



ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ & ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ - ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

REPAIR & STRENGTHENING OF STRUCTURES - UNIVERSITY OF PATRAS

Σχεδιασμός Ανθεκτικότητας Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος - Εκτίμηση Διάρκειας Ζωής

Σωτήρης Δέμης

Δρ. Πανεπιστημίου Sheffield

Πανεπιστημιακός Υπότροφος Πανεπιστημίου Πατρών



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ - ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Παρουσιάσεις Φοιτητικών Εργασιών

ΤΟΜΟΣ 1ος (Ιούλιος 1995)

31

ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΟ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΣΩΤΗΡΗΣ ΔΕΜΗΣ
Πανεπιστήμιο Πατρών - Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πάτρα, Μάιος 1995

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η ολοένα αυξανόμενη σεισμικότητα στον Ελλαδικό χώρο, επιφέρει την ανάγκη για έρευνα στον τομέα επισκευών και ενισχύσεων των βλαμμένων κατασκευών από τον σεισμό. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ως επί το πλείστον χρησιμοποιείται στις μεθόδους αυτές. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες. Στην πρώτη, ανήκουν τα αδρανή και το νερό που απαιτούνται για την παρασκευή του. Στην δεύτερη τα πρόσθετα και τα πρόσμικτα και στην τρίτη τα υλικά που βρίσκουν εφαρμογή στις τεχνολογίες επεμβάσεων. Όλα τα πειραματικά - ερευνητικά αποτελέσματα εκθέτονται αναλυτικά.

1. Εισαγωγή

αναπτύξουμε διεξοδικά τις τρεις παραπάνω κατηγορίες.
Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είναι

Οι εργασίες αυτές παρουσιάστηκαν τον **Ιούνιο του 1995** στα πλαίσια του μαθήματος «Ενισχύσεις – Επισκευές Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα», που διδάσκεται στο Ε΄ έτος του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών. **Είναι η πρώτη φορά που επιχειρείται η εκτύπωση τους υπό μορφή πρακτικών** και ως εκ τούτου διάφορες ατέλειες θα πρέπει να κοιταχθούν με συγκατάβαση. Η εκτύπωσή τους αποφασίστηκε όχι μόνο για να δώσει στους φοιτητές την ικανοποίηση της δημοσίευσης της δουλειάς τους, αλλά και γιατί το υλικό που παρουσιάζεται είναι πολύ χρήσιμο μετά από τους πρόσφατους καταστρεπτικούς σεισμούς (Κοζάνη και Αίγιο). Όμως ο αναγνώστης δεν θα πρέπει να λησμονεί ότι οι εργασίες έχουν γραφεί από φοιτητές και ως εκ τούτου το υλικό που παρουσιάζεται θα πρέπει να χρησιμοποιείται με κατάλληλη επεξεργασία.

Ελπίζουμε ότι αυτός ο πρώτος τόμος αποτελεί μόνο την αρχή.

Σ. Δρίτσος

τα κατατάζουμε σε τρεις κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα υλικά που χρησιμοποιούνται καθαρά για την παρασκευή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Στην δεύτερη τα πρόσμικτα ή πρόσθετα υλικά και στην τρίτη τα υλικά που βρίσκουν εφαρμογή στις τεχνολογίες επεμβάσεων. Στην συνέχεια θα

Στον πίνακα αυτόν η μία στήλη είναι το μέγεθος του κόσκινου και η άλλη, το ποσοστό του βάρους του αδρανούς υλικού που περνάει από το κόσκινο αυτό.

Εάν η άμμος δεν ανταποκρίνεται στην παραπάνω διαβάθμιση μπορεί να

- **ACI 201.2R-01 - Guide to Durable Concrete**

Durability of hydraulic-cement concrete is defined as its ability to resist weathering action, chemical attack, abrasion, or any other process of deterioration.

- **BS 8110-1: 1997 - Structural use of concrete - Part 1: Code of practice for design and construction**

A durable concrete element is one that is designed and constructed to protect embedded metal from corrosion and to perform satisfactorily in the working environment for the life-time of the structure.

- **ACI 365.1R-00 - Service-Life Prediction—State-of-the-Art Report**

Durability is the capability of maintaining the serviceability of a product, component, assembly, or construction over a specified time.

- **Fib Model Code 2010**

Durability is the ability to maintain required technical performance throughout the service life subject to specified maintenance under the influence of the foreseeable actions

- **Ευρωκώδικας 2**

Μια κατασκευή ανθεκτική σε διάρκεια πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις λειτουργικότητας, αντοχής και ευστάθειας καθ' όλη τη διάρκεια του επιδιωκόμενου χρόνου ζωής σχεδιασμού, χωρίς σημαντικές απώλειες χρηστικότητας ούτε υπερβολική και απρόβλεπτη συντήρηση.

- **ACI 201.2R-01 - Guide to Durable Concrete**

Durability of hydraulic-cement concrete is defined as its **ability to resist weathering action, chemical attack, abrasion, or any other process of deterioration.**

- **BS 8110-1: 1997 - Structural use of concrete - Part 1: Code of practice for design and construction**

A durable concrete element is one that is designed and constructed **to protect** embedded metal **from corrosion** and **to perform satisfactorily** in the working environment for the **life-time of the structure.**

- **ACI 365.1R-00 - Service-Life Prediction—State-of-the-Art Report**

Durability is the **capability of maintaining the serviceability of** a product, component, assembly, or **construction over a specified time.**

- **Fib Model Code 2010**

Durability is the **ability to maintain required technical performance throughout the service life** subject to specified maintenance under the influence of the foreseeable actions

- **Ευρωκώδικας 2**

Μια κατασκευή ανθεκτική σε διάρκεια πρέπει **να ικανοποιεί τις απαιτήσεις λειτουργικότητας, αντοχής και ευστάθειας καθ' όλη τη διάρκεια του επιδιωκόμενου χρόνου ζωής σχεδιασμού, χωρίς σημαντικές απώλειες χρηστικότητας ούτε υπερβολική και απρόβλεπτη συντήρηση.**

Ability /capability to resist (Ικανότητα να αντισταθεί)

weathering action (περιβαλλοντικές δράσεις)

chemical attack (δράση χημικών)

Deterioration (υποβάθμιση)

to protect (να προστατέψει)

life-time of structure. (διάρκεια ζωής της κατασκευής)

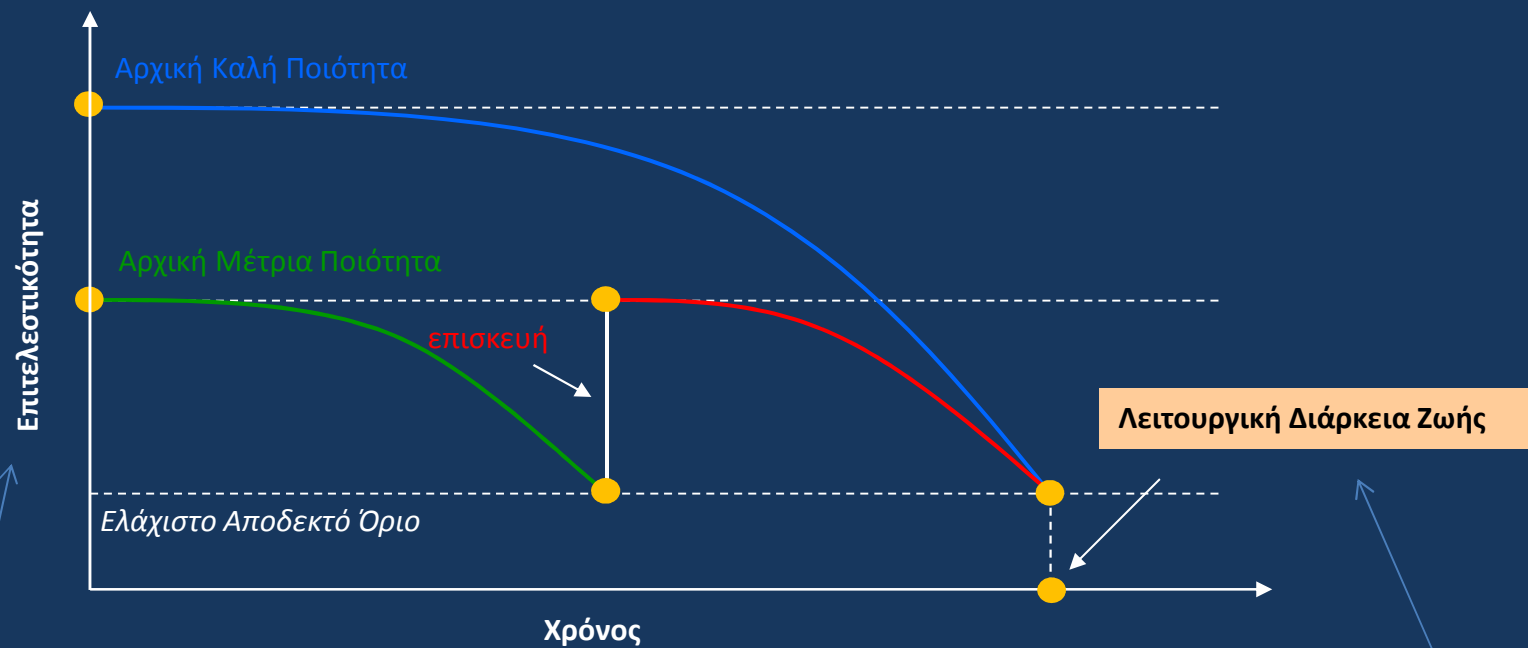
required technical performance (απαιτούμενη τεχνική απόδοση)

