

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:**

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΤΟΥ  
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΕΛΕΝΗ ΚΥΡΙΑΚΟΥ

Λεμεσός 2011



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:**

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΤΟΥ  
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Ελένη Κυριάκου  
Επιβλέπουσα καθηγήτρια

Δρ. Έλια Ταντελέ

Λεμεσός 2011

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Ελένη Κυριάκου, 2011

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.



Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την επιβλέπουσα καθηγήτρια της εργασίας μου κυρία Έλια Ταντελέ, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου αυτή την εργασία, για την καθοδήγηση που καθ' όλη τη διάρκειά της και κυρίως για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα ενδιαφέρον αντικείμενο.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το πρόβλημα της διάβρωσης του οπλισμού του σκυροδέματος εμφανίζεται πολύ συχνά στη χώρα μας, λόγω της γεωγραφικής θέσης και των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν. Η διάβρωση του οπλισμού πλήττει μεγάλο αριθμό κατασκευών και αποτελεί σημαντικό παράγοντα φθοράς τόσο από άποψη λειτουργικότητας όσο και στατικότητας. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η προσέγγιση του προβλήματος από τη θεωρητική του πλευρά, η μελέτη των αιτιών και των μηχανισμών της διάβρωσης, τα αποτελέσματα και η ανάλυση των τεχνικών πρόληψης και επισκευής που υπάρχουν για την αντιμετώπισή του. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται συνήθως σε παραθαλάσσιες περιοχές, όπου έχουμε ψιλό βαθμό προσβολής βλαβερών ουσιών, και έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια λειτουργικότητας της κατασκευής. Τα τελευταία χρόνια έχουν εμφανιστεί πολλοί τρόποι πρόληψης όπως η υγρομόνωση, η επικάλυψη του οπλισμού, η προσθήκη αναστολέων διάβρωσης, η αποφυγή των ρωγμών, η στεγανοποίηση και η χρήση ανοξειδωτων χαλύβων. Η διάβρωση του οπλισμού μπορεί να εντοπιστεί είτε οπτικά είτε ενόργανα. Όταν εμφανιστεί το πρόβλημα οι μηχανικοί καλούνται να επιδιορθώσουν την κατασκευή είτε αναστέλλοντας μια εξελισσόμενη διαδικασία με επανακατασκευαστική, σφράγιση των ρωγμών και αφαίρεση χλωρίων και υγρασίας είτε ενισχύοντας την καμπτικά ή διατμητικά ή αντικαθιστώντας τα διαβρωμένα μέρη με καινούργια.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	xi
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	xii
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ.....	xiii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	xiv
1. ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΩΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ .....	1
2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΑΛΥΒΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ .....	2
3. ΑΙΤΙΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	5
3.1 ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ.....	6
3.1.1 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Ταχύτητα Διάβρωσης .....	6
3.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΧΛΩΡΙΟΝΤΩΝ.....	7
3.2.1 Παράγοντες που Επηρεάζουν τη Διάβρωση του χάλυβα από χλωριόντα.....	8
3.3 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	10
3.4 ΡΩΓΜΕΣ .....	11
3.4.1 Αίτια Ρωγμών .....	11
3.4.2 Είδη Ρωγμών .....	13
3.4.2.1 Πλαστικές Ρωγμές Διεκένωσης .....	13
3.4.2.2 Ρωγμές Διάβρωσης .....	14
4. ΕΙΔΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ .....	15
4.1 ΓΕΝΙΚΗ Ή ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ .....	15
4.2 ΤΟΠΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ .....	15
4.2.1 Διάβρωση κατά Βελονισμό .....	15
4.2.2 Μικρορρηγματώδης Διάβρωση .....	16
4.2.3 Διάβρωση Μεταξύ Κόκκων .....	16
4.3 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΛΟΓΩ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ.....	17



4.3.1 Γαλβανική Δράση .....	17
4.3.2 Ηλεκτρολυτική Διάβρωση .....	17
4.4 Διάβρωση Υπό Μηχανική Τάση .....	18
5. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ .....	19
6. ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ .....	22
7. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ .....	24
7.1 ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ .....	24
7.2 ΕΝΟΡΓΑΝΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ .....	25
7.2.1 Μέτρηση Βάθους Ενανθράκωσης .....	25
7.2.2 Μέτρηση Περιεκτικότητας Χλωριόντων .....	26
7.2.3 Έμμεσες Ηλεκτροχημικές Μέθοδοι – Μέθοδος Ημι-Δυναμικού .....	26
7.2.4 Μέτρηση Επιφανειακής Υγρασίας Σκυροδέματος .....	27
7.2.5 Έλεγχος Πάχους Επικάλυψης .....	27
7.2.6 Μέτρηση Πορώδες Σκυροδέματος .....	27
7.2.7 Έλεγχος Σκυροδέματος και Οπλισμών με Ραντάρ .....	27
7.2.8 Μέτρηση του Εύρους και του Βάθους των Ρωγμών .....	27
7.2.9 Συσκευή Ανάλυσης της Διάβρωσης του Οπλισμού .....	28
7.2.10 Συσκευή Ελέγχου του Ρυθμού Διάβρωσης Σιδηροπλισμού .....	28
7.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΛΕΓΧΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΡΟΠΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ .....	29
8. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ .....	31
8.1 ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΣΤΑΛΤΙΚΩΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ .....	31
8.2 ΠΑΧΟΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ .....	31
8.3 ΧΡΗΣΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΠΡΟΣΜΙΚΤΩΝ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΜΟΤΗΤΑΣ.....	32
8.4 ΧΡΗΣΗ ΥΔΑΤΟΣΤΕΓΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ.....	32
8.5 ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ .....	32
8.6 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟ .....	32
8.7 ΧΡΗΣΗ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ .....	33
8.8 ΑΠΟΦΥΓΗ ΡΩΓΜΩΝ .....	33
8.9 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ .....	33
8.10 ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗ .....	34
9. ΜΕΤΡΑ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ .....	36
9.1 ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ .....	36
9.2 ΜΕΤΡΑ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ .....	36

9.2.1 Ήπιες Επεμβάσεις στο Σκυρόδεμα .....	36
9.2.1.1 Επανακαλοποίηση.....	36
9.2.1.2 Αφαίρεση Χλωριόντων .....	37
9.2.1.3 Αφαίρεση Υγρασίας .....	37
9.2.1.4 Σφράγισμα Ρωγμών .....	38
9.2.1.4.1 Ρητίνες.....	38
9.2.1.4.2 Μέθοδος Ραφών .....	40
9.2.1.4.3 Τσιμεντενέσεις – Τσιμεντοκονιάματα .....	40
9.2.2 Ήπιες Επεμβάσεις Στον Οπλισμό .....	41
9.2.2.1 Καθοδική Προστασία .....	41
9.2.2.2 Σύστημα με Εναρμολζόμενο Ρεύμα .....	41
9.2.2.3 Σύστημα Θυσιαζόμενης Ανόδου .....	43
9.2.2.4 Εναλλακτική Μέθοδος Καθοδικής Προστασίας .....	45
9.2.2.5 Επισκευή με Ινοπλισμένα Τσιμεντοειδή Κονιάματα με Υψηλή Συγκέντρωση σε Αναστολείς Διαβρώσεως .....	46
9.2.3 Ενεργές Επεμβάσεις .....	47
9.2.3.1 Καμπτική Ενίσχυση .....	47
9.2.3.2 Μέθοδος Επισκευής με Ινοπλισμένα Πολυμερή .....	48
9.2.3.3 Διατμητική Ενίσχυση .....	49
9.3 ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ .....	49
9.4 ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΑΝΕΠΑΡΚΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ .....	49
9.5 ΓΙΑΤΙ ΟΙ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ ΔΕΝ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΣΥΓΚΟΛΛΟΥΝΤΑΙ ΜΕ ΚΟΙΝΟΥΣ .....	50
9.6 ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΝΕΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΕ ΠΑΛΙΟ .....	51
10. ΕΠΙΣΚΕΨΗ ΣΤΑ ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΡΓΑ – ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ .....	53
10.1 ΑΙΤΙΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ .....	54
10.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ .....	55
10.2.1 Οπτική Μέθοδος .....	55
10.2.2 Ενόργανος Εντοπισμός .....	56
10.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ .....	56
10.4 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ .....	56
10.5 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ .....	57
10.6 ΜΕΤΡΑ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ .....	58

10.7 ΓΕΦΥΡΙ HOLIDAY INN LIMASSOL .....	59
10.7.1 Παράγοντες που Προκάλεσαν την Διάβρωση .....	59
10.7.2 Συνέπειες .....	59
10.8 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ .....	64
11. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΛΥΣΗ .....	66
12. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	69
13. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	72
14. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ .....	77

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 1: Ιδιότητες Οπλισμού με βάση Ευρωκώδικα 2 ..... 4

Πίνακας 2: Οι Μετρήσεις που γίνονται σε Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος και τα  
όργανα που χρησιμοποιούνται .....29

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Εγκάρσια Τομή χάλυβα οπλισμένου σκυροδέματος παραγόμενου με τη μέθοδο TempCore.....	3
Σχήμα 2: Ποσότητα Δεσμευμένων Χλωριόντων στο Σκυρόδεμα .....	8
Σχήμα 3: Απεικόνιση Διείδυσης χλωριόντων .....	9
Σχήμα 4: Αναπαράσταση της Ροής Ηλεκτρονίων από την Άνοδο στην Κάθοδο .....	20
Σχήμα 5: Προσομοίωμα Ηλεκτροχημικής Διαδικασίας Διαβρώσεως χάλυβα .....	21
Σχήμα 6: Σχετικός Όγκος Οξειδίων του Σιδήρου που Σχηματίζονται στην Επιφάνεια του Χάλυβα όταν Διαβρώνεται .....	21
Σχήμα 7: Κύκλωμα Ημι-Δυναμικού για τον Έλεγχο Διάβρωσης .....	26
Σχήμα 8: Διάβρωση του χάλυβα για το Αντίστοιχο Κόστος Επισκευής ως Συνάρτηση του χρόνου που θα γίνει η επισκευή.....	30
Σχήμα 9: Απεικόνιση Συστήματος Καθοδικής Προστασίας με Θυσιαζόμενη Άνοδο.....	44
Σχήμα 10: Απεικόνιση Ασύρματου Δικτύου αισθητήρων .....	69

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

CO <sub>2</sub> :	ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
SO:	ΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ
Ca(OH) <sub>2</sub> :	ΥΔΡΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ
κ.β	ΚΑΤΑ ΒΑΡΟΣ
CaCl <sub>2</sub>	ΧΛΩΡΙΟΥΧΟ ΑΣΒΕΣΤΙΟ
NaCl	ΧΛΩΡΙΟΥΧΟ ΝΑΤΡΙΟ
Fe	ΣΙΔΗΡΟΣ
O <sub>2</sub>	ΟΞΥΓΟΝΟ
H <sub>2</sub> O	ΝΕΡΟ
E	ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ
H/Y	ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΣ
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	ΑΝΘΡΑΚΙΚΟ ΟΞΥ
CaCO <sub>3</sub>	ΑΝΘΡΑΚΙΚΟ ΑΣΒΕΣΤΙΟ
Mg	ΜΑΓΝΗΣΙΟ
Al	ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ
Zn	ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ
C	ΑΝΘΡΑΚΑΣ

## **ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ**

SCRAP

ΠΑΛΙΟΣΙΔΕΡΑ

MICRICILICA

ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο διάβρωση εννοούμε το φαινόμενο που πραγματοποιούνται χημικές αντιδράσεις οι οποίες αλλάζουν τη χημική σύσταση του οπλισμού του σκυροδέματος και προκαλούν σημαντικά προβλήματα. Παρατηρείται σημαντική μείωση της αντοχής, της λειτουργικότητας της κατασκευής καθώς και της αισθητικής. Μιλώντας για διάβρωση σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα αναφερόμαστε στην ουσία στη διάβρωση του σιδήρου του οπλισμού. ( Δημάδη Κ., Κατσένιου Γ., 2006 )

Αν και η διάβρωση των μεταλλικών υλικών και ειδικότερα του χάλυβα απασχολεί τους ερευνητές εδώ και πολλά χρόνια και έχει μελετηθεί ενδελεχώς, το φαινόμενο της διάβρωσης του χάλυβα οπλισμού στις κατασκευές είναι ένα θέμα που αναδείχθηκε σχετικά πρόσφατα. Οι πρώτες σχετικές αναφορές εμφανίζονται γύρω στο 1980 . Έκτοτε η μεγαλύτερη βαρύτητα γύρω από τη διάβρωση του σιδηροπλισμού έχει δοθεί σε θέματα όπως η χημική σύσταση και η μορφή των προϊόντων της διάβρωσης και η απώλεια συνάφειας οπλισμού-σκυροδέματος λόγω διάβρωσης. (Παπαδόπουλος Μ., 2007)

Η υποτίμηση του προβλήματος της επίδρασης της διάβρωσης του σιδηροπλισμού στις μηχανικές του ιδιότητες συχνά προέρχεται από το γεγονός ότι, υπό κανονικές συνθήκες, ο χάλυβας προστατεύεται επαρκώς από το περιβάλλον σκυρόδεμα. Η διάβρωση του σιδήρου του οπλισμού όμως αποτελεί το σοβαρότερο πρόβλημα το οποίο απειλεί την ασφάλεια και αυτή την καταλληλότητα των κατασκευών. Το πρόβλημα της διάβρωσης είναι δυνατό να προκαλέσει καταστροφές οι οποίες κυμαίνονται από απλές παραμορφώσεις μέχρι ολοκληρωτικές δομικές καταστροφές. (Γκιβάλου Λ., Μητζίθρα Μ., 2007) Οι παράγοντες που την επηρεάζουν είναι πολλοί, είτε φυσικοί (κλιματολογικές συνθήκες περιβάλλοντος, τοπογραφία), είτε εξωγενείς όπως ο κακός σχεδιασμός. Κύριες αιτίες είναι η ενανθράκωση και η διείσδυση χλωριόντων, διαδικασίες που δεν είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους καθώς η πρώτη προκαλεί επιτάχυνση στη δεύτερη. (Κουρνέτας Δ. , 2010)

Από θεωρητική άποψη είναι δυνατός ο σχεδιασμός και η παραγωγή σκυροδέματος ώστε ο ενσωματωμένος χάλυβας να μην διαβρώνεται. Στην πράξη όμως, είτε λόγω κατασκευαστικών αναγκών οι οποίες επιβάλλουν διακλαδώσεις είτε λόγω αποκλίσεων από



τις προδιαγραφές παρασκευής επιτρέπουν την δημιουργία διαύλων διεισδύσεως οξυγόνου και υγρασίας, δημιουργώντας έτσι τις προϋποθέσεις διάβρωσης του χάλυβα. Κατ'επέκταση το πρόβλημα της διάβρωσης είναι δυνατό να καταλήξει ακόμη και στην αποκάλυψη του χάλυβα, την μείωση της μάζας του και τελικά την μείωση της αντοχής του σύνθετου συστήματος σκυρόδεμα-σιδηροπλισμός. Τα προβλήματα επιτείνονται με την παρουσία ιόντων χλωρίου. Υπήρξαν περιπτώσεις κατά τις οποίες προβλήματα διάβρωσης οπλισμού επέβαλαν την κατεδάφιση κτιρίου λόγω του υψηλού κόστους επισκευής και δυσκολίας απομάκρυνσης των διαβρωμένων στοιχείων. (Γκιβάλου Λ., Μητζίθρα Μ., 2007)

# 1. ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΩΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Τα πρώτα ευρήματα χρήσης τσιμέντου ως κατασκευαστικού υλικού εντοπίζονται στη γεωγραφική περιοχή της σημερινής Σερβίας και χρονολογούνται από το 5600 π.Χ.. Κατασκευές από τσιμέντο με ποικίλες χημικές συστάσεις έγιναν επίσης από τους Βαβυλώνιους, τους Ρωμαίους και τους Αιγυπτίους κατά τις περιόδους της αυτοκρατορίας τους. Το 1756 ο Άγγλος μηχανικός John Smeaton χρησιμοποιεί για πρώτη φορά τσιμέντο χημικής σύστασης παρόμοιας του τσιμέντου Portland και αδρανή αποτελούμενα από βότσαλα και κεραμική σκόνη για την κατασκευή σκυροδέματος. Η πατέντα όμως του τσιμέντου Portland ανήκει στον Άγγλο παραγωγό τσιμέντου Joseph Aspdin από το 1824. Έκτοτε η χημική σύσταση του σκυροδέματος έχει υποστεί μικρές μόνο αλλαγές.

Η χρήση οπλισμένου σκυροδέματος ως κατασκευαστικού στοιχείου είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία η οποία αποδίδεται στον Joseph-Louis Lambot, ο οποίος το 1848 κατασκεύασε την πρώτη βάρκα από σκυρόδεμα ενισχυμένο με οπλισμό σιδήρου. Μερικά χρόνια αργότερα, το 1867, ο Γάλλος Joseph Monier καταθέτει την ευρεσιτεχνία του ενισχυμένου με σίδηρο σκυροδέματος το οποίο χρησιμοποιούσε αρχικά για κατασκευή γλαστρών και λεκανών για φυτά, ενώ λίγο αργότερα χρησιμοποιείται και για την κατασκευή δομικών στοιχείων. Η πρώτη γέφυρα από οπλισμένο σκυρόδεμα σχεδιάστηκε από τον Joseph Monier και κατασκευάστηκε το 1875.

Η επίλυση του προβλήματος της σύνδεσης οριζόντιων και κατακόρυφων κατασκευαστικών στοιχείων με ευρεσιτεχνία του Γάλλου μηχανικού Francois Hennebique το 1892 οδήγησε σε μια νέα εποχή στον τομέα των κατασκευών. Η χρήση του οπλισμένου σκυροδέματος διαδίδεται ραγδαία παγκοσμίως και σύντομα το υλικό αυτό καταλήγει να είναι το πιο διαδεδομένο υλικό κατασκευής κτιρίων. (Παπαδόπουλος Μ., 2007)

## 2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΑΛΥΒΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ

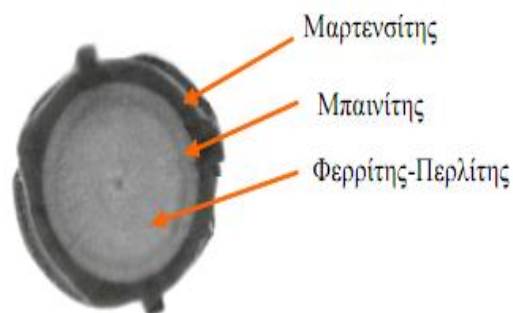
Οι ισχύουσες προδιαγραφές επιτρέπουν στην κάθε μονάδα παραγωγής χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος να χρησιμοποιεί τη δική της τεχνογνωσία και εμπειρία στη διαδικασία παραγωγής του υλικού. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρουσιάζονται διαφορές ανάμεσα στο παραγόμενο υλικό της κάθε χαλυβουργικής.

“Ο μη-κεκραμένος χάλυβας με περιεκτικότητα σε άνθρακα περί το 0.2 - 0.25% παρουσιάζει όριο διαρροής από 350 έως 400MPa. Η τάση για εξοικονόμηση πρώτων υλών και βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών οδήγησε στην ανάπτυξη και καθιέρωση χάλυβα οπλισμού με ελάχιστο όριο διαρροής τα 500MPa. Αύξηση του ορίου διαρροής πέραν των 400MPa μπορεί να επιτευχθεί με αύξηση του ποσοστού του άνθρακα, με προσθήκη κατάλληλων κραματικών στοιχείων και με κατάλληλη θερμική ή μηχανουργική κατεργασία. Η αύξηση όμως της περιεκτικότητας σε άνθρακα καθιστά το χάλυβα ουσιαστικά μη-συγκολλησίμο, αφού αύξηση πέραν του 0.2% περίπου αποτρέπει την επαναφορά των μηχανικών ιδιοτήτων της θερμικά επηρεαζόμενης ζώνης λόγω της συγκόλλησης. Έτσι, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην πράξη για την παραγωγή χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος με όριο διαρροής τουλάχιστον 500MPa είναι η προσθήκη κατάλληλων κραματικών στοιχείων ή η κατάλληλη θερμική επεξεργασία. Το σημαντικό όμως κόστος των κραματικών στοιχείων, όπως του βαναδίου ή του τιτανίου, έχει καθιερώσει τη μέθοδο Temproce ως την ευρύτερα χρησιμοποιούμενη μέθοδο παραγωγής χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος”. (Μαυροειδής Π., 2005)

“Ως πρώτη ύλη για την παραγωγή χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος χρησιμοποιείται scrap (παλιοσίδερα) το οποίο τήκεται σε ηλεκτρικούς κλιβάνους βολταϊκού τόξου. Στην κατάσταση του τήγματος πραγματοποιούνται οι διαδικασίες κάθαρσης, αποξείδωσης και κραματοποίησης του ρευστού χάλυβα. Αφού εξασφαλιστεί η κατάλληλη χημική σύσταση του τήγματος, ο ρευστός χάλυβας περνάει στις μηχανές συνεχούς χύτευσης από τις οποίες παράγονται μπιγιέτες τετραγωνικής διατομής τυπικών διαστάσεων 120x120mm έως 140x140mm και μήκους 6 έως 14m. Στη συνέχεια, οι μπιγιέτες αυτές θερμαίνονται στους 1100 – 1200°C και ακολουθεί η τελική διαμόρφωση στα έλαστρα. Τέλος, ανάλογα με το παραγόμενο υλικό ακολουθείται και διαφορετική κατεργασία:

- Για την παραγωγή υλικού χωρίς περαιτέρω κατεργασία οι ράβδοι χάλυβα κόβονται και τοποθετούνται στην τράπεζα ψύξεως όπου και παραμένουν μέχρι η θερμοκρασία τους να φτάσει τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Κατά τη διεργασία αυτή πραγματοποιείται η μετατροπή της οστενιτικής δομής στις φάσεις φερρίτη και περλίτη.
- Για την παραγωγή υλικού ψυχρής κατεργασίας, αφού οι ράβδοι αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος, ακολουθεί η εν ψυχρώ ολκή ή στρέψη των ράβδων.

Για την παραγωγή υλικού με τη μέθοδο Tempcore, μετά την εν θερμό εξέλαση του υλικού οι ράβδοι εισέρχονται σε θάλαμο ψύξης, όπου ψύχονται με ψεκασμό νερού. Λόγω της απότομης ψύξης δημιουργείται στην επιφάνεια του χάλυβα η σκληρή μαρτενσιτική δομή ενώ στο εσωτερικό του, λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας, διατηρείται ακόμη η οστενιτική δομή. Στη συνέχεια οι ράβδοι τοποθετούνται στην τράπεζα ψύξης, όπου λόγω της υψηλής θερμοκρασίας στο εσωτερικό τους πραγματοποιείται η ανόπτηση του μαρτενσίτη με παράλληλη μετατροπή της οστενιτικής δομής σε φερριτο-περλιτική. Η δομή του παραγόμενου με τη μέθοδο αυτή χάλυβα φαίνεται στο Σχήμα 1'' . (Παπαδόπουλος Μ., 2007)



*Σχήμα 1: Εγκάρσια τομή χάλυβα οπλισμένου σκυροδέματος παραγόμενου με τη μέθοδο TempCore*

Η ταχύτατη εξάπλωση του οπλισμένου με χάλυβα σκυροδέματος ως υλικού κατασκευής φερόντων οργανισμών οδήγησε στην ανάγκη καθιέρωσης προτύπων και προδιαγραφών που τυποποιούν τη μορφολογία, τις διαστάσεις και τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού και υποχρεώνουν τις χαλυβουργικές σε συμμόρφωση της παραγωγής χάλυβα οπλισμού. Σήμερα τα πρότυπα του χάλυβα που χρησιμοποιούνται στην Κύπρο είναι αυτά που καθορίζονται με βάση τον Ευρωκώδικα (Πίνακας 1). (Γιαννόπουλος Π., 2010)

Μορφή χάλυβα	Ράβδοι και ρόλοι			Ηλεκτροσυγκολλημένα πλέγματα / δικτυώματα			Απαίτηση ή ανεκτή απόκλιση (%)
	A	B	C	A	B	C	
Κατηγορία	A	B	C	A	B	C	-
Χαρακτηριστική αντοχή διαρροής $f_{yk}$ ή $f_{0,2k}$ (Mpa)	400 έως 600						5,0
Ελάχιστη τιμή του $k = (f_t/f_y)_k$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	10,0
Χαρακτηριστική ένταση στη μέγιστη δύναμη, $\epsilon_{uk}$ (%)	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	10,0
Ικανότητα καμπύλωσης	Δοκιμή καμπύλωσης/ επανακαμπύλωσης			-			
Διατμητική αντοχή	-			0,3 A $f_{yk}$ (όπου A το εμβαδόν της διατομής του σύρματος)			Ελάχιστη
Μέγιστη απόκλιση για ονομαστική μάζα (μεμονωμένη ράβδος ή σύρμα) (%)	Ονομαστική διάμετρος ράβδου (mm) $\leq 8$ $> 8$			$\pm 6,0$ $\pm 4,5$			5,0

Πίνακας 1: Ιδιότητες Οπλισμού με βάση Ευρωκώδικα 2

### **3. ΑΙΤΙΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ**

Στη χώρα μας είναι εξαιρετικά σπάνιο το ενδεχόμενο σταδιακής αποσύνθεσης του σκυροδέματος λόγω εναλλαγών πήξεως-τήξεως του νερού των πόρων, ή λόγω προσβολής αδρανών από την αλκαλικότητα του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού. Συνεπώς το κύριο πρόβλημα από άποψη ανθεκτικότητας του οπλισμένου σκυροδέματος είναι η διάβρωση των οπλισμών. Οι ράβδοι οπλισμού προστατεύονται από τη διάβρωση μέσω ενός πολύ λεπτού επιφανειακού στρώματος ένυδρου οξειδίου του σιδήρου, που δημιουργείται λόγω της υψηλής αλκαλικότητας του σκυροδέματος που τις περιβάλλει. Το σκληρυμένο σκυρόδεμα περιέχει μεγάλο ποσοστό οξειδίου του ασβεστίου,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , στο νερό των πόρων έτσι ώστε να δημιουργείται αλκαλικό περιβάλλον με τιμή pH γύρω στο 12,5. Με αυτόν τον τρόπο προστατεύεται ο χάλυβας από τη διάβρωση εφόσον το οξύδιο παραμένει ανέπαφο. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως παθητικοποίηση του χάλυβα. ( Δημάδη Κ., Κατσένιου Γ., 2006 )

Οι κύριοι λόγοι καταστροφής του προστατευτικού στρώματος γύρω από τους οπλισμούς (αποπαθητικοποίηση του χάλυβα) είναι:

1. Ενανθράκωση του σκυροδέματος
2. Επίδραση χλωριόντων
3. Ο σχηματισμός μακροστοιχείων
4. Ρωγμές.

