Αιγάλεω.

Σίδερης, Κ.Κ., 1997. Τεχνολογία Δομικών Υλικών, Δ.Π.Θ., Ξάνθη.

Σίδερης, Κ.Κ., 2010. Ανθεκτικότητα κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος, εκδ. ΣΕΛΚΑ-4Μ, Ξάνθη.

Σύνδεσμος Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος (Σ.Τ.Ε.), 2016a, (Hellenic Cement Industry Association), <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/concrete/>

Σύνδεσμος Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, 2016b, <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/history/>

Σύνδεσμος Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, 2016c, <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/concrete/regulations/>

Σύνδεσμος Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, 2016d, <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/cement/codes-standards>

Σύνδεσμος Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, 2016e. <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/cement/technology/>

Σύνδεσμος Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, 2016f. <http://www.hcia.gr/el/statistical-elements/production/>

Σύνδεσμος Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, 2016g. <http://www.hcia.gr/el/growth/environment/alternative-fuels/>

Σύνδεσμος Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, 2016h. Εθελοντική Συμφωνία Συνεργασίας «Για την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης από την τσιμεντοβιομηχανία» <http://www.hcia.gr/userfiles/d90545cd-cff2-4310-a7cd-9743d5bcf1ed/γρεκα.pdf>

Σχέδιο Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος 2015 (υπό δημόσια διαβούλευση).

Τάσιος, Θ. Π. και Αλιγιζάκη, Κ., 1993. Ανθεκτικότητα οπλισμένου σκυροδέματος, Εκδόσεις Φοίβος, Αθήνα.

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (Τ.Ε.Ε.), 2004a. Οδηγοί Δομικών Υλικών – Σκυρόδεμα.

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, 2004b. Οδηγοί Δομικών Υλικών – Τσιμέντο.

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, 2004c. Οδηγοί Δομικών Υλικών – Αδρανή Υλικά.

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, 2006. Οδηγοί Δομικών Υλικών, Χρώματα, Βερνίκια & Συγκολλητικές Ουσίες, Αθήνα.

Τριανταφυλλίδης, Γ., 2012, Μεταλλογνωσία, Τζιόλα, 2^η.

Τριανταφύλλου, Α.Χ., 2008. Δομικά Υλικά, 8^η εκδ., εκδ. Τριανταφύλλου, Πάτρα.

Τσακαλάκης, Κ., 2010. Τεχνολογία παραγωγής τσιμέντου και σκυροδέματος, εκδ. Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Τσαματσούλης, Δ., 2004. Τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα Τσιμέντου ΕΛΟΤ EN 197, ημερίδα Τ.Ε.Ε.: Θέματα Τεχνολογίας Σκυροδέματος και Δομικών Χαλύβων με τα Νέα Ευρωπαϊκά Πρότυπα ΕΛΟΤ EN, Θεσσαλονίκη.

Τσαούσογλου Π., 2001. Αντιδιαβρωτικά χρώματα για μεταλλικές επιφάνειες, Ομιλίες περί χρωμάτων, Ένωσης Ελλήνων Χημικών, Αθήνα, pp.277-315.

Τσίμας, Σ. & Τσιβιλής, Σ., 2000. Επιστήμη και Τεχνολογία τσιμέντου, Εκδ. ΕΜΠ, Αθήνα.

Υφαντής, Δ.Κ., 2000. Υλικά – Διάβρωση και Προστασία, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Φαλιάγκας, Α., Η Οδηγία 42/2004/ΕC (Απόφ. ΑΧΣ 437/05): Περιβαλλοντικοί στόχοι και μέτρα για τη μείωση εκπομπών Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (Volatile Organic Compounds).

ΦΕΚ 1641B/2006. Εναρμόνιση της Ελληνικής Νομοθεσίας προς την οδηγία 2004/42/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21ης Απριλίου 2004 όσον αφορά στον περιορισμό των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων που οφείλονται στη χρήση οργανικών διαλυτών σε χρώματα διακόσμησης και βερνίκια και σε προϊόντα επαναβαφής (επισκευαστικής βαφής) αυτοκινήτων και για την τροποποίηση της οδηγίας 1999/13/ΕΚ (Υ.Α. 437/2005/2006).

Φουντουκίδης, Ε., 2015. Εργαστηριακές ασκήσεις χημικής και περιβαλλοντικής τεχνολογίας, Πουκαμισάς, 3^η εκδ, Αθήνα.

Χαλβουργική, 2016a. <http://www.halyvourgiki.com/>

Χαλβουργική, 2016b. http://www.halyvourgiki.com/inside_page.aspx?MAIN_SUBCATEGORIES=86&Id=60

Χατζηθεοδωρίδης, Η., Σημειώσεις Εργαστηρίου Ορυκτολογίας, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Χρυσουλάκης, Γ. & Παντελής, Δ., 2003. Επιστήμη και Τεχνολογία των Μεταλλικών Υλικών, εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας Π.1. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32.5 συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		O-13	O-14	O-15	O-16	O
1	0,03	-143	-130	-147	-155	-144
7	0,23	-236	-165	-176	-146	-181
14	0,46	-250	-225	-221	-212	-227
21	0,69	-261	-228	-243	-211	-236
28	0,92	-278	-225	-257	-213	-243
34	1,11	-282	-227	-246	-223	-245
45	1,48	-293	-233	-255	-236	-254
49	1,61	-302	-239	-263	-239	-261
55	1,80	-305	-238	-266	-246	-264
63	2,07	-304	-249	-266	-250	-267
71	2,33	-304	-250	-270	-256	-270
77	2,52	-292	-240	-266	-261	-265
84	2,75	-293	-246	-274	-258	-268
91	2,98	-299	-250	-286	-241	-269
98	3,21	-294	-239	-284	-242	-265
105	3,44	-309	-240	-291	-251	-273
112	3,67	-289	-243	-300	-251	-271
119	3,90	-290	-246	-281	-237	-264
127	4,16	-293	-252	-289	-241	-269
133	4,36	-297	-266	-296	-245	-276
140	4,59	-304	-259	-290	-270	-281
147	4,82	-303	-265	-292	-288	-287
156	5,11	-304	-271	-294	-297	-292
161	5,28	-302	-261	-290	-286	-285
168	5,51	-292	-246	-287	-281	-277
178	5,84	-287	-242	-284	-283	-274
182	5,97	-278	-242	-282	-287	-272
191	6,26	-280	-235	-284	-292	-273
198	6,49	-289	-228	-304	-291	-278
210	6,89	-285	-224	-286	-313	-277
217	7,11	-292	-228	-285	-321	-282
224	7,34	-308	-230	-287	-315	-285
231	7,57	-304	-236	-281	-311	-283
238	7,80	-316	-242	-288	-307	-288
246	8,07	-326	-249	-275	-303	-288

Πίνακας Π.2. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 42.5 συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		I-13	I-14	I-15	I-16	I
1	0,03	-108	-113	-106	-112	-110
7	0,23	-279	-218	-306	-255	-265
14	0,46	-336	-281	-354	-265	-309
21	0,69	-372	-294	-357	-272	-324
28	0,92	-370	-301	-334	-283	-322
34	1,11	-379	-307	-331	-288	-326
45	1,48	-373	-308	-328	-293	-326
49	1,61	-379	-313	-314	-297	-326
55	1,80	-376	-311	-320	-308	-329
63	2,07	-371	-314	-328	-307	-330
71	2,33	-370	-320	-332	-316	-335
77	2,52	-372	-333	-332	-317	-339
84	2,75	-370	-339	-349	-313	-343
91	2,98	-374	-343	-347	-309	-343
98	3,21	-379	-331	-344	-314	-342
105	3,44	-373	-328	-351	-313	-341
112	3,67	-378	-338	-362	-315	-348
119	3,90	-381	-334	-361	-318	-349
127	4,16	-386	-332	-360	-323	-350
133	4,36	-390	-339	-369	-327	-356
140	4,59	-392	-329	-367	-323	-353
147	4,82	-393	-333	-365	-317	-352
156	5,11	-392	-339	-362	-311	-351
161	5,28	-392	-335	-362	-315	-351
168	5,51	-394	-337	-370	-321	-356
178	5,84	-398	-344	-372	-325	-360
182	5,97	-394	-352	-374	-333	-363
191	6,26	-382	-348	-370	-337	-359
198	6,49	-383	-343	-373	-338	-359
210	6,89	-381	-342	-379	-334	-359
217	7,11	-388	-347	-381	-338	-364
224	7,34	-388	-344	-391	-342	-366
231	7,57	-393	-349	-386	-336	-366
238	7,80	-392	-350	-378	-338	-365
246	8,07	-397	-355	-382	-344	-370

Πίνακας Π.3. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		K-13	K-14	K-15	K-16	K
1	0,03	-202	-209	-221	-220	-213
2	0,07	-229	-227	-201	-224	-220
6	0,20	-244	-230	-201	-300	-244
13	0,43	-250	-267	-246	-332	-274
20	0,66	-266	-302	-291	-320	-295
27	0,89	-272	-376	-302	-312	-316
33	1,08	-288	-398	-333	-316	-334
40	1,31	-303	-423	-383	-322	-358
44	1,44	-329	-451	-412	-324	-379
49	1,61	-359	-471	-449	-334	-403
54	1,77	-389	-518	-479	-348	-434
57	1,87	-405	-576	-499	-353	-458
64	2,10	-425	-593	-501	-369	-472
70	2,30	-453	-592	-521	-383	-487
76	2,49	-472	-624	-540	-405	-510
83	2,72	-490	-631	-561	-421	-526
90	2,95	-495	-640	-566	-440	-535
97	3,18	-532	-652	-586	-466	-559
104	3,41	-543	-655	-597	-493	-572
110	3,61	-555	-660	-616	-518	-587
117	3,84	-572	-666	-618	-520	-594
119	3,90	-577	-669	-623	-526	-599
126	4,13	-586	-672	-635	-536	-607
133	4,36	-596	-673	-643	-541	-613
141	4,62	-605	-678	-648	-555	-622
152	4,98	-637	-682	-658	-583	-640
155	5,08	-653	-685	-665	-592	-649
162	5,31	-667	-686	-676	-604	-658
169	5,54	-670	-692	-672	-611	-661
177	5,80	-681	-693	-673	-622	-667
184	6,03	-686	-692	-679	-634	-673
190	6,23	-686	-692	-686	-637	-675
195	6,39	-690	-690	-690	-639	-677
198	6,49	-683	-691	-691	-636	-675
209	6,85	-672	-692	-692	-638	-674
215	7,05	-668	-692	-694	-639	-673
223	7,31	-663	-691	-697	-621	-668
230	7,54	-672	-692	-698	-618	-670
237	7,77	-665	-694	-695	-618	-668
245	8,03	-666	-695	-694	-616	-668

Πίνακας Π.4. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		P-13	P-14	P-15	P-16	P
1	0,03	-270	-233	-288	-232	-256
6	0,20	-325	-341	-376	-380	-356
13	0,43	-405	-447	-413	-405	-418
20	0,66	-420	-448	-432	-404	-426
27	0,89	-422	-449	-440	-413	-431
33	1,08	-425	-451	-434	-424	-434
40	1,31	-427	-459	-447	-431	-441
44	1,44	-447	-463	-453	-475	-460
49	1,61	-451	-484	-441	-480	-464
54	1,77	-471	-517	-531	-490	-502
57	1,87	-492	-521	-535	-491	-510
64	2,10	-519	-527	-537	-524	-527
70	2,30	-517	-572	-528	-523	-535
76	2,49	-530	-577	-534	-527	-542
83	2,72	-553	-577	-544	-529	-551
90	2,95	-575	-581	-540	-529	-556
97	3,18	-587	-585	-535	-530	-559
104	3,41	-590	-587	-550	-536	-566
110	3,61	-576	-550	-556	-538	-555
117	3,84	-554	-584	-583	-546	-567
119	3,90	-558	-594	-595	-557	-576
126	4,13	-586	-591	-587	-561	-581
133	4,36	-573	-595	-580	-568	-579
141	4,62	-570	-609	-585	-567	-583
152	4,98	-576	-601	-580	-560	-579
155	5,08	-580	-604	-585	-557	-582
162	5,31	-572	-605	-592	-558	-582
169	5,54	-579	-607	-583	-569	-585
177	5,80	-573	-600	-566	-572	-578
184	6,03	-573	-602	-575	-573	-581
190	6,23	-574	-602	-585	-577	-585
195	6,39	-565	-595	-593	-572	-581
198	6,49	-584	-592	-598	-578	-588
209	6,85	-592	-586	-592	-585	-589
215	7,05	-597	-589	-575	-588	-587
223	7,31	-590	-584	-581	-592	-587
230	7,54	-592	-587	-586	-595	-590
237	7,77	-594	-596	-595	-598	-596
245	8,03	-595	-597	-613	-604	-602

Πίνακας Π.5. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο TiO₂, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		O-AT-13	O-AT-14	O-AT-15	O-AT-16	O-AT
1	0,03	-124	-131	-119	-143	-129
7	0,23	-123	-135	-123	-166	-137
14	0,46	-115	-134	-122	-185	-139
21	0,69	-101	-133	-117	-159	-128
28	0,92	-97	-134	-105	-132	-117
34	1,11	-112	-133	-113	-121	-120
45	1,48	-122	-139	-109	-102	-118
49	1,61	-126	-141	-113	-83	-116
55	1,80	-129	-143	-106	-93	-118
63	2,07	-134	-142	-108	-95	-120
71	2,33	-165	-145	-104	-101	-129
77	2,52	-173	-148	-113	-109	-136
84	2,75	-178	-150	-115	-93	-134
91	2,98	-179	-153	-113	-95	-135
98	3,21	-179	-156	-108	-112	-139
105	3,44	-184	-166	-116	-107	-143
112	3,67	-184	-161	-118	-108	-143
119	3,90	-173	-161	-117	-103	-139
127	4,16	-154	-141	-122	-101	-130
133	4,36	-150	-136	-124	-102	-128
140	4,59	-145	-135	-123	-104	-127
147	4,82	-142	-135	-131	-108	-129
156	5,11	-154	-141	-133	-102	-133
161	5,28	-151	-141	-134	-105	-133
168	5,51	-145	-134	-136	-109	-131
178	5,84	-149	-135	-141	-109	-134
182	5,97	-143	-131	-145	-110	-132
191	6,26	-140	-131	-138	-108	-129
198	6,49	-144	-130	-136	-104	-129
210	6,89	-146	-132	-136	-105	-130
217	7,11	-150	-137	-141	-106	-134
224	7,34	-156	-131	-143	-106	-134
231	7,57	-159	-133	-145	-102	-135
238	7,80	-156	-132	-154	-101	-136
246	8,07	-157	-130	-163	-105	-139