service life (διάρκεια ζωής)

Serviceability (επιτελεστικότητα)

Ανθεκτικότητα: Ικανότητα κατασκευής να αντιστέκεται σε περιβαλλοντικές επιδράσεις χωρίς η επιτελεστικότητά της να υποχωρεί κάτω από ένα ελάχιστο αποδεκτό όριο.

Ανθεκτικότητα είναι μία ιδιότητα που “δημιουργείται” βασισμένη σε σωστό σχεδιασμό και επιλογή υλικών αλλά και στην σωστή κατασκευή



ικανότητα κατασκευής να επιτελεί τον σκοπό της με (ασφάλεια, λειτουργικότητα, εμφάνισή)

περίοδος χρόνου μέσα στην οποία η επιτελεσιτικότητα της κατασκευής διατηρείται σε αποδεκτό, σύμφωνα με προδιαγραφές επίπεδο, ακολουθώντας κανονικό πρόγραμμα συντήρησης



Γέφυρα Lazerrato Creek, USA



Γέφυρα Riceboro Creek, USA



Γέφυρα Deep Creek, USA



Γέφυρα Back River, USA



Χαρτοποιία Λαδόπουλου, Πάτρα, 2005

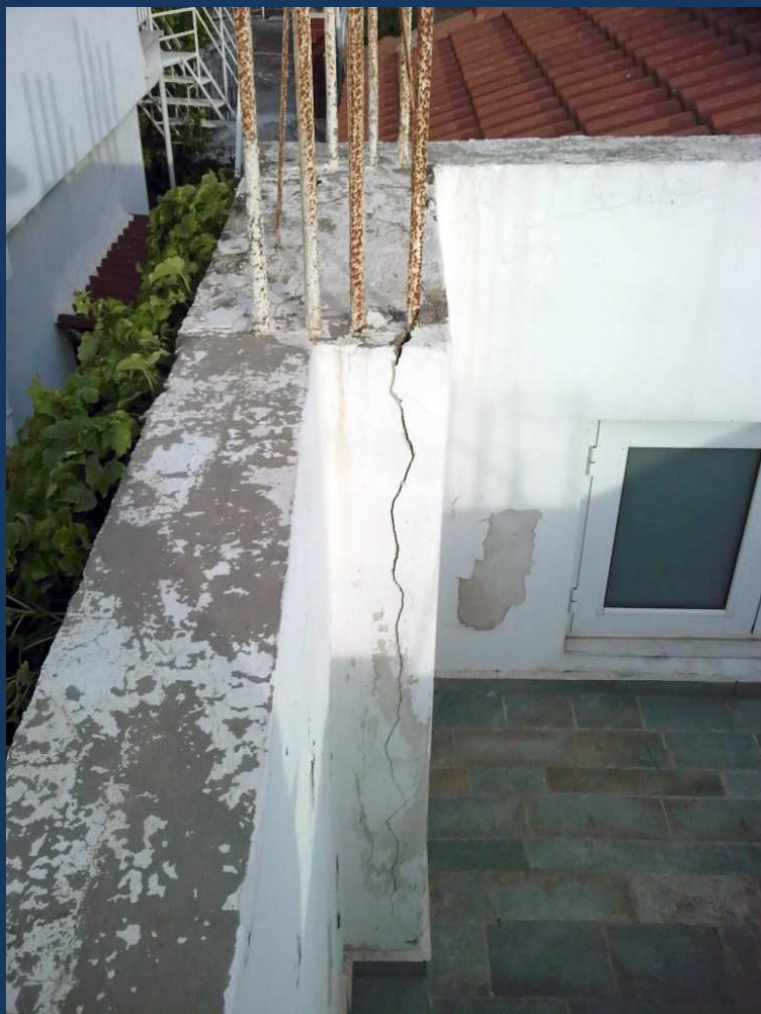


Γενικό Νοσοκομείο Ληξουρίου, 2004





(EBO, Αίγιο, 26 ετών -2004)



Ηλικία 20 ετών !!!

Μηχανικές Καταπονήσεις

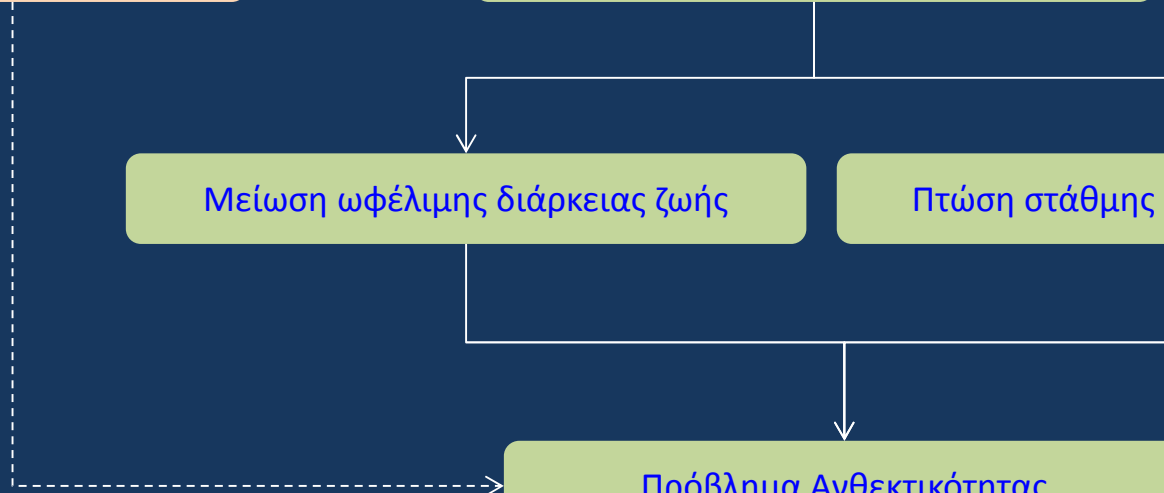
Περιβαλλοντικές Δράσεις

“Φθορά”

Μείωση ωφέλιμης διάρκειας ζωής

Πτώση στάθμης επιτελεστικότητας

Πρόβλημα Ανθεκτικότητας



Πως «προσδίδουμε» Ανθεκτικότητα σε ένα μέλος ΟΣ ή σε μία κατασκευή?

Κατανόηση Μηχανισμών Φθοράς

Το Α και το Ω !!
Να ξέρουμε τι αντιμετωπίζουμε

Σωστή Επιλογή Δομικών Υλικών

Είναι διαθέσιμα

Τήρηση Κανονισμών

Νόμος αλλά και εργαλείο

Σωστή Κατασκευή και συντήρηση

Εξυπακούεται μεν, αλλά ..

