



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ»

*«ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΕΣ
ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΩΝ»*

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΑΡΓΑΡΗ ΗΛ. ΜΑΡΙΛΕΝΑ

Διπλωματούχος Αρχιτέκτων Μηχανικός ΕΜΠ

ΕΠΙΒΛΕΨΗ:

ΜΠΑΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, Μάρτιος 2012





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ»

**«ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΕΣ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ
ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΩΝ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΑΡΓΑΡΗ ΗΛ. ΜΑΡΙΛΕΝΑ

Διπλωματούχος Αρχιτέκτων Μηχανικός ΕΜΠ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Γ. ΜΠΑΤΗΣ, Καθηγητής ΕΜΠ

Δ. ΠΑΝΤΕΛΗΣ, Καθηγητής ΕΜΠ

Κ. ΧΑΡΙΤΙΔΗΣ, Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, Μάρτιος 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο εργαστήριο «Επιστήμης & Τεχνικής των Υλικών» της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ, από το Μάιο του 2011 έως το Μάρτιο του 2012.

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά για τη «συν – εργασία» τους στην υλοποίηση της παρούσας μελέτης:

- Τον Καθηγητή της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ και επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γεώργιο Μπατή, για την ανάθεση του θέματος της μεταπτυχιακής εργασίας και τις καθοριστικές παρεμβάσεις και συμβουλές του σε καίρια στάδια της εργασίας
- Την Υποψήφια Διδάκτορα Θεοδοσία Ζαφειροπούλου, κατά κόσμον Ντία, για την αδιάλειπτη παρουσία της στο πλάι μου και την πολύπλευρη βοήθεια που μου προσέφερε, καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής εργασίας
- Το Λέκτορα της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ κ. Αντώνη Καραντώνη, για την καθοριστική συνεισφορά του στο πείραμα μέτρησης της Διαπερατότητας σε Χλωριόντα
- Όλους τους εκάστοτε «συγκατοίκους» μου στα εργαστήρια, για την ανέφελη «συγκατοίκηση»
- Όλους τους διδάσκοντες του ΔΠΜΣ «Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών» του ακαδημαϊκού έτους 2010-2011, για τα «ερεθίσματα» που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια παρακολούθησης του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού
- Όλους τους συμφοιτητές-φίλους, με τους οποίους συν-παρακολουθήσαμε το ΔΠΜΣ «Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών» του ακαδημαϊκού έτους 2010-2011, συνεργαστήκαμε σε εργασίες, αλληλοβοηθηθήκαμε και, εν γένει, συνυπήρξαμε, αρμονικά, για έναν ολόκληρο χρόνο
- Τους γονείς μου, Ηλία και Αντωνία, που, μεταξύ πολλών άλλων, εξακολουθούν να στηρίζουν παντοιοτρόπως τις επιλογές μου...

Μαριλένα Μάργαρη
Μάρτιος 2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η έντονη οικοδομική δραστηριότητα, η οποία αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1950 - 1960 πραγματοποιήθηκε με, σχετικά, χαμηλές προδιαγραφές. Η δόμηση, τότε, γινόταν με προοπτική ότι τα κτίρια θα ζούσαν για τέσσερις δεκαετίες και θα τα αντικαθιστούσαμε αργότερα με άλλα πιο σύγχρονα, σήμερα, όμως, λόγω της γενικότερης οικονομικής συγκυρίας και του μεγάλου κόστους κατασκευής, δε συμφέρει να αντικαθίστανται γρήγορα, ενώ η φθορά των κατασκευών κάνει, ενίοτε, τη χρήση τους προβληματική.

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως, π.χ. ο άνεμος και η υγρασία, καθώς και η ατμοσφαιρική ρύπανση ή η εκτεταμένη χρήση χημικών ουσιών προκαλούν έντονες επιδράσεις, τόσο στο σκυρόδεμα, όσο και στο χάλυβα των κατασκευών. Έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι προστασίας των κατασκευών, μια εκ των οποίων - ιδιαίτερα σημαντική λόγω του χαμηλού κόστους και της ευκολίας εφαρμογής της - είναι οι οργανικές επικαλύψεις (χρώματα). Η προστασία που παρέχει ένα χρώμα είναι ένα πολύπλοκο ζήτημα, το οποίο σχετίζεται με τις ιδιότητες που αυτό έχει αποκτήσει κατά την παρασκευή του. Ορισμένες από τις ιδιότητες αυτές μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν η υδατοπερατότητα (liquid water permeability), η υδρατμοπερατότητα (water vapour permeability) και η διαπερατότητα σε χλωριόντα (chlorides permeability). Ένα χρώμα χαρακτηρίζεται ως προστατευτικό, όταν έχει αυξημένη υδρατμοπερατότητα και όσο το δυνατόν μικρότερη υδατοπερατότητα και διαπερατότητα σε χλωριόντα.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία μελετήθηκαν, συνολικά, τρία είδη χρωμάτων: 1 “ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΟ ΧΡΩΜΑ 2 ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ”, 1 “ΧΡΩΜΑ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ 2 ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ” (για τα οποία χρησιμοποιήθηκε το ίδιο “ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΟ ΑΣΤΑΡΙ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ 2 ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ”) και 1 “ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟ ΧΡΩΜΑ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ” (για το οποίο χρησιμοποιήθηκε “ΑΣΤΑΡΙ 1 ΣΥΣΤΑΤΙΚΟΥ”). Πρόκειται για χρώματα εξωτερικής χρήσης, τα οποία εφαρμόζονται σε διάφορα είδη επιφανειών, συμπεριλαμβανομένου και του τσιμεντοκονιάματος.

Τα αποτελέσματα τα οποία εξήχθησαν αποκάλυψαν ότι η επιλογή χρώματος πρέπει να γίνεται, πάντα, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής όπου το χρώμα θα εφαρμοστεί. Έτσι, σε περιοχές με υψηλή συγκέντρωση χλωριόντων, όπως παραθαλάσσιες περιοχές ή περιοχές όπου χρησιμοποιούνται άλατα αποπάγωσης, θα πρέπει να προτιμηθεί μια οργανική επικάλυψη με χαμηλό ρυθμό υδατοπερατότητας και διαπερατότητας σε χλωριόντα. Αντίθετα, σε περιοχές με υψηλά ποσοστά υγρασίας, θα πρέπει να προτιμηθεί ένα χρώμα με υψηλό ρυθμό υδρατμοπερατότητας. Τέλος, όταν απαιτείται συνδυασμός χαμηλού ρυθμού

υδατοπερατότητας και υψηλού ρυθμού υδρατμοπερατότητας, οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα της επεξεργασίας τους, όσον αφορά στις επικαλύψεις που μελετήθηκαν, κατέδειξαν ότι θα πρέπει να προτιμηθεί η επικάλυψη *“Οικολογικό Χρώμα Νανοτεχνολογίας”*.

ABSTRACT

The intense construction activity, which was developed in the decade of 1950 – 1960, was held in relatively low standards. The construction, then, was a prospect that the buildings would be living for four decades and would be later replaced with more modern ones, however, due to the economic situation and the high construction costs it is not profitable to replace them quickly, while their decay renders, sometimes, their use problematic.

The environmental conditions, such as wind, humidity and air pollution or the substantial use of chemicals cause profound effects both to the concrete and steel of the constructions. Several methods have been developed to protect structures, one of which - particularly significant given the low cost and ease of implementation - is organic coatings (paints). The protection afforded by a coating is a very complicated issue, which relates to the properties it has acquired during its preparation. Some of these properties were studied in this thesis.

Specifically, the properties studied were: the *liquid water permeability*, the *water vapour permeability* and the *chlorides permeability*.

A coating is characterized as protective when it has high water vapour permeability and as low as possible liquid water permeability and chlorides permeability.

In this thesis, three kinds of paints were totally tested: "TWO COMPONENT EPOXY PAINT", "TWO COMPONENT POLYURETHANE PAINT" (with the same "TWO COMPONENT EPOXY PRIMER") and "ECO-FRIENDLY NANOTECHNOLOGY PAINT" (with "ONE COMPONENT PRIMER").

These are exterior paints, applied in different kinds of surfaces, including cement.

The results exported revealed that the paints should be always chosen depending on the environmental conditions of the area where the paint will be applied. Thus, in areas with high concentration of chlorides, such as coastal areas or areas where deicing salts are used, an organic coating with low liquid water permeability rates and permeability to chloride ions should be preferred. In contrast, in areas with high humidity, paints with high rate of water vapour permeability should be used. Finally, when a combination of low liquid water permeability rate and high water vapour permeability rate is required, measurements and results showed that preference should be given to the "Eco-friendly Nanotechnology Paint"

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Διάβρωση	9
1.1 Γενικά	9
1.2 Παράμετροι διάβρωσης.....	9
1.3 Μορφές διάβρωσης.....	10
1.4 Διάβρωση οπλισμένου σκυροδέματος	11
1.4.1 Εισαγωγή	13
1.4.2 Παράγοντες που επιδρούν στη διάβρωση του οπλισμένου σκυροδέματος .	13
1.4.3 Διάβρωση του χάλυβα στο σκυρόδεμα.....	15
1.4.3.1 Μηχανισμός διάβρωσης του χάλυβα	16
1.4.3.2 Μηχανισμός διάβρωσης οπλισμού σε σκυρόδεμα _ με χλωριόντα	17
1.4.3.3 Μηχανισμός διάβρωσης οπλισμού σε σκυρόδεμα _ με ρωγμές	20
1.4.3.4 Διάβρωσης του σκυροδέματος _ ενανθράκωση	22
1.4.3.3.1 Ενανθράκωση σκυροδέματος	22
1.4.3.3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα ενανθράκωσης.....	23
1.4.3.3.3 Τρόποι προσδιορισμού του βάθους ενανθράκωσης	23
1.4.3.3.4 Αποτελέσματα της ενανθράκωσης	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Μέθοδοι προστασίας.....	26
2.1 Εισαγωγή.....	26
2.2 Ταξινόμηση μεθόδων προστασίας από τη διάβρωση	26
2.3 Τροποποίηση του υλικού.....	27
2.3.1 Γαλβανισμένος Χάλυβας.....	28
2.3.2 Χάλυβας με επικάλυψη εποξεικών ρητινών	29
2.3.3 Ανοξειδωτοι χάλυβες	30

2.4 Τροποποίηση του περιβάλλοντος - Αναστολείς διάβρωσης	30
2.4.1 Κατηγορίες αναστολέων διάβρωσης.....	30
2.4.2 Δράση αναστολέων διάβρωσης	31
2.4.3 Χρήση των αναστολέων διάβρωσης στο σκυρόδεμα.....	32
2.4.3.1 Συνηθέστεροι αναστολείς	32
2.4.3.2 Μηχανισμός δράσης νιτρώδους ασβεστίου	33
2.5 Τροποποίηση του ηλεκτροδιακού δυναμικού υλικού - περιβάλλοντος.....	35
2.5.1 Καθοδική Προστασία	35
2.5.1.1 Καθοδική προστασία με θυσιαζόμενες ανόδους	36
2.5.1.2 Καθοδική προστασία με επιβαλλόμενα εξωτερικά ρεύματα.....	37
2.5.1.3 Προστασία σκυροδέματος από την διάβρωση σε θαλάσσιο περιβάλλον με την μέθοδο της καθοδικής προστασίας.....	39
2.6 Επικαλύψεις - Χρώματα.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Χρώματα.....	42
3.1 Εισαγωγή.....	42
3.2 Βασικές αρχές σύνθεσης χρωμάτων	42
3.3 Συστατικά χρωμάτων	44
3.3.1 Συνδετικά μέσα (Φορείς)	44
3.3.2 Πιγμέντα.....	46
3.3.3 Διαλύτες	46
3.3.4 Πρόσθετα	48
3.4 Βασικές διαφορές συστημάτων χρωμάτων	49
3.5 Παραγωγή χρωμάτων	50
3.6 Ιδιότητες χρωμάτων.....	51
3.6.1 Γενικά	51
3.6.2. Καλυπτικότητα	52
3.6.3 Πρόσφυση	52
3.6.4 Ελαστικότητα.....	53

3.6.5 Επιταχυνόμενη γήρανση	53
3.6.6. Μέτρηση του πορώδους του επιχρίσματος	54
3.6.7 Αντοχή πλυσίματος	54
3.6.8 Αντοχή στα αλκάλια	55
3.6.9 Συμπεριφορά στη φωτιά	55
3.6.10 Υδρατμοπερατότητα	56
3.6.10.1 Εισαγωγή	56
3.6.10.2 Διατύπωση μαθηματικών μοντέλων για τον καθορισμό της συμπεριφοράς της διάχυσης – Νόμοι Fick	57
3.6.11 Υδατοπερατότητα	60
3.6.11.1 Εισαγωγή	60
3.6.11.2 Διατύπωση μαθηματικών μοντέλων για τον καθορισμό της συμπεριφοράς της διάχυσης – Νόμοι Fick	60
3.6.12 Διαπερατότητα σε χλωριόντα	61
3.6.13 Διαπερατότητα CO ₂	61
3.7 Αστοχία Χρώματος.....	62
3.7.1 Προβλήματα και αστοχίες κατά την εφαρμογή	62
3.7.1.1 Χονδροί κόκκοι («μπιμπίκια») από κατάλοιπα και σκόνη	62
3.7.1.2 Δάκρυσμα ή "τρέξιμο" (Sagging).....	63
3.7.1.3 Σημάδια πινέλου (Βενιές).....	63
3.7.1.4 Κρατήρες, τρύπες και πόροι.....	63
3.7.1.5 Ανεπαρκές πάχος βαφής.....	63
3.7.1.6 Υπερβολικό πάχος βαφής.....	64
3.7.1.7 Διακοπές.....	64
3.7.1.8 Κυκλικά κενά (Fish Eyes) - Κακή διαβροχή.....	64
3.7.1.9 Blushing	64
3.7.1.10 Blooming (ή amine blooming)	64
3.7.2 Προβλήματα κατά την αντίδραση ή ξήρανση	65
3.7.2.1 Ζάρωμα.....	65
3.7.3 Προβλήματα και αστοχίες μετά την εφαρμογή	65
3.7.3.1 Μετανάστευση - Bleeding.....	65
3.7.3.2 Αποχρωματισμός.....	65

3.7.3.3 Φλύκταινες - Φυσαλίδες	66
3.7.3.4 Αποφολίδωση - ξεφλούδισμα	67
3.7.3.5 Ρηγμάτωση	67
3.7.3.6 Κιμωλίαση.....	68
3.7.3.7 Έλλειψη πρόσφυσης.....	69
3.7.3.8 Απώλεια στιλπνότητας	69
3.7.3.9 Συγκόλληση (blocking)	69
II. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Πρώτες Ύλες - Παρασκευή Δοκιμίων	71
4.1 Πρώτες ύλες.....	71
4.1.1 Τσιμεντοκονιάματα	71
4.1.2 Χρώματα.....	72
4.1.2.1 « Εποξειδικό Χρώμα 2 Συστατικών »	73
4.1.2.1.1 «Εποξειδικό Αστάρι Εμποτισμού Τσιμέντου 2 Συστατικών»	74
4.1.2.2 « Χρώμα Πολυουρεθάνης 2 Συστατικών»	75
4.1.2.3 «Οικολογικό Χρώμα Νανοτεχνολογίας»	77
4.1.2.3.1 «Αστάρι 1 Συστατικού»	78
4.2 Παρασκευή δοκιμίων	80
4.2.1 Δοκίμια τσιμεντοκονιάματος	80
4.4.2 Δοκίμια χαρτιού	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Μέθοδοι χαρακτηρισμού αποτελεσματικότητας χρωμάτων.....	84
5.1 Σκοπός.....	84
5.2 Περιγραφή πειραμάτων	84
5.2.1 Δοκίμια τσιμεντοκονιάματος	85
5.2.2 Βαφή δοκιμίων τσιμεντοκονιάματος.....	85
5.3 Μέτρηση Υδατοπερατότητας κατά DIN EN 1602 – 3: 1998	85
5.3.1 Εισαγωγή.....	85

5.3.2 Μέτρηση της Υδατοπερατότητας σε εργαστηριακή κλίμακα κατά DIN EN 1062-3: 1998	87
5.3.3 Μαθηματική επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων κατά DIN EN 1062-3: 1998	87
5.3.4 Ταξινόμηση των χρωμάτων, σύμφωνα με τα αποτελέσματα Υδατοπερατότητας.....	88
5.3.5 Εργαστηριακή πορεία για τον προσδιορισμό της Υδατοπερατότητας, σύμφωνα με το πρότυπο DIN EN 1062-3:1998	88
5.4 Μέτρηση Υδρατμοπερατότητας κατά EN ISO 7783-1999	90
5.4.1 Εισαγωγή	90
5.4.2 Μέτρηση της Υδρατμοπερατότητας – Εργαστηριακή πορεία κατά EN ISO 7783-2: 1999	92
5.4.3 Μαθηματική επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων, σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 7783-2: 1999.....	93
5.4.4 Κατηγοριοποίηση των χρωμάτων, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μέτρησης Υδρατμοπερατότητας	95
5.4.5 Υπολογισμός της Υδρατμοπερατότητας, βάσει του προτύπου DIN EN ISO 7783-2: 1999	95
5.5 Μέτρηση διαπερατότητας χλωριόντων	96
5.5.1 Εισαγωγή	96
5.5.2 Εργαστηριακή πορεία υπολογισμού της διαπερατότητας σε χλωριόντα.....	97
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Παρουσίαση– Επεξεργασία πειραματικών αποτελεσμάτων	99
6.1 Μετρήσεις Υδατοπερατότητας.....	99
6.1.1 Παρουσίαση και επεξεργασία πειραματικών μετρήσεων	99
6.1.2 Μεταβολή της υδατοπερατότητας συναρτήσει του χρόνου	108
6.1.3 Πρώτο μερικό συμπέρασμα.....	111
6.2 Μετρήσεις Υδρατμοπερατότητας.....	112
6.2.1 Παρουσίαση και επεξεργασία πειραματικών αποτελεσμάτων	112
6.2.2 Υπολογισμός ρυθμού υδρατμοπερατότητας	118
6.2.3 Δεύτερο μερικό συμπέρασμα.....	121

6.3 Μετρήσεις διαπερατότητας σε χλωριόντα	122
6.3.1 Παρουσίαση και επεξεργασία πειραματικών αποτελεσμάτων	122
<i>Διάγραμμα 8: Διαγραμματική απεικόνιση των τιμών συγκέντρωσης χλωριόντων στη διάρκεια 10 ημερών</i>	<i>124</i>
6.3.2 Τρίτο μερικό συμπέρασμα.....	124
6.4 Τελικά συμπεράσματα – Συζήτηση αποτελεσμάτων	125
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	127

Ι. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κάλυψη του σκυροδέματος (οπλισμένου ή μη) με διάφορα υλικά είναι συνηθισμένη τακτική για την προστασία του, ιδιαίτερα όταν το σκυρόδεμα είναι εκτεθειμένο σε διαβρωτικό περιβάλλον. Η επιφανειακή προστασία του σκυροδέματος μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους, οι οποίες είναι οι εξής:

- *Διαποτισμός*: πρόκειται για λεπτό στρώμα στην επιφάνεια του σκυροδέματος, χωρίς να έχουν καλυφθεί οι πόροι του.
- *Σφράγιση*: πραγματοποιείται με ένα λεπτό στρώμα στην επιφάνεια του σκυροδέματος, μέχρι 300 μm, που έχει κλείσει, μερικά ή ολικά, τους πόρους του σκυροδέματος.
- *Επικάλυψη*: είναι ο σχηματισμός ενός ομοιόμορφου στρώματος στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Μπορεί να διακριθεί σε:
 - ✓ *Λεπτή επικάλυψη* (πάχος 0,3 – 1,0 mm)
 - ✓ *Χονδρή επικάλυψη* (πάχος 1,0 – 5,0 mm)
 - ✓ *Επικάλυψη με κονίες* (πάχος >5,0 mm)

Επιφανειακή προστασία με οργανικές και ανόργανες επικαλύψεις (χρώματα)

Η επιφανειακή προστασία του σκυροδέματος (οπλισμένου ή μη) με χρώματα είναι συνηθισμένη μέθοδος προστασίας. Το πάχος του χρώματος, συνολικά, δεν υπερβαίνει το 300 μm, συνεπώς, ανήκει στην κατηγορία του σφραγίσματος. Εκτός από την προστασία από τη φθορά, τα χρώματα προσφέρουν και αξιόλογα αισθητικά αποτελέσματα. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα των χρωμάτων είναι ότι προσφέρουν προστασία από το περιβάλλον, χωρίς να αυξάνουν το βάρος της κατασκευής.

Οι επικαλύψεις που χρησιμοποιούνται για την προστασία του σκυροδέματος μπορεί να είναι *οργανικές* ή *ανόργανες*. Οι *ανόργανες* επικαλύψεις χρησιμοποιούν ως συνδετικό μέσο το πυριτικό κάλιο (υδρύαλο). Οι *οργανικές* επικαλύψεις είναι χρώματα σιλοξάνης, σιλικόνης, ακρυλικών διασπορών, πολυμερών ρητινών, χλωριωμένου καουτσούκ και χρώματα δύο συστατικών (εποξειδικά ή πολυουρεθάνης).

Η βασική ειδοποιός διαφορά, μεταξύ ανόργανων και οργανικών χρωμάτων είναι ο τρόπος που προσφύονται στο υπόστρωμα. Στα *οργανικά* χρώματα, το χρώμα σχηματίζει υμένα, ο οποίος συγκρατείται με δυνάμεις συνοχής στο υπόστρωμα. Στα *ανόργανα* χρώματα δε σχηματίζεται υμένας και η πρόσφυση επιτυγχάνεται με χημική αντίδραση μεταξύ της προς βαφή επιφάνειας και του χρώματος. Το γεγονός αυτό οριοθετεί τους τομείς εφαρμογής αυτών των χρωμάτων.

Τα *ανόργανα* χρώματα πλεονεκτούν των *οργανικών* σε αρκετά σημεία, όπως ότι έχουν ανθεκτικότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία, δίνουν επιφάνεια σκληρή και ανθεκτική στις χαραγές, δεν περιέχουν υλικά που είναι δυνατόν να αποτελέσουν

θρεπτικό υλικό για μύκητες ή φύκια, οπότε οι βαμμένες επιφάνειες δε μουχλιάζουν, δεν προκαλούν μόλυνση του περιβάλλοντος, καθότι έχουν ως διαλύτη το νερό, έχουν υψηλή διαπερατότητα υδρατμών κ.α. Εντούτοις, τα *οργανικά* χρώματα εμφανίζουν δυο σημαντικά πλεονεκτήματα: α) έχουν μεγαλύτερη ποικιλία αποχρώσεων από τα ανόργανα και, κυρίως, β) εμφανίζουν μεγαλύτερο βαθμό προστασίας από τη διάβρωση.

Γενικά, η επιλογή κατάλληλου συστήματος χρωμάτων πρέπει να βασίζεται στις ιδιότητες του περιβάλλοντος του κτιρίου, στα προβλεπόμενα έξοδα συντήρησης και στις αισθητικές απαιτήσεις της κατασκευής. [1]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Διάβρωση

1.1 Γενικά

Με τον όρο «**διάβρωση**» (corrosion) εννοείται η καταστροφή, φθορά ή και λειτουργική αχρήστευση ενός υλικού εξαιτίας χημικής ή ηλεκτροχημικής ή μηχανικής δράσης του υλικού με το περιβάλλον του. Ο όρος δεν είναι μονοσήμαντος και αναφέρεται τόσο στο φαινόμενο της δράσης όσο και στο αποτέλεσμα της. Συνήθως, ο όρος «**διάβρωση**» χρησιμοποιείται για μεταλλικά υλικά (καθαρά μέταλλα ή κράματα). Τελευταία, όμως, χρησιμοποιείται και για τα πολυμερή ή και τα σύνθετα υλικά. [1]

Το φαινόμενο της διάβρωσης ορίζεται όπως έχει προκύψει από συζητήσεις στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ομοσπονδίας Διάβρωσης, της Διεθνούς Επιτροπής Θαλάσσιας Διάβρωσης και ρύπανσης των υφάλων και διαφόρων Διεθνών Συνεδρίων και είναι ο εξής: «**Διάβρωση** καλείται κάθε αυθόρμητη, κατ' επέκταση εκβιασμένη, ηλεκτροχημικής, κατ' επέκταση χημικής, κατ' επέκταση μηχανικής φύσης αλλοίωση της επιφάνειας των μετάλλων και των κραμάτων, που οδηγεί σε απώλεια υλικού» [4]

1.2 Παράμετροι διάβρωσης

Το σύστημα διάβρωσης αποτελείται από το υλικό και το διαβρωτικό περιβάλλον (μέσο). Οι παράμετροι δε που επηρεάζουν τη διάβρωση σχετίζονται, τόσο με το υλικό, όσο και με το διαβρωτικό περιβάλλον. [2]

Οι παράμετροι του υλικού που μπορεί να επηρεάσουν τη διάβρωση είναι οι εξής: [2]

- η χημική σύστασή του
- η δομή του
- η μέθοδος και οι συνθήκες χύτευσης
- οι μηχανικές κατεργασίες
- οι θερμικές κατεργασίες
- η τελική κατεργασία της επιφάνειας

Οι παράμετροι του περιβάλλοντος που μπορεί να επηρεάσουν τη διάβρωση είναι οι εξής: [2]

- Χημικές ή ηλεκτροχημικές παράμετροι
- Το pH

- Το είδος των εν διαλύσει ιόντων
- Η αγωγιμότητα του διαβρωτικού μέσου
- Η παρουσία ή όχι διαλυμένου οξυγόνου
- Η ταχύτητα κίνησης του διαβρωτικού μέσου
- Η μηχανική καταπόνηση που επιβάλλεται στο υλικό από το περιβάλλον
- Η ύπαρξη ζώντων οργανισμών κ.α.

1.3 Μορφές διάβρωσης

Δεν υπάρχει ενιαία συστηματική κατάταξη των τύπων της διάβρωσης στη βιβλιογραφία, διότι δε χρησιμοποιούνται πάντοτε τα ίδια κριτήρια κατάταξης. Στο *DIN 50900 Teil 1, April 1982 Corrosion der Metallic – Bereft* γίνεται η γενική διάκριση μεταξύ *διάβρωσης με και χωρίς μηχανική καταπόνηση*. Στη συνέχεια, γίνεται μια προσπάθεια κατάταξης της μορφολογίας της διάβρωσης.

Με κριτήριο τη γεωμετρική κατανομή της διάβρωσης στην επιφάνεια *χωρίς μηχανική καταπόνηση* διακρίνονται δύο τύποι: α) **η ομοιόμορφη ή γενική**, αν η επιφάνεια του μετάλλου καλύπτεται από ομοιόμορφο στρώμα διάβρωσης, όπως π.χ. στην αμαύρωση, ή η μεταλλική επιφάνεια διαλύεται ομοιόμορφα (ταχύτητα διάβρωσης σταθερή σε όλη την επιφάνεια), όπως π.χ. κατά τη διάλυση μετάλλων σε οξέα και β) **η τοπική διάβρωση**, όταν η προσβολή είναι εντοπισμένη σε ορισμένες περιοχές της επιφάνειας, δηλαδή υπάρχουν διαφορετικές ταχύτητες διάβρωσης στην επιφάνεια.

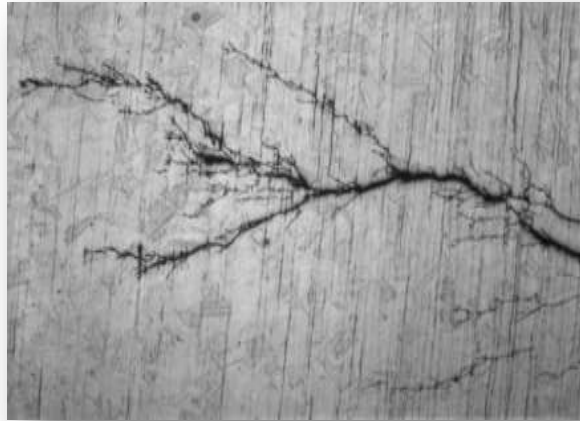
Εδώ η προσβολή μπορεί να εξειδικευθεί ανάλογα με τη μορφή (ρωγμές, αβαθείς οπές/ κοιλότητες,) ή την έκτασή της, οπότε διακρίνουμε *διάβρωση με βελονισμούς ή σημειακή ή με οπές*, όπως π.χ. στον ανοξείδωτο χάλυβα παρουσία χλωριόντων, *διάβρωση νηματοειδή*, όπως π.χ. κάτω από λεπτούς υμένες χρωμάτων σε βαμμένα φύλλα αλουμινίου ή και χάλυβα κ.ο.κ. Η τοπική διάβρωση είναι γενικά ο συνηθής τύπος διάβρωσης στις βαμμένες επιφάνειες. [2]

Τα κυριότερα είδη της *διάβρωσης χωρίς μηχανική καταπόνηση* είναι: [2,3]

- Χημική διάβρωση
- Γαλβανική διάβρωση ή διάβρωση επαφής
- Ηλεκτροχημική διάβρωση
- Διάβρωση με μηχανισμό υδρογόνου
- Διάβρωση με μηχανισμό οξυγόνου
- Διάβρωση εξαιτίας διαφορικού αερισμού
- Εκλεκτική διάβρωση

Τα κυριότερα είδη διάβρωσης με μηχανική καταπόνηση είναι: [2,3]

- Ρευστομηχανική διάβρωση
- Μηχανική σπηλαιώδης διάβρωση



Εικόνα 1: Διάβρωση με μηχανική καταπόνηση σε χάλυβα

Επιπλέον, υπάρχουν και τα παρακάτω είδη διάβρωσης: [2,3]

- Διάβρωση μέσω ρευμάτων διαφυγής
- Βιολογική διάβρωση
- Θερμογαλβανική διάβρωση

1.4 Διάβρωση οπλισμένου σκυροδέματος

Η έντονη οικοδομική δραστηριότητα, η οποία αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1950 - 1960 πραγματοποιήθηκε με, σχετικά, χαμηλές προδιαγραφές. Η δόμηση, τότε, γινόταν με προοπτική ότι τα κτίρια θα ζούσαν για τέσσερις δεκαετίες και θα τα αντικαθιστούσαμε αργότερα με άλλα πιο σύγχρονα, σήμερα, όμως, λόγω της γενικότερης οικονομικής συγκυρίας και του μεγάλου κόστους κατασκευής, δε συμφέρει να αντικαθίστανται γρήγορα, ενώ η φθορά των κατασκευών κάνει, ενίοτε, τη χρήση τους προβληματική.

Ο σχεδιασμός των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος στον ελληνικό χώρο αντιμετωπιζόταν, μέχρι σήμερα, από το μηχανικό, μόνο σαν πρόβλημα αντοχής, ευστάθειας και λειτουργικότητας σε δεδομένες φορτίσεις ή επιβαλλόμενες παραμορφώσεις (μόνιμα φορτία, κινητά, σεισμός, άνεμος, καθιζήσεις, ερπυσμός, συστολή ξήρανσης, θερμοκρασιακά κτλ), χωρίς να δίνεται η πρέπουσα σημασία στην ανθεκτικότητα των κατασκευών σε διάρκεια, δηλαδή στη διατήρηση της

σχετικής σταθερότητας των ιδιοτήτων της κατασκευής μέσα στο χρόνο. Αυτό οφείλεται, κυρίως, στη μικρή ηλικία των περισσότερων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος στην Ελλάδα, λόγω της οποίας δεν είχαν ακόμα εμφανισθεί πολλές περιπτώσεις έντονων συνεπειών περιβαλλοντικών δράσεων που να προβληματίζουν τους ειδικούς. Η ανάπτυξη της βιομηχανίας και η εξέλιξη της τεχνολογίας είχαν ως αποτέλεσμα την ατμοσφαιρική ρύπανση, αλλά και την εκτεταμένη χρήση χημικών ουσιών στο σύγχρονο βίο, η οποία προκάλεσε χημικές επιδράσεις στο σκυρόδεμα και το χάλυβα.



Εικόνα 2: Παράδειγμα διάβρωσης οπλισμού στο σκυρόδεμα, λόγω έκθεσης σε θαλασσινό νερό

Η κατανόηση της σημασίας της ανθεκτικότητας δεν απαιτείται μόνο για το σχεδιασμό νέων κατασκευών, αλλά αποτελεί και βασική προϋπόθεση στο σωστό σχεδιασμό υφιστάμενων κατασκευών, κατά τον οποίο, μόνο, η πλήρης κατανόηση του μηχανισμού της φθοράς, είναι δυνατόν, να οδηγήσει σε ορθό τρόπο επέμβασης.

Σε αυτό το σημείο, δημιουργείται το πρόβλημα, γιατί οι μηχανισμοί φθοράς δεν έχουν γίνει απόλυτα γνωστοί και δεν έχει μελετηθεί, πλήρως, η επίπτωση πάνω στη φέρουσα ικανότητα των υλικών. Πρόβλεψη της διάρκειας ζωής μπορεί να γίνει μόνο όταν ο μηχανισμός φθοράς και η εξέλιξή της μέσα στο χρόνο είναι γνωστοί με κάθε λεπτομέρεια. Είναι, όμως, δυνατό ο μηχανισμός φθοράς να αλλάξει με το

χρόνο. Τα υλικά και η κατασκευή έχουν διαφορετική διάρκεια ζωής. Ένα υλικό δεν κατασκευάζεται για ένα συγκεκριμένο περιβάλλον και, είναι δυνατόν, σε διαφορετικά περιβάλλοντα έκθεσης, το ίδιο υλικό να έχει διαφορετική διάρκεια ζωής.

1.4.1 Εισαγωγή

Οι κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι πολύ ανθεκτικές στη φθορά. Η επίδρασή τους, όμως, με κάποιο διαβρωτικό περιβάλλον, δύναται να προκαλέσει διάβρωση του σκυροδέματος ή του οπλισμού. Στην πραγματικότητα, τα δύο αυτά είδη διάβρωσης είναι αλληλένδετα, εφόσον το ένα προκαλεί, αργά ή γρήγορα, την εμφάνιση του άλλου. Έτσι, ένα σκυρόδεμα που έχει υποστεί ενανθράκωση έχει, πλέον, χαμηλό pH, το οποίο ευνοεί τη διάβρωση του οπλισμού. Το διαβρωτικό περιβάλλον μπορεί να είναι αέριο (π.χ. ατμόσφαιρα), υγρό (π.χ. μαλακό νερό), στερεό (π.χ. έδαφος), όξινο ή αλκαλικό ή να περιέχει διάφορα άλατα.

Η διάβρωση του σκυροδέματος είναι ένα σύνθετο φαινόμενο, το οποίο οφείλεται, συνήθως, σε περισσότερα από ένα αίτια. Γενικά, η διάβρωση του σκυροδέματος μπορεί να είναι φυσική ή χημική. Η φυσική διάβρωση σχετίζεται με φθορές από, καθαρά, μηχανικούς λόγους, ενώ η χημική με φαινόμενα χημικά ή φυσικοχημικά, χωρίς να αποκλείεται και η συνέργια μηχανικών αιτιών.

Η χημική διάβρωση μπορεί να διακριθεί σε τρία είδη:

- Διάβρωση λόγω εκχύλισης ιόντων από το σκυρόδεμα στο υγρό περιβάλλον
- Διάβρωση λόγω ανταλλαγής ιόντων, μεταξύ διαβρωτικού περιβάλλοντος και σκυροδέματος
- Διάβρωση μέσω σχηματισμού μεγαλομοριακών ενώσεων

1.4.2 Παράγοντες που επιδρούν στη διάβρωση του οπλισμένου σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα αποτελείται, κυρίως, από τσιμέντο, αδρανή και νερό. Ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται, προστίθενται κάποια βελτιωτικά των ιδιοτήτων του. Η ποιότητα του σκυροδέματος εξαρτάται, σε μεγάλο βαθμό, από την ποιότητα των υλικών από τα οποία συντίθενται, αλλά και από άλλους παράγοντες, όπως η αναλογία και ο τρόπος ανάμιξής τους, η συντήρηση, η κατασκευή των καλουπιών και η συμπύκνωση του σκυροδέματος μέσα στα καλούπια. [5]

Τσιμέντο

Το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο τσιμέντο είναι το τσιμέντο τύπου *Portland*. Εκτός από το τσιμέντο αυτού του τύπου, χρησιμοποιούνται και άλλα είδη

τσιμέντου, τα οποία περιέχουν προσμίξεις οι οποίες επιδρούν στις τελικές ιδιότητες του τσιμέντου. Το τσιμέντο που είναι *ανθεκτικό σε θειικά*, σε περιβάλλον που περιέχει χλωριόντα, επιταχύνει τη διάβρωση του σιδηροπλισμού. Τσιμέντα που περιέχουν *φυσικές ή τεχνητές ποζολάνες*, εξαιτίας της ποζολανικής δράσης, μειώνουν το πορώδες. Τα δοκίμια με πρόσθετο *θηραϊκή γη* σε ποσοστό 15 και 30% παρουσιάζουν μικρότερο πορώδες από αυτά με τσιμέντο Portland σε όλους τους χρόνους έκθεσης στον ατμοσφαιρικό αέρα. Το μικρότερο πορώδες παρεμποδίζει τη μεταφορά των διαβρωτικών συστατικών του περιβάλλοντος στον οπλισμό. Πολλές ποζολάνες πέραν από τη μείωση του πορώδους παρεμποδίζουν τη διάβρωση με δέσμευση χλωριόντων, εξαιτίας της περιεκτικότητάς τους σε Al_2O_3 . Η χρήση της *σκωρίας υψικαμίνων* και της *ιπτάμενης τέφρας*, ως προσθέτων στο τσιμέντο, μειώνει τον κίνδυνο πραγματοποίησης αλκαλοπυριτικής δράσης. Αυτό οφείλεται στη μείωση της ποσότητας των αλκαλίων στους πόρους του σκυροδέματος, εξαιτίας των προσμίξεων αυτών. [6,7]

Αδρανή

Τα *αδρανή* αποτελούν το 65-70% του συνολικού όγκου του σκυροδέματος και οι ιδιότητές τους επηρεάζουν την ποιότητά του. Η *κοκκομετρική* τους *διαβάθμιση* αποτελεί το κυριότερο χαρακτηριστικό των αδρανών και έχει επίδραση στην ποιότητα του σκυροδέματος. Άλλες σημαντικές ιδιότητες των αδρανών είναι οι *περιεχόμενες επιβλαβείς ουσίες*, η *αντοχή τους σε θλίψη* και *τριβή*, το *σχήμα* και η *υφή της επιφάνειάς τους*, η *απορρόφηση νερού* και, τέλος, η *αντοχή τους σε φυσικές μεταβολές* και σε *χημικές επιδράσεις*.

Τα αδρανή επιδρούν τόσο στη μηχανική αντοχή, όσο και σε μία από τις πιο σημαντικές ιδιότητες του σκυροδέματος που έχει άμεση επίδραση στη διάβρωσή του, το πορώδες. Ανάλογα με τη χρήση του σκυροδέματος και, κυρίως, σε ειδικές περιπτώσεις κατασκευών που διατρέχουν μεγάλο κίνδυνο χημικής προσβολής, η επιλογή των αδρανών πρέπει να υπακούει σε ελληνικές ή διεθνείς προδιαγραφές.

Εάν τα αδρανή είναι συμπαγή (χωρίς πόρους), τότε η διέλευση των διαβρωτικών συστατικών πραγματοποιείται μέσα από τους πόρους του τσιμέντου. Εάν, όμως, είναι πορώδη, η διέλευση των διαβρωτικών συστατικών γίνεται και μέσα από τους πόρους των αδρανών και, φυσικά, η διάβρωση είναι μεγαλύτερη.

Όταν τα αδρανή περιέχουν άμορφο ή σε κρυπτοκρυσταλλική μορφή πυρίτιο, υπάρχει ο κίνδυνος αντίδρασης αυτού με τα αλκάλια του σκυροδέματος (αλκαλοπυριτική δράση). Προϊόν της αντίδρασης είναι ένα αρχικά διαυγές και στη συνέχεια λευκό, παχύρρευστο πήγμα (silica gel), το οποίο διογκώνεται με την απορρόφηση του νερού των πόρων και προκαλεί ρωγμές στο σκυρόδεμα. Η ρηγμάτωση που προκαλείται από την αλκαλοπυριτική δράση ευνοεί τη διάβρωση του σιδηροπλισμού, ο οποίος, εξαιτίας των ρωγμών, εκτίθεται, πλέον, στο διαβρωτικό περιβάλλον.[5]

Νερό

Το νερό επηρεάζει σε μικρό βαθμό την ποιότητα του σκυροδέματος, κυρίως με την ποσότητα, παρά με την ποιότητά του. Τα όρια αναλογίας νερού προς τσιμέντο κυμαίνονται γενικά μεταξύ 0.6/1 και 0.4/1, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ρευστότητα του παραγόμενου υλικού, προκειμένου να είναι κατάλληλο για κατασκευές, αλλά και η αντοχή του στη διάβρωση. Όταν η αναλογία νερού προς τσιμέντο ξεπεράσει το 0.6/1, η διαπερατότητα του σκυροδέματος, άρα και η πιθανότητα χημικής προσβολής, αυξάνεται δυσανάλογα, εξαιτίας της μεγάλης αύξησης του μεγέθους και του αριθμού των τριχοειδών πόρων. Όταν η αναλογία νερού προς τσιμέντο κυμαίνεται μεταξύ 0.4/1 και 0.45/1, εξασφαλίζεται, από τη μία, η μείωση του πορώδους και, από την άλλη, η αύξηση της μηχανικής αντοχής του σκυροδέματος. Όσον αφορά στη χημική σύσταση του νερού για σκυρόδεμα, ισχύει το σχέδιο προτύπου ΕΛΟΤ 345.