Πίνακας Π.6. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		O-AF-13	O-AF-14	O-AF-15	O-AF-16	O-AF
1	0,03	-146	-134	-144	-155	-145
7	0,23	-152	-138	-156	-178	-156
14	0,46	-155	-145	-178	-202	-170
21	0,69	-163	-147	-167	-202	-170
28	0,92	-135	-156	-183	-192	-167
34	1,11	-157	-166	-192	-192	-177
45	1,48	-171	-180	-188	-192	-183
49	1,61	-150	-163	-189	-181	-171
55	1,80	-154	-170	-181	-187	-173
63	2,07	-144	-156	-179	-190	-167
71	2,33	-112	-182	-180	-183	-164
77	2,52	-158	-166	-191	-183	-175
84	2,75	-135	-145	-186	-175	-160
91	2,98	-136	-150	-178	-172	-159
98	3,21	-149	-161	-182	-187	-170
105	3,44	-139	-150	-175	-176	-160
112	3,67	-144	-158	-187	-194	-171
119	3,90	-137	-155	-183	-177	-163
127	4,16	-118	-152	-183	-151	-151
133	4,36	-119	-140	-188	-139	-147
140	4,59	-115	-133	-178	-146	-143
147	4,82	-133	-139	-171	-160	-151
156	5,11	-140	-155	-177	-172	-161
161	5,28	-121	-147	-162	-156	-147
168	5,51	-117	-141	-165	-138	-140
178	5,84	-135	-153	-167	-146	-150
182	5,97	-135	-156	-163	-129	-146
191	6,26	-133	-161	-160	-119	-143
198	6,49	-140	-171	-178	-120	-152
210	6,89	-127	-169	-184	-118	-150
217	7,11	-138	-187	-189	-113	-157
224	7,34	-140	-195	-180	-119	-159
231	7,57	-134	-192	-178	-117	-155
238	7,80	-136	-196	-171	-124	-157
246	8,07	-138	-189	-161	-124	-153

Πίνακας Π.7. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32.5 και επικαλυμμένου με το χλωριωμένο καουτσούκ και πιγμένο οξείδια σιδήρου, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		O-XF-13	O-XF-14	O-XF-15	O-XF-16	O-XF
1	0,03	-139	-155	-140	-167	-150
7	0,23	-145	-146	-153	-149	-148
14	0,46	-156	-148	-164	-146	-154
21	0,69	-162	-145	-160	-140	-152
28	0,92	-180	-149	-169	-144	-161
34	1,11	-169	-153	-173	-148	-161
45	1,48	-154	-150	-179	-155	-160
49	1,61	-155	-147	-164	-168	-159
55	1,80	-152	-142	-170	-163	-157
63	2,07	-158	-141	-158	-159	-154
71	2,33	-167	-138	-175	-155	-159
77	2,52	-176	-139	-174	-151	-160
84	2,75	-151	-132	-165	-158	-152
91	2,98	-156	-128	-168	-158	-153
98	3,21	-174	-126	-170	-153	-156
105	3,44	-137	-124	-160	-144	-141
112	3,67	-154	-121	-159	-148	-146
119	3,90	-144	-123	-155	-140	-141
127	4,16	-129	-131	-149	-118	-132
133	4,36	-116	-136	-122	-110	-121
140	4,59	-113	-138	-129	-112	-123
147	4,82	-135	-137	-135	-116	-131
156	5,11	-116	-145	-144	-121	-132
161	5,28	-111	-134	-132	-112	-122
168	5,51	-113	-131	-130	-114	-122
178	5,84	-111	-121	-121	-110	-116
182	5,97	-114	-117	-117	-115	-116
191	6,26	-115	-127	-111	-112	-116
198	6,49	-114	-124	-122	-116	-119
210	6,89	-128	-118	-150	-116	-128
217	7,11	-137	-116	-180	-119	-138
224	7,34	-140	-123	-194	-114	-143
231	7,57	-150	-110	-193	-123	-144
238	7,80	-159	-110	-199	-119	-147
246	8,07	-150	-110	-219	-119	-150

Πίνακας Π.8. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 32.5 και επικαλυμμένου με το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		O-XV-13	O-XV-14	O-XV-15	O-XV-16	O-XV
1	0,03	-182	-165	-159	-162	-167
8	0,26	-172	-182	-158	-171	-171
15	0,49	-178	-184	-187	-176	-181
24	0,79	-181	-181	-191	-178	-183
29	0,95	-184	-175	-185	-182	-182
36	1,18	-190	-180	-187	-190	-187
44	1,44	-196	-193	-197	-188	-194
50	1,64	-168	-170	-167	-179	-171
57	1,87	-190	-192	-155	-195	-183
64	2,10	-174	-165	-177	-174	-173
73	2,39	-192	-197	-198	-199	-197
78	2,56	-201	-203	-204	-200	-202
85	2,79	-201	-212	-205	-204	-206
95	3,11	-210	-211	-205	-206	-208
99	3,25	-216	-222	-215	-204	-214
108	3,54	-229	-244	-226	-229	-232
115	3,77	-220	-221	-218	-218	-219
127	4,16	-221	-222	-220	-219	-221
134	4,39	-219	-207	-221	-218	-216
141	4,62	-201	-202	-214	-207	-206
148	4,85	-198	-195	-197	-189	-195
155	5,08	-199	-211	-209	-201	-205
163	5,34	-195	-204	-205	-211	-204
169	5,54	-198	-194	-192	-188	-193
175	5,74	-209	-205	-206	-203	-206
179	5,87	-211	-216	-210	-210	-212
183	6,00	-231	-242	-249	-255	-244
192	6,30	-267	-235	-250	-249	-250
199	6,52	-252	-238	-255	-255	-250
208	6,82	-268	-244	-250	-261	-256
217	7,11	-280	-278	-271	-267	-274
224	7,34	-289	-250	-282	-272	-273
231	7,57	-291	-266	-289	-281	-282
238	7,80	-294	-277	-290	-280	-285
245	8,03	-289	-275	-288	-271	-281

Πίνακας Π.9. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 42.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο TiO₂, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		I-AT-13	I-AT-14	I-AT-15	I-AT-16	I-AT
1	0,03	-107	-114	-106	-111	-110
7	0,23	-118	-181	-129	-128	-139
14	0,46	-121	-196	-124	-150	-148
21	0,69	-126	-201	-123	-155	-151
28	0,92	-129	-202	-127	-164	-156
34	1,11	-132	-202	-136	-171	-160
45	1,48	-134	-207	-134	-177	-163
49	1,61	-138	-203	-135	-178	-164
55	1,80	-142	-206	-143	-179	-168
63	2,07	-143	-209	-150	-180	-171
71	2,33	-144	-216	-151	-188	-175
77	2,52	-145	-212	-159	-186	-176
84	2,75	-146	-215	-160	-192	-178
91	2,98	-150	-217	-156	-193	-179
98	3,21	-154	-217	-163	-198	-183
105	3,44	-157	-213	-163	-197	-183
112	3,67	-162	-215	-171	-199	-187
119	3,90	-170	-216	-162	-205	-188
127	4,16	-174	-218	-177	-208	-194
133	4,36	-179	-223	-180	-205	-197
140	4,59	-184	-228	-187	-207	-202
147	4,82	-189	-229	-182	-207	-202
156	5,11	-185	-227	-185	-203	-200
161	5,28	-189	-233	-194	-201	-204
168	5,51	-196	-230	-194	-204	-206
178	5,84	-194	-225	-184	-206	-202
182	5,97	-207	-226	-189	-207	-207
191	6,26	-208	-226	-188	-206	-207
198	6,49	-216	-222	-186	-210	-209
210	6,89	-215	-225	-192	-205	-209
217	7,11	-227	-225	-197	-208	-214
224	7,34	-224	-226	-196	-206	-213
231	7,57	-227	-225	-195	-206	-213
238	7,80	-235	-226	-186	-206	-213
246	8,07	-234	-231	-185	-208	-215

Πίνακας Π.10. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κίσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 42.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		I-AF-13	I-AF-14	I-AF-15	I-AF-16	I-AF
1	0,03	-173	-164	-170	-159	-167
7	0,23	-178	-189	-181	-169	-179
14	0,46	-186	-197	-192	-175	-188
21	0,69	-195	-204	-187	-185	-193
28	0,92	-201	-200	-188	-188	-194
34	1,11	-208	-201	-196	-178	-196
45	1,48	-211	-207	-204	-186	-202
49	1,61	-212	-215	-206	-190	-206
55	1,80	-222	-213	-214	-193	-211
63	2,07	-223	-216	-220	-196	-214
71	2,33	-227	-219	-225	-190	-215
77	2,52	-226	-222	-227	-197	-218
84	2,75	-231	-230	-231	-197	-222
91	2,98	-232	-231	-231	-198	-223
98	3,21	-233	-238	-236	-202	-227
105	3,44	-235	-237	-234	-209	-229
112	3,67	-230	-243	-235	-219	-232
119	3,90	-237	-244	-235	-210	-232
127	4,16	-239	-245	-239	-215	-235
133	4,36	-242	-247	-243	-219	-238
140	4,59	-250	-248	-246	-222	-242
147	4,82	-256	-247	-252	-225	-245
156	5,11	-250	-255	-257	-228	-248
161	5,28	-257	-260	-261	-236	-254
168	5,51	-254	-266	-263	-247	-258
178	5,84	-260	-273	-264	-239	-259
182	5,97	-255	-254	-270	-242	-255
191	6,26	-256	-261	-272	-259	-262
198	6,49	-254	-267	-284	-261	-267
210	6,89	-250	-264	-276	-265	-264
217	7,11	-258	-260	-272	-258	-262
224	7,34	-262	-263	-266	-255	-262
231	7,57	-250	-268	-262	-248	-257
238	7,80	-256	-272	-260	-247	-259
246	8,07	-246	-270	-262	-239	-254

Πίνακας Π.11. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 42.5 και επικαλυμμένου με το χλωριωμένο καουτσούκ και πιγμένο οξείδια σιδήρου, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		I-XF-13	I-XF-14	I-XF-15	I-XF-16	I-XF
1	0,03	-140	-106	-129	-142	-129
7	0,23	-183	-141	-199	-183	-177
14	0,46	-198	-167	-201	-271	-209
21	0,69	-202	-163	-195	-267	-207
28	0,92	-208	-142	-188	-260	-200
34	1,11	-209	-205	-208	-283	-226
45	1,48	-213	-232	-214	-280	-235
49	1,61	-224	-263	-238	-295	-255
55	1,80	-236	-250	-237	-284	-252
63	2,07	-241	-252	-233	-276	-251
71	2,33	-249	-290	-232	-285	-264
77	2,52	-250	-272	-233	-286	-260
84	2,75	-256	-252	-235	-288	-258
91	2,98	-242	-236	-229	-292	-250
98	3,21	-246	-241	-238	-298	-256
105	3,44	-246	-288	-229	-294	-264
112	3,67	-252	-247	-229	-295	-256
119	3,90	-254	-233	-225	-298	-253
127	4,16	-246	-234	-228	-295	-251
133	4,36	-245	-230	-226	-293	-249
140	4,59	-230	-225	-221	-287	-241
147	4,82	-242	-227	-214	-278	-240
156	5,11	-237	-233	-221	-275	-242
161	5,28	-230	-216	-222	-277	-236
168	5,51	-237	-220	-217	-262	-234
178	5,84	-238	-219	-215	-267	-235
182	5,97	-241	-218	-218	-264	-235
191	6,26	-242	-215	-214	-258	-232
198	6,49	-246	-219	-216	-264	-236
210	6,89	-245	-220	-210	-261	-234
217	7,11	-238	-215	-215	-272	-235
224	7,34	-239	-213	-209	-286	-237
231	7,57	-236	-210	-207	-290	-236
238	7,80	-232	-209	-204	-282	-232
246	8,07	-228	-208	-202	-289	-232

Πίνακας Π.12. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM I 42.5 και επικαλυμμένου με το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		I-XV-13	I-XV-14	I-XV-15	I-XV-16	I-XV
1	0,03	-143	-242	-121	-193	-175
7	0,23	-195	-206	-254	-195	-213
15	0,49	-199	-213	-259	-216	-222
21	0,69	-201	-276	-241	-239	-239
29	0,95	-205	-266	-234	-243	-237
36	1,18	-209	-252	-234	-259	-239
44	1,44	-218	-230	-225	-260	-233
50	1,64	-222	-232	-219	-261	-234
57	1,87	-226	-250	-287	-264	-257
64	2,10	-231	-252	-293	-276	-263
73	2,39	-239	-290	-282	-255	-267
78	2,56	-240	-302	-273	-266	-270
85	2,79	-246	-282	-275	-288	-273
95	3,11	-252	-266	-279	-297	-274
99	3,25	-266	-271	-278	-308	-281
108	3,54	-266	-318	-289	-314	-297
115	3,77	-262	-277	-289	-320	-287
127	4,16	-264	-263	-285	-328	-285
134	4,39	-266	-264	-288	-325	-286
141	4,62	-275	-260	-286	-323	-286
148	4,85	-280	-255	-291	-337	-291
155	5,08	-292	-257	-294	-328	-293
163	5,34	-280	-253	-291	-315	-285
169	5,54	-280	-246	-292	-317	-284
175	5,74	-287	-250	-304	-324	-291
179	5,87	-288	-270	-305	-327	-298
183	6,00	-291	-291	-298	-324	-301
192	6,30	-292	-294	-294	-328	-302
199	6,52	-296	-279	-296	-334	-301
208	6,82	-305	-270	-302	-331	-302
217	7,11	-308	-275	-295	-332	-303
224	7,34	-309	-283	-279	-336	-302
231	7,57	-316	-290	-272	-330	-302
238	7,80	-322	-309	-274	-332	-309
245	8,03	-308	-318	-292	-339	-314

