

81
701

ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝ. ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ: ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΘΕΜΑ: ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΣΤΙΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΠΕΖΕΡΙΔΟΥ Δ.Κ.

ΥΠΕΥΘΥΝΟΙ ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΜΑΓΚΑΝΙΑΡΗ ΠΑΓΩΝΑ

ΜΗΤΣΟΥ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ

ΜΑΙΟΣ 1995
ΑΙΓΑΛΕΩ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. « ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣ ΤΟΥ ΣΚΛΗΡΥΜΕΝΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΛΤΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ»

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΒΑΓΓΕΛΗ Γ. ΠΑΠΑΔΑΚΗ

2. « THE WEATHERING OF CONCRETE BUILDINGS»

FRANK HAWES DIP ARCH, RIBA

3. « AIR AND RAIN PENETRATION OF BUILDINGS»

PAUL MARSH
THE CONSTRUCTION PRESS LTD

4. « ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΎΕΝΑΝΤΙ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΒΑΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ»

ΤΑΣΣΙΟΣ

1.0 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ

1.0.1 Ανθεκτικότητα σε διάρκεια του οπλισμένου σκυροδέματος

Το πιο συνηθισμένο υλικό δόμησης, τόσο στην Ελλάδα όσο και διεθνώς, είναι το σκυρόδεμα, που κατασκευάζεται με ανάμιξη τσιμέντου με άμμο και σκύρα (αδρανή υλικά) και νερό. Αυτό οφείλεται στην οικονομικότητα του σκυροδέματος, σε συνδυασμό με την μακροχρόνια εμπειρία ικανοποιητικής γενικά, συμπεριφοράς του στις κατασκευές. Η ικανοποιητική αυτή συμπεριφορά περιλαμβάνει και την σχετικά με άλλα ανταγωνιστικά δομικά υλικά, όπως ο χάλυβας και το ξύλο, μεγάλη ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε διάρκεια, χάρη στην οποία, η συντήρηση απαιτείται στην αναμενόμενη ή "συμβατική" διάρκεια χρήσιμης ζωής των κατασκευών από σκυρόδεμα, κατά κανόνα δεν ξεπερνά, κατά κανόνα δεν ξεπερνά τις συνηθισμένες εργασίες ρουτίνας.

Η ανθεκτικότητα σε διάρκεια κατά ASTM E632 είναι η "ικανότητα διατήρησης της χρησιμότητας ενός προϊόντος στοιχείου ή κατασκευής πάνω από κάποιο συγκεκριμένο χρόνο (χρόνος ζωής)".

Τις δύο τελευταίες δεκαετίες όμως, ο ρυθμός με το οποίο οι κατασκευές από σκυρόδεμα "γηράσκουν", φθάνοντας έτσι πρόωρα το τέλος της χρήσιμης ζωής τους, έχει αυξηθεί σημαντικά, κυρίως στα πιο αναπτυσσόμενα μέρη του κόσμου. Το πρόβλημα εμφανίζεται κυρίως στο οπλισμένο σκυρόδεμα και οφείλεται, κατά κανόνα, στη διάβρωση των χαλύβδινων ράβδων οπλισμού. Αποτέλεσμα της διάβρωσης είναι αφ' ενός η μείωση της διαθέσιμης για την αντοχή διατομής χάλυβα, αφ' ετέρου η αποτίναξη του στρώματος σκυροδέματος που επικαλύπτει τον οπλισμό λόγω των τάσεων διάρρηξης που προκαλούνται από το γεγονός ότι ο όγκος των προϊόντων διάβρωσης είναι μεγαλύτερος αυτού του χάλυβα που διαβρώνεται.

Η επακόλουθη μείωση της αντοχής και της ασφάλειας της κατασκευής αλλά και υποβάθμιση της εμφάνισης της - που προκαλεί, συγχρόνως, και αίσθημα ανασφάλειας στους χρήστες - καθιστούν τότε απαραίτητη την επισκευή και την αποκατάσταση της αντοχής και της εμφάνισης της κατασκευής.

Επειδή όμως, οι λόγω διάβρωσης βλάβες δεν είναι τοπικές, αλλά εκτείνονται σε μεγάλο τμήμα της κατασκευής, και δεδομένου ότι η επέμβαση στο φέροντα οργανισμό και η μερική ανακατασκευή του είναι γενικά, εξαιρετικά δαπανηρή, η κατεδάφιση της κατασκευής είναι μερικές φορές αναπόφευκτη.

Για το λόγο αυτό, τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί έντονο ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας των μηχανικών για το θέμα της ανθεκτικότητας σε διάρκεια του οπλισμένου σκυροδέματος. Γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα να

διοργανωθούν αρκετά συνέδρια με αποκλειστικό θέμα την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος, και σημαντική ήταν η προσφορά της ομάδας εργασίας της

Έκθεσης: "Durability of Concrete Structures".

Επίσης στην αναθεώρηση του Πρότυπου Ευρωδιεθνούς Κανονισμού Κατασκευών από σκυρόδεμα (1990), δίνεται για πρώτη φορά, ιδιαίτερη έμφαση στις διατάξεις που αφορούν στην ανθεκτικότητα σε διάρκεια. Πρέπει να τονιστεί στο σημείο αυτό, ότι στους σύγχρονους Κανονισμούς για τη μελέτη και την κατασκευή των έργων από σκυρόδεμα, ή για τη τεχνολογία του Σκυροδέματος.

Οι διατάξεις οι σχετικές με την ανθεκτικότητα σε διάρκεια, είναι σε σύγκριση με αυτές που αφορούν τη φέρουσα ικανότητα (αντοχή) και τη λειτουργικότητα, εξαιρετικά περιορισμένες σε έκταση, και χωρίς ιδιαίτερη επιστημονική βάση:

Πρόκειται, γενικά για εμπειρικούς κανόνες, που αφορούν το μέγεθος επικάλυψης του οπλισμού με σκυρόδεμα, και την περιεκτικότητα του νωπού σκυροδέματος σε νερό και τσιμέντο.

1.0.2 Μηχανισμοί διάβρωσης οπλισμού σκυροδέματος

Στο οπλισμένο σκυρόδεμα ο χάλυβας προστατεύεται από τη διάβρωση επειδή το σκυρόδεμα που τον περιβάλλει είναι έντονα αλκαλικό (με τιμές pH μεταξύ 12.5 και 13.5). Η αλκαλικότητα του σκυροδέματος οφείλεται στο Ca(OH)_2 που παράγεται από την ενυδάτωση δύο βασικών συστατικών του τσιμέντου, του πυριτικού τριασβεστίου και του πυριτικού διασβεστίου. Το πλήρως ενυδατωμένο τσιμέντο περιέχει 15-30% κατά βάρος, Ca(OH)_2 .

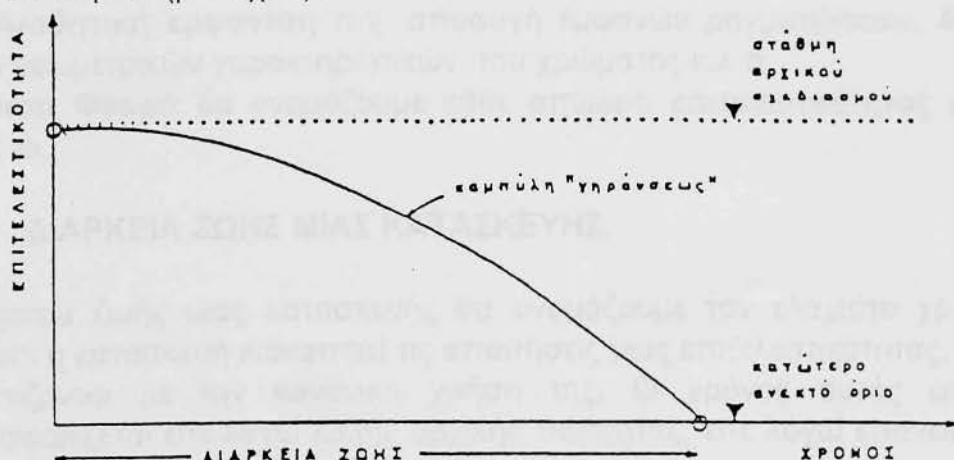
Λόγω του αλκαλικού περιβάλλοντος, σχηματίζεται στην επιφάνεια του οπλισμού ένα εξαιρετικά λεπτό επίστρωμα οξειδίου του σιδήρου, που εμποδίζει την ανοδική διάλυση επιφανειακών ιόντων σιδήρου, Fe (που προκαλούν οι αναπόφευκτες διαφορές ηλεκτρικού δυναμικού μεταξύ σημείων της επιφάνειας των ράβδων), και την έναρξη της ηλεκτρομηχανικής διαδικασίας της διάβρωσης

Η διάβρωση αρχίζει μόλις το προστατευτικό αυτό επίστρωμα καταστραφεί, πράγμα που μπορεί να συμβεί από δύο διαφορετικούς μηχανισμούς:

- α) Τη διείδυση ανιόντων, κυρίως Cl, και την αντίδραση τους με το προστατευτικό οξείδιο και
- β) Την ελάτωση του pH στο περιβάλλον του σκυροδέματος σε τιμές μικρότερες από 9

1.1 ΟΙ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ανθεκτικότητα (*durability*) μιας κατασκευής ονομάζουμε την ικανότητα της κατασκευής να ανθίσταται στις περιβαλλοντικές επιδράσεις (φυσικές και χημικές, χωρίς να χάνει τις ιδιότητες αντοχής και λειτουργίας κάτω ενός ανεκτού ορίου (βλ. σχ. 1).



Σχ. 1. Μείωση της ανθεκτικότητας μιας κατασκευής με τον χρόνο, εκφρασμένη ως απώλεια της επιτελεστικότητας (*performance*) της κατασκευής.

Η ανθεκτικότητα των κατασκευών, κατά τον J. Jessen (1983), εξαρτάται από τους εξής παράγοντες :

- **Σχεδιασμός** της κατασκευής: Κατά την φάση του σχεδιασμού πρέπει εκτός από τις μηχανικές δράσεις να λαμβάνεται υπόψη το περιβάλλον εκθέσεως και οι αναμενόμενες επιρροές στο σκυρόδεμα. Ο σχεδιασμός σε ανθεκτικότητα αφορά την εκλογή του είδους του τσιμέντου, την επικάλυψη, την ποιότητα του σκυροδέματος (χαρακτηριστική αντοχή, διαπερατότητα, περιεκτικότητα σε αέρα) κ.λ.π.

- **Φάση κατασκευής**: Έχει τεράστια σημασία να τηρηθούν οι σχε-διαζόμενες επικαλύψεις, να γίνει δε σωστή συμπύκνωση και συντήρηση, ώστε να επιτύχουμε την απόκτηση της προβλεπόμενης ποιότητας σκυροδέματος και να μειώσουμε τις πιθανότητες γηράνσεως.

- **Επιθεώρηση και συντήρηση** της κατασκευής. Όταν μετά από τακτή επιθεώρηση διαπιστωθούν φθορές στο σκυρόδεμα π.χ. από απολέπιση αποφλοιώση, ρηγμάτωση, κηλίδες σκουριάς κ.λ.π., και ληφθούν έγκαιρα μέτρα ώστε να ανασταλεί η περαιτέρω φθορά, η κατασκευή διατηρείται σε καλή κατάσταση για ένα πολύ μεγαλύτερο διάστημα, αποφεύγονται δε οι δυσάρεστες εκπλήξεις από ενδεχόμενες δραματικές ενδείξεις μειωμένης αντοχής.

ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑ (performance). μιας κατασκευής ονομάζουμε την ταυτόχρονη εκπλήρωση των εξής απαιτήσεων:

- **Ασφάλεια**, δηλαδή ικανότητα αναλήψεως των επιβαλλόμενων δράσεων, αλλά και αντοχή σε κόπωση.

- **Λειτουργικότητα**, δηλαδή ικανοποίηση των σκοπών λειτουργίας του κτιρίου π.χ. περιορισμός των παραμορφώσεων, στεγανότητα, περιορισμός κραδασμών κ.λ.π.

- **Αισθητική εμφάνιση** π.χ. αποφυγή εμφανών ρηγματώσεων, διατήρηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, του χρώματος κ.λ.π.

Τύπου Φθορά θα ονομάζουμε κάθε απώλεια επιτελεστικότητας μέσα στο χρόνο.

1.2 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΜΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.

Διάρκεια ζωής μιας κατασκευής θα ονομάζουμε τον ελάχιστο χρόνο στον οποίο η κατασκευή ικανοποιεί τις απαιτήσεις μιας επιτελεστικότητας, οι οποίες σχετίζονται με την κανονική χρήση της. Ο χρόνος αυτός μπορεί να εξασφαλίζεται είτε λόγω καλής αρχικής ποιότητας, είτε λόγω επανειλημμένων επεμβάσεων (βλ. σχ. 2).

Ο S. Rostam (1985) διακρίνει τις εξής έννοιες όσον αφορά τη διάρκεια ζωής των κατασκευών:

- **Τεχνική διάρκεια ζωής (Technical service life):** Είναι ο χρόνος κατά τον οποίο η κατασκευή εκπληρεί όλες τις απαιτήσεις επιτελεστικότητας.

- **Οικονομική διάρκεια ζωής (Economical service life):** Είναι ο χρόνος κατά τον οποίο η κατασκευή μας εξυπηρετεί μέχρι να εκτιμηθεί ότι η αντικατάστασή της είναι περισσότερο συμφέρουσα από ότι η διατήρηση σε λειτουργία με συνεχείς συντηρήσεις, επισκευές ή αλλαγές χρήσεως.

- **Λειτουργική διάρκεια ζωής (Functional service life):** Είναι ο χρόνος κατά τον οποίο η κατασκευή γίνεται λειτουργικά άχρηστη επειδή άλλαξαν οι απαιτήσεις μας π.χ. αύξηση των επιβαλλόμενων φορτίων. Η λειτουργική διάρκεια ζωής καθορίζεται από πολιτικούς, κοινωνικούς και ιστορικούς παράγοντες (π.χ. διατηρητέα κτίρια) και όχι από οικονομικούς ή επιστημονικούς. Από τις παραπάνω έννοιες, σημασία για το Μηχανικό έχει η **τεχνική διάρκεια ζωής** (ανθεκτικότητα των κατασκευών). Για αυτό τον λόγο, στα επόμενα όπου θα αναφέρεται ξανά ο όρος " διάρκεια ζωής" , θα εννοείται η τεχνική διάρκεια ζωής.

Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι διάφοροι παράγοντες μπορεί να υπαγορεύσουν την απαιτούμενη διάρκεια ζωής μιας κατασκευής. Για παράδειγμα, μια θαλάσσια εξέδρα για άντληση πετρελαίου δεν χρειάζεται να έχει διάρκεια ζωής μεγαλύτερη από 30 έτη, γιατί έχει εκτιμηθεί ότι το πετρέλαιο θα έχει εξαντληθεί

ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑ (performance). μιας κατασκευής ονομάζουμε την ταυτόχρονη εκπλήρωση των εξής απαιτήσεων:

- **Ασφάλεια**, δηλαδή ικανότητα αναλήψεως των επιβαλλόμενων δράσεων, αλλά και αντοχή σε κόπωση.

- **Λειτουργικότητα**, δηλαδή ικανοποίηση των σκοπών λειτουργίας του κτιρίου π.χ. περιορισμός των παραμορφώσεων, στεγανότητα, περιορισμός κραδασμών κ.λ.π.

- **Αισθητική εμφάνιση** π.χ. αποφυγή εμφανών ρηγματώσεων, διατήρηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, του χρώματος κ.λ.π.

Τύπου Φθορά θα ονομάζουμε κάθε απώλεια επιτελεστικότητας μέσα στο χρόνο.

1.2 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΜΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.

Διάρκεια ζωής μιας κατασκευής θα ονομάζουμε τον ελάχιστο χρόνο στον οποίο η κατασκευή ικανοποιεί τις απαιτήσεις μιας επιτελεστικότητας, οι οποίες σχετίζονται με την κανονική χρήση της. Ο χρόνος αυτός μπορεί να εξασφαλίζεται είτε λόγω καλής αρχικής ποιότητας, είτε λόγω επανειλημμένων επεμβάσεων (βλ. σχ. 2).

Ο S. Rostam (1985) διακρίνει τις εξής έννοιες όσον αφορά τη διάρκεια ζωής των κατασκευών:

- **Τεχνική διάρκεια ζωής (Technical service life):** Είναι ο χρόνος κατά τον οποίο η κατασκευή εκπληρεί όλες τις απαιτήσεις επιτελεστικότητας.

- **Οικονομική διάρκεια ζωής (Economical service life):** Είναι ο χρόνος κατά τον οποίο η κατασκευή μας εξυπηρετεί μέχρι να εκτιμηθεί ότι η αντικατάστασή της είναι περισσότερο συμφέρουσα από ότι η διατήρηση σε λειτουργία με συνεχείς συντηρήσεις, επισκευές ή αλλαγές χρήσεως.

- **Λειτουργική διάρκεια ζωής (Functional service life):** Είναι ο χρόνος κατά τον οποίο η κατασκευή γίνεται λειτουργικά άχρηστη επειδή άλλαξαν οι απαιτήσεις μας π.χ. αύξηση των επιβαλλόμενων φορτίων. Η λειτουργική διάρκεια ζωής καθορίζεται από πολιτικούς, κοινωνικούς και ιστορικούς παράγοντες (π.χ. διατηρητέα κτίρια) και όχι από οικονομικούς ή επιστημονικούς. Από τις παραπάνω έννοιες, σημασία για το Μηχανικό έχει η **τεχνική διάρκεια ζωής** (ανθεκτικότητα των κατασκευών). Για αυτό τον λόγο, στα επόμενα όπου θα αναφέρεται ξανά ο όρος " διάρκεια ζωής" , θα εννοείται η τεχνική διάρκεια ζωής.

Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι διάφοροι παράγοντες μπορεί να υπαγορεύσουν την απαιτούμενη διάρκεια ζωής μίας κατασκευής. Για παράδειγμα, μια θαλάσσια εξέδρα για άντληση πετρελαίου δεν χρειάζεται να έχει διάρκεια ζωής μεγαλύτερη από 30 έτη, γιατί έχει εκτιμηθεί ότι το πετρέλαιο θα έχει εξαντληθεί

με το τέλος αυτής της περιόδου, το κόστος της εξέδρας θα έχει αποσβεσθεί και η τεχνολογία εκμεταλλεύσεως θα έχει αλλάξει σημαντικά. Αυτό που απαιτείται είναι να μην δημιουργηθούν προβλήματα μέσα στο χρονικό διάστημα της οικονομικής διάρκειας ζωής του έργου.

Ιδού μερικά στοιχεία για την διάρκεια ζωής διαφόρων κατηγοριών έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα:

Είδος κατασκευής	%κατασκευών	Διάρκεια ζωής
Οικίες	65	30 - 80
Εργοστάσια	30	50 - 80
Γέφυρες, σιλό	4	60 - 100
Λιμενικά έργα, φράγματα	1	30 - 100

Για την εκτίμηση της διάρκειας ζωής μιας κατασκευής υπεισέρχονται πολλές αβεβαιότητες και επομένως ο υπολογισμός της διάρκειας ζωής δεν είναι εύκολος. Μερικές από τις αβεβαιότητες αυτές οφείλονται στις εξής αιτίες:

- Τυχόν **σφάλματα** κατά την φάση του σχεδιασμού. Οι κανονισμοί μελέτης και κατασκευής κτιρίων δίνουν πολύ λίγες οδηγίες για τις λειτουργικές απαιτήσεις των κατασκευών. Οι λειτουργικές απαιτήσεις πρέπει να εκφράζονται ποσοτικά ως οριακές τιμές της κατασκευής, όπως λ.χ. μέγιστο βέλος κάμψης. Το να βρούμε στη φάση σχεδιασμού για πόσον καιρό αυτές οι απαιτήσεις μπορούν να ικανοποιούνται είναι πολύ σύνθετο πρόβλημα.
- Το ίδιο το **σκυρόδεμα** ως υλικό μπορεί να ποικίλει πάρα πολύ. Η κατασκευή, η συντήρηση και η προστασία σε σκυροδέματα της ίδιας ποιότητας (ίδια χαρακτηριστική αντοχή, ίδια αναλογία υλικών) μπορεί να διαφέρουν πάρα πολύ, αλλάζοντας αισθητά την αντίστοιχη διάρκεια ζωής.
- Το **περιβάλλον** δεν μπορεί να καθορισθεί με ακρίβεια (π.χ. θερμοκρασία, συγκέντρωση προσβλητικής ουσίας κ. λ. π.), ώστε να παρασκευασθεί σκυρόδεμα απόλυτα ανθεκτικό στην προσβλητικότητα του περιβάλλοντος. Για αυτόν τον λόγο, γίνονται προσπάθειες να διακρίνουμε μερικές πρότυπες κατηγορίες περιβάλλοντος, τις οποίες το πραγματικό περιβάλλον να προσεγγίζει ικανοποιητικά. Υπάρχει επίσης η πιθανότητα το περιβάλλον να αλλάξει μελλοντικά.
- Οι **μηχανισμοί φθοράς** δεν έχουν γίνει απόλυτα γνωστοί και δεν έχει μελετηθεί πλήρως η επίπτωση πάνω στη φέρουσα ικανότητα των υλικών. Πρόβλεψη της διάρκειας ζωής μπορεί να γίνει μόνο όταν ο μηχανισμός φθοράς και η εξέλιξη της μέσα στον χρόνο είναι γνωστοί με κάθε λεπτομέρεια. Είναι όμως δυνατόν ο μηχανισμός φθοράς να αλλάξει με τον χρόνο. Για παράδειγμα, η διάβρωση του χάλυβα όταν το σκυρόδεμα διαβρωθεί και πάψει να υπάρχει προστασία στον χάλυβα.

- Τα **υλικά** και η κατασκευή έχουν διαφορετική διάρκεια ζωής. Ένα υλικό δεν κατασκευάζεται για ένα συγκεκριμένο περιβάλλον, ώστε να είναι δυνατόν σε διαφορετικά περιβάλλοντα εκθέσεως το ίδιο υλικό να έχει διαφορετική διάρκεια ζωής. Επιπλέον είναι δυνατόν η κατασκευή να αλλοιώσει πολύ το πραγματικό περιβάλλον λόγω του **μικροπεριβάλλοντος** το οποίο δημιουργείται μετά την κατασκευή. Με αυτόν τον τρόπο, η αρχικά εκτιμώμενη διάρκεια ζωής μπορεί να είναι απόλυτα εσφαλμένη.

Εντούτοις, όπως αναφέρει ο K. Muller, (1985), οι αβεβαιότητες αίρονται με πιθανοτικές και στατιστικές μελέτες.

Οι **στατιστικές** μελέτες προσπαθούμε να βρούμε τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Έχουν μεγάλη σημασία κυρίως για τον οικονομικό σχεδιασμό.

Με τις **πιθανοτικές** μελέτες προσπαθούμε να βρούμε με βάση ορισμένα προσομοιώματα την αλληλεπίδραση μεταξύ περιβάλλοντος και υλικού, ώστε να έχουμε την εξέλιξη της φθοράς μέσα στον χρόνο. Συνήθως εκτελούνται επιταχυνόμενες δοκιμές στο εργαστήριο (οι οποίες πάντως μπορεί να αλλοιώσουν τον μηχανισμό φθοράς και να δώσουν εσφαλμένα αποτελέσματα).

Γίνεται τελικά φανερό ότι για τις συνήθεις κατασκευές κατά την φάση του σχεδιασμού τους δεν μπορούμε να ελπίζουμε σε μια ποσοτική εκτίμηση της διάρκειας ζωής τους.

Παρά ταύτα, θα χρησιμοποιούμε την έννοια της διάρκειας ζωής κατά κάποιον τρόπο ποιοτικό για να ξεκαθαρίζονται ορισμένα θέματα καλύτερα και για να ενθαρρύνουμε μια ποσοτικότερη (πάντως δε πιθανολογική) εκτίμηση της στην περίπτωση ειδικών κατασκευών μεγάλης σημασίας.

1.3 ΤΕΧΝΙΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Η ανθεκτικότητα των κατασκευών είναι ένα δύσκολο πρόβλημα το οποίο δεν περιορίζεται μόνο στην κατάλληλη εκλογή των υλικών και την σωστή παρασκευή του σκυροδέματος, αλλά συνδέεται ευθέως και με την οικονομικότητα. Για παράδειγμα, σε μια θαλάσσια κατασκευή η χρήση σκυροδέματος άριστης ποιότητας, ανοξειδωτων χαλύβων και επιχρισμάτων στο σκυρόδεμα, θα σας εξασφάλιζε ανθεκτική κατασκευή, αλλά θα προκαλούσε πολύ μεγάλη αύξηση τους κόστους. Αυτό λοιπόν που έχει σημασία είναι να εξασφαλίσουμε ανθεκτική κατασκευή περιορίζοντας το κόστος στο ελάχιστο.

Έτσι, παρουσιάζει ενδιαφέρον να εξετάσουμε το θέμα της ανθεκτικότητας από την οικονομική και τεχνική του άποψη.

1.3.1. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ

Η οικονομική πλευρά του έγκειται στην ελαχιστοποίηση του συνολικού (γενικευμένου) κόστους κατά την διάρκεια ζωής της κατασκευής. Το γενικευμέ-

νο κόστος ορίζεται ως άθροισμα:

- Του κόστους κατασκευής S (άμεση επένδυση
- του κόστους συντηρήσεως M , το οποίο περιλαμβάνει δαπάνες διαχειρίσεως, έξοδα συντηρήσεως (π.χ. καθαρισμός και τεχνική συντήρηση) καθώς και τα τρέχοντα έξοδα προστασίας.
- Των προβλεπόμενων απωλειών L , το οποίο είναι το κόστος για την αποκατάσταση της φθοράς και έμμεσων συνεπειών της (π.χ. αποζημίωση σε περίπτωση ατυχήματος).

Το κόστος συντηρήσεως " M " και το κόστος απωλειών " L " υπολογίζονται για κάθε έτος της σχεδιαζόμενης διάρκειας ζωής, και μετά κεφαλαιοποιούνται αμφότερα και προστίθενται.

όπου S : άμεση επένδυση

M_j : κόστος συντηρήσεως και διαχειρίσεως κατά το έτος j .

$P(F_j)$: πιθανότητα αστοχίας κατά το έτος j .

L_j : απώλεια λόγω της "μελετώμενης" αστοχίας κατά το έτος j

r : επιτόκιο μετά την αφαίρεση του πληθωρισμού

t_j : διάρκεια ζωής σε έτη.

ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ

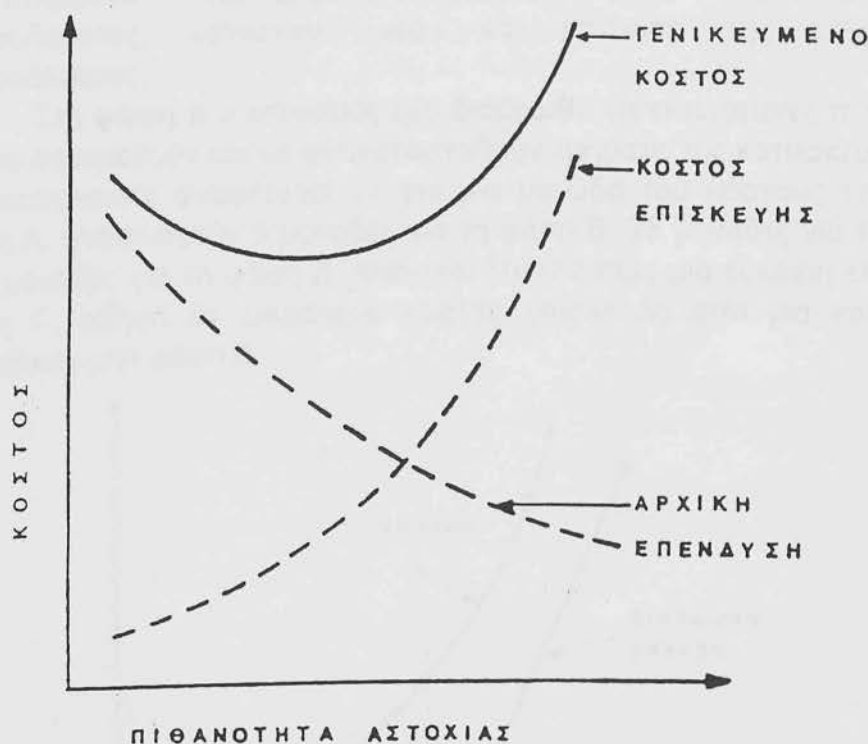
α) Σε μια σχεδιαζόμενη καινούρια κατασκευή, ελαχιστοποίηση του γενικευμένου κόστους επιτυγχάνεται με την εκλογή του κατάλληλου υλικού και της κατάλληλης μορφής τα οποία θα ικανοποιήσουν δύο απαιτήσεις: i) δεν θα είναι εξαιρετικά δαπανηρά και ii) η ποιότητα θα ικανοποιήσει τις απαιτήσεις μας κατά τη διάρκεια ζωής του έργου.

Αν γίνει σωστός σχεδιασμός και σωστή κατασκευή με τα κατάλληλα υλικά, μπορεί το κόστος της κατασκευής να αυξηθεί κάπως, αλλά θα προκύψει μια τόσο "ανθεκτική" κατασκευή ώστε να φτάσεις τη διάρκεια ζωής της με πολύ μικρό επισκευής. Με ανάλογο τρόπο, υπερβολικές οικονομίες στη φάση κατασκευής (για ελαχιστοποίηση του κόστους κατασκευής) θα απαιτήσουν επανειλημμένες επισκευές οι οποίες θα αυξήσουν σημαντικά το κόστος της επισκευής, πιθανότατα και το γενικευμένο κόστος.

Είναι λοιπόν φανερό ότι η δαπάνη επενδύσεως είναι φθίνουσα συνάρτηση της «αποδεκτής» πιθανότητας αστοχίας, ενώ η δαπάνη επισκευής είναι αύξουσα συνάρτηση της πιθανότητας αυτής. (βλ. σχ. 3).

Αν όμως εκφράσουμε το γενικευμένο κόστος (κατασκευαστικό κόστος + κόστος

επισκευής)* ως συνάρτηση της αποδεκτής πιθανότητας αστοχίας (ή εμμέσως τους κόστους κατασκευής), βλέπουμε ότι υπάρχει μια περιοχή ελαχιστοποίησης του γενικευμένου κόστους. Αυτή η περιοχή είναι η ενδεικνυόμενη "οικονομικότερη" περιοχή σχεδιασμού.



Σχ. 3. Πώς μεταβάλλονται οι δαπάνες κατασκευής και επισκευής συναρτήσει της "αποδεκτής" πιθανότητας αστοχίας.

β) Σε μία υπάρχουσα κατασκευή η οποία υφίσταται τις περιβαλλοντικές επιδράσεις, ελαχιστοποίηση του γενικευμένου κόστους γίνεται με τη λήψη έγκαιρων αποφάσεων. Πότε θα επέμβουμε, αλλά και με ποιόν τρόπο, έχει μεγάλη σημασία για την πρόληψη αστοχίας και για την ελαχιστοποίηση της καταβαλλόμενης δαπάνης. Πολλές φορές γίνεται "προληπτική" επισκευή, άλλοτε γίνεται τελική παρέμβαση για επισκευή, ή πλήρης αντικατάσταση, ανάλογα με το κόστος κάθε λύσεως.

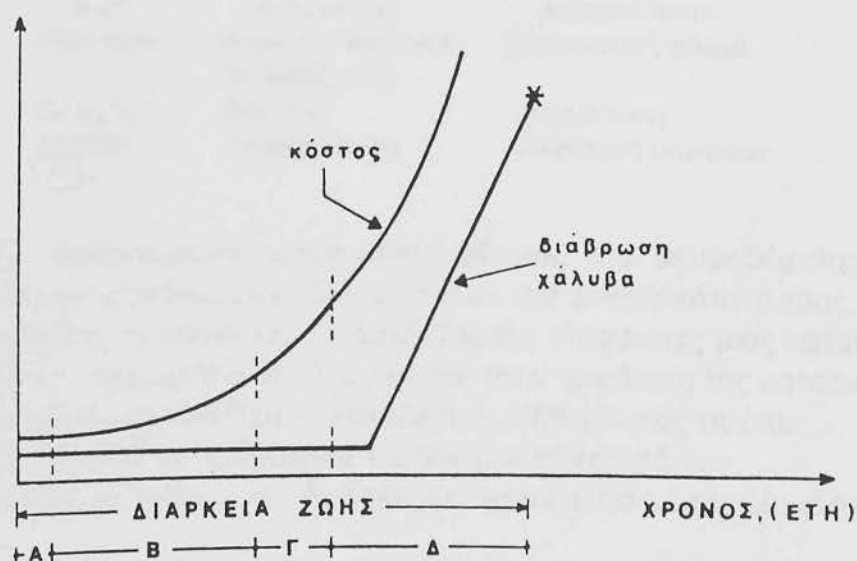
Ως παράδειγμα αναφέρεται από τον W. de Sitter(1983), η διάβρωση των σιδηροπλισμών μιας κατασκευής και δίνεται προς σύγκριση το κόστος επισκευής για κάθε φάση (βλ. σχ. 4).

Στη **φάση Α** (φάση σχεδιασμού, κατασκευής, συντηρήσεως σκυροδέματος), δεν έχει συμβεί διάβρωση του οπλισμού. Στη **φάση Β** έχει συμβεί ενανθράκωση του σκυροδέματος ή διείδυση χλωριόντων ή άλλες βλαβερές ουσίες έχουν διαπεράσει την επικάλυψη, χωρίς να έχει συμβεί διάβρωση του

οπλισμού. Επαρκή μέτρα για προστατευθεί ο χάλυβας είναι λ.χ. η αφαίρεση της επικάλυψης και η κατασκευή νέας με μεγαλύτερο πάχος.

Στη **φάση Γ** έχει αρχίσει η διεργασία διαβρώσεως του οπλισμού και έχει αρχίσει η διαμήκης ρηγμάτωση και μερική αποφλοίωση της επικάλυψης. Η επέμβαση περιλαμβάνει αφαίρεση όλου του κατεστραμμένου σκυροδέματος, κατασκευή νέου και επίχριση της επιφάνειας του σκυροδέματος.

Στη **φάση Δ** ο οπλισμός έχει διαβρωθεί σε εκτεταμένες περιοχές. Πρέπει να αφαιρεθούν και να αντικατασταθούν τμήματα της κατασκευής. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι για μία μονάδα του κόστους επισκευής στη φάση Α, αντιστοιχούν 5 μονάδες για τη φάση Β, 25 μονάδες για τη φάση Γ και 125 μονάδες για τη φάση Δ. Φαίνεται λοιπόν πως μια έγκαιρη επέμβαση στη φάση Γ, οδηγεί σε μικρότερο κόστος επισκευής από μια καθυστερημένη επέμβαση στη φάση Δ.



Σχ. 4. Διάβρωση του χάλυβα και το αντίστοιχο κόστος επισκευής ως συνάρτηση του χρόνου κατά τον οποίο θα γίνει η επισκευή (W. de Sitter, 1983).

1.3.2. ΤΕΧΝΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ

α) Η τεχνική πλευρά του σχεδιασμού ανθεκτικών κατασκευών περιλαμβάνει καταρχήν μια σωστή εκλογή υλικών και μια κατάλληλη μόρφωση του φορέα. Για τον σκοπό αυτόν, χρειάζεται μεγάλη προσοχή και κυρίως γνώση των αιτιών και μηχανισμών φθοράς, ώστε να βρούμε και να εφαρμόσουμε σωστά τα κατάλληλα μέτρα αποτροπής ή θεραπείας.

Οι **αιτίες φθοράς** του σκυροδέματος μπορούν να διακριθούν ως εξής, (Η διάκριση των αιτιών γίνεται με βάση τη δική τους φύση και όχι σύμφωνα με τη φύση του αποτελέσματος που προκαλούν. Για παράδειγμα, η πυρκαγιά μπορεί να έχει φυσικό αποτέλεσμα όπως τη θερμότητα ή χημικό, όπως την κατάλυση):.

- Μηχανικές, π.χ. επιβαλλόμενη παραμόρφωση, υπερφόρτιση.
- Φυσικές, π.χ. επίδραση παγετού, μεταβολές θερμοκρασίας, ροής ουδέτερου ή αλκαλικού νερού.
- Χημικές, π.χ. επίδραση οξέων, αλάτων.
- Βιολογικές, π.χ. επίδραση βακτηρίων, επίδραση ριζών φυτών κ.λ.π.

Χωρίς να αναφέρονται εδώ και άλλες αιτίες όπως π.χ. η ακτινοβολία, ο ηλεκτρομαγνητισμός κ.λ.π. των οποίων όμως τα αποτελέσματα ή δεν έχουν μελετηθεί αρκετά ή είναι πρακτικώς ασήμαντα.

Γνωρίζοντας τους κινδύνους που αποτελούν μια κατασκευή και λαμβάνοντας υπόψη τους πιθανούς μηχανισμούς φθοράς, μπορούμε να προβλέψουμε τις επιπτώσεις των επιδράσεων στις κατασκευές. Ακολουθούν μερικά παραδείγματα τέτοιων συσχετίσεων, αιτίου και αποτελέσματος:

Αιτία	Μηχανισμός	Αποτελέσματα
Ρέον νερό	Μηχανική διάβρωση σκυροδέματος	Επιφανειακή φθορά
Παγετός Διείσδυση CO ₂	Διαστολή Ενανθράκωση	Ρηγμάτωση Διάβρωση οπλισμού

Το είδος του αναμενόμενου μηχανισμού φθοράς του σκυροδέματος, εκτός από τη φύση των απαιτούμενων υλικών και με την ανθεκτικότητά τους, θα μας υπαγορεύει επίσης τις συνθήκες προστασίας της επιφάνειας μιας κατασκευής. Αυτό μάλιστα θα προκαλέσει επιπτώσεις και στην εμφάνιση της κατασκευής.

β) Σε μια νέο σχεδιαζόμενη κατασκευή, 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 κ.λ.π.)
- 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 συμπίκνωση 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, π.χ. επέχριση της επιφάνειας του σκυροδέματος με αδιάβροχες μεμβράνες.

γ) Σε μια **υπάρχουσα** κατασκευή, μόλις επισημανθεί φθορά πρέπει να εκτιμήσουμε:

- Τη του θερμοκρασιακοί κύκλοι) καθώς και τη τυχόν μεταβολή του

2. ΒΑΣΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΔΙΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΙΣΟΤΗΤΑ

περιβάλλοντος σε σχέση με εκείνο που είχε ληφθεί υπόψη αρχικά.

- Το υλικό το οποίο είναι επιρρεπές σε προσβολή (π.χ. περιεκτικότητα του τσιμέντου σε αργιλικό τριασβέστιο για την δημιουργία ετρινγκίτη, σε περίπτωση επιδράσεως θειικών αλάτων).

- Τις ιδιότητες του υλικού οι οποίες καθορίζουν την ανθεκτικότητά του έναντι του

μηχανισμού προσβολής (π.χ. διαπερατότητα σε οξυγόνο, ιδιότητες του σκυροδέματος οι οποίες καθορίζουν την ταχύτητα ενανθρακώσεως κ.λ.π.).

Αρκετά παραμένει ο αριθμός των παραγόντων

2.1. ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

Από την στιγμή που ο περιβάλλοντος περιβάλλοντος είναι η περιβάλλοντος, είναι η περιβάλλοντος η οποία καθορίζει την ταχύτητα ενανθρακώσεως.

2.1.1. ΚΑΘΙΣΤΗΡΑ

Είναι η κατάσταση της περιβάλλοντος η οποία καθορίζει την ταχύτητα ενανθρακώσεως. Είναι η περιβάλλοντος η οποία καθορίζει την ταχύτητα ενανθρακώσεως.

Είναι η κατάσταση της περιβάλλοντος η οποία καθορίζει την ταχύτητα ενανθρακώσεως. Είναι η περιβάλλοντος η οποία καθορίζει την ταχύτητα ενανθρακώσεως.

Είναι η κατάσταση της περιβάλλοντος η οποία καθορίζει την ταχύτητα ενανθρακώσεως. Είναι η περιβάλλοντος η οποία καθορίζει την ταχύτητα ενανθρακώσεως.

Είναι η κατάσταση της περιβάλλοντος η οποία καθορίζει την ταχύτητα ενανθρακώσεως.

2 ΒΑΣΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΟΙ ΟΠΟΙΟΙ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

2.0. ΠΡΟΟΙΜΙΟ

Οι βασικοί παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν την ανθεκτικότητα των κατασκευών είναι:

- Οι περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Η διαπερατότητα του σκυροδέματος.
- Η δυνατότητα πραγματοποίησεως μιας συγκεκριμένης φυσικής ή χημικής επιδράσεως.

Ας εξετάσουμε συνοπτικά αυτούς τους παράγοντες.

2.1. 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.

2.1.1. 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 δύο τιμές υγρασίας συμπίπτουν, αλλά υπό μεταβαλλόμενες συνθήκες το σκυρόδεμα συγκρατεί υγρασία με μεγαλύτερη ευκολία από 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 τη 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 νυκτερινή πτώση της θερμοκρασίας μπορεί να συνοδεύεται από υγροποίηση των υδρατμών στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Με αυτόν τον τρόπο, το σκυρόδεμα μπορεί να συγκρατήσει μεγαλύτερα ποσά υγρασίας από 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 κάθε φορά όρια υγρασίας (βλ. σχ. 5).

Πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι ένα σκυρόδεμα που περιέχει χλωριόντα θα έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα ύδατος από ένα σκυρόδεμα χωρίς χλωριόντα (υγροσκοπική δράση των χλωριόντων).

2.1.2. 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 που 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.

Η διάχυση λ.χ. των χλωριόντων στο σκυρόδεμα γίνεται από το λεπτό υδάτινο 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.

2.1.3. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Όταν καθορίζεται η διαβρωτικότητα ενός περιβάλλοντος, η επίδραση της θερμοκρασίας αγνοείται συνήθως αν και παίζει σημαντικό ρόλο καθώς η αύξηση της επιταχύνει της χημικές αντιδράσεις.

Είναι γνωστό ότι στις περισσότερες περιπτώσεις, αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 c διπλασιάζει την ταχύτητα της αντιδράσεως.

Με βάση το σύνολο των προηγούμενων παραγόντων, το CEB διακρίνει τις περιβαλλοντικές συνθήκες σε διάφορες κατηγορίες. Η κατάταξη αυτή είναι ένας οδηγός για να εκτιμήσουμε τους κινδύνους που απειλούν την ανθεκτικότητα μιας συγκεκριμένης κατασκευής σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Οι κατηγορίες αυτές είναι:

ΒΛΑΠΤΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ (κατάταξη)**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ**

1 Ξηρό περιβάλλον κατοικίες

Εσωτερικό κτιρίων (για συνήθειες

α) Χωρίς κίνδυνο παγοπληξίας

ή γραφεία).
Εσωτερικό κτιρίων με υψηλή υγρασία.
Μέλη κατασκευής σε μη διαβρωτικό έδαφος ή νερό.

2 Υγρό περιβάλλον έδαφος

β) Με κίνδυνο

Μέλη κατασκευής σε μη διαβρωτικό

παγοπληξίας

ή νερό και εκτεθειμένα σε παγετό.

υψηλή

Εσωτερικά μέλη κατασκευών με

3 Υγρό περιβάλλον κατασκευών

με κίνδυνο παγοπληξίας

και με χρήση αντιπαγωτικών αλάτων

α) Χωρίς κίνδυνο

υγρασία εκτεθειμένα σε παγετό.

Εσωτερικά ή εξωτερικά μέλη

παγοπληξίας

εκτεθειμένα σε παγετό και σε αντιπαγωτικά άλατα.

Μέλη κατασκευών μερικώς βυθισμένα σε θαλάσσιο νερό. Παράκτιες

κατασκευές.

4 Θαλάσσιο σε

β) Με κίνδυνο

Μέλη κατασκευών μερικώς βυθισμένα

περιβάλλον

παγοπληξίας

θαλάσσιο νερό και εκτεθειμένα σε

παγετό.

Παράκτιες κατασκευές εκτεθειμένες σε παγετό.

5 Έντονα βλαπτικό χημικό περιβάλλον

α) Ελαφρά διαβρωτικό

β) Μέτρια διαβρωτικό

γ) Πολύ διαβρωτικό

Ελαφρώς, μέτρια ή πολύ διαβρωτικό χημικό περιβάλλον με την παρουσία αερίων, υγρών ή στερεών βλαπτικών ουσιών.

2.2. ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

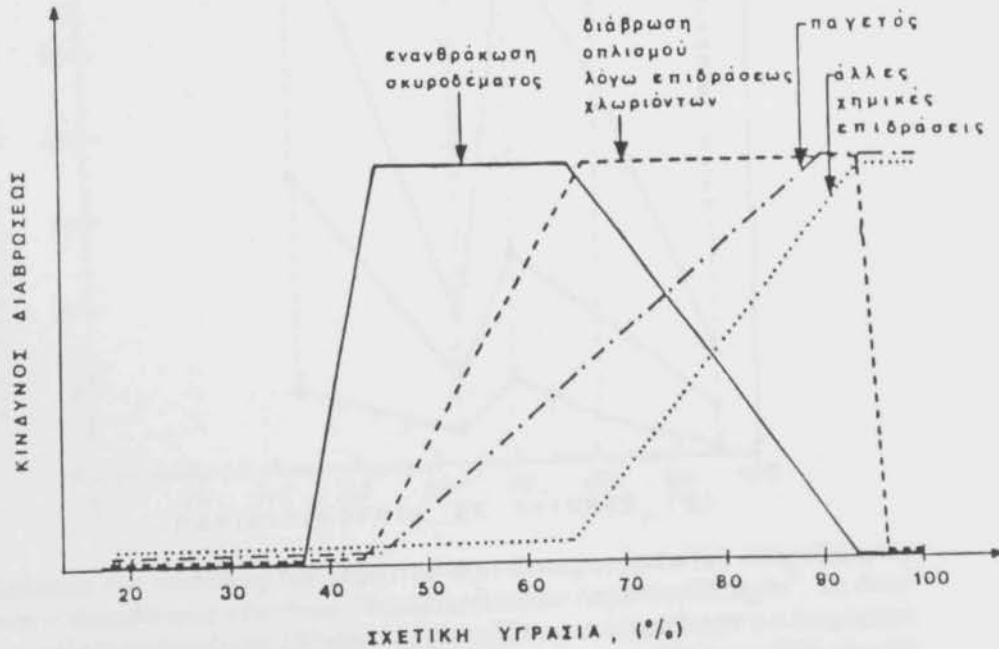
Σκυρόδεμα με χαμηλή διαπερατότητα έχει μεγάλη ανθεκτικότητα σε φυσικές και χημικές επιδράσεις. Η διαπερατότητα εξαρτάται από τις εξής παράγοντες:

- Σύσταση του τσιμέντου
- Λόγος Ν/Τ (Νερό προς Τσιμέντο)
- Πορώδες
- Συμπύκνωση
- Συντήρηση
- Ύπαρξη ρωγμών

Ας εξετάσουμε συνοπτικά αυτές τις παραμέτρους.

2.2.1. ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

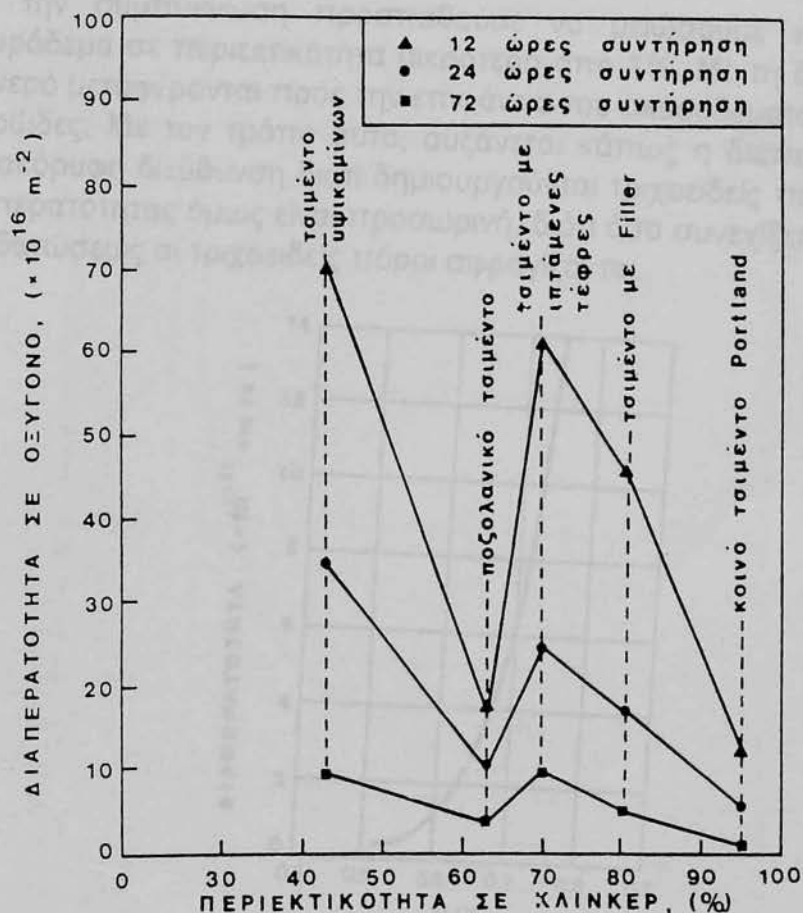
Όταν το σκυρόδεμα περιέχει τσιμέντο σε ποσότητα μεγαλύτερη από 300 kg/m³ (υπό τον όρο βέβαια ότι θα έχει μικρό λόγο N/T και ότι θα γίνει προσεκτική συντήρηση) τότε έχει σχετικώς μικρή διαπερατότητα. Διάφορα πρόσθετα στο τσιμέντο μπορεί να επηρεάσουν την διαπερατότητα του σκυροδέματος (βλ. σχ. 6). Για αυτό απαιτείται μεγαλύτερη προσοχή κατά τη συντήρηση του σκυροδέματος διότι τα τσιμέντα με πρόσθετα είναι πιο ευπαθή.



Σχ. 5. Επρροή της υγρασίας στον κίνδυνο φθοράς από διάφορες επιδράσεις.

2.2.2. ΛΟΓΟΣ N/T

Όταν ο λόγος ξεπεράσει την τιμή 0,6 η διαπερατότητα του σκυροδέματος αυξάνεται δυσαναλόγως επειδή αυξάνεται το μέγεθος και ο αριθμός των τριχοειδών πόρων (σχ. 7)



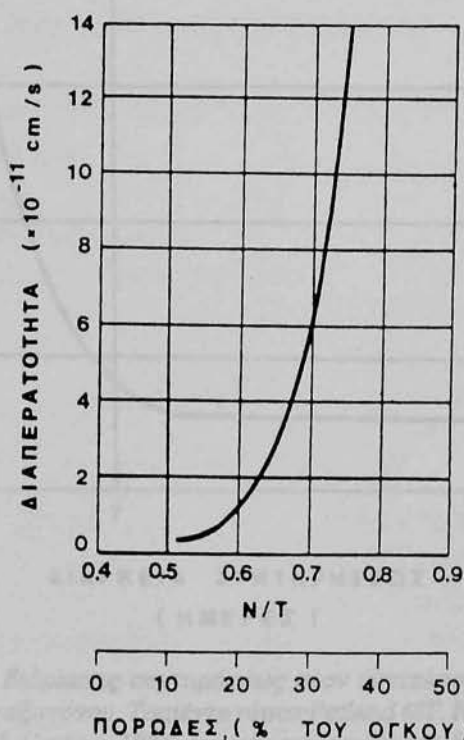
Σχ. 6. Επίδραση της ποιότητας του τσιμέντου στην διαπερατότητα του σκυροδέματος έναντι διεισδύσεως οξυγόνου. Περιεκτικότητα σε τσιμέντο 270 kg/m^3 . Τα δοκίμια, κύλινδροι διαμέτρου 150 mm και ύψους 50 mm, συντηρήθηκαν για διάφορους χρόνους (12, 24 ή 72 ώρες) και μετά διατηρήθηκαν σε περιβάλλον με 50% σχετική υγρασία και θερμοκρασία 20°C για αρκετούς μήνες πριν τη δοκιμή (C. Ροθόου, 1983).

2.2.3 ΠΟΡΩΔΕΣ

Το μέγεθος και η κατανομή των πόρων, καθώς και η ποσότητα νερού το οποίο περιέχουν, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη διαπερατότητα του σκυροδέματος. Συνήθως η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε φυσικές και χημικές επιδράσεις μειώνεται όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε τριχοειδείς πόρους. Είναι δυνατόν, όμως, σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ. όταν αναμένεται επίδραση παγετού) να επιδιώκεται η ύπαρξη ασύνδετων μεταξύ τους πόρων για να εξασφαλίσουμε υψηλή ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

2.2.4. ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

Με την συμπύκνωση προσπαθούμε να μειώσουμε τα κενά αέρα στο σκυρόδεμα σε περιεκτικότητα μικρότερη από 1%. Με τη δόνηση ο αέρας και το νερό μεταφέρονται προς την επιφάνεια του σκυροδέματος, μειώνοντας το πορώδες. Με τον τρόπο αυτό, αυξάνεται κάπως η διαπερατότητα κατά την κατακόρυφη διεύθυνση διότι δημιουργούνται τριχοειδείς πόροι. Η αύξηση της διαπερατότητας όμως είναι προσωρινή, διότι όσο συνεχίζεται η διαδικασία της ενυδατώσεως οι τριχοειδείς πόροι σφραγίζονται.



Σχ. 7. Επίδραση του λόγου N/T στην διαπερατότητα του σκυροδέματος.

