

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



Πτυχιακή Εργασία

ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΟΥ ΧΑΛΥΒΑ
ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΔΟΜΙΚΗΣ ΑΚΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ
ΚΥΠΡΙΑΚΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ

Δέσποινα Ιωάννου

Λεμεσός 2013

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

Πτυχιακή Εργασία

ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΟΥ
ΧΑΛΥΒΑ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΔΟΜΙΚΗΣ
ΑΚΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ ΚΥΠΡΙΑΚΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ

Δέσποινα Ιωάννου

Σύμβουλος καθηγητής:
Δρ. Διόφαντος Χατζημιτσής

Λεμεσός 2013

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Δέσποινα Ιωάννου,2013

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Κύριο Διόφαντο Χατζημιτσή και τον Κύριο Κυριάκο Νεοκλέους για την βοήθεια τους, τις συμβουλές τους και τις κατευθυντήριες οδηγίες που μου έδωσαν για την εκπόνηση της πτυχιακής μου διατριβής και κυρίως για την ευκαιρία που μου δόθηκε να μελετήσω μέρος της ερευνητικής εργασίας που διεξάγει το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου για το ερευνητικό πρόγραμμα το οποίο χρηματοδοτείται από το Ίδρυμα Προώθησης Έρευνας. Τέλος, ευχαριστώ τους κοντινούς μου ανθρώπους που με την υποστήριξη τους με βοήθησαν να ολοκληρώσω την παρούσα Πτυχιακή Εργασία.

Περίληψη

Ένα από τα πολλά φαινόμενα που συναντά αρκετές φορές ο Πολιτικός Μηχανικός στο εξωτερικό περίβλημα των κτηρίων, είναι η διάβρωση του οπλισμένου σκυροδέματος, ένα φαινόμενο που παρατηρείται πολύ συχνά στην χώρα μας λόγω των κλιματολογικών κυρίως συνθηκών. Η διάβρωση μπορεί να προκαλέσει φθορές και διάφορα προβλήματα στις κατασκευές, κυρίως στις παραθαλάσσιες περιοχές στην χώρα μας λόγω της εισβολής των χλωριόντων. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, γίνεται ανάλυση του πολύπλοκου φαινομένου της διάβρωσης του οπλισμένου σκυροδέματος των κατασκευών, όπως επίσης παρουσιάζονται τρόποι με τους οποίους μπορεί να βελτιωθεί η δομική ακεραιότητα των Κυπριακών Κτιρίων. Είναι πολύ σημαντικό να προσεγγίζεται το πρόβλημα της διάβρωσης τόσο από την θεωρητική πλευρά όσο και από την πρακτική, για να γίνεται η καταγραφή των αιτιών, των μηχανισμών αλλά και των συνεπειών του παρόντος φαινομένου.

Η παρούσα πτυχιακή διατριβή, χωρίζεται σε 5 Κεφάλαια, στα οποία περιγράφονται ξεχωριστά τα στάδια και οι διαδικασίες εκπόνησης της Μελέτης. Στο Κεφάλαιο 1, γίνεται μια εισαγωγή για το φαινόμενο της διάβρωσης, αναπτύσσονται τα αίτια δημιουργία της και γίνεται απόδοση διάφορων όρων. Στο Κεφάλαιο 2, περιγράφεται ο Μηχανισμός Διάβρωσης του Χάλυβα ενώ στο Κεφάλαιο 3, γίνεται Ιστορική Αναδρομή της παραγωγής του χάλυβα καθώς επίσης αναπτύσσονται οι ποιότητες του και τα τεχνικά του χαρακτηριστικά. Το Κεφάλαιο 4 αναφέρεται στις «Μη-Καταστροφικές» και «Καταστροφικές Μεθόδους» που εκτελούνται για να βελτιωθεί η δομική ακεραιότητα των Κυπριακών Κτηρίων. Στο τελευταίο Κεφάλαιο (Κεφάλαιο 5) αναλύεται η ελαχιστοποίηση για το κόστος επισκευής και βελτίωσης της ανθεκτικότητας των διαβρωμένων κτηρίων. Τέλος διεξάγονται τα τελικά συμπεράσματα από την εκπόνηση της παρούσας διατριβής.

Abstract

One of the many phenomena which meet several times a Civil Engineer in the shell of the buildings, is the corrosion of reinforced concrete, a phenomenon that occurs very often in our country especially owing to climatic conditions. Corrosion can causes damage and several problems in constructions, mostly in coastal areas in our country due to the intrusion of chlorides. In the present graduation project, an analysis is made of the complex phenomenon of corrosion of RC constructions, as also presented ways to improve the structural condition of the Cyprus Buildings. It is very important to approached the problem of corrosion from the both sites from theoretical and from practice site, to produce a record of the causes, mechanisms and consequences of this phenomenon.

The present undergraduate final year project is divided into five chapters, which are describe the individual stages and procedures of the study. In Chapter 1 there is an introduction to the phenomenon of corrosion, they are growing the causes and becomes several performance conditions. In Chapter 2, there is a description of the Corrosion Mechanism of Steel while Chapter 3 becomes the Historical Background of the steel production and also developing the qualities and technical characteristics. The Chapter 4, refers the non-destructive and destructive methods which are performed in order to improve the structural condition of the Cyprus buildings. The last chapter (Chapter 5) is analyzed the minimization repair cost and is improve the durability of corroded buildings. Lastly are carried out the final conclusions of the preparation of this project.

Λέξεις Κλειδιά και Απόδοση Όρων:

Half-cell method: Μέθοδος ημι-δυναμικού

RC: Reinforced Concrete (συντομογραφία οπλισμένου σκυροδέματος)

RH: Relative Humidity (σχετική υγρασία)

ASTM: American Society for Testing and Material

Pitting Corrosion: Σημειακή διάβρωση

Regular Monitoring: Τακτική παρακολούθηση

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	5
Abstract.....	6
Λέξεις Κλειδιά και Απόδοση Όρων:	7
Πίνακας Περιεχομένων.....	8
Κατάλογος Σχημάτων.....	10
Κατάλογος Πινάκων.....	12
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1.Εισαγωγή	13
1.2.Αιτία Διάβρωσης.....	14
1.3.Ορολογίες.....	15
2.ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	
2.1.Μηχανισμός Διάβρωσης Χάλυβα.....	16
2.2.Ενανθράκωση Σκυροδέματος	17
2.2.1.Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα ενανθράκωσης:	18
2.3.1.Παράμετροι που επηρεάζουν την διάβρωση του χάλυβα από χλωρίοντα	20
2.4.Ταχύτητα Διάβρωσης του Χάλυβα.....	21
3.ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	
3.1.Ιστορική αναδρομή	23
3.2.Παραγωγή Χάλυβα	25
3.3.Ποιότητες Χάλυβα & Κατηγορίες	27
3.4.Τεχνικά Χαρακτηριστικά Χάλυβα.....	28
4.ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΤΗΡΙΩΝ	
4.1.Βελτίωση Δομικής Ακεραιότητας Κυπριακών Κτηρίων.....	30

4.2.Μη Καταστρεπτικές Δοκιμές.....	32
4.2.1.Οπτικός Έλεγχος	32
4.2.1.1.Πληθυσμός κτηριακού αποθέματος - Εξέταση υφιστάμενων κτηρίων και γεφυρών στην ευρύτερη περιοχή της Πάφου (Οπτικός έλεγχος).....	38
4.2.1.2.Χάλυβας και Σκυρόδεμα που χρησιμοποιείτε στην Κύπρο	42
4.2.1.3.Σημειακή διάβρωση (Pitting Corrosion)	44
4.2.1.4.Σεισμικά και Μετεωρολογικά στοιχεία	45
4.2.1.5.Φωτογραφικό Υλικό	51
4.2.1.6.Συμπεράσματα για τον οπτικό έλεγχο	57
4.2.2.Half-Cell Method	59
4.2.3.Μέθοδος Καθοδικής Προστασίας με την Χρήση Ηλεκτρικού ρεύματος	62
4.2.3.1.Πλεονεκτήματα με το σύστημα εφαρμοζόμενου ρεύματος	63
4.2.3.2.Μειονεκτήματα με το σύστημα εφαρμοζόμενου ρεύματος	63
4.3.1.Μέθοδος Επιταχυνόμενης διάβρωσης Θαλάμου αλατονέφωσης	64
4.3.1.1.Αρχή Λειτουργίας.....	65
4.3.1.2.Περιγραφή της συσκευής	65
4.3.1.3.Πεδίο εφαρμογής.....	67
4.3.4.Κριτική της μεθόδου και σύγκριση εργαστηριακής διάβρωσης με την φυσική διάβρωση.....	68
4.3.2. Υγρή και Ξηρή Μέθοδος.....	69

5.ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ

5.1.Ελαχιστοποίηση του κόστους επισκευής και βελτιστοποίηση ανθεκτικότητας διαβρωμένων κτηρίων	72
5.1.1.Ανάλυση Φάσεων της Γραφικής Παράστασης	73
Συμπεράσματα	74
Βιβλιογραφία	76
Παραρτήματα : Φωτογραφικό Υλικό από διάφορα κτήρια που εξετάστηκαν με εμφανή προβλήματα διάβρωσης.....	78

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1.1. : Προσομοίωμα της ηλεκτροχημικής διαδικασίας διάβρωσης του οπλισμού	17
Σχήμα 2.2.1.1: Γραφική Παράσταση Βάθους ενανθράκωσης σε σχέση με τον χρόνο για διάφορες κατηγορίες σκυροδέματος	18
Σχήμα 2.3.1. : Κατανομή συγκέντρωσης χλωριόντων συναρτήσει της απόστασης από την επιφάνεια του σκυροδέματος (Μέθοδος Ποτενσιομετρικής Τιτλοδοτήσεως)	20
Σχήμα 2.4.1. : Μεταβολή της ταχύτητας διάβρωσης σε σχέση με την συγκέντρωση του Χλωριούχου Νάτριο	21
Σχήμα 3.2.1. : Σχηματικό διάγραμμα της παραγωγής χυτοσιδήρου και ημιτελών προϊόντων χάλυβα.....	26
Σχήμα 3.2.2. : Σχηματικό διάγραμμα της παραγωγής τελικών προϊόντων χάλυβα...26	
Σχήμα 3.4.1. : Παράδειγμα σήμανσης για την αναγνώριση της χώρας και της μονάδας παραγωγής χάλυβα κατηγορίας B500A.....	29
Σχήμα 3.4.2 : Παράδειγμα σήμανσης για την αναγνώριση της χώρας και της μονάδας παραγωγής χάλυβα κατηγορίας B500C.....	29
Σχήμα 4.2.1.1.1: Αριθμός κτηρίων που κατασκευάστηκαν μεταξύ της χρονικής περιόδου 1989-1999	39
Σχήμα 4.2.1.1.2. : Αριθμός κτηρίων που κατασκευάστηκαν μεταξύ της χρονικής περιόδου 2000-2010	40
Σχήμα 4.2.1.1.3: Αριθμός κτηρίων που κατασκευάστηκαν μεταξύ της χρονικής περιόδου 1989-2010	41
Σχήμα 4.2.1.3.1.: Στάδια Διαδικασίας Pitting Corrosion	44
Σχήμα 4.2.1.3.2. : Λεπτομέρεια σημειακής διάβρωσης στον χάλυβα	45
Σχήμα 4.2.1.4.1. : Σεισμική δραστηριότητα στην Περιοχή της Κύπρου για την περίοδο 1984-2011.....	46
Σχήμα 4.2.1.4.2. : Μέση Ημερήσια Μέγιστη και Ελάχιστη Θερμοκρασία στην Πάφο για την περίοδο 1984-2011	47
Σχήμα 4.2.1.4.3. : Μέση Σχετική Υγρασία στην Πάφο για την περίοδο 1984-2011	48
Σχήμα 4.2.2.1. : Μέτρηση δυναμικού χάλυβα.....	59
Σχήμα 4.2.2.2.: Παράδειγμα διαγράμματος ημιδυναμικού58	61
Σχήμα 4.2.3. : Απεικόνιση σχήματος καθοδικής προστασίας με χρήση ηλεκτρικής πηγής.....	63
Σχήμα 4.3.2.1.: Διαδικασία επιταχυνόμενης Διάβρωσης με την εφαρμογή της εξωτερικής δύναμης ανόδου της ράβδου.....	70

Σχήμα 4.3.2.2. : Γραφική Παράσταση Μηχανικής συμπεριφοράς σε εφελκυσμό στελέχου σκλήρυνσης FRCC υλικού που περιέχει 1,5% ίνες πολυαιθυλενίου.....	70
Σχήμα 4.3.2.3.: Γραφική Παράσταση Μηχανικής συμπεριφοράς σε εφελκυσμό στελέχου σκλήρυνσης HFRCC υλικού που περιέχει 0,75% ίνες πολυαιθυλενίου και 0,75% ίνες χάλυβα.	71
Σχήμα 5.1. : Διάβρωση χάλυβα για το αντίστοιχο κόστος επισκευής ως συνάρτηση του χρόνου κατά τον οποίο θα γίνει η επισκευή.....	72

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.3.1. : Κατηγορίες χάλυβα σύμφωνα με τις Ελληνικές προδιαγραφές ΕΛΟΤ	28
Πίνακας 4.2.1.1. : Μετρήσεις και Όργανα Μέτρησης για τον ενόργανο εντοπισμό	37
Πίνακας 4.2.1.1.1. : Ετήσια κατασκευή κτηρίων στην Κύπρο (Πάφος) για την χρονική περίοδο 1989-1999.....	39
Πίνακας 4.2.1.1.2. : Ετήσια κατασκευή κτηρίων στην Κύπρο (Πάφος) για την χρονική περίοδο 2000-2010	40
Πίνακας 4.2.1.2.1.: Αποτελέσματα των δεδομένων της έρευνας σχετικά με την χρήση χάλυβα στην Κύπρο	42
Πίνακας 4.2.1.2.2. : Χημική Σύνθεση των τυπικών ποιοτήτων χάλυβα κατά ΕΛΟΤ 1421-3	43
Πίνακας 4.2.1.2.3. : Θλιπτικές αντοχές σκυροδέματος σε επιλεγμένες γέφυρες της περιοχής Πάφου	43
Πίνακας 4.2.1.4.1. : Μέση ημερήσια Θερμοκρασία στην Πάφο για την περίοδο 1984-2011.....	47
Πίνακας 4.2.1.4.2.: Μέση σχετική υγρασία (RH) LST (%) στην Πάφο για την περίοδο 1984-2011.....	48
Πίνακας 4.2.1.4.3. : Περιγραφή Κτηρίων και Προβλήματα Διάβρωσης που εντοπίστηκαν	50
Πίνακας 4.3.1.3.1.: Κυριότερα πρότυπα για την λειτουργία του θαλάμου αλατονέφωσης	67

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.Εισαγωγή

Η διάβρωση του οπλισμένου σκυροδέματος είναι το φαινόμενο εκείνο που περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο μας έκανε να συνειδητοποιήσουμε ότι το οπλισμένο μπετόν γερνάει και απαξιώνεται. Σαν ορισμός, η διάβρωση είναι το φαινόμενο κατά το οποίο πραγματοποιούνται διάφορες χημικές αντιδράσεις, οι οποίες αλλάζουν την χημική σύσταση του οπλισμένου σκυροδέματος, σημειώνοντας μείωση της αντοχής όπως και της λειτουργικότητας μιας κατασκευής. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα την διάβρωση είτε φυσικοί όπως οι κλιματολογικές συνθήκες του περιβάλλοντος είτε εξωγενείς παράγοντες όπως ο κακός σχεδιασμός (π.χ μικρό πάχος επικάλυψης). Οι κυριότερες αιτίες δημιουργίας της διάβρωσης, είναι η ενανθράκωση και η διείδυση των χλωριόντων. Είναι δύο διαδικασίες οι οποίες δεν είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, αφού η πρώτη προκαλεί ραγδαία επιτάχυνση στην δεύτερη διαδικασία. Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται ανάλυση των δύο αυτών μηχανισμών διάβρωσης.

Η διάβρωση του χάλυβα έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της διατομής της ράβδου κατά την ποσότητα του χάλυβα που μετατρέπεται σε σκουριά. Εκτός όμως από αυτό που είναι και το πιο προφανές, η διάβρωση μειώνει και μάλιστα δυσανάλογα την ολκιμότητα του χάλυβα, γεγονός με πολύ δυσμενείς επιπτώσεις στη σεισμική συμπεριφορά του μέλους. Επιπλέον επειδή η σκουριά έχει 2 έως 6 φορές μεγαλύτερο όγκο από αυτόν του σιδηρού από τον οποίο έχει παραχθεί, προκαλεί ρηγμάτωση αποτινάσσοντας την επικάλυψη, μειώνοντας ή και μηδενίζοντας την συνάφεια, και εκθέτοντας ακόμη περισσότερο τη ράβδο σε διάβρωση.

Για τον σκοπό ολοκλήρωσης της παρούσας διατριβής, έχουν συνταχθεί πίνακες που αναφέρονται σε κτήρια που είναι κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα (RC) τα οποία έχουν διερευνηθεί με την ανάληψη μη καταστροφικών δοκιμών κυρίως (οπτικός έλεγχος) για τον εντοπισμό της φυσικής διάβρωσης.

Οι πίνακες των τυπικών RC κτηρίων, έχουν συνταχθεί με την ανάπτυξη συγκεκριμένου μηχανισμού διάβρωσης (εισβολή χλωριόντων κυρίως), ο οποίος βασίζεται σε διάφορους παράγοντες.

Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφεται η διαδικασία που πραγματοποιήθηκε για τον οπτικό έλεγχο που και συμπεριλαμβάνει δεδομένα για τον πληθυσμό των κτηριακών αποθεμάτων(χρονολογίες κατασκευής),τις θλιπτικές αντοχές ορισμένων γεφυρών που εξετάστηκαν , τα τεχνικά δεδομένα του χάλυβα που χρησιμοποιούσαν στην Κύπρο από το 1960 και μετά, και τέλος γίνεται μια αναφορά για την σεισμικότητα της περιοχής και τα μετεωρολογικά της δεδομένα και πως επηρεάζει η ενέργεια αυτή την διάβρωση.

Τέλος πρέπει να αναφερθεί, ότι είναι πρακτικά αδύνατο να παράγουμε κάποιο είδος σκυροδέματος το οποίο θα μπορεί να αποτρέπει τελείως την διάβρωση. Συνεπώς είναι μια πραγματικότητα με την οποία μαθαίνουμε να επιβιώνουμε και να αντιμετωπίζουμε. (Κουρνέτας, 2010)

1.2.Αιτία Διάβρωσης

Από άποψη ανθεκτικότητας, η διάβρωση των οπλισμών είναι το κυριότερο πρόβλημα του οπλισμένου σκυροδέματος. Οι ράβδοι του οπλισμού, προστατεύονται από την διάβρωση μέσω ενός λεπτού επιφανειακού στρώματος ενυδρού οξειδίου του σιδήρου, που δημιουργείται ως αποτέλεσμα της υψηλής αλκαλικότητας του σκυροδέματος που τις περιλαμβάνει. Η συγκεκριμένη αλκαλικότητα χαρακτηρίζεται με μια τιμή pH στο 12.5. Όταν το pH έχει τιμή κάτω από 9.0, τότε ο χάλυβας αποπαθητικοποιείται και ο οπλισμός διαβρώνεται. Η πτώση μεταξύ των τιμών του pH, οφείλεται λόγω των αλληλένδετων διαδικασιών της ενανθράκωσης και την επίδρασης των χλωριόντων.

1.3.Ορολογίες

Επιτάχυνση Διάβρωσης Χάλυβα: Διαδικασία κυρίως εργαστηριακή για την δημιουργία διάβρωσης σε γρήγορους ρυθμούς (συνθήκες που ορίζονται από τον χειριστή στο εργαστήριο) σε αντίθεση με την φυσική διάβρωση.

Σκουριά: Είναι η οξείδωση του σιδήρου, μια ηλεκτροχημική διαδικασία που συμμετέχει ένας ηλεκτρολύτης που βοηθά το οξυγόνο να έρθει σε άνοδο και στην συνέχεια απελευθερώνονται τα ηλεκτρόνια (μέσω του ηλεκτρολύτη) και έρχονται σε κάθοδο.

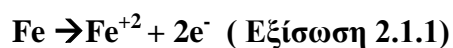
Ενανθράκωση Σκυροδέματος: Η ενανθράκωση είναι μια διαδικασία η οποία συμβαίνει σε όλες τις κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος. Το πορώδες του σκυροδέματος, επιταχύνει ή επιβραδύνει την ενανθράκωση του.

Οξείδωση Οπλισμού: Ο χάλυβας μέσα στο οπλισμένο σκυρόδεμα, λόγω της σύστασης του, όταν οξειδώνονται (σκουριάζουν) υφίστανται μια μεγάλη φθορά λόγω της αντίδρασης τους με το περιβάλλον.