Πίνακας Π.13. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο TiO₂, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		K-AT-13	K-AT-14	K-AT-15	K-AT-16	K-AT
1	0,03	-193	-203	-234	-227	-214
2	0,07	-233	-238	-254	-226	-238
6	0,20	-245	-256	-272	-233	-252
13	0,43	-258	-275	-268	-224	-256
20	0,66	-263	-271	-267	-234	-259
27	0,89	-262	-282	-251	-235	-258
33	1,08	-264	-254	-262	-239	-255
40	1,31	-260	-238	-250	-258	-252
44	1,44	-268	-245	-240	-254	-252
49	1,61	-276	-257	-236	-260	-257
54	1,77	-282	-264	-225	-268	-260
57	1,87	-296	-274	-235	-271	-269
64	2,10	-290	-288	-248	-288	-279
70	2,30	-316	-295	-263	-315	-297
76	2,49	-315	-300	-272	-321	-302
83	2,72	-320	-308	-279	-351	-315
90	2,95	-317	-315	-282	-381	-324
97	3,18	-316	-341	-297	-377	-333
104	3,41	-322	-337	-298	-405	-341
110	3,61	-310	-324	-307	-424	-341
117	3,84	-315	-318	-305	-432	-343
119	3,90	-317	-321	-319	-438	-349
126	4,13	-318	-309	-344	-443	-354
133	4,36	-317	-301	-355	-446	-355
141	4,62	-319	-312	-421	-447	-375
152	4,98	-322	-324	-427	-454	-382
155	5,08	-320	-339	-434	-451	-386
162	5,31	-321	-346	-433	-458	-390
169	5,54	-322	-350	-436	-454	-391
177	5,80	-329	-358	-436	-452	-394
184	6,03	-335	-367	-443	-460	-401
190	6,23	-342	-366	-447	-461	-404
195	6,39	-348	-374	-447	-466	-409
198	6,49	-349	-386	-454	-464	-413
209	6,85	-350	-384	-458	-432	-406
215	7,05	-356	-384	-455	-454	-412
223	7,31	-362	-395	-455	-436	-412
230	7,54	-365	-397	-460	-442	-416
237	7,77	-373	-398	-459	-445	-419
245	8,03	-377	-382	-449	-449	-414

Πίνακας Π.14. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		K-AF-13	K-AF-14	K-AF-15	K-AF-16	K-AF
1	0,03	-288	-287	-265	-203	-261
2	0,07	-289	-291	-267	-222	-267
6	0,20	-296	-277	-287	-250	-278
13	0,43	-308	-300	-285	-241	-284
20	0,66	-315	-299	-293	-239	-287
27	0,89	-315	-298	-302	-242	-289
33	1,08	-328	-301	-319	-292	-310
40	1,31	-335	-298	-332	-282	-312
44	1,44	-348	-319	-349	-299	-329
49	1,61	-358	-309	-353	-297	-329
54	1,77	-363	-316	-360	-296	-334
57	1,87	-380	-340	-384	-298	-351
64	2,10	-396	-349	-401	-299	-361
70	2,30	-417	-343	-421	-285	-367
76	2,49	-438	-390	-440	-340	-402
83	2,72	-450	-356	-451	-355	-403
90	2,95	-440	-367	-454	-345	-402
97	3,18	-448	-379	-460	-352	-410
104	3,41	-464	-380	-470	-350	-416
110	3,61	-478	-383	-480	-358	-425
117	3,84	-483	-384	-487	-358	-428
119	3,90	-473	-390	-492	-359	-429
126	4,13	-485	-390	-491	-352	-430
133	4,36	-485	-393	-496	-355	-432
141	4,62	-491	-395	-494	-364	-436
152	4,98	-505	-397	-503	-364	-442
155	5,08	-501	-395	-502	-370	-442
162	5,31	-505	-398	-506	-380	-447
169	5,54	-516	-405	-511	-386	-455
177	5,80	-519	-405	-519	-398	-460
184	6,03	-526	-410	-527	-405	-467
190	6,23	-529	-412	-526	-415	-471
195	6,39	-530	-423	-527	-420	-475
198	6,49	-528	-435	-522	-424	-477
209	6,85	-554	-440	-542	-485	-505
215	7,05	-543	-443	-532	-481	-500
223	7,31	-546	-445	-534	-489	-504
230	7,54	-536	-448	-521	-495	-500
237	7,77	-540	-452	-529	-494	-504
245	8,03	-520	-467	-510	-487	-496

Πίνακας Π.15. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 και επικαλυμμένου με το χλωριωμένο καουτσούκ και πιγμένο οξείδια σιδήρου, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		K-XF-13	K-XF-14	K-XF-15	K-XF-16	K-XF
1	0,03	-215	-237	-244	-255	-238
2	0,07	-216	-242	-248	-267	-243
6	0,20	-223	-247	-246	-276	-248
13	0,43	-224	-246	-252	-267	-247
20	0,66	-227	-252	-229	-256	-241
27	0,89	-238	-258	-221	-248	-241
33	1,08	-246	-260	-220	-248	-244
40	1,31	-252	-262	-217	-248	-245
44	1,44	-266	-272	-222	-251	-253
49	1,61	-278	-284	-221	-259	-261
54	1,77	-282	-284	-222	-252	-260
57	1,87	-281	-295	-229	-257	-266
64	2,10	-291	-294	-227	-266	-270
70	2,30	-299	-296	-227	-277	-275
76	2,49	-310	-304	-225	-281	-280
83	2,72	-314	-297	-233	-287	-283
90	2,95	-319	-297	-232	-295	-286
97	3,18	-335	-302	-235	-291	-291
104	3,41	-345	-303	-232	-294	-294
110	3,61	-342	-313	-239	-299	-298
117	3,84	-350	-332	-237	-298	-304
119	3,90	-356	-334	-230	-311	-308
126	4,13	-355	-326	-245	-300	-307
133	4,36	-350	-326	-241	-298	-304
141	4,62	-341	-336	-240	-296	-303
152	4,98	-415	-322	-243	-290	-318
155	5,08	-418	-318	-254	-293	-321
162	5,31	-428	-324	-270	-295	-329
169	5,54	-434	-333	-289	-309	-341
177	5,80	-437	-341	-362	-300	-360
184	6,03	-442	-348	-409	-297	-374
190	6,23	-445	-343	-419	-306	-378
195	6,39	-441	-346	-438	-310	-384
198	6,49	-468	-347	-446	-305	-392
209	6,85	-487	-358	-455	-311	-403
215	7,05	-476	-364	-449	-313	-401
223	7,31	-480	-378	-457	-325	-410
230	7,54	-475	-381	-454	-326	-409
237	7,77	-481	-397	-445	-325	-412
245	8,03	-475	-381	-426	-322	-401

Πίνακας Π.16. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/A-S 42.5 και επικαλυμμένου με το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ, συναρτήσεϊ του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		K-XV-13	K-XV-14	K-XV-16	K-XV-16	K-XV
1	0,03	-209	-234	-221	-267	-233
2	0,07	-237	-245	-244	-289	-254
6	0,20	-254	-264	-259	-315	-273
13	0,43	-271	-267	-291	-345	-294
20	0,66	-299	-285	-327	-354	-316
27	0,89	-307	-311	-355	-368	-335
33	1,08	-301	-324	-389	-379	-348
40	1,31	-349	-354	-417	-388	-377
44	1,44	-383	-394	-339	-394	-378
49	1,61	-427	-414	-331	-401	-393
54	1,77	-451	-439	-414	-408	-428
57	1,87	-448	-432	-428	-406	-429
64	2,10	-480	-473	-405	-421	-445
70	2,30	-495	-488	-441	-420	-461
76	2,49	-505	-497	-462	-430	-474
83	2,72	-525	-516	-593	-466	-525
90	2,95	-537	-522	-599	-473	-533
97	3,18	-548	-518	-607	-515	-547
104	3,41	-552	-555	-610	-522	-560
110	3,61	-567	-527	-609	-531	-559
117	3,84	-571	-582	-607	-569	-582
119	3,90	-582	-529	-615	-547	-568
126	4,13	-598	-533	-613	-560	-576
133	4,36	-602	-524	-627	-571	-581
141	4,62	-599	-547	-636	-574	-589
152	4,98	-614	-560	-643	-562	-595
155	5,08	-629	-569	-654	-583	-609
162	5,31	-630	-571	-658	-598	-614
169	5,54	-635	-583	-661	-598	-619
177	5,80	-642	-625	-662	-589	-630
184	6,03	-642	-632	-662	-596	-633
190	6,23	-645	-645	-667	-603	-640
195	6,39	-648	-652	-670	-596	-642
198	6,49	-650	-657	-672	-594	-643
209	6,85	-652	-654	-670	-600	-644
215	7,05	-650	-670	-670	-589	-645
223	7,31	-653	-660	-672	-600	-646
230	7,54	-655	-665	-670	-598	-647
237	7,77	-652	-662	-671	-614	-650
245	8,03	-650	-654	-672	-623	-650

Πίνακας Π.17. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο TiO₂, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		P-AT- 13	P-AT- 14	P-AT- 15	P-AT- 16	P-AT
1	0,03	-257	-281	-221	-145	-226
6	0,20	-260	-265	-326	-252	-276
13	0,43	-264	-265	-338	-261	-282
20	0,66	-260	-258	-332	-277	-282
27	0,89	-266	-280	-336	-289	-293
33	1,08	-282	-304	-341	-298	-306
40	1,31	-277	-312	-348	-335	-318
44	1,44	-283	-325	-351	-342	-325
49	1,61	-320	-334	-343	-332	-332
54	1,77	-322	-349	-339	-330	-335
57	1,87	-324	-366	-341	-333	-341
64	2,10	-323	-369	-345	-335	-343
70	2,30	-329	-366	-362	-333	-348
76	2,49	-354	-383	-370	-398	-376
83	2,72	-367	-399	-380	-400	-387
90	2,95	-371	-410	-405	-404	-398
97	3,18	-384	-405	-405	-410	-401
104	3,41	-391	-407	-400	-410	-402
110	3,61	-405	-410	-410	-410	-409
117	3,84	-416	-421	-422	-412	-418
119	3,90	-419	-429	-440	-414	-426
126	4,13	-432	-437	-435	-424	-432
133	4,36	-439	-449	-424	-433	-436
141	4,62	-439	-450	-432	-443	-441
152	4,98	-442	-450	-455	-464	-453
155	5,08	-461	-449	-462	-482	-464
162	5,31	-471	-456	-510	-497	-484
169	5,54	-491	-465	-500	-522	-495
177	5,80	-528	-460	-482	-518	-497
184	6,03	-531	-470	-505	-520	-507
190	6,23	-528	-487	-526	-515	-514
195	6,39	-531	-489	-530	-525	-519
198	6,49	-526	-494	-500	-519	-510
209	6,85	-527	-496	-480	-529	-508
215	7,05	-521	-508	-475	-518	-506
223	7,31	-516	-505	-480	-510	-503
230	7,54	-518	-508	-500	-512	-510
237	7,77	-516	-507	-500	-508	-508
245	8,03	-506	-503	-505	-512	-507

Πίνακας Π.18. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και επικαλυμμένου με την ακρυλική διασπορά με πιγμέντο οξείδια σιδήρου, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		P-AF-13	P-AF-14	P-AF-15	P-AF-16	P-AF
1	0,03	-255	-238	-268	-256	-254
6	0,20	-283	-284	-284	-305	-289
13	0,43	-375	-382	-372	-388	-379
20	0,66	-464	-480	-467	-478	-472
27	0,89	-484	-506	-512	-501	-501
33	1,08	-530	-529	-522	-524	-526
40	1,31	-534	-534	-528	-526	-531
44	1,44	-537	-536	-539	-529	-535
49	1,61	-544	-543	-544	-533	-541
54	1,77	-554	-550	-558	-540	-551
57	1,87	-553	-550	-565	-550	-555
64	2,10	-558	-563	-563	-552	-559
70	2,30	-550	-589	-553	-579	-568
76	2,49	-559	-564	-592	-571	-572
83	2,72	-559	-571	-595	-570	-574
90	2,95	-558	-574	-594	-567	-573
97	3,18	-569	-579	-597	-568	-578
104	3,41	-570	-578	-594	-565	-577
110	3,61	-569	-579	-595	-565	-577
117	3,84	-569	-579	-597	-565	-578
119	3,90	-571	-579	-597	-567	-579
126	4,13	-575	-590	-603	-579	-587
133	4,36	-568	-586	-610	-587	-588
141	4,62	-570	-582	-618	-596	-592
152	4,98	-574	-589	-619	-609	-598
155	5,08	-583	-590	-616	-610	-600
162	5,31	-592	-591	-615	-603	-600
169	5,54	-599	-593	-618	-602	-603
177	5,80	-603	-598	-614	-605	-605
184	6,03	-617	-604	-621	-610	-613
190	6,23	-612	-619	-617	-602	-613
195	6,39	-615	-614	-614	-605	-612
198	6,49	-614	-594	-613	-605	-607
209	6,85	-611	-587	-610	-605	-603
215	7,05	-614	-585	-600	-604	-601
223	7,31	-615	-578	-599	-610	-601
230	7,54	-611	-587	-602	-604	-601
237	7,77	-603	-588	-606	-603	-600
245	8,03	-601	-591	-606	-601	-600

Πίνακας Π.19. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και επικαλυμμένου με το χλωριωμένο καουτσούκ και πιγμένο οξείδια σιδήρου, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		P-XF-13	P-XF-14	P-XF-15	P-XF-16	P-XF
1	0,03	-275	-255	-210	-275	-254
6	0,20	-311	-364	-321	-316	-328
13	0,43	-402	-451	-418	-417	-422
20	0,66	-505	-496	-515	-512	-507
27	0,89	-503	-510	-513	-516	-511
33	1,08	-508	-504	-523	-512	-512
40	1,31	-514	-509	-522	-514	-515
44	1,44	-510	-505	-527	-510	-513
49	1,61	-513	-512	-522	-515	-516
54	1,77	-515	-512	-527	-510	-516
57	1,87	-521	-515	-533	-515	-521
64	2,10	-520	-519	-521	-522	-521
70	2,30	-520	-526	-531	-511	-522
76	2,49	-518	-534	-539	-527	-530
83	2,72	-521	-537	-541	-529	-532
90	2,95	-524	-536	-542	-529	-533
97	3,18	-529	-545	-546	-530	-538
104	3,41	-530	-549	-549	-536	-541
110	3,61	-533	-540	-550	-538	-540
117	3,84	-537	-532	-553	-546	-542
119	3,90	-538	-545	-568	-547	-550
126	4,13	-541	-550	-576	-551	-555
133	4,36	-545	-555	-559	-558	-554
141	4,62	-548	-545	-561	-557	-553
152	4,98	-555	-550	-565	-550	-555
155	5,08	-553	-560	-572	-557	-561
162	5,31	-554	-566	-563	-558	-560
169	5,54	-556	-565	-564	-559	-561
177	5,80	-555	-560	-567	-552	-559
184	6,03	-560	-560	-567	-553	-560
190	6,23	-554	-568	-570	-557	-562
195	6,39	-551	-560	-564	-552	-557
198	6,49	-553	-565	-570	-558	-562
209	6,85	-549	-566	-569	-550	-559
215	7,05	-551	-575	-572	-552	-563
223	7,31	-550	-575	-572	-552	-562
230	7,54	-547	-572	-579	-550	-562
237	7,77	-551	-571	-571	-553	-562
245	8,03	-552	-578	-562	-555	-562