Σχετικά με τη σύσταση του νερού, όταν μεν πρόκειται για πόσιμο, οπότε οι διαφορές στη χημική του σύσταση είναι σχετικά μικρές, δεν προκύπτουν σημαντικές διαφορές στην ποιότητα του σκυροδέματος. Όταν, όμως, πρόκειται για νερό ποταμών ή θάλασσας, η σύστασή του γίνεται ιδιαίτερα σημαντική, με κυριότερο παράγοντα την περιεκτικότητά του σε χλωριόντα, της οποίας η τιμή δεν πρέπει να ξεπερνά το 0.05% κ.β. τσιμέντου. Νερό με περιεκτικότητα σε χλωριόντα μεγαλύτερη από 0.15% κ.β. τσιμέντου μπορεί να αρχίσει τη διάβρωση του εγκιβωτισμένου σιδηροπλισμού. [5,8,9]

1.4.3 Διάβρωση του χάλυβα στο σκυρόδεμα

Συνήθως, το κατασκευαστικό σκυρόδεμα, από μόνο του, είναι ένα ανθεκτικό υλικό, το οποίο λειτουργεί και σαν προστατευτικό περιβάλλον για κάθε είδους οπλισμό ή πλέγμα, το οποίο έχει πακτωθεί μέσα σε αυτό. Αποτελεί φυσικό προστατευτικό εμπόδιο στη διάβρωση του οπλισμού από οποιονδήποτε διαβρωτικό περιβαλλοντικό παράγοντα (οξυγόνο, διοξείδιο του θείου, χλωριόντα κλπ.) [1] Αυτό συμβαίνει, διότι η αλκαλικότητα του σκυροδέματος ($12,6 < \text{pH}_{\text{σκυροδέματος}} < 13,5$) δημιουργεί ένα παθητικό στρώμα οξειδίων του σιδήρου στην επιφάνεια του χάλυβα (παθητικοποίηση), το οποίο τον προστατεύει από τη διάβρωση. Παρά το γεγονός ότι η ακριβής φύση αυτού του παθητικού στρώματος είναι άγνωστη, ο χάλυβας απομονώνεται από το περιβάλλον και η διάβρωσή του επιβραδύνεται εφόσον το στρώμα παραμένει άθικτο. [10,11]

Η αλκαλικότητα του σκυροδέματος οφείλεται στην ύπαρξη, μέσα στους πόρους του σκυροδέματος, υδατικού διαλύματος πλούσιου σε υδροξείδια του ασβεστίου, του νατρίου και του καλίου, η συγκέντρωση των οποίων αυξάνεται γρήγορα, κατά την ενυδάτωση του σκυροδέματος. Με την πάροδο λίγων ημερών, όμως, η συγκέντρωση λαμβάνει μια σταθερή τιμή, η οποία εξαρτάται από το συνολικό περιεχόμενο του τσιμέντου σε αλκάλια. [1,11]

1.4.3.1 Μηχανισμός διάβρωσης του χάλυβα

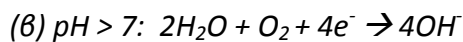
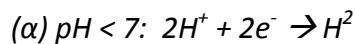
Η διάβρωση του οπλισμού στο σκυρόδεμα είναι ένα ηλεκτροχημικό φαινόμενο, για τη συντέλεση του οποίου είναι απαραίτητη η ύπαρξη: [3]

- Ανόδου
- Καθόδου
- Ηλεκτρολύτη
- Οξυγόνου

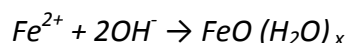
Η **άνοδος** διαβρώνεται εξαιτίας της απώλειας ηλεκτρονίων από ηλεκτρικά ουδέτερα μεταλλικά άτομα προς σχηματισμό ιόντων. Αυτά τα ιόντα μπορούν να παραμείνουν στο διάλυμα ή να αντιδράσουν και να σχηματίσουν τα αδιάλυτα προϊόντα διάβρωσης. Η αντίδραση διάβρωσης ενός μετάλλου M εκφράζεται, κυρίως, από την απλουστευμένη αντίδραση:



Η **κάθοδος** πρέπει να καταναλώσει τα ηλεκτρόνια που παράγονται από την άνοδο. Υπάρχουν δύο βασικές αντιδράσεις που εμφανίζονται στην κάθοδο, ανάλογα με το pH: [12]

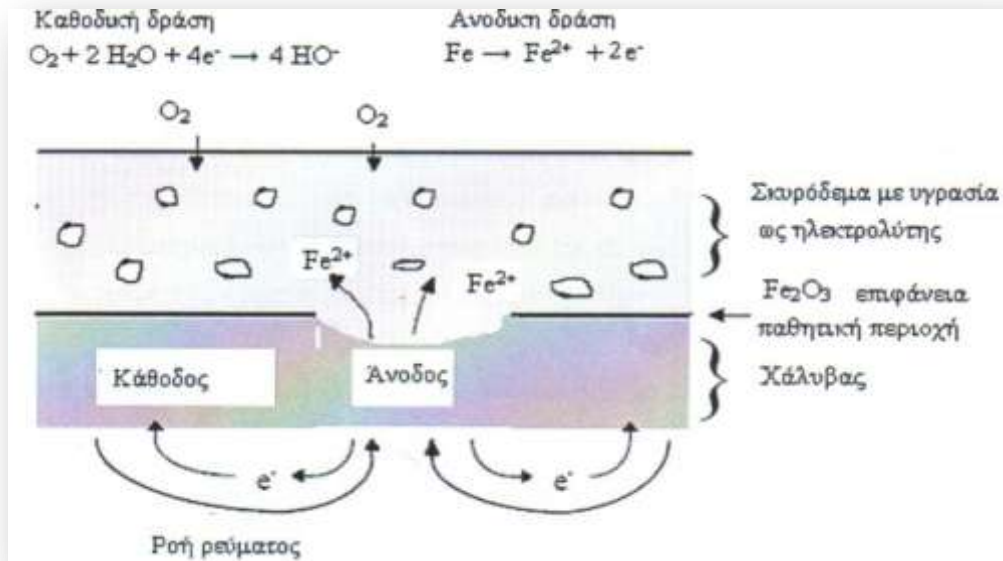


Ο **ηλεκτρολύτης** συμβάλλει στη μεταφορά και, τελικά, στην αντίδραση των ιόντων του μετάλλου που προήλθαν από την ανοδική δράση και των ιόντων που προήλθαν από την καθοδική δράση, προς σχηματισμό στερεού προϊόντος (π.χ. σκουριά). Ανάλογα με το είδος του ηλεκτρολύτη, ο σχηματισμός του προϊόντος πραγματοποιείται στην επιφάνεια του μετάλλου, είτε πιο μακριά. Παρακάτω δίνεται η αντίδραση ιόντων σιδήρου με υδροξυλιόντα, προς σχηματισμό στερεού προϊόντος:



Εφόσον η άνοδος και η κάθοδος συνδέονται με ηλεκτρικά αγωγίμη σύνδεση (η ίδια διατομή του οπλισμού), τότε το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται από την άνοδο στην κάθοδο. Αν πληρούνται οι παραπάνω προϋποθέσεις, τότε στη διεπιφάνεια του μετάλλου του οπλισμού και του ηλεκτρολύτη, δημιουργούνται τοπικά ή μακροσκοπικά γαλβανικά στοιχεία, στα οποία λαμβάνουν χώρα η ανοδική και η καθοδική δράση της διάβρωσης. Η αφαίρεση οποιουδήποτε από τα

παραπάνω (π.χ. κάθοδος, ηλεκτρολύτης) προκαλεί διακοπή της αντίδρασης διάβρωσης.



Σχήμα 1: Μηχανισμός διάβρωσης του σπλισμού στο σκυρόδεμα

1.4.3.2 Μηχανισμός διάβρωσης σπλισμού σε σκυρόδεμα _ με χλωριόντα

Ο ρόλος των ιόντων χλωρίου στην πρόκληση της διάβρωσης και της ενίσχυσης του ρεύματος διάβρωσης είναι σημαντικός. Εάν τα χλωριόντα βρίσκονται σε επαρκή ποσότητα, καταστρέφουν το παθητικό στρώμα οξειδίων, προκαλώντας διάβρωση του χάλυβα. Οι συγκεντρώσεις των χλωριόντων που είναι ικανές να προκαλέσουν διάβρωση είναι εξαιρετικά χαμηλές. Χαρακτηριστικά, δίνονται παρακάτω για διάφορους τύπους σκυροδέματος: [11]

Προεντεταμένο σκυρόδεμα	0.08%
Ενισχυμένο σκυρόδεμα σε υγρό περιβάλλον	0.10%
Ενισχυμένο σκυρόδεμα σε ξηρό περιβάλλον	0.20%

Πίνακας 1: Συγκεντρώσεις χλωριόντων που προκαλούν διάβρωση

Τα χλωριόντα που βρίσκονται στη μάζα του σκυροδέματος μπορεί να προέρχονται από: [13]

- Τα υλικά κατασκευής του (π.χ. άμμος θαλάσσης, γλυφό νερό). Στην περίπτωση αυτή βρίσκονται με τη μορφή των αλάτων τους και είναι ομοιόμορφα καταναμημένα στη μάζα του σκυροδέματος.

- Το περιβάλλον (διείσδυση διαλυμάτων αλάτων διάλυσης του πάγου και θαλασσινού νερού) και, τότε, η συγκέντρωσή τους παρουσιάζει μια μέγιστη τιμή στην επιφάνεια και μειώνεται όσο προχωράμε στο εσωτερικό του σκυροδέματος. Τα χλωριόντα του περιβάλλοντος μεταφέρονται στο εσωτερικό του σκυροδέματος, είτε με διάχυση είτε με μεταφορά, μέσω του νερού των πόρων του σκυροδέματος.

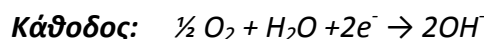
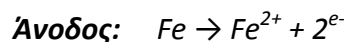
Κατά τη διείσδυση των χλωριόντων στο εσωτερικό του σκυροδέματος, μέρος αυτών δεσμεύεται από το C_3A προς σχηματισμό του άλατος Friedel ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$). Συχνά, όμως, το υπάρχον C_3A δεν επαρκεί για τη δέσμευση όλων των χλωριόντων, με αποτέλεσμα, μέρος αυτών να παραμένει ελεύθερο στο διάλυμα των πόρων του σκυροδέματος. Αυτά τα ελεύθερα Cl^- θεωρούνται υπεύθυνα για την προώθηση της διάβρωσης του σιδηροπλισμού. [13,14]

Μια άλλη θεωρία αναφέρει ότι τα χλωριόντα δρουν ως καταλύτες στην αντίδραση του σιδήρου με τα υδροξύλια. Η άποψη αυτή συμφωνεί με την εικόνα του χάλυβα σε σκυρόδεμα που έχει υποστεί επίδραση χλωριούχων αλάτων. Ο χάλυβας, στην αρχή, έχει πράσινο χρώμα, το οποίο, με την έκθεσή του στον αέρα, γίνεται καφέ. Το αρχικό πράσινο χρώμα αποδίδεται σε κάποιο σύμπλοκο μόριο σιδήρου και χλωριόντων, ενώ το καφέ στη μετατροπή του συμπλόκου αυτού σε κοινό οξείδιο, μετά από επαφή με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας.[5]

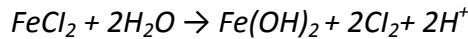
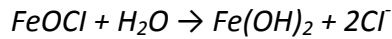
Για την περίπτωση των χλωριόντων διακρίνονται δύο περιπτώσεις διάβρωσης:

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

Ιδιοδιάβρωση: Όταν η συγκέντρωση των χλωριόντων αποκτήσει μια ορισμένη τιμή, τότε ελεύθερα χλωριόντα φτάνουν, λόγω διάχυσης, στην επιφάνεια του σπλισμού, όπου αρχίζει η αποπαθητικοποίησή του, λόγω δημιουργίας τοπικών γαλβανικών στοιχείων. Εκεί πραγματοποιείται η διάλυση του σιδήρου, σύμφωνα με τις αντιδράσεις:

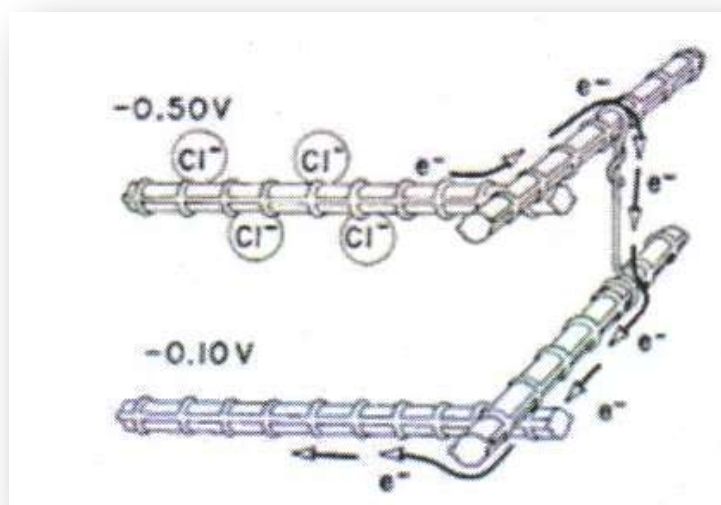


Τα ιόντα του σιδήρου που σχηματίζονται από την αντίδραση της καθόδου αντιδρούν με τα χλωριόντα που έχουν φθάσει στην επιφάνεια του σπλισμού, σχηματίζοντας διχλωριούχο σίδηρο ($FeCl_2$) ο οποίος, παρουσία του οξυγόνου, μετατρέπεται σε χλωρίδιο του τρισθενούς σιδήρου ($FeOCl$). Κατόπιν, το χλωρίδιο υδρολύεται, σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



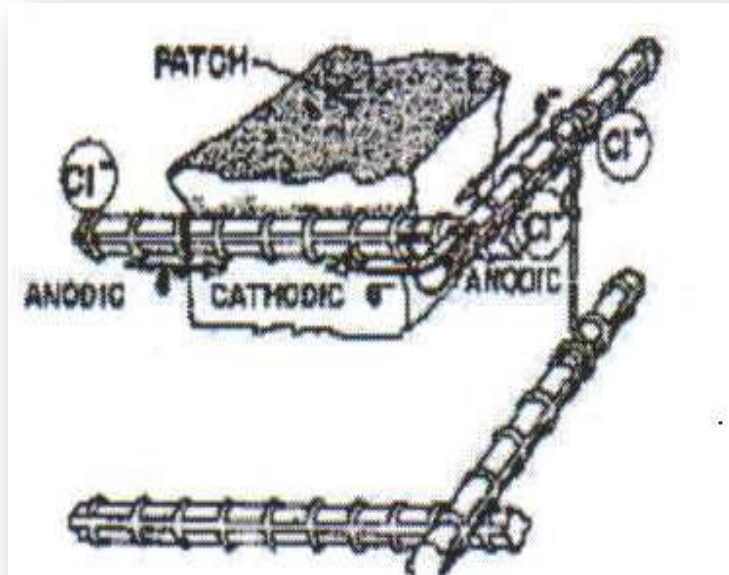
Επειδή, ως προϊόν των αντιδράσεων αυτών, λαμβάνονται χλωριόντα, συμπεραίνει κανείς ότι οι παραπάνω αντιδράσεις αποτελούν ένα αυτοκαταλυόμενο σύστημα, όταν η συγκέντρωση των χλωριόντων φθάσει σε μια ορισμένη τιμή. Έτσι, ακόμη και αν σταματήσει η είσοδος χλωριόντων, η διάβρωση του οπλισμού συνεχίζεται, γιατί η συγκέντρωση των χλωριόντων στην επιφάνεια του οπλισμού παραμένει σταθερή. Μια τέτοια περίπτωση διάβρωσης ονομάζεται *ιδιοδιάβρωση*. [1]

Γαλβανικό μακροστοιχείο: Μια συνηθισμένη περίπτωση διάβρωσης του οπλισμού είναι αυτή της έκθεσης μιας γέφυρας σε περιβάλλον υψηλής συγκέντρωσης σε άλατα. Τα ιόντα χλωριδίου μέσα στο σκυρόδεμα, συνήθως, δε διανέμονται ομοιόμορφα. Οι περιοχές του χάλυβα που εκτίθενται στις υψηλότερες συγκεντρώσεις χλωριόντων είναι αυτές που βρίσκονται πιο κοντά στην επιφάνεια του οπλισμού, όπου αρχίζουν να διαβρώνονται, με αποτέλεσμα την θραύση του προστατευτικού στρώματος οξειδίων. Οι περιοχές του χάλυβα που βρίσκονται στο εσωτερικό του οπλισμού έχουν μικρότερη συγκέντρωση χλωριόντων. Η διαφορετική κατανομή των χλωριόντων οδηγεί στη διάβρωση με τη δημιουργία *γαλβανικού μακροστοιχείου*, όπου περιοχές υψηλής συγκέντρωσης αποτελούν την άνοδο, ενώ οι περιοχές του χάλυβα με μικρή συγκέντρωση, την κάθοδο. Στο *σχήμα 2* δίνεται ένα παράδειγμα διάβρωσης με τη δημιουργία γαλβανικού μακροστοιχείου, εξαιτίας της διαφορετικής συγκέντρωσης χλωριόντων.



Σχήμα 2: Διαφορετική συγκέντρωση χλωριόντων, δημιουργεί διαφορά δυναμικού

Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στην περίπτωση ενός σκυροδέματος, το οποίο έχει υποστεί φθορές και επικαλύπτεται με ένα νέο στρώμα σκυροδέματος. Όπως φαίνεται στο *σχήμα 3*, δημιουργούνται καθοδικές και ανοδικές περιοχές και φαίνεται η επίδραση των χλωριόντων στον οπλισμό.



Σχήμα 3: Επίδραση των χλωριόντων στον οπλισμό και δημιουργία ανοδικών και καθοδικών περιοχών

Όλες οι διαδικασίες διάβρωσης που περιγράφονται ανωτέρω απαιτούν οξυγόνο. Ελλείψει οξυγόνου, το ποσοστό διάβρωσης μειώνεται αρκετά, ακόμη και με τις συγκεντρώσεις χλωριδίου επάνω από το επίπεδο κατώτατων ορίων. [11]

1.4.3.3 Μηχανισμός διάβρωσης οπλισμού σε σκυρόδεμα _ με ρωγμές

Η διάβρωση με μηχανική καταπόνηση είναι ένας ξεχωριστός τύπος διάβρωσης που δημιουργείται όταν ασκούνται μηχανικές πιέσεις και, ταυτόχρονα, το υλικό βρίσκεται υπό την επίδραση παραγόντων που ευνοούν τη διάβρωση. Ο μηχανισμός αυτού του τύπου διάβρωσης, ακόμα, δεν έχει διευκρινιστεί, πλήρως, και, για αυτόν το λόγο, έχουν αναπτυχθεί διάφορες θεωρίες. Το φαινόμενο μπορεί να εμφανιστεί παράλληλα με τη θραύση του χάλυβα, εξαιτίας της διείσδυσης στο χάλυβα αερίου υδρογόνου, το οποίο είναι προϊόν μιας αντίδρασης διάβρωσης.

Η διαδικασία αναπτύσσεται σε δύο βήματα:

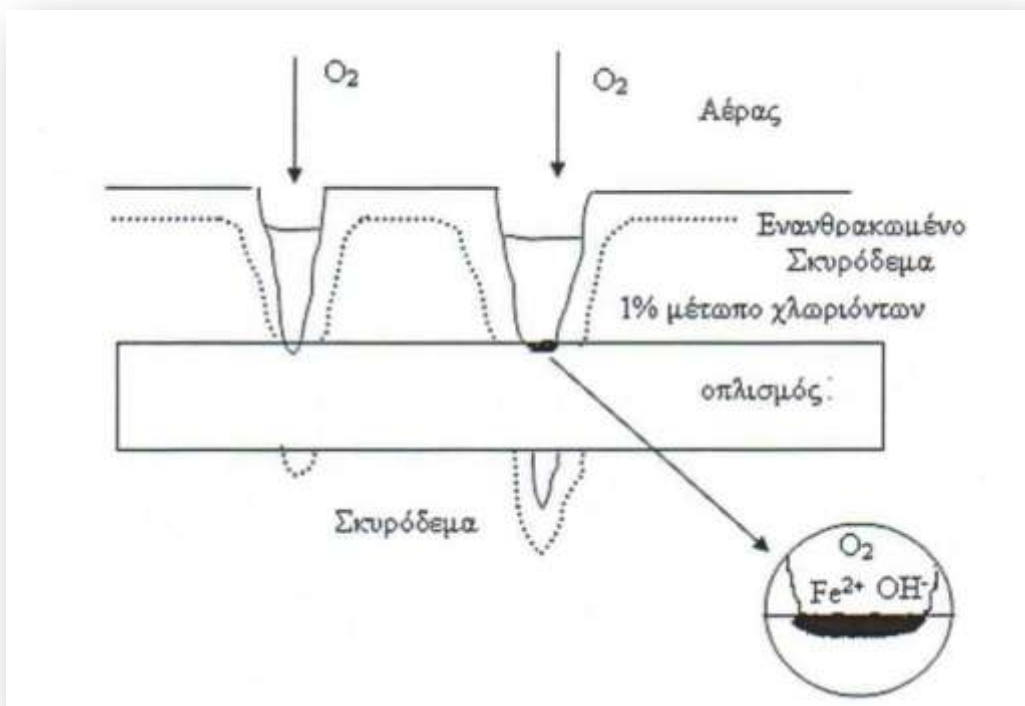
1) ένα ή διάφορα μικροραγίσματα δημιουργούνται στην επιφάνεια του χάλυβα

2) αυτές οι ρωγμές αυξάνονται, έως ότου φθάσουν σε ένα ορισμένο βάθος, όπου διαδίδονται πολύ γρήγορα

Η διάβρωση, κατά τη διάρκεια του πρώτου βήματος, δεν μπορεί να παρατηρηθεί με τη βοήθεια της μέτρησης του ποσοστού διάβρωσης, αφού η απώλεια μετάλλου είναι αμελητέα. Παράγοντες που ευνοούν τη διάβρωση με μηχανική καταπόνηση είναι τα θειικά άλατα σουλφιδίων, ενώ τα χλωριόντα δε σχετίζονται άμεσα με αυτόν τον τύπο διάβρωσης.

Οι περιπτώσεις διάβρωσης στις ρωγμές είναι ίδιες με την αυτή των χλωριόντων. Συγκεκριμένα, υπάρχει η διάβρωση με δημιουργία τοπικού γαλβανικού στοιχείου (ιδιοδιάβρωση) και με δημιουργία γαλβανικού μακροστοιχείου.

Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος και το πλάτος της ρωγμής, τόσο μεγαλύτερη είναι η διάχυση των διαβρωτικών ουσιών του περιβάλλοντος στο εσωτερικό του σκυροδέματος και, άρα, τόσο μεγαλύτερη η διάβρωση. Αν οι ρωγμές φθάσουν στην επιφάνεια του οπλισμού, τότε αρχίζει η διάβρωση του. (Σχήμα 4)



Σχήμα 4: Διάβρωση του οπλισμού σε ρωγμές του σκυροδέματος (ιδιοδιάβρωση)

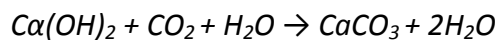
Αν το πλάτος της ρωγμής και το πάχος της επικάλυψης είναι μικρά, τότε, δημιουργείται ένα γαλβανικό μακροστοιχείο, στο οποίο η άνοδος είναι η περιοχή του οπλισμού που είναι ακάλυπτος στη ρωγμή, ενώ η κάθοδος είναι η περιοχή του

οπλισμού που είναι καλυμμένη από σκυρόδεμα, γύρω από τη ρωγμή. Και σε αυτή την περίπτωση δημιουργούνται στη ρωγμή προϊόντα διάβρωσης που τη γεμίζουν.[1]

1.4.3.4 Διάβρωσης του σκυροδέματος _ ενανθράκωση

1.4.3.3.1 Ενανθράκωση σκυροδέματος

Το υγρό ή ελαφρώς υγρό σκυρόδεμα εμφανίζει ένα έντονο αλκαλικό περιβάλλον (π.χ. pH 12-13), οφειλόμενο στην παρουσία Ca(OH)_2 στον τσιμεντοπολτό του σκυροδέματος. Όσο ο οπλισμός βρίσκεται μέσα στο αλκαλικό αυτό περιβάλλον είναι προστατευμένος από οξείδωση. Η ενανθράκωση είναι αποτέλεσμα της χημικής αντίδρασης του Ca(OH)_2 με το CO_2 της ατμόσφαιρας, παρουσία υγρασίας, συνέπεια της οποίας είναι η πτώση της αλκαλικότητας του σκυροδέματος. Για την πραγματοποίηση της αντίδρασης, απαιτούνται μικρές ποσότητες νερού. Το μεγαλύτερο ποσοστό ενανθράκωσης παρατηρείται σε αέρα με σχετική υγρασία 50 έως 70%. Το ξηρό σκυρόδεμα δε θα ενανθρακωθεί, λόγω απουσίας της απαιτούμενης υγρασίας ενώ σε κορεσμένο με νερό σκυρόδεμα εμποδίζεται η διάχυση του αερίου CO_2 στους πόρους του σκυροδέματος. Η αντίδραση της ενανθράκωσης είναι η παρακάτω:



Το νερό που δημιουργείται μετά την αντίδραση διαχέεται προς το εσωτερικό του σκυροδέματος και η διαδικασία συνεχίζεται σε μεγαλύτερα βάθη. Το pH μειώνεται, σε πλήρως δε ενανθρακωμένο σκυρόδεμα παίρνει, περίπου, την τιμή 8,3.

Το ανθρακικό ασβέστιο που δημιουργείται φράζει τους πόρους του τσιμεντοκονιάματος και, έτσι, προκαλείται και μια αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. Κατόπιν, το ανθρακικό ασβέστιο, αντιδρώντας με το ανθρακικό οξύ (ανάλογα με την πίεση και τη θερμοκρασία, το αέριο CO_2 διαλύεται στο νερό και σχηματίζει ανθρακικό οξύ [H_2CO_3] σε πολύ μικρές ποσότητες, περίπου, 1 % κατά βάρος, ενώ το υπόλοιπο παραμένει αδιάλυτο ως αέριο CO_2), δίνει όξινο ανθρακικό ασβέστιο, το οποίο είναι ευδιάλυτο στο νερό και, έτσι, προκαλείται απόπλυση. Αποτέλεσμα της απόπλυσης είναι και οι φωλιές που εμφανίζονται κοντά στην επιφάνεια του σκυροδέματος.



Το ανθρακικό οξύ μπορεί να αντιδράσει με τα ένυδρα άλατα αργιλικού τριασβεστίου ($\text{C}_3\text{-A-H}_6$) και σιδηρικού τριασβεστίου ($\text{C}_3\text{-F-H}_6$), τα οποία στηρίζουν τη συνάφεια μεταξύ του τσιμεντοπολτού και των αδρανών, προκαλώντας χαλάρωση του σκυροδέματος.

1.4.3.3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα ενανθράκωσης

Το δημιουργημένο ανθρακικό ασβέστιο δίνει και το όνομα της ενανθράκωσης στο φαινόμενο αυτό. Αξιοσημείωτο είναι ότι η ενανθράκωση μένει απαρατήρητη για πολλά χρόνια. Μόνο όταν οξειδωθεί ο οπλισμός παρατηρούνται, αρχικά, τριχοειδείς ρωγμές (βρέχοντας την επιφάνεια), λόγω αύξησης του όγκου του. Ένα βίαιο φαινόμενο (σεισμός, κρούση, κλπ.) αποκαλύπτει πολλές φορές, λόγω αποκολλήσεων, την κατάσταση οξείδωσης. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα ενανθράκωσης, είναι: [15]

- Η αυξημένη περιεκτικότητα του μπετόν σε τσιμέντο μειώνει την ταχύτητα ενανθράκωσης
- Σχέση νερού τσιμέντου (W/C): Το τσιμέντο δεσμεύει χημικά και, φυσικά, το 0,4 του βάρους του σε νερό. Στην πράξη, για να επιτυγχάνεται εργασιμότητα, συχνά, αυξάνεται η σχέση αυτή σε 0,5 ή 0,6. Το πλεονάζον και μη δυνάμενο να δεσμευτεί νερό εξατμίζεται, αφήνοντας τον όγκο του σαν τριχοειδή και πόρους που, αργότερα, θα είναι η αφετηρία της ενανθράκωσης. Για μικρές τιμές του λόγου W/C περιορίζεται πολύ η διείσδυση υγρασίας και η διάχυση του αερίου CO₂, λόγω μείωσης του μεγέθους και του αριθμού τριχοειδών πόρων.
- Υγρασία: Οι πλέον ευνοϊκές συνθήκες για την ενανθράκωση είναι όταν η σχετική υγρασία είναι 60-80%.
- Πάχος επικάλυψης: Όσο το πορώδες του σκυροδέματος είναι μεγαλύτερο, τόσο μεγαλύτερο πρέπει να είναι το πάχος της επικάλυψης του οπλισμού από το σκυρόδεμα, ώστε να έχουμε τον ίδιο βαθμό προστασίας του οπλισμού. Επικάλυψη με χαμηλή διαπερατότητα μειώνει ή και αναστέλλει τη διείσδυση του CO₂, μειώνοντας, έτσι, την ταχύτητα της ενανθράκωσης. Η αύξηση της επικάλυψης δεν εξασφαλίζει τον χάλυβα από τον κίνδυνο της διάβρωσης. Μικρή επικάλυψη καλής ποιότητας είναι πολύ καλύτερη από επικάλυψη μεγάλου πάχους αλλά χαμηλής ποιότητας.
- Θερμοκρασία: Αύξηση της θερμοκρασίας επιταχύνει την ταχύτητα ενανθράκωσης.
- Ρωγμές: Η ύπαρξη ρωγμών επιταχύνει πολύ τη διαδικασία ενανθράκωσης.
- Η ενανθράκωση επιταχύνεται από πόρους, φωλιές, κακοτεχνίες, ανομοιογενή κακή δόνηση κτλ.

1.4.3.3.3 Τρόποι προσδιορισμού του βάθους ενανθράκωσης

Το βάθος ενανθράκωσης μπορεί να προσδιοριστεί με εργαστηριακές ή επί τόπου δοκιμές. Συνήθεις εργαστηριακές μέθοδοι είναι η *χρησιμοποίηση ακτινών Χ* ή *χημικές αναλύσεις* κατάλληλων δειγμάτων από διαφορετικά στοιχεία σκυροδέματος, για να εκτιμηθεί η περιεκτικότητά του σε CaCO₃, ή κατάλληλες

μέθοδοι μετρήσεως της αλκαλικότητας του σκυροδέματος. Μεγάλης σημασίας είναι οι επί τόπου δοκιμές, λόγω του μικρού κόστους, αλλά και της ταχύτητας στη διάγνωση της καταστάσεως του στοιχείου. Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιούνται κατάλληλα διαλύματα δεικτών οξέων-βάσεων που ψεκάζονται πάνω σε φρεσκο-θραυσμένες επιφάνειες σκυροδέματος. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στο να είναι οι φρεσκο-θραυσμένες επιφάνειες, σχεδόν, κάθετες στην εκτεθειμένη επιφάνεια από τα προϊόντα της θραύσης με πολύ καλή πλύση, διαφορετικά, θα αλλοιωθούν τα αποτελέσματα του πειράματος.

Με τους δείκτες χρωματισμού εκτιμούμε, ανάλογα με το χρωματισμό, την αλκαλικότητα του σκυροδέματος. Ως δείκτες χρωματισμού χρησιμοποιούνται η θυμολφθαλεΐνη, η αλιζαρίνη πράσινη R και η περισσότερο χρησιμοποιούμενη φαινολοφθαλεΐνη που από άχρωμη γίνεται πορφυροκόκκινη, σε υψηλά αλκαλικό διάλυμα. Η ενδεδειγμένη σύσταση του διαλύματος φαινολοφθαλεΐνης είναι 1 gr φαινολοφθαλεΐνης ($C_{20}H_{14}O_4$), διαλυμένο σε 50 gr οινοπνεύματος και αραιωμένο σε 100ml νερού. Ο δείκτης φαινολοφθαλεΐνης έχει την ικανότητα να σχηματίζει σταθερή ένωση με τον ασβέστη, γιατί με το χρόνο το χρώμα δεν ξεθωριάζει. Παρουσιάζει, όμως, το μειονέκτημα ότι είναι ημικαταστρεπτική μέθοδος, διότι απαιτεί θραύση της επιφάνειας του σκυροδέματος, γίνεται δε ανακριβής όταν το σκυρόδεμα είναι υγρό. [15]

1.4.3.3.4 Αποτελέσματα της ενανθράκωσης

Μολονότι η ενανθράκωση με το CO_2 της ατμόσφαιρας οδηγεί στην αποσύνθεση των συστατικών του ενυδατωμένου τσιμέντου, η θλιπτική και η καμπτική αντοχή του σκυροδέματος αυξάνει για σκυροδέματα που έγιναν από πολυθειικά τσιμέντα. Η ενανθράκωση μπορεί να προκαλέσει αύξηση της θλιπτικής αντοχής από 30-100%, όταν τα δοκίμια βρίσκονται σε χώρους με πλούσια περιεκτικότητα σε CO_2 . Επίσης, αναφέρεται ότι με την ενανθράκωση μειώνεται το πορώδες του σκυροδέματος. Η μείωση του πορώδους, πιθανόν, να οφείλεται στην εναπόθεση των προϊόντων της ενανθράκωσης στα τοιχώματα των τριχοειδών πόρων. Γι' αυτό το λόγο, αποφεύγεται η μέτρηση του πορώδους για να εκτιμήσουμε την αντοχή του σκυροδέματος σε ενανθράκωση. Η ενανθράκωση αυξάνει, επίσης, τον ερπυσμό και την ταχύτητα ερπυσμού.

Ένα ακόμη αποτέλεσμα της ενανθράκωσης είναι η απόθεση αλάτων, η οποία γίνεται εμφανής με τη δημιουργία λευκών κηλίδων στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Οι κηλίδες δημιουργούνται από τα άλατα του σκυροδέματος, τα οποία, με την επίδραση εξωτερικού νερού, που ενδεχομένως διαπερνά το σκυρόδεμα, "αποπλένονται" και αποτίθενται στην επιφάνεια. Η φθορά μαρτυρεί κακή αρχική ποιότητα του σκυροδέματος (μεγάλο πορώδες ή ασυνέχειες που επιτρέπουν τη διέλευση του νερού μέσα από τη μάζα του) ή και κακό σχεδιασμό

του συστήματος αποστραγγίσεως των επιφανειών του σκυροδέματος. Τέτοια φαινόμενα μπορεί να μειώσουν πάρα πολύ την αλκαλικότητα του σκυροδέματος, λόγω απομάκρυνσης των ουσιών που συντελούν στη διατήρηση των υψηλών τιμών του pH.

Ακόμη μια φθορά που μπορεί να προκληθεί από την ενανθράκωση είναι η άτακτη ρηγμάτωση, η οποία αν δεν οφείλεται στην υπερβολική συρρίκνωση του νωπού σκυροδέματος (υπερβολική εξάτμιση νερού), οφείλεται σε μεταγενέστερη αλκαλική αντίδραση τσιμέντου-αδρανών. Η άτακτη ρηγμάτωση μπορεί να οδηγήσει σε εκτεταμένες απολεπίσεις του σκυροδέματος.



Εικόνα 3: Απόσχιση και εκτίναξη σκυροδέματος λόγω ενανθράκωσης

Αποτέλεσμα της ενανθράκωσης είναι και οι κηλίδες σκουριάς, οι οποίες έχουν καφέ χρώμα και εμφανίζονται στις παρειές ή στον πυθμένα στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα (δοκοί, πλάκες). Οι κηλίδες αυτές οφείλονται στη διάβρωση του χάλυβα και εμφανίζονται στην επιφάνεια του σκυροδέματος, είτε όταν εξωτερικό νερό εισδύει στη μάζα του σκυροδέματος και παρασύρει (μετά τη διάβρωση) τη σκουριά προς τα έξω, είτε από την εσωτερική πίεση που δημιουργείται, εξαιτίας του γεγονότος ότι ο όγκος των προϊόντων οξείδωσης είναι κατά 40% μεγαλύτερος από τον αρχικό όγκο του χάλυβα.

Επίσης, κατά τη διάρκεια της ενανθράκωσης, αυξάνεται η συστολή του σκυροδέματος, προκαλούμενη, κυρίως, από την απελευθέρωση του νερού. Το σημαντικότερο αποτέλεσμα της ατμοσφαιρικής ενανθράκωσης είναι η μείωση της αλκαλικότητας του περιβάλλοντος μέσα στο σκυρόδεμα ($\text{pH} < 9$) που επιτρέπει την οξείδωση των σιδηροπλισμών. Σ' αυτή την περίπτωση, μπορεί να λάβει μέρος διάβρωση του χάλυβα, αλλά, όπως έχει αναφερθεί, χρειάζεται η παρουσία και των δύο, νερού και οξυγόνου. Έτσι, εξηγείται γιατί δεν έχουμε διάβρωση του χάλυβα στους εσωτερικούς χώρους, αν και η ενανθράκωση του σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Μέθοδοι προστασίας

2.1 Εισαγωγή

Οι τεράστιες οικονομικές επιπτώσεις από την κάθε μορφής διάβρωση, επέβαλαν επιτακτικά την ανάπτυξη μεθόδων και τεχνικών, τόσο για την πρόβλεψη, όσο και για την προστασία των μετάλλων από τη διάβρωση. Έτσι, εκτός από την επιλογή των κατάλληλων υλικών, σε σχέση με το διαβρωτικό περιβάλλον, πρέπει να γίνεται προσπάθεια περιορισμού των γενικών συνθηκών που επιταχύνουν τη διάβρωση. Στις εγκαταστάσεις ή κατασκευές που κινδυνεύουν από διάβρωση, πρέπει να αποφεύγονται οι γεωμετρικές μακροσκοπικές επιφανειακές ανωμαλίες, οι πλαστικές ή ελαστικές παραμορφώσεις, οι αταξίες δομής, οι εσωτερικές μηχανικές τάσεις, η επαφή δύο διαφορετικών μετάλλων ή κραμάτων, η επιφανειακή ανομοιογένεια, οι τριεπιφάνειες, τα περιπατητικά ηλεκτρικά ρεύματα, οι υψηλές θερμοκρασίες και να λαμβάνεται υπόψη η διόγκωση κατά τη διάβρωση. Στο διαβρωτικό περιβάλλον, πρέπει να μειώνεται η αγωγιμότητά του (με ρύθμιση του PH), η παρουσία μεγάλης ποσότητας διαλυμένου οξυγόνου, καθώς και η εναλλαγή του διαβρωτικού περιβάλλοντος ή και ιδιοτήτων του.

Η εφαρμογή κατάλληλης ή συνδυασμού κατάλληλων μεθόδων προστασίας από τη διάβρωση, αποβλέπει στην ελάττωση της ταχύτητας διάβρωσης, μέσω μεταβολής των θερμοδυναμικών ή των κινητικών στοιχείων της διαβρωτικής δράσης. [2,3]

2.2 Ταξινόμηση μεθόδων προστασίας από τη διάβρωση

Οι κυριότερες μέθοδοι προστασίας κατατάσσονται ως εξής: [2]

- Τροποποίηση του υλικού
- Τροποποίηση του περιβάλλοντος
- Τροποποίηση του ηλεκτροδιακού δυναμικού υλικού -περιβάλλοντος
- Τροποποίηση 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: [16]
 - Αναστολείς ρόφησης
 - Αναστολείς παθητικοποίησης
 - Αναστολείς κατακρήμνισης
 - Αναστολείς απομάκρυνσης του οξειδωτικού
 - Μίγματα αναστολέων

3. Τροποποίηση του ηλεκτροδιακού δυναμικού υλικού – περιβάλλοντος

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

- Καθοδική προστασία
 - με επιβαλλόμενα εξωτερικά ρεύματα
 - με θυσιαζόμενες ανόδους
- Ανοδική προστασία
- Επιστρώματα
- Συνδυασμός καθοδικής προστασίας και μονωτικού επιστρώματος

2.3 Τροποποίηση του υλικού

Για την επιλογή ενός υλικού, ο πρώτος παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη είναι η αντίστασή του στη διάβρωση στο συγκεκριμένο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση που το οπλισμένο σκυρόδεμα βρίσκεται σε έντονα διαβρωτικό

περιβάλλον, μια από τις μεθόδους προστασίας είναι η χρήση ειδικών χαλύβων, π.χ. χάλυβας με επικαλύψεις ή γαλβανισμένος χάλυβας.

2.3.1 Γαλβανισμένος Χάλυβας

Η χρήση επιψευδαργυρωμένου χάλυβα στο οπλισμένο σκυρόδεμα αυξάνει την προστασία του χάλυβα από ατμοσφαιρική διάβρωση και από διάβρωση από διάφορα φυσικά είδη νερού. Ο ψευδάργυρος διαβρώνεται σε pH μεγαλύτερο από 12. Το σκυρόδεμα, στην αρχική περίοδο, υπερβαίνει αυτήν την τιμή. Έχει υπολογιστεί ότι το σκυρόδεμα, στην αρχική περίοδο των δύο χρόνων, καταναλώνει στρώμα ψευδαργύρου, γύρω στα 10μm. Στη συνέχεια, ο ψευδάργυρος μεταπίπτει στην παθητική κατάσταση. Όταν, με την πάροδο του χρόνου, το σκυρόδεμα αρχίσει να ενανθρακώνεται, τότε, από κάποια χρονική στιγμή και μετά, αρχίζει η διάβρωση του ψευδαργύρου. Όσο χρόνο διαβρώνεται ο ψευδάργυρος, ο χάλυβας δε διαβρώνεται. Η διάβρωση του χάλυβα εμφανίζεται μετά την κατανάλωση όλου του ψευδαργύρου.

Η επιψευδαργύρωση του δομικού χάλυβα πραγματοποιείται με εμβάπτιση σε λουτρό τηγμένου ψευδαργύρου στους 450°C, για ένα χρονικό διάστημα μερικών λεπτών. Το πάχος της επιψευδαργύρωσης συνιστάται να είναι μεταξύ 150-200μm, και εξαρτάται από:

- Τη χημική σύσταση του χάλυβα
- Τη διάμετρο της ράβδου του σιδήρου
- Την κατάσταση της επιφάνειας του χάλυβα
- Τις συνθήκες της επιψευδαργύρωσης (χρόνος εμβάπτισης, θερμοκρασία λουτρού)

Ο χάλυβας, αρχικά, καλύπτεται από ένα κράμα Fe-Zn και, πάνω στο κράμα αυτό, επικάθεται το στρώμα του ψευδαργύρου. Αν και τα μεγάλα πάχους επιστρώματα, από άποψη διάβρωσης, είναι επιθυμητά, έχουν, όμως, αρνητική επίδραση στη συνάφεια Fe-Zn. Για το λόγο αυτό, δεν πρέπει το πάχος της επιψευδαργύρωσης να είναι μεγαλύτερο από 200μm.

Σε περίπτωση που η διάβρωση οφείλεται, κατά κύριο λόγο, στην είσοδο χλωριόντων στο σκυρόδεμα από το περιβάλλον, τότε, ο ψευδάργυρος προστατεύει το χάλυβα, μέχρι η συγκέντρωση των χλωριόντων να υπερβεί ένα όριο. Το όριο των χλωριόντων, για την ενεργοποίηση της διάβρωσης του ψευδαργύρου, είναι 1.5g Cl⁻ ανά 100g τσιμέντου (Portland). Πάνω από το όριο αυτό, η διάβρωση του ψευδαργύρου είναι ταχύτατη και δεν μπορεί, παρά μόνο προσωρινά, να προστατεύσει τη διάβρωση του χάλυβα.

Αν η θερμοκρασία ανέβει στους 60°C επέρχεται αντιστροφή του δυναμικού του γαλβανικού στοιχείου Fe-Zn και ο ψευδάργυρος δεν προστατεύει, πλέον, το

χάλυβα. Η θερμοκρασία του σκυροδέματος αυξάνεται με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας. Έχει διαπιστωθεί ότι, σε θερμοκρασία 60°C, δεν εμφανίζεται το φαινόμενο στον οπλισμό, εφόσον το πάχος επικάλυψης είναι μεγαλύτερο από 3-4 cm.