2.2.5. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

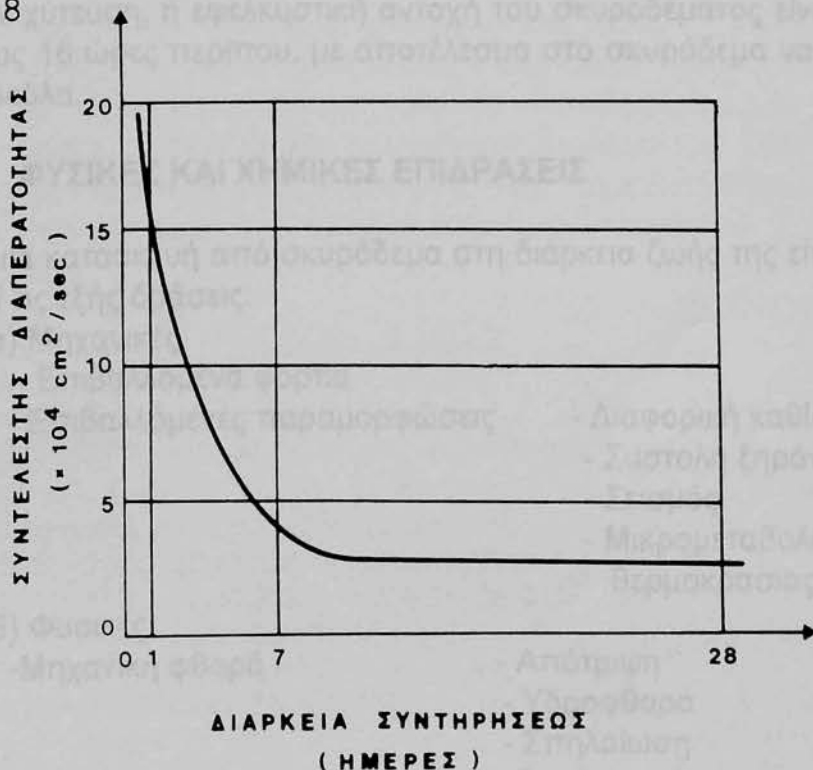
Η συντήρηση γίνεται με σκοπό:

- Να βοηθήσει το σκυρόδεμα να συγκρατήσει αρκετή υγρασία ώστε να γίνει η ενυδάτωση του τσιμέντου και να επιτύχουμε την ανάπτυξη της επιθυμητής τελικής αντοχής.

- Να προστατεύσει το σκυρόδεμα από τις απότομες αλλαγές θερμοκρασίας.

Η απαιτούμενη διάρκεια συντηρήσεως εξαρτάται από το είδος του τσιμέντου το οποίο χρησιμοποιείται και από τις συνθήκες περιβάλλοντος κατά τη σκυροδέτηση. Ο ελάχιστος χρόνος συντηρήσεως για σκυροδέματα χωρίς

ιδιαίτερες απαιτήσεις ανθεκτικότητας ορίζεται ίσως με 7 ημέρες. Η συντήρηση πρέπει να αρχίσει αμέσως μετά την σκυροδέτηση και να μην διακοπεί. Αν τα μέτρα συντηρήσεως ληφθούν μετά από ξήρανση του νεαρού σκυροδέματος θα έχουν πολύ μειωμένη αποτελεσματικότητα, διότι η διαδικασία σκληρύνσεως συνεχίζεται με δυσκολία όταν διακοπεί μία φορά. Η επίδραση της συντηρήσεως στην διαπερατότητα του σκυροδέματος φαίνεται από τα σχ. 7 & σχ. 8



Σχ. 8. Επρροή της διάρκειας συντηρήσεως στον συντελεστή διαπερατότητας έναντι διεισδύσεως οξυγόνου. Τσιμέντο τύπου Portland 45F, $N/T = 0.60$, σχετική υγρασία αέρα 65%. (H. Hurling, 1984, αναφέρεται από τον P. Schiessel, 1986).

2.2.6. ΥΠΑΡΞΗ ΡΩΓΜΩΝ

Με την ύπαρξη των ρωγμών διευκολύνεται η διείσδυση βλαβερών ουσιών προς τον σπλισμό του σκυροδέματος. Οι απόψεις για την έκταση και τον τρόπο επιδράσεως του εύρους των ρωγμών πάνω στη διάβρωση του ενσωματωμένου χάλυβα, σε σύγκριση με την επίδραση του πάχους επικαλύψεως, είναι κάπως διχασμένες.

Η δημιουργία αυτών των ρωγμών μπορεί να οφείλεται σε διάφορες αιτίες π.χ.

Φυσικές : Συστελλόμενα αδρανή,

Συστολή ξηράνεως

Χημικές: Διάβρωση σπλισμού (διαμήκειες ρωγμές).

Αντίδραση αδρανών-αλκαλίων (άτακτη ρηγμάτωση)

Θερμικές: Εναλλαγές παγετού - τήξεως
Εποχιακές μεταβολές της θερμοκρασίας
Πρόωρη θερμική συστολή

Κατασκευαστικές: Υπερφόρτιση
Ερπυσμός

Το νεαρό σκυρόδεμα είναι ιδιαίτερα επιρρεπές στην ρηγμάτωση. Λίγες ώρες μετά την χύτευση, η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι πολύ μικρή, για 4 έως 16 ώρες περίπου, με αποτέλεσμα στο σκυρόδεμα να ρηγματώνεται πολύ εύκολα.

2.2.7. ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Γενικά μια κατασκευή από σκυρόδεμα στη διάρκεια ζωής της είναι δυνατόν να υποστεί τις εξής δράσεις:

α) Μηχανικές

- Επιβαλλόμενα φορτία
- Επιβαλλόμενες παραμορφώσεις
- Διαφορική καθίζηση
- Συστολή ξηράνσεως
- Σεισμός
- Μικρομεταβολές της θερμοκρασίας

β) Φυσικές

- Μηχανική φθορά
- Ακραίες θερμοκρασίες
- Απότριψη
- Υδροφθορά
- Σπηλαιώση
- Παγετός
- Πυρκαγιά

γ) Χημικές - Βιολογικές

- Οξέα
- Άλατα
- Βάσεις
- βακτήρια

Από τις παραπάνω δράσεις, οι μηχανικές λαμβάνονται συνήθως υπόψη κατά τον στατικό σχεδιασμό της κατασκευής (εκλογή διατομών, ποσοστό οπλισμού, κ.λ.π.). Έτσι, σε αυτά που ακολουθούν, η έμφαση δίνεται στις φυσικές και τις χημικές επιδράσεις πάνω στο σκυρόδεμα και τον χάλυβα. Η καλή γνώση αυτών των παραγόντων φθοράς είναι σήμερα μια σοβαρή προϋπόθεση για το επάγγελμα του Πολιτικού Μηχανικού.

3. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

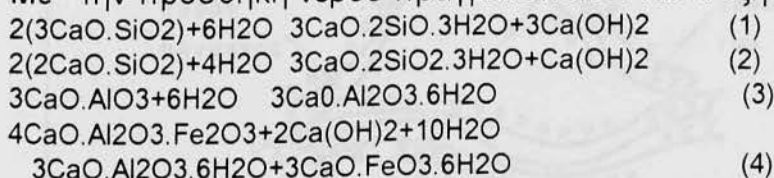
3.0. ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΩΣ ΥΛΙΚΟ

Το σκυρόδεμα είναι ένα σύνθετο υλικό, του οποίου η σύσταση και οι ιδιότητες μπορεί να ποικίλουν πάρα πολύ. Για παράδειγμα, το βάρος του μπορεί να είναι 800 έως 4000 kg/m³, η τελική θλιπτική αντοχή 1 έως 140 Μρα, η δε διαπερατότητα σε αέρια μπορεί να είναι πολύ μεγάλη ή ελάχιστη. Το σκυρόδεμα είναι μίγμα τσιμεντοπολτού και αδρανών. Η σύσταση του τσιμεντοπολτού είναι ο πιο ευαίσθητος παράγοντας που επηρεάζει τις ιδιότητες των αδρανών και η συνάφεια μεταξύ τσιμεντοπολτού και αδρανών.

Το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο τσιμέντο είναι το Portland, το οποίο περιέχει τις εξής ενώσεις:

ΕΝΩΣΗ		% Κ.Β. ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ
3CaO.SiO ₂	(πυριτικό τριασβέστιο)	45
2CaO.SiO ₂	(πυριτικό διασβέστιο)	27
3CaO.Al ₂ O ₃	(αργιλικό τριασβέστιο)	8
4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	(αργιλοσιδηρικό τετρασβέστιο)	9
		100

Με την προσθήκη νερού πραγματοποιούνται οι εξής αντιδράσεις:



Εκτός, όμως, από το Portland, χρησιμοποιούνται και άλλα είδη τσιμέντων. Τα τσιμέντα αυτά περιέχουν διάφορες προσμίξεις οι οποίες δρουν φυσικά ή χημικά και επηρεάζουν τις ιδιότητες του τσιμέντου (π.χ. μεταβάλλουν το πορώδες, επιτυγχάνουν μεγάλες αντοχές σε μικρή ηλικίας κ.λ.π.).

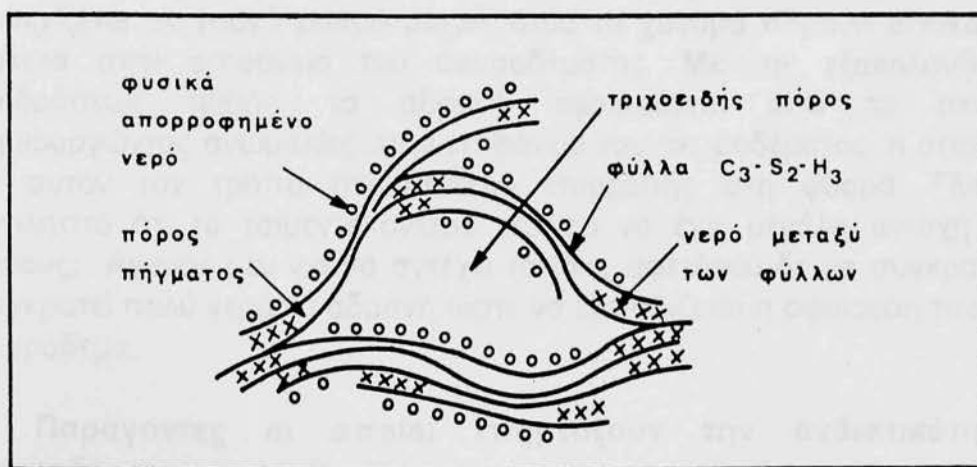
Οι προσμίξεις οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως είναι:

- Ιπτάμενες τέφρες
- Πυριτική παιπάλη
- Φυσικές ποζολάνες
- Φυσικοί ηφαιστειακοί λίθοι
- Σκωρίες υψικαμίνων
- Τέφρα κελύφους ρυζιού
- Άνυδρη ή ένυδρη γύψος (CaSO₄ ή CaSO₄·2H₂O)
- Άνυδρο ή ένυδρο χλωριούχο ασβέστιο (CaCl₂ ή CaCl₂·2H₂O)
- Οργανικές ενώσεις

Αν το σκυρόδεμα εξετασθεί μικροσκοπικά, τότε, κατά την M. Regourd,(1985), τα αδρανή εμφανίζονται ως πολυφασικά πορώδη υλικά, ο δε τσιμεντοπολτός ως ετερογενές σύστημα. Στον τσιμεντοπολτό περιέχονται ενυδατωμένες ενώσεις ασβέστιο ($3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$) ή ($C_3-S_2-H_3$), υδροξείδιο του ασβεστίου ($Ca(OH)_2$), άνυδροι κόκκοι τσιμέντου και άλλων τυχόν στοιχείων, και νερό. Στη χημεία τσιμέντου χρησιμοποιούνται οι εξής συντμήσεις (οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν και παρακάτω):

$C=CaO$, $S=SiO_2$, $A=Al_2O_3$, $F=Fe_2O_3$, $H=H_2O$, $M=MgO$.

Το $C_3-S_2-H_3$ αποτελείται από πολύ λεπτά επάλληλα φύλλα, τα οποία είναι κατανεμημένα σε ακανόνιστη δομή. Μεταξύ των ατάκτως κατανεμημένων φύλλων σχηματίζονται οι τριχοειδείς πόροι με μέγεθος 25mm έως 1mm, ενώ σε κάθε φύλλο σχηματίζονται οι πόροι πήγματος με μέγεθος 1mm έως 5mm (βλ. σχ. 9)



Σχ.9: Σχηματική δομή του $C_3-S_2-H_3$ (Feldman - Sereda, αναφέρεται από τον A. Neville, 1986).

3.1. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ

3.1.1. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΦΘΟΡΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Ως μηχανική φθορά ορίζεται η διαδικασία κατά την οποία η επιφάνεια του σκυροδέματος φθείρεται από μηχανικές επιρροές, π.χ. ολίσθηση, κρούση, κύλιση αντικειμένων. Γενικά, η μηχανική φθορά μπορεί να διακριθεί σε τρεις κατηγορίες:

Μηχανική φθορά δαπέδων από σκυρόδεμα εκτεθειμένων στον αέρα (απότριψη)

Μηχανική φθορά υδραυλικών κατασκευών (υδροφθορά)

Δράση σπηλαιώσεως

Ας εξετάσουμε συνοπτικά καθεμιά από αυτές τις κατηγορίες.

3.1.1.1. Απότριψη σκυροδέματος

Προκαλείται από την κυκλοφορία πεζών, την ολίσθηση αντικειμένων, την πρόσκρουση οχημάτων ή αντικειμένων, την κυκλοφορία φορτηγών, την κυκλοφορία οχημάτων τα οποία έχουν καρφιά ή αλυσίδες στα λάστιχά τους.

α) Μηχανισμός φθοράς αποτρίψεως

Από τις δύο φάσεις του σκυροδέματος (τσιμεντοκονίαμα και χονδρά αδρανή) το τσιμεντοκονίαμα έχει συνήθως μικρότερη αντοχή σε απότριψη από τα χονδρά αδρανή και φθείρεται γρηγορότερα. Στο σχ. 10 συγκρίνονται οι αντοχές κονιάματος και σκυροδέματος, όπως φαίνεται, το κονίαμα έχει μικρότερη αντοχή σε απότριψη από το σκυρόδεμα.

Όπως αναφέρει ο G. Hartli, (1985), η φθορά του τσιμεντοκονιάματος συνεχίζεται με γοργό ρυθμό μέχρις ότου τα χονδρά αδρανή αποκαλυφθούν αρκετά στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Με την εξακολούθηση της επιδράσεως τριβής, τα αδρανή αφαιρούνται από το σκυρόδεμα, δημιουργώντας ανωμαλίες στην επιφάνεια του σκυροδέματος, η οποία γίνεται με αυτόν τον τρόπο περισσότερο επιρρεπής στη φθορά. Γίνεται έτσι αντιληπτό ότι το τσιμεντοκονίαμα πρέπει να έχει μεγάλη αντοχή για δύο λόγους: Αφενός μεν για να αντέχει το ίδιο, αφετέρου δε να συγκρατεί δε να συγκρατεί πολύ γερά τα αδρανή ώστε να εμποδίζεται η αφαίρεση τους από το σκυρόδεμα.

β) Παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε απότριψη

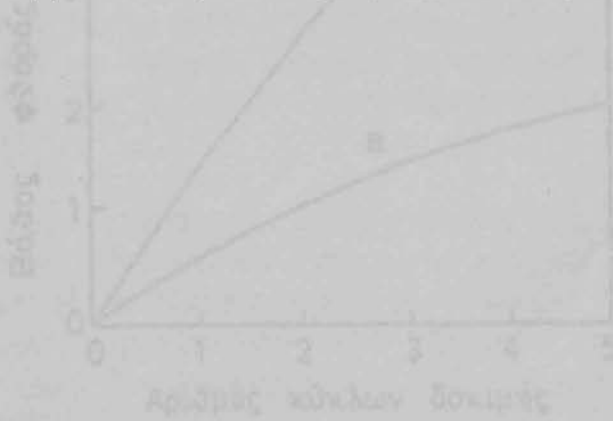
· ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Από εμπειρία και από πειραματικές έρευνες έχει διαπιστωθεί ότι η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος επηρεάζει την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε απότριψη. Όσο αυξάνεται η θλιπτική αντοχή, τόσο αυξάνεται η ανθεκτικότητα σε απότριψη. Το σχ. 11 δείχνει την επίδραση της αντοχής του σκυροδέματος και του είδους των αδρανών πάνω στην ανθεκτικότητα σε απότριψη.

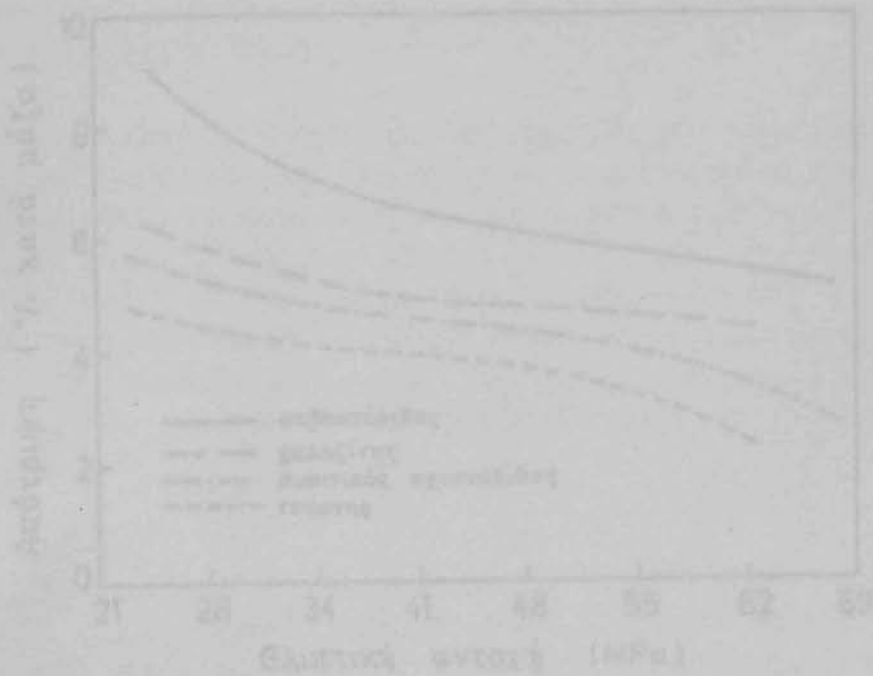
· ΛΟΓΟΣ N/T

Για να έχει το σκυρόδεμα μεγάλη αντοχή (και επομένως και μεγάλη ανθεκτικότητα σε απότριψη) πρέπει ο λόγος N/T να είναι μικρός. Στο σχ. 12 φαίνεται η επίδραση του λόγου N/T στην απώλεια σε απότριψη, για διαφορετικούς διάρκειες επιπονήσεως σε απότριψη. Χρήση ποσότητας νερού

στο σκυρόδεμα μεγαλύτερης από μια βέλτιστη τιμή, προκαλεί τη δημιουργία αδύνατου επιφανειακού στρώματος και μειώνει τη συνάφεια μεταξύ αδρανών και τσιμεντοκονιάματος. Η ποσότητα του προστιθέμενου νερού στο σκυρόδεμα εξαρτάται από τη μέγιστη διάσταση χονδρών αδρανών, την κοκομετρική διαβάθμιση των αδρανών, την περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε αέρα, τα πρόσθετα, το σχήμα των κόκκων, την επιφανειακή δομή των λεπτών και χονδρών αδρανών, καθώς και απ' τη θερμοκρασία και την υγρασία του περιβάλλοντος κατά την ώρα χυτεύσεως του σκυροδέματος.

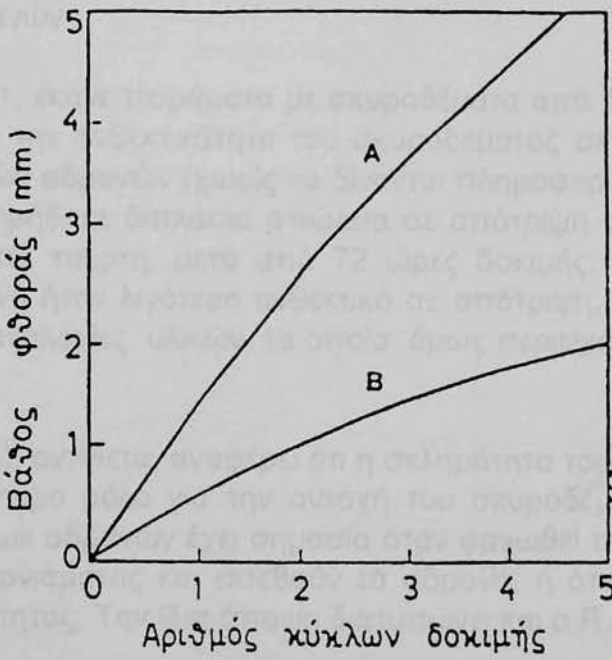


Σχ. 10: Διαγράμμο σχέσης και συσχέτιση μεταξύ μέγιστης διάστασης των αδρανών και λόγου νερού/τσιμέντι

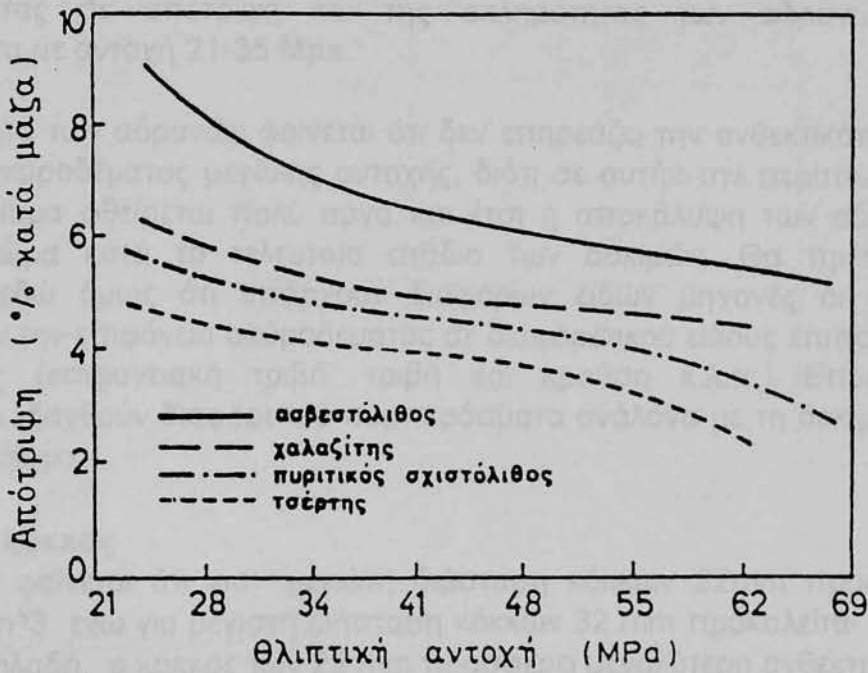


Σχ. 11: Διαγράμμο του σκυροδέματος με διαφορετικά είδη αδρανών με αντίστοιχη της διαταραχής σπασίματος κατά 28 ήμερες θέρμανση (ΣΑΔ, 1987).

Ιδιότητες αδρανών



Σχ. 10: Αντοχή σε απότριψη αμμοκονιάματος (Α) και σκυροδέματος (Β) (ACI 302.1R-80)



Σχ.11: Απότριψη του σκυροδέματος με διαφορετικά είδη αδρανών ως συνάρτηση της θλιπτικής αντοχής-του, μετά 72 ώρες δοκιμής. (T.Liu, 1981).

· Ιδιότητες αδρανών

-- Είδος αδρανών

Ο T. Liu, 1981, έκανε πειράματα με σκυροδέματα από διάφορα είδη αδρανών για να ελέγξει την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε απότριψη. Με χρήση ασβεστολιθικών αδρανών (χωρίς να δίνονται πληροφορίες για την σκληρότητά τους), παρατηρήθηκε διπλάσια απώλεια σε απότριψη από ότι σε σκυρόδεμα με αδρανή από τσέρτη, μετά από 72 ώρες δοκιμής. Γενικά σκυρόδεμα με μαλακά αδρανή ήταν λιγότερο ανθεκτικό σε απότριψη, από ότι σκυροδέματα με τις ίδιες αναλογίες υλικών τα οποία όμως περιείχαν σκληρότερα αδρανή (βλ. σχ. 13).

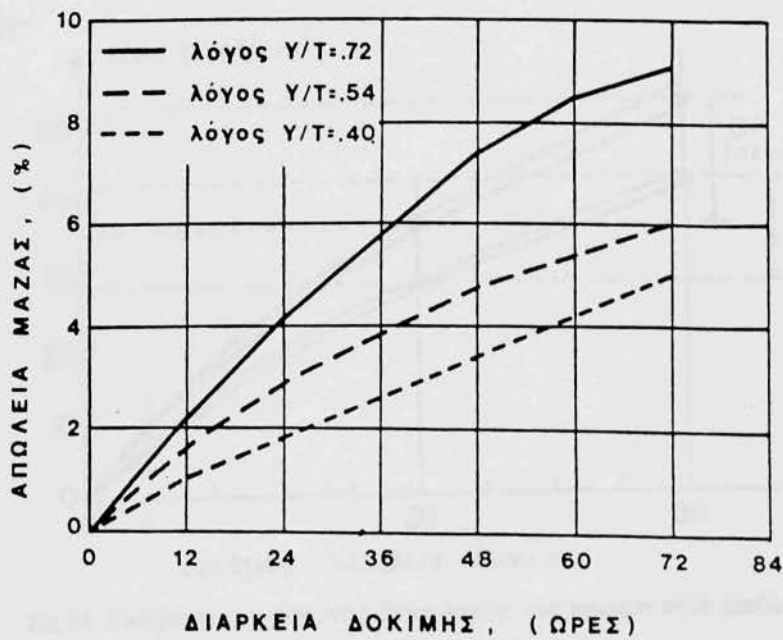
Η PCA, (1983), αντίθετα, αναφέρει ότι η σκληρότητα του κονιάματος παίζει τον αποφασιστικότερο ρόλο για την αντοχή του σκυροδέματος σε απότριψη. Η σκληρότητα των αδρανών έχει σημασία όταν φαγωθεί το επιφανειακό στρώμα του τσιμεντοκονιάματος και εκτεθούν τα αδρανή, ή όταν το σκυρόδεμα είναι χαμηλής ποιότητας. Την ίδια άποψη διατυπώνει και ο R. Chaplin, (1972).

Από πειράματα των Whitte και Backstrom, (1951), (όπως αναφέρει ο R. Chaplin, 1972), βρέθηκε ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της ανθεκτικότητας σε απότριψη και της σκληρότητας των αδρανών σε σκυροδέματα με αντοχή μεγαλύτερη από 56 Mpa. Αντίθετα, υπάρχει σημαντική συσχέτιση της ανθεκτικότητας σε απότριψη και της σκληρότητας των αδρανών για σκυροδέματα με αντοχή 21-35 Mpa.

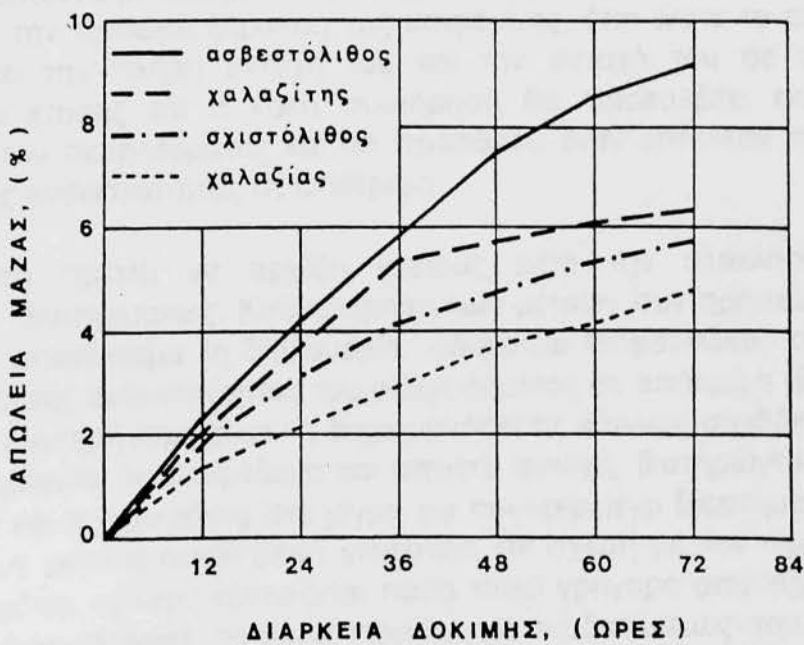
Η σκληρότητα των αδρανών φαίνεται ότι δεν επηρεάζει την ανθεκτικότητα σε απότριψη σκυροδέματος μεγάλης αντοχής, διότι σε αυτήν την περίπτωση το τσιμεντοκονίαμα φθείρεται πολύ αργά και έτσι η αποκάλυψη των αδρανών λαμβάνει χώρα κατά το τελευταίο στάδιο των δοκιμών. Θα πρέπει να αναφερθεί εδώ όμως ότι υπάρχουν διαφόρων ειδών μηχανές οι οποίες υποβάλλουν την επιφάνεια σκυροδέματος σε διαφορετικού είδους επιπλοήσεις αποτρίψεως (επιφανειακή τριβή, τριβή και κρούση κ.λ.π.) Επομένως, μπορούν να εξαχθούν διαφορετικά συμπεράσματα ανάλογα με τη δοκιμή που χρησιμοποιήθηκε.

- Μέγιστος κόκκος

Στο σχ. 14 φαίνεται ότι για μέγιστη διάσταση κόκκων 22mm προκαλείτε φθορά 14cm^3 ενώ για μέγιστη διάσταση κόκκων 32 mm προκαλείται φθορά 17cm^3 . Δηλαδή, ο κόκκος των 22 mm προσφέρει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε απότριψη από το κόκκο των 32 mm.

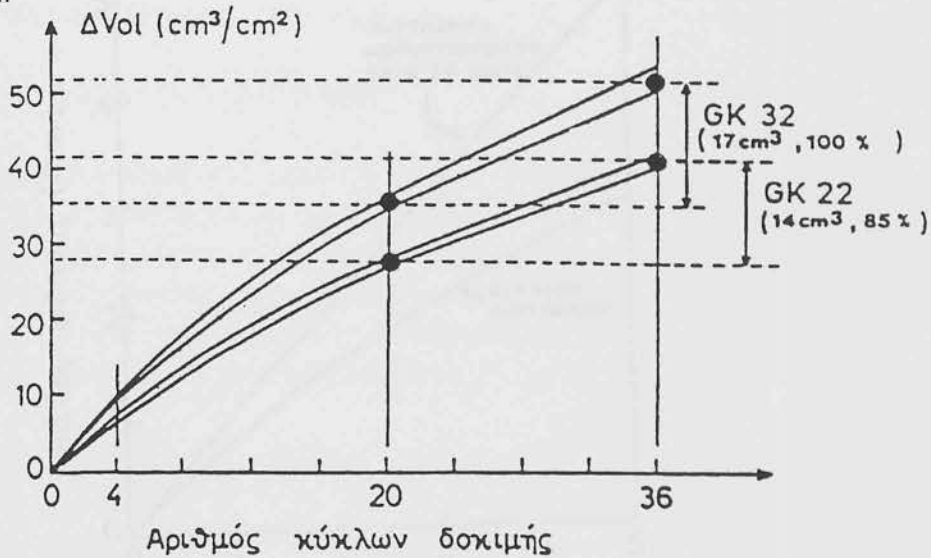


Σχ. 12: Επίδραση του λόγου N/T στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε αποτίριξη. Το σκυρόδεμα περιέχει ασβεστολιθικά αδρανή. (T. Liu, 1981).



Σχ. 13: Επίδραση του είδους των αδρανών στην απώλεια του σκυροδέματος σε αποτίριξη. (T. Liu, 1981).

Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στο γεγονός ότι έχει διαπιστωθεί ότι κόκκοι 8/22 mm ή 11/22 mm στοιβάζονται πιο κοντά στην επιφάνεια από ότι οι κόκκοι 8/32 mm.

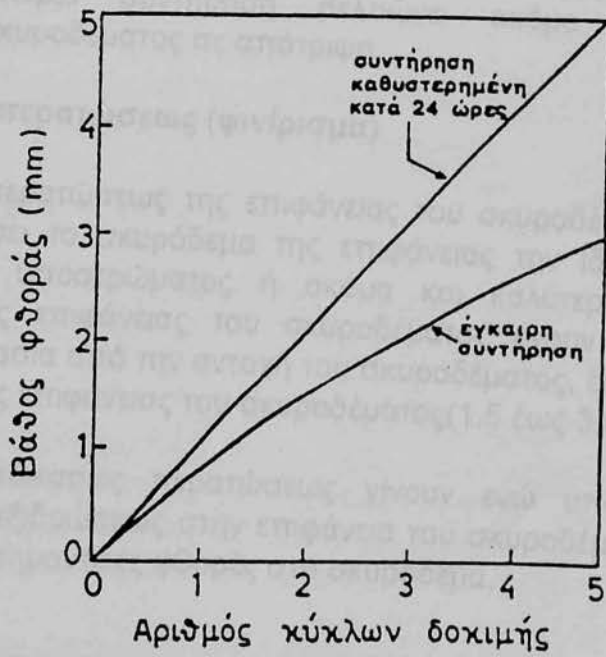


Σχ.14: Επίδραση της μέγιστης διαστάσεως των κόκκων στην απώλεια σε απότριψη με

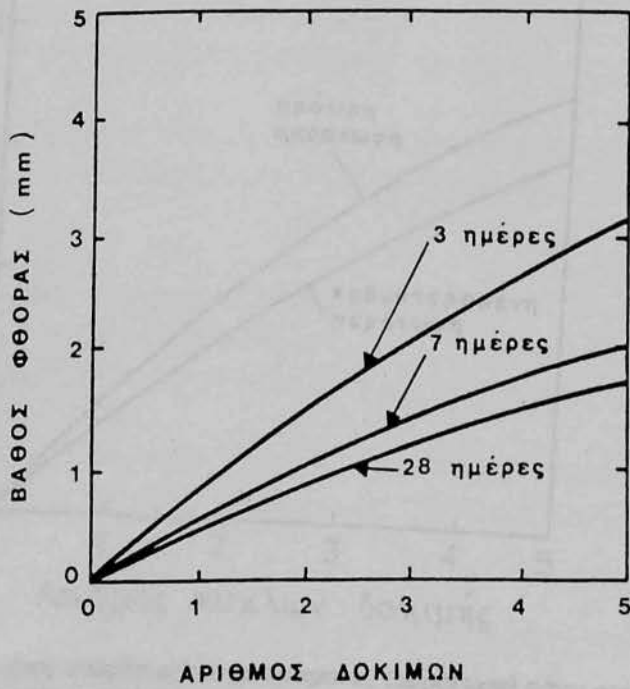
Συντήρηση νωπού σκυροδέματος

Η συντήρηση του νωπού σκυροδέματος έχει ουσιώδη σημασία για την παραγωγή δαπέδου με σκληρή επιφάνεια. Σκοπός της συντηρήσεως είναι να αποφύγουμε την πρόωρη ξήρανση της επιφάνειας, έτσι ώστε το σκυρόδεμα να αποκτήσει την πλήρη αντοχή του και την αντοχή του σε απότριψη. Παρατηρείται επίσης ότι η κακή συντήρηση θα προκαλέσει επιφανειακή ρηγμάτωση του σκυροδέματος και θα προσθέσει έναν επιπλέον παράγοντα μείωσης της ανθεκτικότητας σε απότριψη.

Η συντήρηση πρέπει να αρχίζει αμέσως μετά την ολοκλήρωση των διαδικασιών διαστρώσεως. Καθυστέρηση των μέτρων συντηρήσεως έχει ως αποτέλεσμα αποτέλεσμα τη δημιουργία αδύνατου επιφανειακού στρώματος και τη μείωση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος σε απότριψη (βλ. Σχ.15). Σκοπός της συντηρήσεως είναι να δημιουργήσει τις ιδανικές συνθήκες υπό τις οποίες σκληρύνεται το σκυρόδεμα και αποκτά αντοχή, διατηρώντας σταθερή την υγρασία και θερμοκρασία στο μίγμα για συγκεκριμένο διάστημα. Ειδικά οι πλάκες έχουν μεγάλη εκτεθειμένη επιφάνεια σε σχέση με τον όγκο τους μ' αυτόν τον τρόπο, το νερό εξατμίζεται πάρα πολύ γρήγορα από την ελεύθερη επιφάνεια, προκαλώντας πρόωρη παύση της ενυδατώσεως του τσιμέντου (άρα μείωση της αντοχής) και πρόωρη ρηγμάτωση, παράγοντες που συμβάλλουν αποφασιστικά στη μείωση της ανθεκτικότητας σε απότριψη. Από πειραματικές έρευνες βρέθηκε ότι η επιφάνεια σκυροδέματος το οποίο



Σχ.15: Επίδραση της καθυστέρησης της συντηρήσεως στο βάθος φθοράς μετά από δοκιμή σε Γερμανική μηχανή φθοράς (ACI 302.1R-80).



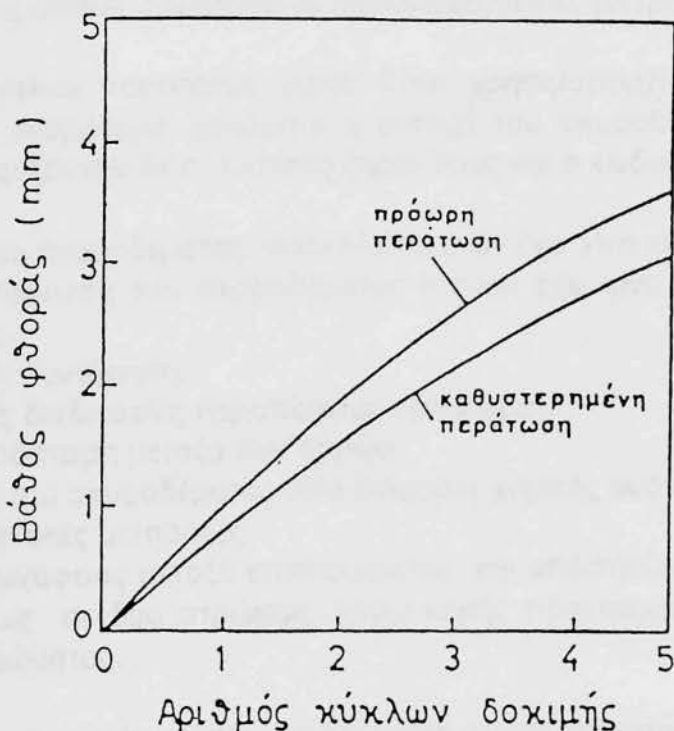
Σχ.16: Επίδραση της διάρκειας συντηρήσεως στο βάθος φθοράς μετά από δοκιμή σε Γερμανική μηχανή φθοράς (ACI 302.1R-80).

συντηρήθηκε για 7 ημέρες, έχει περίπου διπλάσια αντοχή σε απότριψη, σε σχέση με επιφάνεια σκυροδέματος το οποίο συντηρήθηκε για 3 ημέρες (βλ.σχ.16).περαιτέρω συντήρηση βελτιώνει ακόμα περισσότερο την ανθεκτικότητα σκυροδέματος σε απότριψη.

· Διαδικασίες περατώσεως (φινίρισμα)

Οι διαδικασίες περατώσεως της επιφάνειας του σκυροδέματος αποβλέπουν στο να αποκτήσει το σκυρόδεμα της επιφάνειας την ίδια ποιότητα με το σκυρόδεμα του υποστρώματος ή ακόμα και καλύτερη. Οι διαδικασίες περατώσεως της επιφάνειας του σκυροδέματος έχουν την ίδια (αν όχι μεγαλύτερη) σημασία από την αντοχή του σκυροδέματος, διότι επηρεάζουν το πάνω στρώμα της επιφάνειας του σκυροδέματος(1.5 έως 3.0 cm).

Αν όμως οι διαδικασίες περατώσεως γίνουν ενώ υπάρχει πλεόνασμα υγρασίας ή νερό εξιδρώσεως στην επιφάνεια του σκυροδέματος, τότε μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές φθορές στο σκυρόδεμα.



Σχ.17: Πώς επιδρά ο χρόνος ενάρξεως του φινιρίσματος (περάτωση) πάνω στο βάθος φθοράς, όπως προκύπτει από δοκιμή σε Γερμανική μηχανή φθοράς (ACI 302.1R-80).

Ο χρόνος ο οποίος μεσολαβεί για την έναρξη της διαδικασίας περατώσεως, επηρεάζει την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε απότρωση (βλ.σχ.17).Οι διαδικασίες περατώσεως που εφαρμόζονται στο σκυρόδεμα εξαρτώνται από το είδος της κυκλοφορίας στα δάπεδα, απ' τα φορτία, απ' την πρόσκρουση οχημάτων ή αντικειμένων, απ' τις προβλεπόμενες χημικές επιδράσεις, απ' την απαιτούμενη αντολισθηρότητα του δαπέδου κ.λ.π.

γ) Αιτίες αστοχίας δαπέδων

Οι συνηθέστερες βλάβες, οι οποίες παρατηρούνται στα δάπεδα από σκυρόδεμα είναι οι εξής:

- Άτακτη ρηγμάτωση
- Απότρωση του σκυροδέματος
- Μεταβολή της επιπεδότητας της επιφάνειας του σκυροδέματος
- Θραύση μικρών ή μεγάλων κομματιών σκυροδέματος
- Αποκόλληση του επιφανειακού στρώματος του δαπέδου.

Οι αιτίες στις οποίες οφείλονται οι προαναφερθείσες βλάβες, είναι οι εξής

-Χρήση μεγάλων ποσοτήτων νερού: Όταν χρησιμοποιείται μεγάλη ποσότητα νερού στο σκυρόδεμα, μειώνεται η αντοχή του σκυροδέματος, αυξάνεται η εξίδρωση, αυξάνεται δε η συστολή ξηράσεως και ο κίνδυνος απομίξεως.

-Απόμιξη του σκυροδέματος: προκαλείται όταν έχει γίνει κακή διάστρωση ή και κακή συμπύκνωση του σκυροδέματος ή όταν έχει γίνει λανθασμένη μελέτη συνθέσεως.

-Ανεπαρκής συντήρηση.

-Ανεπαρκείς διαδικασίες περατώσεως (φινίρισμα).

-Μεγάλη απόσταση μεταξύ των αρμών.

-Προσβολή του σκυροδέματος από διάφορες χημικές ουσίες.

-Θερμοκρασιακές μεταβολές.

-Έλλειψη συνάφειας μεταξύ επιστρώματος και υποστρώματος σε περίπτωση διαστρώσεως σε δυο στρώσεις, λόγω κακής προετοιμασίας της επιφάνειας του υποστρώματος.

Έχει μεγάλη σημασία λοιπόν για την καλή επιτελεστικότητα των δαπέδων να γίνει:

Σωστός σχεδιασμός: Εκτιμάται το πάχος του δαπέδου και η απαιτούμενη ποσότητα σκυροδέματος βάσει των επιβαλλόμενων φορτίων και της

3.1.2.3. Παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε επίδραση παγετού

α) Ποιότητα του σκυροδέματος

Για την Παρασκευή σκυροδέματος το οποίο πιθανολογείται ότι θα υποστεί την επίδραση παγετού, πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή στην εκλογή των εξής παραμέτρων:

-Μέγεθος αδρανών

-Λόγος N/T

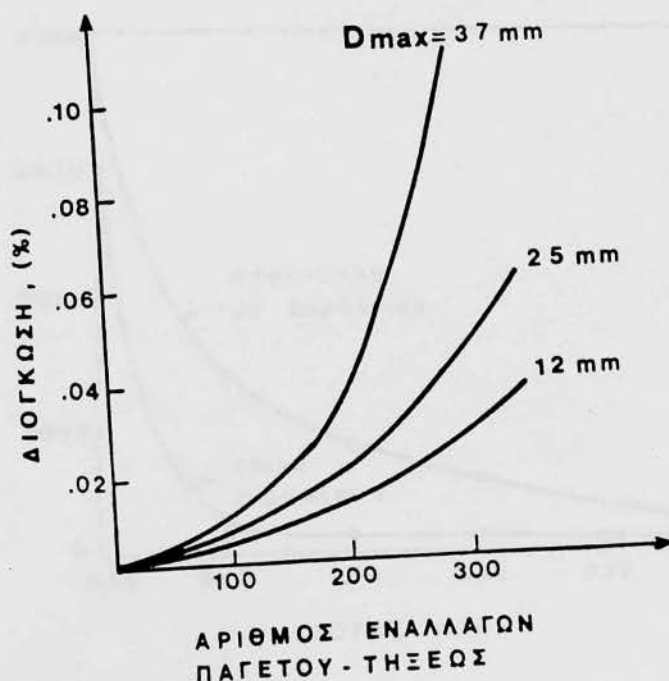
-Είδος τσιμέντου - Πρόσθετα

-Προσθήκη αερακτικών

Ας εξετάσουμε κάπως ποιο αναλυτικά πώς επιδρά καθεμιά παράμετρος στην ανθεκτικότητα σκυροδέματος σε επίδραση παγετού και αντιπαγωτικών αλάτων.

Μέγεθος αδρανών

Τα αδρανή καταλαμβάνουν περίπου το 70 έως 75% του όγκου του σκυροδέματος .



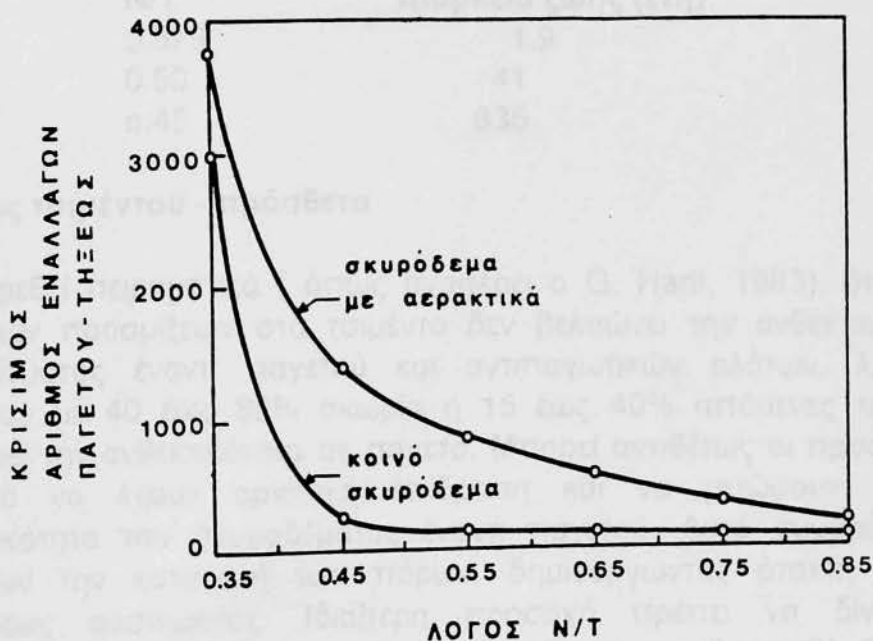
Σχ.20: Επίδραση της μέγιστης διαστάσεως αδρανών στην αντοχή του σκυροδέματος σε επίδραση παγετού (D. Stark-P. Klieger, 1973, αναφέρεται από τον P. Klieger, 1980).

εκείνα τα αδρανή που δεν είναι ανθεκτικά σε επίδραση παγετού, απορροφούν νερό το οποίο παγώνει και ασκεί διογκωτικές πιέσεις στο σκυρόδεμα.

Οι D. Stark - P. Klieger, (1973), έχουν βρει ότι η ανθεκτικότητα έναντι παγετού αυξάνεται σημαντικά όταν μειώνεται η μέγιστη διάσταση των τυχόν απορροφητικών αδρανών που χρησιμοποιούνται (βλ. Σχ.20)

Ο H. Hisdorf, (1980), όμως, εκφράζει τη γνώμη ότι χρήση μεγάλης ποσότητας λεπτόκοκκων αδρανών οδηγεί σε προσθήκη μεγάλων ποσοτήτων νερού για να γίνει το σκυρόδεμα πιο εργάσιμο. Έτσι μειώνεται η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε επίδραση παγετού. Επιπλέον, τα μικρά αδρανή μπορεί να φτάσουν με μεγαλύτερη ευκολία στον κρίσιμο βαθμό κορεσμού.

Έχει βρεθεί, ότι μερικά αδρανή προσβάλλονται χημικώς από τα αντιπαγωτικά άλατα. Μέσα στο σκυρόδεμα, όμως, ο τσιμεντοπολτός προσφέρει αρκετή προστασία στα αδρανή. Φθορά θα συμβεί αν το αντιπαγωτικό άλας έχει έρθει σε επαφή με τα αδρανή (λ.χ. όταν το επιφανειακό στρώμα του σκυροδέματος έχει φθαρεί και τα αδρανή εκτίθενται στην ατμόσφαιρα ή σε περιοχές ρωγμών).



Σχ.21: Επίδραση του λόγου Ν/Τ στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος έναντι παγετού (U.S Bureau of Reclamation, 1958, αναφέρεται από τον I. Soroka, 1979).

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

· Λόγος N/T

Ο λόγος N/T επηρεάζει ως γνωστόν το πορώδες. Η επιρροή της τιμής του λόγου N/T στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος έναντι παγετού φαίνεται στο Σχ.21. για τιμή του λόγου N/T μικρότερη από 0.45, η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος αυξάνεται πολύ, τόσο σε κοινό σκυρόδεμα με αερακτικά.

Ο G. Fagerland, (1981), (όπως αναφέρει η M. Regourd, 1985) έχει υπολογίσει τη διάρκεια ζωής για διάφορα σκυροδέματα με τα ίδια χαρακτηριστικά, αλλά με διαφορετικές τιμές του λόγου N/T τα οποία υπόκεινται σε επίδραση παγετού. Τα σκυροδέματα είχαν τα εξής χαρακτηριστικά:

Περιεκτικότητα σε τσιμέντο 298kg/m³
Βαθμός ενυδατώσεως τσιμέντου 0.80
Συνολική περιεκτικότητα σε αέρα 0.071
κρίσιμος βαθμός κορεσμού 0.80
Δείκτης αποστάσεως πόρων 0.40 mm

Τα αποτελέσματα είναι :

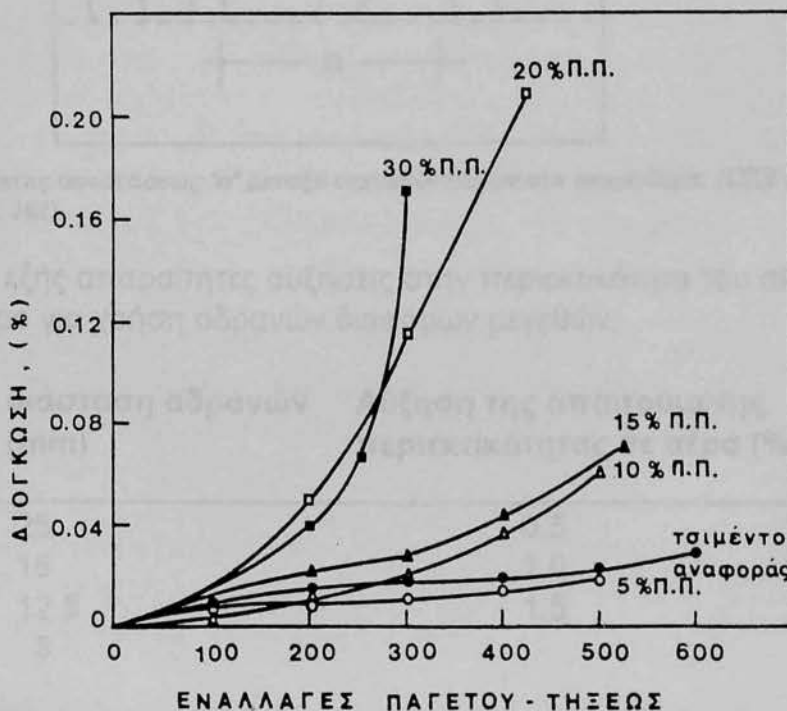
N/T	Διάρκεια ζωής (έτη)
0.573	1.9
0.50	41
0.45	835

· Είδος τσιμέντου - πρόσθετα

Έχει βρεθεί πειραματικά (όπως αναφέρει ο G. Hartl, 1983), ότι η χρήση διαφόρων προσμίξεων στο τσιμέντο δεν βελτιώνει την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος έναντι παγετού και αντιπαγωτικών αλάτων, λ.χ. χρήση τσιμέντου με 40 έως 80% σκωρία ή 15 έως 40% ιπτάμενες τεφρές, δεν βελτιώνει την ανθεκτικότητα σε παγετό. Μπορεί αντιθέτως οι προσμίξεις στο τσιμέντο να έχουν αρνητική επίδραση και να μειώσουν πολύ την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος έναντι παγετού. Αυτό συμβαίνει επειδή αλλάζουν την κατανομή των πόρων, δημιουργώντας άτακτη δομή του πορώδους συστήματος. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται όταν χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότερα πρόσθετα συγχρόνως (βλ. Σχ.22). Στο CEB Bull. 148 αναφέρεται ότι τα ανάμικτα τσιμέντα δείχνουν μεγάλη ευαισθησία σε επίδραση παγετού στις μικρές ηλικίες του σκυροδέματος. Μπορεί όμως σε μεγαλύτερες ηλικίες του σκυροδέματος να παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα έναντι παγετού από τα τσιμέντα Portland.

Οι H. Cheng-yi, R. Feldman, (1985), έδειξαν πειραματικώς ότι προσθήκη **πυριτικής παιπάλης** σε κονιάματα, χωρίς ταυτόχρονη προσθήκη αερακτικών, βελτιώνει σε μεγάλο βαθμό την ανθεκτικότητα των κονιαμάτων έναντι παγετού. Η προσθήκη πυριτικής παιπάλης αλλάζει τη δομή των πόρων, αυξάνοντας την ποσότητα των πόρων με μέγεθος 0.35μm έως 20μm. Η απόσταση "α" αυτών των πόρων είναι μικρότερη από 0.1mm και ικανοποιεί έτσι τις απαιτήσεις ανθεκτικότητας έναντι παγετού (βλ. Παράγραφο για σκυρόδεμα με αερακτικά). Η προσθήκη πυριτικής παιπάλης (silika fume) έχει το πλεονέκτημα ότι αυξάνει την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, ενώ τα αερακτικά προκαλούν κάποια μείωση της θλιπτικής αντοχής.