Πίνακας Π.20. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου οπλισμένου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και επικαλυμμένου με το βερνίκι χλωριωμένου καουτσούκ, συναρτήσεϊ του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		P-XV- 13	P-XV- 14	P-XV- 15	P-XV- 16	P-XV
1	0,03	-166	-233	-176	-218	-198
6	0,20	-286	-322	-279	-283	-293
13	0,43	-387	-388	-388	-392	-389
20	0,66	-402	-406	-450	-433	-423
26	0,85	-482	-459	-493	-451	-471
33	1,08	-506	-479	-487	-459	-483
37	1,21	-548	-507	-520	-467	-511
42	1,38	-554	-508	-532	-475	-517
47	1,54	-553	-522	-538	-484	-524
50	1,64	-556	-532	-549	-497	-534
57	1,87	-569	-550	-565	-505	-547
63	2,07	-568	-559	-570	-514	-553
69	2,26	-569	-566	-571	-536	-561
76	2,49	-568	-563	-573	-541	-561
83	2,72	-569	-568	-576	-551	-566
90	2,95	-565	-579	-579	-572	-574
97	3,18	-569	-586	-575	-583	-578
103	3,38	-565	-588	-577	-583	-578
110	3,61	-571	-589	-575	-584	-580
112	3,67	-572	-592	-572	-588	-581
119	3,90	-579	-594	-575	-591	-585
126	4,13	-586	-596	-571	-588	-585
134	4,39	-596	-591	-576	-586	-587
145	4,75	-592	-596	-570	-583	-585
148	4,85	-590	-598	-566	-582	-584
155	5,08	-586	-593	-560	-590	-582
162	5,31	-589	-596	-566	-584	-584
170	5,57	-588	-595	-562	-575	-580
177	5,80	-575	-593	-564	-571	-576
183	6,00	-576	-593	-566	-562	-574
188	6,16	-577	-595	-563	-565	-575
191	6,26	-576	-594	-564	-565	-575
202	6,62	-570	-591	-565	-573	-575
208	6,82	-572	-597	-561	-569	-575
216	7,08	-575	-594	-565	-579	-578
223	7,31	-574	-591	-569	-580	-579
230	7,54	-569	-592	-566	-575	-576
238	7,80	-578	-595	-575	-574	-581
245	8,03	-574	-589	-581	-571	-579

Πίνακας Π.21. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων S220 του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		S2-13	S2-14	S2-15	S2-16	S220
1	0,03	-349	-305	-377	-355	-347
8	0,26	-392	-381	-408	-401	-396
15	0,49	-457	-465	-484	-452	-465
22	0,72	-484	-499	-514	-478	-494
29	0,95	-558	-524	-533	-492	-527
37	1,21	-547	-538	-548	-508	-535
43	1,41	-558	-543	-561	-514	-544
50	1,64	-576	-555	-572	-528	-558
57	1,87	-598	-562	-589	-537	-572
64	2,10	-611	-576	-603	-545	-584
71	2,33	-620	-582	-597	-576	-594
92	3,02	-621	-551	-602	-530	-576
97	3,18	-615	-542	-605	-517	-570
104	3,41	-595	-545	-607	-498	-561
111	3,64	-595	-552	-612	-507	-567
118	3,87	-592	-555	-617	-512	-569
125	4,10	-599	-562	-621	-519	-575
132	4,33	-596	-566	-627	-525	-579
139	4,56	-597	-568	-626	-527	-580
146	4,79	-595	-571	-622	-532	-580
153	5,02	-596	-574	-621	-526	-579
160	5,25	-597	-576	-620	-521	-579
167	5,48	-601	-578	-617	-534	-583
174	5,70	-597	-582	-615	-546	-585
181	5,93	-603	-585	-614	-551	-588
188	6,16	-605	-583	-613	-567	-592
195	6,39	-604	-581	-610	-572	-592
202	6,62	-601	-584	-608	-577	-593
209	6,85	-599	-585	-612	-571	-592
214	7,02	-602	-585	-608	-569	-591
220	7,21	-600	-585	-605	-568	-590
230	7,54	-597	-586	-599	-567	-587
237	7,77	-604	-586	-607	-573	-593
244	8,00	-608	-588	-609	-578	-596
251	8,23	-612	-589	-611	-582	-599
258	8,46	-615	-578	-614	-585	-598
265	8,69	-613	-570	-615	-587	-596
272	8,92	-615	-576	-614	-591	-599
279	9,15	-614	-582	-612	-594	-601
286	9,38	-612	-585	-616	-599	-603
293	9,61	-615	-592	-615	-602	-606
300	9,84	-616	-594	-615	-607	-608
307	10,07	-618	-599	-614	-609	-610
314	10,30	-620	-600	-615	-612	-612
321	10,52	-618	-603	-612	-610	-611
328	10,75	-620	-610	-613	-608	-613
335	10,98	-612	-611	-611	-612	-612
342	11,21	-615	-610	-609	-614	-612
349	11,44	-617	-608	-610	-615	-613
356	11,67	-614	-609	-615	-617	-614
363	11,90	-618	-608	-610	-615	-613
370	12,13	-617	-607	-610	-616	-613

Πίνακας Π.22. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων S400 του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		S4-13	S4-14	S4-15	S4-16	S400
1	0,03	-91	-80	-92	-88	-88
8	0,26	-289	-297	-315	-302	-301
15	0,49	-382	-376	-402	-399	-390
22	0,72	-443	-428	-458	-461	-448
29	0,95	-487	-457	-489	-482	-479
37	1,21	-535	-524	-536	-534	-532
43	1,41	-547	-551	-545	-541	-546
50	1,64	-556	-557	-561	-551	-556
57	1,87	-569	-563	-577	-558	-567
64	2,10	-577	-570	-591	-569	-577
71	2,33	-580	-572	-594	-576	-581
92	3,02	-578	-574	-597	-579	-582
97	3,18	-580	-575	-602	-582	-585
104	3,41	-585	-574	-605	-586	-588
111	3,64	-587	-572	-606	-587	-588
118	3,87	-585	-574	-601	-585	-586
125	4,10	-582	-577	-603	-587	-587
132	4,33	-585	-580	-602	-584	-588
139	4,56	-582	-578	-599	-586	-586
146	4,79	-581	-579	-602	-587	-587
153	5,02	-584	-580	-600	-588	-588
160	5,25	-588	-578	-602	-590	-590
167	5,48	-586	-580	-603	-588	-589
174	5,70	-585	-575	-604	-587	-588
181	5,93	-583	-570	-603	-587	-586
188	6,16	-585	-572	-604	-590	-588
195	6,39	-586	-570	-605	-592	-588
202	6,62	-588	-571	-607	-594	-590
209	6,85	-587	-569	-605	-593	-589
214	7,02	-587	-568	-605	-594	-589
220	7,21	-586	-569	-602	-596	-588
230	7,54	-586	-567	-599	-597	-587
237	7,77	-585	-571	-600	-598	-589
244	8,00	-586	-570	-598	-597	-588
251	8,23	-587	-572	-601	-598	-590
258	8,46	-588	-573	-603	-598	-591
265	8,69	-588	-574	-601	-599	-591
272	8,92	-589	-575	-600	-600	-591
279	9,15	-590	-574	-598	-598	-590
286	9,38	-588	-576	-599	-597	-590
293	9,61	-585	-578	-602	-598	-591
300	9,84	-587	-578	-605	-595	-591
307	10,07	-589	-580	-602	-597	-592
314	10,30	-588	-582	-600	-596	-592
321	10,52	-589	-585	-598	-594	-592
328	10,75	-588	-587	-598	-591	-591
335	10,98	-587	-590	-601	-592	-593
342	11,21	-587	-587	-606	-594	-594
349	11,44	-590	-590	-601	-592	-593
356	11,67	-591	-592	-605	-597	-596
363	11,90	-594	-594	-606	-596	-598
370	12,13	-595	-597	-607	-595	-599

Πίνακας Π.23. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων S500s του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		S5-13	S5-14	S5-15	S5-16	S500s
1	0,03	-224	-257	-263	-244	-247
8	0,26	-345	-365	-391	-387	-372
15	0,49	-467	-482	-473	-459	-470
22	0,72	-536	-517	-516	-502	-518
29	0,95	-542	-520	-531	-509	-526
37	1,21	-550	-523	-543	-541	-539
43	1,41	-543	-537	-552	-543	-544
50	1,64	-542	-549	-559	-538	-547
57	1,87	-539	-556	-563	-534	-548
64	2,10	-525	-560	-566	-529	-545
71	2,33	-530	-563	-567	-549	-552
92	3,02	-534	-564	-565	-556	-555
97	3,18	-529	-566	-563	-570	-557
104	3,41	-523	-569	-563	-583	-560
111	3,64	-519	-571	-565	-585	-560
118	3,87	-514	-574	-562	-586	-559
125	4,10	-517	-578	-565	-587	-562
132	4,33	-515	-582	-561	-591	-562
139	4,56	-518	-586	-559	-593	-564
146	4,79	-515	-583	-558	-597	-563
153	5,02	-519	-584	-557	-596	-564
160	5,25	-523	-585	-558	-599	-566
167	5,48	-526	-582	-559	-601	-567
174	5,70	-528	-581	-556	-603	-567
181	5,93	-534	-579	-557	-600	-568
188	6,16	-539	-575	-559	-599	-568
195	6,39	-544	-572	-565	-603	-571
202	6,62	-552	-576	-564	-605	-574
209	6,85	-556	-577	-568	-602	-576
214	7,02	-561	-575	-573	-600	-577
220	7,21	-567	-576	-574	-604	-580
230	7,54	-575	-577	-575	-606	-583
237	7,77	-570	-580	-577	-602	-582
244	8,00	-574	-582	-573	-593	-581
251	8,23	-572	-578	-570	-588	-577
258	8,46	-567	-576	-568	-584	-574
265	8,69	-561	-575	-564	-575	-569
272	8,92	-562	-576	-564	-578	-570
279	9,15	-565	-578	-566	-577	-572
286	9,38	-568	-575	-569	-578	-573
293	9,61	-570	-572	-571	-580	-573
300	9,84	-569	-576	-570	-579	-574
307	10,07	-571	-577	-572	-577	-574
314	10,30	-574	-578	-569	-576	-574
321	10,52	-577	-577	-572	-577	-576
328	10,75	-578	-579	-571	-576	-576
335	10,98	-573	-570	-582	-575	-575
342	11,21	-572	-568	-576	-585	-575
349	11,44	-570	-570	-579	-580	-575
356	11,67	-575	-569	-582	-582	-577
363	11,90	-573	-570	-578	-582	-576
370	12,13	-572	-570	-575	-583	-575

Πίνακας Π.24. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και λεπτή κίσηρη συναρτήσε του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		SB-13	SB-14	SB-15	SB-16	SB
0	0,00	-267	-279	-260	-238	-261
7	0,23	-421	-432	-272	-445	-393
14	0,46	-426	-452	-279	-491	-412
20	0,66	-428	-482	-289	-496	-424
28	0,92	-432	-503	-319	-495	-437
34	1,11	-436	-505	-340	-499	-445
41	1,34	-447	-508	-360	-507	-456
47	1,54	-480	-545	-379	-557	-490
55	1,80	-509	-590	-396	-588	-521
61	2,00	-520	-573	-400	-573	-517
69	2,26	-544	-591	-450	-589	-544
76	2,49	-552	-589	-502	-587	-558
83	2,72	-563	-599	-512	-593	-567
90	2,95	-562	-590	-506	-591	-562
97	3,18	-569	-593	-502	-597	-565
104	3,41	-566	-592	-511	-597	-567
111	3,64	-573	-593	-514	-600	-570
118	3,87	-574	-596	-524	-605	-575
126	4,13	-574	-594	-520	-599	-572
132	4,33	-578	-600	-513	-604	-574
139	4,56	-577	-597	-530	-603	-577
146	4,79	-579	-597	-522	-603	-575
154	5,05	-570	-596	-513	-604	-571
161	5,28	-575	-598	-539	-607	-580
167	5,48	-583	-607	-540	-615	-586
174	5,70	-590	-603	-560	-617	-593
181	5,93	-588	-601	-570	-618	-594
189	6,20	-584	-599	-587	-609	-595
196	6,43	-588	-604	-584	-612	-597
203	6,66	-588	-606	-583	-614	-598
210	6,89	-591	-606	-590	-614	-600
216	7,08	-593	-617	-590	-613	-603
223	7,31	-592	-604	-589	-610	-599
230	7,54	-590	-608	-590	-613	-600
238	7,80	-599	-608	-599	-614	-605
240	7,87	-595	-598	-596	-603	-598
250	8,20	-593	-599	-598	-604	-599
260	8,52	-596	-595	-598	-607	-599
270	8,85	-594	-597	-599	-602	-598
280	9,18	-592	-594	-600	-608	-599
290	9,51	-591	-599	-598	-609	-599
300	9,84	-592	-600	-597	-609	-600
304	9,97	-594	-599	-591	-608	-598

Πίνακας Π.25. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και μεσαία κίσηρη συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		B-13	B-14	B-15	B-16	B
0	0,00	-231	-259	-254	-185	-232
7	0,23	-363	-347	-338	-349	-349
14	0,46	-467	-494	-480	-448	-472
20	0,66	-483	-493	-487	-484	-487
28	0,92	-501	-488	-491	-481	-490
34	1,11	-505	-491	-499	-485	-495
41	1,34	-509	-492	-495	-491	-497
47	1,54	-511	-500	-494	-495	-500
55	1,80	-549	-514	-489	-547	-525
61	2,00	-568	-558	-495	-572	-548
69	2,26	-581	-576	-520	-590	-567
76	2,49	-583	-574	-530	-592	-570
83	2,72	-586	-576	-558	-592	-578
90	2,95	-585	-573	-553	-594	-576
97	3,18	-586	-580	-575	-598	-585
104	3,41	-585	-578	-583	-600	-587
111	3,64	-573	-593	-584	-600	-588
118	3,87	-598	-588	-583	-608	-594
126	4,13	-593	-576	-580	-604	-588
132	4,33	-600	-580	-584	-610	-594
139	4,56	-599	-585	-587	-604	-594
146	4,79	-598	-588	-590	-608	-596
154	5,05	-596	-589	-593	-609	-597
161	5,28	-599	-584	-598	-612	-598
167	5,48	-605	-586	-607	-606	-601
174	5,70	-603	-592	-608	-608	-603
181	5,93	-600	-595	-609	-611	-604
189	6,20	-602	-599	-607	-615	-606
196	6,43	-603	-602	-610	-617	-608
203	6,66	-605	-612	-613	-620	-613
210	6,89	-596	-616	-613	-620	-611
216	7,08	-604	-617	-612	-620	-613
223	7,31	-599	-621	-605	-622	-612
230	7,54	-593	-627	-616	-623	-615
238	7,80	-597	-623	-614	-628	-616
240	7,87	-598	-622	-618	-632	-618
250	8,20	-597	-620	-615	-625	-614
260	8,52	-598	-621	-613	-620	-613
270	8,85	-600	-619	-614	-623	-614
280	9,18	-597	-620	-615	-619	-613
290	9,51	-598	-618	-616	-615	-612
300	9,84	-596	-615	-615	-609	-609
304	9,97	-599	-613	-617	-611	-610

