



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)

**"ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ"**

**ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ  
ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ ΜΕ ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ  
ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ ΣΕ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ  
ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΟΛΓΑΣ Θ. ΝΤΗΛΙΑ**

Διπλωματούχου Πολιτικού Μηχανικού Ε.Μ.Π.

**ΕΠΙΒΛΕΨΗ:**  
Γ. ΜΠΑΤΗΣ  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**ΑΘΗΝΑ, Ιούλιος 2013**



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)

**"ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ"**

**ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ**  
**ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ ΜΕ ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ**  
**ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ ΣΕ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ**  
**ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΟΛΓΑΣ Θ. ΝΤΗΛΙΑ**

Διπλωματούχου Πολιτικού Μηχανικού Ε.Μ.Π.

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

Γ. ΜΠΑΤΗΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Σ. ΤΣΙΒΙΛΗΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ε. ΜΠΑΔΟΓΙΑΝΝΗΣ, Λέκτορας Ε.Μ.Π.

**ΑΘΗΝΑ, Ιούλιος 2013**

## **Ευχαριστίες**

Η παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη εκπονήθηκε στη σχολή Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Γ. Μπατή. Θα ήθελα λοιπόν, να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Μπατή για την καθοδήγηση και την υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια διεκπεραίωσης της παρούσας μεταπτυχιακής. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στην υποψήφια διδάκτωρ κ. Ζαφειροπούλου για την πολύτιμη βοήθεια της τόσο κατά την εκτέλεση του πειραματικού μέρους όσο και κατά τη συγγραφή της εργασίας. Τέλος ευχαριστώ από καρδιάς την οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση και κατανόηση που έδειξαν όλο αυτό το διάστημα.

## Περίληψη

Η προστασία του οπλισμού του σκυροδέματος από τη διάβρωση επιτακτική ανάγκη τόσο για νέες όσο και για υφιστάμενες κατασκευές και ο πλέον συνηθισμένος και οικονομικός τρόπος είναι η χρήση οργανικών επικαλύψεων στην εξωτερική επιφάνεια του σκυροδέματος. Εκτός από τις συμβατικές ακρυλικές διασπορές με αποδεδειγμένη αποτελεσματικότητα, οι ακρυλικές διασπορές νανοτεχνολογίας αποτελούν νέα συστήματα επικαλύψεων τα οποία έχουν ήδη αρχίσει να χρησιμοποιούνται εκτενώς εξαιτίας των ιδιαίτερων ιδιοτήτων τους που περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων προστατευτική επίδραση σε επιθετικά περιβάλλοντα, αντιμικροβιακές ιδιότητες, ανακλαστική ικανότητα στο φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας, αντοχή σε συχνό πλύσιμο.

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται βιομηχανικά χρώματα ειδικών εφαρμογών και ακρυλικές διασπορές τόσο συμβατικές όσο και νανοτεχνολογίας με σκοπό την αξιολόγηση του βαθμού προστασίας που προσφέρουν στον οπλισμό όταν το σκυρόδεμα εκτίθεται σε εναλλασσόμενους κύκλους ύγρυνσης –ξήρανσης. Οι διαβρωτικές συνθήκες επιτεύχθηκαν με παραμονή των δοκιμίων σε δ/μα NaCl 3,5% κ.β για διάστημα 24h και έπειτα ξήρανσής τους στον αέρα για 24h. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω οργανικές επικαλύψεις:

- Εποξειδικό χρώμα
- Χρώμα πολυουρεθάνης
- Ακρυλική διασπορά
- Ακρυλική διασπορά με ελαστομερικές ρητίνες
- Ακρυλική διασπορά νανοτεχνολογίας
- Σιλοξανική ακρυλική διασπορά νανοτεχνολογίας

Για την αποτίμηση της διάβρωσης πραγματοποιήθηκαν ηλεκτροχημικές μετρήσεις που περιλαμβάνουν: α) Μέτρηση του ελεύθερου δυναμικού διάβρωσης, β) Μέτρηση του ρεύματος διάβρωσης με την τεχνική της γραμμικής πόλωσης και γ) Μέτρηση της αντίστασης του σκυροδέματος με Φασματοσκοπία εμπέδησης. Προσδιορίστηκε επίσης η απώλεια μάζας των οπλισμών με θραύση των δοκιμίων μετά την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας.

Από τα μέχρι τώρα αποτελέσματα φαίνεται ότι οι εξεταζόμενες επικαλύψεις μπορούν επιτυχώς να προστατεύσουν τον οπλισμό του σκυροδέματος όταν αυτό εκτίθεται σε περιβάλλον χλωριόντων, αλλά σε διαφορετικό βαθμό, γεγονός που οφείλεται στις ιδιότητες και στη σύσταση της κάθε επικάλυψης.

## Abstract

Steel reinforcement protection from corrosion is an urgent need for both new and pre-existing structures. Organic coatings applied on concrete's surface are one of the most widely used methods for rebars' corrosion control due to their economic cost and their effectiveness. Apart from conventional acrylic emulsions with proven efficacy, nanotechnology acrylic coatings are new systems which are already used extensively because of the particular properties which include a protective effect in aggressive environments, antimicrobial properties, reflecting ability of the solar spectrum radiation, resistance to frequent washing.

In the present study a cumulative in depth comparison of industrial coatings and acrylic dispersions both conventional and nanotechnology-based is performed, to assess the degree of protection offered to steel reinforcement when the concrete is exposed to dry-wet cycles. The corrosive conditions achieved with the immersion of the specimens in 3.5 wt% NaCl solution for a period of 24h and then drying them in air for 24h. Specifically the following organic coatings were used:

- Epoxy paint
- Polyurethane paint
- Acrylic emulsions
- Elastomeric paint
- Nanotechnology acrylic coating
- Nanotechnology silane/siloxane coating

The performance against corrosion by chloride ions is evaluated via electrochemical techniques such as: a) Half-cell potential measurements, b) Linear Polarization Technique and c) Electrochemical Impedance Spectroscopy. The mass loss of steel reinforcement was also determined with the breakage of the samples after the completion of the experimental procedure. Finally, pull-off test of coatings was performed and before and after the exposure of the specimens in the corrosive environment.

From the results, it appears that the tested coatings can successfully protect the reinforcement of concrete when exposed to chloride environment, but to varying degrees, due to the properties and composition of each coating.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|   |    |
|---|----|
| 1. ΔΙΑΒΡΩΣΗ .....   | 4  |
| 1.1 Εισαγωγή .....  | 4  |
| 1.2 Ορισμός της διάβρωσης.....  | 4  |
| 1.3 Οικονομικό κόστος διάβρωσης.....                                      | 5  |
| 1.4 Είδη διάβρωσης.....   | 7  |
| 1.4.1 Είδη Διάβρωσης ανάλογα με τα αίτια που την προκαλούν .....          | 7  |
| 1.4.2 Είδη διάβρωσης ανάλογα με τη μορφή εμφάνισης. ....                  | 8  |
| 1.5 Παράγοντες που επιδρούν στη διάβρωση.....                             | 14 |
| 2. ΤΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ .....   | 17 |
| 2.1 Ορισμός του σκυροδέματος.....   | 17 |
| 2.2.1 Αδρανή υλικά .....  | 17 |
| 2.2.2 Νερό ανάμιξης.....  | 18 |
| 2.2.3 Βελτιωτικά ή χημικά πρόσμικτα (admixtures) .....                    | 19 |
| 2.3 Χάλυβας Οπλισμού .....  | 20 |
| 2.3.1 Γενικά.....   | 20 |
| 2.3.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά και Λειτουργικές Ιδιότητες.....              | 21 |
| 2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διάβρωση του οπλισμού στο σκυρόδεμα..... | 22 |
| 2.4.1 Το είδος και η δομή του σκυροδέματος .....                          | 22 |
| 2.4.2 Το πάχος επικάλυψης του οπλισμού από το σκυρόδεμα.....              | 23 |
| 2.4.3 Η παρουσία νερού στο σκυρόδεμα.....                                 | 23 |
| 2.4.4 Η ύπαρξη ρωγμών στο σκυρόδεμα.....                                  | 25 |
| 2.4.5 Διάβρωση του οπλισμού σε σκυρόδεμα με χλωριόντα.....                | 27 |
| 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ .....   | 31 |
| 3.1 Επικαλύψεις .....   | 33 |
| 3.2 Οργανικές επικαλύψεις.....  | 34 |
| 3.3 Τύποι οργανικών επικαλύψεων ανάλογα με το συνδετικό μέσο.....         | 35 |
| 3.3.1 Αλκυδικά χρώματα .....  | 35 |
| 3.3.2 Βινυλικά χρώματα .....  | 37 |
| 3.3.2.1 Βινυλικού εστέρα .....  | 38 |
| 3.3.3 Χλωριωμένου καουτσούκ .....   | 39 |
| 3.3.4 Ακρυλικά χρώματα .....  | 40 |
| 3.3.5 Εποξειδικά χρώματα .....  | 40 |

|   |    |
|---|----|
| 3.3.6 Πολυουρεθανικά .....  | 43 |
| 3.3.7 Πολυεστερικά .....  | 44 |
| 3.3.8 Υδατικές Διασπορές .....  | 45 |
| 3.3.8.1 Συμπολυμερή οξεικού πολυβινυλεστέρα (PVA) .....   | 46 |
| 3.3.9 Πιγμέντα .....  | 47 |
| 3.3.9.1 Αστάρια Ψευδαργύρου .....   | 48 |
| 3.3.9.1.1 Αστάρια Ενώσεων Ψευδαργύρου .....   | 49 |
| 3.3.9.1.2 Αστάρια Ανόργανου Ψευδαργύρου .....   | 49 |
| 3.3.10 Άλλα .....   | 50 |
| 3.3.11 Ιδιόμορφοι τρόποι σχηματισμού υμένα .....  | 51 |
| 3.3.12 Επικαλύψεις νανοτεχνολογίας .....  | 52 |
| 3.4 Αστοχία Χρώματος .....  | 53 |
| 3.4.1 Προβλήματα Και Αστοχίες Κατά Την Εφαρμογή .....   | 53 |
| 3.4.2 Προβλήματα Κατά Την Αντίδραση Ή Ξήρανση .....   | 56 |
| 3.4.3 Προβλήματα Και Αστοχίες Μετά Την Εφαρμογή .....   | 56 |
| ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....   | 60 |
| 4. ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ- ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....  | 60 |
| 4.1 Σκοπός .....  | 60 |
| 4.2 Πρώτες Ύλες .....   | 61 |
| 4.2.1 Οπλισμένα Τσιμεντοκονιάματα .....   | 61 |
| 4.3 Πειραματική Διαδικασία .....  | 66 |
| 4.3.1 Περιγραφή Πειράματος .....  | 66 |
| 5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ .....  | 72 |
| 5.1 Χρονική καταγραφή ελεύθερου δυναμικού διάβρωσης χάλυβα .....  | 72 |
| 5.2 Γραμμική Πόλωση -Linear Polarization Technique, LPR .....   | 73 |
| 5.3 Ηλεκτροχημική φασματοσκοπία σύνθετης αντίστασης - Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS ..... | 74 |
| 5.4 Προσδιορισμός της πρόσφυσης μέσω της ελάχιστης εφελκυστικής τάσης αποκόλλησης (Pull of test) .....  | 75 |
| 5.5 Προσδιορισμός απώλειας μάζας .....  | 76 |
| 6. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....  | 78 |
| 6.1 Μετρήσεις Δυναμικού Διάβρωσης .....   | 78 |
| 6.2 Τεχνική Γραμμικής Πόλωσης- Linear Polarization Technique, LPR .....                                 | 86 |
| 6.3 Φασματοσκοπία σύνθετης αντίστασης- Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS .....                | 91 |

|  |     |
|--|-----|
| 6.4 Προσδιορισμός της πρόσφυσης μέσω της ελάχιστης εφελκυστικής τάσης αποκόλλησης (Pull of test) ..... | 97  |
| 6.5 Μετρήσεις Απώλειας βάρους .....  | 98  |
| 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....  | 100 |
| 8. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....  | 100 |
| 9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....  | 103 |



# ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

## 1. ΔΙΑΒΡΩΣΗ

### 1.1 Εισαγωγή

Τα καλύτερα υλικά με τις άριστες μηχανικές ιδιότητες είναι μικρής χρησιμότητας αν η διάρκεια της ζωής τους σε συνθήκες για συγκεκριμένη χρήση δεν είναι ικανοποιητική.

Η αυξητική τάση στη χρήση των μετάλλων/κραμάτων σε πολλούς τομείς της τεχνολογίας, ακόμα και για ειδικές εφαρμογές, απαιτεί τον ιδιαίτερο σχεδιασμό τους ώστε να παρέχουν συγκεκριμένες ιδιότητες, με έμφαση στη προστασία τους από τη φθορά.

Η “φθορά” των μεταλλικών κατασκευών είναι αποτέλεσμα του φαινομένου της διάβρωσης που κύρια χαρακτηριστικά του είναι η πολυπλοκότητα, η απρόβλεπτη φύση του, ο τοποχημικός και τοποχρονικός χαρακτήρας του, η ευαισθησία του σε διάφορες συνθήκες και στην εναλλαγή τους, η ποικιλία των μορφών του που, μαζί με την ποικιλία των μεθόδων προστασίας που υπάρχουν και με την ποικιλία των συνθηκών εφαρμογής τους, καθιστούν κάθε περίπτωση διάβρωσης ιδιαίτερο πρόβλημα. (Ν.Κουλουμπή, 2010)

Η διαδικασία με την οποία θα αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της διάβρωσης θα πρέπει να συνδυάζει την απαίτηση για ελάττωση του κόστους με αυτή της βελτίωσης της ασφάλειας των μεταλλικών κατασκευών, του βιομηχανικού εξοπλισμού και της προστασίας των πλουτοπαραγωγικών πηγών.

### 1.2 Ορισμός της διάβρωσης

Στον όρο “διάβρωση” αποδίδονται διάφοροι ορισμοί, είτε σαν συναφή έκφραση της Επιστήμης της Διάβρωσης (Corrosion Science) που διάβρωση θεωρείται η αντίδραση ενός στερεού με το περιβάλλον του, είτε ως συναφή έκφραση της Μηχανικής της Διάβρωσης (Corrosion Engineering): «Διάβρωση είναι η αλληλεπίδραση ενός μετάλλου με το περιβάλλον του, που έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή των ιδιοτήτων του μετάλλου και που συχνά μπορεί να καταλήξει στην

υποβάθμιση της λειτουργίας του μετάλλου, του περιβάλλοντος ή του τεχνικού συστήματος, που αυτά αποτελούν τμήμα του» (ISO8044-99), (N.Κουλουμπή, 2010)

Ο όρος «διάβρωση» αφορά τη διεργασία και όχι το αποτέλεσμα, που είναι η «βλάβη από διάβρωση», η φθορά, η ζημιά. Με την έννοια της διάβρωσης, ως διεργασία είναι συνυφασμένη η ταχύτητα της διαβρωτικής δράσης, της προκαλούμενης φθοράς και η έκταση και η φύση της φθοράς σε σχέση με τη λειτουργία του σχετικού συστήματος.

Ως επιφάνεια που διαβρώνεται δεν εννοείται μόνο η γεωμετρική επιφάνεια, αλλά η πραγματική επιφάνεια, δηλαδή η γεωμετρική που σε αυτή ανήκουν και οι επιφανειακές ανωμαλίες, πόροι, ενεργά κέντρα και οι ενεργοί δρόμοι από αταξίες δομής. Τονίζεται ότι μόνο αυτή η επιφάνεια είναι έδρα των φαινομένων της διάβρωσης και όχι όλη η μάζα του σώματος που παθαίνει διάβρωση.

Θα πρέπει επίσης να διευκρινιστεί ότι η απώλεια υλικού ως συνέπεια της διάβρωσης δεν σημαίνει πάντα ότι το βάρος του σώματος ελαττώνεται. Αντίθετα υπάρχουν περιπτώσεις όπου ο σχηματισμός στην επιφάνεια ενώσεων με έντονη πρόσφυση σε αυτή, έχει ως συνέπεια την αύξηση του βάρους του υλικού. Ως απώλεια υλικού εννοείται η απώλεια ως προς την αρχική του μορφή. (Σκουλικίδης, 2000)

### **1.3 Οικονομικό κόστος διάβρωσης**

Η σημασία της διάβρωσης είναι μεγάλη και καθορίζεται από τις συνέπειές της στην οικονομία των χωρών. Συχνά παραδείγματα διάβρωσης είναι η διάβρωση οπλισμένου σκυροδέματος σε γέφυρες και αυτοκινητόδρομους, η καταστροφή μεταλλικών κατασκευών σε χημικά και πυρηνικά εργοστάσια. Είναι συχνό φαινόμενο κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στους εναλλάκτες θερμότητας των ψυγείων, στη ναυπηγική βιομηχανία, στη βιομηχανία τροφίμων, στις μεταφορές, στην εξερεύνηση του διαστήματος, στα αμυντικά συστήματα.

Το κόστος της διάβρωσης είναι ιδιαίτερα υψηλό. Εκτιμάται κατά μέσο όρο στο 3,5% (2 - 4,5%) του ΑΕΠ ή στα 50-100\$ ανά κάτοικο χώρας με πολύ υψηλό δείκτη εκβιομηχάνισης. Οι υπολογισμοί αυτοί αφορούν μόνο στο άμεσο κόστος διάβρωσης και προστασίας, δηλαδή το κόστος για την προστασία και για την

αντικατάσταση των κατασκευών που διαβρώθηκαν και γίνονται κατανοητοί από το γεγονός ότι η ποσότητα του σιδήρου που καταστρέφεται από διάβρωση κάθε χρόνο εκτιμάται στο 1/4 ή 1/3 της ετήσιας παραγωγής δηλαδή στο ύψος των 150.106 τόνων το χρόνο ή 5 τόνων το δευτερόλεπτο. (Ν.Κουλουμπή, 2010)

Το έμμεσο κόστος της διάβρωσης είναι επίσης σημαντικό. Περιλαμβάνει τις απώλειες στην παραγωγικότητα λόγω των διακοπών λειτουργίας, των καθυστερήσεων, των αποτυχιών, της προσφυγής σε ένδικα μέσα, και των φόρων του αυξημένου κόστους διάβρωσης.

Το κόστος της διάβρωσης αυξάνεται διαχρονικά από διάφορες αιτίες όπως (Ν.Κουλουμπή, 2010):

- την απώλεια παραγωγής από τα διαβρωμένα τμήματα πριν τη συντήρηση τους ή από την αναστολή των εργασιών των εγκαταστάσεων και τους μεγάλους χρόνους συντήρησης και αντικατάστασης των διαβρωμένων τμημάτων.
- τη μείωση της απόδοσης της εγκατάστασης από συσσώρευση προϊόντων
- τις συχνά ενεργειακές απώλειες ως συνέπεια της διάβρωσης
- τις αυξημένες ανάγκες συνεχούς συντήρησης για αποφυγή αναστολής της παραγωγής
- γενικές απώλειες μη υπολογίσιμου πάντοτε κόστους αφού μπορεί να αφορούν μικρά μεν αλλά κρίσιμα τμήματα εγκαταστάσεων ή μπορεί να είναι αιτίες πρόκλησης ατυχημάτων

Για την Ελλάδα δεν υπάρχει στατιστική οικονομικών επιπτώσεων του φαινομένου της διάβρωσης. Όμως οι επιπτώσεις αυτές είναι εξαιρετικά μεγάλες, σε πολλούς τομείς (μεταφορές, βιομηχανία, κατασκευές) και αυτό εξαιτίας των παραγόντων που ακολουθούν:

- Η Ελλάδα βρίσκεται σε θαλασσινό περιβάλλον και έχει το μεγαλύτερο λόγο μήκους ακτών προς την επιφάνειά της. Οι πόλεις της δεν απέχουν πολλά χιλιόμετρα από την θάλασσα και σε οποιοδήποτε σημείο της ανιχνεύεται στην ατμόσφαιρα χλωριούχο νάτριο, που μεταφέρεται με τους ανέμους με τη μορφή κolloειδών διαστάσεων σταγονιδίων θαλασσινού νερού. Η διάβρωση από θαλασσινό νερό ή κοντά σε αυτό είναι ιδιαίτερα έντονη.

- Τα περισσότερα εργοστάσιά της είναι κοντά στις ακτές, για να χρησιμοποιούν θαλάσσιες συγκοινωνίες και πολλές φορές θαλασσινό νερό, όχι επαρκώς επεξεργασμένο, για θέρμανση ή ψύξη και άλλες βοηθητικές λειτουργίες.
- Η ρύπανση της ατμόσφαιρας σε πολλές πόλεις της είναι μεγάλη (Θ.Σκουλικίδης, Π.Βασιλείου, Αθήνα).

## 1.4 Είδη διάβρωσης

### 1.4.1 Είδη Διάβρωσης ανάλογα με τα αίτια που την προκαλούν

Η διάβρωση βάση των αιτίων που την προκαλούν διακρίνεται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Ηλεκτροχημική διάβρωση
- Χημική διάβρωση
- Μηχανική διάβρωση
- Βιολογική διάβρωση

**α. Ηλεκτροχημική διάβρωση:** Είναι το είδος της διάβρωσης που συναντάμε πιο συχνά κι έχει ως χαρακτηριστικό την παρουσία δυναμικού μεταξύ πρώτον, του μετάλλου και περιβάλλοντος και δεύτερον μεταξύ περιβάλλοντος και θέσεων πάνω στην επιφάνεια του μετάλλου με διαφορετικό δυναμικό. Η πρώτη οφείλεται στην προδιάθεση του μετάλλου να υποβαθμιστεί ενεργειακά και η δεύτερη (τοπικά γαλβανικά στοιχεία) μπορεί να προέρχεται από αταξίες της δομής, ανωμαλίες του κρυσταλλικού πλέγματος κ.λ.π.

Το χαρακτηριστικό της ηλεκτροχημικής πορείας της διάβρωσης είναι η μετακίνηση ιόντων και ηλεκτρονίων μέσω της οριακής επιφάνειας του μετάλλου προς το διαβρωτικό περιβάλλον, με αποτέλεσμα τη δημιουργία διαφοράς δυναμικού και ροής ρεύματος.

**β. Χημική Διάβρωση:** Είναι το είδος της διάβρωσης όπου έχουμε προσβολή του μετάλλου από χημική ένωση και αλλοίωση της επιφάνειας λόγω χημικών αντιδράσεων. Το κύριο χαρακτηριστικό της είναι ότι η οξειδοαναγωγική δράση τελείται σε ένα κλειστό χημικό σύστημα και τα ηλεκτρόνια δεν οδεύουν μέσα στο

μέταλλο. Το αποτέλεσμα της χημικής διάβρωσης είναι συνήθως μια ομοιόμορφη διάλυση της επιφάνειας του μετάλλου.

**γ. Μηχανική (φυσική) διάβρωση:** Λόγω της τριβής προκαλείται φθορά της επιφάνειας του μετάλλου με αποτέλεσμα την απομάκρυνση μερών της με μηχανικό τρόπο.

**δ. Βιολογική διάβρωση:** Πρόκειται για την επίδραση φυτικών και ζωικών μικροοργανισμών που προσκολλώνται στο μέταλλο και το διαβρώνουν με τις εκκρίσεις τους.

#### 1.4.2 Είδη διάβρωσης ανάλογα με τη μορφή εμφάνισης.

**α. Ομοιόμορφη ή γενική διάβρωση:** Είναι το πιο διαδεδομένο είδος διάβρωσης και αντιπροσωπεύει τη μεγαλύτερη καταστροφή μετάλλου σε τόνους. Παρόλα αυτά, αποτελεί αποδεκτό είδος διάβρωσης και όχι τόσο μεγάλου ενδιαφέροντος από τεχνικής πλευράς αφού η διάρκεια ζωής της κατασκευής μπορεί να προβλεφθεί με ακρίβεια με απλά πειράματα εμβάπτισης. Αυτά τα πειράματα επιτρέπουν την επίβλεψη της απώλειας μάζας και επιτρέπουν τον υπολογισμό της σε συνάρτηση με το χρόνο.

Έχει ως αποτέλεσμα τη σχεδόν ομοιόμορφη διείσδυση επί της εκτιθέμενης μεταλλικής επιφάνειας λόγω της ύπαρξης πολλών ανόδων και καθόδων που λειτουργούν στη μεταλλική επιφάνεια σε δεδομένη στιγμή και που οι θέσεις τους μεταβάλλονται συνεχώς. Όλα τα μέταλλα προσβάλλονται από αυτό το είδος διάβρωσης αν και τα μέταλλα που παθητικοποιούνται (ανοξειδωτος χάλυβας, κράματα νικελίου – χρωμίου) είναι συνήθως επιρρεπή σε εντοπισμένες μορφές προσβολής. Παραδείγματα ομοιόμορφης διάβρωσης είναι η σκουριά στο χάλυβα, ο σχηματισμός πράσινης σκουριάς στο χαλκό και το μαύρισμα στο ασήμι.



Εικόνα 1.1. : Ομοιόμορφη Διάβρωση

**β. Διάβρωση με βελονισμούς:** Η διάβρωση με βελονισμούς είναι εξαιρετικά εντοπισμένη μορφή προσβολής που σχετίζεται με τον εκλεκτικό τοπικό σχηματισμό οπών, κρατήρων και εσοχών στο μέταλλο. Ως οπή χαρακτηρίζεται μία κοιλότητα με διάμετρο ανοίγματος περίπου ίση ή λίγο μικρότερη από το βάθος της. Μπορεί να είναι απομονωμένες ή τόσο κοντά που να ομοιάζουν με ομοιόμορφα διαβρωμένη επιφάνεια. Συνήθως αναπτύσσονται και μεγαλώνουν κατά τη διεύθυνση της βαρύτητας.

Αποτελεί μία από τις πιο καταστροφικές και ύπουλες μορφές διάβρωσης. Προκαλεί αστοχία εξοπλισμού λόγω διάτρησης σε συνδυασμό με πολύ μικρή απώλεια υλικού στο σύνολο της κατασκευής. Πολλές φορές είναι δύσκολη η ανίχνευση των οπών γιατί είναι μικρού μεγέθους και συχνά καλύπτονται από προϊόντα διάβρωσης. Δύσκολος είναι και ο εντοπισμός και η πρόβλεψη του φαινομένου ακόμα και με τη βοήθεια εργαστηριακών μετρήσεων αφού μερικές φορές οι οπές απαιτούν αρκετό χρονικό διάστημα ώστε να αναπτυχθούν και να γίνουν ορατές. Γι' αυτό το λόγο η υποεπιφανειακή βλάβη είναι συνήθως πιο σοβαρή απ' ό τι φαίνεται εξωτερικά.

Η διάβρωση με βελονισμούς μπορεί να θεωρηθεί ως το ενδιάμεσο στάδιο ανάμεσα στην ομοιόμορφη διάβρωση και στην πλήρη παθητικοποίηση όπου συντελείται μηδενική διάβρωση.

Πρακτικά, οι περισσότερες αστοχίες λόγω διάβρωσης βελονισμού συμβαίνουν λόγω ύπαρξης χλωριόντων που είναι παρόντα σε διάφορους βαθμούς στα περισσότερα υγρά περιβάλλοντα. Επίσης, το φαινόμενο σχετίζεται με λιμνάζοντα νερά και με την ταχύτητα, αυξανόμενης ταχύτητας μειώνεται η επιθετικότητα του φαινομένου.

Για την εκτίμηση της πυκνότητας των βελονισμών, η επιφάνεια και το βάθος συγκρίνονται με πρότυπους πίνακες διάβρωσης με βελονισμούς. Σημαντική παράμετρος είναι το μέγιστο βάθος των βελονισμών αφού είναι προφανές ότι οι μετρήσεις απώλειας μάζας είναι ανεπαρκείς. Πολύ μικρή απώλεια μάζας που αντιστοιχεί σε λίγους βελονισμούς, μπορεί να προκαλέσει αστοχία εάν αυτοί διεισδύσουν σε όλο το πάχος του μετάλλου.



Εικόνα 1.2.: Βελονισμοί

**γ. Ψαθυρή θραύση από διάβρωση με μηχανική καταπόνηση:** Η διάβρωση με μηχανική καταπόνηση που καταλήγει σε ρωγμάτωση (stress corrosion cracking, SCC), προκαλείται από τη συνδυασμένη δράση εσωτερικών ή εξωτερικών εφελκυστικών τάσεων και συγκεκριμένου διαβρωτικού περιβάλλοντος. Για να συμβεί αυτό το φαινόμενο, θα πρέπει να ικανοποιούνται ταυτόχρονα τρεις προϋποθέσεις: κατάλληλο διαβρωτικό περιβάλλον που θα προωθή τη ρωγμάτωση, ευπαθές κράμα και δράση εφελκυστικών τάσεων.

Το φαινόμενο αυτό είναι πολύ σημαντικό αφού κατασκευές και μηχανές που μέχρι πρότινος λειτουργούσαν ικανοποιητικά, ξαφνικά αστοχούν και μάλιστα σε φορτίο μικρότερο του ορίου διαρροής. Το μέταλλο φαίνεται σχεδόν απρόσβλητο στο μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας όμως λεπτές ρωγμές προχωρούν προς το εσωτερικό ώσπου να επέλθει κατάρρευση. Η διάδοσή τους γίνεται με δύο τρόπους: περικρυσταλλικά ή/και διακρυσταλλικά. Κατά την περικρυσταλλική διάδοση, η ρωγμή διαδίδεται κατά μήκος των ορίων των κόκκων, ενώ κατά τη διακρυσταλλική, διαμέσου των κόκκων κατά μία διεύθυνση ή και διακλαδισμένα. Συχνά, η διάδοση πραγματοποιείται και με τους δύο τρόπους, ανάλογα με το περιβάλλον και τη δομή του μετάλλου. Γενικά, οι ρωγμές διαδίδονται κάθετα στη διεύθυνση της τάσης και μάλιστα μπορεί να εμφανίζουν και διακλαδώσεις. Ανάλογα με το περιβάλλον, τη δομή και τη σύσταση του μετάλλου, είναι δυνατόν οι διακλαδώσεις να είναι τόσες πολλές που να παρομοιάζονται με το 'δέλτα των ποταμών'.

Τα στάδια της ρωγμάτωσης από διάβρωση με μηχανική καταπόνηση είναι τα ακόλουθα: δημιουργία εσοχής, περίοδος εκκόλαψης της ρωγμής και γρήγορη προώθηση της ρωγμής και θραύση. Κατά τη διάρκεια της περιόδου εκκόλαψης, η

προώθηση της ρωγμής γίνεται αργά αν και συγχρόνως γίνεται και η προετοιμασία του επόμενου σταδίου.

Ο μηχανισμός αυτού του πολύ σημαντικού είδους διάβρωσης δεν έχει ακόμα εξιχνιαστεί. Ο κύριος λόγος είναι η σύνθετη αλληλεπίδραση των χαρακτηριστικών του μετάλλου, της διεπιφάνειας και του περιβάλλοντος.

**δ. Σπηλαιώδης μηχανική διάβρωση:** Το είδος αυτό είναι καθαρά μηχανικό. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην τάση της στατικής πίεσης τοπικά σε μία περιοχή της ροής, να γίνει μικρότερη από την πίεση ατμοποίησης του υγρού, οπότε αυτό ατμοποιείται. Και στη συνέχεια την απότομη επανυγροποίηση των θυλάκων ατμού, που αντιστοιχεί στην ανάπτυξη έντονων κρουστικών υπερπιέσεων. Μετά από μακροχρόνια ανάπτυξη του φαινομένου στην επιφάνεια του υλικού αναπτύσσονται τρύπες, που οφείλονται στη σταδιακή αφαίρεση των κόκκων, και η επιφάνεια αποκτά σπογγώδη μορφή.

Από τα προαναφερθέντα είδη διάβρωσης πιο επικίνδυνα θεωρούνται η διάβρωση με βελονισμούς και η ψαθυρή θραύση από διάβρωση με μηχανική καταπόνηση, γιατί με μικρή απώλεια υλικού μπορούν να καταστρέψουν τις επιφάνειες των μετάλλων.

**ε. Διάβρωση μετάλλων σε περιβάλλον χλωριόντων:** Το θαλάσσιο περιβάλλον είναι ένα έντονα διαβρωτικό περιβάλλον για τις μεταλλικές κατασκευές που είναι εκτεθειμένες σε αυτό όπως παράκτιες ή υπεράκτιες κατασκευές (πλατφόρμες διύλισης πετρελαίου κ.α), υποθαλάσσιες σωληνώσεις ή μονάδες επεξεργασίας θαλασσινού νερού(αφαλάτωση).

Η έκθεση στη διάβρωση των κατασκευών σε ένα τέτοιο περιβάλλον μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις περιοχές σε σχέση με την επιφάνεια της θάλασσας. Αυτές είναι η ατμοσφαιρική, η παλιρροιακή και η υποθαλάσσια και σε κάθε περιοχή διαφέρουν τα χαρακτηριστικά και η συμπεριφορά της διάβρωσης. (Uhlig, 2011) (C.G Munger, L.D.Vincent, 1999)

Το θαλασσινό νερό είναι κατά προσέγγιση ισοδύναμο με διάλυμα χλωριούχου νατρίου 3,5% κ.β, αλλά στην πραγματικότητα έχει πολύ πιο πολύπλοκη σύνθεση. Χαρακτηριστικά στοιχεία του είναι η αλμυρότητά του (Salinity εκφράζει το συνολικό ποσοστό των διαλυμένων αλάτων) (πίν.1) και η περιεκτικότητά του σε



χλωριόντα (chlorinity· εκφράζει το σύνολο των αλογόνων του νερού). Από το πλήθος των οργανικών και ανοργάνων μορίων που περιέχει, ορισμένα δημιουργούν σύμπλοκα, έστω και σε ίχνη, που επηρεάζουν σημαντικά τόσο το μηχανισμό της διάβρωσης, όσο και τη φυσιολογία των βιολογικών οργανισμών των οποίων η παρουσία στο θαλασσινό νερό μπορεί να ασκήσει καθοριστική επίδραση στις αντιδράσεις της διάβρωσης. Το pH του φυσικού θαλασσινού νερού κυμαίνεται από 8,1-8,3, αλλά μπορεί να πέσει στο 7 σε στάσιμες κλειστές θάλασσες με σχηματισμό υδροθείου από αναερόβια βακτηρίδια. (N.Κουλουμπή, 2010)

**Πίνακας 1:** Επίδραση των αλάτων του θαλασσινού νερού στη διάβρωση του χάλυβα

| Απόσταση από την ακτογραμμή (yards) | Περιεκτικότητα αλάτων στον αέρα | Ρυθμός διάβρωσης (mm per year) |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 50                                  | 100 %                           | 0,95                           |
| 200                                 | 27 %                            | 0,38                           |
| 400                                 | 7 %                             | 0,06                           |
| 1300                                | 2 %                             | 0,04                           |

Σημαντικότεροι παράγοντες σε σχέση με τη διάβρωση είναι το περιεχόμενο σε οξυγόνο, η ταχύτητα, η θερμοκρασία και οι βιολογικοί οργανισμοί.

