



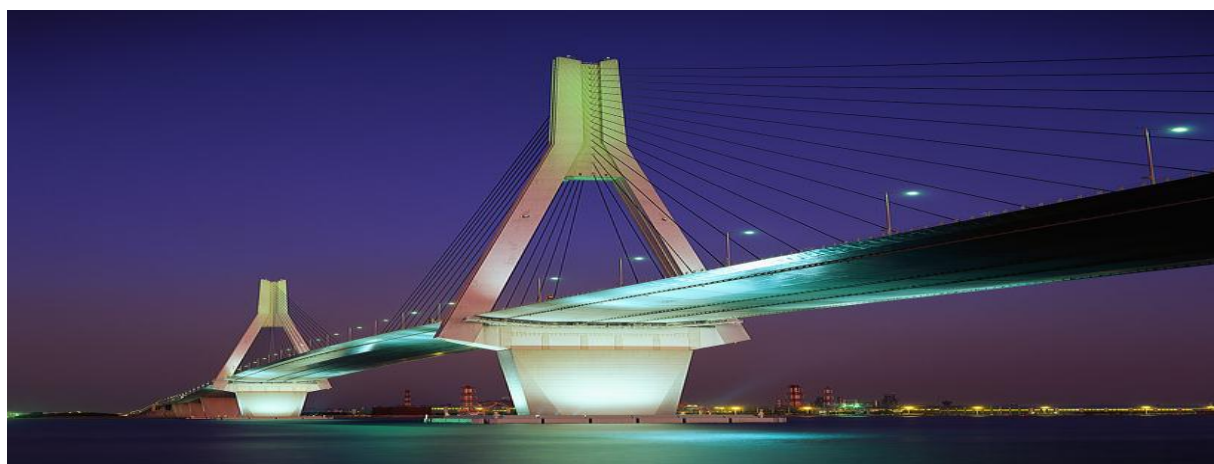
ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (Τ.Ε.Ι.) ΠΑΤΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Παθολογία γεφυρών λόγω δράσης  
χλωριόντων και ενανθράκωσης.  
Υπολογισμός της χρονικής περιόδου  
και του κόστους συντήρησής τους  
με τη χρήση Η/Υ**



**ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ – ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ :**

**Δρ. ΔΙΟΝΥΣΙΑ-ΠΗΝΕΛΟΠΗ Ν. ΚΟΝΤΟΝΗ**

**Δρ. Πολιτικός Μηχανικός,**

**Αναπλ. Καθηγήτρια Τ.Ε.Ι. Πάτρας.**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΕΣ:**

**ΕΙΡΗΝΗ ΑΛΕΞΑΚΗ Α.Μ.:4565**

**ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΡΕΨΗ Α.Μ.:4558**

**ΙΩΑΝΝΗΣ ΠΑΠΑΝΤΩΝΙΟΥ**

**Πολιτικός Μηχανικός, Μ.Δ.Ε.,**

**(Εργαστ. Συνεργάτης Τ.Ε.Ι. 2010-11).**

**ΠΑΤΡΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2012**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΗΡΙΑ**

*Ευχαριστούμε θερμά,*

Την Εισηγήτρια και Επιβλέπουσα της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας Δρ. Διονυσία-Πηνελόπη Κοντονή, Δρ. Πολιτικό Μηχανικό και Αν. Καθηγήτρια Τ.Ε.Ι. Πάτρας και τον Εισηγητή και Επιβλέποντα κ. Ιωάννη Παπαντωνίου, Πολιτικό Μηχανικό, ΜΔΕ, (Εργαστηριακό Συνεργάτη Τ.Ε.Ι Πάτρας ακαδ. έτος 2010-11), για την πολύτιμη βοήθεια που μας προσέφεραν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, τη συνεχή καθοδήγηση και υπομονή τους.

*Οφείλουμε επίσης να ευχαριστήσουμε,*

Τον κ. Γεώργιο Γκούμα, Γεωλόγο, ΜΔΕ, την κα Κ. Κουντουριδάκη, Γεωλόγο και την κα Ε. Σαχίνη από τα Εργαστήρια Δοκιμών Γεωέρευνας-ΟΤΜ-Α.Ε., για τη βοήθεια και συμπαράσταση τους.

Πάτρα, Νοέμβριος 2012

***Ειρήνη Αλεξάκη***

***Βασιλική Ρέψη***

Στους γονείς μας

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει ο μηχανικός σε μια κατασκευή γέφυρας είναι η διάβρωση που πρόκειται να υποστεί ο οπλισμός. Η διάβρωση του οπλισμού απειλεί την ασφάλεια και την καταλληλότητα των κατασκευών. Μπορεί να προκαλέσει καταστροφές οι οποίες κυμαίνονται από απλές παραμορφώσεις μέχρι ολοκληρωτικές δομικές καταστροφές.

Τα αίτια που προκαλούν τη διάβρωση αυτή έχουν να κάνουν με το περιβάλλον που βρίσκεται η κατασκευή, με την θερμοκρασία, τη διαθέσιμη υγρασία καθώς επίσης και με την παρουσία διαβρωτικών ουσιών. Για παράδειγμα οι κατασκευές που γίνονται σε βόρεια κλίματα παρουσιάζουν προβλήματα λόγω της χρήσης αλατιού για το λιώσιμο του χιονιού.

Το κόστος επισκευής και αποκατάστασης μιας γέφυρας είναι αρκετά υψηλό. Υπάρχουν μάλιστα περιπτώσεις κατά τις οποίες προβλήματα διάβρωσης σε οπλισμένο σκυρόδεμα επιβάλουν την κατεδάφιση της λόγω του υψηλού κόστους αλλά και της δυσκολίας απομάκρυνσης των διαβρωμένων στοιχείων.

Επομένως οι κατασκευαστές θα πρέπει να μελετούν καλά την ανθεκτικότητα των δομικών υλικών που πρόκειται να χρησιμοποιήσουν. Να επιλέγουν τα βέλτιστα υλικά και να εξασφαλίζουν καλή ποιότητα του σκυροδέματος κάνοντας επαρκή συμπύκνωση και συντήρηση κατά την κατασκευή.

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία προσανατολίζεται στην παρουσίαση των αιτιών της παθολογίας των γεφυρών, στους τρόπους πρόληψης και αποκατάστασης της καθώς επίσης και στον υπολογισμό του κόστους ζωής της.



## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΗΡΙΑ</b> .....	1
<b>ΑΦΙΕΡΩΣΗ</b> .....	2
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	3
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	6
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b> .....	7
<b>1.1 ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ</b> .....	7
<b>1.2 ΤΥΠΟΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ</b> .....	9
<b>1.3 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</b> .....	9
<b>1.4 ΒΑΣΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΟΙ ΟΠΟΙΟΙ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ     ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</b> .....	10
<b>1.5 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΧΗΜΙΚΩΝ     ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ</b> .....	11
<b>1.6 ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ</b> .....	12
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b> .....	13
<b>2.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΧΛΩΡΙΟΝΤΩΝ</b> .....	13
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b> .....	16
<b>3.1 Η ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ</b> .....	16
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b> .....	19
<b>4.1 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ     ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ</b> .....	19
<b>4.2 ΤΣΙΜΕΝΤΟ</b> .....	19
<b>4.3 ΑΔΡΑΝΗ</b> .....	24
<b>4.4 ΠΡΟΣΘΕΤΑ-ΠΡΟΣΜΙΞΕΙΣ</b> .....	24
<b>4.5 ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΙΞΕΩΣ</b> .....	25
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b> .....	26
<b>5.1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟ ΣΕ ΧΗΜΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ</b> .....	26
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b> .....	28
<b>6.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΛΩΡΙΟΝΤΩΝ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ</b> .....	28
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7</b> .....	30
<b>7.1 ΟΡΙΑ ΧΛΩΡΙΟΝΤΩΝ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ</b> .....	30
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8</b> .....	33
<b>8.1 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΔΙΝΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ</b> .....	33
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9</b> .....	38

9.1 ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΑ ΣΤΟΝ ΧΑΛΥΒΑ.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10.....	41
10.1 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ .....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11.....	44
11.1 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΟΠΟΥ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΔΥΝΑΤΟ ΝΑ ΑΦΑΙΡΕΘΕΙ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ .....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12.....	57
12.1 Πρόγραμμα Life-365.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13.....	75
13.1 Παράδειγμα Υπολογισμού της χρονικής περιόδου και του κόστους συντήρησης, με τη χρήση Η/Υ.....	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14.....	83
14.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	83
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	84

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την Πτυχιακή Εργασία μελετώνται τα συστατικά του σκυροδέματος, τα αίτια διάβρωσης του οπλισμού μιας γέφυρας, οι τρόποι πρόληψης και επισκευής της, καθώς επίσης υπολογίζεται και το κόστος ζωής της.

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται αναφορά για τους τύπους του σκυροδέματος, την ανθεκτικότητα του και την παρουσία διαβρωτικών ουσιών στο νερό. Στο κεφάλαιο 2 γίνεται αναλυτική αναφορά στην επίδραση των χλωριόντων στο σκυρόδεμα. Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται το φαινόμενο της ενανθράκωσης και τα προληπτικά μέτρα για την αποφυγή του.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι τσιμέντου. Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε χημικές επιδράσεις. Στο κεφάλαιο 6 και 7 παρουσιάζονται οι τρόποι περιορισμού των χλωριόντων στο σκυρόδεμα. Στο κεφάλαιο 8 περιγράφεται στη διάβρωση του χαλύβδινου οπλισμού στο σκυρόδεμα. Στο κεφάλαιο 9 γίνεται αναφορά για τα επιχρίσματα στον χάλυβα.

Στο κεφάλαιο 10 γίνεται αναφορά στους ανοξειδωτους χάλυβες και στη συμπεριφορά τους στα διάφορα είδη διαβρώσεων. Το κεφάλαιο 11 αναφέρεται σε εργασίες που μπορούν να γίνουν σε περιπτώσεις που δεν είναι δυνατόν να αφαιρεθεί το σκυρόδεμα. Στο κεφάλαιο 12 παρουσιάζεται ένα πρόγραμμα Η/Υ, το οποίο υπολογίζει το κόστος ζωής μιας κατασκευής.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

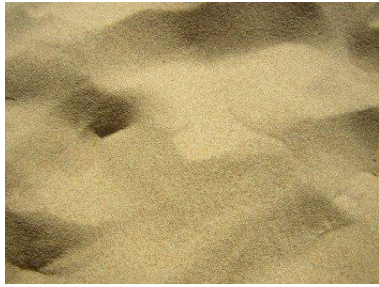
## **1.1 ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ**

Το σκυρόδεμα είναι σύνθετο υλικό, που αποτελείται κυρίως από τσιμέντο, αδρανή και νερό, του οποίου η σύσταση και οι ιδιότητες ποικίλουν πολύ. Χαρακτηριστικά μπορεί να αναφερθεί η διακύμανση της πυκνότητάς του η οποία μπορεί να κυμαίνεται από 800-4000 kg/m<sup>3</sup>, της τελικής θλιπτικής αντοχής από 1-140MPa και της διαπερατότητας σε αέρια, η οποία μπορεί να είναι από μεγάλη έως ελάχιστη. Η δημιουργία του σκυροδέματος προϋποθέτει την ύπαρξη αδρανών όπως η άμμος, το χαλίκι και τα σκύρα σε διάφορα σχήματα και μεγέθη. Τα αδρανή αυτά συγκολλούνται μεταξύ τους μέσω του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού, που είναι το προϊόν της αντίδρασης του τσιμέντου με το νερό.

Το τσιμέντο είναι ένα λεπτά κονιοποιημένο, ξηρό υλικό που από μόνο του δεν είναι συνδετικό υλικό, αλλά αναπτύσσει τη συνδετική ιδιότητα σαν αποτέλεσμα της ενυδάτωσης (δηλ. από χημικές αντιδράσεις μεταξύ των ανόργανων υλικών του τσιμέντου και του νερού). Ένα τσιμέντο ονομάζεται υδραυλικό όταν τα προϊόντα της ενυδάτωσης σταθεροποιούνται σε υγρό περιβάλλον. Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο υδραυλικό τσιμέντο είναι το Πόρτλαντ, που αποτελείται ουσιαστικά από δραστικά πυριτικά του ασβεστίου: τα προϊόντα της ενυδάτωσης του πυριτικού ασβεστίου που σχηματίζονται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου Πόρτλαντ ευθύνονται αρχικά για τις συνδετικές του ιδιότητες και είναι σταθερά σε υγρό περιβάλλον.

Τα αδρανή του σκυροδέματος, σκύρα, χαλίκι και άμμος συνιστούν την πετρώδη δομή του σκυροδέματος, της οποίας τα κενά πρέπει να είναι πληρωμένα όσο το δυνατόν περισσότερο με τη συνδετική κονία. Τα αδρανή του σκυροδέματος αποτελούν κατά προσέγγιση το 80 % του συνολικού βάρους του σκυροδέματος και καταλαμβάνουν το 70-75 % του όγκου του. Χρήση κατάλληλου μεγέθους και κατάλληλης ποιότητας αδρανών βελτιώνει την ποιότητα του σκυροδέματος.





ΑΜΜΟΣ



ΧΑΛΙΚΙ



ΓΑΡΜΠΙΛΙ

Τα αδρανή μπορεί να είναι θραυστά ή συλλεκτά (προκύπτουν από φυσική αποσάθρωση πετρωμάτων). Για παραγωγή υψηλής ποιότητας σκυροδέματος, τα αδρανή καθορίζονται και κοκκομετρούνται σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις με μηχανικές διεργασίες, όπως πλήρη ανάμιξή τους, σύνθλιψη, διαχωρισμό με κόσκινα και πλύσιμο (μηχανική προετοιμασία). Κατάλληλα για χρήση ως αδρανή σκυροδέματος είναι υλικά τα οποία δεν επηρεάζουν την σκλήρυνση του τσιμεντού, έχουν ισχυρή πρόσφυση με τον τσιμεντοπολτό και δεν αποτελούν κίνδυνο για την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

Ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται το σκυρόδεμα, προστίθενται ορισμένα βελτιωτικά των ιδιοτήτων του. Η ποιότητα του σκυροδέματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των υλικών από τα οποία συντίθεται, αλλά και από άλλους παράγοντες όπως η αναλογία και ο τρόπος ανάμιξής τους, η κατασκευή των καλουπιών και η συμπύκνωση του σκυροδέματος μέσα στα καλούπια.

Το σκυρόδεμα είναι ένα υλικό που συνηθίζεται να χρησιμοποιείται περισσότερο από όλα τα άλλα δομικά υλικά τόσο στη χώρα μας όσο και διεθνώς εξαιτίας του εξαιρετικά ευνοϊκού συνδιασμού ιδιοτήτων και κόστους. Μερικά από τα χαρακτηριστικά που το κάνουν να ξεχωρίζει είναι:

- Παρουσιάζει εξαιρετική συμπεριφορά στο νερό και έχει μεγάλη ανθεκτικότητα σε περιβαλλοντικές επιδράσεις
- Μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε με ευκολία καθώς μορφοποιείται σε μεγάλη ποικιλία σχημάτων και μεγεθών
- Έχει χαμηλό κόστος
- Υπάρχει μεγάλη και άμεση διαθεσιμότητα των συστατικών του

## 1.2 ΤΥΠΟΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Με βάση το βάρος της μονάδας όγκου, το σκυρόδεμα μπορεί να διακριθεί σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

1. Κανονικού βάρους σκυρόδεμα είναι το σκυρόδεμα που περιέχει φυσική άμμο-λεπτόκοκκη και χονδροκόκκη-η θραυστά αδρανή και ζυγίζει γύρω στα 2400 kg/m<sup>3</sup>. Χρησιμοποιείται πιο συχνά σε δομικές εφαρμογές.
2. Ελαφρό σκυρόδεμα, είναι το σκυρόδεμα που ζυγίζει κάτω από 1800 kg/m<sup>3</sup>.
3. Βαρύ σκυρόδεμα, είναι το σκυρόδεμα που παράγεται με υψηλής πυκνότητας αδρανή, ζυγίζει περισσότερο από 3200 kg/m<sup>3</sup> και χρησιμοποιείται για την προστασία από τη ραδιενέργεια.

Επιπρόσθετα με βάση τη θλιπτική αντοχή μπορούμε να διαιρέσουμε το σκυρόδεμα σε άλλες τρεις γενικές κατηγορίες:

- ❖ Χαμηλής αντοχής σκυρόδεμα: μικρότερη από 20 MPa.
- ❖ Μέσης αντοχής σκυρόδεμα: από 20 έως 40 MPa.
- ❖ Υψηλής αντοχής σκυρόδεμα: περισσότερο από 40 MPa

## 1.3 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Σύμφωνα με την ACI Committee 201, ως ανθεκτικότητα του σκυροδέματος Πόρτλαντ ορίζεται η δυνατότητα του να ανθίσταται στη φθοροποιό δράση, στη χημική προσβολή, στην απότριψη ή σε οποιαδήποτε άλλη διαδικασία φθοράς. Με άλλα λόγια, ένα ανθεκτικό σκυρόδεμα διατηρεί την αρχική του μορφή, την αρχική του ποιότητα και τη λειτουργικότητα του όταν εκτίθεται στο περιβάλλον που πρόκειται να λειτουργήσει. [1]

Κανένα υλικό δεν είναι από τη φύση του ανθεκτικό. Ως αποτέλεσμα των περιβαλλοντικών αλληλεπιδράσεων, η μικροδομή και συνεπώς οι ιδιότητες αλλάζουν με το χρόνο. Ένα υλικό θεωρείται ότι έχει ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής του όταν οι ιδιότητες του, κάτω από δεδομένες συνθήκες λειτουργίας, έχουν απομειωθεί μέχρι ένα σημείο που η περαιτέρω χρήση του θεωρείται είτε επισφαλής είτε αντιοικονομική.

## 1.4 ΒΑΣΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΟΙ ΟΠΟΙΟΙ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

### 1.4.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η διαθέσιμη υγρασία, η παρουσία διαβρωτικών ουσιών και η θερμοκρασία, είναι οι κύριοι παράγοντες οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη για τον “χαρακτηρισμό” ενός συγκεκριμένου περιβάλλοντος.

Πίνακας 1. Κατηγορίες Συνθηκών περιβάλλοντος	
Ελάχιστα διαβρωτικό	-Εσωτερικοί χώροι κτιρίων, κατοικιών ή γραφείων -Χώροι με μικρά διαστήματα υψηλής σχετικής υγρασίας
Μετρίως διαβρωτικό	-Εσωτερικοί χώροι με υψηλή σχετική υγρασία -Εξωτερικοί χώροι χωρίς διαβρωτική ατμόσφαιρα - Φυσικό νερό χωρίς διαβρωτικές ουσίες
Παραθαλάσσιο	-Παραθαλάσσιες περιοχές (απόσταση από την ακτή $\leq 1\text{km}$ ).
Πολύ διαβρωτικό	-Βιομηχανικές ζώνες -χώροι με υψηλή συγκέντρωση διαβρωτικών ουσιών

### 1.4.2 ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

Όλοι οι μηχανισμοί φθοράς για να πραγματοποιηθούν απαιτούν νερό. Σημασία συνήθως έχει η περιεχόμενη στο σκυρόδεμα υγρασία και όχι η υγρασία της ατμόσφαιρας. Υπό σταθερές συνθήκες, αυτές οι δυο τιμές υγρασίας συμπίπτουν, αλλά υπό μεταβαλλόμενες συνθήκες το σκυρόδεμα συγκρατεί υγρασία με μεγαλύτερη ευκολία απ’ ότι την χάνει. Έτσι, η μέση υγρασία του σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη από την υγρασία της ατμόσφαιρας.

Αυξημένη υγρασία του αέρα προκαλεί γέμισμα των μεγαλύτερων πόρων με νερό, μειώνοντας έτσι τον διατιθέμενο χώρο των πόρων για την διάχυση των αερίων. Η διαπερατότητα του σκυροδέματος έναντι αερίων μειώνεται σημαντικά με αύξηση της υγρασίας, για να φτάσει σε μηδαμινά όρια στην περίπτωση κορεσμένου σκυροδέματος.

Με την βροχή ο κορεσμός μπορεί να επιτευχθεί πολύ γρήγορα, λόγω της τριχοειδούς απορροφήσεως. Ακόμα όμως και χωρίς βροχή, μια νυχτερινή πτώση της θερμοκρασίας μπορεί να συνοδεύεται από υγρασία των υδρατμών στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Με αυτόν τον τρόπο, το σκυρόδεμα μπορεί να συγκρατήσει μεγαλύτερα ποσά υγρασίας απ’ ότι θα επέτρεπε η υγρασία του περιβάλλοντος.

Σε περίπτωση σκυροδέματος βυθισμένου σε νερό, η διείσδυση του νερού γίνεται αρχικά με τριχοειδή απορρόφηση, επιταχυνόμενη από την υδραυλική πίεση. Τέλος παρατηρείται συνεχής μεταφορά ύδατος μέσα σε σκυρόδεμα το οποίο είναι μερικώς βυθισμένο σε νερό, όταν το νερό εξατμίζεται από τις εκτεθειμένες στον αέρα επιφάνειες.

Ο κίνδυνος φθοράς από κάποια συγκεκριμένη επίδραση μπορεί να γίνεται μέγιστος για διαφορετικά κάθε φορά όρια υγρασίας.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ένα σκυρόδεμα που περιέχει χλωριόντα θα έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα ύδατος από ένα σκυρόδεμα χωρίς χλωριόντα.

### 1.4.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΣΤΟ ΝΕΡΟ

Ένας άλλος παράγοντας ο οποίος περιγράφει τις περιβαλλοντικές συνθήκες, είναι βέβαια η παρουσία διαβρωτικών ουσιών μέσα στο νερό. Τέτοιες ουσίες μπορεί να είναι διαλυμένες στο νερό το οποίο δρα στο σκυρόδεμα είναι: διοξείδιο του άνθρακα, οξυγόνο, άλατα χλωρίου, οξέα, θειικά άλατα, αλκάλια, ή ιόντα μαγνησίου. [3]

Η διάχυση των χλωριόντων στο σκυρόδεμα γίνεται από το λεπτό υδατικό στρώμα που δημιουργείται στα τοιχώματα των πόρων ή μέσα από πόρους γεμάτους με νερό. Έτσι η διάχυση των χλωριόντων μειώνεται όταν μειώνεται η ποσότητα υγρασίας στο σκυρόδεμα.

### 1.4.4 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Όταν καθορίζεται η διαβρωτικότητα ενός περιβάλλοντος, η επίδραση της θερμοκρασίας αγνοείται συνήθως αν και παίζει σημαντικό ρόλο καθώς η αύξηση της επιταχύνει τις χημικές αντιδράσεις. Είναι γνωστό ότι στις περισσότερες περιπτώσεις, αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 °C διπλασιάζει την ταχύτητα της αντιδράσεως.

## 1.5 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ

Η χημική διάβρωση του σκυροδέματος είναι αποτέλεσμα της επίδρασης των διαφόρων ουσιών οι οποίες επιδρούν χημικώς με το σκυρόδεμα, με αποτέλεσμα να αλλάζει η σύσταση του σκυροδέματος και να επηρεάζονται ανεπανόρθωτα οι ιδιότητες του. Ένα σκυρόδεμα το οποίο έχει κατασκευαστεί σωστά, δεν θα υποστεί εύκολα φθορά λόγω χημικής προσβολής. Υπό ορισμένες συνθήκες, όμως, είναι δυνατόν το τσιμέντο, η άμμος ή τα σκύρα να φθαρούν. Όταν μάλιστα η φθορά αυτή δεν φανερώνεται από μόνη της, μπορεί να τεθεί σε κίνδυνο η ασφάλεια της κατασκευής. Συνήθως, η φθορά γίνεται εμφανής όταν το σκυρόδεμα υποστεί συνδυασμό διαφορετικών επιδράσεων, π.χ. η φθορά λόγω αντιδράσεων αδρανών-αλκαλίων μπορεί να εκδηλωθεί όταν το σκυρόδεμα υποστεί και επίδραση παγετού.

Με τις χημικές επιδράσεις, ορισμένα διαβρωτικά συστατικά (μόρια ή ιόντα) μεταφέρονται από το περιβάλλον στο σκυρόδεμα. Για να πραγματοποιηθεί όμως χημική αντίδραση, πρέπει τα διαβρωτικά συστατικά να συναντηθούν με χημικώς ενεργά συστατικά του σκυροδέματος. Αυτή είναι η αιτία για την οποία πολλές φορές περνούν χρόνια για να πραγματοποιηθούν οι αντιδράσεις.

Η χημική διάβρωση είναι σύνθετη διαδικασία, η οποία επηρεάζεται από τις εξής παραμέτρους:

- Ιδιότητες του σκυροδέματος, π.χ. διαπερατότητα, είδος του τσιμέντου, είδος των αδρανών.
- Ιδιότητες του διαβρωτικού μέσου, π.χ. συγκέντρωση του οξέος ή του άλατος στο διάλυμα, υγρή, στέρεα ή αέρια κατάσταση του διαβρωτικού μέσου.
- Φύση των προϊόντων της αντιδράσεως, δηλαδή αν είναι αδιάλυτα (τότε μειώνουν τη διαπερατότητα του σκυροδέματος), ευδιάλυτα κλπ.
- Περιβαλλοντικές συνθήκες, π.χ. παρουσία νερού (υπό υγρή ή αέρια μορφή), θερμοκρασία, πίεση, ταχύτητα ροής.

## 1.6 ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ

Για διάφορους λόγους, υπάρχει σήμερα μια γενική επίγνωση ότι οι σχεδιαστές των κατασκευών πρέπει να λαμβάνουν υπόψη και να αξιολογούν τα χαρακτηριστικά ανθεκτικότητας των δομικών υλικών τόσο προσεκτικά όσο άλλα θέματα, όπως τα μηχανικά χαρακτηριστικά και το αρχικό κόστος. Πρώτον, υπάρχει μια καλύτερη εκτίμηση των κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων της ανθεκτικότητας. Όλο και περισσότερο, τα έξοδα της επισκευής και αντικατάστασης των κατασκευών που προκύπτουν από την αστοχία των υλικών αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι του συνολικού προϋπολογισμού της κατασκευής. Παραδείγματος χάριν, εκτιμάται ότι, στις βιομηχανικά αναπτυγμένες χώρες, το 40% των συνολικών πόρων της κατασκευαστικής βιομηχανίας χρησιμοποιείται για την επισκευή και συντήρηση των υπάρχουσών κατασκευών και μόνο το 60% για νέες εγκαταστάσεις. Η κλιμάκωση των δαπανών αντικατάστασης των κατασκευών και η αυξανόμενη έμφαση στο κόστος του κύκλου ζωής παρά το αρχικό κόστος, αναγκάζει τους μηχανικούς να δίνουν ιδιαίτερη προσοχή στα θέματα ανθεκτικότητας. Έπειτα, υπάρχει μια πραγματικότητα ότι υπάρχει στενή σχέση μεταξύ ανθεκτικότητας των υλικών και οικολογίας. Η διατήρηση των φυσικών πόρων με την παραγωγή υλικών που ζουν περισσότερο είναι συνεπώς ένα οικολογικό βήμα. Η αστοχία παράκτιων μεταλλικών κατασκευών στη Νορβηγία, στη Newfoundland και σε άλλα μέρη του κόσμου κατέδειξε το γεγονός ότι και το ανθρώπινο αλλά και το οικονομικό κόστος που σχετίζεται με την ξαφνική αστοχία του υλικού κατασκευής μπορεί να είναι πολύ υψηλό. Επομένως, οι χρήσεις του σκυροδέματος επεκτείνονται όλο και περισσότερο σε σφοδρές συνθήκες περιβάλλοντος, όπως οι παράκτιες πλατφόρμες στη Βόρεια Θάλασσα, και τα εμπορευματοκιβώτια (containers) από σκυρόδεμα για τη διαχείριση υγροποιημένων αερίων σε κρυογενικές θερμοκρασίες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΧΛΩΡΙΟΝΤΩΝ

Τα χλωριόντα αποτελούν έναν από τους κυριότερους λόγους για τη φθορά του σκυροδέματος στις γέφυρες και γενικά στις παραθαλάσσιες κατασκευές όπως λιμάνια και μαρίνες. Η χρήση των χημικών για την τήξη του χιονιού στους δρόμους των πόλεων καθώς επίσης και η επίδραση του περιβάλλοντος σε παραθαλάσσιες περιοχές, είναι η κύρια πηγή των χλωριόντων που απαιτούνται για να λάβει χώρα η διάβρωση.

Στην επιφάνεια κάθε οπλισμού υπάρχει ένα πολύ λεπτό στρώμα ένυδρου οξειδίου του σιδήρου, το οποίο προστατεύει τον χάλυβα και δημιουργείται λόγω της αλκαλικότητας του σκυροδέματος που την περιβάλλει. Το ΡΗ της αλκαλικότητας του σκυροδέματος κυμαίνεται από 12,5 έως 13,2 και οφείλεται στην συγκέντρωση ισορροπίας  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  στο νερό των πόρων.