Σε περίπτωση χρησιμοποίησης σε μια κατασκευή, ταυτόχρονα, επιψευδαργυρωμένου και μη επιψευδαργυρωμένου χάλυβα, υπάρχει η δυνατότητα ανάπτυξης μακροστοιχείου, μεταξύ των δύο ειδών χάλυβα. Γενικά, στην περίπτωση επαφής δύο μετάλλων, η ταχύτητα διάβρωσης εξαρτάται από:

- Τη διαφορά δυναμικού των δύο μετάλλων.
- Την αγωγιμότητα του ηλεκτρολύτη.
- Την παρουσία ενός οξειδωτικού μέσου.

Εφόσον οι παραπάνω προϋποθέσεις υπάρχουν, τότε, ο ψευδάργυρος διαλύεται, προστατεύοντας τον ακάλυπτο οπλισμό σαν θυσιαζόμενη άνοδος, μέχρι της πλήρους διάλυσής του.

Η συνάφεια μεταξύ σκυροδέματος και στρώματος ψευδαργύρου είναι καλή, εκτός όταν, λόγω διάβρωσης του ψευδαργύρου, υπάρχει έκλυση υδρογόνου, οπότε η συνάφεια μειώνεται. Η προσθήκη CrO_4^{2n} μπορεί να βελτιώσει τη συνάφεια στην περίπτωση αυτή. [1]

2.3.2 Χάλυβας με επικάλυψη εποξεικών ρητινών

Η χρησιμοποίηση διαφόρων ειδών ρητινών, για την προστασία του χάλυβα από τη διάβρωση, είναι μια συνηθισμένη μέθοδος προστασίας. Στην περίπτωση του χάλυβα στο σκυρόδεμα, η μέθοδος των επικαλύψεων με οργανικά στρώματα που εφαρμόζεται στον υπό προστασία χάλυβα πρέπει:

- Να αντέχει στο υψηλό PH του σκυροδέματος
- Να έχει καλή συνάφεια με το σκυρόδεμα και το δομικό χάλυβα

Τις απαιτήσεις αυτές πληρούν οι εποξεικές ρητίνες. Για την εφαρμογή της εποξεικής επικάλυψης στο δομικό χάλυβα, η επιφάνειά του πρέπει να έχει επιμελώς καθαρισθεί από λάδια, λίπη, οξείδια ή άλλα προϊόντα διάβρωσης. Συνήθως, ο καθαρισμός επιτυγχάνεται με αμμοβολή. Στη συνέχεια, επιτυγχάνεται η επικάλυψη του χάλυβα με εποξεικό επίστρωμα, με έναν από τους ακόλουθους τρόπους:

- Ηλεκτροστατική βαφή με χρώμα σε σκόνη και θέρμανση του χάλυβα στους 200-230°C
- Θέρμανση του χάλυβα στους 200-250°C και, στη συνέχεια, εμβάπτιση σε ρευστοστερεά κλίνη χρώματος σε σκόνη

- Επικάλυψη με ηλεκτροφορητική βαφή σε υδατικό διάλυμα χρώματος και, στη συνέχεια, θέρμανση.

Η συνάφεια, μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος, υφίσταται μείωση από 15-30%. Αντίθετα, η αντοχή σε διάβρωση αυξάνεται, σημαντικά. Εάν, όμως, υπάρχει ρήξη, στη συνέχεια, της εποξεικής επικάλυψης, τότε, υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης, ιδιαίτερα όταν υπάρχει ηλεκτρική επαφή, μεταξύ καλυμμένου και ακάλυπτου οπλισμού. [1]

2.3.3 Ανοξειδωτοι χάλυβες

Στη θέση του δομικού χάλυβα, είναι δυνατόν, να χρησιμοποιηθεί ανοξειδωτος χάλυβας. Αυτό συμβαίνει εφόσον ο ανοξειδωτος χάλυβας έχει υψηλότερη αντοχή έναντι στη διάβρωση, σε σχέση με τον κοινό χάλυβα και, επιπλέον, καλύπτει τις μηχανικές απαιτήσεις για το δομικό χάλυβα. Πλέον κατάλληλοι για χρήση οπλισμού στο σκυρόδεμα έχουν προταθεί οι ωστενιτικοί αμαγνητικοί χάλυβες. [1]

2.4 Τροποποίηση του περιβάλλοντος - Αναστολείς διάβρωσης

Όπως ήδη αναφέρθηκε, υπάρχουν πολύ τρόποι επέμβασης στο περιβάλλον, ώστε να έχουμε αναστολή της διάβρωσης. Ο πλέον επικρατής τρόπος είναι η προσθήκη στο διαβρωτικό περιβάλλον αναστολέων διάβρωσης και, για το λόγο αυτό, γίνεται εκτενής αναφορά παρακάτω.

Οι αναστολείς διάβρωσης είναι ουσίες, οι οποίες, όταν προστίθενται στο διαβρωτικό περιβάλλον ενός υλικού, ελαττώνουν την ταχύτητα της διάβρωσής του. Οι αναστολείς, γενικά, είναι ενεργοί σε μικρές συγκεντρώσεις και ο μηχανισμός της δράσης τους έχει διευκρινιστεί σε λίγες, μόνο, περιπτώσεις. Οι αναστολείς διάβρωσης που χρησιμοποιούνται θα πρέπει: [1]

- Να παρέχουν προστασία στον οπλισμό, για μεγάλο χρονικό διάστημα
- Να μην επηρεάζουν, αρνητικά, τις υπόλοιπες ιδιότητες του σκυροδέματος

2.4.1 Κατηγορίες αναστολέων διάβρωσης

Η κατάταξη των αναστολέων διάβρωσης μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, οι σημαντικότερες κατηγορίες, όμως, είναι: [17]

1. Ανοδικοί, καθοδικοί και μικτοί αναστολείς

Οι ανοδικοί αναστολείς επιβραδύνουν την ανοδική αντίδραση και οι καθοδικοί αναστολείς επιβραδύνουν την καθοδική αντίδραση. Κάποιες χημικές ενώσεις μπορούν να ιονιστούν στο διάλυμα και να επηρεάσουν και την ανοδική και την καθοδική αντίδραση και αυτοί είναι οι μικτοί αναστολείς.

2. Ασφαλείς και επικίνδυνοι αναστολείς

Ως ασφαλής χαρακτηρίζεται ένας αναστολέας, όταν, με την προσθήκη του, ελαττώνεται, ομοιόμορφα, η διάβρωση στην ανοδική επιφάνεια. Ο χαρακτηρισμός ισχύει για καθοδικούς και όχι για ανοδικούς αναστολείς. Αν χρησιμοποιηθεί μικρότερη συγκέντρωση καθοδικού αναστολέα, θα επικαλυφθεί μόνο ένα μέρος της καθοδικής επιφάνειας και ο ρυθμός διάβρωσης θα μειωθεί. Αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα διάβρωσης θα μειωθεί και θα λάβει χώρα μικρότερη διάλυση στην άνοδο. Όταν η συγκέντρωση του ανοδικού αναστολέα είναι ανεπαρκής να καλύψει όλη την άνοδο, τότε η διάλυση εντοπίζεται στην εκτεθειμένη περιοχή και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα κηλιδωματική διάβρωση. Για να αποφύγουμε την πιθανότητα αύξησης της διάβρωσης, οι αναστολείς πρέπει να προστίθενται σε περίσσεια.

3. Ανόργανοι και οργανικοί αναστολείς

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ανόργανων αναστολέων, ανάλογα με το αν επιταχύνουν παθητικοποίηση, αν δρουν ως ανοδικοί ή καθοδικοί, αν απορροφούνται ή αν εξουδετερώνουν. Αν και ανόργανες ουσίες χρησιμοποιούνται στον έλεγχο της διάβρωσης, οι οργανικές ενώσεις, ως αναστολείς, έχουν πρωτεύουσα σημασία.

Οι οργανικοί αναστολείς μπορούν να δρουν ως ανοδικοί ή καθοδικοί ή ταυτόχρονα ως καθοδικοί και ως ανοδικοί. Έχει διαπιστωθεί ότι χαμηλού μοριακού βάρους οργανικοί αναστολείς προσροφούνται στην επιφάνεια του μετάλλου.

2.4.2 Δράση αναστολέων διάβρωσης

Οι αναστολείς διάβρωσης που χρησιμοποιούνται στην πράξη περιέχουν περισσότερα του ενός δραστικά συστατικά, ενώ υπάρχουν περιορισμοί, ως προς τη συγκέντρωσή τους, λόγω του ότι, πολλοί από αυτούς, είναι τοξικοί. Ο βαθμός προστασίας, Z , που παρέχει ένας αναστολέας διάβρωσης δίνεται από τον τύπο: [2]

$$Z\% = \frac{W_1 - W_2}{W_3}$$

όπου: $Z\%$ = ο βαθμός προστασίας που παρέχει ο αναστολέας,

W_1 = ο ρυθμός μείωσης του πάχους σε mm/έτος

W_2 = ο ρυθμός μείωσης του πάχους, χωρίς αναστολέα, σε mm/έτος

W_3 = ο ρυθμός μείωσης του πάχους, με αναστολέα, σε mm/έτος

Οι αναστολείς διάβρωσης επιδρούν: [2]

- Είτε στο ανοδικό ή καθοδικό τμήμα της ηλεκτροχημικής αντίδρασης της διάβρωσης, με αποτέλεσμα να το επιβραδύνουν σημαντικά και η ενέργεια τους να εντοπίζεται στη διεπιφάνεια μετάλλου- διαβρωτικού περιβάλλοντος
- Είτε στη διάβρωση με χημική αντίδραση, με αποτέλεσμα η ενέργειά τους να εντοπίζεται σε όλο το διαβρωτικό περιβάλλον

Για τους αναστολείς της πρώτης περίπτωσης, το πρώτο στάδιο είναι η ρόφηση στην επιφάνεια του μετάλλου. Η ρόφηση μπορεί να είναι φυσική ή χημική. Οι φυσικοί αναστολείς επιδρούν καλύπτοντας τα ενεργά κέντρα του μετάλλου, τα οποία είναι η αιτία της ύπαρξης ανοδικών και καθοδικών περιοχών στην επιφάνεια του μετάλλου. Οι χημικοί αναστολείς επιδρούν με επιφανειακή χημική αντίδραση, η οποία καλύπτει την επιφάνεια του μετάλλου με το προϊόν της χημικής αντίδρασης.

Για να είναι αποτελεσματικός ένας αναστολέας διάβρωσης πρέπει να πληροί τις παρακάτω προϋποθέσεις: [18]

- να είναι ισχυρός δέκτης ή δότης ηλεκτρονίων ή και τα δύο, ταυτόχρονα
- να προκαλεί πόλωση των αντίστοιχων ηλεκτροδίων, σε, σχετικά, μικρό ρυθμό ροής ηλεκτρικού ρεύματος
- να είναι συμβατός με το προοριζόμενο σύστημα, προκειμένου να μην έχει ανεπιθύμητες παρενέργειες
- να είναι αποτελεσματικός στο PH και στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί

2.4.3 Χρήση των αναστολέων διάβρωσης στο σκυρόδεμα

Η χρήση των αναστολέων διάβρωσης στο οπλισμένο σκυρόδεμα, με σκοπό την αποφυγή της διάβρωσης του οπλισμού, έχει εφαρμοστεί από το 1978, αν και ερευνητικές εργασίες είχαν προηγηθεί κατά 15 χρόνια, περίπου. Η χρήση των αναστολέων διάβρωσης σε μεταλλικές κατασκευές έχει πολύ μεγαλύτερη ιστορία. Η υστέρηση αυτή οφείλεται, αφενός, στο ότι η προστασία του οπλισμού στο σκυρόδεμα απαιτεί χρονικό ορίζοντα πάνω από 50 χρόνια και, αφετέρου, στο ότι η προσθήκη των αναστολέων διάβρωσης δεν πρέπει να επηρεάζει, σημαντικά, τις άλλες ωφέλιμες ιδιότητες του σκυροδέματος. Η χρήση αναστολέων έχει διερευνηθεί από πλήθος επιστημών, όπως οι Treadaway και Russell, Craig και Wood, Griffin, Slater, και πρόσφατα ο Berke.

2.4.3.1 Συνηθέστεροι αναστολείς

Αρχικά, η χρήση των αναστολέων διάβρωσης ήταν η προσθήκη του αναστολέα ως προσθέτου, κατά την παραγωγή του σκυροδέματος. Ως αναστολείς

διάβρωσης είχαν προταθεί τα: νιτρώδες νάτριο (NaNO_2), νιτρώδες κάλιο, χρωμικό κάλιο, βενζοϊκό νάτριο, εστέρες νατρίου κ.α.. Η χρήση των αναστολέων αυτών έδωσε θετικά αποτελέσματα, όσον αφορά στη διάβρωση του οπλισμού και, συγκεκριμένα, το νιτρώδες νάτριο είχε τα καλύτερα αποτελέσματα. Ταυτόχρονα, όμως, παρουσίαζαν το πρόβλημα της μείωσης της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, κατά 20-40%. Επιπλέον, το νιτρώδες νάτριο και το νιτρώδες κάλιο οδήγησαν σε αύξηση της πιθανότητας της αλκαλοπυριτικής αντίδρασης, όταν το σκυρόδεμα περιέχει αδρανή ευαίσθητα σε αλκαλοπυριτική αντίδραση.

Η χρησιμοποίηση, όμως, του νιτρώδους ασβεστίου στη θέση του νιτρώδους νατρίου έδωσε, για πρώτη φορά, ταυτόχρονα, αυξημένη αντοχή και αύξηση της αντίστασης, τόσο στο ενανθρακωμένο σκυρόδεμα, όσο και σε αυτό με χλωριόντα. [1, 19,20,21]

Ο EL-Jazairi και οι συνεργάτες του κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι, για την αποτελεσματική απόδοση του νιτρώδους ασβεστίου σε ιδιαίτερα διαβρωτικό περιβάλλον, απαιτείται η χρήση σκυροδέματος με τις παρακάτω προδιαγραφές:[22]

- Η αναλογία νερού/τσιμέντου δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,5, συνιστάται 0,4.
- Η ελάχιστη περιεκτικότητα σε τσιμέντο πρέπει να είναι 300 kg/m^3 , κατά προτίμηση 350 kg/m^3 .
- Η ελάχιστη κάλυψη της ενίσχυσης (χάλυβας) πρέπει να είναι 30 mm, κατά προτίμηση 38 mm

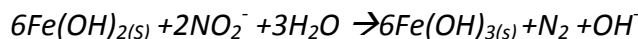
Τα τελευταία χρόνια, έχει προταθεί και η χρήση οργανικών αναστολέων για την προστασία του χάλυβα στο οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι ενώσεις αυτές είναι αμινοαλκοόλες, αλκανολαμίνες και μίγματα αμινών με εστέρες. Τα πλεονεκτήματά τους είναι: [23]

- παρέχουν προστασία από την διάβρωση σε περιβάλλον με χλωριόντα ανεξάρτητα συγκέντρωσης,
- διαχέονται στο σκυρόδεμα με τέτοιο τρόπο που προσφέρει ανοδική και καθοδική προστασία,
- είναι οργανικής φύσης και περιβαλλοντικά ασφαλείς
- είναι μη τοξικοί

2.4.3.2 Μηχανισμός δράσης νιτρώδους ασβεστίου

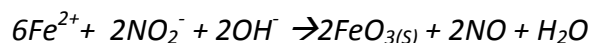
Υπάρχουν δυο θεωρίες για την προστατευτική δράση των νιτρωδών αλάτων. Σύμφωνα με την *πρώτη θεωρία*, τα νιτρώδη ανιόντα αντιδρούν με το υδροξείδιο του δισθενούς σιδήρου που έχει σχηματίσει ο σίδηρος στο σκυρόδεμα. Κατά την αντίδραση αυτή, ο δισθενής σίδηρος οξειδώνεται σε τρισθενή, ενώ το άζωτο στα

νιτρώδη ανιόντα ανάγεται σε ελεύθερο άζωτο, σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:



Η παραπάνω αντίδραση είναι ανταγωνιστική και βραδύτερη της αντίδρασης οξειδωσης του σιδήρου από τα χλωριόντα, που έχει σαν αποτέλεσμα τη διάλυση του και το σχηματισμό χλωριοσυμπλόκων του. Δηλαδή, η προστασία του σιδήρου βασίζεται, ουσιαστικά, στην επιβράδυνση της διάλυσής του.

Σύμφωνα με τη *δεύτερη θεωρία*, τα νιτρώδη ανιόντα αντιδρούν με το δισθενή σίδηρο. Κατά την αντίδραση αυτή, ο δισθενής σίδηρος οξειδώνεται σε τρισθενή στο τριοξείδιο του σιδήρου, ενώ το άζωτο στα νιτρώδη ανιόντα ανάγεται σε δισθενή άζωτο στο μονοξείδιο του αζώτου, σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:

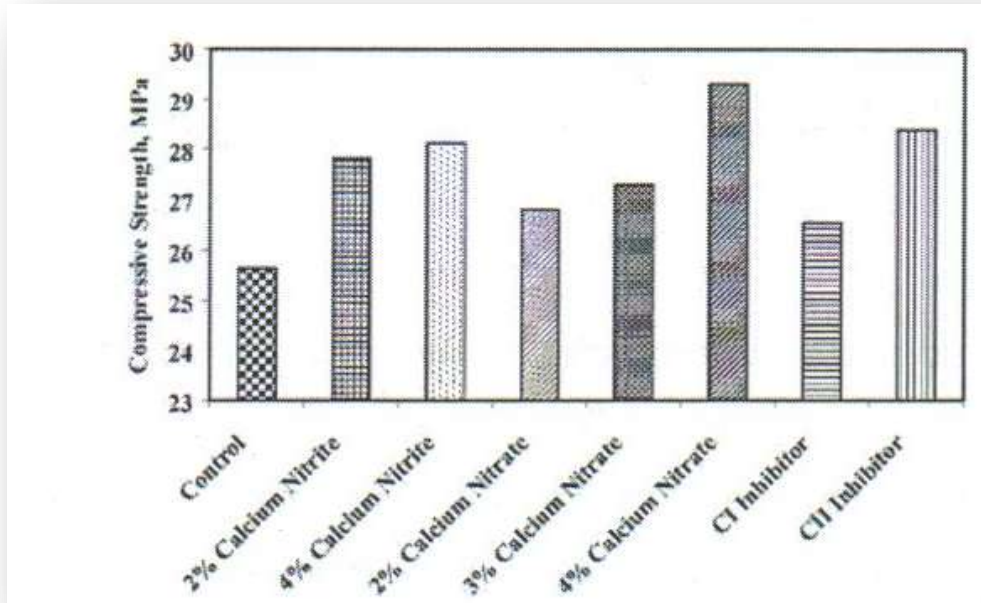


Το τριοξείδιο του σιδήρου που σχηματίζεται στην επιφάνεια του οπλισμού, τον παθητικοποιεί και αποτρέπει τη διάλυσή του από τα χλωριόντα. Βέβαια, η παθητικοποίηση του σιδήρου, μέσω της παραπάνω αντίδρασης, είναι εφικτή, εφόσον ο λόγος $[\text{Cl}^-] / [\text{NO}_2^-]$ παίρνει τιμές μικρότερες του 1,5. [1]

Το νιτρώδες ασβέστιο έχει χρησιμοποιηθεί στο σκυρόδεμα στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α για μακροχρόνιο διάστημα. Έρευνες απέδειξαν ότι :

- προστατεύει το χάλυβα από τη διαβρωτική δράση των χλωριόντων
- συμβάλλει στην αύξηση της αποδοτικότητάς του, με βελτίωση της ποιότητας του σκυροδέματος
- βελτιώνει τη θλιπτική αντοχή
- ελαττώνει το ρυθμό διάβρωσης, όταν αυτή αρχίζει
- λειτουργεί και στην περίπτωση ύπαρξης ρωγμών

Στο σχήμα 5 απεικονίζεται η μέση θλιπτική αντοχή δειγμάτων με και χωρίς αναστολείς. Η θλιπτική αντοχή υπολογίζεται μετά από 28 ημέρες. Η θλιπτική αντοχή όλων των δειγμάτων με αναστολείς διάβρωσης κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα, σε σύγκριση με το δείγμα χωρίς αναστολέα. Η αύξηση της θλιπτικής αντοχής ποικίλλει από 4% στα δείγματα με οργανικό αναστολέα C11 και σε 14,5% στα δείγματα με 4% νιτρικό ασβέστιο. Περαιτέρω αύξηση του αναστολέα δεν έχει αντίστοιχη επίδραση στη θλιπτική αντοχή των δειγμάτων. [19]



Σχήμα 5: Μέση θλιπτική αντοχή δειγμάτων με και χωρίς αναστολείς

2.5 Τροποποίηση του ηλεκτροδιακού δυναμικού υλικού - περιβάλλοντος

2.5.1 Καθοδική Προστασία

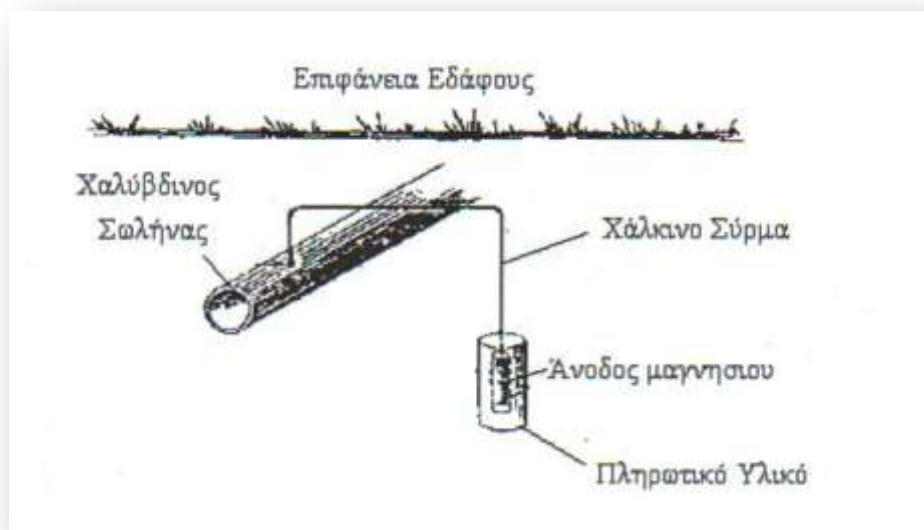
Η καθοδική προστασία χρησιμοποιείται, ευρέως, ως μέθοδος προστασίας των οπλισμών από τη διάβρωση σε σημαντικές κατασκευές, όπως γέφυρες, θαλάσσιες εξέδρες, υπόγειες σωληνώσεις από σκυρόδεμα, οι οποίες υφίστανται διάβρωση από την εγκατάσταση γεωηλεκτρικών στοιχείων κ.α. Σε περίπτωση που το περιβάλλον είναι έντονα διαβρωτικό ή υπάρχουν αμφιβολίες για την τελική ποιότητα του σκυροδέματος, συχνά, εγκαθίστανται οι αναγκαίες διευκολύνσεις, κατά τη φάση της κατασκευής, για ενδεχόμενη, εκ των υστέρων, εφαρμογή της καθοδικής προστασίας.

Η εφαρμογή της καθοδικής προστασίας επιτυγχάνεται με τη διαβίβαση μιας καθορισμένης ποσότητας ρεύματος. Οι καθοδικές περιοχές πολώνονται στο δυναμικό ισορροπίας των ανοδικών περιοχών. Επομένως, δεν υπάρχει διαφορά δυναμικού μεταξύ των ανοδικών και καθοδικών περιοχών και παύει, πλέον, το μέταλλο να υφίσταται διάβρωση. Η μέθοδος εφαρμόζεται με δύο τρόπους:

1. χρήση θυσιαζόμενων ηλεκτροδίων
2. με επιβαλλόμενα εξωτερικά ρεύματα

2.5.1.1 Καθοδική προστασία με θυσιαζόμενες ανόδους

Στην περίπτωση αυτή, οι θυσιαζόμενες άνοδοι, οι οποίες είναι κατασκευασμένες από μέταλλο ηλεκτραρνητικότερο από το δεύτερο, συνδέονται με το προς προστασία μέταλλο, με αποτέλεσμα τη ροή ηλεκτρονίων από το θυσιαζόμενο μέταλλο, προς το προστατευόμενο. Τα ηλεκτρόνια ρέουν από το θυσιαζόμενο μέταλλο προς το προστατευόμενο μετατρέποντας το τελευταίο σε αρνητικό πόλο ενός ηλεκτραρνητικού κελιού, οπότε πραγματοποιείται αναγωγή και όχι οξείδωση. Στο σχήμα 6 φαίνεται η περίπτωση εφαρμογής καθοδικής προστασίας με θυσιαζόμενη άνοδο, σε σωλήνα που βρίσκεται στο υπέδαφος.



Σχήμα 6: Προστασία από τη διάβρωση ενός υπόγειου σωλήνα από χάλυβα με θυσιαζόμενη άνοδο

Οι θυσιαζόμενες άνοδοι που χρησιμοποιούνται, στην πράξη, για την προστασία του χάλυβα είναι ο ψευδάργυρος και τα κράματα του μαγνησίου, τα οποία προτιμούνται περισσότερο, κάτι, άλλωστε, που προκύπτει και από τη σύγκριση των πρότυπων δυναμικών. [24]

Παρακάτω παρουσιάζονται, συνοπτικά, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της καθοδικής προστασίας με θυσιαζόμενες ανόδους.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<i>Δεν απαιτείται πρόσθετη πηγή ρεύματος από κάποια εξωτερική πηγή</i>	<i>Εφαρμογή σε περιπτώσεις που απαιτούνται μικρά ρεύματα</i>
<i>Χαμηλό κόστος εγκατάστασης, εάν τοποθετηθούν ταυτόχρονα με τη δημιουργία της κατασκευής</i>	<i>Ενδεχόμενη απαίτηση αρκετών ανόδων σε περιπτώσεις κατασκευών που έχουν υποστεί διάβρωση</i>
<i>Μικρή πιθανότητα εμφάνισης προβλημάτων υπερπροστασίας</i>	<i>Αναποτελεσματικές σε περιβάλλον μεγάλης ειδικής αντίστασης</i>
<i>Εύκολος τρόπος τοποθέτησης</i>	
<i>Προσθήκη επιπλέον ανόδων, σχετικά εύκολα</i>	
<i>Ομοιόμορφη κατανομή του δυναμικού, κατά μήκος της επιφάνειας</i>	

Πίνακας 2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα καθοδικής προστασίας με θυσιαζόμενες ανόδους

2.5.1.2 Καθοδική προστασία με επιβαλλόμενα εξωτερικά ρεύματα

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου με εξωτερική τάση, ο αρνητικός πόλος πηγής συνεχούς ρεύματος συνδέεται, με τη βοήθεια μονωμένων, εξωτερικά, παράλληλων αγωγών, με το προς προστασία μέταλλο. Έτσι, και σε αυτήν την περίπτωση, τα ηλεκτρόνια που έρχονται στον οπλισμό από τον αρνητικό πόλο της πηγής, τον μετατρέπουν σε αρνητικό πόλο ηλεκτρολυτικού κελιού, ενώ ήταν αρνητικός πόλος γαλβανικού στοιχείου. Τα ηλεκτρόνια επιστρέφουν στο θετικό πόλο της πηγής από τις βοηθητικές ανόδους.[25,26]

Οι άνοδοι είναι, είτε καταναλισκόμενες (π.χ. σίδηρα ανακύκλωσης) που, όμως, για να εξασφαλίζουν το πέρασμα επαρκών ρευμάτων, είναι ογκώδεις, μολύνουν το περιβάλλον και απαιτούν συχνή αντικατάσταση, είτε μη καταναλισκόμενες (π.χ. Si-Fe γραφίτης, Pb-Sb-Ag, Pt-Ti, Pt-Ta), αλλά μεγαλύτερου κόστους. Οι άνοδοι, συνήθως, περιβάλλονται από πληρωτικά υλικά, όπως καρβουνόσκονη, γύψος ή μπεντονίτης ή μίγμα αργίλου, γύψου και θειικού νατρίου, για βελτίωση της ηλεκτρικής επαφής μεταξύ ανόδου και περιβάλλοντος εδάφους. Η τιμή του δυναμικού της πηγής του συνεχούς ρεύματος επηρεάζεται, κυρίως, από την αγωγιμότητα του περιβάλλοντος, ενώ το μήκος της προστατευόμενης ανά άνοδο κατασκευής (π.χ. σωλήνα), από την αντίσταση της μεταλλικής κατασκευής.

Στην εικόνα 4 δίνεται παράδειγμα εφαρμογής καθοδικής προστασίας με επιβαλλόμενα εξωτερικά ρεύματα σε γέφυρα.



Εικόνα 4 : Εφαρμογή της καθοδικής προστασίας με εξωτερικά εφαρμοζόμενο ρεύμα σε γέφυρα.

Η μέθοδος της καθοδικής προστασίας με επιβαλλόμενα εξωτερικά ρεύματα εφαρμόζεται πολύ περισσότερο, σε σχέση με τη μέθοδο θυσιαζόμενων ηλεκτροδίων, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις: [27]

- προστασίας σωλήνων μέσα στο έδαφος σε γλυκό ή θαλασσινό νερό
- πλωτών και μη κατασκευών μέσα στη θάλασσα
- πλοίων

Παρακάτω παρουσιάζονται, συνοπτικά, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της καθοδικής προστασίας με επιβαλλόμενα εξωτερικά ρεύματα.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Δυνατότητα παροχής από την πηγή υψηλών τιμών δυναμικού	Υψηλό κόστος
Προστασία μεγάλων και ακάλυπτων κατασκευών	Δυσκολία ομοιόμορφης κατανομής του δυναμικού σε πολύπλοκες κατασκευές
Καλύτερη ρύθμιση των συνθηκών	Κίνδυνος υπερπροστασίας
Απαιτεί λιγότερες ανόδους	
Ομοιόμορφη κατανομή του δυναμικού κατά μήκος της επιφάνειας	

Πίνακας 3: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα καθοδικής προστασίας με επιβαλλόμενα εξωτερικά ρεύματα

2.5.1.3 Προστασία σκυροδέματος από την διάβρωση σε θαλάσσιο περιβάλλον με την μέθοδο της καθοδικής προστασίας

Η αποφυγή φαινομένων διάβρωσης του σκυροδέματος που βρίσκεται εκτεθειμένο σε θαλάσσιο περιβάλλον είναι ιδιαίτερα σημαντική και, ταυτόχρονα, πολύπλοκη. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του άλατος και της υγρασίας μπορούν να οδηγήσουν στην επιταχυνόμενη διάβρωση του και τη σημαντική επιδείνωση στη συγκεκριμένη κατασκευή. Πιο συγκεκριμένα, οι κατασκευές, που τμήματά τους έρχονται σε επαφή με το θαλασσινό νερό, είναι περισσότερο ευάλωτες σε ό,τι αφορά στη διάβρωση του οπλισμού και χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων, συχνή εμφάνιση κύκλων ξήρανσης και ύγρυνσης, μεγάλη διαθεσιμότητα οξυγόνου και υψηλά επίπεδα υγρασίας. Σε αυτές τις περιπτώσεις, διακρίνονται τρεις περιοχές:

- η καταδυόμενη ζώνη (πάντα κάτω από το νερό της θάλασσας)
- ο παφλασμός και η παλιρροιακή ζώνη (περιοδική ύγρυνση και ξήρανση)
- η ατμοσφαιρική ζώνη (σπάνια βρέχεται)

Στο σχήμα 7 παρουσιάζονται τα τμήματα των διάφορων περιοχών διάβρωσης του σκυροδέματος σε θαλάσσιο περιβάλλον.



Σχήμα 7: Τμήματα διαφόρων περιοχών διάβρωσης σκυροδέματος σε θαλάσσιο περιβάλλον

Για την προστασία του εκτεθειμένου σκυροδέματος στο θαλάσσιο περιβάλλον, χρησιμοποιείται η καθοδική προστασία με τη χρήση θυσιαζόμενων ηλεκτροδίων ή με επιβαλλόμενα εξωτερικά ρεύματα. Σε θαλάσσιο περιβάλλον, ο ρυθμός διάβρωσης διαφοροποιείται, σημαντικά, μεταξύ των περιοχών, όπως φαίνεται στο σχήμα 7. Οι μεταβολές στην πυκνότητα χάλυβα μπορούν, επίσης, να επιφέρουν ανομοιόμορφη κατανομή του δυναμικού, κατά μήκος της επιφάνειας προστασίας. Έρευνες αποδεικνύουν ότι επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα η καθοδική προστασία με επιβαλλόμενα εξωτερικά ρεύματα. Συγκεκριμένα, αναφέρεται ότι η χρήση ανόδου από πλέγμα Τιτανίου προσφέρει καθοδική προστασία παραπάνω από 75 έτη.

Σε θαλάσσιες κατασκευές εφαρμόζονται ρεύματα πυκνότητας 18-42 mA/m². Γρήγορα, όμως, οι τιμές των ρευμάτων μειώνονται, πιθανόν εξαιτίας των διαφόρων μικροοργανισμών, οι οποίοι καταναλώνουν το οξυγόνο. Η τιμή της πυκνότητας ρεύματος και το δυναμικό του σπλισμού σε συστήματα καθοδικής προστασίας επηρεάζονται, έντονα, από τη μεταβολή περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία. [11,25,26]

2.6 Επικαλύψεις - Χρώματα

Η εφαρμογή επιφανειακών επιστρωμάτων είναι η πιο κοινή μέθοδος προστασίας από τη διάβρωση. Η τεχνολογία επιλογής και εφαρμογής των επιστρωμάτων είναι ένα πολύ ευρύ πεδίο που επηρεάζεται, ιδιαίτερα, από την εμπειρία. Συχνά, πέρα από την προστατευτική λειτουργία τους, η επιλογή των επιστρωμάτων επηρεάζεται και από αισθητικούς παράγοντες. Τα επιστρώματα διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες: [3]

- Μη μεταλλικά επιστρώματα
- Μεταλλικά επιστρώματα
- Οργανικά επιστρώματα

Η επικάλυψη (βαφή) με χρώματα είναι, ιστορικά, η παλαιότερη μέθοδος προστασίας και διακόσμησης επιφανειών. Την τελευταία τριακονταετία, παράλληλα με τις κλασικές επικαλύψεις (χρώματα), κερδίζουν, συνεχώς, έδαφος οι επικαλύψεις με κονίες πολυμερών που, εξαιτίας της απουσίας οργανικών διαλυτών, είναι περιβαλλοντικά αβλαβείς. Τέλος, συνεχείς είναι οι βελτιώσεις του τεχνολογικού επιπέδου εφαρμογής των οργανικών επικαλύψεων, ιδίως σε βιομηχανική κλίμακα (αυτοματισμοί).

Από τη σκοπιά της έρευνας, η μελέτη της αντιδιαβρωτικής ικανότητας των επικαλύψεων και, γενικά, η σύνθεση είχαν εμπειρικό χαρακτήρα. Την τελευταία τριακονταετία, είναι εμφανείς οι ερευνητικές προσπάθειες, τόσο προς την

κατεύθυνση της βασικής, όσο και της εφαρμοσμένης έρευνας, με την εισαγωγή σύγχρονων μεθοδολογιών ελέγχου. [2]

Η επικάλυψη είναι δυνατόν να εφαρμοστεί, είτε στην επιφάνεια του χάλυβα, είτε 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, δεν αυξάνει το βάρος της κατασκευής και έχει και αξιόλογα αισθητικά αποτελέσματα.

Για να χρησιμοποιηθεί ένα χρώμα ως επικάλυψη, θα πρέπει να: [1]

- 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 ηλίου
- μπορεί να διεισδύει μέσα στο σκυρόδεμα
- είναι ελαστικό, ώστε να ακολουθεί τις παραμορφώσεις του σκυροδέματος, χωρίς να κάνει ρωγμές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Χρώματα

3.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με το πρότυπο του ΕΛΟΤ 547-1, ως χρώμα ορίζεται το προϊόν σε υγρή ή στερεή μορφή (σκόνη) που περιέχει πιγμέντα και το οποίο, όταν εφαρμοστεί στο υπόστρωμα, παρέχει προστασία, σφράγιση αλλά και αισθητική στις κατασκευές.

Τα χρώματα αποτελούνται, κυρίως, από μια διασπορά ενός λεπτόκοκκου υλικού (pigment) σε ένα διάλυμα ενός συνδετικού μέσου (binder). Το συνδετικό αυτό, το οποίο, τις περισσότερες φορές, είναι οργανικής φύσης, είναι ο αποφασιστικός παράγοντας για τις φυσικές και χημικές ιδιότητες ενός χρώματος, οι οποίες, απλώς, τροποποιούνται, σύμφωνα με τη φύση και την αναλογία των προς διασπορά στερεών.

Για ένα χρώμα εξωτερικής επικάλυψης, φινίρισμα (finish), η κύρια χρησιμότητα των εν διασπορά στερεών είναι να προσδίδουν χρώμα, ενώ σε ένα αστάρι (primer) είναι να συνεισφέρουν στη συνάφεια υποστρώματος-χρώματος. Η μόνη χρησιμότητα του πτητικού συστατικού είναι να ρυθμίζει το ιξώδες του χρώματος, διευκολύνοντας, έτσι, την παρασκευή του και τη μετέπειτα χρήση του. Από εκεί και πέρα, ο διαλύτης εξατμίζεται και χάνεται.

Ένας άλλος τύπος χρωμάτων στηρίζεται σε συνδετικό μέσο γαλακτωματοποιημένο στο νερό. Αυτός ο τύπος συνδετικών χρωμάτων έχει αποκτήσει, τελευταία, αυξημένη σημασία, καθώς υπάρχουν πολλές ενδείξεις ότι υδατοδιαλυτά χρώματα μπορούν να δώσουν πολύ καλές αντιδιαβρωτικές ιδιότητες.

Παρά το γεγονός ότι η σύνθεση των αποχρώσεων είναι τέχνη, η επιστήμη βρίσκει τη θέση της στο χαρακτηρισμό των πρώτων υλών, στο σχεδιασμό και στην πειραματική μελέτη της σύνθεσης και την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Τέλος, ο σχεδιαστής συνθέσεων χρωμάτων, θα πρέπει να διαθέτει εκτός από τη σαφή γνώση των διαφόρων διασπορών, συνδετικών μέσων και διαλυτών, και λεπτομερή στοιχεία κόστους, καθώς και διαθεσιμότητας των πρώτων υλών, του μηχανολογικού εξοπλισμού παραγωγής χρωμάτων και τις απαιτήσεις της αγοράς για τις επιδόσεις των χρωμάτων. [22]

3.2 Βασικές αρχές σύνθεσης χρωμάτων

Πριν γίνει οποιαδήποτε προσπάθεια επιλογής ενός χρώματος, είναι απαραίτητο να είναι γνωστές οι συνθήκες, υπό τις οποίες θα χρησιμοποιηθεί και στις οποίες θα εκτεθεί. Όσο περισσότερες είναι οι πληροφορίες για τις απαιτήσεις, τόσο πιο μεγάλη είναι η πιθανότητα επιτυχίας με την πρώτη δοκιμή στην πράξη.

Επίσης, οι συνθήκες υπό τις οποίες θα επέλθει η ξήρανση του χρώματος, ξήρανση στον αέρα ή σε φούρνο και οι ιδιότητες που θα απαιτηθούν κατά τη χρήση, θα υπαγορεύσουν την επιλογή του συνδετικού. Αυτό, με τη σειρά του, θα περιορίσει την επιλογή των διαλυτών. Περιορισμοί τίθενται, επιπλέον, από την πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς, καθώς και από τυχόν τοξικούς ατμούς σε περιβάλλον εργασίας. Η ποσότητα του διαλύτη στο χρώμα εξαρτάται, τόσο από το εσωτερικό ιξώδες του συνδετικού, όσο και από το ιξώδες χρώματος που είναι ενδεδειγμένο για τη μέθοδο επικάλυψης που έχει επιλεγεί.

Ένα απλό χρώμα, σπανίως, διαθέτει την πλειονότητα των απαιτούμενων τελικών ιδιοτήτων, για αυτό το λόγο καθίσταται απαραίτητος ο σχεδιασμός ενός συστήματος που θα αποτελείται από ένα αστάρι και, πιθανώς, ένα ή περισσότερα ενδιάμεσα στρώματα και ένα τελικό φινίρισμα.

Το αστάρι αποτελεί το πρώτο στρώμα ενός συστήματος. Χρησιμεύει στο να παρέχει την απαραίτητη πρόσφυση και προστασία στο υπόστρωμα. Ο τρόπος με τον οποίο αυτά επιτυγχάνονται ποικίλει, ανάλογα με το υπόστρωμα, συχνά δε, απαιτεί τη χρήση κάποιας συγκεκριμένης ουσίας σε διασπορά. Αυτή η ουσία υπαγορεύει σοβαρούς περιορισμούς στο χρώμα και στη λάμψη, καθώς και σε άλλες απαιτούμενες ιδιότητες, όπως η αντοχή.

Το φινίρισμα ή τελικό στρώμα, εφαρμόζεται ώστε να επανορθώνει τις ατέλειες του ασταριού, προστατεύοντάς το και προσφέροντας το απαιτούμενο χρώμα και βαθμό λάμψης. Οι δυο αυτές απαιτήσεις θα υπαγορεύσουν, σε αυτή την περίπτωση, την ποιότητα και την ποσότητα των στερεών που βρίσκονται σε διασπορά. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, η μέγιστη αντοχή πετυχαίνεται με ένα σύστημα από αστάρι και φινίρισμα. Παρόλα αυτά, συνήθως, η επίτευξη ομοιομορφίας χρώματος και λείας επιφάνειας απαιτούν τη χρήση ενδιάμεσων στρωμάτων.

Οι στόκοι (*putties*) είναι πάστες υψηλού περιεχομένου σε στερεά που τοποθετούνται με σπάτουλα για ένα πρωτογενές γέμισμα των βαθιών ανωμαλιών, κυρίως, όταν πρόκειται για χυτά κομμάτια.