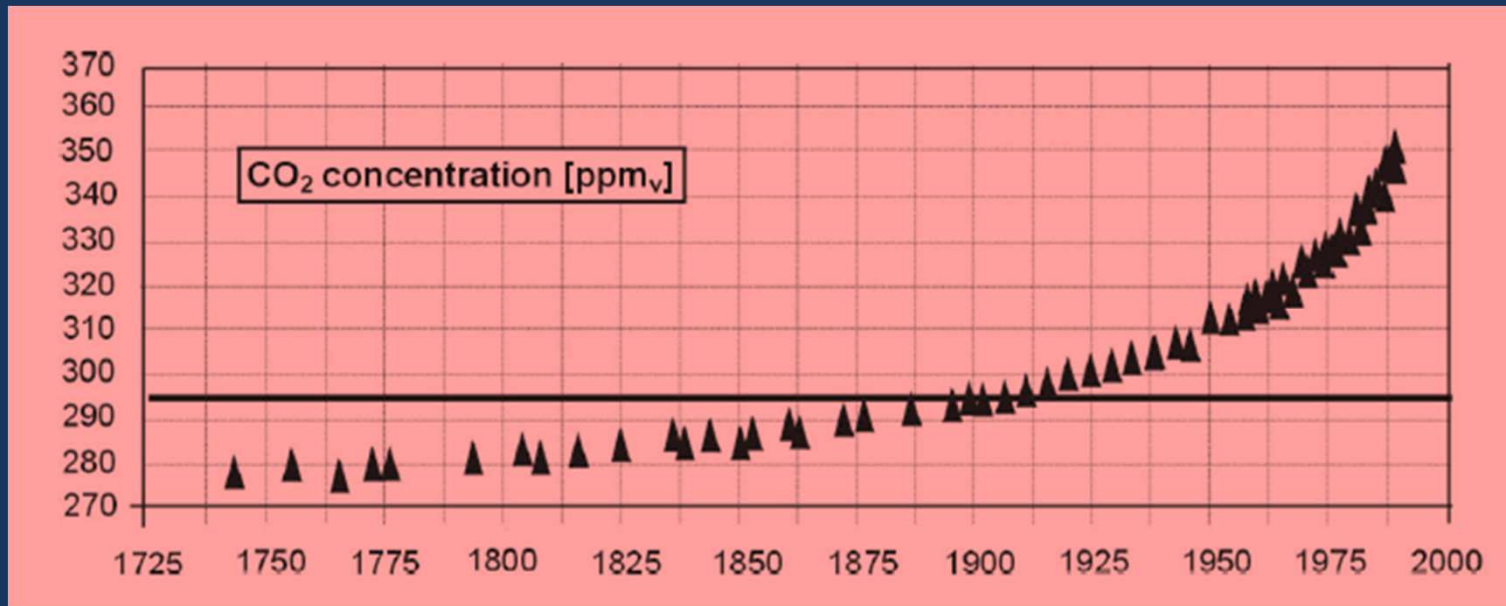
Μηχανισμοί Φθοράς

Διοξείδιο του άνθρακα

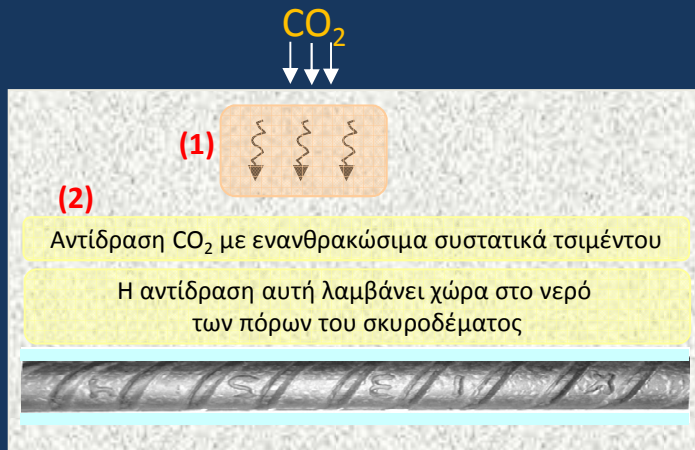


Χλωρίοντα



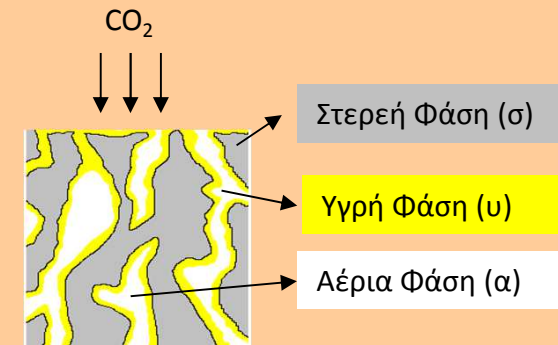
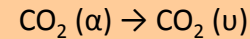


Αύξηση CO₂ στην ατμόσφαιρα
(fib bulletin 34, Model code for service life design)



(1) Διείσδυση CO_2 από ατμόσφαιρα και διάχυση στους πόρους σκυροδέματος

Το CO_2 (α) από αέρια φάση πόρων διαλύεται στο νερό των πόρων

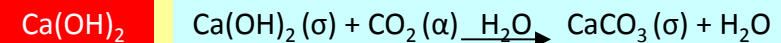


Προστατευτικό Στρώμα Οξειδίου του Σιδήρου ($2\text{Fe} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$)
 Εμπόδιο στον σχηματισμό της ανοδικής αντίδρασης διάλυσης ιόντων Fe^{2+}

- (3)
- Πτώση pH,
 - Απο παθητικοποίηση οπλισμού,

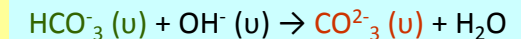
Έναρξη διαδικασίας διάβρωσης

(2) Συνολική αντίδραση στερεής φάσης $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και αέριας φάσης CO_2

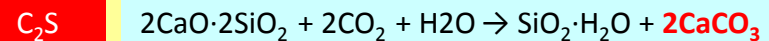
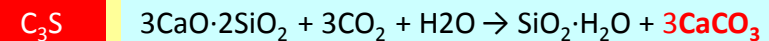
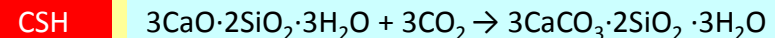


Διάλυση $\text{Ca}(\text{OH})_2$ στο νερό των πόρων (α): $\text{Ca}(\text{OH})_2 (\sigma) \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} (\text{aq}) + 2\text{OH}^- (\upsilon)$

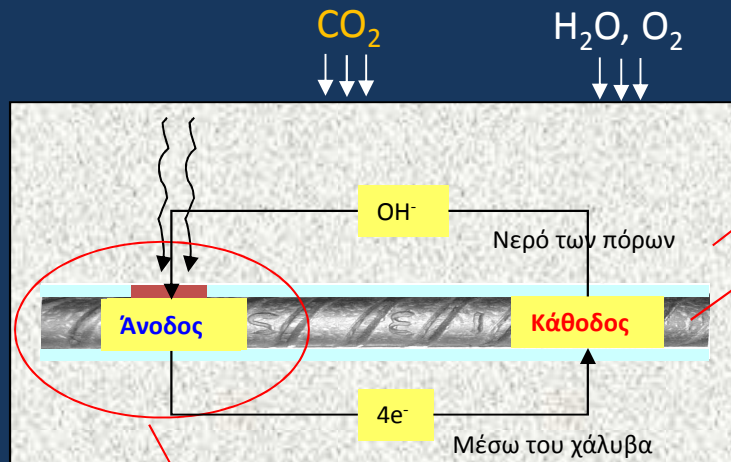
Αντίδραση του CO_2 (α) με ιόντα OH^- (α): $\text{CO}_2 (\upsilon) + \text{OH}^- (\upsilon) \rightarrow \text{HCO}_3^- (\upsilon)$



Σχηματισμός στερεού CaCO_3 : $\text{Ca}^{2+} (\upsilon) + \text{CO}_3^{2-} (\upsilon) \rightarrow \text{CaCO}_3 (\sigma)$