Πίνακας Π.26. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και τον πρώτο συνδυασμό μεσαίας και χονδρής κίσηρης συναρτήσε του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		BG-13	BG-14	BG-15	BG-16	BG
0	0,00	-373	-380	-401	-386	-385
7	0,23	-474	-452	-474	-438	-460
14	0,46	-469	-462	-461	-425	-454
20	0,66	-474	-472	-461	-432	-460
28	0,92	-498	-488	-485	-493	-491
34	1,11	-538	-480	-527	-506	-513
41	1,34	-537	-488	-519	-496	-510
47	1,54	-551	-576	-519	-502	-537
55	1,80	-547	-577	-519	-510	-538
61	2,00	-550	-579	-525	-516	-543
69	2,26	-547	-580	-527	-533	-547
76	2,49	-552	-590	-532	-540	-554
83	2,72	-556	-590	-528	-544	-555
90	2,95	-560	-593	-533	-548	-559
97	3,18	-566	-594	-556	-546	-566
104	3,41	-563	-591	-559	-548	-565
111	3,64	-568	-592	-567	-552	-570
118	3,87	-568	-593	-571	-554	-572
126	4,13	-571	-594	-575	-555	-574
132	4,33	-573	-594	-577	-558	-576
139	4,56	-578	-599	-585	-560	-581
146	4,79	-583	-607	-593	-561	-586
154	5,05	-585	-607	-604	-560	-589
161	5,28	-584	-601	-608	-562	-589
167	5,48	-585	-603	-607	-563	-590
174	5,70	-588	-609	-614	-562	-593
181	5,93	-579	-596	-599	-566	-585
189	6,20	-588	-624	-626	-566	-601
196	6,43	-589	-620	-633	-560	-601
203	6,66	-591	-611	-629	-565	-599
210	6,89	-591	-616	-637	-564	-602
216	7,08	-592	-625	-632	-562	-603
223	7,31	-591	-621	-630	-561	-601
230	7,54	-592	-615	-632	-562	-600
238	7,80	-593	-616	-635	-565	-602
240	7,87	-592	-612	-632	-572	-602
250	8,20	-593	-615	-629	-575	-603
260	8,52	-595	-617	-627	-576	-604
270	8,85	-595	-612	-631	-582	-605
280	9,18	-597	-609	-627	-589	-606
290	9,51	-594	-605	-622	-592	-603
300	9,84	-594	-612	-620	-597	-606
304	9,97	-593	-610	-619	-596	-605

Πίνακας Π.27. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και τον δεύτερο συνδυασμό μεσαίας και χονδρής κίσηρης συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		BG2-13	BG2-14	BG2-15	BG2-16	BG2
0	0,00	-428	-400	-375	-407	-403
7	0,23	-496	-448	-483	-479	-477
14	0,46	-515	-449	-527	-479	-493
20	0,66	-496	-487	-511	-466	-490
28	0,92	-549	-490	-510	-491	-510
34	1,11	-595	-557	-596	-536	-571
41	1,34	-588	-547	-588	-534	-564
47	1,54	-592	-552	-598	-534	-569
55	1,80	-593	-550	-600	-532	-569
61	2,00	-594	-557	-603	-530	-571
69	2,26	-592	-554	-603	-530	-570
76	2,49	-596	-561	-607	-534	-575
83	2,72	-589	-554	-600	-537	-570
90	2,95	-590	-558	-583	-526	-564
97	3,18	-595	-562	-606	-572	-584
104	3,41	-587	-559	-600	-583	-582
111	3,64	-592	-565	-609	-586	-588
118	3,87	-578	-575	-605	-582	-585
126	4,13	-589	-583	-607	-581	-590
132	4,33	-585	-583	-604	-578	-588
139	4,56	-591	-591	-610	-583	-594
146	4,79	-594	-595	-617	-587	-598
154	5,05	-595	-590	-610	-585	-595
161	5,28	-599	-588	-611	-582	-595
167	5,48	-602	-586	-606	-578	-593
174	5,70	-605	-589	-614	-583	-598
181	5,93	-602	-593	-615	-593	-601
189	6,20	-607	-603	-613	-594	-604
196	6,43	-595	-601	-606	-597	-600
203	6,66	-589	-604	-603	-589	-596
210	6,89	-586	-602	-604	-585	-594
216	7,08	-583	-597	-607	-586	-593
223	7,31	-580	-587	-605	-583	-589
230	7,54	-585	-589	-610	-585	-592
238	7,80	-582	-591	-612	-591	-594
240	7,87	-584	-592	-615	-589	-595
250	8,20	-586	-591	-619	-588	-596
260	8,52	-588	-590	-622	-589	-597
270	8,85	-587	-588	-626	-585	-597
280	9,18	-588	-587	-621	-587	-596
290	9,51	-586	-585	-618	-586	-594
300	9,84	-585	-584	-609	-583	-590
304	9,97	-586	-585	-610	-584	-591

Πίνακας Π.28. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και τον τρίτο συνδυασμό μεσαίας και χονδρής κίσηρης συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		BG3-13	BG3-14	BG3-15	BG3-16	BG3
0	0,00	-400	-367	-387	-421	-394
7	0,23	-479	-473	-480	-476	-477
14	0,46	-491	-478	-495	-478	-486
20	0,66	-481	-458	-475	-451	-466
28	0,92	-502	-495	-501	-496	-499
34	1,11	-566	-538	-557	-542	-551
41	1,34	-554	-526	-545	-541	-542
47	1,54	-571	-537	-598	-547	-563
55	1,80	-577	-542	-590	-554	-566
61	2,00	-581	-540	-583	-554	-565
69	2,26	-577	-541	-581	-564	-566
76	2,49	-586	-548	-604	-571	-577
83	2,72	-581	-549	-608	-568	-577
90	2,95	-583	-545	-583	-570	-570
97	3,18	-590	-550	-590	-592	-581
104	3,41	-582	-551	-580	-583	-574
111	3,64	-589	-553	-587	-592	-580
118	3,87	-579	-553	-580	-568	-570
126	4,13	-589	-557	-602	-566	-579
132	4,33	-591	-556	-614	-576	-584
139	4,56	-595	-555	-611	-563	-581
146	4,79	-581	-552	-607	-561	-575
154	5,05	-583	-555	-602	-562	-576
161	5,28	-586	-549	-601	-557	-573
167	5,48	-592	-554	-597	-559	-576
174	5,70	-594	-559	-601	-550	-576
181	5,93	-591	-560	-596	-556	-576
189	6,20	-594	-559	-604	-547	-576
196	6,43	-577	-555	-576	-544	-563
203	6,66	-585	-543	-595	-548	-568
210	6,89	-589	-543	-601	-537	-568
216	7,08	-583	-558	-596	-548	-571
223	7,31	-589	-562	-610	-555	-579
230	7,54	-590	-566	-606	-562	-581
238	7,80	-588	-572	-603	-568	-583
240	7,87	-587	-575	-605	-562	-582
250	8,20	-586	-577	-601	-558	-581
260	8,52	-585	-584	-599	-552	-580
270	8,85	-586	-581	-597	-551	-579
280	9,18	-588	-576	-590	-550	-576
290	9,51	-586	-569	-589	-553	-574
300	9,84	-587	-559	-572	-555	-568
304	9,97	-586	-558	-570	-555	-567

Πίνακας Π.29. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, λεπτή κίσηρη και επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		SB-AT-13	SB-AT-14	SB-AT-15	SB-AT-16	SB-AT
0	0,00	-268	-201	-214	-200	-221
7	0,23	-283	-287	-218	-206	-249
14	0,46	-294	-297	-229	-227	-262
20	0,66	-303	-314	-249	-238	-276
28	0,92	-310	-311	-288	-245	-289
34	1,11	-339	-329	-300	-260	-307
41	1,34	-372	-350	-309	-263	-324
47	1,54	-389	-360	-321	-280	-338
55	1,80	-403	-370	-325	-290	-347
61	2,00	-409	-380	-329	-301	-355
69	2,26	-413	-389	-335	-333	-368
76	2,49	-418	-400	-340	-337	-374
83	2,72	-422	-410	-380	-341	-388
90	2,95	-427	-421	-382	-344	-394
97	3,18	-435	-426	-395	-355	-403
104	3,41	-442	-439	-392	-359	-408
111	3,64	-448	-441	-395	-363	-412
118	3,87	-453	-451	-399	-372	-419
126	4,13	-455	-458	-400	-380	-423
132	4,33	-452	-470	-413	-390	-431
139	4,56	-454	-481	-426	-400	-440
146	4,79	-459	-495	-450	-422	-457
154	5,05	-469	-494	-469	-439	-468
161	5,28	-478	-503	-484	-440	-476
167	5,48	-475	-513	-493	-468	-487
174	5,70	-480	-519	-493	-492	-496
181	5,93	-483	-521	-502	-518	-506
189	6,20	-478	-528	-503	-513	-506
196	6,43	-477	-531	-507	-516	-508
203	6,66	-480	-540	-505	-512	-509
210	6,89	-463	-545	-503	-518	-507
216	7,08	-476	-555	-510	-516	-514
223	7,31	-474	-542	-520	-517	-513
230	7,54	-476	-544	-531	-513	-516
238	7,80	-474	-543	-528	-517	-516
240	7,87	-476	-544	-525	-519	-516
250	8,20	-472	-549	-527	-520	-517
260	8,52	-477	-547	-529	-521	-519
270	8,85	-478	-548	-531	-518	-519
280	9,18	-480	-549	-530	-517	-519
290	9,51	-478	-551	-532	-516	-519
300	9,84	-477	-550	-529	-519	-519
304	9,97	-476	-522	-534	-518	-513

Πίνακας Π.30. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, μεσαία κίσηρη και επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		B-AT-13	B-AT-14	B-AT-15	B-AT-16	B-AT
0	0,00	-343	-305	-327	-345	-330
7	0,23	-380	-388	-401	-374	-386
14	0,46	-406	-403	-404	-371	-396
20	0,66	-409	-412	-405	-395	-405
28	0,92	-404	-403	-441	-423	-418
34	1,11	-454	-449	-465	-446	-454
41	1,34	-453	-456	-467	-435	-453
47	1,54	-482	-448	-467	-421	-455
55	1,80	-503	-466	-467	-431	-467
61	2,00	-500	-453	-481	-439	-468
69	2,26	-498	-456	-480	-440	-469
76	2,49	-495	-449	-492	-444	-470
83	2,72	-495	-464	-499	-442	-475
90	2,95	-496	-449	-498	-443	-472
97	3,18	-494	-450	-493	-444	-470
104	3,41	-493	-451	-494	-443	-470
111	3,64	-492	-445	-500	-442	-470
118	3,87	-495	-451	-521	-460	-482
126	4,13	-496	-459	-526	-464	-486
132	4,33	-498	-486	-526	-468	-495
139	4,56	-499	-507	-532	-483	-505
146	4,79	-501	-500	-536	-497	-509
154	5,05	-512	-509	-549	-498	-517
161	5,28	-521	-538	-565	-509	-533
167	5,48	-528	-544	-560	-516	-537
174	5,70	-567	-578	-586	-525	-564
181	5,93	-537	-546	-562	-554	-550
189	6,20	-549	-562	-571	-559	-560
196	6,43	-552	-564	-572	-561	-562
203	6,66	-547	-557	-568	-570	-561
210	6,89	-550	-554	-566	-570	-560
216	7,08	-532	-536	-549	-563	-545
223	7,31	-535	-548	-555	-565	-551
230	7,54	-537	-552	-561	-568	-555
238	7,80	-540	-561	-565	-572	-560
240	7,87	-542	-565	-567	-573	-562
250	8,20	-545	-569	-570	-578	-566
260	8,52	-548	-572	-573	-579	-568
270	8,85	-545	-588	-575	-581	-572
280	9,18	-543	-592	-579	-584	-575
290	9,51	-541	-596	-576	-586	-575
300	9,84	-540	-587	-571	-582	-570
304	9,97	-536	-582	-562	-579	-565

Πίνακας Π.31. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον πρώτο συνδυασμό μεσαίας και χονδρής κίσηρης και επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		BG-AT-13	BG-AT-14	BG-AT-15	BG-AT-16	BG-AT
0	0,00	-187	-181	-165	-180	-178
7	0,23	-314	-290	-194	-286	-271
14	0,46	-341	-303	-207	-317	-292
20	0,66	-350	-312	-223	-349	-309
28	0,92	-363	-386	-253	-369	-343
34	1,11	-429	-409	-270	-374	-371
41	1,34	-438	-410	-280	-400	-382
47	1,54	-450	-417	-281	-409	-389
55	1,80	-473	-425	-313	-425	-409
61	2,00	-474	-467	-347	-434	-431
69	2,26	-493	-480	-384	-438	-449
76	2,49	-515	-523	-407	-488	-483
83	2,72	-524	-536	-428	-502	-498
90	2,95	-536	-534	-451	-539	-515
97	3,18	-543	-533	-482	-537	-524
104	3,41	-542	-547	-489	-542	-530
111	3,64	-545	-549	-493	-547	-534
118	3,87	-548	-575	-496	-554	-543
126	4,13	-545	-569	-498	-550	-541
132	4,33	-546	-569	-501	-549	-541
139	4,56	-552	-569	-506	-549	-544
146	4,79	-552	-567	-508	-548	-544
154	5,05	-555	-574	-505	-555	-547
161	5,28	-558	-581	-509	-558	-552
167	5,48	-559	-577	-519	-563	-555
174	5,70	-569	-586	-531	-559	-561
181	5,93	-577	-590	-560	-580	-577
189	6,20	-567	-584	-546	-574	-568
196	6,43	-572	-587	-535	-573	-567
203	6,66	-571	-588	-527	-576	-566
210	6,89	-574	-592	-536	-572	-569
216	7,08	-570	-595	-553	-570	-572
223	7,31	-567	-602	-546	-584	-575
230	7,54	-572	-599	-540	-588	-575
238	7,80	-577	-588	-547	-592	-576
240	7,87	-581	-581	-552	-599	-578
250	8,20	-583	-585	-558	-607	-583
260	8,52	-589	-583	-562	-613	-587
270	8,85	-590	-582	-569	-603	-586
280	9,18	-592	-587	-578	-599	-589
290	9,51	-591	-585	-562	-592	-583
300	9,84	-592	-587	-558	-594	-583
304	9,97	-592	-585	-560	-592	-582