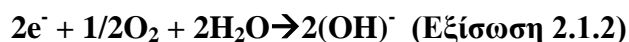
2.ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1.Μηχανισμός Διάβρωσης Χάλυβα

Η διάβρωση είναι ένα σύνθετο ηλεκτροχημικό φαινόμενο που πραγματοποιείται με την παρουσία ενός ηλεκτρολύτη και μια ηλεκτρική σύνδεση. Το σκυρόδεμα το οποίο είναι γεμάτο από μικρούς πόρους περιεχόμενους σε υγρασία, παίζει τον ρόλο του ηλεκτρολύτη και η ράβδος του χάλυβα παρέχει την ηλεκτρική σύνδεση. Το φαινόμενο της ηλεκτρικής σύνδεσης διακρίνεται σε δύο διαδικασίες, την άνοδο και την κάθοδο. Η άνοδος δημιουργείται στην περιοχή που έχει καταστραφεί το προστατευτικό στρώμα οξειδίων του χάλυβα για να μπορούν τα άτομα του σιδήρου να μετατραπούν σε ιόντα και να απελευθερώσουν ηλεκτρόνια.



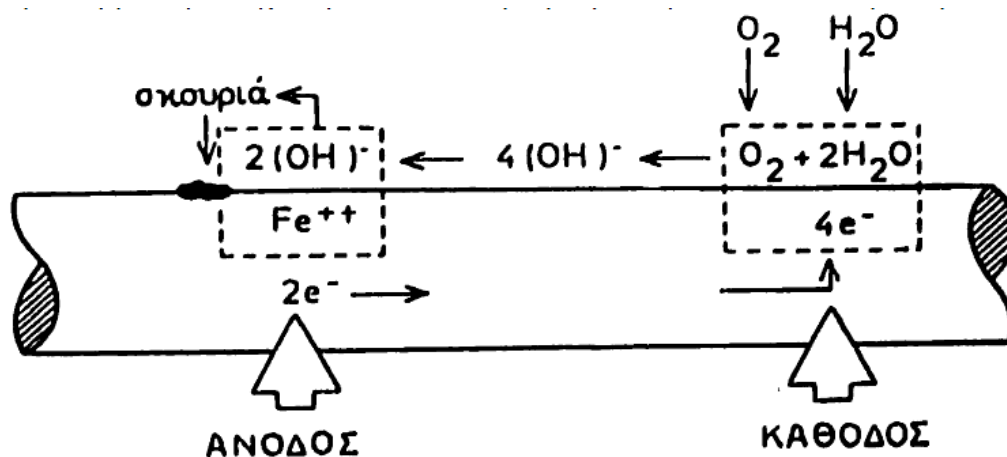
Λόγω της διαφοράς δυναμικού που δημιουργείται, τα ηλεκτρόνια κατευθύνονται στην συνέχεια προς την κάθοδο. Η περιοχή του χάλυβα που έχει οξυγόνο και νερό, λειτουργεί ως κάθοδος. Εκεί τα ηλεκτρόνια αντιδρούν με το οξυγόνο και το νερό παράγοντας ιόντα υδροξυλίου.



Τα ιόντα υδροξυλίου κινούνται μέσα στο νερό των πόρων, από την κάθοδο στην άνοδο, όπου ενώνονται τα ιόντα του σιδήρου και δημιουργείται η σκουριά.



Στην συνέχεια, σχηματίζονται διάφορα οξείδια του σιδήρου. Και έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως το νερό βοηθά την διαδικασία ηλεκτρόλυσης και το οξυγόνο καταναλώνεται για την διάβρωση του χάλυβα. *(Δημάδη και Κατσεινίου, 2007)*



Σχήμα 2.1.1. : Προσομοίωμα της ηλεκτροχημικής διαδικασίας διάβρωσης του οπλισμού

2.2.Ενανθράκωση Σκυροδέματος

Κατά την διαδικασία πήξης του τσιμέντου παράγεται το υδροξείδιο του ασβεστίου Ca(OH)_2 . Μέσα στο σκυρόδεμα, το υδροξείδιο του ασβεστίου πλεονάζει έχοντας σαν αποτέλεσμα το υψηλό αλκαλικό pH του μπετόν περίπου στο 12,5. Όσο βρίσκεται ο οπλισμός μέσα στο περιβάλλον του αλκαλικού pH, προστατεύεται από την οξείδωση. Το pH όμως μειώνεται σε τιμές κάτω από 9,0 με την επίδραση αντιδράσεων όπως διεισδύουσες όξινες ουσίες. Τότε ο χάλυβας δεν απολαμβάνει την παθητική προστασία που του προσφέρει η αλκαλικότητα από το σκυρόδεμα (αποπαθητικοποίηση). Το CO_2 αφομοιώνεται στην επιφάνεια του μπετόν, το οποίο είναι διαλυμένο μέσα στο νερό της βροχής μαζί με το SO_2 . Το αποτέλεσμα της απορρόφησης του CO_2 είναι η βαθμιαία εξουδετέρωση της αλκαλικότητας:



Το αποτέλεσμα της πιο πάνω χημικής εξίσωσης δηλαδή το ανθρακικό ασβέστιο, δίνει το όνομα της ενανθράκωσης στο φαινόμενο αυτό. Η ενανθράκωση, επιτυγχάνεται κυρίως από τους πόρους, τις κακοτεχνίες, την ανομοιογενή κακή δόνηση κ.τ.λ. Η ενανθράκωση μένει απαρατήρητη και μόνο όταν οξειδωθεί ο

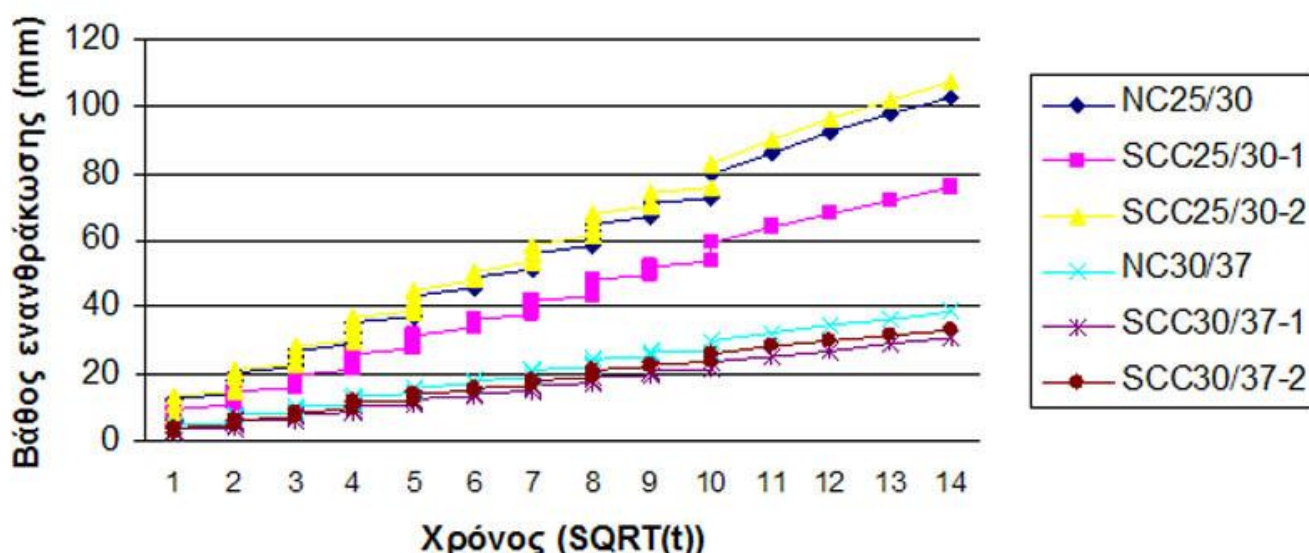
οπλισμός διακρίνεται οι τριχοειδείς ρωγμές λόγω της αύξησης του όγκου του χάλυβα. Φαινόμενα όπως σεισμοί και κρούσεις μπορεί να φανούν αποτρόπαια αποκαλύπτοντας αρκετές φορές την κατάσταση οξείδωσης ή και την αποκόλληση της επικάλυψης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ενανθράκωση έχει δυσμενείς επιπτώσεις για το οπλισμένο σκυρόδεμα όταν βρίσκεται στον ατμοσφαιρικό αέρα π.χ μπορεί να προκαλέσει σκλήρυνση του ασβέστη. (Κουρνέτας, 2010)

2.2.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα ενανθράκωσης: (Κουρνέτας, 2010)

Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που συμβάλουν στην διαδικασία ενανθράκωσης του σκυροδέματος όπως:

- ❖ Η σχέση N/T
- ❖ Η ποιότητα σκυροδέματος
- ❖ Το πάχος επικάλυψης
- ❖ Η σχετική υγρασία του αέρα
- ❖ Η αυξημένη περιεκτικότητα του μπετόν σε τσιμέντο μειώνει την ταχύτητα ενανθράκωσης

Με την διαδικασία ενανθράκωσης, ο χάλυβας διαβρώνεται άμεσα αφού πλέον αποπαθητικοποιείται.



Σχήμα 2.2.1.1: Γραφική Παράσταση Βάθους ενανθράκωσης σε σχέση με τον χρόνο για διάφορες κατηγορίες σκυροδέματος (Web page buildnet)

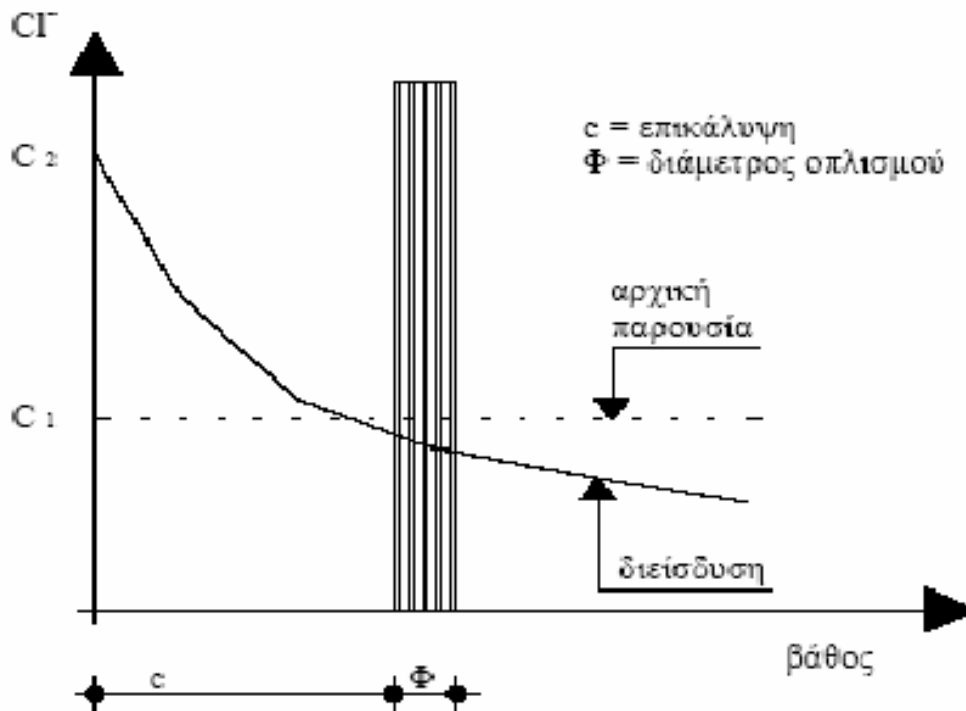
2.3.Η Επίδραση και οι Πηγές των Χλωριόντων

Τα τοπικά ιόντα χλωρίου Cl^- , μπορούν να διαπεράσουν το προστατευτικό στρώμα του οξειδίου όταν η συγκέντρωσή τους υπερβαίνει το 0.4-0.6 του βάρους του τσιμέντου. Διαπερνούν στο προστατευτικό στρώμα του οξειδίου μέσα από τους όρους του στρώματος με μεγάλη ευκολία και στην συνέχεια επιφέρουν τοπική ή γενική καταστροφή του επιφανειακού προστατευτικού οξειδίου και ξεκινά η οξείδωση του οπλισμού.

Τα χλωριόντα μπορεί να προέρχονται είτε από το εσωτερικό του σκυροδέματος είτε από το εξωτερικό περιβάλλον που περικλείει το σκυρόδεμα. Εάν έχουν χρησιμοποιηθεί συλλεκτά αδρανή από τις παραλίες ή από το θαλασσινό νερό για την κατασκευή των οικοδομών ή από πρόσθετα βελτιωτικά του σκυροδέματος που περιέχουν χλωριούχα άλατα, τότε στο εσωτερικό του σκυροδέματος θα διαβρωθεί επειδή τα χλωριόντα που περιέχουν τα υλικά μπορούν να διατηρηθούν στο προστατευτικό στρώμα του οξειδίου.

Τα χλωριόντα από το εξωτερικό περιβάλλον, συνηθίζεται να προέρχονται από παραθαλάσσιες περιοχές. Ακόμα και αν υπάρχει μεγάλη απόσταση μεταξύ των οικοδομών από την ακτή, επειδή μέσα στον ατμοσφαιρικό αέρα εμπεριέχονται χλωριούχα άλατα, μπορεί να επιτευχθεί πάλι το φαινόμενο διάβρωσης. Σε περιοχές που υπάρχει μεγάλη χιονόπτωση όπως στην περιοχή του Τροόδου, η βασική πηγή των χλωριόντων είναι τα άλατα που ρίχνουν στον δρόμο για να λιώσει το χιόνι. Ακόμη τα χλωριόντα άλατα μπορεί να προέρχονται από τα επιταχυντικά πήξης που χρησιμοποιούνται για να πήξει το σκυρόδεμα πιο γρήγορα.

Τόσο η ενανθράκωση όσο και η διείσδυση των χλωριόντων δεν είναι ανεξάρτητες διαδικασίες, αφού η πρώτη διαδικασία επιταχύνει σημαντικά την δεύτερη. Όταν αντιδρά το υδροξείδιο του ασβεστίου με τα χλωριόντα τα δεσμεύει και έτσι περιορίζει την ποσότητα αυτών που διαχέονται προς τον οπλισμό κάτω από την οριακή συγκέντρωση του 0,4-0,6 % , που απαιτείται για να διαπεράσει το προστατευτικό του οξειδίου. Όταν όμως μετατραπεί το υδροξείδιο του ασβεστίου με την ενανθράκωση σε ανθρακικό ασβέστιο, τα χλωριόντα που έχει δεσμεύσει ελευθερώνονται και προσβάλλουν τον χάλυβα. (Φαρδής,2005)



Σχήμα 2.3.1. : Κατανομή συγκέντρωσης χλωριόντων συναρτήσει της απόστασης από την επιφάνεια του σκυροδέματος (Μέθοδος Ποτενσιομετρικής Τιτλοδοτήσεως)

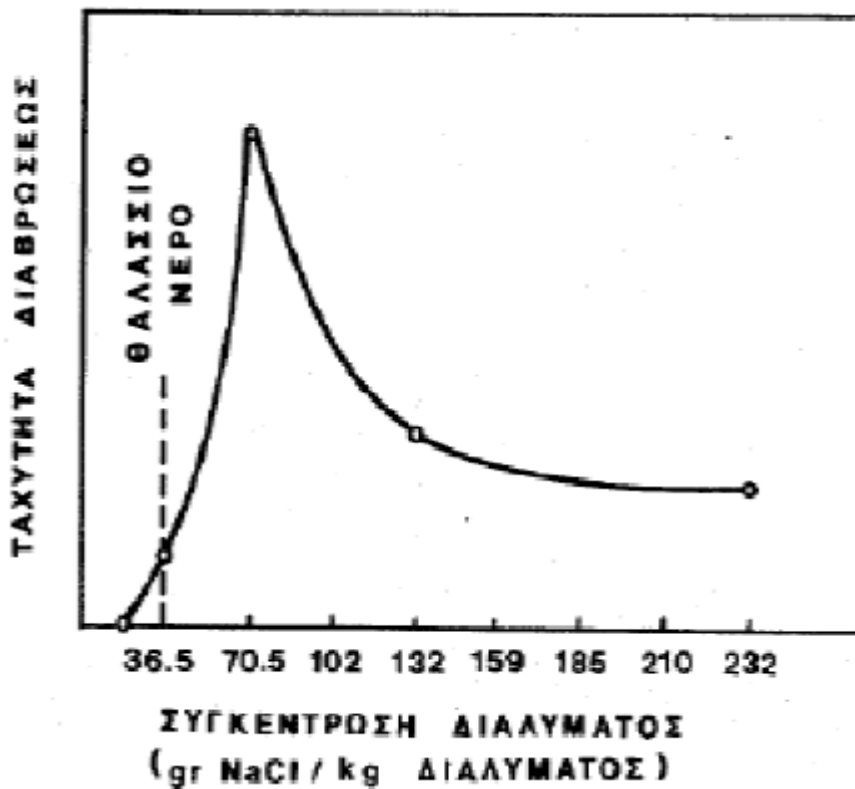
2.3.1. Παράμετροι που επηρεάζουν την διάβρωση του χάλυβα από χλωριόντα (Τάσιος και Αλιγιζάκη,, 1993)

- ❖ **Το περιβάλλον:** Η διείσδυση των χλωριόντων μπορεί να γίνει σε ξηρό ή υγρό περιβάλλον
- ❖ **Η ποιότητα και το πάχος επικάλυψης:** Ο μικρός λόγος N/T , εξασφαλίζει σκυρόδεμα πυκνό με μικρή διαπερατότητα
- ❖ **Το είδος και η συγκέντρωση των χλωριόντων:** Η αύξηση της συγκέντρωσης χλωριόντων μπορεί να προκαλέσει μείωση του βαθμού διάβρωσης του χάλυβα. Το $CaCl_2$ σε σχέση με το $NaCl$, μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερη διάβρωση του χάλυβα.
- ❖ **Η περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε τσιμέντο και πρόσθετα:** Οι προσμίξεις στο σκυρόδεμα επηρεάζουν την ικανότητα του σκυροδέματος να δεσμεύσει τα χλωριόντα.

2.4. Ταχύτητα Διάβρωσης του Χάλυβα (Κουρνέτας, 2010)

Τόσο εντός όσο και εκτός του σπλισμένου σκυροδέματος η ταχύτητα του χάλυβα αυξάνεται με αρκετούς τρόπους όπως:

- ❖ Με την μείωση του pH
- ❖ Με την επαφή του χάλυβα με το νερό ή το έδαφος
- ❖ Με την αύξηση της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας
- ❖ Με την αύξηση της παρουσίας των αλάτων
- ❖ Με την επαφή του χάλυβα με διαφορετικά υλικά ή περιβάλλοντα
- ❖ Με το αυξημένο πορώδες του σκυροδέματος
- ❖ Με την ψυχρή κατεργασία



Σχήμα 2.4.1. : Μεταβολή της ταχύτητας διάβρωσης σε σχέση με την συγκέντρωση του Χλωριούχου Νάτριο

2.5.Προληπτικά Μέτρα για να αποφεύγεται η δημιουργία διάβρωσης εκ των προτέρων

Το πρόβλημα της διάβρωσης, απαιτεί ένα πολλαπλάσιο κόστος για να αντιμετωπιστεί εξ αρχής, χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα μέτρα για να αποφευχθεί ή να περιοριστεί το πρόβλημα που θα δημιουργείτε με το πέρασμα του χρόνου. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι και μέτρα με τα οποία εάν χρησιμοποιηθούν σωστά και στην κατάλληλη ώρα, μπορούμε να επιδιώξουμε καθυστέρηση στην διαδικασία διάβρωσης των κτηρίων.

Ένας τρόπος, είναι με την επιλογή του κατάλληλου πάχους επικάλυψης του οπλισμού όπως ορίζουν οι κανονισμοί, την διάταξη των οπλισμών και η ποιότητα σκυροδέματος που θα χρησιμοποιηθεί. Η πιο σημαντική παράμετρος όσο αφορά την ποιότητα του σκυροδέματος, είναι η διαπερατότητα της οποίας η μείωση της επιτυγχάνεται με την υψηλή περιεκτικότητα σε τσιμέντο ή με την επιλογή χαμηλού λόγου N/T. Το τσιμέντο στην πράξη, δεσμεύει περίπου το 0,4 του βάρους του σε νερό. Για να αυξήσουμε την εργασιμότητα, κάποιες φορές ο λόγος αυτός αυξάνεται σε 0,5 ή και σε 0,6. Αυτό έχει ως επακόλουθο το νερό που δεν μπορεί να δεσμευτεί, να εξατμιστεί, και να αφήσει τον όγκο του σαν τριχοειδή και πόρους, να αποτελέσουν αφετηρία για την ενανθράκωση του σκυροδέματος. Η συμπύκνωση και η υγρή συντήρηση με λινάτσες για όσο το δυνατό περισσότερες μέρες, είναι σημαντική και αποτελεσματική από πλευρά κόστους.

Η υγρασία είναι ένας κύριος παράγοντας που επηρεάζει την διάβρωση. Καλό θα ήταν τα δομικά μέλη να διαμορφώνονται έτσι ώστε να αποφεύγεται η συγκράτηση νερού στην επιφάνεια τους και η υγρασία να μην μπορεί να διεισδύσει μέσα στο εσωτερικό του μέλους. Στα εμφανή σκυροδέματα ακόμη, θα πρέπει να εξασφαλίζεται η ελάχιστη επικάλυψη επιμελώς.