Τα πειράματα έδειξαν επίσης ότι η ανθεκτικότητα των κονιαμάτων έναντι παγετού μειώνεται όταν η περιεκτικότητα σε πυριτική παιπάλη ξεπεράσει το 30%κ.β. του τσιμέντου. Αυτό συμβαίνει διότι απαιτείται τιμή λόγου $N:(T+Π.Π.)$ μεγαλύτερη από 0.45 για να ενυδατωθεί πλήρως το τσιμέντο (όπου Π.Π. παριστάνει το ποσόν της πυριτικής παιπάλης). Όμως η τιμή αυτή είναι αρκετά μεγάλη, με αποτέλεσμα να μένει νερό στους πόρους του τσιμεντοκονιάματος.

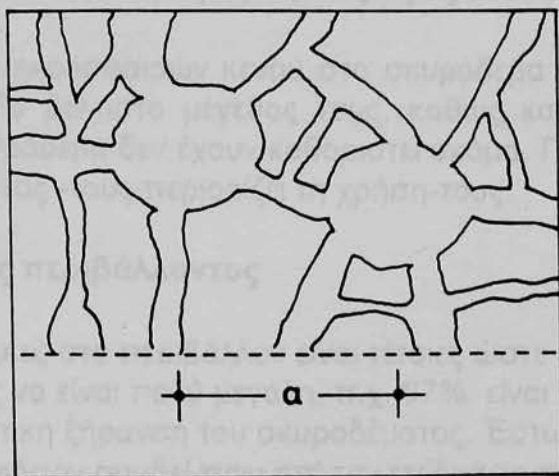


Σχ. 22: Παράδειγμα ακατάλληλου συνδυασμού αερακτικού, ρευστοποιητικού και πυριτικής παιπάλης (Π.Π.). Ο λόγος $N:(T+Π.Π.)$ έχει διατηρηθεί σταθερός, ίσος με 0.40, ενώ η ποσότητα ρευστοποιητικού αυξάνεται όταν αυξάνει η ποσότητα της πυριτικής παιπάλης. Η περιεκτικότητα σε πόρους διατηρήθηκε σταθερή με την προσθήκη αερακτικών (V. Malhotra - G. Garette, 1982, αναφέρεται από τον S. Bergström, 1983).

Προσθήκη αερακτικών

Με τα αερακτικά πρόσθετα, το σκυρόδεμα εμπλουτίζεται με τεχνητούς πόρους. Αυτοί οι πόροι έχουν μέγεθος από 2 μ m έως 2mm (είναι δηλαδή μεγαλύτεροι από τους τριχοειδείς πόρους και τους πόρους πήγματος). Η ύπαρξη των τεχνητών πόρων στο σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται από τον **δείκτη αποστάσεως «α»** (βλ. Σχ.23).

Όταν ο κίνδυνος προσβολής του σκυροδέματος από επίδραση παγετού μεγαλώνει, πρέπει ο δείκτης αποστάσεως να μικραίνει. Επίσης όπως αναφέρει ο G. Hartl (1983), ο δείκτης αποστάσεως πρέπει να μικραίνει σε περίπτωση χρήσεως λεπτόκοκκων αδρανών.



Σχ. 23: Δείκτης αποστάσεως "α" μεταξύ τεχνητών πόρων στο σκυρόδεμα. (CEB Guide, Bull. 182).

Δίνει δε τις εξής απαραίτητες αυξήσεις στην περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε κενά αέρα για χρήση αδρανών διαφόρων μεγεθών:

Μέγιστη διάσταση αδρανών (mm)	Αύξηση της απαιτούμενης περιεκτικότητας σε αέρα (%)
25	0.5
16	1.0
12.5	1.5
8	

Βέβαια, η προσθήκη αερακτικών στο σκυρόδεμα δεν βλάπτει να ξεπεράσει ένα ορισμένο όριο, γιατί τότε θα μειωθεί η αντοχή του σκυροδέματος σημαντικά. Οι τεχνητοί πόροι βελτιώνουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε επίδραση παγετού, διότι διατίθενται ως χώρος διαστολής του νερού.

Ακόμα και στην περίπτωση κορεσμένου σκυροδέματος, οι τεχνητοί πόροι δεν είναι τελείως γεμάτοι.

Έτσι, με τα φαινόμενα διαχύσεως τα οποία συμβαίνουν μεταξύ των πόρων, αποφεύγονται ο σχηματισμός πάγου στους μικρότερους πόρους και επομένως η θραύση του σκυροδέματος. Έχει βρεθεί πειραματικά, όπως αναφέρει ο H. Hilsdorf, (1980), ότι τα ρευστοποιητικά καταστρέφουν τους τεχνητούς πόρους. Αυτό πιθανόν να οφείλεται σε χημική αντίδραση μεταξύ του ρευστοποιητικού και του αερακτικού.

Ο ίδιος αναφέρει ότι τελευταίως γίνονται έρευνες για την αντικατάσταση των αερακτικών στο σκυρόδεμα με **μικροσφαίρες κενού**.

Η δημιουργία μικροσφαιρών κενού στο σκυρόδεμα γίνεται με την προσθήκη πολυμερών. Το βέλτιστο μέγεθος τους, καθώς και η επίδραση την οποία έχουν στο σκυρόδεμα δεν έχουν καθοριστεί ακόμα. Προς το παρόν, πάντως, το μεγάλο κόστος -τους περιορίζει τη χρήση-τους.

B) Συνθήκες περιβάλλοντος

Όταν οι συνθήκες στο περιβάλλον είναι τέτοιες ώστε η σχετική υγρασία του σκυροδέματος να είναι πολύ μεγάλη, π.χ. 97%, είναι πολύ πιθανό ότι θα συμβεί μελλοντική ξήρανση του σκυροδέματος. Έστω και αν η ξήρανση είναι πολύ μικρή, εφόσον συμβεί πριν απ' την επίδραση παγετού, θα βελτιώσει πολύ την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος έναντι παγετού, ανεξάρτητα από την τιμή του λόγου N/T και την περιεκτικότητα, του σκυροδέματος σε κενά αέρα.

Ο G. Fagerland, (1979), (όπως αναφέρεται από τον L. Sentler, 1983) δίνει μία σχέση για τον βαθμό κορεσμού ενός δείγματος σκυροδέματος ως συνάρτηση του χρόνου. Ο κορεσμός του σκυροδέματος γίνεται σε δύο φάσεις (βλ.σχ.24).

Στην **πρώτη φάση** γεμίζουν με νερό οι πόροι οι οποίοι δεν περιέχουν αέρα (έστω και αν περιέχουν μικρή ποσότητα νερού). Οι πόροι οι οποίοι περιέχουν αέρα παραμένουν κενοί.

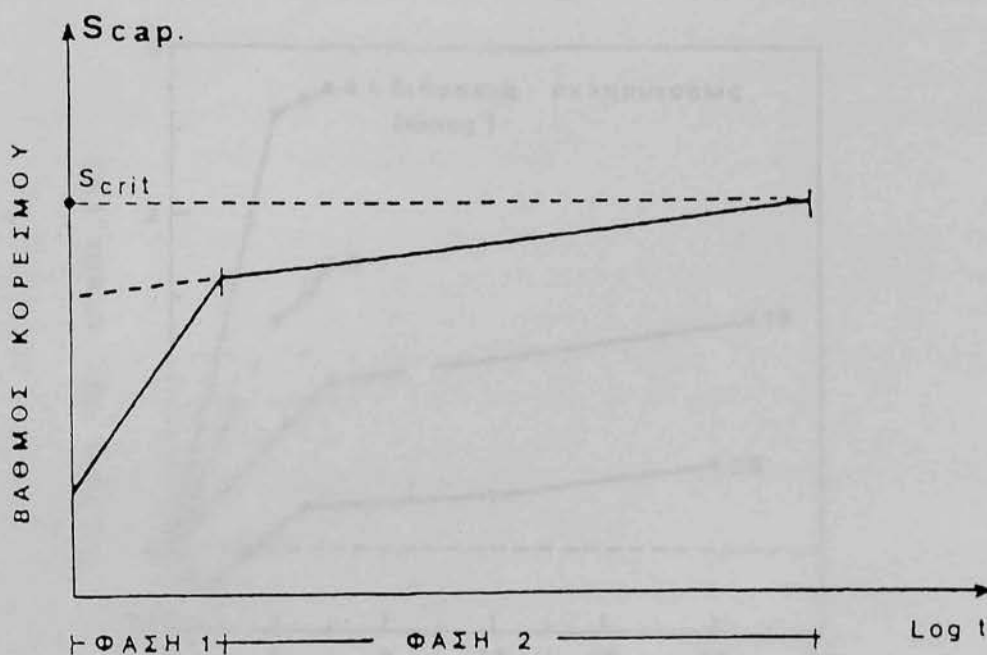
Στην **δεύτερη φάση** γεμίζουν με νερό οι οποίοι περιείχαν αέρα. Όταν ο βαθμός κορεσμού φθάσει σε ένα ορισμένο όριο και το σκυρόδεμα υποστεί την επίδραση παγετού, τότε θα προκληθεί ζημιά.

Γ) Ηλικία του σκυροδέματος

Όσο αυξάνει η ηλικία του σκυροδέματος, αυξάνεται η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος έναντι παγετού, διότι μεταβάλλεται το μέγεθος και η κατανομή των πόρων.

Όπως αναφέρει ο M. Matti, (1986), το σκυρόδεμα μικρής ηλικίας έχει αρκετό νερό στους πόρους - του, επειδή δεν έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία ενυδατώσεως του τσιμέντου. Επίδραση παγετού σε σκυρόδεμα μικρής ηλικίας θα προκαλέσει σημαντική φθορά (βλ. Σχ.25).

Αυτό συμβαίνει επειδή το σκυρόδεμα δεν έχει αναπτύξει ακόμα αρκετή αντοχή, για να μπορεί να προλάβει τις τάσεις οι οποίες αναπτύσσονται με το σχηματισμό πάγου. Η μείωση της θλιπτικής αντοχής φτάνει μέχρι το 40% της αντοχής του σκυροδέματος το οποίο δεν έχει υποστεί την επίδραση παγετού.



Σχ. 24: Ο βαθμός κορεσμού συναρτήσει του χρόνου (G. Fagerlung 1979, αναφέρεται από τον L. Sentler, 1983).

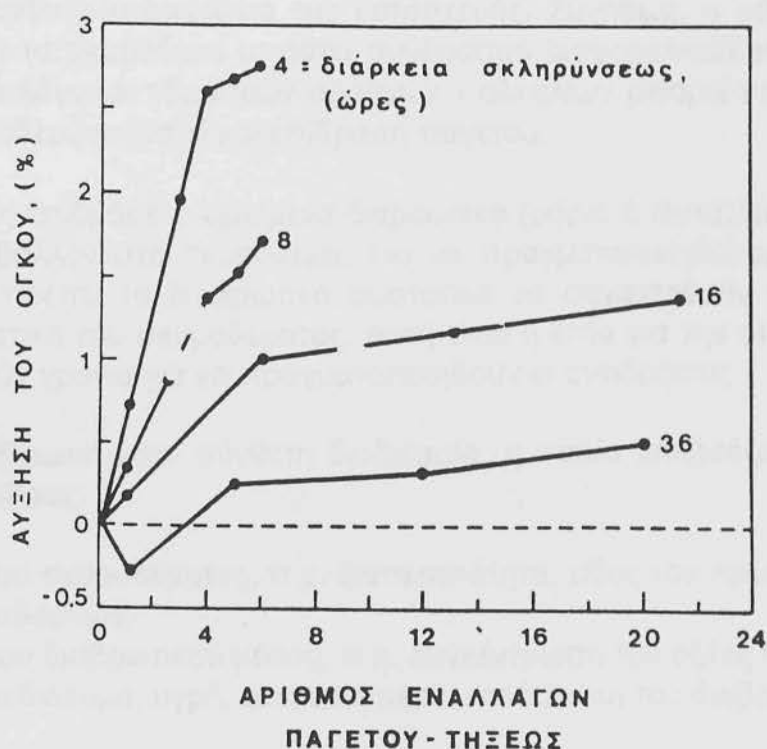
3.1.2.4. ΠΩΣ ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ Η ΦΘΟΡΑ ΛΟΓΩ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΣ ΠΑΓΕΤΟΥ

· Ρηγμάτωση

Οι τάσεις οι οποίες αναπτύσσονται μέσα στο σκυρόδεμα προκαλούν ρηγμάτωση. Συνήθως οι ρωγμές εμφανίζονται σ' όλη την επιφάνεια του σκυροδέματος. Το εύρος των ρωγμών δεν ξεπερνά τα 0.25mm από την επιφάνεια.

· Απολέπιση και αποφλοίωση του σκυροδέματος

Αφαιρούνται επιφανειακά μικρά κομμάτια σκυροδέματος υπό μορφή λεπίδων, και δημιουργούνται έτσι μικρές κοιλότητες. Σε περίπτωση πολύ σοβαρής φθοράς, είναι δυνατόν να αφαιρεθούν και μεγάλα κομμάτια σκυροδέματος (αποφλοίωση). Παρατηρείται δε ότι τα κομμάτια που αφαιρούνται μπορεί να έχουν και μεγάλη αντοχή.



Σχ. 25: Επίδραση της ηλικίας του σκυροδέματος στην αύξηση του όγκου του σκυροδέματος το οποίο υπόκειται σε επίδραση παγέτου ((Möller, 1956, αναφέρεται από τον I. Soroka, 1979).

· Υγρή εμφάνιση του σκυροδέματος

Όταν το σκυρόδεμα έχει υποστεί την επίδραση παγετού σε μικρή ηλικία, τότε φαίνεται σαν να είναι υγρό. Το σκυρόδεμα είναι σκουρόχρωμο και θραύεται εύκολα.

3.2. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ

Η χημική διάβρωση του σκυροδέματος είναι αποτέλεσμα της επιδράσεως διαφόρων ουσιών οι οποίες επιδρούν χημικώς με το σκυρόδεμα, με αποτέλεσμα να αλλάζει η σύσταση του σκυροδέματος και να επηρεάζονται ανεπανόρθωτα οι ιδιότητές του. Ένα σκυρόδεμα το οποίο έχει κατασκευασθεί σωστά, δεν θα υποστεί εύκολα φθορά λόγω χημικής προσβολής. Υπό ορισμένες συνθήκες, όμως, είναι δυνατόν το τσιμέντο, η άμμος 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 (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, στερεά ή αέρια κατάσταση του διαβρωτικού μέσου.
- Φύση των προ'ιόντων της αντίδρασης, δηλαδή αν είναι αδιάλυτα (τότε μειώνουν τη διαπερατότητα του σκυροδέματος), ευδιάλυτα κ.λ.π.
- Περιβαλλοντικές συνθήκες, π.χ. παρουσία νερού (υπό υγρή ή αέρια μορφή), θερμοκρασία, πίεση, ταχύτητα ροής.

Κατηγορίες της χημικής διαβρώσεως

Η χημική διάβρωση μπορεί να οφείλεται σε εξωτερικές επιδράσεις (π.χ. όξινο διάλυμα, θαλάσσιο νερό, έδαφος κ.λ.π.) ή σε εσωτερικές επιδράσεις (π.χ. ευπρόσβλητα αδρανή κ.λ.π.).

Ανάλογα με τον μηχανισμό με τον οποίο προκαλείται η φθορά, μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες χημικής διαβρώσεως:

Διάβρωση λόγω αποπλύσεως: Αφαιρείται ένα τμήμα ή το σύνολο του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού. Η διάβρωση αποπλύσεως προκαλείται από νερό με μικρή σκληρότητα, από υδροχλωρικό οξύ και από ανθρακικό οξύ. Η φθορά είναι μικρή και εμφανίζεται κυρίως σε πορώδες **σκυρόδεμα**, ενώ σε πυκνό σκυρόδεμα δεν προκαλείται εύκολα. Η φθορά εμφανίζεται στην αρχή στα άκρα και στις γωνίες, ενώ αργότερα δημιουργούνται κοιλότητες μέχρις ότου επέλθει η τελική αποσύνθεση.

Διάβρωση λόγω αντιδράσεων ανταλλαγής μάζας: Προκαλείται από οξέα, άλατα, φαινόλες κ.λ.π. Τα προϊόντα της αντίδρασης των διαβρωτικών στοιχείων με το σκυρόδεμα μπορεί να είναι ευδιάλυτα οπότε αποπλένονται από νερό, είτε παραμένουν μέσα στο σκυρόδεμα και χαλαρώνουν τη συνάφεια μεταξύ αδρανών και τσιμεντοπολτού.

Διάβρωση λόγω διογκώσεως: Προκαλείται από θειϊκά άλατα κυρίως. Τα προϊόντα της αντίδρασεως είναι σταθερά, αλλά καταλαμβάνουν μεγάλο όγκο μέσα στο τσιμεντοκονίαμα. Ως αποτέλεσμα προκαλείται ρηγμάτωση λόγω των τάσεων τις οποίες ασκούν τα ογκώδη προϊόντα αντίδρασεως.

Οι χημικές επιδράσεις στο σκυρόδεμα μπορούν να καταταχθούν όπως φαίνεται και στο Σχ.26.

Ας εξετάσουμε συνοπτικά καθεμιά από τις επιδράσεις.

3.2.1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΑΛΑΚΟΥ ΝΕΡΟΥ

Μαλακό είναι το νερό της βροχής, το νερό που προέρχεται από τήξη πάγου ή χιονιού, ή από ατμό, το νερό των λιμνών και των ποταμών, το νερό των πηγών από εκρηξιγενείς βράχους (π.χ. γρανίτη, βασάλτη, ανδεδίτη).

Η «σκληρότητα» εκφράζει την ποσότητα ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου και των ενώσεων τους στο νερό.

Ενδεικτικά αναφέρονται μερικοί βαθμοί σκληρότητας του νερού:

Σκληρό νερό
Εξαιρετικά σκληρό νερό

18 -25
> 50

Η σκληρότητα μεταβάλλεται με τον χρόνο. Για παράδειγμα, το νερό των ποταμών είναι πιο μαλακό τον χειμώνα και την άνοιξη, επειδή η περιεκτικότητα σε ορυκτά άλατα είναι μικρή λόγω αυξημένης ποσότητας νερού.

Η σκληρότητα του νερού οφείλεται κυρίως στα όξινα ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ και $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$) (παροδική σκληρότητα) τα οποία είναι διαλυτά στο νερό όταν υπάρχει στο νερό αρκετή ποσότητα αδέσμευτου διοξειδίου του άνθρακα. Αν το διοξείδιο του άνθρακα, δεν είναι αρκετό, τότε τα άλατα αυτά καθιζάνουν. Έτσι εξηγείται γιατί τα νερά των λιμνών, λόγω καταναλώσεως του διοξειδίου του άνθρακα από τα φυτά έχουν μικρή σκληρότητα.

ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ	Χημικές	Ανθρακικό οξύ Διάβρωση αποπλύσεως	Μαλακό νερό, Ανθρακικό οξύ.
		Διάβρωση λόγω αντιδράσεων ανταλλαγής μάζας	Οξέα, Αλατα, Ελαιώδεις ουσίες, Ζαχαρίνη, γλυκερίνη, Φαινόλες, αλκοόλες.
		Διάβρωση λόγω διογκώσεως	Θεϊκά άλατα, Αλατα χλωρίου.
ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ	Βιολογικές		Ρίζες φυτών, Λειχήνες, βρύα, Φύκια, οστρακόδερμα, Βακτήρια .
			Βάσεις, Θαλάσσιο νερό αναμιξεως . Χλωριούχα άλατα (π.χ. CaCl_2 ως επιταχυντικό).

Σχ. 26.: Κατάταξη των χημικών επιδράσεων στο σκυρόδεμα

3.2.1.1. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΦΘΟΡΑΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΛΟΓΩ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΜΑΛΑΚΟΥ ΝΕΡΟΥ.

- Όταν το νερό δεσμεύεται αρχικά από το τσιμέντο, σχηματίζεται υδροξείδιο του ασβεστίου. Κατόπιν, το υδροξείδιο του ασβεστίου διαλύεται στο μαλακό νερό και αποπλένεται από το σκυρόδεμα. Η απόπλυση γίνεται πιο εύκολα όσο η σκληρότητα του νερού έχει μικρές τιμές. Φθορά συμβαίνει σπάνια σε νερό με σκληρότητα μεγαλύτερη από 24 dH. Η ύπαρξη μικροποσοτήτων ιόντων **μαγνησίου** εμποδίζει την απόπλυση της άσβεστου από το σκυρόδεμα: Οι μικροποσότητες του υδροξειδίου του μαγνησίου οι οποίες δημιουργούνται, μειώνουν την διαπερατότητα του σκυροδέματος. Με την απομάκρυνση της άσβεστου από το σκυρόδεμα, διασπώνται τα λιγότερο σταθερώς ενυδατωμένα προΐόντα του τσιμέντου (τα **3CaO.A12O3.6H2O** και **3CaO.Fe2O3 .6H2O**) για να εξισορροπηθεί η απώλεια της άσβεστου. Αποτέλεσμα αυτής της διασπάσεως είναι η χαλάρωση του ιστού του σκυροδέματος.
- Ο βαθμός αποπλύσεως λόγω επιδράσεως μαλακού νερού εξαρτάται από τις παραμέτρους:
 - Σκληρότητα του νερού
 - Ταχύτητα ροής του νερού
 - Θερμοκρασία του νερού
 - Διείσδυση νερού υπό πίεση στο σκυρόδεμα
 - Ποιότητα του σκυροδέματος και κατάσταση της επιφάνειάς του
 - Είδος του τσιμέντου
 - Ηλικία του σκυροδέματος

3.2.1.2. ΠΩΣ ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ Η ΦΘΟΡΑ ΛΟΓΩ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΣ ΜΑΛΑΚΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η άσβεστος η οποία αποπλένεται από το σκυρόδεμα αποτίθεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος δημιουργώντας λευκές **κηλίδες** ή **«σταλακτίτες»**. Η φθορά γίνεται επίσης αντιληπτή διότι η χαλάρωση του ιστού επιφανειακού σκυροδέματος δημιουργεί ανωμαλίες στην επιφάνεια, αφήνοντας να διαγραφούν καθαρά τα χονδρά αδρανή.

3.2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ

Το ανθρακικό οξύ είναι το υδάτινο διάλυμα του διοξειδίου του άνθρακα. Ανάλογα με την πίεση και την θερμοκρασία, το αέριο CO₂ διαλύεται στο

νερό και σχηματίζει ανθρακικό οξύ (H₂CO₃) σε πολύ μικρές ποσότητες (περίπου 1% κ.β.),

3.2.1.1. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΦΘΟΡΑΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΛΟΓΩ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΜΑΛΑΚΟΥ ΝΕΡΟΥ.

- Όταν το νερό δεσμεύεται αρχικά από το τσιμέντο, σχηματίζεται υδροξείδιο του ασβεστίου. Κατόπιν, το υδροξείδιο του ασβεστίου διαλύεται στο μαλακό νερό και αποπλένεται από το σκυρόδεμα. Η απόπλυση γίνεται πιο εύκολα όσο η σκληρότητα του νερού έχει μικρές τιμές. Φθορά συμβαίνει σπάνια σε νερό με σκληρότητα μεγαλύτερη από 24 dH. Η ύπαρξη μικροποσοτήτων ιόντων **μαγνησίου** εμποδίζει την απόπλυση της άσβεστου από το σκυρόδεμα: Οι μικροποσότητες του υδροξειδίου του μαγνησίου οι οποίες δημιουργούνται, μειώνουν την διαπερατότητα του σκυροδέματος. Με την απομάκρυνση της άσβεστου από το σκυρόδεμα, διασπώνται τα λιγότερο σταθερώς ενυδατωμένα προΐόντα του τσιμέντου (τα **3CaO·Al₂O₃·6H₂O** και **3CaO·Fe₂O₃·6H₂O**) για να εξισορροπηθεί η απώλεια της άσβεστου. Αποτέλεσμα αυτής της διασπάσεως είναι η χαλάρωση του ιστού του σκυροδέματος.
- Ο βαθμός αποπλύσεως λόγω επιδράσεως μαλακού νερού εξαρτάται από τις παραμέτρους:
 - Σκληρότητα του νερού
 - Ταχύτητα ροής του νερού
 - θερμοκρασία του νερού
 - Διείσδυση νερού υπό πίεση στο σκυρόδεμα
 - Ποιότητα του σκυροδέματος και κατάσταση της επιφάνειας του
 - Είδος του τσιμέντου
 - Ηλικία του σκυροδέματος

3.2.1.2. ΠΩΣ ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ Η ΦΘΟΡΑ ΛΟΓΩ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΣ ΜΑΛΑΚΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η άσβεστος η οποία αποπλένεται από το σκυρόδεμα αποτίθεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος δημιουργώντας λευκές **κηλίδες** ή **«σταλακτίτες»**. Η φθορά γίνεται επίσης αντιληπτή διότι η χαλάρωση του ιστού επιφανειακού σκυροδέματος δημιουργεί ανωμαλίες στην επιφάνεια, αφήνοντας να διαγραφούν καθαρά τα χονδρά αδρανή.

3.2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ

Το ανθρακικό οξύ είναι το υδάτινο διάλυμα του διοξειδίου του άνθρακα. Ανάλογα με την πίεση και την θερμοκρασία, το αέριο CO₂ διαλύεται στο

νερό και σχηματίζει ανθρακικό οξύ (H₂CO₃) σε πολύ μικρές ποσότητες (περίπου 1% κ.β.),

ενώ το υπόλοιπο παραμένει αδιάλυτο ως αέριο CO₂.

Το ανθρακικό οξύ περιέχεται σε επιφανειακά ή υπόγεια εδαφικά νερά, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν μικροποσότητες διαλυμένης άσβεστου. Κατά μέσον όρο, το νερό του εδάφους περιέχει 15 έως 40 mg CO₂ ανά λίτρο. Το νερό της βροχής απορροφώντας το CO₂ του ατμοσφαιρικού αέρα γίνεται ελαφρώς όξινο. Το ανθρακικό οξύ μπορεί ακόμα να προέρχεται από βακτηριδιακές ή ηφαιστειακές δραστηριότητες.

Το ανθρακικό οξύ αντιδρά με τα ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου, και δίνει τα αντίστοιχα όξινα ανθρακικά άλατα τα οποία είναι αβλαβή για το σκυρόδεμα.

Επομένως, η διάβρωση του σκυροδέματος από διάλυμα ανθρακικού οξέος θα συμβεί μόνο όταν απουσιάζουν τα ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου.

Το μαλακό νερό περιέχει μικρές ποσότητες ανθρακικού οξέος. Το σκληρό νερό, έστω και αν περιέχει μεγάλες ποσότητες ανθρακικού οξέος, προσβάλλει το σκυρόδεμα σε σπάνιες περιπτώσεις. Ο Moskvin πιστεύει ότι διάβρωση του σκυροδέματος θα συμβεί αν υπάρχει ποσότητα μεγαλύτερη από 15 mg διοξειδίου του άνθρακα ανά λίτρο νερού.

Ο S. Papp, (1949), πιστεύει ότι μέτρο για την επικινδυνότητα του διαλύματος είναι το pH και όχι η περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε ανθρακικό οξύ. Υποστηρίζει δε ότι είναι δυνατόν νερά με διαφορετική σκληρότητα και διαφορετικές συγκεντρώσεις ανθρακικού οξέος να έχουν ίδιες τιμές του PH.

3.2.2.1. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΕΩΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟ ΟΞΥ

Το ανθρακικό οξύ αντιδρά με το υδροξείδιο της άσβεστου και προκαλεί ενανθράκωση του σκυροδέματος.

Το ανθρακικό ασβέστιο που δημιουργείται φράσσει τους πόρους του τσιμεντοκονιάματος και έτσι προκαλείται και μια αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. Κατόπιν, το ανθρακικό ασβέστιο αντιδρώντας με ανθρακικό οξύ δίνει όξινο ανθρακικό ασβέστιο το οποίο αδιάλυτο στο νερό, και έτσι προκαλείται απόπλυση.

Το ανθρακικό οξύ μπορεί να αντιδράσει και με τα ένυδρα άλατα αργιλικού τριασβεστίου και σιδηρικού τριασβεστίου τα οποία στηρίζουν την συνάφεια

μεταξύ του τσιμεντοπολτού και των αδρανών, προκαλώντας χαλάρωση του σκυροδέματος.

Ο Υ. Efes,(1980),αναφέρει ότι τσιμέντο το οποίο περιέχει σκωρίες υψικαμίνων εμποδίζει την απόπλυση της άσβεστου από το σκυρόδεμα και την μείωση της θλιπτικής αντοχής.

Η ενανθράκωση του σκυροδέματος όταν ξεπεράσει την επικάλυψη του οπλισμού συνεπάγεται σοβαρή διάβρωση του χάλυβα.

3.2.3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΟΞΕΩΝ

Στη φύση, τα οξέα εμφανίζονται στο έδαφος και στα εδαφικά ύδατα π.χ. οργανικά οξέα, θειϊκό οξύ, νιτρικό οξύ φωσφορικό οξύ κ.λ.π.

Η φθορά που προκαλεί το οξύ στο σκυρόδεμα, εξαρτάται από την συγκέντρωση του οξέος στο διάλυμα, από την θερμοκρασία, αλλά κυρίως από την φύση του παραγόμενου άλατος ασβεστίου, δηλαδή αν είναι ευδιάλυτο, δυσδιάλυτο ή διογκούμενο. Η ισχύς του οξέος καθορίζεται από την τιμή του pH.

3.2.3.1. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΕΩΣ ΑΠΟ ΟΞΕΑ

Μερικά από τα οξέα αντιδρούν με τις ενώσεις του τσιμεντοπολτού και δίνουν **ευδιάλυτα** άλατα ασβεστίου τα οποία αποπλένονται από το σκυρόδεμα. Σ' αυτήν την κατηγορία οξέων ανήκουν το υδροχλωρικό οξύ ,το νιτρικό οξύ και το γαλακτικό οξύ. Ενδεικτικά αναφέρεται απλοποιημένη αντίδραση :



Αλλά οξέα σχηματίζουν **αδιάλυτα άλατα** αργιλίου τα οποία προστατεύουν το σκυρόδεμα από περαιτέρω προσβολή. Σ' αυτήν την κατηγορία ανήκουν το φωσφορικό οξύ, το αλκαλικό οξύ και το χουμικό οξύ.



Τέλος, το θειϊκό και το θειώδες οξύ σχηματίζουν γύψο, η οποία ενυδατώνεται και διογκώνεται.

3.2.4. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΛΑΤΩΝ

Στη φύση, τα άλατα υπάρχουν στο έδαφος, σε εδαφικά νερά και στο

θαλάσσιο νερό. Τα άλατα τα οποία συναντώνται συνηθέστερα είναι:

Χλωριούχα άλατα (νατρίου, ασβεστίου, αμμωνίου και μαγνησίου). Υπάρχουν στο θαλάσσιο νερό, σε βιομηχανικά απόβλητα και σε λιπάσματα. Μερικά απ' αυτά τα άλατα (το χλωριούχο νάτριο και το χλωριούχο ασβέστιο) χρησιμοποιούνται, όπως έχει ήδη αναφερθεί, ως αντιπαγωτικά άλατα. Άλλα χλωριούχα άλατα (όπως το χλωριούχο μαγνήσιο, αλλά και το χλωριούχο ασβέστιο κ.λ.π.) χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα στο σκυρόδεμα κατά την παρασκευή - του για να επηρεάσουν τις ιδιότητες του σκυροδέματος.

Νιτρικά και νιτρώδη άλατα (νατρίου, καλίου και αμμωνίου). Είναι ευδιάλυτα στο νερό.

Όπως αναφέρει ο V. Zivica, (1980), η διαβρωτική δράση των χλωριούχων και των νιτρικών αλάτων εξαρτάται πολύ από το **είδος του κατιόντος** του άλατος. Αν το κατιόν του άλατος, όπως το αμμώνιο, το μαγνήσιο και το αργίλιο, είναι λιγότερο βασικό από το ασβέστιο (πράγμα που σημαίνει ότι σχηματίζει πιο δύσκολα βάσεις), τότε η διάβρωση του σκυροδέματος οφείλεται στη φύση του παραγόμενου προ'ιόντος. Εάν, όμως, το κατιόν είναι περισσότερο βασικό από το ασβέστιο, όπως είναι το κάλιο και το νάτριο, τότε συμβαίνει πρόσθετη διάβρωση του σκυροδέματος λόγω ανταλλαγής βάσεων. Με την διαδικασία αυτή καταναλώνονται μεγάλες ποσότητες υδροξειδίου του ασβεστίου του σκυροδέματος.

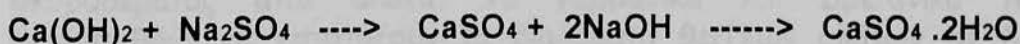
Ανθρακικά άλατα (ασβεστίου και μαγνησίου). Προσβάλλουν μόνο σκυρόδεμα το οποίο έχει παρασκευασθεί από **αργιλικό τσιμέντο**. Το ανθρακικό μαγνήσιο είναι αδιάλυτο στο νερό και δεν προκαλεί φθορά στο σκυρόδεμα.

Προέρχεται από τον δολομίτη (**CaMg (CO₃)₂**) ο οποίος με την επίδραση διαλύματος ανθρακικού οξέος διασπάται και δίνει ανθρακικό μαγνήσιο και όξινο ανθρακικό μαγνήσιο. Από αυτά τα άλατα, το όξινο ανθρακικό μαγνήσιο είναι ευδιάλυτο στο νερό, και δίνει ιόντα μαγνησίου τα οποία προκαλούν ελαφρά διάβρωση του σκυροδέματος.

- **Θειϊκά άλατα** (νατρίου, ασβεστίου, αμμωνίου και μαγνησίου). Είναι τα περισσότερο επικίνδυνα για το σκυρόδεμα άλατα. Ο μηχανισμός δράσεως των άλλων αλάτων. Λόγω διαφορετικού μηχανισμού φθοράς του σκυροδέματος, ξεετάζονται παρακάτω χωριστά η επίδραση γύψου και η επίδραση θειϊκών αλάτων μαγνησίου και αμμωνίου.

-- ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΓΥΨΟΥ

Η γύψος μπορεί να βρεθεί στο σκυρόδεμα με δύο τρόπους: α) Να μεταφερθεί διαλυμένη σε νερό και β) Να σχηματισθεί από την επίδραση θειϊκού άλατος στο υδροξείδιο του ασβεστίου του τσιμέντου π.χ.



Το σχηματιζόμενο από την αντίδραση θειϊκό ασβέστιο είναι εν μέρει διαλυτό και επομένως, δια του χρόνου, προκαλεί απόπλυση, ενώ το ένυδρο θειϊκό ασβέστιο διογκώνεται και προκαλεί θραύση στο σκυρόδεμα.

Η καταστρεπτική επίδραση της γύψου οφείλεται κυρίως στον σχηματισμό ένυδρου θειϊκού αργιλικού τριασβεστίου (ετρινγκίτη), το οποίο διογκώνεται πάρα πολύ, δημιουργώντας ρωγμές στο σκυρόδεμα.

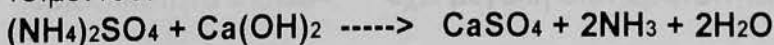
Ο σχηματισμός ετρινγκίτη εμποδίζεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Γι' αυτόν τον λόγο, στα θερμά κλίματα η φθορά του σκυροδέματος λόγω σχηματισμού ετρινγκίτη είναι μικρή.

Ο I. Biczok, (1972), αναφέρει ότι από την χημική ισορροπία της αντιδράσεως ένα μέρος του ετρινγκίτη διασπάται, δίνοντας πάλι γύψο η οποία εναποτίθεται στα τοιχώματα των ρωγμών. Η ενυδάτωση της γύψου συνοδεύεται από διόγκωση, με αποτέλεσμα να μεγαλώνουν περισσότερο οι ρωγμές και η γύψος να εισδύει σε μεγαλύτερα βάθη στο σκυρόδεμα. Μ' αυτόν τον τρόπο, επαναλαμβάνεται η διαδικασία σχηματισμού ετρινγκίτη, μεγαλώνοντας την φθορά του σκυροδέματος.

Η γύψος αντιδρά **μόνο** με τα αργιλικά άλατα του τσιμέντου.

--- ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΙΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΣΙΟΥ ΚΑΙ ΘΕΙΙΚΟΥ ΑΜΜΩΝΙΟΥ

Τα θειϊκά άλατα μαγνησίου και αμμωνίου αντιδρούν με το **Ca(OH)₂** του τσιμέντου.



Η κατανάλωση του Ca(OH)_2 προκαλεί την διάσπαση των προϊόντων ενυδατώσεως του τσιμέντου, για να αντισταθμιστεί η απώλεια του Ca(OH)_2 από τον τσιμεντοπολτό. Η διαδικασία αντιδράσεως του θειϊκού άλατος με το Ca(OH)_2 συνεχίζεται μέχρις ότου χρησιμοποιηθεί όλο το διαθέσιμο άλας ή το Ca(OH)_2 .

Η σοβαρή φθορά όμως την οποία προκαλούν τα θειϊκά άλατα μαγνησίου και αμμωνίου στο σκυρόδεμα οφείλεται στη διάσπαση του ένυδρου πυριτικού τριασβεστίου.

Η επίδραση θειϊκών αλάτων θεωρείται ως η σοβαρότερη προσβολή του σκυροδέματος από άλατα. Τα Γερμανικά και Βρετανικά πρότυπα προσπαθούν να κατατάξουν τα διαλύματα θειϊκών αλάτων σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με την περιεκτικότητα του διαλύματος σε θειϊκά άλατα, ως εξής:

mg SO_3 ανά λίτρο	< 300	ελαφρώς προσβλητικό
mg SO_3 ανά λίτρο	300 - 1000	μέτρια προσβλητικό
mg SO_3 ανά λίτρο	>1000	πολύ προσβλητικό

Η κατάταξη όμως δεν είναι απόλυτη.

Για την Παρασκευή σκυροδέματος ανθεκτικού σε επίδραση θειϊκών αλάτων, συνιστάται η χρήση ειδικών τσιμέντων όπως είναι τα αργιλικά και τα υπερθειϊκά τσιμέντα. Η ανθεκτικότητα του τσιμέντου Portland σε επίδραση θειϊκών αλάτων εξαρτάται από την περιεκτικότητα του τσιμέντου σε **C₃A**.

Αναφέρεται ότι τα τσιμέντα με προσμίξεις (π.χ. σκωρίες υψικαμίνων ή ποζολάνες) έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα σε επίδραση θειϊκών αλάτων. Πάντως, όσο ο λόγος N/T μειώνεται, τόσο ο ρόλος του τύπου του τσιμέντου αμβλύνεται.

Σε περίπτωση, όμως, ταυτόχρονης επιδράσεως διαφόρων ουσιών, η εκλογή του τσιμέντου πρέπει να γίνεται με ακόμα μεγαλύτερη προσοχή. Ως παράδειγμα αναφέρεται η χρήση τσιμέντου Portland με χαμηλή περιεκτικότητα σε **C₃A** και η χρήση τσιμέντου με μεγάλη περιεκτικότητα σε σκωρίες υψικαμίνων. Και τα δύο τσιμέντα έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα σε επίδραση θειϊκών αλάτων, αλλά το τσιμέντο Portland με χαμηλή περιεκτικότητα σε **C₃A** έχει μεγάλη διαπερατότητα στα ιόντα χλωρίου.

3.2.5. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΛΑΙΩΔΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

Έλαια τα οποία μπορεί να επιδράσουν στο σκυρόδεμα είναι:

- Έλαια θερμάνσεως με μικρό ιξώδες, π.χ. πετρέλαιο
- Έλαια θερμάνσεως με μεγάλο ιξώδες, π.χ. ορυκτέλαια με βάση την παραφίνη
- Πετρέλαιο καύσεως κινητήρων
- Λιπαντικά έλαια π.χ. γράσο, μέσου ή μεγάλου ιξώδους.

Η ποσότητα του απορροφούμενου ελαίου και το βάθος διεισδύσεως του ελαίου στο σκυρόδεμα εξαρτώνται από το ιξώδες του ελαίου και από την διαπερατότητα του σκυροδέματος.

Στην περίπτωση επιδράσεως ελαίου με μεγάλο ιξώδες στο σκυρόδεμα, γεμίζουν οι μεγάλοι πόροι του σκυροδέματος (υπό κανονική πίεση και χαμηλή θερμοκρασία), ενώ οι μικρότεροι πόροι παραμένουν κενοί.

Όταν σκυρόδεμα εμποτισμένο σε έλαιο εκτεθεί στο αέρα, θα χάσει μικρή ή μεγάλη ποσότητα του απορροφούμενου ελαίου, ανάλογα με το ιξώδες του ελαίου. Όσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες του ελαίου, τόσο μικρότερη είναι η απώλεια ελαίου με την ξήρανση.

Τα έλαια διαβρώνουν το σκυρόδεμα λόγω των οξειδωτικών συστατικών τα οποία συγκρατούν (κυρίως φαινόλες και οργανικά οξέα). Τα έλαια **εμποδίζουν** την πραγματοποίηση των φαινομένων τα οποία συμβαίνουν με την έκθεση του σκυροδέματος στον αέρα π.χ. διείσδυση νερού, ενανθράκωση κ.λ.π.

Για σκυρόδεμα το οποίο θα υποστεί την επίδραση ελαίων σε νεαρή ηλικία, συνίσταται η Παρασκευή σκυροδέματος με ποιότητα ανώτερη από την ποιότητα την οποία εκλέγουμε κατά τον στατικό σχεδιασμό. Εμποτισμός σκυροδέματος μεγάλης ηλικίας με έλαια δεν προκαλεί διάβρωση στο σκυρόδεμα.

3.2.6. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΛΛΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

Διάφορες οργανικές ενώσεις, όπως είναι η ζάχαρη, οι φαινόλες, η γλυκερόλη, είναι ελαφρά διαβρωτικές για το σκυρόδεμα. Άλλες ενώσεις όπως είναι η μεθυλική και η αιθυλική αλκοόλη είναι ισχυρά διαβρωτικές. Οι αλδεύδες, όταν επιδρούν μόνες τους είναι αβλαβείς για το σκυρόδεμα, ενώ διαλυμένες σε διάλυμα φορμαλδεύδης γίνονται μέτρια διαβρωτικές.

3.2.7. ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ

Διάβρωση του σκυροδέματος λόγω βιολογικών επιδράσεων μπορεί να προκληθεί από διάφορους φυτικούς ή ζωϊκούς μικροοργανισμούς. Οι μικροοργανισμοί αυτοί για την ανάπτυξη τους χρειάζονται ίχνη μεταλικών στοιχείων τα οποία προμηθεύονται από την επιφάνεια του σκυροδέματος. Μ' αυτόν τον τρόπο προκαλούν διάβρωση στο σκυρόδεμα. Η επίδραση των μικροοργανισμών μπορεί να συμβεί σε επιφάνειες του σκυροδέματος οι οποίες βρίσκονται κοντά στη θάλασσα, σε υγρό περιβάλλον ή στο εσωτερικό αγωγών αποχετεύσεως. Βιολογική επίδραση στο σκυρόδεμα μπορεί να προκαλείται από τους εξής παράγοντες:

- **Ρίζες φυτών.** Εισδύουν στο σκυρόδεμα από τις διάφορες μικρορωγμές και από τα αδύνατα σημεία του σκυροδέματος. Με τις διαρηκτικές δυνάμεις τις οποίες ασκούν, προκαλούν πρόσθετη ρηγμάτωση. Με την ανάπτυξη των φυτών συκρατείται νερό στην επιφάνεια του σκυροδέματος λόγω επιδράσεως παγετού. Η έκκριση οξέων από τις ρίζες μπορεί να προκαλέσει χημική διάβρωση του τσιμεντοκονιάματος. Η σήψη των ριζών δίνει χουμικό οξύ το οποίο επίσης προκαλεί διάβρωση.
- **Λειχήνες και βρύα.** Αναπτύσσονται σε υγρό σκυρόδεμα, συνήθως δε η παρουσία τους περνά απαρατήρητη. Μείωση της τιμής του pH στην επιφάνεια του σκυροδέματος φαίνεται ότι επιταχύνει την ανάπτυξή τους. Με την παρουσία ανθρακικού οξέος η δράση τους γίνεται ελαφρώς διαβρωτική.
- **Φύκια.** Η επίδρασή τους είναι λιγότερο επιζήμια από την επίδραση των ζωϊκών μικροοργανισμών (βακτηρίων). Συνήθως **προστατεύουν** το σκυρόδεμα και τον χάλυβα από διάβρωση, επειδή καταναλώνουν το οξυγόνο του νερού, προτού να εισδύσει το οξυγόνο στο σκυρόδεμα. Είναι δυνατόν, όμως, να προκαλέσουν φθορά στο σκυρόδεμα όταν βρίσκονται σε περιοχή η οποία διαβρέχεται διαδοχικά και ξηραίνεται, διότι τότε συκρατούν θαλάσσιο νερό στο οποίο η συγκέντρωση αλάτων αυξάνεται με την εξάτμιση. Επίσης, διάβρωση του σκυροδέματος μπορεί να προκαλέσουν ορισμένα μαλάκια τα οποία προσκολλώνται στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

Βακτήρια. Αναπτύσσονται σε απορρίμματα και σε αγωγούς αποχετεύσεως, αντέχουν σε μεγάλες μεταβολές της θερμοκρασίας. Η επίδραση των βακτηρίων είναι δύο ειδών:

1. Επίδραση βακτηρίων για διάσπαση των θειϊκών αλάτων
2. Επίδραση βακτηρίων για σύνθεση των θειϊκών αλάτων

Ας εξετάσουμε συνοπτικά καθεμιά απ' τις επιδράσεις:

- Επίδραση βακτηρίων για διάσπαση των θειϊκών αλάτων (Αναερόβια δράση).

Τα βακτήρια τα οποία διασπούν τα θειϊκά άλατα, ζουν από τήν οξειδωση διαφόρων στοιχείων εκτός από τον άνθρακα, όπως είναι το άζωτο, το θείο και ο σίδηρος. Τα βακτήρια αυτά διασπούν τα θειϊκά άλατα, από τα θειϊκά δε ιόντα και αέριο υδρογόνο συνθέτουν υδρόθειο.

- Επίδραση βακτηρίων για σύνθεση θειϊκών αλάτων (Αερόβια δράση)
τα βακτήρια συνθέσεως θειϊκών ενώσεων αναπτύσσονται σε περιοχές όπου υπάρχουν θερμότητα, υγρασία και ενώσεις θείου. Για να προκαλέσουν τα βακτήρια σοβαρή φθορά στο σκυρόδεμα, πρέπει να υπάρχουν επαρκείς ποσότητες υδρόθειου, διοξειδίου του άνθρακα, αζώτου, οξυγόνου και διάφορες άλλες ενώσεις όπως ευδιάλυτες ενώσεις φωσφόρου, σιδήρου και διάφορα ιχνοστοιχεία.

Ο Η. Thornton, (1978), αναφέρει ότι το καταστρεπτικότερο για το σκυρόδεμα βακτήριο είναι ο θειοβάκιλλος, ο οποίος οξειδώνει το υδροθείο σε θειϊκό οξύ.

Σε νέο σκυρόδεμα τα βακτήρια δεν αναπτύσσονται, λόγω της μεγάλης αλκαλικότητας του σκυροδέματος ($pH=12$). Με την ενανθράκωση όμως του σκυροδέματος, το pH μειώνεται αρκετά (γίνεται 9 ή λιγότερο). Γι' αυτές τις τιμές της αλκαλικότητας είναι δυνατόν να αναπτυχθεί το βακτήριο *Thiobacillus thioarans*, το οποίο χρησιμοποιώντας υδρόθειο ως πρώτη ύλη συνθέτει υποθειώδες και υποθειονικό οξύ.

Με τη δημιουργία του υποθειονικού οξέος, το pH στην επιφάνεια του σκυροδέματος μειώνεται και γίνεται περίπου 5. Τότε, ο *Thiobacillus concretivorus* δημιουργεί μεγάλες συγκεντρώσεις θειϊκού οξέος, μειώνοντας περισσότερο το pH σε 2 και λιγότερο.

Η φθορά του σκυροδέματος σε αγωγούς αποχετεύσεως εμφανίζεται πάνω από τήν στάθμη των υδάτων. Επομένως η φθορά του σκυροδέματος δεν οφείλεται σε επίδραση όξινου νερού.

3.2.8. ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΑΛΚΑΛΙΩΝ - ΑΔΡΑΝΩΝ

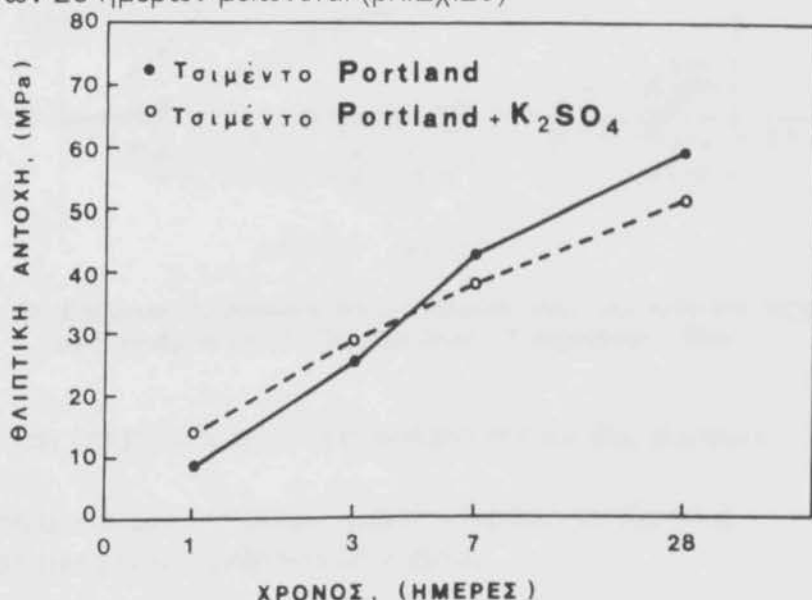
Για να πραγματοποιηθεί η αντίδραση αλκαλίων - αδρανών, χρειάζεται η παρουσία των εξής τριών παραγόντων:

- Επαρκής ποσότητα αλκαλίων στο σκυρόδεμα
- Αντιδρώντα αδρανή
- Επαρκής υγρασία

Αν κάποιος απ' αυτούς τους παράγοντες δεν υπάρχει, τότε η αντίδραση δεν θα συμβεί.

Τα αλκάλια (άλατα νατρίου, καλίου κ.λ.π.) μπορεί να προέρχονται από τα αδρανή ή να μεταφερθούν στο σκυρόδεμα π.χ. από διαλύματα σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, από αντιπαγωγικά άλατα αλκαλίων σε καταστρώματα γεφυρών, από θαλάσσιο νερό κ.λ.π. κυρίως όμως βρίσκονται στο τσιμέντο, από τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την Παρασκευή του τσιμέντου (άργιλος, ασβεστόλιθος, σχιστόλιθος).

Τα αλκάλια ενδέχεται να έχουν προστεθεί στο τσιμέντο για να βελτιώσουν την ποιότητα του : Αυξάνοντας την περιεκτικότητα του τσιμέντου σε αλκάλια, αυξάνεται η αντοχή του τσιμεντοπολτού τις πρώτες ημέρες, ενώ η αντίστοιχη αντοχή των 28 ημερών μειώνεται (βλ. Σχ.29)



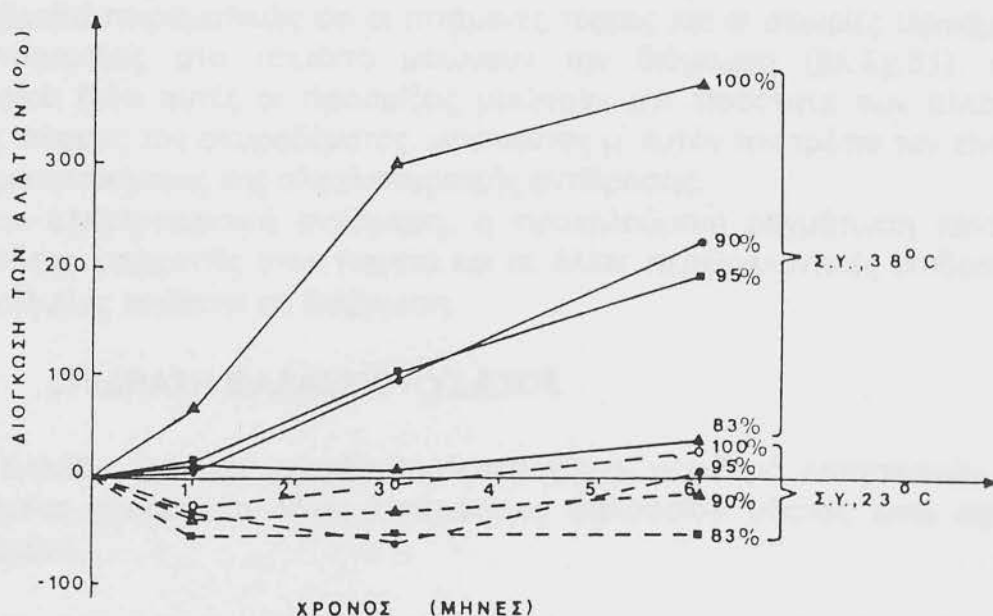
Σχ. 29.: Ανάπτυξη της αντοχής τσιμέντου Portland με και χωρίς διαλυτά αλκάλια (I. Wornig, V. Johansen, 1983).