Τα πληρωτικά υλικά (*fillers*) χρησιμοποιούνται για να εξαλείψουν τις «ρηχές» ανωμαλίες. Η ευκολία της λείανσής τους είναι πολύ επιθυμητή ιδιότητα και είναι, κυρίως, αυτή που υπαγορεύει τη σύνθεση και την αναλογία του μείγματος των στερεών σε διασπορά. [10]

3.3 Συστατικά χρωμάτων

3.3.1 Συνδεδετικά μέσα (Φορείς)

Το πιο σπουδαίο συστατικό της πλειοψηφίας των χρωμάτων είναι το συνδεδετικό μέσο που καθορίζει τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του χρώματος. Μίγματα συνδεδετικών μέσων χρησιμοποιούνται, συχνά, για να επιτευχθούν συγκεκριμένες ιδιότητες στο ξηρό στρώμα χρώματος ή για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποια συγκεκριμένη μέθοδος επικάλυψης. Η συμβατότητα των χημικά διαφόρων τύπων συνδεδετικών μέσων είναι ένας σοβαρός παράγοντας που επηρεάζει το έργο του σχεδιαστή συνθέσεων χρωμάτων. Φυσικά, οι ιδιότητες αυτές επηρεάζονται, περισσότερο ή λιγότερο, από τη φύση και την ποσότητα των άλλων συστατικών και, κυρίως, των στερεών σε διασπορά. Τα κυριότερα συνδεδετικά μέσα που χρησιμοποιούνται αναφέρονται παρακάτω. [22]

1. Αλκυδικές ρητίνες

Οι αλκυδικές ρητίνες που εισήχθησαν εδώ και 40-50 χρόνια εδραιώθηκαν και χρησιμοποιούνται, ακόμη, ευρύτατα. Είναι στη βάση τους πολυεστέρες μεγάλου μοριακού βάρους που παρασκευάζονται με αντίδραση πολυυδρικών αλκοολών με μείγματα μονοβασικών λιπαρών οξέων και διβασικών οξέων. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα δίνονται στον Πίνακα 4.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Εύκολη διαλυτότητα σε οικονομικούς διαλύτες	Χαμηλή αντοχή σε χημικά και ισχυρούς διαλύτες
Προέρχονται, σε μεγάλο ποσοστό, από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	Σχετικά χαμηλή αντοχή σε περιβαλλοντικές συνθήκες
Καλή πρόσφυση	
Εύκολη γαλακτοποίηση (για υδατικά διαλύματα)	
Χαμηλό κόστος	
Χαμηλή τοξικότητα	

Πίνακας 4: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αλκυδικών ρητίνων

Οι αλκυδικές ρητίνες υποδιαιρούνται, για ευκολία, ανάλογα με τη χρήση τους, σε:

- Ξηραινόμενες στον αέρα
- Ξηραινόμενες σε φούρνο
- Πλαστικοποιούμενες
- Τροποποιημένες

2. Εποξειδικές ρητίνες

Οι εποξειδικές ρητίνες είναι, στη βάση τους, πολυμερισμένες πολυυδρικές αλκοόλες μακράς αλυσίδας, με εποξειδικές ομάδες στα δύο άκρα. Αποτελούν χρήσιμα δομικά στοιχεία, γιατί και οι υδραυλικές και οι εποξειδικές ομάδες είναι διαθέσιμες για αντίδραση με ενώσεις.

Οι επικαλύψεις που προκύπτουν έχουν μια καλή αντοχή στην κρούση και στην τριβή και χρησιμοποιούνται για προστασία από το γλυκό νερό, το αλατόνερο, τα οξέα και κάθε είδους αλκάλια. Τα χρώματα αυτά έχουν καλή πρόσφυση στα μέταλλα και στο σκυρόδεμα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σημεία που αναμένεται να παρουσιάσουν έντονη διάβρωση. Παραδείγματα χρήσης τους είναι οι δεξαμενές, σωλήνες μέσα στη θάλασσα, κανάλια και τμήματα υφάλων πλοίων. Επίσης, χρησιμοποιούνται σε διάφορες συγκολλητικές ουσίες, μόνες τους ή σε συνδυασμό με άλλα πολυμερή. Δεν έχουν καλή αντοχή σε σκληρές περιβαλλοντικές συνθήκες και δε διαλύονται εύκολα σε χαμηλού κόστους διαλύτες. [28]

3. Ακρυλικές ρητίνες

Έχουν μεγάλες αντοχές στις περιβαλλοντικές συνθήκες, δεν κιτρινίζουν και διατηρούν την στιλπνότητά τους, καλύτερα από τα περισσότερα πολυμερή. Μπορούν να τροποποιηθούν και να χρησιμοποιηθούν ως αεροστέγνωτα, χρώματα φούρνου, αστάρια, τελικά επιχρίσματα και βελτιωτικά άλλων πολυμερών. Χρησιμοποιούνται, ευρέως, στο χώρο των επιχρισμάτων που σκληραίνονται με την επίδραση υπεριωδών ακτίνων. Υπάρχουν ακρυλικές ρητίνες διαλυτές σε οργανικούς διαλύτες, υδατικά γαλακτώματα, υδατοδιαλυτά συστήματα και 100% στερεά συστήματα. Είναι υψηλού κόστους και απαιτούν ισχυρούς διαλύτες. [28]

4. Βινυλικές ρητίνες

Προσφέρουν στα χημικά επιχρίσματα καλή αντοχή στην υγρασία και αντισκωριακές ιδιότητες σε πολύ διαβρωτικά περιβάλλοντα. Χρησιμοποιούνται, ευρέως, ως υδατικά γαλακτώματα και προσφέρουν καλή πρόσφυση και ευκολία εφαρμογής. Επίσης, είναι μη τοξικά επιχρίσματα. Δεν έχουν καλές αντοχές στις υπεριώδεις ακτίνες και, ειδικά, στην παρουσία οξέων. [28]

5. Άλλα συνδετικά μέσα

Άλλα συνδετικά μέσα είναι τα παρακάτω:

- Πολυμερή σιλικόνης που έχουν μεγάλη σταθερότητα στη θέρμανση και εξαιρετη αντοχή στα χημικά. Εξαιτίας του ότι είναι πολύ ακριβά, δε βρίσκονται, συχνά, σε χρώματα.
- Φθοριωμένα πολυμερή, όπως το πολύ-τετρα-φθορο-αιθυλένιο, χρησιμοποιούνται σε εξειδικευμένες εφαρμογές. Υπάρχουν, επίσης, με τιτάνιο, με πολύ καλή θερμική σταθερότητα.

3.3.2 Πιγμέντα

Με τον όρο *πιγμέντα (pigments)* ή *πρωταρχικά πιγμέντα* νοούνται, λεπτότατα, λειοτριμμένες φυσικές ή συνθετικές, ανόργανες ή οργανικές ουσίες, οι οποίες διασπειρόμενες σε έναν υγρό φορέα, κατά την παρασκευή του χρώματος, δίνουν στον παραγόμενο ξηρό υμένα διάφορες ιδιότητες, όπως αδιαφάνεια, χρωματισμό, υδατοαπώθηση κ.α. Ο δείκτης διάθλασής 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 στη σύνθεση και την δομή τους αντιστοιχούν στα ορυκτά αιματίτης, μαγνητίτης και φαιόλιθος. Από τα *λευκά* πιγμέντα δύο είναι εκείνα που έχουν εμπορική αξία εφαρμογής: το διοξείδιο του τιτανίου και το λιθοπόνιο. [29]

3.3.3 Διαλύτες

Ως *διαλύτης* ορίζεται κάθε υγρό, το οποίο επιτυγχάνει διασπορά ενός στερεού ή ημι-στερεού υλικού και έχει, ως αποτέλεσμα, τη δημιουργία ενός ομοιογενούς υγρού διαλύματος με, σχετικά, υψηλό ιξώδες.

Οι διαλύτες συνεισφέρουν στην ομογενοποίηση όλων των ετερογενών υλικών που συμμετέχουν στην παραγωγή επιχρισμάτων, στη δημιουργία ενιαίου ρευστού σώματος και επιτρέπουν, έτσι, την εφαρμογή του επιχρίσματος προς τη δημιουργία του τελικού film.

Μια επιπλέον ποσότητα κάποιου συγκεκριμένο διαλύτη είναι πιθανόν να χρειάζεται για να βοηθήσει τη διαδικασία επικάλυψης, να επιτρέψει την απελευθέρωση των μικρών φυσαλίδων αέρα από τα ψεκασμένα στρώματα ή για να ενεργοποιήσει τους παχυντές.

Ο σχεδιαστής συνθέσεων των χρωμάτων θα πρέπει να γνωρίζει, έκτος από το ποιοι διαλύτες είναι κατάλληλοι για χρήση, με ποια μέσα και τους κινδύνους πυρκαγιάς που συνοδεύουν τη χρήση κάποιου διαλύτη ή μείγματος διαλυτών,

καθώς, επίσης, και την τοξικότητα των διαφόρων μιγμάτων. Οι κανονισμοί που ισχύουν για τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος παίζουν σπουδαίο ρόλο στη διαδικασία επιλογής των διαλυτών στο μέλλον. Υπάρχουν εξειδικευμένοι κανονισμοί που διέπουν τη χρήση και τη μεταφορά χρωμάτων, ανάλογα με το σημείο ανάφλεξης τους και τη σύνθεση διαλύτη τους.

Η κατάσταση των διαλυτών γίνεται συμβατικά, μέσω της χημικής τους σύνθεσης, δηλαδή, αλειφατικοί ή αρωματικοί υδρογονάνθρακες, αλκοόλες, εστέρες, κετόνες κ.α. Οι βασικότερες κατηγορίες διαλυτών που χρησιμοποιούνται εκτενέστατα στη βιομηχανία χρωμάτων/ βερνικιών/ μελανών είναι οι παρακάτω: [23]

1. Υδρογονάνθρακες

Το *white spirit* είναι μίγμα υδρογονανθράκων που αποστάζει στους 150-190°C. Συνίσταται, κυρίως, από παραφινικούς υδρογονάνθρακες όπως C₈, C₉, C₁₀, αλλά περιέχει και μικρές ποσότητες ναφθενικών αρωματικών υδρογονανθράκων. Η ποικιλία στη σύστασή του επηρεάζει, θετικά, τη διαλυτική του δράση, καθώς οι αρωματικοί διαλύτες είναι ισχυρότεροι από τους παραφινικούς. Η τολουόλη και η ξυλόλη είναι, επίσης, σημαντικοί διαλύτες αυτής της κατηγορίας. Ανήκουν στην ομάδα των αρωματικών υδρογονανθράκων του βενζολίου και είναι λιγότερο τοξικά από αυτό, ενώ διατηρούν την ισχυρή διαλυτική δράση του βενζολίου.

2. Αλκοόλες

Οι πλέον γνωστές αυτής της κατηγορίας είναι η αιθυλική αλκοόλη (οινόπνευμα), η ισοπροπυλική αλκοόλη, η μεθανόλη και η βουτανόλη. Η αιθανόλη είναι εξαιρετικός διαλύτης, κυρίως για το χώρο των μελανιών και των εκτυπώσεων, στη βαθυτυπία και στη φλεξογραφία. Δεν είναι τοξική και είναι, ιδιαίτερα, φιλική στο περιβάλλον.

3. Εστέρες

Ο αιθυλεστέρας, ο βουτυλεστέρας και ο ισοβουτυλεστέρας είναι διαλύτες που βρίσκουν σημαντικές εφαρμογές στο χώρο των βερνικιών/ χρωμάτων/ μελανιών.

4. Κετόνες

Η ακετόνη είναι πολύ πτητικό και εύφλεκτο υλικό χαρακτηριστικής ευχάριστης οσμής και ισχυρής διαλυτικής δράσης. Χρησιμοποιείται, ευρύτατα, είτε ως μετατροπέας δυο φάσεων σε μια, είτε ως διαλύτης πολλών οργανικών φυσικών και συνθετικών ρητινών, είτε ως συστατικό των paint removers, είτε στην παραγωγή των μεθακρυλικών και εποξειδικών ρητινών.

5. Γλυκολαιθέρες

Πρόκειται για πολύ ισχυρούς διαλύτες που χρησιμοποιούνται, ευρύτατα, στις συνθετικές ρητίνες των βερνικοχρωμάτων που προέρχονται από τη διαδοχική αντίδραση αλκοολών με αιθυλενοξείδιο ή προπυλενοξείδιο. Οι γλυκολαιθέρες ή αιθεροαλκοόλες, λόγω της δομής τους είναι εξαιρετικής φύσεως διαλύτες, καθώς και πλαστικοποιητές.

3.3.4 Πρόσθετα

Πρόσθετα χρωμάτων ονομάζονται τα χημικότεχνικά παρασκευάσματα, τα οποία, προστιθέμενα σε μικρή, σχετικά, ποσότητα στα χρώματα βελτιώνουν μερικές ιδιότητές τους ή αποτρέπουν πιθανές παρενέργειες, χωρίς να λαμβάνει χώρα καμία χημική αντίδραση.

Οι κυριότερες κατηγορίες προσθέτων είναι:

- Στεγνωτικά
- Αντιπετσωτικά
- Ενεργά προϊόντα για συστήματα antifouling
- Μυκητοκτόνα και βακτηριδιοκτόνα
- Γαλακτοματοποιητές
- Αντιαφριστικά
- Διαβρέκτες διασπορείς και υλικά αντιεπίπλευσης χρωστικών
- Απορροφητές UV
- Ανασχετικά διάβρωσης και υλικά πρόσφυσης σε συνθήκες υγρασίας
- Πρόσθετα ρεολογίας
- Θιξοτροπικά

Τα πρόσθετα αυτά χρησιμοποιούνται στα χρώματα, ανάλογα με τις συνθήκες στις οποίες προορίζονται να χρησιμοποιηθούν. Συγκεκριμένα, τα *στεγνωτικά* χρησιμοποιούνται στα οξειδωτικά στεγνούμενα λάδια και στις αλκυδικές ρητίνες. Ενεργούν καταλυτικά ως μεταφορείς οξυγόνου και ελαττώνουν, κατά αυτόν τον τρόπο, το χρόνο του στεγνώματος.

Τα *αντιπετσωτικά* χρησιμοποιούνται στα οξειδωτικά στεγνούμενα χρώματα ή, όπως ονομάζονται, στα χρώματα αέρος με βάση έλαια και αλκυδικές ρητίνες. Σκοπό έχουν να εμποδίσουν την εμφάνιση της ανεπιθύμητης μεμβράνης (πέτσα) στο δοχείο, κατά το χρόνο αποθήκευσης των χρωμάτων.

Τα *ενεργά προϊόντα* είναι υλικά, τα οποία εμποδίζουν την ανάπτυξη διαφόρων μυκήτων και την επικόλληση οστράκων στην υποθαλάσσια ή βυθισμένη επιφάνεια ενός σκάφους. Το ενεργό υλικό αυτών των προϊόντων, με την τοξικότητά

του, εμποδίζει διάφορες μορφές της θαλάσσιας χλωρίδας και πανίδας να αναπτυχθούν.

Τα *βακτηριδιοκτόνα* είναι υλικά με τοξικές ιδιότητες για τα βακτηρίδια που εμφανίζονται, τόσο σε μέρη που επεξεργάζονται τρόφιμα, όσο και μέσα στα κουτιά των πλαστικών χρωμάτων. Τα *μυκητοκτόνα* καταπολεμούν τους μύκητες των επιχρισμάτων.

Οι *γαλακτοματοποιητές* χρησιμοποιούνται, συνήθως, στην παρασκευή υδατικών επιχρισμάτων γαλακτωμάτων. Όταν προστίθεται στα χρώματα διασποράς, λειτουργούν σαν σταθεροποιητές, κατά το διάστημα αποθήκευσης, και βοηθούν στη διατήρηση του χρώματος.

Τα *αντιαφριστικά* χρησιμοποιούνται για να αποφευχθεί η ανεπιθύμητη εμφάνιση φυσαλίδας. Τα αντιαφριστικά, για να είναι πλήρως ενεργά, δε θα πρέπει να έχουν διαλυτότητα στο φορέα (ρητίνη) ή τα διαλυτικά, αλλά να έχουν καλή διασπορά ή γαλακτοματοποίηση. Επιπλέον, θα πρέπει να οδεύουν στην επιφάνεια και, ταυτόχρονα, να έχουν την ικανότητα να απλώνονται σε όλη την επιφάνεια.

Οι *απορροφητές UV* απορροφούν τις επιβλαβείς υπεριώδεις ακτίνες στο φάσμα από 200-400NM, οι οποίες επιδρούν καταλυτικά στην οξειδωτική αποσύνθεση του συνδετικού φορέα.

Τα *πρόσθετα ρεολογίας* χρησιμοποιούνται για την αποφυγή της καθίζησης των πιγμένων στο δοχείο ενός έτοιμου χρώματος. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται το ιξώδες, με συνέπεια να μειώνεται η ταχύτητα καθίζησης. [22]

3.4 Βασικές διαφορές συστημάτων χρωμάτων

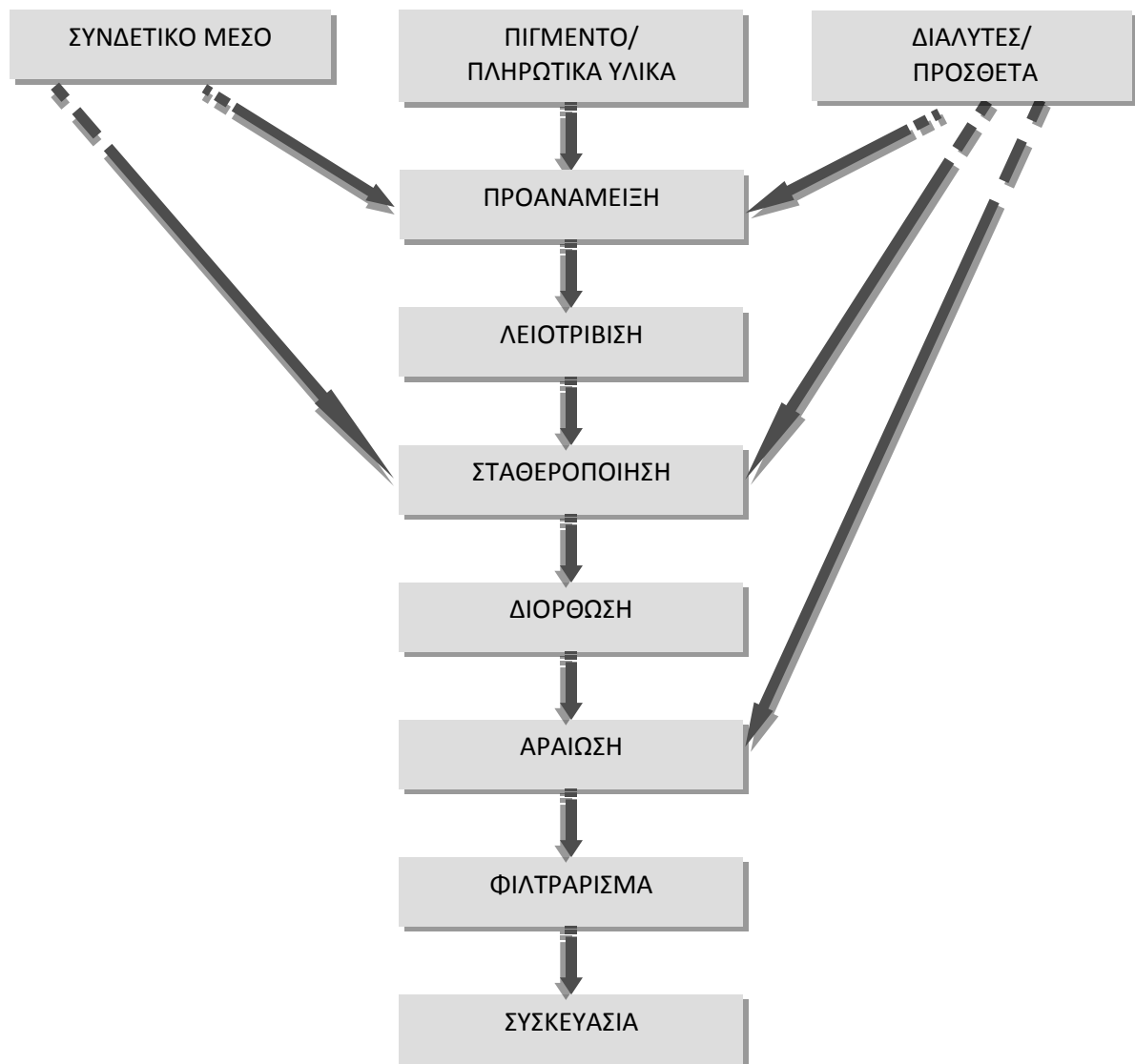
Οι βασικές ιδιότητες ενός χρώματος εξαρτώνται από το σκοπό ή τη χρήση του χρώματος αυτού. Για παράδειγμα, ένα χρώμα πυροπροστασίας θα έχει ως βασική του ιδιότητα να αντιστέκεται στη φωτιά ή, τουλάχιστον, να επιβραδύνει την καύση του υποστρώματος. Ένα χρώμα που χρησιμοποιείται πάνω σε τσιμέντο πρέπει να έχει την ιδιότητα να είναι ανθεκτικό σε ισχυρά αλκαλικό περιβάλλον. Όλα τα αντιδιαβρωτικά χρώματα πρέπει να αντιστέκονται στις διαβρωτικές συνθήκες και να προστατεύουν τις κατασκευές.

Ακόμη και μεταξύ της ίδιας ομάδας χρωμάτων, οι ιδιότητές τους μπορεί να διαφέρουν. Γι' αυτό, απαιτείται μελέτη των τεχνικών φυλλαδίων και συμμόρφωση με τις οδηγίες του προμηθευτή του χρώματος.

Χρώματα φυσικής ξήρανσης, όσο και χημικής αντίδρασης, χρησιμοποιούνται για την προστασία μεταλλικών κατασκευών από χάλυβα και άλλα μέταλλα, όσο και κατασκευών από τσιμέντο. Η επιλογή του συστήματος εξαρτάται από τον τύπο της κατασκευής, τις απαιτήσεις σε χρόνο ζωής του συστήματος, τις περιβαλλοντικές συνθήκες κατά την προετοιμασία της επιφάνειας και την εφαρμογή, καθώς και από τις συνθήκες έκθεσης και συντήρησης.

3.5 Παραγωγή χρωμάτων

Η διαδικασία που ακολουθείται για την παραγωγή χρωμάτων σε βιομηχανική κλίμακα περιγράφεται, αναλυτικά, στο σχήμα 8. [38]



Σχήμα 8: Διάγραμμα ροής παραγωγής χρωμάτων σε βιομηχανική κλίμακα

Αρχικά, τα πιγμέντα και τα πληρωτικά υλικά φέρονται σε επαφή με μέρος του συνδετικού υλικού και προαναμιγνύονται σε ζυμωτήριο. Στη συνέχεια, ακολουθεί η λειοτρίβιση της πάστας που προκύπτει από την προηγούμενη διαδικασία, με σκοπό τη διασπορά των στερεών στην υγρή φάση, χωρίς να παρατηρείται αλλαγή στη βασική κοκκομετρία της σκόνης.

Στη συνέχεια, αφού διαπιστωθεί με ποιοτικό έλεγχο η πλήρης διασπορά των πιγμένων, γίνεται η σταθεροποίηση της πάστας με την προσθήκη του υπολοίπου μέρους του φορέα. Ακολουθεί η διόρθωση της απόχρωσης με άλλο χρώμα ή με πάστες ή με λειοτρίβιση νέου πιγμένου, η τελική προσθήκη διαφόρων προσθέτων και βελτιωτικών, καθώς και η ρύθμιση του τελικού ιξώδους. Πριν από τη συσκευασία, προηγείται φιλτράρισμα, όχι τόσο για να διορθώσει ατέλειες της λειοτρίβισης, αλλά για την απομάκρυνση, κυρίως, τυχόν ακαθαρσιών.

Από την περιγραφή της παραγωγικής διαδικασίας ενός χρώματος, διαπιστώνεται η σπουδαιότητα της λειοτρίβισης των πιγμένων. Η επιτυχία της διασποράς και η ενέργεια που θα καταναλωθεί για την επίτευξή της, μαζί με τον απαιτούμενο χρόνο, αποτελούν τις βασικές παραμέτρους ποιότητας και παραγωγικότητας στη βιομηχανία των χρωμάτων.

3.6 Ιδιότητες χρωμάτων

3.6.1 Γενικά

Η επιφανειακή προστασία του σκυροδέματος (οπλισμένου ή μη) με χρώματα είναι πολύ συνηθισμένη μέθοδος προστασίας. Εκτός από την προστασία από τη φθορά, τα χρώματα έχουν και αξιόλογα αισθητικά αποτελέσματα. Έχουν, ακόμη, το πλεονέκτημα να μην αυξάνουν το βάρος της κατασκευής. Είναι φανερό ότι οι επιβλαβείς επιδράσεις του περιβάλλοντος στο σκυρόδεμα ενεργούν και στην οργανική επικάλυψη. Εκτός, όμως, από αυτές τις επιδράσεις, το χρώμα πρέπει να αντιμετωπίσει:

- την αυξημένη αλκαλικότητα του σκυροδέματος
- την ανταλλαγή της υγρασίας του περιβάλλοντος με το σκυρόδεμα
- τη διάβρωση του οπλισμού του σκυροδέματος

Το νερό υπάρχει στο σκυρόδεμα για πολλούς λόγους. Το νερό που προέρχεται από το έδαφος μεταφέρει άλατα. Εκεί όπου αυτό εξατμίζεται προκαλεί εξασθενίσεις αλάτων. Τα άλατα εξασθένισης έχουν επιπτώσεις στην αντοχή των χρωμάτων. Οι απαιτήσεις τις οποίες πρέπει να πληροί μία οργανική επικάλυψη προστατευτική του σκυροδέματος, γενικά, είναι:

- να παρεμποδίζει την είσοδο του νερού

- να παρεμποδίζει την είσοδο των CO₂ και SO₂
- να έχει υψηλή διαπερατότητα σε υδρατμούς
- να είναι ανθεκτική σε υψηλή αλκαλικότητα και στην παρουσία αλάτων
- να έχει υψηλή συνάφεια με το σκυρόδεμα, ακόμα και εάν είναι βρεγμένο
- να έχει ανθεκτικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία
- να έχει διεισδυτική ικανότητα στους πόρους του σκυροδέματος
- να έχει ελαστικότητα, ώστε να ακολουθεί τις παραμορφώσεις της επιφάνειας χωρίς να κάνει ρωγμές

Η ταυτόχρονη εκπλήρωση όλων των παραπάνω απαιτήσεων είναι δύσκολη. Η βαρύτητα σε κάθε μία απαίτηση πρέπει να συμφωνεί με τις απαιτήσεις της κατασκευής, την οποία πρόκειται να προστατεύσει η οργανική επικάλυψη. Επιπλέον, ένα χρώμα οφείλει να ικανοποιεί απαιτήσεις που είναι μεταξύ τους αντίθετες και εξουδετερώνονται (υδρατμοπερατότητα έναντι αδιαβροχοποίησης, πορώδες διαπνοής έναντι δυνατότητας αυτοκαθαρισμού, ελαστικότητα έναντι μηχανικών αντοχών απότριψης, κ.α.).

Στη συνέχεια, ακολουθεί εκτενής αναφορά στις πιο σημαντικές ιδιότητες των χρωμάτων, μεταξύ των οποίων περιγράφονται και αυτές που αποτελούν το αντικείμενο μελέτης της μεταπτυχιακής εργασίας. [31]

3.6.2. Καλυπτικότητα

Η καλυπτική ικανότητα του χρώματος είναι, απόλυτα, ταυτισμένη με την ποσότητα του χρώματος και του αριθμού των επιστρώσεων που απαιτούνται για την αποτελεσματική κάλυψη μιας επιφάνειας. Η καλυπτική ικανότητα ενός υψηλής ποιότητας λευκού χρώματος είναι, άμεσα, συνδεδεμένη με την ποιότητα και το ποσοστό τιτανίου που περιέχει. Στην περίπτωση των αποχρώσεων, η καλυπτικότητα συνδέεται με την ποιότητα και ποσότητα των χρωστικών.

Η μέθοδος, βάσει του προτύπου *ISO 2814 -1973*, εξετάζει την καλυπτική ικανότητα ενός χρώματος, με βάση το λόγο αντίθεσης που παρουσιάζει η κάλυψη του χρώματος πάνω σε μαύρη και άσπρη επιφάνεια. Σύμφωνα με το προαναφερθέν πρότυπο, για να έχει ένα πλαστικό χρώμα μια, ελάχιστα, αποδεκτή καλυπτική ικανότητα, πρέπει ο λόγος αντίθεσης να είναι μεγαλύτερος του 0,95. [15]

3.6.3 Πρόσφυση

Ανεπαρκής πρόσφυση του χρώματος συνεπάγεται αποκόλληση (ξεφλούδισμα) του υλικού σε μικρό, σχετικά, χρονικό διάστημα. Αντίθετα, υψηλή τιμή πρόσφυσης, πέρα από τη μακροχρόνια αντοχή, συνεπάγεται και ικανότητα του

επιχρίσματος να αντεπεξέλθει σε τυχόν αντίξοες συνθήκες που θα εμφανιστούν στη διάρκεια ζωής του χρώματος (παροδική ύπαρξη υγρασίας στο υπόστρωμα). Η ικανότητα πρόσφυσης σχετίζεται με τη διεισδυτικότητα και συνάφεια που έχει ένα επίχρισμα με την επιφάνεια πάνω στην οποία εφαρμόζεται. Η χρησιμοποίηση ειδικών ασταριών με υψηλή διεισδυτικότητα και συνάφεια με το υπόστρωμα, προτείνεται, πάντα, για την ενδυνάμωση του υποστρώματος και την καλύτερη πρόσφυση του τελικού στρώματος.

Η δοκιμασία, βάσει του προτύπου *ASTM D4541*, εξετάζει την πρόσφυση ενός χρώματος στην επιφάνεια στην οποία εφαρμόζεται, μετρώντας την ελάχιστη τάση εφελκυσμού που απαιτείται για να αποκολληθεί ή να σπάσει το εφαρμοσθέν χρώμα. Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό, ένα επίχρισμα που εξασφαλίζει την καλή μακροχρόνια πρόσφυση πρέπει να έχει μέση τιμή 5 μετρήσεων μεγαλύτερη του 2 MPa και καμία μικρότερη του 1,5 MPa.

3.6.4 Ελαστικότητα

Χαμηλή ελαστικότητα (υψηλή διάμετρος άξονα κάμψης) συνεπάγεται αυξημένο κίνδυνο δημιουργίας ρηγματώσεων, ιδιαίτερα σε ανάγλυφες επιφάνειες ή σε μεγάλα πάχη εφαρμογής. Αυτό, πέρα από το κακό αισθητικό αποτέλεσμα, σημαίνει και μείωση της προστασίας, λόγω της δυνατότητας εισροής νερού στο υπόστρωμα, μέσω των μικρορωγμών του χρώματος.

Το πρότυπο *DIN 53152* εξετάζει την ελαστικότητα του χρώματος, με βάση την ικανότητα κάμψης μεταλλικού δοκιμίου γύρω από ένα κυλινδρικό άξονα συγκεκριμένης διαμέτρου.

Τα χρώματα, για να εξασφαλίζουν μακροχρόνια αντοχή στις διαφόρων ειδών μικρορηγματώσεις, πρέπει να έχουν τιμές ελαστικότητας μικρότερες των 4 mm κατά *DIN5315*.

3.6.5 Επιταχυνόμενη γήρανση

Η ηλιακή ακτινοβολία, η ζέστη, η υγρασία και η βροχή προκαλούν φωτοχημικές και μηχανικές αλλοιώσεις στα χρώματα, λόγω της καταστροφικής τους δράσης, κυρίως, πάνω στο συνδετικό υλικό του χρώματος (binder), αλλά και στα άλλα υλικά που περιέχονται στο χρώμα. Τα προβλήματα που μπορούν να υπάρξουν σε ένα ματ πλαστικό χρώμα εξωτερικής προστασίας είναι κιμωλίαση (chalking), σκασίματα, φουσκώματα, ξεφλουδίσματα, καθώς και αλλοίωση της απόχρωσης.

Η αντοχή ενός υδατικού χρώματος στην επιταχυνόμενη γήρανση και, κατ' επέκταση στις κλιματολογικές συνθήκες, εξαρτάται από τη συνταγή του χρώματος και, κυρίως, από την ποιότητα του συνδεδετικού μέσου, του τιτανίου και των χρωστικών, στην περίπτωση των αποχρώσεων. Το συνδεδετικό μέσο στα χρώματα εξωτερικής προστασίας πρέπει να είναι καλής ποιότητας ακρυλική ρητίνη, λόγω της ιδιαίτερης αντοχής που έχουν στην ηλιακή ακτινοβολία.

Το πρότυπο *ASTM G53-57* εξετάζει την αντοχή του χρώματος στις κλιματολογικές συνθήκες, με βάση το χρόνο αντοχής των δοκιμών σε προγραμματισμένους κύκλους ακτινοβολίας UV και υγρασίας, σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. Βάσει του προτύπου αυτού, ένα χρώμα εξωτερικής προστασίας πρέπει να έχει ελάχιστο χρόνο αντοχής στο QUV τις 1500 hrs, για να προσφέρει αξιόπιστη και μακροχρόνια προστασία.

3.6.6. Μέτρηση του πορώδους του επιχρίσματος

Το πορώδες ενός χρώματος συνδέεται, άμεσα, με τη δυνατότητα διαφόρων ρύπων που υπάρχουν σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους να διεισδύσουν στο χρώμα, καθώς και με τη δυσκολία απομάκρυνσής τους. Επιπλέον, το πορώδες συνδέεται με το βαθμό διείσδυσης μιας επίστρωσης στην προηγούμενη.

Σύμφωνα με το πρότυπο *ASTM D3258-80*, το πορώδες μιας οργανικής επικάλυψης εξετάζεται με βάση τη μείωση της επιφανειακής ανακλασιμότητας που προκαλείται από το λέρωμα ενός λευκού χρώματος, με υλικό βρομίσματος υψηλής διεισδυτικότητας. Βάσει του προτύπου αυτού, για να εξασφαλίζει ένα πλαστικό χρώμα καλό μακροχρόνιο αισθητικό αποτέλεσμα, πρέπει να έχει τιμή πορώδους μικρότερη του 5.

3.6.7 Αντοχή πλυσίματος

Η αντοχή ενός χρώματος, είτε αυτό είναι εσωτερικής είτε εξωτερικής χρήσεως, στον καθαρισμό με πλύση και τριβή είναι ιδιαίτερα σημαντική, αφού αυτή είναι μια βασική διεργασία στον κύκλο συντήρησης κάθε χρώματος. Επιπλέον, στην περίπτωση χρώματος εξωτερικής προστασίας αυτό σημαίνει αντοχή σε προσπίπτουσα βροχή ωθούμενη από δυνατό άνεμο.

Το πρότυπο *DIN 53778* εξετάζει την ικανότητα ενός χρώματος να αντέξει στη μηχανική καταπόνηση που ασκείται κατά το πλύσιμο της επιφάνειάς του με σκληρή βούρτσα, χωρίς να αποκαλυφθεί το υπόστρωμα. Κατά το πρότυπο αυτό, ένα χρώμα που αντέχει σε μηχανική καταπόνηση με τριβή μεγαλύτερη από 15000 στροφές,

προσφέρει το πλεονέκτημα της πλενόμενης επιφάνειας και της υψηλής αντοχής σε αλληπάλληλους κύκλους συντήρησης.

3.6.8 Αντοχή στα αλκάλια

Η αντοχή ενός πλαστικού χρώματος στα αλκάλια είναι ιδιαίτερα σημαντική, λόγω του γεγονότος ότι οι περισσότερες επιφάνειες στις οποίες εφαρμόζονται (εμφανές μπετόν, σοβάς) παρουσιάζουν, ιδιαίτερα, υψηλή αλκαλικότητα. Επιπλέον, τα διάφορα οικιακά καθαριστικά, τα οποία χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό επιφανειών, είναι αλκαλικής βάσης.

Το πρότυπο *ASTM D 1308* εξετάζει την αντοχή ενός επιχρίσματος σε αλκαλικό περιβάλλον, με βάση την εναπόθεση διαλύματος NaOH στην επιφάνειά του. Ένα πλαστικό χρώμα έχει καλές αντοχές στα αλκάλια, όταν, μετά την εναπόθεση NaOH 0,5% στην επιφάνειά του για 4 ώρες, δεν παρουσιάζει προβλήματα, όπως μαλάκωμα, φουσκάλιασμα, αποκόλληση και αποχρωματισμό. Βάσει, δε, του *ΕΛΟΤ 788*, στο σημείο προσβολής με τα αλκάλια, δεν πρέπει να παρατηρείται καμία αλλαγή της απόχρωσης, εκτός από μια ελαφρότατη μεταβολή της στιλπνότητας και της ανακλαστικότητας.

3.6.9 Συμπεριφορά στη φωτιά

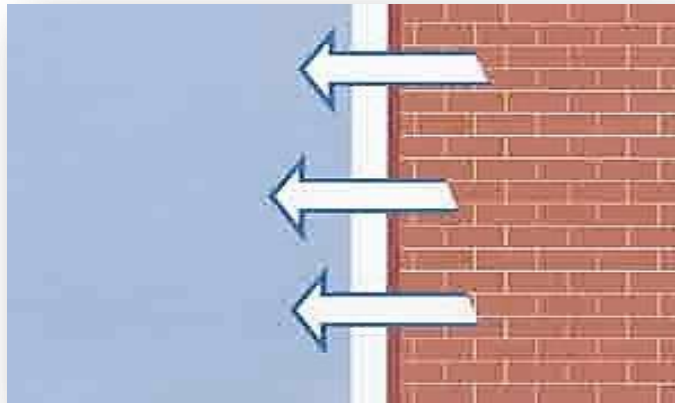
Ένα πλαστικό χρώμα, το οποίο έχει μικρή αναφλεξιμότητα σαν επίχρισμα και, κατά την καύση του, εκλύεται μικρό ποσό θερμότητας, δε συμβάλλει στην εξάπλωση της φωτιάς. Με αυτόν τον τρόπο, συνεισφέρει στην πυροπροστασία του κτιρίου, στο οποίο έχει εφαρμοστεί.

Το πρότυπο *BS 476* εξετάζει τη συμπεριφορά ενός επιχρίσματος στη φωτιά, με βάση την ταχύτητα εξάπλωσης της φλόγας και της θερμότητας που εκλύεται κατά την καύση του δοκιμίου. Η συμπεριφορά ενός χρώματος στη φωτιά εξετάζεται πάντα σε συνάρτηση με το συγκεκριμένο υπόστρωμα, πάνω στο οποίο έχει εφαρμοστεί. Ένα πλαστικό χρώμα, το οποίο εφαρμόζεται σε μη καιγόμενες δομικές επιφάνειες (σοβάς, μπετόν), πρέπει να καλύπτει τις απαιτήσεις Class 1 κατά *BS 476*, ώστε να θεωρείται ότι έχει ικανοποιητική συμπεριφορά στη φωτιά.

3.6.10 Υδρατμοπερατότητα

3.6.10.1 Εισαγωγή

Ένα ιδανικό χρώμα λειτουργεί σαν βαλβίδα πάνω στην πρόσοψη, επιτρέποντας στον υδρατμό να περάσει από μέσα προς τα έξω, αλλά αποκλείοντας τη διείσδυση νερού, από έξω προς τα μέσα. Είναι, επομένως, υδρατμοπερατό, αλλά μη υδατοπερατό.



Εικόνα 5: Υδρατμοπερατότητα τοίχου

Η διαπερατότητα των υδρατμών σχετίζεται με το ότι οι πόροι / τριχοειδή δε φράζουν, αλλά αποκτούν αρνητική διαβροχή, εφόσον παραμένουν διαπερατοί στους ατμούς. Η αρνητική αυτή διαβροχή δεν πρέπει να είναι παροδική, αλλά να διαρκεί αρκετά, αφού, άλλωστε, καλείται να προστατεύσει την επιφάνεια στην οποία εφαρμόζεται η επικάλυψη, όχι, μόνο, αρχικά, αλλά και αργότερα.

Ο παράγοντας την διαπερατότητας σε υδρατμούς διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα της επικάλυψης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι εγκλωβισμένοι στα τειχία υδρατμοί δεν αφήνονται να εξέλθουν διαμέσου αυτής, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται φουσκάλες και, έπειτα, σκασίματα. [32]

Τα μεγέθη, τα οποία μετρώνται, προκειμένου να προσδιοριστεί η υδρατμοπερατότητα, αναφέρονται, αναλυτικά, παρακάτω.

1. Ρυθμός διαπερατότητας σε υδρατμούς (water vapor transmission rate, V)

Εκφράζει την ποσότητα των υδρατμών που διαπερνά μια συγκεκριμένη επιφάνεια της επικάλυψης, μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, όταν η επικάλυψη διατηρείται σε μια σταθερή θερμοκρασία και, ταυτόχρονα, οι πλευρές της εκτίθενται σε διαφορετικές (ορισμένες) τιμές σχετικής υγρασίας. Μονάδα μέτρησης στο SI είναι το γραμμάριο ανά τετραγωνικό μέτρο ανά ημέρα [$g/(m^2 \cdot d)$]

στις συνθήκες σχετικής υγρασίας που επικρατούν στις δυο πλευρές της επικάλυψης, οπότε, τότε, δηλώνεται ως *WVT*.

2. Διαπερατότητα υδρατμών (water vapor permeance, *WVP*)

Εκφράζει τη σταθερή ροή των υδρατμών ανά μονάδα χρόνου, μέσω μονάδας επιφάνειας της επικάλυψης (*WVT*), διαιρεμένη με τη διαφορά της πίεσης ατμών (Δp), μεταξύ των δυο επιφανειών.

$$WVP = \frac{WVT}{\Delta p} \quad (\text{εξίσωση 3.1})$$

Μονάδα μέτρησης SI είναι το γραμμάριο ανά τετραγωνικό μέτρο ανά 24 h ανά χιλιοστό στήλης υδραργύρου (metric perm).

3. Συντελεστής υδρατμοπερατότητας (water-vapor permeation coefficient, δ)

Είναι το μέτρο της μάζας των υδρατμών που διαπερνά το δοκίμιο, ως αποτέλεσμα της κλίσης της σχετικής πίεσης των υδρατμών, μέσα στο δοκίμιο, ανά μονάδα επιφάνειας, χρόνου και πίεσης. Εκφράζεται σε $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$.

4. Παράγοντας αντίστασης υδρατμών (moisture resistance factor, μ)

Ισούται με το συντελεστή υδρατμοπερατότητας του αέρα, δ_L , διαιρεμένο με αυτόν του υπό μελέτη υλικού. Δείχνει πόσες φορές μεγαλύτερη είναι η αντίσταση των υδρατμών του υλικού, σε σχέση με την αντίσταση ακίνητου στρώματος αέρα του ίδιου πάχους και στην ίδια θερμοκρασία. Ο παράγοντας « μ », είναι αδιάστατο μέγεθος.

5. Συντελεστής διαπερατότητας υδρατμών-ισοδύναμου πάχους αέρα, s_d)

Εκφράζει το πάχος του ακίνητου στρώματος αέρα που έχει, κάτω από τις ίδιες συνθήκες, την ίδια αντίσταση υδρατμών με αυτήν της επικάλυψης πάχους s . Αυτή δίνεται σε μέτρα, m , σύμφωνα με την εξίσωση: [33,34]

$$s_d = \mu * s \quad (\text{εξίσωση 3.2})$$

3.6.10.2 Διατύπωση μαθηματικών μοντέλων για τον καθορισμό της συμπεριφοράς της διάχυσης – Νόμοι Fick

Διάχυση είναι η διαδικασία που ευθύνεται για τη μεταφορά μάζας από ένα σημείο ενός συστήματος σε ένα άλλο και πραγματοποιείται, κυρίως, λόγω τυχαίων κινήσεων των μορίων. [35] Στα αέρια, τα φαινόμενα διάχυσης είναι ταχύτατα (10 cm/min), ενώ, είναι, αρκετά, πιο αργά στα υγρά (0,05 cm/min) και στα στερεά (0,00001 cm/min). Η διάχυση εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από τη θερμοκρασία, την πίεση και το μέγεθος της διαχεόμενης ουσίας. Στα στερεά, οι συντελεστές διάχυσης

λαμβάνουν τιμές που καλύπτουν μια ευρεία περιοχή, καθώς μπορεί να διαφέρουν κατά 10^{10} . Συνεπώς, η διάχυση σε στερεά είναι δύσκολο να εκτιμηθεί με θεωρητικά μοντέλα.