Άλλες λύσεις που παρέχονται, είναι η χρήση ανοξειδωτων ή γαλβανισμένων ράβδων, η καθοδική προστασία των ράβδων, η επικάλυψη των επιφανειών με διαπερατές μεμβράνες, οι ράβδοι με εποξειδοτική ρητίνη και η χρήση χημικών πρόσθετων γνωστά ως “αναστολής διάβρωσης”. (Φαρδής,2005)

3.ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

3.1.Ιστορική αναδρομή

Η ιστορία κατασκευής και παραγωγής του χάλυβα, ξεκινά να διαδραματίζεται από τα πολύ παλιά χρόνια, γύρω στο 1000 π.Χ.. Οι μεταλλουργοί εκείνης της εποχής ξεκίνησαν να παράγουν χάλυβα με την ενανθράκωση σπογγώδους σιδήρου.

Αν και από την εποχή της Αναγέννησης υπήρχε η δυνατότητα μέσω της τεχνολογίας να αναπτύξουν τον χάλυβα μέσω των υψηλών θερμοκρασιών τήξης του, οι πρώτοι χάλυβες σε κάμινο παρήχθησαν το 1740. Μέχρι εκείνη την περίοδο, κατασκευάζονταν μόνο λεπτού πάχους τεμάχια από χάλυβα, με ενανθράκωση σιδήρου (τεχνικές διάχυσης του άνθρακα σε τεμάχια σιδήρου).

Κατά το 19^ο αιώνα, ξεκίνησαν να μετατρέπουν το σιδηρομετάλλευμα μιας διεργασίας δύο βαθμίδων, σε ενδιάμεσο προϊόν για την τροφοδοσία των χυτηρίων. Ο σίδηρος που παραγόταν κατά την πρώτη βαθμίδα από την κάμινο τήξεως, περιείχε μια μεγάλη ποσότητα άνθρακα που προερχόταν κυρίως από την καύσιμη ύλη που ήταν απαραίτητη για την τήξη του μεταλλεύματος. Το παραγόμενο προϊόν που προέκυπτε, ήταν σκληρό και εύθραυστο. Για να παρέμεινε καθαρός και μαλακός τότε ο χάλυβας, έπρεπε να απομακρυνθεί ο άνθρακας και η διαδικασία που επιτυγχανόταν για να προκύψει το αποτέλεσμα αυτό, ήταν με την καύση του άνθρακα με παροχή οξυγόνου και ισχυρής θέρμανσης. Στην δεύτερη βαθμίδα επεξεργασίας, τοποθετούσαν μια συγκεκριμένη ποσότητα άνθρακα για να έχει ο χυτοχάλυβας που θα παραγόταν την επιθυμητή σκληρότητα. Η συγκεκριμένη διαδικασία ήταν αρκετά δαπανηρή αλλά και πολύπλοκη και για αυτό και το κόστος των αντίστοιχων προϊόντων ήταν αρκετά υψηλό.

Το 1746, ο Benjamin Huntsman είχε αναπτύξει στο Sheffield, μια μέθοδο παραγωγής χυτοχάλυβα όπου χρησιμοποιούσαν ένα μίγμα σκόνης άνθρακα. Την εποχή εκείνη, τα χαλυβουργεία στο Sheffield είχαν γίνει πρωτοπόρα στην παραγωγή φτηνού χάλυβα με υψηλή μηχανική αντοχή. Μέχρι τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, διαδόθηκε η συγκεκριμένη μέθοδος μέσω της βιομηχανικής κατασκοπείας, σε όλη την Ευρώπη και Αμερική. Το 1855, ο Henry Bessemer, έφερε στην επιφάνεια μια λιγότερο δαπανηρή μέθοδο, απομακρύνοντας τον άνθρακα από τον χυτοσίδηρο μέσω

διοχέτευσης αέρα ή και οξυγόνου μέσα από τον ρευστό σίδηρο. Ο συγκεκριμένος συνδυασμός αέρα και άνθρακα σιδήρου, οδηγούσε στην αύξηση της θερμοκρασίας και όχι σε μείωση. Πέρα από αυτό, ενώ τα πειράματα με την συγκεκριμένη μέθοδο έδιναν πολύ καλά αποτελέσματα, σε πραγματικές συνθήκες το προϊόν ήταν ακατάλληλο. Αυτό έγινε επειδή ο Bessemer κατά την εκτέλεση των πειραμάτων του, χρησιμοποιούσε σουηδικό μετάλλευμα, ενώ στην παραγωγή ήταν διαθέσιμο μόνο το βρετανικό μετάλλευμα, το οποίο έχει υψηλή περιεκτικότητα σε φωσφόρο που επηρεάζει αρνητικά το αποτέλεσμα. Την ίδια εποχή ανακαλύφθηκε η μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα σε καμίνους ανοικτής εστίας (κάμινος Siemens-Martin). Σήμερα, η ανακάλυψη του Bessemer χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για την απανθράκωση του χυτοσιδήρου. Η κάμινος Siemens-Martin εγκαταλείφθηκε ως πιο ενεργοβόρος και λιγότερο φιλική προς το περιβάλλον.

Ο πρώτος που ανακάλυψε ότι το χρώμιο προσδίδει στον χάλυβα αντοχή στην διάβρωση ήταν ο γάλλος Pierre Berthier το έτος 1821. Εκείνη την εποχή όμως, οι χάλυβες είχαν υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα με αποτέλεσμα ο ανοξειδωτός χάλυβας να είναι πολύ εύθραυστος.

Ο Jacob Mayer παρήγαγε χυτοχάλυβα από το 1842 και μετά από οχτώ χρόνια περίπου, προσέφερε τα προϊόντα του στις βιομηχανίες της μηχανολογίας σε διάφορες μορφές με την χρήση κατάλληλων καλουπιών. Ο Alfred Krupp στο Essen, παρήγαγε επίσης όμοια προϊόντα αλλά μετά από μηχανική επεξεργασία. Το 1860, ο Krupp χρησιμοποίησε μια ειδική μονάδα εξελάσεως χυτοχάλυβα. Ο Robert F. Mushet ήταν από τους σημαντικότερους μεταλλουργούς της Βρετανίας, όπως και ο πατέρας του εξάλλου και συνέλαβε σημαντικά στην ανάπτυξη της μεθόδου Bessemer. Επίσης ανακάλυψε με συνεχείς δοκιμές διάφορα πρόσθετα υλικά, τα οποία σε μικροποσότητες βελτίωναν τα χαρακτηριστικά του χυτοχάλυβα.

Το 1872, οι βρετανοί Woods και Clark έλαβαν δίπλωμα ευρισιτεχνίας για κράμα σιδήρου με 30 -35% χρώμιο και 1,5–2% βολφράμιο, που παρουσιάζει υψηλή αντοχή στην διάβρωση από οξέα. Ωστόσο, η δυσκολία παραγωγής χάλυβα με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, παρέμενε εμπόδιο στην ανάπτυξη των ανοξειδωτων χαλύβων. Το εμπόδιο αυτό ξεπεράστηκε το 1893, όταν ο γερμανός Hans Goldschmidt ανακάλυψε την αλουμινοθερμική αποξείδωση του χάλυβα. Η ανακάλυψη του Goldschmidt επέτρεψε στις χαλυβουργίες να παράγουν στους μεταλλάκτες τους

χάλυβα με υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο και πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, και κατόπιν να αποξειδώνουν τον τηγμένο χάλυβα με την προσθήκη μεταλλικού αλουμινίου.

Στις αρχές του 20ού αιώνα, Γάλλοι, Βρετανοί, Γερμανοί και Αμερικανοί ερευνητές παρασκεύασαν και μελέτησαν πολλά κράματα Fe-Cr-Ni που αντιστοιχούν στις σημερινές ποιότητες AISI-SAE 300 και AISI-SAE 400. Από το 1909, η γερμανική εταιρεία Krupp AG άρχισε να κατασκευάζει πλοία χρησιμοποιώντας χάλυβες που περιείχαν χρωμιοκαινικέλιο.

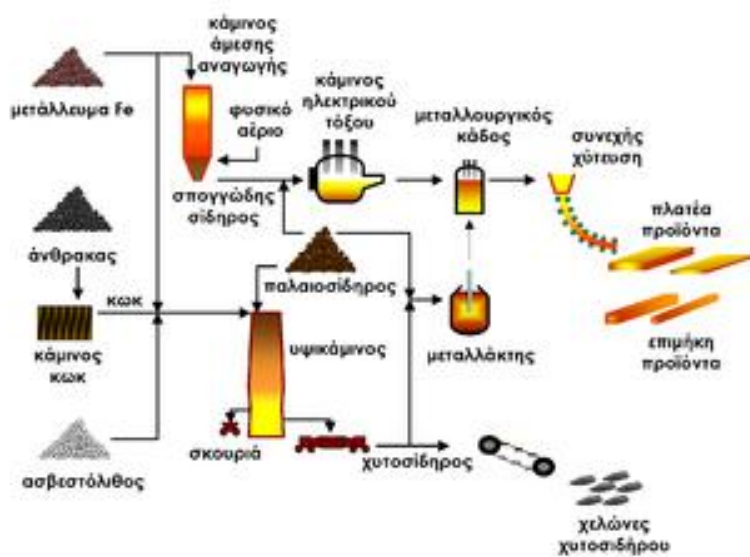
Το 1913, ο βρετανός μεταλλουργός Harry Brearley, ανακάλυψε στο Sheffield της Αγγλίας τους μαρτενσιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες και πρότεινε την χρήση τους για την παραγωγή μαγειρικών σκευών. Ο Brearley ονόμασε τους νέους χάλυβες «rustless», δηλαδή ασκούριαστους. Λίγο καιρό μετά, τους έδωσε το όνομα «stainless», δηλαδή, «ακηλίδωτους» ή «άσπιλους». Γι' αυτόν τον λόγο, ο Brearley θεωρείται ο εφευρέτης του ανοξείδωτου χάλυβα.

Ο διάδοχος του Brearley στο εργαστήριο Brown-Firth, ο William H. Hadfield, παρασκεύασε το 1924 τον ωστενιτικό ανοξείδωτο χάλυβα, που από τότε παραμένει ο πιο αντιπροσωπευτικός και ο πιο διαδεδομένος ανοξείδωτος χάλυβας. (Κουτσοπίδου, 2011)

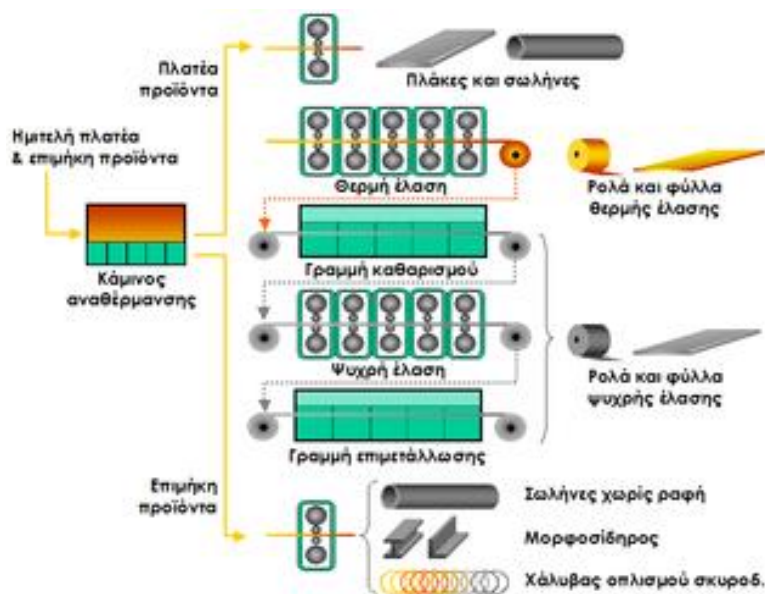
3.2. Παραγωγή Χάλυβα (Wikipedia)

Ο χάλυβας παράγεται με τρεις βασικές μεθόδους:

- ❖ Με αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε υψικάμινο για την παραγωγή χυτοσιδήρου, και την μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα μέσα σε μεταλλάκτη με εμφύσηση οξυγόνου
- ❖ Με την άμεση αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε φρεατώδη κάμινο για την παραγωγή σπογγώδους σιδήρου, και την μετατροπή του σπογγώδους σιδήρου σε χάλυβα μέσα σε κλίβανο ηλεκτρικού τόξου και
- ❖ Με την ανάτηξη παλαιοσιδήρου σε κλίβανο ηλεκτρικού τόξου



Σχήμα 3.2.1. : Σχηματικό διάγραμμα της παραγωγής χυτοσίδηρου και ημιτελών προϊόντων χάλυβα.



Σχήμα 3.2.2. : Σχηματικό διάγραμμα της παραγωγής τελικών προϊόντων χάλυβα

3.3. Ποιότητες Χάλυβα & Κατηγορίες

Ο χάλυβας δεν είναι ένα μοναδικό προϊόν. Σήμερα υπάρχουν περισσότερα από 3.500 διαφορετικά είδη χαλύβων με πολύ διαφορετικές φυσικές, χημικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες. Περίπου τα τρία τέταρτα των ειδών των χαλύβων δημιουργήθηκαν μόλις τα τελευταία είκοσι χρόνια. Οι σύγχρονοι χάλυβες είναι πολύ πιο ανθεκτικοί σε σύγκριση με παλιότερες ποιότητες χαλύβων.

Οι χάλυβες διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με την χημική τους σύσταση, την περαιτέρω κατεργασία τους, την κρυσταλλική τους δομή ή και την τελική τους χρήση.

Ως προς την χημική τους σύσταση, οι χάλυβες ταξινομούνται ως εξής:

- Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες . Περιέχουν άνθρακα (έως 2,06%) και μικρό ποσοστό μαγγανίου (έως 1,65%), πυριτίου (έως 0,6%) και χαλκού (έως 0,6%). Χρησιμοποιούνται πολύ και συγκολλούνται εύκολα.
- Κραματωμένοι χάλυβες , δηλαδή κράματα σιδήρου με άλλα μέταλλα σε σημαντική περιεκτικότητα.

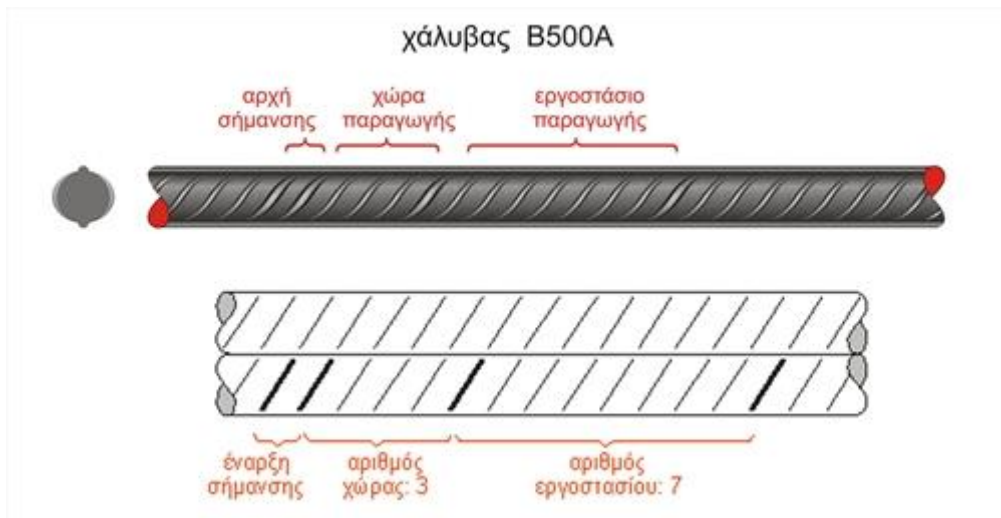
Η ονοματολογία των χαλύβων γίνεται σύμφωνα με διάφορα συστήματα τυποποίησης όπως DIN, ASTM, ΕΛΟΤ κ.λπ. Συχνά υπάρχει αντιστοιχία ανάμεσα στο όνομα μιας κατηγορίας χάλυβα και την αντοχή της συγκεκριμένης κατηγορίας χάλυβα σε εφελκυσμό. Για παράδειγμα, το πρότυπο ΕΛΟΤ 1421-3 ορίζει ότι ο χάλυβας B500C πρέπει να έχει όριο διαρροής μεγαλύτερο από 500 MPa (500 N/mm²). Ο πίνακας 3.2.1. απεικονίζει τις κατηγορίες χάλυβα σύμφωνα με τις Ελληνικές προδιαγραφές.

Κατηγορία χάλυβα	Προδιαγραφή	Ελάχιστο όριο διαρροής [MPa]	Περίοδος χρήσης (Δεκαετίες)
S220	ΕΛΟΤ 956	220	έως '60
S400	ΕΛΟΤ 956	400	'60 έως '90
S400s	ΕΛΟΤ 971	400	αρχές '90
S500	ΕΛΟΤ 956	500	αρχές '90
S500s	ΕΛΟΤ 971	500	αρχές '90
B500A	ΕΛΟΤ 1421	500	από τέλη 2006
B500C	ΕΛΟΤ 1421	500	από τέλη 2006

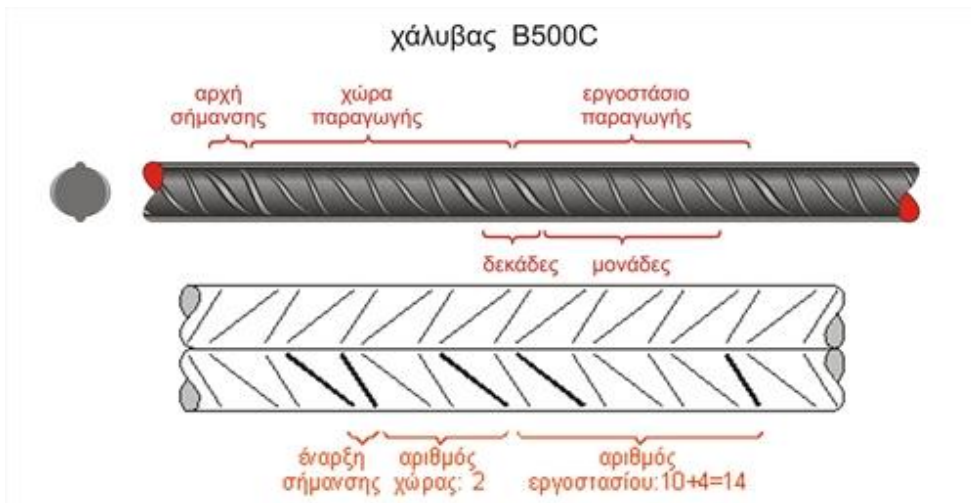
Πίνακας 3.3.1. : Κατηγορίες χάλυβα σύμφωνα με τις Ελληνικές προδιαγραφές ΕΛΟΤ

3.4.Τεχνικά Χαρακτηριστικά Χάλυβα

Τόσο στην Κύπρο όσο και στην Ελλάδα, σε πρακτικό κυρίως επίπεδο, ο μόνος χάλυβας που επιτρέπεται να χρησιμοποιείται για τον οπλισμό έργων από σκυρόδεμα, είναι η κατηγορία B500c και για τα δομικά πλέγματα ο χάλυβας B500A. Ο χάλυβας B500c, είναι η βελτίωση του χάλυβα S500s, όχι τόσο σε αντοχή (που παραμένει η ίδια 500MPa) όσο σε αυξημένη ολκιμότητα και συγκολλησιμότητα.



Σχήμα 3.4.1. : Παράδειγμα σήμανσης για την αναγνώριση της χώρας και της μονάδας παραγωγής χάλυβα κατηγορίας B500A



Σχήμα 3.4.2 : Παράδειγμα σήμανσης για την αναγνώριση της χώρας και της μονάδας παραγωγής χάλυβα κατηγορίας B500C

4.ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΤΗΡΙΩΝ

4.1.Βελτίωση Δομικής Ακεραιότητας Κυπριακών Κτηρίων (Τρέζος,2009)

Η αναγκαιότητα για να ελεγχθεί μια υφιστάμενη κατασκευή όπως επίσης και ο σχεδιασμός και η εκτέλεση επεμβάσεων που αφορούν είτε επισκευή είτε ενίσχυση ή και συνδυασμό και των δύο σε μία υφιστάμενη κατασκευή, τα τελευταία χρόνια γίνεται και πιο έντονα. Οι λόγοι για έναν τέτοιο έλεγχο μπορεί να είναι διάφοροι όπως:

- ❖ Η προγραμματιζόμενη αλλαγή χρήσεως της κατασκευής λόγω της αύξησης των ωφελίμων φορτίων
- ❖ Η επιθυμία για αύξηση του επιπέδου ασφαλείας της κατασκευής όταν πρόκειται για προσαρμογή στους νέους κανονισμούς
- ❖ Οι αρνητικές ενδείξεις κατά τον περιοδικό έλεγχο της κατασκευής
- ❖ Οι αποκλίσεις από την αρχική μελέτη
- ❖ Και η διαπίστωση σφαλμάτων κατά την μελέτη ή την εκτέλεση

Με σκοπό την διερεύνηση της συμπεριφοράς των υλικών των υφιστάμενων κτηρίων, αλλά και τον έλεγχο της καταστάσεως των υφισταμένων κατασκευών (π.χ. ύπαρξη κενών στο εσωτερικό των τοίχων ή φερόντων δομικών στοιχείων, κατάσταση χάλυβα κλπ), έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι ελέγχου επί τόπου και στο εργαστήριο. Αυτές οι μέθοδοι διακρίνονται σε :

- ❖ Έμμεσες (μη καταστροφικές) μεθόδους, οι οποίες πρακτικά εφαρμόζονται με μηδενική επέμβαση στα φέροντα στοιχεία της κατασκευής και
- ❖ Ελάχιστα καταστρεπτικές, η εφαρμογή των οποίων απαιτεί την αποκοπή μικρών τεμαχίων από φέροντα στοιχεία της κατασκευής.