Η περιεκτικότητα του τσιμέντου σε αλκάλια εκφράζεται συμβατικά από τα οξειδία των αλκαλίων Na_2O και K_2O . Στην πραγματικότητα, τα αλκάλια στο σκυρόδεμα βρίσκονται υπό την μορφή των θειϊκών αλάτων Na_2SO_4 και K_2SO_4 τα οποία είναι ευδιάλυτα. Με την προσθήκη νερού στο τσιμέντο, τα θειϊκά άλατα λαμβάνουν μέρος σε μία σειρά αντιδράσεων, εμπλουτίζοντας το νερό των πόρων με Na , K , OH , Ca , SO_4 , Cl . Με τα αλκάλια το pH του νερού των πόρων είναι 13 έως 14, ενώ χωρίς αλκάλια δεν ξεπερνά το 12.5.

Η περιεκτικότητα του τσιμέντου σε αλκάλια ποικίλλει από 0.15% έως 1.5 κ.β. τσιμέντου.

Όσον αφορά την υγρασία, απαιτείται υγρασία μεγαλύτερη από 75%. Στο εσωτερικό κτιρίων δεν μπορεί να συμβεί η αντίδραση αδρανών - αλκαλίων. Θεωρητικά, η αντίδραση μπορεί να συμβεί στο κέντρο μεγάλης μάζας

σκυροδέματος λόγω συγκρατήσεως μεγάλων ποσοτήτων υγρασίας. Ιδιαίτερα επικίνδυνες είναι οι υγρές και ταυτόχρονα θερμές συνθήκες (βλ. Σχ.30).



Σχ. 30.: Επίδραση της υγρασίας και της θερμοκρασίας στην ταχύτητα της αλκαλοπυριτικής αντιδράσεως. (G. Cusumundsson - H. Aegirsson, 1983).

Η αντίδραση μεταξύ αδρανών και αλκαλίων είναι δύο μορφών:

- Αντίδραση αλκαλίων - πυριτίου (αλκαλοπυριτική αντίδραση)
- Αντίδραση αλκαλίων - ανθρακικών αλάτων.

Ας εξετάσουμε συνοπτικά τις μορφές αυτές αντιδράσεων.

3.2.8.1. ΑΛΚΑΛΟΠΥΡΙΤΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ

Τα αδρανή μπορεί να περιέχουν **άμορφο πυρίτιο** όταν προέρχονται από βασάλτη, χαλαζία, οπάλιο λίθο κ.λ.π. Μπορεί ακόμα να περιέχουν πυρίτιο υπό **κρυσταλλική μορφή** όταν προέρχονται από μεταμορφωσιγενή πετρώματα όπως είναι ο γνευσίτης, ο σχιστόλιθος κ.λ.π.

Άλλα πετρώματα, για παράδειγμα ο πυρόλιθος, μπορεί να περιέχουν ταυτόχρονα άμορφο και κρυσταλλικό πυρίτιο.

Το πυρίτιο μπορεί να αντιδράσει με το υδροξείδιο του ασβεστίου του σκυροδέματος. Το ένυδρο άλας ασβεστοπυριτίου το οποίο σχηματίζεται, μοιάζει με τα προϊόντα ενυδατώσεως του τσιμέντου, αλλά έχει αρκετά μικρότερη αντοχή.

Η αλκαλοπυριτική αντίδραση είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη όταν συμβαίνει κατά την διάρκεια **ενυδατώσεως** του τσιμέντου, διότι τότε η συγκέντρωση των αλκαλίων στους πόρους του πήγματος γίνεται πολύ μεγάλη.

Έχει βρεθεί πειραματικώς ότι οι ιπτάμενες τέφρες και οι σκωρίες υψικαμίνων ως προσμίξεις στο τσιμέντο μειώνουν την διόγκωση (βλ.Σχ.31). Αυτό συμβαίνει διότι αυτές οι προσμίξεις μειώνουν την ποσότητα των αλκαλίων στους πόρους του σκυροδέματος, μειώνοντας μ' αυτόν τον τρόπο τον κίνδυνο πραγματοποίησεως της αλκαλοπυριτικής αντίδρασης.

Με την αλκαλοπυριτική αντίδραση, η προκαλούμενη ρηγμάτωση κάνει το σκυρόδεμα επιρρεπές στον παγετό και σε άλλες περιβαλλοντικές επιδράσεις, ο δε χάλυβας εκτίθεται σε διάβρωση.

3.2.9. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΥΔΑΤΟΣ

Στην Ελλάδα, μια κατ' εξοχήν θαλάσσια χώρα, η φθορά κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα λόγω επιδράσεως θαλασσίου ύδατος είναι αρκετά εκτεταμένη.

Κατασκευές από σκυρόδεμα οι οποίες έρχονται σε άμεση επαφή με το θαλασσίο νερό είναι γέφυρες, αποβάθρες, λιμενοβραχίονες κ.λ.π.

Ο μηχανισμός φθοράς λόγω **επιδράσεως** θαλασσίου ύδατος είναι πολύπλοκος διότι συνδυάζει πολλές φυσικές και χημικές επιδράσεις:

- Υδροφθορά
- Επίδραση παγετού - τήξεως
- Επίδραση του **CO₂**
- Επίδραση των αλάτων μέσα στο νερό (κυρίως θειϊκών και χλωριούχων, ιδίως δε του μαγνησίου)
- Επίδραση αλκαλίων (νατρίου και καλίου)
- (Σχηματισμός βιολογικής μεμβράνης στην επιφάνεια του σκυροδέματος

Επίδραση μαγνησίου

Το μαγνήσιο βρίσκεται στα νερά των υδάτων κυρίως υπό τη μορφή των αλάτων MgSO₄, MgCl₂, MgHCO₃. Το μαγνήσιο προέρχεται από διάφορα πετρώματα, κυρίως από δολομίτη ή σε μικρότερες ποσότητες από βιομίτη, κρυσθίτη ή γλαυκασίτη. Μετά την αποξάνθωση οργανικών ουσιών, το μαγνήσιο εμφανίζεται ως απόκρυμμο της φυτικής χλωροφύλλης.

3.2.10. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ

Όταν το σκυρόδεμα έρχεται σε επαφή με το έδαφος, υπάρχει ο κίνδυνος το σκυρόδεμα να προσβληθεί χημικά από τις διάφορες ουσίες που υπάρχουν στο έδαφος. Γι' αυτόν τον λόγο, συνίσταται να γίνεται ανάλυση του εδαφικού υλικού ή του εδαφικού νερού όταν δεν γνωρίζουμε πόσο διαβρωτικό είναι το έδαφος. Η ανάλυση γίνεται για να προσδιορισθεί: η περιεκτικότητα του εδάφους και του εδαφικού νερού σε θειϊκά άλατα, χλωριόντα, η τιμή του pH, και η παρουσία ιόντων νατρίου, καλίου, ασβεστίου, μαγνησίου, αμμωνίου και νιτρικών ιόντων.

· **Θειϊκά άλατα**

Οι ενώσεις θείου στο έδαφος και στα εδαφικά νερά προέρχονται από εδαφικά πετρώματα, τα λιπάσματα και τα οργανικά απόβλητα. Οι συγκεντρώσεις των θειϊκών αλάτων ποικίλλουν ανάλογα με την τοπική στρωματογραφία, τη προσθήκη θειϊκών λιπασμάτων, το είδος των αποβλήτων και την απόσταση από την επιφάνεια. Οι βιομηχανίες παραγωγής χάρτου και οι εγκαταστάσεις διανοίξεως ορυχείων είναι συνήθως πηγές υποπροϊόντων πλούσιων σε θείο.

· **Οξύτητα ή αλκαλικότητα του εδαφικού νερού**

Η οξύτητα του εδαφικού νερού οφείλεται στο CO_2 στα οργανικά οξέα και στα όξινα άλατα. Τα νερά των ελών οφείλουν την οξύτητά τους κυρίως στο θειϊκό ή θειώδες οξύ, τα οποία προέρχονται από την οξείδωση του υδρόθειου ή του θειούχου σιδήρου FeS_2 .

Τα **αργιλικά** εδάφη είναι συνήθως βασικά, τα δε **αμμώδη** εδάφη είναι ουδέτερα ή όξινα. Στο ίδιο έδαφος το pH μεταβάλλεται α) με το βάθος από την ελεύθερη επιφάνεια, β) με το ύψος της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και γ) με την εποχή. Το pH μειώνεται το χειμώνα σε σύγκριση με το καλοκαίρι, διότι το παγωμένο νερό απορροφά μεγαλύτερες ποσότητες CO_2 και σχηματίζεται ανθρακικό οξύ. Το pH του εδάφους μειώνεται από το χουμικό οξύ. Το χουμικό οξύ αντιδρά με τα άλατα ασβεστίου του σκυροδέματος, και σχηματίζεται το χουμικό ασβέστιο το οποίο είναι αδιάλυτο στο νερό. Το χουμικό ασβέστιο εμφανίζεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος ως καφέ στρώμα και παρέχει κάποιο είδος προστασίας διότι σφραγίζει τους πόρους του σκυροδέματος.

· **Ιόντα μαγνησίου**

Το μαγνήσιο βρίσκεται στο νερό του εδάφους κυρίως υπό τη μορφή των αλάτων MgSO_4 , MgCl_2 , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Το μαγνήσιο προέρχεται από διάφορα πετρώματα, κυρίως από δολομίτη ή σε μικρότερες ποσότητες από βιοτίτη, χλωρίτη ή γλαυκονίτη. Μετά την αποσύνθεση οργανικών ουσιών, το μαγνήσιο εμφανίζεται ως υπόλειμμα της φυτικής χλωροφύλλης.

Όλα τα άλατα μαγνησίου είναι επιβλαβή για το σκυρόδεμα, (πιο προσβλητικά ακόμα και από τα θειϊκά άλατα **CaSO₄**, **Na₂SO₄**) διότι αντιδρούν όχι μόνο με το **Ca(OH)₂** του σκυροδέματος, αλλά διασπούν τα προΐόντα ενυδατώσεως του τσιμέντου.

Όταν στο νερό υπάρχει μικρή μόνο ποσότητα μαγνησίου, σχηματίζεται **Mg(OH)₂** το οποίο είναι αδιάλυτο στο νερό, φράσσει τους πόρους του σκυροδέματος και εμποδίζει την διείσδυση θειϊκών ιόντων στο σκυρόδεμα.

• Σιδηροβακτήρια

Τα βακτήρια σιδήρου υπάρχουν στα προΐόντα αποσαθρώσεως πετρωμάτων τα οποία περιέχουν σίδηρο ή μαγνήσιο (π.χ. βωξίτης, βιοτίτης, σιδηροπυρίτης, κ.λ.π.) . συνήθως, τα σιδηροβακτήρια αναπτύσσονται σε κακώς αεριζόμενα ουδέτερα εδάφη (pH=5.5 έως 8.5) τα οποία έχουν αρκετά μεγάλες ποσότητες νερού λόγω κακής αποστραγγίσεως.

Τα σιδηροβακτήρια προσκολλώνται στο σκυρόδεμα, διασπούν τις ενώσεις του σιδήρου και ελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα.

Το οξείδιο του σιδήρου **Fe(OH)₃** το οποίο έχει καφέ χρώμα προκαλεί αποφλοίωση του σκυροδέματος. Μεγάλη φθορά προκαλείται σε σκυρόδεμα το οποίο έχει παρασκευασθεί από τσιμέντο με μεγάλη περιεκτικότητα σε **Fe₂O₃** ή από αδρανή τα οποία περιέχουν σίδηρο.

Το σκυρόδεμα μπορεί να προστατευθεί αν αφαιρέσουμε τη βακτηριοκαλλιέργεια και απολυμάνουμε την επιφάνεια του σκυροδέματος με χλωριωμένη άσβεστο.

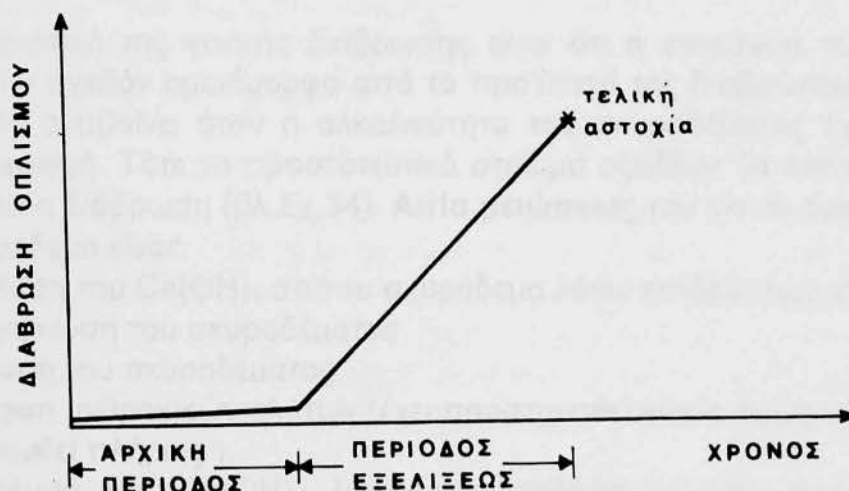
4. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΙΔΗΡΟΠΛΙΣΜΩΝ

4.0 Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Το σκυρόδεμα παρέχει στο χάλυβα προστασία έναντι διαβρώσεως την ονομαζόμενη «παθητική» προστασία. Αιτία είναι η αλκαλικότητα του σκυροδέματος εξαιτίας του υδροξειδίου του ασβεστίου, υποπροϊόντως της ενυδατώσεως του τσιμέντου. Έτσι, για μεγάλες τιμές του pH (από 9 έως 12.8) σχηματίζεται στην επιφάνεια του μετάλλου ένα πολύ λεπτό και σφικτά προσκολλημένο στρώμα οξειδίων του σιδήρου. Το στρώμα οξειδίων σχηματίζεται **μόνο σε καθαρή επιφάνεια** του μετάλλου. Όσο υπάρχει το προστατευτικό στρώμα, δεν θα συμβεί διάβρωση του χάλυβα, ακόμα και αν υπάρχουν οι παράγοντες οι οποίοι απαιτούνται για την εξέλιξη του φαινομένου της διάβρωσης. Είναι επίσης δυνατόν να έχει καταστραφεί το στρώμα οξειδίων, αλλά ο χάλυβας να μην διαβρώνεται επειδή οι περιβαλλοντικές συνθήκες δεν είναι "ευνοϊκές", π.χ. σε σκυρόδεμα βυθισμένο σε νερό (λόγω ανεπάρκειας οξυγόνου) ή σε σκυρόδεμα στο εσωτερικό κτιρίων (λόγω ελλείψεως υγρασίας). Διάβρωση του χάλυβα συμβαίνει σε διάφορες περιπτώσεις, όπως:

1. Το σκυρόδεμα είναι κακής ποιότητας και παύει να παρέχει παθητική προστασία στον χάλυβα, π.χ. η διαπερατότητα του σκυροδέματος είναι μεγάλη ώστε να επιτρέπει την διείσδυση χλωριόντων.
2. Το περιβάλλον δεν ήταν το αναμενόμενο ή άλλαξε κατά τη διάρκεια χρήσεως της κατασκευής, π.χ. οι χώροι έχουν αυξημένη υγρασία ή οι ξηρές συνθήκες μεταβλήθηκαν ξαφνικά σε υγρές, όπως συμβαίνει σε κουζίνες και πλυντήρια.
3. Ο χάλυβας έρχεται σε επαφή με υλικά τα οποία δεν παρουσιάζουν αλκαλικότητα όπως π.χ. έδαφος, ξύλο, νερό, υδρομονωτικά υλικά κ.λ.π. Τα υλικά αυτά είναι πιθανόν να είναι να είναι μέρος της κατασκευής ή να έρθουν σε επαφή με τον χάλυβα μετά από τυχόν ρηγμάτωση του σκυροδέματος.
4. Ο χάλυβας έχει κατασκευαστικές ατέλειες ή είναι εξαιρετικά ευαίσθητος ή έρχεται σε επαφή με άλλα μέταλλα.

Για τον καθορισμό της διάρκειας μιας κατασκευής, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε πότε θα εμφανιστεί η διάβρωση του χάλυβα ποιες παράμετροι επηρεάζουν τη διαδικασία διαβρώσεως και με ποιόν τρόπο. α) χωρίζει τη διάρκεια ζωής σε δύο περιόδους, την αρχική περίοδο (t_0) και την περίοδο εξελίξεως (t_1) (βλ. Σχ.33).



Σχ. 33. Εξέλιξη της διαβρώσεως του χάλυβα στο σκυρόδεμα (Κ. Tuutti, 1982, αναφέρεται από τον P. Schiessl, 1983a).

Κατά την **αρχική περίοδο** συμβαίνουν εκείνες οι διαδικασίες οι οποίες καταστρέφουν την παθητική προστασία του χάλυβα (π.χ. ενανθράκωση του σκυροδέματος, διείσδυση χλωριόντων στο σκυρόδεμα κ.λ.π.). Κατά την **περίοδο εξέλιξης** προάγεται η διαδικασία διαβρώσεως με την παρουσία επαρκών ποσοτήτων οξυγόνου και υγρασίας, μέχρις ότου επέλθει η "τελική αστοχία". Ο τρόπος με τον οποίο διαβρώνεται ο χάλυβας ποικίλλει σημαντικά, ανάλογα με την αιτία που προκαλεί τη διάβρωση. Αν θελήσουμε να κατατάξουμε τις μορφές διάβρωσης σε **κατηγορίες**, πρέπει να διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

- Γενική ή ομοιόμορφη διάβρωση
- 1. Διάβρωση κατά βελονισμό (pitting)
- 2. Μικρορηγματώδης διάβρωση (crevice)
- 3. Διάβρωση μεταξύ των κόκκων (intergranular)
- Διάβρωση λόγω αναπτύξεως εξωτερικής διαφοράς δυναμικού.
- 1. Γαλβανική δράση (galvanic)
- 2. Ηλεκτρολυτική διάβρωση (electrolytic)
- Διάβρωση υπό μηχανική τάση (stress corrosion)

Από τις παραπάνω μορφές, η διάβρωση υπό μηχανική τάση εμφανίζεται μόνο στους προεντεταμένους χάλυβες.

Ας εξετάσουμε τώρα αναλυτικά κάθε μορφή διαβρώσεως η οποία μπορεί να εμφανιστεί στους συνοπλισμούς ή στους προεντεταμένους χάλυβες.

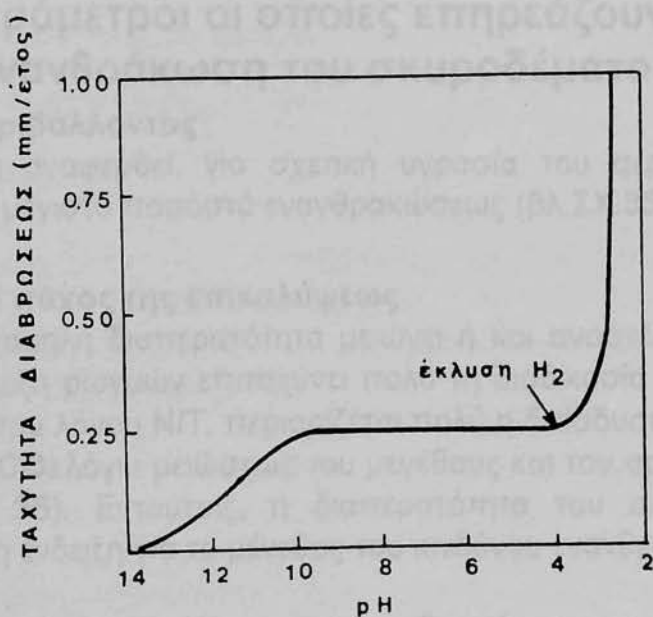
4.1 ΓΕΝΙΚΗ Η ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Χαρακτηριστικό της γενικής διάβρωσης είναι ότι η επιφάνεια του μετάλλου καλύπτεται σχεδόν ομοιόμορφα από τα προϊόντα της διαβρώσεως. Η γενική διάβρωση συμβαίνει όταν η αλκαλικότητα του σκυροδέματος έχει χαθεί σε ευρεία περιοχή. Τότε το προστατευτικό στρώμα οξειδίων θα καταστραφεί και θα αρχίσει η διάβρωση (βλ. Σχ.34). **Αιτία μείωσης** του pH σε ευρεία περιοχή στο σκυρόδεμα είναι:

- Απόπλυση του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ από το σκυρόδεμα λόγω επιδράσεως νερού.
- Ενανθράκωση του σκυροδέματος
- Επίδραση του σκυροδέματος
- Επίδραση ανθρακικών αλάτων (έχει παρατηρηθεί χωρίς όμως να έχει ακόμα τεκμηριωθεί πλήρως).

Η απόπλυση του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ λόγω της επιδράσεως του νερού έχει ήδη εξετασθεί.

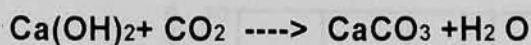
Θα εξετάσουμε εδώ πώς η ενανθράκωση καταστρέφει το παθητικό στρώμα οξειδίων στην επιφάνεια του χάλυβα.



Σχ. 34. Επίδραση της τιμής του pH στην ταχύτητα διαβρώσεως σιδήρου σε αεριζόμενο μαλακό νερό υπό θερμοκρασία δωματίου (H. Uhlig, 1971, αναφέρεται από το ACI 222R-85).

4.1.1. Ενανθράκωση του σκυροδέματος

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



Για την πραγματοποίηση της αντίδρασης, απαιτούνται μικρές ποσότητες νερού. Το μεγαλύτερο ποσοστό ενανθρακώσεως παρατηρείται σε αέρα με σχετική υγρασία 50 έως 70%. Το ξηρό σκυρόδεμα δεν θα ενανθρακωθεί, λόγω απουσίας της απαιτούμενης υγρασίας, ενώ σε κορεσμένο με νερό σκυρόδεμα εμποδίζεται η διάχυση του αερίου CO_2 στους πόρους του σκυροδέματος.

Το νερό που δημιουργείται μετά την αντίδραση, διαχέεται προς το εσωτερικό του σκυροδέματος και η διαδικασία συνεχίζεται σε μεγαλύτερα βάθη του σκυροδέματος. Το pH μειώνεται, σε πλήρως δε ενανθρακωμένο σκυρόδεμα παίρνει περίπου την τιμή 8.3.

4.1.1.1. Παράμετροι οι οποίες επηρεάζουν την ενανθράκωση του σκυροδέματος.

- **Συνθήκες περιβάλλοντος**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για σχετική υγρασία του αέρα 50 έως 70% παρατηρείται το μέγιστο ποσοστό ενανθρακώσεως (βλ.ΣΧ.35).

- **Ποιότητα και πάχος της επικάλυψης**

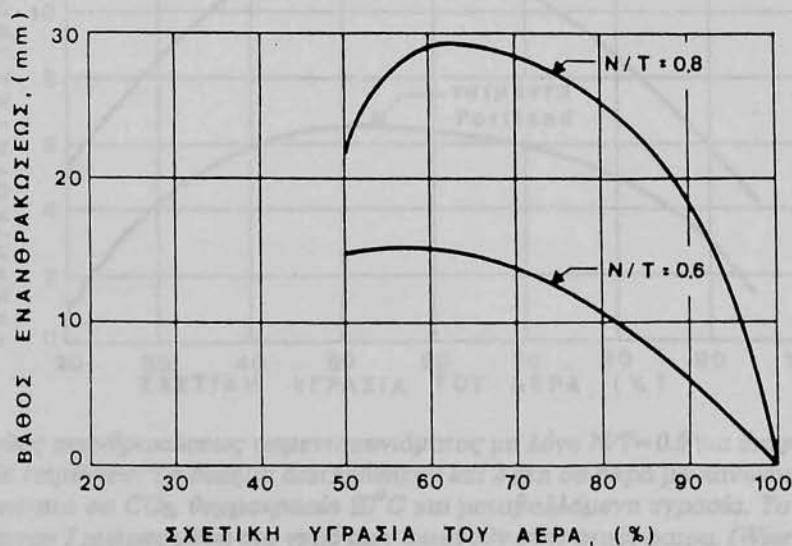
Επικάλυψη με χαμηλή διαπερατότητα μειώνει ή και αναστέλλει τη διείσδυση του CO_2 . Η ύπαρξη ρωγμών επιταχύνει πολύ τη διαδικασία ενανθρακώσεως. Για μικρές τιμές του λόγου N/T , περιορίζεται πολύ η διείσδυση υγρασίας και η διάχυση αερίου CO_2 λόγω μείωσης του μεγέθους και του αριθμού τριχοειδών πόρων (βλ.Σχ. 35). Εντούτοις, η διαπερατότητα του σκυροδέματος δεν αποτελεί τη μόνη ένδειξη για το μέγεθος του κινδύνου ενανθρακώσεως.

Όπως αναφέρεται, τα προΐοντα της ενανθρακώσεως εναποτίθενται στους τριχοειδείς πόρους του σκυροδέματος και μειώνουν μ' αυτόν τον τρόπο το πορώδες.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το βάθος ενανθρακώσεως ακολουθεί συνάρτηση τετραγωνικής ρίζας του χρόνου. Επομένως, αν διπλασιασθεί η επικάλυψη τετραπλασιάζεται ο χρόνος για την έναρξη της διαβρώσεως οπλισμών.

Η αύξηση, όμως, της επικάλυψης δεν εξασφαλίζει τον χάλυβα από τον κίνδυνο της διαβρώσεως. Μικρή επικάλυψη καλής ποιότητας είναι πολύ καλύτερη από επικάλυψη μεγάλου πάχους αλλά χαμηλής ποιότητας. Επιπλέον, η επικάλυψη δεν πρέπει να ξεπεράσει ένα ορισμένο όριο, διότι τότε

απαιτείται **πρόσθετος** οπλισμός για να περιορισθεί το εύρος των ρωγμών. Το πάχος της επικάλυψης συνιστάται συνήθως να είναι 15 έως 50 mm.



Σχ. 35. Βάθος ενανθράκωσης σε σκυρόδεμα με τιμές του λόγου N/T 0.6 και 0.8. Τα δοκίμια σκυροδέματος διατηρήθηκαν για 16 έτη σε αέρα με κανονική περιεκτικότητα σε CO_2 , θερμοκρασία $20^\circ C$ και μεταβαλλόμενη υγρασία (Wierig, 1984, αναφέρεται από τον E. Poulsen, 1985).

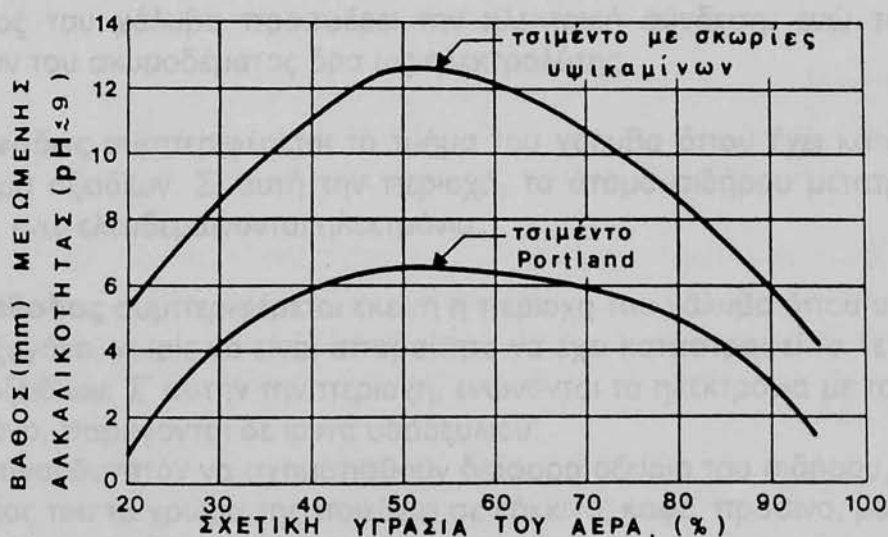
• Είδος τσιμέντου

Έχει βρεθεί πειραματικώς ότι η ενανθράκωση του σκυροδέματος εξαρτάται από το είδος του τσιμέντου. Συγκεκριμένα, τα τσιμέντα που περιέχουν **σκωρίες υψικαμίνων και ποζολάνες** ενανθράκωνονται γρηγορότερα από το τσιμέντο Portland (βλ. Σχ. 36).

Βρέθηκε πειραματικώς ότι **προσθήκη ιπτάμενων τεφρών** στο τσιμέντο επιταχύνει την ενανθράκωση σε σκυρόδεμα με αντοχή μικρότερη από 30 έως 35 MPa . Πάντως, σε σκυρόδεμα μεγαλύτερης αντοχής δεν προκαλείται μεταβολή της ταχύτητας ενανθράκωσης, υπό την προϋπόθεση ότι έχει γίνει πολύ καλή συντήρηση.

Η προσθήκη **πυριτικής παιπάλης** (αντικατάσταση ορισμένης ποσότητας τσιμέντου με πυριτική παιπάλη ίσου βάρους) επιταχύνει την ενανθράκωση του σκυροδέματος όταν η σύγκριση γίνεται μεταξύ σκυροδεμάτων της ίδιας αντοχής στις 28 ημέρες.

Το σκυρόδεμα το οποίο έχει τσιμέντο με πυριτική παιπάλη προκαλεί αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος σε σχέση με σκυρόδεμα το οποίο έχει τσιμέντο χωρίς πυριτική παιπάλη και τον ίδιο λόγο N/T .



Σχ. 36. Βάθος ενανθρακώσεως τσιμεντοκονιάματος με λόγο $N/T=0.6$ για διαφορετικά είδη τσιμέντου. Τα δοκίμια διατηρήθηκαν επί 2 έτη σε αέρα με κανονική περιεκτικότητα σε CO_2 , θερμοκρασία $20^\circ C$ και μεταβαλλόμενη υγρασία. Τα δοκίμια έμειναν 7 ημέρες μέσα στο νερό πριν εκτεθούν στην ατμόσφαιρα. (Wierig, 1984, αναφέρεται από τον E. Poulsen, 1985).

Αυτή η μείωση αλκαλικότητας εξηγείται κατ' αρχήν απ' την ποζολανική δράση που δεσμεύει την ελεύθερη άσβεστο. Όταν προστίθεται και η εξωτερική επίδραση του CO_2 , η συμβατική κρίσιμη τιμή του $pH=9$ εμφανίζεται αυξημένη.

Πρέπει πάντως να παρατηρηθεί ότι ο κίνδυνος διαβρώσεως του χάλυβα δεν είναι κατευθείαν ανάλογος με φαινόμενα αυτά, επειδή η ποζολανική δράση τροποποιεί ευμενώς τη δομή του πορώδους μέσα στο σκυρόδεμα.

Αναφέρεται ότι προσθήκη **λιγνοσουλφόνης** στο σκυρόδεμα σε ποσότητα 0.25% κ.β. μειώνει την ταχύτητα ενανθρακώσεως του σκυροδέματος κατά 10 έως 30%. Όταν το τσιμέντο περιέχει πρόσθετα, πρέπει να γίνεται προσεκτική συντήρηση, διότι τα τσιμέντα με πρόσθετα είναι πιο ευαίσθητα από το Portland. Αν δεν γίνει προσεκτική και παρατεταμένη συντήρηση, το σκυρόδεμα θα είναι χαμηλής ποιότητας.

4.1.2. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΕΩΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Η διάβρωση του χάλυβα είναι ένα σύνθετο χημικό και ηλεκτροχημικό φαινόμενο. Η "ευστάθεια" του χάλυβα μέσα στο σκυρόδεμα εξαρτάται από το ηλεκτρικό δυναμικό, από το pH και απ' τη θερμοκρασία του σκυροδέματος.

Το φαινόμενο ηλεκτρολύσεως μπορεί να διακριθεί σε δύο απλές διαδικασίες: της ανόδου και εις καθόδου. Για να μπορεί να γίνει ηλεκτρόλυση, η άνοδος και η κάθοδος πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους ηλεκτρικά και ηλεκτρολυτικά. Η

ράβδος του χάλυβα προσφέρει την ηλεκτρική σύνδεση, ενώ το νερό των πόρων του σκυροδέματος δρα ως ηλεκτρολύτης.

Ως **άνοδος** συμπεριφέρεται το τμήμα του χάλυβα όπου έχει καταστραφεί το στρώμα οξειδίων. Σ' αυτή την περιοχή, τα άτομα σιδήρου μετατρέπονται σε ιόντα, ενώ ελευθερώνονται ηλεκτρόνια.

Ως **κάθοδος** συμπεριφέρεται εκείνη η περιοχή του χάλυβα όπου υπάρχει νερό και οξυγόνο, χωρίς να είναι απαραίτητο να έχει καταστραφεί το λεπτό στρώμα των οξειδίων. Σ' αυτήν την περιοχή, ενώνονται τα ηλεκτρόνια με το νερό και το οξυγόνο, παράγονται δε ιόντα υδροξυλίου.

Έτσι είναι δυνατόν να σχηματισθούν διάφορα οξειδία του σιδήρου, ανάλογα με το είδος του το χρώμα της ποικίλλει σε κόκκινο, καφέ, πράσινο, μαύρο.

4.2. ΤΟΠΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

4.2.1. ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΚΑΤΑ ΒΕΛΟΝΙΣΜΟΝ

Η διάβρωση κατά βελονισμόν οφείλεται **αποκλειστικά** στην επίδραση χλωριώντων. Τα ιόντα χλωρίου μπορεί να βρεθούν στο σκυρόδεμα είτε εξαρχής με την Παρασκευή του σκυροδέματος, είτε να διεισδύσουν απ' το περιβάλλον αργότερα.

Αρχικά τα χλωριόντα μπορεί να βρεθούν ως:

- Τυχαίο συστατικό σε αδρανή, π.χ. άμμος που προέρχεται από τη θάλασσα
- Μέσα σε πρόσθετο για να επιταχύνει τη σκλήρυνση του σκυροδέματος, π.χ. χλωριούχο ασβέστιο
- Νερό αναμίξεως, π.χ. θαλάσσιο νερό αναμίξεως.

Η αρχική παρουσία των χλωριόντων μπορεί να περιορισθεί αν γίνει κατάλληλη επιλογή και έλεγχος των υλικών συνθέσεως του σκυροδέματος.

Διείσδυση χλωριόντων μπορεί να γίνει με:

- Χρήση αντιπαγωτικών αλάτων
- Βιομηχανικά αλμυρά ύδατα
- Άμεση επαφή θαλάσσιου νερού με κατασκευές

- Σταγονίδια θαλάσσιου ύδατος τα οποία μεταφέρονται με τον αέρα. Έχει παρατηρηθεί ότι τα σταγονίδια μπορεί να επηρεάσουν κατασκευή σε

απόσταση μέχρι 10 km (!) από τη θάλασσα

-- Μετά από πυρκαγιά στην οποία κάηκαν από πολυβινύλιο (PVC). Το πολυβινύλιο διασπάται και δίνει αέριο HCL το οποίο εισδύει στο σκυρόδεμα, αντιδρά με την άσβεστο και ελευθερώνει τελικώς ιόντα χλωρίου.

Η διείσδυση γίνεται μέσω πόρων εξ ολοκλήρου ή μερικώς γεμάτων με νερό, ακολουθεί δε τον νόμο της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου. Ιδιαίτερα επικίνδυνη είναι η εναλλασσόμενη διαβροχή και ξήρανση της επιφάνειας του σκυροδέματος από νερό το οποίο περιέχει χλωριούχα άλατα. Κατά τη διάρκεια της διαβροχής, μεγάλες ποσότητες νερού με διαλυμένα άλατα εισδύουν στο σκυρόδεμα. Κατά τη διάρκεια της ξηράνσεως, το νερό εξατμίζεται ενώ τα άλατα παραμένουν στο σκυρόδεμα. Όταν η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται, θα δημιουργηθούν μεγάλες συγκεντρώσεις χλωριόντων στην περιοχή του σκυροδέματος που διαβρέχεται και ξηραίνεται.

Από τα χλωριόντα που υπάρχουν στο σκυρόδεμα, μια ποσότητα δεσμεύεται χημικά από τον τσιμεντοπολτό, ενώ τα υπόλοιπα χλωριόντα παραμένουν ελεύθερα. Η διάβρωση του χάλυβα προκαλείται από τα **ελεύθερα** χλωριόντα.

Έχει βρεθεί πειραματικώς ότι σε σκυρόδεμα το οποίο περιέχει χλωριόντα **απαρχής**, ο χάλυβας διαβρώνεται λιγότερο απ' ό,τι αν ο χάλυβας βρισκόταν σε σκυρόδεμα στο οποίο η ίδια ποσότητα χλωριόντων διεισδύει απ' έξω. Αυτό οφείλεται στην ευκολότερη χημική δέσμευση των χλωριόντων τα οποία βρίσκονται στο σκυρόδεμα πριν απ την σκλήρυνση του

4.2.1.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διάβρωση του χάλυβα από χλωριόντα

· Ποιότητα και πάχος επικάλυψης

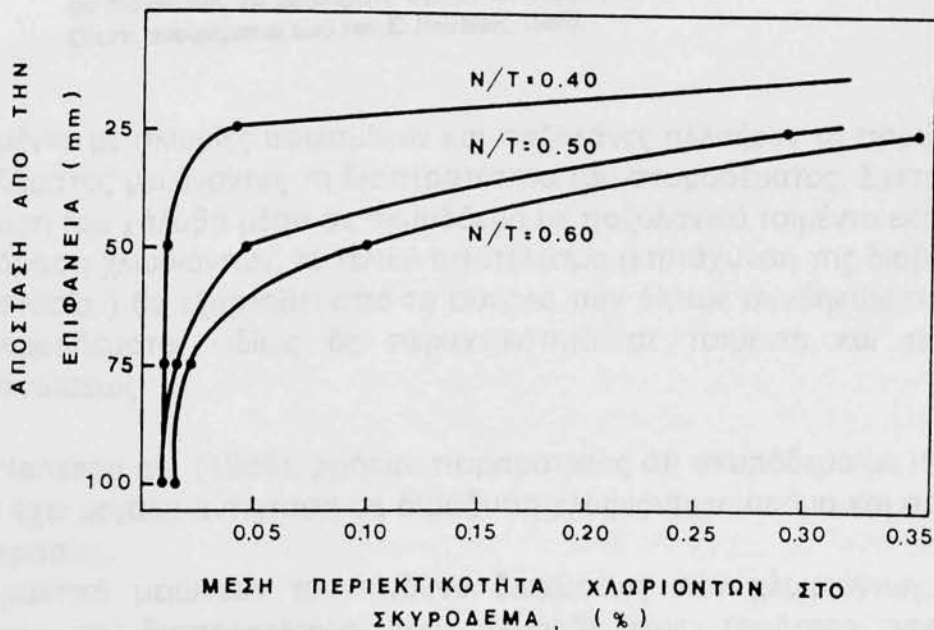
Μικρός λόγος N/T εξασφαλίζει πυκνό σκυρόδεμα με μικρή διαπερατότητα, μειώνεται μ' αυτόν τον τρόπο η ποσότητα των χλωριόντων τα οποία μπορεί να διαχυθούν στο σκυρόδεμα (βλ. Σχ. 40). Οι ρωγμές βοηθούν τη διάχυση των χλωριόντων διότι έχει παρατηρηθεί ότι η περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε χλωριόντα στη ρίζα της ρωγμής (άρα και κοντά στον σπλισμό) είναι αυξημένη. Αυτό πιθανόν να οφείλεται σε τριχοειδή απορρόφηση μες στις ρωγμές.

· Περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε τσιμέντο- πρόσθετα

Οι πρόσθετοι στο τσιμέντο επηρεάζουν τη κληρονομία των χλωριόντων με διαφορετικό τρόπο (βλ. Σχ. 40).

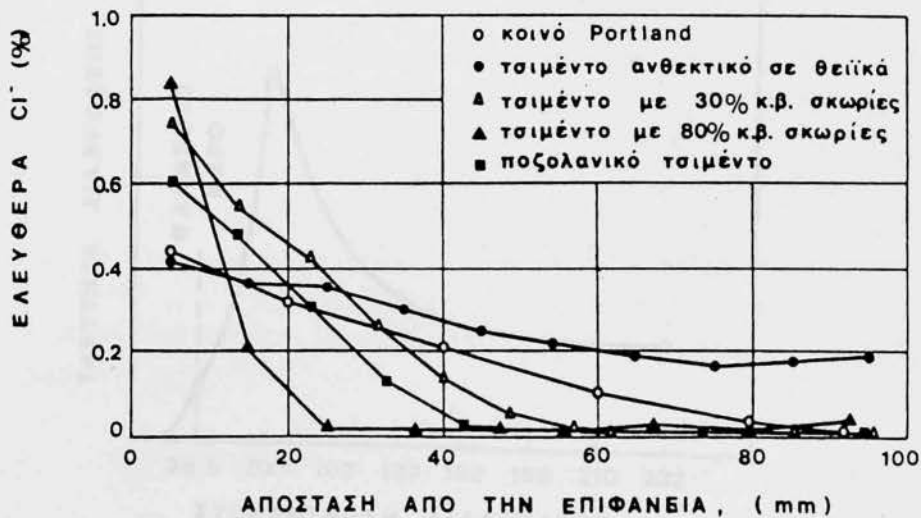
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ένα ποσοστό των χλωριόντων τα οποία θα βρεθούν στο σκυρόδεμα δεσμεύονται χημικώς από το **C₃A** του τσιμέντου. Επομένως όσο αυξάνεται η ποσότητα του **C₃A** στο τσιμέντο, τόσο μειώνεται ο κίνδυνος διαβρώσεως των οπλισμών από χλωριόντα (βλ.Σχ.41). Μερικοί ερευνητές υποστηρίζουν, χωρίς να έχει επαληθευθεί, ότι σημασία έχει η αλκαλικότητα του σκυροδέματος και όχι η περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε **C₃A**.

Το τσιμέντο πρέπει να περιέχει περισσότερο από 8% **C₃A** κ.β. τσιμέντου για να δεσμεύει τα χλωριόντα. Όταν όμως πιθανολογείται ότι θα συμβεί **ταυτόχρονη επίδραση** θειϊκών και χλωριούχων αλάτων, μεγάλη περιεκτικότητα του τσιμέντου σε **C₃A** θα είναι καταστροφική για το σκυρόδεμα. Τα θειϊκά ιόντα διασπών το αλάς Friedell ελευθερώνονται τα χλωριόντα, ενώ ο ετρινγκίτης που δημιουργείται διογκώνεται και προκαλεί θραύση στο σκυρόδεμα. Κατάλληλη περιεκτικότητα του τσιμέντου σε **C₃A** είναι 5% έως 8%, ενώ όπως αναφέρουν οι D. Darwin et., (1985), το **C₃A** δεν πρέπει να είναι λιγότερο από 4%. Όταν το τσιμέντο περιέχει πολλά αλκάλια, ο κίνδυνος διαβρώσεως του χάλυβα λόγω επιδράσεως χλωριόντων μειώνεται.



Σχ. 40. Επίδραση του λόγου N/T στην διείσδυση χλωριόντων στο σκυρόδεμα (K. Clark, 1976, αναφέρεται από το ACI 222R-85).

Οι προσμίξεις στο τσιμέντο επηρεάζουν την ικανότητα του σκυροδέματος να δεσμεύει τα χλωριόντα (βλ.Σχ.42).



Σχ. 42. Τελική κατανομή των χλωριόντων σε τσιμεντοκονίαμα βυθισμένο για 54 μήνες σε θαλάσσιο νερό υπό τις ίδιες συνθήκες. Το τσιμέντο με 80% σκωρίες παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αντοχή σε διείσδυση, ενώ το αντιθειικό την ελάχιστη αντοχή σε διείσδυση. Τα πειράματα έγιναν σε νορβηγικά υλικά. (Vennesland - Page - Gjorn, αναφέρεται από τον E. Poulsen, 1985).

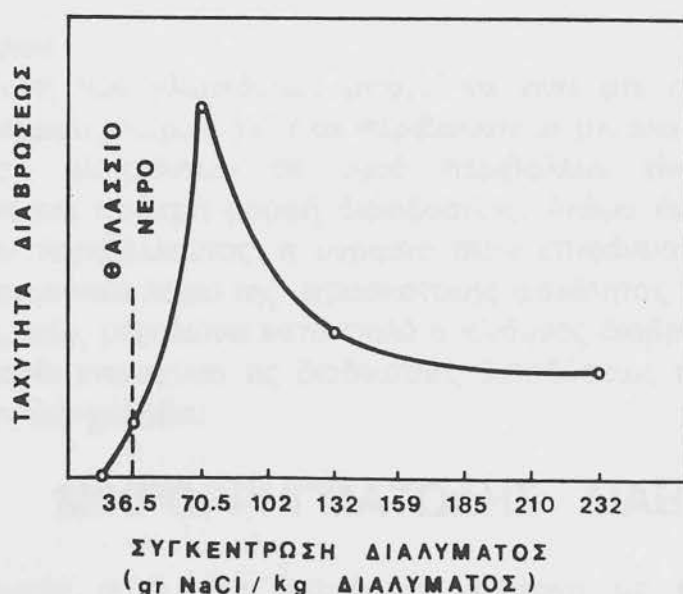
Τα τσιμέντα με σκωρίες υφικαμίνων και ποζολάνες αλλάζουν το πορώδες του σκυροδέματος μειώνοντας τη διαπερατότητα του σκυροδέματος. Σχετικά με τη διάβρωση του χάλυβα μέσα σε σκυρόδεμα με ποζολανικό τσιμέντο εκτιθέμενα σε επίδραση χλωριόντων, το τελικό αποτέλεσμα (επιτάχυνση της διαβρώσεως ή προστασία) θα εξαρτηθεί από το σύνολο των άλλων συνθηκών ποιότητας του σκυροδέματος, ιδίως δε περιεκτικότητα σε τσιμέντο και τελειότητα συμπυκνώσεως.

Οι C. Hansson et., (1985), βρήκαν πειραματικώς ότι σκυρόδεμα με ιπτάμενες τέφρες έχει μεγάλη αντίσταση σε διείσδυση χλωριόντων, ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες.

Τα αερακτικά μειώνουν τον κίνδυνο διαχύσεως των χλωριόντων, επειδή μειώνουν τη διαπερατότητα του σκυροδέματος (λιγότερο νερό, πιο ομοιόμορφη διάστρωση).

Είδος και συγκέντρωση των χλωριούχων αλάτων

Ο C. Locke, (1985), αναφέρει ότι έχει βρεθεί πειραματικώς ότι το **είδος του κατιόντος** επηρεάζει τον βαθμό διαβρώσεως του χάλυβα στο σκυρόδεμα.



Σχ. 43. Επίδραση της συγκέντρωσης του χλωριούχου νατρίου στην ταχύτητα διαβρώσεως του χάλυβα (D. Griffin, R. Henry, 1963, αναφέρεται από το ACI 222R-85).

Για παράδειγμα, το **CaCl₂** προκαλεί μεγαλύτερη διάβρωση του χάλυβα απ' ό τι το **NaCl**. Επίσης η διάχυση των χλωριόντων του **CaCl₂** είναι 3 έως 4 φορές μεγαλύτερη από τη διάχυση των χλωριόντων του **NaCl**. Έχει δε προσφάτως βρεθεί ότι τον σχηματισμό του άλατος Friedell, το **CaCl₂** αντιδρά ευκολότερα απ' ό τι το **NaCl**.

Οι D. Griffin - R. Henry, (1963), βρήκαν ότι αυξάνοντας τη συγκέντρωση των χλωριούχων αλάτων σε διάλυμα, αυξάνεται ο βαθμός διαβρώσεως του χάλυβα συνεχώς μέχρι ενός σημείου. Κατόπιν όμως, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του άλατος, ο βαθμός διαβρώσεως του χάλυβα μειώνεται (βλ. Σχ. 43). Αυτή η μεταβολή οφείλεται στη μειωμένη ικανότητα του οξυγόνου να διαχυθεί από τους πόρους του σκυροδέματος. Μπορεί όμως η διάχυση του οξυγόνου σε υγρό σκυρόδεμα να είναι διαφορετική, και τα αποτελέσματα να διαφέρουν.

Έχει εκφρασθεί επίσης η άποψη ότι η **διαφορά συγκέντρωσεως χλωριόντων** είναι που έχει σημασία για τη διάβρωση του χάλυβα και όχι η περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε χλωριόντα κατ' απόλυτη τιμή. Έχει παρατηρηθεί ότι σε κατασκευές όπου το σκυρόδεμα είχε **τοπικώς**

περιεκτικότητα σε χλωριόντα μικρότερη από την οριακή, ο χάλυβας είχε υποστεί υιάβρωση, ενώ σε άλλες κατασκευές με περιεκτικότητα του

σκυροδέματος σε χλωριόντα **γενικώς** μεγάλη, ο χάλυβας δεν έχει πάθει τίποτα.

· **Περιβάλλον**

Η διείσδυση των χλωριόντων μπορεί να γίνει είτε σε ξερό περιβάλλον (διείσδυση αερίου χλωρίου) είτε σε περιβάλλον με μεγάλα ποσοστά υγρασίας. Η διείσδυση χλωριόντων σε υγρό περιβάλλον είναι η περισσότερο συνηθισμένη και σοβαρή μορφή διεισδύσεως. Ακόμα όμως και για χαμηλή υγρασία του περιβάλλοντος, η υγρασία στην επιφάνεια του σκυροδέματος αυξάνεται σημαντικά λόγω της υγροσκοπικής ικανότητας των χλωριόντων. Μ' αυτόν τον τρόπο, μεγαλώνει κατά πολύ ο κίνδυνος διαβρώσεως του χάλυβα. Η θερμοκρασία επιταχύνει τις διαδικασίες διεισδύσεως των χλωριόντων και διαβρωτικών του χάλυβα.

4.2.2. ΜΙΚΡΟΡΡΗΓΜΑΤΩΔΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Η διάβρωση αυτή είναι φαινόμενο ανάλογο με τη διάβρωση κατά βελονισμόν. Προκαλείται και αυτή αποκλειστικά από την επίδραση χλωριόντων. Η διαφορά της από τη διάβρωση κατά βελονισμόν είναι ότι αρχίζει σε μικρορωγμές και Πληροφορίες μικροκοιλότητες στην επιφάνεια του χάλυβα (λόγω ατελειών στον χάλυβα μετά την κατεργασία του) και όχι σε "υγιή " επιφάνεια.

4.2.3. ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΚΟΚΚΩΝ

Αυτή η μορφή διαβρώσεως εμφανίζεται **μέσα** στο μέταλλο και όχι στην επιφάνεια του. Συμβαίνει κυρίως στα κράματα, όταν διαχωρίζονται τα επιμέρους συστατικά του κράματος ή όταν υπάρχουν ξένες ουσίες στα όρια μεταξύ των μεταλλικών κρυστάλλων και των κόκκων του άνθρακα. Μ' αυτόν τον τρόπο, αναπτύσσεται διαφορά δυναμικού μεταξύ γειτονικών περιοχών του σιδήρου και έτσι αρχίζει η διάβρωση η οποία εμφανίζεται ως ρωγμή μέσα στο μέταλλο.

Η διάβρωση αυτής της μορφής αποφεύγεται με χρήση χάλυβα του οποίου η περιεκτικότητα σε άνθρακα είναι μικρή (μικρότερη από 0.05%).

4.3. ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΛΟΓΩ ΑΝΑΠΤΥΞΕΩΣ ΤΟΠΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

4.3.1. Γαλβανική δράση

Η γαλβανική διάβρωση είναι ηλεκτροχημική δράση η οποία αναπτύσσεται όταν δύο διαφορετικά μέταλλα έρχονται σε επαφή μεταξύ τους.

Σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, ο χάλυβας μπορεί να έρθει σε επαφή με άλλα μέταλλα στις εξής περιπτώσεις:

- Στα σύρματα που συνδέουν τους συνδετήρες με τον κύριο οπλισμό.
- Σε μολύβδινους σωλήνες υδρεύσεως ή χάλκινους σωλήνες ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, οι οποίοι από κακοτεχνίες έρχονται σε επαφή με τον οπλισμό των φερόντων στοιχείων.
- Στα σημεία συνδέσεως των προκατασκευασμένων στοιχείων.
- Σε επισκευασμένα μέλη κατασκευών, στα σημεία συνδέσεως του παλιού με τον νέο οπλισμό.
- Στα προεντεταμένα στοιχεία, σε τυχόν σημεία επαφής του σωλήνα προεντάσεως και των συνοπλισμών.
- Σε σιδερένια μπουλόνια τα οποία θα αγγίξουν τον χάλυβα.

4.3.2. ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Η ηλεκτρολυτική διάβρωση είναι το αποτέλεσμα άμεσης εφαρμογής ρεύματος στην κατασκευή από κάποια εξωτερική πηγή. Στην περιοχή εισόδου του ρεύματος, το Ω.Σ. δεν επηρεάζεται, ίσως δε και να προστατεύεται (π.χ. καθοδική προστασία). Στην περιοχή όμως εξόδου του ρεύματος, ο χάλυβας υφίσταται διάβρωση. Αυτή η μορφή διαβρώσεως ονομάζεται διάβρωση λόγω **τυχαίων ρευμάτων**. Τα τυχαία ρεύματα μπορεί να προέρχονται από μηχανήματα, συστήματα που προστατεύουν άλλες κατασκευές με καθοδική προστασία, από έναν ηλεκτρικό σιδηρόδρομο, από ηλεκτρικά καλώδια κ.λ.π.

Σημειώνουμε ότι για να χαθεί η παθητικότητα του χάλυβα απαιτείται εφαρμογή ρεύματος με ένταση 10 mA/m

Αν και τα παραδείγματα ηλεκτρολυτικής διάβρωσης δεν είναι πολύ συχνά, συνιστώνται τα εξής μέτρα για την προστασία του χάλυβα.