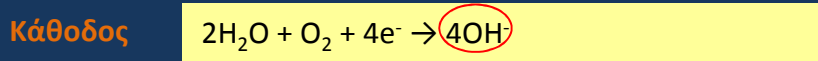
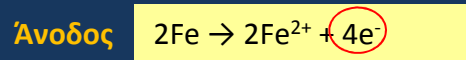
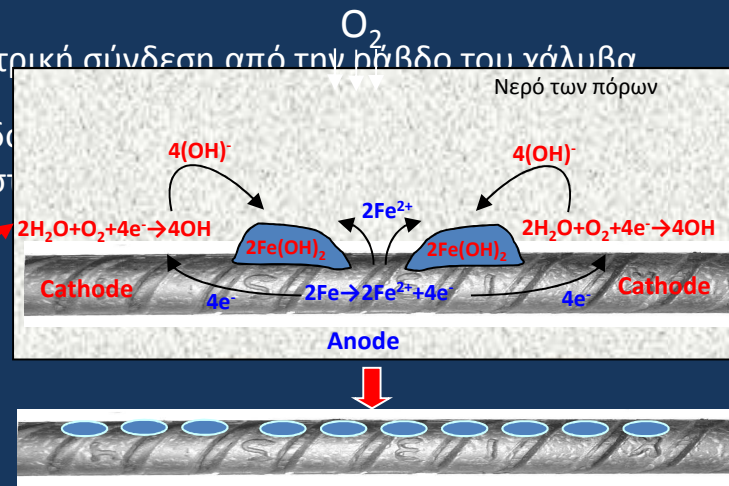


- Διάβρωση προϋποθέτει συνύπαρξη παραγόντων: απώλεια παθητικότητας χάλυβα, παρουσία οξυγόνου και επαρκούς υγρασίας στο περιβάλλον σκυρόδεμα
- Σύνθετο χημικό, ηλεκτροχημικό φαινόμενο (περιλαμβάνει αντιδράσεις μεταφοράς ιόντων, ηλεκτρονίων)
- Προϋποθέσεις: Άνοδος, κάθοδος, ηλεκτρική και ηλεκτρολυτική σύνδεση

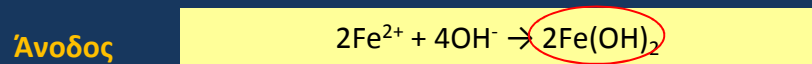


Δημιουργία πολλών ανοδικών περιοχών κατά μήκος της ράβδου (ομοιόμορφη διάβρωση)

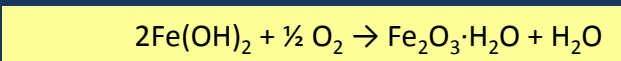
Το νερό τ
Ηλεκτρική σύνδεση από την ράβδο του γάλιβα
Άνοδος προσ

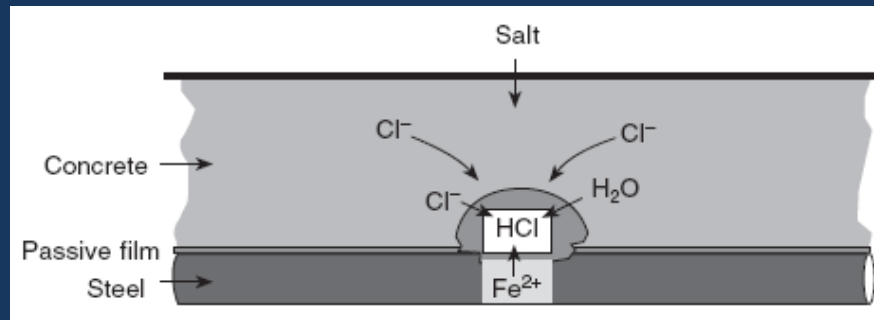
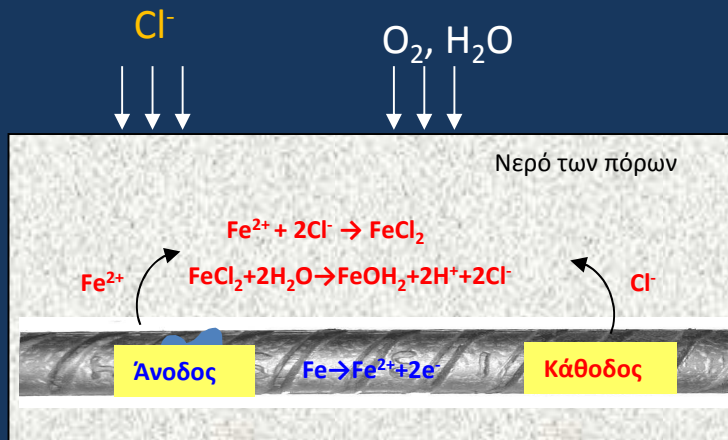


Νερό των πόρων



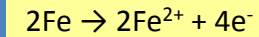
Παρουσία O_2



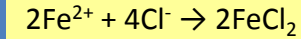


Άνοδο

Διάλυση του σιδήρου:

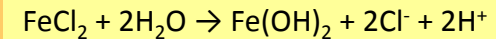


Απορρόφηση Cl⁻

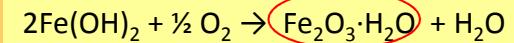


Κάθοδο

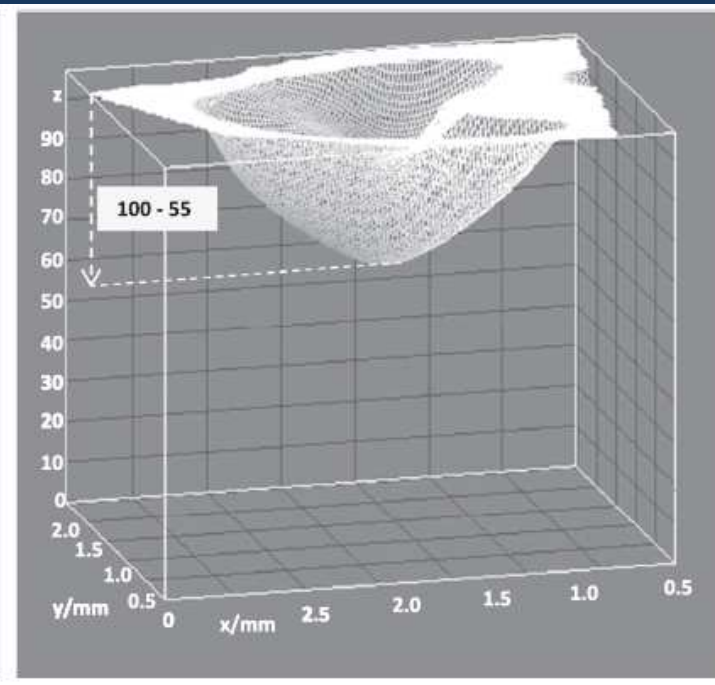
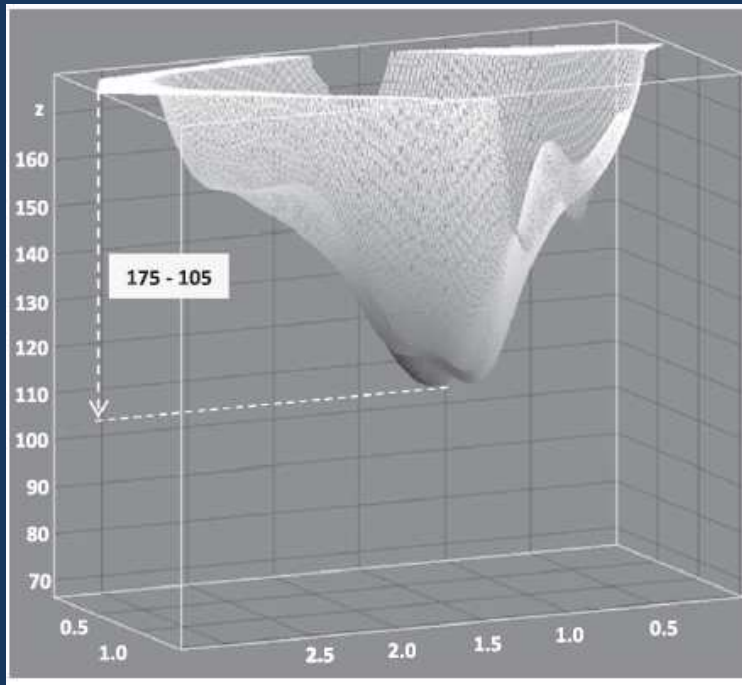
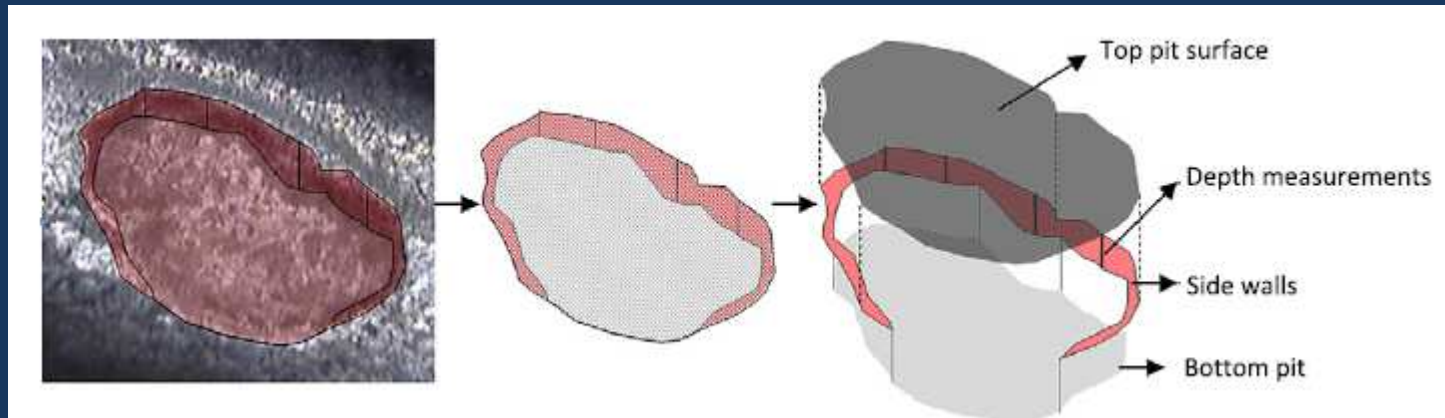
Οξειδωση:



Παρουσία O₂

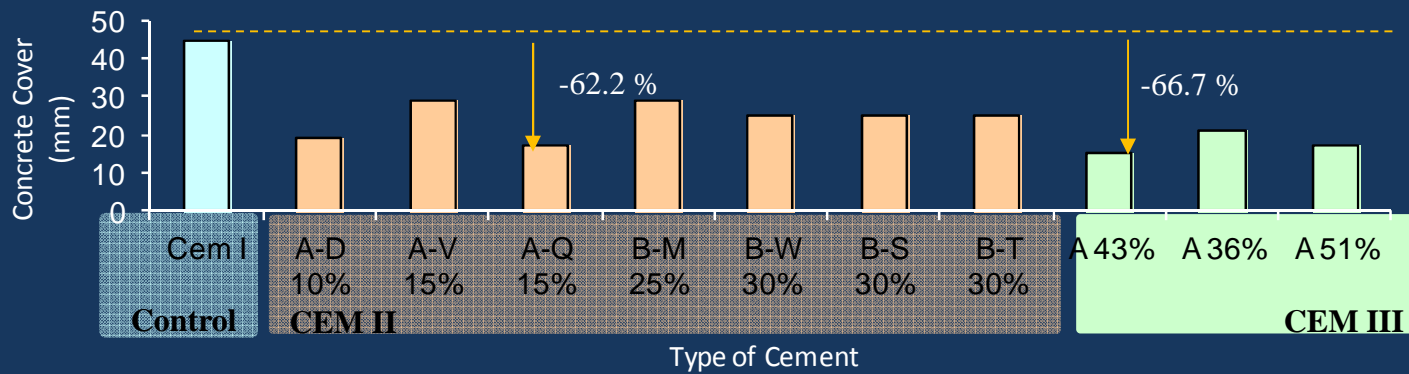
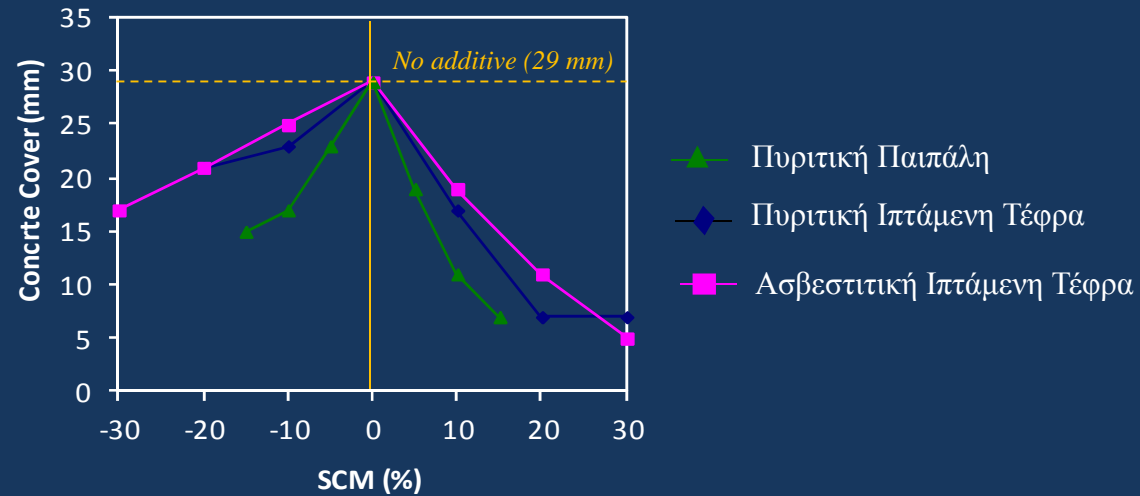


- Τοπική διάτρηση στρώματος οξειδίων από ιόντα χλωρίου όταν συγκέντρωσή τους ξεπεράσει κρίσιμη τιμή (0,5 % κ.β. τσιμέντου).
- Επιφάνεια του καθαρού χάλυβα απορροφά Cl⁻ (σχηματίζεται FeCl₂) (ανοδική αντίδραση).
- Με την παρουσία του νερού, υδρόλυση των προϊόντων της διάβρωσης (καθοδική αντίδραση).
- Δεσμευμένα χλωριόντα από τα προϊόντα διάβρωσης επιστρέφουν πάλι στο διάλυμα των πόρων του σκυροδέματος με ταυτόχρονη τοπική οξίνιση του διαλύματος (αυτοαναλυόμενη αντίδραση).



Apostolopoulos, Demis and Papadakis (2013) Chloride-induced corrosion of steel reinforcement – Mechanical performance and pit depth analysis, *Construction and Building Materials*, 38 : 139–146

Σωστή Επιλογή Υλικών



Τσιμέντο Portland με πυριτική παιπάλη (CEM II – D)
 Τσιμέντο Portland με πυριτική ιπτάμενη τέφρα (CEM II – V)
 Τσιμέντο Portland με ασβεστίκη ιπτάμενη τέφρα (CEM II – W)

Τσιμέντο Portland με σκωρία υψικαμίνων (CEM II – S)
 Τσιμέντο Portland με ποζολάνη (CEM II – Q)
 Σκωριοσιμέντο (CEM III)

Table 3.3.2: Admixtures - according to EN 934-2:

Water reducing admixture

Admixture which permits a reduction in the water content of a given mix without affecting the consistence, or which increases the slump/flow without affecting the water content; or produces both effects simultaneously.

Superplasticizer (high range water reducing admixture)

Admixture which permits a high reduction in the water content of a given mix without affecting the consistence, or which increases the slump/flow considerably without affecting the water content; or produces both effects simultaneously.

Retarder/water reducing admixture

Combines effects of a water reducing admixture (primary effect) and a retarder (secondary effect).

Retarder/superplasticizer

Combines effects of a superplasticizer (primary effect) and a retarder (secondary effect).

Set accelerator/water reducing admixture

Combines effects of a water reducing admixture (primary effect) and a set accelerating admixture (secondary effect).

Table 3.3.3: Admixtures according to EN 934-2:

Viscosity modifying agent (stabilizer/water retaining admixture)

Reduces the loss of mixing water by reduction of bleeding of the fresh concrete.

Air-entraining agent

Provides evenly distributed air voids system by introducing a specific quantity of small air bubbles during the mixing process which remain in the concrete after it hardens.

Set accelerator

Reduces the time to initial set, with an increase in initial strength.

Hardening accelerator

Accelerates the early strength development of the concrete, with or without affecting the setting time and plastic properties of freshly mixed concrete.

Retarder

Extends the time to initial set, with an extended workability time and retardation of early strength development.

Water resisting admixture

Reduces the capillary water absorption of hardened concrete.