Η χρήση των έμμεσων μεθόδων προτιμάται στην περίπτωση κυρίως των κατασκευών με μεγάλη Ιστορική και Αρχιτεκτονική αξία, που δεν επιτρέπεται καμία επέμβαση. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι έμμεσες μέθοδοι, παρουσιάζουν χαμηλό κόστος εφαρμογής και έχουν μειωμένη αξιοπιστία (ιδίως στην περίπτωση που δεν θα βαθμονομηθούν με πυρήνες από το συγκεκριμένο έργο). Στην περίπτωση που οι έμμεσες μέθοδοι δεν έχουν βαθμονομηθεί, μπορούν να μας παρέχουν σημαντικές ποιοτικές πληροφορίες για την κατάσταση της κατασκευής, όπως είναι:

- ❖ Η ομοιογένεια των χαρακτηριστικών της κατασκευής
- ❖ Ο εντοπισμός περιοχών ασυνέχειας με ανώμαλη συμπεριφορά

Οι ελάχιστα καταστρεπτικές μέθοδοι είναι πολύ πιο αξιόπιστες και η χρήση τους είναι κατάλληλη, όταν επιλέγονται αντιπροσωπευτικές θέσεις όπου εκτελούνται οι εν λόγω δοκιμές.

Πιο κάτω παρουσιάζονται μερικές από τις μη καταστρεπτικές και καταστρεπτικές δοκιμές του χάλυβα που μπορούν να εφαρμοστούν για να εντοπίσουν κυρίως τον βαθμό διάβρωσης των κτηρίων και τι μπορεί να γίνει στην συνέχεια ώστε να βελτιωθεί η δομική κατάσταση των κτηρίων που εξετάστηκαν σε ευρύτερες περιοχές της Κύπρου.

4.2.Μη Καταστρεπτικές Δοκιμές

4.2.1.Οπτικός Έλεγχος

Για τις ανάγκες υλοποίησης της εν λόγω διατριβής, χρειάστηκε να διεξαχθεί οπτικός έλεγχος των κτιρίων έτσι ώστε να καταγραφτούν οι φθορές ή βλάβες που υπάρχουν σε διάφορα υφιστάμενα κτίρια. Ο οπτικός έλεγχος έχει διεξαχθεί στην ευρύτερη περιοχή της Πάφου. Τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί στατιστικά για την περιοχή της Πάφου, βασίζονται σύμφωνα με το Ερευνητικό Πρόγραμμα του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου (STEELCOR) για το θέμα Διάβρωσης Οικοδομικού Χάλυβα και Βελτίωση Δομικής Κατάστασης των Κυπριακών κτηρίων.

Είναι πολύ σημαντικό να εντοπίζονται οι αιτίες τρωτότητας των κατασκευών έγκαιρα τόσο για τις ενισχύσεις όσο και τις επισκευές που γίνονται στα διάφορα υφιστάμενα κτήρια και κυρίως στην περίπτωση διάβρωσης του χάλυβα που πρέπει να βρισκόμαστε σε ετοιμότητα, γιατί μπορεί να δημιουργήσει μεγάλες φθορές στην κατασκευή ή και κατάρρευση ακόμη του κτηρίου σε περίπτωση σεισμού. Ένας τρόπος εντοπισμού της διάβρωσης είναι με τον οπτικό έλεγχο (Μη καταστρεπτική δοκιμή).

Η διάβρωση των οπλισμών του σκυροδέματος, εντοπίζεται από τις συνέπειες της πάνω στο σκυρόδεμα. Με τον οπτικό έλεγχο εντοπίζονται και καταγράφονται οι φθορές ή βλάβες που υπάρχουν σε ένα υφιστάμενο κτίριο. Ο έλεγχος συνίσταται στην καταγραφή, πάνω σε σχέδια ή σκαριφήματα, διαφόρων στοιχείων που μαρτυρούν την παρουσία διάβρωσης όπως:

- ❖ ρωγμές (θέση και εύρος)
- ❖ διαβρωμένοι οπλισμοί
- ❖ προβλήματα υγρασίας, ανερχόμενης ή κατερχόμενης
- ❖ Ανωμαλίες και φθορές σε σκυρόδεμα και χάλυβα

Πιο κάτω γίνεται ανάλυση ορισμένων στοιχείων διάβρωσης του οικοδομικού χάλυβα που φαίνονται με το γυμνό μάτι και παρατηρείτε συχνά να εμφανίζονται σε υφιστάμενα κτήρια, όταν παρουσιάζουν προβλήματα διάβρωσης.

[1] Αποφλοίωση σκυροδέματος: Όταν υπάρχει απόσταση μεγάλου επιφανειακού κομματιού σκυροδέματος της τάξης των 100 cm και σε βάθος που είναι ίσο περίπου με την επικάλυψη του οπλισμού.



Φωτογραφία 4.2.1.1. : Αποφλοίωση Σκυροδέματος σε οικία στο κέντρο της Παλιάς Λεμεσού

[2] Κηλίδες σκουριάς στην επιφάνεια σκυροδέματος: Χαρακτηρίζονται από το καφέ χρώμα τους και εμφανίζονται στις παρειές ή στον πυθμένα στοιχείων συνήθως από οπλισμένο σκυρόδεμα. Προκύπτουν λόγω της διάβρωσης του χάλυβα και εμφανίζονται στην επιφάνεια του σκυροδέματος είτε λόγω της εσωτερικής πίεσης που δημιουργείται από την αύξηση του όγκου του χάλυβα είτε όταν το νερό διεισδύει στην μάζα του σκυροδέματος και παρασύρει έξω την σκουριά.



Φωτογραφία 4.2.1.2. : Εμφάνιση Κηλίδων Σκουριάς σε εγκαταλειμμένη κατοικία στην Παλιά Λεμεσό

[3] Ρηγμάτωση: Κατά την διάβρωση του χάλυβα, τα προϊόντα της αντίδρασης που συμβαίνουν, παρουσιάζουν αύξηση του όγκου περίπου στο 40% μεγαλύτερο από τον αρχικό όγκο του χάλυβα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ρηγμάτωση πάνω στις επιφάνειες των τοιχίων.



Φωτογραφία 4.2.1.3. : Εντοπισμός Ρηγματώσεων σε κατάστημα στην Παλιά Λεμεσό

[4] Εκτίναξη Επικάλυψης: Στο σκυρόδεμα ασκούνται μεγάλες εφελκυστικές τάσεις και αυτό μπορεί να οδηγήσει αρκετές φορές στην εκτίναξη της επικάλυψης. Αυτό συμβαίνει όταν έχουμε ποιότητα σκυροδέματος χαμηλή και μεγάλη πυκνότητα μεταξύ των οπλισμών στην περιοχή αυτή.



Φωτογραφία 4.2.1.4. : Εκτίναξη Επικάλυψης σε μαλακόνι σε Οικία στην Παλιά Λεμεσό

[5] Ενόργανος εντοπισμός:

Μετά τον οπτικό έλεγχο χρειάζεται να γίνουν κάποιες μετρήσεις είτε στο σκυρόδεμα είτε στον χάλυβα είτε σε ολόκληρη την κατασκευή γιατί υπάρχουν ενδεικτικά στοιχεία για την διάβρωση του οπλισμού για ελάχιστα μέρη της κατασκευής. Ο πίνακας 4.2.1.1. παρουσιάζει μετρήσεις που πραγματοποιούνται, καθώς επίσης και τα όργανα που χρησιμοποιούνται για την κάθε μέτρηση.

Το πάχος επικάλυψης αλλά και η διάμετρος των ράβδων μπορεί να παίξουν καθοριστικό ρόλο και πολλές φορές πλεονέκτημα για την επιτάχυνση της διάβρωσης. Εάν το πάχος επικάλυψης είναι μικρό, τότε οι μηχανισμοί διάβρωσης (χλωριόντα, διοξείδιο του άνθρακα) μπορούν πιο εύκολα να εισβάλουν στο στρώμα των ράβδων του χάλυβα και να το καταστρέψουν.

Μετρήσεις	Όργανα Μέτρησης
Ενανθράκωση	Ψεκασμός με φαινολοφθαλείνη
Πορώδες	Απορρόφηση νερού
Εύρος Ρωγμών	Φορητό Μικροσκόπιο
Βάθος Ρωγμών	Υπέρηχοι
Εμπεριεχόμενη υγρασία	Θερμογράφος
Βαθμός διάβρωσης	Μέθοδος Half-cell
Πάχος Επικάλυψης	Παχύμετρο
Διάμετρος ράβδων	Παχύμετρο

Πίνακας 4.2.1.1. : Μετρήσεις και Όργανα Μέτρησης για τον ενόργανο εντοπισμό

4.2.1.1. Πληθυσμός κτηριακού αποθέματος - Εξέταση υφιστάμενων κτηρίων και γεφυρών στην ευρύτερη περιοχή της Πάφου (Οπτικός έλεγχος)

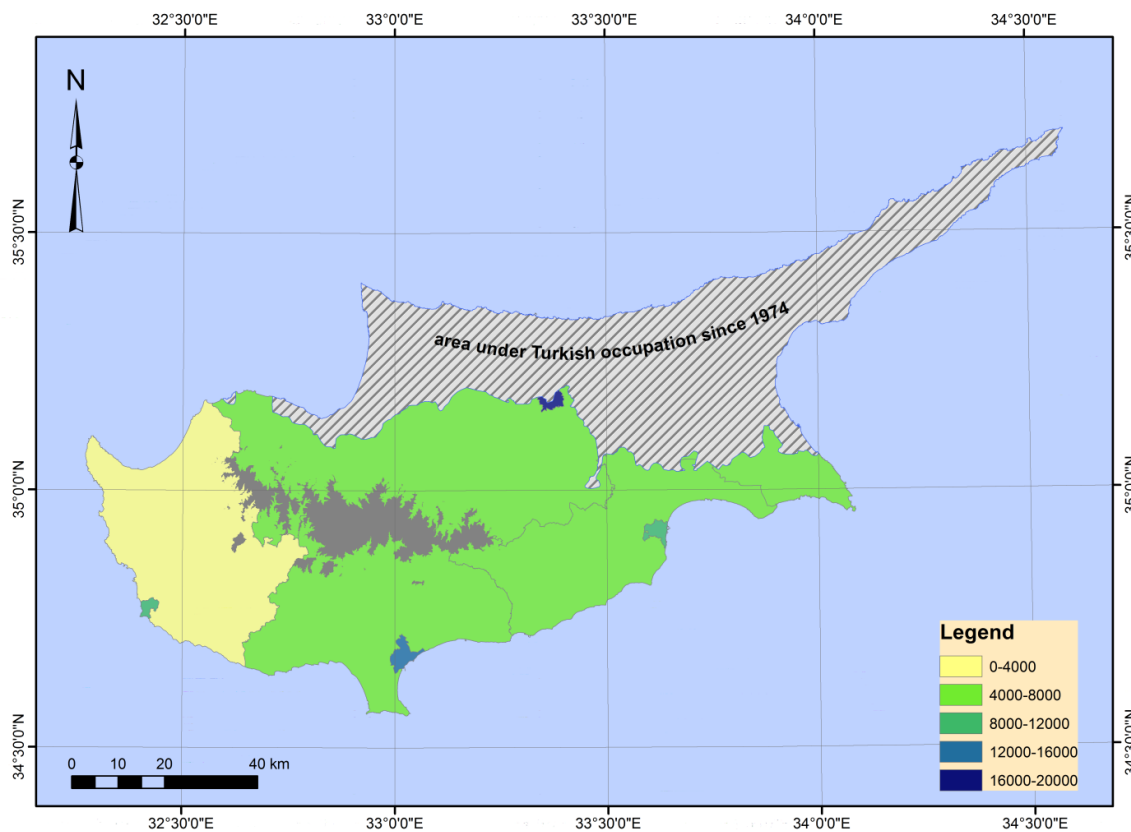
Για μια πιο ολοκληρωμένη μελέτη για την εξέταση οπτικά της περιοχής της Πάφου, έγινε αρχικά καταγραφή του πληθυσμού των κατοικιών που κατασκευάστηκαν ετησίως από την χρονική περίοδο 1989 μέχρι το 2010 για να γίνει σύγκριση στην συνέχεια του βαθμού διάβρωσης μεταξύ των διαφόρων χρονικών περιόδων. Τα στοιχεία λήφθηκαν από το ερευνητικό πρόγραμμα STEELCOR σε συνεργασία με την Κυβερνητική Στατιστική Υπηρεσία. Έχουν ληφθεί επίσης δεδομένα που καλύπτουν τις χρονικές περιόδους 1970-1988 αλλά επειδή δεν παρέχονται λεπτομέρειες συγκεκριμένες για την περιοχή, αποφασίστηκε να αγνοηθούν. Όλα τα δεδομένα που παρέχονται για την περιοχή της Πάφου, περιλαμβάνουν όλα τα είδη των κτηρίων και των οικοδομικών υλικών (π.χ οπλισμένο σκυρόδεμα, ξύλο, δομικός χάλυβας).

Για τον σκοπό της παρούσας έρευνας, έχει γίνει υπόθεση ότι τα όλα τα κτήρια είναι κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα για να υπάρχει μια ομοιόμορφη κατανομή μέσα στα δεδομένα. Πιο κάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι αριθμοί των κτηρίων που έχουν κατασκευαστεί κατά τα χρονικά διαστήματα 1989-2010, καθώς επίσης και η θέση τους στον χάρτη της Κύπρου όπως δείχνουν τα αποτελέσματα μέσω της χρήσης του προγράμματος GIS.

Χρονική Περίοδος 1989-1999

Χρονολογίες	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Πάφος	1137	936	1111	940	1057	1303	1153	954	1049	729	1080
Αστικές Περιοχές	643	645	836	820	858	974	773	750	741	414	678
Αγροτικές Περιοχές	494	291	275	120	199	329	380	204	308	315	402

Πίνακας 4.2.1.1.1 : Ετήσια κατασκευή κτηρίων στην Κύπρο (Πάφος) για την χρονική περίοδο 1989-1999

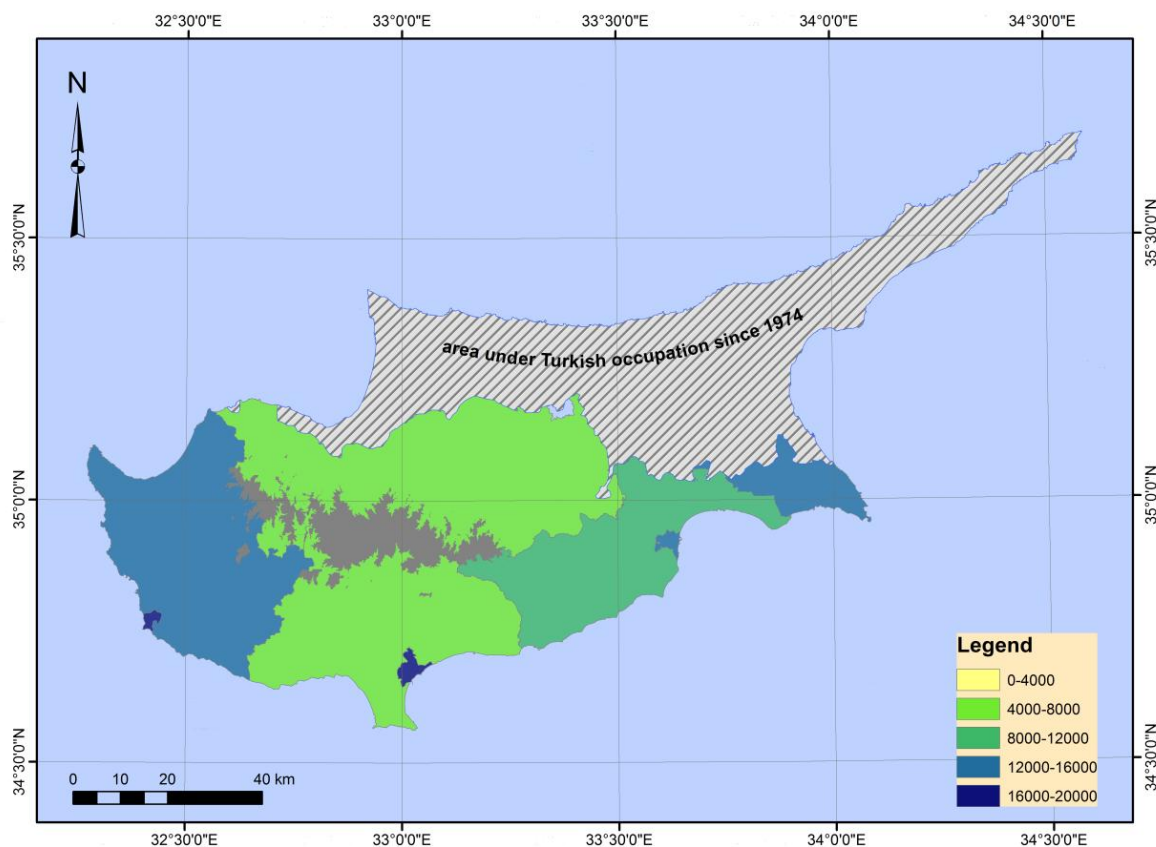


Σχήμα 4.2.1.1.1: Αριθμός κτηρίων που κατασκευάστηκαν μεταξύ της χρονικής περιόδου 1989-1999

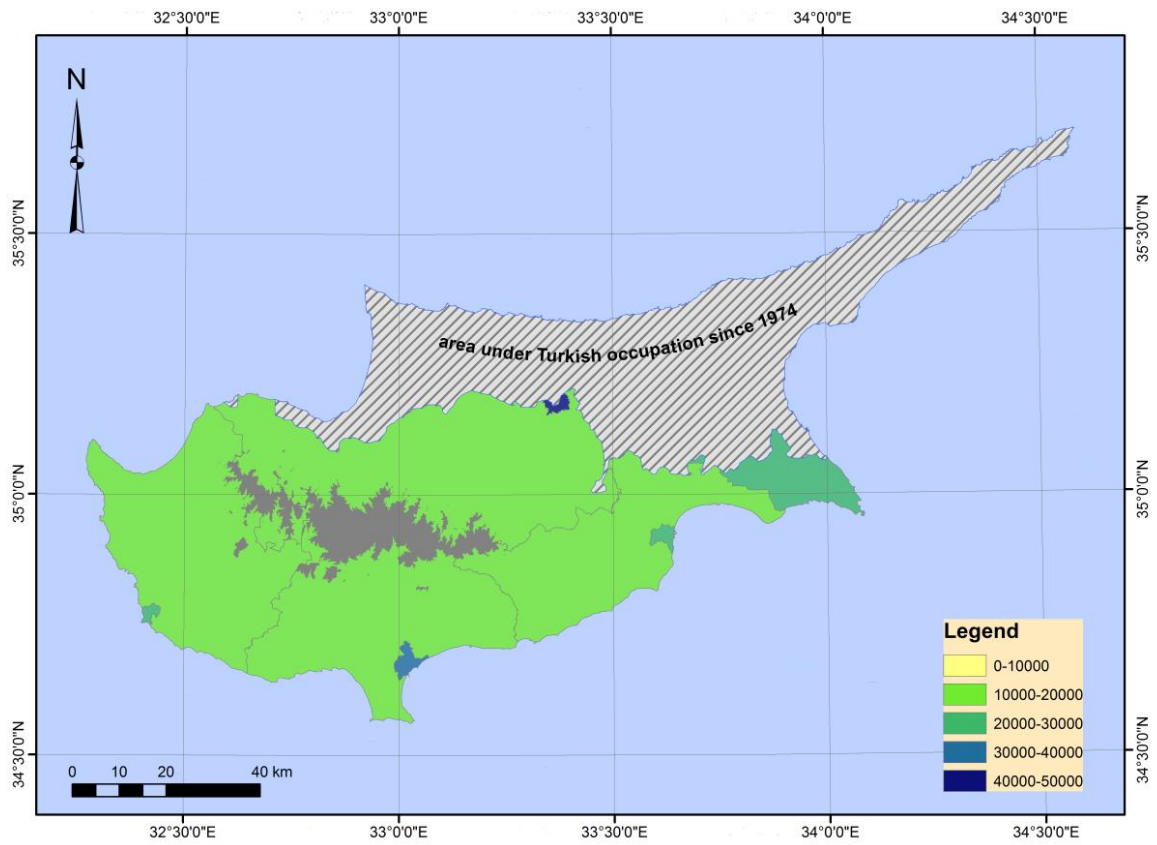
Χρονική Περίοδος 2000-2010

Χρονολογίες	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Πάφος	664	1645	1093	2372	2854	4758	4829	3774	3998	3476	2804
Αστικές Περιοχές	395	940	629	1420	1848	2868	2849	2085	2451	1639	1481
Αγροτικές Περιοχές	269	705	464	952	1006	1890	1980	1689	1547	1837	1323

Πίνακας 4.2.1.1.2. : Ετήσια κατασκευή κτηρίων στην Κύπρο (Πάφος) για την χρονική περίοδο 2000-2010



Σχήμα 4.2.1.1.2. : Αριθμός κτηρίων που κατασκευάστηκαν μεταξύ της χρονικής περιόδου 2000-2010



Σχήμα 4.2.1.1.3: Αριθμός κτηρίων που κατασκευάστηκαν μεταξύ της χρονικής περιόδου 1989-2010

4.2.1.2.Χάλυβας και Σκυρόδεμα που χρησιμοποιείτε στην Κύπρο

Όλα τα δεδομένα έχουν ληφθεί από το πρόγραμμα STELLCOR το οποίο έχει συνεργαστεί με διάφορους φορείς για την καταγραφή των στοιχείων αυτών. Σύμφωνα με την έρευνα των δεδομένων που περιγράφονται τα αποτελέσματα στον πίνακα 4.2.1.1.3 , φαίνεται ότι η Κύπρος πάντα εισήγαγε χάλυβα από τον εξωτερικό από διάφορες ευρωπαϊκές χώρες όπως είναι η Ρωσία, η Αγγλία και η Ελλάδα. Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '70 χρησιμοποιούσαν στις κατασκευές χάλυβα με αντοχή διαρροής 250 MPA. Με την επίσημη εφαρμογή των ευρωκωδίκων χρησιμοποιούσαν μόνο χάλυβα υψηλής αντοχής. Η χημική σύνθεση του κάθε τύπου χάλυβα φαίνεται στον πίνακα 4.2.1.2.2.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στο παρελθόν δεν υπήρχαν επίσημες προδιαγραφές των διαφόρων χωρών, έτσι ο κίνδυνος διάβρωσης σε ορισμένες περιπτώσεις λάμβανε διαφορετικές υποστάσεις αφού τα χαρακτηριστικά των ράβδων του χάλυβα που κατασκευάζονται σε κάθε χώρα, βασίζονται σύμφωνα με τις ανάγκες και το κλίμα της χώρας προέλευσης του χάλυβα. Αυτό δίνει ένα βαθμό επικινδυνότητας εφαρμογής του χάλυβα σε άλλες χώρες, αφού μπορεί να συμπεριφερθεί διαφορετικά ο χάλυβας ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν.