Η πρώτη μαθηματική έκφραση της διάχυσης καθιερώθηκε από το Fick, ο οποίος ανέπτυξε τον πρώτο και το δεύτερο νόμο για τη διάχυση σε πολλά συστήματα [33].

$$J = -Aj = -AD \frac{\partial c}{\partial z} \quad 1^{\text{ος}} \text{ Νόμος του Fick (εξίσωση 3.3α)}$$

Στην περίπτωση διάχυσης, χωρίς συναγωγή θερμότητας, και σε μια μοναδιαία επιφάνεια, η εξίσωση 3.3α μπορεί να γραφτεί και ως εξής:

$$J = -D \frac{\partial c}{\partial z} \quad (\text{εξίσωση 3.3β})$$

$$\frac{dc}{dx} = \frac{d}{dx} \left[D \frac{\partial c}{\partial z} \right] \quad 2^{\text{ος}} \text{ Νόμος του Fick (εξίσωση 3.4)}$$

όπου:

J : η ροή

j : η ροή ανά μονάδα επιφάνειας

A : η επιφάνεια δια μέσου της οποίας λαμβάνει χώρα η διάχυση

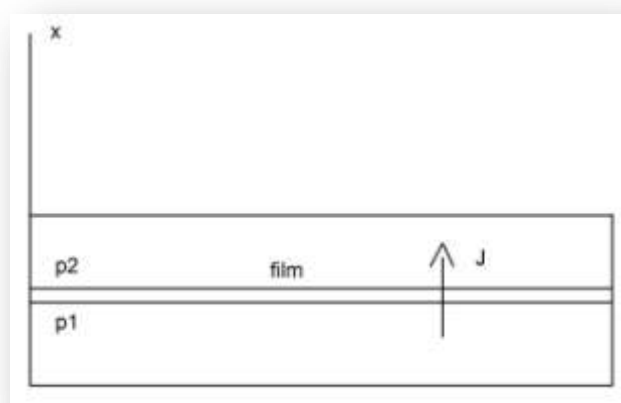
D : ο συντελεστής διάχυσης

c : η συγκέντρωση

z : η απόσταση

$\frac{\partial c}{\partial z}$: το βαθμωτό άνωσμα της συγκέντρωσης, κατά μήκος του άξονα z

Σύμφωνα με τον 1^ο Νόμο του Fick, ο ρυθμός J είναι ανάλογος της διαφορικής κλίσης της συγκέντρωσης. Η υδρατμοπερατότητα υπολογίζεται υπό συνθήκες μόνιμης κατάστασης, σύμφωνα με το σχήμα:



Τότε, η κλίση της συγκέντρωσης είναι γραμμική και η πυκνότητα της ροής δίνεται από την απλοποιημένη σχέση:

$$J = D \left[D \frac{c_1 - c_2}{l} \right] \quad (\text{εξίσωση 3.5})$$

όπου:

c_1 και c_2 : οι συγκεντρώσεις του αερίου στις δυο επιφάνειες της επικάλυψης
 l : το πάχος της επικάλυψης

Στις περισσότερες των περιπτώσεων, είναι πιο εύκολο να υπολογίσει κανείς τη μερική πίεση του αερίου σε κάθε πλευρά του φιλμ του υλικού, από το να υπολογίσει τη συγκέντρωση στην επιφάνεια του φιλμ. Για το λόγο αυτό, προτιμάται η τελευταία εξίσωση να εκφραστεί συναρτήσει των μερικών πιέσεων, p_1 και p_2 , της κάθε πλευράς της επικάλυψης.

$$J = D \left[D \frac{p_1 - p_2}{l} \right] \quad (\text{εξίσωση 3.6})$$

Ο συντελεστής P είναι ο συντελεστής διαπερατότητας, δηλαδή η ταχύτητα ανά μονάδα επιφάνειας, με την οποία το αέριο διαπερνά μέσω φιλμ ενιαίου πάχους και υπό διαφορά πίεσης ίσης με μια μονάδα.

Θεωρώντας ότι ισχύει ο Νόμος του Henry, η σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης του αερίου στην επιφάνεια του φιλμ και της πίεσης ατμών στην αέρια φάση δίνεται από την εξίσωση:

$$C = S * p \quad (\text{εξίσωση 3.7})$$

όπου S είναι ο συντελεστής διαλυτότητας.

Από το συνδυασμό των εξισώσεων 3.5, 3.6, 3.7, προκύπτει σχέση μεταξύ του συντελεστή διαπερατότητας, του συντελεστή διάχυσης και του συντελεστή διαλυτότητας:

$$P = D * S \quad (\text{εξίσωση 3.8})$$

Συνεπώς, προκύπτει ότι η διαπερατότητα είναι προϊόν της διάχυσης και της διαλυτότητας. Η εξίσωση 3.8 περιγράφει την απλούστερη περίπτωση, κατά την οποία, τόσο το D όσο και το S είναι σταθερές, ανεξάρτητες από τη συγκέντρωση και το χρόνο. Το γεγονός αυτό περιπλέκει, τόσο τη μαθηματική αντιμετώπιση του θέματος, όσο και τις μετρήσεις των ιδιοτήτων μεταφοράς. Πειραματικά, η απώλεια βάρους υπολογίζεται συναρτήσει του χρόνου από την εξίσωση:

$$M_t = J * t = \frac{P(p_1 - p_2)}{l} \quad (\text{εξίσωση 3.9})$$

Απεικονίζοντας, γραφικά, το M_t συναρτήσει του t , μπορεί να υπολογιστεί το P . [33]

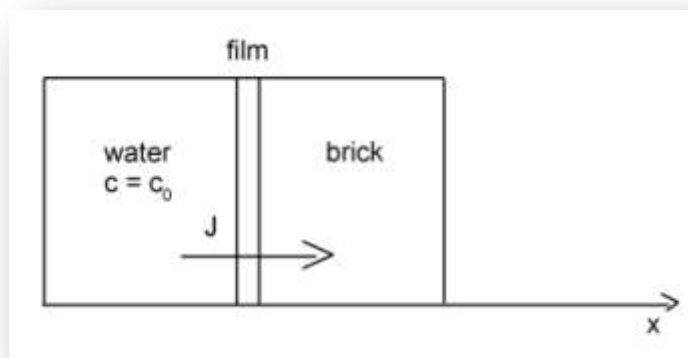
3.6.11 Υδατοπερατότητα

3.6.11.1 Εισαγωγή

Ένα χρώμα εξωτερικής προστασίας με μικρή υδατοπερατότητα (αδιάβροχο) εξασφαλίζει την αποτελεσματική προστασία της επιφάνειας από το νερό της βροχής, την εξωτερική υγρασία και τον παγετό. Επιπροσθέτως, εμποδίζεται η διείσδυση των υδατοδιαλυτών ρύπων, καθώς και των επικίνδυνων για τα δομικά στοιχεία υδατοδιαλυτών ουσιών, στους πόρους του χρώματος και στην επιφάνεια. Επομένως, σε ένα «ιδανικό» χρώμα λαμβάνει χώρα ο φωτοχημικός καθαρισμός του. Λόγω του ότι η διείσδυση νερού είναι αδύνατη μέσα στο χρώμα αυτό, αποκλείεται και η απόθεση υδατοδιαλυτού ρύπου στους πόρους του. Οι σταγόνες νερού αποθέτουν το ρύπο μόνο επιφανειακά και αυτός χάνει φωτοχημικά, με τη βοήθεια του ήλιου, την πρόσφυσή του, ώστε να ξεπλένεται με την επόμενη βροχή. Η πρόσφυση παραμένει, έτσι, «φρεσκοβαμμένη» για πολλά χρόνια. [31]

3.6.11.2 Διατύπωση μαθηματικών μοντέλων για τον καθορισμό της συμπεριφοράς της διάχυσης – Νόμοι Fick

Προκειμένου να προσδιοριστεί η υδατοπερατότητα, χρησιμοποιείται το παρακάτω σχήμα. Στην περίπτωση αυτή, οι πειραματικές συνθήκες που επικρατούν δεν είναι μόνιμης κατάστασης. [36]



Η λύση του Νόμου του Fick, υπό αυτές τις συνθήκες, οδηγεί στην εξίσωση:

$$M_t = J * t = 2C_0 * \left(\frac{Dt}{\pi}\right)^{0,5} \quad (\text{εξίσωση 3.10})$$

όπου:

M_t : η αύξηση του βάρους του υλικού, λόγω απορρόφησης ύδατος.

Απεικονίζοντας, γραφικά, το M_t συναρτήσει του $t^{0,5}$, από την κλίση του γραφήματος υπολογίζεται ο συντελεστής υδατοπερατότητας, W , για τον οποίο ισχύει:

$$W = \frac{\pi}{2C_0 \sqrt{D}} \quad (\text{εξίσωση 3.11})$$

3.6.12 Διαπερατότητα σε χλωριόντα

Ένα ιδανικό χρώμα οφείλει να δρα ως φράγμα εισόδου χλωριόντων στην επικαλυπτόμενη επιφάνεια, για παράδειγμα του οπλισμένου σκυροδέματος.

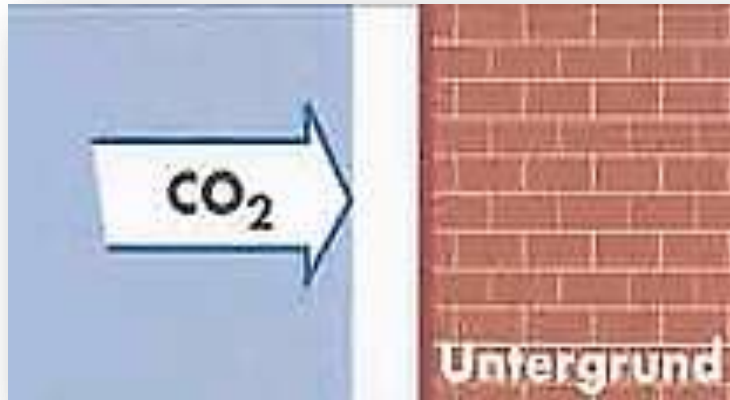
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο ρόλος των ιόντων χλωρίου στην πρόκληση της διάβρωσης και της ενίσχυσης του ρεύματος διάβρωσης είναι σημαντικός. Εάν τα χλωριόντα βρίσκονται σε επαρκή ποσότητα, καταστρέφουν το παθητικό στρώμα οξειδίων, προκαλώντας διάβρωση του χάλυβα. Με δεδομένο ότι, περίπου, τα 2/5 των κατασκευών από σκυρόδεμα, παγκοσμίως, εκτίθενται σε θαλάσσιο περιβάλλον [37], γίνεται εύκολα αντιληπτό το πόσο σημαντικό είναι ένα χρώμα να είναι, όσο το δυνατόν, λιγότερο διαπερατό από χλωριόντα.

3.6.13 Διαπερατότητα CO₂

Ένα ιδανικό χρώμα οφείλει να λειτουργεί ως φράγμα ενανθράκωσης της επικαλυπτόμενης επιφάνειας, για παράδειγμα του οπλισμένου σκυροδέματος. Με τον τρόπο αυτό παρεμποδίζεται η φθορά τόσο του σκυροδέματος, όσο και του οπλισμού. Το CO₂ της ατμόσφαιρας προκαλεί ενανθράκωση του σκυροδέματος. Εκτός, όμως, από την προσβολή του σκυροδέματος, λαμβάνει χώρα και διάβρωση του οπλισμού. Τα δύο αυτά είδη διάβρωσης δεν είναι ανεξάρτητα. Εάν δηλαδή, το σκυρόδεμα διαβρώνεται, τότε, αργά ή γρήγορα, το περιβάλλον θα φτάσει στον οπλισμό και θα τον διαβρώσει.

Αποτελέσματα σχετικής έρευνας έδειξαν ότι καθοριστικό στην διαπερατότητα του αερίου διοξειδίου του άνθρακα διαδραματίζει το μέγεθος των πόρων του σκυροδέματος, όταν η ακτίνα τους είναι μεγαλύτερη από 500nm. Όταν, όμως, στην επιφάνεια εφαρμόζεται ένα χρώμα, ο αριθμός των μεγάλων πόρων (αυτών με ακτίνα μεγαλύτερη από 500nm) ελαττώνεται σημαντικά. Το ίδιο συμβαίνει και με τη διαπερατότητα του αερίου.

Όταν εφαρμόζεται μια επικάλυψη σε επιφάνεια σκυροδέματος, δημιουργείται ένας υμένας με τον οποίο κλείνει τους τριχοειδείς πόρους της επικαλυπτόμενης επιφάνειας. Με τον τρόπο αυτό, μειώνεται η διαπερατότητα των αερίων και προστατεύεται, αποτελεσματικά, το σκυρόδεμα.



Εικόνα 6: Αναστολή εισόδου CO₂ σε τοίχο

Η ικανότητα ενός χρώματος εξωτερικής προστασίας να λειτουργεί ως φράγμα διοξειδίου του άνθρακα είναι ιδιαίτερα σημαντική για το εμφανές μπετόν, λόγω της ιδιότητας του CO₂ να εξουδετερώνει την αλκαλικότητα του σκυροδέματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ενανθράκωση του σκυροδέματος που οδηγεί στην οξείδωση - διόγκωση του οπλισμού του και, τελικά, στην αποκόλληση θραυσμάτων και επιτάχυνση του φαινομένου. [1]

3.7 Αστοχία Χρώματος

3.7.1 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.

3.7.1.1 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 στη βαμμένη επιφάνεια, επηρεάζοντας την εμφάνισή της και την απόδοση του συστήματος.

3.7.1.2 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 δε 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.

3.7.1.3 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 δε «στρώνει» καλά και δεν κλείνουν τα σημάδια του πινέλου. Το ίδιο συμβαίνει αν χρησιμοποιηθεί πινέλο για την εφαρμογή ταχύστεγνου χρώματος πιστολιού.

3.7.1.4 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.

3.7.1.5 Ανεπαρκές πάχος βαφής

Συνήθως, αποτέλεσμα λανθασμένης τεχνικής βαφής ή ελέγχου (ελλιπής χρήση παχυμέτρου). 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 ό,τι 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.

3.7.1.6 Υπερβολικό πάχος βαφής

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

3.7.1.7 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 την εφαρμογή της επόμενης στρώσης. Σε αντίθετη περίπτωση, μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρη οξείδωση (rinpoint rusting) στη συγκεκριμένη περιοχή. Προτείνεται 50% αλληλοεπικάλυψη για κάθε πέρασμα, ώστε να αποφεύγεται το φαινόμενο αυτό.

3.7.1.8 Κυκλικά κενά (Fish Eyes) - Κακή διαβροχή

Ορισμένες περιοχές της επιφάνειας δε διαβρέχονται, σωστά, από το χρώμα. Οφείλεται, συνήθως, σε μόλυνση της επιφάνειας από λάδια, γράσα, σκόνη, υγρασία, σιλικόνη κλπ.

3.7.1.9 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.

3.7.1.10 Blooming (ή amine blooming)

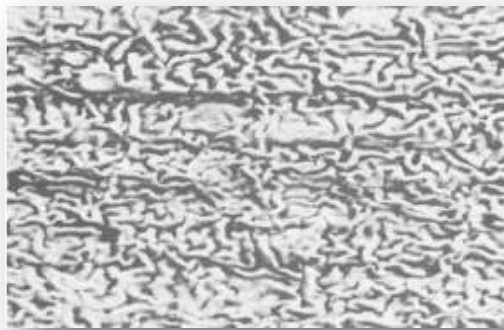
Εποξειδικά χρώματα, ειδικά όσα αντιδρούν με αμίνες, είναι, ιδιαίτερα, επιρρεπή σε ελλιπή αντίδραση σε ψυχρές συνθήκες με υψηλή υγρασία. Λαμβάνει χώρα αντίδραση, η οποία εμφανίζει λευκούς λεκέδες στην επιφάνεια του χρώματος. Οι λεκέδες αυτοί είναι υδατοδιαλυτοί και πρέπει να αφαιρούνται με καθαρό ζεστό νερό και πανιά, πριν την επαναβαφή, για την αποφυγή ελλιπούς πρόσφυσης μεταξύ των στρώσεων.

3.7.2 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.

3.7.2.1 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.



Εικόνα 7: Ζάρωμα χρώματος

3.7.3 Προβλήματα και αστοχίες μετά την εφαρμογή

3.7.3.1 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.

3.7.3.2 Αποχρωματισμός

Παραπλήσιο φαινόμενο με αυτό της μετανάστευσης, η οποία, επίσης, προκαλεί αποχρωματισμό. Οφείλεται, συχνά, στη ρητίνη που έχει χρησιμοποιηθεί στο χρώμα. Άλλες ρητίνες κιτρινίζουν στον ήλιο, ενώ άλλες στο σκοτάδι. 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 στο σκοτάδι. Έτσι, όταν αυτά τα δύο χρώματα είναι δίπλα το ένα με το άλλο, η διαφορά γίνεται εμφανέστερη.

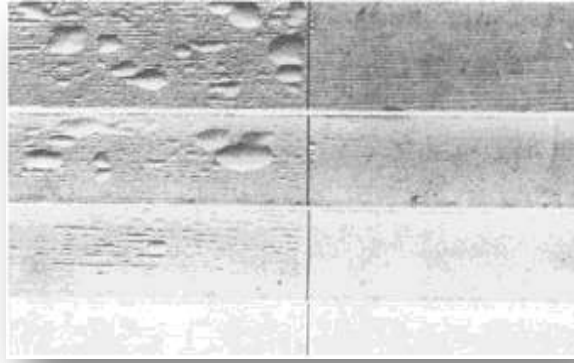
3.7.3.3 Φλύκταινες - Φυσαλίδες

Από τις πιο συνήθεις αστοχίες, συσχετίζεται με την πρόσφυση του χρώματος. Ορισμένες φορές οι φυσαλίδες είναι ξηρές και, άλλες φορές, 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:

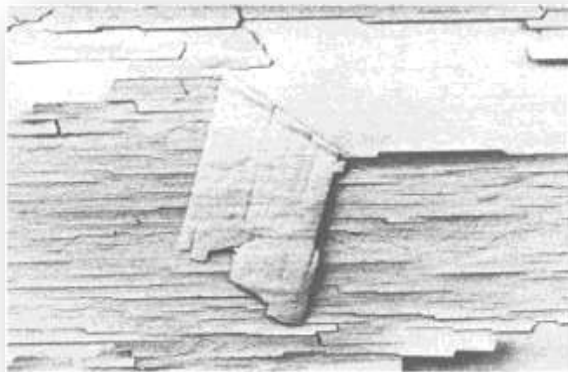
- Ώσμωση από διαλυτά πιγμέντα ή άλλα συστατικά, τα οποία απορροφούν υγρασία, διαμέσου του υμένα. Επίσης, οφείλεται σε διαλυτά άλατα που μολύνουν το υπόστρωμα ή την επιφάνεια μεταξύ των στρώσεων
- Μόλυνση της επιφάνειας από άλλα υλικά που εμποδίζουν την πρόσφυση του χρώματος (λάδια, σκόνη, κεριά κλπ). 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, να αυξήσουν την προσρόφηση υγρασίας και να οδηγήσουν σε δημιουργία φυσαλίδων. Συνοδεύεται από οσμή διαλύτη



Εικόνα 8: Φλύκταινες – Φυσαλίδες χρώματος

3.7.3.4 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.



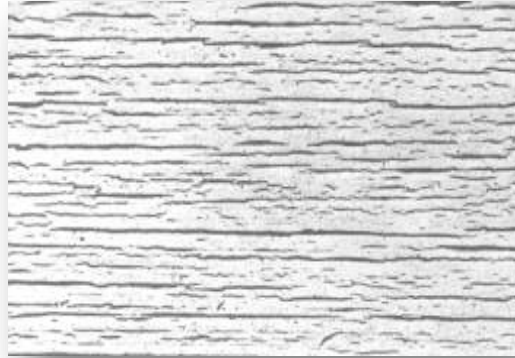
Εικόνα 9: Αποφολίδωση – ξεφλούδισμα χρώματος

3.7.3.5 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, δε 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 στη θερμοκρασία που προκαλούν συστολοδιαστολές.

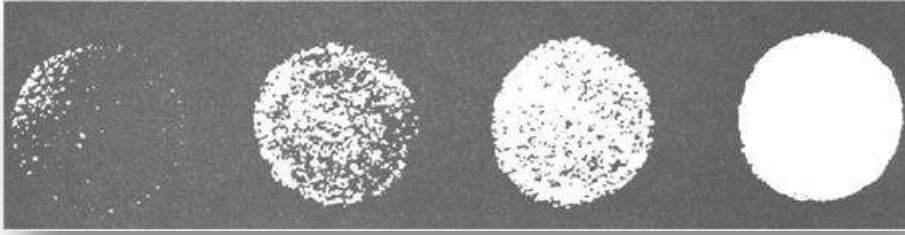


Εικόνα 10: Ρηγμάτωση χρώματος

- **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.

3.7.3.6 Κιμωλίαση

Καθαρά επιφανειακό φαινόμενο, οφείλεται, κυρίως, στην υπεριώδη ακτινοβολία του ηλιακού φωτός. Εμφανίζεται, σπάνια, σε σκιασμένες περιοχές. Υγρασία, οξυγόνο και ατμοσφαιρική ρύπανση, επίσης, παίζουν ρόλο στην εμφάνιση του φαινομένου. Τα ανωτέρω αντιδρούν με το φορέα (ρητίνη) του χρώματος, αποδομώντας τον και αφήνουν τα πιγμέντα του χρώματος στην επιφάνεια, σχεδόν σαν σκόνη. Τα εποξειδικά χρώματα υφίστανται κιμωλίαση με πολύ μεγάλη ταχύτητα. Φορείς, όπως τα ακρυλικά και οι πολυουρεθάνες, επηρεάζονται λίγο από την ακτινοβολία του ηλίου και δεν παρουσιάζουν, εύκολα, κιμωλίαση.



Εικόνα 11: Βαθμοί κιμωλίασης

3.7.3.7 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.

3.7.3.8 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.

3.7.3.9 Συγκόλληση (blocking)

Εμφανίζεται, συνήθως, σε ξύλινες επιφάνειες, όπως τα παράθυρα. Όταν δύο 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.

II. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Πρώτες Ύλες - Παρασκευή Δοκιμίων

4.1 Πρώτες ύλες

Για τη μελέτη των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των χρωμάτων, παρασκευάστηκαν δοκίμια τσιμεντοκονιάματος και δοκίμια από ειδικό χαρτί. Παρακάτω, αναφέρονται, αναλυτικά, οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν και οι μέθοδοι παρασκευής, καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των χρωμάτων που μελετήθηκαν.

4.1.1 Τσιμεντοκονιάματα

Τα υλικά του σκυροδέματος, δηλαδή το τσιμέντο, τα αδρανή και το νερό, πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις ποιότητας, καθώς και την αναλογία που προδιαγράφεται.

Η αναλογία της σύστασης των δοκιμίων τσιμεντοκονιάματος σε τσιμέντο (*Cement*), αδρανή (*Aggregates*), και νερό (*Water*) που εφαρμόστηκε για να ανταποκρίνεται στα πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη των χρωμάτων είναι $C/A/W = 1/3/0,55$.

Τσιμέντο

Το τσιμέντο το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι τύπου *CEM II 32,5 N* και η ακριβής σύστασή του δίνεται στον πίνακα 5.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	CaO _(f)	LOI
20.67	4.99	3.18	63.60	2.73	0.37	0.29	2.414	2.41	2.52

Πίνακας 5: Σύσταση τσιμέντου *CEM II 32,5 N*

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 τεχνητή ποζολάνη. Ο αριθμός 35 αναφέρεται στις μηχανικές ιδιότητες. Συγκεκριμένα, αναφέρεται ότι αναπτύσσει αντοχές σε θλίψη μεγαλύτερη από 15 N/mm² μετά το πέρας 7 ημερών, ενώ, μετά από 28 ημέρες, κυμαίνεται από 25 έως 45 N/mm². Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C 150, ο συγκεκριμένος τύπος τσιμέντου είναι γενικής χρήσης και προτιμάται όταν απαιτείται ενδιάμεση αντοχή στην επίδραση θεικών 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 με την προδιαγραφή EN 13055-1, εφ' όσον πρόκειται για ελαφροβαρή αδρανή.

Στην παρούσα εργασία, ως αδρανές υλικό, χρησιμοποιήθηκε άμμος, η οποία πληροί όλες τις απαιτούμενες προδιαγραφές. Η κοκκομετρική διαβάθμιση της άμμου που χρησιμοποιήθηκε δίνεται στον πίνακα 6.

Διάμετρος κόκκων	% Σύσταση
$4 \text{ mm} < d$	2.80
$2 \text{ mm} < d < 4 \text{ mm}$	30.60
$1 \text{ mm} < d < 2 \text{ mm}$	25.43
$500 \mu\text{m} < d < 1 \text{ mm}$	14.22
$250 \mu\text{m} < d < 500 \mu\text{m}$	9.42
$d < 250 \mu\text{m}$	16.53

Πίνακας 6: Κοκκομετρική διαβάθμιση άμμου

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 τη συντήρησή τους, χρησιμοποιήθηκε απιονισμένο νερό από το Εργαστήριο Υλικών.

4.1.2 Χρώματα

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία μελετήθηκαν, συνολικά, τρία είδη χρωμάτων: 1 “ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΟ ΧΡΩΜΑ 2 ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ”, 1 “ΧΡΩΜΑ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ 2 ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ” (για τα οποία χρησιμοποιήθηκε το ίδιο “ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΟ ΑΣΤΑΡΙ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ 2 ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ”) και 1 “ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟ ΧΡΩΜΑ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ” (για το οποίο χρησιμοποιήθηκε “ΑΣΤΑΡΙ 1 ΣΥΣΤΑΤΙΚΟΥ”).

Πρόκειται για χρώματα εξωτερικής χρήσης, τα οποία εφαρμόζονται σε διάφορα είδη επιφανειών, συμπεριλαμβανομένου και του τσιμεντοκονιάματος. Για

κάθε ένα από αυτά δίδονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του, όπως, ακριβώς, αυτά αναφέρονται στις προδιαγραφές των προϊόντων της εταιρείας

4.1.2.1 « Εποξειδικό Χρώμα 2 Συστατικών »

Περιγραφή - Χρήση

Καθαρό εποξειδικό χρώμα δύο συστατικών (pure epoxy), σκληρυνόμενο με αμίνη. Παρουσιάζει εξαιρετική αντοχή στο φρέσκο και θαλασσινό νερό, στα χημικά και στα λιπαντικά έλαια, γεωργικά φάρμακα, συντηρητικά κ.α. Είναι ιδανικό για χρήση σε βοθρολύματα και βιολογικούς καθαρισμούς, λόγω της εξαιρετικής του αντοχής σε όξινο θειούχο περιβάλλον. Κατάλληλο για μεταλλικές και τσιμεντένιες επιφάνειες. Είναι πιστοποιημένο από Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο για εσωτερική επικάλυψη υψικαμίνων και ψυκτικών πύργων, σε περιβάλλον έντονα όξινο.

Τεχνικά δεδομένα

Απόχρωση: ΛΕΥΚΟ – κατά παραγγελία
Γυαλάδα: Γυαλιστερό
Ειδικό Βάρος: A+B 1,55 kg/lit
Θεωρητική Καλυπτικότητα: 6 m ² / kg (100 μm)
Στερεά: (A+B) 95% κ.ο.
Σχέση Ανάμιξης: A-B 4-1 W/W (κατά βάρος)
Χρόνος Ζωής Μίγματος: 45-60 λεπτά (25 °C) (Με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται το pot life)
Αντοχή στη θερμοκρασία: έως 140 °C
VOC-ΠΟΕ: A: 80 g/lit, B: 0 g/lit [έτοιμο προς χρήση (A+B+5% διαλυτικό): 95 g/lit] (Πτητικές Οργανικές Ενώσεις)

Πίνακας 7: Τεχνικά δεδομένα “Εποξειδικού Χρώματος 2 Συστατικών”

Χρόνοι Ξήρανσης (100 μm, 60% σχετική υγρασία)

	Ελεύθερο σκόνης	Ξήρανσης	Επαναβαφής (ελάχιστο)	Επαναβαφής (μέγιστο)	Πλήρους σκλήρυνσης
10 °C	10 hr	24 hr	16 hr	60 hr	14 ημέρες
15 °C	7 hr	18 hr	12 hr	48 hr	10 ημέρες
25 °C	4-5 hr	12 hr	10 hr	36 hr	7 ημέρες
40 °C	2-3 hr	10 hr	8 hr	16 hr	5 ημέρες

Πίνακας 8: Χρόνοι ξήρανσης “Εποξειδικού Χρώματος 2 Συστατικών”

Οι παραπάνω χρόνοι είναι ενδεικτικοί και εξαρτώνται από το ποσοστό αραίωσης, την υγρασία και τη θερμοκρασία.

Τρόποι Εφαρμογής

Η επιφάνεια όπου θα εφαρμοστεί το υλικό πρέπει να είναι, εντελώς, στεγνή και καθαρή από σαθρά κομμάτια και ξένα σώματα, όπως σκόνες, λάδια, γράσο κ.α. Οι μεταλλικές επιφάνειες είναι καλύτερο να καθαριστούν από τη σκουριά με αμμοβολή min. Sa 2 ½. Προτείνεται, ως υπόστρωμα, εποξειδικό αστάρι N. 812 για μεταλλικές επιφάνειες και N. 850 για τσιμεντένιες. Εφαρμόζεται με αντλία πίεσεως (airless), πινέλο, ρολό. Αν είναι απαραίτητο, αραιώνεται, έως 5%, με διαλυτικό 1131. Οι βαμμένες επιφάνειες δεν πρέπει να βραχούν πριν επιτευχθεί ξήρανση.

- Προτεινόμενο πάχος film: 100-200 μm
- Θερμοκρασία εφαρμογής: 10 °C – 40 °C
- Υγρασία εφαρμογής: < 80% σχετική υγρασία

4.1.2.1.1 «Εποξειδικό Αστάρι Εμποτισμού Τσιμέντου 2 Συστατικών»

Περιγραφή – Χρήση

Εποξειδικό αστάρι δύο συστατικών για τον εμποτισμό δαπέδων τσιμέντου επαγγελματικών και βιομηχανικών χώρων, πισίνας, βιομηχανικών εγκαταστάσεων από μπετόν κ.α. Παρουσιάζει πολύ καλή πρόσφυση και υψηλή διεισδυτικότητα. Διεισδύει στο τσιμέντο, κλείνοντας τους πόρους του, με αποτέλεσμα να το προστατεύει, για μεγάλο χρονικό διάστημα, από το νερό τα όξινα και τα αλκαλικά διαλύματα και να προάγει τις μηχανικές του ιδιότητες. Δε δημιουργεί φιλμ. Είναι πιστοποιημένο από Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο, για επικάλυψη τσιμεντένιων επιφανειών.

Τεχνικά δεδομένα

Απόχρωση: Διάφανο
Ειδικό Βάρος: 0,99 kg/lit
Θεωρητική Καλυπτικότητα: 10 m ² / lit (A) (Για εμποτισμό πορώδους τσιμέντου 0,200-0,300 kg/m ² ή 4 m ² /lit)
Στερεά: (A+B) 58% κ.ο.
Σχέση Ανάμιξης: A-B 2-1 V/V (κατ' όγκο)
Χρόνος Ζωής Μίγματος: 8 hr (25 °C)
VOC-ΠΟΕ: A: 480 g/lit, B: 410 g/lit (Το προϊόν περιέχει έτοιμο προς χρήση μέγιστο: 4 05 g/lit) ΟΡΙΑ ΕΕ (2010): 750 g/lit ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ: η – συνδεδετικά αστάρια, τύπος Δ

Πίνακας 9: Τεχνικά δεδομένα «Εποξειδικού Ασταριού Εμποτισμού Τσιμέντου 2 Συστατικών»

Χρόνοι Ξήρανσης (25 °C, 60% σχετική υγρασία)

Ξήρανσης	24 hr
Επαναβαφής	Ελάχιστο 12 hr – μέγιστο 48 hr

Πίνακας 10: Χρόνοι ξήρανσης «Εποξειδικού Ασταριού Εμποτισμού Τσιμέντου 2 Συστατικών»

Οι παραπάνω χρόνοι είναι ενδεικτικοί και εξαρτώνται από το ποσοστό αραίωσης, την υγρασία και τη θερμοκρασία.

Τρόποι Εφαρμογής

Η επιφάνεια όπου θα εφαρμοστεί το υλικό πρέπει:

- Να είναι, εντελώς, στεγνή και καθαρή
- Να είναι απαλλαγμένη από υλικά που εμποδίζουν την πρόσφυση, όπως σαθρά κομμάτια, σκόνες, λάδια, γράσο κ.α.
- Να είναι προστατευμένη από την όπισθεν προσβολή της υγρασίας

Αν πρόκειται για νέο τσιμέντο, απαιτείται η παρέλευση, περίπου, ενός μήνα από το τέλος των εργασιών. Εφαρμόζεται σε μια στρώση με πινέλο ή ρολό, χωρίς αραίωση, εμποτίζοντας καλά το υπόστρωμα, χωρίς τη δημιουργία «λιμνών». Η ασταρωμένη επιφάνεια είναι έτοιμη προς επαναβαφή, κατ' ελάχιστο, μετά από 12 ώρες – κατά μέγιστο, μετά από 48 ώρες (σκλήρυνση 24 ώρες).

- Θερμοκρασία εφαρμογής: 10 °C – 30 °C
- Υγρασία εφαρμογής: < 80% σχετική υγρασία

4.1.2.2 «Χρώμα Πολυουρεθάνης 2 Συστατικών»**Περιγραφή – Χρήση**

Χρώμα δύο συστατικών πολυουρεθάνης, στεγνούμενο με αλειφατικού τύπου ισοκυανικά, μη κιτρινίζον. Κατάλληλο για μέταλλα (αφού προετοιμαστούν με αντισκωριακό αστάρι δύο συστατικών), καθώς και τσιμεντένιες κατασκευές. Εμφανίζει υψηλή γυαλάδα, με αντοχή στο χρόνο και στο κιτρίνισμα, σταθερότητα αποχρώσεων, αντοχές σε όξινο-βιομηχανικό περιβάλλον. Συνιστάται η χρήση του ως τελικού χρώματος όλων των εποξειδικών συστημάτων βαφής, για την εξωτερική προστασία χαλύβδινων και τσιμεντένιων κατασκευών και δεξαμενών.

Είναι πιστοποιημένο από Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο για τελική επικάλυψη τσιμεντένιων και μεταλλικών επιφανειών (αντοχή στη γήρανση, σταθερότητα απόχρωσης, αντοχή σε καιρικές συνθήκες, πρόσφυση, αντίσταση στην ενανθράκωση, κύκλος ψύξης, αντοχή σε όξινο περιβάλλον κ.α.).

Τεχνικά δεδομένα

Απόχρωση: RAL – κατά παραγγελία
Γυαλιάδα: Γυαλιστερό
Ειδικό Βάρος: 1,20-1,40 (αναλόγως απόχρωσης)
POT LIFE: 5 ώρες στους 20 °C
Θεωρητική Καλυπτικότητα: 9-11 m ² / lt (50 μm)
Στερεά: 54% κ.ο., 68 κ.β.
Αναλογία Ανάμιξης: A:B = 2:1 κ.ο.
Λόγος NCO/OH: 1:1
VOC-ΠΟΕ: A: 330 g/lt, B: 641 g/lt [Έτοιμο προς χρήση (+10% διαλύτη), μέγιστο: 495 g/lt] ΟΡΙΑ ΕΕ (2010): 500 g/lt ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ: ι – Ειδικά επιχρίσματα δυο συστατικών, αντιδιαβρωτικό φινιρίσμα, Τύπος Δ

Πίνακας 11: Τεχνικά δεδομένα « Χρώματος Πολυουρεθάνης 2 Συστατικών»

Χρόνοι Ξήρανσης (25 °C)

Ελεύθερο σκόνης	1-2 hr
Στεγνώματος	8 hr
Πλήρους σκλήρυνσης	48-72 hr

Πίνακας 12: Χρόνοι ξήρανσης « Χρώματος Πολυουρεθάνης 2 Συστατικών»

Τρόποι Εφαρμογής

Οι επιφάνειες θα πρέπει να έχουν ασταρωθεί με υπόστρωμα 2 συστατικών. Οι επιφάνειες θα πρέπει να είναι στεγνές και, τελείως, καθαρές. Αναμιγνύεται 2Α - 1Β κατ' όγκο και προστίθεται ο διαλύτης. Εφαρμόζεται με:

- Αντλία πίεςεως (airless), ύστερα από αραίωση 0-5% με διαλυτικό 1115 – 2540 – 1131
- Πιστόλι αέρος (διάμετρος: 1,8 mm, πίεση: 3-4 bar), αφού το υλικό αραιωθεί με διαλυτικό 1115 – 2540 – 1131 σε ποσοστό 5-10%

Αντιολισθηρή επιφάνεια

Κατά την προετοιμασία του χρώματος, αναμιγνύεται 2Α – 1Β κατ' όγκο, προστίθεται ο διαλύτης και ακολουθεί, υπό συνεχή ανάδευση, προσθήκη χαλαζιακής άμμου, σε ποσοστό 15-25% (κοκκομετρία 0,1-0,4 mm ή 0,4-0,8 mm). Κοκκομετρία και ποσότητα, ανάλογα με την επιθυμητή αντιολισθηρότητα.

- Προτεινόμενο πάχος film: 50-100 μm
- Θερμοκρασία εφαρμογής: 5 °C – 35 °C

4.1.2.3 «Οικολογικό Χρώμα Νανοτεχνολογίας»

Περιγραφή – Χρήσεις

Πρόκειται για ένα οικολογικό, ελαστομερές χρώμα εξωτερικής τοιχοποιίας, υψηλής απόδοσης και μεγάλης διάρκειας ζωής. Η μοναδική του σύνθεση, η οποία βασίζεται σε ελαστομερικά πολυμερή νανοτεχνολογίας, συμβάλλει στην πολύ καλή πρόσφυση του χρώματος πάνω στο υπόστρωμα και στην αντοχή του στην κακοκαιρία και άλλους ρύπους της ατμόσφαιρας, συμπεριλαμβανομένης της προστασίας από τις επιβλαβείς συνέπειες της ενανθράκωσης. Το ξηρό φιλμ, αν και παραμένει αδιάβροχο, επιτρέπει στην επιφάνεια να αναπνέει. Προσφέρει περισσότερα από 10 χρόνια προστασίας, όταν εφαρμόζεται, αυστηρά, βάσει των οδηγιών του κατασκευαστή.

Είναι κατάλληλο για την προστασία και τη διακόσμηση μιας μεγάλης ποικιλίας εξωτερικών επιφανειών, όπως σκυρόδεμα, τσιμέντο, πέτρα, στόκος, και πλινθοδομή.

Τεχνικά δεδομένα

Είδος : Τροποποιημένο Νανο-ακρυλικό γαλάκτωμα

Τελείωμα – Υφή : Μεταξένιο

Ιξώδες : 125 ± 5 K.U

Τιμή PH : 8.5 ± 0.5

Στερεά κ.ο. : 50 ± 3 %

Ειδικό βάρος : 1.32 ± 0.05

Crack Bridging: 2.4 mm , 250 μm DFT

% Επιμήκυνση : 258%

(21°C – 50% σχετική υγρασία)

Χρόνος ζωής : 12 μήνες σε κλειστό δοχείο, μακριά από ηλιακό φως

Πάχος film : 100 – 150 μm DFT

Απόδοση : $5 \text{ m}^2/\text{ltr}$, 100 μm DFT

Χρόνοι Ξήρανσης

Ξήρανσης 1 hr, 25 °C

Επαναβαφής 6-8 hrs (ελάχιστο)

Πλήρους ξήρανσης 7 ημέρες

Τρόποι Εφαρμογής

Η επιφάνεια όπου θα εφαρμοστεί το υλικό πρέπει να είναι, εντελώς, στεγνή και καθαρή από σαθρά κομμάτια και ξένα σώματα, όπως σκόνες, λάδια, γράσο κ.α. Κατά τη στιγμή της εφαρμογής, το χρώμα, το υπόστρωμα και η θερμοκρασία του αέρα πρέπει να υπερβαίνουν τους 50 °F ή 10 °C.

Εφαρμόζεται με αντλία πίεσεως (airless ή conventional), πινέλο ή ρολό.

Σύστημα εφαρμογής: α) μία στρώση αστάρι, β) δύο στρώσεις χρώματος.

4.1.2.3.1 «Αστάρι 1 Συστατικού»

Περιγραφή

Πρόκειται για ενός συστατικού υδροαπωθητικό εμποτισμό, κατάλληλο για απορροφητικά υποστρώματα τσιμεντοειδούς βάσης. Διεισδύει, εύκολα, στους ανοικτούς πόρους του υποστρώματος, προσδίδοντάς του ανθεκτικές υδροαπωθητικές ιδιότητες, ενώ επιτρέπει τη διαπερατότητα των υδρατμών και στις δύο κατευθύνσεις.

Χρήσεις

Χρησιμοποιείται ως υδροαπωθητική και άχρωμη προστατευτική στρώση σε εκτεθειμένα απορροφητικά υλικά, όπως σκυρόδεμα, τσιμεντοειδούς βάσης επιχρίσματα, πλακίδια σκυροδέματος, ινοπλισμένο τσιμέντο, τοιχοποιίες (ασβεστόχυα και αργιλική άμμος, μη υαλοποιημένη), φυσική πέτρα κ.α. Το αστάρι αυτό μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιηθεί ως αστάρι υδροφοβισμού κάτω από βαφές βάσεως διαλύτου ή άλλες βαφές διασποράς. Χρησιμοποιείται ως υδροαπωθητικός εμποτισμός (υδροφοβισμός) για απορροφητικά υποστρώματα, όπως σκυρόδεμα σε κατασκευές έργων πολιτικού μηχανικού ή κατασκευές σκυροδέματος.