Table 3.3.4: Additional concrete admixtures not defined in European regulations:

Shrinkage reducing admixtures

Reduces early age drying shrinkage of the concrete in order to prevent drying shrinkage cracks.

Pumping aid

Admixture to improve the stability of the fresh concrete and easy pumping of concrete especially with application of difficult aggregates and unfavourable grading curves.

Corrosion inhibiting admixtures

Admixture producing a protective layer on the steel reinforcement in reinforced concrete. As a result start of corrosion is delayed and corrosion speed is decreased leading to extended durability.

Surface improving admixtures

Blowhole reducing admixture that significantly reduces the overall air void content in the fresh concrete- for production of high quality fair-faced concrete.

Admixtures to control alkali-silica reaction

Admixture allowing for control of alkali-silica reaction (ASR) in high-alkali concrete. Application minimizes deleterious expansions in concrete due to ASR and increases durability and life span of the concrete structure.

Τήρηση Κανονισμών

Ο Κώδικας Νόμων του HAMMURABI (π.χ. 2285-2242)

Συνέπειες
Αστοχίας

229 If a builder build a house for some one, and does **not construct it properly**, and the house which he built **collapses** and kill its owner, then that builder shall be put to death.

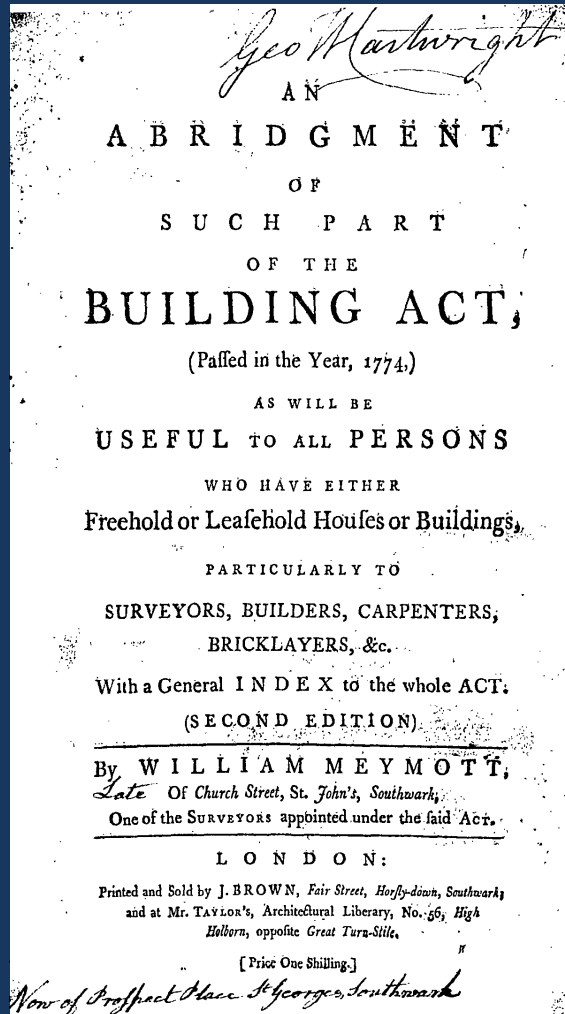
Επισκευή
&
Ενίσχυση

232. If it ruin goods, he shall make compensation for all that has been ruined, and inasmuch **as he did not construct properly** this house which he built and it fell, **he shall re-erect** the house from his own means.

233. If a builder build a house for some one, even though he has not yet completed it; **if then the walls seem toppling, the builder must make the walls solid** from his own means.



Charles II, 1666: An Act for rebuilding the City of London



V. Buildings to be of Brick.

Archwork to sustain the Burden of the Fabricken.

And in regard the **building with Brick** is not only **more durable** but also more safe against future perils of Fire Be it further enacted by and with the Authorities aforesaid That all the outsides of all Buildings in and about the said City be henceforth made of Brick or Stone or of Brick and Stone together except Door cases and Window Frames the Brest Summers and other parts of the first Story to the Front, between the Peers which are to be left to the discretion of the Builder to use substantial Oaken Timber instead of Brick or Stone for convenience of Shops, And that the said Doors Brest Summers and Window frames be sufficiently discharged of the burthen of the Fabric by Archworke of Brick or Stone either straight or circular

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ

Εν Ἀθήναις τῆ 7 Νοεμβρίου 1928

ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟΝ

Ἀριθμὸς φύλλου 234

Συστάσεις
περικτικότητας
τσιμέντου

Ἡ τοιχοποιία ἐκ φυσικῶν ἢ τεχνητῶν λίθων θὰ κατασκευάζεται δι' ὑδραυλικῆς κονίας ἢ μικτῆς ἀσβεστοκονίας περιεχομένης τοῦλάχιστον 100 χιλ. τσιμέντου κατὰ μ. κυβ. κονιάματος. Ἡ ἄμμος ἔσται καθαρὰ ἐκ κόκκων μικτοῦ μεγέθους, ἐν δὲ τῇ αἰτήσει πρὸς ἐκδοσιν ἀδείας οἰκοδομῆς θὰ ὀρίζηται ἡ θέσις λήψεως αὐτῆς, προσαγομένου συγχρόνως δείγματος τῆς χρησιμοποιησομένης ἄμμου.

Ἄρθρον 9.

Κατὰ τὴν κατασκευὴν κτιρίων μὲ ἀνομοιογενεῖς στατικούς ὀργανισμούς, δεόν νὰ τηρῶνται οἱ κάτωθι γενικοὶ κανόνες.

Κανὼν πρῶτος. Ἀπαντὰ τὰ χρησιμοποιούμενα ὑλικά θὰ εἶναι ἀρίστης ποιότητος, ἡ δὲ ἐργασία ἔσται ἐξαιρετικῶς ἐπιμεμητημένη, τηρουμένων πάντων τῶν κανόνων τῆς τέχνης.

ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ

ΤΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

Ἐν Ἀθήναις
τῆ 26 Ἰουλίου 1954

ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟΝ

Ἀριθμὸς φύλλου 160

Ἄρθρον 24.

Περιεκτικότης εἰς τσιμέντο.

1. Κατὰ τὸν καθορισμὸν τῶν ἀναλογιῶν, ἡ ποσότης τοῦ τσιμέντου ὀρίζεται εἰς χιλιόγραμμα ἀνὰ κυβικὸν μέτρον ἐτοίμου σκυροδέματος. Ἡ ἐλάχιστη ἐπιτρεπομένη περιεκτικότης τούτου εἰς τσιμέντο καθορίζεται εἰς 300 χιλιόγραμμα. Εἰς τὰς περιπτώσεις καθ' ἃς κατὰ τὴν διάστρωσιν τοῦ σκυροδέματος γίνεται χρῆσις δονητῶν, ἐπιτρέπεται ὑποβίβασις τῆς ἀνωτέρω περιεκτικότητος εἰς 270 χιλιόγραμμα ἀνὰ κυβ. μέτρον ἐτοίμου σκυροδέματος.

2. Εἰς ἔργα ἐκτεθειμένα εἰς δυσμενεῖς ἐπιδράσεις ὑγρασίας, ὀξέων καὶ καπνῶν δύναται νὰ ἀπαιτηθῇ ὑπὸ τῆς Ὑπηρεσίας Κρατικοῦ Ἐλέγχου ἐπαύξεις τῆς εἰς τσιμέντο περιεκτικότητος. Τούναντιον εἰς σώματα ὀπλισμένου σκυροδέματος μεγάλων διαστάσεων, ὑποκείμενα εἰς τάσεις σημαντικῶς μικροτέρας τῶν διὰ τῶν παρόντων κανονισμῶν ἐπιτρεπομένων δύναται νὰ ἐπιτραπῇ ἀνάλογος ἐλάττωσις τῆς περιεκτικότητος καὶ μέχρι 240 Kg/m^3 .

3. Διὰ τὴν περίπτωσιν κατασκευῶν ἐν θαλασσίῳ ὕδατι, βλπ. κεφάλαιον Γ.ΙV τῶν παρόντων κανονισμῶν («κανόνες κατασκευῆς ἔργων σκυροδέματος ἐν τῷ θαλασσίῳ ὕδατι»)

Συστάσεις
περιεκτικότητας
τσιμέντου

Μέτρα για
επιθετικά
περιβάλλοντα

ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ

ΤΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

Ἐν Ἀθήναις
τῆ 26 Ἰουλίου 1954

ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟΝ

Ἀριθμὸς φύλλου 160

Ἄρθρον 42.