Το προστατευτικό στρώμα γύρω από τους οπλισμούς μπορεί να καταστραφεί γενικά από την ενανθράκωση και τοπικά από ιόντα χλωρίου. Εάν η συγκέντρωση των χλωριόντων ξεπεράσει 0,4-0,6% του βάρους του σιμέντου έχουμε τοπικά βλενοειδή διάτρηση του προστατευτικού στρώματος.

Αν το βάθος που καλύπτεται ο χάλυβας είναι ανεπαρκές ή αν το σκυρόδεμα είναι διαπερατό, το στρώμα αυτό θα χωριστεί με την παρουσία υπερβολικών ποσών ιόντων χλωριδίου.

Τα χλωρίδια αυτά μπορεί να προέλθουν είτε από το χλωριούχο νάτριο (κοινό άλας) στις θαλάσσιες θέσεις είτε από τις εφαρμογές απόψυξης (πχ τα άλατα που ρίχνουμε στα καταστρώματα γεφυρών την χειμερινή περίοδο για να μην πιάσει πάγο ο δρόμος) είτε τέλος από το περιβάλλον χώμα ή από τα μολυσμένα ύδατα ή απόβλητα.



Εικόνα 1. Σκυρόδεμα προσβεβλημένο από χλωριόντα.

#### 2.1.1 ΠΗΓΕΣ ΧΛΩΡΙΟΝΤΩΝ

Τα χλωριόντα μπορεί να προέλθουν από διάφορες πηγές. Μπορεί να εισαχθούν στο σκυρόδεμα ή να διαχυθούν σε αυτό από το περιβάλλον. Τα χλωριόντα είναι δυνατόν να διαχυθούν μέσα στο σκυρόδεμα όντας το αποτέλεσμα :

- Του ψεκασμού θαλασσινού νερού, με την απευθείας επαφή με θαλασσινό νερό ή με τη μεταφορά σταγονιδίων από τον αέρα, τα οποία μπορούν να ταξιδέψουν σε αποστάσεις >2km ανάλογα με τον άνεμο και την τοπογραφία.
- Των αποψυκτικών αλάτων.
- Της χρήσης χημικών (κατασκευές που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση αλατιού, κλπ).

Το βασικό πρόβλημα στις περισσότερες χώρες του κόσμου είναι η διάχυση των χλωριόντων στο σκυρόδεμα. Παρ' όλα αυτά

και η ύπαρξη χλωριόντων μέσα στο σκυρόδεμα δεν πρέπει να αγνοηθεί, κυρίως όταν αυτό είναι μέρος του προβλήματος.

Ένα χαμηλό επίπεδο χλωριόντων στο σκυρόδεμα, μπορεί να οδηγήσει στην γρήγορη έναρξη της διάβρωσης εάν και οι συνθήκες από το περιβάλλον είναι κατάλληλες.

Αυτό συμβαίνει συχνά σε παραθαλάσσιες περιοχές, όπου το θαλασσινό νερό μολύνει την αρχική μείξη του σκυροδέματος και μετά διαχέεται μέσα στο σκληρυμένο σκυρόδεμα.



Εικόνα 2. Διάβρωση οπλισμών.

### 2.1.2 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΧΛΩΡΙΟΝΤΩΝ

Τα  $Cl^-$  που διεισδύουν ή βρίσκονται στο σκυρόδεμα, ενώνονται με την ασβεστοαργλική φάση  $C_3A$  και δημιουργούν ένυδρα χλωροαργλικά τριασβέστια που είναι γνωστά ως άλας του Friedel. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και με τις φάσεις όπου σχηματίζεται αντιστοίχως. Επομένως τα δεσμεύονται από τις αργλικές φάσεις και θεωρητικά δεν δημιουργούν πρόβλημα.

Τσιμέντα με υψηλό ποσοστό  $C_3A$  έχουν καλή ανθεκτικότητα. Αυτό όμως θεωρητικά συμβαίνει όταν τα  $Cl^-$  βρίσκονται ήδη στο σκυρόδεμα κατά το χρόνο ανάμιξης (κακώς βέβαια) οπότε αντιδρούν γρήγορα με τις αργλικές φάσεις.

Όταν όμως τα ιόντα  $Cl^-$  διεισδύουν μέσα στο σκυρόδεμα από εξωτερικές πηγές, σχηματίζεται μικρότερη ποσότητα άλατος του Friedel το οποίο κάτω από ορισμένες συνθήκες (χαμηλό pH), μπορεί να διαλυθεί, ελευθερώνοντας  $Cl^-$  τα οποία ενισχύουν τα ήδη μεταφερθέντα μέσω του υγρού των πόρων στο σιδηρούν οπλισμό. Εάν μάλιστα υπάρχουν και ιόντα θείου, τότε αυτά διασπούν το άλας του Friedel για να

σχηματίσουν ettringite και επομένως ελευθερώνουν  $\text{Cl}^-$  το οποίο θα βλάψει το σιδηρούν οπλισμό.

Έτσι μπορούμε να χωρίσουμε τα ιόντα χλωρίου που βρίσκονται στο σκυρόδεμα ως εξής:

- ✓ **ΕΛΕΥΘΕΡΑ ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ:** διαλύονται στο νερό των πόρων και από εκεί μπορούν να αντιδράσουν χημικά με οποιαδήποτε ουσία βρίσκεται στην επιφάνεια των πόρων ή στη διεπιφάνεια υγρού-στερεού.
- ✓ **ΦΥΣΙΚΑ ΔΕΣΜΕΥΜΕΝΑ ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ:** προσκολλώνται (απορροφώνται) στις επιφάνειες των στρώσεων των CSH ένυδρων με δεσμούς υδρογόνου ή με φυσική προσρόφηση. Αυτά τα χλωριόντα δεν είναι εντελώς ακίνητα και μπορούν κάτω από ορισμένες συνθήκες (πχ όταν η συγκέντρωση  $\text{Cl}^-$  στο νερό των πόρων αρχίζει να ελαττώνεται) να αντιδράσουν με χημικές ουσίες των διαλυμάτων των πόρων.
- ✓ **ΧΗΜΙΚΑ ΔΕΣΜΕΥΜΕΝΑ ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ:** είναι πρακτικώς αμετακίνητα σαν αποτέλεσμα της δέσμευσής τους από συστατικά του τσιμέντου ή του νερού των πόρων π.χ. άλας του Friedel. Μερικά δεσμεύονται και από τα αδρανή και δεν αποτελούν πρόβλημα.
- ✓ **ΟΛΙΚΑ ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ:** είναι το άθροισμα των ελευθέρων και των φυσικώς και χημικώς δεσμευμένων χλωριόντων.

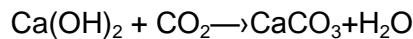
Τα ελεύθερα χλωριόντα είναι εκείνα που βλάπτουν τον οπλισμό. Ο οπλισμός μέσα στο σκυρόδεμα προστατεύεται από το αλκαλικό περιβάλλον του σκυροδέματος, ενώ καταστρέφεται από το όξινο περιβάλλον. Λέγοντας αλκαλικό σκυρόδεμα σημαίνει ότι περιέχει μικροσκοπικούς πόρους με υψηλές συγκεντρώσεις Ca, Na και K και επιπλέον παράγεται  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  κατά την ενυδάτωση, δημιουργώντας έτσι εξαιρετικά αλκαλικές συνθήκες με  $\text{pH}=12,4-13$ . Αυτές οι αλκαλικές συνθήκες σχηματίζουν μια παθητική στρώση στην επιφάνεια του χάλυβα, δηλαδή ένα πυκνό μη διαπερατό φιλμ, το οποίο αποτρέπει την διάβρωση. Το φιλμ αυτό, αποτελείται από οξειδίο/υδροξειδίο του σιδήρου και από ανόργανη ύλη από το σκυρόδεμα. Έτσι η παθητική στρώση σχηματίζεται, διατηρείται και επισκευάζεται από μόνη της, εφόσον το περιβάλλον είναι αλκαλικό (παθητικό). Δυο όμως διαδικασίες το καταστρέφουν :η μια είναι η ενανθράκωση και η άλλη είναι η δράση των  $\text{Cl}^-$ .



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3.1 Η ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η ενανθράκωση του σκυροδέματος προκαλείται από τη χημική αντίδραση του οξειδίου του άνθρακα που υπάρχει διάχυτο στην ατμόσφαιρα με το υδροξείδιο του ασβεστίου του σκυροδέματος.



Το σχηματιζόμενο ανθρακικό ασβέστιο  $\text{CaCO}_3$  έχει ένα pH 7-8, έτσι ώστε να μειώνεται η αλκαλικότητα του σκυροδέματος. Το υδροξείδιο του σιδήρου έχει όγκο περίπου 2,5 φορές μεγαλύτερο του χάλυβα, με αποτέλεσμα τη διάρρηξη του σκυροδέματος και την αποφλοίωση της επικαλυπτικής στρώσης του σκυροδέματος από την διόγκωση του σχηματιζόμενου υδροξειδίου του σιδήρου.

Η πιο σοβαρή επίπτωση της ενανθράκωσης στο οπλισμένο σκυρόδεμα είναι ότι μειώνει την αλκαλικότητα του τσιμέντου που έχει ως συνέπεια την οξείδωση του οπλισμού. Επίσης άλλες συνέπειες της ενανθράκωσης είναι:

- Αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος (από 30-100%).
- Μείωση του πορώδους.
- Αύξηση του ερπυσμού και της ταχύτητας του ερπυσμού.
- Αύξηση της συστολής του σκυροδέματος λόγω της αποβολής του νερού

Καθώς διαβρώνεται ο οπλισμός προκαλείται διόγκωση, η οποία με τη σειρά της προκαλεί εφελκυστικές τάσεις στο σκυρόδεμα, που προκαλούν ρηγματώσεις και αποκόλληση της επικάλυψης του οπλισμού. Η οξείδωση του οπλισμού έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της μηχανικής αντοχής του.

### 3.1.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΕΩΣ

Το βάθος ενανθράκωσης του σκυροδέματος μετράται μετά από ψεκάσμο διαλύματος φαινολοφθαλείνης πάνω σε φρεσκοθραυσμένη επιφάνεια του σκυροδέματος. Η φαινολοφθαλείνη είναι ένας άχρωμος δείκτης ο οποίος χρωματίζεται με έντονο κόκκινο χρώμα σε αλκαλικό περιβάλλον (για  $pH > 9$ ), δηλαδή σε μη ενανθράκωμένο σκυρόδεμα. Η μέθοδος αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι είναι εύκολη και δίνει άμεσα το αποτέλεσμα καθώς η μεταβολή του χρώματος συμβαίνει σε μέσα σε ελάχιστα δευτερόλεπτα. Παρουσιάζει όμως το μειονέκτημα ότι είναι ημικαταστρεπτική διότι απαιτεί θραύση της επιφάνειας του σκυροδέματος, γίνεται δε ανακριβής όταν το σκυρόδεμα είναι υγρό. Το βάθος ενανθράκωσης μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια στο εργαστήριο πάνω σε δείγμα ή πυρήνα σκυροδέματος, με μικροσκοπική ανίχνευση του  $CaCO_3$ .



Εικόνα3. Προσδιορισμός βάθους ενανθράκωσης σε πυρήνα σκυροδέματος.

### 3.1.2 ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ-ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗΣ

Σε μία νέο-σχεδιαζόμενη γέφυρα, ο Μηχανικός πρέπει:

- Να εκτιμήσει σωστά το περιβάλλον και την βλαπτικότητα του.
- Να αναγνωρίσει τις πιθανές επιδράσεις και να μελετήσει τους μηχανισμούς φθοράς. Να εκλέξει τα κατάλληλα υλικά και τα στοιχεία της κατασκευής (είδος τσιμέντου, ποιότητα και διαβάθμιση των αδρανών, επικαλύψεις κλπ.).
- Να δώσει την αντίστοιχα απαιτούμενη μορφολογική και στατική λύση, ανάλογα με την βλαπτικότητα του περιβάλλοντος και τις απαιτήσεις και δυνατότητες συντηρήσεως.

Να εξασφαλίσει καλή ποιότητα σκυροδέματος κατά την κατασκευή, με επαρκή συμπύκνωση και συντήρηση. Έχει παρατηρηθεί ότι οι μισές φθορές οφείλονται σε

λάθη τα οποία εμφανίζονται κατά την φάση της κατασκευής. Παράλληλα πρέπει να προβλεφθεί ώστε στο μέλλον να γίνεται τακτικός έλεγχος για την γενική κατάσταση του κτιρίου ή να ανανεώνονται τα προστατευτικά μέτρα, πχ. επίχριση της επιφάνειας του σκυροδέματος με αδιάβροχες μεμβράνες.

- 1) Το περιβάλλον. Περιβάλλοντα στα οποία υπάρχει αυξημένη περιεκτικότητα του αέρα σε  $\text{CO}_2$  επιταχύνουν τις διαδικασίες ενανθράκωσης. Τέτοια περιβάλλοντα είναι τα βιομηχανικά και τα αστικά. Ιδιαίτερα επιβαρυμένα είναι τα παρκινγκ αυτοκινήτων λόγω των αυξημένων εκπομπών σε  $\text{CO}_2$ . Για τον ίδιο λόγο, στα αστικά περιβάλλοντα οι χαμηλότεροι όροφοι είναι πάντα πιο επιβαρυμένοι από τους υψηλότερους.
- 2) Το πάχος και η ποιότητα επικάλυψης των οπλισμών. Προφανώς μεγάλες επικαλύψεις προσφέρουν μακρόχρονη προστασία. Όσον αφορά την ποιότητα της επικάλυψης, αυτή βελτιώνεται με τη μείωση του υδατοσιμεντοσυντελεστή με ίση πορώδους. Να κρατιέται σε επίπεδα μικρότερα του 0.50. Με την αύξηση της ποσότητας του τσιμέντου, αυξάνεται η ποσότητα του προστατευτικού  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Με καλή συμπύκνωση και ωρίμανση: μείωση των κακοτεχνιών, ρωγμών κλπ.
- 3) Σχετική υγρασία του σκυροδέματος. Μια Σ.Υ της τάξης του 50-60% θεωρείται η ως πιο επιβαρυντική για την εξέλιξη της ενανθράκωσης. Όταν έχουμε Σ.Υ.  $\leq 40\%$  η διαδικασία επιβραδύνεται, γιατί δεν μπορεί να υπάρξει διάλυση του  $\text{CO}_2$  στο νερό και σχηματισμός  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Σε επίπεδα Σ.Υ  $\leq 20\%$  η ενανθράκωση πρακτικά μηδενίζεται. Στο άλλο άκρο: όταν η σχετική υγρασία του μπετόν προσεγγίζει το 85-90%, το  $\text{CO}_2$  δεν μπορεί να διεισδύσει επειδή οι πόροι του μπετόν είναι γεμάτοι με νερό.
- 4) Ύπαρξη ρωγμών. Οι ρωγμές αποτελούν μονοπάτια για τη δίοδο του  $\text{CO}_2$ . Έλεγχος του αριθμού και του εύρους τους τόσο στο νωπό όσο και στο σκληρυμένο μπετόν οδηγεί σε καλύτερο έλεγχο της ενανθράκωσης. Έλεγχος της ρηγμάτωσης μπορεί να γίνει με μέτρα όπως η χρήση συνθετικών ινών, προσεγγμένη συντήρηση, χάραξη αρμών διαστολής, επαρκή οπλισμό.
- 5) Φράγματα κατά της ενανθράκωσης. Πρόκειται για βαφές, εμποτισμούς ή και λεπτά επιχρίσματα που λειτουργούν σαν φράγματα κατά της εισόδου του  $\text{CO}_2$ . Τα υλικά αυτά είναι συνήθως διαπερατά από τους υδρατμούς, γιατί το μόριο του  $\text{H}_2\text{O}$  είναι μικρότερο από αυτό του  $\text{CO}_2$ .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4.1 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΣΕ

#### ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Για να παρασκευάσουμε σκυροδέμα ανθεκτικό σε διάφορες επιδράσεις, τα επιμέρους συστατικά του σκυροδέματος πρέπει να πληρούν ορισμένες απαιτήσεις, οι οποίες αφορούν κυρίως τη σύσταση και τις φυσικές ιδιότητες των υλικών. Η ποιότητα των υλικών πρέπει να είναι σταθερή, ενώ κατά τη μεταφορά και αποθήκευση των υλικών δεν πρέπει να προστεθούν ξένες ουσίες. Για παράδειγμα, γύψος, άσβεστος, ζάχαρη επηρεάζουν τον χρόνο πήξεως και σκληρύνσεως του τσιμέντου και μπορεί να μεταβάλλουν τη σταθερότητα διαστάσεων του σκυροδέματος. Κατά τους διάφορους κανονισμούς, οι απαιτήσεις αφορούν:

- Είδος και ποσότητα τσιμέντου
- Αδρανή
- Πρόσθετα
- Νερό αναμίξεως
- Επικάλυψη οπλισμού

### 4.2 ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Το τσιμέντο πρέπει να ικανοποιεί ορισμένες απαιτήσεις σχετικές με την σταθερότητα όγκου, την πήξη, την ανάπτυξη αντοχής, την ελάχιστη αντοχή και τη θερμότητα ενυδατώσεως.



Εικόνα 4. Τσιμέντο

Η περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε τσιμέντο δεν πρέπει να ξεπερνά τα  $550 \text{ kg/m}^3$  (εκτός αν έχει γίνει πρόσθετη μελέτη), διότι υπάρχει κίνδυνος ρηγματώσεως λόγω συστολής ξηράνσεως στις μικρές διατομές ή λόγω αναπτύξεως θερμικών τάσεων σε ογκώδεις διατομές.

Τα υπερθειικά τσιμέντα χρειάζονται ιδιαίτερη προστασία κατά την αποθήκευση διότι καταστρέφονται εύκολα. Σε χαμηλές θερμοκρασίες έχουν μικρές αντοχές.

Εκτός από το τσιμέντο τύπου Πόρτλαντ χρησιμοποιούνται και άλλα είδη τσιμέντων. Τα τσιμέντα αυτά περιέχουν προσμίξεις, οι οποίες με τη φυσική ή χημική δράση τους επηρεάζουν τις ιδιότητες του τσιμέντου.

Οι προσμίξεις που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι :

1. Φυσικές ποζολάνες.

2. Τεχνητές ποζολάνες όπως :
  - i. . Ιπτάμενες τέφρες
  - ii. Πυριτική παιπάλη
3. Φυσικοί ηφαιστειακοί λίθοι.
4. Σκωρίες υψικαμίνων.
5. Τέφρα κελύφους ρυζιού.

#### 4.2.1. ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟ ΣΕ ΘΕΙΙΚΑ

Το τσιμέντο Πόρτλαντ ανθεκτικό σε θειικά είναι ένα τσιμέντο χαμηλής περιεκτικότητας σε  $C_3A$ . Η περιεκτικότητα σε  $C_3A$  πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση με 3%. Η συρρίκνωση του τσιμέντου Πόρτλαντ ανθεκτικού σε θειικά πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση με 0.6 mm/m. Το τσιμέντο αυτό είναι κατάλληλο για κατασκευές που έρχονται σε επαφή με νερά υψηλής περιεκτικότητας σε θειικά ή ανθρακικά ιόντα.

#### 4.2.2. ΠΟΖΟΛΑΝΙΚΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ

Σαν ποζολανικά υλικά χαρακτηρίζονται τα αργιλοπυριτικά υλικά που, από μόνα τους ή δεν έχουν υδραυλικές ιδιότητες ή έχουν ασθενείς υδραυλικές ιδιότητες αλλά, σε λεπτό διαμερισμό παρουσία νερού αντιδρούν με την υδράσβεστο σε συνήθη θερμοκρασία και σχηματίζουν ενώσεις με υδραυλικές ιδιότητες.



Εικόνα 5. Ποζολανικό τσιμέντο

Τα ποζολανικά υλικά είναι γνωστά από αρχαιότατων χρόνων. Ανάλογα την προέλευση τους μπορούν να διακριθούν σε:

- Φυσικές Ποζολάνες, που είναι φυσικά αποθέματα ηφαιστιογενών πηγών(πυροκλαστικά υλικά) και έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε πυριτικά πετρώματα π.χ. θηραϊκή γη.
- Τεχνητές Ποζολάνες, δηλαδή διάφορα αργιλοπυριτικά υλικά που λαμβάνονται μετά από κάποια θερμική κατεργασία σαν απόβλητα.

Τα ποζολανικά υλικά χρησιμοποιούνται σαν προσθήκες στο τσιμέντο Πόρτλαντ για λόγους είτε εξοικονόμησης ενέργειας είτε αύξησης αντοχής σε διάβρωση. Τα τσιμέντα αυτά είναι γνωστά σαν «τσιμέντα με πρόσθετα» ή «μικτά τσιμέντα» (blended cements).

#### 4.2.3 ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΟΖΟΛΑΝΕΣ – ΘΗΡΑΪΚΗ ΓΗ



Εικόνα 6. Θηραϊκή γη.

Η προέλευση των φυσικών ποζολανών είναι ηφαιστειογενής . Η δραστική ύαλος που περιέχουν δημιουργήθηκε από ηφαιστειογενή έκρηξη. Τα αέρια που ελευθερώθηκαν κατά την έκρηξη στο υπό μορφή τήγματος μίγμα και η απότομη ψύξη, που ακολούθησε, προκάλεσε την κρυστάλλωση με μεγάλη εσωτερική επιφάνεια λόγω ακριβώς της απελευθέρωσης και διαφυγής των αερίων. Αυτές οι φυσικές ποζολάνες είναι ενεργειακά αναβαθμισμένα υλικά. Στην Ελλάδα υπάρχει φυσική ποζολάνη που έχει πάρει το όνομα της από την νήσο Σαντορίνη, (στο εξωτερικό γνωστή σαν SantorinEarth) και είναι γνωστή με το όνομα Θηραϊκή Γη. Σε σύγκριση με τις άλλες φυσικές ποζολάνες έχει υψηλότερο ποσοστό  $\text{SiO}_2$ . [1]

Η χρήση των φυσικών ποζολανών σαν πρόσθετα στο τσιμέντο έχει μακρόχρονη παρουσία. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για λόγους μείωσης του κόστους. Αργότερα χρησιμοποιήθηκαν για εξοικονόμηση ενέργειας. Για αυτόν τον λόγο η χρήση τους γενικεύθηκε μετά την ενεργειακή κρίση του 1970. Με τον χρόνο διαπιστώθηκε η αυξημένη αντοχή τους στην διάβρωση. Σύμφωνα με τις Αμερικανικές προδιαγραφές ASTM C595 τα τσιμέντα αυτά χαρακτηρίζονται σαν Type IP. Σύμφωνα με τις Γερμανικές προδιαγραφές DIN 1164 T1 χαρακτηρίζονται σαν Trasszement (εν συντομία Trz). Η χρήση των ποζολανών σαν πρόσθετα μπορεί να γίνει είτε κατά την παραγωγή του τσιμέντου με ξηρή συνάλεση στο κλίνκερ, (Σύνθετα Τσιμέντα), είτε με ανάμιξη εκ των υστέρων κατά την παραγωγή του σκυροδέματος. Στην δεύτερη περίπτωση η ποζολάνη πρέπει να έχει αλεσθεί.

Οι φυσικές ποζολάνες σαν πρόσθετα στο τσιμέντο Πόρτλαντ συντελούν ώστε

- ✓ Να μειωθεί η εκλυόμενη θερμότητα κατά την πήξη
- ✓ Να αυξηθεί η αντοχή σε διάβρωση
- ✓ Να καθυστερεί η ανάπτυξη αντοχών

Όλα αυτά είναι συνέπειες της συμμετοχής της φυσικής ποζολάνης στις αντιδράσεις ενυδάτωσης του τσιμέντου. Κατά την ενυδάτωση πρώτα αντιδρούν οι ενώσεις του κλίνκερ. Στη συνέχεια όμως αρχίζει με βραδύ ρυθμό η αντίδραση της υδρασβέστου, που απελευθερώνεται από τις ενώσεις του κλίνκερ με τα δραστικά συστατικά της ποζολάνης. Κύριο προϊόν της αντίδρασης αυτής είναι το CSH. Επειδή η αντίδραση αυτή είναι βραδεία επιβραδύνεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας αλλά και η ανάπτυξη μηχανικών αντοχών. Ταυτόχρονα η δέσμευση της υδρασβέστου συντελεί

στην αύξηση της ανθεκτικότητας σε όξινο περιβάλλον. Το σημαντικότερο όμως είναι ότι, η αντίδραση της υδρασβέστου με τα  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  αλλά και το  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  γίνεται μέσα στους πόρους της μάζας του τσιμέντου και τα προϊόντα περιορίζουν το πορώδες.

Τα τσιμέντα με πρόσθετο φυσική ποζολάνη είναι ανθεκτικότερα σε σχέση με το αμιγές τσιμέντο Πόρτλαντ σε μαλακά νερά, θαλασσινό νερό και σε αραιά διαλύματα αλάτων μαγνησίου. Μόνο σε πυκνά διαλύματα αλάτων μαγνησίου η αντοχή του τσιμέντου Πόρτλαντ είναι μεγαλύτερη. Ακόμη λόγω της ικανότητας δέσμευσης των χλωριόντων συντελούν στην προστασία του οπλισμού.

Στην προστασία του οπλισμού συνεισφέρουν και με θυσιαζόμενες αταξίες, τις οποίες απέκτησαν λόγω της απότομης ψύξης κατά τον σχηματισμό τους.

#### 4.2.4 ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΠΟΖΟΛΑΝΕΣ – ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ

Η Ιπτάμενη Τέφρα (Ι.Τ.) είναι ένα υλικό που παράγεται κατά την καύση κονιοποιημένων στερεών καυσίμων σε μεγάλες ατμοπαραγωγικές μονάδες. Παρασύρεται από το ρεύμα των καυσαερίων και συλλέγεται σε ειδικές εγκαταστάσεις αποκονίωσης (με μηχανικά ή ηλεκτροστατικά φίλτρα). Η χημική και ορυκτολογική σύσταση της Ι.Τ. εξαρτάται από την πρώτη ύλη της καύσης, την θερμοκρασία καύσης και την ταχύτητα ψύξης.



Εικόνα 7. Ιπτάμενη τέφρα.

Η Ι.Τ. διαφέρει από τις φυσικές ποζολάνες κύρια στην περιεκτικότητα σε άσβεστο και την μικρότερη περιεκτικότητα σε δεσμευμένο νερό. Οι Ι.Τ. έχουν από μόνες τους υδραυλικές ιδιότητες αλλά συνήθως αυτές είναι ασθενείς. Η σύσταση και η λεπτότητα της Ι.Τ. δεν είναι πάντα σταθερές και επομένως πρέπει να ελέγχονται. Για την ποιότητα του σκυροδέματος που πρόκειται να παραχθεί μεγάλη σημασία έχουν :

- Η ειδική επιφάνεια της Ι.Τ (πρέπει να είναι μεγαλύτερη από  $2500 \text{ cm}^2/\text{g}$ )
- Η περιεκτικότητα σε ενεργά συστατικά  $\text{SiO}_2$  και  $\text{Al}_2\text{O}_3$  .
- Η περιεκτικότητα σε επιβλαβή συστατικά ( $\text{C}<3\%$  και  $\text{SO}_2$ ).
- Η περιεκτικότητα σε ελεύθερη άσβεστο.

Ειδικότερα όσον αφορά την περιεκτικότητα σε ελεύθερη άσβεστο οι αμερικανικοί κανονισμοί κατατάσσουν τις Ι.Τ. σε 2 κατηγορίες :

- α την κατηγορία που περιέχει κατά κύριο λόγο  $\text{SiO}_2$  (περισσότερο από 45%) και λίγη άσβεστο (κατά ASTMClassFFlyAshes)
- β την κατηγορία μεγάλης περιεκτικότητας σε  $\text{CaO}$  (περισσότερο από 20%) και μικρή περιεκτικότητα σε πυρίτιο (κατά ASTMClassCFlyAshes)

Στο μικροσκόπιο οι κόκκοι της Ι.Τ. παρουσιάζουν ποικιλία σχημάτων. Γενικά είναι δυνατή η διάκριση τους σε τρεις κατηγορίες :

- ✓ Σφαιρικοί, που συνήθως είναι οι πιο μικροί με τάξη μεγέθους λίγα μ.
- ✓ Σφαιροειδείς.
- ✓ Ακανόνιστοι.