Πλεονεκτήματα

- Μειώνει την τριχοειδή απορρόφηση του νερού
- Μειώνει το φαινόμενο της εξάνθησης
- Μειώνει τη διείσδυση ρύπων στους πόρους
- Βελτιώνει τη θερμική μόνωση
- Μπορεί να επικαλυφθεί με βαφές βάσεως διαλύτου και βαφές διασποράς
- Υψηλότερη ανθεκτικότητα και αντοχή σε σχέση με συμβατική αντιμετώπιση με βαφές βάσεως σιλικόνης
- Συνήθως, δεν επηρεάζει την εμφάνιση του υποστρώματος
- Μειώνει τη διείσδυση και μεταφορά χλωριόντων
- Δε λειτουργεί ως φράγμα υδρατμών

Χαρακτηριστικά

Εμφάνιση / Χρώμα	Άχρωμο υγρό
Συνθήκες Αποθήκευσης / Διάρκεια Ζωής	12 μήνες από την ημερομηνία παραγωγής αποθηκευμένο στην αρχική, κλειστή και σφραγισμένη συσκευασία, σε ξηρές και δροσερές συνθήκες σε μέγιστη θερμοκρασία +20°C. Απαραίτητη η προστασία από την άμεση έκθεση σε ηλιακή ακτινοβολία.
Χημική Βάση	Σιλανίου/Σιλοξάνης σε οργανικό διαλύτη
Πυκνότητα	~ 0.800 Kg/l (στους +20°C)
Σημείο Ανάφλεξης	~ 36 - 40°C

Εφαρμογή

Κατανάλωση	~ 0.300 - 0.500 kg/m ² (0.375 - 0.625 l/m ²) ανά στρώση για κανονικής απορροφητικότητας υποστρώματα. Για να διασφαλιστεί η ανθεκτικότητα, το προϊόν πρέπει να εφαρμοστεί σε, τουλάχιστον, 2 στρώσεις.
Ποιότητα Υποστρώματος	Υγιές και απαλλαγμένο από σκόνες, ρύπους, λάδια και λιπαρές ουσίες, άλατα, εξανθήματα και υπάρχουσες στρώσεις βαφών κ.α. Ρωγμές μεγαλύτερου εύρους από 200 μm σε σκυρόδεμα πρέπει να επισκευάζονται πριν την εφαρμογή της υδροφοβικής βαφής.
Προετοιμασία Υποστρώματος	Βέλτιστος καθαρισμός της επιφάνειας επιτυγχάνεται βουρτσίζοντάς την με κατάλληλα διαλυτικά ή με ελαφρά αμμοβολή ή καθαρισμό με ατμό κ.α. Καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται σε στεγνά, πολύ απορροφητικά υποστρώματα. Το υπόστρωμα πρέπει να είναι στεγνό, χωρίς μεμονωμένες επιφάνειες με παρουσία υγρασίας.
Θερμοκρασία Υποστρώματος	+5°C ελάχιστη / +30°C μέγιστη
Θερμοκρασία Περιβάλλοντος	+5°C ελάχιστη / +30°C μέγιστη
Υγρασία Υποστρώματος	5% μέγιστη
Ανάμιξη	Είναι έτοιμο για χρήση και δεν πρέπει να αραιώνεται.
Μέθοδος Εφαρμογής / Εργαλεία	Εφαρμόζεται χρησιμοποιώντας χαμηλής πίεσης ψεκαστήρα, πινέλο ή ρολό,

δουλεύοντας από πάνω προς τα κάτω, προσεκτικά, ώστε να μην τρέχει πάνω στην επιφάνεια το υλικό. Να εφαρμόζονται επακόλουθες στρώσεις “νωπό σε νωπό”.

4.2 Παρασκευή δοκιμίων

4.2.1 Δοκίμια τσιμεντοκονιάματος

Για την κατασκευή των δοκιμίων τσιμέντου, χρησιμοποιήθηκαν κυλινδρικά καλούπια (Εικ. 12), τα οποία πριν τη χρήση τους καθαρίστηκαν και λειάνθηκαν, έτσι ώστε να αποκολλώνται, εύκολα, τα δοκίμια μετά τη σκλήρυνση του τσιμεντοκονιάματος, αλλά και να αποφεύγονται ανωμαλίες στην επιφάνειά τους.



Εικόνα 12: Κυλινδρικά καλούπια

Όπως περιγράφηκε και στην ενότητα 4.1.1, για την παρασκευή της τσιμεντοκονίας, αναμίχθηκε τσιμέντο (C), αδρανή (A) και νερό (W) σε αναλογία $C/A/W = 1/3/0,55$. Μετά την παρασκευή του κονιάματος τσιμέντου – άμμου και την ανάμειξή του με νερό, ακολούθησε έκχυση, υπό συνεχή δόνηση, του μείγματος μέσα στα καλούπια που προαναφέρθηκαν, για τη μορφοποίηση (Εικ. 13).



Εικόνα 13: Τα καλούπια μετά την έκχυση – δόνηση του τσιμεντοκονιάματος

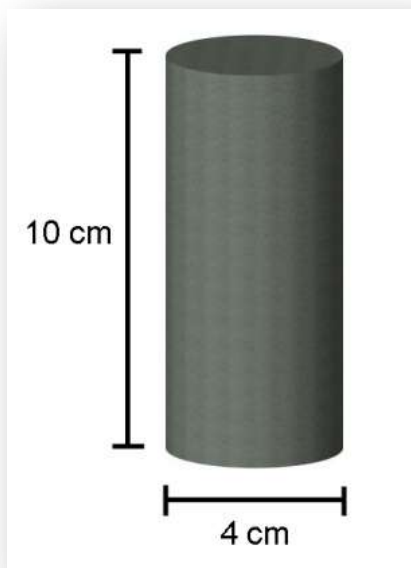
Η ανάμειξη γίνεται με προσοχή, ώστε να μη γίνει απόμειξη των αδρανών. Το μείγμα δονείται, προκειμένου να απομακρυνθεί ο αέρας και να αποφευχθεί η δημιουργία φυσαλίδων, στο εσωτερικό, και ανωμαλιών, στην επιφάνεια των δοκιμίων.

Μετά την πάροδο 24 ωρών και, αφού το σκυρόδεμα είχε, πλέον, στερεοποιηθεί (Εικ. 14), ακολούθησε η απομάκρυνση των καλουπιών (Εικ. 15).



Εικόνες 14 – 15: Τα καλούπια με στερεοποιημένο το τσιμεντοκονίαμα (αριστερά) και τα δοκίμια μετά την απομάκρυνση των καλουπιών (δεξιά)

Οι διαστάσεις των δοκιμίων που παρασκευάστηκαν είναι, περίπου, ύψος: 10 cm και διάμετρος: 4 cm. Σχηματικά, ένα δοκίμιο τσιμεντοκονιάματος φαίνεται παρακάτω. (Σχήμα 9)



Σχήμα 9: Σχηματική απεικόνιση δοκιμίου τσιμεντοκονιάματος

Ακολούθως, τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε νερό για, ακόμα, 24 ώρες (χρόνος ωρίμανσης) και, στη συνέχεια, παρέμειναν σε συνθήκες περιβάλλοντος για, περίπου δύο εβδομάδες, προκειμένου να ξηρανθούν. Μετά το πέρας αυτού του χρονικού διαστήματος, ήταν έτοιμα για βαφή.

4.4.2 Δοκίμια χαρτιού

Τα χρώματα δεν είναι αυτό-υποστηριζόμενα υλικά και παρουσιάζουν αυξημένη ψαθυρότητα. Για το λόγο αυτό, σε ορισμένες σειρές μετρήσεων, τα χρώματα εφαρμόστηκαν πάνω σε χαρτί.

Αρχικά, επιχειρήθηκε να εφαρμοστούν τα χρώματα πάνω σε αντικολλητικό χαρτί μαγειρικής και ζαχαροπλαστικής, το οποίο χαρακτηρίζεται από αυξημένη ανθεκτικότητα και μεγάλη υδρατμοπερατότητα. Κατά την εφαρμογή, όμως, διαπιστώθηκε ότι τα προς μελέτη χρώματα δεν παρουσίαζαν, καθόλου, καλή πρόσφυση στο συγκεκριμένο χαρτί. Τελικά, επιλέχτηκε το *διηθητικό χαρτί*, στο οποίο, κατόπιν δοκιμής, αποδείχτηκε ότι τα εξεταζόμενα χρώματα παρουσίαζαν ικανοποιητική πρόσφυση.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την παραγωγή των δοκιμίων χαρτιού (Εικ. 16) είχε ως εξής:

1. Εφαρμογή ασταριού στη μια από τις δύο επιφάνειες του χαρτιού, με τη βοήθεια πινέλου
2. Μετά το πέρας 24 ωρών, εφαρμογή πρώτης στρώσης χρώματος
3. Μετά το πέρας 24 ωρών, εφαρμογή δεύτερης στρώσης χρώματος

4. Μετά το πέρας 24 ωρών, εφαρμογή - σε ορισμένο αριθμό δοκιμίων, στα οποία, στις δυο πρώτες στρώσεις, είχε εφαρμοστεί εποξειδικό χρώμα - μιας στρώσης χρώματος Πολυουρεθάνης



Εικόνα 16: Δοκίμια χαρτιού μετά την εφαρμογή χρώματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Μέθοδοι χαρακτηρισμού αποτελεσματικότητας χρωμάτων

5.1 Σκοπός

Στη διάρκεια της ζωής τους, οι κατασκευές δέχονται επιδράσεις από εξωτερικούς παράγοντες (υγρασία, χημικές ουσίες, θάλασσα κλπ.) που τις επηρεάζουν, τόσο από αισθητικής άποψης, όσο και από άποψη ασφάλειας. Τα αυξημένα κόστη συντήρησης, η ανάγκη επανάληψης των επισκευών/συντηρήσεων, σε μικρά χρονικά διαστήματα, η μείωση της στατικής επάρκειας, με την πάροδο του χρόνου και, γενικά, η μείωση του χρόνου ζωής αποτελούν τα κυριότερα προβλήματα που παρουσιάζουν αρκετές από τις κατασκευές.

Δεδομένων των προαναφερθέντων, σκοπός της παρούσης μεταπτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη οργανικών επικαλύψεων που εφαρμόζονται σε σκυρόδεμα και η εκτίμηση του βαθμού προστασίας που του παρέχουν.

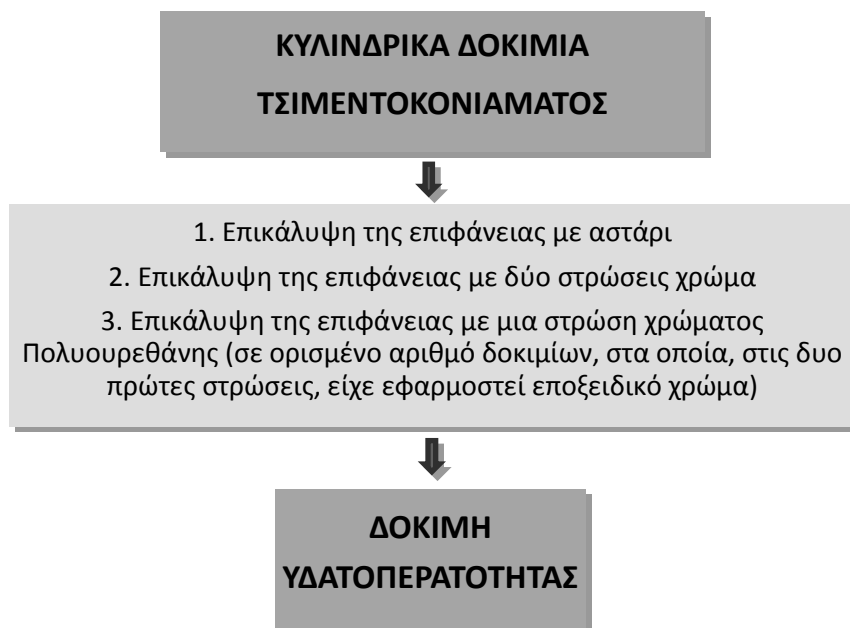
Για τη μελέτη της προστατευτικής ικανότητας των χρωμάτων, μελετώνται φυσικοχημικές ιδιότητες των επικαλύψεων, όπως η *υδρατμοπερατότητα (water vapor permeability)*, η *υδατοπερατότητα (liquid water permeability)* και η *διαπερατότητα σε χλωριόντα (chlorides permeability)*.

Η προστασία που παρέχει ένα χρώμα σε μια επιφάνεια είναι ένα πολύπλοκο ζήτημα, το οποίο σχετίζεται με τις ιδιότητες που αυτό έχει αποκτήσει κατά την παρασκευή του και, συνεπώς, είναι, άρρηκτα, συνδεδεμένη με τη δομή των χρησιμοποιούμενων πολυμερών συστημάτων (ρητινών). Αξιοσημείωτο είναι ότι τα οργανικά επιστρώματα, εκτός από την προστασία που προσφέρουν, βελτιώνουν και την αισθητική της επιφάνειας στην οποία εφαρμόζονται. Το ζητούμενο αισθητικό αποτέλεσμα, δηλαδή το χρώμα, η υφή και η στιλπνότητα επιτυγχάνονται με κατάλληλη χρήση διαφόρων χρωμάτων και χρωστικών.

5.2 Περιγραφή πειραμάτων

Παρακάτω, παρουσιάζεται, συνοπτικά, η εργαστηριακή πορεία που πραγματοποιήθηκε, προκειμένου να διαπιστωθεί η αποτελεσματικότητα των χρωμάτων, ως προς την προστασία που παρέχουν.

5.2.1 Δοκίμια τσιμεντοκονιάματος



Σχήμα 10: Πειραματική διαδικασία

Συνολικά, με τη μέθοδο που περιγράφηκε, αναλυτικά, στην ενότητα 4.2.1, παρασκευάστηκαν 12 δοκίμια τσιμεντοκονιάματος, για τη μελέτη των τριών χρωμάτων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν 3 δοκίμια για κάθε ένα από τα τρία χρώματα (3*3) και 3 δοκίμια αναφοράς.

5.2.2 Βαφή δοκιμίων τσιμεντοκονιάματος

Αρχικά, πριν από την εφαρμογή των χρωμάτων στην επιφάνεια των δοκιμίων, εφαρμόζεται 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 κιτρινίσματα στα τελικά χρώματα. Το αστάρι, όπως και το χρώμα, εφαρμόζεται με χρήση πινέλου.

5.3 Μέτρηση Υδατοπερατότητας κατά DIN EN 1602 - 3: 1998

5.3.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε επικαλύψεις και συστήματα επικαλύψεων, πάνω σε πορώδη υποστρώματα, όπως τούβλο, τσιμέντο, κονίαμα κ.α. Η μέθοδος

αυτή δεν είναι εφαρμόσιμη σε επικαλύψεις ή συστήματα επικαλύψεων που έχουν συντελεστή ταχύτητας μεταφοράς υγρού ύδατος, μικρότερο από $0,05 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$.

Αρχή μεθόδου

Οι εξωτερικές επικαλύψεις παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην παρεμπόδιση του νερού της βροχής να εισχωρήσει στο πορώδες υπόστρωμα. Αυτή η ταχύτητα διαβίβασης του υγρού νερού υπολογίζεται με τη χρήση τεμαχίων υποστρώματος πολύ υψηλού πορώδους, τα οποία είναι επικαλυμμένα με την επικάλυψη ή το σύστημα επικαλύψεων στη μία τους πλευρά. Τα δείγματα βυθίζονται, υπό ελεγχόμενες συνθήκες, σε νερό και ζυγίζονται, ανά κατάλληλα χρονικά διαστήματα. Η ταχύτητα διαβίβασης του υγρού νερού προσδιορίζεται από τη μεταβολή της μάζας, όταν αυτή η μεταβολή έχει γίνει, ακριβώς, ανάλογη του τετραγώνου της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου.

Δοκίμια

Η ταχύτητα διαβίβασης του υγρού νερού μιας επικάλυψης εξαρτάται από την υδατοαπορρόφηση και τη διαπερατότητα αυτού, καθώς και του υποστρώματος. Για τον προσδιορισμό της, το υπόστρωμα πρέπει να έχει, σημαντικά, υψηλότερη απορρόφηση ύδατος από την επικάλυψη ή το σύστημα επικαλύψεων που εξετάζονται.

Υπόστρωμα

Για τον προσδιορισμό της ταχύτητας διαβίβασης του υγρού νερού, χρησιμοποιούνται, ως υπόστρωμα, τούβλα από πυριτικό ασβέστιο, από πηλό (αργιλικά) ή πλάκα ασβεστοκονιάματος. Το υπόστρωμα πρέπει να έχει συντελεστή ταχύτητας διαβίβασης ύδατος, w , μεγαλύτερο από $5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ και πυκνότητα από $1500 \text{ kg}/\text{m}^3$ ως $2000 \text{ kg}/\text{m}^3$. Τα δοκίμια πρέπει να έχουν εμβαδόν επιφάνειας, τουλάχιστον, 200 cm^2 και πάχος, τουλάχιστον, $2,5 \text{ cm}$.

Προετοιμασία - Επικάλυψη - Ξήρανση

Το υπόστρωμα πρέπει να είναι καθαρό και ξηρό. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε το αρχικό πορώδες του υποστρώματος. Επικαλύπτουμε την πλευρά που είναι να μετρήσουμε. Η επικάλυψη δεν πρέπει να έχει εμφανή ελαττώματα. Τα δοκίμια ξηραίνονται για, τουλάχιστον, μία εβδομάδα.

Πριν τη συντήρηση, οι πλαϊνές πλευρές του δείγματος, καθώς και η απέναντι από την επικαλυμμένη πλευρά, πρέπει να σφραγίζονται απέναντι στο νερό, για παράδειγμα με την εφαρμογή δυο χεριών μιας επικάλυψης δυο συστατικών, με βάση εποξειδική ρητίνη.

Τα δοκίμια ξηραίνονται, για 24 ημέρες, με ελεύθερη ανακύκλωση του αέρα στους $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ και σε σχετική υγρασία $50 \pm 5\%$ (σύμφωνα με το *EN 23270*), εκτός αν συμφωνηθεί κάτι διαφορετικό.

Η υδατοπερατότητα επηρεάζεται από τα πτητικά και/ή τα διαλυτά στο νερό συστατικά της επικάλυψης. Εφόσον, στην πράξη, αυτά τα συστατικά μπορούν να εξατμιστούν κατά την έκθεσή τους, εξωτερικά, ή να ξεπλυθούν από το νερό (βροχή), η επικάλυψη πρέπει να υποστεί γήρανση, προτού γίνει σε αυτό ο προσδιορισμός του ρυθμού διαπερατότητας του νερού. Τα δείγματα υποβάλλονται σε 3 κύκλους που συμπεριλαμβάνουν τις ακόλουθες συνθήκες:

- 24 h παραμονή στο νερό (πόσιμο νερό) στους 23 ± 2 °C
- 24 h ξήρανση στους 50 ± 2 °C

5.3.2 Μέτρηση της Υδατοπερατότητας σε εργαστηριακή κλίμακα κατά DIN EN 1062-3: 1998

Η μέτρηση της υδατοπερατότητας περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- Ο προσδιορισμός πραγματοποιείται τρεις φορές στους 23 ± 2 °C, εκτός αν συμφωνηθεί κάτι διαφορετικό.
- Αρχικά, τα δοκίμια ζυγίζονται με ακρίβεια 0,01 g. Το δοχείο γεμίζεται με αποσταγμένο νερό ή φρέσκο πόσιμο νερό και αφήνεται να φτάσει τη θερμοκρασία των 23 ± 2 °C. Τα δοκίμια τοποθετούνται σε ειδικά πλαστικά στηρίγματα, με την επικαλυμμένη πλευρά να κοιτάει προς τα κάτω, με τέτοιο τρόπο, ώστε αυτή η πλευρά να είναι βυθισμένη στο νερό κατά 1 cm.
- Μετά το πέρας 1h, 2h, 3h, 6h και 24h, τα δοκίμια απομακρύνονται από το νερό, σκουπίζονται, προσεκτικά, με απορροφητικό χαρτί και ζυγίζονται με ακρίβεια 0,01 g.

5.3.3 Μαθηματική επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων κατά DIN EN 1062-3: 1998

Αρχικά, παριστάνεται, γραφικά, η αύξηση της μάζας των δοκιμίων, συναρτήσει του τετραγώνου του χρόνου. Η κλίση του γραμμικού τμήματος της καμπύλης που προκύπτει είναι ο συντελεστής της υδατοπερατότητας, w , σε $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$. Προκειμένου η κλίση της ευθείας να δώσει το συντελεστή w , πρέπει η αύξηση της μάζας να διαιρεθεί με το εμβαδόν της επιφάνειας του δοκιμίου που διαβρέχεται, σε m^2 , ή να διαιρεθεί η κλίση με το εμβαδόν αυτό.

Κανονικά, ο συντελεστής υδατοπερατότητας w υπολογίζεται από τη μέτρηση στις 24h. Αν, όμως, το γραμμικό τμήμα της καμπύλης ανταποκρίνεται σε λιγότερο από 24h, τότε, ο αριθμός των ωρών θα πρέπει να καθορίζεται ως δείκτης του w , για παράδειγμα, w_8 .

5.3.4 Ταξινόμηση των χρωμάτων, σύμφωνα με τα αποτελέσματα Υδατοπερατότητας

Η ταξινόμηση των επικαλύψεων, βάσει του *EN 1062-1*, σε σχέση με την υδατοπερατότητα w , γίνεται σύμφωνα με τον πίνακα 13:

Κατηγορία	Ρυθμός υδατοπερατότητας, w , σε $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$
I (υψηλή)	$> 0,5$
II (μέτρια)	$0,1 - 0,5$
III (χαμηλή)	$< 0,1$

Πίνακας 13: Κατηγοριοποίηση επικαλύψεων, βάσει του ρυθμού υδατοπερατότητας

5.3.5 Εργαστηριακή πορεία για τον προσδιορισμό της Υδατοπερατότητας, σύμφωνα με το πρότυπο DIN EN 1062-3:1998

Οι μετρήσεις υδατοπερατότητας έλαβαν χώρα βάσει του προτύπου *DIN EN 1062-3*.

Τα χρώματα εφαρμόστηκαν - σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου - σε κυλινδρικά δοκίμια τσιμεντοκονιάματος - η τσιμεντοκονία αποτελεί πορώδες υλικό - η κατασκευή των οποίων περιγράφηκε, αναλυτικά, στην ενότητα 4.2.1. Τα δοκίμια αυτά κόπηκαν, με τη βοήθεια κοπτικού μηχανήματος, σε τρία μέρη (Σχήμα 10), το ένα εκ των οποίων είχε ύψος 50 mm και στο οποίο εξετάστηκε η υδατοπερατότητα. Επιλέχτηκε, ως κατάλληλο τμήμα του αρχικού δοκιμίου, για μελέτη, το μεσαίο, για την αποφυγή του φαινομένου συσσώρευσης των αδρανών στα άκρα που ενδέχεται να είχε συμβεί κατά το στάδιο της ανάμιξης των συστατικών του τσιμεντοκονιάματος, μέσα στον περιστροφικό αναδευτήρα.



Σχήμα 10: Σχηματική απεικόνιση του δοκιμίου, πριν και μετά την κοπή

Στα κυλινδρικά δοκίμια που προέκυψαν εφαρμόστηκε σύστημα βαφής με πινέλο, ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

1. Επικάλυψη με κατάλληλο υπόστρωμα (αστάρι)
2. Μετά από 24 h, πρώτη στρώση χρώματος (9 δοκίμια)
3. Μετά από 24 h, δεύτερη στρώση χρώματος (9 δοκίμια)
4. Μετά από 24 h, μια στρώση χρώματος πολουρεθάνης σε δοκίμια που στα προηγούμενα στάδια είχαν επικαλυφθεί με εποξειδικό χρώμα (3 δοκίμια)
5. Τα δοκίμια αφήθηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 2 εβδομάδες, προκειμένου να στεγνώσει το χρώμα



Εικόνα 17: Τα δοκίμια έτοιμα για την έναρξη της μέτρησης Υδατοπερατότητας

Το κάθε χρώμα εφαρμόστηκε σε 3 δοκίμια, ενώ χρησιμοποιήθηκαν και 3 δοκίμια, συνολικά, τα οποία δεν είχαν υποστεί καμία επεξεργασία, ως αναφοράς.

Ακολούθως, τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε δοχείο το οποίο περιείχε νερό τόσο, ώστε να βυθιστούν τα δοκίμια μέχρι ύψους 1 cm. (Εικ. 18)



Εικόνα 18: Τα δοκίμια βυθισμένα μέχρι ύψους 1cm σε δοχείο με νερό

Ανά τακτά χρονικά διαστήματα, τα οποία ορίζονται από το πρότυπο *DIN EN 1062-3*, τα δοκίμια ζυγίστηκαν, αφού πρώτα απομακρύνθηκαν οι σταγόνες νερού. (Εικ. 19)



Εικόνα 19: Δοκίμιο κατά τη διαδικασία ζυγίσματός του

5.4 Μέτρηση Υδρατμοπερατότητας κατά EN ISO 7783-1999

5.4.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται προκειμένου να προσδιοριστεί η ταχύτητα διάχυσης των υδρατμών σε επικαλύψεις, συστήματα επικαλύψεων και άλλα σχετικά προϊόντα που προορίζονται για εξωτερική λιθοδομή και σκυρόδεμα. Δύναται να εφαρμοστεί και για συστήματα βαφής πάνω σε πορώδη υποστρώματα, όπως τούβλο, τσιμέντο, κονίαμα κ.α. Στην περίπτωση αυτή, όμως, πρέπει το πάχος ξηρού φιλμ της επικάλυψης να είναι μεγαλύτερο από 80 μm.

Αρχή μεθόδου

Οι εξωτερικές επικαλύψεις των οικοδομών παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση της ανταλλαγής υδρατμών μεταξύ του υποστρώματος και της εξωτερικής ατμόσφαιρας. Αυτή, ακριβώς, η ιδιότητα προσδιορίζεται, χρησιμοποιώντας δισκία που περιέχουν κορεσμένο διάλυμα ammonium dihydrogen phosphate ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), παράγοντας, με τον τρόπο αυτό, αμέσως, μια ατμόσφαιρα σχετικής υγρασίας, πάνω

από 93% μέσα στο δισκίο. Τα δισκία αυτά σφραγίζονται με ένα φιλμ του προϊόντος (ελεύθερα φιλμ) ή με ένα πορώδες υπόστρωμα επικαλυμμένο με το υπό εξέταση υλικό.

Για να προετοιμάσει κανείς ένα ελεύθερο φιλμ, επιλέγει κατάλληλο υπόστρωμα, όπως, για παράδειγμα, ένα πλαστικό φιλμ από υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (PE-HD), PTFE ή PET, το οποίο να μην έχει επιφανειακά ελαττώματα και από το οποίο να μπορεί να αποκολληθεί, εύκολα, η επικάλυψη, μετά την ξήρανό της. Η επιφάνεια του ελεύθερου φιλμ πρέπει να είναι, τουλάχιστον, 60 cm².

Αν η ταχύτητα διάχυσης υδρατμών δεν μπορεί να μετρηθεί σε ελεύθερα φιλμ, γιατί αυτά είναι πολύ ψαθυρά, ο προσδιορισμός πρέπει να γίνει με χρήση ενός υποστρώματος, το οποίο να έχει μεγάλη ταχύτητα διάχυσης υδρατμών. Σε κάθε περίπτωση, η επιφάνεια της κάθε πλευράς πρέπει να είναι, τουλάχιστον 60 cm². Το υπόστρωμα επιλέγεται ανάλογα με την περίπτωση. Συγκεκριμένα:

- Για επικαλύψεις που δεν απαιτείται καμία αντίδραση με το υπόστρωμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάθε υπόστρωμα, αρκεί να έχει ταχύτητα διάχυσης υδρατμών μεγαλύτερη από 240 g/(m²*d).
- Για επικαλύψεις που αντιδρούν με το υπόστρωμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικά υποστρώματα, τα οποία, δεν είναι απαραίτητο, να ικανοποιούν το παραπάνω χαρακτηριστικό.

Τα δισκία παρασκευάζονται επιλέγοντας μια από τις τεχνικές που περιγράφονται στον πίνακα 14.

Αυτο- υποστηριζόμενη επικάλυψη	Απαραίτητη η αντίδραση με υπόστρωμα	Προτεινόμενο πάχος ξηρού φιλμ σε μm	Τεχνική
Ναι	Όχι	-	Ελεύθερο φιλμ
Ναι	Ναι	-	Ειδικό υπόστρωμα
Όχι	Όχι	<80	Ειδικό υπόστρωμα
Όχι	Ναι	-	Ειδικό υπόστρωμα
Όχι	Όχι	>80	Ειδικό υπόστρωμα

Πίνακας 14: Προετοιμασία των δοκιμίων

Τα δισκία τοποθετούνται σε θάλαμο ελεγχόμενης θερμοκρασίας (T = 23 ± 2^oC) και σχετικής υγρασίας (HR = 50 ± 5%). Η σχετική υγρασία 52% μπορεί να διατηρηθεί με τη χρήση κορεσμένου διαλύματος διχρωμικού νατρίου (sodium dichromate). Ζυγίζονται ,ανά κατάλληλα χρονικά διαστήματα, και η ταχύτητα διάχυσης των υδρατμών προσδιορίζεται από τη μεταβολή της μάζας, όταν η μεταβολή αυτή γίνει, ακριβώς, ανάλογη με το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε.

5.4.2 Μέτρηση της Υδρατμοπερατότητας – Εργαστηριακή πορεία κατά EN ISO 7783-2: 1999

Προετοιμασία – Επικάλυψη - Ξήρανση

Το υπόστρωμα πρέπει να είναι καθαρό και ξηρό. Όταν αυτό είναι πορώδες, επικαλύπτουμε μόνο τη μια πλευρά του. Η επικάλυψη δεν πρέπει να έχει εμφανή ελαττώματα.

Τα δοκίμια ξηραίνονται για 24 ημέρες με ελεύθερη ανακύκλωση του αέρα, στους 23 ± 2 °C) και σε σχετική υγρασία $50 \pm 5\%$ (σύμφωνα με το EN 23270), εκτός αν συμφωνηθεί κάτι διαφορετικό.

Η ταχύτητα διάχυσης των υδρατμών επηρεάζεται από τα πτητικά και / ή τα διαλυτά στο νερό συστατικά της επικάλυψης. Εφόσον, στην πράξη, αυτά τα συστατικά μπορούν να εξατμιστούν κατά την έκθεσή τους εξωτερικά ή να ξεπλυθούν από το νερό (βροχή), η επικάλυψη πρέπει να υποστεί γήρανση, προτού γίνει σε αυτό ο προσδιορισμός της ταχύτητας διάχυσης των υδρατμών. Τα δείγματα υποβάλλονται σε 3 κύκλους που συμπεριλαμβάνουν τις ακόλουθες συνθήκες:

- 24 h παραμονή στο νερό (πόσιμο νερό) στους 23 ± 2 °C
- 24 h ξήρανση στους 50 ± 2 °C

Προσδιορίζεται το μέσο πάχος του κάθε ξηρού φιλμ της επικάλυψης, υπολογίζοντάς το από την κατανάλωσή του και το περιεχόμενό τους σε μη πτητικό υλικό, σύμφωνα με το 5.3 του EN 1062-1:1996 ή με άλλες μεθόδους. Ο προσδιορισμός πραγματοποιείται εις τριπλούν στους 23 ± 2 °C, εκτός αν συμφωνηθεί κάτι διαφορετικό.

Όταν χρησιμοποιούνται ελεύθερα φιλμ χρώματος, τότε, ο προσδιορισμός γίνεται σύμφωνα με το ISO 7783-1. Η σχετική υγρασία στους 23 °C, στη μια πλευρά του φιλμ, πρέπει να είναι 93%, ενώ στην άλλη πλευρά 50%. Η σχετική υγρασία, ίση με 93%, που επικρατεί μέσα στο δοχείο πρέπει να διατηρείται σταθερή, χρησιμοποιώντας κορεσμένο διάλυμα $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$. Ο προσδιορισμός πρέπει να διεξαχθεί σε μέρος, όπου η ταχύτητα του αέρα να είναι μικρότερη από 0,3 m/s.

Η βαφή ή το σύστημα βαφής προορίζεται για την εξωτερική πλευρά και πρέπει να «βλέπει» προς το μέρος της χαμηλότερης σχετικής υγρασίας (πχ. $50 \pm 5\%$). Αυτό ισχύει και για τα ελεύθερα, αλλά και για τα υποστηριζόμενα φιλμ χρώματος.

Προσδιορίζεται η απώλεια μάζας, ανά κατάλληλα χρονικά διαστήματα, για παράδειγμα, μια φορά την ημέρα και οι ζυγίσεις συνεχίζονται ωσότου, τουλάχιστον, τρεις μετρήσεις, σε συνεχή χρονικά διαστήματα, οδηγήσουν σε σταθερή κατάσταση.

5.4.3 Μαθηματική επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων, σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 7783-2: 1999

Η μαθηματική επεξεργασία των μετρήσεων διαφοροποιείται, ανάλογα με το είδος των δισκίων. Διακρίνονται δύο περιπτώσεις:

- Ελεύθερα φιλμ
- Πορώδες υπόστρωμα επικαλυμμένο με το υπό εξέταση υλικό

Ελεύθερα φιλμ

Για κάθε ένα από τα δείγματα προσδιορίζουμε την ολική μάζα, μετά από συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα και την παριστάνουμε, γραφικά, ως συνάρτηση του χρόνου. Το τεστ έχει ολοκληρωθεί όταν τρία ή τέσσερα σημεία βρίσκονται πάνω σε ευθεία γραμμή, κάτι που συνεπάγεται τη σταθεροποίηση της ταχύτητας διάχυσης των υδρατμών.

Υπολογίζεται η διαπερατότητα των υδρατμών Δm , σε χιλιοστόγραμμα ανά ώρα, από την ολική μεταβολή της μάζας σε κάθε χρονική περίοδο, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\Delta m_i = \frac{m_1 - m_2}{t_2 - t_1} \quad (\text{εξίσωση 5.1})$$

Υπολογίζεται ο ρυθμός διαπερατότητας υδρατμών, V , σε γραμμάρια ανά τετραγωνικό μέτρο ανά ημέρα, για κάθε δείγμα:

$$V = \frac{240 * \Delta m_i}{A_i} \quad (\text{εξίσωση 5.2})$$

όπου:

m_1, m_2 : η ολική μάζα, σε χιλιοστόγραμμα, στους χρόνους t_1, t_2

t_1, t_2 : χρόνοι σε ώρες

A_i : η επιφάνεια, σε τετραγωνικά εκατοστά, του δείγματος i

Πορώδες υπόστρωμα επικαλυμμένο με το υπό εξέταση υλικό

Για υποστηριζόμενα φιλμ που εφαρμόστηκαν σε πορώδες υπόστρωμα, υπολογίζεται ο ρυθμός με τον οποίο διαπερνούν οι υδρατμοί το σύστημα επικαλύψεως, με τη χρήση της εξίσωσης:

$$\frac{1}{V_{CS}} = \frac{1}{V_S} + \frac{1}{V} \rightarrow V = \frac{V_{CS} * V_S}{V_S - V_{CS}} \quad (\text{εξίσωση 5.3})$$

όπου:

V : ο ρυθμός διαπερατότητας των υδρατμών του συστήματος επικάλυψης, σε $g \cdot m^2 \cdot d^{-1}$

V_{cs} : ο ρυθμός διαπερατότητας των υδρατμών του πορώδους υποστρώματος που είναι επικαλυμμένο με το υλικό της επικάλυψης ή το σύστημα επικάλυψης, σε $g \cdot m^2 \cdot d^{-1}$

V_s : ο ρυθμός διαπερατότητας των υδρατμών του πορώδους υποστρώματος, σε $g \cdot m^2 \cdot d^{-1}$

Ο συντελεστής υδρατμοπερατότητας δ , σε $g \cdot m^2 \cdot d^{-1} \cdot Pa^{-1}$, της επικάλυψης υπολογίζεται από την εξίσωση 5.4:

$$\delta = \frac{V \cdot d}{\Delta p} \quad (\text{εξίσωση 5.4})$$

όπου:

d : το πάχος του φιλμ, σε m

Δp : η διαφορά της πίεσης ατμών μεταξύ των δύο πλευρών της επικάλυψης, σε Pa

Ο συντελεστής της υδρατμοπερατότητας του αέρα, δ_L , ισούται με:

$$\delta_L = \frac{0,083 \cdot P_0 \cdot T^{1,81}}{R_V \cdot T \cdot p \cdot 273^{1,81}} \quad (\text{εξίσωση 5.5})$$

όπου:

T : η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της μέτρησης, σε *Kelvin*

P_0 : ατμοσφαιρική πίεση, 1013,25 hPa

R_V : παγκόσμια σταθερά αερίων, 462 Nm * Kg⁻¹ * K⁻¹

p : ατμοσφαιρική πίεση κατά τη μέτρηση, σε 100 Pa

Το ισοδύναμο πάχος διάχυσης, s_d , σε m , υπολογίζεται:

$$s_d = \frac{\delta_L}{\delta} \quad (\text{εξίσωση 5.6})$$

Για $T = 23 \text{ } ^\circ C$ και $p_0 = p = 1013,25 \text{ hPa}$, $\Delta p = 1207 \text{ Pa}$ (η οποία ισοδυναμεί με μια διαφορά πίεσης ατμών από 93% σχετική υγρασία σε 50% σχετική υγρασία, υπό τις παραπάνω συνθήκες), ο παράγοντας μετατροπής του V , σε $g \cdot m^2 \cdot d^{-1} \cdot Pa^{-1}$, σε s_d , σε m είναι:

$$s_d = \frac{21}{V} \quad (\text{εξίσωση 5.7})$$

5.4.4 Κατηγοριοποίηση των χρωμάτων, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μέτρησης Υδρατμοπερατότητας

Η ταξινόμηση των χρωμάτων, βάσει του ρυθμού υδρατμοπερατότητας, γίνεται σε τρεις κατηγορίες, βάσει του EN 1062-1 (πίνακας 15).

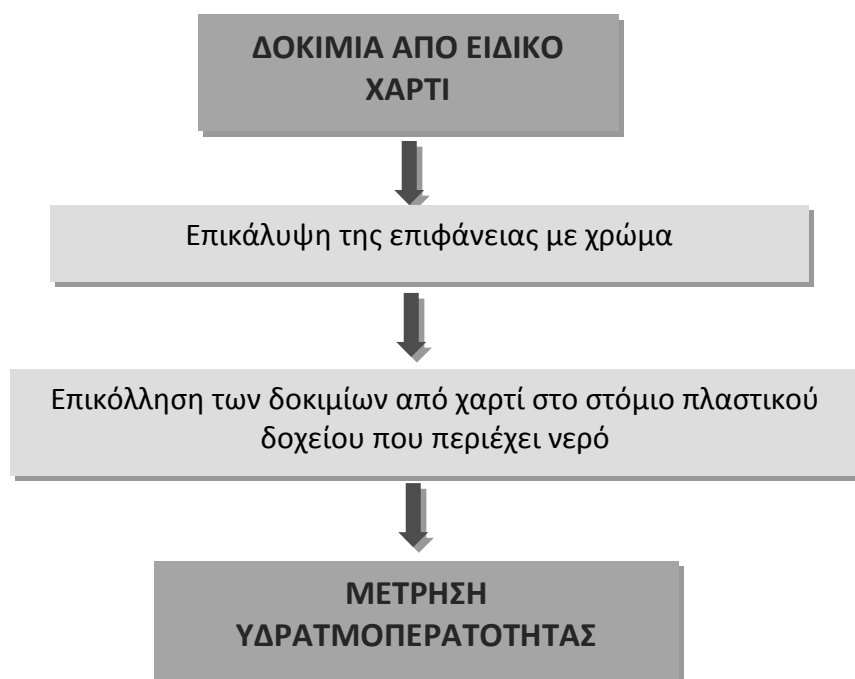
Κατηγορία	Ρυθμός υδρατμοπερατότητας σε g/(m ² *d)	Ρυθμός υδρατμοπερατότητας σε g/(m ² *h)	S _d σε m
I (υψηλή)	> 150	> 6	> 0,14
II (μέτρια)	15 – 150	0,6 – 6	0,14 – 1,4
III (χαμηλή)	< 15	< 0,6	< 1,4

Πίνακας 15: Κατηγοριοποίηση επικαλύψεων βάσει ρυθμού υδρατμοπερατότητας

5.4.5 Υπολογισμός της Υδρατμοπερατότητας, βάσει του προτύπου DIN EN ISO 7783-2: 1999

Οι μετρήσεις διαπερατότητας σε υδρατμούς έλαβαν χώρα βάσει του προτύπου DIN EN ISO 7783-2:1999, με ορισμένες τροποποιήσεις.

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε, σχηματικά, είχε ως εξής:



Συνολικά, κατασκευάστηκαν, όπως περιγράφηκε αναλυτικά στην ενότητα 4.4.2, τρία δείγματα χαρτιού για κάθε χρώμα και 3 δείγματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως αναφοράς.

Κόλλες διηθητικού χαρτιού κόπηκαν σε κυκλικά σχήματα και προσαρμόστηκαν, με τη βοήθεια σιλικόνης, σε στόμια πλαστικών κυλινδρικών δοχείων ύψους 10 cm, τα οποία ήταν γεμισμένα, μέχρι ύψους 4,8 cm, με απιονισμένο νερό. Η διαδικασία έγινε με μεγάλη προσοχή, προκειμένου τα δοχεία να σφραγιστούν στο άνω άκρο τους από τα δοκίμια χαρτιού. Τα δοκίμια αφέθηκαν σε συνθήκες περιβάλλοντος για μια ημέρα, ώστε να στεγνώσει η σιλικόνη, και, στη συνέχεια, ελήφθη η μηδενική μέτρηση του βάρους τους.



Εικόνα 20: Διάταξη για τη μέτρηση της υδρατμοπερατότητας

5.5 Μέτρηση διαπερατότητας χλωριόντων

5.5.1 Εισαγωγή

Οι επιφανειακές επικαλύψεις εφαρμόζονται όλο και περισσότερο σε δομές σκυροδέματος, για τη μείωση διείσδυσης χλωριόντων, τόσο από θαλασσινό νερό, όσο και από άλατα αποπάγωσης. [38] Στις περισσότερες πρακτικές καταστάσεις, μια αποτελεσματική επικάλυψη απαιτεί αντίσταση, τόσο στην υδατοπερατότητα, όσο και στη διαπερατότητα ιόντων χλωρίου, γι'αυτό απαιτούνται ειδικές μετρήσεις.

Η αντίσταση στην υδατοπερατότητα είναι, σχετικά, εύκολο να μετρηθεί με βάση την παρακολούθηση της μεταβολής του βάρους των δειγμάτων, λόγω απορρόφησης νερού. Αντιθέτως, η αντίσταση στη διάχυση χλωριόντων είναι πιο δύσκολο να μετρηθεί, κυρίως, διότι, αν μια επιφανειακή επικάλυψη είναι αποτελεσματική, η φυσική διάχυση χλωριόντων είναι, εξαιρετικά, αργή. Έτσι, όλες

οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της διαπερατότητας ιόντων χλωρίου πρέπει να «επιταχυνθούν». [42]

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για να καθοριστεί η διαπερατότητα του σκυροδέματος σε ιόντα χλωρίου, όπως το “Salt ponding test”, το “Rapid chloride permeability test” και οι “Electrical migration techniques”. Ωστόσο, λίγες αναφορές βρέθηκαν σχετικά με τον καθορισμό της διαπερατότητας σε χλωριόντα των επικαλύψεων του σκυροδέματος. [43]

Τα ιόντα χλωρίου μπορεί να μεταφερθούν μέσα από ένα φιλμ επικάλυψης διαλυμένα στο νερό ή μέσω ενός μηχανισμού ανταλλαγής ιόντων. [44,45] Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι δυνατόν να ρυθμιστεί η μεταφορά των ιόντων χλωρίου ρυθμίζοντας, απλώς, την υδατοπερατότητα, όπως αναφέρεται στο prEN 1504-2. [46] Πρέπει να εφαρμόζονται άμεσοι προσδιορισμοί.