Προστασία ἀπὸ χημικῶν ἐπιρροῶν.

1. Πάντα τὰ ἔργα ἢ τμήματα τούτων τὰ ἐκτεθειμένα εἰς ἐπιβλαβῆ χημικὴν ἐνέργειαν ὀξέων, ὀξίνων ἀτμῶν, θειούχων ἀτμῶν, θεικῶν ἢ θειούχων ἀλάτων, δεόν νὰ προστατεύωνται δι' εἰδικῶν προφυλακτικῶν μέτρων. Ἰδιαιτέρως ἐπικίνδυνα εἶναι τὸ ὕδροχλωρικόν, τὸ νιτρικόν καὶ τὸ θεικὸν ὀξύ.

2. Ὡς γενικὰ προφυλακτικὰ μέτρα συνιστῶνται ἐφαρμογὴ σκυροδέματος ἐξαιρετικῶς πυκνοῦ καὶ στεγανοῦ, αὐξήσις τοῦ πάχους τῆς διὰ σκυροδέματος ἐπικαλύψεως τῶν ὀπλισμῶν εἰς 4cm τοῦλάχιστον ἔτι δὲ καὶ ἐπίχρισις τῆς κατασκευῆς δι' ἐξαιρετικῶς ἐπιμελημένης τσιμεντοκονίας.

Τὸ πάχος τῆς τσιμεντοκονίας ταύτης δὲν συνυπολογίζεται εἰς τὰ ἀνωτέρω 4cm. Περαιτέρω συνιστῶνται εἰδικαί δι' ἐκάστην περίπτωσιν βαφαί, ἐπενδύσεις κλπ. Δι' ἔργα ἐν θαλασσίῳ ὕδατι ἰσχύουν τὰ ἐν τῷ σχετικῷ κεφαλίῳ «Κανόνες κατασκευῆς ἔργων σκυροδέματος ἐν θαλασσίῳ ὕδατι».

Μέτρα για δράση
χημικῶν

ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ

ΤΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

Ἐν Ἀθήναις
τῆ 26 Ἰουλίου 1954

ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟΝ

Ἀριθμὸς φύλλου 160

Ἄρθρον 63

Εἰδικαὶ ὁδηγίαι διὰ τὴν ἐφαρμογὴν σκυροδέματος ἐν θαλασσίῳ ὕδατι.

1. Κατὰ τὴν κατασκευὴν ἔργων ἐκ σκυροδέματος ἐν θαλασσίῳ ὕδατι καὶ κατὰ τὴν τοποθέτησιν ἐτοιμῶν τεμαχίων ἐκ σκυροδέματος ἐντὸς τῆς θαλάσσης (ὀγκόλιθοι, πάσσαλοι κ.τ.τ.) δεόν πρὸ παντὸς νὰ καταβάλλεται προσοχὴ ἵνα τὸ σκυροδέμα, ἰδίως δὲ κατὰ τὰς ἐξωτερικὰς ἐπιφανείας, κατασκευάζεται ὅσον εἶναι δυνατόν πυκνότερον. Δέον ὅθεν νὰ χρησιμοποιοῦνται *παχεῖαι ἀναλογίαι μίξεως με οὐχὶ πολὺ μικρὰν, ἀλλ' οὐδὲ πολὺ μεγάλην δόσιν ὕδατος, (¹) κατάλληλα τσιμέντα (²) (τετηκότα πλήρως ἢ μέχρις ἐπιπολῆς) καὶ ἀδρανῆ ὑλικά με καλῶς διεβαθμισμένα μεγέθη κόκκων ἐν ὀρθῇ συνθέσει, ὥστε τὸ σκυροδέμα νὰ ἔχη ὅσον τὸ δυνατόν ὀλιγωτέρους πόρους.*

Πρὸς παρασκευὴν τοῦ σκυροδέματος δύναται ἄνευ δισταγμοῦ νὰ χρησιμοποιηθῇ θαλάσσιον ὕδωρ (³).

Συστάσεις
σύνθεσης
σκυροδέματος

EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

EN 1992-1-1

December 2004

ICS 91.010.30, 91.080.40

Supersedes ENV 1992-1-1:1991, ENV 1992-1-3:1994,
ENV 1992-1-4:1994, ENV 1992-1-5:1994, ENV 1992-1-
6:1994, ENV 1992-3:1998

English version

Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings

Eurocode 2: Calcul des structures en béton - Partie 1-1: Règles générales et règles pour les bâtiments

Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

This European Standard was approved by CEN on 16 April 2004.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the Central Secretariat or to any CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the Central Secretariat has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.



EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

Management Centre: rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels

© 2004 CEN All rights of exploitation in any form and by any means reserved worldwide for CEN national Members.

Ref. No. EN 1992-1-1:2004 E

EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

EN 197-1

June 2000

+ A1 + A3

April 2004 July 2007

ICS 91.100.10

English version

Cement – Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements

Zement – Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement

Ciment – Partie 1: Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants

This European Standard was approved by CEN on 21 May 2000.

This amendment A1 modifies the European Standard EN 197-1:2000; it was approved by CEN on 16 January 2004.

This amendment A3 modifies the European Standard EN 197-1:2000; it was approved by CEN on 26 May 2007.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the Management Centre or to any CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the Management Centre has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Bulgaria, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.



EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels

© 2007 CEN All rights of exploitation in any form and by any means reserved worldwide for CEN national Members.

Ref. No. EN 197-1:2000 + A1:2004 + A3:2007 E

EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

EN 206-1

December 2000

ICS 91.100.30

Supersedes ENV 206:1990

English version

Concrete — Part 1: Specification, performance, production and conformity

Beton — Partie 1: Spécification, performances, production et conformité

Beton — Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität

This European Standard was approved by CEN on 12 May 2000.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the Management Centre or to any CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the Management Centre has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.



EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

Management Centre: rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels

© 2000 CEN All rights of exploitation in any form and by any means reserved worldwide for CEN national Members.

Ref. No. EN 206-1:2000 E

Το Πρότυπο EN197 για το Τσιμέντο

- Συμμόρφωση όλων των τύπων τσιμέντου (σύνθεση, προδιαγραφές)
- Κατηγοριοποίηση τσιμέντου σε 5 κύριους τύπους (CEM I Τσιμέντο Portland, CEM II Τσιμέντο Portland με άλλα κύρια συστατικά, CEM III Σκωριοτσιμέντο, CEM IV Ποζολανικό Τσιμέντο, CEM V Σύνθετο Τσιμέντο)

Τύπος Τσιμέντου			Κύρια Συστατικά									Δευτερεύοντα Συστατικά	
			K	S	D	P	Q	V	W	T	L/LL		
CEM I	Τσιμέντο Portland	I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Τσιμέντο Portland με σκωρία υφικαμίνων	II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Τσιμέντο Portland με πυριτική παιπάλη	II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Τσιμέντο Portland με ποζολάνη	II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
		II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
	Τσιμέντο Portland με ιπτάμενη τέφρα	II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
		II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
	Τσιμέντο Portland με ψημένο σχιστόλιθο	II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
		II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
	Τσιμέντο Portland με ασβεστόλιθο	II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
II/B-L		65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5	
Τσιμέντο Portland σύνθετο	II/A-M	80-94	6-20									0-5	
	II/B-M	65-79	21-35									0-5	
CEM III	Σκωριοτσιμέντο	III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Ποζολανικό Τσιμέντο	IV/A	65-89	-	11-35					-	-	0-5	
		IV/B	45-64	-	36-55					-	-	0-5	

Το Πρότυπο EN206 για το Σκυρόδεμα

- Ταξινόμηση περιβαλλοντικών επιδράσεων σε τάξεις έκθεσης
- Κύριες δράσεις φθοράς: διάβρωση του σπλισμού (ενανθράκωση, επίδραση Cl⁻), δράση παγετού, χημική προσβολή.
- Προδιαγράφονται απαιτήσεις για: συστατικά υλικά του σκυροδέματος, ιδιότητες σκυροδέματος, κριτήρια συμμόρφωσης, περιορισμοί σύνθεσης σκυροδέματος