Η μεγάλη σπουδαιότητα του διαλυμένου οξυγόνου βασίζεται στη σημαντική του επίδραση στους βιολογικούς οργανισμούς. Υπάρχουν πολλά στοιχεία για τις διακυμάνσεις τους στους ωκεανούς, αλλά λίγα για τα παράκτια νερά και τα νερά των λιμανιών που είναι και τα πιο σημαντικά για τη διάβρωση συγκεκριμένων κατασκευών.

Κοντά σε εκβολές ποταμών μπορεί να παρουσιαστεί μεγάλη έλλειψη σε οξυγόνο, με συνέπεια τον ταχύτατο πολλαπλασιασμό των αναερόβιων βακτηριδίων που μπορεί να φθάσουν να ελέγχουν την ταχύτητα διάβρωσης.

Τα δυναμικά των διαφόρων μετάλλων σε θαλασσινό νερό μεταβάλλονται ανάλογα με το περιεχόμενο σε οξυγόνο, την ταχύτητα του νερού, τη θερμοκρασία, μεταλλουργικούς παράγοντες και ανάλογα με την κατάσταση της επιφανείας του μετάλλου. Για το λόγο αυτό μία κατάταξη με βάση τα δυναμικά θα εξυπηρετούσε

μόνο για τη σύγκριση της προδιάθεσης για οξείδωση μεταξύ των διαφόρων υλικών. (N.Κουλουμπή, 2010).

Η θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας ποικίλει κυρίως με το γεωγραφικό πλάτος σε εύρος από -2°C στην Αρκτική έως ~ 35°C στους τροπικούς. Αντίστοιχα η συγκέντρωση κορεσμού του οξυγόνου σε ισορροπία ποικίλει από 11ppm σε 16ppm. Στον πίνακα 2 φαίνεται η συγκέντρωση κορεσμού του οξυγόνου σε συνάρτηση με την θερμοκρασία και την αλμυρότητα (Uhlig, 2011)

**Πίνακας 2:** Συγκέντρωση κορεσμού του οξυγόνου σε ισορροπία σε συνάρτηση με την θερμοκρασία και την αλμυρότητα

| Διαλυτότητα Οξυγόνου (ppm) σε ενδεδειγμένη Αλμυρότητα (ppt) |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|
| Θερμοκρασία (°C)  | 0    | 8    | 16   | 24   | 31   | 36   |
| 0   | 14,6 | 13,9 | 13,1 | 12,4 | 11,8 | 11,4 |
| 5   | 12,5 | 11,9 | 11,3 | 10,7 | 10,2 | 9,9  |
| 10  | 10,9 | 10,4 | 9,8  | 9,4  | 8,9  | 8,7  |
| 15  | 9,5  | 9,1  | 8,7  | 8,2  | 7,9  | 7,7  |
| 20  | 8,5  | 8,5  | 7,7  | 7,3  | 7,0  | 6,8  |
| 25  | 7,6  | 7,2  | 6,9  | 6,6  | 6,3  | 6,2  |
| 30  | 6,8  | 6,5  | 6,2  | 6,0  | 5,7  | 5,6  |

**δ. Γαλβανική ή διμεταλλική διάβρωση:** 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. Αυτό συνεπάγεται 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. Ως βάση σύγκρισης της ανθεκτικότητας των υλικών δεν λαμβάνεται η σειρά των ηλεκτροδιακών δυναμικών αλλά σειρές που προκύπτουν από μετρήσεις δυναμικού και γαλβανικής διάβρωσης.

## 1.5 Παράγοντες που επιδρούν στη διάβρωση

Οι παρακάτω παράγοντες επηρεάζουν κυρίως την ταχύτητα εξέλιξης του φαινομένου της διάβρωσης:

**α. Επίδραση της τριεπιφάνειας:** Αυτό είναι ένα γενικό φαινόμενο της διάβρωσης των μετάλλων και των κραμάτων εμφανίζεται σε κάθε περίπτωση τριεπιφάνειας, π.χ. σε μεταλλικούς σωλήνες μεταφοράς νερού, στους οποίους έχει διεισδύσει αέρας, όπως στο δίκτυο των καλοριφέρ. Στο παράδειγμα αυτό η τριεπιφάνεια είναι ο αέρας-το νερό-το μέταλλο. Άλλα παραδείγματα τριεπιφάνειας είναι μέταλλο ή κράμα-το έδαφος-ο αέρας, το μέταλλο ή κράμα-το σκυρόδεμα-ο αέρας, το μέταλλο ή κράμα-το νερό(γλυκό ή θαλασσινό)-το έδαφος. Η διεργασία αυτή δημιουργείται αφενός μεν λόγω αύξησης της πυκνότητας ρεύματος του ηλεκτροστατικού πεδίου που αναπτύσσεται και αφετέρου δε λόγω δημιουργίας γαλβανικού στοιχείου κατά την επαφή του μετάλλου με άλλο καθοδικότερο, που συνεπάγεται έντονη τοπική διάλυση του ανοδικότερου μετάλλου.

**β. Επίδραση της αγωγιμότητας του διαβρωτικού περιβάλλοντος:** Όσο η αγωγιμότητα του διαβρωτικού περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη τόσο και η διάβρωση είναι μεγαλύτερη. Όσο πιο όξινο είναι το περιβάλλον( μικρό pH) τόσο πιο έντονη είναι η διάβρωση, λόγω αύξησης της αγωγιμότητας(αύξηση των  $\text{OH}^-$  και των  $\text{H}_3\text{O}^+$ ) είτε λόγω διάλυσης των μετάλλων, των κραμάτων και των οξειδίων.

**γ. Επίδραση της εναλλαγής του διαβρωτικού περιβάλλοντος:** Αναφέρεται στην εναλλαγή του διαβρωτικού περιβάλλοντος ή και των ιδιοτήτων του (θερμοκρασία, αγωγιμότητα, pH, σύσταση) του ίδιου του περιβάλλοντος. Παραδείγματα τέτοιων εναλλαγών είναι η εναλλασσόμενη πλήρωση δεξαμενών με διαφορετικά υγρά, η εναλλασσόμενη διοχέτευση διαφορετικών υγρών μέσα από σωλήνες, χρησιμοποίηση μηχανημάτων σε διαφορετικό διαβρωτικό περιβάλλον (π.χ. εξωλέμβιες μηχανές). Οι εναλλαγές αυτές προκαλούν εντονότερες διαβρώσεις, παρά η παραμονή των υλικών σε σταθερές συνθήκες, έστω και περισσότερο διαβρωτικές.

**δ. Επίδραση πλαστικών και ελαστικών παραμορφώσεων:** Πλαστικές παραμορφώσεις ή πρόσθετες αταξίες δομής, που δημιουργήθηκαν με μηχανική ή θερμική κατεργασία, μεγαλώνουν τη διάβρωση, γιατί οδηγούν σε τοπική ανοδικοποίηση και άρα σε τοπικά γαλβανικά στοιχεία.

**ε. Επίδραση της θερμοκρασίας:** Η αύξηση της θερμοκρασίας γενικά αυξάνει την ταχύτητα της διάβρωσης, λόγω της αύξησης της κινητικότητας των ατόμων.

**στ. Επίδραση της υγρασίας:** Η παρουσία και η αύξηση της υγρασίας εντείνει το φαινόμενο της διάβρωσης.

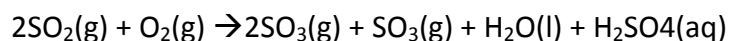
**ζ. Επίδραση διαφυγόντων ρευμάτων:** Πρόκειται για τα ρεύματα που κυκλοφορούν στο έδαφος, στους τοίχους, τις κατασκευές ή και τα νερά, έξω από τα υπάρχοντα κυκλώματα, λόγω διαφυγής τους. Η διαδρομή που ακολουθούν καθορίζεται από την αρχή διότι το ηλεκτρικό ρεύμα ακολουθεί τη διαδρομή με τη μικρότερη αντίσταση. Ιδιαίτερα έντονα διαβρωτικά φαινόμενα παρουσιάζονται στα σημεία που τα ηλεκτρόνια εγκαταλείπουν τις μεταλλικές επιφάνειες. Άρα τα διαφυγόντα ρεύματα (όταν δεν υπάρχει γείωση) μεγαλώνουν τη διάβρωση.

**η. Επίδραση γεωμετρικών ανωμαλιών:** Μακροσκοπικές ανωμαλίες, όπως ύπαρξη προεξοχών στην επιφάνεια, εμφάνιση κόκκων από την ψηγματοβολή ή από οποιοδήποτε άλλο υλικό ή ακαθαρσία και μικροσκοπικές ανωμαλίες, όπως διαφοροποιήσεις στη χημική σύσταση, γεωμετρικά ενεργά κέντρα λόγω αταξίας στη φύση του υλικού ή της επεξεργασίας του, προκαλούν τοπικά γαλβανικά στοιχεία και εντείνουν το φαινόμενο της διάβρωσης.

Το διαβρωτικό περιβάλλον οδηγεί σε ποσοτική διαφορά από την άποψη της ταχύτητας της διάβρωσης, αλλαγής του μηχανισμού διάβρωσης και των αποτελεσμάτων της διάβρωσης. Διακρίνουμε τα παρακάτω είδη διαβρωτικού περιβάλλοντος:

**α. Ατμοσφαιρικό:** Η ατμόσφαιρα με την περιεκτικότητά της σε οξυγόνο και υγρασία, σε συνδυασμό με το αν το περιβάλλον είναι αστικό(έντονοι ρύποι και σωματίδια που λειτουργούν ως πυρήνες υγροποίησης), θαλάσσιο (NaCl στο περιβάλλον, βιομηχανικό, αγροτικό ή συνδυασμός τους, εντείνει το φαινόμενο της διάβρωσης.

Στην κατηγορία αυτή μπορούμε να εντάξουμε και τα διάφορα θερμά αέρια, των οποίων η διαβρωτική δράση οφείλεται καταρχήν στη χημική τους σύσταση και ενισχύεται από τις ψηλές θερμοκρασίες ή τις μεγάλες ταχύτητες ροής. Δρουν διαβρωτικά τόσο στο χώρο παραγωγής τους όσο και στο χώρο που ρυπαίνουν, π.χ. το θειικό οξύ που δημιουργείται διαβρώνει  $SO_2 + H_2O \rightarrow SO_3 + H_2SO_4$



**β. Υγρό:** Σε αυτή περιλαμβάνεται η διάβρωση σε γλυκό νερό, όπου η διαβρωτική δράση οφείλεται στο διαλυμένο σε αυτό οξυγόνο, στα διαλυμένα άλατα, στην τιμή του pH, σε αιωρούμενα σε αυτό σωματίδια και μικροοργανισμούς. Και η διάβρωση σε υφάλμυρο νερό, όπου η διαβρωτική δράση οφείλεται στην περιεκτικότητα του νερού σε άλατα, στο διαλυμένο σε αυτό οξυγόνο και στην ύπαρξη μικροοργανισμών.

**γ. Στερεό:** Σε αυτό ανήκει το έδαφος, του οποίου η διαβρωτική δράση οφείλεται στην ύπαρξη υγρασίας, διαλυμένων αλάτων, διαφόρων μικροοργανισμών και την αγωγιμότητα. Μία κατασκευή που είναι θαμμένη σε κάποιο στερεό, όπως δεξαμενές καυσίμων αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα αντικειμένων που υφίστανται διάβρωση σε στερεό περιβάλλον.

Επομένως είναι ιδιαίτερα σημαντικό να έχουμε γνώση του περιβάλλοντος, ώστε να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα προστασίας της κατασκευής.

## 2. ΤΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

### 2.1 Ορισμός του σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα είναι ένα τεχνητό δομικό υλικό, το οποίο παρασκευάζεται με την ανάμιξη τσιμέντου, χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων αδρανών και νερού και το οποίο στερεοποιείται με τη χημική ένωση του νερού με το τσιμέντο (ενυδάτωση), εγκλωβίζοντας μέσα στη μάζα του τα αδρανή υλικά.

Στον όρο αδρανή περιλαμβάνονται γενικά η άμμος, το γαρμπίλι και τα σκύρα (χαλίκια). Εκτός από αυτά τα υλικά, το νέο Ευρωπαϊκό πρότυπο (EN 206) προβλέπει την προσθήκη και άλλων συστατικών (βελτιωτικά πρόσθετα – admixtures και πρόσθετα συστατικά – additions), τα οποία τροποποιούν συγκεκριμένες ιδιότητες του σκυροδέματος.

Για την παρασκευή σκυροδέματος καλής ποιότητας απαιτείται η καλή διαλογή και σύνθεση των συστατικών του καθώς, επίσης, και η παρασκευή, διάστρωση και συντήρηση αυτού σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές. Στην Ελλάδα, σχετικές λεπτομερείς οδηγίες υπάρχουν στον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ-97), όπου επίσης δίνονται πολλές πληροφορίες για τον έλεγχο της ποιότητας του σκυροδέματος. (Σ.Τσίμας,Σ.Τσιβιλής, 2004), (EN206-1, 2000), (Υπουργική Απόφαση Δ/14/191164/28.3.97,ΦΕΚ Β315/17.4.97, 1997)

#### 2.2.1 Αδρανή υλικά

Τα αδρανή υλικά (aggregates) συνίστανται από άθραυστες ή θραυστές φυσικές ή τεχνητές ορυκτές ύλες κατάλληλες για χρήση στο σκυρόδεμα. Διακρίνονται, βάσει του προτύπου EN 1097-6, σε κανονικού βάρους με πυκνότητα σωματιδίων μεταξύ 2000 και 3000 kg/m<sup>3</sup>, σε ελαφροβαρή αδρανή, όταν η πυκνότητα είναι μικρότερη των 2000 kg/m<sup>3</sup>, και σε βαρέα αδρανή, όταν η πυκνότητα είναι μεγαλύτερη των 3000 kg/m<sup>3</sup>.

Η ονομασία των αδρανών υλικών οφείλεται στο γεγονός ότι παραμένουν χημικά αδρανή, αντιθέτως με το τσιμέντο και το νερό, στη χημική δράση των οποίων οφείλεται η σκλήρυνση του σκυροδέματος. Τα αδρανή υλικά συνδέονται και συγκολλούνται μεταξύ τους και συμβάλλουν, μηχανικά μόνο, στην αντοχή του τελικού προϊόντος.

Ως αδρανή υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν, θεωρητικά, οποιαδήποτε υλικά συγκεντρώνουν τις τρεις βασικές απαιτήσεις: επαρκή αντοχή, επαρκή πρόσφυση και χημική ανεκτικότητα με την τσιμεντοκονία. Τα καταλληλότερα πετρώματα είναι τα ασβεστολιθικά ή τα πυριτικά.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των αδρανών, που επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος, είναι: η αντοχή τους (αντοχή του μητρικού πετρώματος), η καθαρότητα (η ύπαρξη δηλαδή ή όχι πρόσμικτων ουσιών οι κυριότερες εκ των οποίων είναι η παιπάλη, οι οργανικές προσμίξεις και οι θειούχες ενώσεις), η πρόσφυση με την κονία, η χημική συμπεριφορά τους με άλλα συστατικά του σκυροδέματος (ιδιαίτερα με τα  $\text{Na}_2\text{O}$  και  $\text{K}_2\text{O}$ ), η κοκκομετρική διαβάθμισή τους (σχήμα και μέγεθος των κόκκων) κ.α. (Σ.Τσίμας, Σ.Τσιβιλής, 2004), (EN206-1, 2000), (Σ.Τσίμας, 2001)

### 2.2.2 Νερό ανάμιξης

Το νερό αποτελεί ένα από τα δύο ενεργά συστατικά του σκυροδέματος. Μαζί με το τσιμέντο παίρνει μέρος σε σειρά χημικών αντιδράσεων, που οδηγούν, με τη δημιουργία ένυδρων κρυστάλλων, στην πήξη και τη σκλήρυνση του μείγματος. Η βασική απαίτηση έναντι του νερού είναι να μην περιέχει συστατικά που μπορούν να βλάψουν ή να επηρεάσουν τις αντιδράσεις ενυδάτωσης.

Για το νερό, που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του σκυροδέματος, υπάρχει μια ανοχή σχετικά με την ποιότητά του, σε αντίθεση με τα νερά που δρουν εξωτερικά και μόνιμα. Αυτό συμβαίνει, γιατί η ποσοστιαία αναλογία του νερού ανάμιξης, και συνεπώς και κάθε ξένης ουσίας μέσα σε αυτό, είναι μικρή και εξάλλου οι ουσίες αυτές δρουν μέχρι να εξαντληθούν.

Στην περίπτωση, όμως, εξωτερικών υδάτων, όπως το θαλασσινό νερό ή τα νερά των αποχετεύσεων, η δράση τους είναι μόνιμη και η ποσότητα των επιβλαβών ουσιών ανεξάντλητη, αφού τα ύδατα αυτά ανανεώνονται συνεχώς.

Οι κυριότερες χημικές ουσίες με δυσμενή επίδραση στην εξέλιξη των χημικών αντιδράσεων, με αποτέλεσμα είτε τη μείωση της τελικής αντοχής ή την καθυστέρηση της πήξης είναι οι ακόλουθες:

- Η ζάχαρη

- Τα οξέα (π.χ. H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ή άλλα οργανικής προέλευσης)
- Τα λάδια και τα λίπη
- Οι οργανικές ουσίες

Το χρησιμοποιούμενο νερό πρέπει να ανταποκρίνεται στην προδιαγραφή EN 1008, ενώ αν γίνεται χρήση νερού από ανακύκλωση, αυτή πρέπει να υπακούει στο παράρτημα Α της ίδιας προδιαγραφής. (Σ.Τσίμας,Σ.Τσιβιλής, 2004) (Σ.Τσίμας, 2001)

### 2.2.3 Βελτιωτικά ή χημικά πρόσμικτα (admixtures)

Τα υλικά αυτά προστίθενται, σε μικρές ποσότητες σε σχέση με τη μάζα του τσιμέντου, κατά τη διάρκεια της ανάμιξης του σκυροδέματος, με σκοπό την τροποποίηση των ιδιοτήτων κυρίως του νωπού, αλλά και του σκληρυμένου σκυροδέματος.

Βάσει της κυρίας δράσης τους, τα πρόσμικτα κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

- Ρευστοποιητικά (αυξάνουν τη ρευστότητα του σκυροδέματος μειώνοντας την επιφανειακή τάση του νερού και τις δυνάμεις συνοχής μεταξύ των κόκκων του τσιμέντου)
- Αερακτικά (αυξάνουν τον περιεχόμενο αέρα του σκυροδέματος και τη ρευστότητά του)
- Επιβραδυντικά (απομονώνουν τις ταχύπηκτες αργλικές ενώσεις και κυρίως το C3A)
- Επιταχυντικά (διευκολύνουν την ενυδάτωση του C3A ή/και των πυριτικών ενώσεων)
- Στεγανωτικά

Εκτός από τα παραπάνω, υπάρχουν και άλλα πρόσμικτα, όπως αντιπαγετικά, διογκωτικά και αντιδιαβρωτικά. (Σ.Τσίμας,Σ.Τσιβιλής, 2004) (EN206-1, 2000) (Σ.Τσίμας, 2001)



## 2.3 Χάλυβας Οπλισμού

### 2.3.1 Γενικά

Ο χάλυβας (κοινή ονομασία, ατσάλι) αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα κατασκευαστικά υλικά και αποτελείται κράμα σιδήρου - άνθρακα, που περιέχει άνθρακα (C) σε ποσοστό έως 2% w/w, μαγγάνιο (Mn) έως 1% w/w και σε πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις προσμίξεις πυριτίου (Si), φωσφόρου(P), θείου (S) και οξυγόνου(O). Ο χάλυβας δεν αποτελεί μοναδικό στην σύσταση προϊόν. Η ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη και έρευνα για το υλικό αυτό μας επέτρεψε, τόσο με διαφοροποιήσεις στις διεργασίες παραγωγής του όσο και με διάφορες προσμίξεις στο βασικό κράμα, να δημιουργήσουμε περσσότερα από 3.500 διαφορετικά είδη χαλύβων με διαφορετικές ιδιότητες. Η ταξινόμηση του χάλυβα μπορεί να γίνει ανάλογα με τη χημική του σύσταση ή με την κατεργασία που υφίσταται για την παραγωγή του. Ως προς τη χημική τους σύσταση, οι χάλυβες ταξινομούνται ως εξής:

**α) Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες ( carbon steels).** Περιέχουν άνθρακα (έως 2,06%) και μικρό ποσοστό μαγγανίου (έως 1,65%), πυριτίου (έως 0,6%) και χαλκού (έως 0,6%). Χρησιμοποιούνται ευρέως και παρουσιάζουν ευκολία συγκολλήσεως. Με βάση τον περιεχόμενο άνθρακα, οι κοινοί χάλυβες διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες:

- χάλυβες χαμηλού άνθρακα ή μαλακοί χάλυβες (mild steels)  $C < 0,3\%$
- χάλυβες μέτριου άνθρακα (medium carbon steels)  $0,3\% < C < 0,6\%$
- χάλυβες υψηλού άνθρακα (high carbon steels)  $0,6\% < C < 1\%$
- χάλυβες πολύ υψηλού άνθρακα (ultra-high carbon steels)  $1\% < C < 2\%$

**β)Κραματωμένοι χάλυβες (alloy steels).** Είναι κράματα σιδήρου με άλλα μέταλλα σε σημαντική περιεκτικότητα. Τέτοιοι είναι οι:

- ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες που περιέχουν συνήθως χρώμιο,μολυβδαίνιο, βανάδιο, νικέλιο κ.λπ. σε συνολικό ποσοστό που δεν ξεπερνά το 10 % κ.β.
- ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες, όπως οι ανοξειδωτοι ( $Cr > 10,5\%$ ), οι ταχυχάλυβες ( $C=0.7\%$ ,  $Cr=4,0\%$ ,  $5,0\% < Mo < 10\%$ ,  $Co < 8,0\%$ )

Ανάλογα με την περαιτέρω κατεργασία τους, οι χάλυβες διακρίνονται σε:

- χάλυβες διαμόρφωσης, που υφίστανται περαιτέρω μηχανική κατεργασία (έλαση, διέλαση, κ.λπ.)
- χυτοχάλυβες, που παράγονται απευθείας με χύτευση υπό μορφή χελωνών και επαναχυτεύονται για την παραγωγή και δημιουργία διαφόρων εξαρτημάτων

Ακόμη ανάλογα με την κύρια κρυσταλλική φάση τους διακρίνονται σε : ωστενιτικούς, μαρτενσιτικούς, μπαινιτικούς και άλλου είδους χάλυβες.

### 2.3.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά και Λειτουργικές Ιδιότητες

Η μηχανική αντοχή των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος είναι το σημαντικότερο τεχνικό χαρακτηριστικό τους που επιπλέον συμβάλλει και σε αντίστοιχη ταξινόμηση τους. Η ποιότητά τους όμως είναι συνδυασμός πολλών παραγόντων και οι παράμετροι που πρέπει να ικανοποιούνται ή τουλάχιστον να απαιτούνται είναι :

- Ικανοποίηση των απαιτήσεων των εκάστοτε ισχυόντων Προτύπων σε σχέση με τις μηχανικές αντοχές τους (όριο διαρροής και εφελκυστική αντοχή)
- Δυνατότητα ανάληψης σημαντικών πλαστικών παραμορφώσεων, που εκφράζεται μέσω συγκεκριμένων απαιτήσεων για την ολκιμότητα και τη δυσθραυστότητα.
- Ικανότητα του συστήματος σκυρόδεμα/οπλισμός μεταφοράς εφελκυστικών δυνάμεων από τον οπλισμό στο σκυρόδεμα. Η αντοχή συνάφειας είναι συνάρτηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ οπλισμού και σκυροδέματος και είναι σημαντικός παράγοντας επηρεασμού της ικανότητας ανάληψης παραμορφώσεων από τα δομικά στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος. Σημαντική προϋπόθεση γι' αυτό είναι η ύπαρξη κατάλληλης τραχύτητας του οπλισμού, που εξασφαλίζεται με τη τήρηση ειδικών απαιτήσεων για τη γεωμετρία της επιφάνειας.
- Δυνατότητα διατήρησης των βασικών προδιαγραφόμενων ιδιοτήτων, εντός των απαιτήσεων των Προτύπων και των κατασκευαστικών κανονισμών, σε τυπικές συνθήκες διαμόρφωσης των χαλύβων οπλισμού πριν την ενσωμάτωσή τους στο έργο.

- Διατήρηση των βασικών ιδιοτήτων των χαλύβων οπλισμού, σε περιπτώσεις ιδιαίτερα επιβλαβούς περιβάλλοντος. Εδώ υπάγονται θέματα και απαιτήσεις προστασίας από τη διάβρωση.
- Συμπεριφορά των χαλύβων οπλισμού σε ειδικές συνθήκες, όπως σε πολύ υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες ή περιπτώσεις στις οποίες μπορούν να εμφανιστούν προβλήματα κόπωσης.

## 2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διάβρωση του οπλισμού στο σκυρόδεμα

### 2.4.1 Το είδος και η δομή του σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα είναι ένα πορώδες υγροσκοπικό υλικό. Το συνδετικό υλικό του σκυροδέματος, το τσιμέντο, κατά την ενυδάτωσή του σχηματίζει ένα ζελέ με πόρους διαφόρων διαμέτρων.

Οι πόροι αυτοί, ανάλογα με την κατάσταση του περιβάλλοντος, μπορεί να είναι στεγνοί ή γεμάτοι νερό. Στην τελευταία περίπτωση, το νερό των πόρων είναι ένα υδατικό διάλυμα που περιέχει υδροξίδιο του ασβεστίου, το οποίο σχηματίζεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου, καθώς και μικρότερα ποσά υδροξειδίου του καλίου και του νατρίου. Το διάλυμα αυτό έχει pH 12.5-13.9 και σχηματίζει στην επιφάνεια του χάλυβα το παθητικό προστατευτικό οξίδιο. Η διατήρηση της αλκαλικότητας και της προστατευτικής επίδρασης στο χάλυβα είναι προβληματική με την πάροδο του χρόνου και εξαρτάται από την ποσότητα και το είδος του τσιμέντου, το λόγο W/C, το είδος και την κοκκομετρία των αδρανών και το χρόνο συντήρησης του σκυροδέματος.

Το τσιμέντο, που είναι ανθεκτικό στα θεϊκά ιόντα, και που βρίσκεται σε περιβάλλον με χλωριόντα, επιταχύνει τη διάβρωση του σιδηροπλισμού. Τα τσιμέντα, που περιέχουν φυσικές ή τεχνητές ποζολάνες, εξαιτίας της ποζολανικής αντίδρασης, μειώνουν το πορώδες. Το μικρότερο πορώδες παρεμποδίζει τη μεταφορά των διαβρωτικών συστατικών του περιβάλλοντος προς τον οπλισμό. Επίσης, πολλές ποζολάνες, λόγω του ότι περιέχουν  $Al_2O_3$ , παρεμποδίζουν τη διάβρωση, δεσμεύοντας τα χλωριόντα, με αποτέλεσμα να μειώνεται η συγκέντρωσή τους και άρα και η διαβρωτική τους ικανότητα.

Η επίδραση του λόγου W/C είναι, επίσης, σημαντική. Αύξησή του, οδηγεί σε αύξηση του πορώδους του σκυροδέματος και αυτή με τη σειρά της σε αύξηση της διάβρωσης του σιδηροπλισμού, εφόσον με αυτόν τον τρόπο γίνεται πιο εύκολη η πρόσβαση στον οπλισμό των περιβαλλοντικών διαβρωτικών παραγόντων.

Ακόμα, σημαντικό ρόλο παίζει και ο χρόνος συντήρησης του σκυροδέματος. Όσο ο χρόνος συντήρησης γίνεται μεγαλύτερος, τόσο το πορώδες και, συνεπώς, η διάβρωση του σιδηροπλισμού, ελαττώνονται.

Τέλος, το είδος και η κοκκομετρία των αδρανών είναι, επίσης, σημαντικοί παράγοντες για τη διάβρωση του σιδηροπλισμού. Αν τα αδρανή είναι συμπαγή (χωρίς πόρους), τότε η διέλευση των διαβρωτικών συστατικών γίνεται μόνο μέσα από τους πόρους του ζελέ του τσιμέντου. Αν, όμως, είναι πορώδη, η διέλευση των διαβρωτικών ουσιών γίνεται και μέσα από τους πόρους των αδρανών, με αποτέλεσμα η διάβρωση να είναι μεγαλύτερη. (Γ.Μπατής, 1999)

#### **2.4.2 Το πάχος επικάλυψης του οπλισμού από το σκυρόδεμα**

Τα διαβρωτικά συστατικά, από το περιβάλλον, πρέπει να διαπεράσουν την επικάλυψη του σκυροδέματος και να φθάσουν στην επιφάνεια του οπλισμού. Έτσι, όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του σκυροδέματος, τόσο περισσότερος χρόνος απαιτείται (εφόσον τα άλλα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος παραμένουν ίδια), για να φθάσουν τα διαβρωτικά συστατικά στον οπλισμό. Η ωθούσα δύναμη για τη μετακίνηση των συστατικών είναι η διάχυση. Επομένως, όσο μεγαλύτερο είναι το πορώδες του σκυροδέματος, τόσο μεγαλύτερο πρέπει να είναι και το πάχος της επικάλυψης του οπλισμού, ώστε να διατηρηθεί ο ίδιος βαθμός προστασίας του. (Γ.Μπατής, 1999)

#### **2.4.3 Η παρουσία νερού στο σκυρόδεμα**

Το νερό στους πόρους του σκυροδέματος ρυθμίζει τη μεταφορά των διαφόρων ιόντων ή αερίων στο εσωτερικό του, αλλά και την (ηλεκτρική) αντίστασή του. Η επίδραση του νερού στην ηλεκτρική αντίσταση και στη μεταφορά του οξυγόνου (και γενικότερα των αερίων) είναι αντίστροφη. Το κορεσμένο με νερό σκυρόδεμα έχει τη μικρότερη ηλεκτρική αντίσταση (ή τη μεγαλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα), ταυτόχρονα, όμως, παρεμποδίζει την απευθείας είσοδο του οξυγόνου. Στο κορεσμένο, με νερό, σκυρόδεμα μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο

διάχυση του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου, που είναι μικρή. Αντίθετα, στο ξηρό σκυρόδεμα η μεταφορά του οξυγόνου μέσα από τους άδειους πόρους είναι σημαντική. Όμως, η ηλεκτρική αντίσταση του ξηρού σκυροδέματος είναι μεγάλη (ή ηλεκτρική αγωγιμότητα μικρή), ώστε το ρεύμα μεταξύ των πόλων του γαλβανικού στοιχείου διάβρωσης είναι πολύ μικρό. Επομένως, ο κίνδυνος διάβρωσης σε ξηρό και κορεσμένο σε νερό σκυρόδεμα είναι μικρός, ενώ στις ενδιάμεσες περιπτώσεις είναι μεγαλύτερος.

Η ποσότητα του νερού στο σκυρόδεμα εξαρτάται από:

- Την υγρασία στην επιφάνεια του σκυροδέματος.
- Τη δυνατότητα μεταφοράς του νερού στο εσωτερικό του σκυροδέματος.
- Την προϊστορία του σκυροδέματος κατά την πήξη και τη συντήρηση.

Η υγρασία στην επιφάνεια του σκυροδέματος είναι μεταβαλλόμενη. Μετά από παρατεταμένη βροχή η σχετική υγρασία είναι 100%. Αντιθέτως, τις θερμές – ξηρές ημέρες είναι σχετικά μικρότερη. Ακόμη, η υγρασία εξαρτάται από την τοποθεσία, στην οποία βρίσκεται η κατασκευή. Στα παράλια η υγρασία είναι σημαντικά μεγαλύτερη σε σχέση με τις μεσόγειες περιοχές. Η υγρασία εξαρτάται, επίσης, από το εάν το σκυρόδεμα είναι προστατευμένο ή όχι από τη βροχή. Αν η σχετική υγρασία στην επιφάνεια του σκυροδέματος έχει κατέβει σε χαμηλά επίπεδα, η σχετική υγρασία στο εσωτερικό του σκυροδέματος ακολουθεί τη μείωση αυτή με μεγάλη χρονική καθυστέρηση. Η καθυστέρηση αυτή οφείλεται στις τριχοειδείς δυνάμεις, που αναπτύσσονται μεταξύ του ζελέ του τσιμέντου και του νερού. Η διάρκεια της χρονικής καθυστέρησης εξαρτάται από το μέγεθος των πόρων και το σχήμα τους, αλλά και από τη σύσταση του σκυροδέματος. (Γ.Μπατής, 1999)

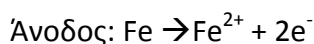
Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας, που πρέπει να αναφερθεί για τη διάβρωση του σκυροδέματος, αλλά και του ίδιου του σκυροδέματος, είναι το θαλασσινό νερό. Οι φθορές του σκυροδέματος, που εκτίθεται σε θαλασσινό νερό, μπορεί να οφείλονται σε έναν ή περισσότερους από τους παρακάτω λόγους:

- Στην αντίδραση των συστατικών του θαλασσινού νερού με τα προϊόντα ενυδάτωσης του τσιμέντου.

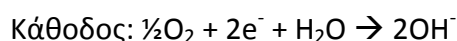
- Στην αντίδραση διόγκωσης αλκαλίων-αδρανών.
- Στην πίεση κρυστάλλωσης αλάτων στο σκυρόδεμα, εξαιτίας της ύπαρξης θερμοκρασιακής διαφοράς στα διάφορα μέρη της κατασκευής.
- Στη δράση του χάλυβα σε οπλισμένα ή προεντεταμένα στοιχεία.
- Στη φυσική του φθορά εξαιτίας της επαφής του με το θαλασσινό νερό.

Σε ενυδατωμένα, μη οπλισμένα και χωρίς αδρανή, τσιμέντα Portland τα πιο επικίνδυνα συστατικά του θαλασσινού νερού, από άποψη χημικής προσβολής των συστατικών του σκυροδέματος, είναι τα θειϊκά άλατα και το μαγνήσιο εφόσον η συγκέντρωσή τους υπερβαίνει τα 1500 mg/mL και τα 500 mg/mL, αντίστοιχα. Αυτό που συμβαίνει στα υποθαλάσσια τμήματα μιας κατασκευής είναι η αποπαθητικοποίηση του οπλισμού και η απομάκρυνση του σιδήρου με τη μορφή σκουριάς  $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$

Οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται είναι οι εξής [2]:



(μεταλλικός σίδηρος)



(αέρας) (νερό)

#### 2.4.4 Η ύπαρξη ρωγμών στο σκυρόδεμα

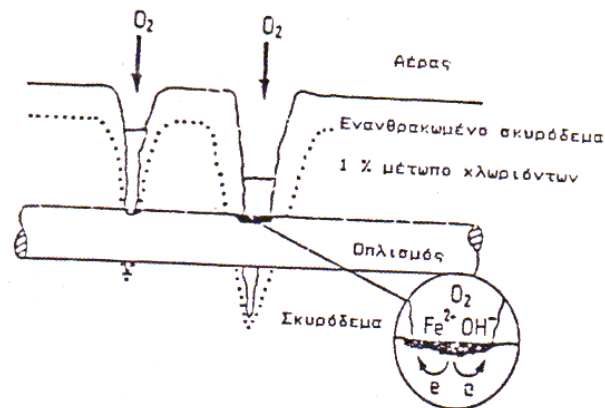
Η παρουσία ρωγμών στο σκυρόδεμα έχει, πάντα, σαν αποτέλεσμα τη διευκόλυνση της μεταφοράς των διαβρωτικών ουσιών του περιβάλλοντος ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $Cl^{-}$ ) στο εσωτερικό του σκυροδέματος και, κατά συνέπεια, στην επιφάνεια του οπλισμού. Η διείδυση των διαβρωτικών αυτών ουσιών από το περιβάλλον θα είναι τόσο ταχύτερη, όσο μεγαλύτερο θα είναι το πλάτος και το βάθος των ρωγμών. Αν οι ρωγμές φτάσουν στην επιφάνεια του οπλισμού, τότε υπάρχουν όλες οι προϋποθέσεις για τη διάβρωσή του.