Στις δύο τελευταίες κατηγορίες ανήκουν οι κόκκοι με τάξη μεγέθους των 5μ. Στους κόκκους αυτούς παρουσιάζεται ένα κέλυφος από τηγμένο υλικό που δημιουργήθηκε στις ελεύθερες επιφάνειες, λόγω επίτηξης, που τους καθιστά αδρανείς. Η χρήση της Ι.Τ. σαν πρόσθετο στο τσιμέντο έχει απασχολήσει τους ερευνητές τόσο στην Ελλάδα όσο και διεθνώς. Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα των διάφορων εργασιών, προκύπτει ότι η Ι.Τ., σαν πρόσθετο στο τσιμέντο, έχει τα ακόλουθα αποτελέσματα :

- Βελτιώνει την εργασιμότητα, αυξάνει την πλαστικότητα και την αντλησιμότητα του παραγομένου σκυροδέματος.
- Βελτιώνει την εμφάνιση της επιφάνειας του σκυροδέματος μετά το ξεκαλούπωμα.
- Έχει την ικανότητα να δεσμεύει τα χλωριόντα και έτσι προστατεύει τον σιδηροπλισμό από την διάβρωση.

Λόγω της αυξημένης περιεκτικότητας σε ελευθέρα άσβεστο αυξάνει την ταχύτητα της ενανθράκωσης. Για την σύγκριση της ταχύτητας ενανθράκωσης του τσιμέντου με πρόσθετο Ι.Τ. και του τσιμέντου Πόρτλαντ θα πρέπει να συνεκτιμηθεί η επίδραση της αύξησης της υδρασβέστου και της μείωσης του πορώδους.

#### 4.2.5 ΤΣΙΜΕΝΤΑ ΥΨΙΚΑΜΙΝΟΥ

Η σκωρία υψικαμίνων (slag, Schlacke) είναι υλικό μη μεταλλικό, που αποτελείται από πυριτικά και αργυλοπυριτικά άλατα του ασβεστίου. Οι σκωρίες έχουν από μόνες τους υδραυλικές ιδιότητες. Όταν όμως ενυδατώνονται μόνες τους, χωρίς την παρουσία του τσιμέντου Πόρτλαντ, το ποσό του υδραυλικού υλικού που σχηματίζεται είναι μικρό και ο ρυθμός σχηματισμού του ανεπαρκής. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται πάντα σε μίγματα με τσιμέντο Πόρτλαντ. Η προσθήκη της σκωρίας στο τσιμέντο Πόρτλαντ μπορεί να γίνει με ξηρή συνάλεση στο κλίνκερ ή με ανάμιξη εφόσον η σκωρία είναι ήδη κονιοποιημένη αρκετά. Τα ποσοστά ανάμιξης ποικίλουν σε μεγάλο εύρος (από 5-85% σκωρία). Οι γερμανικοί κανονισμοί (DIN 1164 T1) διακρίνουν τα τσιμέντα με σκωρία σε δύο κατηγορίες :

- στα τσιμέντα με σκωρία 6-35% και τσιμέντο Πόρτλαντ 94-65% που χαρακτηρίζονται σαν σιδηρούχα τσιμέντα Πόρτλαντ (Eisenportlantzement)
- στα τσιμέντα με σκωρία 36-80% και τσιμέντο Πόρτλαντ 64-20% που χαρακτηρίζονται σαν τσιμέντα υψικαμίνου (Hochofenzement). Σύμφωνα με το ίδιο πρότυπο η σκωρία πρέπει να ικανοποιεί την σχέση :  $(CaO + MgO + Al_2O_3) / SiO_2 > 1$

Ακόμη για την πρώτη περίπτωση, η περιεκτικότητα του τριοξειδίου του θείου πρέπει να είναι  $SO_3 < 3.5\%$  και για την δεύτερη περίπτωση  $SO_3 < 4\%$ . Και στα δύο είδη τσιμέντων η συρρίκνωση πρέπει να είναι μικρότερη από 8mm/m. Η προσθήκη της σκωρίας στο τσιμέντο Πόρτλαντ προκαλεί:

- μείωση του ποσού της εκλυόμενης θερμότητας
- μείωση της συρρίκνωσης
- μικρότερη πρόσληψη νερού

Η ενυδάτωση τσιμέντων με πρόσθετο σκωρία αρχίζει με την ενυδάτωση των ενώσεων του κλίνκερ του Πόρτλαντ. Το σχηματιζόμενο υδροξείδιο του ασβεστίου προωθεί την ενυδάτωση των κόκκων της σκωρίας, που έχουν και από μόνους τους υδραυλικές ιδιότητες, ενώ ταυτόχρονα δεσμεύεται και το ίδιο. Για τον λόγο αυτό τα τσιμέντα με πρόσθετο σκωρία έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα σε θειικά. Τα τσιμέντα αυτά είναι επίσης ανθεκτικά σε διαλύματα  $CaSO_4$ ,  $MgSO_4$  και  $Na_2SO_4$  χαμηλής ή



μέσης συγκέντρωσης. Εάν η σκωρία είναι σε ποσοστό μεγαλύτερο από 60% τότε είναι ανθεκτικά και σε πυκνά διαλύματα  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Επίσης είναι ανθεκτικά πλήρως σε μαλακά νερά. Η ταχύτητα ενανθράκωσης είναι μικρότερη από αυτή του τσιμέντου Πόρτλαντ.

Μειονέκτημα των τσιμέντων αυτών είναι ότι σε θερμοκρασίες άνω των  $10^\circ\text{C}$  καθυστερεί σημαντικά η ανάπτυξη των αντοχών. Ακόμη σε περιβάλλον πλούσιο σε χλωριόντα η ταχύτητα διάβρωσης του σιδηροπλισμού είναι μεγαλύτερη από αυτή του τσιμέντου Πόρτλαντ. Επίσης η εμπειρία έχει δείξει ότι σε περιπτώσεις όπου υπάρχει σημαντικά κυμαινόμενη στάθμη νερού η διάβρωση των τσιμέντων με πρόσθετο σκωρία είναι μεγαλύτερη από αυτή του αμιγούς τσιμέντου Πόρτλαντ.

### 4.3 ΑΔΡΑΝΗ

Τα αδρανή δεν πρέπει να διογκώνονται όταν υγραίνονται, δεν πρέπει να αποσυντίθεται ή να αντιδρούν με τα προϊόντα ενυδατώσεως του τσιμέντου σχηματίζοντας βλαβερές ενώσεις. Τα αδρανή δεν πρέπει να περιέχουν χλωριόντα προκαλώντας διάβρωση του οπλισμού. Πρέπει να πληρούν προϋποθέσεις διαβαθμίσεως, καθαρότητας, αντοχής, σχήματος, επιφανειακής καταστάσεως και να έχουν ανθεκτικότητα σε επίδραση παγετού και σε απότριψη.

Για τα ελαφρά αδράνη, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον το πορώδες τους και η απορρόφηση του νερού συναρτήσει του χρόνου. Για την παρασκευή σκυροδέματος υψηλής ποιότητας, απαιτούνται ελαφρά αδράνη με πολύ μεγάλη αντοχή.

Αδράνη τα οποία λαμβάνονται από την θάλασσα μπορούν να χρησιμοποιούνται υπό την προϋπόθεση ότι μετά την έκπλυση τα χλωριόντα δεν ξεπερνούν τα ανεκτά όρια.



Εικόνα 8. Αδράνη.

### 4.4 ΠΡΟΣΘΕΤΑ-ΠΡΟΣΜΙΞΕΙΣ

Τα πρόσθετα είναι συστατικά τα οποία προστίθενται στο σκυρόδεμα σε πολύ μικρές ποσότητες με σκοπό να βελτιώσουν ορισμένες ιδιότητες του σκυροδέματος με τη φυσική ή την χημική τους επίδραση. Λόγω των μικρών ποσοτήτων τους, τα πρόσθετα δεν επηρεάζουν τον συνολικό όγκο. Στα πρόσθετα περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων και τα ρευστοποιητικά, αερακτικά, επιβραδυντικά και επιταχυντικά σκληρύνσεως. Χάρης σε μια κατάλληλη μελέτη συνθέσεως, πρέπει να γνωρίζουμε την

ποσότητα των πρόσθετων η οποία απαιτείται, καθώς και την επίδραση μεγαλύτερης ή μικρότερης ποσότητας στις ιδιότητες του σκυροδέματος. Τέλος, πρέπει να μας είναι ρητώς γνωστή η περιεκτικότητα των προσθέτων σε χλώριο, θείο και μαγνήσιο. Τα πρόσθετα δεν πρέπει να αντιδρούν με τα συστατικά του σκυροδέματος σχηματίζοντας επιβλαβείς ενώσεις. Συνήθως, για την παρασκευή οπλισμένου ή προεντεταμένου σκυροδέματος απαγορεύεται η χρήση πρόσθετων τα οποία ελευθερώνουν χλωριόντα. Σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται περισσότερα από ένα πρόσθετα, πρέπει να ελέγχονται οι τυχόν αλληλεπιδράσεις.

Οι προσμίξεις είναι λεπτόκοκκα υλικά τα οποία προστίθενται στο τσιμέντο με σκοπό να βελτιώσουν τις ιδιότητες του. Στις προσμίξεις περιλαμβάνονται υδραυλικά ή ποζολανικά συστατικά όπως είναι οι σκωρίες, οι ιπτάμενες τάφρες, η πυριτική παιπάλη κλπ. Οι επιπτώσεις των προσμίξεων πάνω στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

#### **4.5 ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΙΞΕΩΣ**

Πρέπει να χρησιμοποιείται πόσιμο νερό και να αποφεύγεται η χρήση νερού ποταμών ή θαλάσσης. Σε περίπτωση που υπάρχει αμφιβολία για την ποιότητα του, το νερό πρέπει να ελέγχεται πριν χρησιμοποιηθεί. Εάν το νερό περιέχει πετρέλαιο, λίπη, ζάχαρη, είναι ακατάλληλο. Αν περιέχει χημικό οξύ σε μεγάλες ποσότητες, δεν πρέπει να χρησιμοποιείται.

Ο έλεγχος καταλληλότητας του νερού περιλαμβάνει μέτρηση της οξύτητας, μέτρηση του περιεχόμενου  $\text{CO}_2$ , μέτρηση της συγκεντρώσεως θειικών και θειούχων ενώσεων, καθώς και μέτρηση της περιεκτικότητας του νερού σε άλατα μαγνησίου (σκληρότητα) και σε άλατα αμμωνίου.



Εικόνα 9. Νερό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### 5.1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟ ΣΕ ΧΗΜΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Σε περίπτωση προσβολής του σκυροδέματος από χημικές επιδράσεις, το CEB (διεθνείς οδηγίες για μελέτη-κατασκευή έργων από σκυρόδεμα) κατατάσσει τους βαθμούς προσβολής του σκυροδέματος σε διάφορες κατηγορίες. Η κατάταξη ισχύει για στάσιμο ή αργά κινούμενο νερό υπό ήπιες κλιματολογικές συνθήκες (πχ στην Κεντρική Ευρώπη). Οι κατηγορίες κατατάξεως είναι:

Πίνακας 2. Κατάταξη για στάσιμο ή αργά κινούμενο νερό.				
Χημικοί παράγοντες	Βαθμός προσβολής			
	Ασθενής	Μέτριος	Ισχυρός	Πολύ ισχυρός
pH	6.5-5.5	5.5-4.5	4.5-4.0	<4.0
CO <sub>2</sub> (mg/lit)	15-30	30-60	60-100	>100
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/lit)	15-30	30-60	60-100	>100
Mg <sup>++</sup> (mg/lit)	100-300	300-1500	1500-3000	>3000
SO <sub>4</sub> <sup>---</sup> (mg/lit)	200-600	600-3000	3000-6000	>6000

Αν δύο ή περισσότερες τιμές είναι στο ανώτερο τέταρτο μιας βαθμίδας (για δε την περίπτωση το pH στο χαμηλότερο τέταρτο), ως βαθμός προσβολής λαμβάνεται εκείνος της επόμενης βαθμίδας. Η μεταβολή δεν γίνεται στην περίπτωση θαλάσσιου νερού.

Για τους παραπάνω βαθμούς προσβολής, ο Ελληνικός Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος προβλέπει τις εξής απαιτήσεις για το σκυρόδεμα (πλην προσβολής από θειικά):

Πίνακας 3. Βαθμός προσβολής σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος.				
Απαιτήσεις	Ασθενής	Μέτριος	Ισχυρός	Πολύ ισχυρός
Είδος τσιμέντου	I ή II	I ή II	I ή II	I ή II
Μέγιστος λόγος N/T	0.60	0.55	0.50	0.50
Ελάχιστη περιεκτικότητα σε τσιμέντο (kg/m <sup>3</sup> )	300	330	370	370 + Επιφανειακή προστασία

Οι ελάχιστες αναφερόμενες ποσότητες τσιμέντου ισχύουν για αδρανή με μέγιστη διάσταση κόκκου 30mm. Οι ποσότητες αυτές θα ελαττώνονται κατά 30kg/m<sup>3</sup> για αδρανή με μέγιστη διάσταση κόκκου 15mm. Οι απαιτήσεις αυτές ισχύουν μόνο για στάσιμο ή αργά κινούμενο φυσικό νερό το οποίο έχει μολυνθεί από χημικές ουσίες. Ισχύει επίσης για το υγρό έδαφος ή έδαφος το οποίο υγραίνεται συχνά. Δεν ισχύει για θαλάσσιο νερό, για υγρά βιομηχανικά απόβλητα, για αποθέσεις στερεών βιομηχανικών αποβλήτων και γενικά για εδάφη με περιεκτικότητα θειούχων μεγαλύτερη από 100mg θειοiónτων ανά kg ξηρού εδαφικού υλικού. Στις περιπτώσεις αυτές, καθώς επίσης και σε περιπτώσεις που το σκυρόδεμα έρχεται σε επαφή με θερμό θαλάσσιο νερό, (π.χ. σταθμοί αφαλατώσεως), θα γίνεται ειδική μελέτη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### 6.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΛΩΡΙΟΝΤΩΝ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Οι απαιτήσεις για την παρασκευή σκυροδέματος αφορούν:

- ✓ χαμηλή διαπερατότητα του σκυροδέματος για παρεμπόδιση της διαχύσεως των χλωριόντων και
- ✓ την ικανότητα δεσμεύσεως των χλωριόντων τα οποία προκαλούν διάβρωση του χάλυβα.

#### 6.1.1 ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Αν το τσιμέντο περιέχει μεγάλες ποσότητες  $C_3A$ , μπορεί να δεσμεύει τα χλωριόντα. Λαμβάνοντας υπόψη ταυτόχρονη επίδραση θειικών αλάτων και χλωριόντων, όπως συμβαίνει σε θαλάσσιο περιβάλλον, συνιστάται μέση τιμή  $C_3A$  5 έως 8% κ.β. τσιμέντου. Μεγάλη ποσότητα αλκαλίων στο σκυρόδεμα μειώνει την ποσότητα των χλωριόντων στο σκυρόδεμα. Το τσιμέντο με σκωρίες προσφέρει μεγαλύτερη αντίσταση σε διείσδυση χλωριόντων απ' ό,τι το τσιμέντο Portland κατά 10 έως 100 φορές.

Τα ανάμικτα τσιμέντα μειώνουν μεν την αλκαλικότητα του σκυροδέματος, μειώνουν όμως πολύ και την διαπερατότητα προσφέροντας 4 φορές μεγαλύτερη αντίσταση σε διείσδυση χλωριόντων απ' ό,τι το τσιμέντο Portland. Τα αερακτικά μειώνουν το απαιτούμενο νερό. Τσιμέντο Portland με περιεκτικότητα σε αέρα 2 έως 6% προσφέρει μεγάλη αντίσταση του σκυροδέματος σε διείσδυση χλωριόντων διότι τα αερακτικά μειώνουν την απαιτούμενη ποσότητα νερού ενώ μπορούν να ελαττώσουν και τη συνολική διαπερατότητα. Γενικά, απαιτείται μεγάλη περιεκτικότητα σε τσιμέντο.

#### 6.1.2 ΑΔΡΑΝΗ

Τα αδρανή πρέπει να είναι καλά πλυμένα, καλά διαβαθμισμένα, και να μην αντιδρούν με τα συστατικά του σκυροδέματος: Επισημαίνεται ότι τα πορώδη αδρανή ενδέχεται να περιέχουν μεγάλες ποσότητες αλάτων. Επίσης, ο περιεχόμενος άνθρακας μπορεί να απορροφήσει μεγάλες ποσότητες υγρασίας, και με τη διόγκωση να προκαλέσει μικρορωγμές στο σκυρόδεμα.

Πρέπει να αποφεύγονται αδρανή τα οποία περιέχουν θείο υπό μορφή πυρίτη ( $FeS_2$ ) διότι η οξειδωση του πυρίτη οδηγεί σε ισχυρά όξινη αντίδραση, δίνοντας διαλύματα θειικού οξέος. Μ' αυτόν τον τρόπο, προκαλείται σοβαρή διάβρωση στο σκυρόδεμα.

Για κατασκευές στη θάλασσα, η μέγιστη διάσταση των χρησιμοποιούμενων αδρανών είναι συνήθως 19 έως 38mm.

#### 6.1.3 ΠΡΟΣΘΕΤΑ

Όπως είναι γνωστό, το  $CaCl_2$  επιταχύνει την ενυδάτωση των πυριτικών αλάτων όταν προστεθεί σε ποσότητα τουλάχιστον 1% κβ. τσιμέντου. Επιταχύνει επίσης την ενυδάτωση του  $C_3A$ . Γι' αυτό και χρησιμοποιείται σε περίπτωση ανάγκης ως επιταχυντικό. Είναι όμως σήμερα αναντιρρήτως γνωστό ότι βλάπτει τους οπλισμούς. Χρήση  $CaCl_2$  σε ποσότητα μέχρι 1.5% κβ. μπορεί να εξουδετερωθεί με ανασταλτικά διαβρώσεως. Για να εξουδετερωθεί δράση χλωριόντων σε ποσότητα 0.3% κ.β. τσιμέντου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί 1.4% φωσφορικό άλας.

#### 6.1.4 ΝΕΡΟ

Το νερό στους πόρους του σκυροδέματος ρυθμίζει τη μεταφορά των διαφόρων ιόντων ή αερίων στο εσωτερικό του, αλλά και την (ηλεκτρική) αντίστασή του. Η

επίδραση του νερού στην ηλεκτρική αντίσταση και στη μεταφορά του οξυγόνου (και γενικότερα των αερίων) είναι αντίστροφη. Το κορεσμένο με νερό σκυρόδεμα έχει τη μικρότερη ηλεκτρική αντίσταση (ή τη μεγαλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα), ταυτόχρονα, όμως, παρεμποδίζει την απευθείας είσοδο του οξυγόνου. Στο κορεσμένο, με νερό, σκυρόδεμα μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο διάχυση του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου, που είναι μικρή. Αντίθετα, στο ξηρό σκυρόδεμα η μεταφορά του οξυγόνου μέσα από τους άδειους πόρους είναι σημαντική. Όμως, η ηλεκτρική αντίσταση του ξηρού σκυροδέματος είναι μεγάλη (ή ηλεκτρική αγωγιμότητα μικρή), ώστε το ρεύμα μεταξύ των πόλων του γαλβανικού στοιχείου διάβρωσης είναι πολύ μικρό. Επομένως, ο κίνδυνος διάβρωσης σε ξηρό και κορεσμένο σε νερό σκυρόδεμα είναι μικρός, ενώ στις ενδιάμεσες περιπτώσεις είναι μεγαλύτερος.

Η ποσότητα του νερού στο σκυρόδεμα εξαρτάται από:

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

Η υγρασία στην επιφάνεια του σκυροδέματος είναι μεταβαλλόμενη. Μετά από παρατεταμένη βροχή η σχετική υγρασία είναι 100%. Αντιθέτως, τις θερμές – ξηρές ημέρες είναι σχετικά μικρότερη. Ακόμη, η υγρασία εξαρτάται από την τοποθεσία, στην οποία βρίσκεται η κατασκευή. Στα παράλια η υγρασία είναι σημαντικά μεγαλύτερη σε σχέση με τις μεσόγειες περιοχές. Η υγρασία εξαρτάται, επίσης, από το εάν το σκυρόδεμα είναι προστατευμένο ή όχι από τη βροχή. Αν η σχετική υγρασία στην επιφάνεια του σκυροδέματος έχει κατέβει σε χαμηλά επίπεδα, η σχετική υγρασία στο εσωτερικό του σκυροδέματος ακολουθεί τη μείωση αυτή με μεγάλη χρονική καθυστέρηση.

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

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

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### 7.1 ΟΡΙΑ ΧΛΩΡΙΟΝΤΩΝ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Πίνακας 4. Όρια χλωριόντων στο σκυρόδεμα.			
Χλωριόντα διαλυτά στο νερό, σε σκυρόδεμα προτού εκτεθεί στο περιβάλλον του		Μέγιστη συγκέντρωση χλωριόντων διαλυτών στο νερό σε ήδη σκληρυμένο σκυρόδεμα στις 28 ημέρες	
Δομικό στοιχείο	Όριο % κ.β. τσιμέντου	Δομικό στοιχείο	Όριο % κ.β. τσιμέντου
Προεντεταμένο σκυρόδεμα	0.06	Προεντεταμένο σκυρόδεμα	0.06
Σιδηροπαγές σκυρόδεμα σε υγρό περιβάλλον και εκτεθειμένο σε περιβάλλον με χλωριόντα	0.10	Σιδηροπαγές σκυρόδεμα το οποίο εκτίθεται σε περιβάλλον με χλωριόντα	0.15
Κατασκευή πάνω από το έδαφος, όπου το σκυρόδεμα παραμένει στεγνό	-	Σιδηροπαγές σκυρόδεμα το οποίο θα είναι στεγνό ή θα προστατεύεται από υγρασία	1.00
Σιδηροπαγές σκυρόδεμα σε υγρό περιβάλλον χωρίς επίδραση χλωριόντων	0.15	Άλλες κατασκευές από σιδηροπαγές σκυρόδεμα	0.30

#### ΣΧΟΛΙΑ

Προσθήκη ποσότητας 2% CaCl<sub>2</sub> ως πρόσθετο στο σκυρόδεμα παρέχει περίπου 1% χλωριόντα. Οι A.Anderson-R.Black,(1985),δίνουν τις εξής εμπειρικές συστάσεις:

- ❖ Επαρκής επικάλυψη σκυροδέματος, για να παρέχεται στον χάλυβα αρκετή προστασία σε διάβρωση όταν εκτίθεται σε θαλάσσιο νερό.
- ❖ Περιεκτικότητα σε CaCl<sub>2</sub> σε ποσότητα 2% κ.β. τσιμέντου είναι ασφαλής για σκυρόδεμα υψηλής ποιότητας. Οι B.Erlin-W.Hime,(1985),αναφέρουν αντίθετα ότι παρατηρείται διάβρωση του χάλυβα όταν το σκυρόδεμα φτάσει στη μέση ηλικία ακόμα και αν η ποσότητα του CaCl<sub>2</sub> ήταν μικρή (1 έως 2% κ.β. τσιμέντου). Αυτό όμως πιθανόν οφείλεται στην επίδραση άλλων ιόντων-ένας παράγοντας που συχνότατα δεν λαμβάνεται υπόψη στις επιμέρους έρευνες και προδιαγραφές.
- ❖ Προσθήκη λιγνοσουλφόνης ταυτόχρονα με την χρήση CaCl<sub>2</sub>εμποδίζει την διάβρωση του χάλυβα λόγω επιδράσεως χλωριόντων.
- ❖ Επαναλαμβανόμενη προσθήκη αντιπαγωτικών αλάτων σε οπλισμένο σκυρόδεμα προκαλεί διάβρωση του οπλισμού, άσχετα αν χρησιμοποιήθηκε ή όχι CaCl<sub>2</sub> ως πρόσθετο κατά την παρασκευή του σκυροδέματος.

- ❖ Τα χλωριούχα αντιπαγωτικά άλατα να αντικατασταθούν από άλατα μη χλωριούχα.

Στο Concrete International, March 1986, δίνονται οι εξής συστάσεις για προστασία έναντι επιδράσεως χλωριόντων:

- Χαμηλή διαπερατότητα σκυροδέματος επιτυγχάνεται με μεγάλη περιεκτικότητα σε τσιμέντο και μέγιστο λόγο N/T 0.40.
- Επικάλυψη τουλάχιστον 60mm.
- Μακρόχρονη υγρή συντήρηση.

Αν τα μέτρα αυτά δεν είναι δυνατόν να ληφθούν (λ.χ. σε υπάρχουσα κατασκευή), τότε μπορεί να χρησιμοποιηθούν:

- Επίστρωμα σκυροδέματος με χαμηλή διαπερατότητα σε χλωριόντα
- Πρόσθετες ράβδοι οπλισμού επιχρισμένες με εποξειδική ρητίνη
- Ανασταλτικά διαβρώσεως οπλισμού (πχ νιτρώδες ασβέστιο)
- Καθοδική προστασία του οπλισμού

### 7.1.2 ΠΑΧΟΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΩΣ

Η επικάλυψη των οπλισμών πρέπει να έχει μικρή διαπερατότητα, αρκετά μεγάλο πάχος και να μην έχει ρωγμές μεγάλου εύρους. Επιπλέον, η αλκαλικότητα του σκυροδέματος της επικάλυψης πρέπει να διατηρεί αρκετά υψηλές τιμές. Το προβλεπόμενο πάχος επικάλυψης εξαρτάται από την διάμετρο των χρησιμοποιούμενων ράβδων οπλισμού, τη μέγιστη διάσταση αδρανών, την προσβλητικότητα του περιβάλλοντος και την ποιότητα του σκυροδέματος. Μερικοί κανονισμοί (πχ. ο Ολλανδικός) εκφράζουν το απαιτούμενο πάχος επικάλυψης βάσει της κατηγορίας του μέλους της κατασκευής (υποστήλωμα, δοκός) και όχι βάσει της ποιότητας του σκυροδέματος.

Ενδεικτικά αναφέρεται εδώ το προβλεπόμενο από τον Βρετανικό κανονισμό πάχος επικάλυψης.

Πίνακας 5. Κατηγορίες σκυροδέματος.					
Προσβλητικότητα περιβάλλοντος	C20	C25	C30	C40	C50 και άνω
Ασθενής	25	20	15	15	15
Μέτρια	-	40	30	25	20
Ισχυρή	-	50	40	30	25
Πολύ ισχυρή	-	-	-	60	50
Χρήση αντιπαγωτικών αλάτων	-	-	50	40	25



Οι κατηγορίες προσβλητικότητας του περιβάλλοντος περιγράφονται ως εξής:

**ΑΣΘΕΝΗΣ:** Πλήρης προστασία του σκυροδέματος από περιβαλλοντικές επιρροές.

**ΜΕΤΡΙΑ:** Το σκυρόδεμα προστατεύεται από την επίδραση παγετού όταν είναι κορεσμένο.

**ΙΣΧΥΡΗ:** Το σκυρόδεμα εκτίθεται σε διαβρωτικά υγρά ή αέρια, ή υπόκειται σε επίδραση παγετού όταν είναι κορεσμένο.

**ΠΟΛΥ ΙΣΧΥΡΗ:** Επίδραση θαλάσσιου νερού ή βαλτώδους νερού και ταυτόχρονη μηχανική φθορά.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### 8.1 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΔΙΝΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ



Εικόνα 10. Διάβρωση χαλύβδινου οπλισμού.

#### **Γενικά για τη διάβρωση του οπλισμού**

Στη συνήθη περίπτωση το σκυρόδεμα αποτελεί ένα προστατευτικό περιβάλλον του σιδηροοπλισμού για δύο λόγους:

- Το υδατικό διάλυμα των πόρων του σκυροδέματος είναι έντονα αλκαλικό, εξαιτίας του υδροξειδίου του ασβεστίου, προϊόν της αντίδρασης σκλήρυνσης του τσιμέντου, με pH μεταξύ 12.5 και 13.9.
- Κάτω από αυτές τις συνθήκες ο χάλυβας καλύπτεται επιφανειακά από ένα παθητικό στρώμα οξειδίων, που παρεμποδίζει τη διάβρωσή του. Η διάβρωσή του περιορίζεται στη συντήρηση του παθητικού αυτού στρώματος, δράση εξαιρετικά αργή, που πρακτικά μπορεί να παραμεληθεί.