Περίοδος	Χώρα Προέλευσης	Yield Strength (N/mm ²)	Αντοχή σε Εφέλκυσμό (N/mm ²)
Πριν το 1960	Αγγλία	250	330
1960 - 70	Αγγλία, Ρωσία και Ουκρανία	250	330
1970 - 80	Σε όλο τον κόσμο συμπεριλαμβανομένης της Ρωσίας και Ουκρανίας	250	330
		420	500
1980 - 2000	Σε όλο τον κόσμο, κυρίως από την Ελλάδα και την Ρωσία	250	330
		420	500
		460	480
Από το 2000	Κυρίως από την Ελλάδα	500	525 to 675

Πίνακας 4.2.1.2.1.: Αποτελέσματα των δεδομένων της έρευνας σχετικά με την χρήση χάλυβα στην Κύπρο

Βαθμός	Άνθρακας C(%)	Θείο S (%)	Φωσφόρος P (%)	Άζωτο N (%)	Ισοδ. τιμή σε άνθρακα C _{eq} (%)
250 (BS4449, 1988)	0.250	0.060	0.060	0.012	0.42
S400 (Papadopoulos, 2007)	0.35	0.026	0.013	0.010	0.58
460 (BS4449, 1988)	0.250	0.050	0.050	0.012	0.51
B500C (Sidenor, 2012)	0.220	0.050	0.050	0.012	0.50

Πίνακας 4.2.1.2.2. : Χημική Σύνθεση των τυπικών ποιοτήτων χάλυβα κατά ΕΛΟΤ 1421-3

Για να διαπιστωθεί η ποιότητα του σκυροδέματος που χρησιμοποιούσαν παλαιότερα, εξετάστηκαν 3 γέφυρες με διαφορετικές χρονολογίες κατασκευής για να μπορούν να συγκριθούν στην συνέχεια οι θλιπτικές αντοχές τους στο σκυρόδεμα. Πιο κάτω

παρουσιάζεται ένας σύντομος πίνακας με τις γέφυρες σε διάφορες περιοχές της Πάφου που εξετάστηκαν και παρουσιάζουν όντως την κακή ποιότητα των αδρανών που υπήρχε την χρονική περίοδο 1977 σε σχέση με 1993 και 1995. Τα στοιχεία για την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος ελήφθησαν από το πρόγραμμα STEELCOR.

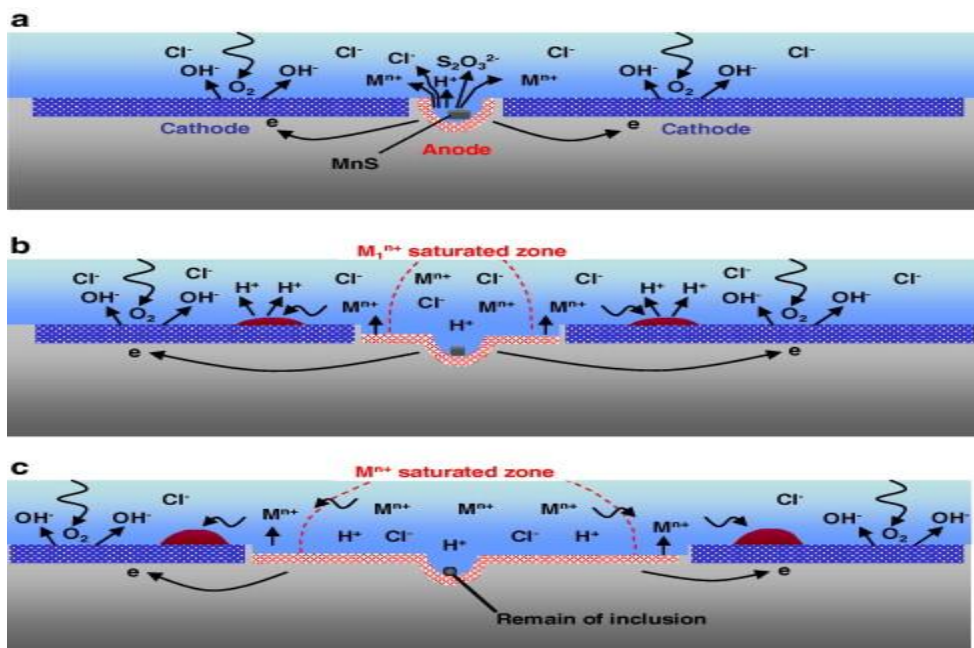
	Κατασκευή	Χρονολογία	Θλιπτική Αντοχή Σκυροδέματος
1	Γέφυρα ποταμού Χρυσοχούς	1977	Αντοχή κύβου =24 N/mm ²
2	Γέφυρα κοντά στο Δάσος της Παναγιάς	1993	C30
3	Γέφυρα Τίμης-Γεροσκήπου	1995	C40

Πίνακας 4.2.1.2.3. : Θλιπτικές αντοχές σκυροδέματος σε επιλεγμένες γέφυρες της περιοχής Πάφου

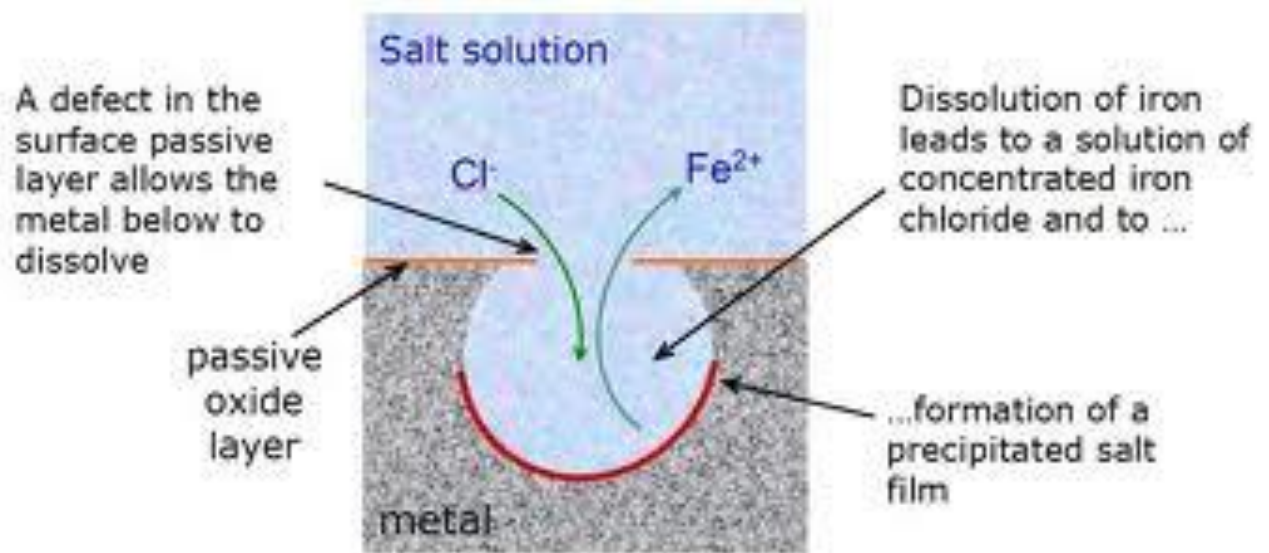
4.2.1.3. Σημειακή διάβρωση (Pitting Corrosion)

Η σημειακή διάβρωση είναι μια μορφή διάβρωσης που οδηγεί στην δημιουργία μικρών οπών πάνω στο μέταλλο, έχοντας πτώση στην παθητικότητα του χάλυβα. Η κινητήρια δύναμη διάβρωσης είναι η παθητικοποίηση μιας μικρής περιοχής που γίνεται ανοδική, όταν μια άλλη έκταση γίνεται καθοδική έχοντας σαν αποτέλεσμα να είναι πολύ εντοπισμένη η γαλβανική διάβρωση. Η διάβρωση περνά την μάζα του μετάλλου με περιορισμένη διάχυση των ιόντων. Ωστόσο η χημική σύνθεση των μετάλλων παίζει καθοριστικό ρόλο.

Ένα παράδειγμα για pitting corrosion, είναι η έκρηξη που έγινε στην Γκουανταλαχάρα του Μεξικού το 1992, όταν οι ατμοί της βενζίνης συσσωρεύονταν σε υπόνομους καταστρέφοντας χιλιόμετρα των δρόμων. Οι ατμοί, προήλθαν από μια διαρροή βενζίνης μέσω μιας οπής ενιαίας που είχε σχηματιστεί από την διάβρωση μεταξύ της επίστρωσης ψευδαργύρου της σωλήνας νερού και της σωλήνας βενζίνης του χάλυβα.



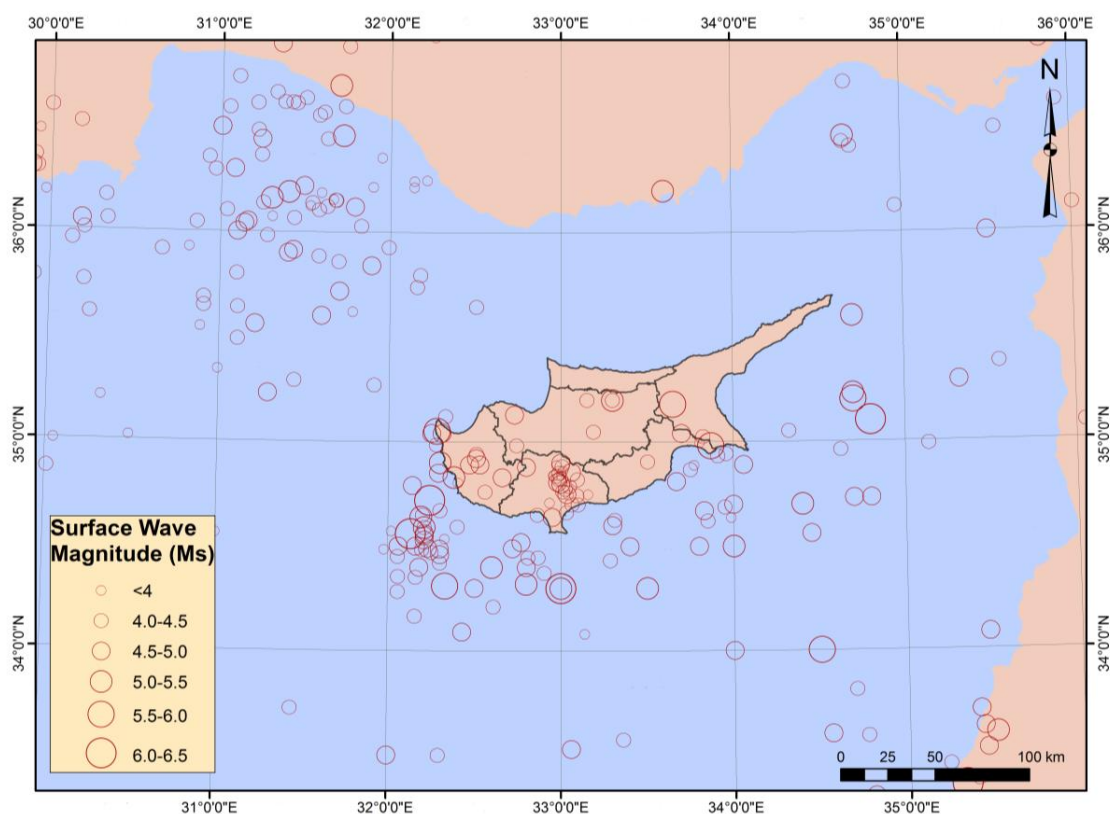
Σχήμα 4.2.1.3.1.: Στάδια Διαδικασίας Pitting Corrosion



Σχήμα 4.2.1.3.2. : Λεπτομέρεια σημειακής διάβρωσης στον χάλυβα

4.2.1.4.Σεισμικά και Μετεωρολογικά στοιχεία

Η Πάφος και η Λεμεσός είναι οι πιο σεισμογενείς περιοχές της Κύπρου. Ο σκοπός συλλογής των παρόντων σεισμικών στοιχείων είναι για να εξεταστεί πως επηρεάζει ο σεισμός την διάβρωση, εάν επιταχύνει την διαδικασία και τι γίνεται, με επικέντρωση κυρίως στην περιοχή της Πάφου που εξετάζεται. Πιο κάτω φαίνεται ο χάρτης με τις πιο σεισμογενείς περιοχές της Κύπρου.

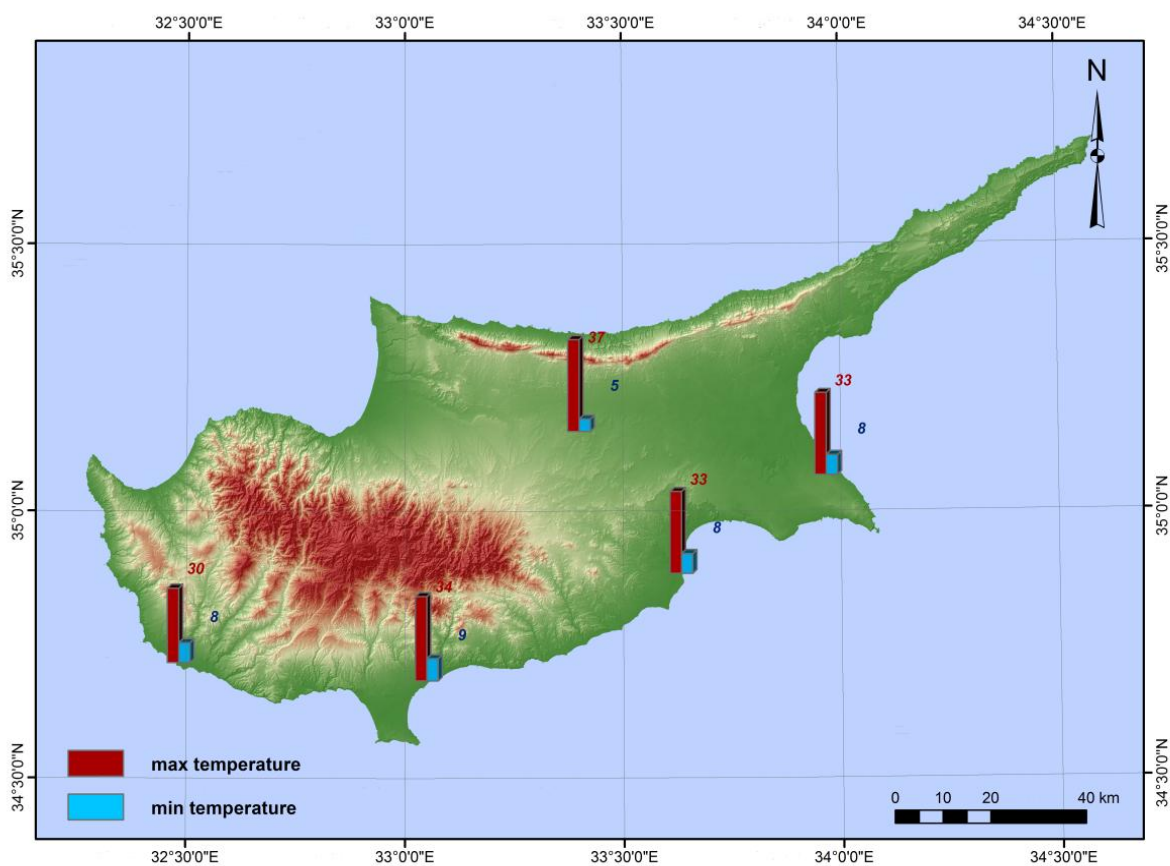


Σχήμα 4.2.1.4.1. : Σεισμική δραστηριότητα στην Περιοχή της Κύπρου για την περίοδο 1984-2011

Η γεωγραφική θέση της Κύπρου παρά το μεσογειακό κλίμα που προσφέρει και γίνεται πόλος έλξης για πολλούς τουρίστες, υπάρχουν στοιχεία τα οποία έχουν καταδείξει πως οι περισσότερες περιοχές της Κύπρου, έχουν υποστεί συνδυασμένες επιπτώσεις υψηλής σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας, οι οποίες με την δική τους σειρά, μπορούν να επιταχύνουν κάλλιστα την διάβρωση του χάλυβα στο σκυρόδεμα. Για να εξετασθεί πως επηρεάζεται η διάβρωση με τις επιπτώσεις της σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας, λήφθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα από το πρόγραμμα STEELCOR για ορισμένα κτήρια στην περιοχή της Πάφου.