Η παρουσία των ρωγμών μπορεί να οφείλεται σε αστοχία στον υπολογισμό των τάσεων, σε μεταβολές της θερμοκρασίας, σε αστοχία κατά τη συντήρηση του σκυροδέματος κ.λπ.

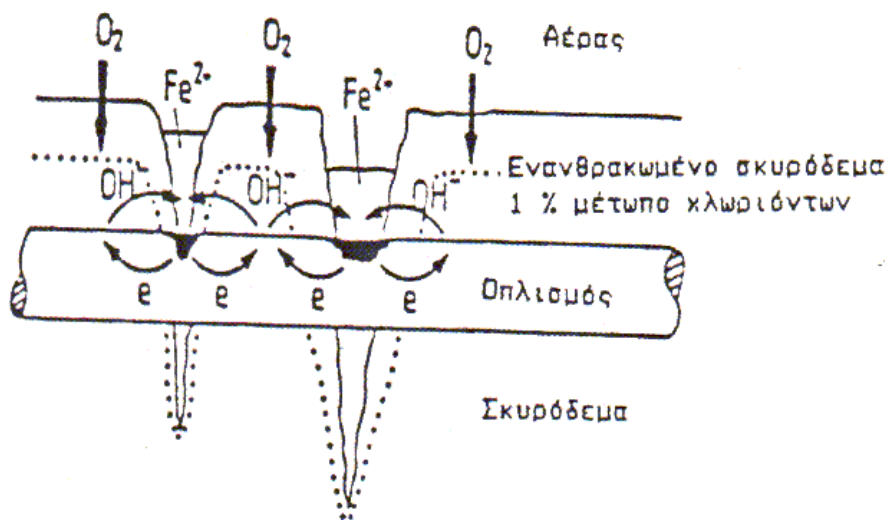
Γενικά, στο σκυρόδεμα υπάρχουν ρωγμές πλάτους <2-3 mm. Συνήθως, θεωρείται ότι οι ρωγμές αυτές δεν έχουν σημαντική επίδραση στη διάβρωση του

σιδηροπλισμού, λόγω της μικρής μεταφοράς των διαβρωτικών ουσιών μέσα από αυτές, καθώς και λόγω της πλήρωσής τους με τα προϊόντα διάβρωσης του οπλισμού. Αυτό, όμως, είναι μόνο εν μέρει αληθές. Ο σχηματισμός συνεκτικού στρώματος από τα προϊόντα διάβρωσης εξαρτάται από τις συνθήκες σχηματισμού τους. Επιπλέον, τα λεπτά στρώματα των προϊόντων διάβρωσης αναδιαλύονται, όταν οι συνθήκες αλλάξουν. Γενικά, ρωγμές με πλάτος  $>0.3$  mm οδηγούν σε διάβρωση του οπλισμού. Η μεταφορά οξυγόνου, διοξειδίου του άνθρακα και χλωριόντων από τις ρωγμές είναι σημαντική, ακόμα και γι' αυτό το πλάτος.

Στα Σχήματα 2-1 και 2-2 παρουσιάζεται σχηματικά η διάβρωση του οπλισμού σε σκυρόδεμα με ρωγμές. (Γ.Μπατής, 1999)



Σχήμα 2-1: Η διάβρωση του οπλισμού σε ρωγμές του σκυροδέματος (ιδιοδιάβρωση).



Σχήμα 2-2: Η δημιουργία μακροστοιχείου διάβρωσης του οπλισμού σε μακροστοιχείο με ρωγμές

#### 2.4.5 Διάβρωση του οπλισμού σε σκυρόδεμα με χλωριόντα

Τα χλωριόντα δεν έχουν αξιόλογη δυνατότητα διάβρωσης του σκυροδέματος, αλλά έχουν μεγάλη διαβρωτική ικανότητα στον οπλισμό. Η διάβρωση του οπλισμού του σκυροδέματος από τα χλωριόντα αποτελεί ένα φαινόμενο, που παρατηρείται πολύ συχνά στις κατασκευές. Ο λόγος γι' αυτό είναι ότι, κατά την παρουσία χλωριόντων, η αποπαθητικοποίηση του χάλυβα μπορεί να αρχίσει σε υψηλότερες από τις κανονικές τιμές του pH του διαλύματος των πόρων του σκυροδέματος με τη μορφή βελονισμών (pitting corrosion). Η φθορά στο σκυρόδεμα από τη διάβρωση του σιδηροπλισμού εκδηλώνεται με τη μορφή διόγκωσης, ρηγμάτωσης και θρυμματισμού της επικάλυψης του οπλισμού. Επιπροσθέτως, λόγω της απώλειας της επικάλυψης, το στοιχείο οπλισμένου σκυροδέματος μπορεί να υποστεί δομικές φθορές, λόγω απώλειας της συνάφειας μεταξύ οπλισμού και σκυροδέματος και μείωσης της διατομής του οπλισμού.

Τα χλωριόντα, που βρίσκονται στη μάζα του σκυροδέματος, μπορεί να προέρχονται είτε από τα υλικά κατασκευής του (π.χ. ανεπαρκώς κατεργασμένα αδρανή, άμμος θαλάσσης, γλυφό νερό), στα οποία βρίσκονται με τη μορφή αλάτων τους, είτε μπορεί να μεταφέρονται από το περιβάλλον στο εσωτερικό του (διείσδυση θαλασσινού νερού και διαλυμάτων αλάτων από διάλυση του πάγου). Τα χλωριόντα μπορούν, επίσης, να βρεθούν σε παραθαλάσσιες κατασκευές και στη μάζα του οδοστρώματος, όταν κατά τους χειμερινούς μήνες χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες αλατιού, για να απομακρυνθεί ο πάγος. Στην πρώτη περίπτωση τα χλωριόντα είναι σχεδόν ομοιόμορφα κατανεμημένα στη μάζα του σκυροδέματος, ενώ στη δεύτερη η συγκέντρωση παρουσιάζει μια μέγιστη τιμή κοντά στην επιφάνεια και ελαττώνεται όσο το βάθος από την επιφάνεια του σκυροδέματος αυξάνει.

Η μεταφορά των χλωριόντων από το περιβάλλον στο εσωτερικό του σκυροδέματος μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους, είτε με διάχυση είτε με μεταφορά τους μέσω του νερού.

Όταν η μεταφορά τους γίνεται με το δεύτερο τρόπο, τότε τα ποσά των μεταφερόμενων χλωριόντων είναι μεγαλύτερα συγκριτικά με εκείνα του πρώτου τρόπου. Η μεταφορά των αλάτων μέσω του νερού των πόρων ακολουθεί το δεύτερο νόμο του Fick. Σε αντίθεση με την ενανθράκωση, όπου παρατηρείται μέτωπο



μεταφοράς, τα χλωριόντα παρουσιάζουν συνεχή κατανομή στη μάζα του σκυροδέματος. Η διείδυση των χλωριόντων στη μάζα του σκυροδέματος εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, οι σπουδαιότεροι από τους οποίους είναι:

- Το πορώδες και η κατανομή του μεγέθους των πόρων του σκυροδέματος.
- Το είδος του χρησιμοποιηθέντος τσιμέντου.
- Η ποσότητα του νερού των πόρων του σκυροδέματος.
- Οι περιβαλλοντικές συνθήκες

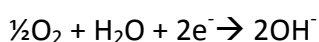
Όταν τα χλωριόντα εισέρχονται στο εσωτερικό του σκυροδέματος, τότε αυτά μπορούν να οδηγήσουν σε δυο περιπτώσεις διάβρωσης:

- Διάβρωση με δημιουργία τοπικού γαλβανικού στοιχείου (ιδιοδιάβρωση).
- Διάβρωση με δημιουργία γαλβανικού μακροστοιχείου.

Όταν η συγκέντρωση των χλωριόντων αποκτήσει μια ορισμένη τιμή, τότε υπάρχουν αρκετά ελεύθερα χλωριόντα, τα οποία φθάνουν, λόγω διάχυσης, στην επιφάνεια του οπλισμού και προκαλούν την αποπαθητικοποίηση του. Η διάβρωση του οπλισμού παρουσία χλωριόντων απεικονίζεται στο Σχήμα 2-3 και λαμβάνει χώρα με τη λειτουργία ενός τοπικού γαλβανικού στοιχείου. Στην άνοδο πραγματοποιείται διάλυση του σιδήρου κατά την αντίδραση:

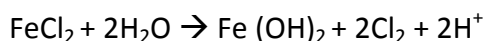
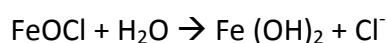


και στην κάθοδο η αντίδραση:

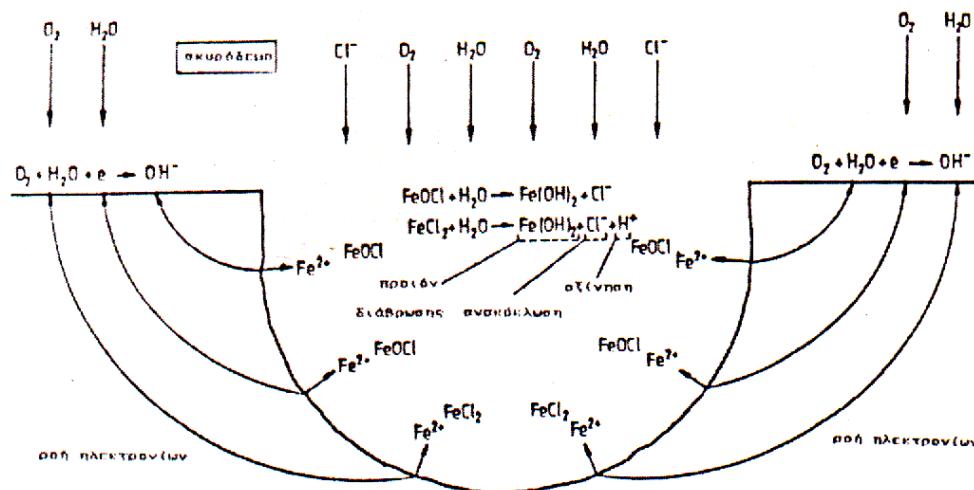


Τα ιόντα σιδήρου, που παράγονται κατά την ανοδική δράση, αντιδρούν αρχικά με τα χλωριόντα, που έχουν φθάσει στην επιφάνεια του οπλισμού, σχηματίζοντας (δι)χλωριούχο σίδηρο ( $\text{FeCl}_2$ ). Στη συνέχεια ο χλωριούχος σίδηρος, παρουσία του οξυγόνου, μετατρέπεται σε χλωρίδιο του τρισθενούς σιδήρου ( $\text{FeOCl}^-$  οξείδωση του σιδήρου σε τρισθενή σίδηρο).

Κατόπιν, λόγω της παρουσίας νερού, λαμβάνει χώρα υδρόλυση των προϊόντων της διάβρωσης σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



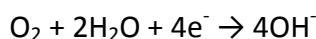
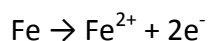
Από τις παραπάνω αντιδράσεις προκύπτει ότι τα χλωριόντα, που είχαν δεσμευθεί στα προϊόντα της διάβρωσης, επιστρέφουν στο διάλυμα των πόρων, λόγω της υδρόλυσης, ενώ ταυτόχρονα γίνεται και τοπική οξίνιση του διαλύματος αυτού. Συνεπώς, είναι προφανές, ότι η δράση των χλωριόντων αποτελεί ένα αυτοκαταλυόμενο σύστημα αντιδράσεων, όταν η συγκέντρωσή τους φθάσει σε ένα ορισμένο επίπεδο. Έτσι, ακόμη και αν σταματήσει η περαιτέρω είσοδος χλωριόντων, η διάβρωση του οπλισμού δεν παρεμποδίζεται και συνεχίζεται, επειδή η συγκέντρωση των χλωριόντων στην επιφάνεια του οπλισμού παραμένει σταθερή. Η αναγκαία ροή ηλεκτρονίων πραγματοποιείται μέσω του χάλυβα, ενώ η μετακίνηση των ιόντων γίνεται μέσα στους πόρους του σκυροδέματος. Μια τέτοια περίπτωση διάβρωσης χαρακτηρίζεται ως ιδιοδιάβρωση, σε αντίθεση με τη δημιουργία ενός μακροσκοπικού γαλβανικού στοιχείου, που μπορεί να δημιουργηθεί στο οπλισμένο σκυροδέμα κατά τη διείσδυση των χλωριόντων.



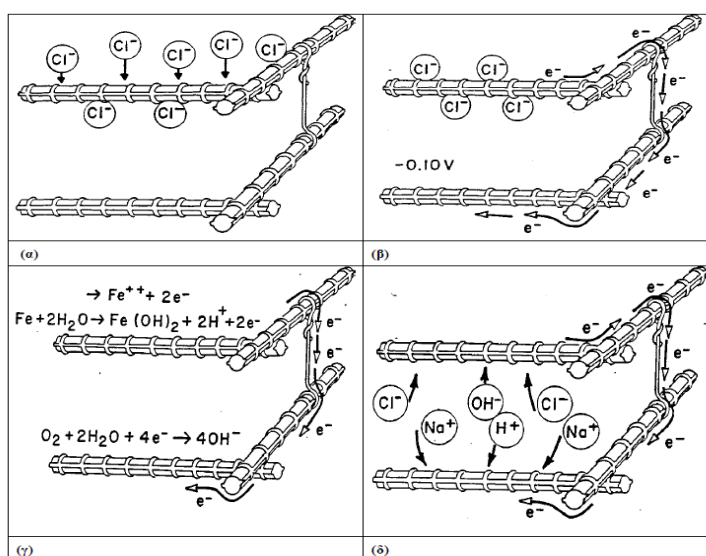
Σχήμα 2-3: Διάβρωση του οπλισμού σε σκυροδέμα με χλωριόντα

Στην περίπτωση του οπλισμένου σκυροδέματος, η δημιουργία μακροστοιχείων οφείλεται σε επιδράσεις του περιβάλλοντος. Στην πράξη (π.χ. σε θαλάσσιο περιβάλλον) συχνά παρουσιάζεται η περίπτωση της διείσδυσης των χλωριόντων από τη μία μόνο πλευρά της κατασκευής. Τότε είναι δυνατή η περίπτωση, που περιγράφεται στο Σχήμα 2-3. Τα χλωριόντα φτάνουν, μετά από ένα χρονικό διάστημα, στις πρώτες ράβδους του οπλισμού, ενώ αυτές που βρίσκονται προς το εσωτερικό τμήμα της κατασκευής δεν έχουν γύρω τους χλωριόντα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-4 (α). Μεταξύ των εσωτερικών και των εξωτερικών ράβδων

αναπτύσσεται διαφορά δυναμικού (δημιουργία μακροστοιχείου μέσω των συνδετήρων), όπως εικονίζεται στο Σχήμα 2-4 (β). Οι ράβδοι, με τη μεγάλη συγκέντρωση χλωριόντων αποτελούν την άνοδο, ενώ οι ράβδοι χωρίς χλωριόντα (ή με μικρή συγκέντρωση χλωριόντων) αποτελούν την κάθοδο του γαλβανικού στοιχείου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-4 (γ). Στο ίδιο σχήμα περιγράφονται και οι ηλεκτροχημικές δράσεις του γαλβανικού μακροστοιχείου:



Στη συνέχεια, σχηματίζεται υδροξείδιο του σιδήρου και μέσω των πόρων του σκυροδέματος αρχίζει η μεταφορά των ιόντων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-4 (δ). Η ταχύτητα της διάβρωσης εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος του γαλβανικού μακροστοιχείου. Η ένταση του ρεύματος, με τη σειρά της, εξαρτάται από το δυναμικό του μακροστοιχείου (δυναμικό μεταξύ ανόδου - καθόδου), από το λόγο της ανοδικής προς την καθοδική επιφάνεια και από την ηλεκτρική αντίσταση του σκυροδέματος. Η ταχύτητα διάβρωσης στην περίπτωση σχηματισμού γαλβανικού μακροστοιχείου είναι, κατά κανόνα, πολύ μεγαλύτερη από αυτήν της ιδιοδιάβρωσης. (Σ.Τσίμας,Σ.Τσιβιλής, 2004) (Γ.Μπατής, 1999), (K. Hladky,L.M Callow,J.L Dawson, 1980), (N.Κουλουμπή, 1994), (P.Read,G.G Carette, V.M. Malhotra, 1990), (J.M Gaidis,A.M Rosenberg, 2001)



**Σχήμα 2-4:** Σχηματισμός μακροστοιχείου σε σκυρόδεμα με χλωριόντα. (α) Διείσδυση των χλωριόντων μέχρι τους πρώτους σπλισμούς, (β) Η δημιουργία του γαλβανικού μακροστοιχείου, (γ) Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις του γαλβανικού μακροστοιχείου, (δ) Η μεταφορά των ιόντων

### 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Η εφαρμογή μεθόδων προστασίας από την διάβρωση επιβάλλεται τόσο για οικονομικούς λόγους όσο και για την ενίσχυση της ασφάλειας κατασκευών και εξοπλισμών και τη διαφύλαξη της σπατάλης των πλουτοπαραγωγικών πηγών. Λόγω των εξαιρετικών μηχανικών ιδιοτήτων του χάλυβα και της ευκολίας στην μορφοποίηση, βαφή, ανακύκλωση και το χαμηλό του κόστος, χρησιμοποιείται κατά κόρον στις κατασκευές και τον βιομηχανικό εξοπλισμό. Όμως η επιδεκτικότητά του στη διάβρωση παρουσία υγρασίας και στην οξείδωση σε υψηλές θερμοκρασίες προϋποθέτει απαραίτητα κάποια μορφή προστασίας.

Η εφαρμογή κατάλληλης μεθόδου προστασίας ή συνδυασμού μεθόδων αποβλέπουν στη μείωση της ταχύτητας διάβρωσης μέσω της μεταβολής των θερμοδυναμικών ή των κινητικών στοιχείων της διαβρωτικής δράσης. (K.A.Chandler,,B.A Bayliss, 1985)

Οι κυριότερες μέθοδοι προστασίας που συνίστανται στην ελάττωση της ταχύτητας της διάβρωσης αφορούν: (N.Κουλουμπή, 2010)

1. Τροποποιήσεις του υλικού
2. Τροποποιήσεις του περιβάλλοντος
3. Τροποποιήσεις του ηλεκτροδιακού δυναμικού μετάλλου-περιβάλλοντος
4. Τροποποιήσεις της παραγωγικής διεργασίας

#### **1. Τροποποίηση του υλικού**

Πρόκειται για διεργασίες ή / και προσθήκες που τροποποιούν τη σύσταση (κραματοποίηση ή καθαρισμός), τη δομή (θερμική κατεργασία) ή τις εσωτερικές τάσεις του υλικού.

#### **2. Τροποποίηση του περιβάλλοντος**

Τροποποίηση του περιβάλλοντος μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, χωρίς μονοσήμαντα αποτελέσματα για ορισμένους τουλάχιστον τρόπους. Οι κυριότεροι τρόποι επέμβασης είναι οι ακόλουθοι:

- Απομάκρυνση του οξυγόνου ή των οξειδωτικών από το νερό με κατεργασία υπό κενό, με κορεσμό με αδρανές αέριο ή με προσθήκη ουσιών που δεσμεύουν το οξυγόνο
- Απομάκρυνση των οξέων με εξουδετέρωση
- Απομάκρυνση των αλάτων με ιονεναλλαγή
- Ελάττωση της θερμοκρασίας. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις μη επίδρασης ή θετικής επίδρασης της αύξησης της θερμοκρασίας στην ελάττωση της διάβρωσης (π.χ. λόγω ελάττωσης της διαλυτότητας του οξυγόνου)
- Ελάττωση της ταχύτητας ροής εκτός γενικά από τα παθητικά μέταλλα
- Απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων από το νερό ή τον αέρα με φιλτράρισμα ή άλλη κατάλληλη τεχνική
- Ελάττωση της σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντα αέρα με αύξηση της θερμοκρασίας
- Απομάκρυνση του νερού από τον αέρα με αφύγρανση (π.χ. χρησιμοποίηση silica-gel)

Χρησιμοποίηση αναστολέων δηλαδή ουσιών που προστίθενται σε μικρές συγκεντρώσεις στο διαβρωτικό περιβάλλον και ελαττώνουν την ταχύτητα διάβρωσης. Ανάλογα με το μηχανισμό της δράσης τους οι αναστολείς ταξινομούνται ως εξής:

- Αναστολείς ρόφησης
- Αναστολείς παθητικοποίησης
- Αναστολείς κατακρήμνισης
- Αναστολείς απομάκρυνσης του οξειδωτικού
- Μίγματα αναστολέων

### **3. Τροποποίηση του ηλεκτροδιακού δυναμικού υλικού- περιβάλλοντος**

Οι κυριότεροι τρόποι τροποποίηση του ηλεκτροδιακού δυναμικού υλικού - περιβάλλοντος είναι οι ακόλουθοι:

#### **Καθοδική προστασία.**

- ❖ με επιβαλλόμενα εξωτερικά ρεύματα
- ❖ με θυσιαζόμενες ανόδους.

#### **Ανοδική προστασία**

- ❖ Εφαρμογή ανοδικού δυναμικού έτσι ώστε να δημιουργείται παθητικό στρώμα στην επιφάνεια του μετάλλου.

### **3.1 Επικαλύψεις**

Η χρήση επιστρωμάτων αποτελεί την πιο κοινή μέθοδο αντιδιαβρωτικής προστασίας. Η προστατευτική δράση των διαφόρων τύπων επιστρωμάτων οφείλεται στον προκαλούμενο διαχωρισμό του υλικού από το διαβρωτικό περιβάλλον του, στην αύξηση της ηλεκτρικής του αντίστασης ή στην μεταβολή της ανοδικής ή και της καθοδικής πόλωσης και εξαρτάται από το πάχος τους, και τις ιδιότητές τους όπως η αντοχή, η πρόσφυση, η διαπερατότητα κ.λ.π. (Bierwagen, 1996), (P. Molera, X.Oller, M.Del Vale, F.Gonzalez, 2004)

Συχνά πέρα από την προστατευτική λειτουργία τους η επιλογή των επιστρωμάτων επηρεάζεται και από αισθητικούς παράγοντες.

Τα επιστρώματα μπορεί να είναι:

- Μεταλλικά
- Μη μεταλλικά ανόργανα
- Οργανικά

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος προστασίας είναι η οργανικές επικαλύψεις. Η επικάλυψη είναι δυνατόν να εφαρμοστεί είτε στην επιφάνεια του χάλυβα ή του σκυροδέματος. Επικαλύψεις στην επιφάνεια του σκυροδέματος προστατεύουν τόσο το σκυρόδεμα όσο και τον οπλισμό, ενώ επικαλύψεις στην επιφάνεια του οπλισμού προστατεύουν μόνο τον οπλισμό. Στην περίπτωση της επικάλυψης του οπλισμού πρέπει να εξετάζεται και η επίπτωση στη συνάφεια οπλισμού-σκυροδέματος. Είναι μια φθινή μέθοδος, μη ρυπογόνα για το περιβάλλον που δεν αυξάνει το βάρος της κατασκευής και έχει και αξιολογα αισθητικά αποτελέσματα.

Για να χρησιμοποιηθεί ένα χρώμα σαν επικάλυψη , θα πρέπει να: (Γ.Μπατής, 1999)

- Αποτρέπει τη διείσδυση του νερού στο σκυρόδεμα
- Αποτρέπει τη διείσδυση του διοξειδίου του θείου και του διοξειδίου του άνθρακα στο σκυρόδεμα
- Αποτρέπει την είσοδο χλωριόντων στο σκυρόδεμα
- Επιτρέπει τη διείσδυση των υδρατμών
- Παρουσιάζει υψηλή συνάφεια με το σκυρόδεμα
- Έχει αντοχή στα άλατα και στην υψηλή αλκαλικότητα του σκυροδέματος
- Είναι ανθεκτικό στην ακτινοβολία του ήλιου
- Μπορεί να διεισδύει μέσα στο σκυρόδεμα
- Είναι ελαστικό ώστε να ακολουθεί τις παραμορφώσεις του σκυροδέματος χωρίς να κάνει ρωγμές

### 3.2 Οργανικές επικαλύψεις

Οι οργανικές επικαλύψεις είναι ομογενή μίγματα συνθέτων συστατικών, που παρέχουν ποικίλες φυσικο-ηλεκτρο-χημικές ιδιότητες, τόσο πριν όσο και μετά την εφαρμογή τους στην επιφάνεια δημιουργώντας ένα συνεκτικό υμένα με ισχυρή πρόσφυση.

Τα οργανικά επιστρώματα διακρίνονται σε:

- Χρώματα : είναι μίγματα του συνδετικού, του πιγμέντου, του διαλύτη και των προσθέτων
- Βερνίκια : είναι μίγματα ελαίου που ξηραίνεται με οξείδωση διαλυμένων ρητινών και ενός πτητικού αραιωτικού
- Λάκες : είναι μίγματα φυσικών ή συνθετικών ρητινών σε πτητικό οργανικό διαλύτη.

Επίσης τα οργανικά επιστρώματα είναι μίγματα των παρακάτω συστατικών:

- Συνδετικού
- Διαλύτη
- Πιγμέντου

- Πληρωτικών ουσιών
- Προσθέτων

Το ρευστό μίγμα διαλυτών και συνδετικής ουσίας ονομάζεται φορέας (vehicle) ή μέσο (medium) του επιστρώματος.

### 3.3 Τύποι οργανικών επικαλύψεων ανάλογα με το συνδετικό μέσο

#### 3.3.1 Αλκυδικά χρώματα

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.

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. Μάλιστα η λέξη «ριπολίνη» έχει παραμείνει από μια παλαιά μάρκα τέτοιων χρωμάτων (Ripolin, από την Γαλλία). 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 συστήματα είναι εύκολα στη συντήρηση. Επίσης αλκυδικές ρητίνες χρησιμοποιούνται ευρέως σε βερνίκια εξωτερικής και εσωτερικής χρήσης. Τα αλκυδικά χρώματα δεν χρησιμοποιούνται ποτέ σε χρήσεις κάτω από την επιφάνεια του νερού - σε εμβάπτιση - καθώς δεν έχουν επαρκή αντοχή σε διαρκή επαφή με το νερό ή υγρασία. Επιπλέον δεν συνιστώνται ποτέ για εφαρμογή σε αστάρια



ψευδαργύρου ή γαλβανισμένη λαμαρίνα, ούτε σε τοίχους χωρίς ειδική προεργασία, λόγω σαπωνοποίησης και απώλειας πρόσφυσης.

Τα αλκυδικά αντισκωριακά αστάρια περιέχουν αντιδιαβρωτικά πιγμέντα όπως φωσφορικό ψευδάργυρο τα οποία εμποδίζουν τη διάβρωση του χάλυβα. Τα αλκυδικά χρώματα παρουσιάζουν καλή διείσδυση. Μια προεργασία σύμφωνα με τα πρότυπα St 2 με St 3 είναι συνήθως επαρκής για ξηρές, εσωτερικές επιφάνειες. Τα αλκυδικά χρώματα δεν συνιστώνται σε επιφάνειες από σκυρόδεμα λόγω της μειωμένης αντοχής τους σε αλκαλικό περιβάλλον - σαπωνοποίηση των αλκυδικών εστέρων λόγω αντίδρασης με τα αλκαλικά του σκυροδέματος. 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. Συνοψίζοντας τις ιδιότητες των αλκυδικών χρωμάτων έχουμε τα εξής

#### **Πλεονεκτήματα**

- ❖ Εύκολη εφαρμογή με βούρτσα, πιστόλι ή ρολό
- ❖ Καλή διαβροχή
- ❖ Καλή πρόσφυση και διείσδυση στην επιφάνεια
- ❖ Αρκετά καλή εξωτερική αντοχή
- ❖ Υψηλή στιλπνότητα και σταθερότητα χρώματος
- ❖ Προϊόν ενός συστατικού, εύκολο στη χρήση
- ❖ Εύκολες διορθώσεις λεπτομερειών κατά την εφαρμογή
- ❖ Εύκολη συντήρηση χωρίς πολύπλοκες προεργασίες
- ❖ Καλό στρώσιμο

#### **Περιορισμοί**

- ❖ Ελλιπής χημική αντοχή, ιδιαίτερα σε αλκαλικά
- ❖ Περιορισμένη αντοχή στο νερό. Ανθεκτικά σε συνήθεις συνθήκες εξωτερικής υγρασίας, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάτω από το νερό ή σε συνθήκες υψηλής υγρασίας.

- ❖ Περιορισμένη αντοχή σε διαλύτες. "Φουσκώνουν" σε επαφή με ισχυρούς διαλύτες όπως η ξυλόλη, οι κετόνες, οι αλκοόλες και οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες. Δεν πρέπει να επαναβάφονται με χρώματα που περιέχουν τέτοιους διαλύτες.
- ❖ Δεν χρησιμοποιούνται με αστάρια ψευδαργύρου (κίνδυνος σαπωνοποίησης)
- ❖ Το πάχος εφαρμογής περιορίζεται σε 30-50 μικρά, το πολύ 80 μικρά για συγκεκριμένους τύπους.

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. Επίσης στην ίδια κατηγορία ανήκουν και τα ελαιοχρώματα που παράγονται με βάση λάδια ξηραίνόμενα. Αυτά όμως σήμερα πρακτικά δεν χρησιμοποιούνται, είναι πολύ παλαιάς τεχνολογίας. Το όνομα ελαιοχρώματα έχει παραμείνει όμως και μερικές φορές χρησιμοποιείται καταχρηστικά για τα αλκυδικά χρώματα. Στην κατηγορία χρωμάτων που ξηραίνονται με οξείδωση ανήκουν και τα χρώματα με βάση ρητίνες εποξειδικού εστέρα. Αυτά είναι πάντοτε ενός συστατικού. Πολύ σπάνια χρησιμοποιούνται σε οικοδομικές χρήσεις. Οι ρητίνες εποξειδικού εστέρα έχουν εφαρμογή περισσότερο για βιομηχανικά και ναυτιλιακά χρώματα. ([http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/XR\\_VERN\\_SIG\\_OUSIES](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES))

### 3.3.2 Βινυλικά χρώματα

Τα βινυλικά χρώματα χρησιμοποιήθηκαν ευρέως ως βιομηχανικά χρώματα για χημικές μονάδες, διυλιστήρια, δεξαμενές και γέφυρες και 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. 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 οC, αφού προκαλείται αποσύνθεση του χρώματος, με κιτρίνισμα και αποσάθρωση της επιφάνειας. ([http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/XR\\_VERN\\_SIG\\_OUSIES](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES))

### **3.3.2.1 Βινυλικού εστέρα**

Τα χρώματα βινυλικού εστέρα είναι γνωστά για την καλή τους αντοχή σε διαλύτες και χημικά. Δίνουν λύσεις, ιδιαίτερα σε 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 είναι χρώματα δύο συστατικών, που εφαρμόζονται σε κανονική θερμοκρασία. 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 (grit blasting). 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. ([http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/XR\\_VERN\\_SIG\\_OUSIES](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES))

### 3.3.3 Χλωριωμένου καουτσούκ

Τα χρώματα χλωριωμένου καουτσούκ χρησιμοποιούνται ευρέως ως βιομηχανικά χρώματα για χημικές μονάδες, διυλιστήρια, δεξαμενές και γέφυρες. Οι ιδιότητες των χρωμάτων χλωριωμένου καουτσούκ (ΧΚ) είναι παρόμοιες με αυτές των βινυλικών, όπως ισχυρή σφράγιση (barrier) χημικές αντοχές, εξωτερική αντοχή και καλή αντοχή στην τριβή και την πρόσκρουση.

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 υπάρχει πάντα και το ενδεχόμενο της παγίδευσης του διαλύτη μέσα στη στρώση του χρώματος. Αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα κατά την επαναβαφή ενός συστήματος χλωριωμένου καουτσούκ σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Τα συστήματα ΧΚ έχουν πολύ καλή αντοχή στο νερό, ενώ είναι αρκετά ανθεκτικά στα οξέα, τα αλκάλια, και τα περισσότερα διαβρωτικά χημικά. Εντούτοις, η αντοχή τους σε φυτικά και ζωικά έλαια είναι περιορισμένη.

Λόγω του μεγάλου μοριακού βάρους των ρητινών τους, τα χρώματα ΧΚ 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 σε άριστη κατάσταση.

Γενικά τα χρώματα ΧΚ δεν αντέχουν σε μακροχρόνια έκθεση σε θερμοκρασίες υψηλότερες από 70 οC, αφού προκαλείται χημική αποσύνθεση του χρώματος, με δημιουργία υδροχλωρικού οξέος ως κύριο παραπροϊόν της αντίδρασης.

Τα χρώματα ΧΚ χρησιμοποιούνται με επιτυχία για πισίνες. Το πλεονέκτημα τους έναντι των εποξειδικών/ πολυουρεθανικών συστημάτων είναι ότι συντηρούνται (επαναβάφονται) πολύ ευκολότερα.

([http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/XR\\_VERN\\_SIG\\_OUSIES](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES))

### 3.3.4 Ακρυλικά χρώματα

Τα ακρυλικά χρώματα της κατηγορίας αυτής είναι τα ακρυλικά διαλύτου (θερμοπλαστικά ακρυλικά). Πρέπει να δοθεί προσοχή, διότι υπάρχουν πολλών ειδών ακρυλικά χρώματα: τα ακρυλικά διαλύτου που υπάγονται σ' αυτή την κατηγορία, τα ακρυλικά γαλακτώματα και τα ακρυλικά 2 συστατικών (ακρυλικές πολυουρεθάνες).

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

Τα ακρυλικά χρώματα είναι πολύ κατάλληλα για εφαρμογή σε πέτρες, τσιμέντο, σκυρόδεμα και άλλες επιφάνειες τοίχων. Υπάρχουν στην αγορά πολλά τέτοια χρώματα, συνήθως με το όνομα «μπετοχρώματα» ή και «τσιμεντοχρώματα». 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». Πολύ διαδεδομένα στην αγορά είναι και τα αστάρια τοίχου με βάση διαλύτη, γνωστά με το όνομα «αστάρι διαλύτου» ή «αστάρι νεφτίσιο». Και αυτά παράγονται με βάση ακρυλικές ρητίνες διαλύτου.