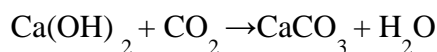
Καθοριστικός παράγοντας για τη δημιουργία των πιο πάνω περιπτώσεων είναι η είσοδος νερού στο σκυρόδεμα. Οι συνήθεις προελεύσεις του νερού είναι:

- Υγρασία από φυσικά φαινόμενα (βροχή, χιόνι , χαλάζι)
- Υπέργεια νερά ( λιμνάζοντα και ρέοντα)
- Υγρασία του εδάφους
- Υπόγεια νερά (πηγές και διείσδυση θαλασσιών νερών)
- Υγρασία των εσωτερικών χώρων (συμπύκνωση υδρατμών αέρα ,νερά)
- Τοπικά από ιόντα χλωρίου. ( Μάμαλης Π. , Ξάνθης Δ. ,2004)

### **3.1 Ενανθράκωση Σκυροδέματος :**

Κατά την πήξη του τσιμέντου παράγεται υδροξείδιο του ασβεστίου  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Το υδροξείδιο του ασβεστίου αυτό πλεονάζει στο σκυρόδεμα. Μπορεί να θεωρηθεί ότι το 25% περίπου του βάρους του τσιμέντου, υπάρχει μετά την κρυστάλλωση υπό μορφή υδροξειδίου του ασβεστίου. Αποτέλεσμα του πλεονάσματος αυτού είναι το υψηλό αλκαλικό pH του μπετόν (περίπου 12,5). Όσο ο οπλισμός βρίσκεται μέσα στο αλκαλικό αυτό περιβάλλον είναι προστατευμένος από οξείδωση. Αντιδράσεις όμως με διεισδύουσες όξινες ουσίες μειώνουν διαρκώς το pH.

Καταστροφική σημασία για το σκυρόδεμα έχει η επίδραση του  $\text{CO}_2$ , το οποίο αφομοιώνεται τριχοειδώς από την επιφάνεια του μπετόν, διαλυμένο στο νερό της βροχής, συχνά μαζί και με  $\text{SO}$  (σε βιομηχανικές και μολυσμένες περιοχές). Το αποτέλεσμα της απορρόφησης του  $\text{CO}_2$  είναι η βαθμιαία εξουδετέρωση της αλκαλικότητας:



Για την πραγματοποίηση της αντιδράσεως απαιτούνται μικρές ποσότητες νερού (σχετική υγρασία αέρα 50-70%). Το ξηρό σκυρόδεμα δε θα ενανθρακωθεί λόγω απουσίας της απαιτούμενης υγρασίας, ενώ σε κορεσμένο με νερό σκυρόδεμα εμποδίζεται η διάχυση του αερίου  $\text{CO}_2$  στους πόρους του σκυροδέματος. Άμεση συνέπεια της ενανθράκωσης είναι η πτώση του pH σε τιμές κάτω από 9 που οδηγεί στην καταστροφή του προστατευτικού στρώματος. ( Δημάδη Κ., Κατσένιου Γ., 2006 )

#### **3.1.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα ενανθράκωσης:**

- Η αυξημένη περιεκτικότητα του μπετόν σε τσιμέντο μειώνει την ταχύτητα ενανθράκωσης.
- Το αυξημένο πορώδες του σκυροδέματος.
- Η μείωση του PH.
- Η ύπαρξη ενεργών «κέντρων» στην επιφάνεια του χάλυβα (οξείες αιχμές ή πληγές, κάμψεις με μικρή ακτίνα καμπυλότητας)
- Η επαφή χαλύβων διαφορετικού είδους και διαφορετικού ηλεκτροχημικού δυναμικού.
- Η επαφή χαλύβων διαφορετικού βαθμού διάβρωσης.
- Η ψυχρή κατεργασία (ολική, έλαση)

- Η αύξηση της θερμοκρασίας.
- Η αύξηση της παρουσίας αλάτων.
- Η επαφή του χάλυβα με το έδαφος ή το νερό.
- Η σχέση νερού τσιμέντου: Το τσιμέντο δεσμεύει χημικά και φυσικά, περίπου το 0,4 του βάρους του σε νερό. Στην πράξη για να επιτυγχάνεται όμως εργασιμότητα συχνά αυξάνεται η σχέση αυτή σε 0,5 ή και 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.
- Η σχετική υγρασία του αέρα καθώς και η ποιότητα και το πάχος της επικάλυψης.

Η αντίδραση πραγματοποιείται παρουσία μικρής ποσότητας νερού. Το νερό που δημιουργείται μετά την αντίδραση διαχέεται στο εσωτερικό του σκυροδέματος όπως επίσης και το CO<sub>2</sub> μέσω της αέριας φάσης των πόρων. Αποτέλεσμα είναι το pH του σκυροδέματος να μειώνεται σε τιμές κάτω του 9 (περίπου 8.3) .Με την διαδικασία της ενανθράκωσης, ο χάλυβας αποπαθητικοποιείται οπότε πλέον η διάβρωση είναι βέβαιη. (Δημάδη Κ., Κατσένιου Γ., 2006 ) ( Γκιβάλου Λ., Μητζίθρα Μ., 2007)

### **3.2 Επίδραση γλωριόντων:**

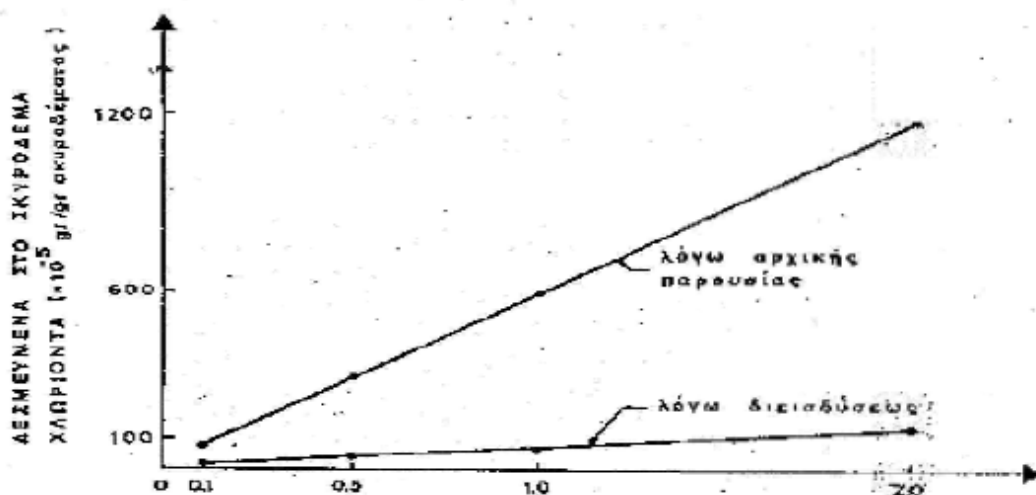
Η επίδραση των γλωριόντων είναι ο κυριότερος παράγοντας διάβρωσης του οπλισμού του σκυροδέματος στην Κύπρο. Τα γλωρίδια μπορούν να εισέλθουν στο σκυροδέμα από διάφορες πηγές όπως:

1. Η προσθήκη επιταχυντών οι οποίοι περιέχουν χλωριούχα.
2. Η χρήση του θαλάσσιου νερού στο μείγμα
3. Η χρήση μολυσμένων αδρανών.
4. Η χρήση σπρέι από θαλασσινό αλάτι
5. Η άμεση διαβροχή από θαλασσινό νερό
6. Πιο ασυνήθης περίπτωση είναι τα γλωριόντα να προέρχονται από άλατα που χρησιμοποιούνται για την τήξη χιονιού και πάγου στους δρόμους
7. Η κατασκευή μπορεί να βρίσκεται κοντά σε παράκτια περιοχή.

Έχει παρατηρηθεί ότι σταγονίδια που περιέχουν χλωριόντα μπορεί να επηρεάσουν κατασκευή σε απόσταση μέχρι 10km από τη θάλασσα. (Δημάδη Κ., Κατσένιου Γ., 2006 )



Το επιφανειακό στρώμα ένυδρου οξειδίου που προστατεύει τις ράβδους οπλισμού, μπορεί να διατηρηθεί τοπικά από χλωριόντα, εάν η συγκέντρωσή τους υπερβαίνει το 0,4-0,6% του βάρους του τσιμέντου. Είναι δυνατόν ακόμη και να διαλυθεί, λόγω μείωσης της αλκαλικότητας του σκυροδέματος γύρω από την ράβδο σε τιμές pH κάτω του 9. Έχει βρεθεί πειραματικώς ότι σε σκυρόδεμα που περιέχει χλωριόντα απαρχής, ο χάλυβας διαβρώνεται λιγότερο απ' ό,τι αν βρισκόταν σε σκυρόδεμα στο οποίο η ίδια ποσότητα χλωριόντων διεισδύει απέξω. Στο πιο κάτω σχήμα φαίνεται καθαρά ότι το σκυρόδεμα έχει την ικανότητα να δεσμεύει μεγάλη ποσότητα χλωριόντων κατά την αρχική παρουσία τους στο μίγμα και όχι κατά την μετέπειτα διείσδυση. ( Μάμαλης Π. , Ξάνθης Δ. ,2004)



Σχήμα 2: Ποσότητα δεσμευμένων στο σκυρόδεμα χλωριόντων λόγω α) Αρχικής παρουσίας των χλωριόντων και β) διεισδύσεως (με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα των C.Deliganian- C. Locke ,1988)

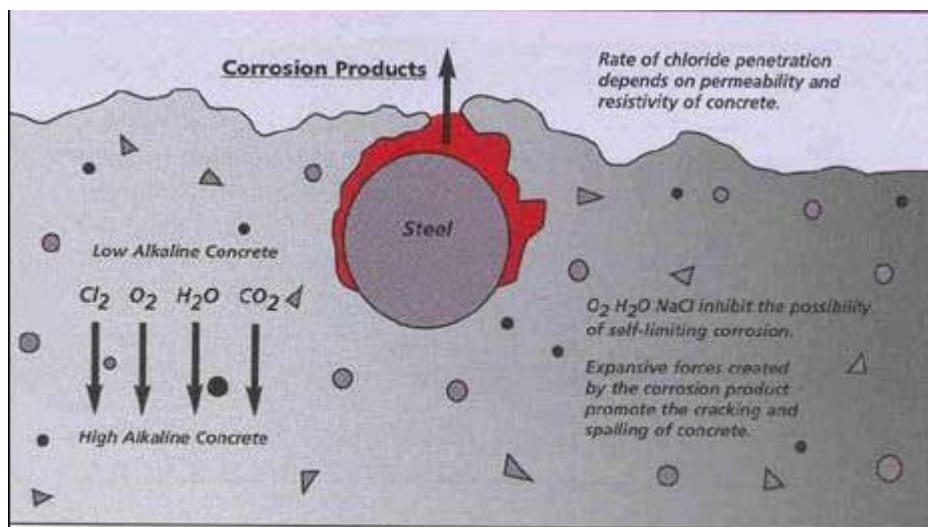
Τα χλώρια δρουν ως καταλύτες στη διάβρωση και όταν υπάρχει επαρκής συγκέντρωσή τους στην επιφάνεια του οπλισμού τότε το παθητικό στρώμα σπάει. Η επίθεση των χλωριόντων στο σκυρόδεμα είναι δύσκολο να αντιμετωπισθεί αφού τα χλώρια δεν καταναλώνονται κατά την διαδικασία αλλά παραμένουν στο σκυρόδεμα. (Τέχνογκρουπ Πραγματογνώμονες , 2006)

### **3.2.1 Παράμετροι που επηρεάζουν τη διάβρωση του χάλυβα από χλωριόντα:**

- Ποιότητα και πάχος της επικάλυψης.

- Περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε τσιμέντο – προσθετά: Το σκυρόδεμα θα πρέπει να περιέχει περισσότερο από 8% κ.β. τσιμέντου ώστε να δεσμεύσει τα χλωριόντα. Οι προσμίξεις στο σκυρόδεμα επηρεάζουν την ικανότητα του σκυροδέματος να δεσμεύσει τα χλωριόντα.
- Είδος και η συγκέντρωση των χλωριόντων: Το  $\text{CaCl}_2$  προκαλεί μεγαλύτερη διάβρωση του χάλυβα απ' ό τι το  $\text{NaCl}$ . Αυξάνοντας τη συγκέντρωση των χλωριόντων αυξάνεται ο βαθμός διάβρωσης του χάλυβα έως ενός σημείου. Περαιτέρω όμως αύξηση των χλωριόντων προκαλεί μείωση του βαθμού διάβρωσης του χάλυβα.
- Περιβάλλον: Η διείσδυση των χλωριόντων μπορεί να γίνει είτε σε ξηρό περιβάλλον είτε σε περιβάλλον με μεγάλο ποσοστό υγρασίας. Η διείσδυση χλωριόντων σε υγρό περιβάλλον είναι η συνηθέστερη και πιο σοβαρή μορφή διείσδυση

Η ενανθράκωση και η δράση των χλωριόντων είναι αλληλένδετες διαδικασίες διότι η δεύτερη επιταχύνεται από την πρώτη. Όταν το υδροξείδιο του ασβεστίου του στερεού ιστού του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού αντιδρά με τα χλωριόντα και τα δεσμεύει, περιορίζοντας την ποσότητα αυτών που διαχέονται προς τον οπλισμό, κάτω από την οριακή συγκέντρωση του 0.4-0.6%, που απαιτείται για την διάτρηση του προστατευτικού οξειδίου. Όταν όμως το υδροξείδιο του ασβεστίου μετατραπεί με την ενανθράκωση σε ανθρακικό ασβέστιο τα χλωριόντα που είχε δεσμεύσει ελευθερώνονται και διατίθενται πλέον για την προσβολή του χάλυβα. (Κουρνέτας Δ. , 2010) ( Γκιβάλου Λ., Μητζίθρα Μ., 2007)



Σχήμα 3: Απεικόνιση διείσδυσης χλωριόντων

### **3.3 Σχηματισμός Μακροστοιχείων:**

“Ένα κράμα όπως ο δομικός χάλυβας από την μεταλλουργική διαδικασία παραγωγής του μπορεί να σχηματίσει τοπικά γαλβανικά στοιχεία. Οι κύριες αιτίες που οδηγούν στον σχηματισμό τοπικών γαλβανικών στοιχείων με διαφορά δυναμικού είναι:

1. Οι γεωμετρικές ανωμαλίες την επιφάνεια,
2. Οι ανομοιομορφίες μικρής κλίμακας στην χημική σύσταση του κράματος,
3. Η ύπαρξη οξειδίων στην επιφάνεια,
4. Περιοχές οπλισμένου σκυροδέματος αεριζόμενες δίπλα σε μη αεριζόμενες,
5. Περιοχές οπλισμένου σκυροδέματος υγρές δίπλα σε στεγνές,
6. Περιοχές οπλισμένου σκυροδέματος με χαμηλό pH (λόγω ενανθράκωσης) δίπλα σε περιοχές με υψηλό pH.

Οι διαφορές αυτές δυναμικού είναι αρκετές για να οδηγήσουν στον σχηματισμό ανοδικών και καθοδικών περιοχών. Η δημιουργία των τοπικών αυτών γαλβανικών στοιχείων είναι αποτέλεσμα της παραγωγικής διαδικασίας του χάλυβα. Εάν υπήρχε μόνο η διαδικασία διάβρωσης μέσω των τοπικών γαλβανικών στοιχείων τότε οι αστοχίες από την διάβρωση θα ήταν σημαντικά μικρότερες από αυτές που έχουν παρατηρηθεί”. (Γ. Μπάτης, 2007)

“Τα μακροστοιχεία σε αντίθεση με τα τοπικά γαλβανικά στοιχεία εμφανίζονται σε μεγάλες περιοχές του οπλισμού. Οφείλονται στην όλη συγκρότηση και λειτουργία του οπλισμένου σκυροδέματος και όχι μόνο στον χάλυβα. Στην περίπτωση όμως του οπλισμένου σκυροδέματος η δημιουργία μακροστοιχείων οφείλεται σε επιδράσεις του περιβάλλοντος. Τα χλωριόντα φθάνουν μετά από ένα χρονικό διάστημα στους πρώτους οπλισμούς ενώ οι ευρισκόμενοι προς το εσωτερικό τμήμα του κτιρίου δεν έχουν γύρω τους χλωριόντα. Μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών χαλύβων δημιουργείται μέσω των συνδετήρων μακροστοιχείο. Οι οπλισμοί που έχουν ήδη γύρω τους χλωριόντα αποτελούν την άνοδο ενώ οι οπλισμοί χωρίς χλωριόντα αποτελούν την κάθοδο του γαλβανικού στοιχείου. Η ταχύτητα διάβρωσης εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος του γαλβανικού μακροστοιχείου. Η ένταση του ρεύματος εξαρτάται από το δυναμικό του μακροστοιχείου, την ηλεκτρική αντίσταση του σκυροδέματος και τον λόγο μεταξύ της ανοδικής προς την καθοδική επιφάνεια.

Η ύπαρξη και λειτουργία γαλβανικών μακροστοιχείων οδηγεί σε διάβρωση μεγάλης έκτασης και ταχύτητας”. (Buildnet.gr , 2009)

### **3.4 Ρωγμές:**

Η ρηγματώση είναι σύμφυτη με τις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, λόγω της μικρής του εφελκυστικής αντοχής. Η εμφάνιση όμως των ρωγμών δεν συνεπάγεται αυτόματα και έλλειψη λειτουργικότητας ή ανθεκτικότητας της κατασκευής στο χρόνο εφόσον περιοριστεί το πλάτος των ρωγμών σε επιτρεπτά όρια. Ο Ευρωκώδικας απαιτεί οι εμφανιζόμενες ρωγμές σε συνθήκες λειτουργίας πρέπει να μην προκαλούν προβλήματα όπως:

- Μείωση και εμποδισμό της λειτουργικότητας της κατασκευής.
- Μείωση της πλαστιμότητας της διατομής και δημιουργία προβλημάτων αισθητικής.
- Ανησυχία και αίσθημα φόβου στον χρήστη του δομήματος.
- Να θέτει υπό αμφισβήτηση την ανθεκτικότητα της κατασκευής στο χρόνο.

Η ύπαρξη όμως ρωγμών στο σκυρόδεμα αποτελεί μέσο για να περάσουν, τόσο το διοξείδιο του άνθρακα όσο και τα χλωριόντα στον οπλισμό και να επιταχύνουν την διαδικασία της διάβρωσης. (Αναστάσιος Α.)

Οι ρωγμές διακρίνονται σε ενεργές και μη-ενεργές. Οι ενεργές έχουν το μεγαλύτερο βαθμό επικινδυνότητας λόγω του ότι εξακολουθούν να υπάρχουν μετακινήσεις με άμεσο επακόλουθο την αύξηση του εύρους ή του μήκους τους. Οι μη-ενεργές ρωγμές δεν παρουσιάζονται περαιτέρω μετακινήσεις και δεν προκαλούν ιδιαίτερη ανησυχία παρά μόνο σε περιπτώσεις διεύθυνσης της υγρασίας με συνέπεια διάβρωσης των ράβδων οπλισμού.

#### **3.4.1 Αίτια Ρωγμών:**

“Η μεγάλη ποικιλία των αιτιών που συνοδεύουν τις ρωγμές δυσχεραίνουν το έργο διερεύνησης τους”. (Αγγελάκης Α., Σβεντζούρης Χ, 2007)

Οι βασικότεροι παράγοντες που συμβάλλουν στην ανάπτυξη ρωγμών είναι οι ακόλουθες:

- Συστολή ξήρανσης του σκυροδέματος: Ο κορεσμένος με νερό τσιμεντοπολιτός σε συνθήκες υγρασίας υφίσταται απώλεια νερού και συστέλλεται με συνέπεια την πρόκληση ρηγματώσεων, οι οποίες αποτελούν μέσο για να περάσουν τόσο το διοξείδιο του άνθρακα όσο και τα χλωριόντα στον οπλισμό επιταχύνοντας τη διαδικασία της διάβρωσης.

- Διάβρωση των ράβδων οπλισμού του σκυροδέματος: Οφείλεται κυρίως στη μικρή επικάλυψη με σκυρόδεμα, στην κακή ποιότητα του σκυροδέματος, στο πορώδες της μάζας του σκυροδέματος ,δηλαδή από την καλή συμπύκνωση για την αποφυγή κενών, την τιμή του λόγου νερού προς τσιμέντο, η οποία καθορίζει το αν ή όχι ο στερεός ιστός του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού έχει πολλούς πόρους κλπ.
- Ελλιπής οπλισμός: Δημιουργούνται ρωγμές λόγω υπέρβασης της αντοχής και η επισκευή τους είναι πιθανό να προκαλέσει προβλήματα στη δομική συμπεριφορά του μέλους, διότι περαιτέρω αύξηση της ροπής αντοχής της διατομής είναι πρακτικά αδύνατη.
- Θερμοκρασιακές μεταβολές: Συνήθως πρόκειται για ακίνδυνες ρωγμές οι οποίες επισκευάζονται για αισθητικούς λόγους. Εμφανίζονται κυρίως σε κατασκευές μεγάλου μεγέθους, η αύξηση της θερμοκρασίας του σκυροδέματος κατά την ενυδάτωση του τσιμεντοπολτού (λίγες ημέρες μετά τη σκυροδέτηση) προκαλεί ανάπτυξη εφελκυστικών παραμορφώσεων και ρηγμάτωση λόγω διαφοράς θερμοκρασίας των εξωτερικών επιφανειών (ψυχρότερες) με το εσωτερικό (θερμότερο) των στοιχείων. Το μέγεθος των εφελκυστικών παραμορφώσεων και τάσεων που πιθανόν να οδηγήσουν σε ρηγμάτωση εξαρτάται από το βαθμό περιορισμού των παραμορφώσεων της κατασκευής, το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος, το συντελεστή θερμικής διαστολής, την αύξηση της θερμοκρασίας λόγω ενυδάτωσης και τη χαλάρωση των τάσεων λόγω ερπυσμού.
- Αυξημένα εξωτερικά φορτία: Περαιτέρω αύξηση της εξωτερικής φόρτισης από τα προβλεπόμενα οδηγεί σε ρηγμάτωση της κατασκευής.
- Μη επαρκής συνάφεια χάλυβα-σκυροδέματος: Εμφανίζεται μικρός αριθμός ρωγμών μεγάλου πλάτους στην περιοχή απώλειας της συνάφειας, συνήθως στις παρειές.
- Ανεπαρκής συντήρηση και τελείωμα. Το φαινόμενο αυτό έχει, ως αποτέλεσμα, η εξωτερική επιφάνεια είναι πλουσιότερη σε νερό από το εσωτερικό ,παρουσιάζεται αρκετές εβδομάδες μετά τη σκυροδέτηση και γίνεται εμφανέστερη όταν η επιφάνεια έχει διαβροχή. Πρόκειται για τριχοειδείς ρωγμές μικρού μήκους και πολύ μικρού βάθους (1 mm) στην επιφανειακή στρώση του σκυροδέματος.
- Πλαστική συστολή και πλαστική κάθιση: Παρουσιάζεται επί το πλείστον στο άνω άκρο υποστυλώματος λόγω μεγάλης εξίδρωσης και συνθηκών απότομης αρχικής ξήρανσης. Η πλαστική συστολή εμφανίζεται συνήθως σε πλάκες οπλισμένου

σκυροδέματος λόγω μικρής εξίδρωσης, απότομης αρχικής ξήρανσης και ύπαρξης οπλισμού κοντά στην επιφάνεια. (Καλλιανιώτης Φ., Σταθάς Ν. ,(2009)



*Εικόνα 1:Ρηγματώση λόγω πλαστικής συστολής*

### 3.4.2 **Είδη ρωγμών**

Τα είδη των ρωγμών που συναντάμε είναι:

1. Εγκάρσιες ρωγμές
2. Διαμήκεις ρωγμές
3. Οριζόντιες ρωγμές
4. Κάθετες και διαγώνιες ρωγμές
5. Ρωγμές γωνιών
6. Ρωγμές προεξοχών

Επίσης οι ρωγμές διακρίνονται σε:

#### **3.4.2.1 Πλαστικές ρωγμές διακένωσης**

Οι πλαστικές ρωγμές διακένωσης εμφανίζονται περίπου μέσα σε μια ώρα (και σε περισσότερο από μία ώρα , εάν χρησιμοποιούνται επιβραδυντές πήξεως ) από την στιγμή που θα τοποθετηθεί το σκυρόδεμα μέσα στο καλούπι. Οι πλαστικές ρωγμές διακένωσης αρχίζουν να δημιουργούνται από την εκτεθειμένη (στις καιρικές συνθήκες) επιφάνεια του σκυροδέματος όπου η εξάτμιση του νερού της επιφάνειας γίνεται γρηγορότερα από τον χρόνο

πήξεως του σκυροδέματος και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκαλείται στένεμα του εξωτερικού στρώματος του σκυροδέματος και να δημιουργούνται οι ρωγμές. Το σκυρόδεμα έχει μία πλαστικότητα, όταν η πλαστικότητα αυτή είναι ανίκανη να παραλάβει τις φορτίσεις που δημιουργούνται, τότε το σκυρόδεμα ανακουφίζεται με το ράγισμα.

#### **3.4.2.2 Ρωγμές διάβρωσης:**

Οι διαδικασίες διάβρωσης που μπορούν να προκαλέσουν το ράγισμα περιλαμβάνουν το πάγωμα και το ξεπάγωμα, το βρέξιμο και την ξήρανση, τη θέρμανση και την ψύξη. Κάθε τύπος σκυροδέματος είναι πορώδης, που μόνο το πορώδες μπορεί να είναι υψηλό ή χαμηλό και, επομένως, θα απορροφήσει την υγρασία. Όταν εκτίθεται στην υπερβολικά χαμηλή θερμοκρασία, η υγρασία θα παγώσει και θα επεκταθεί, με συνέπεια την υδραυλική πίεση που τείνει να αναγκάσει τη συγκεκριμένη επιφάνεια για να ραγίσει.

Οι διαδικασίες διάβρωσης που μπορούν να προκαλέσουν το ράγισμα στο σκυρόδεμα είναι το εναλλασσόμενο βρέξιμο και ξήρανση, η θέρμανση και η ψύξη. Και οι δύο διαδικασίες παράγουν τις αλλαγές όγκου στο σκυρόδεμα. Εάν οι αλλαγές όγκου είναι υπερβολικές, οι ρωγμές μπορούν να εμφανιστούν, είναι παρόμοιες με εκείνες που συναντάμε στη διακένωση ξήρανσης και στις θερμικές πιέσεις. (Αναστάσιος Α.)