Χρονολογίες 1984-2011	Περιοχή	Γεωγρ. πλάτος	Γεωγρ. Μήκος	Γ	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Μέση Ημερήσια Ελάχιστη Θερμοκρασία °C	Πάφος	34° 43'	32° 29'	8.3,	8.2	9	11.6	14.8	18.1	20.7	21.2	19.2	16.6	12.9	10
Μέση Ημερήσια Μέγιστη Θερμοκρασία °C	Πάφος	34° 43'	32° 29'	17.2	17.1	18.7	21.5	24.5	27.7	30	30.5	29	26.4	22.4	18.9

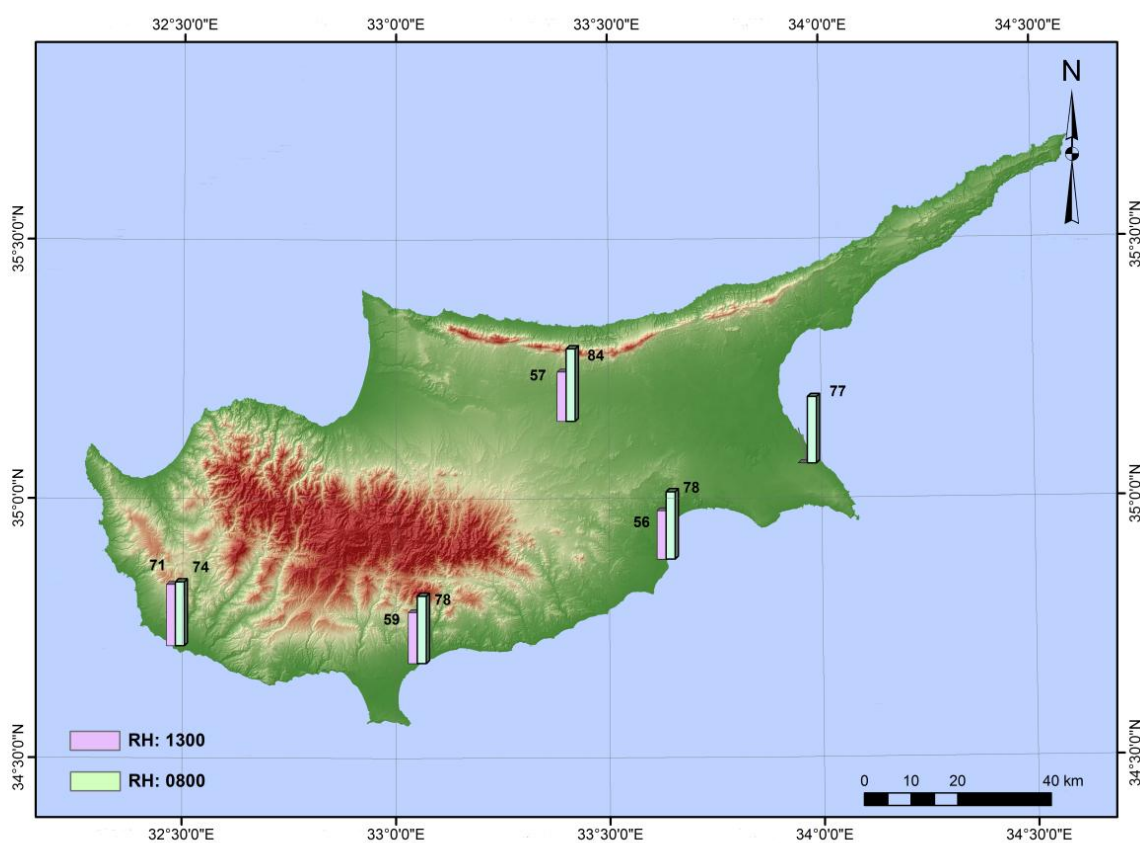
Πίνακας 4.2.1.4.1. : Μέση ημερήσια Θερμοκρασία στην Πάφο για την περίοδο 1984-2011



Σχήμα 4.2.1.4.2. : Μέση Ημερήσια Μέγιστη και Ελάχιστη Θερμοκρασία στην Πάφο για την περίοδο 1984-2011

Χρονολογίες 1984-2011	Περιοχή	Γεωγρ. πλάτος	Γεωγρ. Μήκος	Γ	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Μέση RH από 08:00 ώρες LST (%)	Πάφος	34° 43'	32° 29'	74	72	69	65	68	71	72	70	62	58	65	72
Μέση RH από 13:00 ώρες LST (%)	Πάφος	34° 43'	32° 29'	60	60	62	64	68	70	71	70	65	60	57	59

Πίνακας 4.2.1.4.2.: Μέση σχετική υγρασία (RH) LST (%) στην Πάφο για την περίοδο 1984-2011



Σχήμα 4.2.1.4.3. : Μέση Σχετική Υγρασία στην Πάφο για την περίοδο 1984-2011

Ο πιο κάτω πίνακας και οι αντίστοιχες φωτογραφίες δείχνουν διάφορα προβλήματα διάβρωσης που επέρχονται από τους μηχανισμούς επίδρασης της ενανθράκωσης ή της εισβολής χλωριόντων στο στρώμα του χάλυβα. Οι φωτογραφίες λήφθηκαν μετά από προσεκτική εξέταση των διαφόρων οικοδομών στην περιοχή Πόλης Χρυσοχούς και Πάφου όπου παρουσιάζονταν αισθητά προβλήματα διάβρωσης.

Είδος Κτηρίου & Ημερομηνία Κατασκευής	Τοποθεσία	Υλικά Κατασκευής	Απόσταση από την θάλασσα	Προβλήματα διάβρωσης που εντοπίζονται
[1] Μονώροφη κατοικία (1980)	Λεωφόρος Ελλάδος, Πάφος	RC	>5 km	Ρηγματώσεις παράλληλα στους οπλισμούς, Αποφλοιώση Σκυροδέματος, Υγρασία (Επίδραση Χλωριόντων και Ενανθράκωση)
[2] 4 ^ο Κτήριο με συγκροτήματα (2004)	Βασιλέως Κωνσταντίνου, Πάφος	RC	>5 km	Κηλίδες Σκουριάς, Ρηγματώσεις, Υγρασία (Επίδραση Χλωριόντων και Ενανθράκωση)
[3] Κατοικία (1985)	Οδός Αγίου Γεράσιμου, Πάφος	RC και Πέτρα	4 km	Εκτίναξη Επικάλυψης, Υγρασία (Επίδραση Χλωριόντων και Ενανθράκωση)

Είδος Κτηρίου & Ημερομηνία Κατασκευής	Τοποθεσία	Υλικά Κατασκευής	Απόσταση από την θάλασσα	Προβλήματα διάβρωσης που εντοπίζονται
[4] Κατοικία (1975)	Οδός Γεωργίου Καραϊσκάκη, Πάφος	RC	1 km	Ρηγματώσεις, Εκτίναξη επικάλυψης, Κηλίδες Σκουριάς (Κυρίως επίδραση Χλωριόντων)
[5] Μεζονέτα (1994)	Οδός Κεφαλληνίας, Πόλη Χρυσοχούς	RC	0,4 km	Υγρασία, Αποφλοιώση Σκυροδέματος (Κυρίως επίδραση Χλωριόντων)
[6] Παραθαλάσσια Κατοικία (2005)	Οδός Ανδρέα Ευθυμίου, Πόλη Χρυσοχούς	RC	0,1 km	Υγρασία/ Επίδραση από χλωριούχα άλατα

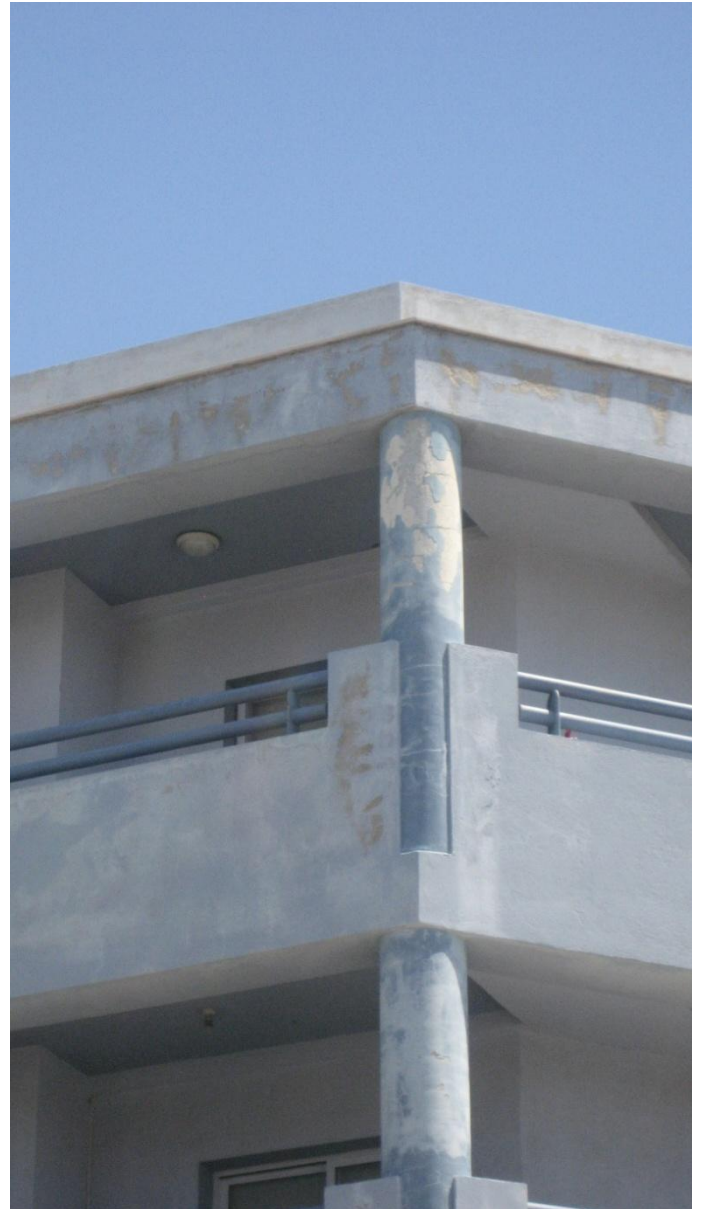
Πίνακας 4.2.1.4.3. : Περιγραφή Κτηρίων και Προβλήματα Διάβρωσης που εντοπίστηκαν

4.2.1.5.Φωτογραφικό Υλικό

Πιο κάτω γίνεται μια παρουσίαση φωτογραφικού υλικού από τα διάφορα κτήρια που έχουν εξεταστεί για τις ανάγκες υλοποίησης της παρούσας διατριβής.



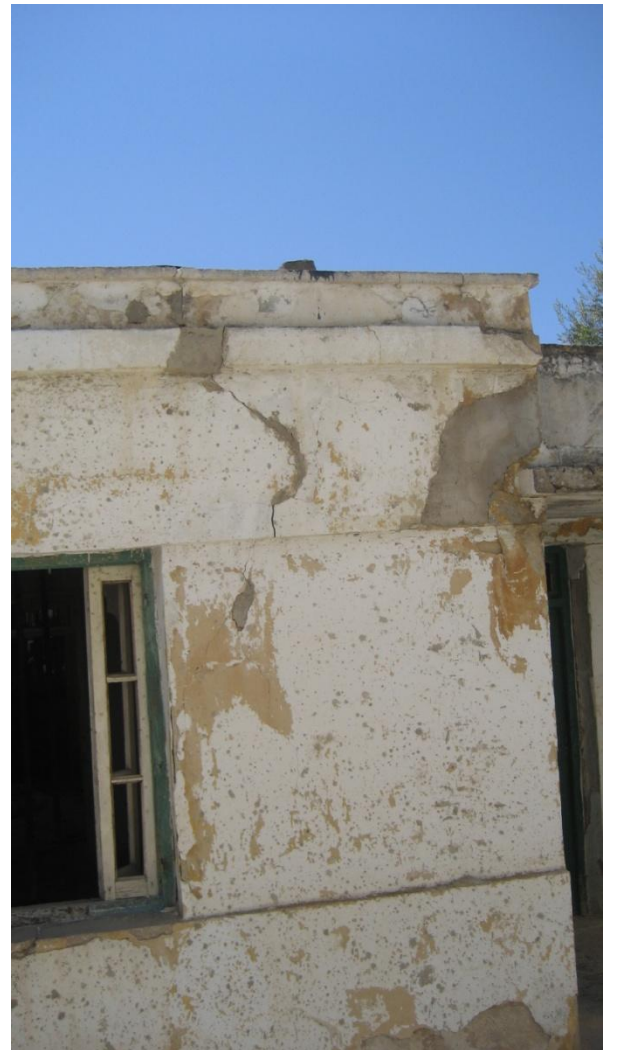
[1] Φωτογραφίες Μονώροφης Κατοικίας (1980)



[2] Φωτογραφίες
4^ο Κτηρίου με
συγκροτήματα
(2004)



[3] Φωτογραφίες Κατοικίας (1985)



[4] Φωτογραφίες Κατοικίας (1975)



[5] Φωτογραφίες Μεζονέτας (1994)



**[6] Φωτογραφίες Παραθαλάσσιας
Κατοικίας (2005)**



4.2.1.6. Συμπεράσματα για τον οπτικό έλεγχο

Συνοψίζοντας όλα τα δεδομένα και τα στοιχεία που μαζεύτηκαν κατέληξα στα τελικά μου συμπεράσματα. Εξετάζοντας τα διάφορα κτήρια και γέφυρες και γνωρίζοντας την ηλικία κατασκευής τους, καταλήγω στο συμπέρασμα πως η διάβρωση του χάλυβα σαφώς επηρεάζεται με την ηλικία κατασκευής των κτηρίων. Η διάβρωση αυξάνεται με την ηλικία κατασκευής των κτηρίων γιατί σχετίζεται άμεσα με τον ρυθμό διάχυσης των χλωριόντων στο σκυρόδεμα. Αυτό που επηρεάζει σημαντικά τις παραμορφώσεις ενός κτηρίου και ειδικά της μακροχρόνιες (π.χ ερπυσμός) αλλά και την ρηγμάτωση του σκυροδέματος, είναι η αντοχή του σκυροδέματος η οποία επηρεάζεται σημαντικά από την ποιότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του (π.χ αδρανή και τσιμέντο). Στην περίπτωση της περιοχής της Πάφου, τα κτήρια και οι γέφυρες που έχουν κατασκευαστεί μεταξύ 1975-1985 έχουν τα μεγαλύτερα προβλήματα διάβρωσης σε σχέση με τα κτήρια και τις γέφυρες των χρονικών περιόδων 1989-2010 που έχουν εξεταστεί. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα αδρανή που έχουν χρησιμοποιηθεί εκείνη την περίοδο ήταν κακής ποιότητας και η διάβρωση ήταν πιο εύκολο να επιτευχθεί. Ακόμη από τον πίνακα 4.2.1.2.2. και το παράδειγμα στην Γκουανταλαχάρα, δείχνει ότι η διάβρωση του χάλυβα επηρεάζεται άμεσα από την χημική σύσταση του μετάλλου.

Δεν ξεχνάμε ότι μετά τα τραγικά γεγονότα του 1974 όταν έγινε η εισβολή στην Κύπρο από τους Τούρκους, τα πράγματα και η καθημερινότητα όλων είχε αλλάξει πάρα πολύ. Τότε υπήρχε έλλειψη καλής ποιότητας αδρανών υλικών με αποτέλεσμα να οδηγηθεί η παραγωγή σκυροδέματος με κατώτερες μηχανικές ιδιότητες, έχοντας επίδραση στην ανθεκτικότητα του χάλυβα που χρησιμοποιείτε για τον οπλισμό του σκυροδέματος. Αποδεδειγμένα αποτελέσματα φαίνονται και στον πίνακα 4.2.1.2.3. με τις θλιπτικές αντοχές του σκυροδέματος.

Επιπλέον, επειδή τα πλείστα κτήρια βρίσκονται κοντά στην θάλασσα ή αν όχι όλα τα υπόλοιπα βρίσκονται σε πολύ μικρή ακτίνα από τα παράλια, εκτίθενται πολύ εύκολα με φυσικό τρόπο στην διάβρωση, λόγω της δράσης των χλωριόντων. Ο τρόπος που κινούνται τα χλωριόντα (η δράση τους) μέσα στο σκυρόδεμα ανάλογα με τον χρόνο και τον τόπο καθώς επίσης και ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του χάλυβα περιγράφεται καλύτερα στο Κεφάλαιο 2.

Η σεισμική δραστηριότητα μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο σε ένα κτήριο με διάβρωση. Επειδή ο χάλυβας οξειδώνεται τόσο από την ενανθράκωση (αποπαθητικοποίηση χάλυβα) όσο και από την επίδραση των χλωριόντων, η ολκιμότητα του χάλυβα μειώνεται, χάνει τις αρχικές του αντοχές και δεν έχει την ίδια συνοχή και συνάφεια με το σκυρόδεμα όπως είχε αρχικά. Έτσι με την επίδρασή ενός σεισμού, μπορεί να δημιουργηθεί, μέχρι και κατάρρευση του κτηρίου. Η σεισμική συμπεριφορά στο μέλος του χάλυβα μπορεί να επιφέρει δυσμενείς επιπτώσεις. Πρέπει πάντοτε λοιπόν να βρισκόμαστε σε ετοιμότητα και να ενισχύουμε τα κτήρια τα οποία έχουν υποστεί διάβρωση για να αποφευχθεί η κατάρρευση που συνεπάγεται εάν υπάρχουν άτομα εντός του κτηρίου, και την απώλεια ανθρώπινων ζώων. Είναι σημαντικό να γίνονται ανά χρονικά διαστήματα μελέτες, οι οποίες θα δείχνουν τρόπους αντίστασης της διάβρωσης στα διάφορα κτήρια που είναι κατασκευασμένα από RC.

Επίσης, τα μετεωρολογικά δεδομένα στην χώρα μας, μας δείχνουν ότι ο συνδυασμός σχετικής υγρασίας με τις μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες μπορούν να επιταχύνουν πολύ εύκολα την διαδικασία διάβρωσης. Για το συγκεκριμένο θέμα το μόνο που μπορεί να γίνει και να προβλέπεται, είναι να συντηρούνται τα κτήρια ανά χρονικά διαστήματα με την χρήση πρωτοπόρων μονωτικών υλικών π.χ μονωτικές βαφές, να χρησιμοποιούνται για την περαιτέρω προστασία των κτηρίων. Στις οικοδομές που πρόκειται να κατασκευαστούν στο μέλλον, συνιστάται κυρίως για παραθαλάσσιες περιοχές, να βάφεται ο οπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί με αντιδιαβρωτική μπογιά έτσι ώστε να μην μπορούν να διαπεράσουν εύκολα τα χλωριόντα άλατα το προστατευτικό στρώμα του οξειδίου του χάλυβα.

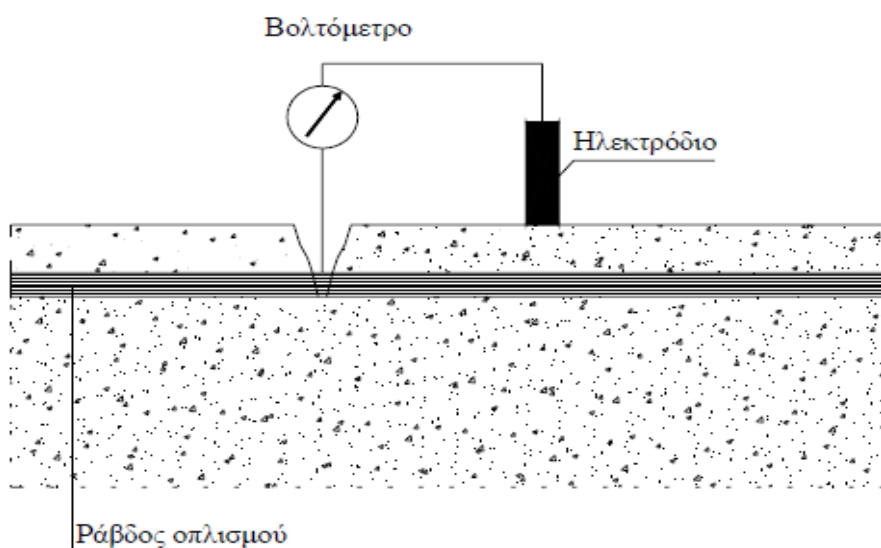
4.2.2. Half-Cell Method

Πολλές φορές απαιτείται να γνωρίζουμε την κατάσταση διαβρώσεως του χάλυβα και την υγρασία του σκυροδέματος προκειμένου να αποφασίσουμε αν απαιτείται να ληφθούν μέτρα προστασίας. Ο κίνδυνος διαβρώσεως του χάλυβα μπορεί να ελεγχθεί μετρώντας το ελεύθερο δυναμικό του χάλυβα (Half-cell method), η υγρασία του σκυροδέματος μετρώντας την μεταβολή της αντιστάσεως, ενώ η ταχύτητα διαβρώσεως του χάλυβα μπορεί να εκτιμηθεί με την μέτρηση της αντιστάσεως πολώσεως. Όλες οι μέθοδοι απαιτούν πεπειραμένο προσωπικό. Οι μέθοδοι είναι ελαφρώς καταστρεπτικές καθώς απαιτούν την αποκάλυψη του οπλισμού.