διάφορα διαβρωτικά αέρια ( $O_2$ ,  $SO_2$  κλπ) και άλλες ουσίες, που βοηθούν τη διάβρωση (άλατα χλωρίου κλπ). Το σκυρόδεμα αποτελεί ένα φυσικό εμπόδιο στην επαφή του οπλισμού με τα

Με την πάροδο του χρόνου, όμως, το σκυρόδεμα μπορεί να χάσει την προστατευτική του υγρασία, πχ λόγω ενανθράκωσης το pH μπορεί να κατέβει κάτω από 9.0 ή η συγκέντρωση των χλωριόντων μπορεί να γίνει επαρκής, ώστε να καταστρέψει το παθητικό στρώμα χάλυβα, οπότε η διάβρωση του οπλισμού μπορεί να γίνει σημαντική. Η διάβρωση του οπλισμού στο σκυρόδεμα είναι μία ηλεκτροχημική δράση που λαμβάνει χώρα, όταν το σκυρόδεμα έχει μία ηλεκτρική αγωγιμότητα λόγω της παρουσίας υγρασίας και ηλεκτρολυτών στους πόρους του. Η ηλεκτροχημική δράση συνεπάγεται την ύπαρξη ανόδου, όπου λαμβάνει χώρα η καθοδική δράση και την ύπαρξη ηλεκτρολύτη για την μεταφορά των ιόντων. [3]

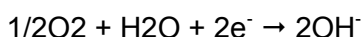
Η διεξαγωγή των δράσεων αυτών πραγματοποιείται στη διεπιφάνεια μετάλλου-ηλεκτρολύτη και ακολουθεί η μετακίνηση ιόντων στον ηλεκτρολύτη.

Η ανοδική δράση, στην περίπτωση της διάβρωσης του οπλισμού σκυροδέματος, είναι η ανοδική διάλυση του σιδήρου, η οποία είναι μία οξειδωτική δράση συνυφασμένη με απόδοση ηλεκτρονίων κατά το σχήμα:

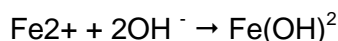


Η ταχύτητα της δράσης αυτής εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Στην περίπτωση δημιουργίας παθητικού στρώματος είναι πολύ μικρή. Όταν όμως το pH αποκτήσει τιμές κάτω από 9.0 η ταχύτητα αυξάνει σημαντικά. Το ίδιο συμβαίνει, όταν το παθητικό στρώμα καταστραφεί από την παρουσία ικανού ποσού χλωριόντων.

Η καθοδική δράση είναι συνυφασμένη με την πρόσληψη ηλεκτρονίων. Για να πραγματοποιηθεί είναι αναγκαία η ύπαρξη ενός οξειδωτικού μέσου. Στην περίπτωση που το οξειδωτικό μέσο είναι το οξυγόνο, αυτό μπορεί να προσλάβει ηλεκτρόνια προς σχηματισμό υδροξυλίων κατά το σχήμα:



Το οξυγόνο για να φθάσει στην επιφάνεια του σιδήρου, που είναι η κάθοδος, πρέπει να διαχυθεί μέσα από τους πόρους του σκυροδέματος. Τα ιόντα σιδήρου από την ανοδική δράση και τα υδροξυλίωντα από την καθοδική δράση μετακινούνται μέσα στον ηλεκτρολύτη και τελικά αντιδρούν προς σχηματισμό στερεού προϊόντος κατά το σχήμα:



Το σχηματιζόμενο υδροξείδιο του σιδήρου με το υπάρχον οξυγόνο μετατρέπεται σε υδροξείδιο του τρισθενούς σιδήρου ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ). Ανάλογα με το έδαφος του ηλεκτρολύτη, ο σχηματισμός του υδροξειδίου πραγματοποιείται στην επιφάνεια του σιδήρου ή μακρύτερα από αυτή. Ακόμη, από το είδος του ηλεκτρολύτη και τις αλλαγές της σύστασής του, μπορούν να σχηματιστούν και άλλα είδη προϊόντων (π.χ. μικτά οξείδια - υδροξείδια κλπ.).

Στο Σχήμα απεικονίζεται η διαδικασία διάβρωσης του σιδηροπλισμού και αναλύονται οι δράσεις που λαμβάνουν χώρα. Ο ίδιος ο σιδηροπλισμός παίζει το ρόλο του αγωγού σύνδεσης ανοδικών - καθοδικών περιοχών. Τα σχηματιζόμενα προϊόντα διάβρωσης του οπλισμού μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικές δευτερεύουσες επιδράσεις. Έτσι, αν σχηματισθούν μέσα στους πόρους και τους κλείσουν, παρεμποδίζουν τη συνέχιση της διαβρωτικής δράσης, εάν όμως σχηματίζονται στην επιφάνεια του χάλυβα, επειδή έχουν μικρότερη πυκνότητα και συνεπώς μεγαλύτερο όγκο, εξασκούν εφελκυστικές τάσεις στο σκυρόδεμα και τελικά μπορούν να το ρηγματώσουν.

Σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί παραπάνω, για να πραγματοποιηθεί η διάβρωση του σιδηροπλισμού στο σκυρόδεμα πρέπει να υπάρχουν τρεις προϋποθέσεις:

- Ανοδική διάλυση του σιδήρου
- Παρουσία οξυγόνου
- Ηλεκτρική αγωγιμότητα του σκυροδέματος μέσω του υγρού των πόρων.

Εάν και οι τρεις προϋποθέσεις εκπληρώνονται, τότε η διάβρωση του σιδηροπλισμού είναι δυνατή. Η ταχύτητα, η μορφή και η έκταση της διάβρωσης εξαρτώνται και από άλλους παράγοντες. Η ανοδική και η καθοδική δράση συμβαίνουν ταυτόχρονα στην επιφάνεια του χάλυβα. Υφίσταται το ερώτημα, όμως, για ποιόν λόγο ένα μέρος της επιφάνειας του χάλυβα να συμπεριφέρεται σαν άνοδος και ένα άλλο μέρος σαν κάθοδος. Η απάντηση βρίσκεται στη δημιουργία τοπικών γαλβανικών στοιχείων. Κατ' αρχάς πρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ τοπικών γαλβανικών στοιχείων και μακροσκοπικών τοπικών γαλβανικών στοιχείων. Ένα κράμα, όπως είναι ο δομικός χάλυβας, από τη διαδικασία παραγωγής του έχει αιτίες για τον σχηματισμό τοπικών γαλβανικών στοιχείων. Ανομοιομορφίες μικρής κλίμακας στη σύσταση, ανωμαλίες στην επιφάνεια και ύπαρξη οξειδίων σε αυτήν, οδηγούν στη δημιουργία μικρής

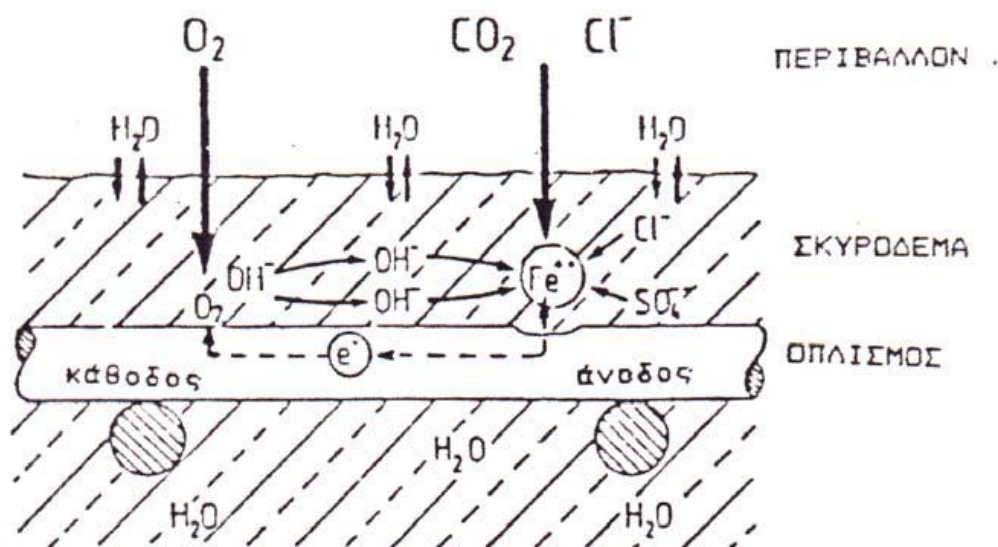
κλίμακας γαλβανικών στοιχείων, τα οποία ονομάζονται τοπικά γαλβανικά στοιχεία. Τη διάβρωση του χάλυβα στο σκυρόδεμα επηρεάζουν, ακόμη, οι ακόλουθοι παράγοντες:

- Το είδος και η δομή του σκυροδέματος.
- Το πάχος της επικάλυψης του οπλισμού από το σκυρόδεμα.
- Η ποσότητα του νερού στο σκυρόδεμα.
- Η ύπαρξη ρωγμών στο σκυρόδεμα.

Όλοι οι παραπάνω παράγοντες επηρεάζουν τη διάχυση του οξυγόνου (αλλά και άλλων διαβρωτικών αερίων) στη μάζα του σκυροδέματος και, κατά συνέπεια, στην επιφάνεια του χάλυβα. Εφόσον οι προϋποθέσεις για τη διάβρωση του σκυροδέματος εκπληρούνται, η διάβρωση λαμβάνει χώρα και μπορεί να οδηγήσει:

- Σε μείωση της διατομής του οπλισμού, με συνέπειες στη στατική ικανότητα της κατασκευής.
- Σε δημιουργία ρωγμών από τη δημιουργία των προϊόντων διάβρωσης (σχηματισμός

οξειδίων στην επιφάνεια του οπλισμού), με μεγαλύτερο μοριακό όγκο από το σίδηρο, όταν παρεμποδίζεται η ανάπτυξή τους (άσκηση εφελκυστικών τάσεων στο σκυρόδεμα). Η απώλεια της επικάλυψης του οπλισμού προκαλεί δομικές φθορές στο οπλισμένο σκυρόδεμα εξαιτίας της απώλειας της συνάφειας μεταξύ οπλισμού και σκυροδέματος και της μείωσης της διατομής του οπλισμού



Εικόνα 11. Μεταφορά οξειδίων στην επιφάνεια του οπλισμού.

### 8.1.1 ΑΡΧΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΣΙΔΗΡΟΠΛΙΣΜΩΝ ΑΠΟ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Ο χάλυβας στο σκυρόδεμα μπορεί να προστατευθεί είτε (κυρίως) μειώνοντας την διαπερατότητα στο σκυρόδεμα για να εμποδισθεί η διείσδυση επιβλαβών ουσιών, είτε με άμεση προστασία του χάλυβα εμποδίζοντας την προσβολή του μετάλλου. Τα μέτρα προστασίας τα οποία μπορούν να λαμβάνονται σε μια κατασκευή είναι τα εξής:

## ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

- ❖ Ανασταλτικά διαβρώσεως

## ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

- ❖ Προστατευτικά επιστρώματα
- ❖ Υδατοστεγείς μεμβράνες
- ❖ Επικάλυψη ειδικού σκυροδέματος
- ❖ Εμποτισμός με πολυμερή

## ΠΑΝΩ ΣΤΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟ

- ❖ Επιχρίσματα στον χάλυβα
- ❖ Ανοξειδωτοι χάλυβες
- ❖ Χρήση οπλισμών από τιτάνιο

## ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Μπορεί να ληφθεί κάποιο συγκεκριμένο από τα προαναφερθέντα μέτρα ή να γίνει συνδυασμός περισσότερων μέτρων, ανάλογα με τον κίνδυνο διαβρώσεως, την ευκολία εφαρμογής και το κόστος.

## 8.1.2 ΑΝΑΣΤΑΛΤΙΚΑ ΔΙΑΒΡΩΣΕΩΣ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Τα ανασταλτικά διαβρώσεως είναι ουσίες οι οποίες προστίθενται στο σκυρόδεμα κατά την παρασκευή του, με σκοπό να προστατεύσουν τον ενσωματωμένο χάλυβα από τη διάβρωση. Ο μηχανισμός επιδράσεως των ανασταλτικών είναι σύνθετος και δεν έχει εξηγηθεί πλήρως. Είναι πιθανόν ότι ο μηχανισμός διαφέρει ανάλογα με το είδος του χρησιμοποιούμενου άλατος.

Η χρήση των χημικών αναστολέων για τη μείωση του ρυθμού διάβρωσης ποικίλει. Στις βιομηχανίες εξαγωγής και επεξεργασίας πετρελαίου π.χ. οι αναστολείς θεωρούνται βασικό στοιχείο υπεράσπισης ενάντια στη διάβρωση. Ένας μεγάλος αριθμός επιστημονικών μελετών έχει αφιερωθεί στο θέμα των ανασταλτικών παραγόντων διάβρωσης αλλά το μεγαλύτερο μέρος των πληροφοριών προέρχεται από πειράματα 'δοκιμής και σφάλματος' σε εργαστήρια και σε πραγματικές συνθήκες.

Τα ανασταλτικά διαβρώσεως μπορεί να είναι οργανικά άλατα (π.χ άλατα δεψικού οξέος, αιθυλική ανιλίνη, βενζοϊκό νάτριο κλπ), ή ανόργανα άλατα (π.χ. διχρωμικό κάλιο, χλωριούχος κασσίτερος, χρωμικά άλατα ψευδαργύρου ή μολύβδου, νιτρώδες ασβέστιο κλπ.). Ειδικά για το νιτρώδες ασβέστιο  $[Ca(NO_2)_2]$ , οι N.Berke-P.Stark,(1985),αναφέρουν ότι πραγματοποίησαν πειράματα με προσθήκη  $Ca(NO_2)_2$  σε ποσότητα 0.44% κ.β. σε διαλύματα ασβεστίου το οποίο περιείχε χλωριόντα σε ποσοστά 0.36% κ.β. Χάλυβας βυθισμένος σε αυτό το διάλυμα είχε μεγάλη ανθεκτικότητα σε διάβρωση. Από την RILEM 12-CRC αναφέρεται ότι προσθήκη 1.4% φωσφορικού άλατος στο σκυρόδεμα εξουδετερώνει επίδραση χλωριόντων τα οποία βρίσκονται στο σκυρόδεμα σε ποσότητα μέχρι 0.3% κ.β. τσιμέντου.

Ως ανασταλτικό διαβρώσεως έναντι επιδράσεως χλωριόντων αναφέρεται από τους A.Anderson-R.Black,(1985),η λιγνοσουλφόνη. Η λιγνοσουλφόνη είναι το υλικό με βάση την λιγνίνη και προέρχεται από τα απορρίμματα της βιομηχανίας ξύλου. Για διάφορες ποιότητες σκυροδέματος υπό διάφορες συνθήκες περιβάλλοντος, η λιγνοσουλφόνη προσέφερε στον χάλυβα πολύ καλή προστασία έναντι διαβρώσεως. Προσθήκη λιγνοσουλφόνης στο σκυρόδεμα σε ποσότητα 0.42%κ.β.,προστατεύει τον

χάλυβα έναντι διαβρώσεως από προσθήκη χλωριούχου ασβεστίου στο σκυρόδεμα σε ποσότητα έως 5%κ.β.

#### ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Οι αναστολείς καθυστερούν τη διαδικασία της διάβρωσης με τους παρακάτω τρόπους:

- Αύξηση της ανοδικής ή καθοδικής πολικότητας (κλίσεις Tafel).
- Μείωση της μετακίνησης ή της διάχυσης των ιόντων στη μεταλλική επιφάνεια.
- Αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης της μεταλλικής επιφάνειας.

Τα μόρια των αναστολέων είναι συνήθως σε συνεχή κίνηση, καθώς ροφούνται και εκροφούνται μεταξύ του ρευστού και του προστατευτικού στρώματος. Η ρόφηση και η εκρόφηση εξαρτώνται από τη φύση των μορίων καθώς και από τη συγκέντρωση του αναστολέα στο διάλυμα. Είναι σημαντικό κατά την προστασία με χρήση αναστολέων, η συγκέντρωσή τους να διατηρείται σε επαρκή επίπεδα στο ρευστό.

#### ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Έχει παρατηρηθεί ότι μερικά ανασταλτικά διαβρώσεως μπορεί να επηρεάσουν δυσμενώς τις φυσικές ιδιότητες του σκυροδέματος. Τα ανασταλτικά διαβρώσεως μπορεί να προκαλέσουν μείωση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, να επιβραδύνουν την σκλήρυνση του τσιμέντου ή να γίνουν επιβλαβή σε μετέπειτα ηλικίες. Τα φωσφορικά άλατα σε μικρές συγκεντρώσεις δρουν ως επιταχυντικά σκληρύνσεως.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

### 9.1 ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΑ ΣΤΟΝ ΧΑΛΥΒΑ



Εικόνα 12. Επιχρίσματα στον χάλυβα.

Έχει παρατηρηθεί ότι η προστασία του χάλυβα με πρόσθετα μέτρα μέσα στο σκυρόδεμα ή με επιχρίσματα στην επιφάνεια του σκυροδέματος δεν είναι πάντοτε επαρκής διότι η προστασία περιορίζεται όταν το σκυρόδεμα ρηγματωθεί. Γι' αυτόν τον λόγο, χρησιμοποιούνται μερικές φορές επιχρίσματα πάνω στον χάλυβα με σκοπό να εμποδίσουν τον χάλυβα να έρθει σε επαφή με το οξυγόνο, υγρασία ή χλωριόντα. Τα επιχρίσματα εφαρμόζονται πάνω σε χάλυβα ο οποίος είναι απολύτως καθαρός, απαλλαγμένος από ελαιώδεις ουσίες, σκόνη ή σκουριά. Τα επιχρίσματα μπορεί να είναι μεταλλικά ή μη μεταλλικά.

#### 9.1.1 ΜΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΑ

Τα υλικά επιχρίσεως μπορεί να είναι οργανικά ή ανόργανα. Τα συνηθέστερα υλικά επιχρίσεως είναι οι εποξειδικές ρητίνες και το χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC). Το χλωριούχο πολυβινύλιο έχει μικρή διαπερατότητα έναντι του νερού, αερίων και ηλεκτρολυτών ενώ παρουσιάζει μεγάλη ανθεκτικότητα έναντι χημικής προσβολής από οξέα και βάσεις. Οι εποξειδικές ρητίνες παρουσιάζουν καλή πρόσφυση στον χάλυβα και έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα μέσα σε αλκαλικό περιβάλλον, όπως και σε περιβάλλον του σκυροδέματος.

Οι εποξειδικές ρητίνες εφαρμόζονται στον χάλυβα με δυο μεθόδους:

- Ηλεκτροστατικό ψεκασμό
- Υγρή εμβάπτιση

Συνήθως εφαρμόζεται ο ηλεκτροστατικός ψεκασμός.

Η διαδικασία επιχρίσεως περιλαμβάνει προετοιμασία της επιφάνειας του χάλυβα, προθέρμανση, επίχριση, "ψήσιμο", ψήξη, επιθεώρηση κλπ. Ο χάλυβας θερμαίνεται γύρω στους 200 βαθμούς κελσίου όταν εφαρμόζεται το επίχρισμα. Η θερμοκρασία αυτή θεωρείται αρκετά χαμηλή ώστε να μην υπάρχει φόβος ότι επηρεάζονται οι φυσικές ιδιότητες του χάλυβα. Κατά την επίχριση, ο χάλυβας αποτελεί την άνοδο και την εποξειδική ρητίνη, υπό μορφή σκόνη, αποτελεί την κάθοδο. Η σκόνη τίκεται πάνω στον χάλυβα, και σχηματίζεται ένα κλειστό περίβλημα το οποίο σκληρύνεται γρήγορα. Αν η επιφάνεια του χάλυβα δεν έχει καθαριστεί καλά, παρατηρείται ρηγματώση στο επίχρισμα.

Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος επιχρίσεως, τόσο καλύτερη είναι η συμπεριφορά του χάλυβα έναντι διαβρώσεως, αλλά μειώνεται πολύ η συνάφεια μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα. Εξ άλλου, για μεγάλο πάχος επιχρίσεως είναι εύκολη η αποκόλληση του

επιχρίσματος όταν οι οπλισμοί κάμπτονται. Γι' αυτούς τους λόγους, πάχος περίπου 0.20mm θεωρείται ως ικανοποιητική λύση.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑ της μεθόδου είναι η εύκολη καταστροφή του επιχρίσματος κατά τη μεταφορά και αποθήκευση των χαλύβων. Επίσης όταν οι χάλυβες κάμπτονται σε χαμηλές θερμοκρασίες (μικρότερες από 5 C), το επίχρισμα ρηγματώνεται.

Οι επιχρισμένοι χάλυβες δεν πρέπει να εκτίθενται στον ήλιο γιατί η υπεριώδης ακτινοβολία καταστρέφει τις ρητίνες το επίχρισμα ξεφλουδίζει και πρέπει να απομακρυνθεί με συρματόβουρτσα και να επισκευασθεί. Κατά την συγκόλληση χαλύβων, το επίχρισμα καταστρέφεται σε έκταση 70 έως 180mm γύρω από την περιοχή της ενώσεως.

Επίσης, κατά την χύτευση του σκυροδέματος πρέπει να προσέξουμε ώστε να μην καταστραφεί το επίχρισμα του χάλυβα. Προσοχή απαιτείται και κατά την χρήση του δονητή. Αν πριν από την χρήση των οπλισμών ,τύχει να πέσει σκυρόδεμα πάνω τους ,το σκυρόδεμα αυτό πρέπει να απομακρυνθεί διότι θα μειώνει τοπικά τη συνάφεια μετά την τελική σκυροδέτηση. Ο καθαρισμός αυτός θα πρέπει να γίνει με νερό υπό πίεση ή με πανί, προτού το σκυρόδεμα σκληρυνθεί πάνω στον χάλυβα. Η χρήση συρματόβουρτσας είναι επικίνδυνη γιατί θα αφαιρούσε και το επίχρισμα.

Σε περίπτωση επισκευής του επιχρίσματος πρέπει να αφαιρεθεί κάθε ξένη ουσία, έλαια, σκόνη κλπ. χρησιμοποιώντας ύφασμα με διαλυτικό. Αν έχει σχηματιστεί σκουρία, πρέπει να αφαιρεθεί με σμυριδόχαρτο πριν επισκευασθεί το επίχρισμα. Το πάχος του επισκευασμένου επιχρίσματος πρέπει να είναι 200 έως 300 μm. Πρέπει να αποφεύγεται η επαφή του επιχρίσματος (όσο είναι ακόμα υγρό) με άλλα σώματα ή με νερό της βροχής. Στην κατασκευή πρέπει να αποφεύγεται η επαφή μεταξύ επιχρισμένων και μη επιχρισμένων χαλύβων.

#### 9.1.2 ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΑ

Τα μεταλλικά επιχρίσματα εφαρμόζονται στον χάλυβα με διάφορους τρόπους:

- ✓ Με εμβάπτιση των χαλύβων σε τηγμένο μέταλλο.
- ✓ Με επιμετάλλωση σε ηλεκτρολυτική συσκευή (αλλά σε πάχος αρκετά μικρότερο από το πάχος το οποίο επιτυγχάνεται με την εμβάπτιση)
- ✓ Με ψεκασμό τηγμένου μετάλλου.

Έχει βρεθεί πειραματικά ότι το μέγεθος της διαβρώσεως του επιχρίσματος είναι ανεξάρτητο από τον τρόπο εφαρμογής του.

Τα μεταλλικά επιχρίσματα χωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

#### ΕΥΓΕΝΗ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΑ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΔΡΟΥΝ ΩΣ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑ

Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα μέταλλα τα οποία έχουν δυναμικό διαβρώσεως, μεγαλύτερο από το δυναμικό διαβρώσεως του χάλυβα, π.χ. ο χαλκός, το νικέλιο, ο κασσίτερος, ο ορείχαλκος κ.α. Τα μέταλλα αυτά προσφέρουν προστασία στον χάλυβα, όσο το επίχρισμα δεν έχει καταστραφεί. Μόλις όμως το επίχρισμα καταστραφεί, έστω και σε μικρές περιοχές, συντελείται η διάβρωση του χάλυβα. Μεγάλη σημασία έχει το πορώδες του επιχρίσματος το οποίο μειώνεται πολύ όσο αυξάνεται το πάχος του επιχρίσματος.

#### ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΑ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΥΝ ΤΟΝ ΧΑΛΥΒΑ ΜΕ ΤΗΝ ΔΙΚΗ ΤΟΥΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα μέταλλα με δυναμικό διάβρωσης μικρότερο από το δυναμικό διαβρώσεως του χάλυβα, π.χ. ψευδάργυρος, αλουμίνιο κ.α. Τα επιχρίσματα διαβρώνονται (κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο με τον οποίο διαβρώνονται



ως συμπαγή μέταλλα) έως ότου ο υπό προστασία χάλυβας εκτεθεί στο περιβάλλον σε μικρές περιοχές. Αλλά και τότε ,λόγω της γαλβανικής δράσεως επιταχύνεται η διάβρωση αυτού του "θυσιαζόμενου" επιχρίσματος, παρέχοντας έτσι κι αλλιώς προστασία στον χάλυβα.

Εκτεταμένης χρήσεως είναι οι γαλβανισμένοι χάλυβες (χάλυβες επιχρισμένοι με ψευδάργυρο), οι οποίοι χρησιμοποιούνται κυρίως σε οδοστρώματα γεφυρών τα οποία υπόκεινται σε επίδραση αντιπαγωγικών αλάτων και σε θαλάσσιες κατασκευές. Έρευνες όμως οι οποίες έχουν διεξαχθεί σε θαλάσσιο περιβάλλον, έχουν αποδείξει ότι ο γαλβανισμός δεν αποτρέπει τελικώς την διάβρωση. Ο ψευδάργυρος έχει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε διάβρωση από τον χάλυβα, όταν εκτίθεται σε θαλάσσιο περιβάλλον. Αυτό οφείλεται στα σκληρά, πυκνά προϊόντα της διαβρώσεως τα οποία δημιουργούνται στην επιφάνεια του ψευδαργύρου, παρέχοντας προστασία στο μέταλλο. Σε θειώδες περιβάλλον, αντίθετα, τα προϊόντα διαβρώσεως του ψευδαργύρου είναι μαλακά ,ογκώδη και δεν παρέχουν προστασία στο μέταλλο. Η χρήση γαλβανισμένων χαλύβων εισάγει πρόσθετους κινδύνους, γι αυτό απαιτείται προσοχή κατά την χρήση τους:

α) Έχει παρατηρηθεί ότι ο ψευδάργυρος αντιδρά με το  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  του σκυροδέματος.

Το παραγόμενο από την αντίδραση υδρογόνο σχηματίζει φυσαλίδες στην περιοχή του σπλισμού, μειώνοντας μ' αυτόν τον τρόπο την συνάφεια μεταξύ του σκυροδέματος και του χάλυβα. Η συνάφεια μεταξύ του νευροχάλυβα δεν επηρεάζεται τόσο πολύ από την αντίδραση, όσο η συνάφεια του λείου χάλυβα.

Οι αντιδράσεις του ψευδαργύρου με τα συστατικά του σκυροδέματος αποφεύγονται με την χρήση χρωμικών αλάτων στο σκυροδέμα ή με κατεργασία του σπλισμού μετά τον γαλβανισμό με διάλυμα χρωμικού άλατος. Μπορεί επίσης να αποφευχθούν οι αντιδράσεις εάν αντί για επίχρισμα από καθαρό ψευδάργυρο, χρησιμοποιηθεί κράμα ψευδαργύρου με σίδηρο (περιεκτικότητα σε σίδηρο 6 έως 11% ) ή κράμα ψευδαργύρου με αλουμίνιο.

β) Με την χρήση γαλβανισμένων χαλύβων πρέπει να προσέξουμε ώστε να αποφευχθεί δράση μεταξύ γαλβανισμένων και μη γαλβανισμένων χαλύβων. Η γαλβανική δράση θα έχει ως αποτέλεσμα τη διάβρωση των ανεπίχριστων χαλύβων. Συνιστάται να επιχρίονται όλοι οι χάλυβες και τα σίδερα της κατασκευής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

### 10.1 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ



Εικόνα 13. Ανοξειδωτος χάλυβας.

Οι ανοξειδωτοι χάλυβες είναι κράματα τα οποία περιέχουν ως κύριο συστατικό σίδηρο και ως πρόσθετο μέταλλο χρώμιο σε ποσότητα 11 έως 12%. Το χρώμιο προσδίδει μεγάλη παθητικότητα στον χάλυβα, μεγαλώνοντας έτσι την ανθεκτικότητα του χάλυβα σε διάβρωση. Εντούτοις, η περιεκτικότητα του χάλυβα σε χρώμιο δεν πρέπει να ξεπερνά το 15% διότι δεν δημιουργείται άνιση κατανομή του χρωμίου στον μεταλλικό ιστό. Όταν ο μεταλλικός του χάλυβα διαστρεβλώνεται, ο χάλυβας έχει μικρή ανθεκτικότητα σε διάβρωση. Αν όμως το κράμα σιδήρου και χρωμίου περιέχει νικέλιο και επιτευχθεί κατάλληλος συνδιασμός χρωμίου -νικελίου, τότε το χρώμιο θα κατανεμηθεί ομοιόμορφα στον μεταλλικό ιστό, οπότε η ανθεκτικότητα του χάλυβα σε διάβρωση είναι πολύ βελτιωμένη.