## **4. ΕΙΔΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ**

### **4.1 Γενική ή Ομοιόμορφη Διάβρωση**

Είναι η διάβρωση η οποία εμφανίζεται ομοιόμορφα σε όλο το μήκος των ράβδων του σιδήρου οπλισμού και έχει ως συνέπεια αφενός την μείωση της διατομής του χάλυβα και αφετέρου την δημιουργία ασυνεχειών στην επιφάνεια του χάλυβα. Το είδος αυτό της διάβρωσης μειώνει την αντοχή του σε εφελκυσμό, ανάλογα με την μείωση της διατομής και μειώνει επίσης την αντίσταση του. Το φαινόμενο αυτό, συμβαίνει στις περιπτώσεις στις οποίες η μείωση του pH του τσιμέντου φθάνει στο βάθος εκείνο στο οποίο βρίσκονται οι χαλύβδινες ράβδοι και μικρές ποσότητες υγρασίας. Οι αιτίες μείωσης του pH σε ευρεία περιοχή σκυροδέματος είναι:

- I. Απόπλυση του  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  από το σκυρόδεμα λόγω επίδρασης μαλακού νερού,
- II. Ενανθράκωση του σκυροδέματος,
- III. Επίδραση ανθρακικών ή θεικών αλάτων.

Η φθορά που ακολουθεί φαίνεται στα δομικά στοιχεία ως μια λεπτή σχισμή παράλληλη προς την τοποθέτηση της ράβδου του χάλυβα. Το είδος αυτό είναι εύκολα ορατό και είναι έτσι δυνατόν να ληφθούν διορθωτικά μέτρα.

### **4.2 Τοπική διάβρωση**

Το είδος της διάβρωσης αυτής συμβαίνει σε ορισμένες θέσεις και έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της διατομής ενώ η υπόλοιπη ράβδος μπορεί να μείνει ανέπαφη. Η περίπτωση είναι συνήθης σε περιπτώσεις τοπικά αυξημένης συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου. Επίσης το είδος αυτό της διάβρωσης εμφανίζεται σε περιπτώσεις προεκτάσεων ή συγκολλήσεων των ράβδων του σιδήρου. Η τοπική διάβρωση χωρίζεται στις πιο κάτω κατηγορίες:

#### **4.2.1 Διάβρωση κατά βελονισμό**

Οφείλεται στην επίδραση χλωριόντων που μπορούν να βρεθούν στο σκυρόδεμα είτε εξαρχής είτε να διεισδύσουν από το περιβάλλον αργότερα. Η διείσδυση γίνεται μέσω πόρων εξ ολοκλήρου ή μερικώς γεμάτων με νερό. Ιδιαίτερα επικίνδυνη είναι η εναλλασόμενη διαβροχή και ξήρανση της επιφάνειας του σκυροδέματος από το νερό το οποίο περιέχει χλωριούχα άλατα. Από τα χλωριόντα που υπάρχουν στο σκυρόδεμα, μια ποσότητα δεσμεύεται χημικά από τον τσιμεντοπολτό, ενώ τα υπόλοιπα παραμένουν



ελεύθερα. Η διάβρωση του χάλυβα προκαλείται από τα ελεύθερα χλωριόντα. Το τσιμέντο μπορεί να δεσμεύσει ποσότητα χλωριόντων μέχρι 0.4-0.6% του βάρους του. Σχηματίζεται έτσι άλας Friedell [ $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCl}_2\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ] το οποίο είναι αβλαβές για τον οπλισμό. Με την παρουσία θεικών αλάτων ή μετά από ενανθράκωση του σκυροδέματος. Το άλας Friedell διασπάται ελευθερώνοντας τα χλωριόντα. Έτσι μετά την ενανθράκωση ο κίνδυνος διαβρώσεων των σιδηροπλισμών αυξάνεται.

#### 4.2.2 Μικρορρηγματώδης Διάβρωση:

Είναι ανάλογη με τη διάβρωση κατά βελονισμό. Η διαφορά είναι ότι αρχίζει σε μικρορρηγμές και μικροκοιλότητες στην επιφάνεια του χάλυβα και όχι σε «αυγή» επιφάνεια.

#### 4.2.3 Διάβρωση μεταξύ κόκκων:

Εμφανίζεται μέσα στο μέταλλο και όχι στην επιφάνεια του. Συμβαίνει κυρίως σε κράματα και υπάρχει διαφορά δυναμικού. Με μικρές ποσότητες άνθρακα (μικρότερη από 0.05%) η διάβρωση αυτή αποφεύγεται.

Η ομοιόμορφη και τοπική διάβρωση είναι οι πιο συνηθισμένες μορφές που συναντά ο Πολιτικός Μηχανικός στην πράξη. Εντοπίζονται εύκολα και είναι εύκολα ορατές.( Γ. Μπάτης, 2007)



Εικόνα 2: Ομοιόμορφη διάβρωση



*Εικόνα 3: Τοπική διάβρωση. Η Πλάκα έχει υποστεί τοπική διάβρωση που προήλθε από συγκέντρωση υδάτων ακριβώς πάνω από το σημείο αυτό, λόγω προβλήματος στο σωλήνα υδρορροής συγκεντρώθηκε νερό σε σημείο όπου το σκυρόδεμα παρουσίαζε μικρή καμπή.*

#### **4.3 Διάβρωση Λόγω Ανάπτυξης Εξωτερικής Διαφοράς Δυναμικού:**

##### **4.3.1 Γαλβανική δράση:**

Είναι ηλεκτροχημική δράση η οποία αναπτύσσεται όταν δύο διαφορετικά μέταλλα έρχονται σε επαφή μεταξύ τους. Κάθε μέταλλο έχει το δικό του κανονικό δυναμικό. Όταν δύο μέταλλα έρχονται σε επαφή μεταξύ τους παρουσία μικρής ποσότητας υγρασίας σχηματίζουν ένα μικρό ηλεκτροστοιχείο διάβρωσης. Κίνδυνος διάβρωσης υπάρχει όταν η διαφορά δυναμικού των δύο μετάλλων είναι μεγαλύτερη από 50 mV. Η διάβρωση γίνεται ιδιαίτερα επικίνδυνη με την παρουσία χλωριούχων ή θεικών αλάτων.

##### **4.3.2 Ηλεκτρολυτική διάβρωση:**

Είναι αποτέλεσμα άμεσης εφαρμογής ρεύματος στην κατασκευή από κάποια εξωτερική πηγή. Μπορεί να περιοριστεί με:

- Σκυρόδεμα πολύ καλής ποιότητας χωρίς χλωριόντα,
- Ηλεκτρική μόνωση μεταξύ της πηγής του ηλεκτρικού ρεύματος και της κατασκευής.

#### **4.4 Διάβρωση Υπό Μηχανική Τάση:**

Εμφανίζεται σε χάλυβες υψηλής αντοχής υπό μεγάλες τάσεις. Δε δημιουργείται σκουριά και δεν παρατηρείται απώλεια της διατομής λόγω διάβρωσης. Ο μηχανισμός είναι πολύπλοκος και δεν έχει αποσαφηνισθεί πλήρως. Οφείλεται στον συνδυασμό διαβρωτικού περιβάλλοντος και στην ανάπτυξη πρόσθετης διαφοράς δυναμικού. Η διάβρωση του χάλυβα υπό μηχανική τάση μπορεί να συνοδεύεται από ψαθυροποίηση του χάλυβα λόγω εκλύσεως υδρογόνου. Τα χλωριόντα επιταχύνουν πολύ τη διάβρωση όλων σχεδόν των χαλύβων εκτός από τους χάλυβες οι οποίοι περιέχουν μεγάλες ποσότητες νικελίου.

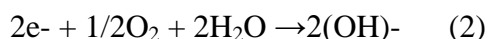
Οι συνέπειες των πιο πάνω διαβρώσεων είναι η τοπική μείωση της διατομής των ράβδων και η μείωση της ικανότητας τους να φέρουν φορτίο. Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η μείωση της διατομής οφείλεται στην τοπική διάβρωση η ράβδος του σιδήρου γίνεται πλέον εύθραυστη και είναι δυνατόν με τον τρόπο αυτό να μη υπάρχουν ορατές προειδοποιήσεις για την μείωση της αντοχής της κατασκευής. Σε άλλες περιπτώσεις είναι δυνατόν να προκληθούν και ρηγματώσεις στο σκυρόδεμα. (Κουρνέτας Δ., 2010)

## 5. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

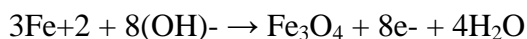
Αφού επέλθει η διάβρωση του προστατευτικού στρώματος ένυδρου οξειδίου του σιδήρου, ξεκινά η διαδικασία διάβρωσης, που στην ουσία είναι ένα σύνθετο χημικό και ηλεκτροχημικό φαινόμενο και για να πραγματοποιηθεί απαιτείται ένας ηλεκτρολύτης και μια ηλεκτρική σύνδεση. Το ρόλο του ηλεκτρολύτη παίζει το σκυρόδεμα το οποίο είναι γεμάτο μικρούς πόρους που περιέχουν υγρασία ενώ η ράβδος του χάλυβα παρέχει την ηλεκτρική σύνδεση. Το φαινόμενο της ηλεκτρολύσεως μπορεί να διακριθεί σε δύο απλές διαδικασίες, της ανόδου και της καθόδου. Η άνοδος δημιουργείται στην περιοχή του χάλυβα όπου έχει καταστραφεί το προστατευτικό στρώμα οξειδίων έτσι ώστε τα άτομα του σιδήρου να μετατρέπονται σε ιόντα, ελευθερώνοντας ηλεκτρόνια.



Τα ηλεκτρόνια λόγω διαφοράς δυναμικού που δημιουργείται κατευθύνονται προς την κάθοδο. Ως κάθοδος μπορεί να λειτουργήσει η περιοχή του χάλυβα που έχει νερό και οξυγόνο ανεξάρτητα αν έχει καταστραφεί το στρώμα οξειδίου, συνεπώς ολόκληρη η ράβδος. Εκεί αντιδρούν τα ηλεκτρόνια με το νερό και το οξυγόνο δίνοντας ιόντα υδροξυλίου.



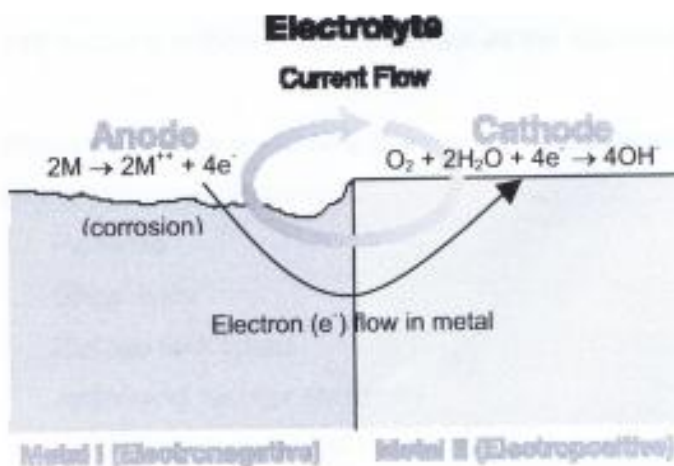
Τα ιόντα υδροξυλίου κινούνται μέσα στο νερό των πόρων, από την περιοχή της καθόδου προς την άνοδο, όπου ενώνονται με τα ιόντα του σιδήρου και σχηματίζουν σκουριά.



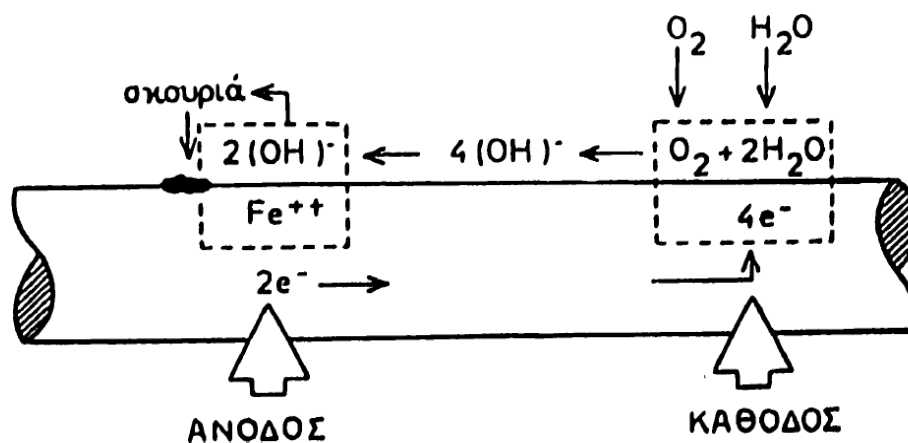
Μετά την παραπάνω αντίδραση είναι δυνατόν να σχηματιστούν διάφορα οξείδια του σιδήρου (Σχήμα 6). Για τις αντιδράσεις οξειδώσεως έχουμε ότι οι ποσότητες νερού πριν και μετά παραμένουν σταθερές, το οξυγόνο είναι αυτό που καταναλώνεται για την διάβρωση του χάλυβα, ενώ το νερό βοηθά την διαδικασία ηλεκτρολύσεως. (Τσώνη Ν., 2010)

Συμπερασματικά, η διάβρωση εμφανίζεται μόνο στην άνοδο και όχι στην κάθοδο. Αξίζει να σημειωθεί ότι η άνοδος και η κάθοδος στην διαδικασία διάβρωσης μπορεί να είναι σε δύο

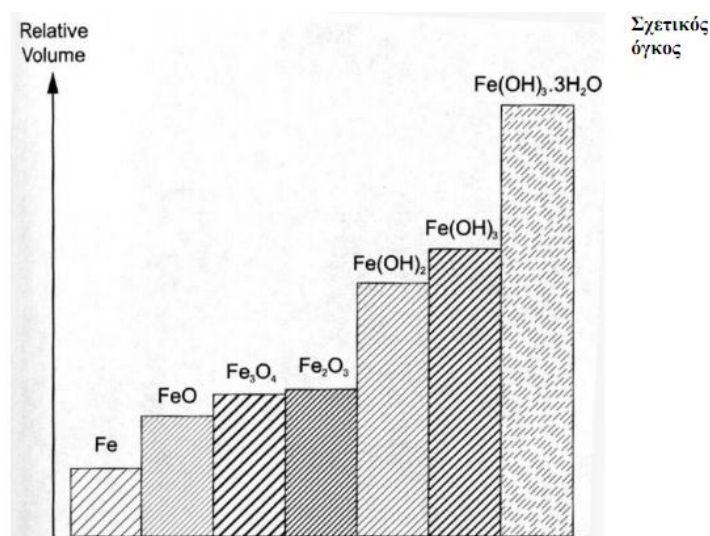
διαφορετικά μέταλλα τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους δημιουργώντας ένα διμεταλλικό έλασμα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα φαίνεται στο Σχήμα 4 όπου με το μαύρο βέλος δηλώνεται η ροή των ηλεκτρονίων από την άνοδο στην κάθοδο και φαίνονται οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στην άνοδο και στην κάθοδο. Είναι δυνατόν να μεταβάλλουμε τον ρυθμό των δύο αυτών αντιδράσεων είτε προσθέτοντας είτε αφαιρώντας ηλεκτρόνια. Εάν συμβεί κάποια μεταβολή σε κάποια από τις συνθήκες κάτω από τις οποίες το σύστημα είναι σε ισορροπία, τότε το σύστημα θα μεταβληθεί ώστε να αναιρέσει, όσο είναι δυνατό, αυτή τη μεταβολή. “Έτσι, εάν αφαιρέσουμε ηλεκτρόνια από ένα κομμάτι μετάλλου, τότε ο ρυθμός της αντίδρασης (1) θα αυξηθεί, σε μια προσπάθεια να αναιρεθεί η μεταβολή που κάναμε, και η διάλυση του μετάλλου θα αυξηθεί, ενώ ο ρυθμός της αντίδρασης (2) θα μειωθεί. Αντιθέτως, εάν προσθέσουμε ηλεκτρόνια από μία εξωτερική πηγή στο μέταλλο ο ρυθμός αντίδρασης (1) θα μειωθεί με αποτέλεσμα την μείωση του φαινομένου της διάβρωσης, και ο ρυθμός της αντίδρασης (2) θα αυξηθεί. Η δεύτερη περίπτωση είναι η βασική αρχή της μεθόδου της καθοδικής προστασίας”. (Γκιβάλου Λ., Μητζίθρα Μ., 2007)



Σχήμα 4: Το μαύρο βέλος αναπαριστά τη ροή των ηλεκτρονίων από την άνοδο στην κάθοδο



Σχήμα 5: Απλοποιημένο προσομοίωμα της ηλεκτροχημικής διαδικασίας διαβρώσεως του σιδηροπλισμού



Σχήμα 6: Σχετικός όγκος οξειδίων του σιδήρου τα οποία σχηματίζονται στην επιφάνεια του χάλυβα όταν διαβρώνεται.

### Βακτηριακή διάβρωση

Τα βακτήρια του εδάφους βοηθούν στο μηχανισμό διάβρωσης του οπλισμού μετατρέποντας το θείο και τα σουλφίδια σε θειικό οξύ το οποίο προκαλεί διάβρωση στο χάλυβα. Αυτό σχετίζεται με μια μυρωδιά του υδρόθειου (χαλασμένα αυγά), με ομαλή σκασίματα του σκυροδέματος και με την παρουσία ενός μαύρου προϊόν διάβρωσης όταν ο οπλισμός βρίσκεται σε συνθήκες κορεσμού σε νερό. (John P. B, 2003)

## **6. ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ**

Η αποσάθρωση μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα, οφείλεται κατά κύριο λόγο στην διάβρωση – οξείδωση του οπλισμού. Η οξείδωση του οπλισμού προκαλεί διόγκωση, η οποία με τη σειρά της προκαλεί εφελκύστηκες τάσεις στο σκυρόδεμα που περιβάλλει τον οπλισμό, που προκαλούν μεγάλες ρηγματώσεις και αποκόλληση της επικάλυψης του οπλισμού. Η οξείδωση του οπλισμού έχει σαν αποτέλεσμα επίσης την απομείωση της διατομής του, με αποτέλεσμα να μη μπορεί να αναλάβει τα φορτία τα οποία σχεδιάστηκε να αναλάβει. Η διάβρωση του οπλισμού σε γενικές γραμμές οφείλεται στο CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας και/ή στην ύπαρξη χλωριόντων. Το CO<sub>2</sub> αλλάζει το PH του σκυροδέματος που περιβάλλει τον οπλισμό, με αποτέλεσμα να καταστρέφεται η προστατευτική στρώση που περιβάλλει τον οπλισμό. Τα χλωριόντα διαβρώνουν τον οπλισμό με ηλεκτροχημική δράση.

Μολονότι η ενανθράκωση οδηγεί στην αποσύνθεση των συστατικών του σκυροδέματος, η θλιπτική και καμπτική αντοχή του αυξάνει. Για σκυροδέματα που έγιναν από πολυθεϊκά τσιμέντα η ενανθράκωση μπορεί να προκαλέσει αύξηση της θλιπτικής αντοχής από 30-100% όταν τα δοκίμια βρίσκονται σε χώρους με πλούσια περιεκτικότητα σε CO<sub>2</sub>. Επίσης τα προϊόντα της ενανθράκωσης εναποτίθενται στους τριχοειδείς πόρους του σκυροδέματος μειώνοντας έτσι το πορώδες. Άλλη επίπτωση είναι η αύξηση του ερπυσμού και της ταχύτητας ερπυσμού του σκυροδέματος. Λόγω της αποβολής νερού, αυξάνεται η συστολή του σκυροδέματος. (Δημάδη Κ. , Κατσένιου Γ., 2006)

“Το πιο σοβαρό αποτέλεσμα της ενανθράκωσης είναι η μείωση της αλκαλικότητας του σκυροδέματος. Η μείωση της αλκαλικότητας έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της διατομής των ράβδων, την μείωση της ενεργού διατομής του, την σταδιακή απώλεια της συνάφειάς του με το σκυρόδεμα, και η δυσανάλογη μείωση της ολκιμότητας του χάλυβα. Λόγω της ελάττωσης της διατομής δημιουργούνται προβλήματα φέρουσας ικανότητας ενώ η μείωση της ολκιμότητας εγκυμονεί κινδύνους για τη σεισμική συμπεριφορά του μέλους, ειδικά των υποστυλωμάτων. Είναι γνωστό ότι στα υποστυλώματα των κατασκευών, ο σεισμός προκαλεί τουλάχιστον δύο σύγχρονες οριζόντιες δράσεις και ένα μεταβαλλόμενο αξονικό φορτίο. Υπό τις συνθήκες αυτές, η μηχανική «απόδοση» ενός υποστυλώματος, με σχετικά «χαμηλό» αξονικό φορτίο, μπορεί ξαφνικά να βρεθεί δραματικά μειωμένη”. (Μάμαλης Π., Ξάνθης Δ., 2004)

Τα μεγαλύτερα προβλήματα προκύπτουν όταν κατά την διάβρωση του προϊόντος δημιουργηθεί μαύρη σκουριά. Τα προϊόντα που παράγονται από τις αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά την εναποθήκευση αντιδρούν μεταξύ τους και παράγουν υδροξείδια του σιδήρου, δηλαδή σκουριά. Η σκουριά εναποτίθεται στη ράβδο στις περιοχές των καθόδων και επειδή είναι διαπερατή τόσο από το νερό όσο και από τα αέρια, η διαδικασία οξείδωσης συνεχίζεται παράγοντας νέα προϊόντα σκουριάς με το διαλυμένο οξυγόνο. Ο όγκος των παραγόμενων προϊόντων σκουριάς διαρκώς αυξάνει και είναι 2 έως 6 φορές μεγαλύτερος άπαυτων του σιδήρου. Κατά συνέπεια η εναπόθεση σκουριάς στην επιφάνεια της ράβδου προκαλεί μεγάλες εσωτερικές πιέσεις στο περιβάλλον σκυρόδεμα, προκαλώντας ρηγματώσεις, αποτινάξεις και αποκολλήσεις ολόκληρων κομματιών από το σκυρόδεμα. Η ρηγμάτωση αποτελεί ένα ακόμα αρωγό της διάβρωσης καθώς το νερό σε συνδυασμό με τις θερμοκρασιακές μεταβολές (υγρασία) προκαλούν περαιτέρω οξείδωση του οπλισμού και διόγκωση των ρωγμών. (John P., 2003), (Κουρνέτας Δ., 2010)



*Εικόνα 4: Η εναπόθεση σκουριάς στην επιφάνεια της ράβδου προκάλεσε μεγάλες εσωτερικές πιέσεις στο σκυρόδεμα με αποτέλεσμα τη δημιουργία ρηγματώσεων και αποτινάξεων των κομματιών από το σκυρόδεμα.*



## 7. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

### 7.1 Οπτικός Έλεγχος:

Η κατάσταση του χάλυβα από πλευράς διάβρωσης εκτιμάται κατ' αρχάς με τον οπτικό έλεγχο. Αν η διαδικασία σχηματισμού οξειδίων του σιδήρου έχει ήδη προχωρήσει, τότε το πιθανότερο είναι τα αποτελέσματα της οξείδωσης να είναι ορατά στην επιφάνεια του σκυροδέματος (ακόμη και αν ο χάλυβας βρίσκεται στο εσωτερικό του σκυροδέματος) από τις κηλίδες σκουριάς και από τη διόγκωση. Η οπτική επιθεώρηση μιας κατασκευής διευκολύνεται εάν από πριν ο μηχανικός έχει συντάξει έναν τυπικό κατάλογο των οπτικών ελέγχων που πρέπει να κάνει επιτόπου. Συγκεκριμένα θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε τοπικές φθορές σκυροδέματος, αποφλοιώση, φθορές λόγω κακής στεγανότητας, διείσδυση νερού, απόθεση αλάτων, χρωματικές αλλοιώσεις, χάλυβες απογυμνωμένοι, διαβρωμένοι, σπασμένοι, κηλίδες σκουριάς, διαμήκειες ρηγματώσεις, εκτίναξη επικάλυψης, παραμορφώσεις και αλλοίωση της ευθυγραμμίας λόγω μετακινήσεων στις πλάκες. (Καλυβά Α., 2006)



*Εικόνα 6: Ρηγμάτωση παράλληλα στους οπλισμούς:*

Τα προϊόντα της αντίδρασης που συμβαίνει κατά την διάβρωση του χάλυβα έχουν όγκο περίπου κατά 40% μεγαλύτερο από τον αρχικό όγκο χάλυβα. Αυτό έχει ως συνέπεια την δημιουργία ρηγματώσεων παράλληλα με τον οπλισμό.



*Εικόνα 7: Αποφλοιώση σκυροδέματος:*

Συμβαίνει απόσπαση μεγάλου επιφανειακού κομματιού σκυροδέματος σε βάθος ίσο περίπου με την επικάλυψη του οπλισμού.



*Εικόνα 8:* Κηλίδες σκουριάς στην επιφάνεια του σκυροδέματος:

Εμφανίζονται στις παρειές ή στον πυθμένα στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα.



*Εικόνα 9:* Εκτίναξη επικάλυψης:

Λόγω της μεγάλης τάσης εφελκυσμού που ασκείται από τον χάλυβα στο σκυρόδεμα συμβαίνει εκτίναξη της επικάλυψης. Παρατηρείται συνήθως σε περιπτώσεις χαμηλής ποιότητας σκυροδέματος και μεγάλης πυκνότητας οπλισμών.