([http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/XR\\_VERN\\_SIG\\_OUSIES](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES))

### 3.3.5 Εποξειδικά χρώματα

Η χρήση των εποξειδικών χρωμάτων διακρίνεται ανάλογα με τους διάφορους τύπους εποξειδικών. Συγκεκριμμένα έχουμε:

([http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/XR\\_VERN\\_SIG\\_OUSIES](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES))

### **Καθαρά εποξειδικά:**

Χημικές δεξαμενές, δεξαμενές πόσιμου νερού, σύστημα γενικής βιομηχανικής χρήσης. Απαιτούν αμμοβολή με ελάχιστο St 2½. Επίσης τα καθαρά εποξειδικά χρώματα χρησιμοποιούνται συχνά ως αστάρια σε συστήματα με τελικά χρώματα πολουουρεθάνης.

### **Εποξυ-φαινολικά**

Χημικές δεξαμενές, με καλύτερες ιδιότητες από τα καθαρά εποξειδικά. Έχουν μεγαλύτερη αντοχή σε ορισμένα χημικά καθώς και στην θερμοκρασία έναντι των καθαρών εποξειδικών. Απαιτούν αμμοβολή με ελάχιστο St 2 1/2.

### **Εποξειδικά λιθανθρακόπισσας**

Δεξαμενές (εσωτερικά καθώς και εξωτερικά για υπόγειες δεξαμενές). Επίσης πολύ κατάλληλο χρώμα για την βαφή τοιχείου που θα καλυφθεί με χώμα (τοιχεία υπογείων, πρανών κτλ.)

### **Εποξειδικές μαστίχες**

Πολλές εφαρμογές σε βιομηχανία και κατασκευές. Κατάλληλα για χρήση πάνω και κάτω από την επιφάνεια του νερού. Απαραίτητη η χρήση επανοχρώματος για έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία. Καλή διείσδυση και πρόσφυση στις περισσότερες επιφάνειες.

### **Εποξειδικά χωρίς διαλύτες (ελεύθερα διαλυτών)**

Δεξαμενές πόσιμου νερού και όπου οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί είναι καθοριστικοί.

### **Υδατικά Εποξειδικά**

Με διαλύτη το νερό, τα συστήματα αυτά 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 εποξειδικά, οι ιδιότητες του τελικού χρώματος είναι σχεδόν εφάμιλλες, με την εξαίρεση των ελαφρά μειωμένων χημικών αντοχών για τα υδατοδιαλυτά. Εξάλλου, τα υδατοδιαλυτά εποξειδικά αραιώνονται μέχρι και ενός ποσοστού προκειμένου να μην αποσταθεροποιηθεί η βάση του χρώματος - συνήθως ένα 20% είναι εφικτό χωρίς προβλήματα. Ο χρόνος ζωής δοχείου είναι μικρότερος από τα αντίστοιχα εποξειδικά συστήματα διαλύτη, ενώ πολύ συχνά δεν γίνεται αντιληπτό ότι έχει ξεπεραστεί ο χρόνος ζωής δοχείου (pot life), αφού το ιξώδες του χρώματος παραμένει σταθερό με το χρόνο.

Υδατοδιαλυτό εποξειδικό αστάρι εμφανίζει καλές αντιδιαβρωτικές ιδιότητες με καλή αντοχή στο νερό, δυνατότητα γρήγορης επαναβαφής, αντιδρά και στους 5ο C, και εμφανίζει καλή πρόσφυση και στο αλουμίνιο.

Ενδιάμεσα χρώματα χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό υδατοδιαλυτού εποξειδικού ασταριού ή και συμβατικού αντίστοιχου (υβριδικό σύστημα).

Υδατοδιαλυτό εποξειδικό αστάρι ψευδαργύρου (zinc rich) χρησιμοποιείται σε ένα αμιγώς υδατοδιαλυτό εποξειδικό σύστημα, ή σε συνδυασμό με ένα υδατοδιαλυτό ακρυλικό.

Οι διαφορετικοί τύποι εποξειδικών χρωμάτων έχουν και διαφορετικές ιδιότητες. Εντούτοις, έχουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά. Τα πιο σημαντικά είναι:

### **Πλεονεκτήματα**

- ❖ Καλή αντοχή στο νερό
- ❖ Καλή πρόσφυση στην επιφάνεια
- ❖ Χημικές αντοχές
- ❖ Αντοχή σε αλκάλια
- ❖ Εξαιρετική αντοχή σε μηχανική καταπόνηση
- ❖ Μεγάλη διάρκεια ζωής
- ❖ Ορισμένα συστήματα είναι εγκεκριμένα για επαφή με τρόφιμα και πόσιμο νερό.

- ❖ 8 Δυνατότητα για υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά και χαμηλή σε πτητικά.

### Περιορισμοί

- ❖ Χαμηλή αντοχή σε υπεριώδη ακτινοβολία, εμφανίζουν κιμωλίαση στο φως του ήλιου.
- ❖ Εφαρμογή και αντίδραση εξαρτώνται από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος - κανονικά συστήματα απαιτούν θερμοκρασίες άνω των 10οC, συστήματα για χειμερινές συνθήκες μέχρι -5οC.
- ❖ Δυσκολία στην επαναβαφή μετά την αντίδραση
- ❖ Συστήματα δύο συστατικών, απαιτούν καλή ανάμιξη και πιθανόν να παρουσιάσουν υψηλές απώλειες.
- ❖ Μέτρια αντοχή στα οξέα
- ❖ Προκαλούν αλλεργίες
- ❖ Απαιτούν εξειδικευμένη γνώση για σωστή εφαρμογή. Στα χρώματα χημικής αντίδρασης κατατάσσονται και τα χρώματα φούρνου. Αυτά ξηραίνονται με «ψήσιμο» σε φούρνο, σε θερμοκρασία συνήθως από 100 – 160 οC ανάλογα με το είδος της ρητίνης. Όπως είναι ευνόητο δεν χρησιμοποιούνται καθόλου σε οικοδομικές χρήσεις. Είναι καθαρά βιομηχανικών εφαρμογών. Οι συνηθέστερη χρήση είναι για την βαφή οικιακών συσκευών.

### 3.3.6 Πολυουρεθανικά

**Πολυουρεθάνης 2 συστατικών:** Έχουν εξαιρετική αντοχή στις καιρικές συνθήκες, το νερό, τα χημικά. Μεγάλη στιλπνότητα (εκτός από τα ματ και τα σατινέ) και σκληρότητα. 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. Έτσι το ένα σοβαρό μειονέκτημα δεν υφίσταται πλέον.  
([http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/XR\\_VERN\\_SIG\\_OUSIES](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES))



**Πολυουρεθάνης 1 συστατικού** (καθαρή πολυουρεθάνη σε αντίθεση με τα τροποποιημένα αλκυδικά): Ξηραίνονται με την υγρασία της ατμόσφαιρας. Έχουν πολύ μεγάλη αντοχή, γυαλάδα, σκληρότητα. Μειονέκτημα το υψηλό κόστος, οι ισχυροί οργανικοί διαλύτες και ο κίνδυνος πολυμερισμού μέσα στο κουτί πριν την χρήση.

Εδώ πρέπει να τονισθεί ένα θέμα που αφορά όλες τις πολυουρεθάνες, ενός και δύο συστατικών, νερού και διαλύτου, καθώς και τις αλκυδικές ουρεθανικές: Εάν η χρησιμοποιούμενη ισοκυανική ρητίνη είναι αρωματική, αφενός μεν είναι επιβλαβής για τους ανθρώπους και το περιβάλλον (στην αρχική της μορφή ως μονομερές ή ολιγομερές), αφετέρου δε 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.

Υπάρχουν επίσης και χρώματα αλκυδικά, με βάση αλκυδικές ρητίνες τροποποιημένες με ουρεθάνη. Αυτά όμως δεν ανήκουν σ' αυτή την κατηγορία αλλά στην κατηγορία των αλκυδικών.

Τα συστήματα δύο συστατικών έχουν πλήθος εφαρμογών, για υψηλές επιδόσεις σε μέταλλο, σκυρόδεμα, ξύλο και πλαστικό. Τα πολυουρεθανικά χρησιμοποιούνται κυρίως ως επανοχρώματα σε εποξειδικά συστήματα βαφής.

Εμφανίζουν εξαιρετική διατήρηση στιλπνότητας και χρώματος σε εξωτερικές συνθήκες. Επιπλέον, είναι ανθεκτικά σε χημικά και διαλύτες. Ως χημικά αντιδρώντα χρώματα, ο χρόνος αντίδρασής τους εξαρτάται από τη θερμοκρασία, η οποία συνήθως οφείλει να είναι πάνω από 0°C.

([http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/XR\\_VERN\\_SIG\\_OUSIES](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES))

### **3.3.7 Πολυεστερικά**

Τα πολυεστερικά χρώματα είναι γρήγορης αντίδρασης, μεγάλου πάχους χρώματα, τα οποία ενισχύονται με νιφάδες γυαλιού. Προσδίδουν μακροχρόνια προστασία σε μεταλλικές κατασκευές γενικά, 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 (erosion).

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.

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 (grit blasting). Για χάλυβα, το ελάχιστο είναι Sa2½. Σε επιφάνειες σκυροδέματος, πρέπει να εφαρμόζεται ένα σφραγιστικό βινυλικού εστέρα προκειμένου να εξασφαλίζεται η καλή πρόσφυση για το πολυεστερικό χρώμα.

([http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/XR\\_VERN\\_SIG\\_OUSIES](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES))

### 3.3.8 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 μορφήν γαλακτώματος. Κατά την ξήρανση, όσο εξατμίζεται το νερό, τα σωματίδια πλησιάζουν μεταξύ τους ώσπου κάποια στιγμή συντήκονται (coalescence), 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. (βλέπε σχετικό κεφάλαιο). 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. όπως φαίνεται αναλυτικά στο κεφάλαιο των εφαρμογών (κεφάλαιο 1.9). Τα ομοπολυμερή χρησιμοποιούνται, εκτός από τις κόλλες, σε αστάρια τοίχων, φθηνά υδροχρώματα και άλλα σχετικά.

**Πλεονεκτήματα:** Τα πλεονεκτήματα στα συστήματα όπου διαλύτης είναι το νερό είναι προφανή: Απουσία οσμής, κινδύνου για την υγεία, χωρίς κίνδυνο ανάφλεξης ή εκρήξεων. Ελάχιστη εκπομπή οργανικών διαλυτών στην ατμόσφαιρα, καθιστά τα προϊόντα αυτά φιλικά προς το περιβάλλον, με μικρότερο κίνδυνο για το χρήστη.

**Μειονεκτήματα:** Τα μειονεκτήματα των υδατικών διασπορών είναι η αργή εξάτμιση σε χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλή σχετική υγρασία. Σε ορισμένες περιπτώσεις παρουσιάζουν μειωμένη αντοχή στο νερό, και ασφαλώς το χρώμα παγώνει κάτω από τους 0°C. ([http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/XR\\_VERN\\_SIG\\_OUSIES](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES))

### **3.3.8.1 Συμπολυμερή οξεικού πολυβινυλεστέρα (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

### 3.3.8.1.1 Ακρυλικά

Χρησιμοποιούνται κυρίως για εξωτερικές εφαρμογές σε τοίχους οικοδομών. Διακρίνονται δύο είδη ακρυλικών χρωμάτων σ' αυτή την κατηγορία:

Καθαρά Ακρυλικά 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 50 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. ([http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/XR\\_VERN\\_SIG\\_OUSIES](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES))

### 3.3.9 Πιγμέντα

Με τον όρο πιγμέντα ή πρωταρχικά πιγμέντα νοούνται λεπτότατα λειοτριβημένες φυσικές ή συνθετικές, ανόργανες ή οργανικές ουσίες, οι οποίες διασπειρόμενες σε ένα υγρό φορέα κατά την παρασκευή του χρώματος δίνουν στο παραγόμενο ξηρό υμένα διάφορες ιδιότητες όπως αδιαφάνεια, χρωματισμό, υδατοαπώθηση κ.α. Ο δείκτης διάθλασης τους είναι μεγαλύτερος από 1,7 και το ειδικό τους βάρος έως 5.

Τα πιγμέντα χωρίζονται σε έγχρωμα και λευκά. Από τα έγχρωμα τα πιο σημαντικά είναι τα οξειδία του σιδήρου, που στην σύνθεση και την δομή τους αντιστοιχούν

στα ορυκτά αιματίτης, μαγνητίτης και φαιόλιθος. Από τα δε λευκά πιγμέντα δύο είναι εκείνα που έχουν εμπορική αξία εφαρμογής: το διοξείδιο του τιτανίου και το λιθοπόνιο. (KWJ Treadaway, PB Bamforth,1990)

### 3.3.9.1 Αστάρια Ψευδαργύρου

Τα αστάρια ψευδαργύρου χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σε μεταλλικές κατασκευές, και μάλιστα χαλύβδινες. Ο κύριος λόγος για την εφαρμογή ενός ασταριού ψευδαργύρου είναι για καθοδική προστασία. Για να λειτουργήσει σωστά η καθοδική προστασία, είναι ιδιαίτερα σημαντικό το αστάρι να περιέχει ικανή ποσότητα μεταλλικού ψευδαργύρου στη σύστασή του. Αυτό 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 το φορέα. Οι ανόργανοι φορείς έχουν πολύ καλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα από τους οργανικούς. Γι αυτό και οι απαιτήσεις σε περιεκτικότητα σε σκόνη ψευδαργύρου είναι χαμηλότερες. Μια ευρέως αποδεκτή οδηγία για την ελάχιστη απαίτηση σε σκόνη ψευδαργύρου δίνεται από το συμβούλιο βαφής κατασκευών χάλυβα, Steel Structure Painting Council, SSPC - Paint 20, η οποία αφορά και τους δύο τύπους ασταριού. Η συνολική περιεκτικότητα σε σκόνη ψευδαργύρου οφείλει να είναι 74% κατά βάρος συνολικών στερεών για ανόργανο αστάρι ψευδαργύρου, και 77% κατά βάρος συνολικών στερεών για οργανικό αστάρι ψευδαργύρου. Αυτό βέβαια είναι οδηγία και όχι προδιαγραφή.

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. Διάφοροι οργανισμοί τυποποίησης έχουν θεσπίσει προδιαγραφές και πληροφορίες σε σχέση με τη σύσταση και τις απαιτήσεις απόδοσης των ανόργανων ασταριών ψευδαργύρου. Πολύ συχνά η απόφαση για καθορισμό ενός ασταριού ψευδαργύρου έγκειται στο αν θα χρησιμοποιηθεί οργανικό ή ανόργανο υλικό. Το ερώτημα δεν είναι ποιο είναι το καλύτερο, αλλά το καταλληλότερο για το περιβάλλον της συγκεκριμένης κατασκευής και τις συνθήκες

εφαρμογής. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα οργανικά αστάρια δίνουν ταχύτερους χρόνους παραγωγής, ενώ ο ανόργανος ψευδάργυρος παρέχει καλύτερη αντιδιαβρωτική προστασία λόγω καλύτερης αγωγιμότητας από τον οργανικό και καλύτερης επαφής μεταξύ χάλυβα και ψευδάργυρου.  
([http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/XR\\_VERN\\_SIG\\_OUSIES](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES))

#### **3.3.9.1.1 Αστάρια Ενώσεων Ψευδαργύρου**

Τα αστάρια ψευδαργύρου (Θερμοσκληρυνόμενα) είναι τα πλέον κοινά. Το εποξειδικό αστάρι ψευδαργύρου έχει την καλύτερη απόδοση από όλους τους υπόλοιπους τύπους οργανικών ασταριών ψευδαργύρου.

Εφαρμόζονται σε αμμοβολισμένο χάλυβα κατά Sa 2 1/2. 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.  
([http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/XR\\_VERN\\_SIG\\_OUSIES](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES))

#### **3.3.9.1.2 Αστάρια Ανόργανου Ψευδαργύρου**

Η πρακτική της εφαρμογής των ασταριών αυτού του τύπου εξαρτάται από το περιβάλλον έκθεσης και τον τύπο της κατασκευής. Συνήθης περίπτωση είναι η εφαρμογή μιας στρώσης 75 - 125 μικρών πάχους ξηρού υμένα. Είναι ανθεκτικά σε διάφορα χημικά, ιδιαίτερα διαλύτες, αλλά δεν χρησιμοποιούνται σε αλκαλικό ή όξινο περιβάλλον. Η αντοχή τους σε θερμοκρασία είναι περίπου 400ο C. Γενικά δεν χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτείται μόνιμη εμβάπτιση σε νερό.

Τα αστάρια ανόργανου ψευδαργύρου στεγνώνουν γρηγορότερα σε σχέση με τους περισσότερους τύπους χημικής αντίδρασης. 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. Η πλήρης αντίδραση μπορεί να ελεγχθεί με το MEK τεστ.

Αν και τα αστάρια αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και αυτούσια, η κοινή πρακτική είναι να 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 στιλπνότητας, χημικής αντοχής, αντοχής στην τριβή (abrasion) και της ευελιξίας τους. ([http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/XR\\_VERN\\_SIG\\_OUSIES](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES))

### 3.3.10 Άλλα

Στην ίδια κατηγορία των χρωμάτων που ξηραίνονται με εξάτμιση ανήκουν και μερικές φυσικές ρητίνες, καθώς και οι ρητίνες υδρογονάνθρακος και οι νιτροκυτταρίνες. Οι φυσικές ρητίνες είναι παλαιάς τεχνολογίας και δεν χρησιμοποιούνται πολύ σήμερα, εκτός από ορισμένα ειδικά βερνίκια. Οι ρητίνες υδρογονάνθρακος χρησιμοποιούνται για μερικές βιομηχανικές χρήσεις καθώς και για ορισμένα μεταλλικά χρώματα αλουμινίου και μπρούντζου, για διακοσμητικές χρήσεις και για θερμά μεταλλικά αντικείμενα. Η νιτροκυτταρίνη χρησιμοποιείται όλο και λιγότερο σήμερα, περισσότερο για βερνίκια και ελάχιστα για μερικά χρώματα επίπλων πολύ ταχείας ξήρασης. ([http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/XR\\_VERN\\_SIG\\_OUSIES](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES))

### Χρώματα Χημικής αντίδρασης

Τα πιο συνηθισμένα χρώματα αντίδρασης σε βιομηχανικές εφαρμογές είναι τα λεγόμενα χρώματα 2 (ή πολλαπλών) συστατικών. Τα χρώματα αυτά παραδίδονται για χρήση σε 2 (ή περισσότερες) συσκευασίες. Αμέσως πριν τη χρήση αναμιγνύονται τα 2 συστατικά. Σ' αυτά οι φορείς μπορεί να είναι εποξειδικές 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. Τα 2 συστατικά παραδίδονται στον καταναλωτή χωριστά, διότι από την στιγμή της ανάμιξης αρχίζει η χημική αντίδραση, η οποία μέσα σε λίγες ώρες τελειώνει και το

χρώμα πήζει. Συχνά μερικοί ονομάζουν το δεύτερο συστατικό των χρωμάτων της κατηγορίας αυτής «καταλύτη». Αυτό είναι λάθος, διότι το δεύτερο συστατικό συμμετέχει στην χημική αντίδραση στοιχειομετρικά, ενώ ο καταλύτης χρησιμεύει απλά για να επιταχύνει μια αντίδραση χωρίς να συμμετέχει ποσοτικά.

Στην ίδια κατηγορία χρωμάτων χημικής αντίδρασης υπάγονται και τα λεγόμενα χρώματα “φούρνου”. Αυτά αποτελούνται από 2 ειδών ρητίνες: ρητίνες που περιέχουν υδροξύλια (αλκυδικές ειδικού τύπου, ακρυλικές,...) και ρητίνες αζωτούχες (μελαμίνης-φορμαλδεΐδης, ουρίας-φορμαλδεΐδης,...) 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. ([http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/XR\\_VERN\\_SIG\\_OUSIES](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES))

### 3.3.11 Ιδιόμορφοι τρόποι σχηματισμού υμένα

⇒ Τα χρώματα ακτινοβολίας (radiation curing, rad-cure). Σ’ αυτά τα χρώματα, ο υμένας ξηραίνεται με σύντομη ακτινοβολία είτε με υπεριώδεις ακτίνες (UV-curing) είτε με δέσμη ηλεκτρονίων (e.b. curing= electron beam curing). Συνήθως με τον τρόπο αυτόν εφαρμόζονται διαφανή βερνίκια και ορισμένα μελάνια τυπογραφίας. Χρειάζονται ειδικές εγκαταστάσεις για αυτήν την εφαρμογή.

⇒ Τα χρώματα που ξηραίνονται παρουσία οξέος (acid curing). Σ’ αυτήν τη κατηγορία κατατάσσονται ως επί το πλείστον βερνίκια ξύλου (επίπλων και τεμαχίων ξύλου πατωμάτων). Στην χώρα μας όμως δεν έχουν βρει ευρεία εφαρμογή.

⇒ Τα χρώματα πούδρας. Είναι σε μορφή πούδρας (σκόνης) και εφαρμόζονται με ειδικά μηχανήματα, με εκτόξευση στο θερμό αντικείμενο. Αυτό βέβαια, όπως είναι φυσικό, περιορίζει πολύ την εφαρμογή τους μόνο σε ορισμένα βιομηχανικά προϊόντα. Συνήθως τα χρώματα πούδρας έχουν βάση ρητίνες πολυεστέρος ή εποξεικές. Επίσης στην κατηγορία αυτή ανήκουν χρώματα πούδρας που εφαρμόζονται με ηλεκτροστατικό τρόπο.

([http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/XR\\_VERN\\_SIG\\_OUSIES](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES))



### 3.3.12 Επικαλύψεις νανοτεχνολογίας

Οι νανοεπικαλύψεις είναι επικαλύψεις στις οποίες χρησιμοποιούνται και υλικά τα οποία έχουν νανοδιαστάσεις. Η χρήση των υλικών σε νανοδιαστάσεις μπορεί να οδηγήσει σε ένα υλικό πυκνότερο με περιορισμό των κενών μεταξύ των διαφόρων σωματιδίων. Η εμφάνιση και η χρησιμότητα των νανοσωματιδίων φέρνει πολλά πλεονεκτήματα στα χρώματα και τις επικαλύψεις. Η νανοτεχνολογία αξιοποιείται ιδιαίτερος στην βιομηχανία παραγωγής επικαλύψεων. Η προσθήκη νανοσωματιδίων στις επικαλύψεις μπορεί να αναβαθμίσει τις ιδιότητες τους με αποτέλεσμα τη δυνατότητα παραγωγής πολλών διαφορετικών επικαλύψεων για διάφορες χρήσεις και με καλο λόγο ποιότητας προς κόστος. Τέτοιες επικαλύψεις, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες εφαρμογές όπως:

αντίσταση σε αμυχές και αυτοίωση,

για τον αυτοκαθαρισμό επιφανειών

, για την αποφυγή υγρασίας

και την αποφυγή της διάβρωσης. Επιπλέον η σύνθεση τους επιτρέπει την καλύτερη αντοχή τους σε συνδιασμό με τη διαφάνεια τους και καθιστούν τις νανοεπιστρώσεις ακόμη πιο αποτελεσματικές.

#### **Πλεονεκτήματα επικαλύψεων νανοτεχνολογίας**

- Καλή πρόσφυση σε υλικά διαφόρων τύπων
- Καλή χημική αντίσταση
- Οπτική διαύγεια
- Μείωση διαπερατότητας σε διαβρωτικό περιβάλλον και κατα συνέπεια καλύτερες ιδιότητες έναντι διάβρωσης
- Θερμική σταθερότητα
- Ιδιότητες αυτοκαθαρισμού
- Ανακλαστικές ιδιότητες
- Θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα
- Καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα (Khanna, 2008)

## 3.4 Αστοχία Χρώματος

### 3.4.1 Προβλήματα Και Αστοχίες Κατά Την Εφαρμογή

Λανθασμένη μεθοδολογία ή πρακτική κατά την εφαρμογή είναι συνηθισμένη αιτία διαφόρων προβλημάτων. Λανθασμένη επιλογή ή ελλιπής συντήρηση εξοπλισμού βαφής, μη εξειδικευμένοι βαφείς, ή ακόμη και οι καιρικές συνθήκες κατά την ώρα της εφαρμογής μπορεί να έχουν σημαντική επίπτωση στο τελικό αποτέλεσμα. Παρακάτω ακολουθεί αναφορά στους κυριότερους παράγοντες αστοχίας ενός χρώματος. ([www.portal.tee.gr/material\\_guides](http://www.portal.tee.gr/material_guides))

#### 1. Χονδροί κόκκοι («μπιμπίκια») από κατάλοιπα και σκόνη

Πριν από οποιαδήποτε επαναβαφή θα πρέπει να απομακρύνονται η σκόνη και κατάλοιπα από τριψίματα, γυαλοχαρτίσματα, αμμοβολές, ή άλλη μηχανική προεργασία της επιφάνειας. Στην αντίθετη περίπτωση τα κατάλοιπα αυτά θα εγκλωβιστούν στην βαμμένη επιφάνεια, επηρεάζοντας την εμφάνισή της και την απόδοση του συστήματος. ([www.portal.tee.gr/material\\_guides](http://www.portal.tee.gr/material_guides))

#### 2. Δάκρυσμα ή "Τρέξιμο" (Sagging)

Το δάκρυσμα προκαλείται από τους εξής παράγοντες:

Το χρώμα εφαρμόζεται σε μεγαλύτερο πάχος από το επιτρεπτό όριο

Στο χρώμα έχει προστεθεί ποσότητα αραιωτικού μεγαλύτερη από το επιτρεπτό

Το πινέλο δεν στραγγίζεται καλά πριν το βάψιμο

Το πιστόλι βαφής τοποθετείται υπερβολικά κοντά στην επιφάνεια κατά την εφαρμογή.

Μετά την πλήρη αντίδραση το χρώμα μπορεί να εμφανίσει ρωγμές και να αποκαλυφθεί το υπόστρωμα. Εφόσον παρατηρηθεί τρέξιμο κατά τη βαφή θα πρέπει να απομακρύνεται όσο η επιφάνεια είναι ακόμη υγρή. Επιδιόρθωση μετά το στέγνωμα απαιτεί απομάκρυνση του χρώματος και επαναβαφή. ([www.portal.tee.gr/material\\_guides](http://www.portal.tee.gr/material_guides))

### **3. Σημάδια Πινέλου (Βενιές)**

Αν η συνταγή του χρώματος δεν είναι καλά ισορροπημένη, αν το χρώμα πριν την εφαρμογή με πινέλο αραιωθεί με διαλυτικό που δεν είναι κατάλληλο ή αν ο τεχνίτης δεν έχει την κατάλληλη εμπειρία, το χρώμα δεν «στρώνει» καλά και δεν κλείνουν τα σημάδια του πινέλου. Το ίδιο συμβαίνει αν χρησιμοποιηθεί πινέλο για την εφαρμογή ταχύστεγνου χρώματος πιστολιού.  
([www.portal.tee.gr/material\\_guides](http://www.portal.tee.gr/material_guides))

### **4. Κρατήρες, Τρύπες Και Πόροι**

Συνήθης αιτία εμφάνισης των παραπάνω είναι λανθασμένη τεχνική κατά τη βαφή, όπως μεγάλο πάχος βαφής, υψηλός εξαερισμός ή άνεμος, μεγάλη πίεση αέρα κατά την εφαρμογή με πιστόλι ή μεγάλη απόσταση εφαρμογής. Κατά την εφαρμογή μεγάλου πάχους παγιδεύεται αέρας στο χρώμα, ο οποίος διαφεύγει κατά την αντίδραση και προκαλεί τα παραπάνω φαινόμενα. Κατά συνέπεια εμφανίζεται τοπική διάβρωση της επιφάνειας και αποκόλληση του χρώματος γύρω από τους κρατήρες. Εφόσον παρατηρηθεί εμφάνιση κρατήρων κατά τη βαφή αυτοί θα πρέπει να απομακρύνονται όσο η επιφάνεια είναι ακόμη υγρή. Επιδιόρθωση μετά το στέγνωμα απαιτεί απομάκρυνση του χρώματος και επαναβαφή.  
([www.portal.tee.gr/material\\_guides](http://www.portal.tee.gr/material_guides))

### **5. Ανεπαρκές Πάχος Βαφής**

Συνήθως αποτέλεσμα λανθασμένης τεχνικής βαφής ή ελέγχου (ελλιπής χρήση παχύμετρου). Επίσης μπορεί να προκληθεί από προσθήκη υπερβολικής ποσότητας διαλύτη στο χρώμα. Σημειώνεται ότι συνήθως η εφαρμογή με ρολό ή πινέλο έχει ως αποτέλεσμα μικρότερο πάχος βαφής από ότι η εφαρμογή με πιστόλι. Τα σημεία με μικρό πάχος βαφής μπορούν να επαναβαφούν σύμφωνα με το χρονικό όριο επαναβαφής που αναφέρεται στο τεχνικό φυλλάδιο του χρώματος.

### **6. Υπερβολικό Πάχος Βαφής**

Εκτός του ότι είναι οικονομικά ασύμφορο, μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς τη απόδοση του χρώματος. Ρωγμές, εγκλωβισμός διαλύτη, δάκρυσμα, κρατήρες και τρύπες είναι ορισμένα από τα φαινόμενα που μπορεί να προκληθούν.

Συμβουλευτείτε τον προμηθευτή του χρώματος για πιθανούς τρόπους αντιμετώπισης. ([www.portal.tee.gr/material\\_guides](http://www.portal.tee.gr/material_guides))

### **7. Διακοπές**

Χαρακτηρίζονται έτσι οι περιοχές οι οποίες διέφυγαν της προσοχής του βαφέα ή όπου εφάρμοσε ανεπαρκές πάχος βαφής (π.χ. ελλιπής αλληλοεπικάλυψη). Αυτές οι περιοχές θα πρέπει να διορθώνονται πριν από τη εφαρμογή της επόμενης στρώσης. Σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρη οξείδωση (pinpoint rusting) στη συγκεκριμένη περιοχή. Προτείνεται 50% αλληλοεπικάλυψη για κάθε πέρασμα, ώστε να αποφεύγεται το φαινόμενο αυτό. ([www.portal.tee.gr/material\\_guides](http://www.portal.tee.gr/material_guides))

### **8. Κυκλικά Κενά (Fish Eyes) - Κακή Διαβροχή**

Ορισμένες περιοχές της επιφάνειας δεν διαβρέχονται σωστά από το χρώμα. Οφείλεται συνήθως σε μόλυνση της επιφάνειας από λάδια, γράσα, σκόνη, υγρασία, σιλικόνη κλπ. ([www.portal.tee.gr/material\\_guides](http://www.portal.tee.gr/material_guides))

### **9. Blushing**

Μπορεί να συμβεί πριν από την πλήρη αντίδραση του χρώματος από συμπυκνώματα και υγρασία στην επιφάνεια της βαφής, η οποία μορφοποιεί λευκά σημεία στην επιφάνεια. Όταν δημιουργηθεί το φαινόμενο, παραμένει στην επιφάνεια ακόμη και μετά το στέγνωμα του χρώματος. ([www.portal.tee.gr/material\\_guides](http://www.portal.tee.gr/material_guides))

### **10. Blooming (επίσης γνωστό ως amine blooming)**

Εποξειδικά χρώματα, ειδικά όσα αντιδρούν με αμίνες, είναι ιδιαίτερα επιρρεπή σε ελλιπή αντίδραση σε ψυχρές συνθήκες με υψηλή υγρασία. Λαμβάνει χώρα αντίδραση η οποία εμφανίζει λευκούς λεκέδες στην επιφάνεια του χρώματος. Οι λεκέδες αυτοί είναι υδατοδιαλυτοί και πρέπει να αφαιρούνται με καθαρό ζεστό νερό και πανιά πριν την επαναβαφή, για την αποφυγή ελλιπούς πρόσφυσης μεταξύ των στρώσεων. ([www.portal.tee.gr/material\\_guides](http://www.portal.tee.gr/material_guides))

### 3.4.2 Προβλήματα Κατά Την Αντίδραση Ή Ξήρανση

Ο έλεγχος των συνθηκών αντίδρασης ή ξήρανσης είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τη βέλτιστη απόδοση ενός συστήματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο έλεγχος αυτός γίνεται εμπειρικά.

#### 1. Ζάρωμα

Το ζάρωμα εμφανίζεται συχνά σε αλκυδικά χρώματα ή χρώματα με βάση λαδιού όταν εφαρμόζονται σε μεγάλο πάχος. Τότε το εξωτερικό στρώμα αντιδρά πλήρως ενώ το εσωτερικό στρώμα του χρώματος παραμένει μαλακό.

### 3.4.3 Προβλήματα Και Αστοχίες Μετά Την Εφαρμογή

#### 1. Μετανάστευση - Bleeding

Λέκιασμα του χρώματος τελικής στρώσης από ενδιάμεσο χρώμα που περιέχει συνήθως λιθανθρακόπισσα ή άσφαλτο. Η λιθανθρακόπισσα μεταναστεύει πάντα μέσα από το τελικό χρώμα, οδηγώντας σε αλλαγή χρωματισμού. Η μετανάστευση αυτή μπορεί να προκύψει ακόμη και μετά από αμμοβολή, ενώ προκαλείται γρηγορότερα υπό το φως του ήλιου. Ορισμένα πιγμέντα μπορούν επίσης να προκαλέσουν το φαινόμενο. Είναι σχεδόν αδύνατον να επιδιορθωθεί. Οι μεταχρωματισμένες περιοχές μπορούν να σφραγιστούν με χρώμα που περιέχει αλουμίνιο, χωρίς να εξασφαλιστεί η αποφυγή περαιτέρω μετανάστευσης.

#### 2. Αποχρωματισμός

Παραπλήσιο φαινόμενο με αυτό της μετανάστευσης η οποία επίσης προκαλεί αποχρωματισμό. Οφείλεται συχνά στη ρητίνη που έχει χρησιμοποιηθεί στο χρώμα. Ορισμένα πιγμέντα επίσης προκαλούν αποχρωματισμούς. Πολλά χρώματα, ιδιαίτερα τα πιο ανοιχτόχρωμα, ξεθωριάζουν και γίνονται πιο μουντά με την πάροδο του χρόνου. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται σε χρώματα που προορίζονται για εσωτερική χρήση και ξεθωριάζουν ή αλλάζουν απόχρωση όταν εκτεθούν σε εξωτερικές συνθήκες. Συνηθέστερη εκδήλωση του φαινομένου αυτού στα οικοδομικά χρώματα είναι το κιτρίνισμα. Το κιτρίνισμα μάλιστα εκδηλώνεται ως επί το πλείστον με τον εξής τρόπο: τα χρώματα υδατικής διασποράς που

χρησιμοποιούνται στους τοίχους συνήθως κιτρινίζουν ελάχιστα έως καθόλου. Τα αλκυδικά χρώματα, με τα οποία βάφονται τα ξύλινα αντικείμενα (κουφώματα, ντουλάπες κτλ) κιτρινίζουν κατά το μάλλον ή ήττον, περισσότερο μάλιστα στο σκοτάδι. Έτσι όταν αυτά τα δύο χρώματα είναι δίπλα το ένα με το άλλο, η διαφορά γίνεται εμφανέστερη.