- Σκυρόδεμα πολύ καλής ποιότητας χωρίς χλωριόντα

4.4. ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΥΠΟ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΑΣΗ (ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ)

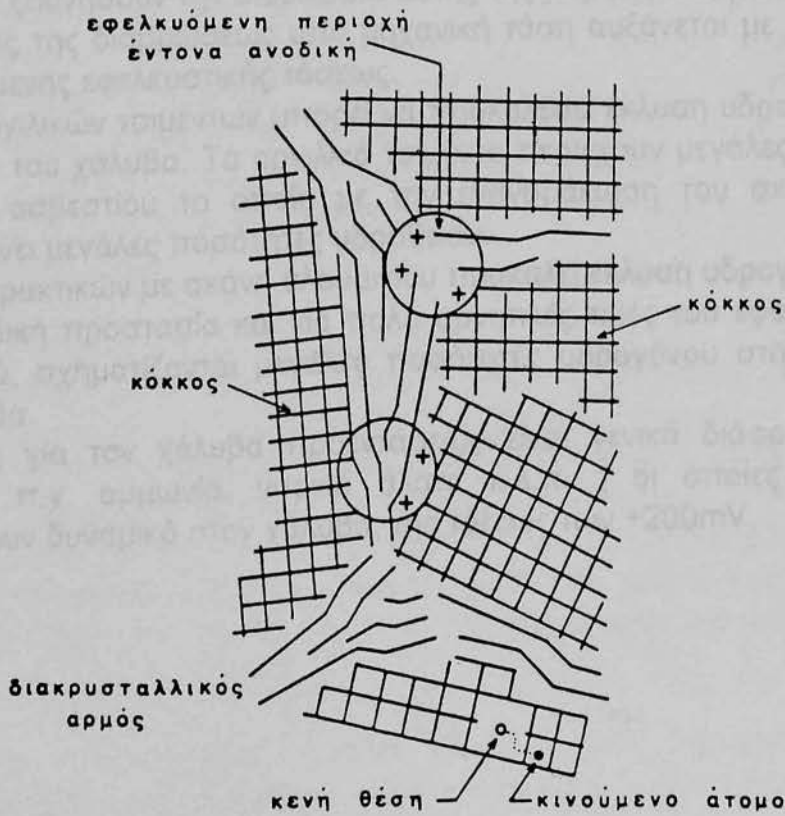
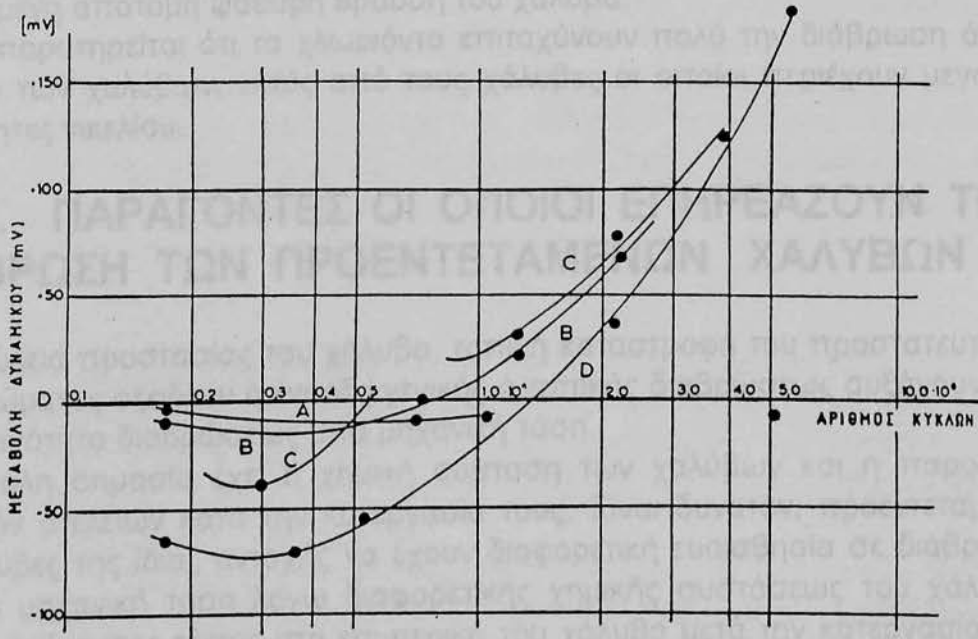
Η διαδικασία επιφανειακής διαβρώσεως των προεντεταμένων χαλύβων είναι σε γενικές γραμμές όμοια με τη διάβρωση των συνοπλισμών.

Οι προεντεταμένοι χάλυβες όμως υφίστανται επιπλέον και κατ' αποκλειστικότητα την **διάβρωση υπό μηχανική τάση**. Χαρακτηριστικό της διαβρώσεως υπό μηχανική τάση είναι ότι εμφανίζεται μόνο σε χάλυβες υψηλής αντοχής. Δεν δημιουργείται δε σκουριά, και επομένως δεν παρατηρείται απώλεια της διατομής λόγω διαβρώσεως.

Ο μηχανισμός διαβρώσεως είναι πολύπλοκος, και δεν έχει αποσαφηνισθεί πλήρως. Η διάβρωση υπό μηχανική τάση οφείλεται στον συνδυασμό διαβρωτικού περιβάλλοντος και στην ανάπτυξη πρόσθετης διαφοράς δυναμικού μέσα στον χάλυβα όταν ευρίσκεται υπό μηχανική τάση. Η ανάπτυξη διαφοράς δυναμικού μέσα στο χάλυβα οφείλεται κυρίως σε ατέλειες της μεταλλικής δομής: Όπως αναφέρεται από τον Θ. Τάσιος, (1963), κατά την θεωρία Wagner ο κρυσταλλικός ιστός περιλαμβάνει ιόντα σιδήρου σε άτακτες θέσεις. Ένα εξωτερικό διαβρωτικό περιβάλλον (επιβολή αρνητικού δυναμικού) προκαλεί μετακίνηση των ιόντων σιδήρου προς την επιφάνεια του μετάλλου, όπου οξειδώνονται και σχηματίζουν διάφορα οξείδια του σιδήρου. Όταν εφαρμόζονται μηχανικές τάσεις, προκαλείται μικρή ή μεγάλη μετακίνηση αταξιών, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται να δημιουργούνται τοπικώς αταξίες. Επομένως, στα σύνορα των τέλειων κρυσταλλικών κόκκων των μετάλλου αποδίδεται αυξημένη ενέργεια και έτσι οι περιοχές γίνονται περισσότερο ανοδικές και επομένως περισσότερο διαβρώσιμες (ευχερέστερη "μετανάστευση" ιόντων) (βλ. Σχ.44).

Οι διακρυσταλλικοί αρμοί οι οποίοι είναι ανοδικότεροι, δέχονται πρώτοι την επίθεση του διαβρωτικού περιβάλλοντος, χάνοντας έτσι πρώτοι τα ιόντα τους. Αρχίζει μ' αυτόν τον τρόπο μια λεπτή αδιόρατη ρωγμή κατά το άκρον των διακρυσταλλικών αρμών. Η αιχμή της ρωγμής δημιουργεί συγκέντρωση τάσεων, ώστε αυξάνεται τοπικά η ανοδικότητα. Η αιχμή έλκει το διαβρωτικό παράγοντα και η ρωγμή προχωρεί σαν μαχαίρι μέσα στο μέταλλο ακολουθώντας τα σύνορα των κόκκων. Η θραύση μπορεί να συμβεί σε λίγα λεπτά ή σε λίγα έτη.

Εξ' άλλου, η διάβρωση υπό μηχανική τάση μπορεί να συνοδεύεται από **ψαθυροποίηση** του χάλυβα λόγω **εκλύσεως υδρογόνου**. Το υδρογόνο σχηματίζεται ως ατομικό υδρογόνο σε ενδιάμεσο στάδιο της διαβρώσεως και εισδύει στον κρυσταλλικό ιστό μόλις εφαρμοσθεί η τάση. Με τις ατέλειες του μεταλλικού ιστού, το ατομικό υδρογόνο μετατρέπεται σε μοριακό, ενώ



Σχ. 44. Πώς ο κάλυβας γίνεται ανοδικότερος με επιβολή προεντάσεως (©. Τάσιος, 1963).

συγχρόνως αναπτύσσονται υψηλές τοπικές τάσεις. Η αντίδραση μετατροπής του ατομικού υδρογόνου σε μοριακό, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη τάσεως, προκαλεί ρηγμάτωση, στρέβλωση του μεταλλικού ιστού και ενδεχόμενη απότομη ψαθυρή θραύση του χάλυβα.

Τέλος παρατηρείται ότι τα χλωριόντα επιταχύνουν πολύ την διάβρωση όλων σχεδόν των χαλύβων, εκτός από τους χάλυβες οι οποίοι περιέχουν μεγάλες ποσότητες νικελίου.

4.4.1. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΟΙ ΟΠΟΙΟΙ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ

- Απώλεια προστασίας του χάλυβα, τοπική καταστροφή του προστατευτικού στρώματος οξειδίων ή έναρξη γενικής ή τοπικής διαβρώσεως αυξάνουν την πιθανότητα διαβρώσεως υπό μηχανική τάση.
- Μεγάλη σημασία έχει η χημική σύσταση των χαλύβων και η παρουσία τυχόν ατελειών κατά την κατεργασία τους. Είναι δυνατόν, προεντεταμένοι χάλυβες της ίδιας αντοχής να έχουν διαφορετική ευαισθησία σε διάβρωση υπό μηχανική τάση λόγω διαφορετικής χημικής συστάσεως του χάλυβα. Παραμένουσες τάσεις στο εσωτερικό του χάλυβα μετά την κατεργασία του μπορεί να ξεκινήσουν την διαδικασία αυτής της μορφής διαβρώσεως.
- Ο κίνδυνος της διαβρώσεως υπό μηχανική τάση αυξάνεται με αύξηση της επιβαλλόμενης εφελκυστικής τάσεως.
- Χρήση αργιλικών τσιμέντων μπορεί να προκαλέσει έκλυση υδρογόνου στην επιφάνεια του χάλυβα. Τα αργιλικά τσιμέντα περιέχουν μεγάλες ποσότητες θειούχου ασβεστίου το οποίο με την ενανθράκωση του σκυροδέματος ελευθερώνει μεγάλες ποσότητες υδρόθειου.
- Χρήση αερακτικών με σκόνη αλουμινίου προκαλεί έκλυση υδρογόνου.
- Με καθοδική προστασία και για πολύ αρνητικές τιμές του εφαρμοζόμενου δυναμικού, σχηματίζονται μεγάλες ποσότητες υδρογόνου στην επιφάνεια του χάλυβα.
- Επιβλαβή για τον χάλυβα προεντάσεως είναι γενικά διάφορες χημικές ουσίες (π.χ. αμμωνία, νιτρικά άλατα κ.λ.π.) οι οποίες μπορεί να αναπτύξουν δυναμικό στον χάλυβα, της τάξεως των +200mV.

5.0 ΓΙΑΤΙ ΜΑΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΕΙ ΝΑ ΓΝΩΡΙΖΟΥΜΕ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, μια κατασκευή κατά τη διάρκεια ζωής της πρέπει να πληρεί τους όρους ασφάλειας και να διατηρεί τα λειτουργικά και αισθητικά χαρακτηριστικά της. Οι φυσικές και χημικές επιδράσεις στο σκυρόδεμα και στον χάλυβα, με τις φθορές τις οποίες προκαλούν, μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά επιτελεστικότητας της κατασκευής. Είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε πως η φθορά εξελίσσεται μέσα στο χρόνο, και ποια μεταβολή προκαλεί στις φυσικές ιδιότητες του σκυροδέματος και του χάλυβα.

Σε μία **σχεδιαζόμενη** κατασκευή, η εκλογή των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών (εκλογή υλικών, επικαλύψεων κ.λ.π) γίνεται με κριτήριο τη διάρκεια ζωής της κατασκευής. Τα χαρακτηριστικά επιτελεστικότητας της κατασκευής θεωρούμε ότι είναι ικανοποιητικά εφόσον δεν έχει συμβεί φθορά πέρα από ένα "ανεκτό" όριο φθοράς.

Είναι λοιπόν απαραίτητο να γνωρίζουμε πως εξελίσσεται με τον χρόνο η φθορά του σκυροδέματος ή του χάλυβα λόγω μιας συγκεκριμένης επιδράσεως, για να εκτιμήσουμε αν θα επιτύχουμε την σκοπούμενη διάρκεια ζωής της κατασκευής. Επίσης, απαιτείται η γνώση της μεταβολής των φυσικών ιδιοτήτων των υλικών μέσα στο χρόνο, για να ελέγξουμε την ασφάλεια της κατασκευής μέχρι το τέλος της διάρκειας ζωής της. Η εξέλιξη της φθοράς είναι ένας οδηγός κατά τη φάση σχεδιασμού και της εκτελέσεως, ώστε να λάβουμε μέτρα για να ελαττώσουμε ή και να αποφύγουμε επιπτώσεις της αναμενόμενης φθοράς στην επιτελεστικότητα της κατασκευής κατά τη διάρκεια ζωής της κατασκευής.

Σε μια **υπάρχουσα** κατασκευή χρειάζεται η γνώση της μεταβολής των χαρακτηριστικών των υλικών, για να είναι δυνατή η αριθμητική επανεκτίμηση των χαρακτηριστικών επιτελεστικότητας των δομικών στοιχείων. Η μεταβολή των φυσικών ιδιοτήτων των υλικών λόγω μιας συγκεκριμένης επιδράσεως, μας βοηθά να εκτιμήσουμε κατά πόσον η κατασκευή λειτουργεί ικανοποιητικά και μπορεί να μεταφέρει τα φορτία σχεδιασμού. Όταν ανακαλυφθεί η φθορά, πρέπει να παρατηρήσουμε την εξέλιξη της μέσα στο χρόνο, γιατί η ταχύτητα φθοράς είναι σημαντικός παράγοντας για να προσδιορίσουμε πότε πρέπει να γίνει επέμβαση.

Φαίνεται έτσι πόσο μεγάλη σημασία έχει η γνώση της μεταβολής των χαρακτηριστικών των υλικών λόγω των φυσικών και χημικών επιδράσεων.

Για το σκυρόδεμα χρειάζεται να ερευνηθούν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Απώλεια διατομής (λόγω αποφλοιώσεως).
- Μεταβολή της αντοχής (γενικώς μειώνεται, ενώ στην περίπτωση της ενανθρακώσεως αυξάνεται τοπικά).
- Μεταβολή της πλαστιμότητας σκυροδέματος (αυξάνεται όταν έχει συμβεί μικρορρηγμάτωση).
- Αύξηση του ερπυσμού.

Ανάλογα, για τον **χάλυβα** πρέπει να ερευνηθούν τα εξής χαρακτηριστικά :

- Απώλεια διατομής (λόγω διαβρώσεως).
- Απώλεια αντοχής.
- Απώλεια ολκιμότητας.

Τέλος, χρειάζεται να μελετηθούν οι επιπτώσεις στην **συνάφεια** μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα.

5.1. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

α) Σε περίπτωση **μηχανικής φθοράς**, η απώλεια μάζας του σκυροδέματος για διαφορετικά είδη αδρανών και για διάφορες τιμές του λόγου N/T, φαίνεται στα Σχ. 12 και Σχ. 13.

Β) Όπως αναφέρει ο E. Vesikari, (1986), η μείωση του όγκου του σκυροδέματος λόγω επιδράσεως παγετού φαίνεται στο σχ. 45.

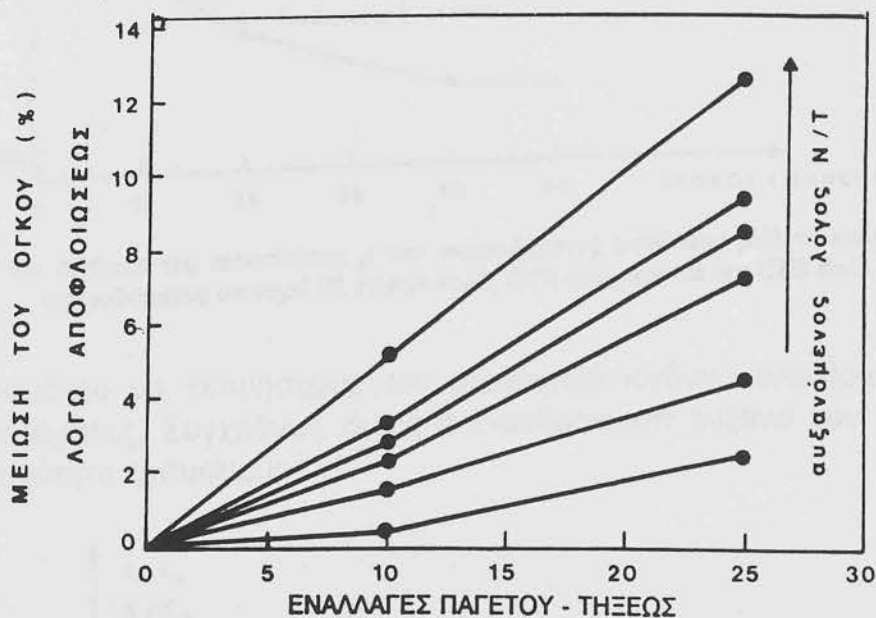
Από τον H. Hilsdorf, (1980), αναφέρεται ότι σε περίπτωση επιδράσεως παγετού, το μέτρο ελαστικότητας μειώνεται κατά 46 έως 56% της αρχικής τιμής. Η καμπτική αντοχή δοκιμίων που έχουν υποστεί την επίδραση παγετού είναι το 27 έως 32% της αντοχής των δοκιμίων τα οποία δεν έχουν υποστεί επίδραση παγετού. Σε σκυρόδεμα το οποίο έχει καταστραφεί πλήρως, ο ρυθμός απολεπίσεως ελαττώνεται με αύξηση των εναλλαγών παγετού-τήξεως. Μόνο σε σκυρόδεμα με αδρανή ανθεκτικά σε επίδραση παγετού και με μικρό λόγο N/T, η απολέπιση ήταν πολύ μικρή στην αρχή της δοκιμής και αυξήθηκε πολύ κατόπιν. Μεγάλα αδρανή τα οποία είναι ευπαθή στον παγετό και ευρίσκονται κοντά στην επιφάνεια, προκαλούν εκτινάξεις στο σκυρόδεμα. Συνήθως, μετά τρεις χειμώνες δεν εμφανίζονται περαιτέρω εκτινάξεις.

Γ) Επίδραση **διαβρωτικού νερού** προκαλεί μείωση της πυκνότητας του σκυροδέματος (βλ. Σχ. 46), μείωση των αντοχών και μείωση του μέτρου

ελαστικότητας (βλ. Σχ.47)

Τα πειράματα έγιναν από τους H. Griede et al.,(1979) βυθίζοντας κυλίνδρους από σκυροδέμα σε διαβρωτικό νερό. Η μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών των δοκιμίων (μείωση της πυκνότητας, της θλιπτικής και εφελκυστικής αντοχής, του μέτρου ελαστικότητας), παρομοιάζεται με "ισοδύναμη" μείωση του πάχους "Δd" των δοκιμίων (βλ. Σχ. 48).

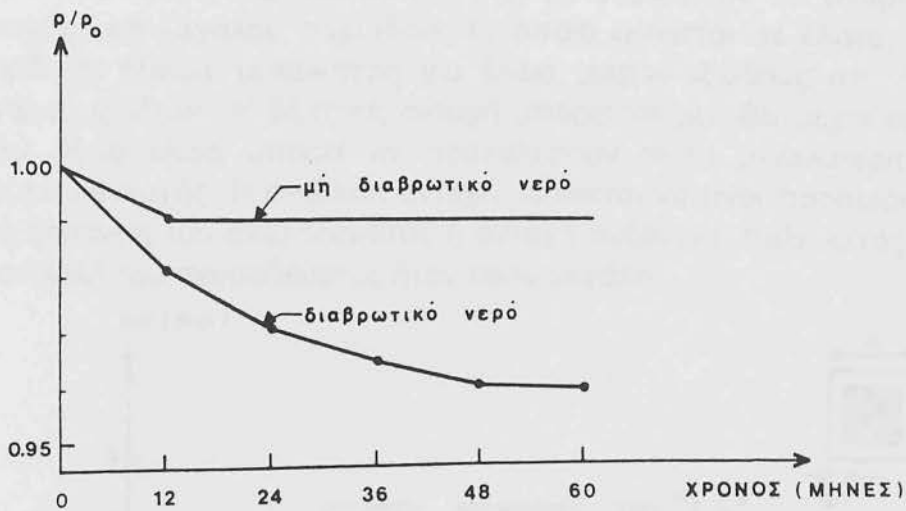
Η ισοδύναμη μείωση του πάχους είναι ανάλογη προς την τετραγωνική ρίζα του χρόνου βυθίσεως των δοκιμίων.



Σχ. 45: Μείωση του όγκου του σκυροδέματος από αποφλοίωση λόγω εναλλαγών παγετού-τήξεως. Σκυροδέμα από τσιμέντο Portland (E. Vesikari, 1986).

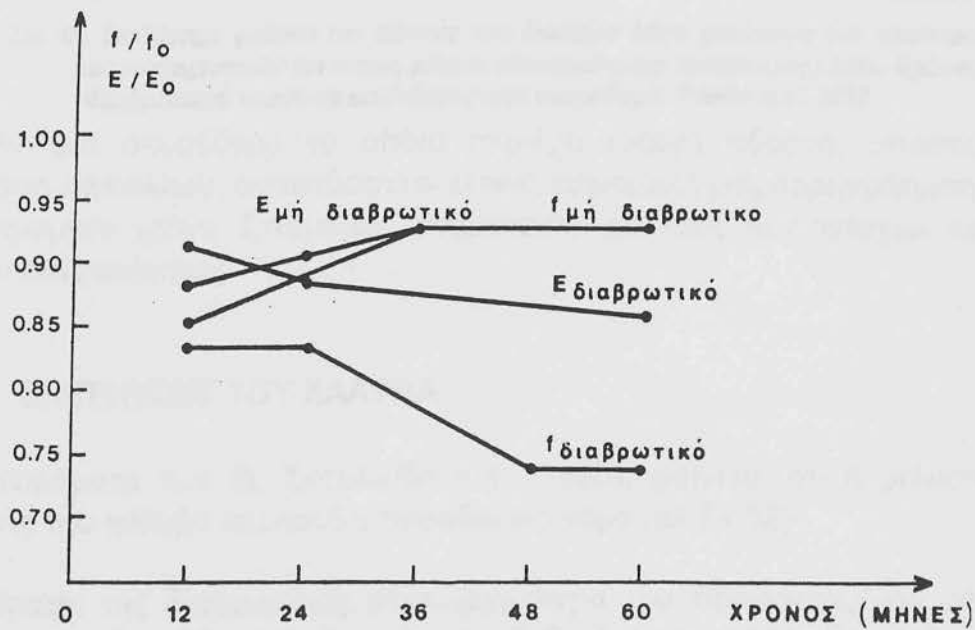
Δ) Η V. Zivica, (1980), μελέτησε την μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών του σκυροδέματος λόγω επιδράσεως **αλάτων**, βυθίζοντας δοκίμια σκυροδέματος από τσιμέντο Portland Tr. 400 Stupava (και άλλων τύπων τσιμέντου για σύγκριση) σε διαλύματα χλωριούχων και νιτρικών αλάτων. Η μεταβολή της θλιπτικής αντοχής φαίνεται στο Σχ. 49.

Ε) Με πλήρη **ενανθράκωση** και απώλεια της αλκαλικότητας (pH) αναμένεται αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος, τάξεως μεγέθους 10 έως 100% (βλ.Σχ. 50 , 51). Αναφέρεται ότι με την ενανθράκωση μειώνεται το πορώδες του σκυροδέματος. Η μείωση του πορώδους πιθανόν να οφείλεται στην εναπόθεση των προΐόντων ενανθρακώσεως στα τοιχώματα των τριχοειδών πόρων. Γι' αυτόν τον λόγο, αποφεύγονται η μέτρηση του πορώδους

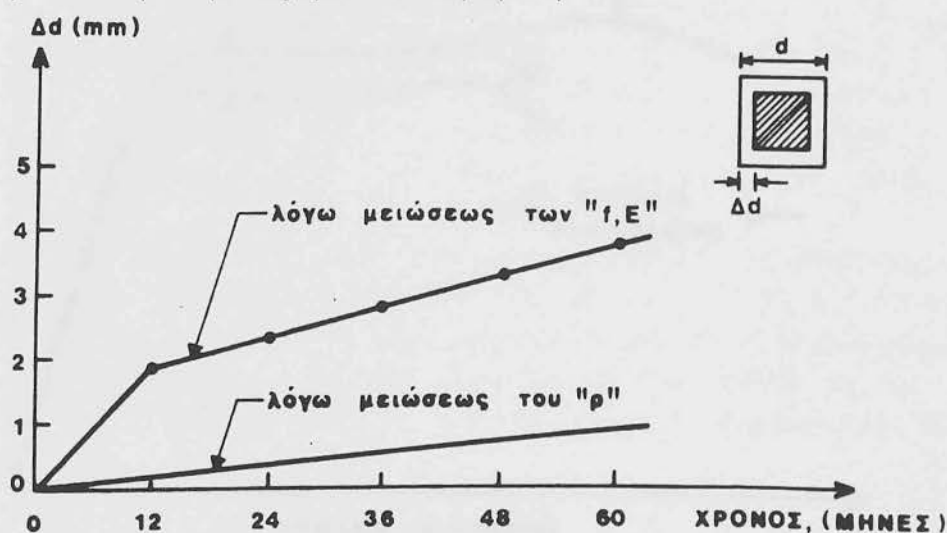


Σχ. 46: Μείωση της πυκνότητας ρ του σκυροδέματος μετά από βύθιση κυλίνδρων σκυροδέματος σε νερό (H. Friede et al., 1979, αναφέρεται στο CEB Bull. 162).

προκειμένου να εκτιμήσουμε τον μελλοντικό κίνδυνο ενανθρακώσεως του σκυροδέματος. Συγχρόνως όμως η ενανθράκωση αυξάνει τον ερπυσμό και την ταχύτητα ερπυσμού.



ΣΤ) Οι W. Mann - E. Hartmann, (1979), αναφέρουν ότι σκυρόδεμα μικρής αντοχής και μεγάλου πορώδους το οποίο εκτίθεται σε **έλαια**, υπόκειται σε διείσδυση ελαίων μεγαλύτερη για έλαια μικρού ιξώδους απ' ότι για έλαια μεγάλου ιξώδους. Η θλιπτική αντοχή μπορεί να μειωθεί μέχρι κατά 25%. Τα πολύ όξινα έλαια μπορεί να προκαλέσουν πολύ μεγαλύτερη εκατοστιαία απώλεια αντοχής. Η απώλεια αντοχής φαίνεται να είναι προσωρινή διότι μετά από ξήρανση του σκυροδέματος η αντοχή αυξάνεται πάλι, εκτός αν η αρχική προσβολή του σκυροδέματος ήταν πολύ μεγάλη.



Σχ. 48: Ισοδύναμη μείωση του πάχους των δοκιμών λόγω μείωσης των μηχανικών χαρακτηριστικών (αντοχών, μέτρου ελαστικότητας, πυκνότητας) λόγω δράσεως διαβρωτικού νερού σε κυλίνδρους από σκυρόδεμα. Friede et al, 1979

Ζ) Αν ένα σκυρόδεμα το οποίο περιέχει ενεργά αδρανή, υποστεί την επίδραση **αλκαλίων**, αναπτύσσεται εκτενή εσωτερική μικρορρηγμάτωση μετά από ορισμένο χρόνο. Επομένως, αναμένονται μειώσεις των αντοχών και του μέτρου ελαστικότητας.

5.2. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Από πειράματα των Θ. Σκουλικίδη κ.ά. (1980), φαίνεται ότι η μείωση της διατομής του χάλυβα ακολουθεί παραβολικό νόμο (βλ. Σχ. 52)

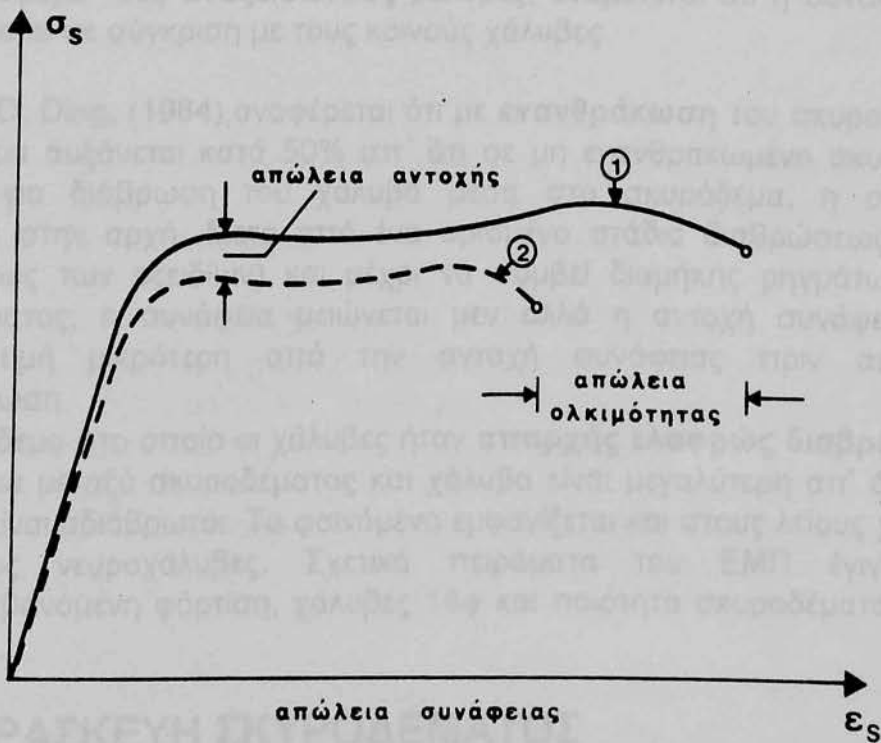
Η επίδραση της διαβρώσεως στην ολκιμότητα του προεντεταμένου χάλυβα φαίνεται στο Σχ. 53, από δοκιμές του T.P. Tassios 1964. Στο διάγραμμα μετράται ο αριθμός των κατά 90 αναδιπλώσεων οι οποίες απαιτούνται για να προκαλέσουν θραύση του χάλυβα. Είναι φανερό ότι όσο εξελίσσεται η διάβρωση, τόσο μειώνεται ο αριθμός των αναδιπλώσεων. Η επίδραση της διαβρώσεως του χάλυβα στην αντοχή και στην ολκιμότητα του χάλυβα φαίνεται στο Σχ. 54.

Η επίχρισση των χαλύβων με εποξειδικές ρητίνες μειώνει την συνάφεια του χάλυβα με το σκυρόδεμα.

Όσοι αναφέρονται τους ανοξείδωτους χάλυβες, αναμένεται ότι η συνάφεια δεν μεταβάλλεται συγκρίσιμη με τους κοινούς χάλυβες.

Από τον D. Dings (1984) αναφέρεται ότι με εξαεθέρωση του σκυροδέματος η συνάφεια μειώνεται κατά 50% επί της μη εξαεθρωμένου σκυροδέματος. Επίσης, με διάβρωση του σκυροδέματος, η συνάφεια αυξάνεται στην αρχή, αλλά σταματά να αυξάνεται (δηλ. διακοπίζεται) των 200 μm από την επιφάνεια του σκυροδέματος. Η διάβρωση μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, αλλά η στήλη συνάφειας δεν παίρνει την κατάσταση από την οποία ήταν πριν από την εξαεθέρωση.

Σε σκυροδέματα όπου οι χάλυβες ήταν απαρτίζονται με διάβρωσις, η συνάφεια με το σκυροδέματος και χάλυβα είναι μεγαλύτερη απ' όλη αν οι χάλυβες είναι χωρίς διάβρωση. Το φαινόμενο εμφανίζεται και στους λείους χάλυβες και στους αβαρτοχάλυβες. Σχετικά πειράματα των ΕΜΠ έγιναν για επαναλαμάνοντας φορτίση, χάλυβες 14g και ποσότητα σκυροδέματος B200 έως B350.



Σχ.54: Επίδραση της διαβρώσεως του χάλυβα στην αντοχή, την ολκιμότητα και την συνάφεια.

1. Προστατευόμενος χάλυβας
2. Εκτεθειμένος χάλυβας.

5.3. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΥΝΑΦΕΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑ

Από τους W. Mann - E. Hartmann, (1979), αναφέρεται ότι η επίδραση **ελαίων** στο σκυρόδεμα προκαλεί μεγάλη μείωση της συνάφειας μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα.

Στο CEB Bull.161 αναφέρεται ότι ο γαλβανισμός των χαλύβων ως μέτρο προστασίας των χαλύβων από διάβρωση, επηρεάζει την συνάφεια μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα. Ο ψευδάργυρος αντιδρά χημικώς με τα αλκάλια του σκυροδέματος, το δε υδρογόνο το οποίο εκλύεται από την αντίδραση συγκεντρώνεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος και του χάλυβα, μειώνοντας έτσι την συνάφεια. Η μείωση της συνάφειας παρατηρείται στους λείους χάλυβες, ενώ οι νευροχάλυβες δεν επηρεάζονται πολύ από το επίχρισμα του ψευδαργύρου.

Η επίχριση των χαλύβων με **εποξειδικές ρητίνες** μειώνει την συνάφεια του χάλυβα με το σκυρόδεμα.

Όσον αναφορά τους **ανοξειδωτους** χάλυβες, αναμένεται ότι η συνάφεια δεν μεταβάλλεται σε σύγκριση με τους κοινούς χάλυβες.

Από τον D. Ding, (1984), αναφέρεται ότι με **ενανθράκωση** του σκυροδέματος η συνάφεια αυξάνεται κατά 50% απ' ότι σε μη ενανθρακωμένο σκυρόδεμα. Επίσης, για διάβρωση του χάλυβα μέσα στο σκυρόδεμα, η συνάφεια αυξάνεται στην αρχή. Μετά από ένα ορισμένο στάδιο διαβρώσεως (δηλ. διογκώσεως των οξειδίων) και μέχρι να συμβεί διαμήκης ρηγμάτωση του σκυροδέματος, η συνάφεια μειώνεται μεν αλλά η αντοχή συνάφειας δεν παίρνει τιμή μικρότερη από την αντοχή συνάφειας πριν από την ενανθράκωση.

Σε σκυρόδεμα στο οποίο οι χάλυβες ήταν **απαρχής ελαφρώς διαβρωμένοι**, η συνάφεια μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα είναι μεγαλύτερη απ' ότι αν οι χάλυβες είναι αδιάβρωτοι. Το φαινόμενο εμφανίζεται και στους λείους χάλυβες και στους νευροχάλυβες. Σχετικά πειράματα του ΕΜΠ έγιναν για επαναλαμβανόμενη φόρτιση, χάλυβες 16φ και ποιότητα σκυροδέματος B300 έως B350.

6. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

6.0. Γενικές απαιτήσεις υλικών

Για να παρασκευάσουμε σκυρόδεμα 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
- Λόγο N/T
- Επικάλυψη οπλισμού.

6.0.1. 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.

Η περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε τσιμέντο δεν πρέπει να ξεπερνά τα 550 kg/m³ (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 **υπερθειϊκά τσιμέντα** χρειάζονται ιδιαίτερη προστασία κατά την αποθήκευση διότι καταστρέφονται εύκολα. Σε χαμηλές θερμοκρασίες έχουν μικρές αντοχές.

6.0.2. ΑΔΡΑΝΗ

Τα αδρανή δεν πρέπει να διογκώνονται όταν υγραίνονται, δεν πρέπει να αποσυντίθεται ή να αντιδρούν με τα προΐόντα ενυδατώσεως του τσιμέντου σχηματίζοντας βλαβερές ενώσεις (όπως συμβαίνει για παράδειγμα στην αντίδραση αδρανών αλκαλίων). Τα αδρανή δεν πρέπει να περιέχουν χλωριόντα προκαλώντας διάβρωση του οπλισμού. Πρέπει να πληρούν προϋπόθεσης διαβαθμίσεως, καθαρότητας, αντοχής, σχήματος, επιφανειακής καταστάσεως και να έχουν ανθεκτικότητα σε επίδραση παγετού και σε απότριψη.

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

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

6.0.3. 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 τη 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 πρόσθετων σε χλώριο, θείο 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 των.

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 τέφρες , η πυριτική παιπάλη κ.λ.π.

6.0.4. ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΙΞΕΩΣ

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

Ο έλεγχος καταλληλότητας του νερού περιλαμβάνει μέτρηση της οξύτητας , μέτρηση του περιεχόμενου CO₂ , μέτρηση της συγκεντρώσεως θειϊκών και θειούχων ενώσεων, καθώς και μέτρηση της περιεκτικότητας του νερού σε άλατα μαγνησίου(σκληρότητα) και σε άλατα αμμωνίου.

6.1. ΟΔΗΓΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΑΠΕΔΩΝ

ΑΝΘΕΚΤΙΚΩΝ ΣΕ ΑΠΟΤΡΙΨΗ

6.1.1. Αντικείμενο

Οι οδηγίες αυτές αφορούν τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά του σκυροδέματος που χρησιμοποιείται για την κατασκευή βιομηχανικών δαπέδων ανθεκτικών σε απότριψη.

6.1.2. ΥΛΙΚΑ

6.1.2.1. ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Το τσιμέντο πρέπει να συμφωνεί με τις απαιτήσεις του Κ.Τ.Σ. και του Π.Δ. 244/29.2.88 "Περί κανονισμού τσιμέντου για έργα από σκυρόδεμα". Συνιστάται η χρησιμοποίηση τσιμέντου του ίδιου τύπου για ολόκληρο ή τουλάχιστον για ένα μεγάλο μέρος του έργου. Αλλαγή τύπου τσιμέντου συνεπάγεται εκπόνηση νέας μελέτης συνθέσεως.

6.1.2.2. ΝΕΡΟ

Το νερό πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Κ.Τ.Σ. για τη χρήση νερού στο σκυρόδεμα.

6.1.2.3. ΑΔΡΑΝΗ

Τα αδρανή που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις του Κ.Τ.Σ. για τη χρήση θραυστών ή φυσικών αδρανών στο σκυρόδεμα. Τα αδρανή πρέπει να έχουν ανώμαλη επιφάνεια, να έχουν σχήμα περίπου κυβικό ή σφαιρικό και να είναι γωνιώδη. Επιπλέον απαιτείται η χρήση αδρανών με μεγάλη σκληρότητα. Ως μέγιστη απώλεια των αδρανών κατά την δοκιμή Los Angeles ορίζεται η τιμή 28%. Εξαίρεση απ' την απαίτηση αυτή επιτρέπεται υπό τις ακόλουθες προϋποθέσεις :

α) Η κατηγορία σκυροδέματος είναι τουλάχιστον C40 .

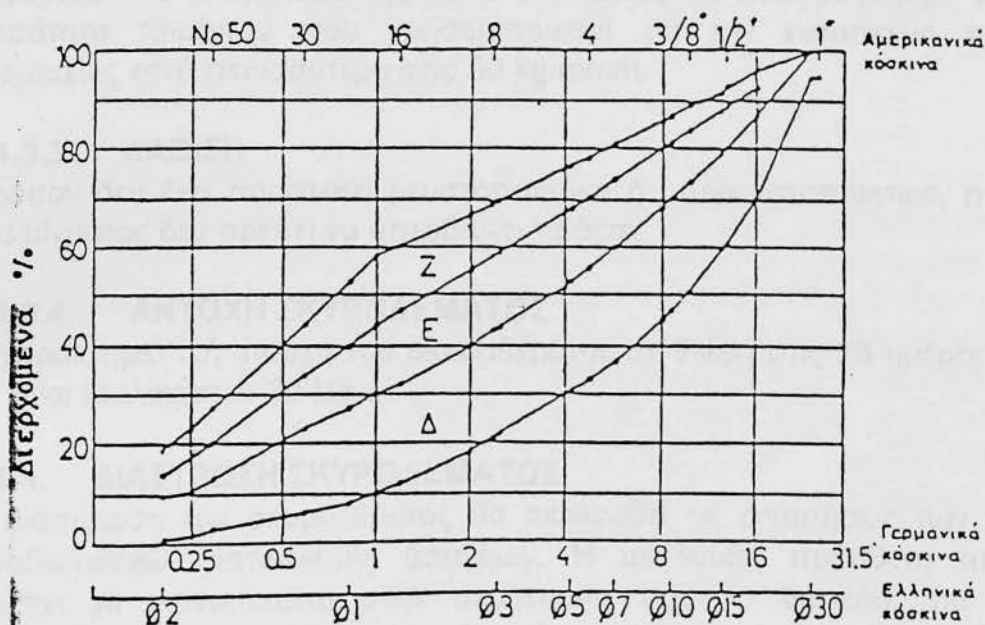
β) Η διαπίστωση της αντοχής του σκυροδέματος γίνεται με πρόσθετη ιδιαίτερα επιμέλεια.

γ) Πάντως , η κατά Los Angeles απώλεια των αδρανών δεν θα είναι μεγαλύτερη από 35% σε καμιά περίπτωση.

Στην περίπτωση χρήσεως πυριτικών απαιτείται να γίνεται , πριν από την χρησιμοποίηση των αδρανών , έλεγχος για το ενδεχόμενο της αλκαλοπυριτικής αντιδράσεως.

Η κοκκομετρική καμπύλη του μίγματος των αδρανών, όπως ορίζει και ο Κ.Τ.Σ., πρέπει να βρίσκεται στο κάτω μισό της υποζώνης Δ(βλ.Σχ.56). Η

μέγιστη διάσταση αδρανών δεν πρέπει να ξεπερνά τα 38 mm ή το 1/3 του πάχους της πλάκας του δαπέδου.



Σχ.86: Όρια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου ϕ 30 ή 31,5 ή 1".

6.1.2.4. ΠΡΟΣΘΕΤΑ

Εφόσον στην μελέτη συνθέσεως αποδειχθεί ότι είναι απαραίτητο, μπορεί να προστεθούν στο σκυρόδεμα διάφορα πρόσθετα τα οποία πρέπει να συμφωνούν με τις απαιτήσεις της ειδικής προδιαγραφής ΣΚ-308. Δεν επιτρέπεται η ταυτόχρονη δύο ή περισσότερων προσθέτων αν δεν έχει προηγηθεί έλεγχος συμβατότητας των. Εάν το σκυρόδεμα διαστρωθεί σε δύο στρώσεις, τότε θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στη μελέτη συνθέσεως και να μην χρησιμοποιηθούν πρόσθετα τα οποία πιθανόν να δράσουν βλαπτικά στη συνάφεια των δύο στρώσεων.

6.1.3. ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

6.1.3.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η σύνθεση του σκυροδέματος πρέπει να έχει μελετηθεί έτσι ώστε το σκυρόδεμα να έχει την μικρότερη δυνατή εξίδρωση.

6.1.3.2. ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Η ελάχιστη ποσότητα του τσιμέντου στο σκυρόδεμα ορίζεται σε 350kg/mmm. Αν το σκυρόδεμα διαστρωθεί σε δύο στρώσεις, δεν επιτρέπεται η ποσότητα τσιμέντου στο σκυρόδεμα της κάτω στρώσεως να είναι μικρότερη από την ποσότητα τσιμέντου που χρησιμοποιείται για την κατασκευή της άνω στρώσεως κατά περισσότερο από 50 kg/mmm.

6.1.3.3. ΚΑΘΙΣΗ

Εφόσον δεν έχει προστεθεί ρευστοποιητικό ή υπερευστοποιητικό, η κάθιση του μίγματος δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 5cm.

6.1.3.4. ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη στις 28 ημέρες πρέπει να είναι τουλάχιστον 30 Μpa.

6.1.4. ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η διάστρωση του σκυροδέματος θα ακολουθεί τις απαιτήσεις των γενικών προδιαγραφών κατασκευής δαπέδων. Η ακόλουθη πρόσθετη απαίτηση πρέπει να ικανοποιείται στην περίπτωση που το δάπεδο, για λόγους οικονομίας, κατασκευάζεται με μία πάνω στρώση από σκληρά αδρανή : Μεταξύ του πέρατος διαστρώσεως της υποκείμενης στρώσεως και της ενάρξεως διαστρώσεως της υπερκείμενης δεν πρέπει να μεσολαβεί χρόνος μεγαλύτερος από 20min για θερμοκρασία περιβάλλοντος μεταξύ 25 και 32 C.

6.1.5. ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Πρέπει να καταβάλλεται κάθε προσπάθεια ώστε το σκυρόδεμα να μην υφίσταται απόμιξη, και να συμπυκνώνεται πλήρως.

6.1.6. ΠΕΡΑΤΩΣΗ ΤΕΛΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΟΡΦΩΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Θα ακολουθούνται οι μέθοδοι που προβλέπονται από την γενική προδιαγραφή κατασκευής δαπέδων, και θα δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην αποφυγή υπερβολικής επεξεργασίας της επιφάνειας (για την αποφυγή εξίδρωσης).

Όταν η χρησιμοποίηση σκληρών αδρανών στο σκυρόδεμα της πάνω στρώσεως είναι ασύμμορφη, είναι δυνατόν να αυξηθεί η ανθεκτικότητα της επιφάνειας σε απότριψη μέσω " έμπηξεως " χονδρών αδρανών στην επιφάνεια του ήδη συμπυκνωμένου σκυροδέματος. Η έμπηξη αυτή γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή χρησιμοποιώντας ειδικούς κυλίνδρους ή δονητικές δοκούς, έτσι ώστε οι κόκκοι να ενσωματωθούν επαρκώς στην ανώτερη στρώση του σκυροδέματος.

6.1.7. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Το σκυρόδεμα πρέπει να συντηρηθεί απαραίτητως για 14 ημέρες, σύμφωνα με τον ΚΤΣ. Η συντήρηση του σκυροδέματος πρέπει να αρχίσει αμέσως μόλις τελειώσει η διάστρωση του και να μην διακοπεί καθόλου επί 14 ημέρες.

6.1.8. ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΤΗΝ ΧΡΗΣΗ

Κυκλοφορία ελαφρών οχημάτων μεγίστου μικτού φορτίου μέχρι 5t επιτρέπεται μετά παρέλευση 14 ημερών. Επιτρέπεται η πλήρης χρησιμοποίηση του δαπέδου μετά από παρέλευση 28 ημερών. Κατ' εξαίρεση, η υπηρεσία μπορεί να επιτρέψει τη διέλευση περιορισμένου αριθμού βαρέων οχημάτων, εφόσον η αντοχή του μίγματος έχει αποκτήσει τουλάχιστον 80% της συμβατικής τιμής της. Σε περίπτωση που χρειάζεται να αποκοπούν οι αρμοί με αρμοκόπτη, επιτρέπεται η διέλευση των σχετικών μηχανημάτων πάνω από το νεαρό σκυρόδεμα οπότε είναι απαραίτητα να γίνει κοπή αρμών, υπό την προϋπόθεση ότι δεν θα θίγονται τα μέτρα συντηρήσεως. Σε περίπτωση δε φθοράς, τα μέτρα συντηρήσεως θα αποκαθίστανται μετά την διέλευση του μηχανήματος κοπής των αρμών για το υπόλοιπο χρονικό διάστημα συντηρήσεως.

6.2. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΥΔΡΟΦΘΟΡΑ

Πρέπει να αποφεύγονται γωνίες και τοπικές ασυνέχειες, ώστε να μην δημιουργούνται μεταβολές της ταχύτητας και τυρβώδες. Η ταχύτητα ροής πρέπει να είναι μικρότερη από 8m/s σε κλειστούς αγωγούς, και μικρότερη από 12m/s σε ανοικτούς αγωγούς, ώστε να αποφύγουμε τον κίνδυνο σπηλαιώσεως. Αν πλοία πρόκειται να αγγίξουν τον τοίχο υδατοφράγματος, απαιτείται επικάλυψη μεγάλου πάχους π.χ. 10cm για να προστατευθεί ο σιδηροπλισμός.

Όλες οι γωνίες και οι αρμοί διαστολής συνίσταται να καλύπτονται από κομμάτια χάλυβα, για προστασία του σκυροδέματος από προσκρούσεις. Το ίδιο πρέπει να γίνεται για τα άνω άκρα υδατοφράγματος, όπου συνδέονται τα χαλύβδινα καλώδια αναρτήσεως.

Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται κατά την διάρκεια διαστρώσεως και συντηρήσεως του σκυροδέματος. Ο ξυλότυπος πρέπει να είναι στεγανός και δύσκαμπτος, ώστε το σκυρόδεμα να γίνει ομοιογενές και η επιφάνεια του σκυροδέματος να είναι κατά το δυνατόν λεία και επίπεδη. Μετά την αφαίρεση του ξυλότυπου, το σκυρόδεμα πρέπει να διατηρείται υγρό για δύο εβδομάδες.

Σε περίπτωση επισκευής, πρέπει να αφαιρούνται όλα τα χαλαρωμένα τμήματα του σκυροδέματος και να καθαρίζεται η επιφάνεια του σκυροδέματος. Η νέα

επικάλυψη πρέπει να είναι τσιμεντοκονίαμα με μέγιστη διάσταση αδρανών περίπου το 1/3 του πάχους της επικάλυψης

6.3. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΔΡΑΣΗ ΣΠΗΛΑΙΩΣΕΩΣ

Το σκυρόδεμα πρέπει να είναι πυκνό, με μικρή διάσταση αδρανών, να υπάρχει δε καλή συνάφεια μεταξύ σκύρων και τσιμεντοκονιάματος. Έχει όμως αποδειχθεί ότι ακόμα και άριστα κατασκευασμένο σκυρόδεμα θα υποστεί έστω και μετά από αρκετό χρόνο φθορά λόγω σπηλαιώσεως.

Σε περίπτωση επισκευής, πρέπει να επιτευχθεί καλή πρόσφυση μεταξύ παλιού και νέου σκυροδέματος. Το νέο στρώμα σκυροδέματος πρέπει να περιέχει την ίδια ποσότητα τσιμέντου και άμμου κατά βάρος. Η μέγιστη διάσταση αδρανών πρέπει να είναι το 1/3 έως 1/5 του πάχους του νέου στρώματος.

Η χρήση πολυμερών στο σκυρόδεμα δίνει καλά αποτελέσματα, όταν η χρήση τους γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή κι από ειδικευμένο προσωπικό.

Πρέπει να παρατηρούμε τις εξής:

- Είναι μέτριας περιεκτικότητας η ποσότητα του τσιμέντου πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 270kg/m³ και ο λόγος Ν/Τ να μην ξεπερνά το 0,65
- Είναι απαραίτητος προεκάλυψη απαιτείται:
 1. Πρόσθετο τσιμέντου μεγαλύτερη από 30% κ.β.
 2. Λόγος Ν/Τ μικρότερος από 0,55
 3. Πρόσθετη υδατικών σε ποσότητα 3,3 έως 5,7% κ.β.
 4. Οι παραπάνω να μην ξεπερνούν ορισμένα όρια π.χ.

- Σκυρίδες σε ποσότητα μικρότερη από 50% κ.β.
- Πιλομετρικές πάρες σε ποσότητα μικρότερη από 1% κ.β.
- Πλαστική πατάνη σε ποσότητα μικρότερη από 8% κ.β.

Στην περίπτωση χρήσης λεπτόκοκκων αδρανών απαιτείται αύξηση της περιεκτικότητας σε σκυροδέματος σε κτήν σταθ ούς 10%

ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ (mm)	32	25	16	12,5	8
ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΙΛΩΝ ΑΣΤΑ (%)		0,5	1	1,5	2,5

6.4. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟ ΣΕ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΑΓΕΤΟΥ - ΑΝΤΙΠΑΓΩΤΙΚΩΝ ΑΛΑΤΩΝ

6.4.1. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ ΣΤΟΝ ΠΑΓΕΤΟ

Η επίδραση παγετού στο σκυρόδεμα μπορεί να διακριθεί στις εξής κατηγορίες:

- **Μέτρια προσβολή:** Επίδραση παγετού σε σκυρόδεμα το οποίο είναι κορεσμένο αλλά προστατεύεται αρκετά.
- **Σοβαρή προσβολή:** Επίδραση παγετού σε κορεσμένο σκυρόδεμα το οποίο δεν προστατεύεται.
- **Επίδραση αλάτων:** Ταυτόχρονη επίδραση παγετού και αντιπαγωτικών αλάτων.

Τα αδρανή τα οποία χρησιμοποιούνται, σε όλες τις κατηγορίες προσβολής, πρέπει να έχουν μεγάλη αντοχή σε επίδραση παγετού και αλάτων.

Πρέπει να αναφέρουμε τα εξής:

- Έναντι **μέτριας** προσβολής η ποσότητα του τσιμέντου πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 270kg/mmm, και ο λόγος N/T να μην ξεπερνά το 0.65.
- Έναντι **σοβαρής** προσβολής, απαιτείται:
 1. Ποσότητα τσιμέντου μεγαλύτερη από 300kg/mmm
 2. Λόγος N/T μικρότερος από 0.55
 3. Προσθήκη αερακτικών σε ποσότητα 3.5 έως 5.5% κ.ο.
 4. Οι προσμίξεις να μην ξεπερνούν ορισμένα όρια π.χ. :

Σκωρίες σε ποσότητα μικρότερη από 50% κ.β.

Ιπτάμενες τέφρες σε ποσότητα μικρότερη από 15%κ.β.

Πυριτική παιπάλη σε ποσότητα μικρότερη από 8% κ.β.