5.5.2 Εργαστηριακή πορεία υπολογισμού της διαπερατότητας σε χλωριόντα

Για τη μελέτη της διαπερατότητας ιόντων χλωρίου, η πειραματική διάταξη αποτελούνταν από δύο κυψέλες διαπερατότητας, στις οποίες το εξεταζόμενο δείγμα λειτουργούσε ως μεμβράνη μεταξύ δύο διαλυμάτων.

Το εξεταζόμενο δείγμα ήταν διηθητικό χαρτί, το οποίο, στη μια του πλευρά, είχε βαφτεί με τα μελετούμενα χρώματα και είχε κοπεί σε κυκλικό σχήμα, διαμέτρου τέτοιας, ώστε να προσαρμόζεται ακριβώς στο στόμιο της πειραματικής διάταξης.

Στην πρώτη κυψέλη, είχε τοποθετηθεί διάλυμα χλωριούχου νατρίου (2,0 % w/v NaCl), ενώ στη δεύτερη, απιονισμένο νερό. Η βαμμένη πλευρά της μεμβράνης ήταν στραμμένη προς την κυψέλη με το διάλυμα NaCl. (Εικ.: 21)



Εικόνα 21: Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της διαπερατότητας σε χλωριόντα

Τα χλωριόντα διέρχονται μέσω της μεμβράνης, από το πυκνότερο προς το αραιότερο διάλυμα, με κινητήρια δύναμη τη φυσική διάχυση. Για τον προσδιορισμό του συνολικού ποσού των χλωριόντων που πέρασαν από τη βαμμένη μεμβράνη, εκτελούνταν, περιοδικά, μετρήσεις αγωγιμότητας, με τη βοήθεια του μετρητή αγωγιμότητας "Sension7" της "Hach", οι οποίες, στη συνέχεια, μετατράπηκαν σε τιμές συγκέντρωσης. (Εικ.: 22)



Εικόνα 22: Μέτρηση αγωγιμότητας, με τη βοήθεια του μετρητή αγωγιμότητας "Sension7" της "Hach"

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Παρουσίαση- Επεξεργασία πειραματικών αποτελεσμάτων

6.1 Μετρήσεις Υδατοπερατότητας

6.1.1 Παρουσίαση και επεξεργασία πειραματικών μετρήσεων

Οι μετρήσεις υδατοπερατότητας έλαβαν χώρα βάσει του προτύπου *DIN EN 1062-3*. Τα χρώματα εφαρμόστηκαν σε πορώδες υλικό, σύμφωνα και με τις απαιτήσεις του προτύπου και, συγκεκριμένα, σε κυλινδρικά δοκίμια τσιμεντοκονιάματος, η κατασκευή των οποίων περιγράφηκε, αναλυτικά, στην ενότητα 4.2.1 και η βαφή τους στην ενότητα 5.2.2.

Η διαδικασία των μετρήσεων υδατοπερατότητας άρχισε δύο εβδομάδες μετά την ημέρα ολοκλήρωσης της βαφής των δοκιμίων.

➤ Μέτρηση βάρους δοκιμίων

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε μια πρώτη μέτρηση του βάρους των δοκιμίων (συμπεριλαμβανομένων και των δοκιμίων αναφοράς). Η μέτρηση αυτή αποτέλεσε τη μηδενική μέτρηση μιας σειράς από διαδοχικές μετρήσεις του βάρους των δοκιμίων - οι οποίες πραγματοποιήθηκαν ανά τακτά χρονικά διαστήματα και , συγκεκριμένα, ανά 1, 2, 3, 6, 24 ώρες και για 3 ημέρες συνολικά - αρχής γενομένης από τη στιγμή που τα δοκίμια (βαμμένα και αναφοράς) τοποθετήθηκαν σε δοχείο με νερό, όπως περιγράφηκε στην ενότητα 5.3.5. Οι μετρήσεις αυτές παρατίθενται στον πίνακα 16.

Πίνακας 16: Αποτελέσματα μετρήσεων βάρους δοκιμίων

Βάρος Δοκιμίων (gr)

1 ^η Ημέρα						
	0	1 h	2 h	3 h	6 h	24 h
Ref1	151,30	161,69	163,39	163,60	163,73	164,01
Ref2	144,96	154,24	156,11	156,71	156,92	157,19
Ref3	146,91	156,92	158,98	159,15	159,38	159,58

Epoх1	150,34	150,46	150,62	150,70	150,87	150,88
Epoх2	148,94	148,96	149,04	149,20	149,33	149,38
Epoх3	149,48	149,50	149,51	149,52	149,54	149,57
Poly1	154,32	154,32	154,39	154,47	154,47	154,49
Poly2	153,98	153,99	153,97	153,98	154,04	154,00
Poly3	151,18	151,22	151,29	151,34	151,44	151,64
Eco_nano1	168,56	169,09	169,26	169,48	169,66	170,72
Eco_nano2	165,57	165,96	166,14	166,61	167,22	169,53
Eco_nano3	167,07	167,53	167,71	168,05	168,45	170,12
2^η Ημέρα						
	24+1 h	24+2 h	24+3 h	24+6 h	48 h	
Ref1	164,13	164,10	164,13	164,11	164,26	
Ref2	157,30	157,32	157,32	157,30	157,42	
Ref3	159,70	159,74	159,75	159,73	159,82	
Epoх1	151,01	151,05	151,07	151,19	151,95	
Epoх2	149,42	149,44	149,44	149,44	150,15	
Epoх3	149,60	149,59	149,59	149,64	149,61	
Poly1	154,52	154,53	154,53	154,53	154,72	
Poly2	154,00	154,00	154,00	154,03	154,00	
Poly3	151,66	151,66	151,66	151,73	151,82	
Eco_nano1	170,80	170,86	170,88	170,97	171,40	
Eco_nano2	169,65	169,76	169,87	169,98	171,20	
Eco_nano3	170,23	170,32	170,38	170,48	171,32	

3^η Ημέρα

	48+1 h	48+2 h	48+3 h	48+6 h	72 h
Ref1	164,26	164,25	164,26	164,32	164,36
Ref2	157,40	157,41	157,44	157,52	157,52
Ref3	159,82	159,81	159,84	159,95	159,93
Epoх1	151,99	152,01	152,02	152,09	152,34
Epoх2	150,27	150,30	150,36	150,45	150,84
Epoх3	149,62	149,62	149,62	149,62	149,64
Poly1	154,73	154,75	154,77	154,77	154,78
Poly2	154,00	154,00	154,00	154,00	154,00
Poly3	151,83	151,84	151,86	151,91	151,96
Eco_nano1	171,52	171,63	171,64	171,70	172,00
Eco_nano2	171,38	171,59	171,60	171,65	172,26
Eco_nano3	171,45	171,62	171,63	171,68	172,14

ΥΠΟΜΝΗΜΑ: *Ref:* Δοκίμιο αναφοράς

Epoх: Δοκίμιο βαμμένο με “Εποξειδικό Χρώμα 2 Συστατικών”

Poly: Δοκίμιο βαμμένο με “Χρώμα Πολυουρεθάνης 2 Συστατικών”

Eco_nano: Δοκίμιο βαμμένο με “Οικολογικό Χρώμα Νανοτεχνολογίας”

➤ **Υπολογισμός διαφοράς βάρους (Δm σε gr)**

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε η διαφορά βάρους Δm (κάθε μέτρησης από τη μηδενική μέτρηση) κάθε δοκιμίου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 17.

Πίνακας 17: Μεταβολή βάρους δοκιμών Δm

Μεταβολή βάρους δοκιμών (Δm σε gr)

1^η Ημέρα

	0	1 h	2 h	3 h	6 h	24 h
	0	60 min	120 min	180 min	360 min	1440 min
Ref1	0	10,39	12,09	12,3	12,43	12,71
Ref2	0	9,28	11,15	11,75	11,96	12,23
Ref3	0	10,01	12,07	12,24	12,47	12,67
M.O.	0	9,893333333	11,77	12,09666667	12,28666667	12,53666667
Epoх1	0	0,12	0,28	0,36	0,53	0,54
Epoх2	0	0,02	0,1	0,26	0,39	0,44
Epoх3	0	0,02	0,03	0,04	0,06	0,09
M.O.	0	0,053333333	0,136666667	0,22	0,326666667	0,356666667
Poly1	0	0	0,07	0,15	0,15	0,17
Poly2	0	0,01	-0,01	0	0,06	0,02
Poly3	0	0,04	0,11	0,16	0,26	0,46
M.O.	0	0,016666667	0,056666667	0,103333333	0,156666667	0,216666667
Eco_nano1	0	0,53	0,7	0,92	1,1	2,16
Eco_nano2	0	0,39	0,57	1,04	1,65	3,96
Eco_nano3	0	0,46	0,64	0,98	1,38	3,05
M.O.	0	0,46	0,635	0,98	1,375	3,056666667

2^η Ημέρα

	0	24+1 h	24+2 h	24+3 h	24+6 h	48 h
	0	1500 min	1560 min	1620 min	1800 min	2880 min
Ref1	0	12,83	12,8	12,83	12,81	12,96
Ref2	0	12,34	12,36	12,36	12,34	12,46
Ref3	0	12,79	12,83	12,84	12,82	12,91
M.O.	0	12,653333333	12,663333333	12,676666667	12,656666667	12,776666667
Epoх1	0	0,67	0,71	0,73	0,85	1,61
Epoх2	0	0,48	0,5	0,5	0,5	1,21
Epoх3	0	0,12	0,11	0,11	0,16	0,13
M.O.	0	0,4233333333	0,44	0,4466666667	0,5033333333	0,9833333333
Poly1	0	0,20	0,21	0,21	0,21	0,40
Poly2	0	0,02	0,02	0,02	0,05	0,02
Poly3	0	0,48	0,48	0,48	0,55	0,64
M.O.	0	0,2333333333	0,2366666667	0,2366666667	0,27	0,3533333333
Eco_nano1	0	2,24	2,3	2,32	2,41	2,84
Eco_nano2	0	4,08	4,19	4,3	4,41	5,63
Eco_nano3	0	3,16	3,25	3,31	3,41	4,25
M.O.	0	3,16	3,245	3,31	3,41	4,24

3^η Ημέρα

	0	48+1 h	48+2 h	48+3 h	48+6 h	72 h
	0	2940 min	3000 min	3060 min	3240 min	4320 min
Ref1	0	12,96	12,95	12,96	13,02	13,06
Ref2	0	12,44	12,45	12,48	12,56	12,56
Ref3	0	12,91	12,90	12,93	13,04	13,02
M.O.	0	12,77	12,766666667	12,79	12,873333333	12,88

Erox1	0	1,65	1,67	1,68	1,75	2
Erox2	0	1,33	1,36	1,42	1,51	1,9
Erox3	0	0,14	0,14	0,14	0,14	0,16
M.O.	0	1,04	1,056666667	1,08	1,133333333	1,353333333
Poly1	0	0,41	0,43	0,45	0,45	0,46
Poly2	0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Poly3	0	0,65	0,66	0,68	0,73	0,78
M.O.	0	0,36	0,37	0,383333333	0,4	0,42
Eco_nano1	0	2,96	3,07	3,08	3,14	3,44
Eco_nano2	0	5,81	6,02	6,03	6,08	6,69
Eco_nano3	0	4,39	4,55	4,56	4,61	5,07
M.O.	0	4,385	4,545	4,555	4,61	5,065

ΥΠΟΜΝΗΜΑ: *Ref:* Δοκίμιο αναφοράς

Erox: Δοκίμιο βαμμένο με “Εποξειδικό Χρώμα 2 Συστατικών”

Poly: Δοκίμιο βαμμένο με “Χρώμα Πολυουρεθάνης 2 Συστατικών”

Eco_nano: Δοκίμιο βαμμένο με “Οικολογικό Χρώμα Νανοτεχνολογίας”

➤ **Υπολογισμός υδατοπερατότητας ανά μονάδα επιφάνειας (W σε gr/mm²)**

Ακολουθως, υπολογίστηκε η υδατοπερατότητα ανά μονάδα επιφάνειας (W σε gr/mm²) για κάθε σύστημα βαφής (χρώμα), βάσει της εξίσωσης:

$$W = \Delta m / E \quad (\text{εξίσωση 6.1})$$

Όπου:

E: το εμβαδόν της επιφάνειας του κυλινδρικού δοκιμίου που βρίσκεται βυθισμένο στο νερό

Το κυλινδρικό δοκίμιο έχει διάμετρο 43 mm (ακτίνα 21,5 mm) και βρίσκεται βυθισμένο κατά L=10 mm στο νερό. Επομένως, το εμβαδόν ισούται με:

$$E = (\pi * r^2) + (2 * \pi * r * L) = 2803,09 \text{ mm}^2$$

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 18.

Πίνακας 18: Υπολογισμός υδατοπερατότητας ανά μονάδα επιφάνειας (W σε gr/mm²)

Υδατοπερατότητα/μονάδα επιφάνειας (W σε gr/mm²)

1^η Ημέρα

	0	1 h	2 h	3 h	6 h	24 h
	0	60 min	120 min	180 min	360 min	1440 min
Ref1	0	0,003706624	0,004313097	0,004388015	0,004434392	0,004534282
Ref2	0	0,003310632	0,003977753	0,004191803	0,00426672	0,004363042
Ref3	0	0,003571059	0,004305962	0,00436661	0,004448662	0,004520012
M.O.	0	0,003529438	0,004198938	0,004315476	0,004383258	0,004472445
Epoxy1	0	4,28099E-05	9,98898E-05	0,00012843	0,000189077	0,000192645
Epoxy2	0	7,13498E-06	3,56749E-05	9,27548E-05	0,000139132	0,00015697
Epoxy3	0	7,13498E-06	1,07025E-05	1,427E-05	2,14049E-05	3,21074E-05
M.O.	0	1,90266E-05	4,87557E-05	7,84848E-05	0,000116538	0,000127241
Poly1	0	0	2,49724E-05	5,35124E-05	5,35124E-05	6,06474E-05
Poly2	0	3,56749E-06	-3,56749E-06	0	2,14049E-05	7,13498E-06
Poly3	0	1,427E-05	3,92424E-05	5,70799E-05	9,27548E-05	0,000164105
M.O.	0	5,94582E-06	2,02158E-05	3,68641E-05	5,58907E-05	7,72957E-05
Eco_nano1	0	0,000189077	0,000249724	0,000328209	0,000392424	0,000770578
Eco_nano2	0	0,000139132	0,000203347	0,000371019	0,000588636	0,001412727
Eco_nano3	0	0,000164105	0,000226536	0,000349614	0,00049053	0,001088085
M.O.	0	0,000164105	0,000226536	0,000349614	0,00049053	0,001090463

2^η Ημέρα

	0	24+1 h	24+2 h	24+3 h	24+6 h	48 h
	0	1500 min	1560 min	1620 min	1800 min	2880 min
Ref1	0	0,004577092	0,004566389	0,004577092	0,004569957	0,004623469
Ref2	0	0,004402285	0,00440942	0,00440942	0,004402285	0,004445095
Ref3	0	0,004562822	0,004577092	0,004580659	0,004573524	0,004605632
M.O.	0	0,004514066	0,004517634	0,00452239	0,004515255	0,004558065
EpoX1	0	0,000239022	0,000253292	0,000260427	0,000303237	0,000574366
EpoX2	0	0,00017124	0,000178375	0,000178375	0,000178375	0,000431666
EpoX3	0	4,28099E-05	3,92424E-05	3,92424E-05	5,70799E-05	4,63774E-05
M.O.	0	0,000151024	0,00015697	0,000159348	0,000179564	0,000350803
Poly1	0	7,13498E-05	7,49173E-05	7,49173E-05	7,49173E-05	0,0001427
Poly2	0	7,13498E-06	7,13498E-06	7,13498E-06	1,78375E-05	7,13498E-06
Poly3	0	0,00017124	0,00017124	0,00017124	0,000196212	0,000228319
M.O.	0	8,32415E-05	8,44306E-05	8,44306E-05	9,63223E-05	0,000126051
Eco_nano1	0	0,000799118	0,000820523	0,000827658	0,000859765	0,001013168
Eco_nano2	0	0,001455537	0,001494779	0,001534021	0,001573264	0,002008498
Eco_nano3	0	0,001127327	0,001157651	0,00118084	0,001216515	0,001516184
M.O.	0	0,001127327	0,001157651	0,00118084	0,001216515	0,001512616

3^η Ημέρα

	0	48+1 h	48+2 h	48+3 h	48+6 h	72 h
	0	2940 min	3000 min	3060 min	3240 min	4320 min
Ref1	0	0,004623469	0,004619902	0,004623469	0,004644874	0,004659144
Ref2	0	0,00443796	0,004441527	0,00445223	0,004480769	0,004480769
Ref3	0	0,004605632	0,004602064	0,004612767	0,004652009	0,004644874
M.O.	0	0,004555687	0,004554498	0,004562822	0,004592551	0,004594929

Erox1	0	0,000588636	0,000595771	0,000599339	0,000624311	0,000713498
Erox2	0	0,000474476	0,000485179	0,000506584	0,000538691	0,000677823
Erox3	0	4,99449E-05	4,99449E-05	4,99449E-05	4,99449E-05	5,70799E-05
M.O.	0	0,000371019	0,000376965	0,000385289	0,000404316	0,000482801
Poly1	0	0,000146267	0,000153402	0,000160537	0,000160537	0,000164105
Poly2	0	7,13498E-06	7,13498E-06	7,13498E-06	7,13498E-06	7,13498E-06
Poly3	0	0,000231887	0,000235454	0,000242589	0,000260427	0,000278264
M.O.	0	0,00012843	0,000131997	0,000136754	0,0001427	0,000149835
Eco_nano1	0	0,001055978	0,00109522	0,001098787	0,001120192	0,001227217
Eco_nano2	0	0,002072713	0,00214763	0,002151197	0,002169035	0,002386652
Eco_nano3	0	0,001564345	0,001621425	0,001624992	0,001644614	0,001806934
M.O.	0	0,001564345	0,001621425	0,001624992	0,001644614	0,001806934

ΥΠΟΜΝΗΜΑ: *Ref:* Δοκίμιο αναφοράς

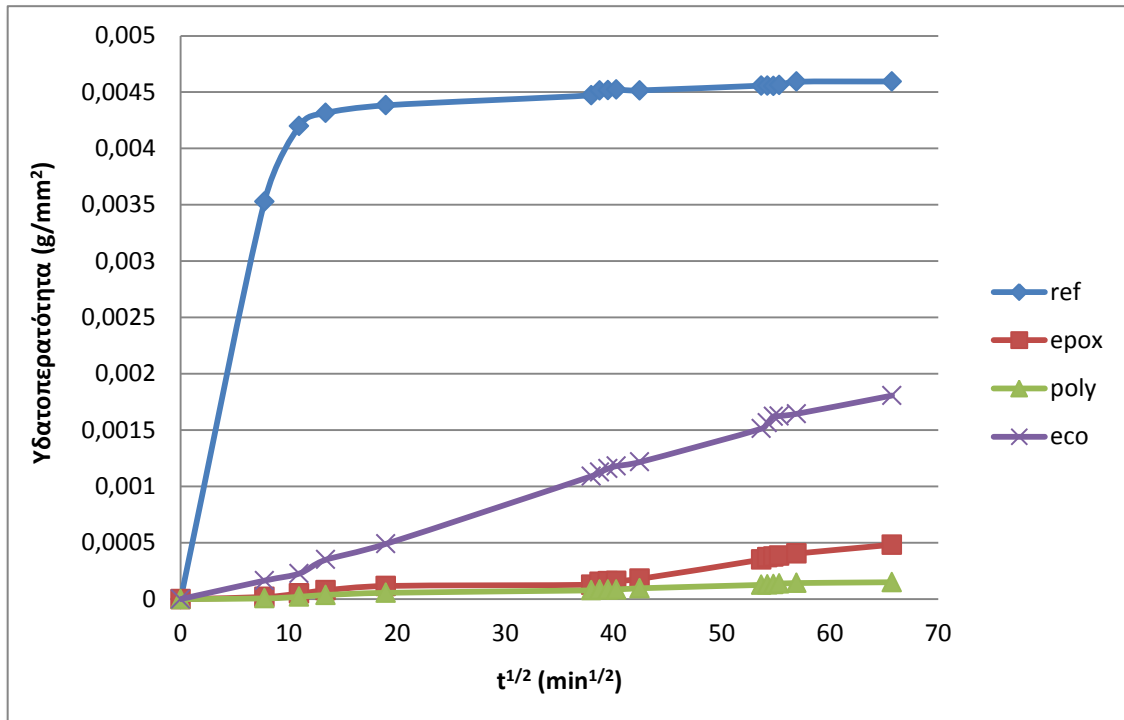
Erox: Δοκίμιο βαμμένο με “Εποξειδικό Χρώμα 2 Συστατικών”

Poly: Δοκίμιο βαμμένο με “Χρώμα Πολυουρεθάνης 2 Συστατικών”

Eco_nano: Δοκίμιο βαμμένο με “Οικολογικό Χρώμα Νανοτεχνολογίας”

6.1.2 Μεταβολή της υδατοπερατότητας συναρτήσει του χρόνου

Προκειμένου να εξαχθεί ένα πρώτο συμπέρασμα για την αποτελεσματικότητα των χρωμάτων, τα αποτελέσματα της υδατοπερατότητας για κάθε δοκίμιο (μέσος όρος) παριστάνονται γραφικά, σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου.



Διάγραμμα 1: Μεταβολή υδατοπερατότητας δοκιμίων τσιμεντοκονιάματος, συναρτήσει της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου, για διάστημα 3 ημερών

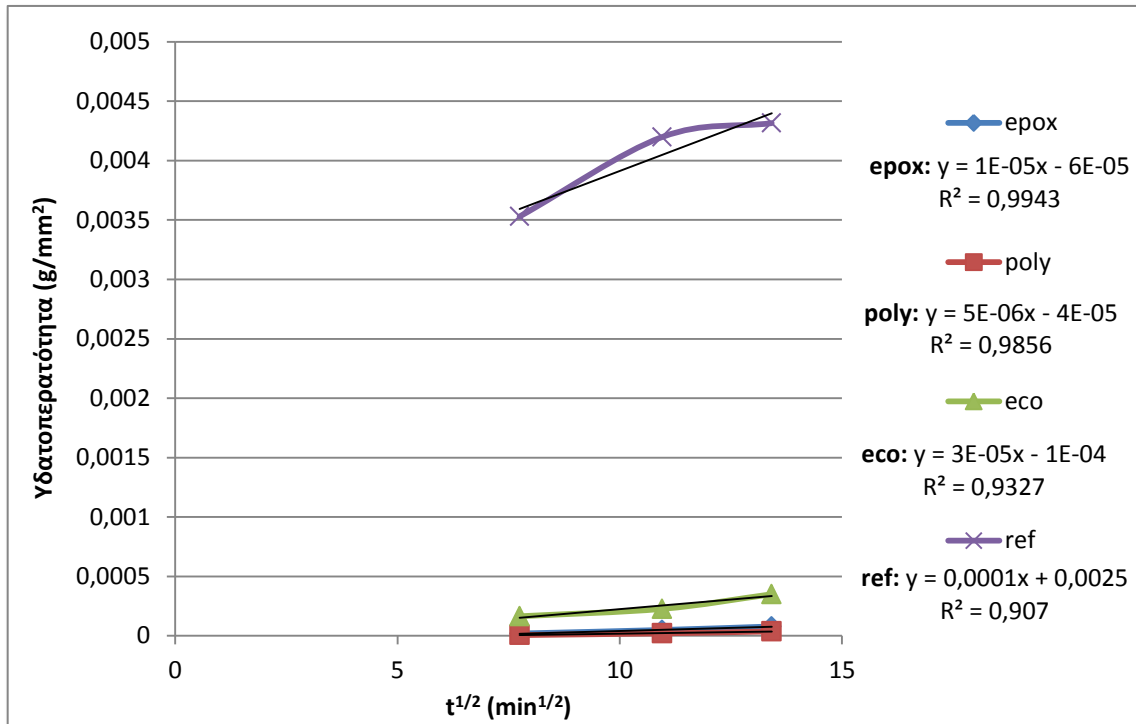
Από το διάγραμμα 1 διαπιστώνεται, εύκολα, ότι το δοκίμιο αναφοράς (Ref), το οποίο δεν έχει καμία επικάλυψη, απορροφά πολύ μεγαλύτερη ποσότητα νερού ανά μονάδα επιφάνειας από οποιοδήποτε άλλο δοκίμιο, στο διάστημα των τριών ημερών. Συγκρίνοντας όλα τα δοκίμια, προκύπτει η ακόλουθη φθίνουσα σειρά κατάταξης, ως προς την υδατοπερατότητα, των χρωμάτων που μελετήθηκαν:

$$\text{Ref} > \text{Eco_nano} > \text{Erox} > \text{Poly}$$

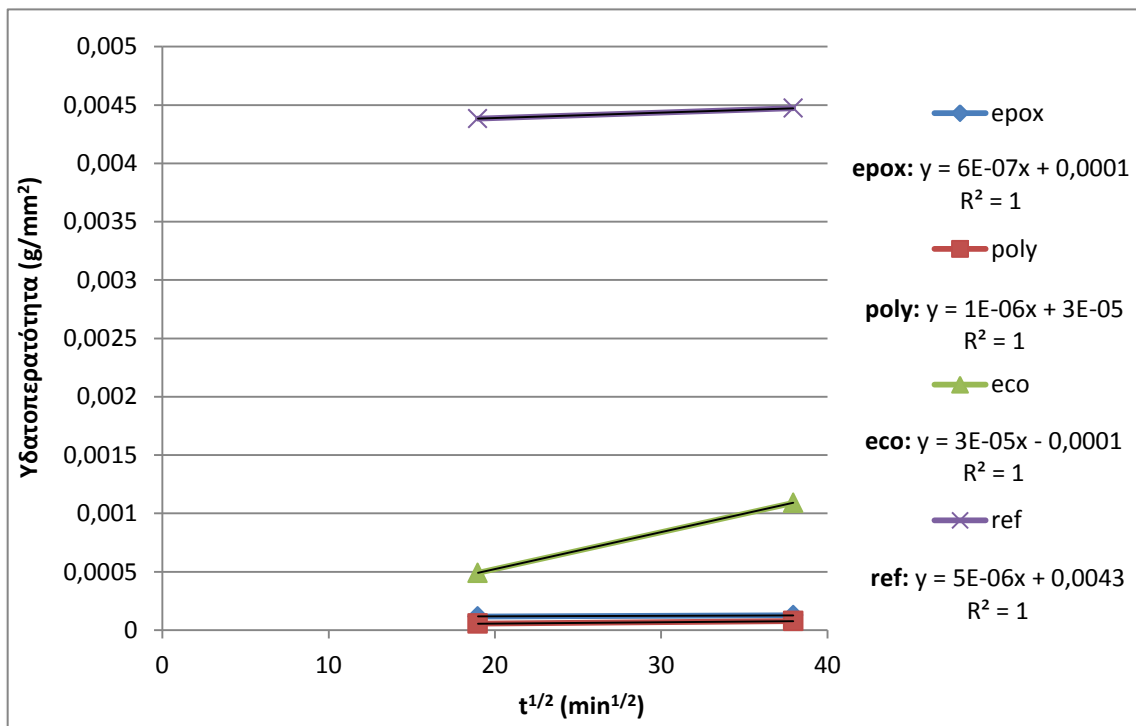
Ρυθμός Υδατοπερατότητας

Ο ρυθμός υδατοπερατότητας προκύπτει με γραμμική παρεμβολή, με την προϋπόθεση ότι ο ρυθμός αύξησης του βάρους των δοκιμίων, λόγω της απορρόφησης ύδατος, σταθεροποιείται. Συγκεκριμένα, για την πρώτη ημέρα μετρήσεων, παρατηρείται ότι για όλα τα υπό μελέτη συστήματα αυτό συμβαίνει στο διάστημα 60 έως 180 min (διάγραμμα 2) και από 360 έως 1440 min (διάγραμμα 3). Ο ρυθμός υδατοπερατότητας για τη δεύτερη και τρίτη ημέρα υπολογίζεται από τα

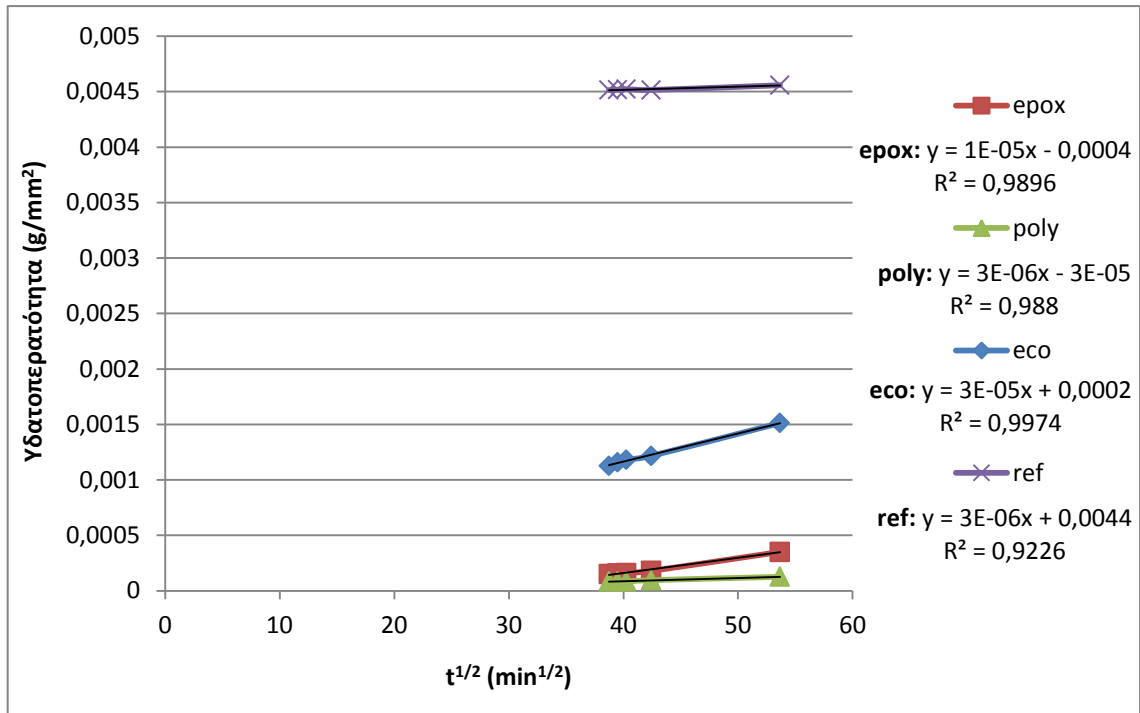
διαγράμματα 4 και 5, αντίστοιχα. Ο ρυθμός υδατοπερατότητας αντιστοιχεί στην κλίση της ευθείας, για κάθε σύστημα βαφής.



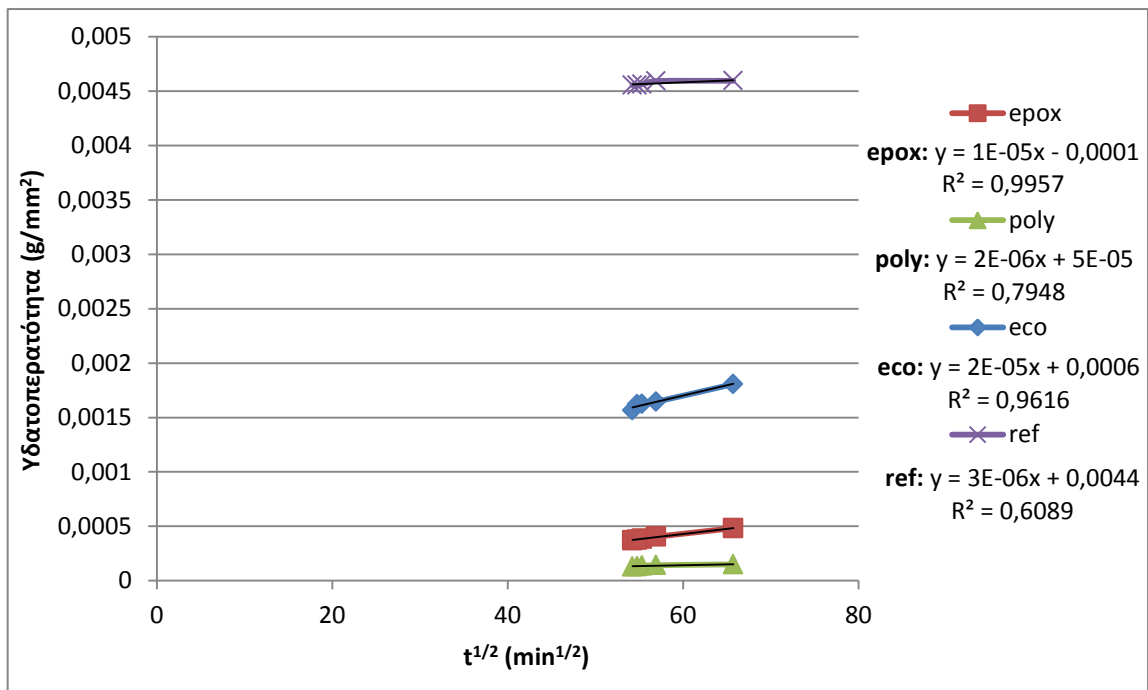
Διάγραμμα 2: Υπολογισμός ρυθμού υδατοπερατότητας δοκιμών τσιμεντοκονιάματος_1^η ημέρα (60-180 min)



Διάγραμμα 3: Υπολογισμός ρυθμού υδατοπερατότητας δοκιμών τσιμεντοκονιάματος_1^η ημέρα (360-1440 min)



Διάγραμμα 4: Υπολογισμός ρυθμού υδατοπερατότητας δοκιμών τσιμεντοκονιάματος _2^η ημέρα



Διάγραμμα 5: Υπολογισμός ρυθμού υδατοπερατότητας δοκιμών τσιμεντοκονιάματος _3^η ημέρα

Στον πίνακα 19 δίνεται, συγκεντρωτικά, ο ρυθμός υδατοπερατότητας για κάθε ημέρα και, επιπλέον, υπολογίζεται ο μέσος όρος και για τις τρεις ημέρες.

Πίνακας 19: Ρυθμός υδατοπερατότητας

Ρυθμός Υδατοπερατότητας [$\text{g}/(\text{mm}^2 * \text{min}^{1/2})$]						
	1 ^α ημέρα	1 ^β ημέρα	2 ^η ημέρα	3 ^η ημέρα	Μ.Ο. $\text{g}/(\text{mm}^2 * \text{min}^{1/2})$	Μ.Ο. $\text{Kg}/(\text{m}^2 * \text{h}^{1/2})$
Erox	0,00001	0,0000006	0,00001	0,00001	0,00000765	0,059
Poly	0,000005	0,000001	0,000003	0,000002	0,00000275	0,021
Eco_nano	0,00003	0,00003	0,00003	0,00002	0,0000275	0,2132
Ref	0,0001	0,000005	0,000003	0,000003	0,000028	0,2151

ΥΠΟΜΝΗΜΑ: *Ref*: Δοκίμιο αναφοράς

Erox: Δοκίμιο βαμμένο με “Εποξειδικό Χρώμα 2 Συστατικών”

Poly: Δοκίμιο βαμμένο με “Χρώμα Πολυουρεθάνης 2 Συστατικών”

Eco_nano: Δοκίμιο βαμμένο με “Οικολογικό Χρώμα Νανοτεχνολογίας”

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πίνακα 19, τα συστήματα βαφής κατατάσσονται, βάσει του μέσου όρου του ρυθμού υδατοπερατότητας ανά μονάδα επιφάνειας:

Ref > Eco_nano > Erox > Poly

Η κατάταξη αυτή επιβεβαιώνει την αρχική εκτίμηση για τη σειρά χρωμάτων, όπως αυτή είχε προκύψει από τα αποτελέσματα της υδατοπερατότητας (Διάγραμμα 1).

6.1.3 Πρώτο μερικό συμπέρασμα

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, μια από τις επιθυμητές ιδιότητες ενός χρώματος είναι η μείωση της υδατοπερατότητας, διότι το νερό αποτελεί φορέα διαβρωτικών ουσιών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων, διαπιστώνεται ότι και τα τρία δοκίμια που έχουν επικαλυφθεί με χρώματα παρουσιάζουν μειωμένο βαθμό

υδατοπερατότητας, σε σύγκριση με τα δοκίμια αναφοράς. Τη μικρότερη τιμή παρουσιάζουν το *Erox* και το *Poly*, ενώ το *Eco_nano* εμφανίζει τη μεγαλύτερη διαπερατότητα στο νερό. Βάσει του προτύπου *DIN EN 1062-3: 1998*, τα *Erox* και *Poly* ταξινομούνται στην κατηγορία «χαμηλού» ρυθμού υδατοπερατότητας, ενώ το *Eco_nano* σε αυτήν του «μέτριου» ρυθμού, όπως φαίνεται και στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 20: Ταξινόμηση των συστημάτων βαφής, βάσει του ρυθμού υδατοπερατότητας, σύμφωνα με το πρότυπο DIN EN 1062-3: 1998

Χρώματα	Ρυθμός Υδατοπερατότητας [Kg/(m ² * h ^{1/2})]	Κατηγορία
<i>Erox</i>	0,059	III (χαμηλή)
<i>Poly</i>	0,021	III (χαμηλή)
<i>Eco_nano</i>	0,2132	II (μέτριας)

ΥΠΟΜΝΗΜΑ: *Erox*: “Εποξειδικό Χρώμα 2 Συστατικών”

Poly: “Χρώμα Πολυουρεθάνης 2 Συστατικών”

Eco_nano: “Οικολογικό Χρώμα Νανοτεχνολογίας”

6.2 Μετρήσεις Υδρατμοπερατότητας

6.2.1 Παρουσίαση και επεξεργασία πειραματικών αποτελεσμάτων

Οι μετρήσεις υδρατμοπερατότητας έλαβαν χώρα βάσει του προτύπου *DIN EN ISO 7783-2: 1999*. Η περιγραφή της διαδικασίας του πειράματος έγινε, αναλυτικά, στην ενότητα 5.4. Θεωρείται ότι τα πειράματα διεξήχθησαν σε συνθήκες θερμοκρασίας 25 °C και σχετικής υγρασίας 55%.

➤ Μετρήσεις βάρους δοκιμών

Αρχικά, μετρήθηκαν τα βάρη των ειδικών πλαστικών δοχείων που φέρουν στο πάνω μέρος τους το ειδικό χαρτί, βαμμένο με τα εξεταζόμενα χρώματα, και το οποίο έχει συγκολληθεί με τη χρήση σιλικόνης, για διάστημα δύο εβδομάδων.

Σε αυτό το σημείο, κρίνεται σκόπιμο να δοθούν κάποιες διευκρινίσεις, οι οποίες θα διευκολύνουν την κατανόηση των πειραματικών αποτελεσμάτων:

1. Ως δοκίμιο, θεωρείται το ειδικό χαρτί που είναι βαμμένο, από τη μια του πλευρά, με τα υπό εξέταση χρώματα
2. Η πρώτη μέτρηση έλαβε χώρα μία μέρα μετά τη συγκόλληση του χαρτιού στο πλαστικό δοχείο και θεωρείται η μέτρηση τη χρονική στιγμή $t=0$ (1^η ημέρα)
3. Όταν δίνονται αποτελέσματα, π.χ. βάρους, απώλειας βάρους κτλ., χρησιμοποιείται η ονομασία του δοκιμίου και αναφέρονται σε όλη τη διάταξη (πλαστικό δοχείο και ειδικό χαρτί)

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων βάρους παρατίθενται στον πίνακα 21.

Πίνακας 21: Αποτελέσματα μετρήσεων βάρους δοκιμίων

Βάρος Δοκιμίων (gr)

0^η – 7^η Ημέρα

	0 day	1 day	2 day	3 day	4 day	5 day	6 day	7 day
Ref1	252,43	246,67	241,47	235,97	229,29	223,48	217,72	211,48
Ref2	254,64	247,52	242,02	236,49	229,54	223,1	216,88	210,29
Ref3	249,65	244,14	238,67	233,12	226,45	220,55	214,84	208,59
EpoX1	259,84	259,67	259,51	259,35	259,2	259,03	258,88	258,74
EpoX2	254,09	253,87	253,7	253,50	253,31	253,15	252,96	252,81
EpoX3	261,73	261,59	261,47	261,35	261,24	261,12	261,01	260,87
Poly1	260,15	260,03	259,91	259,79	259,67	259,55	259,45	259,3
Poly2	265,77	265,65	265,55	265,44	265,32	265,2	265,09	264,98
Poly3	263,72	263,58	263,46	263,31	263,17	263,04	262,9	262,77
Eco1	325,26	324,89	324,61	324,39	324,23	324,00	323,71	323,47
Eco2	335,11	334,58	334,28	333,96	333,70	333,53	333,18	332,90
Eco3	324,99	324,53	324,26	324,00	323,84	323,62	323,33	323,10

8^η – 14^η Ημέρα

8 day 9 day 10 day 11 day 12 day 13 day 14 day

Ref1	205,47	199,61	194,39	189,66	184	178,13	172,43
Ref2	203,02	196,62	190,82	185,13	178,82	173,15	167,40
Ref3	202,66	196,74	191,64	186,77	181,12	175,35	169,63
Erox1	258,59	258,4	258,24	258,09	257,96	257,74	257,56
Erox2	252,63	252,41	252,25	252,1	251,9	251,7	251,51
Erox3	260,75	260,63	260,52	260,41	260,3	260,16	260,04
Poly1	259,19	259,08	258,96	258,85	258,72	258,58	258,46
Poly2	264,85	264,72	264,61	264,51	264,4	264,27	264,15
Poly3	262,6	262,44	262,31	262,21	262,06	261,89	261,75
Eco1	323,19	322,88	322,52	322,17	321,73	321,40	321,14
Eco2	332,55	332,18	331,80	331,38	330,86	330,45	330,15
Eco3	322,79	322,49	322,15	321,78	321,37	321,03	320,77

ΥΠΟΜΝΗΜΑ: *Ref*: Δοκίμιο αναφοράς

Erox: Δοκίμιο με χαρτί βαμμένο με “Εποξειδικό Χρώμα 2 Συστατικών”

Poly: Δοκίμιο με χαρτί βαμμένο με “Χρώμα Πολυουρεθάνης 2 Συστατικών”

Eco (Eco_nano): Δοκίμιο με χαρτί βαμμένο με “Οικολογικό Χρώμα

Νανοτεχνολογίας”

➤ Υπολογισμός απώλειας μάζας Δm_i (gr)

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε η απώλεια μάζας, σε gr, για κάθε δείγμα, ανά ημέρα. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον πίνακα 22.