Γενικότερα, οι μετρήσεις του δυναμικού χάλυβα γίνονται με ηλεκτρόδιο αναφοράς χαλκού / θεικού χαλκού CSE (Cu/CuSO_4) ή Αργύρου / χλωριούχου αργύρου (Ag/AgCl) βαθμονομημένο σε τιμές ηλεκτροδίου χαλκού /θεικού χαλκού, ή ηλεκτρόδιο καλομέλανος SCE ($\text{Hg} / \text{HgCl}/\text{KCl}$) ανάγοντας τις αναγνώσεις σε τιμές ηλεκτροδίου χαλκού / θεικού χαλκού με την εξής σχέση:

$$V_{\text{SCE}+240} = V_{\text{CSE}+300} \text{ [mV]} \text{ (Εξίσωση 4.2.2.1)}$$

Η αρχή της μεθόδου φαίνεται πιο κάτω σχήμα:



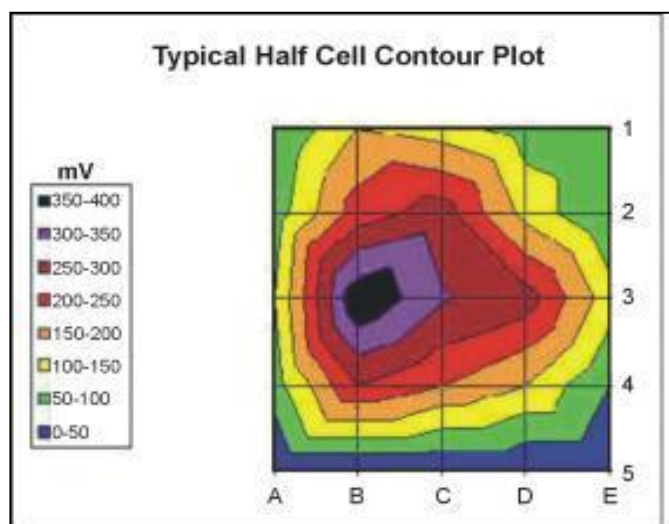
Σχήμα 4.2.2.1. : Μέτρηση δυναμικού χάλυβα

Οι μετρήσεις διαφοράς ηλεκτρικού δυναμικού είναι από τις πιο συνηθισμένες στην πράξη για την διερεύνηση της αποπαθητικότητας του οπλισμού που σημαίνει ότι η διάβρωση πρόκειται να αρχίσει σύντομα, αν δεν έχει αρχίσει ήδη. Για να γίνει η μέτρηση, απαιτείται να προηγηθεί αποκάλυψη των ράβδων του οπλισμού σε ορισμένες θέσεις και ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους για να διαπιστωθεί ότι υπάρχει και ηλεκτρική συνέχεια. Στην συνέχεια, συνδέεται μια ράβδος μέσω ηλεκτρικού καλωδίου με ένα πόλο βολτομέτρου, ενώ ο άλλος συνδέεται με ηλεκτρόδιο αναφοράς που είναι σε επαφή με την επιφάνεια σκυροδέματος. Το ηλεκτρόδιο μετακινείται στην επιφάνεια του σκυροδέματος, με μετρήσεις που γίνονται κάθε ένα μέτρο περίπου. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της μεθόδου όπου η διαφορά δυναμικού υπερβαίνει τα 200mV, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα αποπαθητικοποίησης των ράβδων και λαμβάνονται μετρήσεις σε μικρότερες αποστάσεις π.χ κάθε 25 ως 50cm. Διαφορές δυναμικού πάνω από 350mV σημαίνουν βέβαιη αποπαθητικοποίηση των υποκείμενων ράβδων. Εντούτοις η τυφλή αποδοχή των παραπάνω τιμών μπορεί να οδηγήσει σε παραπλανητικά συμπεράσματα και διάφορα δυναμικού ακόμα και πάνω από 350mV μπορεί να μην συνεπάγεται την παρουσία σημαντικής διάβρωσης. Το φαινόμενο αυτό, σχετίζεται στενά με φαινόμενα πόλωσης προερχόμενα από την περιορισμένη διάχυση του οξυγόνου στο προς εξέταση μέλος οπλισμένου σκυροδέματος. Λόγω της περιορισμένης πρόσβασης του οξυγόνου, ο χάλυβας ενεργοποιείται αλλά η διαδικασία της διάβρωσης δεν προχωρά ενώ το μετρούμενο δυναμικό μπορεί να πέσει ακόμα και κατά 1V σε σχέση με το διαποτισμένο ηλεκτρόδιο. Για το λόγο αυτό η μέθοδος πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή σε βυθισμένο περιβάλλον ή σε περιβάλλον με μεγάλη σχετική υγρασία σκυροδέματος, γιατί υπερτιμά σημαντικά το βαθμό διάβρωσης.

Ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη, είναι ότι τα σκυροδέματα παρουσιάζουν διαφορετική ηλεκτρική αγωγιμότητα ανάλογα κυρίως με την ανθεκτικότητα και αντοχή τους και το φαινόμενο αυτό μπορεί να εμφανιστεί και για διάφορες στρώσεις του ίδιου μέλους. Έτσι στην ουσία, αν οι μετρήσεις δυναμικού γίνονται μακριά από τον οπλισμό εξαιτίας της επικάλυψης (μεικτά δυναμικά). Το μέτρο αυτής της διαφοροποίησης μπορεί να φτάσει τα 200-300mV, που είναι αρκετό για να κάνει τα συμπεράσματα αμφισβητήσιμα.

Συνοπτικά και σύμφωνα από τα δεδομένα της διεθνούς βιβλιογραφίας και όπως αναφέρεται στο ASTM C 876 - 87 διακρίνονται τα εξής ενδεχόμενα:

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



Σχήμα 4.2.2.2.: Παράδειγμα διαγράμματος ημιδυναμικού
(Καλυβά,2005)

Επιπλέον απομακρυσμένα ηλεκτρικά ρεύματα, η θέση αναφοράς του ηλεκτροδίου, ο τύπος του τσιμέντου και η παρουσία ρηγματώσεων, επηρεάζουν τις μετρήσεις των δυναμικών χωρίς αυτές οι διαφοροποιήσεις να μπορούν να προβλεφτούν.

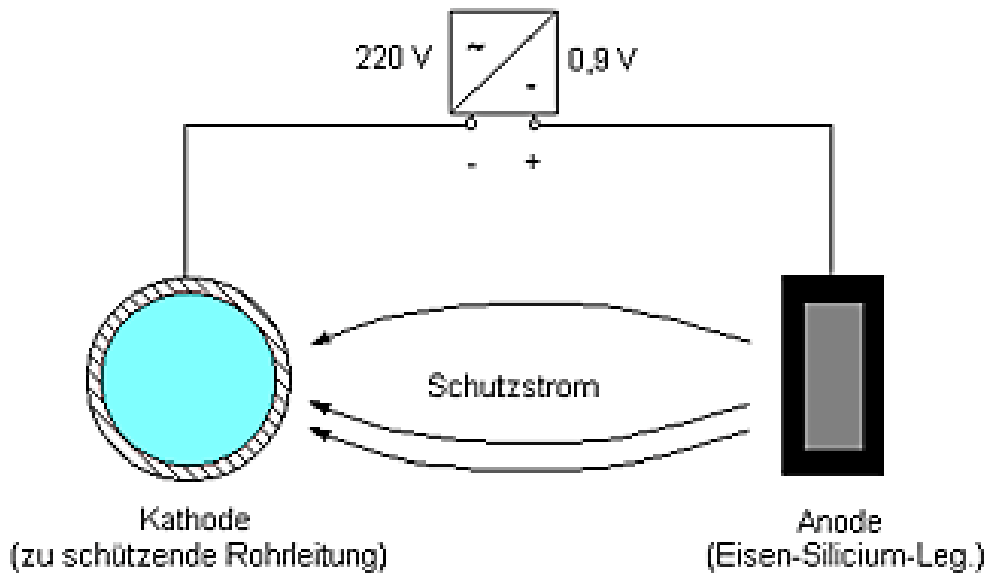
Παρόλα αυτά η τεχνική αυτή θεωρείται ότι μπορεί να εφαρμοστεί για μια πρώτη προσέγγιση χαρτογράφησης της διάβρωσης του οπλισμού σε μία κατασκευή.
(Σπανός, Σπιθάκης και Τρέζος, 2001)

4.2.3.Μέθοδος Καθοδικής Προστασίας με την Χρήση Ηλεκτρικού ρεύματος

Ο σκοπός της συγκεκριμένης μεθόδου, είναι να αποφευχθεί η ενανθράκωση στους οπλισμούς και να επανέλθει η αλκαλικότητα του σκυροδέματος. Κατά την μέθοδο της καθοδικής προστασίας, προστατεύουμε την εγκατάσταση που θέλουμε φορτίζοντας την αρνητικά. Με αυτό τον τρόπο μετατρέπουμε την άνοδο της εγκατάστασης που είχε αρχικά σε κάθοδο.

Με την χρήση του συστήματος με εφαρμοζόμενο ρεύμα, συνδέεται ο θετικός πόλος μιας πηγής συνεχούς ρεύματος με την επιφάνεια του σκυροδέματος, και ο αρνητικός πόλος συνδέεται με τους οπλισμούς. Οι οπλισμοί γίνονται κάθοδος και η επιφάνεια του σκυροδέματος γίνεται άνοδος. Τα ανιόντα του υδροξυλίου (OH^-) που προκύπτουν λόγω της καθόδου του χάλυβα των οπλισμών, όταν αντιδράσει με το νερό των πόρων με το οξυγόνο, τα ηλεκτρόνια από την κάθοδο κινούνται στην επιφάνεια αντί να κατευθύνονται στο μήκος του οπλισμού. Ακόμη στην επιφάνεια του σκυροδέματος, κινούνται λόγω της τάσης του εφαρμοζόμενου ρεύματος τα τυχόν χλωριόντα του νερού των πόρων και της μάζας του σκυροδέματος. Η διάβρωση επιτυγχάνεται με την οξειδωση στην εξωτερική επιφάνεια του σκυροδέματος.

Η συγκεκριμένη μέθοδος απαιτεί προσεκτική εγκατάσταση γιατί εάν εφαρμοστεί σε συνθήκες ακατάλληλες και λανθασμένες, τότε αυξάνεται η ταχύτητα της διάβρωσης λόγω της αύξησης της καθοδικότητας της εγκατάστασης πάνω από συγκεκριμένο όριο. Ένα μεγάλο τμήμα της επιφάνειας του σκυροδέματος επαλείφεται με ένα συνεχές στρώμα ηλεκτρικά αγωγιμής μπογιάς και στην συνέχεια συνδέεται με τα ηλεκτρικά καλώδια (σε αποστάσεις πολύ μικρές) από τον θετικό πόλο της ηλεκτρικής πηγής. (Δημάδη και Κατσεινίου,2007)



Σχήμα 4.2.3. : Απεικόνιση σχήματος καθοδικής προστασίας με χρήση ηλεκτρικής πηγής

4.2.3.1. Πλεονεκτήματα με το σύστημα εφαρμοζόμενου ρεύματος

- ❖ Έχει μεγάλη διάρκεια ζωής των ανόδων και δεν απαιτεί συχνή αντικατάσταση
- ❖ Επειδή παρέχει υψηλές τάσεις μέχρι και 100V, μπορεί να τοποθετηθεί μακριά από την κατασκευή
- ❖ Προστατεύεται μεγάλο μέρος της κατασκευής λόγω της ανόδου που παρέχει υψηλά ποσοστά ρεύματος
- ❖ Παρέχει πλήρης αναστολή της διάβρωσης του χάλυβα όταν εφαρμόζονται ποικίλες τιμές ρεύματος

4.3.2.2. Μειονεκτήματα με το σύστημα εφαρμοζόμενου ρεύματος

- ❖ Τα όρια των τιμών της καθοδικής τάσης, πρέπει να γίνονται με σωστή εκλογή από προηγούμενη εργαστηριακή έρευνα
- ❖ Πρέπει να ρυθμίζεται συχνά και να προσαρμόζεται
- ❖ Το σκυρόδεμα και ο χάλυβας έχουν ασυνάφεια
- ❖ Μπορεί να αλληλεπιδράσει με τις γειτονικές εγκαταστάσεις και να προκαλέσει διάβρωση
- ❖ Σε περιπτώσεις προεντεταμένων χαλύβων δεν μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα λόγω του κινδύνου ψαθυροποίησης από έκλυση υδρογόνου

4.3.Καταστρεπτικές Δοκιμές Χάλυβα

Οι καταστρεπτικές δοκιμές του χάλυβα όπως αναφέρει και ο χαρακτηρισμός τους, για να πραγματοποιηθούν απαιτούν την ελάχιστη καταστροφή του στρώματος του οπλισμένου σκυροδέματος έτσι ώστε να μπορεί να εξετασθεί η διαβρωμένη περιοχή με την χρήση διαφόρων μεθόδων. Όσο αφορά τις καταστρεπτικές δοκιμές του χάλυβα για την συγκεκριμένη μελέτη, εξετάστηκαν δύο διαφορετικές μεθοδολογίες:

- ❖ Η Μέθοδος επιταχυνόμενης διάβρωσης θαλάμου αλατονέφωσης
- ❖ Υγρή και Ξηρή Μέθοδος (Water and Dry Method)

Οι δύο μέθοδοι αναφέρονται αναλυτικά στην συνέχεια επεξηγώντας τον τρόπο λειτουργίας τους και τι αποτελέσματα δίνουν με την εφαρμογή τους στις διάφορες κατασκευές με εμφανή σημάδια διάβρωσης.

4.3.1.Μέθοδος Επιταχυνόμενης διάβρωσης Θαλάμου αλατονέφωσης

Η χρήση της μεθόδου της αλατονέφωσης εφαρμόζεται για τον έλεγχο της επιδεκτικότητας των μεταλλικών και μη μεταλλικών υλικών στην διάβρωση όπως επίσης και για τον έλεγχο του βαθμού προστασίας των επικαλύψεων. ((Κουτσούρης,2010)). Η μέθοδος θεωρείται καταστρεπτική και τα αποτελέσματα που λαμβάνονται, δεν είναι πάντοτε ανάλογα με αυτά που προκαλούνται σε πραγματικές συνθήκες. Η μέθοδος είναι πολύ χρήσιμη για την συγκριτική μελέτη της συμπεριφοράς των υλικών και μπορεί να επιταχύνει την διαδικασία διάβρωσης του χάλυβα.

4.3.1.1 Αρχή Λειτουργίας

Η συσκευή αλατονέφωσης, δημιουργεί σε ένα κλειστό θάλαμο, τον θάλαμο πειραμάτων, κατάλληλες συνθήκες (που μπορούν να ρυθμιστούν από τον χειριστή της) για να επιταχυνθεί το φαινόμενο της διάβρωσης σε συγκεκριμένο υλικό και στην περίπτωση μας, στον χάλυβα. Επιδιώκεται πάντοτε οι συγκεκριμένες συνθήκες να αναπαράγουν όσο το δυνατόν πιστότερα τις επιπτώσεις που έχουν οι πραγματικές συνθήκες εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα και την αύξηση του ρυθμού διάβρωσης. Τα δείγματα, τοποθετούνται μέσα στο θάλαμο για κάποιο χρονικό διάστημα κάτω από συνθήκες που έχουν οριστεί από τον χειριστή του θαλάμου.

Η δημιουργία των επιθυμητών συνθηκών γίνεται με την ρύθμιση της θερμοκρασίας μέσα στον θάλαμο των πειραμάτων και τον ψεκασμό κατάλληλου διαβρωτικού μέσου (διάλυμα NaCl). Σε τελική ανάλυση, ο θάλαμος αλατονέφωσης προετοιμάζει το προς εξέταση υλικό και το όφελος που προσφέρει, είναι η επιτάχυνση της διάβρωσης σε σχέση με τις πραγματικές συνθήκες. Στο τέλος αφαιρούνται τα δείγματα και γίνεται συσχέτιση των αποτελεσμάτων.

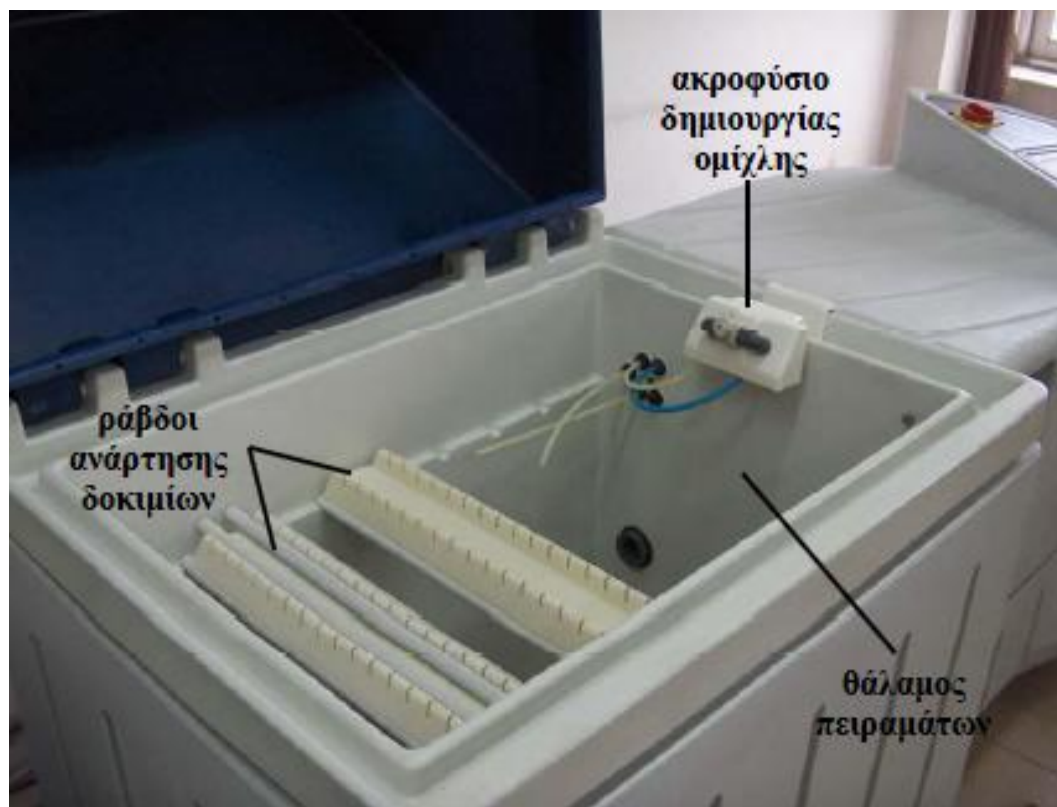
4.3.1.2. Περιγραφή της συσκευής

Η συσκευή αλατονέφωσης αποτελείται από τρία τμήματα:

- (α) Το θάλαμο πειραμάτων στον οποίο τοποθετούνται τα προς εξέταση υλικά
- (β) Το σύστημα αποθήκευσης, τροφοδοσίας και εκνέφωσης του διαβρωτικού μέσου
- (γ) Το σύστημα ελέγχου και καταγραφής των συνθηκών μέσα στον θάλαμο πειραμάτων



Φωτογραφίες Θαλάμου αλατονέφωσης SC-450



4.3.1.3.Πεδίο εφαρμογής

Η τεχνική της μεθόδου χρησιμοποιείται στην έρευνα για κάθε είδος μεταλλικού υποστρώματος είτε αυτό είναι επικαλυμμένο είτε δεν είναι. Επίσης συνιστά την πιο χρήσιμη μέθοδο αναπαραγωγής των διαβρωτικών συνθηκών που παρατηρούνται σε παραθαλάσσιες περιοχές. Η μέθοδος είναι περισσότερο αποτελεσματική για την επισήμανση υλικών πολύ χαμηλής ποιότητας σε σχέση με την υπόλοιπη παραγωγή, έτσι ο ρυθμός διάβρωσης είναι πολύ ταχύτερος και οι οπτικές διαφορές είναι πολύ πιο έντονες.

Για να εξαχθούν συγκρίσιμα αποτελέσματα, συντάχθηκαν ορισμένα πρότυπα όπως γίνονται στον πίνακα 4.3.1.3.1.

Κωδικός Προτύπου	Πεδίο Εφαρμογής	Διαβρωτικό Μέσο	Χρόνος (hr)	Θερμοκρασία Θαλάμου (°C)
ASTM B117	Έλεγχος οργ. και ανόργ. Επιστρώσεων σε μεταλλικά υποστρώματα	5% NaCl, pH=6.5-7.2	8-3000	35 +1,1 ή -1,7
ASTM G85	Όπως πριν, αλλά και για διακοσμητικές επικαλύψεις Cu-Ni-Cr ή Ni-Cr και επικαλύψεις Cd	5% NaCl, pH=3.1-3.3 με προσθήκη CH ₃ COOH	16-240	35 +1,1 ή -1,7
ASTM B368	Για διακοσμητικές επικαλύψεις Cu-Ni-Cr ή Ni-Cr και αναδύομενο ή φωσφατωμένο Al	5% NaCl, 1g CuCl ₂ ·2H ₂ O ανά 3,8 lt διαλύματος, pH=3.1-3.3 με προσθήκη CH ₃ COOH	6-720	49 +1,1 ή -1,7

Πίνακας 4.3.1.3.1.: Κυριότερα πρότυπα για την λειτουργία του θαλάμου αλατονέφωσης

4.3.4.Κριτική της μεθόδου και σύγκριση εργαστηριακής διάβρωσης με την φυσική διάβρωση

Η αλατονέφωση, παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα. Δίνει τα επιθυμητά αποτελέσματα σε γρήγορο χρονικό διάστημα. Η χρήση της μεθόδου είναι απλή. Με τις σύγχρονες διατάξεις προγραμματισμού που προσφέρονται, η υλοποίηση συγκεκριμένων συνθηκών γίνεται πολύ εύκολα. Το λειτουργικό κόστος της διάταξης είναι αρκετά χαμηλό, λόγω του διαβρωτικού μέσου που χρησιμοποιείται (υδατικό διάλυμα NaCl) , το οποίο είναι απλό στην Παρασκευή και διατίθεται στην αγορά σε χαμηλές τιμές.