Στην περίπτωση χρήσεως **λεπτόκοκκων** αδρανών, απαιτείται αύξηση της περιεκτικότητας του σκυροδέματος σε κενά αέρα ως εξής

ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ (mm)	32	25	16	12.5	8
ΑΥΞΗΣΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΕΝΑ Α΄ΕΡΑ (%)	—	0.5	1	1.5	2.5

Πιν. 1: Ελάχιστη απαιτούμενη περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε τσιμέντο για τις διάφορες κατηγορίες επιδράσεως παγετού (CP 110: Part 1, 1972)

Κατηγορίες Προσβολής	ΩΠΛΙΣΜΕΝΟ					ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ				
	Μέγιστη διάσταση αδρανών (mm)				Μέγιστος λόγος Ν/Τ	Μέγιστη διάσταση αδρανών (mm)				Μέγιστος λόγος Ν/Τ
	40	20	14	10		40	20	14	10	
Μέτρια	260 (240)	290 (260)	320 (290)	340 (310)	(0.55)	300 (300)	300 (300)	320 (300)	340 (310)	(0.55)
Σοβαρή	320 (290)	390 (330)	390 (350)	410 (370)	(0.45)	320 (300)	360 (330)	390 (350)	410 (370)	(0.45)
Επίδραση αλάτων	260 (240)	290 (260)	320 (290)	340 (31)	(0.55)	300 (300)	300 (300)	320 (300)	340 (310)	(0.55)
Περιεκτικότητα σε κενά αέρα (%)	4	5	6	7		4	5	6	7	

Οι εντός παρενθέσεως τιμές εφαρμόζονται όταν ο αντίστοιχος λόγος Ν/Τ μπορεί να ελεγχθεί με αυστηρότητα.

6.4.2. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΑΓΕΤΟΥ

Αν το σκυρόδεμα δεν έχει παρασκευασθεί σωστά και δεν πληρεί τις απαιτήσεις ανθεκτικότητας σε επίδραση παγετού, πρέπει να ληφθούν πρόσθετα μέτρα για να αποφύγουμε την καταστροφή του σκυροδέματος. Τα πρόσθετα μέτρα έχουν ως σκοπό να εμποδίσουν την απορρόφηση νερού από το σκυρόδεμα, ώστε να αποφευχθεί ο κρίσιμος βαθμός κορεσμού του σκυροδέματος.

Συνήθως η επιφάνεια του σκυροδέματος επικαλύπτεται με **αδιάβροχες μεμβράνες**. Ο G.Litvan, (1981), αναφέρει ότι η σιλικόνη αποδεικνύεται πολύ καλό υλικό επιχρίσεως διότι εμποδίζει την διείσδυση της βροχής ενώ επιτρέπει την εξάτμιση του νερού το οποίο υπάρχει στο σκυρόδεμα.

Ειδικότερα, για κατασκευές οι οποίες εκτίθενται διαρκώς στο νερό (π.χ. θεμέλια σε υγρό έδαφος), έχει μεγάλη σημασία να προστατεύεται ολόκληρη η επιφάνεια του σκυροδέματος. Οι μεμβράνες όμως έχουν το μειονέκτημα ότι πρέπει να ανανεώνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Για την **επισκευή** σκυροδέματος το οποίο δεν έχει υποστεί μεγάλη φθορά, χρησιμοποιούνται εποξειδικές ρητίνες. Αν η φθορά είναι μεγάλη, τότε αφαιρείται το κατεστραμμένο στρώμα και κατασκευάζεται νέο επίστρωμα. Για την Παρασκευή του νέου σκυροδέματος, χρησιμοποιούνται τα ίδια υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του παλιού σκυροδέματος, αλλά ο λόγος N/T πρέπει να έχει μικρότερη τιμή.

Όσον αφορά τα **αντιπαγωτικά άλατα**, η εκλογή πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή. Ο E. Wurth,(1978), συνιστά την χρήση μεθυλικής αλκοόλης ως αποτελεσματικού μη τοξικού υλικού για την καταστροφή του πάγου. Η μεθυλική αλκοόλη δεν προσβάλλει χημικά το σκυρόδεμα ή τον χάλυβα. Έχει όμως τα μειονεκτήματα ότι πρέπει να ανανεώνεται μετά από λίγες ώρες και ότι το κόστος της είναι πενταπλάσιο του κόστους των αντιπαγωτικών.

6.7. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΕΩΣ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ, ΕΝΑΝΤΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΣ.

Η φθορά του σκυροδέματος των αγωγών η οποία οφείλεται σε επίδραση βακτηρίων, μπορεί να περιορισθεί ή ακόμα και να αποφευχθεί με την λήψη των εξής μέτρων :

- Αφαίρεση της ιλύος και των προσχώσεων από τον σωλήνα, για να περιορισθεί η διατιθέμενη ποσότητα θείου.
- Αποτροπή της δημιουργίας υδρόθειου μέσα στον σωλήνα με διάφορους τρόπους , π.χ. μείωση του τυρβώδους της ροής, περιορισμός της ποσότητας των θειικών αλάτων κ.λ.π.
- Αφαίρεση του δημιουργηθέντος υδρόθειου, π.χ. με εξαερισμό των αγωγών, προσθήκη χλωρίνης για να οξειδωθεί το υδρόθειο, με προσθήκη αλάτων βαρέων μετάλλων τα οποία προκαλούν καθίζηση του υδρόθειου κ.λ.π.
- Ελαχιστοποίηση της ποσότητας του υπάρχοντος αέρα με αύξηση του βαθμού πληρώσεως του σωλήνα.
- Εξουδετέρωση του δημιουργηθέντος θειικού οξέος με προσθήκη αέριας αμμωνίας.
- Προσθήκη βακτηριοκτόνων στο νερό των αγωγών, π.χ. προσθήκη ανθρακικού χαλκού, πυριτιοφθοριούχου νατρίου, πενταχλωριοφαινόλης κ.λ.π.
- Προσθήκη διαφόρων ουσιών κατά την Παρασκευή του σκυροδέματος : Συνήθως χρησιμοποιείται ένυδρος θειικός χαλκός σε ποσότητα 0.1%κ.β. τσιμέντου. Ο μεταλλικός χαλκός πρέπει να μην είναι οξειδωμένος, διότι διαφορετικά δεν προστατεύει το σκυρόδεμα και επηρεάζει αρνητικά την διαδικασία σκληρύνσεως του σκυροδέματος.
- Βαφές και επιχρίσματα στο σκυρόδεμα : Έχουν ως βάση το οξείδιο του δισθενούς χαλκού, αλλά μπορεί να είναι και οργανικές ενώσεις, ενώσεις αρσενικού, κασσίτερου και υδραργύρου, οι οποίες είναι πολύ δηλητηριώδεις. Η διαδικασία επιχρίσεως επαναλαμβάνεται κάθε 2 έως 3 έτη.

6.8. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟ ΣΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ - ΑΛΚΑΛΙΩΝ

Οι απαιτήσεις για σκυρόδεμα σε δράση αλκαλίων αφορούν την περιεκτικότητα του τσιμέντου σε αλκάλια, τα πρόσθετα στο τσιμέντο και το είδος των αδρανών.

- Το τσιμέντο πρέπει να περιέχει λίγα αλκάλια. Το ASTM εκφράζει την περιεκτικότητα του τσιμέντου σε αλκάλια ως ισοδύναμο Na_2O ($0.658\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) το οποίο πρέπει να είναι μικρότερο του 0.6%κ.β. τσιμέντου.
- Άλλοι αναφέρουν ότι έχει παρατηρηθεί μείωση της διογκώσεως λόγω αντιδράσεως αδρανών αλκαλίων με την προσθήκη ιπτάμενων τεφρών στο τσιμέντο. Οι ιπτάμενες τέφρες μειώνουν την διόγκωση ακόμα και όταν η περιεκτικότητα του τσιμέντου σε αλκάλια είναι μεγάλη. Πάντως, η χρήση ποζολάνων πρέπει να γίνεται με προσοχή γιατί έχει παρατηρηθεί ότι

μερικές από αυτές αυξάνουν τον κίνδυνο αντιδράσεως αλκαλίων - πυριτίου. Οι ποζολάνες δεν μειώνουν τον κίνδυνο πραγματοποίησης της αντιδράσεως αλκαλίων - ανθρακικών αλάτων. Ο D. Hobbs συνιστά η ποσότητα διαλυτών αλκαλίων στο σκυρόδεμα να είναι μικρότερη από 2.5 kg/mmm, όταν χρησιμοποιούνται ποζολάνες οι οποίες μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα. Έχει βρεθεί ότι προσθήκη σκωρίων σε ποσότητα 60% μειώνει την διόγκωση αρκετά.

- Μικρός λόγος N/T μειώνει την απαιτούμενη ποσότητα τσιμέντου, μειώνοντας έτσι την συνολική ποσότητα, χωρίς να επηρεάζεται η ποιότητα του σκυροδέματος. Συγχρόνως, επιτυγχάνεται χαμηλή διαπερατότητα του σκυροδέματος, η οποία αποτρέπει την διείσδυση της υγρασίας. Αποφεύγεται έτσι η διόγκωση λόγω ενυδατώσεως των προϊόντων αντιδράσεως αλκαλίων - πυριτίου.
Μικρή διαπερατότητα του σκυροδέματος επιτυγχάνεται και με την χρήση αερακτικών.
- Πρέπει να αποφεύγεται η χρήση συντελομένων ή ελαφρών αδρανών. Πρέπει να χρησιμοποιούνται άμμοι οι οποίες απαιτούν λίγο νερό, επομένως λίγο τσιμέντο (για τον ίδιο λόγο N/T). Όσο πιο χονδρόκοκα είναι τα αδρανή, τόσο λιγότερο είναι το απαιτούμενο νερό για να παραχθεί σκυρόδεμα με ορισμένο εργάσιμο.
- Πρέπει να αποφεύγονται οι μεγάλες και ογκώδεις διατομές γιατί διασκορπίζουν αργά την θερμότητα ενυδατώσεως, ενώ συγχρόνως διατηρούν υγρασία για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ο χρόνος ξηράνσεως πρέπει να περιορίζεται κατά το δυνατόν.
- Προστασία επιτυγχάνεται με αφαίρεση της υγρασίας από το σκυρόδεμα. Σημαντικό είναι να εμποδίσουμε την διείσδυση υγρασίας χωρίς να παγιδευτεί η υγρασία που υπάρχει στο σκυρόδεμα. Αδιαβροχοποίηση του σκυροδέματος επιτυγχάνεται με επίχρισμα σιλικόνης ή άλλων συνθετικών υλικών.
- Όταν αρχίσει η αλκαλοπυριτική αντίδραση, η εξέλιξη της δεν μπορεί να ανασταλεί. Ο J. Flanagan, (1982), συνιστά εκτόξευση ρητίνης ή άλλα κατάλληλα υλικά για να κλείσουν οι ρωγμές. Πάντως, η επισκευή των ρωγμών είναι πολύ δύσκολη, γιατί συνήθως οι ρωγμές εμφανίζονται ξανά κάτω από το επίχρισμα ρητίνης ή βαφής.

6.9. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟ ΕΝΑΝΤΙ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΥΔΑΤΟΣ

Σχολιάζεται εδώ η περίπτωση άμεσης επαφής με θαλάσσιο νερό. Όπως είναι γνωστό, η παλιρροιακή ζώνη είναι η περισσότερο επικίνδυνη ζώνη για την εμφάνιση σοβαρής φθοράς του σκυροδέματος.

Ο Βρετανικός κανονισμός BS 6235, 1982, δίνει τις πιο συντηρητικές συστάσεις για την Παρασκευή σκυροδέματος ανθεκτικού σε επίδραση θαλάσσιου νερού. Μεγάλη σημασία έχει η πυκνότητα του σκυροδέματος και μικρότερη σημασία το είδος του χρησιμοποιούμενου τσιμέντου. Παρ' όλα αυτά, για το είδος του τσιμέντου αναφέρονται τα εξής:

Η χρήση **ποζολανικών προσμίξεων** στο τσιμέντο προσδίδει εξαιρετικά μεγάλη ανθεκτικότητα στο σκυρόδεμα έναντι επιδράσεως θαλασσίου ύδατος. Η ενυδάτωση ενός τσιμέντου portland που περιέχει 15% ποζολάνες προκαλεί δέσμευση του Ca(OH)_2 για τον σχηματισμό προ'ιόντων ενυδατώσεως. Όταν δε το Ca(OH)_2 στο σκυρόδεμα είναι δεσμευμένο μέσα στα προ'ιόντα ενυδατώσεως του τσιμέντου, τότε η φθορά η οποία προκαλείται στο σκυρόδεμα με απόπλυση είναι μικρή. Τα τσιμέντα με σκωρίες συμπεριφέρονται καλά όταν περιέχουν σκωρίες σε ποσοστό τουλάχιστον 65%. Τα αργιλικά τσιμέντα συμπεριφέρονται ικανοποιητικά σε επίδραση θαλάσσιου νερού. Από τον L.Hjorth, (1983), συνιστάται μικρή περιεκτικότητα του τσιμέντου σε γύψο, ώστε η γύψος να μην δεσμεύεται το C_3A κατά τις αντιδράσεις ενυδατώσεως. Ο mehta, (1976) , συνιστά περιεκτικότητα σε C_3A μεγαλύτερη από 8% τσιμέντου για να μπορεί να δεσμεύσει τα χλωριόντα. Η ποσότητα αυτή εντούτοις, περιορίζεται στο 5% διότι με την επίδραση θει'ικών αλάτων δημιουργούνται άλατα όπως ο ετρινγκίτης τα οποία διογκώνεται προκαλώντας θραύση του σκυροδέματος. Έτσι ο L. Hjorth, (1983), συνιστά χρήση τσιμέντου με χαμηλή περιεκτικότητα σε γύψο, με περιεκτικότητα σε C_3A έως 5% και προσθήκη ποζολανικών ή σκωριών.

6.10. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΛΩΡΙΟΝΤΩΝ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Οι απαιτήσεις για την Παρασκευή σκυροδέματος αφορούν : 1) χαμηλή διαπερατότητα του σκυροδέματος για παρεμπόδιση της διαχύσεως των χλωριόντων και 2) την ικανότητα δεσμεύσεως των χλωριόντων ώστε να μειωθεί η ποσότητα των ελευθέρων χλωριόντων τα οποία προκαλούν διάβρωση του χάλυβα.

6.10.1. ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Αν το τσιμέντο περιέχει μεγάλες ποσότητες C_3A , μπορεί να δεσμεύει τα χλωριόντα. Λαμβάνοντας υπόψη ταυτόχρονη επίδραση θει'ικών 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 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 διότι τα αερακτικά μειώνουν την απαιτούμενη ποσότητα νερού ενώ μπορούν να ελαττώσουν και τη συνολική διαπερατότητα. Γενικά, απαιτείται μεγάλη περιεκτικότητα σε τσιμέντο και χαμηλό λόγο N/T (μικρότερος από 0.40).

6.10.2. 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 διότι η οξειδωση του πυρίτη οδηγεί σε ισχυρά όξινη αντίδραση, δίνοντας διαλύματα θειϊκού οξέος. Μ' αυτόν τον τρόπο, προκαλείται σοβαρή διάβρωση στο σκυρόδεμα.

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

6.10.3. ΠΡΟΣΘΕΤΑ

Όπως είναι γνωστό, το **CaCl₂** επιταχύνει την ενυδάτωση των πυριτικών αλάτων όταν προστεθεί σε ποσότητα τουλάχιστον 1% κ.β. τσιμέντου. Επιταχύνει επίσης την ενυδάτωση του **C₃A**. Γι' αυτό και χρησιμοποιείται σε περίπτωση ανάγκης ως επιταχυντικό. Είναι όμως σήμερα αναντιρρήτως γνωστό ότι βλάπτει τους οπλισμούς. Χρήση **CaCl₂** σε ποσότητα μέχρι 1.5% κ.β. 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.

6.10.4. ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΙΞΕΩΣ

Νερό με περιεκτικότητα σε χλωριόντα σε ποσότητα μεγαλύτερη από 0.15% κ.β. τσιμέντου, μπορεί να αρχίσει τη διάβρωση του χάλυβα. Στο νερό τα χλωριόντα δεν πρέπει να ξεπερνούν ποσότητα 0.05% κ.β. τσιμέντου. Χρήση θαλάσσιου νερού στο σκυρόδεμα σημαίνει προσθήκη χλωριόντων σε ποσότητα 1 έως 2% κ.β. τσιμέντου, ανάλογα με το N/T.

Το πόσιμο νερό έχει χλωριόντα σε ποσότητα μικρότερη από 50ppm. Τα χλωριόντα σε μη χλωριόντα πρόσθετα του σκυροδέματος δεν ξεπερνούν τα 100 έως 800 ppm.

6.10.6. ΣΧΟΛΙΑ

Προσθήκη ποσότητας 2% **CaCl₂** ως πρόσθετο στο σκυρόδεμα παρέχουν περίπου 1% χλωριόντα. Δίνονται οι εξής εμπειρικές συστάσεις:

- Επαρκής επικάλυψη σκυροδέματος, για να παρέχεται στον χάλυβα αρκετή προστασία σε διάβρωση όταν εκτίθεται σε θαλάσσιο νερό.
- Προσθήκη λιγνοσουλφόνης ταυτόχρονα με την χρήση **CaCl₂** εμποδίζει την διάβρωση του χάλυβα λόγω επιδράσεως χλωριόντων.
- Επαναλαμβανόμενη προσθήκη αντιπαγωτικών αλάτων σε οπλισμένο σκυρόδεμα προκαλεί διάβρωση του οπλισμού, άσχετα αν χρησιμοποιήθηκε ή όχι **CaCl₂** ως πρόσθετο κατά την Παρασκευή του σκυροδέματος.
- Τα χλωριόντα αντιπαγωτικά άλατα να αντικατασταθούν από άλατα μη χλωριούχα.

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

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

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

1. Επίστρωμα σκυροδέματος με χαμηλή διαπερατότητα σε χλωριόντα
2. Πρόσθετες ράβδοι οπλισμού επιχρισμένες με εποξειδική ρητίνη
3. Ανασταλτικά διαβρώσεως οπλισμού (π.χ. νιτρώδες ασβέστιο)
4. καθοδική προστασία του οπλισμού

6.11. 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 προβληματικότητα του περιβάλλοντος και την ποιότητα του σκυροδέματος. Μερικοί κανονισμοί (π.χ. ο Ολλανδικός) εκφράζουν το απαιτούμενο πάχος επικάλυψης βάσει της κατηγορίας του μέλους της κατασκευής (υποστύλωμα, δοκός) και όχι βάσει της ποιότητας του σκυροδέματος.

7. ΑΡΧΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΣΙΔΗΡΟΠΛΙΣΜΩΝ ΑΠΟ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

7.0. Προοίμιο

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

Μέσα στο σκυρόδεμα

- Ανασταλτικά διαβρώσεως

Στην επιφάνεια του σκυροδέματος

- Προστατευτικά επιστρώματα
- 1. Υδατοστεγείς μεμβράνες
- 2. Επικάλυψη ειδικού σκυροδέματος

Πάνω στον οπλισμό

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

7.1. ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

7.1.1. Ανασταλτικά διαβρώσεως

Τα ανασταλτικά διαβρώσεως είναι ουσίες οι οποίες προστίθενται στο **σκυρόδεμα** κατά την Παρασκευή του, με σκοπό να προστατεύσουν τον ενσωματωμένο χάλυβα από 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 (π.χ. τα φωσφορικά άλατα σχηματίζουν σταθερές ενώσεις με τον σίδηρο).

Τα ανασταλτικά διαβρώσεως μπορεί να είναι **οργανικά άλατα** (π.χ. άλατα δεσφικού οξέος, βενζοϊκό νάτριο κ.λ.π.), ή **ανόργανα άλατα** (π.χ. διχρωμικό κάλιο, νιτρώδες ασβέστιο κ.λ.π.).

Υποστηρίζεται ότι προσθήκη ποσότητας 3% **NaNO₂** στο σκυρόδεμα βελτιώνει πολύ την συμπεριφορά του χάλυβα έναντι διαβρώσεως μέσα σε ενανθρακωμένο σκυρόδεμα.

Αναφέρεται ότι 1.4% φωσφορικού άλατος στο σκυρόδεμα εξουδετερώνει επίδραση χλωριόντων τα οποία βρίσκονται σε ποσότητα μέχρι 0.3%κ.β. τσιμέντου.

Ως ανασταλτικό έναντι επιδράσεως χλωριόντων αναφέρεται η **λιγνοσουλφόνη**, όπου είναι υλικό με βάση την λιγνίτη και προέρχεται από τα απορρίμματα 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.

Έχει όμως 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 σκλήρυνσεως.

7.2. ΠΑΝΩ ΣΤΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟ

7.2.1. ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΑ ΣΤΟΝ ΧΑΛΥΒΑ

Έχει παρατηρηθεί ότι προστασία του χάλυβα με πρόσθετα μέτρα μέσα στο σκυρόδεμα 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 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.

7.2.1.1. Μη μεταλλικά επιχρίσματα

Τα υλικά επιχρίσεως μπορεί να είναι οργανικά ή ανόργανα. Τα συνηθέστερα υλικά επιχρίσεως είναι οι εποξειδικές ρητίνες και χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC). Το χλωριούχο πολυβινύλιο έχει μικρή διαπερατότητα έναντι 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 είναι το περιβάλλον του σκυροδέματος. Οι εποξειδικές ρητίνες εφαρμόζονται στον χάλυβα με δύο μεθόδους:

1. Ηλεκτροστατικό ψεκασμό

2. υγρή εμβάπτιση

Συνήθως εφαρμόζεται ο ηλεκτροστατικός ψεκασμός.

Η διαδικασία επιχρίσεως περιλαμβάνει προετοιμασία της επιφάνειας του χάλυβα, προθέρμανση, επίχριση, "ψήσιμο", ψύξη, επιθεώρηση κ.λ.π. Ο χάλυβας θερμαίνεται όταν εφαρμόζεται το επίχρισμα σε τέτοια θερμοκρασία ώστε να μην υπάρχει φόβος ότι επηρεάζονται οι φυσικές ιδιότητες του χάλυβα. Κατά την επίχρωση, ο χάλυβας αποτελεί την άνοδο και η εποξειδική ρητίνη, υπό μορφή σκόνης, αποτελεί την κάθοδο. Η σκόνη τήκεται πάνω στον χάλυβα, και σχηματίζεται ένα κλειστό περίβλημα το οποίο σκληρύνεται γρήγορα. Αν η επιφάνεια του χάλυβα δεν έχει καθαριστεί καλά, παρατηρείται ρηγμάτωση 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, ενώ μειώνεται κι η πρόσφυση του επιχρίσματος στον χάλυβα. Εξ άλλου, για μεγάλο πάχος επιχρίσεως είναι

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

Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η εύκολη καταστροφή του επιχρίσματος κατά την μεταφορά και αποθήκευση των χάλυβων. Επίσης όταν οι χάλυβες κάμπτονται σε χαμηλές θερμοκρασίες 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 συρματοβουρτσα και να επισκευασθεί. Κατά την συγκόλληση χάλυβων, το επίχρισμα καταστρέφεται σε έκταση 70 έως 180 mm 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 απ' την χρήση των οπλισμών, τύχει να πέσει σκυρόδεμα πάνω τους, το σκυρόδεμα αυτό πρέπει να απομακρυνθεί διότι θα μείωνε τοπικά τη συνάφεια μετά την τελική σκυροδέτηση. Ο καθαρισμός αυτός πρέπει να γίνει ή με πανί, προτού το σκυρόδεμα σκληρυνθεί πάνω στον χάλυβα. Η χρήση συρματοβουρτσας είναι επικίνδυνη γιατί θα αφαιρούσε και το επίχρισμα.

7.2.1.2. ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΑ

Τα μεταλλικά επιχρίσματα εφαρμόζονται στον χάλυβα με διάφορους τρόπους:

1. Με εμβάπτιση των χάλυβων σε τηγμένο μέταλλο.
2. Με επιμετάλλωση σε ηλεκτρολυτική συσκευή (αλλά σε πάχος αρκετά μικρότερο από το πάχος το οποίο επιτυγχάνεται με την εμβάπτιση).
3. 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 δύο κατηγορίες:

· **Ευγενή προστατευτικά επιχρίσματα τα οποία δρουν ως περίβλημα**

Σ' αυτή 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 κ.ά. 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.

· **Μεταλλικά επιχρίσματα τα οποία προστατεύουν τον χάλυβα με την δική τους καταστροφή**

Σ' αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα μέταλλα με δυναμικό διαβρώσεως μικρότερο από το δυναμικό διαβρώσεως του χάλυβα, π.χ. ψευδάργυρος, αλουμίνιο κ.ά. Τα επιχρίσματα διαβρώνονται έως ότου ο υπό προστασία χάλυβας εκτεθεί στο περιβάλλον σε μικρές περιοχές. Αλλά και τότε, λόγω της γαλβανικής δράσεως, επιτυγχάνεται η διάβρωση αυτού του "θυσιαζόμενου" επιχρίσματος, παρέχοντας έτσι κι άλλη 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 αντιπαγωτικών αλάτων, και σε θαλάσσιες κατασκευές. Έρευνες όμως οι οποίες έχουν διεξαχθεί σε θαλάσσιο περιβάλλον, έχουν δείξει ότι ο γαλβανισμός δεν αποτρέπει τελικώς τη 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.

Η χρήση γαλβανισμένων χαλύβων εισάγει πρόσθετους **κινδύνους**, γι' αυτό απαιτείται προσοχή κατά την χρήση τους:

α) Έχει παρατηθεί ότι ο ψευδάργυρος αντιδρά με το **Ca(OH)₂** του σκυροδέματος.



Το παραγόμενο από την αντίδραση υδρογόνο σχηματίζει φυσαλίδες στην περιοχή του οπλισμού, μειώνοντας μ' αυτόν τον τρόπο την συνάφεια μεταξύ του σκυροδέματος και του χάλυβα. Η συνάφεια 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 σκυρόδεμα ή με κατεργασία του οπλισμού 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 ή κράμα ψευδαργύρου με αλουμίνιο.

7.2.2. ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

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 τότε δημιουργείται άνιση κατανομή του χρωμίου στον μεταλλικό ιστό. Όταν ο μεταλλικός ιστός του χάλυβα διαστρεβλώνεται, ο χάλυβας έχει μικρή ανθεκτικότητα σε διάβρωση. Αν όμως το κράμα σιδήρου και χρωμίου περιέχει νικέλιο, και επιτευχθεί κατάλληλος συνδυασμός χρωμίου - νικελίου, τότε το χρώμιο θα κατανεμηθεί ομοιόμορφα στον μεταλλικό ιστό, οπότε η ανθεκτικότητα του χάλυβα σε διάβρωση είναι πολύ βελτιωμένη.

Αναφέρεται ότι χάλυβας με πρόσθετα 18% χρώμιο και 9% νικέλιο ή 18% χρώμιο, 9% νικέλιο και 3% μολυβδαίνιο, έχουν πολύ μεγάλη ανθεκτικότητα σε διάβρωση.

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 το 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 ανοξειδωτου ωστενικού 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.

7.2.2.1. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΕΙΔΗ ΔΙΑΒΡΩΣΕΩΝ

Οι ανοξειδωτοι χάλυβες υπόκεινται σε **γενική διάβρωση** μόνο σε πολύ όξινο ή αλκαλικό περιβάλλον. Τα χλωριόντα προκαλούν διάβρωση κατά βελονισμό στους ανοξειδωτους χάλυβες, στους χάλυβες υψηλής αντοχής και στα κράματα αλουμινίου ή μαγνησίου. Η τοπική διάβρωση γενικά αποφεύγεται με προσθήκη διάφορων μετάλλων στους ανοξειδωτους χάλυβες. Για παράδειγμα, η ανθεκτικότητα των ανοξειδωτων χαλύβων σε τοπική διάβρωση βελτιώνεται με προσθήκη μολυβδαίνιου σε ποσότητα 1% ή με προσθήκη χρωμίου σε ποσότητα 3%. Άλλα πρόσθετα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στους

ανοξειδωτους χάλυβες, είναι άζωτο ή πυρίτιο σε συνδυασμό με μολυβδαίνιο ή τιτάνιο σε ποσότητα τουλάχιστον 2%. Η **διάβρωση μεταξύ των κόκκων** στους ανοξειδωτους χάλυβες αποφεύγεται με προσθήκη τιτανίου ή νικελίου στο κράμα. Οι ανοξειδωτοι 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 αποφεύγονται ο σχηματισμός χρωμιούχων καρβιδίων διότι το νικέλιο και το τιτάνιο έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν τον άνθρακα με μεγαλύτερη ευκολία απ' ότι το χρώμιο.

7.2.3. Χρήση οπλισμών από τιτάνιο

Το τιτάνιο χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που το περιβάλλον είναι πάρα πολύ διαβρωτικό, τόσο ώστε οι ανοξειδωτοι χάλυβες να μην έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα. Η εξαιρετικά μεγάλη ανθεκτικότητα του τιτανίου σε διάβρωση οφείλεται στον σχηματισμό ενός 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 σε **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.

8. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ

8.0. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιθεώρηση μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα περιλαμβάνει καταρχήν έναν προσεκτικό οπτικό έλεγχο της καταστάσεως:

- των υλικών κατασκευής (σκυρόδεμα και χάλυβας).
- των προστατευτικών υλικών (λ.χ. επιχρίσματα, βαφές)
- των δομικών μελών (δοκοί, υποστυλώματα, αρμοί, εφέδρανα κ.λ.π.)

Έτσι εντοπίζουμε τυχόν φθορές στην κατασκευή (παλαιές ή εν εξελίξει), ώστε να τις αντιμετωπίσουμε έγκαιρα και να λάβουμε τα απαραίτητα μέτρα.

8.1. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Με την επιθεώρηση των υλικών κατασκευής προσπαθούμε να εντοπίσουμε

φθορές που οφείλονται σε αλλοιώσεις του ίδιου του σκυροδέματος ή σε διάβρωση των ενσωματωμένων χαλύβων.

Οι αλλοιώσεις του σκυροδέματος μπορεί να οφείλονται στους εξής παράγοντες:

- Κακή ποιότητα σκυροδέματος: Κακή σύνθεση του σκυροδέματος (λ.χ. σκυρόδεμα μεγάλου πορώδους), κακή διάστρωση, ανεπαρκής συμπίκνωση ή και ανεπαρκής συντήρηση.
- Κακός σχεδιασμός για την αποστράγγιση των νερών της βροχής.
- Εξωτερικές φυσικές ή χημικές επιδράσεις στο σκυρόδεμα (π.χ. επίδραση παγετού, αλάτων κ.λ.π.).
- Εσωτερικές επιδράσεις από σκυρόδεμα (π.χ. αντίδραση αδρανών - αλκαλίων).

Ακολουθούν ειδικότερες περιγραφές οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν τον οπτικό έλεγχο των υλικών μιας κατασκευής.

8.1.1. ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΚΑΙ ΦΘΟΡΕΣ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Απόμιξη σκυροδέματος

Η απόμιξη οφείλεται σε κακή σύνθεση ή και κακή διάστρωση του νωπού σκυροδέματος η οποία προκαλεί τη συσσώρευση των σκύρων και τον διαχωρισμό τους από το τσιμεντοκονίαμα. Η απόμιξη μπορεί να γίνει αντιληπτή μετά από μικρή φθορά του τσιμεντοκονιάματος, οπότε και αποκαλύπτεται η συγκεντρωμένη μεγάλη ποσότητα των σκύρων.

ΦΩΛΙΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Μερικές φορές, εμφανίζονται ορισμένες κοιλότητες κοντά στην επιφάνεια του σκυροδέματος ή και πιο μέσα. Οι φωλιές οφείλονται σε ανεπαρκή συμπίκνωση του σκυροδέματος ή σε απόπλυση λόγω επιδράσεως διαβρωτικών διαλυμάτων.

ΑΠΟΘΕΣΗ ΑΛΑΤΩΝ, ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΙΚΡΟΣΤΑΛΑΚΤΙΤΩΝ

Συνήθως, η φθορά αυτού του είδους γίνεται εμφανής με την δημιουργία λευκών κηλίδων στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Οι κηλίδες δημιουργούνται από τα άλατα του σκυροδέματος, τα οποία με την επίδραση εξωτερικού νερού "αποπλένονται" και αποτίθενται στην επιφάνεια. Η φθορά μαρτυρεί κακή

αρχική ποιότητα του σκυροδέματος ή και κακό σχεδιασμό του συστήματος αποστραγγίσεως των επιφανειών του σκυροδέματος. Τέτοια φαινόμενα μπορεί να μειώσουν πάρα πολύ την αλκαλικότητα του σκυροδέματος λόγω απομακρύνσεως των ουσιών που συντελούν στη διατήρηση των υψηλών τιμών του pH.

ΑΠΟΛΕΠΙΣΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Απολέπιση ονομάζουμε την απόσταση του τσιμεντοκονιάματος από την επιφάνεια του σκυροδέματος (απογύμνωση των σκύρων). Η απολέπιση μπορεί να οδηγήσει σε μικρή επιφανειακή φθορά του σκυροδέματος (μερικά τετραγωνικά εκατοστά) σε μερικά σημεία ή σε μεγαλύτερη έκταση. Μπορεί να οφείλεται κυρίως σε επίδραση παγετού ή σε επίδραση διαβρωτικών παραγόντων πάνω στο σκυρόδεμα. Η απολέπιση μπορεί να προκαλέσει την αφετηρία για σοβαρή διάβρωση του σκυροδέματος και απογύμνωση των σιδηροπλισμών.

ΑΠΟΦΛΟΙΩΣΗ

Αποφλοίωση ονομάζουμε την απόσταση μεγάλου επιφανειακού τεμαχίου σκυροδέματος σε βάθος ίσο περίπου με την επικάλυψη του οπλισμού. Η αποφλοίωση προκαλείται: α) από διογκώσιμα άλατα που βρίσκονται στο εσωτερικό του σκυροδέματος (λ.χ. γύψος, ετρινγκίτης), β) από διάβρωση του χάλυβα, γ) από κακή συντήρηση. Η αποφλοίωση μπορεί να οδηγήσει σε αποκάλυψη και διάβρωση των οπλισμών, και σε απώλεια της συνάφειας των οπλισμών με το σκυρόδεμα. Αν η αποφλοίωση οφείλεται σε διάβρωση του οπλισμού και εντοπισθεί έγκαιρα ώστε να γίνει επισκευή του σκυροδέματος, μπορεί να αποφευχθεί σοβαρότερη περαιτέρω φθορά.

ΑΤΑΚΤΗ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ

Η φθορά εμφανίζεται ως συγκέντρωση λεπτών επιφανειακών ρωγμών μικρού βάθους στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Μπορεί να οφείλεται α) σε υπερβολική συρρίκνωση νωπού σκυροδέματος λ.χ. από έντονη εξάτμιση νερού β) σε μεταγενέστερη αλκαλική αντίδραση τσιμέντου αδρανών. Η άτακτη ρηγμάτωση μπορεί να οδηγήσει σε εκτεταμένες απολεπίσεις του σκυροδέματος. Μερικές φορές, τα φαινόμενα που προκαλούν τις προηγούμενες αναφερθείσες φθορές δεν έχουν εξελιχθεί αρκετά ώστε να εκδηλωθούν με τους παραπάνω τρόπους. Παρ' όλα αυτά ο προσεκτικός επιθεωρητής μπορεί εγκαίρως να υποπτευθεί την παρουσία τους από ενδείξεις ελαφρός τοπικής διογκώσεως στην επιφάνεια του σκυροδέματος, κι απ' τον υπόκωφο ήχο που ακούγεται όταν χτυπάει κανείς την επιφάνεια μ' ένα σφυρί.

ΑΠΟΣΠΑΣΗ ΤΕΜΑΧΙΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η φθορά αυτή προκαλείται από πρόσκρουση αντικειμένων πάνω στο σκυρόδεμα. Μ' αυτόν τον τρόπο, μπορεί να απογυμνωθεί ο οπλισμός και να επιταχυνθεί η διάβρωση του

ΕΚΤΙΝΑΞΗ

Η εκτίναξη είναι μικρή επιφανειακή φθορά η οποία οφείλεται σε επίδραση παγετού ή στην παρουσία διογκώσιμης ενώσεως κοντά στην επιφάνεια του σκυροδέματος (π.χ. κόκκοι ασβεστίου).

ΚΗΛΙΔΕΣ ΣΚΟΥΡΙΑΣ

Οι κηλίδες έχουν καφέ χρώμα, εμφανίζεται δε στις παρειές ή στον πυθμένα στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα (δοκοί, πλάκες). Οφείλονται στη διάβρωση του χάλυβα και εμφανίζονται στην επιφάνεια του σκυροδέματος είτε όταν εξωτερικό νερό εισδύει στη μάζα του σκυροδέματος και παρασύρει τη σκουριά προς τα έξω, είτε κι από μόνη την εσωτερική πίεση που δημιουργείται εξαιτίας του γεγονότος ότι ο όγκος των προΐόντων οξειδώσεως είναι κατά 40% μεγαλύτερος απ' τον αρχικό όγκο του χάλυβα.

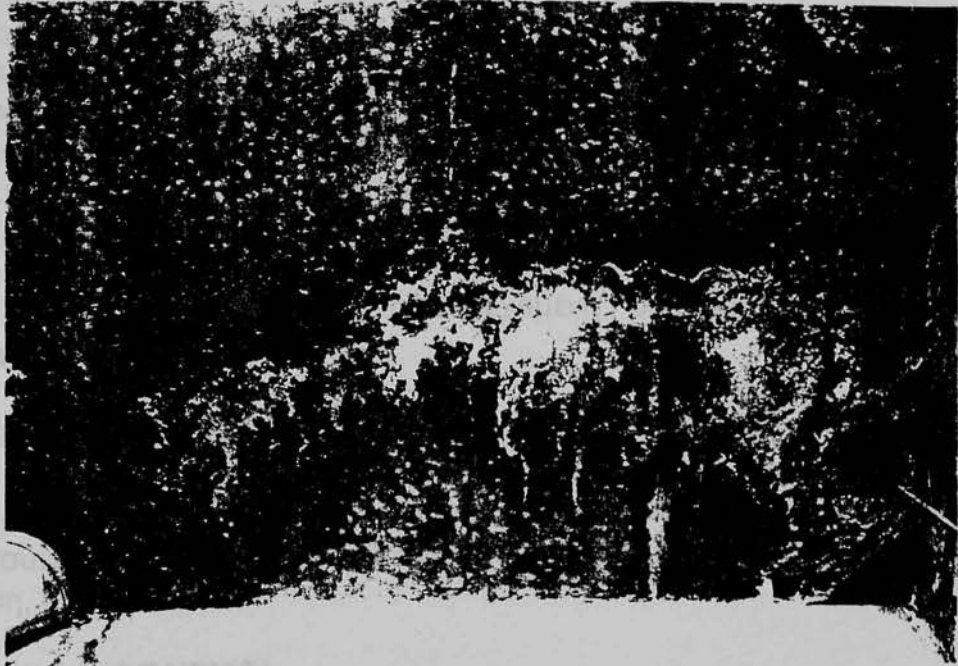
ΜΕΓΑΛΟΡΡΗΓΜΑΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Εκτός από την άτακτη ρηγμάτωση που αναφέρθηκε παραπάνω, είναι δυνατόν να εμφανιστούν διαμήκης ή εγκάρσιες μεγαλορωγμές στο σκυρόδεμα, μεμονωμένες ή συγκεντρωμένες σε διάφορα μέλη της κατασκευής. Οι ρωγμές αυτές μπορεί να οφείλονται σε μηχανικές δράσεις, σε θερμοκρασιακές μεταβολές ή σε χημικές εσωτερικές επιδράσεις. Οι εγκάρσιες ρωγμές μπορεί να προκαλέσουν σημειακή διάβρωση του χάλυβα και κατά συνέπεια μια ενδεχόμενη τοπική διαμήκη ρωγμή. Οι διαμήκεις ρωγμές, ακόμα και αν το εύρος τους είναι πολύ μικρό, επιταχύνουν πάρα πολύ τη διάβρωση του χάλυβα αλλά και τη μείωση συνάφειας.

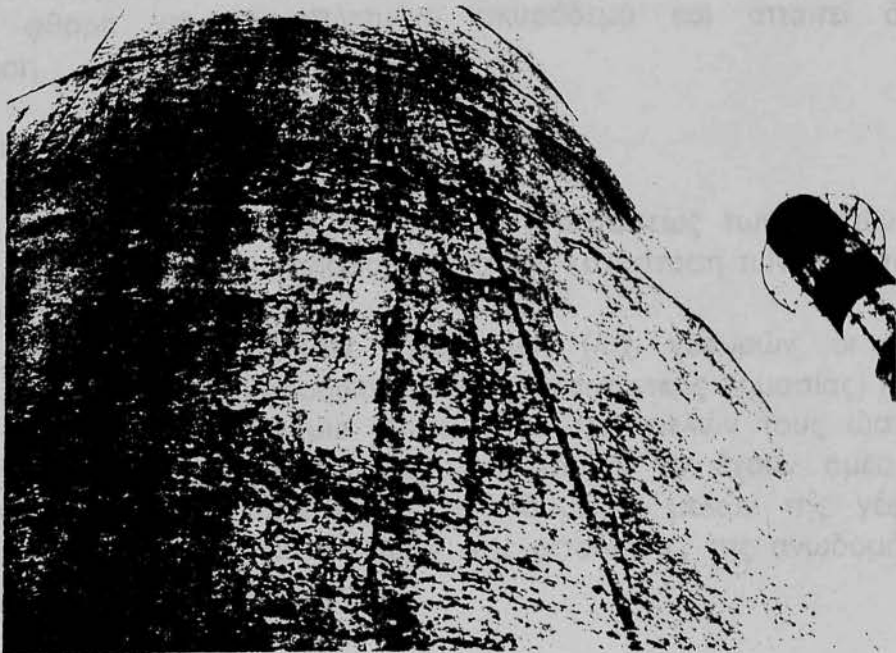
ΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΑΛΟΙΩΣΕΙΣ

Όταν το νερό εισδύει μέσα στο σκυρόδεμα προκαλώντας τη συγκέντρωση μεγάλων ποσοτήτων υγρασίας, ευνοείται η ανάπτυξη μικροοργανισμών στην επιφάνεια του σκυροδέματος οι οποίοι, εκτός από τις αισθητικές επιπτώσεις, μπορεί να προκαλέσουν και χημική διάβρωση στο σκυρόδεμα.

Ο σκυρόδεμα είναι ένα υλικό που παράγεται με τη διαδικασία της υδατοποίησης του κηρύου. Η υδατοποίηση είναι η διαδικασία που συμβαίνει όταν το νερό αντιδρά με τον κηρό, σχηματίζοντας υδατοκρυστάλλους. Αυτοί οι κρυστάλλοι είναι οι βασικοί δομικοί στοιχεία του σκυροδέματος. Η υδατοποίηση είναι μια διαδικασία που διαρκεί για αρκετές ώρες και είναι επηρεασμένη από διάφορους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η ποιότητα των υλικών. Η υδατοποίηση είναι μια διαδικασία που είναι απαραίτητη για την παραγωγή σκυροδέματος.



Σχ. 62: Απόθεση αλάτων στην κάτω επιφάνεια πλάκας σκυροδέματος. Τα νερά που λιμνάζουν πάνω στην πλάκα έχουν διεισδύσει μέσα στο σκυρόδεμα και βγαίνουν από κάτω (όψη εκ των κάτω).



Σχ. 63: Απολεπίσεις και αποφλοιώσεις στην επιφάνεια σκυροδέματος.

8.1.2. ΦΘΟΡΕΣ ΣΤΟ ΧΑΛΥΒΑ

ΑΠΟΓΥΜΝΟΜΕΝΟΙ ΟΠΛΙΣΜΟΙ

Οι οπλισμοί μπορεί να απογυμνωθούν μετά από απόσπαση τεμαχίων σκυροδέματος λόγω προσκρούσεως, μετά από αποφλοίωση του σκυροδέματος ή μετά από εκτίναξη της επικάλυψης του σκυροδέματος λόγω διαβρώσεως των οπλισμών. Οι απογυμνωμένοι χάλυβες μπορεί να διαβρώνονται ταχύτερα, διότι παύουν να έχουν τη φυσική προστασία που τους πρόσφερε το σκυρόδεμα. Εξ' άλλου παύουν να έχουν συνάφεια με το σκυρόδεμα. Όταν οι απογυμνωμένοι χάλυβες είναι αδιάβρωτοι, σημαίνει ότι έχουν εκτεθεί σχετικώς πρόσφατα ή ότι το περιβάλλον δεν είναι πολύ διαβρωτικό. Πάντως είναι σκόπιμο να γίνει επέμβαση το συντομότερο δυνατόν, ώστε να αποτραπεί η ενδεχόμενη διάβρωση τους και να αποκατασταθεί η συνάφεια.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

Η διάβρωση των οπλισμών του σκυροδέματος γίνεται συνήθως αντιληπτή από τις συνέπειες της πάνω στο σκυρόδεμα (κηλίδες σκουριάς, αποφλοίωση, διόγκωση, ρηγμάτωση)

ΘΡΑΥΣΜΕΝΟΙ ΟΠΛΙΣΜΟΙ

Θραύση οπλισμών συμβαίνει μετά από ισχυρή πρόσκρουση αντικειμένων πάνω στην επιφάνεια του χάλυβα. Η θραύση των οπλισμών αποτελεί σημαντική φθορά για το οπλισμένο σκυρόδεμα και απαιτεί άμεση αντιμετώπιση.

8.2. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΜΕΛΩΝ

Συνήθως, η συστηματική επιθεώρηση της καταστάσεως των υλικών μιας κατασκευής, δίνει επαρκείς πληροφορίες για την κατάσταση των αντίστοιχων δομικών στοιχείων της.

Προκειμένου όμως περί **ειδικών** κατασκευών (λ.χ. γεφυρών, οι οποίες αποτελούν έργα μεγάλης τεχνικοοικονομικής και κοινωνικής σημασίας) πρέπει ειδικότερα να οργανωθεί και μια επιθεώρηση των μελών τους ώστε να εντοπισθούν εγκαίρως τυχόν φθορές που μπορεί να έχουν αμεσότερη λειτουργική σημασία. Η επιθεώρηση των δομικών μελών της γέφυρας περιλαμβάνει επιθεώρηση των θεμελίων, της υποδομής, της ανωδομής και των πρόσθετων στοιχείων της γέφυρας.

Αναφέρονται συνοπτικά οι ειδικότεροι έλεγχοι που πρέπει να γίνονται στα διάφορα μέλη της γέφυρας.

8.2.1. ΘΕΜΕΛΙΑ

Η επιθεώρηση των θεμελίων είναι γενικώς δύσκολη ή και αδύνατη λόγω της μη προσπελασιμότητας τους. Οι επιδράσεις στα θεμέλια γίνονται συνήθως αντιληπτές εκ των υστέρων από τις επιπτώσεις τους στην ανωδομή (λ.χ. η υποσκαφή των θεμελίων μπορεί να γίνει αντιληπτή από την αλλοίωση της ευθυγραμμίας του φορέα λόγω καθιζήσεως). Είναι, πάντως δυνατόν να ελέγχονται ενδεχόμενες μεταβολές της κατακορυφότητας των βάθρων, καθώς και ενδείξεις βαθύτερης στάθμης ροής πλημμύρων κοντά στο θεμέλιο.

8.2.2. ΑΝΩΔΟΜΗ

8.2.2.1. ΔΟΚΟΙ (Κύριες δοκοί, διαδοκίδες)

- **Αποκόλληση δοκών:** Ελέγχεται η σύνδεση και η συνέχεια με την πλάκα του καταστρώματος.
- **Κατάσταση αγκυρώσεως:** Στις προεντεταμένες δοκούς ελέγχεται η κατάσταση της αγκυρώσεως των τενόντων (λ.χ. ρηγματώσεις, σκουριές κ.λ.π.)

8.2.2.2. ΠΛΑΚΑ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

- **Έλλειψη στεγανότητας:** Γίνεται αντιληπτή με τη διείσδυση νερού και την απόθεση αλάτων ή από χρωματικές αλλοιώσεις στο κάτω μέρος της πλάκας.
- **Παραμορφώσεις:** Ελέγχονται τυχόν αλλοιώσεις της ευθυγραμμίας του φορέα (λ.χ. οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις, μεταβολή του εύρους των αρμών του καταστρώματος κ.λ.π.)
- **Τυχηματική φθορά,** λ.χ. φθορά στα πεζοδρόμια λόγω προσκρούσεως οχημάτων.
- **Κατάσταση των θυρίδων καταστρώματος:** Ελέγχεται η στεγανότητα και η τυχόν φθορά των θυρίδων επισκέψεως (σε γέφυρα κιβωτοειδούς διατομής), θυρίδων φωτισμού κ.λ.π.
- **Ταλαντώσεις:** Γίνεται προσπάθεια (χωρίς ενόργανες μετρήσεις) να εντοπισθούν ενδείξεις για τυχόν έντονες ταλαντώσεις του φορέα.

8.2.3. ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

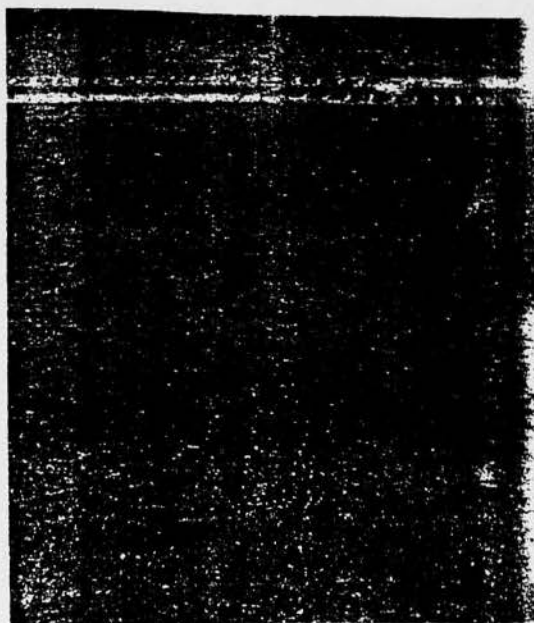
8.2.3.1. ΑΡΜΟΙ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ

- **Χαλάρωση και φθορά:** Εξετάζεται τυχόν φθορά του υλικού, χαλάρωση ή μετακινήσεις των αρμών. Προσοχή πρέπει να δίνεται επίσης στην τυχόν αλλοίωση της ευθυγραμμίας του αρμού ή στη μεταβολή των διάκενων του.
- **Διείσδυση και απορροή νερού μέσα από τους αρμούς:** Εξετάζεται αν οι αρμοί είναι στεγανοί ή τα νερά του καταστρώματος διεισδύουν και απορρέουν μέσα από τους αρμούς. Η φθορά αυτού του είδους γίνεται επίσης αντιληπτή επιθεωρώντας τη γέφυρα εκ των κάτω και εντοπίζοντας φθορές από κακή αποστράγγιση στις θέσεις των αρμών.
- **Ρηγμάτωση ασφαλτοτάπητα σε θέσεις «θαμένων» αρμών:** Ένδειξη για κακή λειτουργία ή κακή κατασκευή του αρμού αποτελεί η ρηγμάτωση του ασφαλτοτάπητα κατά μήκος ενός τυχόν καλυμμένου αρμού.

8.2.3.2. ΑΣΦΑΛΤΟΤΑΠΗΤΑΣ

- **Παραμορφώσεις:** Εξετάζεται μεταξύ άλλων η ύπαρξη καθιζήσεων, τοπικών βυθισμάτων, εγκάρσιων πτυχώσεων, τοπικών διογκώσεων κ.λ.π.
- **Ρηγματώσεις:** Αναζητούνται ευθύγραμμες ρηγματώσεις, άτακτες ρηγματώσεις, ρωγμές συστολής, ρωγμές από ολίσθηση κ.λ.π.
- **Αποσυνθέσεις επιφάνειας, αναδύσεις:** Εξετάζεται η ύπαρξη λάκκων, η απόσταση ή απογύμνωση αδρανών, η αποκόλληση υλικού κατά πλάκες, η ανάδυση ασφάλτου κ.λ.π.

Σημειώνεται εδώ ότι οι φθορές στον ασφαλτοτάπητα παρότι δεν σχετίζονται άμεσα με την ανθεκτικότητα της κατασκευής, μπορεί να αποτελέσουν την έναρξη δημιουργίας προβλημάτων (λ.χ. διείσδυση νερού μέσα από ρηγματωμένο ασφαλτοτάπητα και εγκλωβισμός του στο σκυρόδεμα του καταστρώματος) ή να αποτελέσουν ενδείξεις για άλλα προβλήματα στον φορέα (λ.χ. ρηγμάτωση του ασφαλτοτάπητα λόγω μεγάλων ταλαντώσεων του φορέα).



Σχ. 75: Ρηγμάτωση του ασφαλτοτάπητα σε θέση "θαμένου" αρμού.

8.3. ΤΥΠΙΚΟΣ ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΛΕΓΧΩΝ

Η οπτική επιθεώρηση μιας κατασκευής διευκολύνεται εάν από πριν ο Μηχανικός έχει συντάξει έναν κατάλογο των οπτικών ελέγχων που πρέπει να κάνει επιτόπου. Παρακάτω δίνονται σχετικά παραδείγματα.