### **3. Φλύκταινες -Φυσαλίδες**

Από τις πιο συνήθεις αστοχίες, συσχετίζεται με την πρόσφυση του χρώματος. Ορισμένες φορές οι φυσαλίδες είναι ξηρές, και άλλες περιέχουν υγρό. Μπορεί να είναι μικρές ή μεγάλες, ανάλογα με το βαθμό πρόσφυσης με το υπόστρωμα ή μεταξύ των στρώσεων και με την εσωτερική πίεση του αερίου ή υγρού μέσα στη φυσαλίδα, ενώ εμφανίζονται συχνά στο σχήμα ημισφαιρίου. Οι βασικές κατηγορίες είναι οι εξής:

- Φυσαλίδες μεταξύ του συστήματος βαφής και του υποστρώματος
- Φυσαλίδες μεταξύ των διαφόρων στρώσεων του συστήματος.

Είναι επίσης δυνατή η εμφάνιση φυσαλίδων μέσα στην ίδια στρώση, από εγκλωβισμό αέρα ή διαλύτη ή και των δύο. Εμφανίζεται σπανιότερα από τις δύο πρώτες κατηγορίες. Το φαινόμενο μπορεί να οφείλεται σε διάφορες αιτίες:

Όσμωση από διαλυτά πιγμέντα ή άλλα συστατικά, τα οποία απορροφούν υγρασία διαμέσου του υμένα. Επίσης οφείλεται σε διαλυτά άλατα που μολύνουν το υπόστρωμα ή την επιφάνεια μεταξύ των στρώσεων.

Μόλυνση της επιφάνειας από άλλα υλικά που εμποδίζουν την πρόσφυση του χρώματος (λάδια, σκόνη, κεριά κλπ). Στις περιπτώσεις αυτές εμφανίζονται ξηρές φυσαλίδες.

Χρήση ακατάλληλου shop primer (προσωρινού ασταριού). Όταν γίνει επαναβαφή με μόνιμο χρώμα το αστάρι δεν παρέχει την απαιτούμενη πρόσφυση, ή οι ισχυροί διαλύτες του τελικού χρώματος αποκολλούν το προσωρινό αστάρι από το υπόστρωμα.

Εγκλωβισμένοι διαλύτες στον υμένα πιθανόν αυξάνουν την προσρόφηση

υγρασίας και να οδηγήσουν σε δημιουργία φυσαλίδων. Συνοδεύεται από οσμή διαλύτη

#### **4. Αποφολίδωση - ξεφλούδισμα**

Συσχετίζεται πάντοτε με την πρόσφυση. Συνήθως οφείλεται σε ανεπαρκή προεργασία, μολύνσεις στο υπόστρωμα ή μεταξύ των στρώσεων, υπέρβαση του καθορισμένου χρόνου επαναβαφής ή σε κιμωλίαση. Επίσης προκαλείται από γήρανση ή παρατεταμένη έκθεση του χρώματος σε καιρικές συνθήκες.

#### **5. Ρηγμάτωση**

Στις περισσότερες περιπτώσεις οφείλεται σε γήρανση και έκθεση σε καιρικές συνθήκες. Εμφανίζεται κυρίως σε τρεις τύπους: Checking, ρηγμάτωση, και mud-cracking.

Checking: Μικρές ρωγμές στην επιφάνεια, δεν διαπερνούν το συνολικό βάθος της επικάλυψης. Ορισμένες φορές δεν είναι ορατό με γυμνό οφθαλμό.

Ρηγμάτωση: Οι ρωγμές στο χρώμα εκτείνονται μέχρι το υπόστρωμα.

Όσο πιο μεγάλο το πάχος του υμένα, τόσο μεγαλύτερες είναι και οι τάσεις που αναπτύσσονται στην επιφάνεια της επικάλυψης. Όταν οι τάσεις αυτές είναι μεγαλύτερες από την εσωτερική συνοχή του χρώματος (συνήθως λόγω ελλιπούς συνταγής του χρώματος) εμφανίζονται ρωγμές. Επίσης δημιουργούνται από απότομες μεταβολές στην θερμοκρασία, που προκαλούν συστολοδιαστολές.

Mud-cracking: (Σκάσιμο ): Σκάσιμο που παίρνει μορφή παρόμοια με αυτήν της λάσπης όταν ξεραθεί και σκάσει. Παρατηρείται σε επικαλύψεις με μεγάλη περιεκτικότητα σε αδρανή, οι οποίες εφαρμόζονται σε μεγάλο πάχος. Παρατηρείται αμέσως μόλις τα διαλυτικά του χρώματος αρχίζουν να εξατμίζονται από την επιφάνεια. Όταν συμβεί, το χρώμα έχει πλέον χάσει τη συνοχή του και πρέπει να απομακρυνθεί.

#### **7. Έλλειψη πρόσφυσης**

Αν εμφανισθεί αμέσως μετά την εφαρμογή του χρώματος, οφείλεται σε μη συμβατότητα του χρώματος με την επιφάνεια προς βαφή, είτε αυτό είναι το πρώτο στρώμα, είτε άλλα στρώματα χρωμάτων. Επίσης μπορεί να οφείλεται σε κακή

προετοιμασία της επιφάνειας, και αν δεν είναι η πρώτη στρώση, μπορεί να είναι κακή τήρηση των χρόνων επαναβαφής.

#### **8. Απώλεια στιλπνότητας**

Αν το χρώμα με την πάροδο του χρόνου εμφανίζει υπερβολικά γρήγορη μείωση της στιλπνότητας, συνήθως αυτό οφείλεται σε κακή ποιότητα ή κακή επιλογή φορέα χρώματος.

#### **9. Συγκόλληση (blocking)**

Εμφανίζεται συνήθως σε ξύλινες επιφάνειες, όπως τα παράθυρα. Όταν 2 ξύλινες επιφάνειες βαμμένες έρθουν σε επαφή, το χρώμα της μιας επιφάνειας κολλά με το χρώμα της άλλης, και όταν οι επιφάνειες αποχωριστούν τα κολλημένα χρώματα δημιουργούν πρόβλημα.



# ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

## 4. ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ- ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

### 4.1 Σκοπός

Το αντικείμενο της παρούσης μεταπτυχιακής εργασίας είναι η εκτίμηση της ανθεκτικότητας έξι οργανικών επιστρωμάτων (χρώματα), οι οποίες ανήκουν στις κατηγορίες των βιομηχανικών χρωμάτων, των συμβατικών χρωμάτων και των χρωμάτων με βάση τη νανοτεχνολογία. Ειδικότερα, διερευνήθηκε η μελέτη του βαθμού της αντιδιαβρωτικής προστασίας που παρέχουν αυτές οι επικαλύψεις στον οπλισμό του σκυροδέματος, όταν το σκυρόδεμα εκτίθεται σε ένα ιδιαίτερα διαβρωτικό περιβάλλον, όπως είναι αυτό των χλωριόντων σε εναλλασσόμενες συνθήκες υγρανσης-ξηρανσης. Συγκεκριμένα οι οργανικές επικαλύψεις που εξετάστηκαν είναι:

- Εποξειδικό χρώμα
- Χρώμα πολυουρεθάνης
- Ακρυλική διασπορά
- Ακρυλική διασπορά με ελαστομερικές ρητίνες
- Ακρυλική διασπορά νανοτεχνολογίας
- Σιλοξανική ακρυλική διασπορά νανοτεχνολογίας

Οι οργανικές επικαλύψεις εφαρμόστηκαν σε επιφάνειες δοκιμίων οπλισμένων τσιμεντοκονιαμάτων και οι διαβρωτικές συνθήκες επιτεύχθηκαν με παραμονή των δοκιμίων σε διάλυμα 3.5 wt% NaCl για διάστημα 24h και έπειτα ξήρανσής τους στον αέρα για 24h. Οι εναλλασσόμενες συνθήκες υγρανσης - ξήρανσης προσομοιάζουν το φαινόμενο παλίρροιας-άμπωτης που επικρατεί σε βάρθρα γεφυρών και λιμενικά έργα.

Ο έλεγχος της αξιολόγησης των προαναφερθέντων οργανικών επικαλύψεων περιελάμβανε ηλεκτροχημικές μη καταστρεπτικές μεθόδους, όπως:

- Μέτρηση του ελεύθερου δυναμικού διάβρωσης συναρτήσει του χρόνου έκθεσης

- Τεχνική της γραμμικής πόλωσης (Linear Polarization Technique, LPR) για τον προσδιορισμό της αντίστασης πόλωσης  $R_p$
- Φασματοσκοπία σύνθετης αντίστασης (εμπέδησης, Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS) για τον προσδιορισμό της αντίστασης της διεπιφάνειας τσιμεντοκονιάς- οπλισμού και την συγκριτική μελέτη των επικαλύψεων.

Όσον αφορά τις μηχανικές ιδιότητες προσδιορίστηκε η αντοχή σε πρόσφυση των επικαλύψεων πριν και μετά την έκθεση στο διαβρωτικό περιβάλλον, εφόσον αποτελεί σημαντική παράμετρο, η οποία επηρεάζει έμμεσα την διαδικασία διάβρωσης.

## 4.2 Πρώτες Ύλες

Το πειραματικό μέρος της εργασίας περιελάμβανε την κατασκευή 18 δοκιμίων οπλισμένου τσιμεντοκονιάματος τα οποία στη συνέχεια επικαλύφθηκαν με 6 διαφορετικές οργανικές προστατευτικές επικαλύψεις. Οι οργανικές επικαλύψεις που επιλέχθηκαν αντιστοιχούν σε τρεις διαφορετικούς τύπους χρωμάτων: τα συμβατικά, τα βιομηχανικά και χρώματα νανοτεχνολογίας. Οι πρώτες ύλες για την παρασκευή των τσιμεντοκονιαμάτων καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των χρωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν δίνονται αναλυτικά παρακάτω.

### 4.2.1 Οπλισμένα Τσιμεντοκονιάματα

Για την διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας κατασκευάστηκαν δοκίμια, τα οποία αποτελούνταν από τσιμέντο, αδρανή και νερό σε αναλογία 1 : 3 : 0.55. Η ακριβής σύσταση, καθώς και οι προδιαγραφές που τηρήθηκαν για κάθε υλικό αναφέρονται στις επόμενες ενότητες αναλυτικότερα.

### Τσιμέντο

Το τσιμέντο το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι τύπου CEM II 32.5N και η ακριβής σύστασή του δίνεται στον πίνακα 3.

**Πίνακας 3:** Σύσταση τσιμέντου CEM II

| SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | SO <sub>3</sub> | CaO <sub>(f)</sub> | LOI         |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------------------|-------------------|-----------------|--------------------|-------------|
| <b>20.67</b>     | 4.99                           | 3.18                           | 63.60 | 2.73 | 0.37             | 0.29              | 2.414           | 2.41               | <b>2.52</b> |

Σύμφωνα με τον Ελληνικό κανονισμό τσιμέντου που ισχύει με σχετικό προεδρικό διάταγμα (ΠΔ) από το 1980 προβλέπεται ότι το τσιμέντο τύπου II αποτελείται από τσιμέντο Portland με έως 20% φυσική ή τεχνική ποζολάνη. Ο αριθμός 32.5 αναφέρεται στις μηχανικές ιδιότητες. Συγκεκριμένα αναφέρεται ότι αναπτύσσει αντοχές σε θλίψη μεγαλύτερη από 15 N/mm<sup>2</sup> μετά το πέρας 7 ημερών, ενώ μετά από 28 ημέρες κυμαίνεται από 25 έως 45 N/mm<sup>2</sup>. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C 150 ο συγκεκριμένος τύπος τσιμέντου είναι γενικής χρήσης και προτιμάται όταν απαιτείται ενδιάμεση αντοχή στην επίδραση θειικών αλάτων ή ενδιάμεση θερμότητα ενυδάτωσης.

### Αδρανή

Τα χρησιμοποιούμενα αδρανή πρέπει να είναι σύμφωνα με την προδιαγραφή EN 12620, εφ' όσον πρόκειται για κανονικά ή βαριά αδρανή και την προδιαγραφή EN 13055-1, εφ' όσον πρόκειται για ελαφροβαρή αδρανή.

Στην παρούσα εργασία ως αδρανές υλικό χρησιμοποιήθηκε άμμος, η οποία πληρεί όλες τις απαιτούμενες προδιαγραφές. Η κοκκομετρική διαβάθμιση της άμμου που χρησιμοποιήθηκε δίδεται στον πίνακα 4.

**Πίνακας 4 :** Κοκκομετρική διαβάθμιση άμμου

| Διάμετρος κόκκων    | % Σύσταση |
|---------------------|-----------|
| 4 mm < d            | 2.80      |
| 2 mm < d < 4 mm     | 30.60     |
| 1 mm < d < 2 mm     | 25.43     |
| 500 μm < d < 1 mm   | 14.22     |
| 250 μm < d < 500 μm | 9.42      |
| d < 250 μm          | 16.53     |

## Νερό

Για το νερό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του σκυροδέματος υπάρχει μια ανοχή σχετικά με την ποιότητα του, σε αντίθεση με τα νερά που δρουν εξωτερικά και μόνιμα. Και αυτό γιατί η ποσοστιαία αναλογία του νερού ανάμιξης, και συνεπώς και κάθε ξένης ουσίας μέσα σε αυτό, είναι μικρή και εξάλλου οι ουσίες αυτές δρουν μέχρι να εξαντληθούν.

Το χρησιμοποιούμενο νερό πρέπει να ανταποκρίνεται στην προδιαγραφή EN 1008, ενώ η χρησιμοποίηση νερού από ανακύκλωση πρέπει να γίνεται με βάση το παράρτημα Α της ίδιας προδιαγραφής.

Στην παρούσα εργασία, για την παρασκευή των δοκιμών τσιμεντοκονιάματος και την συντήρησή τους, χρησιμοποιήθηκε νερό Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου το οποίο θεωρείται κατάλληλο για παρασκευή σκυροδέματος σύμφωνα με το ΕΛΟΤ 452 ( Hellenic Organization for Standardization ELOT 452)

## Οπλισμός

Τα τσιμεντοκονιάματα που κατασκευάστηκαν στα πλαίσια της πειραματικής διαδικασίας ήταν ενισχυμένα με χαλύβδινες ράβδους. Ο χάλυβας που χρησιμοποιήθηκε ήταν τύπου B500C με διάμετρο 12mm, ύψος 100mm σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 1421-3 (ΕΛΟΤ1421-3). Η χημική σύσταση του δομικού χάλυβα που χρησιμοποιήθηκε φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 5.

**Πίνακας 5 :** Χημική σύσταση δομικού χάλυβα

| C    | Mn   | S     | P     | Si   | Ni   | Cr   | Cu   | V     | Mo    |
|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|
| 0.18 | 0.99 | 0.047 | 0.023 | 0.15 | 0.09 | 0.09 | 0.21 | 0.002 | 0.021 |

## Επικαλύψεις-χρώματα

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται βιομηχανικά χρώματα ειδικών εφαρμογών και ακρυλικές διασπορές τόσο συμβατικές όσο και νανοτεχνολογίας με σκοπό την αξιολόγηση του βαθμού προστασίας που προσφέρουν στον οπλισμό όταν το

σκυρόδεμα εκτίθεται σε εναλλασσόμενους κύκλους ύγρυνσης –ξήρανσης. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω οργανικές επικαλύψεις:

- Εποξειδικό χρώμα
- Χρώμα πολυουρεθάνης
- Ακρυλική διασπορά
- Ακρυλική διασπορά με ελαστομερικές ρητίνες
- Ακρυλική διασπορά нанοτεχνολογίας
- Σιλοξανική ακρυλική διασπορά нанοτεχνολογίας

Οι οργανικές επικαλύψεις που μελετήθηκαν εφαρμόστηκαν στην επιφάνεια των δοκιμών με πινέλο σε δύο στρώσεις, η δεύτερη στρώση 24 ώρες μετά την πρώτη. Πριν την εφαρμογή των επικαλύψεων εφαρμόστηκε κατάλληλο αστάρι για την επίτευξη της βέλτιστης πρόσφυσης μεταξύ επικάλυψης και τσιμεντοκονίας. Τα χαρακτηριστικά των χρησιμοποιηθέντων συστημάτων δίνονται στον Πίνακα 6:

**Πίνακας 6:** Σύσταση των οργανικών επικαλύψεων

| Κωδική ονομασία<br>επικαλύψεων | Σύσταση   |
|--------------------------------|---|
| Ref                            | Δοκίμια αναφοράς χωρίς επικάλυψη  |
| Acr_nano                       | Ακρυλικό υπόστρωμα νερού για εσωτερική και εξωτερική χρήση. 100% ακρυλικό χρώμα νερού για εξωτερική χρήση με τεχνολογία NPS (Nanotechnology Paint System) και αυτοκαθαριζόμενες ιδιότητες. Στερεά κ.ο.: 64%. Απόδοση: 6-9m <sup>2</sup> /l.       |
| Silox_nano                     | Ακρυλικό αστάρι νερού για εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους με βάση ακρυλικές διασπορές. Φωτοκαταλυτικές και αυτοκαθαριζόμενες ιδιότητες χάρη στη τεχνολογία NPS. Στερεά κ.ο.: 50%, Ειδικό Βάρος: 1.60kg/l. Απόδοση 6-8m <sup>2</sup> /kg/στρώση |
| Poly                           | Εποξειδικό αστάρι 2 συστατικών ως υπόστρωμα για τσιμεντένιες επιφάνειες. Χρώμα δύο συστατικών πολυουρεθάνης, με αλειφατικού τύπου ισοκυανικά. Στερεά κ.ό.: 49±3%. Πυκνότητα: 1.20-1.40 kg/l. Απόδοση 9-11m <sup>2</sup> /                         |

kg/στρώση

Erox Εποξειδικό αστάρι 2 συστατικών, για τη βαφή δαπέδων και ως υπόστρωμα για τσιμεντένιες επιφάνειες. Καθαρό εποξειδικό χρώμα δύο συστατικών, σκληρυνόμενο με αμίνη. Στερεά κ.ό.: 95%. Πυκνότητα: 1.55 kg/l Απόδοση 6m<sup>2</sup>/kg/στρώση

Συνδεδειγμένο διάφανο αστάρι

Acr Διαλύτη εξωτερικής χρήσης. Συμπολυμερή στυρενίου και ακρυλικών ρητινών. 100% ακρυλικό χρώμα εξωτερικής χρήσης. Στερεά κ.ό.: 38±3%. Πυκνότητα: 1.47±0.05 gr/ml..Απόδοση: 8.5±0.5 m<sup>2</sup>/l.

Συνδεδειγμένο διάφανο αστάρι

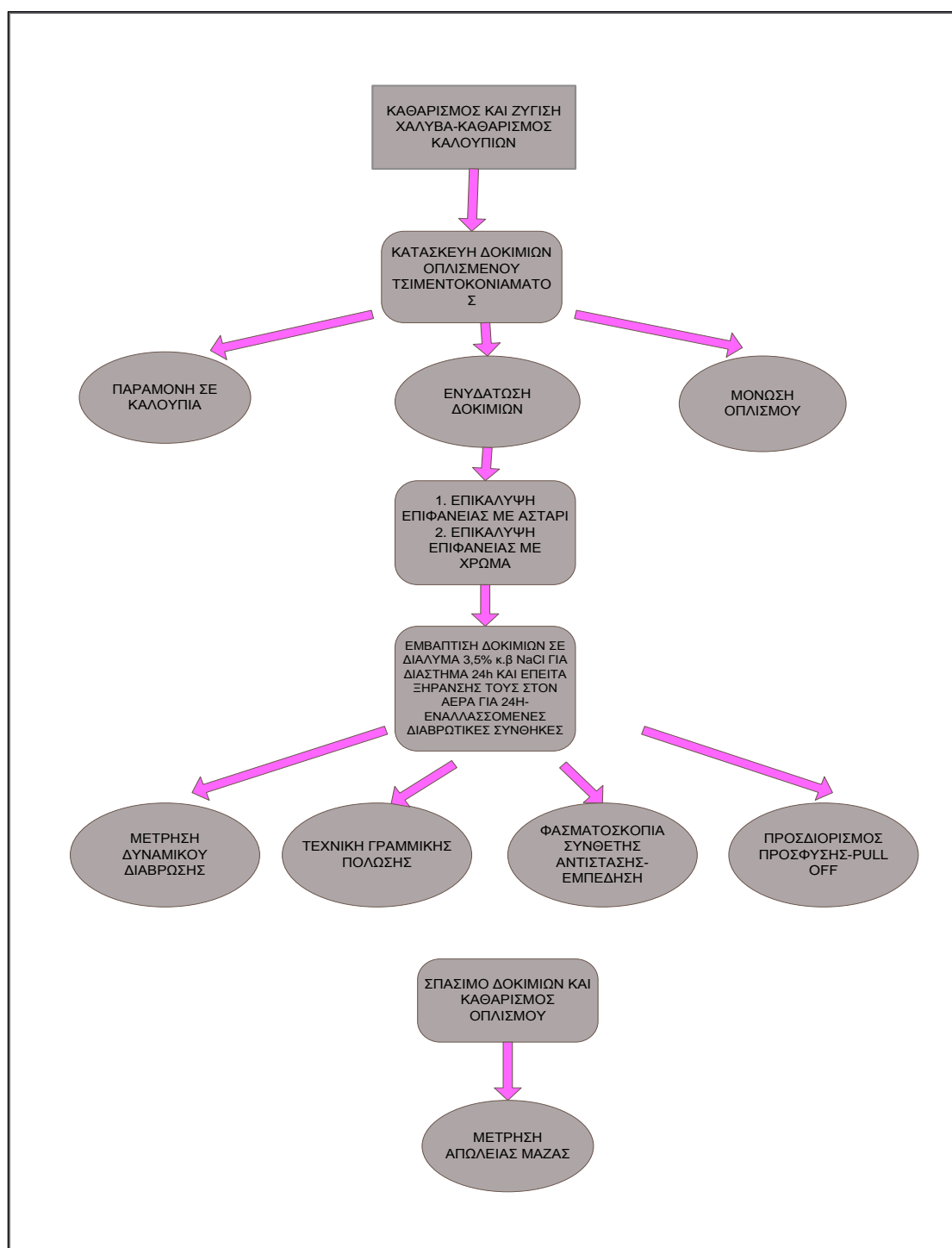
Elast Διαλύτη εξωτερικής χρήσης με συμπολυμερή στυρενίου και ακρυλικών ρητινών. Θερμοανакλαστικό ελαστομερές στεγανοποιητικό-ακρυλικό χρώμα για εξωτερικές οριζόντιες επιφάνειες. Στερεά κ.ό.: 48±4%. Πυκνότητα: 1.35±0.04 gr/ml. Απόδοση 2±1 m<sup>2</sup>/l.

---

## 4.3 Πειραματική Διαδικασία

### 4.3.1 Περιγραφή Πειράματος

Παρακάτω παρουσιάζεται σχηματικά η πειραματική πορεία που πραγματοποιήθηκε για τη μελέτη της αποτελεσματικότητας των οργανικών επικαλύψεων.



**Σχήμα4-1:** Πειραματική διαδικασία

## **Καθαρισμός χαλύβων και καλουπιών**

Πριν ξεκινήσει η διαδικασία κατασκευής των δοκιμών τσιμεντοκονιάματος απαιτείται ο καθαρισμός των ράβδων χάλυβα που θα χρησιμοποιηθούν ως ενίσχυση καθώς και ο καθαρισμός των καλουπιών μέσα στα οποία θα τοποθετηθεί ο τσιμεντοπολτός μέχρι τη σκλήρυνση.

Σε ότι αφορά τα καλούπια, απαιτείται πριν από κάθε χρήση τους καθαρισμός και λείανση της εσωτερικής επιφάνειας έτσι ώστε να αποκολλούνται εύκολα τα δοκίμια μετά την σκλήρυνση του τσιμεντοκονιάματος, αλλά και να αποφεύγονται ανωμαλίες στην επιφάνειά τους.

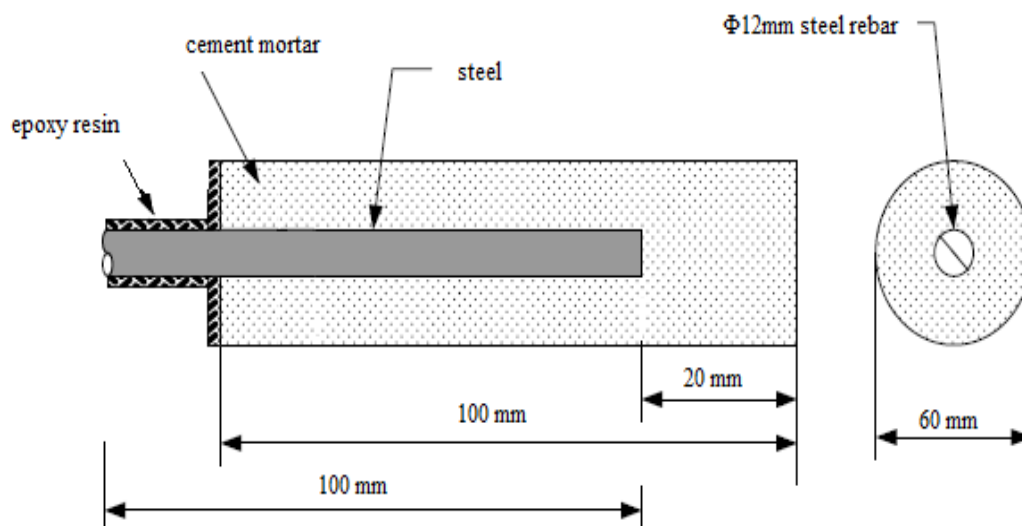
Ο καθαρισμός των ράβδων του χάλυβα είναι χρονοβόρα αλλά απαραίτητη διαδικασία και πραγματοποιείται σε κάθε χαλύβδινη ράβδο πριν από τη χρήση της. Αρχικά οι ράβδοι του χάλυβα τοποθετούνται σε διάλυμα υδροχλωρικού οξέος με αναστολέα διάβρωσης και παραμένουν σε αυτό περίπου 10-15 λεπτά. Στη συνέχεια ξεπλένονται διαδοχικά με νερό βρύσης, απιονισμένο νερό και τέλος εμβαπτίσθηκαν σε ακετόνη. Οι χάλυβες δεν έρχονται σε επαφή με το περιβάλλον και φυλάγονται σε ξηραντήρα αν δεν χρησιμοποιηθούν άμεσα. 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 απομακρύνονται σκόνες και οξειδία από την επιφάνειά του καθώς και άλλα ανεπιθύμητα σωματίδια. Μετά τον καθαρισμό της επιφάνειας κάθε ράβδος ζυγίζεται σε ζυγό ακριβείας και καταγράφεται το βάρος της με ακρίβεια τέταρτου δεκαδικού ψηφίου (ISO/DIS8407.3, 1986)

## **Κατασκευή δοκιμών τσιμεντοκονιάματος**

Για την κατασκευή δοκιμών οπλισμένου τσιμεντοκονιάματος χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο τύπου CEM II 32,5N, άμμος θραυστή λατομείου κοκκομετρίας 250μm-4mm και νερό Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, το οποίο θεωρείται κατάλληλο για παρασκευή σκυροδέματος σύμφωνα με το ΕΛΟΤ 452. Οι οπλισμοί που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τύπου B500C με διάμετρο 12mm, ύψος 100mm και είναι σύμφωνοι με το ΕΛΟΤ 1421-3. Η αναλογία άμμου/τσιμέντου/νερού ήταν 1/3/0,55 και τα δοκίμια ήταν κυλινδρικά με



διαστάσεις 40mm διαμέτρου και 100mm μήκους. Οι χαλύβδινοι οπλισμοί ήταν ομοαξονικά τοποθετημένοι, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 και πριν από τον εγκιβωτισμό τους καθαρίστηκαν σύμφωνα με το ISO/DIS 8407.310 και ζυγίστηκαν με ακρίβεια 0.1mg.



Σχήμα 4.2: Δοκίμια οπλισμένου τσιμεντοκονιάματος

Οι οπλισμοί τοποθετήθηκαν κατά 20mm από τη βάση του δοκιμίου. Τα δοκίμια παρέμειναν στα καλούπια για 24 ώρες σε περιβάλλον 20°C και σχετικής υγρασίας RH=100% και στη συνέχεια μετά την απομάκρυνση τους από τα καλούπια συντηρήθηκαν σε θάλαμο συντήρησης για 24 ώρες στους 25°C, με σχετική υγρασία RH=99%. Η ξήρανση και η σταθεροποίηση των δοκιμίων οπλισμένης τσιμεντοκονίας πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον εργαστηρίου για 8 ημέρες.

### Μόνωση οπλισμού

Η αποτελεσματικότητα των χρωμάτων θα μελετηθεί με ηλεκτροχημικές μεθόδους στις οποίες μετράται το δυναμικό διάβρωσης του χάλυβα. Είναι απαραίτητο λοιπόν να δημιουργηθεί ηλεκτρική γέφυρα ανάμεσα στον οπλισμό και στο ηλεκτρόδιο μέτρησης. Η γέφυρα αυτή δημιουργείται περιτυλίγοντας ένα μικρό κομμάτι χάλκινου σύρματος γύρω από τον οπλισμό. Η μέτρηση του δυναμικού επιτυγχάνεται συνδέοντας κάθε φορά το ηλεκτρόδιο μέτρησης με το ελεύθερο άκρο του σύρματος. Ο οπλισμός όμως πρέπει να μονωθεί από το περιβάλλον και έτσι

τοποθετείται πλαστικό υλικό μικρής διαμέτρου γύρω από το προεξέχον άκρο του οπλισμού. Μέσα στο πλαστικό κομμάτι περιχύνεται μίγμα από 2 κόλλες από εποξειδικές ρητίνες σε αναλογία 1:1. Για να μην υπάρχει ροή της κόλλας στη περίμετρο των δοκιμών τοποθετείται χαρτοταινία γύρω από κάθε δοκίμιο. Η διαδικασία εφαρμογής της κόλλας επαναλαμβάνεται 2 ή και 3 φορές, μέχρις ότου υπάρχει πλήρης μόνωση του οπλισμού.

### **Βαφή δοκιμών τσιμεντοκονιάματος**

Συνολικά κατασκευάστηκαν 22 δοκίμια ενισχυμένου τσιμεντοκονιάματος για τη μελέτη των 6 οργανικών επικαλύψεων. Από τα 22 δοκίμια τα 4 παρέμειναν ακάλυπτα αποτελώντας τα δοκίμια αναφοράς για τις συγκρίσεις των απουελεσμάτων, ενώ τα υπόλοιπα επικαλύφθηκαν ανά τρία (3) με τις οργανικές επικαλύψεις.

Αρχικά κάθε δοκίμιο καθαρέστηκε με χοντρό (P 50) γυαλόχαρτο ώστε να αφαιρεθούν τυχόν υπολείμματα κόλλας και η επιφάνεια να είναι λεία και καθαρή. Πριν από τη βαφή των δοκιμών εφαρμόστηκε κατάλληλο υπόστρωμα (αστάρι). Το αστάρι είναι διαφανές αδιάβροχο ακρυλικό υπόστρωμα, με ισχυρή πρόσφυση και μεγάλη διεισδυτικότητα. Αδιαβροχοποιεί τις επιφάνειες ενώ ταυτόχρονα αναπνέει και στεγνώνει ταχύτατα χωρίς να προκαλεί κιτρίνισμα στο τελικό χρώμα. Το αστάρι που χρησιμοποιήθηκε ήταν το PRIMEX A-1300 το οποίο αραιώνεται με white spirit σε αναλογία 1:1 και εφαρμόζεται με τη χρήση πινέλου σε κάθε δοκίμιο δημιουργώντας ένα παχύ στρώμα. Μετά από μία ώρα η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Αφού ασταρώθηκαν οι επιφάνειες των δοκιμών περιμετρικά αλλά και στη βάση τους, καλύφθηκαν η καθεμία με το κατάλληλο χρώμα, εφαρμόζοντας και πάλι δύο στρώματα του χρώματος. Τα δοκίμια παρέμειναν στο περιβάλλον ώστε να στεγνώσουν πλήρως.

### **Παχυμέτρηση δοκιμών**

Σκοπός της παχυμέτρησης είναι ο έλεγχος της ομοιομορφίας του πάχους της επικάλυψης σε όλη την έκταση της επιφάνειας των δοκιμών. Η παχυμέτρηση πραγματοποιήθηκε με παχύμετρο τύπου Eban 2000 MK2 της εταιρείας Paint Test

Equipment. Στον πίνακα 7 δίνονται οι μέσοι όροι των αποτελεσμάτων της παχυμέτρησης για κάθε σύστημα επιστρώματος, κατηγορία μετρήσεων και είδος δοκιμίου.

**Πίνακας 7:**Αποτελέσματα μέσου όρου παχυμέτρησης ( $\mu\text{m}$ ) δοκιμίων

| Κωδική ονομασία επικαλύψεων | Πάχος ( $\mu\text{m}$ ) |
|-----------------------------|-------------------------|
| Ref                         | -                       |
| Acr_nano                    | 200                     |
| Silox_nano                  | 200                     |
| Poly                        | 400                     |
| Epoxy                       | 400                     |
| Acr                         | 250                     |
| Elast                       | 250                     |

### **Εμβάπτιση δοκιμίων**

Αφού τα δοκίμια στέγνωσαν πλήρως από το χρώμα που εφαρμόστηκε σε αυτά, βυθίστηκαν σε λεκάνη που περιείχε υδατικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου 3.5% το οποίο αποτέλεσε το διαβρωτικό τους περιβάλλον. Οι διαβρωτικές συνθήκες επιτεύχθηκαν με την παραμονή των δοκιμίων στο διαβρωτικό περιβάλλον για διάστημα 24h και έπειτα ξήρανσής τους στον αέρα για 24h.

Η πειραματική διαδικασία διήρκησε περίπου 8 μήνες και λαμβάνονταν συχνά μετρήσεις δυναμικού διάβρωσης καθώς και ρεύματος διάβρωσης..

### **Σπάσιμο δοκιμίων οπλισμένου τσιμεντοκονιάματος**

Μετά από περίπου 8 μήνες και αφού ελήφθησαν οι απαραίτητες μετρήσεις, τα δοκίμια του τσιμεντοκονιάματος θραύστηκαν με σκοπό την απομόνωση του οπλισμού. Δεν καταστράφηκαν όλα τα δοκίμια, αλλά δύο (2) από κάθε χρώμα. Οι χαλύβδινες ράβδοι, μετά την απομόνωση από το τσιμεντοκονίαμα, τοποθετήθηκαν σε διαβρωτικό remover για περίπου 1 ώρα, ώστε να απομακρυνθούν τυχόν υπολείμματα ρητινών από την εφαρμογή της κόλας κατά το στάδιο της μόνωσης του οπλισμού. Στη συνέχεια ο οπλισμός καθαρίστηκε με την ίδια διαδικασία όπως πριν από τη χρησιμοποίησή του και καταγράφηκε και πάλι το βάρος του. Το στάδιο

του καθαρισμού του χάλυβα μετά τη θραύση των δοκιμίων είναι μια διαδικασία πολύ σημαντική, διότι πρέπει η επιφάνεια πρέπει να είναι καθαρή και ελεύθερη οξειδίων έτσι ώστε να μετρηθεί η καθαρή απώλεια βάρους όσο ο χάλυβας ήταν μέσα στο τσιμεντοκονίαμα.