Εκτός από το χρώμιο, άλλα υλικά τα οποία μπορεί να προστεθούν στον χάλυβα με σκοπό να βελτιώσουν την συμπεριφορά του σε διάβρωση είναι:

- Το μολυβδαίνιο. Έχει την ίδια ακριβώς επίδραση στον χάλυβα όπως και στο χρώμιο.
- Το νικέλιο. Με την προσθήκη μεγάλων ποσοτήτων νικελίου στον χάλυβα, ο σίδηρος αποκτά δομή ωστενίτη. Το κράμα έχει μεγάλη σκληρότητα και παρουσιάζει μεγάλη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και σε επίδραση χλωριόντων.

- Το άζωτο. Αλλάζει τη δομή του ανοξειδωτού ωστενιτικού χάλυβα όπως και το νικέλιο, και γι' αυτόν τον λόγο μπορεί να αντικαταστήσει το νικέλιο.
- Το τιτάνιο και νιόβιο. Δεσμεύουν τον άνθρακα του χάλυβα, και έτσι μειώνεται ο κίνδυνος διαβρώσεως μεταξύ των κόκκων.

#### 10.1.1 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΕΙΔΗ ΔΙΑΒΡΩΣΕΩΝ

Οι ανοξειδωτοί χάλυβες υπόκεινται σε γενική διάβρωση μόνο σε πολύ όξινο ή πολύ αλκαλικό περιβάλλον. Τα χλωριόντα προκαλούν διάβρωση κατά βελονισμό στους ανοξειδωτούς χάλυβες, στους χάλυβες υψηλής αντοχής και στα κράματα αλουμινίου ή μαγνησίου. Η τοπική διάβρωση γενικά αποφεύγεται με προσθήκη διαφόρων μετάλλων στους ανοξειδωτούς χάλυβες. Η διάβρωση μεταξύ των κόκκων στους ανοξειδωτούς χάλυβες αποφεύγεται με προσθήκη τιτανίου ή νικελίου στο κράμα. Οι ανοξειδωτοί χάλυβες είναι ευαίσθητοι σε διάβρωση μεταξύ των κόκκων διότι σχηματίζονται χρωμιούχα καρβίδια τα οποία κατανέμονται ανομοιόμορφα μέσα στον μεταλλικό ιστό. Όταν όμως περιέχουν νικέλιο και τιτάνιο, τότε αποφεύγεται ο σχηματισμός χρωμιολυχών καρβιδίων διότι το νικέλιο και το τιτάνιο έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν τον άνθρακα με μεγαλύτερη ευκολία απ' ό,τι το χρώμιο.

Στους χάλυβες οι οποίοι περιέχουν χρώμιο και νικέλιο, το νικέλιο είναι το συστατικό που μειώνει την ευαισθησία των χάλυβων σε διάβρωση υπό μηχανική τάση. Στις περισσότερες περιπτώσεις ποσότητα νικελίου 25% επαρκεί.

#### 10.1.2 ΧΡΗΣΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΑΠΟ ΤΙΤΑΝΙΟ

Το τιτάνιο χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που το περιβάλλον είναι πάρα πολύ διαβρωτικό, τόσο ώστε οι ανοξειδωτοί χάλυβες να μην έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα. Η εξαιρετικά μεγάλη ανθεκτικότητα του τιτανίου σε διάβρωση οφείλεται στον σχηματισμό συμπαγούς, ισχυρά προσκολλημένου στρώματος οξειδίων, το οποίο παρέχει προστασία στο μέταλλο όταν σχηματίζεται με την παρουσία μικρών ποσοτήτων υγρασίας. Έχει παρατηρηθεί ότι το τιτάνιο αντέχει όλες τις μορφές διαβρώσεως. Υπό μορφή κράματος όμως π.χ. με αλουμίνιο, μπορεί να παρουσιάσει κίνδυνο διαβρώσεως υπό μηχανική τάση ενώ το καθαρό τιτάνιο δεν παρουσιάζει αυτόν τον κίνδυνο.

#### ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η σωστή προετοιμασία των επιφανειών είναι απαραίτητη. Οι επιφάνειες που θα δεχθούν τα επισκευαστικά υλικά πρέπει να είναι καθαρές, υγιείς και συνεκτικές. Ο σίδηρος οπλισμός πρέπει να είναι καθαρός, απαλλαγμένος από κάθε σκουριά. Όταν

το πρόβλημα είναι η ενανθράκωση και δεν υπάρχουν χλωρίοντα, οι απαιτήσεις δεν είναι τόσο αυστηρές και η ελαφριά σκουριά είναι ανεκτή. Η απομάκρυνση του ενανθρακωμένου μπετόν γίνεται προσεκτικά με σφυροκάλεμο. Οι οπλισμοί αποκαλύπτονται εάν είναι δυνατόν πανταχόθεν. Οι επιφάνειες σκάβονται κάθετα κι αν είναι δυνατόν, σε αμβλείες γωνίες για να αγκυρωθεί καλά το επισκευαστικό κονίαμα. Οι οπλισμοί καθαρίζονται χειρωνακτικά με κατάλληλη συρματόβουρτσα. Το ζητούμενο είναι να φθάσουμε σε καθαρό μέταλλο. Δουλειές μεγάλης έκτασης θα απαιτήσουν αμμοβολή. Εάν η πλήρης αποκάλυψη του οπλισμού είναι ανέφικτη, μπορεί να γίνει μια τοπική επάλειψη με εμποτιστικούς αναστολείς διάβρωσης. Για τις εργασίες καθαρισμού απαιτούνται κατάλληλες καιρικές συνθήκες:

Σ.Υ περιβάλλοντος  $\leq 70\%$ -όχι απειλή βροχής.

Οι οπλισμοί προστατεύονται με απαλειφόμενα κονιάματα που περιέχουν αναστολείς διάβρωσης, συνήθως απαιτούνται δύο στρώσεις. Τα υλικά αυτά προσφυούνται τέλεια στους οπλισμούς, στο μπετόν και στα κάθε είδους επισκευαστικά κονιάματα ]. Ως κυρίως επισκευαστικό υλικό χρησιμοποιούνται τσιμεντοειδούς βάσης υλικά τροποποιημένα με πολυμερή και πιθανώς ενισχυμένα με προσθήκη ινών. Αυτά τα υλικά θα γεμίσουν τη διατομή και θα έρθουν πρόσωπο με το μπετόν εάν το φινιρισμάτους, τους επιτρέπει να δεχθούν βαφή. Είναι άκρως επιθυμητό αυτά τα κονιάματα να διαθέτουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά: Μηδενική συρρίκνωση ώστε να μην παρουσιάζουν ρωγμές πλαστικής συρρίκνωσης και δεν θα διαχωριστούν από το συνορεύον μπετόν .Λείο φινίρισμα, έτσι αποφεύγεται το κόστος και ο χρόνος που απαιτεί η εφαρμογή πρόσθετης εξομαλυντικής στρώσης πριν από τη βαφή. Στεγανότητα έναντι του νερού, των υδρατμών και χημικών παραγόντων. Μέτρο ελαστικότητας, μηχανικές αντοχές και συντελεστής θερμικής διαστολής παρόμοιο με του μπετόν, έτσι ώστε το σύστημα να έχει μια ομοιογένεια. Τα επισκευαστικά τσιμεντοειδή ανάλογα με την κοκκομετρία τους τοποθετούνται σε στρώσεις ορισμένου πάχους. Για να ολοκληρωθεί η επισκευή, συνήθως χρειάζεται μια στρώση προστασίας έναντι της ενανθράκωσης. Επιθυμητά χαρακτηριστικά μιας τέτοιας στρώσης είναι: Η πλήρης φραγή στο CO<sub>2</sub>.Πλήρης ατμοδιαπερατότητα. Αυτή η ισορροπία μπορεί να επιτευχθεί σχετικά εύκολα μιας και το μόριο του CO<sub>2</sub> είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό των υδρατμών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

### **11.1 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΟΠΟΥ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΔΥΝΑΤΟ ΝΑ ΑΦΑΙΡΕΘΕΙ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ**

**ΕΠΑΝΑΛΚΑΛΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ:** Η επαναλκαλικοποίηση είναι μια διαδικασία η οποία εφαρμόζεται στο σκυρόδεμα με σκοπό να αυξήσει την αλκαλικότητα του σκυροδέματος. Η μέθοδος στηρίζεται στην αρχή της ηλεκτοσμώσεως παρουσία εξωτερικού δυναμικού. Πάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος απλώνεται ένα αλκαλικό υλικό και ένα ηλεκτρόδιο το οποίο λειτουργεί ως άνοδος. Ο χάλυβας του σκυροδέματος λειτουργεί ως κάθοδος. Με την εφαρμογή εξωτερικού ηλεκτρικού δυναμικού το αλκαλικό υγρό διεισδύει στους πόρους του σκυροδέματος αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο το ΡΗ του σκυροδέματος. Το μειονέκτημα της είναι ότι μπορεί να μείνουν ενανθρακωμένες περιοχές του σκυροδέματος, χωρίς "θεραπεία". Ενδεικτικά αναφέρεται ότι απαιτείται ποσότητα αλκαλικού υλικού 2lt ανά 1m<sup>2</sup> σκυροδέματος για να επαναλκαλοποιηθεί σκυρόδεμα 1 cm με πορώδες περίπου 12%. Η μέθοδος εφαρμόζεται για 14 ημέρες. [3]

**ΑΝΑΣΤΑΛΤΙΚΑ ΔΙΑΒΡΩΣΕΩΣ:** Χρησιμοποιούνται επιχρίσματα πάνω στον χάλυβα με σκοπό να εμποδίσουν τον χάλυβα να έρθει σε επαφή με οξυγόνο, υγρασία ή χλωριόντα. Τα επιχρίσματα εφαρμόζονται πάνω στον χάλυβα ο οποίος είναι απολύτως καθαρός, απαλλαγμένος από ελαιώδεις ουσίες, σκόνη ή σκουριά. Αναστολέας είναι μια χημική ουσία ο οποίος όταν προστίθεται σε μικρή συγκέντρωση σε ένα περιβάλλον, μειώνει αποτελεσματικά το ρυθμό διάβρωσης. Ένα ιδιαίτερο πλεονέκτημα στην προστασία μετάλλων με χρήση αναστολέων είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί ή να αλλαχθεί χωρίς να αναστατώσει τη διαδικασία. Απαραίτητη είναι μια τυποποίηση που θα μας λέει ότι ανάλογα με το βαθμό ενανθράκωσης το ΡΗ, το είδος του χάλυβα και την σύνθεση του σκυροδέματος θα πρέπει να εφαρμόσουμε συγκεκριμένο αναστολέα για καταπολέμηση των αιτιών διάβρωσης.

**ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ:** Η καθοδική προστασία χρησιμοποιείται ευρέως ως μέθοδος προστασίας των οπλισμών έναντι διαβρώσεως σε σημαντικές κατασκευές (λ.χ γέφυρες, θαλάσσιες εξέδρες, υπόγειες σωληνώσεις από σκυρόδεμα οι οποίες υφίστανται διάβρωση λόγω εγκαταστάσεως γεωηλεκτρικών στοιχείων). Σε περίπτωση που το περιβάλλον είναι πολύ διαβρωτικό (ή αν υπάρχει αβεβαιότητα ως προς την τελική ποιότητα του σκυροδέματος), συνιστάται να εγκαθίστανται οι αναγκαίες "διευκολύνσεις" κατά τη φάση της κατασκευής, για μίαν ενδεχόμενη εκ των υστέρων εφαρμογή καθοδικής προστασίας. Αρχή της μεθόδου είναι η "ανάιρεση" της διαφοράς δυναμικού μεταξύ ανοδικής και καθοδικής περιοχής του χάλυβα, ώστε να εμποδίζεται η μεταφορά ηλεκτρονίων από την άνοδο προς την κάθοδο, και να αναστέλλεται η διαδικασία διαβρώσεως του οπλισμού. Η μέθοδος παρέχει την μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της κατασκευής, 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.

**ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ:** Η μέθοδος των οργανικών επικαλύψεων (χρωμάτων) είναι μια απλή και φθηνή λύση. Απαραίτητη προϋπόθεση για την σωστή εφαρμογή

της είναι η χρήση του κατάλληλου υποστρώματος (αστάρι) πριν την εφαρμογή της επικάλυψης. Η παράλειψη της χρήσης υποστρώματος (αστάρι) θα οδηγήσει στην αποκόλληση του χρώματος από την επιφάνεια του σκυροδέματος και στην 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 απαραίτητη για την σωστή προστασία της κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα.

## ΗΠΙΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

### A) Στο σκυρόδεμα

**Αφαίρεση των χλωριόντων:** Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί έναν κατάλληλο ηλεκτρολύτη, 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.[1]

#### Πλεονεκτήματα

- 1) Αποτελεσματική κυρίως σε καταστρώματα γεφυρών
- 2) Γρήγορα αποτελέσματα

#### Μειονεκτήματα

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

**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 του 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. [3]

## Πλεονεκτήματα

- ✓ Αποτελεσματική διαδικασία και με χαμηλό κόστος σε τοιχοποιίες

## Μειονεκτήματα

- ✓ Βραδύτατη διαδικασία (πχ η μείωση της υγρασίας ενός τοίχου από 50% σε 30% διαρκεί 6 μήνες)

Σφράγισμα ρωγμών: Η μέθοδος αυτή πραγματοποιείται με ενέσεις ρητινών, τσιμέντου και με επανακαλοποίηση σκυροδέματος.

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. Μεγάλο πλεονέκτημα στις ρητίνες είναι το γεγονός ότι δεν είναι υλικά ευάλωτα σε εξωτερικούς παράγοντες και άρα έχουν αντοχή στο χρόνο. Το βασικό μειονέκτημα των ρητινών είναι η χαμηλή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες (κίνδυνος σε πυρκαγιά), καθώς και το υψηλό τους κόστος.[4]

## **B ) Στον οπλισμό**

### Καθοδική προστασία

Σκοπός της 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 (όπως αρχικά) οξείδωση. Για να εφαρμοστεί η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθούν, είτε ηλεκτρική τάση από πηγή συνεχούς ρεύματος, είτε θυσιαζόμενοι άνοδοι.

Άρα διακρίνουμε:

A) Σύστημα με εφαρμοζόμενο ρεύμα [5]. 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 λαθεμένες 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 αγώγιμης μογοιάς (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, καβίλιες και άλλα που μπορούν να βραχυκυκλώσουν το ηλεκτρικό κύκλωμα

#### Πλεονεκτήματα

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

#### Μειονεκτήματα

- 1) Απαιτεί συχνή ρύθμιση και προσαρμογή (πιθανή διακοπή ρεύματος, διακύμανση ιδιοτήτων διαβρωτικού περιβάλλοντος)
- 2) Ασυνάφεια χάλυβα-σκυροδέματος
- 3) Μειώνει την ολκιμότητα σε χάλυβες υψηλής αντοχής λόγω εκλύσεως υδρογόνου
- 4) Ακριβότερη από την β μέθοδο (χρησιμοποίηση δαπανηρότερων δυναμοστατών σε διαβρωτικό περιβάλλον με μεγάλες διακυμάνσεις των ιδιοτήτων του)
- 5) Αλληλεπιδρά με γειτονικές εγκαταστάσεις προκαλώντας τους διάβρωση
- 6) Πρέπει να γίνεται σωστή εκλογή των ορίων τιμών της καθοδικής τάσης με προηγούμενη εργαστηριακή έρευνα
- 7) 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).
- 8) Για την πραγματοποίηση αυτής της μεθόδου πρέπει να βρεθεί ένα σταθερό υλικό άνοδος, που θα μπορεί να καταναίμει το ρεύμα καθοδικής προστασίας σε μεγάλες επιφάνειες.





Εικόνα 14. Εφαρμογή της καθοδικής προστασίας με εξωτερικά εφαρμοζόμενο ρεύμα σε γέφυρα [6].

Εφαρμόζεται πολύ περισσότερο σε σχέση με την μέθοδο θυσιαζόμενων ηλεκτροδίων, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις:

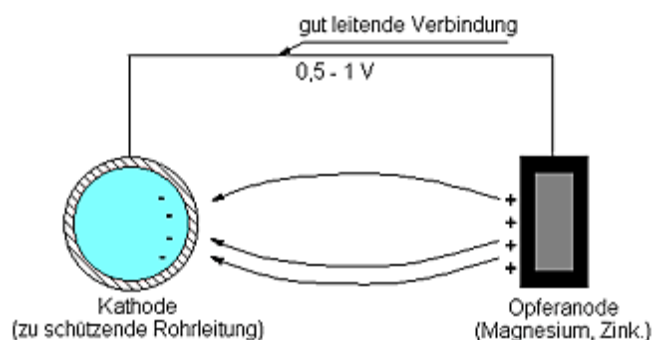
- i. για την προστασία σωλήνων μέσα στο έδαφος σε γλυκό ή θαλασσινό νερό
- ii. σε κατασκευές πλωτών και μη ,μέσα στη θάλασσα
- iii. για πλοία



Εικόνα 15. Καθοδική προστασία σε βιομηχανικό χώρο [7].

## B) Σύστημα θυσιαζόμενης ανόδου [8]

Κατά αυτόν τον τρόπο καθοδικής προστασίας τοποθετείται στους οπλισμούς σειρά πλάκων 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 ή 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 απ' ό,τι 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.



Εικόνα16. Απεικόνιση συστήματος καθοδικής προστασίας με θυσιαζόμενη άνοδο [9].

### Πλεονεκτήματα

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

## Μειονεκτήματα

- 1) 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).
- 2) Χρειαζόμαστε μεγάλο αριθμό ανόδων για προστασία όλων των οπλισμών
- 3) Μη επαρκής έλεγχος της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος (εξαρτάται από περιβαλλοντικές συνθήκες).

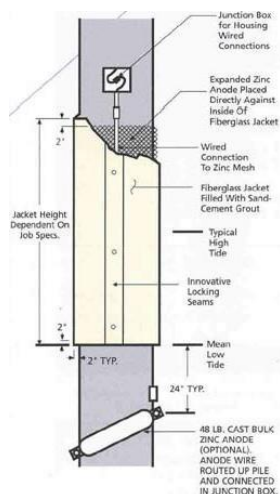
Ειδικότερα έχει παρατηρηθεί ότι όταν οι άνοδοι από μαγνήσιο (Mg) ή αλουμίνιο (Al) τοποθετηθούν σε σκουριασμένη επιφάνεια και κοντά σε εύφλεκτα υλικά, όπως πετρέλαιο, παράγουν σπινθήρα εξαιτίας θερμικής αντίδρασης. Σε επικίνδυνο περιβάλλον συνίσταται άνοδος Zn. Από την άλλη, άνοδοι Zn δεν λειτουργούν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

## Εναλλακτική μέθοδος καθοδικής προστασίας [6]

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. Όσον αφορά στη διαδικασία της, συνίσταται στα εξής: Αρχικά αφαιρείται το αποσαθρωμένο και χαλαρό σκυρόδεμα με ειδικό εξοπλισμό, μέχρι να αποκαλυφθεί ο διαβρωμένος οπλισμός. Στην συνέχεια αφαιρείται η σκουριά από τις ράβδους, είτε με αμμοβολή είτε με υδροβολή ώστε να έχουμε καλή αγώγιμη διεπιφάνεια και το σύστημα να λειτουργήσει σωστά. Γίνεται η συγκόλληση των τμημάτων του μανδύα με ειδική μέθοδο, χρησιμοποιώντας μη αγώγιμα υλικά, που παρέχουν μόνωση από την υγρασία. 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.



Εικόνα 17. Απεικόνιση του συστήματος σε βάθρο [6].



Εικόνα 18. Το σύστημα και τα αποτελούμενα μέλη του αναλυτικά [6].

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.[6]



Εικόνα 19. Προσθήκη νέου οπλισμού.

## Πλεονεκτήματα

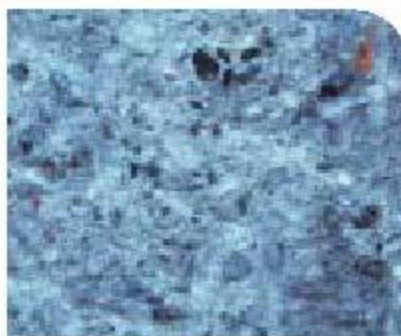
- ✓ Είναι ολοκληρωμένο σύστημα προστασίας
- ✓ Εύκολο στην εγκατάσταση
- ✓ Είναι αυτορυθμιζόμενο
- ✓ Δεν χρειάζεται συντήρηση, συνεπώς έχει μικρό κόστος.
- ✓ Η τεχνολογία του είναι πειραματικά ελεγμένη
- ✓ Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε απομακρυσμένες περιοχές γιατί το σύστημα παράγει ρεύμα, χωρίς την βοήθεια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

Αυτή η μέθοδος εφαρμόστηκε πειραματικά από το Florida Department of Transportation Corrosion Research Laboratory.

Επισκευή με ινοπλισμένα τσιμεντοειδή κονιάματα με υψηλή συγκέντρωση σε αναστολείς διαβρώσεως [10]

Η διαδικασία αυτή συνίσταται 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 αποσαθρωμένων 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 συρματοβουρτσα κτλ.



- 2) Επάλληψη 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) Επάλληψη 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) Επάλληψη με μία ινοοπλισμένη τσιμεντοειδή στρώση 2 συστατικών με σκληρή βούρτσα πάχους περίπου 10mmη οποία λειτουργεί ως ένα είδος "γέφυρας" για να περικλείει τα εύθραπτα κομμάτια. Επίσης δημιουργεί ένα υπόστρωμα που εξασφαλίζει την πρόσφυση του επισκευαστικού κονιάματος στην επιφάνεια του οπλισμού

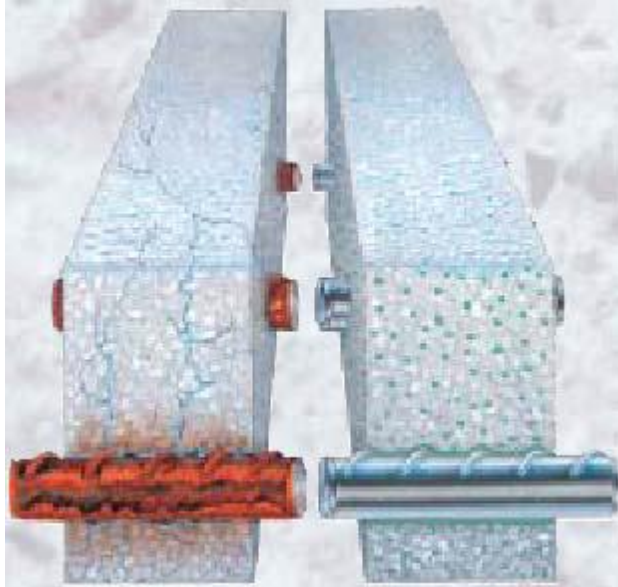


- 5) Επάλειψη με επισκευαστικό μη-συρρικνούμενο, θιξοτροπικό τσιμεντοκονίαμα με πολύ καλές προσκολλητικές ιδιότητες, με μεγάλη αντίσταση στην διείσδυση διοξειδίου του άνθρακα, των χλωριόντων και των σουλφιδίων. Επίσης με μεγάλη μηχανική αντοχή και μικρό μέτρο ελαστικότητας. Η επάλειψη γίνεται είτε με 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.





Εικόνα 20. Αποτελέσματα της διείσδυσης των αντιδιαβρωτικών μορίων στις διαβρωμένες ράβδους οπλισμού.

#### 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

#### **ΕΝΕΡΓΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ [3]**

Οι ενεργές επεμβάσεις έχουν ως σκοπό την αποκατάσταση (ή την αύξηση) της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής και όχι την απ' ευθείας αναίρεση των περιβαλλοντικών αιτίων που προκάλεσαν την διάβρωση. Συνεπώς κρίνεται απαραίτητο να εφαρμόζεται πάντοτε και μία συντηρητική επέμβαση.

Παρακάτω παρατίθενται κάποιες κατασκευαστικές, ενεργές επισκευές.

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

##### A) 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 ανοξείδωτο 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 [11].

##### B) Ανοιχτοί μανδύες εκτοξευόμενου οπλισμένου σκυροδέματος



Γ) Μερική καθαίρεση και αποκατάσταση βλαμμένης περιοχής

#### **Μέθοδος επισκευής με ινοπλισμένα πολυμερή (FRP) [12]**

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 (F.R.P. wraps), ως μέσο ενίσχυσης αλλά και ως αδιαπέραστου εμποδίου λόγω της σύστασης της σκληρυμένης ρητίνης στην διάχυση διαβρωτικών παραγόντων. Εφαρμόζοντας σύνθετα υλικά από ίνες άνθρακα και γυαλιού πρωτίστως και σπανιότερα αραμιδίου, επιδιώκουμε σε μέλη στοιχείων προσβεβλημένων από διάβρωση ο επικολλημένος μανδύας 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

- ✓ Ταχύτερη 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 υποστηλωμάτων, στα τοιχώματα και στους κόμβους του οπλισμένου σκυροδέματος. Στην χώρα μας έχουν εφαρμοστεί κυρίως μανδύες πολυμερών για την επισκευή υποστηλωμάτων. Η συμβολή τους είναι καθοριστική, ώστε να μην παρατηρηθούν μεγαλύτερες βλάβες και το φαινόμενο της διάβρωσης επεκταθεί και στα πέδιλα της θεμελίωσης.

#### **Διατμητική ενίσχυση [4]**

A) Προσθήκη εξωτερικών συνδετήρων (κολλάρα, ταινίες συσκευασίας)

B) Κατάλληλη αγκύρωση των άκρων των πρόσθετων συνδετήρων, όπως στην καμπτική ενίσχυση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

### 12.1 Πρόγραμμα Η/Υ Life-365

Όπως είναι ήδη γνωστό το οπλισμένο σκυρόδεμα αποτελεί ένα οργανικό υλικό γεγονός που δημιουργεί προβλήματα όσον αφορά την γήρανσή του αλλά και την συνεχή διάβρωσή του, τόσο του τσιμεντολιθώματος όσο και του οπλισμού του (χάλυβας) από τις περιβαντολλογικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή.

Η διάβρωση που υφίσταται ο δομικός χάλυβας είναι δυστυχώς «αόρατη» ως την στιγμή όπου θα αρχίσει να διαρίγεται το σκυρόδεμα γεγονός που σημαίνει πως η διάβρωση έχει προχωρήσει σε πολύ μεγάλο βαθμό.

Η ανάγκη λοιπόν των μελετητών και των κατασκευαστών δομικών έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα να γνωρίζουν με ακρίβεια την εξέλιξη αυτού του φαινομένου έτσι ώστε να μπορούν να επεμβαίνουν και να αντιμετωπίζουν το πρόβλημα εν τη γένεσή του, οδήγησε την επιστημονική κοινότητα το 1998 στη σύσταση μιας επιτροπής με στόχο στην δημιουργία ενός προγράμματος που θα βοηθούσε στην επίλυση του παραπάνω προβλήματος.

Για αυτόν τον σκοπό τον Οκτώβριο του 2000 παρουσιάστηκε στο κοινό η πρώτη έκδοση του προγράμματος Η/Υ Life-365 και τον Δεκέμβριο του επόμενου έτους η βελτιωμένη έκδοση αυτού.

Για την καλύτερη και φιλικότερη χρήση του προγράμματος Life-365 οι προγραμματιστές έλαβαν υπόψη τους όλους τους παράγοντες που επιδρούν στην δημιουργία αυτού του φαινομένου. Για τους παράγοντες αυτούς μπορεί να γίνει εισαγωγή τους από τον εκάστοτε χρήστη ή μπορεί να λάβουμε υπόψη μας τα βοηθητικά δεδομένα που υπάρχουν στα αρχικά τους προγράμματος. Οι παράγοντες αυτοί είναι οι εξής:

- i) Το είδος του έργου που πρόκειται να κατασκευάσουμε. Δηλαδή έχουμε διαφορετική αντιμετώπιση του προβλήματος αν πρόκειται
  - Για λιμενικό έργο
  - Κατασκευή σε ακτίνα 800m από την ακτή
  - Κατασκευή σε ακτίνα 1500m από την ακτή
  - Χώρος στάθμευσης (όπου έχουμε διάβρωση κυρίως λόγω των στηλών άλατος που δημιουργούνται λόγω χιονόπτωσης)
  - Γέφυρες αυτοκινητοδρόμων
  - Γέφυρες επαρχιακών οδών
- ii) Τις πλευρές του εκάστοτε δομικού στοιχείου που είναι εκτεθειμένο στα χλωριόνια. Το πρόγραμμα έχει την δυνατότητα να δημιουργεί δυο ειδών μοντέλα διάβρωσης, είτε δηλαδή πρόκειται για προσβολή από 1 πλευρά του δομικού στοιχείου (μονοδιάστατο μοντέλο) π.χ. χώρος στάθμευσης, κατάστρωμα γέφυρας είτε για προσβολή από δυο πλευρές (δισδιάστατο μοντέλο) π.χ. κολώνα ή βάθρο.