Πίνακας Π.32. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον δεύτερο συνδυασμό μεσαίας και χονδρής κίσηρης και επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE					BG2-AT
		13	14	15	16		
0	0,00	-137	-144	-181	-141	-151	
7	0,23	-207	-213	-273	-278	-243	
14	0,46	-251	-240	-286	-286	-266	
20	0,66	-262	-265	-296	-289	-278	
28	0,92	-295	-289	-308	-300	-298	
34	1,11	-339	-315	-346	-355	-339	
41	1,34	-349	-365	-393	-393	-375	
47	1,54	-352	-375	-451	-415	-398	
55	1,80	-355	-419	-465	-454	-423	
61	2,00	-378	-487	-454	-486	-451	
69	2,26	-402	-502	-461	-551	-479	
76	2,49	-445	-590	-458	-550	-511	
83	2,72	-488	-592	-472	-557	-527	
90	2,95	-504	-580	-468	-532	-521	
97	3,18	-512	-586	-475	-550	-531	
104	3,41	-506	-580	-479	-547	-528	
111	3,64	-520	-584	-485	-549	-535	
118	3,87	-508	-584	-488	-556	-534	
126	4,13	-517	-578	-487	-549	-533	
132	4,33	-520	-584	-493	-552	-537	
139	4,56	-523	-581	-496	-553	-538	
146	4,79	-526	-585	-500	-557	-542	
154	5,05	-531	-589	-514	-556	-548	
161	5,28	-529	-585	-518	-558	-548	
167	5,48	-530	-581	-521	-559	-548	
174	5,70	-535	-587	-526	-556	-551	
181	5,93	-539	-582	-531	-560	-553	
189	6,20	-532	-577	-537	-581	-557	
196	6,43	-522	-579	-541	-585	-557	
203	6,66	-540	-582	-545	-582	-562	
210	6,89	-541	-579	-548	-575	-561	
216	7,08	-543	-581	-555	-585	-566	
223	7,31	-546	-577	-560	-571	-564	
230	7,54	-552	-583	-562	-575	-568	
238	7,80	-559	-587	-569	-578	-573	
240	7,87	-555	-591	-578	-575	-575	
250	8,20	-568	-598	-584	-581	-583	
260	8,52	-571	-605	-592	-586	-589	
270	8,85	-570	-610	-605	-591	-594	
280	9,18	-572	-607	-601	-595	-594	
290	9,51	-568	-610	-595	-591	-591	
300	9,84	-565	-607	-588	-594	-589	
304	9,97	-568	-610	-590	-592	-590	

Πίνακας Π.33. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον τρίτο συνδυασμό μεσαίας και χονδρής κίσησης και επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE					BG3-AT
		13	14	15	16		
0	0,00	-167	-162	-159	-178	-167	
7	0,23	-199	-258	-217	-471	-286	
14	0,46	-205	-307	-236	-475	-306	
20	0,66	-229	-347	-323	-495	-349	
28	0,92	-240	-371	-353	-506	-368	
34	1,11	-266	-454	-373	-572	-416	
41	1,34	-294	-444	-361	-566	-416	
47	1,54	-307	-456	-362	-557	-421	
55	1,80	-315	-450	-365	-562	-423	
61	2,00	-333	-450	-369	-555	-427	
69	2,26	-334	-457	-398	-563	-438	
76	2,49	-342	-463	-419	-559	-446	
83	2,72	-352	-467	-437	-566	-456	
90	2,95	-361	-496	-461	-557	-469	
97	3,18	-373	-501	-482	-562	-480	
104	3,41	-385	-494	-491	-564	-484	
111	3,64	-392	-512	-501	-574	-495	
118	3,87	-399	-518	-503	-569	-497	
126	4,13	-412	-532	-504	-571	-505	
132	4,33	-420	-541	-505	-576	-511	
139	4,56	-439	-541	-505	-584	-517	
146	4,79	-450	-541	-508	-592	-523	
154	5,05	-462	-528	-503	-585	-520	
161	5,28	-475	-532	-509	-581	-524	
167	5,48	-481	-538	-515	-586	-530	
174	5,70	-491	-546	-506	-594	-534	
181	5,93	-500	-548	-505	-590	-536	
189	6,20	-509	-546	-503	-582	-535	
196	6,43	-510	-550	-511	-595	-542	
203	6,66	-520	-552	-515	-585	-543	
210	6,89	-529	-550	-519	-585	-546	
216	7,08	-541	-565	-524	-576	-552	
223	7,31	-546	-574	-537	-589	-562	
230	7,54	-549	-579	-552	-592	-568	
238	7,80	-550	-582	-568	-589	-572	
240	7,87	-556	-585	-572	-591	-576	
250	8,20	-559	-589	-575	-593	-579	
260	8,52	-560	-593	-580	-588	-580	
270	8,85	-561	-598	-581	-590	-583	
280	9,18	-559	-601	-582	-591	-583	
290	9,51	-560	-599	-580	-589	-582	
300	9,84	-560	-598	-581	-587	-582	
304	9,97	-562	-600	-582	-589	-583	

Πίνακας Π.34. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, λεπτή κίσηρη και LiF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		SB-LF-13	SB-LF-14	SB-LF-15	SB-LF-16	SB-LF
0	0,00	-278	-264	-264	-301	-277
7	0,23	-330	-300	-320	-343	-323
14	0,46	-350	-360	-325	-352	-347
20	0,66	-370	-370	-339	-368	-362
28	0,92	-380	-384	-351	-380	-374
34	1,11	-400	-400	-359	-394	-388
41	1,34	-410	-450	-362	-401	-406
47	1,54	-420	-460	-371	-410	-415
55	1,80	-430	-469	-377	-419	-424
61	2,00	-449	-465	-381	-439	-434
69	2,26	-453	-460	-384	-449	-437
76	2,49	-455	-469	-389	-459	-443
83	2,72	-471	-470	-393	-470	-451
90	2,95	-478	-477	-401	-490	-462
97	3,18	-492	-475	-438	-502	-477
104	3,41	-499	-481	-481	-525	-497
111	3,64	-500	-484	-491	-534	-502
118	3,87	-501	-491	-500	-545	-509
126	4,13	-504	-498	-520	-550	-518
132	4,33	-507	-495	-540	-570	-528
139	4,56	-517	-515	-542	-579	-538
146	4,79	-519	-525	-545	-596	-546
154	5,05	-520	-530	-552	-600	-551
161	5,28	-526	-549	-561	-601	-559
167	5,48	-529	-563	-565	-605	-566
174	5,70	-538	-573	-568	-602	-570
181	5,93	-541	-571	-569	-604	-571
189	6,20	-546	-575	-567	-601	-572
196	6,43	-547	-579	-566	-601	-573
203	6,66	-548	-573	-568	-602	-573
210	6,89	-542	-570	-566	-600	-570
216	7,08	-547	-569	-569	-600	-571
223	7,31	-549	-568	-568	-603	-572
230	7,54	-551	-570	-563	-602	-572
238	7,80	-553	-571	-562	-601	-572
240	7,87	-550	-570	-560	-600	-570
250	8,20	-555	-568	-564	-599	-572
260	8,52	-553	-567	-563	-603	-572
270	8,85	-555	-569	-562	-605	-573
280	9,18	-552	-571	-561	-603	-572
290	9,51	-551	-573	-560	-601	-571
300	9,84	-552	-575	-563	-602	-573
304	9,97	-553	-574	-564	-603	-574

Πίνακας Π.35. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, μεσαία κίσηρη και LiF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		B-LF-13	B-LF-14	B-LF-15	B-LF-16	B-LF
0	0,00	-346	-372	-305	-383	-352
7	0,23	-389	-373	-311	-359	-358
14	0,46	-383	-376	-381	-367	-377
20	0,66	-385	-401	-418	-378	-396
28	0,92	-403	-428	-433	-400	-416
34	1,11	-460	-450	-440	-420	-443
41	1,34	-483	-471	-489	-439	-471
47	1,54	-500	-515	-500	-468	-496
55	1,80	-554	-590	-587	-483	-554
61	2,00	-595	-591	-583	-509	-570
69	2,26	-593	-591	-581	-559	-581
76	2,49	-591	-593	-584	-564	-583
83	2,72	-588	-590	-578	-557	-578
90	2,95	-594	-588	-580	-584	-587
97	3,18	-597	-593	-588	-589	-592
104	3,41	-595	-590	-586	-579	-588
111	3,64	-601	-594	-594	-581	-593
118	3,87	-605	-594	-591	-581	-593
126	4,13	-602	-592	-588	-581	-591
132	4,33	-600	-589	-588	-580	-589
139	4,56	-603	-592	-593	-578	-592
146	4,79	-606	-597	-599	-584	-597
154	5,05	-595	-592	-594	-588	-592
161	5,28	-600	-587	-601	-594	-596
167	5,48	-617	-594	-598	-607	-604
174	5,70	-617	-590	-597	-605	-602
181	5,93	-612	-594	-598	-608	-603
189	6,20	-608	-592	-606	-602	-602
196	6,43	-626	-599	-610	-595	-608
203	6,66	-621	-611	-613	-603	-612
210	6,89	-630	-608	-615	-599	-613
216	7,08	-627	-604	-616	-600	-612
223	7,31	-630	-608	-615	-603	-614
230	7,54	-628	-603	-610	-601	-611
238	7,80	-623	-601	-614	-599	-609
240	7,87	-623	-599	-610	-599	-608
250	8,20	-619	-603	-606	-598	-607
260	8,52	-612	-598	-605	-596	-603
270	8,85	-615	-602	-601	-599	-604
280	9,18	-609	-595	-602	-598	-601
290	9,51	-610	-593	-599	-596	-600
300	9,84	-605	-595	-595	-595	-598
304	9,97	-590	-593	-594	-596	-593

Πίνακας Π.36. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		P-17	P-18	P-19	P-20	P
0	0,00	-245	-263	-281	-252	-260
7	0,23	-423	-450	-419	-383	-419
14	0,46	-436	-471	-425	-428	-440
21	0,69	-519	-509	-526	-537	-523
28	0,92	-541	-553	-545	-575	-554
33	1,08	-561	-577	-574	-583	-574
42	1,38	-565	-575	-572	-571	-571
47	1,54	-568	-578	-575	-569	-573
56	1,84	-569	-579	-578	-577	-576
63	2,07	-565	-583	-582	-576	-577
70	2,30	-569	-581	-574	-575	-575
81	2,66	-571	-577	-575	-579	-576
85	2,79	-574	-583	-571	-581	-577
92	3,02	-581	-573	-577	-583	-579
97	3,18	-586	-579	-567	-580	-578
105	3,44	-586	-582	-571	-579	-580
112	3,67	-587	-592	-582	-569	-583
119	3,90	-588	-590	-594	-577	-587
127	4,16	-592	-596	-596	-589	-593
137	4,49	-581	-597	-592	-593	-591
142	4,66	-588	-594	-598	-594	-594
148	4,85	-589	-591	-591	-595	-592
157	5,15	-595	-603	-595	-597	-598
166	5,44	-597	-609	-599	-599	-601
173	5,67	-599	-613	-602	-600	-604
180	5,90	-606	-614	-605	-601	-607
186	6,10	-605	-616	-607	-604	-608
198	6,49	-605	-628	-598	-603	-609
203	6,66	-604	-628	-590	-604	-607
209	6,85	-591	-625	-596	-609	-605
215	7,05	-600	-629	-599	-611	-610
223	7,31	-599	-629	-598	-604	-608
230	7,54	-601	-630	-592	-606	-607
236	7,74	-590	-628	-590	-607	-604
246	8,07	-585	-625	-595	-604	-602
253	8,30	-582	-627	-592	-601	-601
260	8,52	-583	-625	-594	-597	-600
267	8,75	-585	-627	-597	-591	-600
273	8,95	-580	-633	-596	-587	-599
280	9,18	-584	-631	-592	-582	-597
287	9,41	-589	-625	-594	-589	-599
294	9,64	-586	-622	-595	-595	-600
304	9,97	-582	-625	-594	-593	-599

Πίνακας Π.37. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και LiF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		LF-17	LF-18	LF-19	LF-20	LF
0	0,00	-243	-224	-228	-319	-254
7	0,23	-450	-383	-489	-523	-461
14	0,46	-471	-488	-510	-546	-504
21	0,69	-494	-539	-526	-559	-530
28	0,92	-493	-535	-525	-561	-529
33	1,08	-497	-543	-544	-561	-536
42	1,38	-505	-548	-542	-566	-540
47	1,54	-503	-559	-555	-566	-546
56	1,84	-499	-557	-565	-562	-546
63	2,07	-503	-556	-570	-565	-549
70	2,30	-506	-555	-574	-569	-551
81	2,66	-507	-559	-575	-571	-553
85	2,79	-504	-561	-579	-574	-555
92	3,02	-513	-561	-577	-581	-558
97	3,18	-509	-560	-577	-576	-556
105	3,44	-506	-563	-581	-576	-557
112	3,67	-502	-564	-592	-576	-559
119	3,90	-500	-568	-594	-578	-560
127	4,16	-496	-572	-596	-579	-561
137	4,49	-507	-573	-592	-581	-563
142	4,66	-514	-579	-598	-588	-570
148	4,85	-511	-571	-591	-581	-564
157	5,15	-523	-573	-595	-590	-570
166	5,44	-519	-567	-589	-587	-566
173	5,67	-523	-568	-605	-599	-574
180	5,90	-509	-555	-615	-606	-571
186	6,10	-516	-554	-607	-605	-571
198	6,49	-528	-553	-598	-605	-571
203	6,66	-528	-554	-590	-604	-569
209	6,85	-525	-569	-591	-591	-569
215	7,05	-535	-551	-584	-600	-568
223	7,31	-539	-544	-578	-599	-565
230	7,54	-530	-556	-572	-601	-565
236	7,74	-540	-557	-560	-590	-562
246	8,07	-535	-554	-555	-585	-557
253	8,30	-537	-551	-552	-582	-556
260	8,52	-542	-557	-554	-583	-559
267	8,75	-547	-561	-557	-585	-563
273	8,95	-543	-557	-556	-580	-559
280	9,18	-541	-562	-552	-575	-558
287	9,41	-545	-559	-554	-579	-559
294	9,64	-542	-555	-555	-575	-557
304	9,97	-545	-553	-554	-570	-556