## 5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

### 5.1 Χρονική καταγραφή ελεύθερου δυναμικού διάβρωσης χάλυβα

Οι μετρήσεις του δυναμικού διάβρωσης πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-87 :«*Standard test method for Half Cell Potentials of reinforcing Steel in Concrete*» (ASTM,C876-87) Στη συγκεκριμένη μέθοδο ως ηλεκτρόδια αναφοράς χρησιμοποιούνται το ηλεκτρόδιο κορεσμένου καλομέλανος SCE [Hg / HgCl / KCl] ή το ηλεκτρόδιο θεικού χαλκού CSE [Cu / CuSO<sub>4</sub>]. Απαραίτητο επίσης είναι ένα βολτόμετρο, ενώ η παρουσία υγρασίας απαιτεί μεγάλη προσοχή κατά τη μέτρηση. Τιμές δυναμικού διάβρωσης έως -250 mV δείχνουν ότι ο οπλισμός βρίσκεται στην παθητική περιοχή και για να διαβρωθεί υπάρχει μικρή πιθανότητα. Τιμές μεταξύ -250mV και -350mV δείχνουν ότι οπλισμός δεν βρίσκεται πια στην παθητική περιοχή και υπάρχει 50% πιθανότητα για διάβρωση. Τιμές ηλεκτραρνητικότερες των -350mV δείχνουν ότι ο οπλισμός βρίσκεται στην ενεργή περιοχή από άποψη διάβρωσης και οι πιθανότητές να διαβρωθεί είναι 95%.

Το δυναμικό των οπλισμών δείχνει την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο οπλισμός. Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C876-87 δυναμικό οπλισμών μεγαλύτερο της τιμής των -250 mV, αποτελεί ένδειξη ότι ο οπλισμός βρίσκεται σε παθητική κατάσταση δεν διαβρώνεται. Όταν το δυναμικό βρίσκεται μεταξύ των -250mV και -350mV τότε η πιθανότητα διάβρωσης είναι 50%. Για τιμές δυναμικών μικρότερες των -350mV, τότε ο χαλύβδινος οπλισμός βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση και διαβρώνεται.

Στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσης εργασίας, ως ηλεκτρόδιο αναφοράς χρησιμοποιήθηκε το ηλεκτρόδιο κορεσμένου καλομέλανος. Το ηλεκτρόδιο αναφοράς τοποθετήθηκε στο διάλυμα χλωριούχου νατρίου στο οποίο ήταν εμβαπτισμένα τα δοκίμια και το ηλεκτρόδιο μέτρησης συνδέθηκε μέσω ηλεκτρικής επαφής με το χάλυβα του τσιμεντοκονιάματος. Οι μετρήσεις του δυναμικού που ελήφθησαν για κάθε δοκίμιο κατεγράφησαν και αποτυπώθηκαν σε διαγράμματα, συναρτήσεως του χρόνου.

## 5.2 Γραμμική Πόλωση -Linear Polarization Technique, LPR

Για την εφαρμογή της μεθόδου, απαιτείται να προσδιοριστεί πρώτα το δυναμικό διάβρωσης του χάλυβα. Εφαρμόζονται διάφορα δυναμικά στο χάλυβα και μετράται κάθε φορά το ρεύμα αποκρίσεως. Τα εφαρμοζόμενα δυναμικά είναι μερικές εκατοντάδες mV μεγαλύτερα και μικρότερα από το δυναμικό διάβρωσης του χάλυβα. Με τις τιμές του δυναμικού  $E$  και τις αντίστοιχες εντάσεις ρεύματος  $i$ , συντάσσεται το διάγραμμα  $E - \log i$  το οποίο ονομάζεται καμπύλη πόλωσης. Παθητικότητα στον χάλυβα υπάρχει όταν η μεταβολή  $\Delta E/\Delta i$  είναι μεγάλη. Όταν η κλίση της καμπύλης γίνεται σχεδόν μηδενική (δηλαδή όταν για μικρή αύξηση στο δυναμικό, παρατηρούνται μεγάλες αυξήσεις στην ένταση ρεύματος), η σχετική περιοχή χαρακτηρίζεται ως «μεταπαθητική περιοχή» (μετά από κάποιο δυναμικό ETP).

Όταν συμβαίνει τοπική διάβρωση, η παθητικότητα στο χάλυβα χάνεται για μικρότερες τιμές του δυναμικού σε σχέση με το δυναμικό ETP της γενικής διάβρωσης του χάλυβα.

Η μέθοδος ελέγχου της διάβρωσης του χάλυβα με τη σύνταξη των καμπυλών πόλωσης έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να ελέγχει την επίδραση των προσθέτων σκυροδέματος πάνω στη διάβρωση του χάλυβα καθώς και την επιρροή των μεταβολών των συνθηκών του περιβάλλοντος πάνω στη διάβρωση του χάλυβα. Παρουσιάζει όμως το μειονέκτημα ότι απαιτεί ώρες ή ακόμα και μέρες για να πραγματοποιηθεί κυρίως όταν πρόκειται για μετρήσεις σε εξωτερικούς χώρους. Ο αριθμός των μετρήσεων σε αυτήν την περίπτωση περιορίζεται και υπάρχει και ο κίνδυνος λανθασμένης σύνταξης των καμπυλών. Εφαρμογή δυναμικών αρκετά διαφορετικών από το δυναμικό διάβρωσης μπορεί να μεταβάλλει τη διεπιφάνεια μεταξύ του χάλυβα και του σκυροδέματος.

Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή των ηλεκτροχημικών μετρήσεων περιελάμβανε ποτενσιοστάτη / γαλβανοστάτη της E.G & Model 263A συνδεδεμένο με υπολογιστή για την καταγραφή των πειραματικών δεδομένων. Για την επεξεργασία των ηλεκτροχημικών αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε λογισμικό Softcorr III της εταιρίας E G & G Princeton Research. Οι ηλεκτροχημικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε προτυποποιημένο κελί ηλεκτρόλυσης υπό σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας. Η διάταξη ήταν τριών

ηλεκτροδίων. Ως ηλεκτρόδιο αναφοράς χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρόδιο κεκορεσμένου καλομέλανα SCE. Ως ηλεκτρόδιο εργασίας είναι το ο υπό εξέταση σπλισμός, ενώ ως βοηθητικό ηλεκτρόδιο χρησιμοποιήθηκε έλασμα από πλέγμα πλατίνας / λευκόχρυσου διαστάσεων 2cm<sup>2</sup>. Ο ηλεκτρολύτης ο οποίος χρησιμοποιήθηκε ήταν το διαβρωτικό διάλυμα NaCl.



**Εικόνα 1 :** Πειραματική διάταξη γραμμικής πόλωσης

Στην τεχνική γραμμικής πόλωσης ο χάλυβας σπλισμού σκυροδέματος πολώθηκε σε μικρό εύρος δυναμικών  $\pm 20\text{mV}$  από το δυναμικό ισορροπίας του ( $E_{eq}$ ), και ελήφθη διάγραμμα σάρωσης των δυναμικών συναρτήσει της πυκνότητας του ρεύματος διάβρωσης. Στη περιοχή  $-20\text{mV} < E_{eq} < 20\text{mV}$  η συνάρτηση του δυναμικού ως προς την πυκνότητα του ρεύματος ακολουθεί τον νόμο του Ohm (γραμμική μεταβολή ρεύματος ως προς δυναμικό). Με αυτό το τρόπο προσδιορίστηκε το ρεύμα διάβρωσης.

### 5.3 Ηλεκτροχημική φασματοσκοπία σύνθετης αντίστασης - Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS

Η ηλεκτροχημική φασματοσκοπία σύνθετης αντίστασης αποτελεί τα τελευταία χρόνια μια από τις αξιόπιστες μη καταστρεπτικές μεθόδους μελέτης ηλεκτροχημικών φαινομένων. Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε μεγάλη ποικιλία συστημάτων γιατί είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε μικρές μεταβολές του υπό εξέταση συστήματος και παρέχει σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους τη δυνατότητα της απομόνωσης και κατά συνέπεια επιμέρους προσδιορισμού της συνεισφοράς των μεμονωμένων παραγόντων που επηρεάζουν ένα σύστημα κατά τη διάρκεια της εξέλιξης των διαφόρων φαινομένων. Η μέθοδος της EIS βασίζεται στην καταγραφή

της απόκρισης του συστήματος σε μια μικρή εξωτερική διαταραχή (εναλλασσόμενη τάση) σε ένα προκαθορισμένο εύρος συχνοτήτων. Από τις τιμές της εναλλασσόμενης τάσης και του παραγόμενου ρεύματος υπολογίζεται η σύνθετη αντίσταση του συστήματος. Στο φάσμα συχνοτήτων της σύνθετης αντίστασης είναι αποτυπωμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες του συστήματος, οι οποίες αν ερμηνευτούν κατάλληλα παρέχουν συμπεράσματα για την εξέλιξη διαφόρων φαινομένων που παρουσιάζονται σε αυτό. Οι ηλεκτρικές ιδιότητες ενός συστήματος καθορίζονται από την ιδιότητα του να αποθηκεύει και να μεταφέρει ρεύμα, δηλαδή από τη χωρητικότητα του και την αγωγιμότητα του.

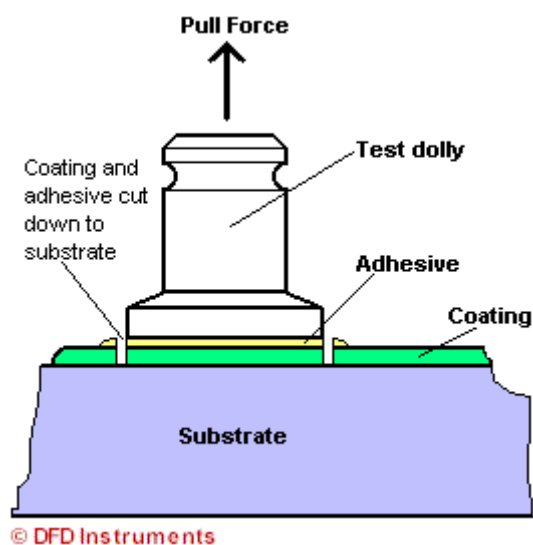
Η μέθοδος της φασματοσκοπίας σύνθετης αντίστασης έγινε χρησιμοποιώντας αναλυτή της Solarton SI 1260. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου χρησιμοποιώντας ηλεκτροχημικό κελί τριών ηλεκτροδίων όπως και στην περίπτωση της γραμμικής πόλωσης. Η συχνότητα του ημιτονοειδούς δυναμικού κυμάνθηκε από 105 Hz μέχρι 10<sup>-2</sup> Hz. Τα διαγράμματα επεξεργάστηκαν χρησιμοποιώντας το λογισμικό Zplot / Z-view (Scribner Assoc. Inc.).

#### **5.4 Προσδιορισμός της πρόσφυσης μέσω της ελάχιστης εφελκυστικής τάσης αποκόλλησης (Pull of test)**

Ο προσδιορισμός της πρόσφυσης μιας επίστρωσης με τη μέθοδο Pull-off πραγματοποιείται σύμφωνα με το πρότυπο BS EN 24624:1993/ BS EN ISO 4624: (BS EN24624:1993/BS EN ISO4324:2003). Σύμφωνα με αυτό καθορίζεται μια μέθοδος για την αξιολόγηση της πρόσφυσης μιας επίστρωσης ή ενός συστήματος επικάλυψης, βερνικιού ή παρόμοιων προϊόντων, μετρώντας την ελάχιστη εφελκυστική τάση που χρειάζεται για την αποκόλληση ή τη ρήξη της επίστρωσης σε κάθετη κατεύθυνση από το υπόστρωμα. Τα αποτελέσματα της δοκιμής επηρεάζονται όχι μόνο από τις μηχανικές ιδιότητες της επίστρωσης, αλλά και από τη φύση του υποστρώματος, τη μέθοδο εφαρμογής της επίστρωσης και τις συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντος. Η δοκιμή πραγματοποιείται με τη χρήση ειδικών κυλίνδρων (dollys), οι οποίοι κολλούνται στην επιφάνεια του επιστρώματος, με τη χρήση εποξειδικής κόλλας δύο συστατικών, σε 3 διαφορετικά σημεία. Χρησιμοποιείται ειδική συσκευή με την



οποία ασκείται κάθετη προς την επιφάνεια του δοκιμίου εφελκυστική τάση μέχρι αποκόλλησης των κυλίνδρων.



Εικόνα 2: Elcometer Model 106 Adhesion Tester

### 5.5 Προσδιορισμός απώλειας μάζας

Για τους υπολογισμούς της απώλειας μάζας των δοκιμίων ως αρχικό βάρος λαμβάνεται το βάρος του δοκιμίου πριν την έκθεσή του στο διαβρωτικό περιβάλλον και ως τελικό βάρος λαμβάνεται το βάρος του μετά την έκθεσή του στο διαβρωτικό περιβάλλον, αφού πρώτα έχει πραγματοποιηθεί καθαρισμός της επιφάνειας σύμφωνα με τα πρότυπα για κάθε είδος δοκιμίου (ISO8407:2009) (EN, ISO 1514:2004). Η διαφορά βάρους προκύπτει από τη διαφορά της αρχικής μείον τη τελική τιμή μάζας του δοκιμίου. Η εκτίμηση της διάβρωσης γίνεται με τον υπολογισμό του ποσοστού επί της εκατό της μεταβολής κατά βάρος, καθώς επίσης και από τον υπολογισμό του ρυθμού διάβρωσης. Το ποσοστό επί τοις εκατό μεταβολής κατά βάρος των οπλισμών δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta m \% = [(m_{\text{αρχ}} - m_{\text{τελ}}) / m_{\text{αρχ}}] 100$$

όπου:

$m_{\text{αρχ}}$ : το αρχικό βάρος του δοκιμίου πριν την έκθεσή του στο διαβρωτικό περιβάλλον.

$m_{\text{τελ}}$ : το τελικό βάρος του δοκιμίου μετά την έκθεσή του και τον καθαρισμό του.

Ο ρυθμός διάβρωσης του οπλισμού δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Ρυθμός Διάβρωσης (}\mu\text{m / year)} = 8,76 * 10^{-7} \Delta m / A D T$$

Όπου:

$\Delta m = m_{\alpha\rho\chi} - m_{\tau\epsilon\lambda}$  η διαφορά μάζας του οπλισμού (gr)

A: Η επιφάνεια του δοκιμίου η οποία δίνεται από τον τύπο  $A=\pi d (h+d/2)$  σε (cm<sup>2</sup>)

D: Πυκνότητα σε gr/cm<sup>3</sup>

T: Χρόνος έκθεσης στο διαβρωτικό περιβάλλον (h).

## 6. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σ' αυτή την ενότητα παραθέτονται τ' αποτελέσματα των μετρήσεων που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας με την εφαρμογή των μεθόδων που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

### 6.1 Μετρήσεις Δυναμικού Διάβρωσης

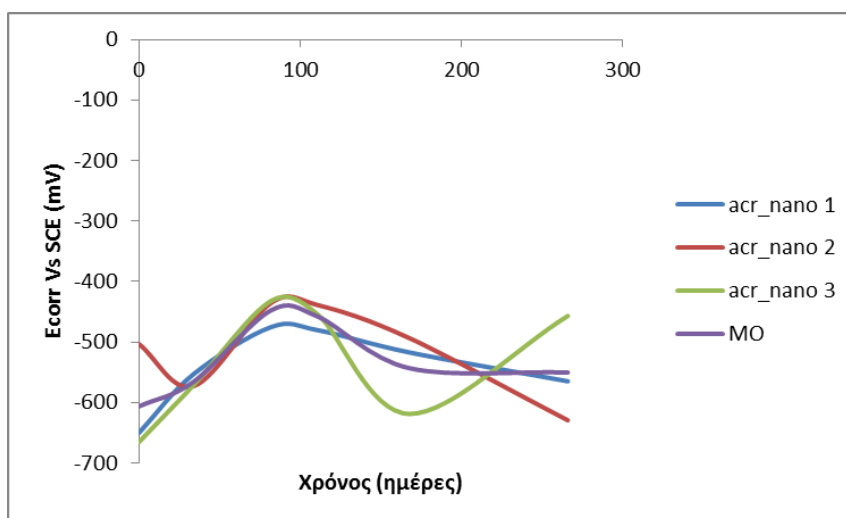
Κατά τη διάρκεια των οχτώ μηνών τα δοκίμια παρέμειναν εμβαπτισμένα στο διαβρωτικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου για 24h και εν συνεχεία για το ίδιο χρονικό διάστημα ξηραίνονταν στον αέρα. Ελήφθησαν λοιπόν 6 μετρήσεις του δυναμικού διάβρωσης για κάθε δοκίμιο σε όλο αυτό το διάστημα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του ελεύθερου δυναμικού διάβρωσης που προέκυψαν από την εμβάπτιση των δοκιμίων σε εναλλασσόμενο διαβρωτικό περιβάλλον ύγρανσης- ξήρανσης παρουσιάζονται αναλυτικά στα παρακάτω διαγράμματα για κάθε ομάδα δοκιμίων που ήταν επικαλυμμένα με την ίδια οργανική επικάλυψη. Παρουσιάζονται λοιπόν διαγράμματα δυναμικού διάβρωσης συναρτήσει του χρόνου για κάθε ομάδα δοκιμίων συναρτήσει του χρόνου έκθεσης καθώς επίσης και ο μέσος όρος του δυναμικού διάβρωσης κάθε επικάλυψης συναρτήσει του χρόνου. Μετρήσεις του δυναμικού διάβρωσης πραγματοποιήθηκαν και στα δοκίμια αναφοράς.

#### ❖ Ακρυλική διασπορά νανοτεχνολογίας -Acr\_nano

Τα 3 δοκίμια που ήταν επικαλυμμένα με την Acr\_nano επικάλυψη παρουσιάζουν δυναμικά διάβρωσης συναρτήσει του χρόνου, που φαίνονται στο διάγραμμα 6.1. Στο ίδιο διάγραμμα φαίνεται και ο μέσος όρος των δυναμικών διάβρωσης των τριών δοκιμίων. Επίσης Στον πίνακα 8 παρατίθενται τα δυναμικά διάβρωσης για κάθε δοκίμιο επικαλυμμένο με τη συγκεκριμένη επικάλυψη καθώς και ο μέσος όρος τους.

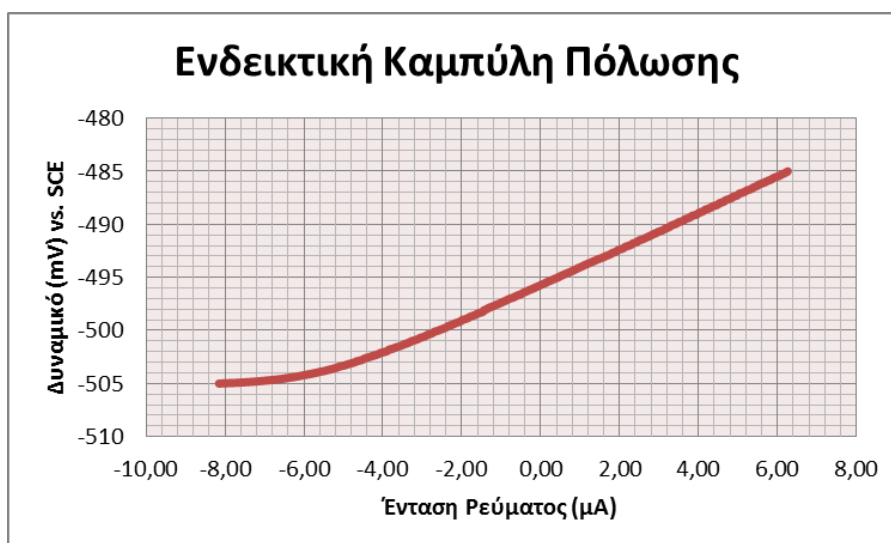
**Πίνακας 8:** Δυναμικό διάβρωσης (mV) για κάθε δοκίμιο συναρτήσει του χρόνου

| Ημέρες | acr_nano 1 | acr_nano 2 | acr_nano 3 | MO       |
|--------|------------|------------|------------|----------|
| 0      | -650,658   | -503,3     | -665,637   | -606,532 |
| 34     | -553,032   | -572,987   | -571,101   | -565,707 |
| 82     | -475,248   | -435,294   | -431,999   | -447,514 |
| 111    | -480,468   | -438,942   | -454,788   | -458,066 |
| 168    | -517,415   | -493,922   | -618,971   | -543,436 |
| 266    | -564,932   | -629,523   | -456,909   | -550,455 |



**Σχήμα 6.1** : Δυναμικό διάβρωσης (mV) συναρτήσει του χρόνου έκθεσης δοκιμίων επικαλυμμένων με ακρυλική διασπορά νανοτεχνολογίας

Ενδεικτικά παρατίθεται και το διάγραμμα μέτρησης όπως λαμβάνεται από το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη μέθοδο και πριν γίνει οποιαδήποτε επεξεργασία.

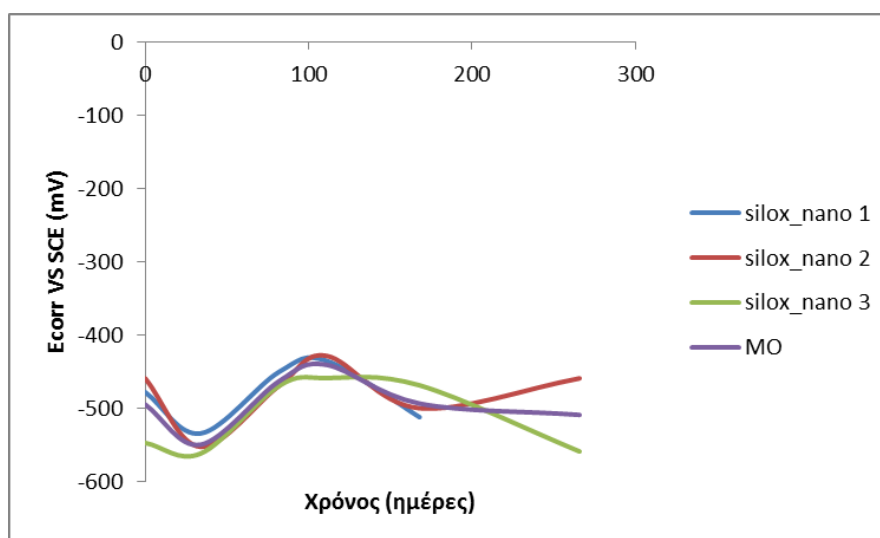


### ❖ Σιλοξανική ακρυλική διασπορά νανοτεχνολογίας- Silox\_nano

Τα δυναμικά διάβρωσης των τριών δοκιμίων που ήταν επικαλυμμένα με την σιλοξανική ακρυλική διασπορά νανοτεχνολογίας όπως και ο μέσος όρος τους απεικονίζονται στο διάγραμμα 6.2. Επίσης δίνεται και ο συγκεντρωτικός πίνακας 9 με τα δυναμικά διάβρωσης για κάθε δοκίμιο επικαλυμμένο με την σιλοξανική ακρυλική διασπορά και ο μέσος όρος τους.

**Πίνακας 9:** Δυναμικό διάβρωσης (mV) για κάθε δοκίμιο συναρτήσει του χρόνου

| Ημέρες | silox_nano 1 | silox_nano 2 | silox_nano 3 | MO       |
|--------|--------------|--------------|--------------|----------|
| 0      | -478,131     | -459,276     | -547,358     | -494,922 |
| 34     | -534,447     | -552,792     | -561,87      | -549,703 |
| 82     | -450,398     | -469,376     | -469,416     | -463,063 |
| 111    | -435,289     | -428,542     | -458,858     | -440,896 |
| 168    | -512,261     | -500,031     | -468,874     | -493,722 |
| 266    | -            | -459,253     | -559,087     | -509,170 |



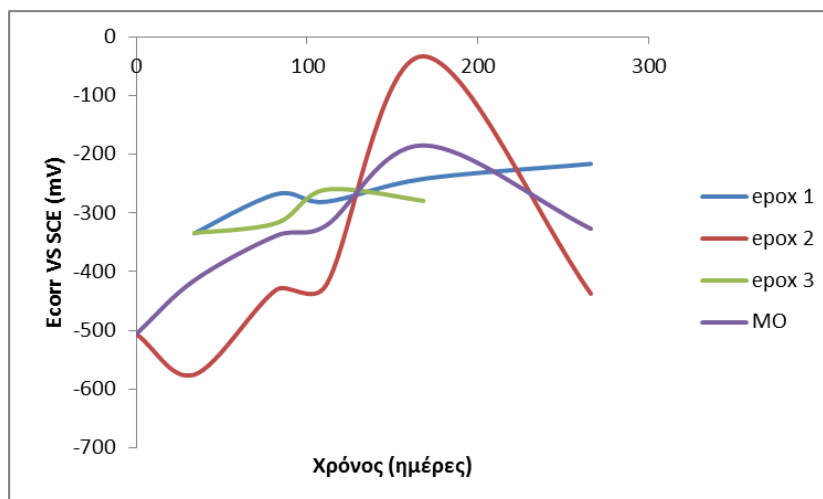
**Σχήμα 6.2** :Δυναμικό διάβρωσης (mV) συναρτήσει του χρόνου έκθεσης δοκιμίων επικαλυμμένων με σιλοξανική ακρυλική διασπορά νανοτεχνολογίας

### ❖ Εποξειδικό χρώμα – epox

Τα δυναμικά διάβρωσης των τριών δοκιμίων που ήταν επικαλυμμένα με το εποξειδικό χρώμα όπως και ο μέσος όρος τους παραθέτονται στον πίνακα 10 και απεικονίζονται στο διάγραμμα 6.3.

**Πίνακας 10** :Δυναμικό διάβρωσης (mV) για κάθε δοκίμιο συναρτήσει του χρόνου

| Ημέρες | εροχ 1   | εροχ 2   | εροχ 3   | ΜΟ       |
|--------|----------|----------|----------|----------|
| 0      | -        | -506,278 | -        | -506,278 |
| 34     | -334,765 | -575,443 | -334,067 | -414,758 |
| 82     | -268,028 | -430,801 | -317,261 | -338,697 |
| 111    | -280,892 | -423,364 | -260,4   | -321,552 |
| 168    | -242,04  | -33,213  | -279,388 | -184,880 |
| 266    | -216,403 | -437,584 | -        | -326,994 |



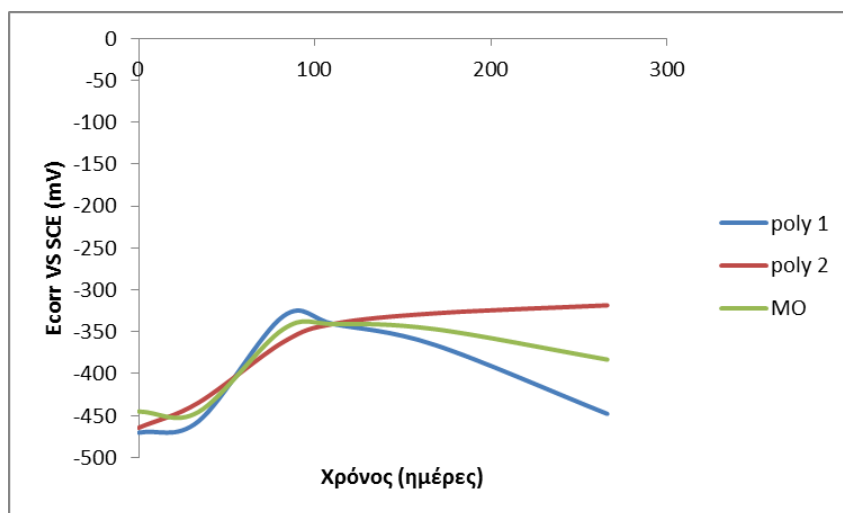
**Σχήμα 6.3** :Δυναμικό διάβρωσης (mV) συναρτήσει του χρόνου έκθεσης δοκιμίων επικαλυμμένων με εποξειδικό χρώμα

#### ❖ Χρώμα πολυουρεθάνης – poly

Τα δυναμικά διάβρωσης των τριών δοκιμίων που ήταν επικαλυμμένα με το χρώμα πολυουρεθάνης όπως και ο μέσος όρος τους παραθέτονται στον πίνακα 11 και απεικονίζονται στο διάγραμμα 6.4.

**Πίνακας 11:** Δυναμικό διάβρωσης (mV) για κάθε δοκίμιο συναρτήσει του χρόνου

| Ημέρες | poly 1   | poly 2   | ΜΟ        |
|--------|----------|----------|-----------|
| 0      | -470,272 | -464,414 | -445,013  |
| 34     | -456,585 | -434,447 | -445,516  |
| 82     | -331,53  | -362,335 | -346,9325 |
| 111    | -341,014 | -340,438 | -340,726  |
| 168    | -365,601 | -327,976 | -346,7885 |
| 266    | -447,877 | -318,424 | -383,151  |



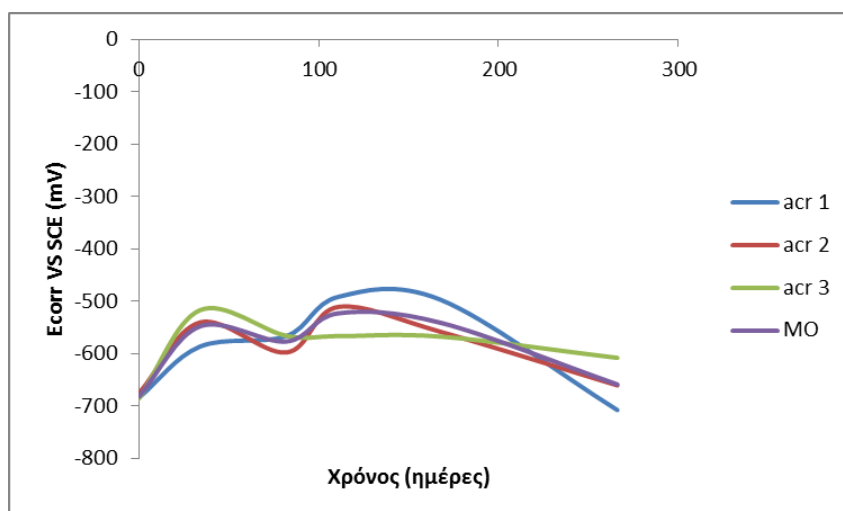
**Σχήμα 6.4** :Δυναμικό διάβρωσης (mV) συναρτήσει του χρόνου έκθεσης δοκιμίων επικαλυμμένων με χρώμα πολυουρεθάνης

#### ❖ Ακρυλική διασπορά –acr

Τα δυναμικά διάβρωσης των τριών δοκιμίων που ήταν επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά όπως και ο μέσος όρος τους παραθέτονται στον πίνακα 12 και απεικονίζονται στο διάγραμμα 6.5.

**Πίνακας 12** :Δυναμικό διάβρωσης (mV) για κάθε δοκίμιο συναρτήσει του χρόνου

| Ημέρες | acr 1    | acr 2    | acr 3    | MO       |
|--------|----------|----------|----------|----------|
| 0      | -684,207 | -676,445 | -685,882 | -682,178 |
| 34     | -586,334 | -540,253 | -516,88  | -547,822 |
| 82     | -566,459 | -597,646 | -565,789 | -576,631 |
| 111    | -491,4   | -510,551 | -566,5   | -522,817 |
| 168    | -497,277 | -558,334 | -567,372 | -540,994 |
| 266    | -707,49  | -660,3   | -607,742 | -658,511 |



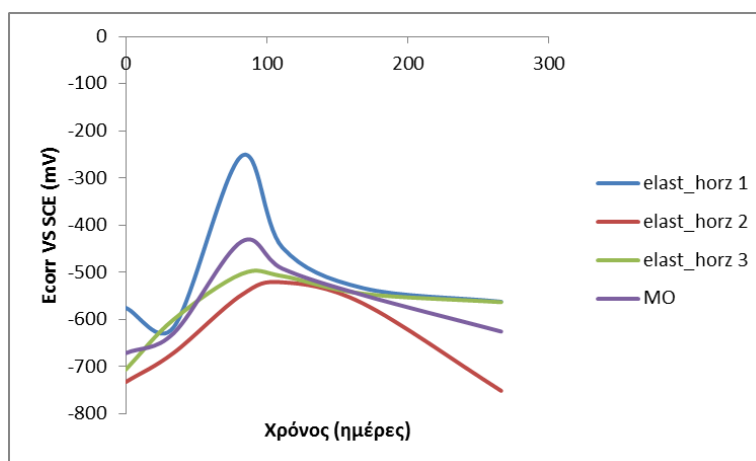
**Σχήμα 6.5** :Δυναμικό διάβρωσης (mV) συναρτήσει του χρόνου έκθεσης δοκιμίων επικαλυμμένων με ακρυλική διασπορά

### ❖ Ακρυλική διασπορά με ελαστομερικές ρητίνες- elast\_horz

Τα δυναμικά διάβρωσης των τριών δοκιμίων που ήταν επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά με ελαστομερικές ρητίνες όπως και ο μέσος όρος τους παραθέτονται στον πίνακα 13 και απεικονίζονται στο διάγραμμα 6.6

**Πίνακας 13:** Δυναμικό διάβρωσης (mV) για κάθε δοκίμιο συναρτήσει του χρόνου

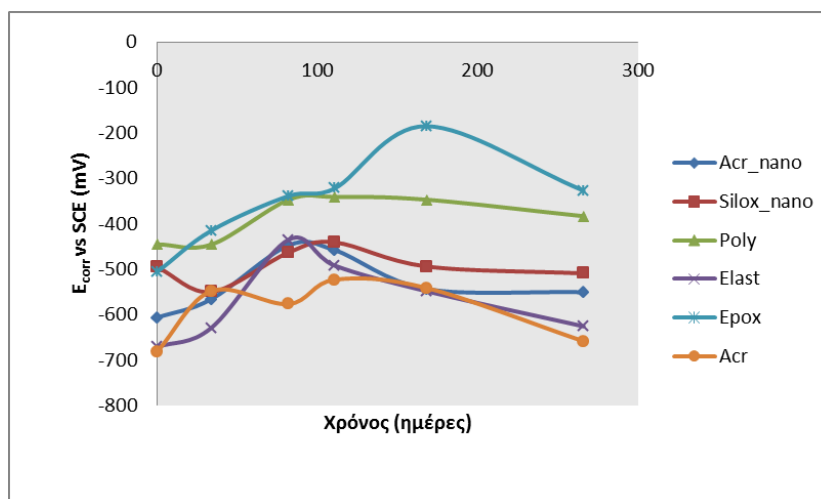
| Ημέρες | elast_horz 1 | elast_horz 2 | elast_horz 3 | MO       |
|--------|--------------|--------------|--------------|----------|
| 0      | -575,125     | -732,586     | -706,208     | -671,306 |
| 34     | -616,269     | -670,716     | -599,705     | -628,897 |
| 82     | -253,38      | -548,009     | -503,488     | -434,959 |
| 111    | -447,389     | -521,016     | -507,923     | -492,109 |
| 168    | -533,286     | -565,754     | -545,206     | -548,082 |
| 266    | -562,307     | -751,267     | -563,23      | -625,601 |



**Σχήμα 6.6 :** Δυναμικό διάβρωσης (mV) συναρτήσει του χρόνου έκθεσης δοκιμίων επικαλυμμένων με ακρυλική διασπορά με ελαστομερικές ρητίνες

Στο διαγραμμα 6.7 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά ο μέσος όρος των δυναμικών διάβρωσης των τριών δοκιμίων καλυμμένων με κάθε επικάλυψη





**Σχήμα 6.7 :** Δυναμικό διάβρωσης (mV) συναρτήσει του χρόνου έκθεσης για οπλισμένα τσιμεντοκονιάματα σε εναλλασσόμενο διαβρωτικό περιβάλλον ύγρανσης- ξήρανσης εμβαπτισμένα σε διάλυμα 3.5 wt.% NaCl

Παρατηρώντας τη γραφική παράσταση του δυναμικού διάβρωσης για την ακρυλική επικάλυψη νανοτεχνολογίας διαπιστώνεται ότι το δυναμικό διάβρωσης από την αρχή του χρόνου έκθεσης μειώνεται, ωστόσο μετά την 111η ημέρα παρατηρείται σταδιακή αύξηση και τελικά σταθεροποίηση του στην περιοχή των -550mV. Η τιμή αυτή σύμφωνα με τον Πίνακα 14 δείχνει υψηλό κίνδυνο διάβρωσης για τους οπλισμούς των δοκιμίων που ήταν επικαλυμμένα με την συγκεκριμένη οργανική επικάλυψη.