## **7.2 Ενόργανος εντοπισμός**

Με τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού μπορούν να γίνουν συγκεκριμένες μετρήσεις είτε στον χάλυβα, είτε στο σκυρόδεμα, είτε σε ολόκληρη την κατασκευή με σκοπό την διαπίστωση του μεγέθους της διάβρωσης του οπλισμού. Οι μετρήσεις αυτές ελέγχουν το βάθος της ενανθράκωσης, το πορώδες, το βάθος και το εύρος των ρωγμών, την εμπεριεχόμενη υγρασία, το πάχος της επικάλυψης, την ενεργό διάμετρο των ράβδων και τον βαθμό διάβρωσης. (Τέχνογκρουπ Πραγματογνώμονες, 2006)

### **7.2.1 Μέτρηση Βάθους Ενανθράκωσης:**

Σε επιφάνεια σκυροδέματος (στεγνή), η οποία δημιουργήθηκε πρόσφατα με αφαίρεση του επιφανειακού στρώματος (συνήθως μέχρι τον οπλισμό) ψεκάζεται με άχρωμο διάλυμα φαινολοφθαλείνης. Ο βαθμός ενανθράκωσης προσδιορίζεται από την αλλαγή χρώματος της φαινολοφθαλείνης. Το υγιές σκυρόδεμα με  $pH > 9$ , προσδίδει χρώμα κόκκινο, ενώ το

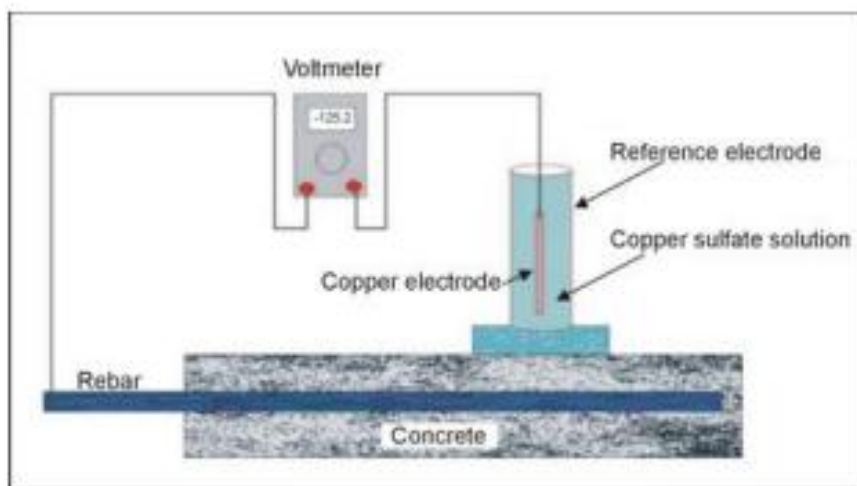
ενανθρακωμένο με  $pH < 9$ , δεν επιφέρει χρωματισμό. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να μετρηθεί το πάχος του επιφανειακού σκυροδέματος που έχει υποστεί ενανθράκωση. Η μέτρηση μπορεί να γίνει επίσης με ψεκασμό διαλύματος στην παράπλευρη επιφάνεια πυρήνα σκυροδέματος, ο οποίος μόλις έχει αποκοπεί από την υπό εξέταση περιοχή. Για έναν σημειακό προσδιορισμό του βάθους ενανθράκωσης διανοίγεται μικρή οπή στο στοιχείο με ηλεκτρικό δράπανο, συλλέγεται η σκόνη και ψεκάζεται με το διάλυμα φαινολοφθαλείνης, αν δεν αλλάξει χρώμα σημαίνει ότι η ενανθράκωση έχει προχωρήσει μέχρι το διατηρηθέν βάθος. Συνεχίζεται η διάτρηση στην ίδια οπή μέχρις ότου προκύψει ερυθρή απόχρωση το οποίο σημαίνει ότι το σκυρόδεμα στην συγκεκριμένη θέση είναι υγιές. (Καλυβά Α, 2006)

### **7.2.2 Μέτρηση περιεκτικότητας χλωριόντων:**

Για τον σκοπό αυτό αποκόπτονται τεμάχια σκυροδέματος στην περιοχή της επικάλυψης των οπλισμών, και αποστέλλονται σε ειδικευμένο εργαστήριο, όπου συνήθως μετριέται η συνολική ποσότητα χλωριόντων (ελεύθερων και δεσμευμένων) κατά βάρος σκυροδέματος. (Καλυβά Α.2006)

### **7.2.3 Έμμεσες Ηλεκτροχημικές Μέθοδοι – Μέθοδος Ημι - Δυναμικού:**

Στόχος της μεθόδου του ημι-δυναμικού είναι να εντοπισθούν σημεία επάνω στο σκυρόδεμα όπου έχει αρχίσει σημαντικά η διάβρωση του οπλισμού. Αυτό επιτυγχάνεται με την μέτρηση της διαφοράς δυναμικού μεταξύ του οπλισμού και του σκυροδέματος με την χρήση μιας κλασσικής διάταξης φυσικού δυναμικού με «απόλωτα» ηλεκτρόδια θεικού χαλκού. Στο σχήμα 7 φαίνεται η διάταξη μέτρησης.



Σχήμα 7: Κύκλωμα ημι- δυναμικού για τον έλεγχο της διάβρωσης του οπλισμού στο σκυρόδεμα

Τα δεδομένα εισάγονται σε ένα διάγραμμα ισοδυναμικών καμπυλών για πιο εύκολη αναγνώριση των σημείων διάβρωσης. Σύμφωνα με το ASTM 876-87, ανάλογα με το μέγεθος της διαφοράς δυναμικού, E μπορεί να λεχθεί ότι:

- Όταν  $E > -200 \text{ mV}_{\text{cse}}$ , με πιθανότητα 90% δεν συμβαίνει διάβρωση
- Όταν  $E < -350 \text{ mV}_{\text{cse}}$ , με πιθανότητα 90% συμβαίνει διάβρωση
- Όταν  $-200 \text{ mV}_{\text{cse}} > E > -350 \text{ mV}_{\text{cse}}$ , δεν είναι βέβαιο αν συμβαίνει ή όχι διάβρωση.

Η μέθοδος είναι απλή και γρήγορη, όχι ιδιαίτερος ακριβή απαιτεί όμως ειδικευση τόσο στην εφαρμογή όσο και στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων. (Καλυβά Α., 2006), (Τσώνη Ν., 2010)

#### **7.2.4 Μέτρηση Επιφανειακής Υγρασίας Σκυροδέματος:**

Μέτρηση ποσοστού επιφανειακής υγρασίας στο σκυρόδεμα ή άλλα υλικά για έλεγχο διάβρωσης και πριν από νέες επιστρώσεις σε υφιστάμενα στοιχεία κατασκευής. Η υγρασία του σκυροδέματος μπορεί να μετρηθεί με θερμογράφο, ο οποίος λειτουργεί με υπέρυθρες ακτίνες και προσδιορίζει τις 'θερμές' (υγρές) περιοχές και τις 'ψυχρές' (ξηρές) περιοχές του σκυροδέματος.

#### **7.2.5 Έλεγχος Πάχους Επικάλυψης:**

Εύρεση θέσης και μεγέθους ράβδων οπλισμού και μεταλλικού πλέγματος σε κατασκευές από σκυρόδεμα. (Καλυβά Α., 2006)

#### **7.2.6 Μέτρηση Πορώδες σκυροδέματος:**

Το πορώδες του σκυροδέματος μετράται με την μέτρηση της απορροφήσεως του νερού από αυτό. Προσαρμόζεται ένας βαθμονομημένος σωλήνας γεμάτος με νερό στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Μετράται η ποσότητα νερού που απορροφάται από το σκυρόδεμα κατά την διάρκεια κάποιου συμβατικά ορισμένου χρόνου. (Καλυβά Α., 2006)

#### **7.2.7 Έλεγχος Σκυροδέματος και Οπλισμών με Ραντάρ:**

Έλεγχος σκυροδέματος και οπλισμού σε κτίρια, σήραγγες, γέφυρες μέσω παραγωγής εικόνων υψηλής ανάλυσης με μεγάλη ταχύτητα. (Καλυβά Α., 2006)

#### **7.2.8 Μέτρηση του Εύρους και του Βάθους των ρωγμών:**

Η μέτρηση του εύρους των ρωγμών γίνεται με ένα μικροσκόπιο ενώ η μέτρηση του βάθους των ρωγμών γίνεται με τη χρήση συσκευής υπέρηχων, αφού εντοπιστεί η ρωγμή. (Καλυβά Α., 2006)

### **7.2.9 Συσκευή Ανάλυσης της Διάβρωσης του Οπλισμού:**

Είναι ένα αυτόνομο και πλήρες εξοπλισμένο σύστημα για τον προσδιορισμό του ρυθμού της διάβρωσης του οπλισμένου σκυροδέματος, με πολύ ακριβείς τιμές προς την πραγματικότητα και με δυνατότητες:

1. Χαρτογράφησης του σιδηροπλισμού κατασκευών,
2. Μετρήσεων και ελέγχου σε πολύ υγρό σιδηροπλισμό ακόμη και βυθισμένο στο σκυρόδεμα,
3. Ανάλυσης της καθοδικής προστασίας του συστήματος σιδηροπλισμού ,
4. Ανάλυση των μετρούμενων παραμέτρων και δημιουργίας αναφορών μέσω ειδικού λογισμικού με εφαρμογή Η/Υ,
5. Γραφική απεικόνιση,
6. Λογισμικό μεταφοράς δεδομένων σε Η/Υ,
7. Διατίθεται με διάφορους αισθητήρες, ενσωματωμένη οθόνη και επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. (Εκπαιδευτικά Συστήματα,,2000)

### **7.2.10 Συσκευή Ελέγχου του Ρυθμού Διάβρωσης Σιδηροπλισμού**

Είναι ένα αυτόνομο και φορητό σύστημα με σειρά παρελκόμενων με σκοπό να παρέχει:

1. Τον ρυθμό διάβρωσης μέσω αισθητήρων,
2. Την ειδική αντίσταση του σκυροδέματος στις ατμοσφαιρικές συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, μέσω ειδικού αισθητηρίου,
3. Οι μετρήσεις διάβρωσης αποθηκεύονται σε Η/Υ για περαιτέρω επεξεργασία. (Εκπαιδευτικά Συστήματα,,2000)

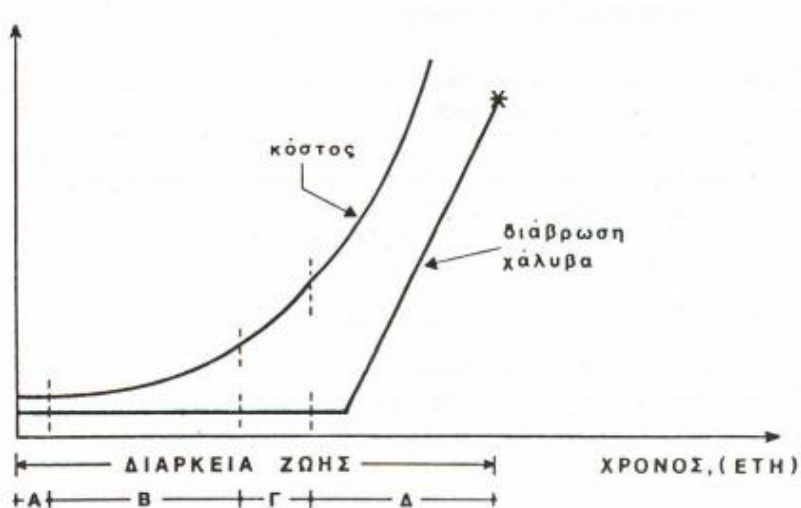
Στον πιο κάτω πίνακα (Πίνακας 2) φαίνονται συνοπτικά οι μετρήσεις που γίνονται σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος με διαβρωμένο οπλισμό, καθώς και τα όργανα με τα οποία πραγματοποιείται η κάθε μέθοδος.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
Ενανθράκωση	Ψεκασμός με φαινολοφθαλείνη
Χλωριόντων	Κόψιμο μέρους της κατασκευής και ανάλυση στο εργαστήριο
Πορώδες	Απορρόφηση Νερού
Εμπεριεχόμενη Υγρασία	Θερμογράφος
Πάχος Επικάλυψης	Παχύμετρο
Διάμετρος ράβδων	Παχύμετρο
Βαθμός Διάβρωσης	Μέθοδος Ημι- Δυναμικού
Εύρος Ρωγμών	Φορητό Μικροσκόπιο
Βάθος Ρωγμών	Υπέρηχοι

*Πίνακας 2: Οι μετρήσεις που γίνονται σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος και τα όργανα που χρησιμοποιούνται.*

### **7.3 Αξιολόγηση Ελέγχων και Επιλογή Τρόπου Επέμβασης:**

Σε μία υπάρχουσα κατασκευή η οποία υφίσταται τις περιβαλλοντικές επιδράσεις η ελαχιστοποίηση του γενικευμένου κόστους γίνεται με τη λήψη έγκαιρων αποφάσεων. Πότε θα επέμβουμε και με ποιόν τρόπο, έχει μεγάλη σημασία για την πρόληψη αστοχίας και για την ελαχιστοποίηση της καταβαλλόμενης δαπάνης. Ο W. de Sitter (1983), κατασκεύασε το παρακάτω διάγραμμα όπου φαίνεται η διάβρωση του χάλυβα και το αντίστοιχο κόστος επισκευής ως συνάρτηση του χρόνου που γίνεται η επισκευή.



Σχήμα 8: Διάβρωση του χάλυβα για το αντίστοιχο κόστος επισκευής ως συνάρτηση του χρόνου κατά τον οποίο θα γίνει επισκευή

“Υπάρχουν τέσσερις φάσεις που μπορούμε να κατατάξουμε το μέγεθος της διάβρωσης και να αξιολογήσουμε τον τρόπο επέμβασης. Στη φάση Α, η οποία είναι η φάση σχεδιασμού κατασκευής, συντηρήσεως του σκυροδέματος, δεν έχει συμβεί διάβρωση του οπλισμού. Στο στάδιο αυτό συνιστάται η τακτική συντήρηση με τα κατάλληλα υλικά ανάλογα με τη διαβρωτικότητα του περιβάλλοντος. Στη φάση Β έχει συμβεί ενανθράκωση του σκυροδέματος ή διείσδυση χλωριόντων ή άλλες βλαβερές ουσίες έχουν διαπεράσει την επικάλυψη, χωρίς να έχει συμβεί διάβρωση του οπλισμού. Επαρκή μέτρα για να προστατευτεί ο χάλυβας είναι η αφαίρεση της επικάλυψης και η κατασκευή νέας με μεγαλύτερο πάχος. Στη φάση Γ έχει αρχίσει η διεργασία διαβρώσεως του οπλισμού και έχει αρχίσει η διαμήκης ρηγμάτωση και μερική αποφλοιώση της επικάλυψης. Η επέμβαση περιλαμβάνει αφαίρεση όλου του καταστραμμένου σκυροδέματος, κατασκευή νέου και επίχριση της επιφάνειας του σκυροδέματος. Οι οπλισμοί θα πρέπει να καθαριστούν ως είναι δυνατόν και να εμποτιστεί το περιβάλλον σκυρόδεμα με αναστολείς διάβρωσης ή να επανακαλιτικοποιηθεί. Στη φάση Δ, οπλισμός έχει διαβρωθεί σε εκτεταμένες περιοχές. Πρέπει να αφαιρεθούν και να αντικατασταθούν τμήματα της κατασκευής”. (Καλυβά Α., 2006)

## **8. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ**

Σε κάθε πιθανό πρόβλημα, ο καλύτερος τρόπος αντιμετώπισής του είναι αναμφισβήτητα η πρόληψη. Η άποψη αυτή συνάδει και με το υπό εξέταση θέμα της διάβρωσης, τόσο από οικονομικής όσο από λειτουργικής και αισθητικής πλευράς. Η εκ των υστερών αντιμετώπιση του προβλήματος της διάβρωσης των οπλισμών είναι πολύ πιο δαπανηρή από το να πάρουμε εξ αρχής τα απαραίτητα μέτρα και να τηρήσουμε τις αντίστοιχες κατασκευαστικές λεπτομέρειες. Επιπλέον κατά τη διάρκεια των εργασιών μπορεί να διαταραχθεί η ομαλή λειτουργία του κτηρίου, πράγμα εξαιρετικά δύσκολο σε περιπτώσεις όπως π.χ. αυτές των νοσοκομείων, αφού απαιτείται η αφαίρεση των επικαλύψεων, ακόμα και τμημάτων του στοιχείου.

Ο χάλυβας του σκυροδέματος μπορεί να προστατευτεί είτε μειώνοντας την διαπερατότητα του σκυροδέματος για να εμποδιστεί η διείσδυση επιβλαβών ουσιών, είτε με άμεση προστασία του χάλυβα εμποδίζοντας την προσβολή μετάλλου. Ο απλούστερος και βασικότερος τρόπος προστασίας αποτελεί η τήρηση των σύγχρονων κανονισμών (π.χ. Ευρωκώδικας 2 ) όσον αφορά τα πάχη επικάλυψης των ράβδων και που ενώ στα παλαιότερα χρόνια οπλισμός τοποθετούνταν επάνω στο καλούπι, τώρα γίνεται χρήση πλαστικών ροδέλλων ορισμένης διαμέτρου στους γωνιακούς οπλισμούς, για την επίτευξη του επιθυμητού πάχους επικάλυψης. (Γιαννόπουλος Π., 2010) ,(Κουρνέτας Δ., (2010)

### **Τα Μέτρα Προστασίας είναι τα εξής:**

#### **8.1 Χρήση Ανασταλτικών διάβρωσης:**

Τα ανασταλτικά διαβρώσεως είναι οργανικά ή ανόργανα άλατα (διχρωμικό κάλιο, το βενζοϊκό νάτριο, το νιτρώδες νάτριο) που προστίθενται στο σκυρόδεμα κατά την παρασκευή του, με σκοπό να προστατεύουν τον ενσωματωμένο χάλυβα από την διάβρωση. Ο μηχανισμός είναι σύνθετος και διαφέρει ανάλογα με το είδος του χρησιμοποιούμενου άλατος. Ορισμένα ανασταλτικά διάβρωσης μπορεί να επηρεάσουν δυσμενώς τις φυσικές ιδιότητες του σκυροδέματος όπως μείωση της θλιπτικής αντοχής και επιβράδυνση στην σκλήρυνση του τσιμεντοπολτού. (Μάμαλης Π., Ξάνθης Δ., 2004)

#### **8.2 Πάχος και ποιότητα επικάλυψης των οπλισμών:**

Η ποιότητα της επικάλυψης είναι πολύ σημαντική αλλά δυσκολότερη να επιτευχθεί. Αυτό συμβαίνει διότι στην επιφάνεια του σκυροδέματος η συμπύκνωση είναι



δυσκολότερη και η εξάτμιση του νερού κατά τις πρώτες μέρες μετά τη σκυροδέτηση ευκολότερη. Η ποιότητα της επικάλυψης βελτιώνεται:

- Με τη μείωση του πορώδους. Το πορώδες του σκυροδέματος έχει αρνητικό ρόλο στην διάβρωση. Η μείωσή του λοιπόν είναι επιθυμητή. Γι αυτό το σκοπό θα πρέπει ο λόγος νερού προς τσιμέντο να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα. Η τιμή 0,4 με 0,5 θεωρείται ικανοποιητική.
- Με την αύξηση της ποσότητας του τσιμέντου, καθώς έτσι αυξάνεται η ποσότητα του προστατευτικού  $\text{Ca(OH)}_2$ .
- Με καλή συμπύκνωση και ωρίμανση. (Τσώνη Ν., 2010)

### **8.3 Χρήση Χημικών Πρόσμικτων για Βελτίωση Εργασιμότητας:**

Η χρήση των πιο πάνω υλικών πρέπει να μην είναι αλόγιστη. (Μάμαλης Π., Ξάνθης Δ., 2004)

### **8.4 Χρήση Υδατοστεγών Μεμβρανών:**

Η χρήση υδατοστεγών μεμβρανών προστατεύει το σκυρόδεμα από την είσοδο διαβρωτικών ουσιών. Οι συνηθέστερες μορφές τους είναι τα έτοιμα βιομηχανοποιημένα φύλλα, και ορισμένα υγρά υλικά, τα οποία αν και είναι ακριβότερα παρουσιάζουν ευκολία στην τοποθέτηση. Θα πρέπει επίσης να εξασφαλίζεται καλή πρόσφυση με το υπόστρωμα, να μην αντιδρά με τα συστατικά του σκυροδέματος και να εμποδίζει την διείσδυση χλωριόντων και υγρασίας. Κύριο μειονέκτημα τους είναι η φθορά στο χρόνο και η αναγκαστική ανανέωση τους ανά τακτά χρονικά διαστήματα. (Μάμαλης Π., Ξάνθης Δ., 2004)

### **8.5 Σχετική Υγρασία Σκυροδέματος:**

Μια σχετική υγρασία της τάξης 50-60% θεωρείται ως πιο επιβαρυντική για την εξέλιξη της ενανθράκωσης. Όταν η σχετική υγρασία είναι μικρότερη ή ίση από 40% η διαδικασία επιβραδύνεται, γιατί δεν μπορεί να γίνει διάλυση του  $\text{CO}_2$  στο νερό και σχηματισμός  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Σε επίπεδα σχετικής υγρασίας μικρότερης ή ίσης από 20% η ενανθράκωση πρακτικά μηδενίζεται. Στο άλλο άκρο, όταν η σχετική υγρασία του μπετόν προσεγγίζει το 85-90%, δεν μπορεί να διεισδύσει επειδή οι πόροι του μπετόν είναι γεμάτοι με νερό. (Καλυβά Α., 2006)

### **8.6 Τοποθέτηση Επιχρισμάτων στον Οπλισμό:**

Τα επιχρίσματα στον οπλισμό εμποδίζουν τον οπλισμό να έρθει σε επαφή οξυγόνο, υγρασία ή χλωριόντα. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα μεταλλικά και τα μη μεταλλικά επιχρίσματα. “Τα μη μεταλλικά, ανόργανες ή οργανικές ενώσεις όπως

εποξειδικές ρητίνες ή το χλωριούχο πολυβινύλιο, έχουν μικρή διαπερατότητα στο νερό, στα αέρια και στους ηλεκτρολύτες και μεγάλη αντοχή στα οξέα και τις βάσεις. Οι εποξειδικές ρητίνες εφαρμόζουν καλή πρόσφυση στο χάλυβα και μεγάλη ανθεκτικότητα σε αλκαλικό περιβάλλον. Εφαρμόζονται με ηλεκτροστατικό ψεκασμό ή με υγρή εμφάνιση. Μειονεκτήματα τους η εύκολη καταστροφή τους κατά τις συνήθειες και αναγκαίες οικοδομικές εργασίες (κάμψη ράβδων), η αντικοινομικότητα τους, η μικρή αντοχή τους σε πυρκαγιά και το ότι εάν εφαρμοστούν σε μεγάλο πάχος (>0,2mm) επιδρούν αρνητικά στη συνάφεια χάλυβα – σκυροδέματος. Τα μεταλλικά εφαρμόζονται στο χάλυβα είτε με εμφάνιση, είτε με επιμετάλλωση ή ψεκασμό σε τηγμένο μέταλλο. Τα επιχρίσματα ανήκουν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο δράσης τους. Στη μια, το μέταλλο που χρησιμοποιείται ως επίχρισμα, έχοντας μεγαλύτερο δυναμικό από το χάλυβα, δρα ως προστατευτικό περίβλημα, όσο αυτό υπάρχει. Στην άλλη, το μέταλλο έχοντας μικρότερο δυναμικό, καταστρέφεται αυτό αντί του σιδήρου. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι γαλβανισμένοι χάλυβες (με επίχρισμα ψευδαργύρου). Μειονέκτημά τους είναι ότι αν έρθουν σε επαφή με μη γαλβανισμένους μπορεί να επέλθει διάβρωση του ασθενέστερου από πλευράς δυναμικού”. (Μάμαλης Π., Ξάνθης Δ., 2004)

#### **8.7 Χρήση Ανοξειδωτων Χαλύβων:**

Οι ανοξειδωτοι χάλυβες αποτελούνται από κράματα με κύριο συστατικό το σίδηρο και χρώμιο 11-12% κατά βάρος (όχι πάνω από 15%). Το χρώμιο προσδίδει μεγάλη παθητικότητα στον χάλυβα, αυξάνοντας έτσι την ανθεκτικότητά του σε διάβρωση. Εκτός από το χρώμιο χρησιμοποιείται το μολυβδαίνιο, το νικέλιο, το τιτάνιο και το άζωτο. Οι ανοξειδωτοι χάλυβες υπόκεινται σε γενική διάβρωση μόνο σε πολύ όξινο ή πολύ αλκαλικό περιβάλλον. Έχουν υψηλό ηλεκτρικό δυναμικό και σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να συμβεί διάβρωση λόγω γαλβανικής δράσεως. Το τιτάνιο χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που το περιβάλλον είναι εξαιρετικά διαβρωτικό, ώστε οι ανοξειδωτοι χάλυβες να μην έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα. Μειονέκτημα τους η εξωφρενική τιμή τους, δεκαπλάσια του κοινού χάλυβα. (Μάμαλης Π., Ξάνθης Δ., 2004)

#### **8.8 Αποφυγή ρωγμών:**

Οι ρωγμές αποτελούν μονοπάτια για την δίοδο του CO<sub>2</sub>. Έλεγχος του αριθμού και του εύρους τους τόσο στο νωπό όσο και στο σκληρυμένο σκυρόδεμα οδηγεί σε καλύτερο έλεγχο της ενανθράκωσης. Ο έλεγχος μπορεί να γίνει με μέτρα όπως χρήση συνθετικών ινών, προσεγμένη συντήρηση, χάραξη αρμών διαστολής, επαρκή οπλισμό. (Τσώνη Ν., 2010)

### **8.9 Περιβάλλον:**

Περιβάλλοντα στα οποία υπάρχει αυξημένη περιεκτικότητα του αέρα σε CO<sub>2</sub> επιταχύνουν τις διαδικασίες ενανθράκωσης. Τέτοια περιβάλλοντα είναι τα βιομηχανικά και αστικά. Στις αγροτικές περιοχές η ενανθράκωση εξελίσσεται με βραδύτερους ρυθμούς. ((Τσώνη Ν., 2010)

### **8.10 Στεγανοποίηση:**

Ο πιο ενδεδειγμένος τρόπος πρόληψης είναι η στεγανοποίηση με τη χρήση στεγανοποιητικών υλικών. Κύρια ιδιότητά τους είναι να μην αφήνουν το νερό να διαπερνά τη μάζα τους. Ανάλογα με τη χημική τους σύσταση διακρίνονται σε: ασφαλικές ενώσεις, πλαστικές και ελαστομερείς ενώσεις, υλικά δύο συστατικών, σιλικόνες, υλικά ανόργανων συστατικών.

“Τα πιο συνήθη στεγανοποιητικά υλικά είναι οι ασφαλικές ενώσεις και διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: τα άμορφα ασφαλικά υλικά, τα σχηματοποιημένα ασφαλικά προϊόντα και τα ρευστά ασφαλικά υλικά. Είναι ευρέως διαδεδομένα διότι παρουσιάζουν μεγάλα πλεονεκτήματα: είναι εύχρηστες και βρίσκουν πολλές εφαρμογές, ενώ παρουσιάζουν επίσης σημαντικές συγκολλητικές και ηχομονωτικές ιδιότητες. Τα δύο βασικότερα μειονεκτήματά τους είναι ότι είναι θερμοπλαστικές, δηλαδή ρευστοποιούνται με την άνοδο της θερμοκρασίας αλλά μπορούν και επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση και δημιουργούνται εύκολα φυσαλίδες αέρα στη μάζα τους”. (Βλάχος Σ., 1991)

“Μεγάλη εφαρμογή έχουν και οι πλαστικές και ελαστομερείς ενώσεις, οι οποίες αποτελούν παράγωγα του πετρελαίου. Διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την εφαρμογή τους: τα άμορφα πλαστικά, τα σχηματοποιημένα πλαστικά και τα ρευστά πλαστικά. Είναι κατά κανόνα θερμοπλαστικά, ανθεκτικά στη φωτιά και σε πολλούς οργανικούς διαλύτες. Η διάρκεια ζωής τους και η αντοχή τους στις διάφορες καταπονήσεις δεν έχει καθοριστεί με ακρίβεια επειδή είναι σχετικά σύγχρονα υλικά. Η εφαρμογή τους είναι δύσκολη ενώ είναι λιγότερο ευέλικτα από τα ασφαλικά υλικά, έχουν μεγάλη θερμική διαστολή και μεγάλο κόστος”.