Πίνακας 22: Απώλεια μάζας Δm_i (gr)

Απώλεια μάζας Δm_i (gr)

0^η – 7^η Ημέρα

	0 day	1 day	2 day	3 day	4 day	5 day	6 day	7 day
Ref1	0	5,76	10,96	16,46	23,14	28,95	34,71	40,95
Ref2	0	7,12	12,62	18,15	25,1	31,54	37,76	44,35
Ref3	0	5,51	10,98	16,53	23,2	29,1	34,81	41,06
M.O.	0	6,13	11,52	17,046 66667	23,8133 3333	29,8633 3333	35,76	42,12
EpoX1	0	0,17	0,33	0,49	0,64	0,81	0,96	1,1
EpoX2	0	0,22	0,39	0,59	0,78	0,94	1,13	1,28
EpoX3	0	0,14	0,26	0,38	0,49	0,61	0,72	0,86
M.O.	0	0,17666 6667	0,32666 6667	0,4866 66667	0,63666 6667	0,78666 6667	0,93666 6667	1,08
Poly1	0	0,12	0,24	0,36	0,48	0,6	0,7	0,85
Poly2	0	0,12	0,22	0,33	0,45	0,57	0,68	0,79
Poly3	0	0,14	0,26	0,41	0,55	0,68	0,82	0,95
M.O.	0	0,12666 6667	0,24	0,3666 66667	0,49333 3333	0,61666 6667	0,73333 3333	0,8633 33333
Eco1	0	0,37	0,65	0,87	1,03	1,26	1,55	1,79
Eco2	0	0,53	0,83	1,15	1,41	1,58	1,93	2,21
Eco3	0	0,46	0,73	0,99	1,15	1,37	1,66	1,89
M.O.	0	0,45333 3333	0,73666 6667	1,0033 33333	1,19666 6667	1,40333 3333	1,71333 3333	1,9633 33333

8^η – 14^η Ημέρα

	8 day	9 day	10 day	11 day	12 day	13 day	14 day
Ref1	46,96	52,82	58,04	62,77	68,43	74,3	80
Ref2	51,62	58,02	63,82	69,51	75,82	81,49	87,24
Ref3	46,99	52,91	58,01	62,88	68,53	74,3	80,02
M.O.	48,523 33333	54,58333 333	59,9566 6667	65,0533 3333	70,92666 667	76,6966 6667	82,42

Erox1	1,25	1,44	1,6	1,75	1,88	2,1	2,28
Erox2	1,46	1,68	1,84	1,99	2,19	2,39	2,58
Erox3	0,98	1,1	1,21	1,32	1,43	1,57	1,69
M.O.	1,23	1,406666 667	1,55	1,68666 6667	1,833333 333	2,02	2,18333 3333
Poly1	0,96	1,07	1,19	1,3	1,43	1,57	1,69
Poly2	0,92	1,05	1,16	1,26	1,37	1,5	1,62
Poly3	1,12	1,28	1,41	1,51	1,66	1,83	1,97
M.O.	1	1,133333 333	1,25333 3333	1,35666 6667	1,486666 667	1,63333 3333	1,76
Eco1	2,07	2,38	2,74	3,09	3,53	3,86	4,12
Eco2	2,56	2,93	3,31	3,73	4,25	4,66	4,96
Eco3	2,2	2,5	2,84	3,21	3,62	3,96	4,22
M.O.	2,2766 66667	2,603333 333	2,96333 3333	3,34333 3333	3,8	4,16	4,43333 3333

ΥΠΟΜΝΗΜΑ: *Ref:* Δοκίμιο αναφοράς

Erox: Δοκίμιο με χαρτί βαμμένο με “Εποξειδικό Χρώμα 2 Συστατικών”

Poly: Δοκίμιο με χαρτί βαμμένο με “Χρώμα Πολυουρεθάνης 2 Συστατικών”

Eco (Eco_nano): Δοκίμιο με χαρτί βαμμένο με “Οικολογικό Χρώμα

Νανοτεχνολογίας”

▼ Υπολογισμός απώλειας μάζας Δm_i (mg/h)

Ακολούθως, υπολογίστηκε η απώλεια μάζας, σε mg/h, για κάθε δείγμα. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον πίνακα 23.

Πίνακας 23: Απώλεια μάζας Δmi (mg/h)

Απώλεια μάζας Δmi (mg/h)

0^η – 7^η Ημέρα

	0 day	1 day	2 day	3 day	4 day	5 day	6 day	7 day
		24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	144 h	168 h
Ref1	0	240	228,333	228,61	241,042	241,25	241,042	243,75
Ref2	0	296,666	262,916	252,08	261,458	262,833	262,222	263,99
Ref3	0	229,583	228,75	229,58	241,666	242,5	241,736	244,40
M.O.	0	255,416	240	236,76	248,055	248,861	248,333	250,71
Erox1	0	7,08333	6,875	6,8056	6,66666	6,75	6,66666	6,5476
Erox2	0	9,16666	8,125	8,1944	8,125	7,83333	7,84722	7,6190
Erox3	0	5,83333	5,41666	5,2778	5,10416	5,08333	5	5,1190
M.O.	0	7,36111	6,80555	6,7593	6,63194	6,55555	6,50463	6,4286
Poly1	0	5	5	5	5	5	4,86111	5,0595
Poly2	0	5,83333	4,58333	4,5833	4,6875	4,75	4,72222	4,7024
Poly3	0	5,27777	5,41666	5,6944	5,72916	5,66666	5,69444	5,6548
M.O.	0	5,37037	5	5,0926	5,13888	5,13888	5,09259	5,1389
Eco1	0	15,4167	13,5417	12,083	10,7292	10,5	10,7639	10,655
Eco2	0	22,0833	17,2917	15,972	14,6875	13,1667	13,4028	13,155
Eco3	0	19,1667	15,2083	13,75	11,9792	11,4167	11,5278	11,25
M.O.	0	18,8889	15,3472	13,935	12,4653	11,6944	11,8981	11,687

8^η – 14^η Ημέρα

	8 day	9 day	10 day	11 day	12 day	13 day	14 day
	192 h	216 h	240 h	264 h	288 h	312 h	336 h

Ref1	244,58	244,5370	241,833	237,765	237,6042	238,141	238,095
Ref2	268,85	268,6111	265,917	263,295	263,2639	261,186	259,643
Ref3	244,74	244,9537	241,708	238,182	237,9514	238,141	238,155
M.O.	252,73	252,7006	249,819	246,414	246,2731	245,823	245,298
Erox1	6,5104	6,666667	6,66667	6,62879	6,527778	6,73077	6,78571
Erox2	7,6042	7,777778	7,66667	7,53788	7,604167	7,66026	7,67857
Erox3	5,1042	5,092593	5,04167	5	4,965278	5,03205	5,02976
M.O.	6,4063	6,512346	6,45833	6,38889	6,365741	6,47436	6,49802
Poly1	5	4,953704	4,95833	4,92424	4,965278	5,03205	5,02976
Poly2	4,7917	4,861111	4,83333	4,77273	4,756944	4,80769	4,82143
Poly3	5,8333	5,925926	5,875	5,71970	5,763889	5,86538	5,86310
M.O.	5,2083	5,246914	5,22222	5,13889	5,162037	5,23504	5,23810
Eco1	10,781	11,01852	11,4167	11,7045	12,25694	12,3718	12,2619
Eco2	13,333	13,56481	13,7917	14,1288	14,75694	14,9359	14,7619
Eco3	11,458	11,57407	11,8333	12,1591	12,56944	12,6923	12,5595
M.O.	11,858	12,05247	12,3472	12,6641	13,19444	13,3333	13,1944

ΥΠΟΜΝΗΜΑ: *Ref:* Δοκίμιο αναφοράς

Erox: Δοκίμιο με χαρτί βαμμένο με “Εποξειδικό Χρώμα 2 Συστατικών”

Poly: Δοκίμιο με χαρτί βαμμένο με “Χρώμα Πολυουρεθάνης 2 Συστατικών”

Eco (Eco_nano): Δοκίμιο με χαρτί βαμμένο με “Οικολογικό Χρώμα

Νανοτεχνολογίας”

6.2.2 Υπολογισμός ρυθμού υδρατμοπερατότητας

Τέλος, υπολογίστηκε ο ρυθμός διαπερατότητας υδρατμών, V , σε $\text{gr/m}^2\text{d}$, βάσει των εξισώσεων 5.2 και 5.3, οι οποίες αναλύθηκαν στην ενότητα 5.4.3, καθώς και το ισοδύναμο πάχος αέρα, s_d , σε m , βάσει της εξίσωσης 5.7 που αναλύθηκε στην ίδια ενότητα. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον πίνακα 24.

Πίνακας 24: Υπολογισμός ρυθμού υδρατμοπερατότητας (gr/m^2d)

Ρυθμός υδρατμοπερατότητας (gr/m^2d)

0^η – 7^η Ημέρα

	0 day	1 day	2 day	3 day	4 day	5 day	6 day	7 day
Ref1	0	905,376	861,364	862,41	909,305	910,091	909,305	919,52
Ref2	0	1119,14	991,826	950,96	986,325	991,512	989,207	995,87
Ref3	0	866,080	862,936	866,08	911,663	914,807	911,925	921,99
M.O.	0	963,533	905,376	893,15	935,764	938,803	936,812	945,79
EpoX1	0	26,7212	25,9352	25,673	25,1493	25,4637	25,1493	24,700
EpoX2	0	34,5803	30,6507	30,913	30,6507	29,5505	29,6029	28,742
EpoX3	0	22,0057	20,4338	19,910	19,2550	19,1764	18,8620	19,311
M.O.	0	27,7690	25,6733	25,499	25,0183	24,7302	24,5381	24,251
V	0	28,5931	26,4225	26,248	25,7056	25,3992	25,1981	24,889
S _d	0	0,73444	0,79478	0,8001	0,81694	0,82680	0,83340	0,8437
Poly1	0	18,8620	18,8620	18,862	18,8620	18,8620	18,3380	19,087
Poly2	0	22,0057	17,2902	17,290	17,6831	17,9189	17,8141	17,739
Poly3	0	19,9099	20,4338	21,482	21,6127	21,3769	21,4817	21,332
M.O.	0	20,2592	18,8620	19,211	19,3859	19,3859	19,2113	19,386
V	0	20,6943	19,2633	19,634	19,7960	19,7947	19,6135	19,792
S _d	0	1,01477	1,09016	1,0696	1,06082	1,06089	1,07069	1,0611
Eco1	0	58,1578	51,0846	45,583	40,4747	39,6102	40,6057	40,194
Eco2	0	83,3071	65,2311	60,254	55,4071	49,6699	50,5606	49,625
Eco3	0	72,3043	57,3719	51,870	45,1902	43,0682	43,4874	42,439
M.O.	0	71,2564	57,8958	52,569	47,0240	44,1161	44,8846	44,086
V	0	76,9469	61,8510	55,857	49,5121	46,2914	47,1433	46,242
S _d	0	0,27292	0,33953	0,3760	0,42414	0,45365	0,44545	0,4541

8^η – 14^η Ημέρα

	8 day	9 day	10 day	11 day	12 day	13 day	14 day
Ref1	922,67	922,4912	912,292	896,945	896,3376	898,363	898,190
Ref2	1014,2	1013,308	1003,14	993,255	993,1363	985,297	979,476
Ref3	923,26	924,0630	911,820	898,517	897,6475	898,363	898,415
M.O.	953,38	953,2875	942,419	929,572	929,0405	927,341	925,360
Epoх1	24,560	25,14932	25,1493	25,0064	24,62538	25,3911	25,5984
Epoх2	28,686	29,34088	28,9217	28,4359	28,68595	28,8975	28,9666
Epoх3	19,255	19,21129	19,0192	18,8620	18,73101	18,9829	18,9743
M.O.	24,167	24,56716	24,3634	24,1014	24,01411	24,4239	24,5131
V	24,795	25,21703	25,0100	24,7430	24,65131	25,0845	25,1801
S_d	0,8469	0,832770	0,83967	0,84873	0,851882	0,83717	0,83399
Poly1	18,862	18,68735	18,7048	18,5762	18,73101	18,9829	18,9743
Poly2	18,076	18,33805	18,2333	18,0046	17,94509	18,1365	18,1884
Poly3	22,006	22,35495	22,1628	21,5770	21,74369	22,1266	22,1179
M.O.	19,648	19,79345	19,7003	19,3859	19,47326	19,7487	19,7602
V	20,061	20,21314	20,1209	19,7988	19,89017	20,1784	20,1914
S_d	1,0468	1,038928	1,04369	1,06067	1,055798	1,04072	1,04005
Eco1	40,671	41,56624	43,0682	44,1542	46,23808	46,6713	46,2568
Eco2	50,299	51,17189	52,0277	53,2994	55,66908	56,3442	55,6878
Eco3	43,225	43,66202	44,6401	45,8689	47,41695	47,8804	47,3795
M.O.	44,732	45,46672	46,5786	47,7742	49,77470	50,2986	49,7747
V	46,934	47,74384	49,0005	50,3625	52,59242	53,1833	52,6043
S_d	0,4474	0,439847	0,42857	0,41698	0,399297	0,39486	0,39921

ΥΠΟΜΝΗΜΑ: *Ref:* Δοκίμιο αναφοράς

Epoх: Δοκίμιο με χαρτί βαμμένο με “Εποξειδικό Χρώμα 2 Συστατικών”

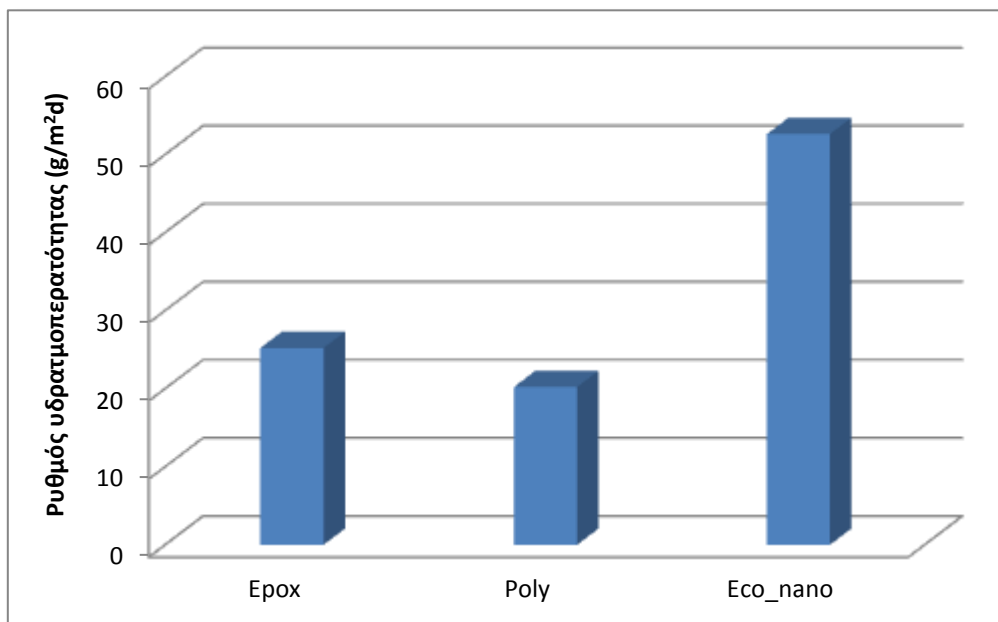
Poly: Δοκίμιο με χαρτί βαμμένο με “Χρώμα Πολυουρεθάνης 2 Συστατικών”

Eco (Eco_nano): Δοκίμιο με χαρτί βαμμένο με “Οικολογικό Χρώμα

Νανοτεχνολογίας”

6.2.3 Δεύτερο μερικό συμπέρασμα

Όπως έχει προαναφερθεί, οι οργανικές επικαλύψεις πρέπει να έχουν τη μεγαλύτερη δυνατή υδρατμοπερατότητα, ώστε οι υδρατμοί να μπορούν να εξέλθουν από το εσωτερικό του σκυροδέματος. Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων, το μεγαλύτερο βαθμό υδρατμοπερατότητας εμφανίζει το *Eco_nano*, ενώ τα δύο άλλα χρώματα που περιέχουν διαλύτες, το *Erox* και το *Poly*, εμφανίζουν, σχεδόν, το μισό βαθμό υδρατμοπερατότητας, σε σχέση με το *Eco_nano*, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 6.



Διάγραμμα 6: Ρυθμός υδρατμοπερατότητας των *Erox*, *Poly* και *Eco_nano*.

Βάσει των απαιτήσεων του προτύπου *DIN EN ISO 7783-2:1999*, τα χρώματα κατατάσσονται, ως προς το ρυθμό υδρατμοπερατότητας, όπως φαίνεται στον πίνακα 25.

Πίνακας 25: Ταξινόμηση των συστημάτων βαφής, βάσει του ρυθμού υδρατμοπερατότητας, σύμφωνα με το πρότυπο DIN EN ISO 7783-2:1999

Χρώματα	Ρυθμός Υδρατμοπερατότητας [g/(m ² * d)]	Κατηγορία
Erox	25,1801	II (μέτρια)
Poly	20,1914	II (μέτρια)
Eco_nano	52,6043	II (μέτρια)

ΥΠΟΜΝΗΜΑ: *Erox*: “Εποξειδικό Χρώμα 2 Συστατικών”

Poly: “Χρώμα Πολυουρεθάνης 2 Συστατικών”

Eco (Eco_nano): “Οικολογικό Χρώμα Νανοτεχνολογίας”

6.3 Μετρήσεις διαπερατότητας σε χλωριόντα

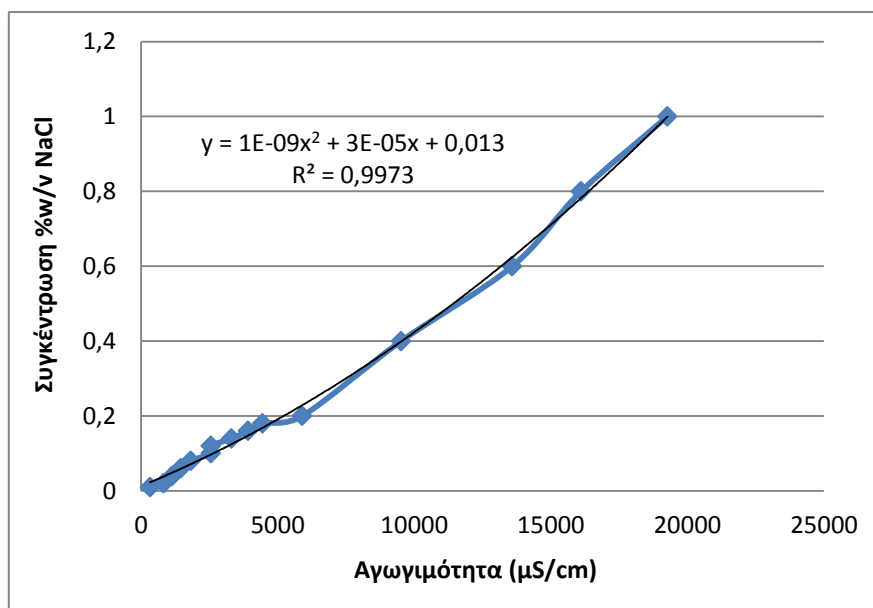
6.3.1 Παρουσίαση και επεξεργασία πειραματικών αποτελεσμάτων

Για τον υπολογισμό της διαπερατότητας των χρωμάτων σε χλωριόντα, όπως έχει ήδη αναφερθεί, διεξήχθησαν μετρήσεις αγωγιμότητας στα δείγματα, για συνολικό χρονικό διάστημα δέκα ημερών. Ακολούθως, για τη μετατροπή των τιμών αγωγιμότητας σε συγκέντρωση χλωριόντων, χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα βαθμονόμησης, όπου, σε διαλύματα γνωστής συγκέντρωσης χλωριόντων, μετρήθηκε η αγωγιμότητα. Το σύστημα βαθμονόμησης, βάσει του οποίου έγινε η μετατροπή, παρατίθεται στον πίνακα 26 και στο διάγραμμα 7.

Αγωγιμότητα (μS/cm)	Συγκέντρωση %w/v NaCl
326	0,01
817	0,02
1143	0,04
1453	0,06
1815	0,08
2560	0,1
2560	0,12
3310	0,14
3920	0,16

4440	0,18
5900	0,2
9520	0,4
13590	0,6
16110	0,8
19270	1

Πίνακας 26: Σύστημα βαθμονόμησης για τη μετατροπή της αγωγιμότητας σε συγκέντρωση NaCl



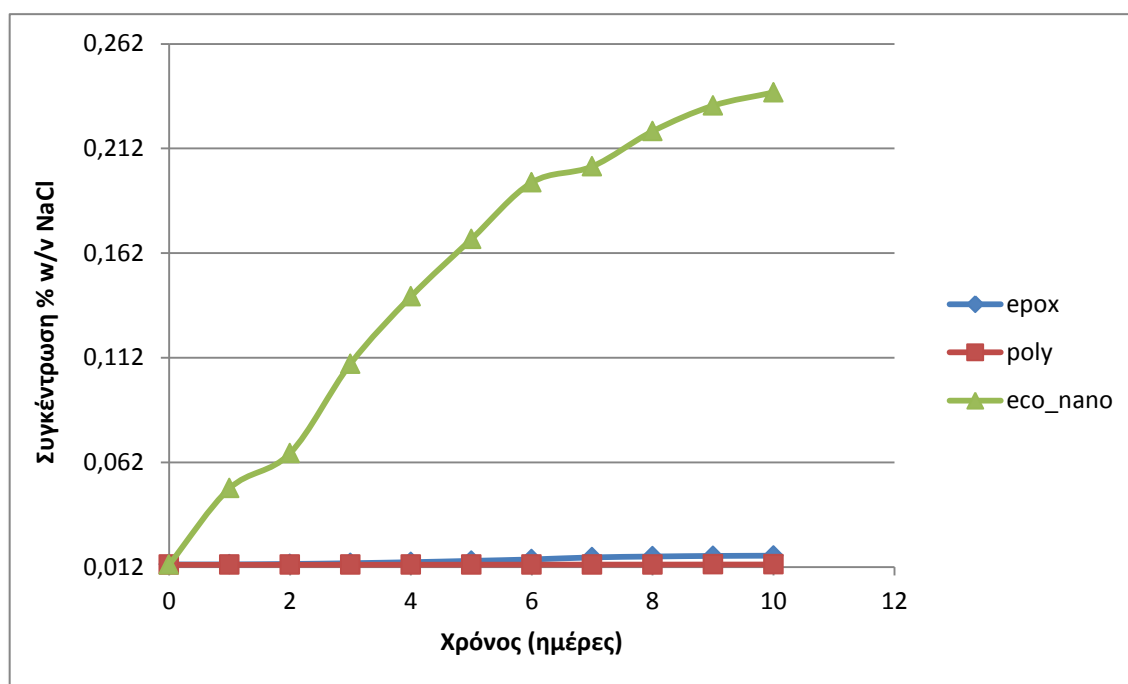
Διάγραμμα 7: Καμπύλη συστήματος βαθμονόμησης

Ακολούθως, στον πίνακα 27, παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων αγωγιμότητας και οι τιμές συγκέντρωσης στις οποίες αυτά μετατράπηκαν, βάσει του συστήματος βαθμονόμησης, καθώς και η διαγραμματική απεικόνισή τους στο διάγραμμα 8.

Ημέρες	Eροχ		Poly		Eco_nano	
	Αγωγιμότητα (μS/cm)	Συγκέντρωση %w/v NaCl	Αγωγιμότητα (μS/cm)	Συγκέντρωση %w/v NaCl	Αγωγιμότητα (μS/cm)	Συγκέντρωση %w/v NaCl
0	9,12	0,01327368	3,168	0,01309505	7,53	0,01322596
1	9,89	0,01329680	3,305	0,01309916	1175	0,04963063
2	17	0,01351029	3,994	0,01311985	1685	0,06638923
3	29	0,01387084	4,64	0,01313922	2920	0,1091264
4	45	0,01435203	4,9325	0,01314800	3795	0,14125203
5	66	0,01498436	5,78	0,01317343	4511	0,16867912

6	89	0,01567792	6,2875	0,01318867	5193	0,19575725
7	121	0,01664464	6,91	0,01320735	5382	0,20342592
8	135	0,01706823	7,33	0,01321995	5791	0,22026568
9	144	0,01734074	7,88	0,01323646	6082	0,23245072
10	148	0,01746190	8,29	0,01324877	6232	0,23879782

Πίνακας 27: Αποτελέσματα μετρήσεων αγωγιμότητας και τιμές συγκέντρωσης NaCl



Διάγραμμα 8: Διαγραμματική απεικόνιση των τιμών συγκέντρωσης χλωριόντων στη διάρκεια 10 ημερών

6.3.2 Τρίτο μερικό συμπέρασμα

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων, η επικάλυψη *Poly* παρουσιάζει τη χαμηλότερη διαπερατότητα σε χλωριόντα, με μικρή διαφορά από την επικάλυψη *Erox*, ενώ το *Eco_nano* παρουσιάζει τη μεγαλύτερη όλων. Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε συμφωνία με τα αντίστοιχα των μετρήσεων υδατοπερατότητας, όπως ήταν αναμενόμενο.

6.4 Τελικά συμπεράσματα – Συζήτηση αποτελεσμάτων

Οι οργανικές επικαλύψεις που μελετήθηκαν κατατάσσονται με βάση τρία κριτήρια:

- Υδατοπερατότητα
- Υδρατμοπερατότητα
- Διαπερατότητα σε χλωριόντα

Με βάση το πρώτο κριτήριο, η καλύτερη οργανική επικάλυψη είναι εκείνη, η οποία εμφανίζει το μικρότερο βαθμό υδατοπερατότητας. Από τις επικαλύψεις που μελετήθηκαν, αυτό ισχύει, με μικρή διαφορά μεταξύ τους, για τις επικαλύψεις *Poly* και *Erox*. Είναι αναμενόμενο ο ρυθμός υδατοπερατότητας να είναι μικρότερος σε χρώματα 2 συστατικών (όπως είναι τα *Erox* και *Poly*). Εντούτοις, το χρώμα *Eco_nano* παρουσιάζει τιμές συγκρίσιμες με χρώματα ειδικών εφαρμογών 1 συστατικού, όπως, π.χ. χλωριωμένου καουτσούκ.

Στην περίπτωση που ως κριτήριο αξιολόγησης θεωρείται ο βαθμός υδρατμοπερατότητας, η καλύτερη οργανική επικάλυψη είναι εκείνη, η οποία παρουσιάζει τον υψηλότερο βαθμό υδρατμοπερατότητας. Από τις επικαλύψεις που μελετήθηκαν, αυτό ισχύει για την επικάλυψη *Eco_nano*.

Τέλος, η καλύτερη οργανική επικάλυψη, σύμφωνα με το κριτήριο της διαπερατότητας σε χλωριόντα, θεωρείται αυτή που εμφανίζει το μικρότερο βαθμό διαπερατότητας σε χλωριόντα. Από τις επικαλύψεις που μελετήθηκαν, αυτό ισχύει, με μικρή διαφορά μεταξύ τους, για τις επικαλύψεις *Poly* και *Erox*.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται η κατάταξη των οργανικών επικαλύψεων που μελετήθηκαν στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, όπως προέκυψε από την επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων. Για την κατάταξη των οργανικών επικαλύψεων χρησιμοποιείται κλίμακα από το 1 έως το 3, με το 1 να χαρακτηρίζει την καλύτερη επικάλυψη και το 3 τη λιγότερο καλή.

Κριτήριο	Βαθμός υδατοπερατότητας	Βαθμός υδρατμοπερατότητας	Βαθμός διαπερατότητας Cl
Χρώμα			
<i>Erox</i>	2	2	2
<i>Poly</i>	1	3	1
<i>Eco_nano</i>	3	1	3

ΥΠΟΜΝΗΜΑ: *Erox*: “Εποξειδικό Χρώμα 2 Συστατικών”

Poly: “Χρώμα Πολυουρεθάνης 2 Συστατικών”

Eco_nano: “Οικολογικό Χρώμα Νανοτεχνολογίας”

Πίνακας 28: Κατάταξη των οργανικών επικαλύψεων με βάση το κριτήριο αξιολόγησης

Από τον παραπάνω πίνακα διαπιστώνεται ότι τα χρώματα κατατάσσονται σε διαφορετική σειρά, ανάλογα με το κριτήριο το οποίο επιλέγεται. Στο ερώτημα, ποιο χρώμα είναι καταλληλότερο να χρησιμοποιηθεί σε μια κατασκευή, η απάντηση δεν εξαρτάται μόνο από τη φύση του χρώματος, αλλά και από τις συνθήκες περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό, διακρίνονται οι παρακάτω περιπτώσεις.

Σε περιοχές με υψηλή συγκέντρωση χλωριόντων, όπως παραθαλάσσιες περιοχές ή περιοχές όπου χρησιμοποιούνται άλατα αποπάγωσης, θα προτιμηθεί μια οργανική επικάλυψη με χαμηλό ρυθμό υδατοπερατότητας και διαπερατότητας σε χλωριόντα.

Αντίθετα, σε περιοχές με υψηλά ποσοστά υγρασίας, θα προτιμηθεί ένα χρώμα με υψηλό ρυθμό υδρατμοπερατότητας.

Όταν απαιτείται συνδυασμός χαμηλού ρυθμού υδατοπερατότητας και υψηλού ρυθμού υδρατμοπερατότητας, θα προτιμηθεί η επικάλυψη *Eco_nano*.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γ. Μπατής, «Φθορά και Προστασία Υλικών – Φθορά και προστασία οπλισμένου σκυροδέματος», Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2006
2. Δ. Κ. Υφαντής, «Υλικά – Διάβρωση και Προστασία», Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα: Νοέμβριος 2008
3. Ν. Κουλουμπή, «Διάβρωση και Προστασία», Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2010
4. Θ. Σκουλικίδης, «Εφαρμοσμένη Ηλεκτροχημεία, Α. Διάβρωση και Προστασία», Γ' Έκδοση, Αθήνα 1990.
5. Θ.Π. Τάσιος, Κ. Αλιγαζάκη, «Ανθεκτικότητα Οπλισμένου Σκυροδέματος», Αθήνα 1992
6. Γ. Παρισάκης, Β. Κασελούρη, Σ. Τσίμας, Χ. Φτίκος, «Χημεία και Τεχνολογία Τσιμέντου», Αθήνα 1981
7. Σ. Τσίμας, «Δομικά Υλικά», Εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα 2001
8. Rimel 12-CRC Q “Corrosion of Reinforcement and Prestressing Tendons” – “A State of the art report”, “Materials and structures”, Vol 9, Nr 51, 1976, p. 187-206
9. F. Massazza, “Concrete Resistance to Sea Water and Marine Environment”, II Cemento, Vol 1, 1985, p 3-26
10. J. P Broomfield, “Corrosion of Steel in Concrete, Understanding, investigation and repair”, 1997
11. S. F Daily, “Understanding Corrosion and Cathodic Protection of Reinforced Concrete Structures”, Corpro Companies, Inc.
12. Youping Liu, “Modeling the time-to-corrosion cracking of the cover concrete in chloride contaminated reinforced concrete structures”, Blacksburg, Virginia, 1996
13. B. B Hope, J. A Page, J. S Poland, “The Determination of the Chloride Content in Concrete, Cement and Concrete Research”, Vol 15, USA (1985), P 863-870
14. M. Fontana, N. Greene, “Corrosion Engineering”, Mc Graw- Hill, 1967
15. Renovat, «Συγκεντρωτικό Εγχειρίδιο 2011»
16. Τάσος Α. Λυκίδης, «Διαλύτες», «Ομιλίες περί χρωμάτων», Αθήνα 2001
17. Κ. Σκορδά, «Σύμπλοκες ενώσεις του Cu(II) με Βενζοτριάζολια ως Υποκαταστάτες. Μοντέλα της Παρεμπόδισης της Διάβρωσης του Χαλκού από το Βενζοτριάζολιο και τα Παράγωγά του», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Χημείας Πανεπιστημίου Πατρών, 1996.
18. V.S. Ramachandran In, “Concrete admixtures handbook: properties, science and technology” Park Ridge, NJ, USA: Noyes Publications; 1984. p. 540-5.
19. O. S. Baghabra Al-Amoudi, M. Maslehuddin, A.N Lashari, A. A. Almusallam, “Effectiveness of Corrosion Inhibitors in Contaminated Concrete, Cement & Concrete Composites 25” (2003), 439-449

20. KWJ Treadaway, AD Russell, *"The inhibition of the corrosion of steel in concrete"*, Highways Public Works; 1968 36 (19):40-1
21. RG Craig, LE Wood, *"Effectiveness of corrosion inhibitors and their influence on the physical properties of Portland cement"*, Transportation Research Record no 328; 1970. p. 77-8
22. B El-Jazairi, NS Berke, WR Grace, *"The use of calcium nitrite as a corrosion inhibiting admixture to steel reinforcement in concrete"*, In: Page CL
23. U Maeder, *"A new class of corrosion inhibitors"*, In: Proceedings of Reinforced concrete in the Arabian Gulf, vol. 1. Bahrain; 1989. p.119-33
24. A. M Stoneman, *"A Performance Evaluation of Sprayed Zinc and Zinc-Aluminium Alloy for Use as Anodes on Concrete"*, Proceedings of the International Conference on Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete, University of Sheffield, Sheffield, 1994, p 1424-1437
25. K. Ishii, H. Seki, T. Fekute, K. Ikawa, M. Abe, *"Influence of Environmental Factors on Galvanic Cathodic Protection of Steel in Concrete Structures"*, Proceedings of the International Conference on Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete, University of Sheffield, Sheffield 1994, p 1392-140
26. C.Ryden, B. Sederholm, G. Gamitz and L. Berthagen, *"Cathodic Corrosion Protection of the Steel Reinforcement in Concrete Piers of Oland Bridge-Influence of Climatic Factors"*, 12th Scandinavian Corrosion Congress, Espoo 1992
27. J. Fischer, B. Isecke, B. Jonas, «Cathodic Protection of Reinforced Concrete Structures», 9th European Congress on Corrosion, Proceedings Volume II, Netherlands 1989
28. Βουτσινάς Ι., «Διασπορά πιγμέντων κατά την παραγωγή χρωμάτων», «Ομιλίες περί χρωμάτων», Αθήνα 2001., σελ 260-261
29. KWJ Treadaway, PB Bamforth, editors, *"Corrosion of reinforcement concrete"*, London: Elsevier Applied Science; 1990. p. 571-85
30. Τάσος Α. Λυκίδης, «Διαλύτες», «Ομιλίες περί χρωμάτων», Αθήνα 2001
31. Νικόλαος Θ. Γιώργας, «Πολυμερή συστήματα μεταξύ δομής και ιδιοτήτων των», «5^ο Συμπόσιο Χρωμάτων», 4-6 Μαΐου 1995
32. H. Wagner, H. Sarx, *"Lackkunatharze, Carn Hanser Verlag"*, Munchen, 1971
33. DIN EN ISO 7783-2, *"Coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete"*, Part 2, April 1999, p. 1-8
34. ASTM Designation: D 1653-91 a, *"Standard Test Methods for Water Vapour Transmission of organic films"*, p. 267-270
35. L. Masaro, X. X. Zhu, *"Physical models of diffusion for polymer solutions, gels and solids"*, Progress in polymer science, Vol. 24, Issue 5, p. 731-775, 1999
36. DIN EN 1062-3, *"Coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete"*, Part 3, February 1999, p. 1-4

37. Lindvall, A., "Environmental actions and response – reinforced concrete structures exposed in road and marine environment". Nordic Concrete Research, Vol 27, No 6 (2001), 63-81
38. N.R. Buenfeld and J.-Z. Zhang, "Chloride diffusion through surface-treated mortar specimens", Cement and Concrete Research, Vol. 28, No. 5, pp. 665–674, 1998
39. N.R. Buenfeld and J.-Z. Zhang, "Ac Impedance Study of Sealer- and Coating-Treated Mortar Specimens", Adv. Cem. Res. In press
40. SHRP report-SHRP-S/FR-92–107, "Condition Evaluation of Concrete Bridges Relative to Reinforcement Corrosion", Volume 5: Methods for Evaluating the Effectiveness of Penetrating Sealers, Washington, DC, 1992
41. N.R. Buenfeld and J.B. Newman, Mat. Struct. 20, 3–10 (1987)
42. C. Carneiro, F. Oliveira, and J. Nogueira, "Permeability of Paint Films Towards Chloride Ion", JCT Research, Vol. 3, No. 2, April 2006
43. Stanish, K., Hooton, R., and Thomas, M., "Testing the Chloride Penetration Resistance of Concrete: A Literature Review", Department of Civil Engineering, University of Toronto, Canada, 1997.
44. Costamagna, P., "Transport Phenomena in Polymeric Membrane Fuel Cells", Chem. Eng. Sci., 56, 323-332 (2001)
45. Gnusin, N., Berezina, N., Kononenko, N., and Dyomina, O., "Transport Structural Parameters to Characterize Ion Exchange Membranes", J. Membr. Sci., 243, 301–310 (2004)
46. prEN 1504-2, "Products and Systems for the Protection and Repair of Concrete Structures—Definitions, Requirements, Quality Control and Evaluation of Conformity—Part 2: Surface Protection Systems for Concrete", April 2004
47. http://www.argentumsolutions.com/wiki/en/Stress_Corrosion_Cracking
48. <http://www.efcweb.org/Working+Parties/WP+11/WP+11+History.html>
49. http://www.cement.org/tech/cct_dur_corrosion.asp
50. http://oikodomima.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=93:2011-03-23-23-27-26&catid=2:documentsforbuilding&Itemid=19

ΑΓΗΣΙΛΑΟΥ 9, 16346 ΗΛΙΟΥΠΟΛΗ
ΤΗΛΕΦΩΝΟ: 210 9755723 · ΚΙΝΗΤΟ: 6947838608
Email: marimar.zak@gmail.com

ΜΑΡΙΛΕΝΑ ΗΛ. ΜΑΡΓΑΡΗ

ΠΡΟΣΩΠΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

- Ημερομηνία γέννησης: 22 / 04 / 1984
- Τόπος γέννησης: Ζάκυνθος
- Οικογενειακή κατάσταση: Άγαμη
- Εθνικότητα: Ελληνική
- Κάτοχος διπλώματος οδήγησης

Α. ΤΙΤΛΟΙ ΣΠΟΥΔΩΝ

- 2002
Απολυτήριο Λυκείου
- 2002 – 2010
Βασικό πτυχίο: Αρχιτέκτονα Μηχανικού από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Βαθμός πτυχίου: 8,14 (Λίαν καλώς)
- 1999
Πτυχίο Αγγλικών: University of Cambridge, *Certificate of Proficiency in English*
- 2000
Πτυχίο Γαλλικών: *DEL F 1 – Diplome d'études en langue Française – 1er degré*
- 2006
Πτυχίο Ιταλικών: Istituto Italiano di Cultura in Atene, *Diploma di lingua Italiana*
- Οκτώβριος 2010 – Μάρτιος 2012
Μεταπτυχιακός τίτλος από το Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών
«Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών» της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ

Β. ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

- 08/2006
Μηνιαία απασχόληση στο αρχιτεκτονικό γραφείο της Αρχιτέκτονος κ. Κακολύρη
Υβόννης, στη Ζάκυνθο: *εκπόνηση σχεδίων αποτυπώσεως για έκδοση άδειας
κατεδαφίσεως κτίσματος στην πόλη της Ζακύνθου*
- 04/2011 – 11/2011
Ημιαπασχόληση στο Γραφείο Διαχείρισης Ακινήτων *Realtor*

Γ. ΛΟΙΠΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ & ΔΕΞΙΟΤΗΤΕΣ

- 02/2009 – 03/2010
Εκπόνηση «Διπλωματικής Εργασίας» στη Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΕΜΠ, με
θέμα: «Ελιά: από το εργοστάσιο, στο Μουσείο. Επανάχρηση παλαιού
Πυρηνελαιουργείου σε Μουσείο Ελιάς στη Ζάκυνθο» (Βαθμός: 9,60)
- 10/2007 – 07/2008
Εκπόνηση «Διάλεξης» στη Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΕΜΠ, με θέμα: «Ελαί-
εσσα Ζάκυνθος: Τα παραδοσιακά “λιτρούβια” της»

- 16-29 / 09 / 2004
Επικουρικό έργο στα πλαίσια του “10th International Design Seminar : Urban Culture and Landscape Renewal”, που διεξήχθη στη Ζάκυνθο, καθώς και ξενάγηση όλων των συμμετεχόντων σε αυτό, σε δύο χαρακτηριστικά Μοναστήρια της Ζακύνθου
- 2008
Συμμετοχή – από κοινού με τρεις συμφοιτητές μου – στο διαγωνισμό που διοργάνωσε το greekarchitects.gr, με τίτλο: «Δ. Αρεοπαγίτου 2008: αντιμετώπιση των πίσω όψεων των διατηρητέων κτηρίων επί της Δ. Αρεοπαγίτου 17 και 19»
- 06/2008 – 04/2009
Συντάκτρια στο ηλεκτρονικό περιοδικό «Ακροβάτες»

Δ. ΓΝΩΣΕΙΣ Η/Υ

- Λειτουργικά συστήματα: MS Windows
- Λογισμικό: Microsoft Office, Autocad (Level I & II), Archicad, Photoshop

Ε. ΣΥΝΕΧΙΖΟΜΕΝΗ ΕΠΙΜΟΡΦΩΣΗ

- Παρακολούθηση της διημερίδας «Οικολογικές Γειτονιές: Σχεδιάζοντας τις πόλεις του αύριο» που διοργάνωσε το δίκτυο “Μεσόγειος SOS”, υπό την αιγίδα της Γαλλικής Πρεσβείας και με την υποστήριξη του Γαλλικού Ινστιτούτου Αθηνών και της ΤΕΔΚΝΑ, στο Γαλλικό Ινστιτούτο Αθηνών στις 17&18 Ιουνίου 2010
- Παρακολούθηση του κύκλου εισηγήσεων «Σχεδιάζοντας τις πόλεις για την κλιματική αλλαγή» που διοργάνωσε η “Ελληνική Εταιρεία Περιβάλλοντος και Πολιτισμού”, από τις 10/11/2010 έως και τις 12/01/2011
- 11/2011 – 01/2012
Παρακολούθηση σεμιναρίων, στον ΑΚΤΟ, με θέμα:
 - Χρώμα & Υφή
 - Visual Merchandising

ΣΤ. ΠΡΟΣΩΠΙΚΑ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΑ

- Αθλητισμός
- Διάβασμα Λογοτεχνικών Βιβλίων, Μουσική (Μαντολίνο)
- Θέατρο, Κινηματογράφος