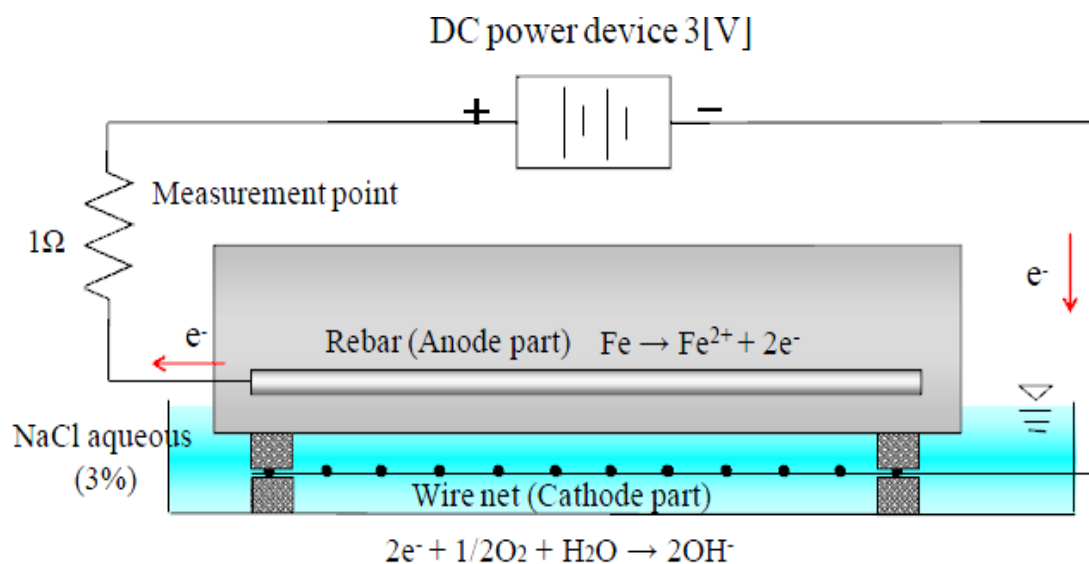
Παρόλα αυτά, η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της μεθόδου αμφισβητείται έντονα επειδή η επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων που δίνει, είναι μικρή. Αυτό επηρεάζεται από τον χαρακτήρα της διάβρωσης, έτσι για να αποφεύγεται το πρόβλημα αυτό, κατά την εκτέλεση της δοκιμής, συνίσταται να χρησιμοποιείται μεγάλο πλήθος όμοιων δειγμάτων που θα εκτίθενται στις ίδιες συνθήκες ή να γίνεται επανεκτέλεση της μεθόδου στις ίδιες συνθήκες, για να γίνεται μια στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Όσο αφορά την ταυτότητα των αποτελεσμάτων εάν είναι η ίδια με τα ίδια δείγματα να εκθέτονται σε πραγματικές συνθήκες (στην φύση). Ένα παράδειγμα είναι η περίπτωση του ψευδάργυρου (Zn). Λόγω του μεγάλου βαθμού της δημιουργίας στρωμάτων ανθρακικών αλάτων που καλύπτουν την επιφάνεια του, έχει σταθερότητα στο περιβάλλον. Εάν ένα δοκίμιο από ψευδάργυρο ή από γαλβανισμένο χάλυβα δεν εκτεθεί σε τέτοιες συνθήκες, θα διαβρωθεί πολύ γρήγορα όπως γίνεται και με την μέθοδο αλατονέφωσης και θα φανεί πολύ επιρρεπές στην διάβρωση αντίθετα από την πραγματικότητα.

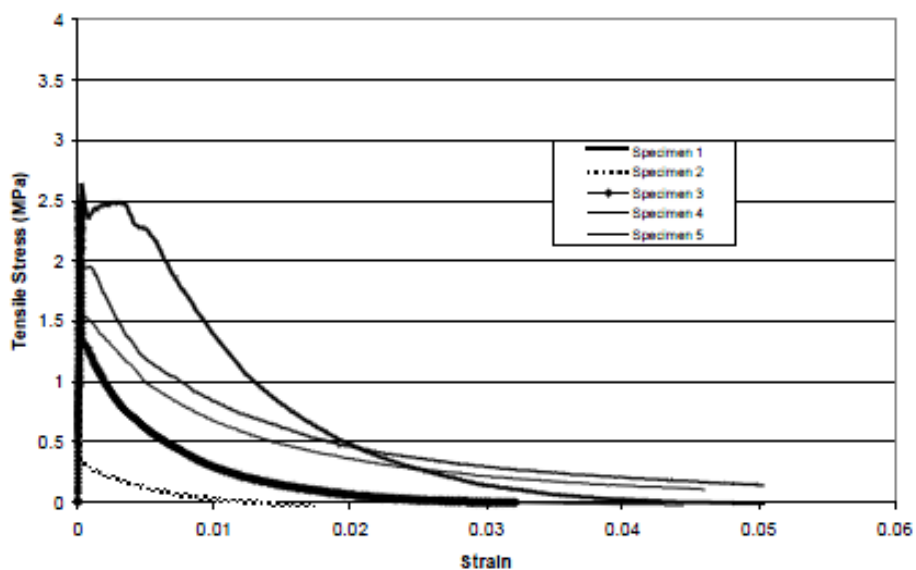
Δεν υπάρχει κάποια ασφαλής μέθοδος που μπορεί να προβλέπει τον πραγματικό χρόνο ζωής των δοκιμίων από τον χρόνο παραμονής αλλά και την ζημιά που μπορεί να υποστεί στην αλατονέφωση. Για ορισμένα είδη χαλύβων, έχουν αναπτυχθεί μοντέλα και έχουν προσδιοριστεί κάποιοι εμπειρικοί συντελεστές με τους οποίους μπορούμε να προσδιορίσουμε στην πράξη τον αντίστοιχο χρόνο. Η ακρίβεια είναι μόλις 2 μέχρι 5 έτη για χρόνο πρόβλεψης. (Πιστοφίδης *et al.*, 2006)

4.3.2. Υγρή και Ξηρή Μέθοδος

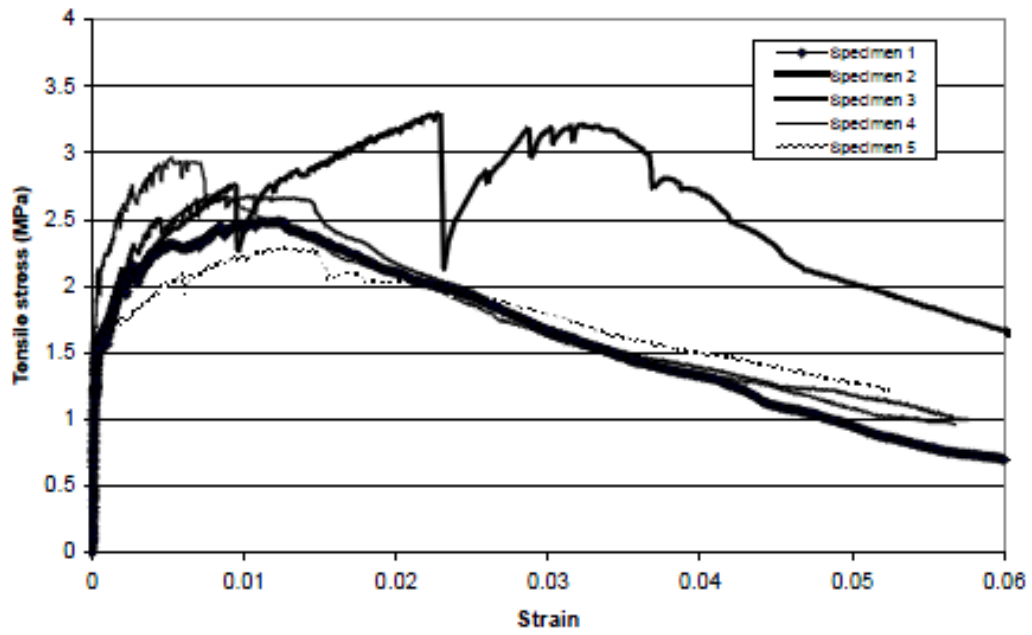
Η μέθοδος αυτή, αναφέρεται σε μια σειρά μακροπρόθεσμων δοκιμών διάβρωσης με σύνθετα υλικά ενισχυμένα με ίνες που περιέχουν τσιμέντο πολυαιθυλενίου (PE), υβριδικά χαλύβδινα κορδόνια (SC) και ίνες (PE). Γίνονται τρεις διαφορετικές δοκιμές με τρία διαφορετικά υλικά ταυτόχρονα. Η διαδικασία για την εκτέλεση της μεθόδου, ξεκινά υποβάλλοντας αρχικά τα δείγματα ράβδων από χάλυβα με τα προαναφερόμενα υλικά, σε επιταχυνόμενη διάβρωση για ένα χρόνο με την εφαρμογή της εξωτερικής δύναμης ανόδου της ράβδου και μια κάθοδο κατασκευασμένη από ένα πλέγμα χάλυβα το οποίο τοποθετείται έξω από το σκυρόδεμα. Κατά διάφορα χρονικά διαστήματα γίνεται τακτική παρακολούθηση (regular monitoring) της ανθεκτικότητας των επιδόσεων των δειγμάτων και πώς κινείτε ο βαθμός διάβρωσης ως προς την περιοχή του δείγματος, προς το βάθος και ως προς το ποσοστό της ζημιάς που έχει υποστεί ο χάλυβας. Αφού περάσει ο ένας χρόνος, τα αποτελέσματα από το εργαστήριο, δείχνουν ότι το υβριδικό ενισχυμένο με σύνθετες τσιμεντοειδής ίνες (HFRCC), που περιέχει υβριδικό (SC) και ίνες (PE) παρουσιάζουν εξαιρετική απόδοση σε σύγκριση με το κονίαμα (Mortar) και τα ενισχυμένα σύνθετα υλικά με ίνες από τσιμεντοειδή (FRCC) που περιέχουν ίνες (PE). Η σειρά απόδοσης της ανθεκτικότητας είναι η εξής: HFRCC, FRCC, και το κονίαμα. Παρατηρήθηκε επίσης ότι η διάβρωση από τις ίνες SC στο δείγμα HFRCC, διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην σημαντική μείωση της διάβρωσης του χάλυβα στις ράβδους του δείγματος. (*Mihashi et al., 2011*)



Σχήμα 4.3.2.1.: Διαδικασία επιταχυνόμενης Διάβρωσης με την εφαρμογή της εξωτερικής δύναμης ανόδου της ράβδου



Σχήμα 4.3.2.2. : Γραφική Παράσταση Μηχανικής συμπεριφοράς σε εφελκυσμό στελέχου σκλήρυνσης FRCC υλικού που περιέχει 1,5% ίνες πολυαιθυλενίου

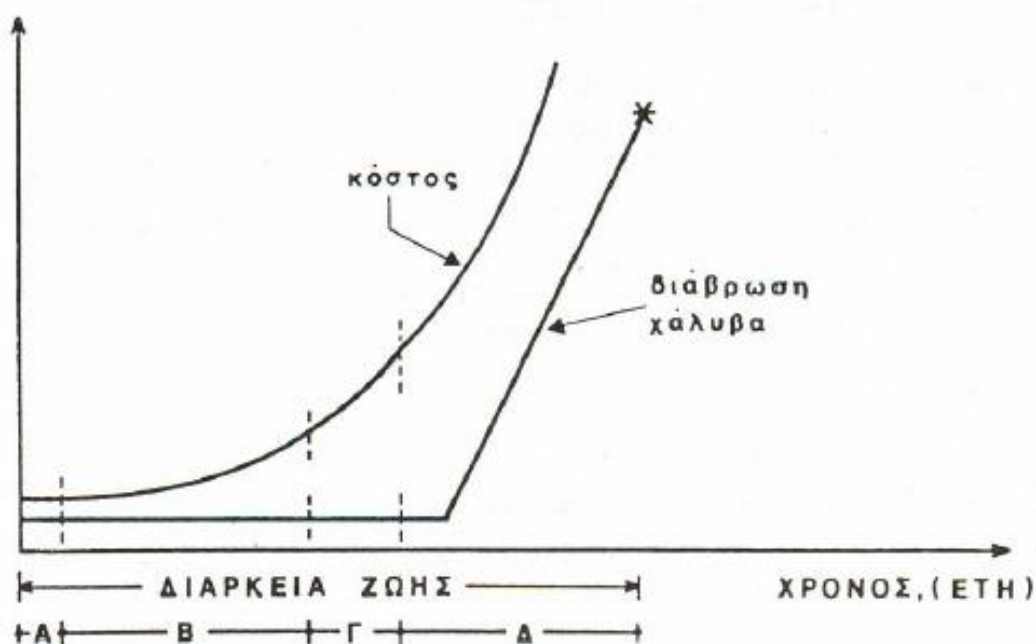


Σχήμα 4.3.2.3.: Γραφική Παράσταση Μηχανικής συμπεριφοράς σε εφελκυσμό στελέχου σκλήρυνσης HFRCC υλικού που περιέχει 0,75% ίνες πολυαιθυλενίου και 0,75% ίνες χάλυβα

5.ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ

5.1.Ελαχιστοποίηση του κόστους επισκευής και βελτιστοποίηση ανθεκτικότητας διαβρωμένων κτηρίων

Η λήψη έγκαιρων μέτρων σε μια υφιστάμενη κατασκευή που εκτίθεται σε περιβαλλοντικές επιδράσεις έχοντας σαν αποτέλεσμα την διάβρωση του οπλισμού του κτηρίου, εάν διαχειριστεί σωστά, το γενικευμένο κόστος μπορεί να ελαχιστοποιηθεί. Έχει μεγάλη σημασία να είμαστε σε ετοιμότητα για το πότε πρέπει να επέμβουμε αλλά και με ποιόν τρόπο μπορούμε να λάβουμε μέτρα έγκαιρα για την πρόληψη της αστοχίας της κατασκευής. Ο W. De Sitter το 1983, κατασκεύασε το διάγραμμα που απεικονίζεται πιο κάτω όπου φαίνεται η διάβρωση του χάλυβα και το αντίστοιχο κόστος επισκευής ως συνάρτηση του χρόνου που γίνεται η επισκευή. (Καλυβά,2005)



Σχήμα 5.1. : Διάβρωση χάλυβα για το αντίστοιχο κόστος επισκευής ως συνάρτηση του χρόνου κατά τον οποίο θα γίνει η επισκευή

5.1.1.Ανάλυση Φάσεων της Γραφικής Παράστασης

Φάση Α: Δεν έχει συμβεί διάβρωση οπλισμού

Φάση Β: Έχει συμβεί ενανθράκωση του σκυροδέματος ή διείσδυση χλωριόντων, χωρίς να έχει συμβεί διάβρωση του οπλισμού. Επαρκή μέτρα που μπορούν να ληφθούν, μπορεί να είναι η αφαίρεση της επικάλυψης και η κατασκευή νέας με μεγαλύτερο πάχος.

Φάση Γ: Άρχισε να γίνεται η διεργασία διάβρωσης του οπλισμού και ξεκινά η διαμήκης ρηγμάτωση και μερική αποφλοίωση της επικάλυψης. Η επέμβαση περιλαμβάνει την αφαίρεση όλου του κατεστραμμένου σκυροδέματος και να γίνει κατασκευή νέου, επιχρίζοντας την επιφάνεια του σκυροδέματος.

Φάση Δ: Ο οπλισμός έχει διαβρωθεί σε εκτεταμένες περιοχές. Πρέπει να αφαιρεθούν και να αντικατασταθούν τμήματα από την κατασκευή. (Αύξηση κόστους επισκευής)

Όσο πιο γρήγορα επέμβουμε στην κατασκευή και λάβουμε προληπτικά μέτρα για να βελτιώσουμε την ανθεκτικότητα μιας κατασκευής, τόσο πιο μικρό θα είναι το κόστος και ο βαθμός διάβρωσης.

Συμπεράσματα

Για να είμαστε σε θέση να επιλέξουμε την βέλτιστη λύση και να μπορούμε να προτείνουμε μέτρα έτσι ώστε να αντιμετωπίσουμε την διάβρωση, θα πρέπει να γνωρίζουμε πολύ σημαντικά στοιχεία όπως είναι η διαπερατότητα και η υγρασία του σκυροδέματος, το βάθος της ενανθράκωσης, την παρουσία χλωριόντων, την διάβρωση του χάλυβα καθώς επίσης και την αντίστοιχη του απώλεια.

Οι νέες κατασκευές οι οποίες πρόκειται να δημιουργηθούν, καλό θα είναι να ληφθεί εξ αρχής υπόψη, ότι για να προστατευτούν από το φαινόμενο της διάβρωσης, πρέπει να αυξηθεί η επικάλυψη των οπλισμών από σκυρόδεμα και να μειωθεί το πορώδες του τελευταίου μέσω κατάλληλης σύνθεσης. Η προτεινόμενη λύση είναι οικονομική αλλά και ασφαλής από οποιοδήποτε άλλο προϊόν προστασίας της διάβρωσης.

Επίσης, επιτυγχάνουμε ασφάλεια στις κατασκευές τόσο στις υφιστάμενες όσο και σε αυτές που πρόκειται να δημιουργηθούν, με την εφαρμογή επιχρισμάτων. Έστω και μετά από την πάροδο αρκετών χρόνων επιφέρει σημαντικά αποτελέσματα γιατί με την χρήση τους ανακόπτονται οι διεργασίες της διάβρωσης. (Φαρδής, 2005)

Ακόμη μια μέθοδος που προσφέρει άμεση προστασία στον οπλισμό, είναι η καθοδική προστασία. Όπου η διάβρωση του χάλυβα είναι περιορισμένη, γίνεται αντικατάσταση της επικάλυψης και καθαρίζονται οι ράβδοι του οπλισμού προσθέτοντας μέσα σε αυτούς εποξειδική ρητίνη. Εάν η διάβρωση όμως είναι εκτεταμένη, τότε χρειάζεται να γίνει ριζική ενίσχυση των στοιχείων στην κατασκευή.

Εξετάζοντας τόσο τις μη καταστρεπτικές όσο και τις καταστρεπτικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό της διάβρωσης στα διάφορα κτήρια, συμπεραίνω ότι με τις μη καταστρεπτικές δοκιμές, μπορούμε να αναστείλουμε τους μηχανισμούς διάβρωσης ενώ με τις καταστρεπτικές αυξάνουμε την φέρουσα ικανότητα της κατασκευής χωρίς να εμποδίζεται απαραίτητα η διαδικασία διάβρωσης. Είναι αναγκαίο να εφαρμόζονται μη καταστρεπτικές δοκιμές στις διάφορες κατασκευές που παρουσιάζουν προβλήματα διάβρωσης, έτσι ώστε να μπορούμε στην συνέχεια να κάνουμε ενεργές επεμβάσεις για να ενισχύσουμε την κατασκευή αν απαιτείται και να μειώσουμε τον βαθμό διάβρωσης. Η διάβρωση του

οπλισμού πάντα θα αποτελεί αναμφισβήτητα ένα από τα πιο καίρια προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει ο Πολιτικός Μηχανικός.

Βιβλιογραφία

- [1] Χρ.Σπανός, Μ.Σπιθάκης και Κ.Τρέζος, Αθήνα 2001, Τ.Ε.Ε. Αντισεισμική θωράκιση υφιστάμενων κατασκευών, ομάδα εργασίας Π-3: Πρακτικά – Διδακτικά Εγχειρίδια. Μεθόδοι για την επιτόπου αποτίμηση των Χαρακτηριστικών των υλικών
- [2] Web page Χαλυβουργικής (<http://www.halynourgiki.gr/>)
- [3] Mihashi, Hirozo and Ahmed, Shaikh Faiz Uddin and Kobayakawa, Ayuko, 2011, Corrosion of Reinforcing Steel in Fiber Reinforced Cementitious Composites. Journal of Advanced Concrete Technology 9(2): pp. 159-167
- [4] Κουτσούρης Σπ., Αθήνα 2010, Πειραματική Μελέτη και Αριθμητική Μοντελοποίηση της συμπεριφοράς σε κόπωση ρωγματομένων χαλύβδινων πλακών ενισχυμένων με επιθέματα από σύνθετα υλικά υπό την επίδραση του θαλάσσιου περιβάλλοντος
- [5] Ν.Πιστοφίδης, Γ.Βουρλιάς, Γ.Στεργιούδης, Δ.Τσίπας, Θεσσαλονίκη 2006, Η χρήση του Θαλάμου Αλατονέφωσης ως Μεθόδου Μελέτης της Διάβρωσης των Μετάλλων σελ. 3-12
- [6] Καλυβά Α.,2005, Εντοπισμός και τρόποι ενίσχυσης των στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος με διαβρωμένο οπλισμό
- [7] D.Hadjimitsis and K.Neocleous, Cyprus 2012, Technical Parameters of Typical Constructions in Cyprus since the 1930s, Working Selection Protocol & Short-list of Selected Buildings
- [8] Κουρνέτας Δ., Πάτρα 2010, Διάβρωση Οπλισμένου Σκυροδέματος-Μέτρα Επέμβασης
- [9] Δημάδη Κ. και Κατσενίου Γ.,2007, Διάβρωση Χάλυβα Οπλισμένου Σκυροδέματος & Τρόποι Αποκατάστασης
- [10] Κ.Τρέζος, Αθήνα 2009, Αποτίμηση των ιδιοτήτων των υλικών σε υφιστάμενες κατασκευές

- [11] Μ.Φαρδής, Πάτρα 2005, Μαθήματα οπλισμένου σκυροδέματος Μέρος ΙΙΙ, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών
- [12] Neerav Verma, Indian Institute of Technology, Kanpur, Corrosion of Steel Reinforcements in Concrete
- [13] Π.Τσίκας και Χ.Παπασυριδάκος, Ανθεκτικότητα Οπλισμένου σκυροδέματος σε διάρκεια
- [14] Wikipedia
- [15] Τάσιος, Θ.Π. και Ασλιγιζάκη, Κ., Αθήνα 1993, Ανθεκτικότητα οπλισμένου σκυροδέματος, Εκδόσεις Φοίβος
- [16] Web page buildnet,2010,Ανάλυση κόστους ζωής κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος
(<http://www.buildnet.gr/default.asp?pid=119&la=1&catid=117&artid=1886>)

Παραρτήματα : Φωτογραφικό Υλικό από διάφορα κτήρια που εξετάστηκαν με εμφανή προβλήματα διάβρωσης