Ένας άλλος τρόπος στεγανοποίησης είναι ο εμποτισμός του σκυροδέματος με πολυμερή. Σκοπός της αποτελεί η πλήρωση των κενών του σκυροδέματος με πολυμερή. Η κατεργασία περιλαμβάνει τα εξής στάδια :

- Καθαρισμός της επιφάνειας του σκυροδέματος
- Ξήρανση με υψηλές θερμοκρασίες για αρκετό χρόνο
- Αφαίρεση του αέρα από το σκυρόδεμα με εφαρμογή κενού

- Προσθήκη μονομερούς
- Θερμικός πολυμερισμός του μονομερούς

Ο εμποτισμός με πολυμερή εφαρμόζεται σε όλα τα σκυροδέματα και ταυτόχρονα βελτιώνει όλες τις ιδιότητές τους όπως η αύξηση της θλιπτικής αντοχής συμβατικού σκυροδέματος μετά τον εμποτισμό. Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι το υψηλό κόστος ενώ απαιτείται επίσης ειδικός εξοπλισμός ,ειδικευμένο προσωπικό και προσοχή κατά την εφαρμογή”.  
( Γκιβάλου Λ., Μητζίθρα Μ., 2007)

## **9. ΜΕΤΡΑ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ**

### **9.1 Σημασία της συντήρησης:**

Η συντήρηση των κατασκευών είναι κρίσιμης σημασίας τόσο για την μείωση του κόστους επισκευής, όσο και για τη διατήρηση της ασφάλειας των χρηστών. Η συντήρηση των κατασκευών πρέπει να γίνεται τουλάχιστο κάθε 4 χρόνια. Σκοπός της συντήρησης είναι η επιδιόρθωση των προβλημάτων μόλις εμφανιστούν πριν να γίνουν μεγαλύτερα και επικινδυνότερα και η εξασφάλιση μη εμφάνισης του φαινομένου διάβρωσης για τα επόμενα χρόνια.

### **9.2 Μέτρα Επέμβασης:**

“Σκοπός των επεμβάσεων είναι η αποκατάσταση των βλαβών, έτσι ώστε να διατηρεί η κατασκευή κατά την διάρκεια της ζωής της τα λειτουργικά και αισθητικά χαρακτηριστικά της. Η ηλικία της κατασκευής, η μέση ετήσια διακύμανση της σχετικής υγρασίας στην περιοχή, η ταχύτητα φθοράς της κατασκευής, αλλά και η σκοπούμενη μελλοντική χρήση της είναι τα βασικά στοιχεία που εξετάζονται, για να αποφασιστούν τα απαιτούμενα μέτρα που χρειάζεται να ληφθούν. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι αποκατάστασης οι οποίες διακρίνονται σε ήπιες και ενεργές”. (Δημάδη Κ., Κατσένιου Γ., 2006)

#### **9.2.1 Ήπιες επεμβάσεις στο σκυρόδεμα:**

Οι ήπιες (συντηρητικές) αναστέλλουν μια εξελισσόμενη διαδικασία φθοράς χωρίς να επιδιορθώνουν αυτήν που έχει ήδη συμβεί. Οι ήπιες επεμβάσεις που **εφαρμόζονται στο σκυρόδεμα είναι:**

##### **9.2.1.1 Επαναλκαλοποίηση**

Σκοπός της μεθόδου αυτής είναι να αυξήσουμε το pH του σκυροδέματος ,όταν αυτό έχει λόγω ενανθράκωσης ή άλλων αιτιών μειωθεί. Η διαδικασία της επαναλκαλοποίησης στηρίζεται στην αρχή ηλεκτροωσμώσεως. Επαλείφουμε την επιφάνεια του σκυροδέματος με ένα αλκαλικό υγρό με περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ).Ως άνοδος λειτουργεί ένα ηλεκτρόδιο ενώ ως κάθοδος λειτουργεί ο χάλυβας. Με την εφαρμογή εξωτερικού

ηλεκτρικού δυναμικού(περίπου 10V),το αλκαλικό υγρό διαχέεται στους πόρους του σκυροδέματος, με αποτέλεσμα την αύξηση του pH του. (Δημάδη Κ., Κατσένιου Γ., 2006)

#### Πλεονεκτήματα

- Απλή στην εφαρμογή
- Αποτελέσματα άμεσα ελεγχόμενα

#### Μειονεκτήματα

- Μπορεί να υπάρξουν περιοχές που δεν αλκαλοποιήθηκαν
- Ανεπαρκή πειραματικά στοιχεία για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου

### **9.2.1.2 Αφαίρεση Χλωριόντων:**

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην αρχή της ηλεκτροσώσεως, για την αφαίρεση των χλωριόντων χρησιμοποιείται ένας κατάλληλος ηλεκτρολύτης, μία ρητίνη ανταλλαγής ιόντων και ένα μεταλλικό πλέγμα που απλώνεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος και λειτουργεί ως άνοδος. Στο ηλεκτροχημικό κύκλωμα που δημιουργείται, ο οπλισμός δρα ως κάθοδος. Με την επιβολή ηλεκτρικού ρεύματος, τα χλωριόντα κινούνται προς την θετικά φορτισμένη άνοδο εκεί δεσμεύονται από την ρητίνη και απομακρύνονται από το σκυρόδεμα. (Δημάδη Κ., Κατσένιου Γ., 2006)

#### Πλεονεκτήματα

- Αποτελεσματική κυρίως σε καταστρώματα γεφυρών
- Γρήγορα αποτελέσματα

#### Μειονεκτήματα

- Υψηλό κόστος
- Χρειάζεται καλής ποιότητας σκυρόδεμα (εξαιτίας κινδύνου εμφανίσεων ρωγμών)
- Αυξάνει την διαπερατότητα του σκυροδέματος (αντιμετωπίζεται με εμποτισμό του σκυροδέματος με πολυμερή)
- Προκαλεί ασυνάφεια στο χάλυβα-σκυρόδεμα
- Μειώνει την ολκιμότητα σε χάλυβες υψηλής αντοχής

### **9.2.1.3 Αφαίρεση Υγρασίας:**

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την αφαίρεση υγρασίας από κονιάματα και ονομάζεται “ηλεκτρική”. Για να είναι η μέθοδος εφαρμόσιμη, πρέπει το κονίαμα να περιέχει

άλατα σε περιεκτικότητα 2%-5% και το pH του υλικού να είναι αρκετά υψηλό(μεγαλύτερο του 8). Η διαδικασία της μεθόδου αυτής είναι όμοια με αυτήν της αφαίρεσης χλωριόντων. Με την εφαρμογή του δυναμικού, τα ιόντα των αλάτων κινούνται προς τα ηλεκτρόνια, μεταφέροντας μαζί τους και νερό. Η μεταφορά των μορίων από τα ιόντα ερμηνεύεται με διάφορους μη ταυτόχρονους μηχανισμούς:

- τα ανιόντα και τα κατιόντα των αλάτων είναι ενυδατωμένα, αλλά σε διαφορετικό βαθμό το καθένα
- τα ανιόντα παρασύρουν κατά την κίνησή τους προς τους πόλους το υδατικό περίβλημα των πόρων
- τα ιόντα καθώς μετακινούνται προς τα ηλεκτρόδια, αναπτύσσουν δράσεις προωθήσεως με τις οποίες “σπρώχνουν” το νερό που βρίσκουν μπροστά τους μέσα στους λεπτούς πόρους (στους μεγάλους πόρους δε συμβαίνει η συγκεκριμένη διαδικασία)

“Για να προκληθεί ικανοποιητική ξήρανση πρέπει να δημιουργηθεί ηλεκτρικό ρεύμα εντάσεως ίσης με 0,1 A- 1 A”’. (Δημάδη Κ., Κατσένιου Γ., 2006)

#### Πλεονεκτήματα

- Αποτελεσματική διαδικασία και με χαμηλό κόστος σε τοιχοποιίες

#### Μειονεκτήματα

- Βραδύτατη διαδικασία (π.χ η μείωση της υγρασίας ενός τοίχου από 50% σε 30% διαρκεί 6 μήνες)

#### **9.2.1.4 Σφράγισμα Ρωγμών:**

- Ενέσεις ρητινών
- Μέθοδος των Ραφών
- Ενέσεις τσιμέντου
- Επαναλκαλοποίηση σκυροδέματος

##### **9.2.1.4.1 Ρητίνες :**

Οι ρητίνες αποτελούν ένα υλικό που μπορεί να γεμίσει το κενό μιας ρωγμής, επιτυγχάνοντας τελικά την πλήρη συνέχεια του υλικού. Επίσης λόγω της σύστασής τους, παρεμποδίζουν την ελεύθερη διείσδυση οξυγόνου και υγρασίας, των κύριων δηλαδή συστατικών της

οξειδωτικής διαδικασίας. Κατά την διαδικασία αυτή οι οπλισμοί εγκιβωτίζονται, με αποτέλεσμα την προστασία τους από την διάβρωση. Επίσης οι υψηλές αντοχές εφελκυσμού και συνάφειας των ρητινών εμποδίζουν την διεύρυνση των ρωγμών. (Καλλιανιώτης Φ., Σταθάς Ν., 2009)

#### Στάδια εκτέλεσης της επέμβασης:

12. Γίνεται καθαρισμός των ρωγμών καθώς και των γειτονικών περιοχών με χρήση κενού ή πεπιεσμένου αέρα.
12. Σφράγισμα των ρωγμών με μικρά κομμάτια ταινίας εμποδίζοντας τη διαρροή της ρητίνης από τη σχισμή.
12. Διάνοιξη οπών διαμέτρου ( 5,0 – 10,0 )mm με τρυπάνι σε ορισμένες θέσεις κατά μήκος της ρωγμής. Η επιλογή των θέσεων των οπών αποτελεί ένα από τα κρίσιμότερα σημεία της τεχνικής των ρητινενέσεων.
12. Καθαρισμός της περιοχής της ρωγμής για αποφυγή τυχούσας απόφραξης της διόδου του ενέματος.
12. Τοποθέτηση καρφιών, σωληνίσκων μικρής διαμέτρου ή κοχλιωτών ακροφυσίων στις θέσεις των οπών, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν σαν σημεία ενέσεως της ρητίνης.
12. Επιφανειακή κάλυψη του συνόλου της ρωγμής με ρητινόστοκο ταχείας σκλήρυνσης ή άλλο αντίστοιχο υλικό.
12. Αναμιγνύονται η ρητίνη και ο σκληρυντής για περίπου 3 min, σε κατάλληλο αναμκτήρα, έτσι ώστε να μην συγκρατείται αέρας στο μίγμα και να μην υψώνεται η θερμοκρασία περισσότερο από 40°C για μίγματα ταχείας ή μέσης αντίδρασης, ή περισσότερο από 60°C για μίγματα βραδείας αντίδρασης. Η ανάμιξη πρέπει να εκτελείται όσο το δυνατό πιο κοντά στη θέση που θα γίνει η επέμβαση, για να υπάρχει διαθέσιμος μεγαλύτερος χρόνος εργασιμότητας του υλικού.
12. Εκτέλεση ένεσης με εποξειδική ρητίνη. Η ένεση ξεκινά από το κατώτερο σημείο και συνεχίζεται μέχρις ότου υπερχειλίσει η ρητίνη από το ανώτερο σημείο.
12. Τα σημεία ενέσεων και υπερχειλίσεων της ρητίνης σφραγίζονται με κατάλληλο τρόπο.
12. Το υλικό ταχείας σκλήρυνσης που χρησιμοποιήθηκε για την επιφανειακή σφράγιση των ρωγμών απομακρύνεται μετά από 24 ώρες με τρίψιμο της επιφάνειας.
12. Για την εκτέλεση της εργασίας αυτής χρειάζεται εξειδικευμένο προσωπικό, καθώς και οι απαραίτητες και κατάλληλες συσκευές τόσο για τον καθαρισμό των ρωγμών όσο και για την εκτέλεση των ενέσεων. Η επιλογή του κατάλληλου υλικού επισκευής προϋποθέτει συγκριτική μελέτη των τεχνικών χαρακτηριστικών των διαθέσιμων υλικών σε συνδυασμό



με την εμπειρία και γνώση του μηχανικού για την επιτυχή εξέλιξη της μεθόδου. Ακόμη , για την επιτυχία της επέμβασης δε θα πρέπει να αγνοηθούν παράγοντες όπως η γεωμετρία της ρωγμής που είναι καθοριστική για την επιλογή των σημείων έγχυσης της ρητίνης , οι αποστάσεις των σημείων έγχυσης που επιλέγονται περίπου ίσες με το πάχος του στοιχείου , η πίεση του ενέματος η οποία πρέπει να μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της επέμβασης ώστε να επιτυγχάνεται συνεχής ροή του ενέσιμου υλικού με περίπου σταθερή πρόοδο γεμίζοντας τη ρωγμή σε ικανοποιητικό βαθμό. ( Καλλιανιώτης Φ., Σταθάς Ν., 2009)

#### **9.2.1.4.2 Μέθοδος των Ραφών**

Η μέθοδος των ραφών βρίσκει εφαρμογή τόσο σε ενεργές όσο και μη-ενεργές ρωγμές. Περιλαμβάνει ειδικά μεταλλικά στοιχεία σχήματος U που με κατάλληλη τοποθέτησή τους επιχειρείται η αποκατάσταση της εφελκυστικής αντοχής της ρωγμής.

##### Στάδια εκτέλεσης της επέμβασης:

1. Διάνοιξη οπών στο μήκος της ρωγμής αριστερά και δεξιά και επιμελής καθαρισμός με πεπιεσμένο αέρα ή νερό ώστε να γίνει η αγκύρωση των μεταλλικών στοιχείων . Οι οπές είναι βάθους 3-5 cm και πλάτους 3-4 φορές τη διάμετρο της ράβδου.
2. Πλήρωση των οπών με ρητίνη ή άλλο μη συρρικνωμένο υλικό ώστε τα μεταλλικά στοιχεία να αγκυρωθούν καλά.
3. Τοποθέτηση των μεταλλικών στοιχείων και επάλειψη με ρητίνη στη διεπιφάνεια σκυροδέματος-μεταλλικών στοιχείων για την καλύτερη δυνατή συνάφεια.
4. Τα μεταλλικά στοιχεία διαφέρουν σε μήκος, διεύθυνση και στη μεταξύ τους απόσταση λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης δυνάμεων στις ραφές. Στις άκρες της ρωγμής όπου έχουμε μεγαλύτερη συγκέντρωση τάσεων, τοποθετούμε πυκνότερα τις ραφές. Τέλος επειδή τα U είναι επιμήκη και μικρής διατομής δεν μπορούν να αναλάβουν να αναλάβουν θλιπτική αξονική δύναμη, γι' αυτό το λόγο όταν η ρωγμή τείνει να κλείσει ενισχύουμε την περιοχή με μια επίστρωση σκυροδέματος που θα καλύψει τις ραφές. ( Καλλιανιώτης Φ., Σταθάς Ν., 2009)

#### **9.2.1.4.3 Τσιμεντενέσεις- Τσιμεντοκονιάματα :**

Οι τσιμεντενέσεις εφαρμόζονται για την επισκευή ρωγμών ανοίγματος λίγων χιλιοστών, ενώ τα τσιμεντοκονιάματα βρίσκουν εφαρμογή σε μεγαλύτερου εύρους ρωγμές μέχρι πάχους 10

mm. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται στο σκυρόδεμα αλλά επί το πλείστον στην φέρουσα τοιχοποιία από λιθοδομές.

Τα κονιάματα με βάση το τσιμέντο προκύπτουν από ειδικές κονίες με προσθήκη μικρής ποσότητας νερού, της τάξεως 10-20 % του βάρους του κονιάματος. Οι κονίες είναι μίγματα τσιμέντου με λεπτόκοκκα αδρανή που η διάμετρός τους δε ξεπερνά συνήθως τα 2,5 mm, σε συνδυασμό με υπερευστοποιητικά υλικά και πρόσμικτα που παρεμποδίζουν τη συστολή ξήρανσης.

#### Στάδια εκτέλεσης της επέμβασης:

1. Καθαίρεση των επιχρισμάτων, αφαίρεση των σαθρών τμημάτων της ρωγμής και καθαρισμός της περιοχής με νερό υπό πίεση.
2. Διάνοιξη οπών με τρυπάνι μέσα στο επίπεδο της ρωγμής και σε αποστάσεις μικρότερες όσο στενότερη είναι η ρωγμή. Ακόμη στις οπές αυτές τοποθετούνται σωληνάκια.
3. Διεύρυνση των χειλών της ρωγμής και σφράγιση με τσιμεντοκονίαμα ώστε να εμποδίσει τη διαρροή του τσιμεντενέματος από τη ρωγμή.
4. Εισαγωγή τσιμεντενέματος υπό μορφή τσιμεντοπολτού ή τσιμεντοκονιάματος και βελτιωτικά πρόσθετα (π.χ. μπετονίτη) μέσα από το κατώτερο σωληνάκι. Στην αρχή το τσιμεντένεμα είναι λεπτόρρευστο με μικρή πίεση και τελικά παχύρρευστο με μεγάλη πίεση.
5. Μόλις το υλικό της τσιμεντένεσης υπερχειλίσει από το αμέσως πιο πάνω σωληνάκι, συνεχίζουμε από εκείνο το σημείο, σφραγίζοντας το προηγούμενο, οπότε και συνεχίζεται η τσιμεντένεση από κάτω προς τα άνω. ( Καλλιανιώτης Φ., Σταθάς Ν., 2009), (Isomat, 2005)

### **9.2.2 Ήπιες επεμβάσεις στον οπλισμό:**

#### **9.2.2.1 Καθοδική προστασία:**

Σκοπός της μεθόδου αυτής είναι να επανέλθει η αλκαλικότητα του σκυροδέματος και να αποφευχθεί η ενανθράκωση των οπλισμών. Κατά την μέθοδο της καθοδικής προστασίας, φορτίζουμε αρνητικά την εγκατάσταση που θέλουμε να προστατέψουμε. Έτσι ενώ πριν η εγκατάσταση ήταν άνοδος, τώρα γίνεται κάθοδος. Αυτό σημαίνει ότι η εγκατάσταση εξακολουθεί να είναι αρνητικά φορτισμένη, όπως και πριν την εφαρμογή της προστασίας, απλά η δράση αντιστρέφεται: έχει προδιάθεση να πάθει αναγωγή και όχι, οξειδωση. Για να εφαρμοστεί η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθούν, είτε ηλεκτρική τάση από πηγή συνεχούς ρεύματος, είτε θυσιαζόμενοι άνοδοι.

### **9.2.2.2 Σύστημα με Εφαρμοζόμενο Ρεύμα :**

Η μέθοδος αυτή συνίσταται στην σύνδεση του θετικού πόλου μιας πηγής συνεχούς ρεύματος με την επιφάνεια του σκυροδέματος, και του αρνητικού με τους οπλισμούς. Έτσι, η επιφάνεια γίνεται άνοδος και οι οπλισμοί κάθοδος. “Τα ανιόντα υδροξυλίου ( $\text{OH}^-$ ) που σχηματίζονται στην κάθοδο (χάλυβας) με την αντίδραση του νερού των πόρων με το οξυγόνο και με ελεύθερα ηλεκτρόνια από την κάθοδο κινούνται προς την επιφάνεια αντί, να κατευθύνονται κατά μήκος των ράβδων. Επίσης προς την επιφάνεια κινούνται υπό την επίδραση της τάσης συνεχούς ρεύματος και τα τυχόν υπάρχοντα χλωριόντα της μάζας του σκυροδέματος και του νερού των πόρων”. Έτσι η εξουδετέρωση των ανιόντων, δηλαδή η οξείδωση, γίνεται στην εξωτερική επιφάνεια του σκυροδέματος και όχι στον χάλυβα με συνέπεια τη διάβρωσή του.

Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής απαιτεί εξαιρετικά μεγάλη προσοχή γιατί αν εφαρμοστεί με λανθασμένες συνθήκες, η αύξηση της καθοδικότητας της εγκατάστασης πάνω από ορισμένο όριο (υπερπροστασία), μεγαλώνει εξαιρετικά την ταχύτητα διάβρωσης. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως με την επάλειψη μεγάλου τμήματος της επιφάνειας του σκυροδέματος με ένα συνεχές στρώμα ηλεκτρικά αγωγίμης μοργιάς (συνήθως με βάση τον άνθρακα) με το οποίο συνδέονται σε αρκετά πυκνές αποστάσεις ηλεκτρικά καλώδια από το θετικό πόλο της ηλεκτρικής πηγής. “Η σύνδεση των ράβδων οπλισμού ή η επαφή των ράβδων μέσω των συρμάτων επαρκεί. Αντίθετα εντελώς απαραίτητο είναι να μην υπάρχουν μεταξύ επιφανειακού αγωγίμου στρώματος και ράβδων οπλισμού σύρματα, καβάλες και άλλα που μπορούν να βραχυκυκλώσουν το ηλεκτρικό κύκλωμα”. (Δημάδη Κ., Κατσένιου Γ., 2006)

#### Πλεονεκτήματα

- Μεγάλη διάρκεια ζωής των ανόδων άρα όχι συχνή αντικατάσταση
- Πλήρης αναστολή της διάβρωσης του χάλυβα εφαρμόζοντας ποικίλες τιμές ρεύματος
- Μία άνοδος παρέχει υψηλά ποσά ρεύματος και έτσι προστατεύεται μεγάλο μέρος της κατασκευής
- Μπορεί να τοποθετηθεί μακριά από την κατασκευή επειδή παρέχει υψηλές τάσεις (έως 100V)

#### Μειονεκτήματα

- Απαιτεί συχνή ρύθμιση και προσαρμογή(πιθανή διακοπή ρεύματος, διακύμανση ιδιοτήτων διαβρωτικού περιβάλλοντος) .

- Ασυνάφεια χάλυβα-σκυροδέματος.
- Μειώνει την ολκιμότητα σε χάλυβες υψηλής αντοχής λόγω εκλύσεως υδρογόνου.
- Δαπανηρότερη μέθοδος.
- Αλληλεπιδρά με γειτονικές εγκαταστάσεις προκαλώντας τους διάβρωση.
- Πρέπει να γίνεται σωστή εκλογή των ορίων τιμών της καθοδικής τάσης με προηγούμενη εργαστηριακή έρευνα.
- Δεν μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα στην περίπτωση προεντεταμένων χαλύβων, λόγω του κινδύνου της ψαθυροποίησης από έκλυση υδρογόνου, εκτός αν χρησιμοποιηθούν κατάλληλοι αυτοματισμοί περιορισμού της μεταβλητότητας του εφαρμοζόμενου ρεύματος (κατάλληλα ηλεκτρόδια μη βλαπτικά για τον οπλισμό του σκυροδέματος).
- Για την πραγματοποίηση αυτής της μεθόδου πρέπει να βρεθεί ένα σταθερό υλικό ανόδου, που θα μπορεί να καταναίμει το ρεύμα καθοδικής προστασίας σε μεγάλες επιφάνειες. (Δημάδη Κ., Κατσένιου Γ., 2006)

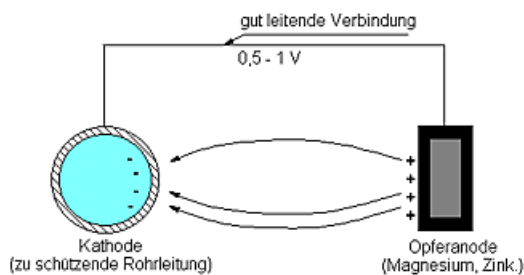


*Εικόνα 10: Εφαρμογή της καθοδικής προστασίας με εξωτερικά εφαρμοζόμενο ρεύμα σε γέφυρα.*

### **9.2.2.3 Σύστημα Θυσιαζόμενης Ανόδου:**

Στην μέθοδο αυτή τοποθετείται στους οπλισμούς σειρά πλακών από μέταλλο ανοδικότερο του χάλυβα, το οποίο λειτουργεί ως θυσιαζόμενη άνοδος. Συνήθως χρησιμοποιούνται κράματα Mg, Zn, Al. Οι πλάκες αυτές συνδέονται με την κατασκευή χωριστά η καθεμία με τη βοήθεια εξωτερικά μονωμένων αγωγών και με την παρεμβολή αντίστασης. Τα ανοδικότερα αυτά μέταλλα αποκτούν αυθόρμητα αρνητικό δυναμικό σε σχέση με το διαβρωτικό περιβάλλον. Το ίδιο αρνητικά φορτισμένη (σε σχέση με το διαβρωτικό περιβάλλον) είναι και η χαλύβδινη κατασκευή που πρόκειται να προστατευθεί. Όμως, τα μέταλλα αυτά έχουν μεγαλύτερη προδιάθεση να διαβρωθούν (είναι ανοδικότερα) και για το

λόγο αυτό φορτίζονται περισσότερο αρνητικά ως προς το περιβάλλον παρότι ο χάλυβας. Έτσι ο χάλυβας φορτίζεται θετικά ως προς τα μέταλλα αυτά. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα γαλβανικό στοιχείο με αρνητικό πόλο το μέταλλο και θετικό το χάλυβα. Επιβάλλεται δηλαδή στο χάλυβα απ'τα ανοδικότερα αυτά μέταλλα ένα αντίστροφο δυναμικό, απ'το δυναμικό διάβρωσής του (ηλεκτρόνια ρέουν απ'την πλάκα του μετάλλου προς το χάλυβα). Ταυτόχρονα, εξ αιτίας του γαλβανικού στοιχείου που δημιουργήθηκε, το ανοδικότερο μέταλλο οξειδώνεται (απώλεια ηλεκτρονίων, σχηματισμός ιόντων) και καταναλίσκεται περισσότερο παρά αν ήταν μόνο του. Θυσιάζεται δηλαδή για την προστασία της κατασκευής. (Δημάδη Κ., Κατσένιου Γ., 2006)



Σχήμα 9: Απεικόνιση συστήματος καθοδικής προστασίας με θυσιαζόμενη άνοδο]

### Πλεονεκτήματα

- Εύκολη εγκατάσταση
- Ασήμαντη συντήρηση
- Χρήση και σε προεντεταμένο σκυρόδεμα
- Δεν απαιτούν την ύπαρξη πηγής για παροχή εξωτερικού ρεύματος
- Χρήσιμα για τοπική προστασία σε μία κατασκευή
- Δύσκολο σχετικά να δημιουργήσουν αλληλεπιδράσεις με γειτονικές κατασκευές

### Μειονεκτήματα

- Μικρή διάρκεια ζωής της ανόδου (συχνή αντικατάσταση αφού μακροχρόνια χρήση των ανόδων μπορεί να τις αποπαθητικοποιήσει και να δημιουργήσει ένα μη αγώγιμο στρώμα στην επιφάνειά τους, ώστε να μην μπορούν να παράγουν ρεύμα).
- Χρειάζομαστε μεγάλο αριθμό ανόδων για προστασία όλων των οπλισμών
- Μη επαρκής έλεγχος της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος (εξαρτάται από περιβαλλοντικές συνθήκες).