Πίνακας 8.38. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και 1%LiF+2%NaNO₂ συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		17	18	19	20	LF ₁ +NN ₂
0	0,00	-220	-198	-202	-204	-206
7	0,23	-232	-249	-250	-255	-247
14	0,46	-292	-288	-279	-280	-285
21	0,69	-450	-520	-487	-485	-486
28	0,92	-480	-535	-501	-498	-504
33	1,08	-490	-543	-513	-516	-516
42	1,38	-521	-551	-537	-542	-538
47	1,54	-538	-558	-554	-566	-554
56	1,84	-542	-551	-545	-574	-553
63	2,07	-535	-555	-545	-571	-552
70	2,30	-531	-552	-544	-569	-549
81	2,66	-526	-562	-544	-572	-551
85	2,79	-545	-560	-540	-567	-553
92	3,02	-564	-573	-543	-548	-557
97	3,18	-570	-570	-542	-571	-563
105	3,44	-575	-567	-542	-572	-564
112	3,67	-572	-568	-543	-578	-565
119	3,90	-572	-565	-542	-576	-564
127	4,16	-578	-560	-540	-574	-563
137	4,49	-585	-562	-542	-574	-566
142	4,66	-580	-560	-541	-573	-564
148	4,85	-574	-560	-541	-573	-562
157	5,15	-592	-570	-550	-584	-574
166	5,44	-613	-577	-555	-599	-586
173	5,67	-607	-572	-550	-590	-580
180	5,90	-604	-569	-548	-588	-577
186	6,10	-603	-568	-545	-584	-575
198	6,49	-598	-564	-543	-578	-571
203	6,66	-604	-573	-547	-582	-577
209	6,85	-600	-571	-542	-579	-573
215	7,05	-596	-570	-538	-577	-570
223	7,31	-587	-565	-547	-578	-569
230	7,54	-573	-561	-552	-579	-566
236	7,74	-557	-559	-565	-579	-565
246	8,07	-567	-565	-560	-586	-570
253	8,30	-580	-560	-541	-573	-564
260	8,52	-572	-565	-551	-561	-562
267	8,75	-587	-565	-547	-578	-569
273	8,95	-583	-570	-552	-571	-569
280	9,18	-567	-565	-560	-586	-570
287	9,41	-581	-571	-568	-569	-572
294	9,64	-580	-560	-561	-573	-569
304	9,97	-581	-572	-573	-561	-572

Πίνακας 8.39. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και 1.5%LiF+2%NaNO₂ συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		17	18	19	20	LF _{1.5} +NN ₂
0	0,00	-209	-207	-216	-377	-252
7	0,23	-450	-500	-291	-455	-424
14	0,46	-481	-512	-378	-503	-469
21	0,69	-495	-519	-499	-509	-506
28	0,92	-501	-524	-521	-512	-515
33	1,08	-508	-527	-533	-515	-521
42	1,38	-515	-530	-550	-520	-529
47	1,54	-517	-552	-555	-520	-536
56	1,84	-513	-548	-556	-529	-537
63	2,07	-515	-535	-560	-525	-534
70	2,30	-520	-551	-562	-525	-540
81	2,66	-529	-553	-576	-525	-546
85	2,79	-528	-552	-571	-524	-544
92	3,02	-525	-526	-586	-505	-536
97	3,18	-526	-559	-572	-515	-543
105	3,44	-532	-564	-572	-520	-547
112	3,67	-536	-569	-573	-525	-551
119	3,90	-535	-568	-572	-532	-552
127	4,16	-544	-569	-571	-540	-556
137	4,49	-550	-576	-571	-548	-561
142	4,66	-552	-584	-572	-556	-566
148	4,85	-561	-584	-571	-566	-571
157	5,15	-566	-572	-581	-573	-573
166	5,44	-569	-578	-575	-586	-577
173	5,67	-575	-580	-580	-583	-580
180	5,90	-582	-575	-579	-580	-579
186	6,10	-580	-578	-578	-581	-579
198	6,49	-572	-567	-569	-570	-570
203	6,66	-575	-568	-571	-573	-572
209	6,85	-574	-567	-570	-571	-571
215	7,05	-572	-566	-569	-570	-569
223	7,31	-568	-563	-566	-563	-565
230	7,54	-565	-561	-563	-557	-562
236	7,74	-563	-558	-560	-552	-558
246	8,07	-566	-560	-569	-561	-564
253	8,30	-573	-562	-565	-567	-567
260	8,52	-572	-565	-568	-571	-569
267	8,75	-575	-568	-569	-575	-572
273	8,95	-583	-570	-572	-581	-577
280	9,18	-580	-572	-570	-578	-575
287	9,41	-581	-571	-568	-579	-575
294	9,64	-582	-570	-571	-575	-575
304	9,97	-581	-572	-573	-571	-574

Πίνακας 8.40. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και 1%LiF+5%NaNO₂ συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		17	18	19	20	LF ₁ +NN ₅
0	0,00	-211	-214	-216	-210	-213
7	0,23	-233	-253	-244	-256	-247
14	0,46	-316	-337	-328	-361	-336
21	0,69	-387	-372	-391	-385	-384
28	0,92	-421	-440	-434	-447	-436
33	1,08	-437	-449	-446	-451	-446
42	1,38	-448	-452	-459	-463	-456
47	1,54	-453	-458	-467	-468	-462
56	1,84	-461	-472	-475	-478	-472
63	2,07	-469	-478	-479	-483	-477
70	2,30	-481	-492	-485	-488	-487
81	2,66	-489	-503	-494	-504	-498
85	2,79	-506	-510	-502	-508	-507
92	3,02	-506	-508	-505	-510	-507
97	3,18	-504	-510	-511	-512	-509
105	3,44	-505	-512	-510	-514	-510
112	3,67	-511	-515	-512	-519	-514
119	3,90	-521	-517	-514	-520	-518
127	4,16	-526	-522	-527	-530	-526
137	4,49	-529	-530	-536	-539	-534
142	4,66	-535	-532	-544	-550	-540
148	4,85	-532	-535	-542	-552	-540
157	5,15	-535	-540	-547	-556	-545
166	5,44	-544	-543	-548	-552	-547
173	5,67	-542	-547	-553	-559	-550
180	5,90	-542	-550	-558	-560	-553
186	6,10	-541	-543	-550	-555	-547
198	6,49	-549	-553	-560	-552	-554
203	6,66	-544	-556	-554	-553	-552
209	6,85	-555	-555	-543	-550	-551
215	7,05	-557	-553	-542	-548	-550
223	7,31	-552	-550	-555	-540	-549
230	7,54	-547	-548	-548	-552	-549
236	7,74	-543	-542	-540	-554	-545
246	8,07	-538	-539	-542	-550	-542
253	8,30	-533	-532	-545	-547	-539
260	8,52	-532	-535	-548	-551	-542
267	8,75	-535	-538	-549	-555	-544
273	8,95	-543	-540	-542	-551	-544
280	9,18	-550	-532	-540	-548	-543
287	9,41	-551	-541	-548	-545	-546
294	9,64	-552	-540	-541	-545	-545
304	9,97	-551	-542	-543	-541	-544

Πίνακας 8.41. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και την επικάλυψη AF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		AF-17	AF-18	AF-19	AF-20	AF
0	0,00	-226	-200	-207	-199	-208
7	0,23	-296	-228	-268	-279	-268
14	0,46	-451	-226	-252	-444	-343
21	0,69	-495	-325	-295	-466	-395
28	0,92	-501	-484	-448	-488	-480
33	1,08	-502	-501	-468	-488	-490
42	1,38	-503	-499	-470	-502	-494
47	1,54	-504	-499	-472	-508	-496
56	1,84	-500	-497	-474	-510	-495
63	2,07	-504	-495	-476	-505	-495
70	2,30	-508	-493	-479	-501	-495
81	2,66	-509	-497	-480	-502	-497
85	2,79	-505	-492	-486	-510	-498
92	3,02	-507	-506	-492	-509	-504
97	3,18	-509	-505	-491	-506	-503
105	3,44	-507	-508	-492	-511	-505
112	3,67	-508	-502	-499	-506	-504
119	3,90	-502	-504	-499	-510	-504
127	4,16	-516	-506	-510	-515	-512
137	4,49	-519	-502	-511	-514	-512
142	4,66	-519	-504	-468	-515	-502
148	4,85	-520	-482	-471	-512	-496
157	5,15	-521	-493	-479	-511	-501
166	5,44	-508	-488	-483	-512	-498
173	5,67	-499	-483	-487	-507	-494
180	5,90	-497	-512	-511	-516	-509
186	6,10	-515	-480	-513	-510	-505
198	6,49	-530	-485	-516	-513	-511
203	6,66	-521	-490	-527	-514	-513
209	6,85	-511	-495	-519	-511	-509
215	7,05	-522	-499	-519	-516	-514
223	7,31	-511	-510	-530	-530	-520
230	7,54	-519	-506	-529	-536	-523
236	7,74	-509	-512	-530	-500	-513
246	8,07	-511	-517	-534	-501	-516
253	8,30	-515	-519	-532	-504	-518
260	8,52	-516	-521	-535	-507	-520
267	8,75	-517	-520	-534	-511	-521
273	8,95	-521	-522	-532	-510	-521
280	9,18	-525	-527	-536	-515	-526
287	9,41	-528	-530	-537	-518	-528
294	9,64	-531	-531	-539	-520	-530
304	9,97	-534	-535	-540	-522	-533

Πίνακας Π.42. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και την επικάλυψη XF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		XF-17	XF-18	XF-19	XF-20	XF
0	0,00	-276	-259	-222	-243	-250
7	0,23	-445	-437	-444	-443	-442
14	0,46	-504	-497	-500	-500	-500
21	0,69	-509	-504	-505	-518	-509
28	0,92	-516	-516	-515	-519	-517
33	1,08	-517	-521	-519	-513	-518
42	1,38	-506	-514	-519	-517	-514
47	1,54	-505	-503	-521	-524	-513
56	1,84	-502	-510	-487	-516	-504
63	2,07	-510	-503	-494	-513	-505
70	2,30	-516	-506	-501	-500	-506
81	2,66	-512	-506	-505	-504	-507
85	2,79	-494	-503	-497	-474	-492
92	3,02	-493	-503	-500	-484	-495
97	3,18	-486	-496	-501	-482	-491
105	3,44	-505	-489	-515	-493	-501
112	3,67	-499	-473	-507	-486	-491
119	3,90	-502	-467	-508	-484	-490
127	4,16	-504	-461	-509	-484	-490
137	4,49	-501	-458	-507	-478	-486
142	4,66	-513	-471	-512	-485	-495
148	4,85	-505	-464	-507	-487	-491
157	5,15	-534	-476	-517	-495	-506
166	5,44	-530	-471	-508	-485	-499
173	5,67	-525	-485	-520	-501	-508
180	5,90	-524	-490	-525	-506	-511
186	6,10	-523	-491	-526	-504	-511
198	6,49	-523	-493	-527	-501	-511
203	6,66	-521	-492	-527	-499	-510
209	6,85	-518	-490	-525	-500	-508
215	7,05	-516	-488	-523	-494	-505
223	7,31	-515	-487	-523	-481	-502
230	7,54	-520	-492	-528	-493	-508
236	7,74	-519	-490	-518	-492	-505
246	8,07	-520	-498	-521	-499	-510
253	8,30	-514	-502	-517	-505	-510
260	8,52	-511	-503	-514	-502	-508
267	8,75	-510	-505	-516	-503	-509
273	8,95	-508	-507	-515	-500	-508
280	9,18	-505	-504	-514	-502	-506
287	9,41	-502	-505	-512	-504	-506
294	9,64	-505	-506	-509	-503	-506
304	9,97	-503	-507	-510	-502	-506

Πίνακας Π.43. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, LiF και την επικάλυψη AF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		17	18	19	20	LF-AF
0	0,00	-222	-237	-205	-202	-217
7	0,23	-429	-438	-434	-484	-446
14	0,46	-450	-451	-439	-422	-441
21	0,69	-455	-464	-447	-428	-449
28	0,92	-461	-464	-452	-431	-452
33	1,08	-462	-465	-455	-436	-455
42	1,38	-473	-473	-481	-450	-469
47	1,54	-473	-475	-485	-452	-471
56	1,84	-462	-473	-449	-463	-462
63	2,07	-464	-476	-455	-450	-461
70	2,30	-465	-479	-459	-443	-462
81	2,66	-469	-480	-461	-452	-466
85	2,79	-472	-483	-454	-459	-467
92	3,02	-477	-487	-445	-459	-467
97	3,18	-478	-488	-446	-448	-465
105	3,44	-482	-482	-457	-449	-468
112	3,67	-476	-480	-452	-447	-464
119	3,90	-470	-480	-465	-450	-466
127	4,16	-472	-482	-467	-445	-467
137	4,49	-477	-489	-471	-459	-474
142	4,66	-474	-485	-475	-454	-472
148	4,85	-476	-481	-483	-440	-470
157	5,15	-475	-488	-487	-435	-471
166	5,44	-475	-489	-483	-450	-474
173	5,67	-477	-484	-488	-458	-477
180	5,90	-479	-488	-485	-445	-474
186	6,10	-470	-480	-481	-440	-468
198	6,49	-470	-482	-487	-445	-471
203	6,66	-475	-485	-483	-444	-472
209	6,85	-474	-484	-478	-460	-474
215	7,05	-472	-484	-472	-471	-475
223	7,31	-476	-482	-480	-455	-473
230	7,54	-479	-483	-475	-452	-472
236	7,74	-472	-489	-479	-460	-475
246	8,07	-474	-488	-482	-459	-476
253	8,30	-473	-482	-475	-457	-472
260	8,52	-472	-465	-478	-461	-469
267	8,75	-475	-468	-479	-465	-472
273	8,95	-483	-470	-472	-461	-472
280	9,18	-480	-472	-470	-468	-473
287	9,41	-481	-471	-468	-469	-472
294	9,64	-482	-470	-471	-465	-472
304	9,97	-481	-472	-473	-461	-472

Πίνακας Π.44. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, LiF και την επικάλυψη XF συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV) vs SCE				
		17	18	19	20	LF-XF
0	0,00	-281	-256	-255	-287	-270
7	0,23	-328	-338	-334	-344	-336
14	0,46	-351	-361	-348	-339	-350
21	0,69	-356	-364	-349	-345	-354
28	0,92	-371	-364	-352	-352	-360
33	1,08	-383	-365	-355	-366	-367
42	1,38	-404	-403	-412	-390	-402
47	1,54	-412	-415	-414	-412	-413
56	1,84	-425	-421	-434	-423	-426
63	2,07	-434	-426	-437	-450	-437
70	2,30	-441	-429	-449	-443	-441
81	2,66	-452	-431	-439	-451	-443
85	2,79	-453	-433	-432	-449	-442
92	3,02	-459	-437	-447	-439	-446
97	3,18	-448	-438	-448	-436	-443
105	3,44	-449	-432	-442	-437	-440
112	3,67	-447	-430	-446	-442	-441
119	3,90	-450	-431	-440	-445	-442
127	4,16	-445	-432	-442	-447	-442
137	4,49	-459	-439	-447	-441	-447
142	4,66	-454	-435	-444	-455	-447
148	4,85	-481	-436	-443	-450	-453
157	5,15	-488	-435	-447	-455	-456
166	5,44	-489	-435	-443	-460	-457
173	5,67	-484	-437	-448	-468	-459
180	5,90	-488	-439	-445	-461	-458
186	6,10	-480	-430	-441	-460	-453
198	6,49	-482	-432	-447	-445	-452
203	6,66	-485	-435	-443	-444	-452
209	6,85	-484	-434	-448	-450	-454
215	7,05	-484	-432	-442	-451	-452
223	7,31	-482	-436	-440	-455	-453
230	7,54	-483	-439	-445	-452	-455
236	7,74	-460	-442	-449	-452	-451
246	8,07	-459	-448	-442	-454	-451
253	8,30	-457	-442	-445	-453	-449
260	8,52	-461	-445	-448	-452	-452
267	8,75	-465	-448	-449	-455	-454
273	8,95	-461	-440	-442	-458	-450
280	9,18	-468	-442	-440	-462	-453
287	9,41	-469	-441	-448	-461	-455
294	9,64	-465	-440	-441	-462	-452
304	9,97	-461	-442	-443	-461	-452