- iii) Το είδος του οπλισμού που χρησιμοποιείται
  - Απλός χάλυβας
  - Ανοξειδωτος χάλυβας, το κόστος είναι συγκριτικά μεγαλύτερο
  - Εμποτισμένος σε εποξειδικές ρητίνες, υπάρχει κίνδυνος τραυματισμού της προστατευτικής κρούστας από χτυπήματα κατά την διάρκεια της σκυροδέτησης
- iv) Οι διαστάσεις του δομικού στοιχείου και η επικάλυψη του οπλισμού. Είναι γνωστό πως όσο μεγαλύτερη είναι η επικάλυψη τόσο πιο πολύ αργεί η έναρξη της διάβρωσης (θεωρείται ότι το σκυρόδεμα είναι το ίδιο και αλλάζει μόνο η επικάλυψη)
- v) Τον υδατοσιμεντοσυντελεστή. Σημαντικό ρόλο στην διάβρωση του οπλισμού παίζει το πορώδες του σκυροδέματος και ο υδατοσιμεντοσυντελεστής είναι ένας εύκολος τρόπος για την μείωσή του.
- vi) Η χρήση ποζολανικών τσιμέντων. Το πρόγραμμα επιτρέπει την χρήση τόσο φυσικών όσο και τεχνητών ποζολανικών υλικών όπως
  - Πυριτική παιπάλη σε ποσοστό αντικατάστασης του τσιμέντο μέχρι 15%
  - Ιπτάμενες τέφρες σε ποσοστό αντικατάστασης του τσιμέντου μέχρι 50%

Εδώ πρέπει να τονίσουμε πως το πρόγραμμα δεν κάνει διαχωρισμό στο είδος των ιπτάμενων τεφρών αλλά και το γεγονός πως στην πράξη έχουν κατασκευαστεί σκυροδέματα όπου το ποσοστό αντικατάστασης του τσιμέντου έχει φτάσει στο 70% χωρίς να παρουσιάζονται προβλήματα στατικής επάρκειας.

- vii) Η χρήση οργανικών ή ανόργανων χημικών αναστολέων διάβρωσης. Το πρόγραμμα έχει την δυνατότητα επιλογής ενός ανόργανου (CNI με βάση το νιτρώδες ασβέστιο ) σε ποσότητες 0-30 λίτρων ανά κυβικό σκυροδέματος και ενός οργανικού Rheocrete 222+ με αναλογία μίξης μόνο 5 λίτρα ανά κυβικό σκυροδέματος.
- viii) Οι κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Το γεγονός ότι το Life-365 έχει σχεδιαστεί για τις ανάγκες της Βόρειας Αμερικής μας υποχρεώνει να κάνουμε αναγωγή των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή μας με κάποια από τις περιοχές της. Μας δίνεται όμως η επιλογή να εισάγουμε τις θερμοκρασίες που επικρατούν στην περιοχή της δικής μας μελέτης.
- ix) Το χρόνο ζωής της κατασκευής μας.
- x) Το ποσοστό της περιοχής που σκοπεύουμε να επισκευάσουμε και το χρονικό διάστημα στο οποίο είναι προγραμματισμένη αυτή η επισκευή
- xi) Το χρόνο κατασκευής του έργου, την πρώτη έκθεση του έργου στην ατμόσφαιρα μετά το ξεκαλούπωμα αλλά και τον μήνα του χρόνου που γίνεται το έργο.
- xii) Το κόστος των υλικών κατασκευής αλλά και το κόστος επισκευής του έργου καθώς για την βοήθεια μας το πρόγραμμα υπολογίζει το αρχικό κόστος κατασκευής αλλά και το συνολικό κόστος ζωής του έργου. Δεν πρέπει να ξεχνάμε το γεγονός πως σημαντικό ρόλο στην εκλογή των δομικών υλικών ενός έργου παίζει το κόστος με το οποίο επιβαρύνεται ο προϋπολογισμός του.

Τέλος αν και εφόσον το επιθυμούμε μπορούμε να δημιουργήσουμε κάποιο δικό μας δομικό υλικό και να εισάγουμε όλα τα στοιχεία που το διακρίνουν. Επίσης αυτή η δυνατότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον αν προκύψει η ανακάλυψη κάποιο νέου υλικού

Όταν ξεκινήσουμε το πρόγραμμα Life-365 για πρώτη φορά, θα πρέπει να επιλέξουμε μονάδες μέτρησης για το έργο, στο SI, στο US ή σε μετρικά εκατοστά. Αυτή η επιλογή θα καθορίσει αν αυτά που βάλουμε θα πρέπει να εκφραστούν για παράδειγμα σε μέτρα ή γιάρδες. Αν αποφασίσουμε αργότερα να αλλάξουμε τις μονάδες μέτρησης θα πάμε στο Default Settings and Parameters που βρίσκεται στο κάτω μέρος της οθόνης και θα αλλάξουμε την επιλογή units και στη συνέχεια θα το αποθηκεύσουμε. Όλα τα μελλοντικά μας έργα θα χρησιμοποιούν τώρα τη νέα μονάδα μέτρησης.

Όταν το Life-365 ξεκινήσει αρχικά ή οθόνη μας θα πρέπει να φαίνεται όπως στο παρακάτω σχήμα. Στην αριστερή πλευρά υπάρχει το μενού πλοήγησης που μας επιτρέπει να ανοίξουμε καινούργια ή ήδη υπάρχοντα αρχεία έργου. Η ενότητα ρυθμίσεις μας επιτρέπει να αλλάξουμε τις προεπιλεγμένες ρυθμίσεις ενώ το τμήμα με τις συμβουλές (Tips) μας εμφανίζει το κείμενο που δίνει πληροφορίες και συμβουλές για τη χρήση λογισμικού.



Εικόνα 20

Υπάρχουν επίσης τρεις καρτέλες στο κάτω μέρος της οθόνης:

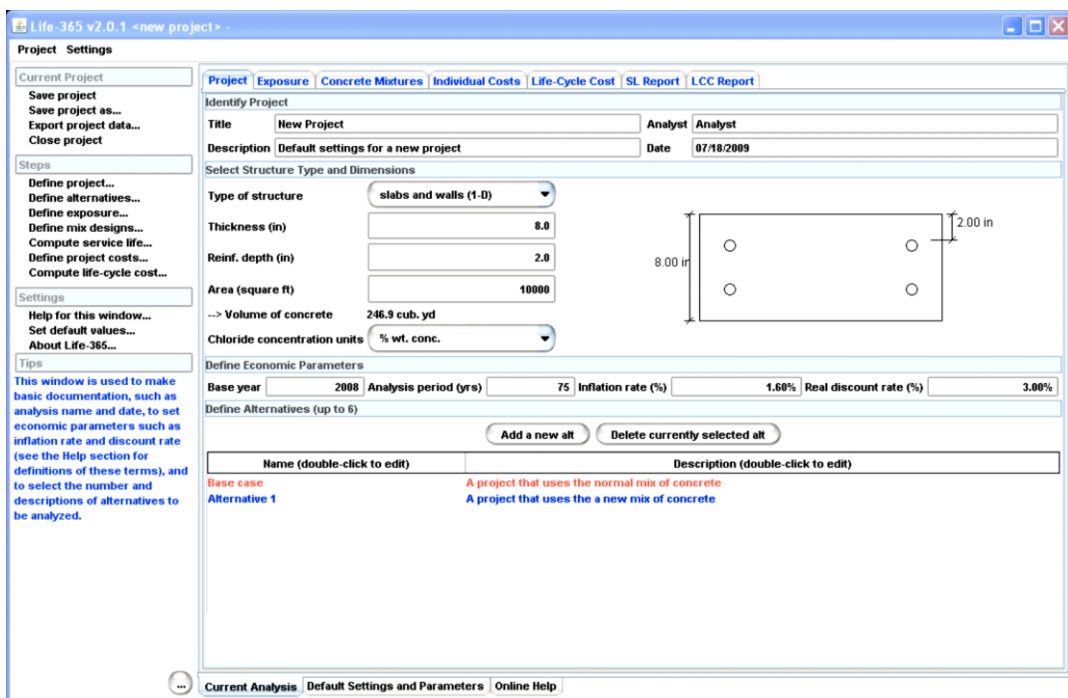
- Το Current Analysis: περιέχει το τρέχον έργο που εργαζόμαστε.
- Το Default Settings and Parameters: μας επιτρέπει να ρυθμίζουμε τις προεπιλεγμένες τιμές και τις παραμέτρους που θα χρησιμοποιήσουμε σε όλα τα έργα.
- Το Online Help: προσφέρει λεπτομερείς εξηγήσεις των βασικών παραθύρων και των χαρακτηριστικών του προγράμματος Life-365.

Για να ξεκινήσουμε ένα νέο έργο επιλέγουμε άνοιγμα νέου έργου από την αριστερή πλευρά πλοήγησης του μενού. Στη συνέχεια δημιουργείται ένα πλήρες πρόγραμμα με δυο εναλλακτικές λύσεις που κάθε μια από αυτές έχει ένα βασικό μείγμα σκυροδέματος. Για να ανοίξουμε ένα δημιουργηθέν αρχείο επιλέγουμε Open Existing Project.

Όταν ένα νέο ή ένα υφιστάμενο έργο ανοίγει, εμφανίζονται στην οθόνη επτά επιλογές στην κορυφή. Το παράθυρο Navigator διαθέτει μια λίστα με χρονολογικά βήματα:

1. Define project: Βάζουμε τίτλο, περιγραφή, τον τύπο της δομής, τις μονάδες μέτρησης και τη χρηματική αξία.
2. Define alternatives: Βάζουμε τίτλο και την περιγραφή των εναλλακτικών απαιτήσεων που συναντάμε στο έργο.
3. Define exposure: Βάζουμε την τοποθεσία και τον τύπο της δομής ώστε να ρυθμίζουμε τα χλωριόντα σε συνθήκες έκθεσης και θερμοκρασίας.
4. Define mix designs: Εισάγουμε το μείγμα του σκυροδέματος και την στρατηγική για την προστασία από διάβρωση για κάθε εναλλακτική λύση.
5. Compute service life: Υπολογίζει την διάρκεια ζωής για κάθε εναλλακτική λύση.
6. Define project costs: Εισάγουμε την αρχική κατασκευή, το φράγμα, το κόστος επισκευής και το πρόγραμμα επισκευής.
7. Compute life-cycle cost: Υπολογίζουμε και συνοψίζουμε την παρούσα αξία για όλα τα κόστη για κάθε εναλλακτική λύση και τα συγκρίνουμε.

Το project tab μας επιτρέπει να ολοκληρώσουμε τα βήματα 1 και 2 παραπάνω και συγκεκριμένα να ονομάσουμε το έργο, να ορίσουμε τον τύπο και τις διαστάσεις της δομής, τις οικονομικές αναλυτικές παραμέτρους και τέλος τον αριθμό και τα ονόματα από τα εναλλακτικά έργα.



Εικόνα 21

### Identify Project

Στην ενότητα αυτή μπορούμε να ρυθμίσουμε τον τίτλο, την περιγραφή, τον αναλυτή και την ημερομηνία όπου τα περισσότερα από αυτά χρησιμοποιούνται για την απλή τεκμηρίωση του έργου αλλά είναι επίσης μέρος της έκθεσης η οποία εμφανίζεται και εκτυπώνεται από το LCC Report tab.

### Select Structure Type and Dimensions

Στην ενότητα αυτή θέτουμε μια σειρά από θεμελιώδεις παραμέτρους για την ίδια τη δομή. Χρησιμοποιούμε το Type of structure για να επιλέξουμε τη δομή η οποία ορίζει επίσης την είσοδο των χλωριόντων π.χ 1-D(μονοδιάστατο). Χρησιμοποιούμε το πάχος (Thickness) για μονοδιάστατες δομές, το πλάτος (Width) για δισδιάστατες δομές και την Area για να ορίσουμε τον συνολικό όγκο σκυροδέματος η οποία χρησιμοποιείται για να υπολογίσουμε το κόστος της επισκευής. Χρησιμοποιούμε το σπλισμένο βάθος πεδίου για να ρυθμίσουμε την απόσταση με την οποία τα χλωριόντα εισχωρούν στην επιφάνεια του χάλυβα. Τελικά χρησιμοποιούμε την συγκέντρωση των χλωριόντων για να επιλέξουμε τις μονάδες μέτρησης από την έκθεση των χλωριόντων και τα υλικά του σκυροδέματος. Αν επιλέξουμε το σύστημα SI για τις μονάδες μέτρησης τότε οι μονάδες συγκέντρωσης θα εκφράζονται σε % κ.β kg, ενώ αν επιλέξουμε το σύστημα US οι μονάδες συγκέντρωσης θα εκφράζονται σε % κ.β lb/yd.

### Define Economic Parameters

Τέσσερις παράμετροι χρησιμοποιούνται για να ορίσουμε το χρονικό διάστημα και τα επιτόκια επί των οποίων υπολογίζουμε το κόστος του κύκλου ζωής. Ορίζουμε το βασικό έτος ως τρέχον έτος ή άλλο αρχικό έτος που να είναι σχετικό με την ανάλυση μας. Ρυθμίζουμε την εξεταζόμενη περίοδο έτσι ώστε όταν έρθει η λήξη της να υπολογίζουμε το κόστος του κύκλου ζωής. Τα 75 χρόνια είναι η πιο συνηθισμένη περίοδος αλλά το πρόγραμμα Life-365 επιτρέπει στον χρήστη να επιλέξει πάνω από 200 χρόνια.

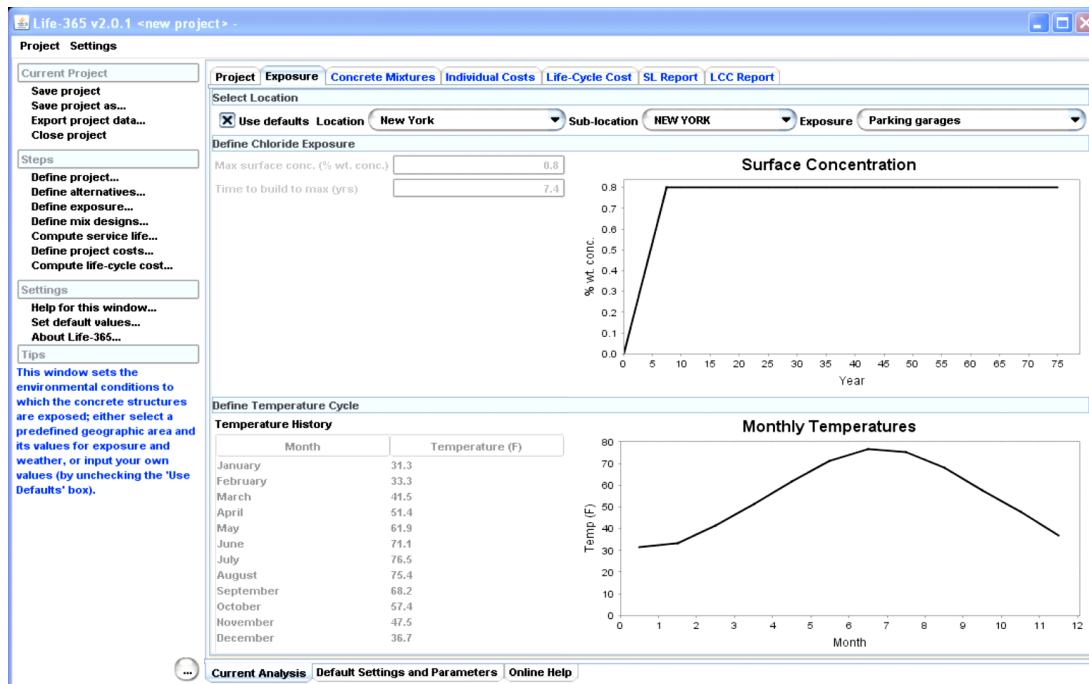
Ο ρυθμός πληθωρισμού είναι το ετήσιο επιτόκιο με το οποίο οι τιμές των αγαθών και των υπηρεσιών θα αυξηθούν στο μέλλον. Το πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο είναι το ετήσιο επιτόκιο με το οποίο οι μελλοντικές δαπάνες είναι μειωμένες σε σχέση με το έτος βάσης σε δολάρια, καθαρά από το ποσοστό του πληθωρισμού. Για ομοσπονδιακά έργα υποδομής χρησιμοποιούμε ένα προεξοφλητικό επιτόκιο που δημοσιεύτηκε στην OMB Εγκύκλιο Αρ.Α-94. Το πρόγραμμα Life-365 χρησιμοποιεί τα πιο πρόσφατα στοιχεία του πληθωρισμού και το προεξοφλητικό επιτόκιο όπως προτείνεται από την εγκύκλιο OMB Εγκύκλιο Αρ.Α-94 και όπως δημοσιεύτηκε στους ενεργειακούς δείκτες τιμών και τους εκπτώτικους παράγοντες για την ανάλυση του κόστους του κύκλου ζωής.

### Define Alternatives

Χρησιμοποιούμε αυτή την ενότητα για να ορίσουμε τον αριθμό, τα ονόματα και τις περιγραφές των εναλλακτικών λύσεων που πρέπει να αναλυθούν και να συγκριθούν. Χρησιμοποιούμε τις εντολές Add a new alt και Delete currently selected alt για να δημιουργήσουμε και να διαγράψουμε εναλλακτικά και κάνουμε διπλό κλικ στο όνομα ή την περιγραφή για να τα αλλάξουμε.

### Καρτέλα έκθεσης (Exposure Tab)

Την καρτέλα έκθεσης την χρησιμοποιούμε για να ρυθμίσουμε την έκθεση του σκυροδέματος σε χλωριόντα και να ρυθμίσουμε τις μηνιαίες θερμοκρασίες στις οποίες εκτίθεται το σκυρόδεμα.



Εικόνα 22

### Επιλέξτε τοποθεσία (Select Location)

Όταν το κουτί Use defaults είναι επιλεγμένο, μπορούμε να επιλέξουμε μια περιοχή, υποπεριοχή και έκθεση που να ταιριάζει με τις συνθήκες του έργου μας και το πρόγραμμα Life-365 θα χρησιμοποιήσει την βάση δεδομένων της τοποθεσίας για τον υπολογισμό της μέγιστης συγκέντρωσης των χλωριόντων και τον μέγιστο χρόνο στο πάνω μέρος και τις τιμές της θερμοκρασίας στο κάτω μέρος. Όταν το κουτί αυτό δεν είναι επιλεγμένο τότε ο χρήστης πρέπει να καταχωρίσει ο ίδιος τις τιμές της συγκέντρωσης και της θερμοκρασίας.

### Define Chloride Exposure

Ο ρυθμός της συσσώρευσης και το ανώτατο επίπεδο της εξωτερικής συγκέντρωσης των χλωριόντων επηρεάζει το ποσοστό συσσώρευσης των χλωριόντων και ουσιαστικά την ζωή του σκυροδέματος. Χρησιμοποιούμε τις ακόλουθες μεταβλητές για να ορίσουμε αυτές τις τιμές και να τις επιβεβαιώσουμε με το γράφημα.

Max surface conc.- είναι το ανώτατο επίπεδο της συγκέντρωσης των χλωριόντων όπου θα δεχτεί το σκυρόδεμα κατά τη διάρκεια της ζωής του και μετριέται σε % κ.β kg αν χρησιμοποιούμε το SI ή lb αν χρησιμοποιούμε το US.

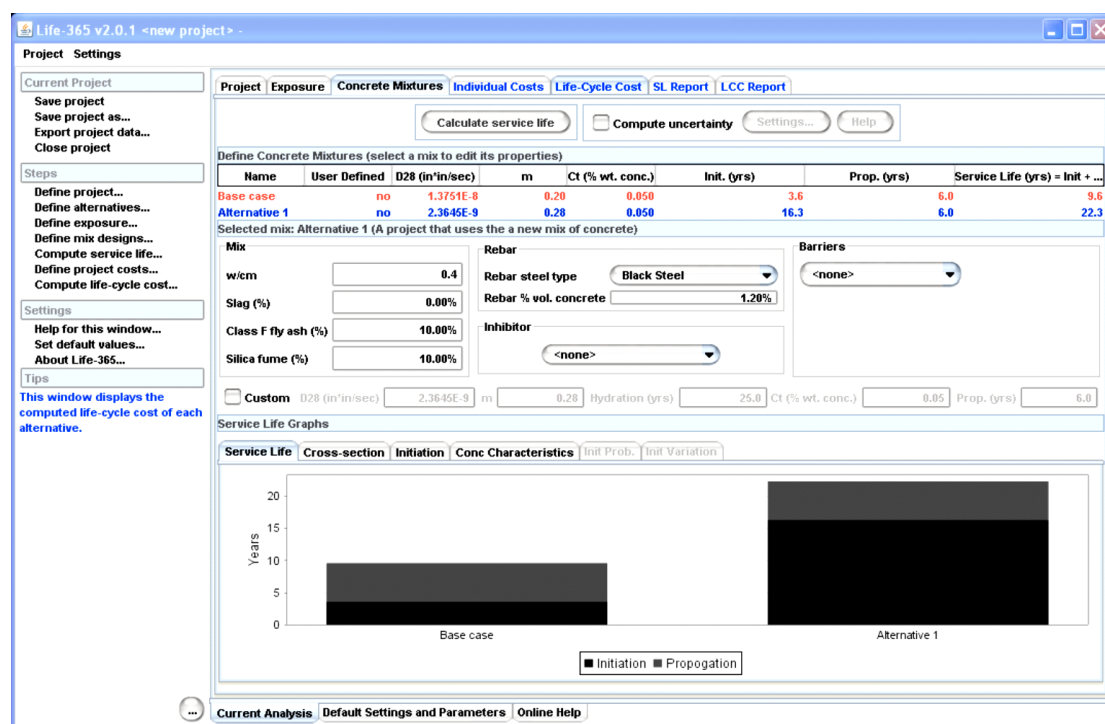
Time to build to max- είναι ο αριθμός των ετών για την μέγιστη συγκέντρωση των χλωριόντων. Υποτίθεται ότι η συγκέντρωση αρχίζει από το μηδέν και αυξάνεται σταδιακά.

## Define Temperature cycle

Όταν το κουτί Use defaults δεν είναι επιλεγμένο, ο χρήστης θα πρέπει να εισάγει την ετήσια θερμοκρασία που έχει επιλέξει για το έργο, οι θερμοκρασίες αυτές είναι μέρος του υπολογισμού της διάρκειας ζωής και καθορίζουν τις επιδράσεις της θερμοκρασίας στη διάχυση του σκυροδέματος. Εάν ο χρήστης επιλέξει είτε το σύστημα SI είτε το μετρικό σύστημα ως μονάδες μέτρησης στην καρτέλα του έργου τότε οι θερμοκρασίες θα πρέπει να εισάγονται σε βαθμούς Κελσίου στο SI ή σε Φαρενάιτ στο σύστημα US.

## Concrete Mixtures Tab

Η καρτέλα για τα μείγματα σκυροδέματος χρησιμοποιείται για να καθορίσει τα συγκεκριμένα μείγματα για κάθε εναλλακτικό σχέδιο που ορίζεται στην καρτέλα του έργου.



Εικόνα 23

## Define Concrete Mixtures

Αυτή η ενότητα μας επιτρέπει να εισάγουμε τα μείγματα του σκυροδέματος και τις στρατηγικές για την προστασία από τα χλωριόντα. Επειδή ο υπολογισμός του κόστους ζωής του σκυροδέματος είναι υπολογιστικά ακριβής, θα πρέπει να πατήσουμε το κουμπί του επανυπολογισμού (Recalculate service lives) αφού εισάγουμε τα μείγματα και τις στρατηγικές για να γίνουν οι υπολογισμοί.

Αν θέλουμε το πρόγραμμα Life-365 να υπολογίσει την αβεβαιότητα της συντήρησης για κάθε μείγμα σκυροδέματος θα πρέπει να πατήσουμε το κουμπί "compute uncertainty".

Σε γενικές γραμμές ο υπολογισμός αυτός απευθύνεται σε προχωρημένους χρήστες του προγράμματος. Αν πατήσουμε το κουμπί "Help" που βρίσκεται δεξιά θα βρούμε λεπτομέρειες για το πώς χρησιμοποιείται η υπηρεσία αυτή.



### Selected mixture

Αυτή η ενότητα παραθέτει τις ιδιότητες του μείγματος του σκυροδέματος, ορίζουμε τα μείγματα του σκυροδέματος, το φύλλο “panel” και μας επιτρέπει να επεξεργαστούμε τις ιδιότητες αυτές. Για να δούμε τις ιδιότητες για κάθε μείγμα σκυροδέματος απλά πατάμε στη γραμμή μείγματος της παραπάνω εντολής.

**Mixture group:** το χρησιμοποιούμε για να ορίσουμε τα υδατοσιμεντοειδή υλικά και την αναλογία (w/cm) του μείγματος του σκυροδέματος καθώς επίσης εάν και σε ποιο επίπεδο τα χρησιμοποιούμε.

**Rebar and inhibitors groups:** χρησιμοποιούμε αυτά τα τμήματα για να επιλέξουμε το είδος με το οποίο θα ενισχύσουμε τον χάλυβα στην κατασκευή μας. Το πεδίο Rebar% vol. concrete το χρησιμοποιούμε για να εισάγουμε το ποσοστό του σκυροδέματος που περιέχει ο χάλυβας και με αυτό υπολογίζουμε το κόστος του χάλυβα στο μείγμα του σκυροδέματος. Επίσης χρησιμοποιούμε το inhibitor για να συμπεριλάβουμε στο μείγμα, οποιαδήποτε αντιδιαβρωτικά έχουμε καθορίσει. Οι μονάδες μέτρησης θα είναι σε l,gal ή yd ανάλογα με τις βασικές μονάδες που έχουμε επιλέξει στην καρτέλα του έργου.

**Barriers:** χρησιμοποιούμε αυτή την ενότητα για να καθορίσουμε την μεμβράνη ή την στεγανωτική ουσία του σκυροδέματος μας. Εάν το use defaults είναι τσεκαρισμένο απλά επιλέγουμε την ουσία, αν όχι πρέπει να προσδιορίσουμε ακριβώς τις τιμές της αρχικής απόδοσης και τον χρόνο αστοχίας της για την συγκεκριμένη επιλογή.

**Custom Mixture Properties:** εκτός από τον προσδιορισμό του μείγματος του σκυροδέματος και των άλλων στρατηγικών για την προστασία από διάβρωση το πρόγραμμα Life-365 επιτρέπει στον χρήστη να εισάγει απευθείας τις ιδιότητες που χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογίσουμε τον χρόνο ζωής του σκυροδέματος.

**Initial diffusion coefficient:** εισάγοντας τον αρχικό συντελεστή διάχυσης, το πρόγραμμα αντικαθιστά άμεσα τον υπολογισμό της με βάση την αναλογία w/cm και το επίπεδο της πυριτικής παιπάλης.

**Diffusion decay index:** εισάγοντας αυτό τον δείκτη αντικαθιστά άμεσα τον υπολογισμό των μέτρων με βάση τα επίπεδα της σκωρίας και της ιπτάμενης τέφρας. Το ποσοστό πρέπει να κυμαίνεται από 0,2-0,6.

**Hydration:** εισάγοντας μια προκαθορισμένη αξία ενυδάτωσης αλλάζει ο αριθμός των ετών που σταματά η ενυδάτωση. Αν ορίσουμε στο πεδίο ενυδάτωσης π.χ τον αριθμό 5 αυτό σημαίνει ότι η ενυδάτωση θα σταματήσει μετά από 5 χρόνια.

### **Chloride concentration necessary to initiate corrosion:**

(Συγκέντρωση χλωριόντων που είναι απαραίτητα για να ξεκινήσει η διάβρωση)

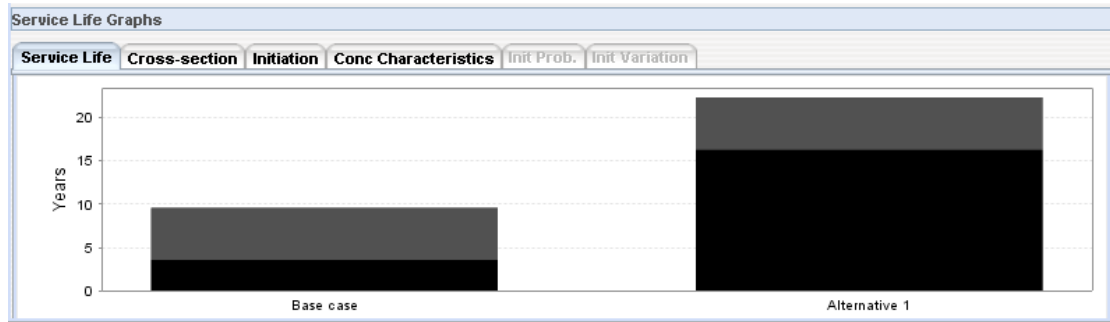
Όταν εισάγουμε την τιμή αυτή το πρόγραμμα παρακάμπτει την έναρξη της διάβρωσης που βασιζόταν στον τύπο του χάλυβα που χρησιμοποιήθηκε.