Ειδικότερα έχει παρατηρηθεί ότι όταν οι άνοδοι από μαγνήσιο(Mg) ή αλουμίνιο(Al) τοποθετηθούν σε σκουριασμένη επιφάνεια και κοντά σε εύφλεκτα υλικά, όπως πετρέλαιο, παράγουν σπινθήρα εξαιτίας θερμικής αντίδρασης. Σε επικίνδυνο περιβάλλον συνίσταται άνοδος Zn. Από την άλλη, άνοδοι Zn δεν λειτουργούν αποτελεσματικά σε παραθαλάσσιο περιβάλλον με υψηλή θερμοκρασία (άνω των 60 °C).

Το σύστημα με εφαρμοζόμενο ρεύμα, εφαρμόζεται πολύ περισσότερο σε σχέση με την μέθοδο θυσιαζόμενων ηλεκτροδίων, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις:

α)για την προστασία σωλήνων μέσα στο έδαφος σε γλυκό ή θαλασσινό νερό

β)σε κατασκευές πλωτών και μη, μέσα στη θάλασσα

γ) Για πλοία

#### **9.2.2.4 Εναλλακτική Μέθοδος Καθοδικής Προστασίας:**

Πρόκειται για ένα “έξυπνο” σύστημα που αποτελείται από μία εκτεταμένη, δικτυωτή, ψευδαργυρική άνοδο, η οποία τοποθετείται στην υπό επισκευή κατασκευή (εφαρμόζεται κυρίως σε βάθρα γεφυρών) και περιβάλλεται από μανδύα με ίνες γυαλιού. Ο μανδύας αυτός αποτελείται από δύο τμήματα που συγκολλούνται μεταξύ τους σε όλο το ύψος. Το κενό μεταξύ του μανδύα και του βάρου πληρώνεται με έγχυτο σκυρόδεμα. (Δημάδη Κ., Κατσένιου Γ., 2006)

#### **Στάδια εκτέλεσης της επέμβασης:**

1. Αρχικά αφαιρείται το αποσαθρωμένο και χαλαρό σκυρόδεμα με ειδικό εξοπλισμό, μέχρι να αποκαλυφθεί ο διαβρωμένος οπλισμός.
2. Στην συνέχεια αφαιρείται η σκουριά από τις ράβδους, είτε με αμμοβολή είτε με υδροβολή ώστε να έχουμε καλή αγωγή διεπιφάνεια και το σύστημα να λειτουργήσει σωστά.
3. Γίνεται η συγκόλληση των τμημάτων του μανδύα με ειδική μέθοδο, χρησιμοποιώντας μη αγωγίμα υλικά, που παρέχουν μόνωση από την υγρασία.
4. Τέλος τοποθετείται μία ξύλινη βάση για να συγκρατεί το εκχυνόμενο σκυρόδεμα, η οποία στην συνέχεια αφαιρείται, ενώ παράλληλα γίνεται η καλωδιακή ένωση και είναι πλέον εφικτή η καθοδική προστασία.

Σε περίπτωση που υπάρχει εκτεταμένη βλάβη και είναι απαραίτητη η προσθήκη νέου οπλισμού, το σύστημα μπορεί να προσαρμοστεί, ώστε να ενσωματώσει και τις νέες ράβδους.

### Πλεονεκτήματα

- Είναι ολοκληρωμένο σύστημα προστασίας
- Εύκολο στην εγκατάσταση
- Είναι αυτορυθμιζόμενο
- Δεν χρειάζεται συντήρηση, συνεπώς έχει μικρό κόστος.
- Η τεχνολογία του είναι πειραματικά ελεγμένη
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε απομακρυσμένες περιοχές γιατί το σύστημα παράγει ρεύμα, χωρίς την βοήθεια εξωτερικής πηγής.
- Παρέχει προστασία για παραπάνω από 20 χρόνια.

### **9.2.2.5 Επισκευή με Ινοπλισμένα Τσιμεντοειδή Κονιάματα με Υψηλή Συγκέντρωση σε Αναστολείς Διαβρώσεως:**

Η διαδικασία αυτή βασίζεται στην ιδιότητα των μορίων να διαλύονται και σε υγρή και σε αέρια μορφή. Διεισδύουν ακόμα και στο πιο μικρό πόρο ή κοιλότητα του σκυροδέματος, ψάχνοντας να βρουν είτε θετικά είτε αρνητικά φορτισμένη μεταλλική επιφάνεια (άνοδο ή κάθοδο) και δημιουργούν ένα προστατευτικό μονομοριακό στρώμα στις ράβδους οπλισμένου σκυροδέματος. Αυτό βασίζεται σε έναν φυσικό απορροφητικό μηχανισμό, που σημαίνει ότι τα μόρια αυτά μπορούν να εμποδίσουν μελλοντική διάβρωση των βαριά διαβρωμένων ράβδων.

#### Η διαδικασία αποτελείται από τα εξής βήματα:

1. Απομάκρυνση των αποσπασμένων και σπασμένων τμημάτων του σκυροδέματος, ώστε να αποκαλυφθεί πλήρως το υγιές σκυρόδεμα και ο διαβρωμένος οπλισμός. Οι μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι αμμοβολή, υδροβολή, τρίψιμο με συρματόβουρτσα.
2. Επάλειψη σε 2 στρώσεις στον καθαρισμένο από σκουριά, γράσα και υπολείμματα σκυροδέματος οπλισμό, με το ειδικό ρευστοκονίαμα, προστατευτικό, αντιδιαβρωτικό σε στρώμα πάχους 1-2 mm.
3. Επάλειψη τσιμεντοειδούς κονιάματος στην καθαρισμένη επιφάνεια σκυροδέματος με ψεκασμό χαμηλής πίεσης ή με βούρτσα, το οποίο διεισδύει στο σκυρόδεμα και προσκολλάται στην επιφάνεια της ράβδου.
4. Επάλειψη με μία ινοπλισμένη τσιμεντοειδή στρώση 2 συστατικών με σκληρή βούρτσα πάχους περίπου 10mmh οποία λειτουργεί ως ένα είδος "γέφυρας" για να περικλείει τα

εύθρυπτα κομμάτια. Επίσης δημιουργεί ένα υπόστρωμα που εξασφαλίζει την πρόσφυση του επισκευαστικού κονιάματος στην επιφάνεια του οπλισμού.

5. Επάλειψη με επισκευαστικό μη-συρρικνωμένο, θιξοτροπικό τσιμεντοκονίαμα με πολύ καλές προσκολλητικές ιδιότητες, με μεγάλη αντίσταση στην διείσδυση διοξειδίου του άνθρακα, των χλωριόντων και των σουλφιδίων. Επίσης με μεγάλη μηχανική αντοχή και μικρό μέτρο ελαστικότητας. Η επάλειψη γίνεται είτε με μυστρί είτε με ψεκασμό, σε στρώση πάχους από 10-61 mm.
6. Για το τελείωμα επαλείφεται η επιφάνεια με επισκευαστικό τσιμεντοειδές κονίαμα, ομοίων ιδιοτήτων με το προηγούμενο το οποίο όμως περιέχει μικρότερα αδρανή. Η στρώση μπορεί να είναι από 1 έως 50mm. Δεν χρειάζεται διαβροχή. (Δημάδη Κ., Κατσένιου Γ., 2006)

#### Πλεονεκτήματα

- Εύκολη εφαρμογή στην επάλειψη του ειδικού τσιμεντοειδούς κονιάματος.
- Παρέχει καλές μηχανικές αντοχές

#### Μειονεκτήματα

- Υψηλό κόστος
- Πολύπλοκη μέθοδος
- Πρακτικά αδύνατη αν η ενανθράκωση έχει προχωρήσει σε μεγάλο βαθμό

### **9.2.3 Ενεργές Επεμβάσεις**

Οι ενεργές επεμβάσεις έχουν ως σκοπό την αποκατάσταση (ή την αύξηση) της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής και όχι την απευθείας αναίρεση των περιβαλλοντικών αιτίων που προκάλεσαν την διάβρωση.

#### **9.2.3.1 Καμπτική ενίσχυση (δοκών, υποστηλωμάτων, πλακών):**

Μια ενεργός επέμβαση αποτελεί η καμπτική ενίσχυση των μελών της κατασκευής.

#### **Η καμπτική ενίσχυση μπορεί να γίνει:**

A) Με επικόλληση λεπτών χαλύβδινων ελασμάτων μέσω εποξειδικών ρητινών

Όταν το στοιχείο του φέροντος οργανισμού έχει ρηγματωθεί λόγω διάβρωσης, πρέπει να αποκατασταθεί και να ενισχυθεί. Τα προς επικόλληση λεπτά ελάσματα πρέπει να είναι από



ανοξειδωτο χάλυβα και να έχουν πάχος 1-1,5 mm. Η επικόλληση των ελασμάτων πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου εξασφαλίζεται με την χρήση των ενέσιμων εποξειδικών ρητινών.

Β) Με ανοιχτούς μανδύες εκτοξευόμενου οπλισμένου σκυροδέματος

Γ) Με μερική καθαίρεση και αποκατάσταση βλαμμένης περιοχής

### **9.2.3.2 Μέθοδος Επισκευής με Ινοπλισμένα Πολυμερή :**

Το πρόβλημα της αναβάθμισης που αντιμετωπίζουν οι παλαιότερες ανεπαρκώς οπλισμένες κατασκευές με πολλές συσσωρευμένες βλάβες μπορεί να επιλυθεί κυρίως με τη χρήση μανδύων από ινοπλισμένα πολυμερή, ως μέσο ενίσχυσης αλλά και ως αδιαπέραστου εμποδίου λόγω της σύστασης της σκληρυμένης ρητίνης στην διάχυση διαβρωτικών παραγόντων. Με την εφαρμογή σύνθετων υλικών από ίνες άνθρακα και γυαλιού, σε μέλη στοιχείων προσβεβλημένων από διάβρωση ο επικολλημένος μανδύας μπορεί να λειτουργήσει ως μηχανισμός περιορισμού της διεύρυνσης των ρωγμών αναπτύσσοντας ισοδύναμη περισφικτική τάση. Τα σύνθετα αυτά υλικά, θα λειτουργήσουν τελικά ως εξωτερικά επικολλούμενος οπλισμός που θα παραλάβει τις εφελκυστικές τάσεις.

#### Πλεονεκτήματα

- Ταχύτατη μέθοδος
- Απλή στην εκτέλεσή της (άρα μειωμένα εργατικά) αλλά και αποτελεσματική, γεγονός που την κάνει να υπερτερεί ενάντια των άλλων μεθόδων που αναφέρθηκαν προηγουμένως.
- Ανθεκτική στον χρόνο

#### Μειονεκτήματα

- Υψηλό κόστος εξαιτίας των υλικών ,ρητινών και υφασμάτων

#### Εφαρμογές

Αυτή η μέθοδος αποκατάστασης θεωρείται αρκετά αποτελεσματική, ωστόσο εφαρμόζεται όταν το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα έντονο, δηλαδή οι διαστάσεις των ρωγμών είναι σημαντικές και η απλή ρητινένωση δεν μπορεί να αποδώσει ως μέθοδος επισκευής. Έτσι τα υφάσματα με σύνθετα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν προς ενίσχυση δοκών και πλακοδοκών, όμως εκεί που πραγματικά η χρήση τους θεωρείται επιβεβλημένη, είναι στην ενίσχυση των κρίσιμων στοιχείων του φέροντος οργανισμού δηλαδή στην περίσφιγξη των υποστρωμάτων, στα τοιχώματα και στους κόμβους του οπλισμένου σκυροδέματος. Στην

χώρα μας έχουν εφαρμοστεί κυρίως μανδύες πολυμερών για την επισκευή υποστρωμάτων. Η συμβολή τους είναι καθοριστική, ώστε να μην παρατηρηθούν μεγαλύτερες βλάβες και το φαινόμενο της διάβρωσης επεκταθεί και στα πέδιλα της θεμελίωσης. (Δημάδη Κ., Κατσένιου Γ., 2006),( Δρίτσος Σ, 2007)

### **9.2.3.3 Διατμητική Ενίσχυση:**

Η διατμητική ενίσχυση μπορεί να γίνει:

A)Με την προσθήκη εξωτερικών συνδετήρων(κολλάρα, ταινίες συσκευασίας)

B)Με την κατάλληλη αγκύρωση των άκρων των πρόσθετων συνδετήρων, όπως στην καμπτική ενίσχυση. (Τσώνη Ν., 2010)

### **9.3 Τρωτότητα των Ενεργών Επεμβάσεων :**

Όταν πρόκειται για επισκευές που αφορούν βλάβες από περιβαλλοντικά αίτια, κυρίως δε στην περίπτωση βλάβης από διάβρωση χάλυβα, οφείλει να εξετάζεται το ενδεχόμενο έντονης συνεχίσεως της βλάβης στο μέλλον, παρά την επέμβαση ή μάλλον εξαιτίας της επεμβάσεως. “Γι αυτό πριν την επισκευή θα πρέπει να γίνει προσπάθεια επαναλκαλικοποίησης του ενανθρακωμένου σκυροδέματος και σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να καταπολεμηθούν τα χλωριόντα που υπάρχουν στο σκυρόδεμα. Σε μία περιοχή όπου εμφανίστηκε έντονη διαμήκης ρηγμάτωση λόγω τυπικής διαβρώσεως χάλυβα, η τοπική αφαίρεση κι αντικατάσταση του σκυροδέματος ‘ακυρώνει’ την τυπική ‘άνοδο απ’ το χάλυβα. Το αρχικό αίτιο δεν έχει αναιρεθεί και αργότερα μπορεί να εμφανιστούν δύο νέες άνοδοι κοντά στα πέρατα της επισκευής και να επιταχύνουν τη βλάβη . Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει λόγω της ράβδου η οποία συνεχίζει να παράγει υδροξύλια.” (Τσώνη Ν., 2010) Η ακόλουθη ασφαλέστερη γραμμή οφείλεται να τηρείται κατά τον ανασχεδιασμό για την μείωση του πιο πάνω φαινομένου:

1. Η επέμβαση να γίνεται στην μεγαλύτερη δυνατή έκταση πέραν των θέσεων εμφανούς βλάβης.
2. Παράλληλα, να εφαρμόζεται πάντοτε και μια συντηρητική επέμβαση άρσεως ή αμβλύνσεως των αιτιών της βλάβης.

#### **9.4 Κίνδυνοι Ανεπαρκών Συγκολλήσεων :**

Στις ενισχύσεις φέρουσας ικανότητας σε πολλές περιπτώσεις είναι απαραίτητο να γίνει συγκόλληση παλιού και διαβρωμένου οπλισμού με νέο. Κατά τη συγκόλληση, εκτός από τα φαινόμενα, τήξης και στερεοποίησης συμβαίνουν και διάφοροι μετασχηματισμοί σε στερεά κατάσταση. Οι μετασχηματισμοί αυτοί τείνουν να αλλοιώσουν τις μηχανικές ιδιότητες. ‘Για παράδειγμα ο σχηματισμός μαρτενσίτη τείνει να ευθραστοποιήσει την περιοχή της συγκόλλησης και απαγορεύεται γενικά η παρουσία του, για αυτό δεν πρέπει να γίνεται και ταχεία απόψυξη στην περιοχή συγκόλλησης. Άλλα φαινόμενα που μειώνουν αισθητά την ποιότητα των συγκολλήσεων είναι η ανάπτυξη εσωτερικών τάσεων και παραμορφώσεων και η ανακρυστάλλωση που μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια αντοχής.

Όσον αφορά τις συγκολλήσεις διαβρωμένου οπλισμού με νέο, ο τρόπος συγκόλλησης που θα επιλεγεί είναι ίδιος με τις περιπτώσεις συγκόλλησης οπλισμού χωρίς διάβρωση. Ωστόσο, ένα διαβρωμένο σίδηρο θα πρέπει να καθαριστεί επιμελώς πριν τη συγκόλληση ώστε να μην υπάρχουν πιθανές θέσεις αστοχίας (ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί όταν η διάβρωση είναι βελονοειδούς μορφής). Προσοχή θα πρέπει να δοθεί και στην αναγνώριση του οπλισμού. Ο έλεγχος της συγκολλησιμότητας θα πρέπει να γίνεται με χημική ή φασματοσκοπική ανάλυση για τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης του κράματος, σε μικρό τμήμα ράβδου (περίπου 2cm), το οποίο αποστέλλεται σε ειδικευμένο εργαστήριο (η μέθοδος είναι απλή, φθηνή και ακριβής). Το ιδανικό κάθε φορά θα ήταν να συγκολλούνται μέταλλα με παρόμοια χημική σύσταση ώστε να είμαστε σίγουροι για τις αντοχές των μικροδομών που θα σχηματισθούν τόσο στην περιοχή της συγκόλλησης όσο και στη θερμικά επηρεασμένη ζώνη’’. Προκειμένου να μην περάσει η διάβρωση από τον έναν οπλισμό στον άλλο θα πρέπει να γίνει επανακαλικοποίηση του περιβάλλοντος παλιού σκυροδέματος και καταπολέμηση των χλωριόντων ώστε να μην υπάρχει διαφορά δυναμικού ανάμεσα στις δύο ράβδους και να αποφευχθεί σχηματισμός μακροστοιχείων. Η ύπαρξη γαλβανικών φαινομένων εξαιτίας της διαφορετικότητας των μετάλλων δεν παίζει ρόλο στις μικροδομές που θα δημιουργηθούν στη θερμικά επηρεασμένη ζώνη εξαιτίας της συγκόλλησης αλλά στη μετέπειτα ανθεκτικότητα και αντοχή της. (Τσώνη Ν., 2010)

Στις συγκολλήσεις παρατηρούνται όλοι οι γνωστοί τύποι διάβρωσης (κεφάλαιο 3), άλλα σε εντονότερο βαθμό. Ιδιαίτερα ευαίσθητη παρουσιάζεται η θερμικά επηρεασμένη ζώνη, όπου τα μεταλλουργικά φαινόμενα ξεφεύγουν σε κάποιο βαθμό από τον έλεγχο μας. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε ηλεκτρόδια μέσης διαμέτρου και αυξάνουμε τον αριθμό των πάσων.

#### **9.2.3.4 Γιατί οι Ανοξειδωτοι Χάλυβες δεν πρέπει να Συγκολλούνται με κοινούς :**

Στην περίπτωση που θέλουμε να συγκολλήσουμε κοινό χάλυβα με ανοξειδωτο θα πρέπει να επισημάνουμε ότι υπάρχει κίνδυνος της εμφάνισης της μαρτενσιτικής δομής στην περιοχή της συγκόλλησης, η οποία παρουσιάζει ψαθυρή συμπεριφορά. Αυτός είναι ο κυριότερος απαγορευτικός λόγος που δεν πρέπει να συγκολλείται ανοξειδωτος χάλυβας με κοινό χάλυβα.

Επίσης στην περίπτωση μιας τέτοιας συγκόλλησης δημιουργούνται και έντονα γαλβανικά φαινόμενα και ο ανοξειδωτος χάλυβας χαλάει εκ των έσω. Συγκεκριμένα οι ανοξειδωτοι χάλυβες είναι ευαίσθητοι σε διάβρωση μεταξύ των κόκκων όταν σχηματίζονται χρωμιούχα καρβίδια τα οποία κατανέμονται ανομοιόμορφα μέσα στον μεταλλικό τους ιστό. Στις συγκολλήσεις κοινού με ανοξειδωτο χάλυβα στις περιοχές της θερμικά επηρεασμένης ζώνης γίνεται κατακρήμνιση καρβιδίων του χρωμίου και σ' αυτήν την περίπτωση έχουμε περικρυσταλλική διάβρωση στην περιοχή της συγκόλλησης.

Ο ανοξειδωτος χάλυβας, ο οποίος έχει υψηλό ηλεκτρικό δυναμικό και όταν έρχεται σε επαφή με κράμα το οποίο περιέχει ψευδάργυρο ή αλουμίνιο, επιταχύνει την διάβρωση του κράματος καθώς ένα μακροστοιχείο δημιουργείται με την επαφή των δύο διαφορετικών μετάλλων. Εάν ένας επιψευδαργυρομένος (γαλβανιζέ) χάλυβας έλθει σε επαφή ηλεκτρικά αγωγίμη με έναν κοινό χάλυβα μέσα στην μάζα του σκυροδέματος δημιουργείται γαλβανικό μακροστοιχείο λόγω διαφορετικών μετάλλων. Το ίδιο θα συμβεί και στην επαφή ανοξειδωτου χάλυβα με κοινό χάλυβα.

Χαρακτηριστικό των ανοξειδωτων χαλύβων είναι η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, η οποία δημιουργεί απότομες θερμικές διαβαθμίσεις, και κατά συνέπεια μεγάλες εσωτερικές τάσεις και παραμορφώσεις. Αυτός είναι ένας επιπλέον λόγος για τον οποίο δεν πρέπει να συγκολλάμε ανοξειδωτο με κοινό χάλυβα καθώς σε περιβάλλοντα με έντονες θερμοκρασιακές διαβαθμίσεις θα έχουμε συστολο-διαστολές με σοβαρό κίνδυνο ρηγμάτωσης στην θερμικά επηρεασμένη ζώνη.

#### **9.5 Συγκόλληση Νέου Οπλισμού σε Παλιό :**

Όταν παρίσταται ανάγκη συγκόλλησης παλαιού οπλισμού ή οπλισμού άγνωστης ποιότητας με νέο οπλισμό είναι απαραίτητο να γίνεται αρχικά αναγνώριση του υλικού. Η αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα καθιστά το χάλυβα ουσιαστικά μη-συγκολλήσιμο, αφού αύξηση πέραν του 0.2% περίπου αποτρέπει την επαναφορά των μηχανικών ιδιοτήτων της θερμικά

επηρεαζόμενη ζώνη λόγω της συγκόλλησης. Για την αναγνώριση του υλικού του παλαιού οπλισμού επιβάλλεται να γίνεται χημική ανάλυση. Ανάλογα με την περιεκτικότητα (% κ.β) σε άνθρακα, διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- A. Αν προκύψει  $C < 0.24$  και  $C_{eq} < 0.52$ , ο χάλυβας επιτρέπεται να συγκολληθεί.
- B. Αν προκύψει  $0.25 < C < 0.45$  και  $C_{eq} < 0.70$  ο χάλυβας επιτρέπεται να συγκολληθεί υπό προϋποθέσεις.
- C. Αν προκύψει  $C > 0.45$  ή/και  $C_{eq} > 0.70$  ο χάλυβας εν γένει δεν επιτρέπεται να συγκολληθεί.

Σε περιπτώσεις εξαιρετικής ανάγκης εξετάζεται το ενδεχόμενο της συγκόλλησης μετά από ειδική προς τούτο έρευνα. Εάν από την έρευνα προκύψει η δυνατότητα συγκόλλησης, η εργασία θα εκτελείται με βάση συγκεκριμένη τεχνική προδιαγραφή που θα συνταχθεί στο πλαίσιο της έρευνας, και υπό την παρακολούθηση εξειδικευμένου εργαστηρίου. (Τσώνη Ν., 2010)

## **10. Επίσκεψη στα Δημόσια Έργα- Υφιστάμενη κατάσταση στην Κύπρο**

Το πρόβλημα της διάβρωσης του οπλισμού εμφανίζεται έντονα στην Κύπρο, λόγω των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν. Δυστυχώς, όμως δεν υπάρχουν συγκεκριμένες πληροφορίες ή αρχεία, τα οποία να περιγράφουν την υφιστάμενη κατάσταση, τα μέτρα προστασίας και τους τρόπους που αντιμετωπίζει η χώρα μας το συγκεκριμένο πρόβλημα.

Στα πλαίσια έρευνας για την πτυχιακή μου εργασία, επισκέφθηκα το τμήμα Δημοσίων Έργων στην Λευκωσία με σκοπό τη συλλογή πληροφοριών για την διάβρωση του οπλισμού των κατασκευών της Κύπρου. Η έρευνα αυτή, μπορεί να αποτελέσει τροχοπέδη για μελλοντικά ερευνητικά προγράμματα στο Πανεπιστήμιο μου.

Στο τμήμα Δημοσίων Έργων συνάντησα τους κ. Σταύρο Κλεάνθους (Επαρχιακός Μηχανικός για την περιοχή Λευκωσίας) και τον κ. Γιώργο Καρεκλά (υπεύθυνος για το τμήμα Γεφυροποιίας). Όλες οι πληροφορίες που ακολουθούν βασίζονται στα λεγόμενα τους.

Το Τμήμα Δημοσίων Έργων υπάγεται στο υπουργείο Συγκοινωνιών και Έργων, και είναι υπεύθυνο για τον σχεδιασμό, την μελέτη και την εκτέλεση οικοδομικών και τεχνικών έργων όπως οι δρόμοι, γέφυρες, τοίχοι αντιστήριξης, κτίρια, γεφυράκια, αποχετευτικά συστήματα κ.α. Διαθέτει τους πιο κάτω τομείς:

1. Τομέας Μελετών: Είναι υπεύθυνο για τις μελέτες των τεχνικών έργων.
2. Τομέας Αρχιτεκτόνων: Ετοιμάζει μελέτες για οικοδομικά έργα.
3. Τομέας Προγραμματισμού: Ετοιμάζονται τα σχέδια και τα συμβόλαια που θα δοθούν στον εργολάβο. Σε περιπτώσεις που στα σχέδια αναγράφονται απαλλοτριώσεις, τα σχέδια δίνονται στο κτηματολόγιο για έλεγχο, καταγραφή και δημοσίευση των απαλλοτριώσεων.
4. Τομέας Επίβλεψης και εκτέλεσης: Ορίζεται ο μηχανικός έργου, ο οποίος, είναι υπεύθυνος για την σωστή εκτέλεση του έργου.
5. Τομέας Συντήρησης: Αφορά έργα τα οποία χρειάζονται συντήρηση.
6. Εργαστήρια ελέγχου: Είναι υπεύθυνα για τον έλεγχο προδιαγραφών των υλικών.
7. Τομέας Επιμετρήσεων Ποσοτήτων.

Σε κάθε επαρχία υπάρχουν επαρχιακά γραφεία, τα οποία είναι υπεύθυνα για την εκτέλεση όλων των έργων κατασκευής και συντήρησης που γίνονται στην επαρχία με εξαίρεση τα μεγάλα έργα, που ορίζεται μηχανικός έργου.