8.3.1. ΓΙΑ ΥΛΙΚΑ

8.3.1.1. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Τοπικές φθορές

- Φωλιές σκυροδέματος
- Απολέπιση
- Αποφλοίωση
- Απόμιξη
- Εκτίναξη
- Άτακτη ρηγμάτωση
- Φθορά λόγω προσκρούσεως

ΦΘΟΡΕΣ ΛΟΓΩ ΚΑΚΗΣ ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ

- Απόπλυση
- Σταλακτίτες
- Διείσδυση νερού
- Απόθεση αλάτων, χρωματικές αλλοιώσεις

ΦΘΟΡΕΣ ΛΟΓΩ ΦΥΣΙΚΗΣ Ή ΧΗΜΙΚΗΣ ΠΡΟΣΒΟΛΗΣ

- Χρωματικές αλλοιώσεις
- Ρηγματώσεις
- Αλλοίωση της υφής της επιφάνειας

8.3.1.2. ΧΑΛΥΒΑΣ

ΣΥΝΟΠΛΙΣΜΟΙ

- Απογυμνομένοι
- Διαβρωμένοι
- Χωρίς συνάφεια
- Σπασμένοι

ΧΑΛΥΒΕΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΕΩΣ

2. Διάμετρος ρόβων

- Αποκάλυψη σωλήνων προεντάσεως
- Διάβρωση σωλήνων
- Αποκάλυψη τενόντων
- Διάβρωση τενόντων
- Θραύση τενόντων

ΦΘΟΡΕΣ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΛΟΓΩ ΔΙΑΒΡΩΣΕΩΣ ΤΩΝ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

- Κηλίδες σκουριάς
- Διαμήκεις ρηγματώσεις
- Εκτίναξη επικαλύψεως
- Αποφλοιώσεις

9. ΕΝΟΡΓΑΝΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ

9.0. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εάν μετά την επιθεώρηση υπάρχουν αμφιβολίες για την ποιότητα των υλικών ή την κατάσταση της κατασκευής, θα απαιτηθούν ενόργανοι έλεγχοι. Οι έλεγχοι αυτοί μπορεί να αφορούν την ποιότητα των υλικών (σκυρόδεμα, χάλυβας) ή την γενική κατάσταση της κατασκευής. Μπορεί δε να είναι επιτόπιοι ή εργαστηριακοί, να είναι άμεσοι (με μικρή φθορά στο υλικό) ή έμμεσοι (μη καταστρεπτικοί). Συνήθως, οι έλεγχοι αυτοί αφορούν την εξέταση των παρακάτω ιδιοτήτων (στα υλικά και στην κατασκευή):

ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ

· ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

1. Αντοχή
2. Ομοιογένεια
3. Ενανθράκωση
4. Περιεκτικότητα σε θειϊκά
5. Διαπερατότητα, πορώδες
6. Συστατικά
7. Εύρος ρωγμών
8. Βάθος ρωγμών
9. Εμπεριεχόμενη υγρασία

· ΧΑΛΥΒΑΣ

1. Πάχος επικαλύψεως

2. Διάμετρος ράβδων
3. Βαθμός διαβρώσεως
4. Αντοχή
5. Κατάσταση τσιμεντενέματος

ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

· ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ

1. Βέλη
2. Μετακινήσεις
3. Μετατοπίσεις εφέδρανων, αρμών

· Αποτύπωση ρηγματώσεων

· κατάσταση εντάσεως

1. Ένταση στο σκυρόδεμα
2. Ένταση στους οπλισμούς (συνοπλισμοί, τένοντες προεντάσεως)

· Ταλαντώσεις

1. Ιδιοπερίοδοι
2. Απόσβεση

Οι μέθοδοι ελέγχου μπορεί να είναι οπτικές, μηχανικές, φυσικές, χημικές ή ηλεκτρικές. Η κατάταξη των μεθόδων ελέγχου των υλικών και της κατασκευής, επιτόπου και στο εργαστήριο παρουσιάζεται στους πίνακες 4, 5, 6.

Η εκλογή των θέσεων όπου θα γίνουν οι επιτόπιοι έλεγχοι ή απ' όπου θα ληφθούν τα δείγματα των υλικών για τους εργαστηριακούς ελέγχους, πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή. Έχει μεγάλη σημασία οι έλεγχοι να γίνονται και σε θέσεις υγιούς και σε θέσεις φθαρμένου υλικού, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα εκτιμήσεως της μεταβολής των ιδιοτήτων των υλικών, και να προσδιορισθούν τα αίτια των φθορών (διαφορική διάγνωση).

Από τις μεθόδους ελέγχου παρουσιάζονται παρακάτω συνοπτικώς μόνο οι μέθοδοι εκείνες οι οποίες έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια για τον έλεγχο της ανθεκτικότητας επιτόπου ή στο εργαστήριο, και οι οποίες αφορούν τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των **υλικών**.

Πιν. 4. Κατάταξη των επιτόπου μεθόδων ελέγχου υλικών

Μέθοδοι		Σκοπούμενη μέτρηση													
		Ενανθράκωση	Χλωρίοντα	Διαπερατότητα, πορώδες	Εύρος ρωγμών	Βάθος ρωγμών	Ποιότητα επιφάν. σκυροδέματος	Εμπεριεχόμενη υγρασία	Πάχος επικαλύψεως	Διάμετρος ράβδων	Διάβρωση ράβδων	Πλήρωση τσιμεντένευσης	Ταχύτητα διαβρώσεως	Αντοχή σκυροδέματος	Αντοχή κάλυβα
Οπτικές	Φορητό μικροσκόπιο				+										
	Ενδοσκόπιο									+	+				
	Παχύμετρο								+	+					
Μηχανικές	Κρουσόμετρο						+							+	
	Εξόλκευση						+							+	
	Σκληρότητα κάλυβα														+
Φυσικές	Υπέρηχοι					+	+							+	
	Υδατοπερατότητα υπό πίεση			+											
	Απορρόφηση νερού			+											
	Θερμογράφος							+							
	Μαγνητόμετρο								+	+					
	Ραδιομετρία								+	+	+				
Χημικές	Ψεκασμός με φαινολοφθαλείνη	+													
	Ψεκασμός με AgNO ₃ (*)		+												
Ηλεκτρικές	Ηλεκτρικό δυναμικό										+				
	Ειδική αντίσταση								+						
	Καμπύλες πολώσεως										+		+		

* Σήμερα δεν εφαρμόζεται ευρέως

9.1. ΕΛΕΓΧΟΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

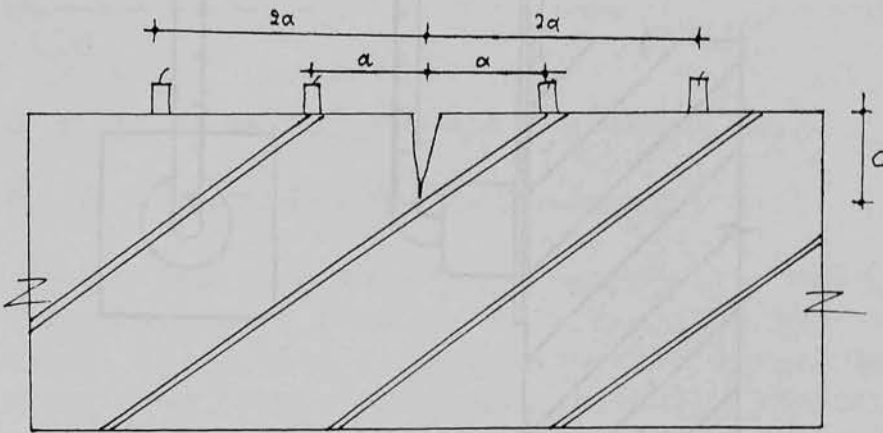
9.1.1. Μέτρηση του βάθους των ρωγμών

Η μέτρηση μπορεί να γίνει με τη χρήση συσκευής υπερήχων, αφού εντοπισθεί η ρωγμή. Πρώτα υπολογίζεται η ταχύτητα διαδόσεως των υπερήχων στο σκυρόδεμα. Κατόπιν, ο πομπός και ο δέκτης των υπερήχων τοποθετούνται εκατέρωθεν της ρωγμής, όπως φαίνεται στο Σχ. 79. Το βάθος της ρωγμής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$c = \alpha \cdot \sqrt{\frac{4t_1^2 - t_2^2}{t_2^2 - t_1^2}}$$

όπου:

- c : το βάθος της ρωγμής
- α : μια σκόπιμα εκλεγμένη απόσταση από τη ρωγμή, στην επιφάνεια του σκυροδέματος
- t₁, t₂ : οι χρόνοι διαδόσεως των υπερήχων μέσα στο σκυρόδεμα κατά τις διαδρομές (1) και (2), αντιστοίχως.



Σχ.79: Μέτρηση του βάθους των ρωγμών με τη χρήση υπερήχων

Παρότι η μέθοδος είναι εύκολη, επηρεάζεται από την ανομοιογένεια του σκυροδέματος και την παρουσία "σκόνης" μέσα στη ρωγμή, γι' αυτόν δε το λόγο πρέπει να συνδυάζεται με άλλες μεθόδους.

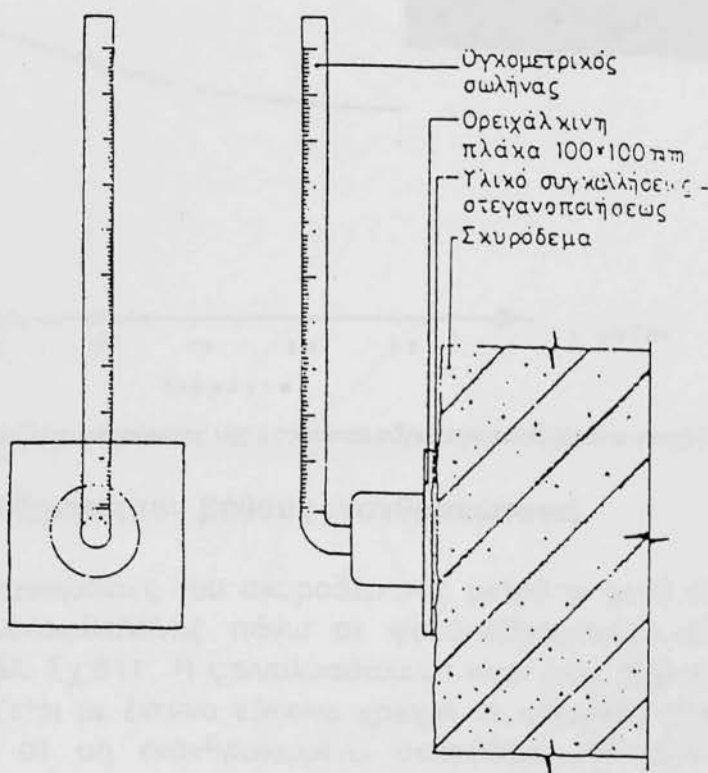
9.1.2. Μέτρηση της απορροφήσεως νερού από το σκυρόδεμα

Η μέτρηση γίνεται με σκοπό να εκτιμήσουμε το πορώδες του σκυροδέματος (κυρίως συγκριτικά μεταξύ διαφόρων περιοχών). Η διαδικασία περιλαμβάνει

την προσαρμογή ενός βαθμονομημένου σωλήνα γεμάτου με νερό στην επιφάνεια του σκυροδέματος (βλ. Σχ.80)

Μετράται η ποσότητα του νερού που απορροφάται από το σκυρόδεμα κατά τη διάρκεια ενός συμβατικά ορισμένου χρόνου. Η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα ότι είναι μη-καταστρεπτική και απλή, έχει όμως το μειονέκτημα ότι επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την προϋπάρχουσα υγρασία του σκυροδέματος.

Πάρα ταύτα, μέσω της πείρας είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσει κανείς τη μέθοδο αυτή για να κατατάξει διάφορες περιοχές ενός έργου (ή ενδεχομένως και μεταξύ των έργων) στις κατηγορίες "περισσότερο διαπερατή" ή "λιγότερο διαπερατή".



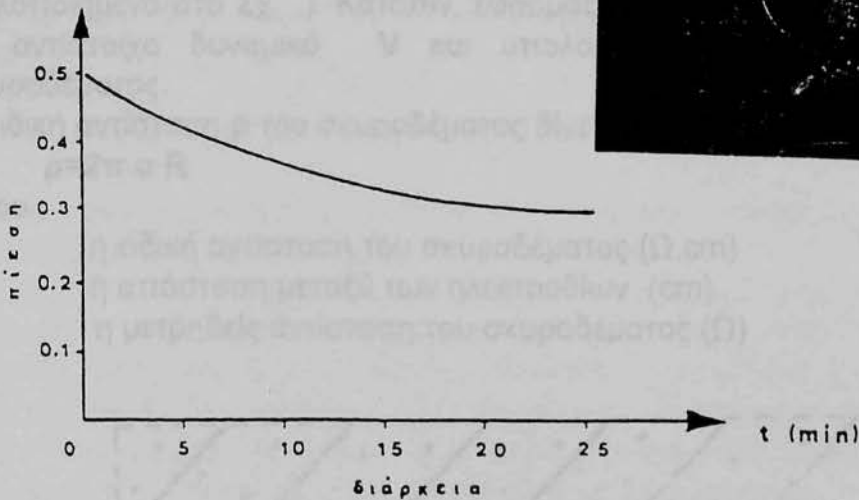
Σχ.80. Μέθοδος επίπου μετρήσεως της υδραπορροφητικότητας του σκυροδέματος.

9.1.3. Υδατοπερατότητα υπό πίεση

Η πίεση περιλαμβάνει την εφαρμογή νερού υπό πίεση σε μικρή επιφάνεια σκυροδέματος ορισμένου εμβαδού λ.χ. 1.3 cm^2 . Η αρχικώς εφαρμοζόμενη πίεση είναι 0.5 Mpa , καταγράφεται δε η πτώση της πίεσεως του νερού συναρτήσει του χρόνου. Από τη μορφή της καμπύλης (ταχύτητα με την οποία μειώνεται η πίεση του νερού) εξάγονται συμπεράσματα για την υδατοπερατότητα του σκυροδέματος. (Σχ. 80α).

Η μέθοδος είναι απλή στην εφαρμογή της και γρήγορη, δίνει δε συγκριτικά αποτελέσματα για διαφορετικές περιοχές σκυροδέματος. Έχει όμως το

μειονέκτημα ότι επηρεάζεται από την τοπική ποιότητα της δοκιμαζόμενης επιφάνειας του σκυροδέματος.



Σχ.80α. Μέθοδος επιτόπου μετρήσεως της υπό πίεση υδροπερατότητας του σκυροδέματος.

9.1.4. Μέτρηση του βάθους ενανθρακώσεως

Το βάθος ενανθρακώσεως του σκυροδέματος μετράται μετά από ψεκάσμο διαλύματος φαινολοφθαλείνης πάνω σε φρεσκοθραυσμένη επιφάνεια του σκυροδέματος (βλ. Σχ.81). Η φαινολοφθαλείνη είναι ένας άχρωμος δείκτης ο οποίος χρωματίζεται με έντονο κόκκινο χρώμα σε αλκαλικό περιβάλλον (για $\text{pH} > 9$), δηλαδή σε μη ενανθρακωμένο σκυρόδεμα. Η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα ότι είναι εύκολη και δίνει άμεσα αποτελέσματα καθώς η μεταβολή του χρώματος συμβαίνει 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 ενανθρακώσεως μπορεί να προσδιορισθεί με ακρίβεια στο εργαστήριο πάνω σε δείγμα ή πυρήνα σκυροδέματος, με μικροσκοπική ανίχνευση του CaCO_3 .

9.1.5. Μέτρηση της υγρασίας του σκυροδέματος (μέθοδος Wenner)

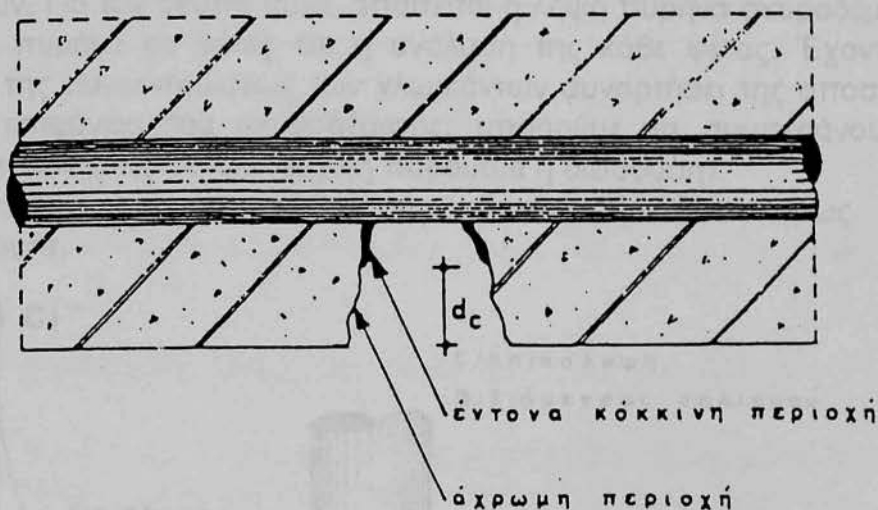
Η μέθοδος είναι ηλεκτρική, βασίζεται δε στη μεταβολή της αντιστάσεως ενός υλικού όταν μεταβάλλεται η περιεχόμενη υγρασία του. Στην επιφάνεια του σκυροδέματος, στην ίδια ευθεία και σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις, τοποθετούμε τέσσερα ηλεκτρόδια σε μικρό βάθος, τα οποία συνδέουμε με μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος και με ένα μικρό βολτόμετρο (όπως φαίνεται απλοποιημένα στο Σχ.). Κατόπιν, εφαρμόζουμε ρεύμα εντάσεως I , μετράμε το αντίστοιχο δυναμικό V και υπολογίζουμε την αντίσταση R του σκυροδέματος.

Η ειδική αντίσταση ρ του σκυροδέματος δίνεται από τον τύπο :

$$\rho = 2\pi \alpha R$$

όπου :

- ρ η ειδική αντίσταση του σκυροδέματος (Ω, cm)
- α η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων (cm)
- R η μετρηθείς αντίσταση του σκυροδέματος (Ω)



Σχ.81. Σκαρίφημα μετρήσεως του βάθους ενανθρακώσεως του σκυροδέματος μετά από ψεκάσμο διαλύματος φαινολοφθαλεΐνης.

Ανάλογα με την τιμή που παίρνει η ειδική αντίσταση του σκυροδέματος, μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για την εμπεριεχόμενη υγρασία. Τελείως ενδεικτικά, αναφέρεται ότι η ειδική αντίσταση έχει τιμή $\rho = 10^4 \Omega, \text{cm}$ για υγρό σκυρόδεμα, και $\rho = 10^{11} \Omega$ για ξηρό σκυρόδεμα.

Η σημασία της υγρασίας του σκυροδέματος στη διάβρωση του χάλυβα έχει

διευρύνει αρκετά τη χρήση της μεθόδου. Η μέθοδος Wenner είναι απλή, απαιτεί όμως μεγάλη ακρίβεια κατά την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων. Απαιτείται προσοχή ώστε να αποφευχθεί τυχόν επαφή των ηλεκτροδίων με τους οπλισμούς του σκυροδέματος.

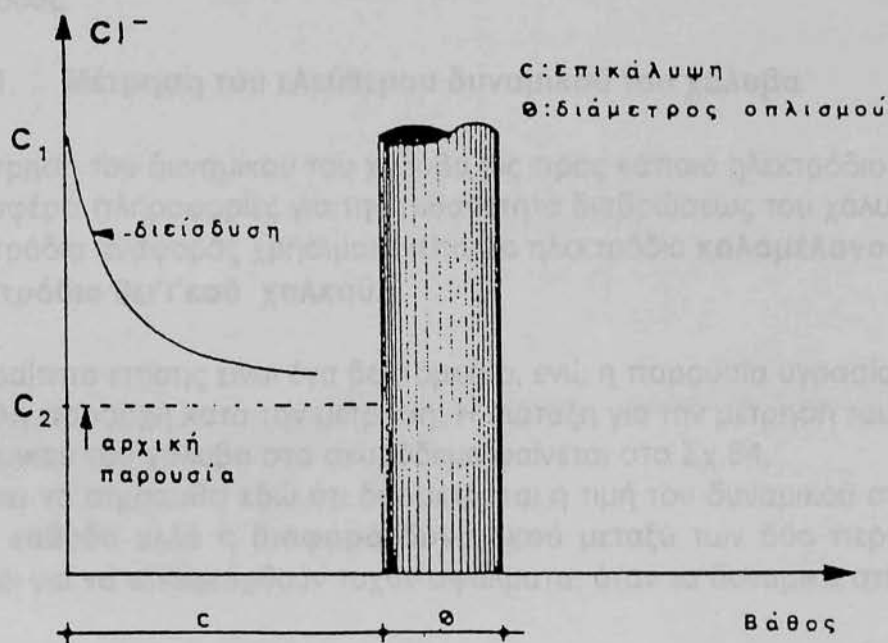
Η υγρασία του σκυροδέματος μπορεί επίσης να μετρηθεί με θερμογράφο ο οποίος λειτουργεί με υπέρυθρες ακτίνες και προσδιορίζει τις "θερμές" (υγρές) περιοχές και τις "ψυχρές" (ξηρές) περιοχές του σκυροδέματος. Η μέθοδος, παρότι ακριβής, δεν χρησιμοποιείται συχνά λόγω της πολυπλοκότητάς της και των αβεβαιοτήτων που εισάγονται όσον αφορά την θερμική ιστορία του σκυροδέματος.

9.1.6. Περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε χλωριόντα

Η μέτρηση περιλαμβάνει ανάλυση δείγματος σκυροδέματος για να προσδιορισθεί η ακριβής ποσότητα των χλωριόντων.

Με την ίδια μέθοδο μπορεί να βρεθεί η κατανομή της συγκεντρώσεως χλωριόντων συναρτήσει της αποστάσεως από την επιφάνεια του σκυροδέματος, (βλ. Σχ.83), και να εκτιμηθεί η ταχύτητα διεισδύσεως των χλωριόντων. Για τον σκοπό αυτό, απαιτείται η λήψη πυρήνα σκυροδέματος, η κοπή του πυρήνα σε φέτες και η ανάλυση της κάθε φέτας. Έχοντας την κατανομή της συγκεντρώσεως των χλωριόντων συναρτήσει της αποστάσεως από την επιφάνεια του σκυροδέματος, μπορούμε να συμπεράνουμε την προέλευση των χλωριόντων (αρχική παρουσία ή διείσδυση).

Η διαδικασία είναι χρονοβόρα και δαπανηρή, δίνει όμως ακριβή αποτελέσματα.



Σχ.83. Κατανομή της συγκεντρώσεως των χλωριόντων συναρτήσει του βάθους, απ' όπου βγαίνουν συμπεράσματα για την προέλευση των χλωριόντων.

9.2. ΕΜΜΕΣΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΕΩΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Το μέγεθος της διαβρώσεως του χάλυβα στο σκυρόδεμα μπορεί να εκφρασθεί ως απώλεια βάρους των ράβδων μετά την αφαίρεση της σκουριάς. Η μέθοδος όμως είναι σχετικώς ανασφαλής, διότι υπάρχει κίνδυνος λανθασμένων μετρήσεων κατά την αφαίρεση της σκουριάς. Επίσης, η μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί μόνο μετά την οπτική αναγνώριση διαβρώσεως χάλυβα (εμφάνιση κηλίδων σκουριάς ή ρωγμών στο σκυρόδεμα).

Φαίνεται έτσι πόσο χρήσιμες είναι οι έμμεσες μέθοδοι για την ανίχνευση της διαβρώσεως του χάλυβα σε οποιαδήποτε στιγμή. Οι μέθοδοι αυτές επιτρέπουν ακόμα να μελετήσουμε την επιρροή των περιβαλλοντικών συνθηκών πάνω στο βαθμό διαβρώσεως του χάλυβα, και να εκλέξουμε τον τρόπο επισκευής της κατασκευής και την αποτελεσματικότητα της καθοδικής προστασίας.

Υπάρχουν πολλές ηλεκτροχημικές έμμεσες μέθοδοι για τη μέτρηση της διαβρώσεως του χάλυβα μέσα σε υγρό διάλυμα. Μερικές από αυτές τις μεθόδους έχουν χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για μέτρηση της διαβρώσεως χάλυβα ενσωματωμένου σε σκυρόδεμα. Οι περισσότεροι γνωστές έμμεσες μέθοδοι είναι:

- Μέτρηση του ελεύθερου δυναμικού διαβρώσεως
- Σύνταξη και μελέτη καμπυλών πολώσεως
- Μέτρηση της αντιστάσεως πολώσεως

Θα εξετάσουμε παρακάτω συνοπτικώς καθεμιά από τις έμμεσες αυτές μεθόδους.

9.2.1. Μέτρηση του ελεύθερου δυναμικού του χάλυβα

Η μέτρηση του δυναμικού του χάλυβα ως προς κάποιο ηλεκτρόδιο αναφοράς προσφέρει πληροφορίες για την πιθανότητα διαβρώσεως του χάλυβα. Ως ηλεκτρόδια αναφοράς χρησιμοποιείται το ηλεκτρόδιο **καλομέλανος ή το ηλεκτρόδιο θειϊκού χαλκού**.

Απαραίτητο επίσης είναι ένα βολτόμετρο, ενώ η παρουσία υγρασίας απαιτεί μεγάλη προσοχή κατά την μέτρηση. Η διάταξη για την μέτρηση του ελεύθερου δυναμικού του χάλυβα στο σκυρόδεμα φαίνεται στο Σχ.84.

Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι δεν μετράται η τιμή του δυναμικού στην άνοδο ή στην κάθοδο αλλά η **διαφορά δυναμικού** μεταξύ των δύο περιοχών. Αυτό γίνεται για να αποφευχθούν τυχόν σφάλματα, όταν τα δυναμικά στην άνοδο

και στην κάθοδο παίρνουν συγχρόνως πολύ θετικές ή πολύ αρνητικές τιμές. Ως παράδειγμα, αναφέρεται εδώ η περίπτωση κορεσμένης κατασκευής. Λόγω της διατιθέμενης περιορισμένης ποσότητας οξυγόνου, γίνεται καθοδική πόλωση, δηλαδή τα δυναμικά στην άνοδο και στην κάθοδο παίρνουν πολύ αρνητικές τιμές, ακόμα και σε υγιή χάλυβα.

Οι κλίμακες μετρήσεως του δυναμικού ως προς τα ηλεκτρόδια καλομέλανος και θειικού χαλκού είναι διαφορετικές.

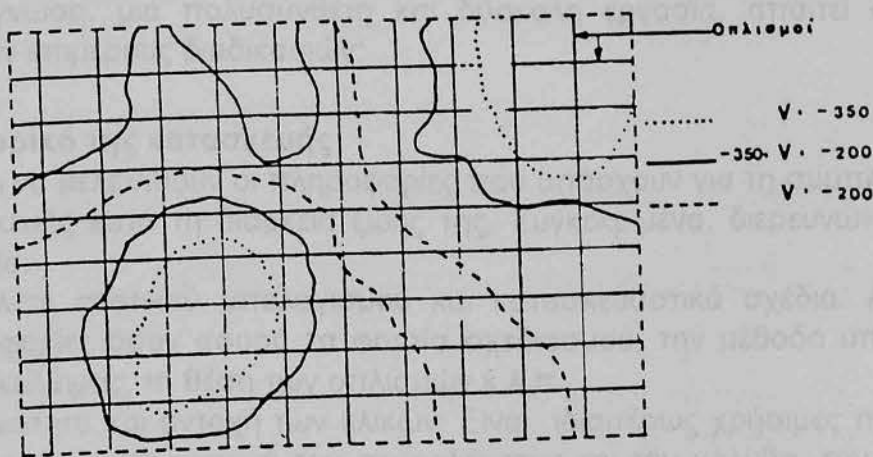
Αναφέρεται ότι (ASTM G3-74) στο μηδέν της κλίμακας SCE αντιστοιχεί το +240 mV της κλίμακας H2 και -60 mV της κλίμακας CSE. Δηλαδή η σχέση μεταξύ τους είναι:

$$V_H = V_{SCE} + 240 = V_{CSE} + 300 \quad (\text{σε mV})$$

Όπως αναφέρεται στο ASTM C876-87, από τις τιμές του μετρούμενου δυναμικού (οι ενδείξεις αναφέρονται σε διαφορές των τιμών στην άνοδο και στην κάθοδο), διακρίνονται τα εξής ενδεχόμενα:

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

Μετρώντας το δυναμικό των οπλισμών σε διάφορες θέσεις της κατασκευής, μπορούμε να κάνουμε καταγραφή των περιοχών που έχουν ή όχι την πιθανότητα διαβρώσεως (βλ. Σχ.85).



Σχ.85: Καταγραφή περιοχών με διάφορες τιμές δυναμικού για την εκτίμηση της πιθανότητας διαβρώσεως.

Πάντως, η εφαρμογή και η ερμηνεία της μεθόδου πρέπει να γίνεται από ειδικευμένο προσωπικό. Ενανθρακωμένο ή χλωριωμένο περιβάλλον, συνεπάγονται αλλοιώσεις στα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Η μέθοδος αυτή είναι απλή στην εφαρμογή της και γρήγορη, γι' αυτό δε το λόγο χρησιμοποιείται ευρέως. Από τα δύο ηλεκτρόδια, το ηλεκτρόδιο καλομέλανος είναι ακριβέστερο από το ηλεκτρόδιο θειικού χαλκού. Το ηλεκτρόδιο αυτό ετοιμάζεται γρήγορα και για αυτό το λόγο προτιμάται για μετρήσεις σε εξωτερικούς χώρους. Το ηλεκτρόδιο καλομέλανος προσβάλλεται από άλατα χλωρίου, το δε υγρό του χρειάζεται συχνή αντικατάσταση.

Η επιφάνεια του σκυροδέματος κατά τη μέτρηση του δυναμικού δεν πρέπει να είναι κορεσμένη ούτε απολύτως ξηρή, αλλά απλώς υγρή για να υπάρχει αγωγιμότητα.

Η μέτρηση του δυναμικού δε δίνει πληροφορίες όσον αφορά την ταχύτητα διαβρώσεως του χάλυβα.

10. ΔΙΑΓΝΩΣΗ

Η διάγνωση, δηλαδή ο προσδιορισμός των αιτιών των βλαβών των υλικών (σκυροδέμα, οπλισμοί) ή των μελών της κατασκευής, μας επιτρέπει να λάβουμε τα απαραίτητα μέτρα επεμβάσεως:

Διακοπή της συγκεκριμένης επιδράσεως, επισκευή της φθοράς που προκλήθηκε από τη συγκεκριμένη επίδραση, και παρεμπόδιση ανάλογης επιδράσεως στο μέλλον.

Η διάγνωση, μια πολυσύνθετη και δύσκολη εργασία, απαιτεί συνδυασμό πολλών επιμέρους διαδικασιών:

• Ιστορικό της κατασκευής

Πρέπει να μελετηθούν οι πληροφορίες που υπάρχουν για τη συμπεριφορά της κατασκευής κατά τη διάρκεια ζωής της. Συγκεκριμένα, διερευνώνται τα εξής στοιχεία:

- Μελέτη στατικού υπολογισμού και κατασκευαστικά σχέδια: Αποκτώνται πληροφορίες όσον αφορά τα φορτία σχεδιασμού, την μέθοδο υπολογισμού, τις επικαλύψεις, τη θέση των οπλισμών κ.λ.π.

- Ποιότητα και αντοχή των υλικών: Είναι ιδιαίτερες χρήσιμες πληροφορίες που αφορούν την αντοχή του σκυροδέματος και του χάλυβα, την προέλευση και την ποιότητα των υλικών αναμίξεως του σκυροδέματος, τις φυσικές ιδιότητες του σκυροδέματος (λ.χ. διαπερατότητα) κ.λ.π.

- Επιδράσεις κατά την διάρκεια κατασκευής του δομήματος:

Πρέπει να επισημαίνονται τυχόν επιδράσεις οι οποίες συνέβησαν κατά τη διάρκεια κατασκευής και οι οποίες είναι δυνατόν να έχουν επηρεάσει την ποιότητα των υλικών (λ.χ. πτώση της θερμοκρασίας κατά τη σκυροδέτηση).

- **Μεταβολή του περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια ζωής της κατασκευής:** πρέπει να εξετάζεται ποιο ήταν το αρχικώς αναμενόμενο περιβάλλον και ποιες μεταβολές (παροδικές ή μόνιμες) έχει υποστεί το περιβάλλον. Τέλος, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τυχόν μεμονωμένες φυσικές ή χημικές επιδράσεις (λ.χ. πυρκαγιά η οποία δεν απαιτήσε δραστικές επεμβάσεις).

- **Πληροφορίες όσον αφορά την εμφάνιση και εξέλιξη φθορών στην κατασκευή:** Πρέπει να εξετάζεται με ιδιαίτερη προσοχή ποιες φθορές, πότε και σε ποια σημεία της κατασκευής εμφανίστηκαν και πως εξελίχθηκαν μέσα στο χρόνο. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται όταν έχει γίνει επέμβαση για αποκατάσταση των φθορών, με αποτέλεσμα οι σχετικές φθορές να μην είναι πλέον εμφανείς.

- **Επιτόπιες και εργαστηριακές μετρήσεις:** Πρέπει να εξετάζεται ποιες μετρήσεις και σε ποια σημεία της κατασκευής έγιναν στον παρελθόν. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων πρέπει να μελετώνται, καθώς και οι οποιεσδήποτε παρατηρήσεις έγιναν κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Έχει σημασία να εντοπίζονται τυχόν ασυμβατότητες στα αποτελέσματα (λ.χ. μεγάλο βάθος ενανθρακώσεως σε σκυρόδεμα με πολύ μικρή διαπερατότητα).

- **Επεμβάσεις που έγιναν κατά το παρελθόν:** Πρέπει να λαμβάνονται πληροφορίες για το είδος των επεμβάσεων που έγιναν (λ.χ. μικροεπισκευές, σφράγισμα ρωγμών, πλήρης αντικατάσταση μελών), καθώς και πότε έγιναν. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την ποιότητα των υλικών επισκευής, αλλά το είδος και την έκταση των φθορών πριν από την επέμβαση.

· **Σύγχρονες παρατηρήσεις και μετρήσεις**

Μελετώνται προσεκτικά οι πληροφορίες που αφορούν τη σημερινή κατάσταση της κατασκευής.

- Οπτικές παρατηρήσεις της σημερινής καταστάσεως της κατασκευής
- Έλεγχοι και μετρήσεις

- Οποιαδήποτε πληροφορία η οποία θα κάνει πιο σαφή την υπάρχουσα κατάσταση της κατασκευής και θα βοηθήσει την ερμηνεία τυχόν αντιφατικών αποτελεσμάτων, είναι πολύτιμη.

Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσεως, ο Μηχανικός δεν σπεύδει να βγάλει συμπεράσματα, ούτε σχολιάζει πληροφορίες ή αποτελέσματα μετρήσεων.

· **Θεωρητική αναπαραγωγή της παθολογικής εικόνας**

Ο Μηχανικός με βάση τα στοιχεία που έχει στη διάθεση του πρέπει να "αναπαραγάγει" θεωρητικά την παθολογική εικόνα. Πρέπει, δηλαδή, να εκτιμήσει ποια ήταν η συγκεκριμένη επίδραση και ποιοι παράγοντες βοήθησαν την εξέλιξη του μηχανισμού φθοράς, ώστε να αιτιολογήσει τις παρατηρούμενες φθορές και την αλλοίωση των ιδιοτήτων των υλικών. Η θεωρητική αναπαραγωγή της παθολογικής εικόνας απαιτεί προσεκτική και υπομονετική διασταύρωση υποθέσεων. Επί πλέον, συμβαίνει αρκετά συχνά διαφορετικές αιτίες να οδηγούν στα ίδια αποτελέσματα. Απαιτείται λοιπόν **διαφορική διάγνωση**. Εξάλλου, η συνεργασία δύο επιδράσεων μπορεί να προκαλεί αποτέλεσμα διαφορετικό από αυτό που θα προκαλούσε καθεμιά επίδραση αν δρούσε χωριστά. (Π.χ. η απόθεση αλάτων στην επιφάνεια του σκυροδέματος λόγω αποπλύσεως, μπορεί να κρύψει μια διαμήκη ρωγμή η οποία έχει προκληθεί από διάβρωση του οπλισμού). Τέλος, είναι σκόπιμο να υπομνησθεί ο κανόνας "**κάτι που μπορεί να έχει συμβεί, δεν σημαίνει πως συνέβη κιόλας**".

· **Εξαγωγή συμπερασμάτων**

- Τα συμπεράσματα αφορούν την έκταση των φθορών, την ταχύτητα εξελίξεως των μηχανισμών φθοράς, καθώς και τον βαθμό της διατιθέμενης ασφάλειας της κατασκευής.

-- Υπενθυμίζεται ότι το έργο του Μηχανικού είναι η διάγνωση κι όχι η κατανομή ευθυνών.

-- Εφόσον η παθολογία έχει εκτιμηθεί σωστά, και αν γίνει έγκαιρα η εκλογή της κατάλληλης μεθόδου επεμβάσεως, τότε θα γίνει αποκατάσταση των βλαβών και θα ληφθούν μέτρα έναντι ανάλογης φθοράς στο μέλλον.

- Διαπιστώσεις

- Υδατοσταθές σπινθήρισμα

- Επιστάφυση

- Εμπλοκή με οπλισμό

- Σπράγγισμα ρωγμών

- Ενίσχυση οπλισμού

- Επέχοντες τοιχώματα

- Επισκευαστική επένδυση σκυροδέματος

- Αφαιρέση χυμιάσματος από το σκυρόδεμα

- Αντιστάση κλιμακωτικής συστολής (αφαίρεση υγρασίας)

11. ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

11.0. Προοίμιο

Το κεφάλαιο αυτό δεν φιλοδοξεί να περιγράψει τις μεθόδους επισκευής ή ενισχύσεως εν γένει, για τις οποίες ο αναγνώστης πρέπει να αναφερθεί σε ειδικά συγγράμματα και προδιαγραφές. Ήταν όμως αναγκαίο να περιληφθούν σε αυτή την εργασία οι λεγόμενες "συντηρητικές" μέθοδοι επεμβάσεων, οι οποίες συνδέονται αμεσότερα με βλάβες που έχουν προκληθεί ειδικότερα από περιβαλλοντικές αιτίες.

11.1. ΣΥΝΤΗΡΗΤΙΚΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Ως συντηρητική (ήπια) επέμβαση χαρακτηρίζεται :

α) η επέμβαση η οποία αναστέλλει μίαν εξελισσόμενη διαδικασία φθοράς (λ.χ. η επίτευξη διακοπής της διαβρώσεως του χάλυβα) χωρίς να επιδιορθώνει αυτήν που έχει ήδη συμβεί, είτε β) η επέμβαση η οποία αποκαθιστά την αρχική ποιότητα των υλικών αφαιρώντας τους βλαπτικούς παράγοντες (λ.χ. αφαίρεση των χλωριόντων από το σκυρόδεμα) με ή χωρίς σύγχρονη μείωση της ευαισθησίας τους (λ.χ. να μειώνεται το πορώδες του σκυροδέματος στο παραπάνω παράδειγμα).

Τα τελευταία κυρίως χρόνια, επιζητούνται όλο και περισσότερο οι μέθοδοι "συντηρητικών" επεμβάσεων, εξαιτίας του μεγάλου κόστους και της άγνωστης ανθεκτικότητας των "ενεργών" επεμβάσεων.

Οι κυριότερες συντηρητικές επεμβάσεις στο σκυρόδεμα είναι οι εξής:

Επεμβάσεις στο σκυρόδεμα

- Προστασία σκυροδέματος από την είσοδο διαβρωτικών ουσιών (άρση διαπερατότητας).
- Υδατοστεγείς μεμβράνες
- Επεστρώματα
- Εμποτισμός με πολυμερή

- Σφράγισμα ρωγμών
- Ενέσεις ρητινών
- Ενέσεις τσιμέντου
- Επαναλκαλοποίηση σκυροδέματος

- Αφαίρεση χλωριόντων από το σκυρόδεμα

- Αναστολή αλκαλοπυριτικής αντιδράσεως (αφαίρεση υγρασίας)

Επεμβάσεις στο χάλυβα

· Καθοδική προστασία

Μερικές από τις παραπάνω επεμβάσεις μπορεί να ακολουθούνται από λήψη πρόσθετων μέτρων, ώστε να αποφύγουμε την επανάληψη της ίδιας διαδικασίας φθοράς (λ.χ. η αφαίρεση των χλωριόντων από το σκυρόδεμα μπορεί να παρεμποδισθεί η επαναδιείσδυση των χλωριόντων).

Στα επόμενα, αναφέρονται μερικές πληροφορίες για τις προαναφερθείσες μεθόδους, παρότι για μερικές από αυτές διατίθενται λίγα στοιχεία, αφού βρίσκονται ακόμα στο στάδιο της έρευνας και της εξελίξεως.

11.1.1. Προστασία σκυροδέματος από την είσοδο διαβρωτικών ουσιών

Οι συνηθέστερες μορφές μεμβρανών είναι τα έτοιμα βιομηχανοποιημένα φύλλα, και ορισμένα υγρά υλικά. Τα υγρά υλικά τοποθετούνται σε μεγαλύτερη ευκολία αλλά είναι ακριβότερα, η δε ποιότητα της μεμβράνης μπορεί να ποικίλει σημαντικά.

Η υδατοστεγής μεμβράνη πρέπει να ικανοποιεί τις εξής απαιτήσεις:

- Να είναι εύκολη η τοποθέτησή της.
- Να μην αντιδρά με τα συστατικά του σκυροδέματος
- Να μην εμποδίζει την διείσδυση χλωριόντων και υγρασίας υπό διάφορες συνθήκες, π.χ. μεταβολές της θερμοκρασίας, υπερφόρτιση, κ.λ.π.

Μεγάλη σημασία κατά την τοποθέτηση των μεμβρανών έχουν οι καιρικές συνθήκες και οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες. Σοβαρό πρόβλημα δημιουργείται με τον σχηματισμό **φυσαλίδων** λόγω διογκώσεως των αερίων και της υγρασίας, τα οποία παγιδεύονται στο σκυρόδεμα. Έχει όμως βρεθεί πειραματικά ότι οι κλειστές φυσαλίδες οι οποίες δημιουργούνται μέσα στην μεμβράνη δεν μειώνουν την παρεχόμενη στο σκυρόδεμα προστασία έναντι διεισδύσεων χλωριόντων και υγρασίας. Η συχνότητα εμφάνισης των φυσαλίδων εξαρτάται από το πορώδες του σκυροδέματος, την περιεχόμενη στο σκυρόδεμα υγρασία και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Ακόμη, μπορεί να προκληθούν από αύξηση της θερμοκρασίας του σκυροδέματος ή μείωση της ατμοσφαιρικής πίεσεως.

Η χρήση των μεμβρανών παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι οι μεμβράνες δεν είναι ανθεκτικές μέσα στον χρόνο, και πρέπει να ανανεώνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

11.1.2. Προστατευτικά επιστρώματα στο σκυρόδεμα

Τα επιστρώματα με ειδικά σκυροδέματα χρησιμοποιούνται για να μειώσουν

την διαπερατότητα του υπάρχοντος σκυροδέματος (υπόστρωμα). Όταν τούτο είναι εφικτό, το επιστρώμα μπορεί να τοποθετηθεί προτού ολοκληρωθεί η σκλήρυνση του υποστρώματος, οπότε ο χρόνος κατασκευής είναι μικρός, κι έτσι μειώνεται το κόστος.

Η κατασκευή επιστρωμάτων από ειδικά σκυροδέματα απαιτεί προσεκτική προετοιμασία της επιφάνειας του επιστρώματος ώστε να επιτευχθεί καλή πρόσφυση του επιστρώματος με το παλιό σκυρόδεμα. Γενικά, η επιφάνεια του σκυροδέματος πρέπει να είναι ξηρή και απολύτως καθαρή.

Τα επιστρώματα προσφέρουν ανθεκτικότητα έναντι διαφόρων επιδράσεων στο σκυρόδεμα, π.χ. επίδραση παγετού και αντιπαγωτικών αλάτων, μηχανικές επιδράσεις κ.λ.π.

Το σκυρόδεμα επιστρώσεως πρέπει να είναι σκυρόδεμα πολύ καλής ποιότητας από τσιμέντο Portland ή σκυρόδεμα με πρόσθετα πολυμερή:

· **Σκυρόδεμα υψηλής ποιότητας από τσιμέντο Portland**

Το σκυρόδεμα απαιτείται να έχει:

- Περιεκτικότητα σε τσιμέντο τουλάχιστον 470Kg/m^3
- Λόγο N/T ίσον με 0.32
- Κάθιση μικρότερη από 25mm

Στο σκυρόδεμα μπορεί να προστεθούν ρευστοποιητικά για τη μείωση της ποσότητας του απαιτούμενου ύδατος. Παρασκευάζεται επιτόπου, συμπυκνώνεται δε με κατάλληλα μηχανήματα. Η συντήρηση πρέπει να διαρκεί 72 ώρες τουλάχιστον.

Η επιφάνεια του υποστρώματος πρέπει να είναι απολύτως στεγνή. Πρόβλημα μπορεί να δημιουργηθεί από ρηγμάτωση λόγω διαφορικής συστολής ξηράνσεως ή από τοπική αστοχία της προσφύσεως (ανεπαρκής προετοιμασία του υποστρώματος) ή από πρόωρη ξήρανση.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σήμερα κυρίως για προστασία του σιδηροπλιμού από διάβρωση λόγω επιδράσεως αντιπαγωτικών αλάτων στις νέες γέφυρες

· **Σκυρόδεμα με πρόσθετα πολυμερή**

Παρασκευάζεται από τσιμέντο Portland και περιέχει ως πρόσθετο ένα γαλάκτωμα πολυμερών το οποίο μειώνει την τιμή του λόγου N/T, ενώ δίνει χαμηλή διαπερατότητα και μεγάλη αντίσταση σε διείσδυση χλωριόντων. Το γαλάκτωμα είναι κολλοειδές διάλυμα συνθετικού ελαστικού μέσα σε νερό. Μπορεί να χρησιμοποιούνται και πρόσθετα τα οποία εμποδίζουν την παγίδευση του αέρα μέσα στο σκυρόδεμα. Συνήθως, χρησιμοποιείται γαλάκτωμα σε ποσότητα 15% κ.β. τσιμέντου.

Το υπόστρωμα πρέπει να έχει βραχεί πριν από την τοποθέτηση του επιστρώματος προκειμένου να επιτευχθεί και η πρόσφυση με το υπόστρωμα και για να παρεμποδισθεί η δημιουργία λεπτού στρώματος από γαλάκτωμα

στην διεπιφάνεια των σκυροδεμάτων. Η προσθήκη αερακτικού (για να επιτύχουμε ανθεκτικότητα του σκυροδέματος έναντι επιδράσεως παγετού) μπορεί να αποφευχθεί.

Το πάχος του επιστρώματος είναι συνήθως 40 έως 50mm. Μετά την τοποθέτηση του επιστρώματος, απαιτείται συντήρηση επί 72 ώρες. Υψηλές θερμοκρασίες του περιβάλλοντος προκαλούν πρόωρη ξήρανση του επιστρώματος και συστολή ξηράνσεως η οποία αποτελεί τον σοβαρότερο κίνδυνο για το επίστρωμα.

11.1.3. Εμποτισμός του σκυροδέματος με πολυμερή

Ο εμποτισμός του σκυροδέματος με πολυμερή γίνεται με τον σκοπό να μειωθεί η διαπερατότητα του σκυροδέματος όταν το περιβάλλον είναι πολύ διαβρωτικό. Η διαδικασία συνίσταται στην πλήρωση των κενών του σκυροδέματος με πολυμερές, σε βάθος σκυροδέματος 35 έως 50 mm συνήθως.

Η κατεργασία του σκυροδέματος περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- Καθαρισμός της επιφάνειας του σκυροδέματος από ξένες ουσίες (σκόνες, έλαια, άλατα κ.λ.π.)
- Άπλωμα άμμου στο σκυρόδεμα με σκοπό να αποφύγουμε το θερμικό σοκ του σκυροδέματος κατά την επακολουθούσα εφαρμογή υψηλών θερμοκρασιών.
- Ξήρανση του σκυροδέματος. Η ξήρανση γίνεται διατηρώντας υψηλές θερμοκρασίες για αρκετόν χρόνο (λ.χ. στους 120 C επί 8 ώρες).
- Σταδιακή απόψυξη του σκυροδέματος, με προσοχή ώστε να μην απορροφηθεί υγρασία από το περιβάλλον (λ.χ. διατήρηση στους 38 C επί 12 ώρες έως 36 ώρες).
- Αφαίρεση αέρα από το σκυρόδεμα (εφαρμογή κενού)
- Προσθήκη μονομερούς.
- Προσθήκη αδιάβροχων μεμβρανών στην επιφάνεια, ώστε να εμποδίσουμε την εξάτμιση του μονομερούς.
- Θερμικός καταλυτικός πολυμερισμός του μονομερούς (λ.χ. στους 74 C επί 5 ώρες).

Το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο μονομερές είναι το μεθακρυλικό μεθύλιο διότι έχει μικρό ιξώδες (διευκολύνοντας έτσι την διείσδυσή τους), υψηλό σημείο βρασμού και εύκολο πολυμερισμό, χωρίς να έχει τοξικές ιδιότητες. Έχει όμως σχετικά υψηλό κόστος.

Ο εμποτισμός του σκυροδέματος με πολυμερή παρουσιάζει το **πλεονέκτημα** ότι είναι μια μέθοδος εφαρμόσιμη σε όλα τα σκυροδέματα, ανεξάρτητα από την ποιότητα και τα συστατικά τους, με αποτελέσματα τα οποία είναι μόνιμα. Επίσης, σκυρόδεμα εμποτισμένο με πολυμερή παρουσιάζει βελτιωμένες όλες τις ιδιότητές του σε σύγκριση με σκυρόδεμα χωρίς εμποτισμό με πολυμερή

Μεινεκτήματα της μεθόδου είναι ότι απαιτείται προσοχή κατά την ξήρανση στο σκυρόδεμα διότι πολλές φορές προκαλείται εκτεταμένη ρηγμάτωση στο σκυρόδεμα (παρ' όλο που οι ρωγμές σφραγίζονται κατά το μεγαλύτερο μέρος τους από το ίδιο το πολυμερές). Απαιτείται επίσης ειδικός εξοπλισμός και ειδικευμένο προσωπικό.

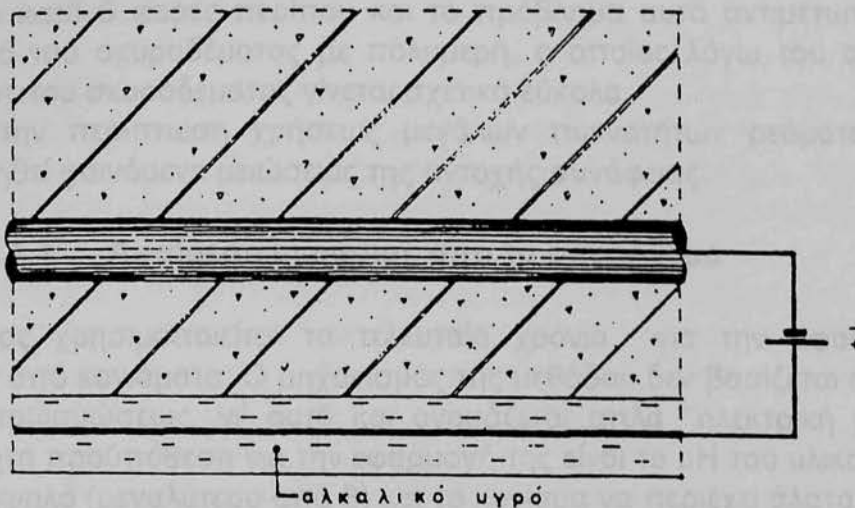
Πίν. 7: Σύγκριση ιδιοτήτων συμβατικού σκυροδέματος και σκυροδέματος εμποτισμένου με πολυμερισμένο μεθακρυλικό μεθύλιο.

Ιδιότητα	Συμβατικό σκυρόδεμα	Σκυροδεμα με μεθακρυλικό μεθύλιο
Θλιπτική αντοχή (MPa)	36	124
Εφελκυστική αντοχή (MPa)	2.9	10.9
Μέτρο ελαστικότητας (MPa)	24000	43000
Απορρόφηση νερού (%)	6.4	0.34
Διαπερατότητα (m/έτος)	1.62	0.43
Απότριψη (mm)	1.25	0.34
Απότριψη (gr)	14	4
Σκληρότητα (R)	32	73
Διάβρωση σκυροδέματος από διάλυμα 15% HCl επί 84 ημερες (% απώλεια βάρους)	10.4	3.49

11.1.2. Επαναλκαλοποίηση του σκυροδέματος

Η επαναλκαλοποίηση είναι μια διαδικασία η οποία εφαρμόζεται στο σκυρόδεμα με σκοπό να αυξήσει την αλκαλικότητα του σκυροδέματος όταν αυτή έχει απολεσθεί από διάφορες αιτίες (ενανθράκωση του σκυροδέματος, απόπλυση του υδροξυλίου του ασβεστίου από το σκυρόδεμα κ.λ.π.). Η μέθοδος στηρίζεται στην αρχή της ηλεκτροωσμώσεως παρουσία εξωτερικού δυναμικού. Πάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος απλώνεται ένα αλκαλικό υλικό και ένα ηλεκτρόδιο το οποίο λειτουργεί ως άνοδος. Ο χάλυβας του σκυροδέματος χρησιμοποιείται ως κάθοδος (βλ. Σχ.89). Με την εφαρμογή εξωτερικού ηλεκτρικού δυναμικού (λ.χ. τάση 10V) το αλκαλικό υγρό διεισδύει στους πόρους του σκυροδέματος, αυξάνοντας με αυτόν τρόπο του pH του σκυροδέματος.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι απαιτείται ποσότητα αλκαλικού υλικού 1.2 lt ανά 1m² σκυροδέματος για να επαναλκαλοποιηθεί σκυρόδεμα πάχους 1cm με πορώδες περίπου 12%. Η μέθοδος εφαρμόζεται επί 14 ημέρες περίπου.



Σχ.89: Διάταξη για επαναλκαλοποίηση του σκυροδέματος (A.van den Hondel et al., 1988).

Η μέθοδος είναι απλή, η δε επιτυχία της ελέγχεται άμεσα. Το μειονέκτημά της είναι ότι μπορεί να μείνουν ενανθρακωμένες περιοχές του σκυροδέματος, χωρίς "θεραπεία". Η σχετική έρευνα είναι ακόμα ανεπαρκής.