**Propagation period:** Όταν εισάγουμε την τιμή αυτή το πρόγραμμα παρακάμπτει τις περιόδους πολλαπλασιασμού που βασίζονται στο είδος του οπλισμού που χρησιμοποιείται (black=20 χρόνια, epoxy-coated= 20 χρόνια, stainless steel =6 χρόνια)

**Service life Graphs:** Η ενότητα αυτή περιέχει ένα σύνολο από γραφήματα που εμφανίζουν την απόδοση του σκυροδέματος σε συνάρτηση με τον χρόνο και τις διαστάσεις του σκυροδέματος.

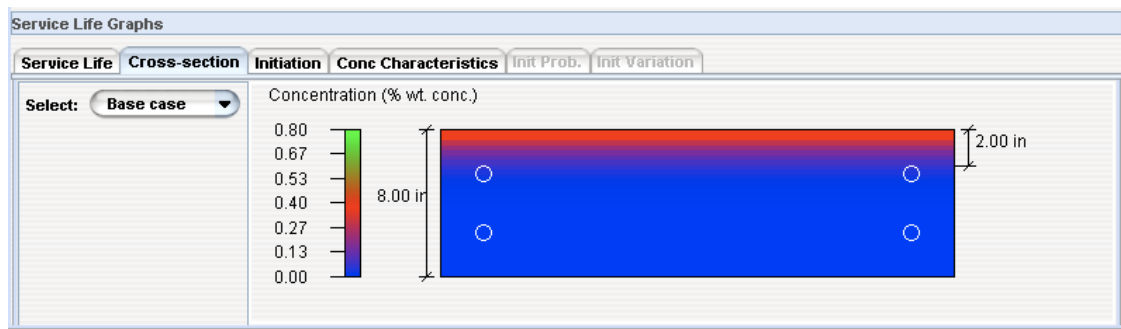
## Service Life:

Η ενότητα αυτή μας δείχνει την διάρκεια ζωής κάθε εναλλακτικού μείγματος από σκυρόδεμα όσον αφορά την περίοδο έναρξης και την περίοδο διάδοσης.



Εικόνα 24

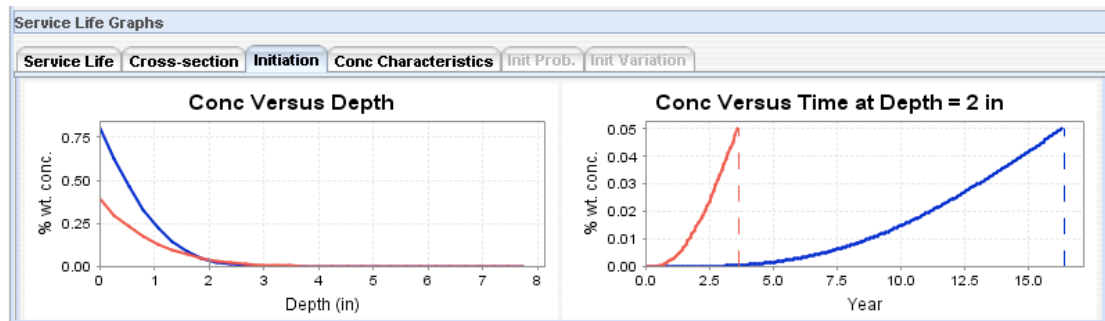
**Cross-section:** Η καρτέλα αυτή (σχήμα 14) μας δείχνει την συγκέντρωση των χλωριόντων στο μείγμα του σκυροδέματος τη στιγμή έναρξης της διάβρωσης.



Εικόνα 25

## Initiation

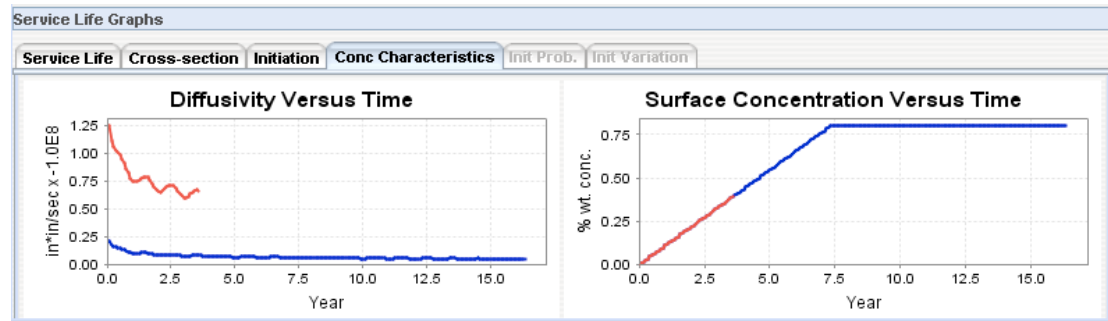
Η καρτέλα αυτή εμφανίζει δύο διαγράμματα, το διάγραμμα αριστερά μας δείχνει την συγκέντρωση των χλωριόντων σε συνάρτηση με το βάθος του οπλισμού και το διάγραμμα δεξιά μας δείχνει την συγκέντρωση των χλωριόντων σε συνάρτηση με τα χρόνια.



Εικόνα 26

## Concrete Characteristics

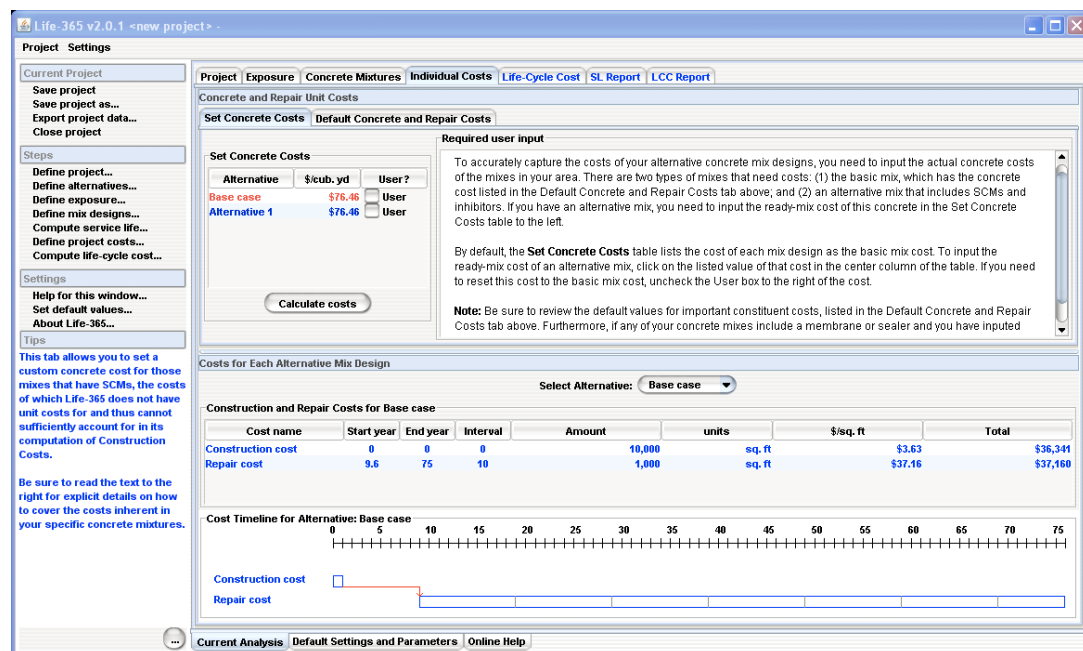
Τέλος βλέπουμε δυο πρόσθετα διαγράμματα που διευκολύνουν την ερμηνεία των επιδόσεων του σκυροδέματος. Το αριστερό διάγραμμα μας δείχνει την διάδοση της διάβρωσης σε συνάρτηση με τον χρόνο και το διάγραμμα δεξιά μας δείχνει την επιφανειακή συγκέντρωση συναρτήσει του χρόνου.



Εικόνα 27

## Individual costs Tab

Η καρτέλα αυτή μας επιτρέπει να επεξεργαστούμε το διαφορετικό κόστος των συστατικών στοιχείων και να δούμε τις επιπτώσεις που έχει το κόστος αυτό στην διάρκεια ζωής του σκυροδέματος.



Εικόνα 28

### Set Concrete Costs (Ορισμός Δαπανών Σκυροδέματος)

Στην επάνω αριστερή γωνία της οθόνης, η καρτέλα “Set Concrete Costs” επιτρέπει στο χρήστη να θέσει/ρυθμίσει συγκεκριμένες τιμές για το κόστος του μίγματος σκυροδέματος. Αρχικά, αυτός ο πίνακας παρουσιάζει/εμφανίζει το προεπιλεγμένο κόστος του σκυροδέματος, το οποίο αναγράφεται στο τμήμα Concrete & Steel της καρτέλας Default Settings and Parameters (που βρίσκεται στην κάτω πλευρά της οθόνης του προγράμματος Life-365. Αυτό το προεπιλεγμένο κόστος, πρέπει να αντιπροσωπεύει το κόστος του σκυροδέματος και μόνο, χωρίς τους αναστολείς, εμπόδια, ή χάλυβα (αυτά τα κόστη χρησιμοποιούνται όλα αργότερα, κατά τον υπολογισμό του αρχικού κόστους κατασκευής). Αν εισάγουμε μια τιμή κόστους και χρειαστεί να γίνει η προεπιλεγμένη τιμή κόστους (default cost), απλά ξετσεκάρω στην ερώτηση *User*.

### Default Concrete and Repair Costs (Προεπιλεγμένο Σκυρόδεμα και Κόστος Κατασκευής)

Αυτή η ενότητα αναφέρει τα κόστη που σχετίζονται με τρεις κατηγορίες δαπανών του έργου: **Concrete & Steel (Σκυρόδεμα και Χάλυβας)**, **Barriers & Inhib.(Εμπόδια και Αναστολείς)**, and **Repairs (Επισκευές)**. Όταν ξεκινάμε για πρώτη φορά το πρόγραμμα(Life-365), αυτό χρησιμοποιεί τις προκαθορισμένες τιμές των εν λόγω δαπανών, οι οποίες εμφανίζονται στην καρτέλα **Default Settings and Parameters** (το οποίο βρίσκεται στο κάτω μέρος της οθόνης του Life-365). (Αυτά μετατρέπονται, όταν είναι απαραίτητο, από τις μονάδες μέτρησης που εμφανίζονται σε αυτή την καρτέλα με τις μονάδες που χρησιμοποιούνται στο έργο μας. Εάν αποθηκεύσουμε το έργο μας και θελήσουμε να έχουμε πρόσβαση αργότερα, αυτό θα εμφανίσει και πάλι τις τιμές κόστους από το έργο μας.) Εάν θελήσουμε να θέσουμε τις τιμές που εμφανίζονται εκείνη τη στιγμή στο έργο μας ως προκαθορισμένες τιμές για όλα τα μελλοντικά έργα, πατάμε το κουμπί **Set as defaults**.

Concrete & Steel	Barriers & Inhib.	Repairs
Concrete (\$/cub. met.)	Membr. (\$/sq. m.)	Repair (\$/sq. m.)
\$100.00	\$33.00	\$400.00
Black stl (\$/kg)	Sealer (\$/sq. m.)	Area to repair (%)
\$1.00	\$7.00	10.0%
Epoxy-coated stl (\$/kg)	Inhibitor (\$/L)	Fixed repair interval (yrs)
\$1.33	\$1.50	10
Stainless stl (\$/kg)		
\$6.60		

Set as defaults

Costs for Each Alternative Mix Design

Select Alternative: Base case

Εικόνα 29

## Costs for Each Alternative Mix Design (Το κόστος για κάθε εναλλακτική μελέτη σύνθεσης)

Με βάση αυτές τις δαπάνες, η ενότητα **Costs for Each Alternative Mix Design** απαρτίζεται από τρία στοιχεία:

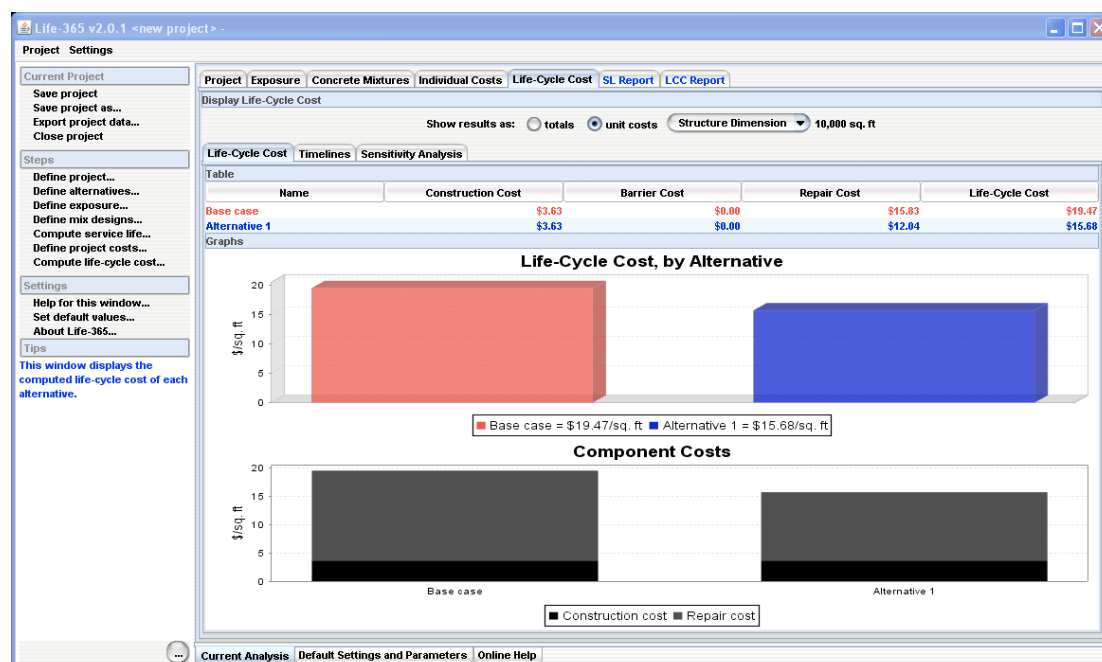
1. **Construction cost (κόστος κατασκευής)**, ή κόστος ανάμειξης/τοποθέτησης του σκυροδέματος
2. **Barrier cost (κόστος εμποδίων)**, ή κόστος εφαρμογής μιας μεμβράνης ή στεγανωτικού και
3. **Repair cost (κόστος επισκευής)**, ή το κόστος αποκατάστασης του σκυροδέματος κατά την περίοδο της μελέτης.

Χρησιμοποιώντας το **Select Alternative** (επιλογή εναλλακτικών) από το αναδυόμενο πλαίσιο, επιλέγουμε ποια εναλλακτική θα θέλαμε να δούμε σ' αυτή την ομάδα, καθώς και στο γράφημα παρακάτω **Cost Time-line for Alternative**.

## Cost Timeline (Χρονοδιάγραμμα Κόστους)

Αυτή η ενότητα παρουσιάζει ένα χρονοδιάγραμμα του κόστους του έργου. Το γράφημα στο σχέδιο 17, δείχνει ειδικότερα το αρχικό κόστος κατασκευής που εμφανίζεται μεταξύ του έτους 0 και του έτους 1, και τότε το κόστος επισκευής αρχίζει 8 χρόνια μετά την κατασκευή (όπως προκύπτει από το κόκκινο βέλος) και συνεχίζει κάθε 10 χρόνια (όπως προκύπτει από τις κάθετες γκρι γραμμές μέσα στο λευκό πλαίσιο) μέχρι τα 75 χρόνια. Χρησιμοποιούμε το **Select Alternative** αναδυόμενο πλαίσιο για να δούμε τα διαφορετικά χρονοδιαγράμματα κόστους των διαφόρων εναλλακτικών μιγμάτων μας.

## Life-Cycle Cost Tab (Καρτέλα Κόστους Κύκλου Ζωής)



Εικόνα 30

## Life-Cycle Cost (Κόστος Κύκλου Ζωής)

Η πρώτη καρτέλα εμφανίζει το κόστος του κύκλου ζωής της κάθε εναλλακτικής λύσης, σε μορφή πίνακα, ως σύνολο (οι χρωματιστές μπάρες) και ως συνιστάμενο κόστος (οι μαύρες και γκρι μπάρες)

## Timelines (Χρονοδιαγράμματα)

Η καρτέλα των Timelines , εμφανίζει τα στοιχεία των δαπανών με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η καρτέλα θα εμφανίζει αρχικά μόνο ένα από τα τέσσερα χρονοδιαγράμματα αλλά μπορεί να δείξει τα τέσσερα μαζί, όταν ο χρήστης ελέγχει το κουτί **Show all four timeseries graphs together**. Τα άνω δύο πλαίσια δείχνουν το ατομικό έτος και τη συνολική δαπάνη. Τα δύο κάτω πλαίσια απεικονίζουν το ατομικό έτος και cumulative current-dollar costs, οι οποίες είναι οι δαπάνες προσαρμοσμένες μόνο στον πληθωρισμό.



Εικόνα 31

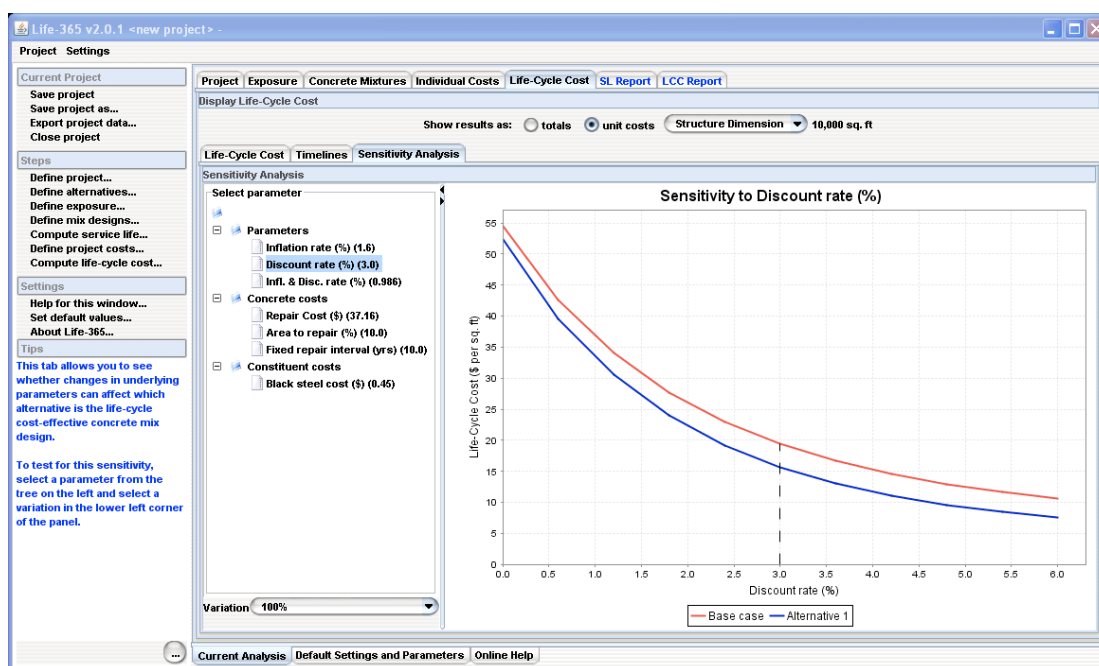
Για τις εναλλακτικές λύσεις, επάνω δεξιά η Αθροιστική Παρούσα Αξία (Cumulative Present Value), εξηγεί γιατί η Εναλλακτική 1 (Alternative 1), η μπλε γραμμή στο γράφημα, έχει μικρότερο κόστος κύκλου ζωής: γιατί ενώ έχει ένα ελαφρώς υψηλότερο κόστος κατασκευής και πανομοιότυπο κόστος επισκευής, έχει λιγότερες επισκευές λόγω μεγαλύτερης διάρκειας ζωής (συγκεκριμένα, η πρώτη επισκευή του πραγματοποιείται αργότερα), με αποτέλεσμα το συνολικό επίπεδο κατά το τελευταίο έτος της περιόδου μελέτης να είναι χαμηλότερο από τη Βασική περίπτωση (Base case), η κόκκινη γραμμή.

## Sensitivity analysis

Ένα σημαντικό στοιχείο της ανάλυσης του κύκλου ζωής, είναι η ανάλυση ευαισθησίας (sensitivity analysis), ή ο προσδιορισμός του πόσου ευαίσθητα είναι τα αποτελέσματά μας στις αλλαγές σε οποιαδήποτε από τις υποκείμενες οικονομικές δαπάνες, ή δαπάνες επισκευής, ή το κόστος σκυροδέματος.

Το πρόγραμμα μας προσφέρει τουλάχιστον δύο τρόπους για τη διεξαγωγή της ανάλυσης της ευαισθησίας: Ο πρώτος τρόπος είναι να αλλάξουμε απλά οποιαδήποτε παράμετρο από τις προηγούμενες καρτέλες και να δούμε τι επιπτώσεις θα έχει για κάθε εναλλακτικό κόστος κύκλου ζωής.

Ένας δεύτερος αποτελεσματικός τρόπος για τη διεξαγωγή της «ευαισθησίας ανάλυσης» είναι χρησιμοποιώντας την καρτέλα Sensitivity Analysis (σχήμα 21). Σ'αυτή την καρτέλα μπορούμε να επιλέξουμε μία από τις προκαθορισμένες παραμέτρους που περιλαμβάνονται στο αριστερό δέντρο και στη συνέχεια επιλέγουμε ένα εύρος τιμών για την παράμετρο αυτή επιλέγοντας από το αναδυόμενο πλαίσιο τις Παραλλαγές (Variations) στο κάτω αριστερό τμήμα της καρτέλας. Το πρόγραμμα μετά θα υπολογίσει το κόστος κύκλου ζωής της κάθε εναλλακτικής λύσης σε αυτό το φάσμα των παραμέτρων και τα συγκρίνει με αυτά στο γράφημα δεξιά. Η κάθετη διακεκομμένη γραμμή τοποθετείται στην τιμή της παραμέτρου που επιλέγουμε εμείς ως «καλύτερη εκτίμηση».



Εικόνα 32

### Life-Cycle Cost: Sensitivity Analysis Tab

Το συγκεκριμένο γράφημα στο σχήμα δείχνει τα αποτελέσματα των διαφόρων προεξοφλητικών επιτοκίων μεταξύ 0% και 6% (όπως υποδεικνύεται από τον οριζόντιο άξονα του γραφήματος). Το γράφημα δείχνει ότι η Εναλλακτική 1 (Alternative 1) έχει χαμηλότερο κόστος κύκλου ζωής από τη Βασική Περίπτωση (Base Case), ανεξάρτητα από το επιλεγμένο (λογικό) πραγματικό δηλαδή, η αποτελεσματικότητα του κόστους κύκλου ζωής της Alternative 1, δεν επηρεάζει τις (λογικές) αλλαγές στο πραγματικό ποσοστό έκπτωσης. Διαδοχικά δουλεύοντας μέσω όλων των παραμέτρων θα επιτρέπεται στο χρήστη να καθορίσει εάν τα αποτελέσματα είναι ευαίσθητα σε κάποια από αυτές τις παραμέτρους εισόδου.

## Service Life and Life-Cycle Cost Reports Tabs

### Διάρκεια Ζωής και Καρτέλες Αναφορών του Κόστους Κύκλου Ζωής

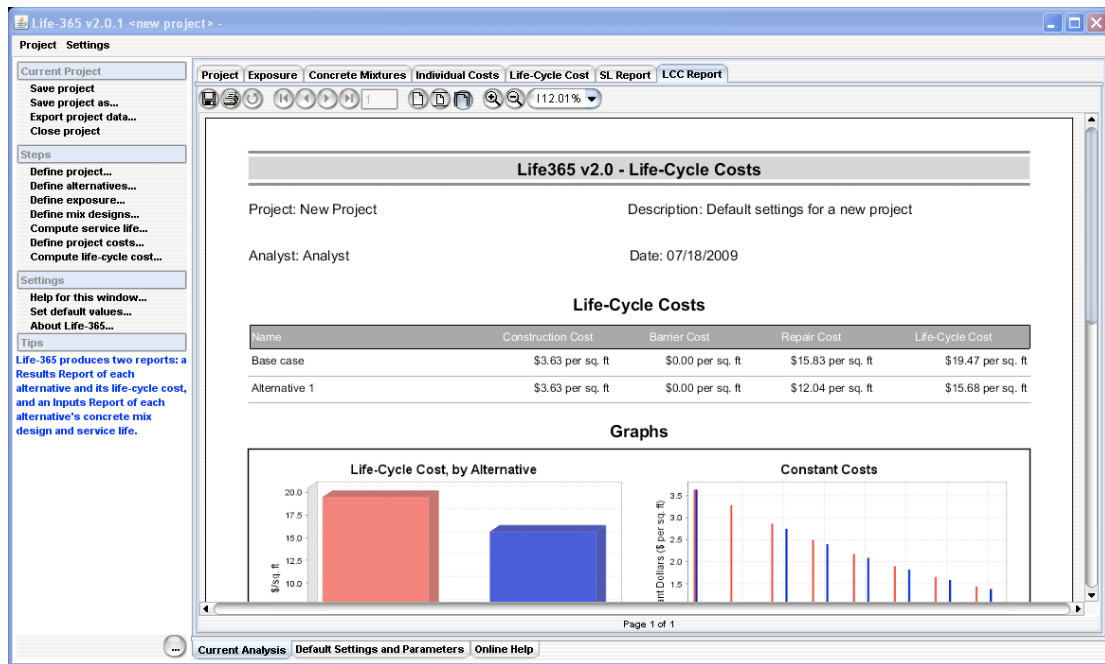
Τέλος, το πρόγραμμα Life 365 παρέχει δύο προκαθορισμένες αναφορές του έργου σας: μια έκθεση SL (SL Report: "Service Life Report,") και μία έκθεση LCC (LCC Report: "Life-Cycle Cost Report,). Αυτές οι δύο αναφορές καταγράφουν τις περισσότερες αλλά όχι όλες τις παραμέτρους που χρησιμοποιούμε στην ανάλυσή μας (το αρχείο \*.life περιέχει όλες τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται). Κάθε αναφορά μπορεί να εκτυπώνεται πατώντας το εικονίδιο του εκτυπωτή στην επάνω αριστερή γωνία του παραθύρου. Αν θέλουμε να αποθηκεύσουμε την αναφορά μας ως ένα αρχείο PDF, κάνουμε κλικ στο εικονίδιο μονάδων του σκληρού δίσκου στην επάνω αριστερή γωνία, επιλέγουμε "\*.Pdf ως αρχείο τύπου, πληκτρολογούμε το όνομα του αρχείου και αποθηκεύουμε.

The screenshot displays the Life365 v2.0.1 software interface. The main window is titled "Life365 v2.0 - Concrete Mixes and Service Lives". It shows project details: Project: New Project, Description: Default settings for a new project, Analyst: Analyst, Date: 07/18/2009. There are three charts: "Surface Concentration" showing a step function over 70 years, "Monthly Temperatures" showing a seasonal curve, and a diagram of a slab and wall cross-section with dimensions 8.00 ft and 2.00 in. Below the charts is a table of concrete mixes.