### **10.1 Αίτια Εμφάνισης Διάβρωσης:**

Στην Κύπρο άρχισαν να χρησιμοποιούνται κατασκευές με οπλισμένο σκυρόδεμα από την δεκαετία του '60. Το οπλισμένο σκυρόδεμα, συνήθως χρησιμοποιείται για την κατασκευή γεφυρών, κτιρίων, τοίχων αντιστήριξης και για ενισχύσεις υπεδαφών με προκατασκευασμένες ή επιτόπου κατασκευασμένες κολώνες.

Σύμφωνα με μελέτες που έκανε το τμήμα δημοσίων έργων και η Πολεοδομία έχουν εντοπιστεί πολλές κατασκευές που ο οπλισμός τους έχει υποστεί διάβρωση. Τα αίτια διάβρωσης σε κάθε κατασκευή είναι διαφορετικά. Οι συνηθέστεροι παράγοντες που προκαλούν διάβρωση στην Κύπρο είναι:

1. Η κακή ποιότητα του σκυροδέματος.
2. Η συστολή – διαστολή της κατασκευής λόγω των καιρικών συνθηκών προκαλεί την δημιουργία ρωγμών, από τις οποίες εισχωρεί η υγρασία.
3. Η τοποθέτηση υλικών από την θάλασσα. Το φαινόμενο αυτό εντοπίστηκε έντονα στους προσφυγικούς οικισμούς, όπου λόγω της εισβολής του 1974 έγιναν πρόχειρες κατασκευές για να στεγάσουν τους πρόσφυγες.
4. Η κακή συντήρηση του σκυροδέματος.
5. Η εισδοχή χλωρίων.
6. Η μη επίτευξη κατάλληλης κάλυψης οπλισμού με σκυρόδεμα.
7. Κακή απορροή όμβριων διαμέσου των υδρορροών.
8. Η κακή ποιότητα οπλισμού. Υπάρχουν περιπτώσεις που ο εργολάβος στην προσπάθεια του κερδίσει χρήματα επιλέγει να εισάγει τον πιο φθινό χάλυβα, ως αποτέλεσμα να μην πληρή τις προδιαγραφές για αντοχή και ασφάλεια.

Την διαδικασία διάβρωσης επιταχύνει η θέση της Κύπρου, η οποία βρέχεται από θάλασσα. Οι κατασκευές που βρίσκονται σε παραθαλάσσιες περιοχές διαβρώνονται πιο γρήγορα σε σχέση με τις κατασκευές που βρίσκονται στο κέντρο.

## **10.2 Μέθοδοι εντοπισμού διάβρωσης**

### **A. Στις γέφυρες:**

#### 10.2.1 Οπτική Μέθοδος

Στην Κύπρο η συνηθέστερη μέθοδος εντοπισμού διάβρωσης είναι η οπτική. Τα τελευταία δέκα χρόνια μια ομάδα μηχανικών επιθεωρεί τις γέφυρες μία φορά το χρόνο για να διαφανεί κατά πόσο υπάρχουν βλάβες. Ο οπλισμός όταν διαβρωθεί έχει την ιδιότητα να διογκώνεται, δηλαδή αυξάνεται ο όγκος του, σπρώχνει το σκυρόδεμα και δημιουργούνται σοβαρές ρηγματώσεις στο σκυρόδεμα σε σημείο που πολλές φορές αποκολλούνται κομμάτια από το σκυρόδεμα. Κατά τον έλεγχο της κατασκευής, δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στις τοπικές φθορές σκυροδέματος, αποφλοιώση, απόθεση αλάτων, χρωματικές αλλοιώσεις, χάλυβες απογυμνωμένοι, διαβρωμένοι και σπασμένοι.

Έχουν συγκεντρωθεί πολλά στοιχεία από πάρα πολλές γέφυρες του οδικού δικτύου Παγκύπρια, τα οποία επεξεργάζονται για να δοθούν οι ανάλογες οδηγίες για συντήρηση και επιδιόρθωση των κατασκευών.



*Εικόνα 11: Γεφύρι Holliday Inn Limassol*

*Διόγκωση οπλισμού και αποκόλληση μεγάλου μέρους του σκυροδέματος*



### 10.2.2 Ενόργανος Εντοπισμός:

Η μέθοδος αυτή σπάνια εφαρμόζεται στην Κύπρο και μόνο σε περιπτώσεις όπου υπάρχει ήδη διάβρωση αλλά δεν μπορεί να υπολογιστεί ο βαθμός της διάβρωσης. Με τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού γίνονται συγκεκριμένες μετρήσεις είτε στον χάλυβα, είτε στο σκυρόδεμα. Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων μπορεί να υπολογιστεί το βάθος της ενανθράκωσης, το πορώδες, το βάθος των ρωγμών, την εμπεριεχόμενη υγρασία, το πάχος της επικάλυψης και ο βαθμός διάβρωσης.

## **B. Στα κτίρια**

Όσον αφορά την οικοδομική βιομηχανία δυστυχώς δεν υπάρχει κάποια ομάδα που ελέγχει τα κτίρια και η συντήρησή τους δεν γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα, με αποτέλεσμα κατασκευές μικρές σε ηλικία να είναι σε πολύ κακή κατάσταση. Για τον λόγο αυτό οι οικισμοί έχουν μπει σε πρόγραμμα στατικής αναβάθμισης και αναδόμησης.

### 10.3 Μοντέλο Εντοπισμού Διάβρωσης:

Δεν υπάρχει κάποιο μοντέλο το οποίο να υπολογίζει σε πόσα χρόνια θα εμφανιστεί η διάβρωση. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η διάβρωση εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, διαφορετικούς ανά κατασκευή.

### 10.4 Συνέπειες Διάβρωσης:

Η διάβρωση του οπλισμού μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα από αισθητικής άποψης μέχρι πλήρης κατάρρευσης. Από άποψη λειτουργικότητας δεν είναι σωστό να βλέπεις μία κατασκευή με αποσαθρωμένο μπετόν και να μην επιδιορθώνεται. Ο χρήστης συνήθως αποφεύγει να χρησιμοποιήσει τέτοιες κατασκευές λόγω φόβου.

Όσον αφορά την στατικότητα της κατασκευής, με την οξείδωση η διατομή της διαβρωμένης ράβδου σμικραίνει. Ο “καθαρός” οπλισμός που απομένει δεν είναι αυτός που προνοούσε η αρχική μελέτη, ως αποτέλεσμα η κατασκευή να αποδυναμώνεται και να μην αποδέχεται τα φορτία που λήφθηκαν υπόψη κατά την αρχική μελέτη. Σε περίπτωση που εφαρμοστούν μεγάλα φορτία στην κατασκευή υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης.

Ευτυχώς, στην Κύπρο μέχρι τώρα δεν υπήρχαν περιπτώσεις κατάρρευσης κτιρίων ή γεφυρών. Υπήρχαν όμως, περιπτώσεις όπου λόγω του μεγάλου βαθμού διάβρωσης πολλοί οικισμοί έπρεπε να εκκενωθούν και να κατεδαφιστούν. Το γεγονός αυτό προκάλεσε μεγάλο οικονομικό πλήγμα στην Κυβέρνηση, αφού έπρεπε να πληρώσει ξενοδοχείο για τους κατοίκους των οικισμών μέχρι να ανεγερθούν ξανά οι πολυκατοικίες. Επιπλέον, μεγάλη δυσφορία και ταλαιπωρία προκαλεί η επιδιόρθωση των γεφυρών, αφού κλίνουν οι δρόμοι, δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση και οι πολίτες αναγκάζονται να παίρνουν τον μεγαλύτερο δρόμο για να φτάσουν στον προορισμό τους.

### **10.5 Μέτρα Προστασίας :**

Σε κάθε πιθανό πρόβλημα, ο καλύτερος τρόπος αντιμετώπισής του είναι η πρόληψη. Με την εφαρμογή μέτρων προστασίας, μειώνεται το κόστος επιδιόρθωσης της κατασκευής, αυξάνεται η διάρκεια ζωής του οπλισμού και κατά συνέπεια της κατασκευής και αυξάνεται η στατικότητα της κατασκευής.

Στην Κύπρο άρχισαν να εφαρμόζονται οι προδιαγραφές των Ευρωκώδικων όσον αφορά την επικάλυψη (cover) του οπλισμού και την ποιότητα του σκυροδέματος.

Τα μέτρα προστασίας που εφαρμόζονται είναι:

- Η χρήση καθαρού οπλισμού και όχι οξειδωμένου
- Σωστή επικάλυψη του οπλισμού ( με βάση τον Ευρωκώδικα)
- Η χρήση καλής ποιότητας μπετόν, το οποίο να μην επιτρέπει την εισροή υγρασίας διαμέσου του. Τα τελευταία χρόνια εμφανίστηκαν κάποια πρόσμικτα σκυροδέματος τα microsilica, τα οποία χρησιμοποιούνται σε ποσοστό 10% της ποσότητας τσιμέντου στο μείγμα και επιτυγχάνεται πιο ανθεκτικό σκυρόδεμα και μη διαπερατό από υγρασία.
- Η χρήση χημικών πρόσμικτων για τη βελτίωση της εργασιμότητας.
- Υγρομόνωση για αποφυγή διόδου υγρασίας και νερού διαμέσου του σκυροδέματος προς τον οπλισμό.
- Η χρήση οργανικών ή ανόργανων αλάτων. Τα άλατα αυτά στο σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται ως ανασταλτικά διάβρωσης με σκοπό να προστατεύουν τον ενσωματωμένο χάλυβα από την διάβρωση.

- Η αποφυγή των ρωγμών. Οι ρωγμές αποτελούν μονοπάτια για την διόδο του CO<sub>2</sub> και των χλωρίων. Για αποφυγή και επιδιόρθωση των ρωγμών πρέπει να γίνεται τακτική και καλή συντήρηση των κατασκευών ακόμα και όταν το πρόβλημα βρίσκεται σε πρώιμα στάδια πρέπει να διορθώνεται πριν εξελιχθεί σε μεγαλύτερο.
- Προληπτική συντήρηση πριν να εμφανιστεί το πρόβλημα. Κανονικά πρέπει να γίνεται συντήρηση των κατασκευών κάθε πέντε χρόνια τουλάχιστο. Δυστυχώς, στην Κύπρο δεν υπάρχει πολυτέλεια για τακτική επίβλεψη και προληπτική συντήρηση των κατασκευών. Συντήρηση, γίνεται μόνο όταν εμφανιστεί κάποιο πρόβλημα, ως αποτέλεσμα πολλές κατασκευές να είναι σε πολύ κακή κατάσταση.

### **10.6 Μέτρα επέμβασης**

Σκοπός των επεμβάσεων είναι η αποκατάσταση των βλαβών, έτσι ώστε να διατηρεί η κατασκευή κατά την διάρκεια της ζωής της τα λειτουργικά και αισθητικά χαρακτηριστικά της. Στην Κύπρο δεν χρησιμοποιούνται καινοτόμες μεθόδους αποκατάστασης βλαβών και η πιο διαδεδομένη μέθοδος είναι η αφαίρεση όλου του διαβρωμένου μέρους της κατασκευής και η αντικατάσταση του με ‘καθαρά’ υλικά. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο μη τακτικό έλεγχο των κατασκευών για διάβρωση και όταν διαγνωστεί διάβρωση συνήθως είναι σε προχωρημένα επίπεδα.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι:

1. Γίνεται αφαίρεση όλου του διαβρωμένου σκυροδέματος και καθαρισμός του οξειδωμένου χάλυβα.
2. Τοποθετούνται στο χάλυβα αντιδιαβρωτικές ουσίες.
3. Ακολουθεί, η τοποθέτηση του σκυροδέματος και η επάλειψη με αναστολέα διάβρωσης.

Στην επόμενη σελίδα αναγράφεται αναλυτικά η διαδικασία που ακολούθησε το τμήμα Γεφυροποιίας για την επιδιόρθωση του Γεφυριού Holiday Inn το οποίο είχε βλάβες λόγω διάβρωσης.

## **10.7 Γεφύρι Holiday Inn Limassol**

Πρόκειται για το γεφύρι που βρίσκεται στον παραλιακό δρόμο της Λεμεσού κοντά στην περιοχή του Holiday Inn Resort. Το υπό αναφορά γεφύρι, επισκέφθηκε μια ομάδα από Λειτουργούς του κλάδου Γεφυροποιίας στις 10 Νοεμβρίου του 2010 και διαπίστωσε ότι σε πολλά σημεία το σκυρόδεμα έχει διαβρωθεί και υποχωρήσει λόγω διάβρωσης.



*Εικόνα 12: Το Γεφύρι Holiday Inn στην Λεμεσό*

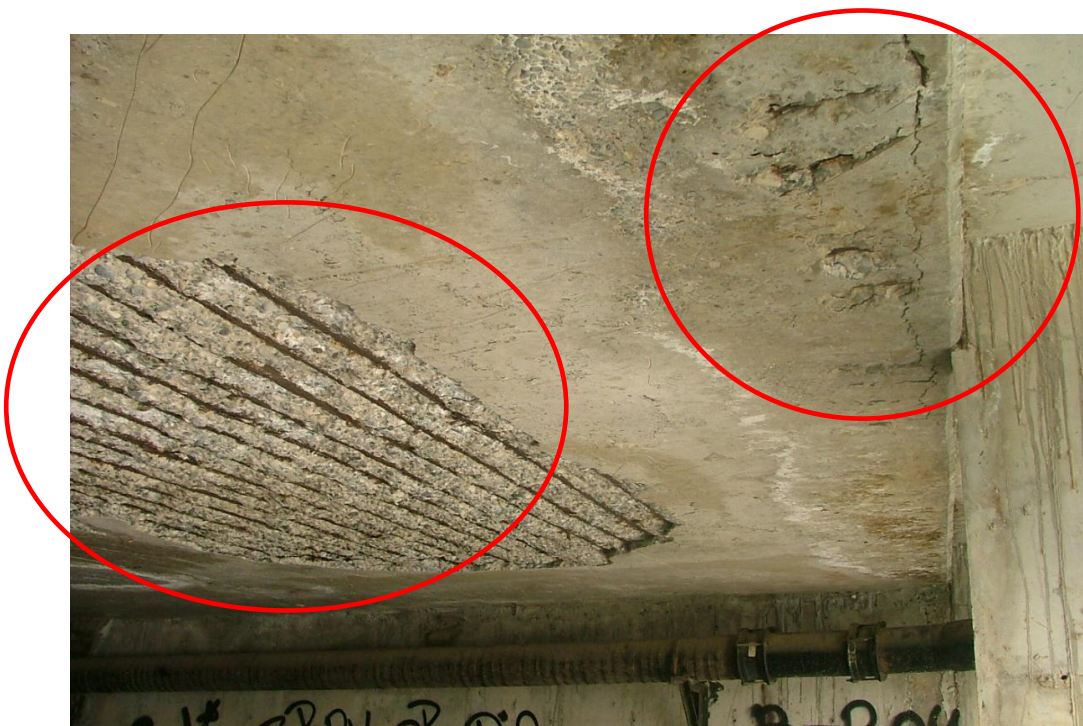
### **10.7.1 Παράγοντες που προκάλεσαν την διάβρωση:**

Τα αίτια της διάβρωσης είναι πολλά. Τα μεγαλύτερα προβλήματα οξείδωσης του οπλισμού και αποκόλλησης του σκυροδέματος δημιουργήθηκαν λόγω κακής απορροής των όμβριων υδάτων διαμέσου των υδροροών. Ένας άλλος παράγοντας που επιτάχυνε την διάβρωση του οπλισμού της κατασκευής είναι η εισροή χλωριόντων (λόγω της θάλασσας) και CO<sub>2</sub> διαμέσου των ρωγμών του σκυροδέματος.

### **10.7.2 Συνέπειες:**

Η κυριότερη συνέπεια των πιο πάνω είναι η διάβρωση του οπλισμού. Τα όμβρια ύδατα εισήλθαν στο σκυρόδεμα και σε συνεργασία με το CO<sub>2</sub> αντέδρασαν με το υδροξείδιο του ασβεστίου, με αποτέλεσμα τη βαθμιαία εξουδετέρωση της αλκαλικότητας, πτώση του pH σε τιμές κάτω από 9 που οδηγεί στην καταστροφή του προστατευτικού στρώματος. Η επίδραση των χλωριόντων επιταχύνει την διαδικασία καταστροφής του προστατευτικού στρώματος .

Η οξείδωση του οπλισμού προκάλεσε διόγκωση, η οποία με την σειρά της προκάλεσε τη δημιουργία ρηγματώσεων και αποκόλληση της επικάλυψης του οπλισμού. Επίσης, αποτέλεσμα της οξείδωσης είναι η απομείωση της διατομής του σε βαθμό που η κατασκευή να μη μπορεί να αναλάβει τα φορτία τα οποία σχεδιάστηκε να αναλάβει. Τέλος, από την ενανθράκωση παράχθηκε μαύρη σκουριά, η οποία βρίσκεται πάνω στη ράβδο και επειδή είναι διαπερατή τόσο από το νερό όσο και από τα αέρια, η διαδικασία οξείδωσης συνεχίζεται παράγοντας νέα προϊόντα σκουριάς με το διαλυμένο οξυγόνο. Ο όγκος των παραγόμενων προϊόντων σκουριάς διαρκώς αυξάνει προκαλώντας ρηγματώσεις, αποτινάξεις και αποκολλήσεις ολόκληρων κομματιών από το σκυρόδεμα.



*Εικόνα 13: Η ενανθράκωση του οπλισμού, είχε ως αποτέλεσμα την αποκόλληση μέρους του σκυροδέματος και την δημιουργία ρωγμών.*



*Εικόνα 14: Η μαύρη σκουριά που δημιουργείται λόγω διάβρωσης του οπλισμού.*



*Εικόνα 15: Η 'αποκάλυψη' του οπλισμού από την αποκόλληση του σκυροδέματος.*



*Εικόνα 16: Οι ρωγμές και το 'σκάσιμο του σκυροδέματος'.*



*Εικόνα 17: Η αποσάθρωση του σκυροδέματος κατά μήκος της κατασκευής και αποκάλυψη του χάλυβα.*



*Εικόνα 18: Ο διαβρωμένος χάλυβας. Λόγω της διάβρωσης, η διατομή του χάλυβα έχει μειωθεί.*



*Εικόνα 19: Η κατασκευή αρχίζει να υποχωρεί. Το γεφύρι έχει χάσει την φέρουσα ικανότητα του και δεν μπορεί να κατανέμει τα φορτία για τα οποία έχει σχεδιαστεί.*





*Εικόνα 20: Τα μεγαλύτερα προβλήματα προήλθαν από την κακή διαχείριση των όμβριων υδάτων.*

#### **10.8 Μεθοδολογία Αντιμετώπισης Προβλήματος :**

Σύμφωνα με τον κ. Καρεκλά η διαδικασία αποκατάστασης της διάβρωσης που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

1. Αρχικά, έγινε αφαίρεση όλου του σαθρού/διαβρωμένου σκυροδέματος σε όλα τα μέρη που έχουν επηρεαστεί. Η αφαίρεση του σκυροδέματος πρέπει να γίνεται μέχρι και 20 mm πίσω από τον οπλισμό για την δημιουργία σταθερής και καθαρής επιφάνειας. Όλη η σκόνη και τα χαλαρά αφαιρέθηκαν με τη χρήση πιεσμένου αέρα και νερού.
2. Ακολούθησε τρίψιμο και καθαρισμός του οξειδωμένου οπλισμού με ειδικές βούρτσες και επάλειψή του με κατάλληλη ειδική αντιοξειδωτική βαφή προστασίας οπλισμού. Η βαφή αυτή είναι κατάλληλη για αντισκωριακή προστασία του οπλισμού ιδιαίτερα από χλώρια ενώ το πάχος της επάλειψης θα πρέπει να είναι 2mm και να γίνεται σε δύο στρώσεις πάχους 1mm η κάθε στρώση. Σε περιπτώσεις που ο υφιστάμενος οπλισμός είχε οξειδωθεί πάνω από 35% της διαμέτρου του, τότε έγινε ενίσχυση του υφιστάμενου οπλισμού με ηλεκτροκόλληση προσθετών ράβδων οπλισμού.
3. Ανεύρεση και άνοιγμα των κάθετων σωλήνων που χρησιμοποιούνται σαν υδρορροές. Οι υδρορροές πρέπει να βρίσκονται σε μήκος 10 εκατοστά κάτω από την πλάκα της γέφυρας.
4. Αφού είχε στεγνώσει η βαφή του οπλισμού και αφού προηγουμένως βράχθηκε καλά η επιφάνεια του σκυροδέματος, τοποθετήθηκε έτοιμο επιδιορθωτικό τσιμετοκονίαμα σκυροδέματος. Η τοποθέτηση του υλικού αυτού πρέπει να γίνεται αφού στεγνώσει η βρεγμένη επιφάνεια και σε πάχος 30 mm. Σε περιπτώσεις που χρειάζεται μεγαλύτερο πάχος θα πρέπει να τοποθετείται σε περισσότερες από μια στρώσεις. Το επιδιορθωτικό υλικό πρέπει να είναι μη συρρικνωμένο, να είναι θιξοτροπικό να έχει υψηλή αντοχή και να είναι ανθεκτικό στις θεικές ενώσεις, χλωριούχα άλατα και άλλες βλαβερές χημικές ενώσεις.
5. Οι επιδιορθωμένες επιφάνειες του σκυροδέματος προστατεύτηκαν με κατάλληλο υλικό συντήρησης ή βράχθηκαν με νερό για να αποφύγουμε την πρόωρη ξήρανση του επισκευαστικού κονιάματος για 7 τουλάχιστον μέρες.
6. Τέλος, πάνω από την τελειωμένη επιφάνεια του επιδιορθωμένου σκυροδέματος έγινε επάλειψη με αναστολέα διάβρωσης του οπλισμού. (Βλέπε παράρτημα 1)

## **11. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΛΥΣΗ**

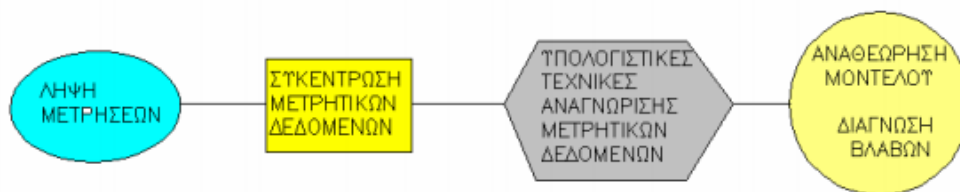
Μια προτεινόμενη λύση για πρόληψη και έγκαιρη διάγνωση της διάβρωσης του οπλισμού είναι η τοποθέτηση ενός ασύρματου δικτύου από αισθητήρες για συνεχή παρακολούθηση της υγείας της κατασκευής. Η παρακολούθηση της υγείας και της συμπεριφοράς μιας κατασκευής με την βοήθεια των αισθητήρων αποτελεί χρήση των τελευταίων τεχνολογικών καινοτομιών και τα αποτελέσματα είναι πολύ ενθαρρυντικά. Ένα τρανό παράδειγμα εφαρμογής του ασύρματου δικτύου αισθητήρων είναι η Γέφυρα Ρίου – Αντιρρίου, η οποία έχει περισσότερους από 100 αισθητήρες ελέγχου της κατασκευής σε πραγματικό χρόνο.

Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων είναι χτισμένο από «κόμβους» - από λίγες έως πολλές εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες, όπου κάθε κόμβος συνδέεται με μία (ή μερικές φορές περισσότερους) αισθητήρες. Κάθε τέτοιος κόμβος έχει συνήθως διάφορα μέρη: ένα ραδιόφωνοπομποδέκτη με εσωτερική κεραία ή σύνδεση με μια εξωτερική κεραία, ένα μικροελεγκτή, ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα για τη διασύνδεση με τους αισθητήρες και μια πηγή ενέργειας, συνήθως μια μπαταρία ή μια ενσωματωμένη μορφή της συγκομιδής ενέργειας. Ο αισθητήρας λαμβάνει την μέτρηση, την μετατρέπει σε ψηφιακό σήμα και η μέτρηση καταγράφεται στον Η/Υ σε πραγματικό χρόνο.

Βασικές επιδιώξεις του πιο πάνω δικτύου είναι να μειωθούν οι απαιτήσεις ενέργειας από τους αισθητήρες, ώστε να αυξηθεί η διάρκεια ζωής τους, καθώς και η αξιόπιστη και ασφαλή μεταφορά των δεδομένων που συλλέγουν οι αισθητήρες προς μια κεντρική βάση. Επομένως τα αποτελέσματα να πλησιάζουν τον πραγματικό χρόνο και να μην αλλοιώνεται η πληροφορία από εξωγενής και ενδογενής παράγοντες καθώς και να μην υπάρχει φόβος κλοπής στοιχείων. (Ζυγούρης Κ., 2006)

### **Σύστημα Παρακολούθησης της κατασκευής:**

Όσον αφορά την διάβρωση του οπλισμού θα πρότεινα την έξυπνη τοποθέτηση αισθητήρων κατά μήκος της κατασκευής. Οι αισθητήρες θα λαμβάνουν την μέτρηση (σε πραγματικό χρόνο), η μέτρηση θα καταγράφεται και θα διορθώνεται από ένα λογισμικό και με βάση τα αποτελέσματα θα λειτουργούμε αναλόγως. Με τον τρόπο αυτό θα γνωρίζουμε εάν υπάρξει πρόβλημα ανά πάσα στιγμή και θα μπορούμε να το διορθώσουμε εγκαίρως. (Certh, 2011)



Σχήμα 10: Σχηματική Απεικόνιση του Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων

Οι μετρήσεις που θα λαμβάνονται από το σύστημα θα αφορούν:

- Την ανίχνευση διείσδυσης νερού στο εσωτερικό του σκυροδέματος,
- Τη μέτρηση του ποσοστού υγρασίας στο εσωτερικό του σκυροδέματος,
- Τις μεταβολές στο μήκος και στη διατομή του χάλυβα,
- Τον υπολογισμό των εφελκυστικών και καμπτικών δυνάμεων που δημιουργούνται στο σκυρόδεμα,
- Την μετακίνηση της επιφάνειας του σκυροδέματος.