11.1.3. Αφαίρεση χλωριόντων από το σκυρόδεμα

Η μέθοδος βασίζεται στην αρχή της ηλεκτροωσμώσεως και έχει

χρησιμοποιηθεί κατά το παρελθόν σε έρευνες για την αφαίρεση των χλωριόντων από καταστρώματα γεφυρών. Η αφαίρεση των χλωριόντων επιτυγχάνεται ηλεκτροχημικώς χρησιμοποιώντας έναν κατάλληλο ηλεκτρολύτη, μια ρητίνη ανταλλαγής ιόντων και ένα μεταλλικό πλέγμα το οποίο απλώνεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος, δρώντας ως άνοδος. Στο ηλεκτροχημικό κύκλωμα, ο οπλισμός δρα ως κάθοδος. Με την εφαρμογή δυναμικού, τα χλωριόντα (τα οποία είναι φορτισμένα με αρνητικό φορτίο) ελκύονται από την θετικά φορτισμένη άνοδο όπου και δεσμεύονται από την ρητίνη. Η μέθοδος εφαρμόσθηκε επιτόπου σε κατάστρωμα γέφυρας των ΗΠΑ, όπου και επιτεύχθηκε αφαίρεση του 90% των χλωριόντων. Από πειράματα που έγιναν βρέθηκε ότι μια αρχική συγκέντρωση χλωριόντων 2.3% κ.β. τσιμέντου μπορεί μέσα σε 100 ώρες να ελαττωθεί σε επιτρεπόμενα όρια.

Η μέθοδος έχει το μειονέκτημα ότι είναι δαπανηρή και απαιτεί την εφαρμογή υψηλού δυναμικού το οποίο όμως αναπτύσσει μεγάλες θερμοκρασίες στο σκυρόδεμα (γύρω στους 90 C), με ενδεχόμενο αποτέλεσμα την εμφάνιση ρηγματώσεων. Επί πλέον, αυξάνεται η διαπερατότητα του σκυροδέματος αυξάνεται κατά 5 φορές περίπου και το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με εμπλοτισμό του σκυροδέματος με πολυμερή, ο οποίος λόγω του αυξημένου πορώδους του σκυροδέματος γίνεται σχετικά εύκολα.

Τέλος, στην περίπτωση χρήσεως μεγάλων πυκνοτήτων ρεύματος, έχουν παρατηρηθεί φαινόμενα μειώσεως της αντοχής συνάφειας.

11.1.4. Αφαίρεση υγρασίας από το σκυρόδεμα

Η μέθοδος χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια για την αφαίρεση της υγρασίας από κονιάματα. Ο μηχανισμός της μεθόδου δεν βασίζεται στην αρχή της ηλεκτροσπινόμενης, γι' αυτό και ονομάζεται απλά "ηλεκτρική μέθοδος". Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της είναι το pH του υλικού να είναι αρκετά υψηλό (μεγαλύτερο από 8) και το κονίαμα να περιέχει άλατα σε μικρές ποσότητες. Έχει βρεθεί πειραματικά ότι ξήρανση πορώδους υλικού δεν μπορεί να γίνει χωρίς την παρουσία αλάτων. Εκτιμάται ότι επιτυγχάνονται καλά αποτελέσματα με την παρουσία αλάτων σε περιεκτικότητα 2 έως 5%. Τα θειικά ιόντα διευκολύνουν την διάσπαση του νερού, επομένως εμποδίζουν την διαδικασία. Η εφαρμογή της μεθόδου πάνω στην κατασκευή γίνεται όπως έχει περιγραφεί για την αφαίρεση των χλωριόντων. Με την εφαρμογή του δυναμικού, τα ιόντα των αλάτων κινούνται προς τα ηλεκτρόδια, μεταφέροντας μαζί τους και νερό. Η μεταφορά των μορίων από τα ιόντα ερμηνεύεται με διάφορους μη ταυτόχρονους μηχανισμούς: α) τα ανιόντα και τα κατιόντα των αλάτων είναι ενυδατωμένα, αλλά σε διαφορετικό βαθμό το καθένα, β) τα ιόντα παρασύρουν κατά την κίνησή τους προς τους πόλους το υδατικό περίβλημα

των πόρων, γ) 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 δεν συμβαίνει η συγκεκριμένη διαδικασία). Για να προκληθεί ικανοποιητική ξήρανση, πρέπει να δημιουργηθεί ηλεκτρικό ρεύμα εντάσεως τουλάχιστον ίσης 0.1 έως 1Α

Μέχρι σήμερα, υπάρχουν ικανοποιητικά αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου σε τοιχοποιίες, όπου το κόστος είναι χαμηλό. Η έρευνα συνεχίζεται για μια ευρύτερη εφαρμογή της μεθόδου.

11.2. ΥΠΟΜΝΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗ

11.2.1 Ενεργές επεμβάσεις

Δεν περιλαμβάνονται βεβαίως στους σκοπούς αυτού εδώ του βιβλίου η περιγραφή των κατασκευαστικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την επισκευή ή την ενίσχυση δομημάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Παρά ταύτα, για να γίνει εναργέστερη η αντιδιαστολή των "ενεργών" αυτών μεθόδων απ' τις ήπιες επεμβάσεις οι οποίες περιγράφονται σε προηγούμενα κεφάλαια, ακολουθεί εδώ ένας σύντομος κατάλογος των ενεργών επεμβάσεων. Αυτών δηλαδή που δεν σκοπούν κατευθείαν στην αναίρεση των περιβαλλοντικών αιτιών που προκάλεσαν τη βλάβη, αλλά κυρίως στην αποκατάσταση (ή την αύξηση) της φέρουσας ικανότητας του δομήματος.

· Καμπτική ενίσχυση (δοκών, υποστυλωμάτων, πλακών)

α) Επικόλληση λεπτών χαλύβδινων ελασμάτων μέσω εποξειδικών ρητινών.

Β) Ανοιχτοί μανδύες εκτοξευόμενου οπλισμένου σκυροδέματος.

Γ) Μερική καθαίρεση και αποκατάσταση βλαμμένης περιοχής: Ευθυγράμμιση οπλισμών, προσθήκη νέων, συμπλήρωση κοινού ή πολυμερικού σκυροδέματος.

Δ) Προσθήκη εξωτερικών τενόντων.

· Διατμητική ενίσχυση

i) Όπως στην καμπτική ενίσχυση, αλλά με κατάλληλη αγκύρωση των άκρων των προσθέτων συνδετήρων (πάνω στην πλάκα λ.χ.)

ii) Προσθήκη εξωτερικών συνδετήρων (κολλάρα, ταινίες συσκευασίας).

- **Πλήρεις μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος** (κυρίως για υποστυλώματα και τοιχώματα)
- **Ενσωμάτωση μορφοσιδήρου** (κυρίως για υποστυλώματα)
- **Ακαμπτοποίηση πλαισίων**
 - α) Προσθήκη ελαφρών τοιχωμάτων δικτυωμάτων (μορφής Χ ή Κ) στο φάτνωμα πλαισίων.

Τρωτότητα των ενεργών επεμβάσεων

Όταν πρόκειται για επισκευές που αφορούν βλάβες από περιβαλλοντικά αίτια, κυρίως δε στην περίπτωση βλάβης από διάβρωση χάλυβα, οφείλει να εξετάζεται το ενδεχόμενο **έντονης συνεχίσεως** της βλάβης στο μέλλον, παρά την επέμβαση ή μάλλον εξαιτίας της επεμβάσεως.

Ας πάρουμε λ.χ. το παράδειγμα μιας περιοχής όπου εμφανίσθηκε έντονη διαμήκης ρηγμάτωση λόγω τοπικής διαβρώσεως του χάλυβα. Η τοπική αφαίρεση κι αντικατάσταση του σκυροδέματος επικαλύψεως "ακυρώνει" βεβαίως την τοπική άνοδο απ' το σίδηρο. Εφόσον όμως δεν έχει αναιρεθεί, δύο νέες άνοδοι μπορεί να αναπτυχθούν αργότερα κοντά στα πέρατα της επισκευής, και να επιταχύνουν τη βλάβη διευρύνοντας την στο μέλλον. Τούτο δε διότι η εκτεταμένη καθοδική περιοχή της ράβδου συνεχίζει να παράγει τα αναγκαία υδροξύλια. Επειδή δεν είναι επαρκής η διατιθέμενη πείρα εν χρόνο συμπεριφοράς τέτοιων επισκευών, η ακόλουθη ασφαλέστερη γραμμή οφείλει να τηρείται κατά τον ανασχεδιασμό.

- Η επέμβαση να γίνεται στη μεγαλύτερη δυνατή έκταση πέραν των θέσεων εμφανούς βλάβης.

- Παράλληλα, να εφαρμόζεται πάντοτε και μια συντηρητική επέμβαση άρσεως ή αμβλύνσεως των αιτιών της βλάβης.

12.0 ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΕ ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΕΙΔΗ ΠΡΟΣΒΛΗΘΕΙ

Στο μέρος αυτό, παρουσιάζονται παραδείγματα κατασκευών οι οποίες παρουσίασαν προβλήματα ανθεκτικότητας και ελέγχθηκαν από το Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος του ΕΜΠ.

Στις περιπτώσεις αυτές, ακολουθήθηκε η μεθοδολογία επιθεωρήσεως, ελέγχου και διαγνώσεως η οποία έχει περιγραφεί νωρίτερα. Απ' αυτές τις κατασκευές, επισημαίνονται εδώ και σχολιάζονται μόνον τα σημεία εκείνα που παρουσίασαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Η περιγραφή των φθορών και η διάγνωση παρουσιάζονται ταυτόχρονα, ώστε να γίνονται για τον αναγνώστη όσο το δυνατόν πιο σαφή τα αίτια και τα αποτελέσματα των φθορών.

Πρέπει να σημειωθεί ότι από τη διάγνωση των φθορών σε όλες τις περιπτώσεις που ακολουθούν, προέκυψε το συμπέρασμα ότι στις περισσότερες φορές η μεγάλη ένταση των βλαβών είναι αποτέλεσμα ανεπαρκούς επιθεωρήσεως και συντηρήσεως. Αν τα αντίστοιχα προβλήματα είχαν εντοπισθεί εγκαίρως και είχαν οδηγήσει σε έγκαιρες επεμβάσεις για την αντιμετώπισή τους, τότε θα είχε αποφευχθεί η παρουσία βλαβών στην ένταση και στην έκταση στην οποία παρατηρούνται σήμερα.

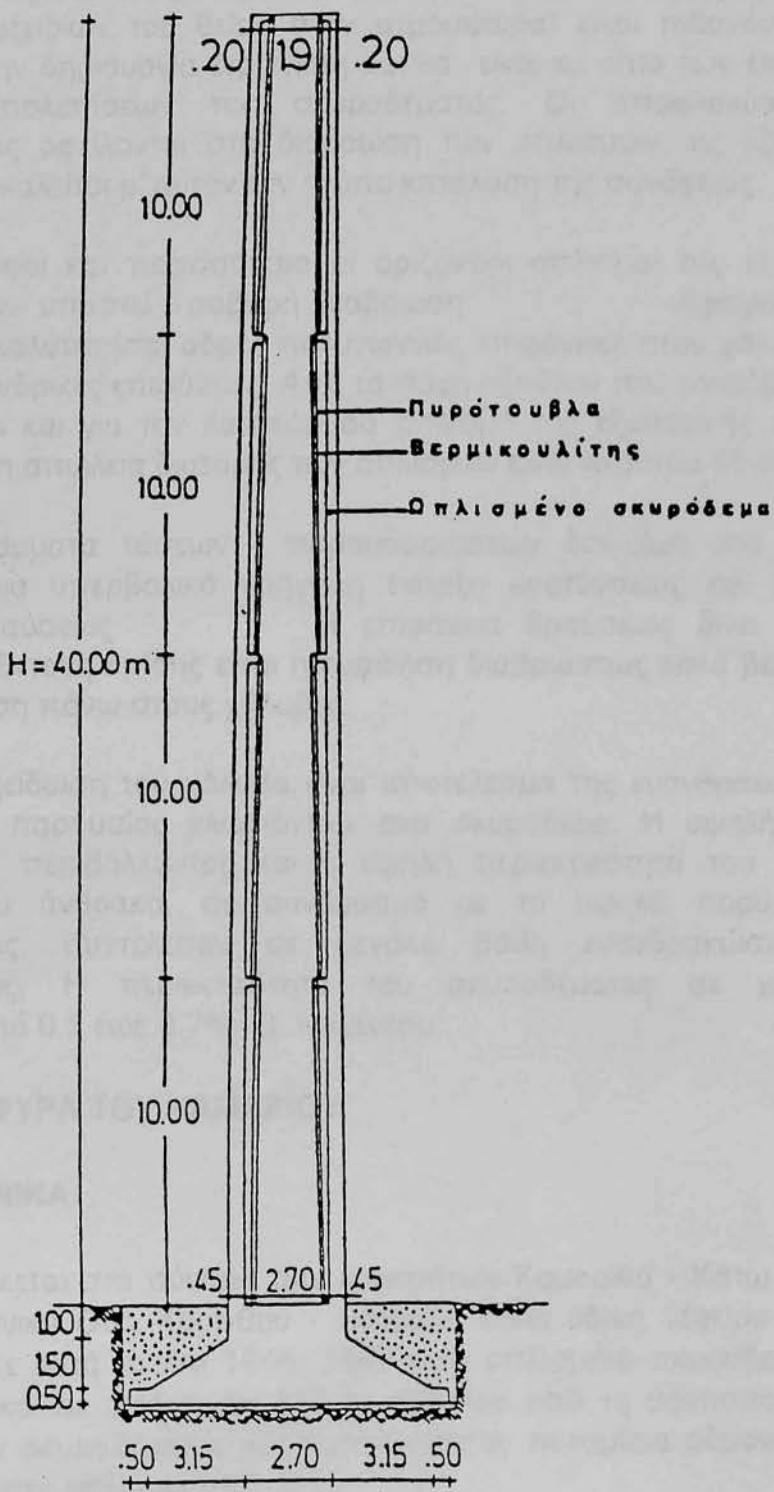
12.1. ΚΑΠΝΟΔΟΧΟΣ ΤΗΣ ΔΕΗ ΣΤΟ ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

12.1.1. Γενικά

Η καπνοδόχος ανήκει στον ατμοηλεκτρικό σταθμό της ΔΕΗ στη θέση Λινοπεράματα Ηρακλείου. Κατασκευάσθηκε κατά τα έτη 1965-1967 σε απόσταση 30 μ μόνον από τη θάλασσα, και χρησιμεύει για την απαγωγή των προϊόντων καύσεως (οξείδια του άνθρακα και οξείδια του θείου). Η αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος ήταν 22.5 Μρα, ενώ για την Παρασκευή του σκυροδέματος είναι πιθανόν ότι χρησιμοποιήθηκαν υφάλμυρο νερό και ποταμίσια άμμος. Οι χάλυβες ήσαν λείοι S220 για τον κατακόρυφο και τον οριζόντιο οπλισμό. Η κατακόρυφη και η οριζόντια τομή της καπνοδόχου φαίνονται στα Σχ. 91.

12.1.2. Περιγραφή και διάγνωση των χαρακτηριστικότερων φθορών

Σ' όλη σχεδόν την επιφάνεια του σκυροδέματος, εμφανίζεται **άτακτη ρήγματωση** η οποία πιθανόν να οφείλεται σε διαφορικές θερμοκρασίες. Το πάχος της θερμικής μονώσεως ενδέχεται να είναι ανεπαρκές.



Σχ.91. Κατακόρυφη τομή της καπνοδόχου.

- Σε μεγάλη έκταση εμφανίζονται **εκτινάξεις, απολεπίσεις και αποφλοιώσεις** του σκυροδέματος. Η επίδραση θειικού οξέος (λόγω της παρουσίας οξειδίων του θείου στην ατμόσφαιρα) είναι πιθανόν να έχει βοηθήσει στην δημιουργία ετρινγκίτη και να είναι το αίτιο των εκτινάξεων και των απολεπίσεων του σκυροδέματος. Οι αποφλοιώσεις του σκυροδέματος οφείλονται στη διάβρωση των οπλισμών της εξωτερικής σχάρας. Προκαλείται μ' αυτόν τον τρόπο κατάλυση της συνάφειας.
- Οι κατακόρυφοι και περισσότερο οι οριζόντιοι οπλισμοί της εξωτερικής σχάρας έχουν υποστεί σοβαρή διάβρωση. Αφαιρώντας τα οξείδια, αποκαλύπτονται αδρές πολυγωνικές επιφάνειες στον χάλυβα, αντί για λείες κυλινδρικές επιφάνειες. Από τα πάχη οξειδίων που μετρήθηκαν για τον οριζόντιο και για τον κατακόρυφο οπλισμό της εξωτερικής εσχάρας, εκτιμάται ότι η απώλεια διατομής των οπλισμών είναι περίπου 10 έως 30%.

Από τα διαγράμματα τάσεων - παραμορφώσεων δοκιμίων του χάλυβα, παρατηρείται μια υπερβολικά γρήγορη έναρξη κρατύνσεως και μειωμένη επιμήκυνση θραύσεως. Η επιφάνεια θραύσεως δίνει ενδείξεις ψαθυρότητας. Έντονη επίσης είναι η εμφάνιση διαβρώσεως κατά βελονισμό σε μεγάλη έκταση πάνω στους χάλυβες.

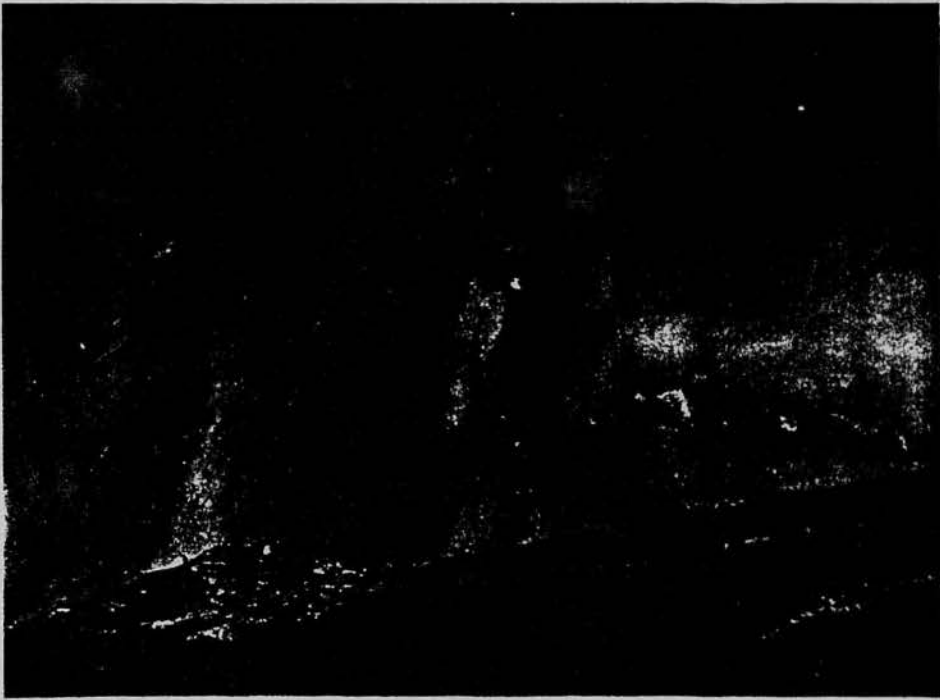
- Η εκτενής οξείδωση του χάλυβα είναι αποτέλεσμα της ενανθράκωσης και της αρχικής παρουσίας χλωριόντων στο σκυρόδεμα. Η υψηλή σχετική υγρασία του περιβάλλοντος και η υψηλή περιεκτικότητα του αέρα σε διοξείδιο του άνθρακα, σε συνδυασμό με το υψηλό πορώδες του σκυροδέματος, συντέλεσαν σε μεγάλα βάθη ενανθρακώσεως του σκυροδέματος. Η περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε χλωριόντα κυμαίνεται από 0.5 έως 0.7%κ.β. τσιμέντου.

12.2.ΓΕΦΥΡΑ ΤΟΥ ΚΑΜΑΡΙΟΥ

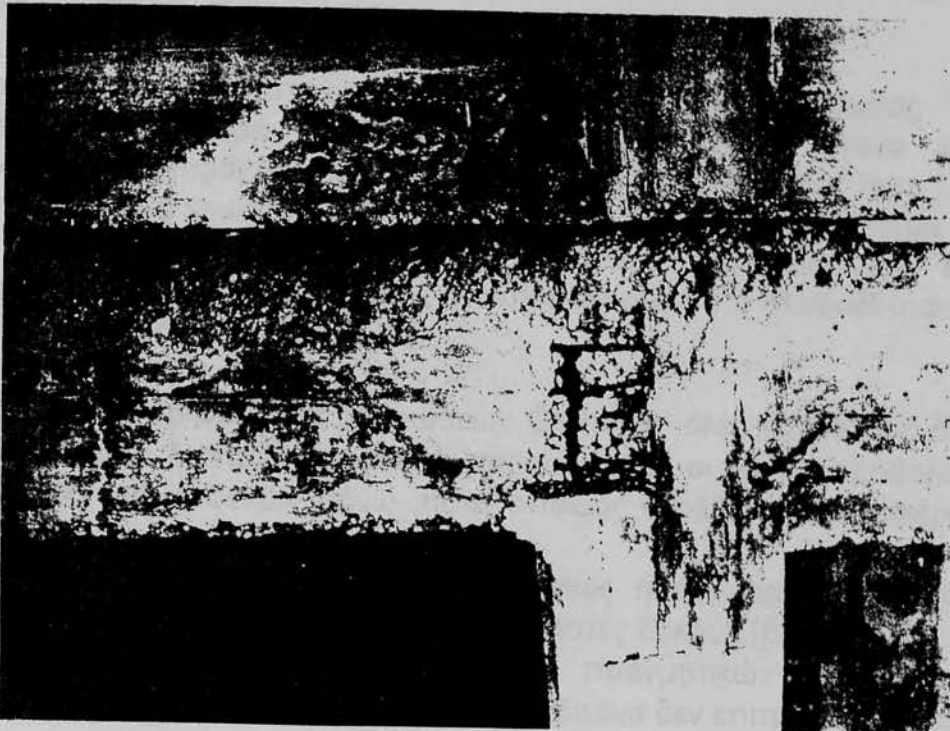
12.2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η γέφυρα βρίσκεται στα σύνορα των κοινοτήτων Καμαρίου - Κάτω Λουτρού στην Παλιά Εθνική Οδό Κορίνθου - Πατρών. Είναι οδική γέφυρα η οποία κατασκευάσθηκε κατά τα έτη 1946- 1947 από οπλισμένο σκυρόδεμα πάνω από χείμαρρο και σε απόσταση 150 m περίπου από τη θάλασσα. Για την Παρασκευή του σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκαν ποταμίσια αδρανή, ενώ οι χρησιμοποιηθέντες οπλισμοί ήταν St1.

Σελ. 134. Στοιχεία από τον φάκελο των δοκιμών στα οποία περιλαμβάνονται και οι φωτογραφίες.



Σχ. 100: Κατακερματισμός του σκυροδέματος στον κοντό πρόβολο της αμφιπρόχουσας δοκού.



Σχ. 99: Στρογγύλεμα των γωνιών των δοκών στους αρμούς (όψη εκ των κάτω).

12.2.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΦΘΟΡΩΝ

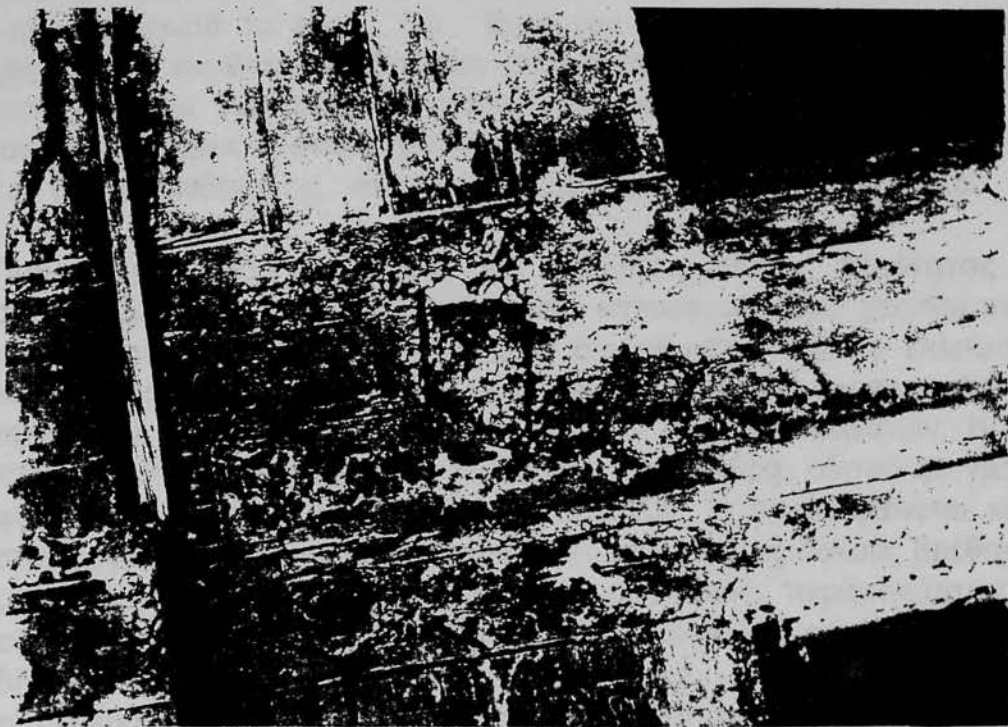
- Στις ακραίες δοκούς εμφανίζονται **διαμήκεις οριζόντιες ρωγμές** εύρους 1 έως 3 mm οι οποίες σε αρκετά σημεία εκτείνονται σχεδόν σ' όλο το μήκος της δοκού. Η χρήση λείων ράβδων μεγάλης διατομής Φ32, οδηγεί σε μικρά περιθώρια τάσεων συνάφειας και είναι ως ένα βαθμό η αιτία της εμφάνισης των διαμηκών ρηγματώσεων. Παράλληλη αιτία η διάβρωση των οπλισμών λόγω ταυτόχρονης δράσεως αποπλύσεως και ενανθράκωσης.
- Στους οπλισμούς των δοκών εμφανίζονται στο σκυρόδεμα **αποφλοιώσεις** (βλ. Σχ.98) , στρογγύλεμα των γωνιών των δοκών (βλ. Σχ.99) και αποθέσεις αλάτων. Οι οπλισμοί εμφανίζουν σημαντικά προβλήματα οξειδώσεως, ιδιαίτερα στις ακραίες δοκούς. Οι φθορές οφείλονται στην αποστράγγιση των υδάτων του καταστρώματος μέσα από τους αρμούς. Έτσι, γίνεται απόπλυση της άσβεστου του σκυροδέματος, η οποία προκαλεί μείωση της αλκαλικότητας του σκυροδέματος, αυξάνοντας μ' αυτόν τον τρόπο το βάθος της ενανθράκωσης του σκυροδέματος, γεγονός που επιταχύνει τη διάβρωση του χάλυβα. Η συνεργασία των δύο αυτών αιτιών φθοράς (επίδραση νερού και ενανθράκωση) υποβοηθείται από τη χαμηλή ποιότητα του σκυροδέματος: κακή κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών και κακή συμπίκνωση του σκυροδέματος.
- Η πλάκα του καταστρώματος της πρώτης αμφιπροέχουσας δοκού παρουσιάζει σοβαρά προβλήματα στεγανότητας. Η πλάκα και οι παράπλευρες επιφάνειες των δοκών (σε όλο σχεδόν το ύψος τους) έχουν υποστεί έντονες χρωματικές αλλοιώσεις. Είναι πιθανόν το σκυρόδεμα αυτού του τμήματος του φορέα να ήταν χειρότερης ποιότητας απ' ότι το σκυρόδεμα των άλλων τμημάτων, αν υποθέσουμε ότι η σκυροδέτηση έγινε σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.
- Οι **κοντοί πρόβολοι** των αρθρώσεων Gerber σ' όλες σχεδόν τις δοκούς έχουν βλαφτεί. Μεγαλύτερη φθορά παρουσιάζουν οι κοντοί πρόβολοι των αμφιπροεχουσών δοκών πάνω στους οποίους εδράζονται οι αμφιέριστες δοκοί.

Οι πρόβολοι αυτοί έχουν θραυσθεί διαγωνίως ή έχει κατακερματισθεί το σκυρόδεμα στο σημείο επαφής με τις αμφιέριστες δοκούς (βλ. Σχ.100).

Αιτία της φθοράς αυτής είναι η έλλειψη πραγματικών εφεδράνων (τα υπάρχοντα είναι μεταλλικά ελάσματα). Τα εφέδρανα δεν επιτρέπουν όπως θα



Σχ.97: Διαμήκης ρηγμάτωση στον πυθμένα των εξωτερικών δοκών.



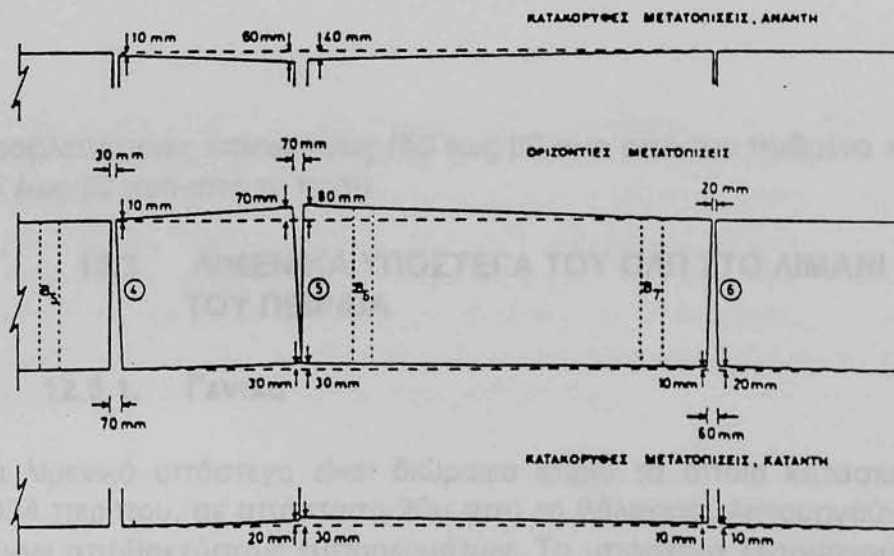
Σχ.98: Αποφλοιώσεις του σκυροδέματος στους αρμούς των δοκών (όψη εκ των κάτω).

έπρεπε τις επιβαλλόμενες οριζόντιες μετατοπίσεις (σεισμού ή θερμοκρασιακών μεταβολών). Έτσι εισάγονται σημαντικές πρόσθετες οριζόντιες δυνάμεις. Σ' όλους τους αρμούς παρατηρείται απόθεση σκόνης και ξένων υλικών, καθώς επίσης και ανάπτυξη φυτών.

- Ιστάμενοι επί της ανωδομής, παρατηρούμε ένα " βούλιαγμα" στη θέση του έκτου βάρου και σοβαρή **παραμόρφωση της ευθυγραμμίας του φορέα**. Η παραμόρφωση είναι αρκετά μεγαλύτερη προς τα ανάντη του χειμάρρου. Παρατηρείται επίσης διαφοροποίηση του εύρους του τέταρτου και πέμπτου αρμού. Οι οριζόντιες και οι κατακόρυφες μετατοπίσεις του κύριου φορέα μετρήθηκαν προς τα ανάντη και τα κατάντη της γέφυρας. Μετρήθηκαν επίσης και τα εύρη των αρμών

Φαίνεται ότι η ροή του χειμάρρου είχε ως αποτέλεσμα την υποσκαφή του θεμελίου του έκτου βάρου, η οποία προκάλεσε καθίζηση του βάρου και αντίστοιχη υποχώρηση του φορέα στη θέση εδράσεως του έκτου βάρου και αντίστοιχη υποχώρηση του φορέα στη θέση εδράσεως του έκτου βάρου. Η καθίζηση του βάρου είναι μεγαλύτερη προς τα ανάντη απ' ότι προς τα κατάντη, με αποτέλεσμα το βάρο να έχει υποστεί στροφή μέσα στο επίπεδό του. Είναι πιθανόν ένας μετέπειτα σεισμός να συνέτεινε σε συμπίκνωση του εδάφους και να προκάλεσε πρόσθετη στροφή του βάρου. Η στροφή αυτή προκάλεσε διεύρυνση του πέμπτου αρμού προς τα ανάντη του χειμάρρου, μείωσε δε αρκετά το εύρος του ίδιου του αρμού προς τα κατάντη του χειμάρρου. Το αντίθετο συνέβη στον τέταρτο αρμό. Από τα εύρη των αρμών φαίνεται σαν να έχει συμβεί στροφή τη αμφιέριστης δοκού γύρω από κατακόρυφο άξονα, η οποία αιτιολογείται από την διάθεση της αμφιέριστης δοκού να ακολουθήσει τις παραμορφώσεις της αμφιπροέχουσας δοκού.

- Παρατηρήσεις και μετρήσεις για εκτίμηση της **ποιότητας του σκυροδέματος** δείχνουν κακή αρχική κατασκευή. Έχει χρησιμοποιηθεί μεγάλο ποσοστό αδρανών με κακή διαβάθμιση και με έλλειψη του λεπτόκοκκου υλικού στην άμμο, με αποτέλεσμα να μην δημιουργείται καλή πρόσφυση του τσιμεντοκονιάματος και των χονδρών αδρανών. Η μικρή ποσότητα τσιμεντοκονιάματος σε σχέση με τα σκύρα, οδηγεί σε γρήγορη φθορά του σκυροδέματος λόγω αποπλύσεως, η οποία φαίνεται κυρίως στους αρμούς. Το μέσο βάθος ενανθρακώσεως για τις δοκούς βρέθηκε ίσο με 61.5 mm, ενώ η εκτίμηση της συνολικής περιεκτικότητας του σκυροδέματος σε χλωριόντα έδωσε 0.36 έως 0.40 κ.β. τσιμέντου. Φαίνεται δηλαδή ότι η διάβρωση των οπλισμών είναι αποτέλεσμα της ενανθρακώσεως του σκυροδέματος και της αποκαλύψεως τους. Από τη συστηματική μέτρηση της επικάλυψης των οπλισμών, διαπιστώθηκε ότι κατά την κατασκευή τηρήθηκαν με αρκετή σχολαστικότητα οι



Σχ.101: Μετρημένες (εκτός κλίμακας) παραμορφώσεις της ανωδομής.



Σχ.102: Διαμήκης ρηγμάτωση σ' όλο το ύψος υποστυλώματος λόγω διαβρώσεως των κυρίων οπλισμών.

προβλεπόμενες επικαλύψεις (50 έως 60 mm από τον πυθμένα των δοκών και 25 έως 30 mm από το πλάι).

12.3 ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΥΠΟΣΤΕΓΑ ΤΟΥ ΟΛΠ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΙΑ

12.3.1. Γενικά

Τα λιμενικά υπόστεγα είναι διώροφα κτίρια τα οποία κατασκευάστηκαν το 1934 περίπου, σε απόσταση 20μ από τη θάλασσα, λειτουργούν δε έκτοτε ως χώροι αποθηκεύσεως εμπορευμάτων. Τα υπόστεγα λειτουργούν συνεχώς σε υγρό θαλάσσιο περιβάλλον. Το σκυρόδεμα εκτιμάται ότι αρχικώς ήταν ποιότητας B120 παρασκευασμένο με θαλασσινή άμμο. Στην εξωτερική παρειά των δοκών και των υποστυλωμάτων προς την πλευρά της θάλασσας έχει χρησιμοποιηθεί πατητή τσιμεντοκονία και επίχρισμα ασβεστοκονιάματος για προστασία του σκυροδέματος.

12.3.2. Περιγραφή και διάγνωση των χαρακτηριστικότερων φθορών

- Στα υποστυλώματα εμφανίζονται διαμήκεις ρηγματώσεις σε όλο σχεδόν το ύψος των υποστυλωμάτων (βλ. Σχ. 102). Μετά την αφαίρεση της ρηγματωμένης επικαλύψεως, αποκαλύπτεται ο χάλυβας με αρκετό πάχος οξειδίων.
- Έντονη **διάβρωση** παρατηρείται στους χάλυβες στα ακραία υποστυλώματα τα οποία βρίσκονται προς την πλευρά της θάλασσας. Η διάβρωση είναι έντονη τόσο στην εσωτερική όσο και την εξωτερική πλευρά των υποστυλωμάτων. Χαρακτηριστική είναι η εμφάνιση της διαβρώσεως κατά βελονισμόν στους χάλυβες, παρά τη διατήρηση της αλκαλικότητας του σκυροδέματος. Από μετρήσεις βρέθηκε ότι το βάθος ενανθρακώσεως του σκυροδέματος κυμαίνεται από 10 έως 140 mm (μέση τιμή 30 mm), η δε περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε χλωριόντα κυμαίνεται από 0.50 έως 1.55 κ.β. τσιμέντου. Από τις παρατηρήσεις και από μετρήσεις προκύπτει ότι η διάβρωση των οπλισμών είναι αποτέλεσμα της επιδράσεως των **χλωριόντων**. Ακόμα και σε περιπτώσεις όπου το σκυρόδεμα εξακολουθεί να παρέχει παθητική προστασία στους χάλυβες (μη ενανθρακωμένο σκυρόδεμα) το πάχος οξειδίων είναι αρκετά μεγάλο. Επίσης, το μαύρο χρώμα των οξειδίων (επιτεταρτοξείδιο του σιδήρου) και η διάβρωση κατά βελονισμόν, είναι αποτελέσματα που οφείλονται αποκλειστικά στην επίδραση χλωριόντων. Διαμήκεις ρηγματώσεις έχουν επιταχύνει την διαδικασία διαβρώσεως.

- Στις δοκούς και στα υποστυλώματα παρατηρούνται **έντονες χρωματικές αλλοιώσεις**, ιδιαίτερα στα σημεία όπου αποστραγγίζονται τα νερά των προβόλων του πρώτου ορόφου. Παρατηρούνται επίσης ανάπτυξη βρύων σε μονίμως υγρές περιοχές και αποθέσεις ξένων υλικών. Η φθορά οφείλεται στην κακή αποστράγγιση των πλακών του πρώτου ορόφου: τα νερά φεύγουν από τα άκρα των προβόλων "γλείφοντας" το σκυρόδεμα, προκαλώντας αλλοίωση του χρώματος του σκυροδέματος και αποθέσεις αλάτων στην επιφάνεια του σκυροδέματος.
- Από τα αποτελέσματα των κρουσιμετρήσεων και των μετρήσεων της ταχύτητας διαδόσεως των υπερήχων βρέθηκε ότι η αντοχή σκυροδέματος κυμαίνεται από 20 έως 35 Μρα, παρουσιάζει δε μεγάλες διακυμάνσεις από το ένα δομικό στοιχείο στο άλλο. Γενικά, το σκυρόδεμα έχει μεγάλη υδατοπερατότητα, δείχνει σημεία κακής συμπυκνώσεως κατά τη σκυροδέτηση, ενώ υπάρχουν ενδείξεις για τοπικές ασυνέχειες (μικρορωγμές και κενά). Οι επικαλύψεις των οπλισμών, εκτός από μερικές μεμονωμένες περιπτώσεις, ήταν αρκετά ικανοποιητικές (κυμαίνονται από 27.3 έως 36.4 mm).

12.4 ΓΕΦΥΡΑ ΑΡΑΧΘΟΥ- ΑΡΤΑΣ

12.4.1. Γενικά

Η γέφυρα βρίσκεται έξω από την πόλη της Άρτας, κατάντη της παλιάς πέτρινης γέφυρας πάνω από το ποταμό Άραχθο. Κατασκευάστηκε το 1959 περίπου, και αποτελείται από 3 αμφιέριστα ανοίγματα προεντεταμένου σκυροδέματος, μήκους 46μ. Το σκυρόδεμα ήταν Β400 για την ανωδομή και Β100 για τα βάθρα. Για τη θεμελίωση χρησιμοποιήθηκαν πασσαλοσανίδες οι οποίες εισχώρησαν σε βάθος 8μ περίπου εντός της κοίτης του ποταμού. Η μηκοτομή και η διατομή της γέφυρας φαίνονται στα ακόλουθα σχήματα.

12.4.2. Περιγραφή και διάγνωση των χαρακτηριστικότερων φθορών

- Στα σημεία απορροής των υδάτων του καταστρώματος, εξαιτίας της διαβρώσεως και αποκοπής των σωλήνων απορροής, το νερό "γλείφει" την παράπλευρη επιφάνεια των δοκών, με αποτέλεσμα να προκαλούνται έντονες χρωματικές αλλοιώσεις στην επιφάνεια του σκυροδέματος και ανάπτυξη βρύων

- Διάβρωση των τενόντων προεντάσεως εμφανίζεται στα πέλματα των δύο ακραίων εξωτερικών δοκών στις θέσεις όπου διοχετεύονται τα νερά απορροής του καταστρώματος και όπου ταυτόχρονα εμφανίζονται φωλιές στο σκυρόδεμα ή η επικάλυψη των συνδετήρων είναι μικρή ή ανύπαρκτη.

Η ύπαρξη των **φωλιών** στο σκυρόδεμα έχει ως αποτέλεσμα την αποκάλυψη των τενόντων και την άμεση επαφή των νερών απορροής του καταστρώματος με τους σωλήνες προεντάσεως. Στις θέσεις αυτές, παρατηρούνται μέχρι και τέσσερις τένοντες πλήρως διαβρωμένοι (βλ. εικόνα 1.10). Αντίθετα, όταν οι φωλιές σκυροδέματος βρίσκονται σε θέσεις όπου υπάρχει η ταυτόχρονη επίδραση του νερού, τότε παρατηρείται μόνον ελαφρά επιφανειακή οξείδωση των σωλήνων προεντάσεως.

Ενδοσκοπήσεις που έγιναν στο εσωτερικό σκυροδέματος σε θέσεις όπου υπάρχουν φωλιές, έδειξαν ότι εμφανίζονται κενά ανάμεσα στους τένοντες και μόνον μια ελαφρά επιφανειακή σκουριά στους σωλήνες προεντάσεως των άλλων στρώσεων. (Σε άλλες θέσεις όπου δεν υπάρχουν στην επιφάνεια του σκυροδέματος ενδείξεις για φθορές, το σκυρόδεμα είναι συμπαγές στο εσωτερικό του).

Σε θέσεις όπου η επικάλυψη των συνδετήρων στα πέλματα των δοκών είναι μικρή ή ανύπαρκτη, τα νερά τα οποία διοχετεύονται στα πέλματα των δοκών προκάλεσαν με ευκολία την διάβρωση των σωλήνων των τενόντων (γαλβανική δράση) οι οποίοι από κακοτεχνία κατά την κατασκευή έρχονταν σε επαφή με τα οριζόντια πέλματα των συνδετήρων

Έλεγχος της περιεκτικότητας του σκυροδέματος σε χλωριόντα γύρω από τους φθαρμένους τένοντες, έδωσε μεγάλες τιμές (0.32 έως 1.90% κ.β. τσιμέντου), οι οποίες βρίσκονται πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια για προεντεταμένο σκυρόδεμα. Φαίνεται λοιπόν ότι η διάβρωση των τενόντων προεντάσεως είναι αποτέλεσμα συνεργασίας της ελλείψεως επαρκούς πάχους προστασίας από το σκυρόδεμα και της διοχετεύσεως **νερών με χλωριόντα** πάνω στους τένοντες (πλευρικό γλείψιμο στις ακραίες δοκούς).

- Η πλάκα του καταστρώματος παρουσιάζει έντονα **προβλήματα στεγανότητας** στα σημεία συναρμογής των πρόχυτων δοκών και των έγχυτων πλακών. Στο κάτω μέρος της πλάκας, εμφανίζονται αποθέσεις αλάτων πάνω στο σκυρόδεμα. Η ύπαρξη ρωγμών στον ασφαλτοτάπητα και η έλλειψη μονώσεως κάτω από τον ασφαλτοτάπητα έχουν ως αποτέλεσμα την διείσδυση νερών από το κατάστρωμα στον ασφαλτοτάπητα έχουν ως αποτέλεσμα την διείσδυση νερών από το κατάστρωμα στον ασφαλτοτάπητα, και εν συνεχεία στους αρμούς του σκυροδέματος.

- Γενικά, παρατηρούνται βλάβες οι οποίες οφείλονται σε τοπικές κακοτεχνίες κατά την παρασκευή του σκυροδέματος : μικρές επικαλύψεις των τενόντων (κυμαίνονται από 10 έως 30 mm από τον πυθμένα, και από 20 έως 40 mm στο πλάι των δοκών), συσσώρευση των τενόντων προεντάσεως στο κάτω πέλμα των δοκών, συνδετήρες στην επιφάνεια του σκυροδέματος χωρίς επικάλυψη, ύπαρξη φωλιών σκυροδέματος στον πυθμένα των κύριων δοκών, επαφή του οριζόντιου πέλματος των συνδετήρων με τους σωλήνες προεντάσεως, συσσώρευση αδρανών στις ακραίες διαδοκίδες λόγω κακής συμπτυκνώσεως του σκυροδέματος, κ.λπ.

Η πλάκα του καταστρώματος έχει υποστεί τοπικές θραύσεις λόγω της αυθαίρετης προσαρτήσεως μεταλλικού αγωγού με καλώδια του ΟΤΕ και της στερεώσεως τριών στύλων φωτισμού της ΔΕΗ πάνω στα πεζοδρόμια.

Εκτεταμένες φθορές έχουν προκληθεί επίσης στον κορμό της ακραίας δοκού προς τα ανάντη, λόγω προσαρτήσεως αγωγού υδρεύσεως διαμέτρου 0.60μ. Τα βλήτρα στερεώσεως του αγωγού απολλώνται από το σκυρόδεμα, προκαλώντας αποφλοιώσεις μεγάλης εκτάσεως και απομειώνοντας το πάχος του κορμού της δοκού κατά 40%.

- Οι αρμοί διαστολής διαγράφονται με σαφήνεια στο κατάστρωμα διότι ο ασφαλοτάπητας έχει ρηγματωθεί στις θέσεις των αρμών. Η ρηγμάτωση του ασφαλοτάπητα προκαλεί επί πλέον την διείσδυση και αποστράγγιση των νερών του καταστρώματος μέσα από τους αρμούς.
- Από τους ελέγχους ποιότητας του σκυροδέματος προέκυψε ότι το σκυρόδεμα είναι γενικώς πολύ καλής ποιότητας. Από τα αποτελέσματα κρουσιμετρήσεων, μετρήσεων της ταχύτητας διαδόσεως των υπερήχων και από τις θραύσεις των πυρήνων οι οποίοι ελήφθησαν από το κατάστρωμα της γέφυρας, βρέθηκε ότι η αντοχή του σκυροδέματος κυμαίνεται από 400 έως 500 Kg/cm² για το σκυρόδεμα της ανωδομής. Το πορώδες του σκυροδέματος βρέθηκε ότι κυμαίνεται από 5.1 έως 8.5 %, με μέση τιμή 6.7%. Το μέσο βάθος ενανθρακώσεως είναι ίσο με 8.1 mm (το βάθος ενανθρακώσεως βρέθηκε ότι κυμαίνεται από 0 έως 35 mm), το οποίο είναι πολύ μικρό αν ληφθεί υπόψη η ηλικία της κατασκευής. Στις θέσεις όπου το σκυρόδεμα αποπλένεται από το νερό απορροής του καταστρώματος, το βάθος ενανθρακώσεως είναι ελαφρώς μεγαλύτερο από το βάθος ενανθρακώσεως είναι ελαφρώς μεγαλύτερο από το βάθος ενανθρακώσεως στο υπόλοιπο σκυρόδεμα, εξακολουθεί όμως να παραμένει μικρό.

12.5. ΠΑΛΙΑ ΓΕΦΥΡΑ ΒΡΥΧΩΝΟΣ

12.5.1. Γενικά

Η γέφυρα Βρύχωνος (αμφιέριστα τόξα, τύπου Vierendel,) βρίσκεται σε απόσταση 10 Km έξω από το βόλο, κατασκευάσθηκε δε το 1917. Θεωρείται μια από τις πρώτες γέφυρες οπλισμένου σκυροδέματος στην Ελλάδα.

Η γέφυρα εξυπηρετούσε το "τρενάκι" του Πηλίου μέχρι το 1968 οπότε διακόπηκε η λειτουργία αυτής της σιδηροδρομικής γραμμής.

Η σημερινή κατάσταση αυτής της σχεδόν εκατονταετίας γέφυρας είναι μάλλον κακή. Από τη σχετική πολλαπλή έρευνα (με αφορμή την σχεδιαζόμενη επαναλειτουργία της γραμμής) αναφέρονται εδώ μόνον μερικά χαρακτηριστικά αντικείμενα.

12.6.1. Χαρακτηριστικές παρατηρήσεις

- **Τρωτότητα των ακραίων δοκών:** Για άλλη μια φορά, ο ρόλος του "μικροκλίματος" αποδεικνύεται αποφασιστικός. Οι ακραίες διαμήκεις δοκοί (βλ. Σχ.), παρουσιάζουν περισσότερα διαβρωτικά φαινόμενα, ιδίως δε κοντά στις θέσεις του καταστρώματος από όπου περνούσαν νερά διαμέσου της πλάκας.
- **Αποστάσεις συνδετήρων:** Τα ιστογράμματα αποστάσεων των συνδετήρων στα υποστυλώματα (αναρτήρες) και στις κύριες διαμήκεις δοκούς, αποδεικνύουν μια μη επιμελημένη κατασκευή (εκτροπές της τάξεως του + 50%).
- **Υδροαπορροφητικότητα:** Κατά την διάρκεια παλαιότερων επιφανειακών επισκευών, προ εικοσαετίας περίπου, είχε προστεθεί ένα επίχρισμα από πατητή τσιμεντοκονία. Είναι χαρακτηριστικό ότι η υδροαπορροφητικότητα του σκυροδέματος του φορέα είναι τριπλάσια της υδροαπορροφητικότητας του επιχρίσματος.
- **Δυναμικές μετρήσεις:** Οι μετρήσεις ιδιοσυχνότητας ταλαντώσεως της γέφυρας έδειξαν τιμές σαφώς μειωμένες εν σχέσει με τις αναμενόμενες για υπόψη άνοιγμα (2.5 Hz, αντί για 4 έως 7 Hz που μετρούνται σε γέφυρες του ίδιου ανοίγματος).

12.6.2. ΓΕΦΥΡΑ ΠΑΛΑΙΟΚΑΣΤΡΟΥ

Γενικά

Η γέφυρα Παλαιοκάστρου βρίσκεται στο 14ο χιλιόμετρο της οδού Ηρακλείου - Ρεθύμνου. Είναι κιβωτοειδούς διατομής, από προεντεταμένο σκυρόδεμα σε μορφή δοκών Gerber, κατασκευάστηκε δε το 1972. Από τις σχετικές με την κατάσταση της έρευνες, δίνονται παρακάτω μερικές χαρακτηριστικές πληροφορίες.

Χαρακτηριστικές πληροφορίες

Ενανθράκωση σκυροδέματος βάθρου: Το προς Ρέθυμνο μεσόβαθρο είχε επισκευασθεί (το 1978) με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος. Στη λοξή τομή της γωνίας του βάθρου, διακρίνονται δύο ενανθρακώσεις: Μία του νέου σκυροδέματος του μανδύα, κι άλλη μια του παλιού σκυροδέματος προτού προστεθεί ο μανδύας.

- **Φωλιές πουλιών σε αρμούς:** Μέσα στους αρμούς Gerber της γέφυρας, καθώς και στις περιοχές εδράσεως στα μεσόβαθρα, είχαν δημιουργηθεί προβλήματα από τις φωλιές που έκαναν τα πουλιά (εναπόθεση αραιών οργανικών οξέων, φθορά πάνω στα σημεία στηρίξεως και μηχανική δράση). Στο Σχ , φαίνεται η κάλυψη του αρμού με πλαστικό πλέγμα, που τοποθετήθηκε αργότερα για να εμποδίζει την είσοδο των πουλιών.
- **Δυναμικές μετρήσεις:** Οι μετρήσεις ιδιοσυχνότητας της γέφυρας έδειξαν καλή συμπεριφορά σε σχέση με το άνοιγμα της.
- **Σκουριά ακάλυπτων άκρων τενόντων:** Οι τένοντες που αγκυρώνονταν πάνω σε διαδοκίδα μέσα στο εσωτερικό του κιβωτίου είχαν τα "μουστάκια" ακάλυπτα. Η διαβρωτικότητα όμως του εσωτερικού περιβάλλοντος (συγκέντρωση υγρασίας) προκάλεσε έντονη διάβρωση αυτών των ακάλυπτων άκρων.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

· Η προστασία του οπλισμού από διάβρωση μέσω του μηχανισμού ενανθράκωσης είναι δυνατό να επιτευχθεί με επιλογή του κατάλληλου πάχους επικάλυψης (απόσταση οπλισμού από την εξωτερική επιφάνεια του σκυροδέματος) και τις σύνθεσης του σκυροδέματος ώστε η ενανθράκωση να μη φτάσει στην επιφάνεια του οπλισμού μέσα στην αναμενόμενη διάρκεια ζωής της κατασκευής.

· Υπό κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος, όπου η περιεκτικότητα του αέρα σε CO₂ κυμαίνεται μεταξύ από 0.03% έως 0.05%, η χρονική εξέλιξη του φαινομένου της ενανθράκωσης είναι εξαιρετικά αργή

Τυπικά απαιτούνται 5-10 χρόνια έκθεσης σε τέτοιο περιβάλλον για καταγραφή ευδιάκριτων και αξιοσημείωτων αλλαγών σε μεγέθη που χαρακτηρίζουν το φαινόμενο, όπως είναι το βάθος της ενανθράκωσης.

Για να ξεπεραστεί αυτό το πρακτικό πρόβλημα αποφασίσθηκε η κατασκευή ενός κλειστού με αυξημένη συγκέντρωση σε CO₂, μέσα στον οποίο τοποθετούνται τα δοκίμια σκυροδέματος που πρόκειται να μελετηθούν .

Σε αυτές τις συνθήκες περιβάλλοντος μπορεί κανείς να μελετήσει μέσα σε λίγες μέρες πρόκειται να συμβεί υπό κανονικές συνθήκες , σε πολλά χρόνια. Έτσι αν ο χρόνος που απαιτείται κάτω από κανονικές συνθήκες για να επιτευχθεί κάποιο βάθος ενανθράκωσης, π.χ. 1cm, είναι t₁, τότε κάτω από συνθήκες ταχείας ενανθράκωσης είναι t₂=t₁/1000.