Πίνακας Π.45. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 συναρτήσεως του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV)				
		P-17	P-18	P-19	P-20	P
1	0,03	-300	-253	-218	-205	-244
11	0,36	-360	-263	-258	-251	-283
26	0,85	-406	-364	-374	-369	-378
33	1,08	-465	-431	-441	-452	-447
41	1,34	-471	-459	-464	-487	-470
49	1,61	-484	-477	-481	-492	-484
56	1,84	-495	-483	-489	-502	-492
61	2,00	-520	-506	-507	-511	-511
69	2,26	-528	-515	-505	-512	-515
79	2,59	-544	-537	-543	-533	-539
88	2,89	-569	-560	-566	-558	-563
97	3,18	-574	-563	-563	-561	-565
106	3,48	-578	-569	-567	-565	-570
117	3,84	-580	-570	-577	-574	-575
126	4,13	-574	-565	-565	-567	-568
147	4,82	-578	-567	-574	-551	-568
161	5,28	-580	-571	-581	-557	-572
175	5,74	-585	-579	-590	-571	-581
182	5,97	-602	-597	-605	-583	-597
196	6,43	-604	-601	-594	-599	-600
211	6,92	-609	-604	-595	-602	-603
224	7,34	-612	-607	-589	-607	-604
238	7,80	-616	-610	-579	-612	-604
252	8,26	-614	-614	-580	-610	-605
264	8,66	-618	-611	-582	-608	-605
278	9,11	-610	-612	-580	-612	-604
293	9,61	-609	-613	-578	-604	-601
300	9,84	-608	-611	-580	-605	-601
307	10,07	-610	-610	-580	-605	-601

Πίνακας Π.46. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5 και την ανόργανη επικάλυψη συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV)				
		Υ-17	Υ-18	Υ-19	Υ-20	Υ
1	0,03	-131	-120	-112	-169	-133
11	0,36	-251	-249	-280	-258	-260
26	0,85	-329	-329	-346	-335	-335
33	1,08	-463	-478	-471	-468	-470
41	1,34	-480	-488	-497	-494	-490
49	1,61	-510	-511	-508	-525	-514
56	1,84	-526	-529	-532	-534	-530
61	2,00	-525	-534	-531	-535	-531
69	2,26	-547	-545	-577	-574	-561
79	2,59	-558	-553	-588	-589	-572
88	2,89	-570	-551	-599	-592	-578
97	3,18	-577	-555	-593	-589	-579
106	3,48	-572	-567	-591	-589	-580
117	3,84	-587	-573	-588	-586	-584
126	4,13	-581	-586	-589	-587	-586
147	4,82	-585	-591	-576	-588	-585
161	5,28	-583	-592	-577	-586	-585
175	5,74	-587	-593	-580	-583	-586
182	5,97	-593	-597	-592	-586	-592
196	6,43	-582	-594	-596	-587	-590
211	6,92	-589	-583	-591	-589	-588
224	7,34	-588	-582	-590	-586	-587
238	7,80	-597	-585	-596	-588	-592
252	8,26	-596	-580	-595	-595	-592
264	8,66	-597	-588	-593	-594	-593
278	9,11	-597	-587	-591	-593	-592
293	9,61	-596	-594	-593	-594	-594
300	9,84	-598	-597	-592	-597	-596
307	10,07	-599	-597	-593	-598	-597

Πίνακας Π.47. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον αναστολέα DI και την ανόργανη επικάλυψη συναρτήσσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV)				
		DIY-17	DIY-18	DIY-19	DIY-20	DIY
0	0,00	-133	-133	-139	-136	-135
5	0,16	-456	-143	-148	-151	-225
13	0,43	-467	-311	-367	-397	-386
23	0,75	-481	-470	-488	-464	-476
32	1,05	-480	-475	-478	-470	-476
41	1,34	-470	-468	-490	-481	-477
50	1,64	-464	-482	-477	-487	-478
61	2,00	-502	-507	-507	-518	-509
70	2,30	-521	-518	-510	-522	-518
81	2,66	-520	-522	-509	-523	-519
91	2,98	-523	-527	-511	-526	-522
105	3,44	-523	-523	-516	-525	-522
119	3,90	-536	-526	-518	-523	-526
127	4,16	-542	-522	-521	-522	-527
133	4,36	-544	-522	-527	-529	-531
140	4,59	-538	-523	-521	-537	-530
156	5,11	-536	-521	-525	-538	-530
168	5,51	-538	-527	-528	-537	-533
182	5,97	-541	-531	-532	-542	-537
196	6,43	-545	-532	-534	-548	-540
208	6,82	-546	-535	-535	-549	-541
222	7,28	-548	-534	-540	-540	-541
237	7,77	-550	-536	-541	-544	-543
251	8,23	-543	-542	-543	-542	-543
266	8,72	-548	-544	-547	-540	-545
280	9,18	-547	-545	-548	-549	-547
294	9,64	-545	-542	-550	-551	-547
300	9,84	-548	-544	-549	-554	-549
307	10,07	-547	-543	-548	-553	-548

Πίνακας Π.48. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον αναστολέα DO και την ανόργανη επικάλυψη συναρτήσσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV)				
		DOY-17	DOY-18	DOY-19	DOY-20	DOY
1	0,03	-315	-310	-285	-313	-306
11	0,36	-381	-413	-473	-517	-446
26	0,85	-449	-450	-492	-518	-477
33	1,08	-462	-426	-501	-521	-478
41	1,34	-490	-449	-513	-539	-498
49	1,61	-473	-446	-515	-544	-495
56	1,84	-481	-446	-506	-548	-495
61	2,00	-492	-463	-512	-553	-505
69	2,26	-506	-478	-514	-553	-513
79	2,59	-507	-487	-516	-559	-517
88	2,89	-506	-497	-523	-555	-520
97	3,18	-533	-517	-528	-580	-540
106	3,48	-528	-521	-539	-567	-539
117	3,84	-533	-524	-542	-559	-540
126	4,13	-559	-524	-543	-573	-550
147	4,82	-552	-529	-541	-562	-546
161	5,28	-548	-529	-547	-551	-544
175	5,74	-545	-536	-557	-573	-553
182	5,97	-545	-540	-560	-570	-554
196	6,43	-540	-542	-558	-574	-554
211	6,92	-544	-544	-562	-578	-557
224	7,34	-554	-559	-567	-575	-564
238	7,80	-561	-565	-573	-557	-564
252	8,26	-562	-568	-574	-563	-567
264	8,66	-565	-569	-575	-571	-570
278	9,11	-568	-570	-576	-574	-572
293	9,61	-572	-573	-580	-575	-575
300	9,84	-575	-574	-575	-577	-575
307	10,07	-574	-573	-575	-576	-575

Πίνακας Π.49. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32,5, τον αναστολέα FI και την ανόργανη επικάλυψη συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV)				
		FIY-17	FIY-18	FIY-19	FIY-20	FIY
1	0,03	-243	-247	-252	-247	-247
10	0,33	-495	-501	-453	-522	-493
17	0,56	-505	-516	-474	-468	-491
22	0,72	-511	-520	-494	-476	-500
30	0,98	-515	-522	-498	-492	-507
40	1,31	-520	-525	-509	-505	-515
49	1,61	-522	-529	-502	-506	-515
58	1,90	-524	-531	-505	-507	-517
67	2,20	-520	-530	-502	-507	-515
78	2,56	-516	-539	-501	-506	-516
87	2,85	-519	-536	-511	-517	-521
97	3,18	-521	-542	-512	-519	-524
107	3,51	-530	-543	-517	-517	-527
122	4,00	-554	-537	-513	-520	-531
136	4,46	-550	-545	-510	-519	-531
143	4,69	-551	-552	-517	-529	-537
157	5,15	-559	-545	-522	-527	-538
172	5,64	-562	-544	-512	-529	-537
184	6,03	-564	-547	-529	-535	-544
198	6,49	-566	-553	-534	-549	-551
212	6,95	-569	-559	-541	-556	-556
224	7,34	-575	-563	-549	-561	-562
238	7,80	-576	-564	-554	-564	-565
254	8,33	-579	-566	-560	-566	-568
267	8,75	-580	-571	-565	-561	-569
282	9,25	-585	-573	-568	-568	-574
293	9,61	-592	-580	-571	-569	-578
300	9,84	-595	-580	-576	-572	-581
307	10,07	-594	-581	-577	-572	-581

Πίνακας Π.50. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον αναστολέα FO και την ανόργανη επικάλυψη συναρτήσσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV)				
		FOY-17	FOY-18	FOY-19	FOY-20	FOY
1	0,03	-407	-355	-402	-414	-395
11	0,36	-518	-494	-518	-533	-516
26	0,85	-530	-533	-507	-531	-525
33	1,08	-529	-531	-535	-538	-533
41	1,34	-532	-535	-536	-534	-534
49	1,61	-534	-534	-535	-545	-537
56	1,84	-539	-540	-520	-555	-539
61	2,00	-545	-547	-531	-560	-546
69	2,26	-557	-555	-545	-561	-555
79	2,59	-560	-558	-549	-564	-558
88	2,89	-582	-571	-555	-579	-572
97	3,18	-566	-564	-547	-567	-561
106	3,48	-532	-559	-548	-552	-548
117	3,84	-529	-551	-535	-555	-543
126	4,13	-540	-570	-558	-584	-563
147	4,82	-545	-566	-564	-542	-554
161	5,28	-556	-552	-536	-547	-548
175	5,74	-555	-553	-536	-551	-549
182	5,97	-564	-552	-530	-557	-551
196	6,43	-589	-551	-532	-563	-559
211	6,92	-576	-551	-539	-568	-559
224	7,34	-582	-558	-536	-583	-565
238	7,80	-580	-560	-545	-590	-569
252	8,26	-579	-563	-567	-589	-575
264	8,66	-581	-581	-580	-593	-584
278	9,11	-583	-585	-587	-589	-586
293	9,61	-584	-591	-595	-595	-591
300	9,84	-585	-595	-592	-601	-593
307	10,07	-586	-597	-595	-600	-595

Πίνακας Π.51. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον αναστολέα MI και την ανόργανη επικάλυψη συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV)				
		MIY-17	MIY-18	MIY-19	MIY-20	MIY
0	0,00	-304	-316	-320	-336	-319
11	0,36	-350	-350	-337	-353	-348
26	0,85	-341	-355	-362	-388	-362
33	1,08	-403	-391	-415	-418	-407
41	1,34	-416	-425	-434	-442	-429
49	1,61	-420	-433	-448	-456	-439
56	1,84	-425	-435	-445	-459	-441
61	2,00	-424	-438	-445	-484	-448
69	2,26	-470	-488	-487	-499	-486
79	2,59	-491	-501	-507	-512	-503
88	2,89	-511	-523	-529	-534	-524
97	3,18	-510	-551	-560	-574	-549
106	3,48	-531	-560	-579	-593	-566
117	3,84	-585	-602	-605	-604	-599
126	4,13	-602	-604	-605	-610	-605
146	4,79	-602	-610	-612	-614	-610
161	5,28	-601	-606	-607	-605	-605
175	5,74	-605	-606	-616	-618	-611
182	5,97	-595	-607	-610	-612	-606
196	6,43	-597	-608	-612	-616	-608
211	6,92	-597	-608	-611	-614	-608
224	7,34	-598	-611	-612	-615	-609
238	7,80	-598	-612	-613	-619	-611
252	8,26	-602	-612	-614	-620	-612
264	8,66	-601	-605	-614	-622	-611
278	9,11	-604	-611	-615	-621	-613
293	9,61	-608	-612	-616	-624	-615
300	9,84	-610	-612	-615	-622	-615
307	10,07	-608	-610	-612	-620	-613

Πίνακας Π.52. Δυναμικό διάβρωσης των χαλύβων του δοκιμίου κισσηροκονιάματος με τσιμέντο CEM II/B-M 32.5, τον αναστολέα MI και την ανόργανη επικάλυψη συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στο περιβάλλον μερικής εμβάπτισης σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl.

Χρόνος (Ημέρες)	Χρόνος (Μήνες)	Δυναμικό Διάβρωσης (mV)				
		ΜΟΥ-17	ΜΟΥ-18	ΜΟΥ-19	ΜΟΥ-20	ΜΟΥ
0	0,00	-94	-105	-140	-146	-121
11	0,36	-250	-250	-237	-253	-248
26	0,85	-341	-345	-341	-338	-341
33	1,08	-353	-357	-345	-348	-351
41	1,34	-376	-395	-374	-372	-379
49	1,61	-420	-413	-428	-416	-419
56	1,84	-435	-435	-435	-439	-436
61	2,00	-484	-465	-485	-484	-480
69	2,26	-490	-504	-487	-499	-495
79	2,59	-501	-521	-509	-506	-509
88	2,89	-521	-533	-529	-534	-529
97	3,18	-542	-551	-544	-554	-548
106	3,48	-581	-590	-579	-583	-583
117	3,84	-609	-607	-617	-612	-611
126	4,13	-612	-611	-621	-617	-615
146	4,79	-610	-615	-619	-624	-617
161	5,28	-615	-617	-617	-622	-618
175	5,74	-615	-623	-616	-628	-621
182	5,97	-618	-622	-620	-630	-623
196	6,43	-617	-620	-618	-626	-620
211	6,92	-619	-624	-619	-624	-622
224	7,34	-620	-627	-622	-625	-624
238	7,80	-620	-631	-623	-629	-626
252	8,26	-622	-635	-622	-630	-627
264	8,66	-624	-632	-624	-632	-628
278	9,11	-624	-631	-625	-631	-628
293	9,61	-628	-620	-626	-634	-627
300	9,84	-629	-625	-627	-631	-628
307	10,07	-628	-626	-626	-630	-628