Για τον υπολογισμό των πιο πάνω μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τους πιο κάτω αισθητήρες:

- Αισθητήρες πίεσης: Υπολογίζουν την πίεση που ασκείται το σκυρόδεμα
- Αισθητήρες μέτρησης ποσοστού υγρασίας: Υπολογίζουν τις διακυμάνσεις του ποσοστού υγρασίας.
- Επιμηκυνσιόμετρο: Υπολογίζουν την διαφορά στο μήκος του χάλυβα
- Ρευστομηχανικοί αισθητήρες: μετρούν την κινητική ενέργεια ενός ρευστού για την μετατόπιση ενός στελέχους.
- Ελαστομηχανικοί αισθητήρες: Αξιοποιούν την ελαστική παραμόρφωση στερεών σωμάτων για την δημιουργία παραμόρφωσης υπο την επενέργεια δύναμης.
- Πιεζοαντιστάτης: Υπολογίζει την εφελκυστική δύναμη που ασκείται.
- Αισθητήρας Ήχου: Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να 'ακουσει' την αποκόλληση του σκυροδέματος.
- Θερμόμετρο: Το θερμόμετρο θα χρησιμοποιείται για την καταγραφή των θερμοκρασιακών μεταβολών στο σύστημα χάλυβα-σκυροδέμα, και την καταγραφή

εξωτερικών καιρικών συνθηκών που πιθανότατα να επηρεάζουν την κατασκευή μας. (Χριστοδούλου Κ. 2010)

### **Πλεονεκτήματα Μεθόδου**

- Εύκολη εγκατάσταση,
- Εύκολης επεκτασιμότητας στο μέλλον,
- Δυνατότητα μετακίνησης του συστήματος
- Χαμηλό κόστους
- Μεγάλη Ακρίβεια,
- Συνεχής Ενημέρωση.

### **Μειονεκτήματα Μεθόδου**

- Ευαισθησία σε ποιότητα σήματος επικοινωνίας,
- Περιορισμοί στη παροχή ενέργειας λειτουργίας των κόμβων.

Η εφαρμογή ασύρματου δικτύου αισθητήρων στις Κυπριακές κατασκευές θα σημειώσει σημαντική βελτίωση στην υγεία των κατασκευών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν γίνεται συστηματικός έλεγχος των κατασκευών και όταν εντοπιστεί η διάβρωση βρίσκεται σε προχωρημένα στάδια. Με την εγκατάσταση του δικτύου, θα υπάρχει συνεχής ενημέρωση για την υγεία των κατασκευών και ο οπτικός έλεγχος θα είναι συμπληρωματικός. Η διάβρωση θα διαγνώζεται εγκαίρως και το κόστος επισκευής των κατασκευών θα είναι πολύ λιγότερο.

## 12. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το κύριο πρόβλημα της ανθεκτικότητας του οπλισμένου σκυροδέματος είναι η διάβρωση των οπλισμών. Αιτίες που προκαλούν διάβρωση των οπλισμών είναι η ενανθράκωση του σκυροδέματος, η είσοδος χλωριόντων στο σκυρόδεμα, οι ρηγματώσεις στην επιφάνειά του και η ηλεκτροχημική διάβρωση. Στην Κύπρο παρατηρείται έντονα το φαινόμενο διάβρωσης του οπλισμού των κατασκευών λόγω των κλιματολογικών συνθηκών και της γεωγραφικής της θέσης. Η ζημιά που τελικά προκαλείται στα κτίρια με οπλισμένο σκυρόδεμα είναι διπλή καθώς με την οξειδωση του χάλυβα μειώνεται η ενεργός διατομή του, άρα μειώνεται η στατική επάρκεια της κατασκευής και οι νεοσχηματισθείσες ρηγματώσεις αυξάνουν την διαπερατότητα του σκυροδέματος σε CO<sub>2</sub>, δημιουργώντας έτσι τις προϋποθέσεις για νέες ρηγματώσεις και την επιτάχυνση της διάβρωσης οπλισμού.

Η διάβρωση των οπλισμών εντοπίζεται από τις συνέπειές της πάνω στο σκυρόδεμα. Τα σημάδια που μαρτυρούν ύπαρξη διαβρωμένου οπλισμού, εύκολα μπορούν να εντοπιστούν μετά από οπτικό έλεγχο της κατασκευής από τον μηχανικό ή με ενόργανο εντοπισμό.

Οι μέθοδοι προστασίας του οπλισμού από την διάβρωση που προαναφέρθηκαν προσφέρουν διαφορετικούς χρόνους ζωής, έχουν διαφορετικό κόστος εφαρμογής αλλά και βασικές προϋποθέσεις για την επιτυχή εφαρμογή τους:

- Απαραίτητη προϋπόθεση για την περαιτέρω προστασία του σιδηροπλισμού είναι η σωστή παρασκευή του σκυροδέματος σύμφωνα με τους κανόνες διεθνούς ισχύος που επιβάλλονται από τους κανονισμούς.
- Η μέθοδος της καθοδικής προστασίας παρέχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής για την κατασκευή, η οποία μπορεί να φθάσει μέχρι και 500 χρόνια. Είναι σχετικά ακριβή λύση. Για την σωστή εφαρμογή της απαιτείται σωστή αναλογία μεταξύ της επιφάνειας των ανόδων και της επιφάνειας του οπλισμού. Στην περίπτωση που παρέχεται εξωτερικά, (μέσω μετασχηματιστή-ανορθωτή) συνεχές ρεύμα, απαιτείται και παρακολούθηση της λειτουργίας της καθοδικής προστασίας.
- Η μέθοδος των αναστολέων διάβρωσης είναι η πιο απλή αφού απαιτείται μόνο η αρχική ανάμιξη του αναστολέα διάβρωσης στο σκυρόδεμα. Επίσης είναι σημαντικά φθηνότερη λύση από την καθοδική προστασία και προσφέρει τον διπλασιασμό του χρόνου ζωής μιας κατασκευής. Προϋπόθεση της επιτυχούς εφαρμογής της είναι η προσθήκη σωστής

ποσότητας αναστολέα διάβρωσης στο σκυρόδεμα. Η ποσότητα αυτή προσδιορίζεται από την αναμενόμενη ποσότητα χλωριόντων κατά την διάρκεια ζωής της κατασκευής.

- Η μέθοδος των οργανικών επικαλύψεων είναι μια απλή και φθηνή λύση. Απαραίτητη προϋπόθεση για την σωστή εφαρμογή της είναι η χρήση του κατάλληλου υποστρώματος πριν την εφαρμογή της επικάλυψης. Η παράλειψη της χρήσης υποστρώματος θα οδηγήσει στην αποκόλληση του χρώματος από την επιφάνεια του σκυροδέματος και αστοχία της επικάλυψης. Επίσης πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι όλες οι οργανικές επικαλύψεις προσβάλλονται από την υπεριώδη ακτινοβολία που περιέχεται στο ηλιακό φως. Επομένως η επαναβαφή τμημάτων της κατασκευής τα οποία «βλέπει» ο ήλιος είναι πιθανή για την σωστή προστασία της κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα.

- Η χρήση των ανοξειδωτων χαλύβων είναι μία καλή αλλά σχετικά ακριβή λύση στα προβλήματα διάβρωσης του οπλισμού. Για τον λόγο αυτό προτιμάται η μερική αντικατάσταση του οπλισμού στις πιο επικίνδυνες περιοχές από άποψη διάβρωσης των κατασκευών.

Οι συνηθέστερες μέθοδοι που εφαρμόζονται στην Κύπρο είναι η σωστή επικάλυψη του οπλισμού, προσθήκη πρόσμικτων και αναστολέων διάβρωσης και η χρήση εποξεικών βαφών.

Ύστερα από την ανάλυση των ήπιων και ενεργών επεμβάσεων για την αντιμετώπιση της διάβρωσης των οπλισμών μιας κατασκευής, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από τις ήπιες επεμβάσεις, αυτή που κυρίως εφαρμόζεται είναι η καθοδική προστασία του οπλισμού και συγκεκριμένα σε βάρθα γεφυρών που έχουν υποστεί διάβρωση από διείσδυση χλωριόντων, η πιο σύγχρονη μορφή της, είναι η εναλλακτική καθοδική προστασία. Το κύριο πλεονέκτημά της είναι ότι πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο σύστημα προστασίας, που μπορεί εύκολα να συνδυαστεί και με μία ενεργή μέθοδο, όπως ο μανδύας. Όσον αφορά τις άλλες μεθόδους καθοδικής προστασίας, δηλαδή με εξωτερική πηγή και με θυσιαζόμενες ανόδους, η πρώτη υπερτερεί της δεύτερης, μολονότι είναι ακριβότερη, διότι αναστέλλει πλήρως την διάβρωση και μία άνοδος προστατεύει μεγάλο μέρος της εγκατάστασης. Βρίσκει εφαρμογή κυρίως σε βιομηχανικούς χώρους και γέφυρες. Οι άλλες ήπιες μέθοδοι έχουν περιορισμένες εφαρμογές. Επιπλέον η επισκευή με ινοπλισμένο τσιμεντοκονίαμα, είναι εύκολη στην εφαρμογή αλλά δεν μπορεί να αντιμετωπίσει εκτεταμένη διάβρωση του οπλισμού και δεν ενδείκνυται για μεγάλες επιφάνειες λόγω κόστους. Απ' την άλλη οι ενεργές επεμβάσεις είναι απαραίτητες όταν έχει μειωθεί η στατική επάρκεια της κατασκευής. Από αυτές η πιο συμφέρουσα λύση

είναι τα ινοπλισμένα πολυμερή. Τέλος συμπεραίνουμε ότι με τις ήπιες επεμβάσεις αναστέλλουμε τους μηχανισμούς διάβρωσης, ενώ αντίθετα με τις ενεργές, αυξάνουμε την φέρουσα ικανότητα της κατασκευής χωρίς απαραίτητα να εμποδίζουμε την διαδικασία διάβρωσης. Γι' αυτό τον λόγο είναι αναγκαίο να εφαρμόζεται μια ήπια επέμβαση αρχικά και ανάλογα με την κατάσταση της κατασκευής προχωρούμε και σε μια πιο ενεργή επέμβαση ώστε ταυτόχρονα να το ενισχύσουμε αν αυτό απαιτείται.

Η Κύπρος πρέπει να αρχίσει να αναβαθμίζεται στον τομέα της διάβρωσης και να χρησιμοποιεί νέες καινοτόμες μεθόδους τόσο για τον εντοπισμό της όσο και για την επιδιόρθωση των κατασκευών. Γενικά η διάβρωση του σιδηρού οπλισμού αποτελεί αναμφισβήτητα ένα από τα πιο καίρια προβλήματα του Πολιτικού Μηχανικού. Αρκεί μόνο να αναφερθεί ότι το 5% του Ακαθάριστου Εθνικού Προϊόντος μιας σύγχρονης χώρας διατίθεται για αποκατάσταση τέτοιων βλαβών σε κατασκευές.



### 13. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αγγελάκης Α., Σβεντζούρης Χ (2007), ‘‘Ρωγμές σε Κατασκευές απο Σκυρόδεμα - Αίτια και Τεχνικές Επισκευής’’  
<<http://www.episkeves.civil.upatras.gr/ergasies%202007/%CE%91%CE%93%CE%93%CE%95%CE%9B%CE%91%CE%9A%CE%97%CE%A3%20-%20%CE%A3%CE%92%CE%95%CE%9D%CE%A4%CE%96%CE%9F%CE%A5%CE%A1%CE%97%CE%A3/A%CE%B3%CE%B3%CE%B5%CE%BB%CE%AC%CE%BA%CE%B7%CF%82,%20%CE%A3%CE%B2%CE%B5%CE%BD%CF%84%CE%B6%CE%BF%CF%8D%CF%81%CE%B7%CF%82.pdf>> (3 Φεβρουαρίου,2011)
- Αναστάσιος Α. ‘‘Φθορές Οπλισμένου Σκυροδέματος’’  
<[http://eureka.lib.teithe.gr:8080/bitstream/handle/10184/645/ane\\_chapter1\\_2.pdf?sequence=4](http://eureka.lib.teithe.gr:8080/bitstream/handle/10184/645/ane_chapter1_2.pdf?sequence=4)> (12 Οκτωβρίου,2010)
- Βλάχος Σ. (1991), ‘‘Προστασία Χάλυβα από Διάβρωση’’  
<[http://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/1675" \l "page/12/mode/2up](http://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/1675)> Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ),Αθήνα
- Γιαννόπουλος Π. (2010), ‘‘Σχεδιασμός φορέων από Σκυρόδεμα με Βάση τον Ευρωκώδικα 2 Μέρος 1-1’’  
<[http://library.tee.gr/digital/m2469/m2469\\_giannopoulos.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2469/m2469_giannopoulos.pdf)> (12 Μαρτίου,2011)
- Γκιβάλου Α., Μητζίθρα Μ. (2007), ‘‘Διάβρωση και Προστασία Οπλισμένου Σκυροδέματος’’<<http://www.chemeng.ntua.gr/courses/dpm/pdf-files/07-oplismeno-skyrodema-givalou.pdf>> (5 Οκτωβρίου, 2010)
- Δημάδη Κ., Κατσένιου Γ., (2006) ‘‘ Διάβρωση Χάλυβα Οπλισμένου Σκυροδέματος & Τρόποι Αποκατάστασης’’  
<<http://www.episkeves.civil.upatras.gr/ergasies%202006/9%20DHMADH%20KATSENI%20OY.pdf>> (5 Οκτωβρίου, 2010)
- Δρίτσος Σ. Πάτρα ,2007 ‘‘Ενισχύσεις/ Επισκευές Κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, Διαδικασίες – Τεχνικές και Διαστασιολόγηση’’
- Εκπαιδευτικά Συστήματα (2000) ,‘‘Συσκευές Ελέγχου Διάβρωσης Οπλισμού Σκυροδέματος’’<[http://www.eds.gr/products/civilengineering/concrete/eds\\_products\\_gr\\_corrosion.html](http://www.eds.gr/products/civilengineering/concrete/eds_products_gr_corrosion.html)> (2 Απριλίου,2011)

- ‘Ελια Ταντελέ (2011), Σημειώσεις μαθήματος ‘‘ Ανάλυση Επικινδυνότητας των κατασκευών’’ Λέκτορας Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανιών Γεωπληροφορικής, ΤΕΠΑΚ.
- Ζυγούρης Κ. (2006), ‘‘ Συστήματα Παρακολούθησης και Στρατηγικές Διαχείρισης Γεφυρών’’  
<<http://www.episkeves.civil.upatras.gr/ergasies%202006/B1%20ZYGOYRHS.pdf>> (7 Απριλίου,2011)
- Καλλιανιώτης Φ., Σταθάς Ν. (2009) , ‘‘ Αίτια και μέθοδοι επισκευής ρωγμών στο οπλισμένο σκυρόδεμα’’  
<<http://www.episkeves.civil.upatras.gr/ergasies%202009/2%20%CE%9A%CE%91%CE%9B%CE%9B%CE%99%CE%91%CE%9D%CE%99%CE%A9%CE%A4%CE%97%CE%A3%20%CE%9A%CE%91%CE%99%20%CE%A3%CE%A4%CE%91%CE%98%CE%91%CE%A3%20.pdf>> (15 Φεβρουαρίου,2011)
- Καλυβά Α.(2006) ‘‘Εντοπισμός και τρόποι ενίσχυσης των στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος με διαβρωμένο οπλισμό’’  
<<http://www.episkeves.civil.upatras.gr/ergasies%202006/3%20KALYBA.pdf>> (23 Δεκεμβρίου,2010)
- Κουρνέτας Δ. (2010), ‘‘ Διάβρωση Οπλισμένου Σκυροδέματος – Μέτρα Επέμβασης’’  
<<http://www.episkeves.civil.upatras.gr/English/ergasies%202010/2.%20%CE%9A%CE%9F%CE%A5%CE%A1%CE%9D%CE%95%CE%A4%CE%91%CE%A3%20%CE%94..pdf>> (6 Οκτωβρίου, 2010)
- Μάμαλης Π. , Ξάνθης Δ. (2004), ‘‘ Διάβρωση Στοιχείων Οπλισμένου Σκυροδέματος Και Τρόποι Επισκευής’’ <<http://www.episkeves.civil.upatras.gr/ergasies%202004/No2.PDF>> 10ο Φοιτητικό Συνέδριο « Επισκευές Κατασκευών-04 » (22 Ιανουαρίου,2011)
- Μαυροειδής Π. ‘‘Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος’’ Εκδόσεις Παπασωτηρίου (Αθήνα, 2005)
- Μπάτης Γ. (2007), ‘‘ Χρήση νέων υλικών για την αύξηση της ανθεκτικότητας των κατασκευών’’, εισήγηση στην ημερίδα του ΤΕΕ Ενίσχυση κτηρίων με σύγχρονα υλικά.  
< [http://library.tee.gr/digital/m2278/m2278\\_batis.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2278/m2278_batis.pdf)> (15 Νοεμβρίου, 2010)
- Παπαδόπουλος Μ. (2007) , ‘Μηχανική Συμπεριφορά Διαβρωμένων Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος’’  
<http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/bitstream/123456789/701/1/PhD%20Thesis%20M%20Papadopoulos.pdf> > Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών

- Συνέντευξη κ. Κλεάνθους Σταύρος ( 17 Μαρτίου, 2011), Τμήμα Δημοσίων Έργων Επαρχιακός Μηχανικός για την περιοχή Λευκωσίας.
- Συνέντευξη κ. Καρεκλά Γιώργο ( 17 Μαρτίου, 2011), Τμήμα Δημοσίων Έργων, Υπεύθυνος Τμήματος Γεφυροποιίας.
- Τέχνογκρουπ Πραγματογνώμονες (2006), “ Εκτίμηση της κατάστασης του σιδηρού οπλισμού κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος κατά την ανάληψη του κινδύνου ή μετά από μία ζημιά.” <[http://www.technogroup.gr/keimena/article\\_01.pdf](http://www.technogroup.gr/keimena/article_01.pdf)> (21 Μαρτίου,2011)
- Τσώνη Ν. (2010), “ Η Διάβρωση του Χάλυβα στο Σκυρόδεμα” <<http://www.episkeves.civil.upatras.gr/ergasies%202010/3.%20%CE%A4%CE%A3%CE%A9%CE%9D%CE%97%20%CE%9D..pdf>> (22 Νοεμβρίου,2010)
- Κωνσταντίνος Χριστοδούλου (2010), Σημειώσεις Μαθήματος “Μηχανολογικές Μετρήσεις Ι”, Λέκτορας Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών και Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών ΤΕΠΑΚ.
- Buildnet.gr (2009), “Η διάβρωση του χάλυβα στο σκυρόδεμα” <<http://www.buildnet.gr/default.asp?pid=143&la=1&catid=135&artid=1228>>, (5 Δεκεμβρίου,2010)
- Certh . “Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων”< <http://www.certh.gr/6DB71024.el.aspx>> (5 Απριλίου,2011)
- Isomat. “Επισκευές ρωγμών στο σκυρόδεμα με ρητινενέσεις” <<http://www.isomat.gr/%CE%95%CE%A0%CE%99%CE%A3%CE%9A%CE%95%CE%A5%CE%95%CE%A3-%CE%92%CE%91%CE%A6%CE%97/%CE%95%CF%80%CE%B9%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CE%AD%CF%82-%CE%BF%CF%80%CE%BB%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%BF%CF%85-%CF%83%CE%BA%CF%85%CF%81%CE%BF%CE%B4%CE%AD%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82/%CE%95%CF%80%CE%B9%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CE%AD%CF%82-%CF%81%CF%89%CE%B3%CE%BC%CF%8E%CE%BD-%CF%83%CF%84%CE%BF-%CF%83%CE%BA%CF%85%CF%81%CF%8C%CE%B4%CE%B5%CE%BC%CE%B1-%CE%BC%CE%B5->>

[%CF%81%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/shop.flypage14>](#) (19 Ιανουαρίου,,2011)

- John P. BrooMFIELD (2003), “Corrosion Of Steel In Concrete” E&FN SPON, London.



# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

## Παράρτημα 1 : Μεθοδολογία Αντιμετώπισης Διάβρωσης στο Γεφύρι Holiday Inn



ΚΥΠΡΙΑΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ  
ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ

Αρ. Φακ.: 16.05.015, 16.05.005.085  
Αρ. Τηλ. : 22806525  
Αρ. Φαξ : 22498910



ΤΜΗΜΑ  
ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ  
1428 ΛΕΥΚΩΣΙΑ

15 Νοεμβρίου, 2010

Επαρχιακό Μηχανικό  
Δημοσίων Έργων Λεμεσού,

### Γεφύρι παρά το ξενοδοχείο Holiday Inn στον παραλιακό δρόμο Λεμεσού

Αναφέρομαι στο πιο πάνω θέμα και σε συνέχεια της επιστολής μου με ίδιο αριθμό φακέλου και ημερομηνία 24 Αυγούστου 2010, επιθυμώ να σας πληροφορήσω τα ακόλουθα:

2. Σε επιτόπου επίσκεψη στις 10 Νοεμβρίου 2010 από λειτουργούς του Κλάδου Γεφυροποιίας στο υπό αναφορά γεφύρι, διαπιστώθηκε ότι σε πολλά σημεία όπου μέρος του σκυροδέματος έχει ρωγματωθεί και υποχωρήσει λόγω διάβρωσης, έχουν γίνει κάποιες διορθωτικές εργασίες χωρίς να προηγηθεί πρόσθεση/αποκατάσταση του οπλισμού που είχε οξειδωθεί.

3. Η σωστή μεθοδολογία αντιμετώπισης του προβλήματος είναι όπως πιο κάτω:

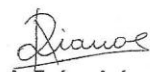
- α) Αφαίρεση όλου του σαθρού/διαβρωμένου σκυροδέματος σε όλα τα μέρη που έχουν επηρεαστεί. Η αφαίρεση του σκυροδέματος να γίνεται μέχρι και 20 mm πίσω από τον οπλισμό για τη δημιουργία σταθερής και καθαρής επιφάνειας. Όλη η σκόνη και τα χαλαρά θα πρέπει να αφαιρούνται με τη χρήση πιεσμένου αέρα ή νερού.
- β) Τρίψιμο και καθαρισμός του οξειδωμένου οπλισμού με ειδικές βούρτσες και επάλειψή του με κατάλληλη ειδική αντιοξειδωτική βαφή προστασίας οπλισμού. Η βαφή αυτή θα πρέπει να είναι κατάλληλη για αντισκωριακή προστασία του οπλισμού ιδιαίτερα από χλώρια ενώ το πάχος της επάλειψης θα πρέπει να είναι 2 mm και να γίνεται σε δύο στρώσεις πάχους 1 mm η κάθε στρώση.

Επιπρόσθετα σε περιπτώσεις όπου ο υφιστάμενος οπλισμός έχει οξειδωθεί πάνω από 35% της διαμέτρου του (στο συγκεκριμένο γεφύρι υπάρχουν πολλές τέτοιες περιπτώσεις) τότε θα πρέπει να γίνει ενίσχυση του υφιστάμενου οπλισμού με ηλεκτροκόλληση πρόσθετων ράβδων οπλισμού.

- γ) Ανεύρεση και άνοιγμα των κάθετων σωλήνων που χρησιμοποιούνται σαν υδροροές. Οι υδροροές αυτές θα πρέπει να επεκταθούν σε μήκος τουλάχιστον 10 εκατοστά κάτω από την πλάκα της γέφυρας. Σημειώνεται ότι τα μεγαλύτερα προβλήματα οξείδωσης του σπλισμού και αποκόλλησης του σκυροδέματος δημιουργήθηκαν λόγω κακής απορροής των ομβρίων διαμέσου των υδροροών.
- δ) Όταν στεγνώσει η βαφή του σπλισμού και αφού προηγουμένως βραχεί καλά η επιφάνεια του σκυροδέματος, να τοποθετείται έτοιμο επιδιορθωτικό τσομεντοκονίαμα σκυροδέματος. Η τοποθέτηση του υλικού αυτού θα πρέπει να γίνει μόλις στεγνώσει η βρεγμένη επιφάνεια.
- Το επιδιορθωτικό υλικό πρέπει να είναι μη συρρικνούμενο, να είναι θιξοτροπικό, να έχει ψηλή αντοχή και να είναι ανθεκτικό στις θειικές ενώσεις, χλωριούχα άλατα και άλλες βλαβερές χημικές ενώσεις. Επιπρόσθετα θα πρέπει να μπορεί να τοποθετείται σε πάχος μέχρι και 30 mm. Σε περιπτώσεις που χρειάζεται μεγαλύτερο πάχος τότε θα πρέπει να τοποθετείται σε περισσότερες από μια στρώσεις.
- ε) Οι επιδιορθωμένες επιφάνειες του σκυροδέματος θα πρέπει να προστατευτούν με κατάλληλο υλικό συντήρησης ή να διαβρέχονται με νερό για αποφυγή πρόωρης ξήρανσης του επισκευαστικού κονιάματος για 7 τουλάχιστον μέρες. Πάνω από την τελειωμένη επιφάνεια του επιδιορθωμένου σκυροδέματος να γίνει επάλειψη με αναστολέα διάβρωσης του σπλισμού.

4. Η πιο πάνω μεθοδολογία θα πρέπει να ακολουθηθεί τόσο για τη νότια επέκταση όσο και για το αρχικό γεφύρι το οποίο αποτελείται από πέτρινους τοίχους με πλάκα καταστρώματος και δοκούς από σπλισμένο σκυρόδεμα.

5. Σημειώνεται ότι τα πιο πάνω έχουν επισημανθεί προφορικά στον Τεχνικό του Γραφείου σας κ. Κλεάνθη Μαρκαντώνη. Σε περίπτωση που χρειάζεστε περαιτέρω επεξηγήσεις, ο Κλάδος Γεφυροποιίας είναι στη διάθεσή σας.

  
Ανδρέας Διάκος  
για Διευθυντή  
Τμήματος Δημοσίων Έργων

Κοιν.: Πρώτη Εκτελεστικό Μηχανικό (Μ), ✓ @ 18/11  
Πρώτο Εκτελεστικό Μηχανικό (Συντ.).

ΑΔ/ΜΑ  
c:10-84

## Παράρτημα 2: Φωτογραφίες Απο Διάβρωση Κτιρίων και Γεφυρών στην Κύπρο

### ΓΕΦΥΡΑ ΖΥΓΟΣ -ΑΛΑΣΣΑ



*Εικόνα 1: Η γέφυρα*



*Εικόνα 2: Η διάβρωση και οι ρωγμές στα υποστηλώματα της κατασκευής*





*Εικόνα 3: Αποκόλληση μέρους του σκυροδέματος λόγω διάβρωσης του οπλισμού.*



*Εικόνα 4: Διάβρωση οπλισμού του καταστρώματος της γέφυρας, δημιουργία ρωγμών και αποκάλυψη του χάλυβα*



*Εικόνα 5: Η μαύρη σκουρία που δημιουργήθηκε απο την διάβρωση του οπλισμού.*



*Εικόνα 6: Αποσάθρωση του σκυροδέματος.*

## ΣΤΑ ΚΤΗΡΙΑ



*Εικόνα 7: Η εικόνα αυτή είναι από Υποσταθμό Μεταφοράς της Αρχής Ηλεκτρισμού. Στον συγκεκριμένο Υποσταθμό ο οπλισμός έχει υποστεί διάβρωση και το μπετόν έχει αποσαθρωθεί.*



*Εικόνα 8: Μαύρη σκουριά- Αποκάλυψη Οπλισμού*



*Εικόνα 9: Η διάβρωση έχει καταστρέψει όλο το κτίριο.*