All name	User?	w/cm	SCMs	Inhib.	Barrier	Reinf.
Base case		0.42				Black Steel
Alternative 1		0.4	Class F Fly Ash (10%); Silica Fume			Black Steel

Εικόνα 33





Εικόνα 34

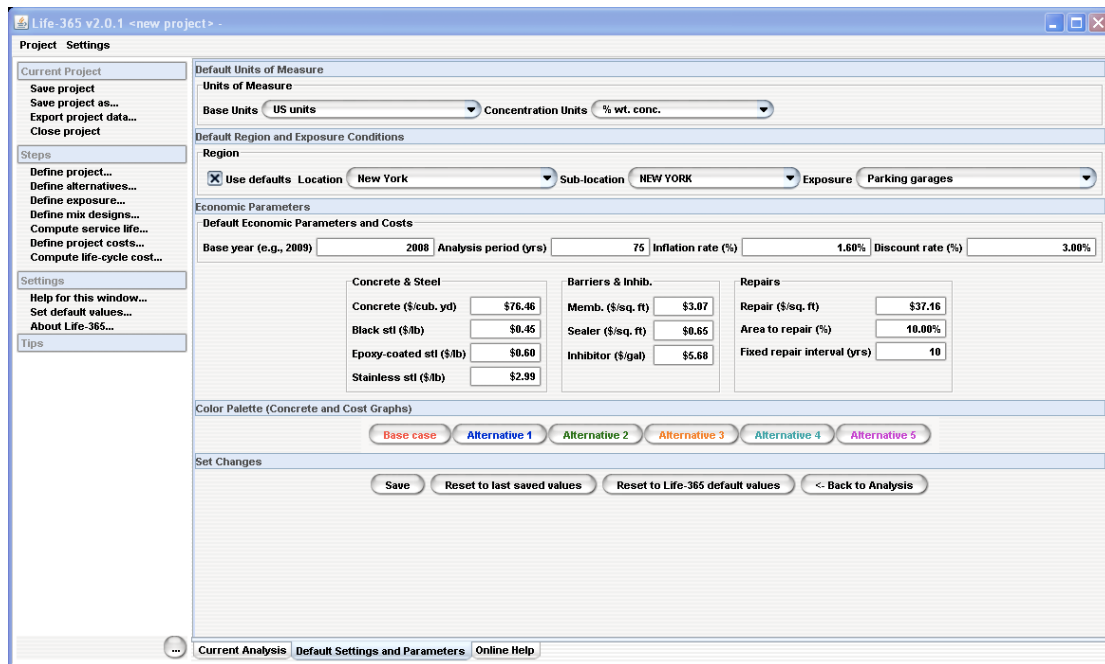
## Supporting Features

Εκτός από τα κύρια, το πρόγραμμα περιλαμβάνει ένα παράθυρο για τον καθορισμό προεπιλεγμένων ρυθμίσεων και παραμέτρων που πρέπει να χρησιμοποιούνται σε όλες τις αναλύσεις μας, κι ένα παράθυρο που προσφέρει θεματική βοήθεια.

## Default Settings and Parameters

### (Προκαθορισμένες Ρυθμίσεις και Παράμετροι)

Αυτή η καρτέλα επιτρέπει στο χρήστη να επεξεργαστεί τις παραμέτρους που είναι κοινές σε όλες τις διαφορετικές αναλύσεις, όπως οι μονάδες μέτρησης, η τοποθεσία του έργου, οι οικονομικές συνθήκες και το κόστος σκυροδέματος.



Εικόνα 35

### (Καρτέλα Προκαθορισμένων Ρυθμίσεων και Παραμέτρων)

Πριν ακόμη τη διεξαγωγή της πρώτης μας ανάλυσης, συνιστάται να έχουμε πρόσβαση σε αυτή την καρτέλα και να ορίσουμε τις προεπιλεγμένες ρυθμίσεις ώστε να αντικατοπτρίζει τους δικούς μας όρους, ιδιαίτερα τα κόστη σκυροδέματος, χάλυβα και δαπάνες επισκευής, και στη συνέχεια πατάμε το κουμπί για αποθήκευση (**Save button**). Πρώτη μας δουλειά τότε, είναι να χρησιμοποιήσουμε την καλύτερη εκτίμησή μας από αυτές τις παραμέτρους

### Advanced Analysis: Service Life Uncertainty

#### Σύνθετη Ανάλυση: Αβεβαιότητα Διάρκειας Ζωής

Υπολογίζει τη διάρκεια ζωής και το κόστος κύκλου ζωής, δεδομένης της καλύτερης εκτίμησης από τις οικονομικές συνθήκες, τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες, τις τιμές μίγματος σκυροδέματος και τις οικονομικές δαπάνες που έχουν εισαχθεί από το χρήστη. Μπορεί να υπάρξει, όμως, η αβεβαιότητα σχετικά με ορισμένες από αυτές τις συνθήκες, όπως για παράδειγμα, ποιός θα είναι ο συντελεστής επικαιροποίησης χρήματος κατά την περίοδο της μελέτης, ποιες θα είναι οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, ποιες είναι οι επιπτώσεις των προσμίκτων στη διάρκεια ζωής του σκυροδέματος και ποιο θα είναι το κόστος επισκευής κατά την περίοδο της μελέτης. Πολλές από αυτές τις αβεβαιότητες μπορούν να αντιμετωπιστούν μέσω της ανάλυσης ευαισθησίας (sensitivity analysis), εκ των οποίων η καρτέλα της Ανάλυσης Ευαισθησίας είναι ένα παράδειγμα. Μια τυπική ανάλυση της αβεβαιότητας θα περιλαμβάνει πολλές από τις παραπάνω παραμέτρους και διαδικασίες.

### Model of Initiation Period Uncertainty (Μοντέλο Αβεβαιότητας της Περιόδου Έναρξης)

Για να κατανοήσουμε την επίδραση της αβεβαιότητας σχετικά με ορισμένες από τις παραμέτρους εισόδου κατά την περίοδο έναρξης και κατά συνέπεια στη διάρκεια ζωής του σκυροδέματος, το πρόγραμμα περιλαμβάνει μία επίσημη μέθοδο για την εκτίμηση της αβεβαιότητας της διάρκειας ζωής ενός μείγματος σκυροδέματος.

## Κεφάλαιο 13

### **13.1 Παράδειγμα Υπολογισμού της χρονικής περιόδου και του κόστους συντήρησης, με τη χρήση Η/Υ.**

Η συγκεκριμένη εργασία έχει ως σκοπό την μελέτη της προσβολής του δομικού χάλυβα, στο κατάστρωμα μιας γέφυρας από τα άλατα χλωρίου που οδηγεί στην διάβρωσή του και τελικά στην πλήρη μετατροπή του σε σκωρία. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια την καταστροφή του σκυροδέματος αλλά και την θεαματική κατακόρυφη πτώση της εφελκυστικής αντοχής του.

Για να γίνει κατανοητό η διαδικασία προσβολής του δομικού χάλυβα ασχολούμαστε με ένα υποθετικό έργο στην περιοχή της Νέας Υόρκης. Με τη βοήθεια ενός προγράμματος που αναπτύχθηκε για τον σκοπό αυτό, θα γίνει η επιλογή του τύπου σκυροδέματος για την κατασκευή του έργου έτσι ώστε να παρέχεται η μεγαλύτερη προστασία στον δομικό χάλυβα αλλά και η οικονομικότερη λύση.

Για τον υπολογισμό του κόστους κύκλου-ζωής για το έργο λαμβάνονται υπόψη

- i) Το αρχικό κόστος των υλικών του σκυροδέματος για τα διάφορα σενάρια. Το πρόγραμμα λαμβάνει τις εξής τιμές για τα ακόλουθα υλικά
  - Απλός χάλυβας 1.50\$/kg
  - Εμποτισμένος σε ρητίνες χάλυβας 2.00\$/kg
  - Ανοξειδωτος χάλυβας 10.00\$/kgΟι τιμές αυτές μπορούν να αλλάξουν καθ' υπόδειξη του χρήστη
- ii) Το κόστος των επισκευών που προκύπτουν μετά την ανάλυση από το πρόγραμμα του εκάστοτε σεναρίου
- iii) Συντελεστής επικαιροποίησης του χρήματος

### **Παρουσίαση των αποτελεσμάτων του προγράμματος Η/Υ**

Το πρόγραμμα Η/Υ στην προσπάθεια να μας κάνει κατανοητό τα αποτελέσματα που προέκυψαν έτσι ώστε να οδηγηθούμε στην εκλογή του καταλληλότερου σκυροδέματος για το έργο παρουσιάζει μια σειρά διαγραμμάτων όπου συγκρίνονται εύκολα όλα τα σενάρια που έχουν γίνει.

Σε αυτή την εργασία θα εξετασθούν, σε σχέση με την προσβολή τους από χλωριόντα 5 συνθέσεις σκυροδέματος .Βεβαίως εκτός από την ανθεκτικότητα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία και στην οικονομική διάσταση αυτών των συνθέσεων. Συνεπώς οικονομικοί όροι όπως αρχικό κόστος παραγωγής, αξία επισκευών και ολικό κόστος ζωής πρέπει να εξετασθούν.

Στους πίνακες 1 & 2 παρουσιάζονται οι συνθέσεις και οι τιμές παραγωγής των σκυροδεμάτων αντίστοιχα. .

**Πίνακας 1**

	w	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΜΕ		ΑΝΑΣΤΟΛΕΑΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ		Ρευστοποιητής  (lt/m <sup>3</sup> )
		ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ	ΠΥΡΙΤΙΚΗ ΠΑΙΠΑΛΗ	ΑΝΟΡΓΑΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ	ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ	
Base case	0,50	0	0	Νιτρώδες ασβέστιο (lt/m <sup>3</sup> )	Rheocrete 222 (lt/m <sup>3</sup> )	0
Alternative 2	0,50	0	15	0	0	0
Alternative 3	0,50	20	0	0	0	0
Alternative 4	0,50	10	10	0	0	0
Alternative 5	0,50	0	0	15	0	0

## Πίνακας 2

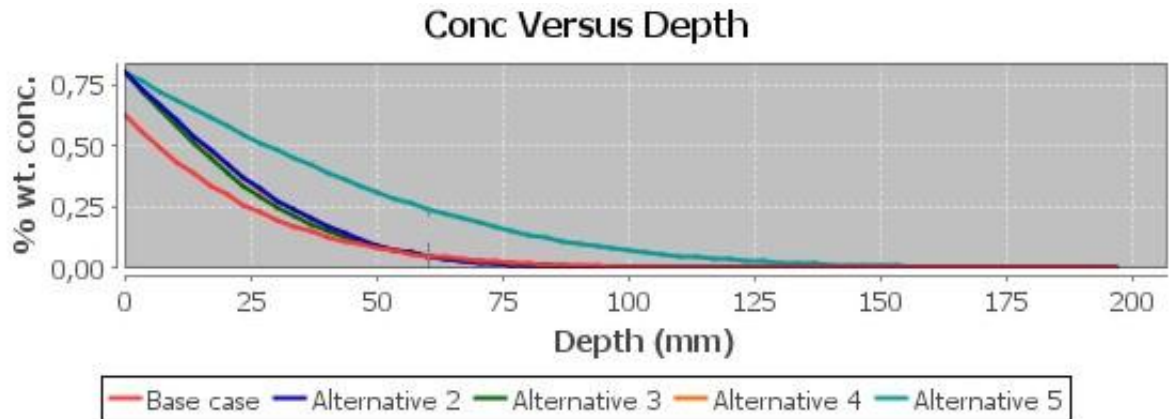
<b>ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ \$/m<sup>3</sup></b>	
Base case	75,00
Alternative 2	89,00
Alternative 3	77,00
Alternative 4	85,00
Alternative 5	105,00

Τα παραπάνω δεδομένα ,μαζί με τα στοιχεία για την συγκέντρωση των επιβλαβών ουσιών,την γεωγραφική θέση, τις θερμοκρασιακές συνθήκες και το κόστος των επιδιορθώσεων θα εισαχθούν στο πρόγραμμα H/Y Life 365 όπου θα μας δώσει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την ανθεκτικότητα των εξεταζομένων μειγμάτων.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η επιρροή του ρευστοποιήτη στην ανθεκτικότητα δεν εξετάζεται ,απλά προστίθεται στο κόστος παραγωγής

## Α) ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

### Διάγραμμα 1



#### Initiation period

**Base case** : 6.5 έτη

**Alternative 2**: 52.8 έτη

**Alternative 3**: 10.2 έτη

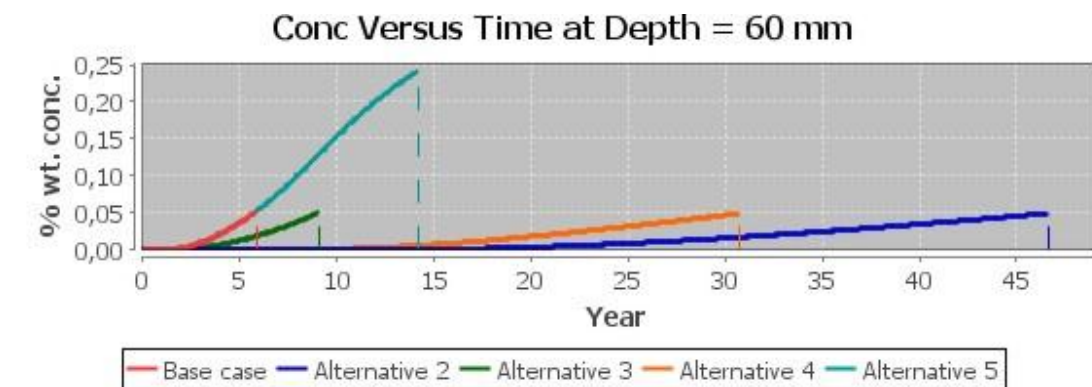
**Alternative 4**: 35 έτη

**Alternative 5**: 21.4 έτη

Βάθος επικάλυψης (60mm)

Σε αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε ότι η base case και οι alternative 2,3 και 4 έχουν σε κάθε βάθος την μικρότερη συγκέντρωση.

## Διάγραμμα 2



Συμπερασματικά από τα παραπάνω 2 διαγράμματα παρατηρούμε ότι η ΥΠ 5 παρουσιάζει την μεγαλύτερη συγκέντρωση στο βάθος επικάλυψης (60mm) και μάλιστα σε μικρό χρονικό διάστημα, αντίθετα η ΥΠ 2 παρουσιάζει μικρή συγκέντρωση σε μεγάλο χρονικό διάστημα.

Επίσης από τα παραπάνω 2 διαγράμματα μπορούμε να πούμε ότι τα σκυροδέματα των alternative 2 και 4 είναι αρκετά ανθεκτικά( διάρκεια A φάσης 52,8 και 35 έτη αντίστοιχα) .Τα σκυροδέματα των alternative 2 και 4 είναι ποζολανικά με μικρό βαθμό αντικατάστασης του τσιμέντου Πόρτλαντ.

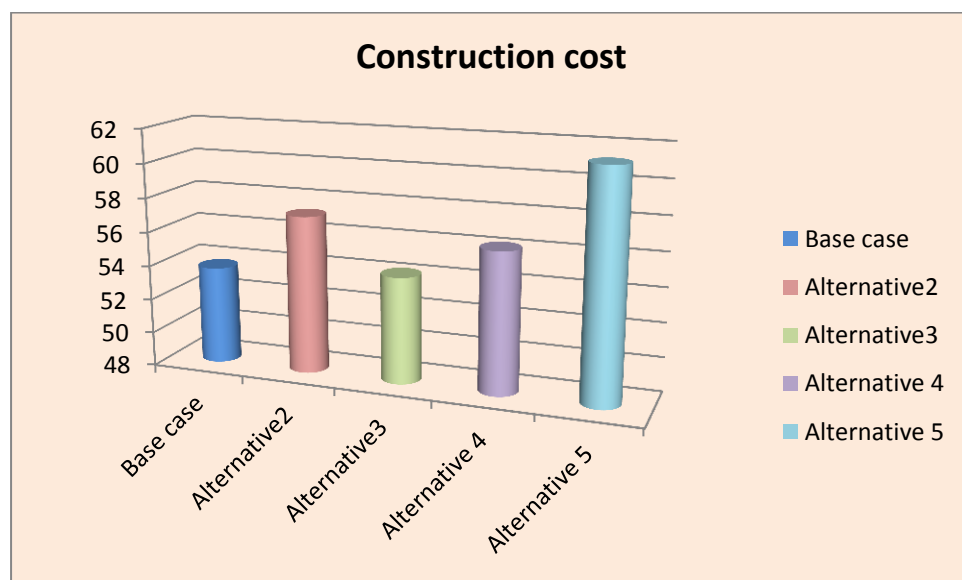
Τα υπόλοιπα σκυροδέματα base case, alternative 3 και 5 έχουν μικρή διάρκεια α φάσης (διάγραμμα 2) και δεν γίνονται αποδεκτά .Θα μπορούσαμε λοιπόν να πούμε ότι κυρίως τα υλικά πυριτικής σύστασης έχουν μεγάλη επίδραση (θετική) στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος και κυρίως αυτά με πυριτική παιπάλη.

Συνεπώς από την εξέταση της ανθεκτικότητας “προκρίνονται” τα σκυροδέματα των alternative 2 και 4.



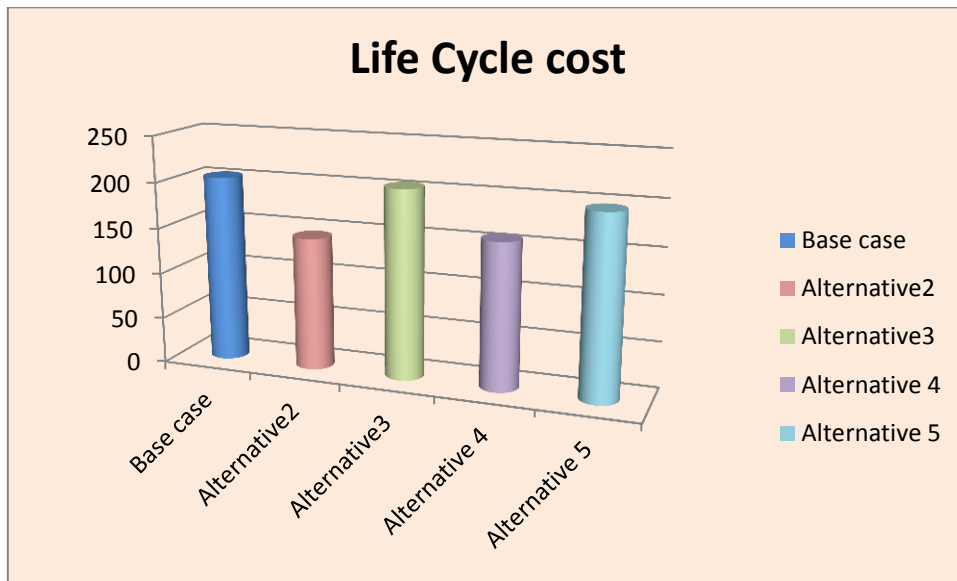
## Β) ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Διάγραμμα 3



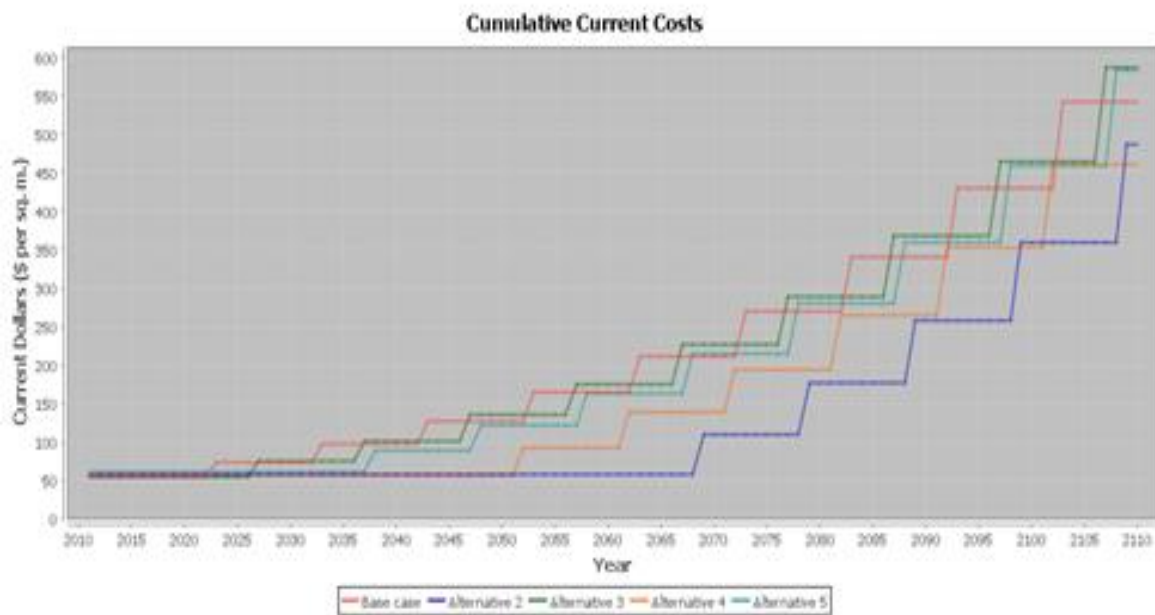
Σε αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε ότι η Base Case και η alternative 3 έχουν το χαμηλότερο κόστος παραγωγής ενώ η alternative 5 έχει το υψηλότερο κόστος.

#### Διάγραμμα 4

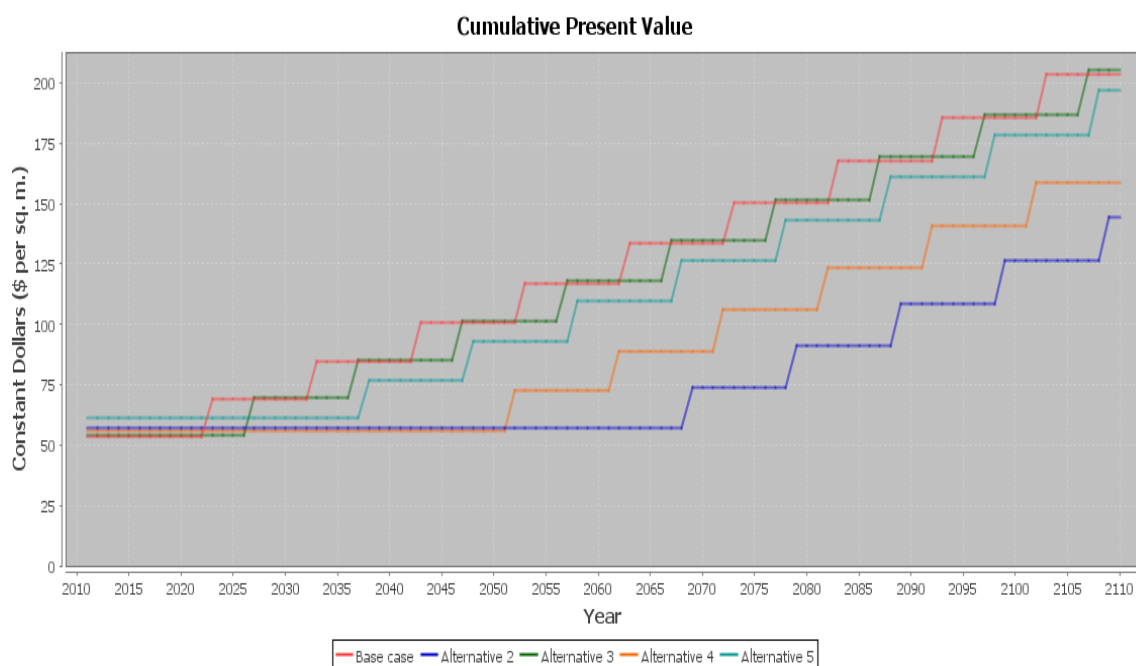


Σε αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε ότι η alternative 2 έχει το χαμηλότερο ολικό κόστος ενώ η alternative 3 έχει το υψηλότερο ολικό κόστος ζωής .

#### Διάγραμμα 5



## Διάγραμμα 6



Συνεπώς συγκρίνοντας τα 2 σκυροδέματα αυτό που θα επιλέξουμε είναι το ποζολανικό τσιμέντο της alternative 2 ( $w=0.50$ , πυριτική παιπάλη 15%) αφού έχει το μικρότερο ολικό κόστος ζωής και το μεγαλύτερο χρόνο επισκευής.

### Συμπέρασμα

Βεβαίως το συγκεκριμένο πρόγραμμα παρουσιάζει ορισμένες ελλείψεις οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένα συμπεράσματα καθώς το πρόγραμμα αυτό είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί έχοντας ως δεδομένα (τα οποία δεν αλλάζουν) που ισχύουν στη Βόρεια Αμερική. Αλλά και το γεγονός πως ορισμένα δεδομένα προς εισαγωγή δεν μπορούν να καθορισθούν περαιτέρω και λαμβάνονται όπως είναι [προκαθορισμένα στις βάσεις δεδομένων του προγράμματος.

Κρίνεται σημαντικό τελειώνοντας να αναφέρουμε πως για την εξαγωγή ασφαλών αποτελεσμάτων χρειάζεται και ο εργαστηριακός έλεγχος των υποθέσεων εφόσον αυτός είναι εφικτός.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14**

### **14.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν είναι σαφές ότι υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός παραγόντων που μπορούν να προκαλέσουν καταστροφές σε μια γέφυρα.

Το κόστος επισκευής και αποκατάστασης είναι αρκετά υψηλό. Συνεπώς είναι πολύ σημαντικό ο μηχανικός που θα αναλάβει την κατασκευή της γέφυρας να λάβει υπ'όψιν τους παράγοντες αυτούς έτσι ώστε να αποφευχθούν σοβαρές καταστροφές. Αυτό θα μπορούσε να γίνει ως εξής:

- Με λεπτομερή μελέτη της περιοχής όπου θα ξεκινήσουν οι εργασίες της κατασκευής.
- Με χρήση αναστολέων διάβρωσης και επιχρισμάτων.
- Με τακτικό έλεγχο της γενικής κατάστασης της κατασκευής.
- Με ανανέωση των προστατευτικών μέτρων (π.χ. αδιάβροχες μεμβράνες).
- Λαμβάνοντας υπ'όψιν τις περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Επιλέγοντας τα καλύτερα και ανθεκτικότερα υλικά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν.
- Εξασφαλίζοντας καλή ποιότητα σκυροδέματος, κάνοντας επαρκή συμπύκνωση και συντήρηση.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ❖ [1]. Γ. Χ Κούκης, Ν. Σαμπατακάκης, «Τεχνική Γεωλογία», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2002.
- ❖ [2]. Ν. Τσώνη, «Η Διάβρωση του χάλυβα στο σκυρόδεμα-Πρόληψη-Έλεγχοι και επεμβάσεις σε υφιστάμενες κατασκευές-Τρωτότητα των ενισχύσεων », 16<sup>ο</sup> Φοιτητικό συνέδριο Επισκευές Κατασκευών, Πάτρα, 2010.
- ❖ [3]. Θ. Π. Τάσιος, Κ. Αλιγιζάκη, «Ανθεκτικότητα Ωπλισμένου Σκυροδέματος», Εκδόσεις ΤΕΚΔΟΤΙΚΗ ΣΕΛΚΑ 4Μ, Αθήνα, 1993.
- ❖ [4] . Σ. Η. Δρίτσος, «Επισκευές και Ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα», Πάτρα, 2005.
- ❖ [5]. Θ. Ν. Σκουλικίδης «Διάβρωση και προστασία υλικών», Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 2007.
- ❖ [6]. [www.cathodicprotection.com](http://www.cathodicprotection.com)
- ❖ [7]. [www.marpo.gr/cathodic\\_protection/industrial/industrial.html](http://www.marpo.gr/cathodic_protection/industrial/industrial.html)
- ❖ [8]. Σ. Βλάχος, «Προστασία Χάλυβα από Διάβρωση», Διδακτορική Διατριβή, 1991.
- ❖ [9]. [www.korrosion.de](http://www.korrosion.de)
- ❖ [10]. [www.cortecmci.com/brochures/HPRS.pdf](http://www.cortecmci.com/brochures/HPRS.pdf)
- ❖ [11]. [www.isomat.gr/isomat\\_gr/lisi.asp?id=44](http://www.isomat.gr/isomat_gr/lisi.asp?id=44)
- ❖ [12]. Σ. Ι. Πανταζοπούλου, «Μανδύες από σύνθετα υλικά ως μέσο επισκευής στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα», Περιοδικό Κτίριο, τόμος Α, σελ. 35-44, 2000.
- ❖ [13]. Δ.-Π.Ν. ΚΟΝΤΟΝΗ, «Υπολογισμός Κατασκευών με Η/Υ», Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής, Τ.Ε.Ι.Πάτρας, Πάτρα, 1995-1999.
- ❖ [14]. Δ.-Π.Ν ΚΟΝΤΟΝΗ, Επιστημονικά Εκπαιδευτικά Προγράμματα Η/Υ ειδικότητας Πολιτικού Μηχανικού, Πάτρα, 1985-2012.
- ❖ [15]. Δ.-Π.Ν ΚΟΝΤΟΝΗ, «Πολιτικός Μηχανικός & Η/Υ», «Εισαγωγή στο Διαδίκτυο (Internet) και στις υπηρεσίες του» (Διδακτικές

σημειώσεις), «Ασκήσεις Προγραμματισμού Η/Υ I & II» (Φύλλα Έργου), Τμήμα Πολιτικών Έργων υποδομής, Τ.Ε.Ι. Πάτρας, Πάτρα, 1999-2012.

#### ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- ❖ [www.enet.gr](http://www.enet.gr)
- ❖ [www.firesecurity.gr](http://www.firesecurity.gr)
- ❖ [www.Corus-kalpinis-simos.gr](http://www.Corus-kalpinis-simos.gr)