**Πίνακας 14:** Πιθανότητα διάβρωσης συναρτήσει του ελεύθερου δυναμικού (J. Broomfield 1997)

| Δυναμικό διάβρωσης (mV) vs SCE | Πιθανότητα διάβρωσης  |
|--------------------------------|---|
| >-126                          | Παθητική κατάσταση (90% πιθανότητα ο οπλισμός να μην διαβρώνεται)     |
| -126 έως -276                  | Ασαφής κατάσταση  |
| <-276                          | Υψηλή πιθανότητα διάβρωσης (90% πιθανότητα ο οπλισμός να διαβρώνεται) |
| <-426                          | Διάβρωση σε εκτεταμένο βαθμό  |

Οι τιμές του δυναμικού διάβρωσης συναρτήσει του χρόνου έκθεσης που αφορούν το δεύτερο χρώμα νανοτεχνολογίας (silox) διαπιστώνεται ότι κυμαίνονται στην περιοχή [-550 ÷ -440mV]vsSCE σε όλη τη διάρκεια του πειράματος. Η μέτρηση

τέτοιων τιμών δυναμικού οδηγεί σε συμπέρασμα που συμπίπτει με το προηγούμενο χρώμα νανοτεχνολογίας, στην ύπαρξη δηλαδή υψηλής πιθανότητας εμφάνισης διάβρωσης του οπλισμού. Όσον αφορά το συμβατικό χρώμα elasto παρατηρώντας τη γραφική παράσταση του δυναμικού φαίνεται σταδιακή μείωση του έως και την 85η ημέρα σε σχέση με την αρχική μέτρηση, η τιμή της οποίας είναι αρκετά υψηλή. Ωστόσο στη συνέχεια το δυναμικό διάβρωσης αυξάνει και τελικά σταθεροποιείται στην περιοχή  $[-500 \div -630\text{mV}]_{\text{vsSCE}}$ , τιμές που υποδεικνύουν εξίσου την πιθανότητα υψηλής διάβρωσης. Το ακρυλικό χρώμα διασποράς μετά από μια αρχική πτώση του δυναμικού μέχρι την 85 ημέρα παρουσιάζει ανοδική τάση μέχρι το τέλος της πειραματικής διαδικασίας. Το δυναμικό διάβρωσης όπως φαίνεται στο διάγραμμα αυξάνει συνεχώς με τελική τιμή μέτρησης  $-660\text{mV}$ . Οι τιμές αυτές δείχνουν διάβρωση σε εκτεταμένο βαθμό. Οι χαμηλές τιμές του δυναμικού διάβρωσης τις ακρυλικής διασποράς έχουν παρατηρηθεί και σε σχετική βιβλιογραφία (Th. Zafeiropoulou, E. Rakanta, G. Batis, 2011). Για τα δοκίμια που είναι επικαλυμμένα με τις οργανικές επικαλύψεις epoxy και poly, χρώματα που ανήκουν στην κατηγορία των βιομηχανικών χρωμάτων, παρατηρείται το δυναμικό διάβρωσης να εμφανίζεται ηλεκτροθετικότερο σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες. Πιο συγκεκριμένα οι τιμές του δυναμικού διάβρωσης για τα δοκίμια poly κυμαίνονται στην περιοχή  $[-345\text{mV} \div -445\text{mV}]_{\text{vsSCE}}$  σε όλη τη διάρκεια του πειράματος και τελικά η τιμή του σταθεροποιείται στα  $-383\text{mV}$ . Σύμφωνα με τον Πίνακα 2 η πιθανότητα διάβρωσης του οπλισμού είναι υψηλή. Όσον αφορά τα δοκίμια των οργανικών επικαλύψεων με epoxy ύστερα από παρατήρηση του γραφήματος διαπιστώνονται οι εμφανώς ηλεκτροθετικότερες τιμές του δυναμικού σε σχέση με τις τιμές των υπολοίπων δοκιμίων. Επίσης φαίνεται ότι παρόλο που το δυναμικό εμφανίζει άνοδο μέχρι την 168<sup>η</sup> στα  $-185\text{mV}$  εν συνεχεία παρουσιάζει πτώση με τελική τιμή  $-327\text{mV}$  που φανερώνει υψηλή πιθανότητα διάβρωσης σύμφωνα με το Πίνακα 8. Για τα δοκίμια αναφοράς από την αρχή του χρόνου έκθεσης μέχρι την 168η μέρα του πειράματος, οι τιμές του δυναμικού κυμαίνονται στην περιοχή  $[-610\text{mV} \div -668\text{mV}]_{\text{vsSCE}}$ , το δυναμικό διάβρωσης έχει τάση μείωσης προς την ηλεκτροαρνητική κατεύθυνση. Οι παραπάνω τιμές δυναμικού διάβρωσης ανοικτού κυκλώματος σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα δείχνουν κατάσταση οπλισμών στην ενεργή περιοχή με πιθανότητα διάβρωσης 90%.

## 6.2 Τεχνική Γραμμικής Πόλωσης- Linear Polarization Technique, LPR

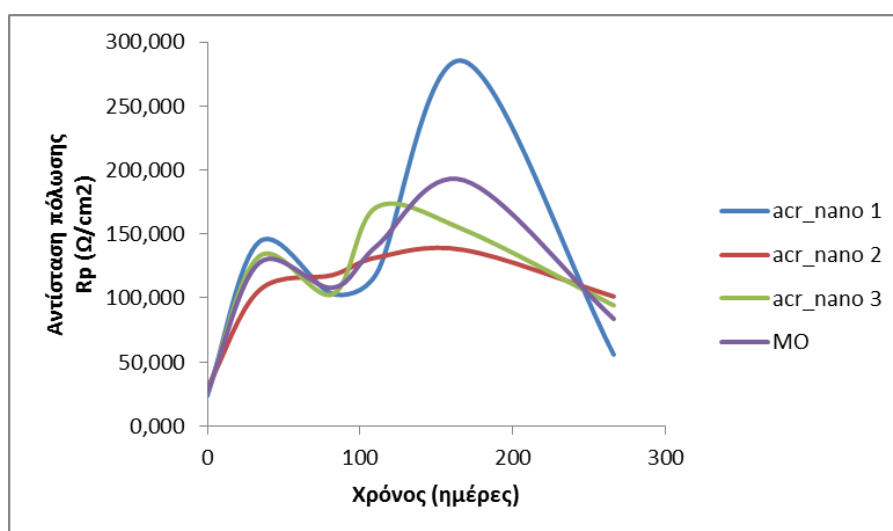
Τα αποτελέσματα της αντίστασης πόλωσης ( $R_p$ ) συναρτήσει του χρόνου έκθεσης ελήφθησαν με την τεχνική της γραμμικής πόλωσης. Για κάθε ομάδα δοκίμων που ήταν επικαλυμμένα με την ίδια οργανική επικάλυψη παραθέτονται διαγράμματα, στα οποία παρουσιάζονται οι μετρήσεις για κάθε ένα από τα δοκίμια κάθε κατηγορίας καθώς και ο μέσος όρος των αντιστάσεων.

### ❖ Ακρυλική διασπορά νανοτεχνολογίας -Acr\_nano

Η αντίσταση πόλωσης συναρτήσει του χρόνου για τα τρία δοκίμια, τα οποία ήταν επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά νανοτεχνολογίας όπως και ο μέσος όρος τους παρατίθενται στον πίνακα 15 και απεικονίζονται στο διάγραμμα 6.8.

**Πίνακας 15:** Αντίσταση πόλωσης  $R_p$  ( $\Omega/\text{cm}^2$ ) συναρτήσει του χρόνου για κάθε δοκίμιο

| Ημέρες | acr_nano 1 | acr_nano 2 | acr_nano 3 | MO      |
|--------|------------|------------|------------|---------|
| 0      | 23,778     | 29,806     | 26,285     | 26,623  |
| 34     | 144,064    | 106,121    | 132,729    | 127,638 |
| 82     | 103,157    | 118,031    | 102,878    | 108,022 |
| 111    | 119,690    | 131,775    | 171,202    | 140,889 |
| 168    | 285,099    | 137,579    | 153,408    | 192,029 |
| 266    | 55,823     | 101,267    | 94,290     | 83,790  |



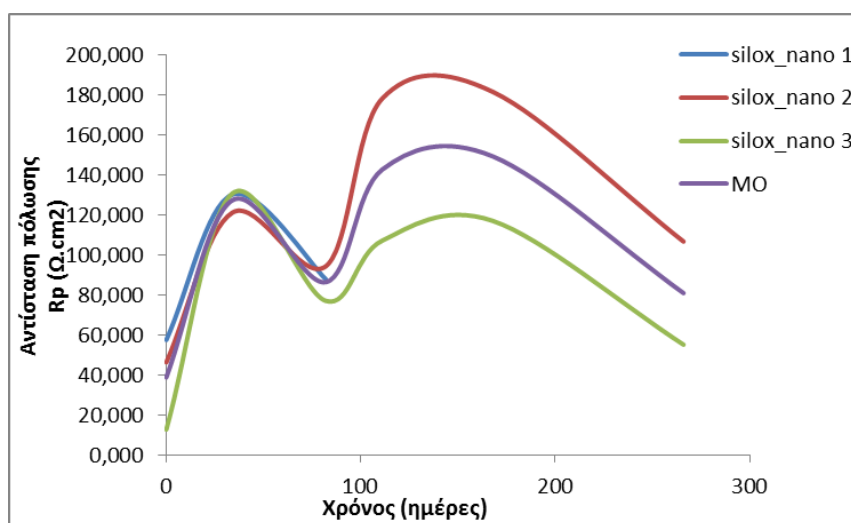
**Σχήμα 6.8 :** Αντίσταση πόλωσης συναρτήσει του χρόνου έκθεσης για τα δοκίμια με την ακρυλική επικάλυψη νανοτεχνολογίας

### ❖ Σιλοξανική ακρυλική διασπορά νανοτεχνολογίας- Silox\_nano

Η αντίσταση πόλωσης συναρτήσει του χρόνου για τα τρία δοκίμια, τα οποία ήταν επικαλυμμένα με την σιλοξανική ακρυλική διασπορά νανοτεχνολογίας όπως και ο μέσος όρος τους παρατίθενται στον πίνακα 16 και απεικονίζονται στο διάγραμμα 6.9

**Πίνακας 16 :** Αντίσταση πόλωσης  $R_p$  ( $\Omega/cm^2$ ) συναρτήσει του χρόνου για κάθε δοκίμιο

| Ημέρες | silox_nano 1 | silox_nano 2 | silox_nano 3 | MO      |
|--------|--------------|--------------|--------------|---------|
| 0      | 57,518       | 46,291       | 12,703       | 38,837  |
| 34     | 130,226      | 121,246      | 130,799      | 127,424 |
| 82     | 87,944       | 94,364       | 77,094       | 86,467  |
| 111    | -            | 178,219      | 107,183      | 142,701 |
| 168    | -            | 181,566      | 117,043      | 149,304 |
| 266    | -            | 106,728      | 55,185       | 80,960  |



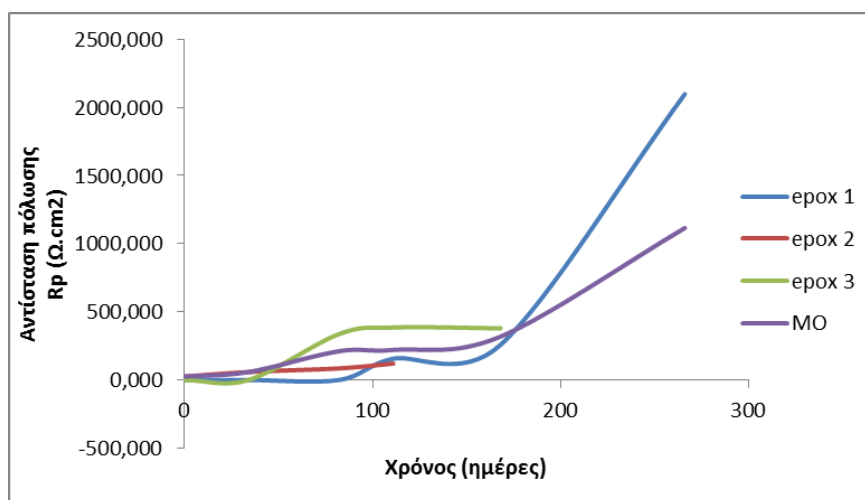
**Σχήμα 6.9 :** Αντίσταση πόλωσης συναρτήσει του χρόνου έκθεσης για τα δοκίμια με την σιλοξανική ακρυλική επικάλυψη νανοτεχνολογίας

### ❖ Εποξειδικό χρώμα – epox

Η αντίσταση πόλωσης συναρτήσει του χρόνου για τα τρία δοκίμια, τα οποία ήταν επικαλυμμένα με το εποξειδικό χρώμα όπως και ο μέσος όρος τους παρατίθενται στον πίνακα 17 και απεικονίζονται στο διάγραμμα 6.10

**Πίνακας 17:** Αντίσταση πόλωσης  $R_p$  ( $\Omega/\text{cm}^2$ ) συναρτήσει του χρόνου για κάθε δοκίμιο

| Ημέρες | εποχ 1   | εποχ 2  | εποχ 3  | ΜΟ       |
|--------|----------|---------|---------|----------|
| 0      | -        | 25,638  | -       | 25,638   |
| 34     | -        | 58,743  | -       | 58,743   |
| 82     | -        | 85,448  | 336,578 | 211,013  |
| 111    | 156,758  | 120,812 | 385,151 | 220,907  |
| 168    | 257,988  |         | 379,170 | 318,579  |
| 266    | 2097,365 | 132,636 |         | 1115,000 |



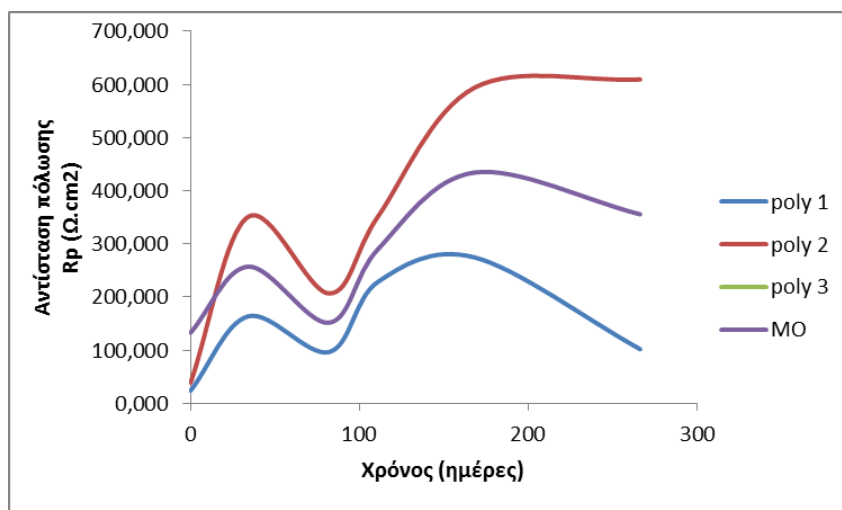
**Σχήμα 6.10 :** Αντίσταση πόλωσης συναρτήσει του χρόνου έκθεσης για τα δοκίμια με το εποξειδικό χρώμα

#### ❖ Χρώμα πολυουρεθάνης – poly

Η αντίσταση πόλωσης συναρτήσει του χρόνου για τα τρία δοκίμια, τα οποία ήταν επικαλυμμένα με το χρώμα πολυουρεθάνης όπως και ο μέσος όρος τους παρατίθενται στον πίνακα 18 και απεικονίζονται στο διάγραμμα 6.11.

**Πίνακας 18:** Αντίσταση πόλωσης  $R_p$  ( $\Omega/\text{cm}^2$ ) συναρτήσει του χρόνου για κάθε δοκίμιο

| Ημέρες | poly 1  | poly 2  | poly 3  | ΜΟ      |
|--------|---------|---------|---------|---------|
| 0      | 24,017  | 39,239  | 336,298 | 133,185 |
| 34     | 163,907 | 350,968 | -       | 257,438 |
| 82     | 96,893  | 206,930 | -       | 151,912 |
| 111    | 229,094 | 352,285 | -       | 290,690 |
| 168    | 274,693 | 593,983 | -       | 434,338 |
| 266    | 102,064 | 609,406 | -       | 355,740 |



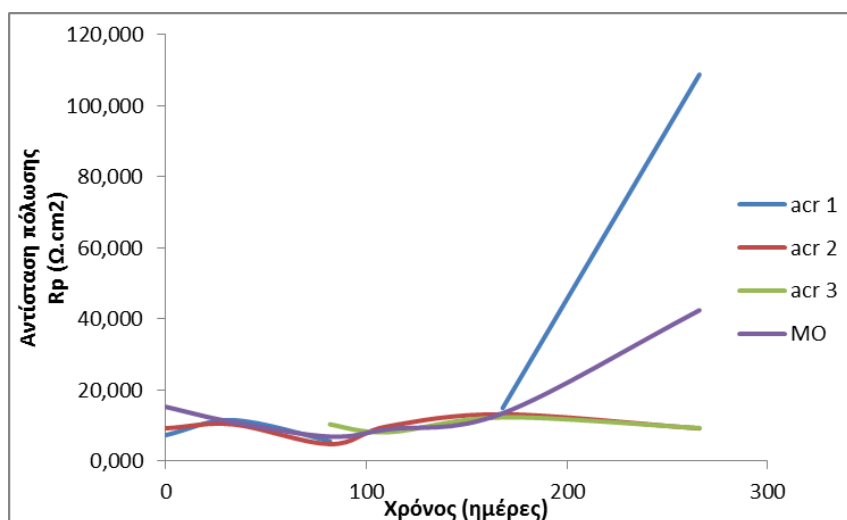
Σχήμα 6.11 :Αντίσταση πόλωσης συναρτήσει του χρόνου έκθεσης για τα δοκίμια με το χρώμα πολυουρεθάνης

#### ❖ Ακρυλική διασπορά –acr

Η αντίσταση πόλωσης συναρτήσει του χρόνου για τα τρία δοκίμια, τα οποία ήταν επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά όπως και ο μέσος όρος τους παρατίθενται στον πίνακα 19 και απεικονίζονται στο διάγραμμα 6.12

Πίνακας 19: Αντίσταση πόλωσης  $R_p$  ( $\Omega/cm^2$ ) συναρτήσει του χρόνου για κάθε δοκίμιο

| Ημέρες | acr 1   | acr 2  | acr 3  | MO     |
|--------|---------|--------|--------|--------|
| 0      | 7,245   | 9,173  | 29,301 | 15,240 |
| 34     | 11,481  | 10,292 | -      | 10,886 |
| 82     | 5,547   | 4,739  | 10,299 | 6,861  |
| 111    | -       | 9,760  | 8,101  | 8,930  |
| 168    | 14,858  | 13,131 | 12,259 | 13,416 |
| 266    | 108,834 | 9,164  | 9,286  | 42,430 |



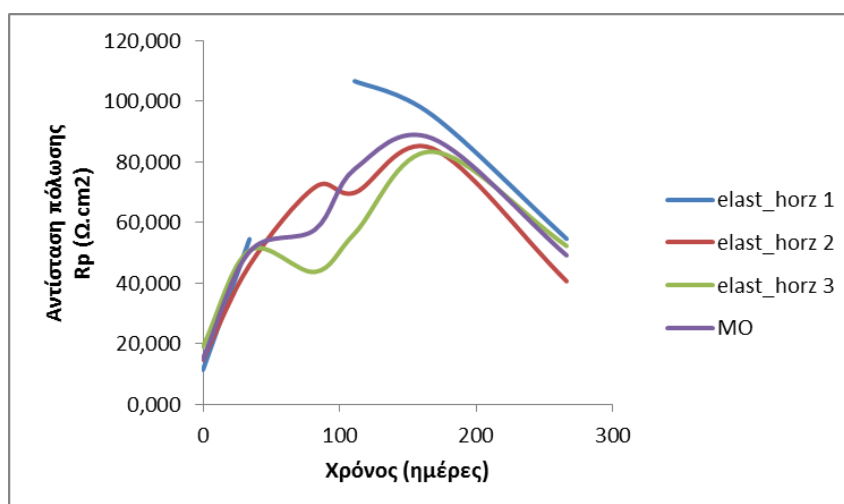
Σχήμα 6.12 :Αντίσταση πόλωσης συναρτήσει του χρόνου έκθεσης για τα επικαλυμμένα δοκίμια με την ακρυλική διασπορά

### ❖ Ακρυλική διασπορά με ελαστομερικές ρητίνες- elast\_horz

Η αντίσταση πόλωσης συναρτήσει του χρόνου για τα τρία δοκίμια, τα οποία ήταν επικαλυμμένα με την ακρυλική διασπορά όπως και ο μέσος όρος τους παρατίθενται στον πίνακα 20 και απεικονίζονται στο διάγραμμα 6.13

**Πίνακας 20:** Αντίσταση πόλωσης  $R_p$  ( $\Omega/\text{cm}^2$ ) συναρτήσει του χρόνου για κάθε δοκίμιο

| Ημέρες | elast_horz 1 | elast_horz 2 | elast_horz 3 | MO     |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------|
| 0      | 11,456       | 14,789       | 19,099       | 15,115 |
| 34     | 54,483       | 45,882       | 50,746       | 50,371 |
| 82     | -            | 71,675       | 43,684       | 57,680 |
| 111    | 106,599      | 69,833       | 56,386       | 77,606 |
| 168    | 95,304       | 84,392       | 83,348       | 87,681 |
| 266    | 54,598       | 40,607       | 52,235       | 49,140 |

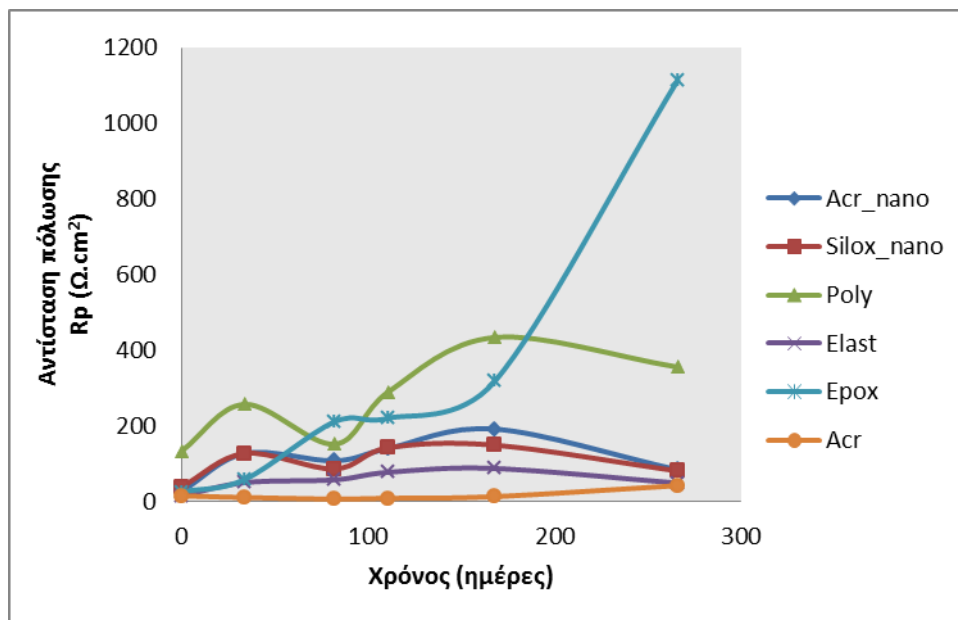


**Σχήμα 6.12 :** Αντίσταση πόλωσης συναρτήσει του χρόνου έκθεσης για τα επικαλυμμένα δοκίμια με την ακρυλική διασπορά με ελαστομερικές ρητίνες

Στο διάγραμμα 6.14 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα του μέσου όρου των αντιστάσεων πόλωσης ( $R_p$ ) συναρτήσει του χρόνου έκθεσης που ελήφθησαν από τα δοκίμια της κάθε κατηγορίας επικαλύψεων.

Για τα δοκίμια που ήταν επικαλυμμένα με την επικάλυψη της πολυουρεθάνης παρατηρούνται αυξανόμενες τιμές στην αντίσταση πόλωσης καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας και μάλιστα σε μεγαλύτερες τιμές αντίστασης σε σύγκριση με τα υπόλοιπα. Για τα δοκίμια με την εποξειδική επικάλυψη οι τιμές της αντίστασης πόλωσης εμφανίζουν αυξανόμενη τάση ιδιαίτερα

από την 80η ημέρα έως και το πέρας του πειράματος. Για τα χρώματα νανοτεχνολογίας οι τιμές αντίστασης κυμαίνονται περίπου στα ίδια επίπεδα, με την επικάλυψη της ακρυλικής διασπόρας νανοτεχνολογίας να εμφανίζει ελαχίστως μεγαλύτερη αντίσταση.



Σχήμα 6.13 : Αντίσταση πόλωσης συναρτήσει του χρόνου έκθεσης για σπλισμένα δοκίμια τσιμεντοκονίας εμβαπτισμένα σε διάλυμα 3,5% κ.β. NaCl σε εναλλασσόμενες διαβρωτικές συνθήκες

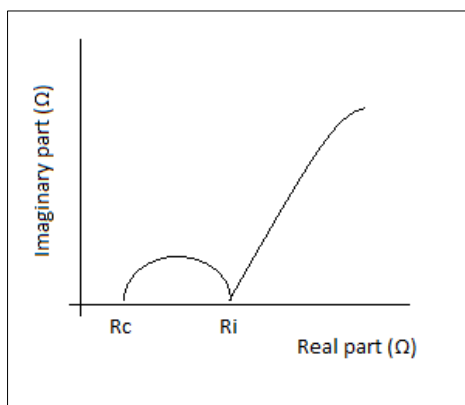
Τα συμβατικά χρώματα δίνουν τις μικρότερες τιμές αντιστάσης πόλωσης απ' όλες τις οργανικές επικαλύψεις που μελετήθηκαν με την ακρυλική διασπορά να δίνει ελαφρώς υψηλότερες τιμές μόνο από τα δοκίμια αναφοράς.

### 6.3 Φασματοσκοπία σύνθετης αντίστασης- Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS

Η φασματοσκοπία σύνθετης αντίστασης επιλέχθηκε γιατί παρέχει πληροφορίες για τις ηλεκτροχημικές διεργασίες που συμβαίνουν στην διεπιφάνεια του χάλυβα και δεδομένα που αφορούν την κινητική των αντιδράσεων. Η εμπέδηση αποτελεί ουσιαστικά την σύνθετη αντίσταση ενός κυκλώματος με πυκνωτές, αντιστάσεις ή συνδυασμό αυτών (ParkS.M ,Yoo J.S, 2003,75,455-461)και αναπαρίσταται ως μιγαδικός αριθμός που έχει πραγματικό και φανταστικό μέρος. Συχνά αποδίδεται γραφικά σε διάγραμμα Nyquist, όπου απεικονίζεται το φανταστικό ως προς το πραγματικό μέρος από το οποίο μπορούν να



προσδιοριστούν σημαντικοί ηλεκτροχημικοί παράμετροι. Το διάγραμμα Nyquist που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία δίνεται στο Σχήμα 6.3 .



**Σχήμα 6.3:** Διάγραμμα Nyquist που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία

Τα σημαντικά σημεία του διαγράμματος, είναι:

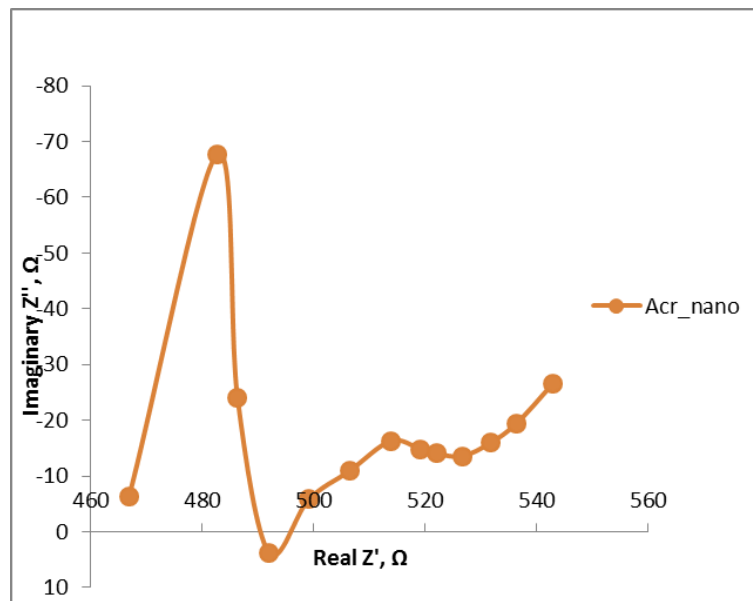
- Η αντίσταση του τσιμεντοκονιάματος ( $R_c$ ) η οποία σχετίζεται άμεσα με τη μικροδομή και τους πόρους του υλικού και δίνεται από το όριο του ημικυκλίου στις υψηλές συχνότητες.

Η αντίσταση της διεπιφάνειας χάλυβα-τσιμεντοκονίας η οποία δίνεται από τη διάμετρο του ημικυκλίου στις χαμηλές συχνότητες. Η διεπιφάνεια αυτή ουσιαστικά αντιπροσωπεύει το φιλμ το οποίο δημιουργείται στην επιφάνεια του χάλυβα και η ιδιότητες του εξαρτώνται από την ενυδάτωση των προϊόντων του τσιμέντου τα οποία εναποτεθήκαν ή/και στα προϊόντα διάβρωσης του χάλυβα τα οποία διαχύθηκαν στο στρώμα. (Gu, P. Beaudoin J. 1998)

Η φασματοσκοπία σύνθετης αντίστασης αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την εκτίμηση της προστασίας των οργανικών επικαλύψεων που εξετάζονται. Το όριο των υψηλών συχνοτήτων ποικίλλει ανάλογα με το πορώδες του τσιμεντοκονιάματος και κατά συνέπεια στην παρούσα εργασία εκτιμήθηκαν οι τιμές του  $R_c$  για όλα τα υπό εξέταση δοκίμια.

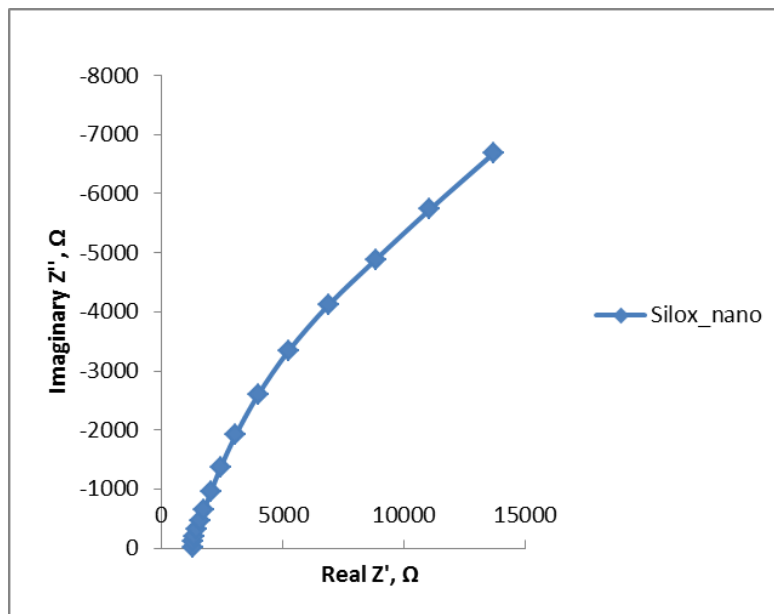
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα Nyquist που προέκυψαν από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε κάθε δοκίμιο για κάθε μία οργανική επικάλυψη.

❖ Ακρυλική διασπορά νανοτεχνολογίας -Acr\_nano



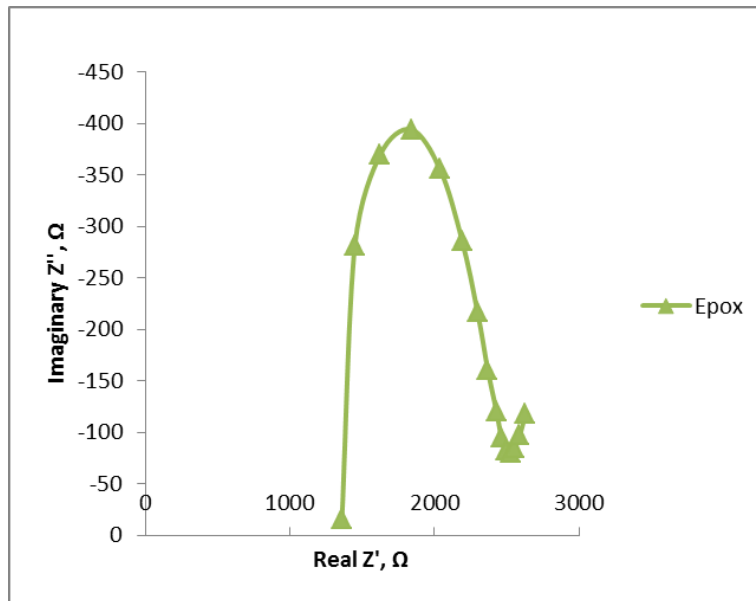
Σχήμα 6.4:Διάγραμμα Nyquist Ακρυλικής διασποράς νανοτεχνολογίας

❖ Σιλοξανική ακρυλική διασπορά νανοτεχνολογίας- Silox\_nano



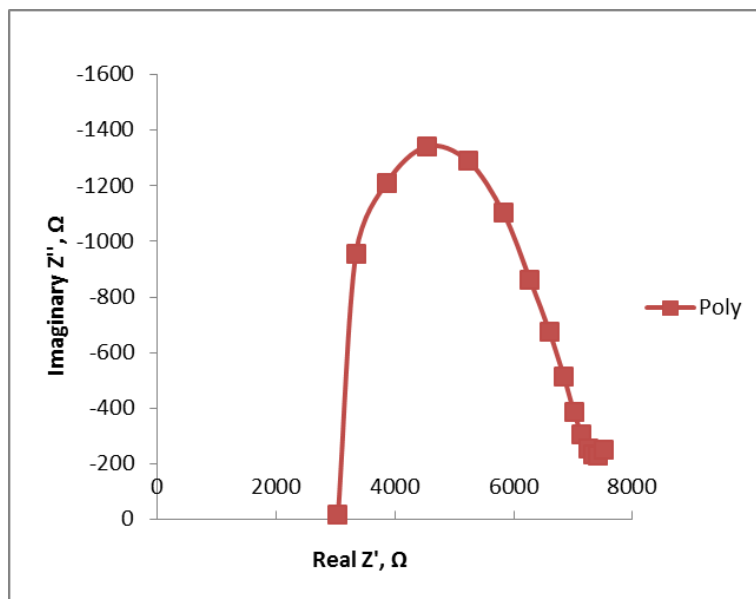
Σχήμα 6.5:Διάγραμμα Nyquist Σιλοξανικής ακρυλικής διασποράς νανοτεχνολογίας

❖ Εποξειδικό χρώμα – epox



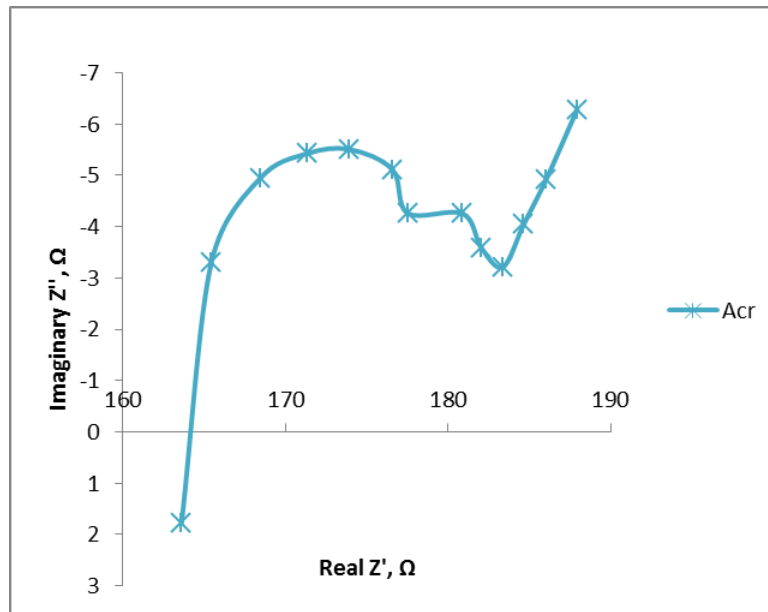
Σχήμα 6.6: Διάγραμμα Nyquist Εποξειδικού χρώματος

❖ Χρώμα πολυουρεθάνης – poly



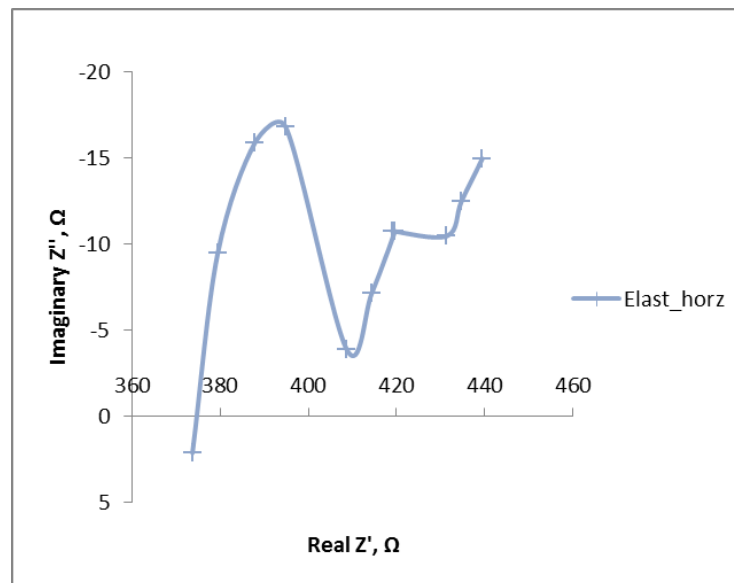
Σχήμα 6.7: Διάγραμμα Nyquist χρώματος πολυουρεθάνης

❖ Ακρυλική διασπορά -acr



Σχήμα 6.8: Διάγραμμα Nyquist Ακρυλικής διασποράς

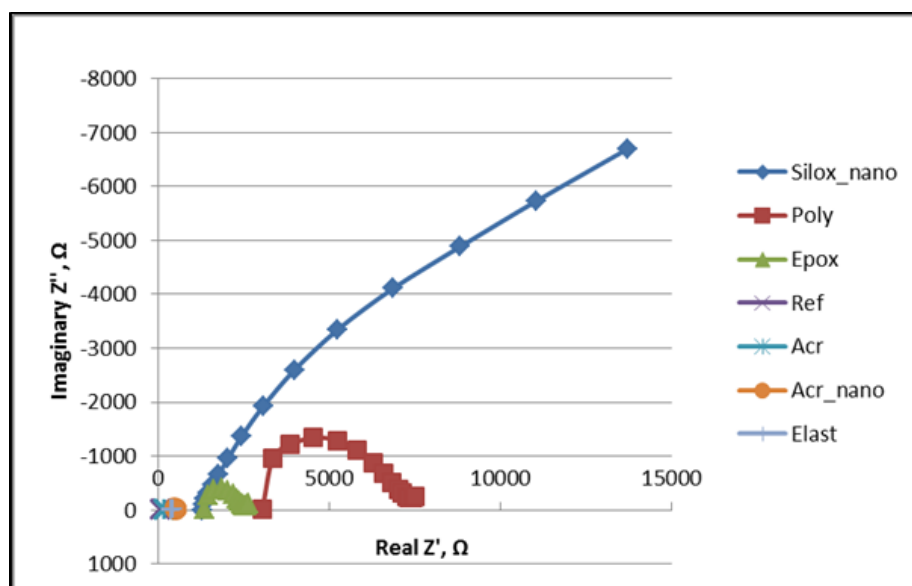
❖ Ακρυλική διασπορά με ελαστομερικές ρητίνες- elast\_horz



Σχήμα 6.9: Διάγραμμα Nyquist Ακρυλικής διασποράς με ελαστομερικές ρητίνες

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συγκεντρωτικά παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.10, όπου δίνεται το διάγραμμα Nyquist για όλες τις επικαλύψεις που εξετάστηκαν

και στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές  $R_c$ , οι οποίες προκύπτουν από το μέσο όρο των μετρήσεων έξι (6) δοκιμών.



Σχήμα 6.10.: Διάγραμμα Nyquist μετά από τρεις μήνες εναλλοσόμενων κύκλων διάβρωσης

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων εμπέδησης παρατηρούμε ότι οι βιομηχανικές επικαλύψεις παρουσιάζουν την καλύτερη αντιδιαβρωτική προστασία αφού οι τιμές για την αντίσταση  $R_c$  είναι οι υψηλότερες. Τα χρώματα νανοτεχνολογίας ακολουθούν με την σιλοξανική επικάλυψη Silox\_nano να παρουσιάζει τιμές σημαντικά υψηλές. Οι συμβατικές επικαλύψεις και τα ακάλυπτα δοκίμια επέδειξαν χαμηλές τιμές αντίστασης  $R_c$ .

**Πίνακας 21.** Μέσες τιμές  $R_c$  για όλες τις επικαλύψεις

| Οργανική επικάλυψη | $R_c$ (Ω) |
|--------------------|-----------|
| Silox_nano         | 1266±19   |
| Acr_nano           | 463,8±3   |
| Elast              | 374,15±6  |
| Acr                | 163,75±2  |
| Poly               | 2319±27   |
| Epox               | 1283±12   |
| Ref                | 64,37±5   |

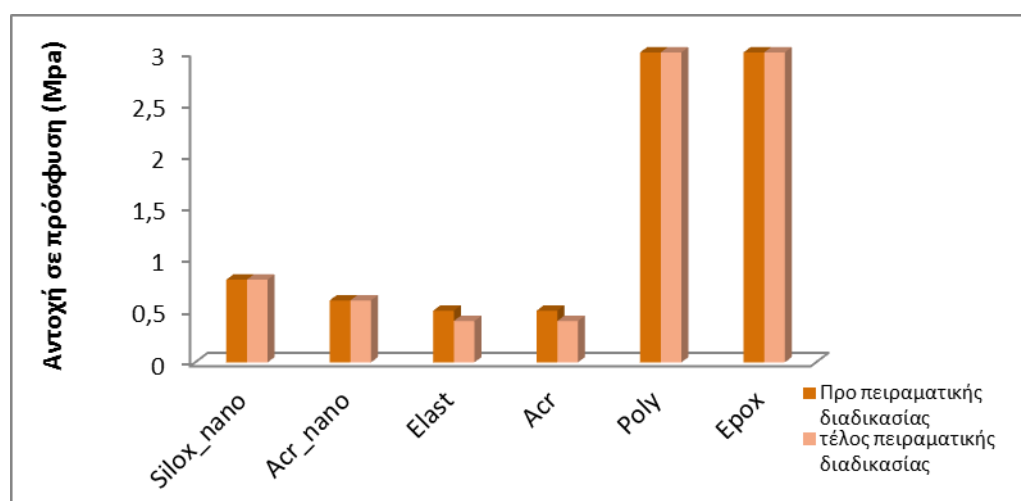
#### 6.4 Προσδιορισμός της πρόσφυσης μέσω της ελάχιστης εφελκυστικής τάσης αποκόλλησης (Pull of test)

Ο προσδιορισμός της πρόσφυσης μιας επίστρωσης με τη μέθοδο Pull-off πραγματοποιείται σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D4541 - 09e1. Για κάθε επικάλυψη πραγματοποιήθηκαν τρεις δοκιμές, όπως ορίζει το πρότυπο και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 22.

**Πίνακας 22.** Αποτελέσματα δοκιμής pull-off σε επιστρώσεις

| Οργανική επικάλυψη | Αντοχή σε πρόσφυση (MPa) πριν την έναρξη των κύκλων διάβρωσης | Αντοχή σε πρόσφυση (MPa) μετά το τέλος της πειραματικής διαδικασίας |
|--------------------|---|---|
| Silox_nano         | 0,8   | 0,8   |
| Acr_nano           | 0,6   | 0,6   |
| Elast              | 0,5   | 0,4   |
| Acr                | 0,5   | 0,4   |
| Poly               | 3   | 3   |
| Epoxy              | 3   | 3   |

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δοκιμής πριν και μετά την πειραματική διαδικασία.



**Σχήμα 6.11:** Διάγραμμα αντοχής σε πρόσφυση πριν και μετά το τέλος της πειραματικής διαδικασίας

Από το διαγραμμα παρατήρουμε ότι οι τιμές της αντοχής σε πρόσφυση είναι μεγαλύτερες στις βιομηχανικές επικαλύψεις και διατηρούνται στα ίδια επίπεδα και μετά τους κύκλους ύγρυνσης-ξηράνσης των δοκιμίων. Το ίδιο

διαπιστώνεται και για τις επικαλύψεις νανοτεχνολογίας παρόλο που οι τιμές είναι αρκετά χαμηλότερες. Τα συμβατικά χρώματα δείχνουν πτώση της αντοχής μετά το τέλος του πειράματος και οι τιμές τους είναι ελαφρά χαμηλότερες.

## 6.5 Μετρήσεις Απώλειας βάρους

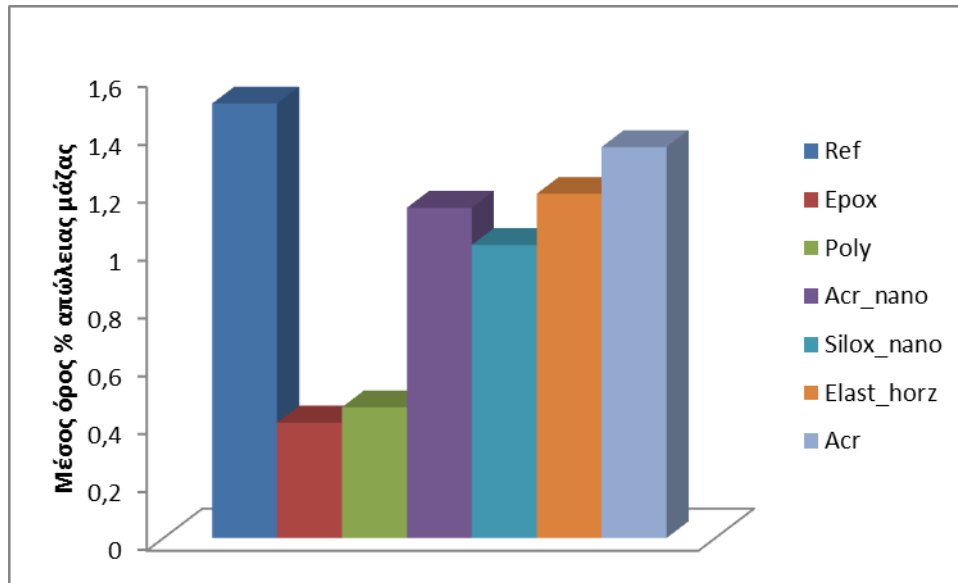
Οι χάλυβες που χρησιμοποιήθηκαν ως ενίσχυση στα τσιμεντοκονιάματα, ζυγίστηκαν πριν την εισαγωγή τους στα δοκίμια αλλά και μετά την απομάκρυνση τους από αυτά. Παρατίθεται ο πίνακας 23 στον οποίο φαίνονται το αρχικό και τελικό βάρος του σπλισμού και ο μέσος όρος απώλειας του βάρους % για κάθε οργανική επικάλυψη.

**Πίνακας 23:** Απώλειες μάζας μετά το τέλος της πειραματικής διαδικασίας

|              | μαρχ    | μτελ    | Dm     | Δm/μαρχ  | %        | ΜΟ       |            |
|--------------|---------|---------|--------|----------|----------|----------|------------|
| ref1         | 94,7295 | 93,2252 | 1,5043 | 0,01588  | 1,587995 | 1,500437 | ref        |
| ref2         | 93,122  | 91,8063 | 1,3157 | 0,014129 | 1,412878 |          |            |
| Epoх1        | 61,4949 | 61,2817 | 0,2132 | 0,003467 | 0,346695 | 0,399166 | epox       |
| Epoх2        | 60,6017 | 60,328  | 0,2737 | 0,004516 | 0,451637 |          |            |
| Poly1        | 61,2554 | 61,0012 | 0,2542 | 0,00415  | 0,414984 | 0,451834 | poly       |
| Poly2        | 60,4072 | 60,112  | 0,2952 | 0,004887 | 0,488683 |          |            |
| Acr_nano 1   | 62,8776 | 62,1423 | 0,7353 | 0,011694 | 1,169415 | 1,140609 | Acr_nano   |
| Acr_nano 2   | 61,9084 | 61,2201 | 0,6883 | 0,011118 | 1,111804 |          |            |
| Silox_nano1  | 62,3636 | 61,6824 | 0,6812 | 0,010923 | 1,092304 | 1,012093 | Silox_nano |
| Silox_nano 2 | 61,4563 | 60,8836 | 0,5727 | 0,009319 | 0,931882 |          |            |
| Elast_horz 1 | 92,145  | 91,0998 | 1,0452 | 0,011343 | 1,134299 | 1,188841 | Elast_horz |
| Elast_horz 2 | 93,9293 | 92,7614 | 1,1679 | 0,012434 | 1,243382 |          |            |
| Acr 1        | 90,832  | 89,7552 | 1,0768 | 0,011855 | 1,185485 | 1,350239 | Acr        |
| Acr 2        | 93,7562 | 92,3358 | 1,4204 | 0,01515  | 1,514993 |          |            |

Στη συνέχεια, παρατίθενται σε συγκεντρωτικό διάγραμμα ο μέσος όρος της % απώλειας του βάρους που παρουσίασε κάθε δοκίμιο που ήταν επικαλυμμένο με την κάθε μια από τις μελετούμενες οργανικές επικαλύψεις. Για λόγους σύγκρισης

παρατίθενται και τα δοκίμια που δεν ήταν επικαλυμμένα με χρώμα, τα δοκίμια αναφοράς.



Σχήμα 6.12: Συγκεντρωτικό διάγραμμα μέσων όρων της % απώλειας του βάρους δοκιμίων



## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

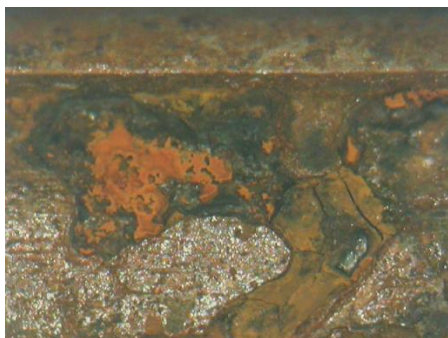
Από τις ηλεκτροχημικές μετρήσεις για την αποτίμηση της διάβρωσης δοκιμίων οπλισμένης τσιμεντοκονίας με οργανικές επικαλύψεις προκύπτει ότι οι βιομηχανικές επικαλύψεις προσέφεραν μεγαλύτερη προστασία σε σχέση με τις συμβατικές και τις επικαλύψεις νανοτεχνολογίας έναντι της διάβρωσης σε εναλλασσόμενο περιβάλλον. Το γεγονός αυτό αποτυπώνεται τόσο από τις μετρήσεις του δυναμικού διάβρωσης και την αντίσταση πόλωσης από τη τεχνική της Γραμμικής Πόλωσης όσο και από την αντίσταση του ηλεκτρολύτη/ τσιμεντοκονίας από την τεχνική της σύνθετης αντίστασης.

Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα χρώματα νανοτεχνολογίας τα οποία είναι επικαλύψεις για συμβατικές εφαρμογές (εσωτερική και εξωτερική τοιχοποιίας κατοικιών) ανταγωνίζονται ως προς την προσφερόμενη προστασία τις βιομηχανικές επικαλύψεις οι οποίες είναι ειδικών εφαρμογών. Οι αυτοκαθαριζόμενες ιδιότητές του επιπροσθέτως αποτελούν σημαντικό πλεονέκτημα ιδιαίτερα σε παραθαλάσσιες περιοχές.

## 8. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### Μικροσκοπία οπτικών ινών

Σε μικροσκόπιο οπτικών ινών μελετήθηκε η μορφολογία των χαλύβων από κάθε δοκίμιο καθώς και του δοκιμίου αναφοράς. Παρατίθενται έξι εικόνες χαλύβδινου οπλισμού για κάθε ένα από τα δοκίμια που ήταν επικαλυμμένα με τις έξι οργανικές επικαλύψεις. Η μεγέθυνση των φωτογραφιών είναι x50.



Εικόνα 1:ref



**Εικόνα 2: Acr**



**Εικόνα3: Elast\_horz**



**Εικόνα 4: Silox\_nano**



**Εικόνα 5:Acr\_nano**



**Εικόνα 6:epox**



**Εικόνα 7:poly**

Συγκρίνοντας λοιπόν τους χαλύβδινους οπλισμούς σύμφωνα με τη διάβρωση που υπέστησαν από την οχτάμηνη μεταχείριση τους σε εναλλασσόμενες συνθήκες διάβρωσης παρατηρείται ότι για κάθε είδους επικάλυψη που χρησιμοποιήθηκε το φαινόμενο δεν αποφεύχθηκε. Ωστόσο μεγαλύτερο βαθμό προστασίας προσέφεραν τα βιομηχανικά χρώματα και στη συνέχεια οι επικαλύψεις νανοτεχνολογίας. Η διαβρωση του οπλισμού στα δοκίμια που ήταν επικαλυμμένα με συμβατικά χρώματα είναι εμφανής και σε μεγάλο βαθμό. Στα δοκίμια αναφοράς η διάβρωση είναι εκτεταμένη αφού η προστασία ήταν μηδενική.

### **Οπτική παρατήρηση**

Παρατηρώντας οπτικά τα δοκίμια σε καμία από τις έξι οργανικές επικαλύψεις δεν διαπιστώθηκαν αλλοιώσεις στην εξωτερική επιφάνεια μετά από διάστημα 8 μηνών.



**Εικόνα 8:** Τελική όψη αντιπροσωπευτικών δοκιμίων μετά την οχτάμηνη μεταχείριση στο διαβρωτικό περιβάλλον

## 9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/XR\\_VERN\\_SIG\\_OUSIES/xr\\_1\\_11.htm](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES/xr_1_11.htm).

**Hellenic Organization for Standardization ELOT 452** Determination of total Hg content to water with Atomic Adsorption Spectroscopy .

**ASTM,C876-87** Standard test method for Half Cell Potentials of reinforcing Steel in Concrete .

**Bierwagen G.P** Reflections on corrosion control y organic coatings - Progress in Organic Coatings. - 1996. - p. Vol 28.

**BS EN24624:1993/BS EN ISO4324:2003** Paints and varnishes- Pull off test adhesion .

**Broomfield**, Corrosion of Steel in Concrete: Understanding, Investigation and Repair, E&FN SPOK, UK, 1997, pp. 16–21

**C.G Munger, L.D.Vincent** Corrosion Prevention by Protective Coatings (I) - USA : NACE Int., 1999.

**EN, ISO 1514:2004** Paint and varnishes- Standard panels for testing .

**EN206-1** Concrete- Part 1 :Specification ,Performance Production and Conformity CEN - Brussels : [s.n.], 2000.

[http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/XR\\_VERN\\_SIG\\_OUSIES](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/XR_VERN_SIG_OUSIES)

**Gu, P.; Beaudoin J.** Estimation of steel corrosion rate in reinforced concrete by means of equivalent fittings of impedance spectra Adv Cem Res, 1998, 10, 43-56.

**ISO/DIS8407.3** Procedures for Removal of Corrosion Products from Corrosion Test Specimen Geneve, 1986.

**ISO8044-99** Corrosion of Metals and Alloys- Basic Terms and Definitions .

**ISO8407:2009** Corrosion of metals and alloys- Removal of corrosion products from corrosion test specimens .

**J.M Gaidis,A.M Rosenberg** Avoiding corrosion damage in reinforced concrete. Corrosion-inhibiting admixture protect steel reinforcing / Concr Int. - 2001. - pp. 80-83.

**K. Hladky,L.M Callow,J.L Dawson** Corrosion rates from impedance measurements:an introduction / Br Corros. - 1980. - pp. 20-25.

**K.A.Chandler,,B.A Bayliss** Corrosion Protection of Steel Structures : Elsevier Applied Science, 1985.

**Khanna A.S** Nanotechnology in High Performance Paint Coatings / Asian J.Exp. Sci. - Bombay : [s.n.], 2008. - Vol. 21.



**KWJ Treadaway, PB Bamforth**, editors, "Corrosion of reinforcement concrete", London: Elsevier Applied Science; 1990. p. 571-85

**P. Molera, X.Oller, M. Del Vale, F. Gonzalez** Formulation and Characterization of Anticorrosive Paints / Pigment and Resin Technology. - 2004.

**P. Read, G.G. Carette, V.M. Malhotra** Strength development characteristics of high strength concrete incorporating supplementary cementing materials / 2nd International Symposium on Utilization of High-Strength Concrete. - California (USA) 1990.

**Park S.M, Yoo J.S** Electrochemical impedance spectroscopy for better electrochemical measurements : Anal Chem., 2003, 75, 455-461.

**Th. Zafeiropoulou, E. Rakanta, G. Batis** Performance evaluation of organic coatings against corrosion in reinforced cement mortars / Prog Org Coat. - 2011. - pp. 175-180.

**Uhlig Herbert H.** Uhlig's corrosion handbook "Carbon Steel-Corrosion by seawater" - N.Jersey : John Wiley & Sons, Inc., 2011.

[www.portal.tee.gr/material\\_guides](http://www.portal.tee.gr/material_guides)

**Γ.Μπατής** Φθορά και Προστασία Υλικών - Αθήνα : Ε.Μ.Π, 1999.

**ΕΛΟΤ1421-3** Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος- Συγκολλησιμοι χάλυβες- Μέρος 3: Τεχνική κατηγορία B500C .

**Θ.Σκουλικίδης, Π.Βασιλείου** Διάβρωση και Προστασία Υλικών - 2000 : Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.

**Ν.Κουλουμπή** Διάβρωση και Προστασία . - Αθήνα : Ε.Μ.Π, 2010.

**Ν.Κουλουμπή** Διάβρωση και Προστασία - Αθήνα : Ε.Μ.Π, 1994.

**Σ.Τσίμας** Δομικά Υλικά (Τσιμέντο-Ασβέστης-Σκυρόδεμα-Κονιάματα) - Αθήνα : Ε.Μ.Π, 2001.

**Σ.Τσίμας, Σ.Τσιβιλής** Επιστήμη και Τεχνολογία Τσιμέντου - Αθήνα : Ε.Μ.Π, 2004.

**Σκουλικίδης Θ.Ν** Διάβρωση και Συντήρηση των Δομικών Υλικών των Μνημείων : Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 2000.

**Υπουργική Απόφαση Δ/14/191164/28.3.97, ΦΕΚ Β315/17.4.97** Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος - 1997.

### ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

|  |  |            |                  |                        |   |
|--|--|------------|------------------|------------------------|---|
| <b>1. Επώνυμο</b>                                    | <b>ΝΤΗΛΙΑ</b>  |            |                  |                        |   |
| <b>2. Όνομα</b>                                      | <b>ΟΛΓΑ</b>  |            |                  |                        |   |
| <b>3. Ημερομηνία Γέννησης</b>                        | 1980   |            |                  |                        |   |
| <b>4. Εθνικότητα</b>                                 | Ελληνική   |            |                  |                        |   |
| <b>5. Οικογενειακή Κατάσταση</b>                     | άγαμη  |            |                  |                        |   |
| <b>6. Εκπαίδευση</b>                                 | <b>1995-1998</b> Μαθήτρια στο 3 <sup>ο</sup> Γενικό Λύκειο Καρδίτσας<br><b>09/99 – 10/2005</b> Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου<br><b>10/2011- 2013</b> Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών "Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών» ΕΜΠ                              |            |                  |                        |   |
| <b>7. Ξένες Γλώσσες</b>                              | Αγγλικά First Certificate in English University of Cambridge (Lower)<br>Γαλλικά Certificat de Langue Francaise (Delf A1,A2,A3,A4)  |            |                  |                        |   |
| <b>8. Μέλος Επιστημονικών/Επαγγελματικών Ενώσεων</b> | Μέλος ΤΕΕ 2006   |            |                  |                        |   |
| <b>9. Άλλες Ειδικεύσεις/Γνώσεις.</b>                 | Γνώση λογιστικής και εργατικού δικαίου<br>Γνώση Ηλεκτρονικών Υπολογιστών: <ul style="list-style-type: none"> <li>• MS OFFICE</li> <li>• AUTOCAD</li> </ul>   |            |                  |                        |   |
| <b>10. Κύρια Προσόντα</b>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Γνώση διαδικασιών δημοσίων έργων</li> <li>• Σύνταξη λογαριασμών</li> <li>• Εκπόνηση προμετρήσεων-επιμετρήσεων</li> <li>• Εκπόνηση οικοδομικών αδειών</li> <li>• Επικοινωνιακές δεξιότητες</li> <li>• Ικανότητα επικοινωνίας με αλλοδαπούς Εταίρους</li> </ul> |            |                  |                        |   |
| <b>11. Ιστορικό Επαγγελματικής Σταδιοδρομίας</b>     |  |            |                  |                        |   |
| <b>#</b>   | <b>Από</b>   | <b>Έως</b> | <b>Εργοδότης</b> | <b>Τοποθεσία</b>       | <b>Θέση και Κύρια Δραστηριότητα</b>   |
| 1  | 04/2009  | 10/2011    | ΟΜΕΚ Α.Ε         | Αθήνα – Τρίκαλα-Λαμία. | <b>Κοινοπραξία SCOTT WILSON Ltd-ΟΜΕΚ ΑΕ</b><br><b>Επί τόπου μηχανικός του Ανεξάρτητου Μηχανικού του Έργου Οδικού Άξονα Παραχώρησης «Αυτοκινητόδρομος Κεντρικής Ελλάδας – Ε65» στα τμήματα S1 Λαμία –Α/Κ Ανάβρα και S2 Α/Κ Ανάβρας-Α/Κ Τρικάλων.</b><br>Ο Άξονας του <b>E-65</b> αφορά την οδική σύνδεση με αυτοκινητόδρομο προδιαγραφών Ευρωπαϊκής οδοποιίας του Π.Α.Θ.Ε στην |

|  |  |  |  |   |
|--|--|--|--|---|
|  |  |  |  | <p>περιοχή Λαμίας, με την Εγνατία Οδό στην παναγιά, συνολικού μήκους 178χμ. νέας χάραξης.<br/>Το τμήμα Σκάρφεια-Ράχες του Π.Α.Θ.Ε αφορά εργασίες κατασκευής σταθμών διοδίων και έργων υποδομής οπτικής ίνας.<br/>Το σύνολο του Προϋπολογισμού των έργων ανέρχεται στο ποσό των 1,5 δις Ευρώ.</p> <p><b>Καθήκοντα:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Παρακολούθηση Εφαρμογής των Συμβατικών και Τεχνικών Προδιαγραφών Του Έργου</li><li>• Καθημερινή Επιτόπου Επίβλεψη των Εργασιών Κατασκευής στον Τομέα Ευθύνης του</li><li>• Έλεγχος Εφαρμογής των προβλέψεων των Εγκεκριμένων Οριστικών Μελετών</li><li>• Αξιολόγηση τυχόν προτεινόμενων Επιτόπου Αλλαγών των Μελετών σε συνεργασία με τους Υπεύθυνους της Ομάδας Οριζόντιας Υποστήριξης και το Ελεγκτές των Μελετών</li><li>• Έλεγχο τήρησης του Εγκεκριμένου Χρονοδιαγράμματος του Κατασκευαστή</li><li>• Σύνταξη Ημερήσιων και Εβδομαδιαίων Αναφορών Προόδου</li><li>• Έλεγχος των Μηνιαίων Πιστοποιήσεων του Κατασκευαστή για τη Γεωγραφική περιοχή ευθύνης</li><li>• Παρακολούθηση εφαρμογής του Συστήματος Ποιότητας και Ποιοτικού Ελέγχου του Κατασκευαστή</li><li>• Ανασκόπηση των Μεθοδολογιών Κατασκευής και Έλεγχος Εφαρμογής τους</li><li>• Καθημερινή Παρακολούθηση των Εργαστηριακών Ελέγχων του Κατασκευαστή</li><li>• Έλεγχος των Ενσωματούμενων Υλικών στο Έργο</li><li>• Παρακολούθηση των Γεωμετρικών</li></ul> |
|--|--|--|--|---|

|   |            |         |   |          |   |
|---|------------|---------|---|----------|---|
|   |            |         |   |          | <p>Ελέγχων του Κατασκευαστή σε συνεργασία με τον Υπεύθυνο της Ομάδας Υποστήριξης</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Παρακολούθηση θεμάτων Υγιεινής και Ασφάλειας σε συνεργασία με τον Υπεύθυνο της Ομάδας Υποστήριξης. Παρακολούθηση αρτιότητας των Προσωρινών Κατασκευών</li> <li>• Παρακολούθηση Περιβαλλοντικών θεμάτων σε συνεργασία με τον Υπεύθυνο της Ομάδας Υποστήριξης</li> <li>• Έλεγχος του Ημερολογίου του έργου του Κατασκευαστή</li> <li>• Συμμετοχή σε Συσκέψεις Εργοταξίου</li> <li>• Συμμετοχή σε τακτές και έκτακτες Επιθεωρήσεις Ποιότητας</li> <li>• Έκδοση Αναφορών Μη Συμμόρφωσης σε περιπτώσεις κακοτεχνιών και παρεκκλίσεων</li> </ul>  |
| 2 | 6/<br>2006 | 03/2009 | <p>ΜΠΡΙΑΝΑΣ ΘΩΜΑΣ</p> <p>Εργοληπτικό γραφείο δημοσίων έργων</p> | ΚΑΡΔΙΤΣΑ | <p><b>Καθήκοντα:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Επίβλεψη της κατασκευής των έργων:</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) ΣΥΝΔΕΤΗΡΙΑ ΟΔΟΣ ΤΗΣ ΟΔΟΥ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ-ΛΑΡΙΣΑΣ ΠΡΟΣ ΒΙ.ΠΕ. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ</li> <li>2) ΔΙΑΚΟΙΝΟΤΙΚΗ ΟΔΟΠΟΙΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΡΓΙΘΕΑΣ</li> <li>3) 6/ΘΕΣΙΟ ΟΛΟΗΜΕΡΟ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΣΧΟΛΕΙΟ ΙΤΕΑΣ</li> <li>4) ΜΟΥΣΙΚΟ ΓΥΜΝΑΣΙΟ ΛΥΚΕΙΟ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ</li> <li>5) ΝΕΟ ΚΤΙΡΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΞΥΛΟΥ ΚΑΙ ΕΠΙΠΛΟΥ (ΤΕΙ ΛΑΡΙΣΑΣ)</li> <li>6) ΟΔΟΠΟΙΑ ΔΗΜΟΤΙΚΩΝ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΩΝ</li> <li>7) ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΓΥΜΝΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ (ΑΠΟΠΕΡΑΤΩΣΗ)</li> </ol> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Σύνταξη λογαριασμών</li> <li>• Εκπόνηση προμετρήσεων-επιμετρήσεων</li> <li>• Διεκπεραίωση φακέλου για τη</li> </ul> |



|                                  |                 |         |   |          |  |
|----------------------------------|-----------------|---------|---|----------|--|
|                                  |                 |         |   |          | συμμετοχή σε δημοπρασίες ανάληψης έργων                  |
| 3                                | 2006            | 2013    | Ιδιωτικό Τεχνικό γραφείο  | Καρδίτσα | Μελέτη-Επίβλεψη οικοδομικών έργων (οικοδομικές άδειες)   |
| 4                                | 01/2008         | 01/2009 | Εθνική Τράπεζα  | Καρδίτσα | Συνεργασία με την Εθνική Τράπεζα για εκτιμήσεις ακινήτων |
| <b>12. Άλλα Σχετικά Στοιχεία</b> |                 |         |   |          |  |
|                                  | Δεκέμβριος 2004 |         | Σεμινάριο «Geotechnics in Pavement and Railway Design and Construction» στο ΕΜΠ   |          |  |
|                                  | Νοέμβριος 2009  |         | Σεμινάριο «Χωματουργικές Εργασίες-Εκσκαφές και Συμπύκνωση Εδαφών»   |          |  |
|                                  | Απρίλιος 2006   |         | Δίπλωμα ΙΧ  |          |  |
|                                  | Μαιος 2013      |         | 9ο Πανελλήνιο Συνέδριο Χημικής Μηχανικής – «Διάβρωση Οπλισμού Τσιμεντοκονιάματος με Οργανικές Επικαλύψεις σε Εναλλασσόμενο Διαβρωτικό Περιβάλλον» |          |  |

**Ντηλιά Όλγα**