		Μέγιστος λόγος w/c	Ελάχιστη Κατηγορία Αντοχής	Ελάχιστη περιεκτικότητα σε τσιμέντο (kg/m ³)	Ελάχιστη περιεκτικότητα σε αέρα (%)	Άλλες Απαιτήσεις	
Κ Α Τ Η Γ Ο Ρ Ϊ Ε Σ Έ Κ Θ Ε Σ Η Σ	Χωρίς διάβρωση ή προσβολή	X0	-	C 12/15	-	-	
	Διάβρωση που προκαλείται μέσω ενανθράκωσης	XC1	0,65	C 20/25	260	-	-
		XC2	0,60	C 25/30	280	-	
		XC3	0,55	C 30/37	280	-	
		XC4	0,50	C 30/37	300	-	
	Διάβρωση που προκαλείται μέσω Cl ⁻ θαλάσσιου νερού	XS1	0,50	C 30/37	300	-	-
		XS2	0,45	C 35/45	320	-	
		XS3	0,45	C 35/45	340	-	
	Διάβρωση που προκαλείται μέσω Cl ⁻ εκτός θαλάσσιου νερού	XD1	0,55	C 30/37	300	-	-
		XD2	0,55	C 30/37	300	-	
		XD3	0,45	C 35/45	320	-	
	Δράση Παγετού	XF1	0,55	C 30/37	300	-	Αδρανή σε συμμόρφωση με prEN 12620 με επαρκή αντίσταση σε κύκλο πήξης/τήξης
		XF2	0,55	C 25/30	300	4.0	
		XF3	0,50	C 30/37	320	4.0	
		XF4	0,45	C 30/37	340	4.0	
	Χημικώς Δραστικό Περιβάλλον	XA1	0,55	C 30/37	300	-	-
XA2		0,50	C 30/37	320	-		
XA3		0,45	C 35/45	360	-		
						Τσιμέντο ανθεκτικό στα θειικά	

EN 1990:2002 - Basic requirements

- A structure shall be designed and executed in such a way that it will, during its intended life, with appropriate degrees of reliability and in an economical way - sustain all actions and influences likely to occur during execution and use, and
- meet the specified serviceability requirements for a structure or a structural element.
- A structure shall be designed to have adequate: - structural resistance, serviceability, and durability.

design working life (Τεχνική Διάρκεια Ζωής)

Assumed period for which a structure or part of it is to be used for its intended purpose with anticipated maintenance but without major repair being necessary

Table 2.1 - Indicative design working life

Design working life category	Indicative design working life (years)	Examples
1	10	Temporary structures ⁽¹⁾
2	10 to 25	Replaceable structural parts, e.g. gantry girders, bearings
3	15 to 30	Agricultural and similar structures
4	50	Building structures and other common structures
5	100	Monumental building structures, bridges, and other civil engineering structures

(1) Structures or parts of structures that can be dismantled with a view to being re-used should not be considered as temporary.

Υπολογισμός Επικάλυψης Σκυροδέματος

- Κατηγοριοποίηση Κατασκευών
- Υπολογισμός Ελάχιστης Επικάλυψης βάση περιβαλλοντικών συνθηκών

4.4.1 Concrete cover

4.4.1.1 General

(1)P The concrete cover is the distance between the surface of the reinforcement closest to the nearest concrete surface (including links and stirrups and surface reinforcement where relevant) and the nearest concrete surface.

(2)P The nominal cover shall be specified on the drawings. It is defined as a minimum cover, c_{min} (see 4.4.1.2), plus an allowance in design for deviation, ΔC_{dev} (see 4.4.1.3):

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta C_{dev} \quad (4.1)$$

4.4.1.2 Minimum cover, c_{min}

(1)P Minimum concrete cover, c_{min} , shall be provided in order to ensure:

- the safe transmission of bond forces (see also Sections 7 and 8)
- the protection of the steel against corrosion (durability)
- an adequate fire resistance (see EN 1992-1-2)

(2)P The greater value for c_{min} satisfying the requirements for both bond and environmental conditions shall be used.

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta C_{dur,\gamma} - \Delta C_{dur,st} - \Delta C_{dur,add}; 10 \text{ mm} \} \quad (4.2)$$

where:

- $c_{min,b}$ minimum cover due to bond requirement, see 4.4.1.2 (3)
- $c_{min,dur}$ minimum cover due to environmental conditions, see 4.4.1.2 (5)
- $\Delta C_{dur,\gamma}$ additive safety element, see 4.4.1.2 (6)
- $\Delta C_{dur,st}$ reduction of minimum cover for use of stainless steel, see 4.4.1.2 (7)
- $\Delta C_{dur,add}$ reduction of minimum cover for use of additional protection, see 4.4.1.2 (8)

Table 4.3N: Recommended structural classification

Structural Class	Exposure Class according to Table 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3 / XS2 / XS3
Design Working Life of 100 years	increase class by 2	increase class by 2	increase class by 2	increase class by 2	increase class by 2	increase class by 2	increase class by 2
Strength Class ¹⁾²⁾	≥ C30/37 reduce class by 1	≥ C30/37 reduce class by 1	≥ C35/45 reduce class by 1	≥ C40/50 reduce class by 1	≥ C40/50 reduce class by 1	≥ C40/50 reduce class by 1	≥ C45/55 reduce class by 1
Member with slab geometry (position of reinforcement not affected by construction process)	reduce class by 1	reduce class by 1	reduce class by 1	reduce class by 1	reduce class by 1	reduce class by 1	reduce class by 1
Special Quality Control of the concrete production ensured	reduce class by 1	reduce class by 1	reduce class by 1	reduce class by 1	reduce class by 1	reduce class by 1	reduce class by 1

EN 1992-1-1:2004 (E)

Table 4.4N: Values of minimum cover, $c_{min,dur}$, requirements with regard to durability for reinforcement steel in accordance with EN 10080.

Structural Class	Environmental Requirement for $c_{min,dur}$ (mm)						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Table 4.5N: Values of minimum cover, $c_{min,dur}$, requirements with regard to durability for prestressing steel

Structural Class	Environmental Requirement for $c_{min,dur}$ (mm)						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	15	20	25	30	35	40
S2	10	15	25	30	35	40	45
S3	10	20	30	35	40	45	50
S4	10	25	35	40	45	50	55
S5	15	30	40	45	50	55	60
S6	20	35	45	50	55	60	65

Σωστή Κατασκευή











Πως «προσδίδουμε» Ανθεκτικότητα σε ένα μέλος ΟΣ ή σε μία κατασκευή?

Κατανόηση Μηχανισμών Φθοράς

Σωστή Επιλογή Δομικών Υλικών
Τήρηση Κανονισμών

Σωστή Κατασκευή και συντήρηση



Αρκεί η απαιτούμενη επικάλυψη ??

Σχεδιασμός Ανθεκτικότητας

Σχεδιασμός Ανθεκτικότητας

Κατανόηση Μηχανισμών Φθοράς

Σωστή Επιλογή Δομικών Υλικών

Χρήση Μαθηματικών μοντέλων
Εκτίμησης διάρκειας Ζωής

Τήρηση Κανονισμών

Σωστή Κατασκευή και συντήρηση

Χρησιμοποίηση μοντέλων εκτίμησης διάρκειας ζωής σκυροδέματος σύμφωνα με σκεπτικό ισχυόντων κανονισμών

Ανθεκτικότητα σκυροδέματος μπορεί να προδιαγραφεί

- Οριακές τιμές σύνθεσης σκυροδέματος
- Απαιτούμενη Επικάλυψη

- Μεθόδους που σχετίζονται με επιτελεστικότητα

- μηχανισμό φθοράς (με ποσοτικό τρόπο)
- λειτουργική (ωφέλιμη) διάρκεια ζωής στοιχείου
- κριτήρια που καθορίζουν το τέλος αυτής της ζωής

??

- Απαιτείται διάρκεια ζωής σημαντικά διαφορετική των 50 ετών
- το περιβάλλον ιδιαίτερα επιθετικό,
- χρησιμοποιούνται νέα ή διαφορετικά συστατικά υλικά σκυροδέματος,
- χρησιμοποιείται μια αναβαθμισμένη μέθοδος προστασίας
- επιχειρείται τεχνοοικονομική αριστοποίηση.

Μαθηματικών μοντέλα Εκτίμησης διάρκειας Ζωής

Μηχανισμούς έναρξης διάβρωσης οπλισμού

Μηχανισμούς χημικής προσβολής
(οξέα, θειικά, αλκάλια, κλπ.)

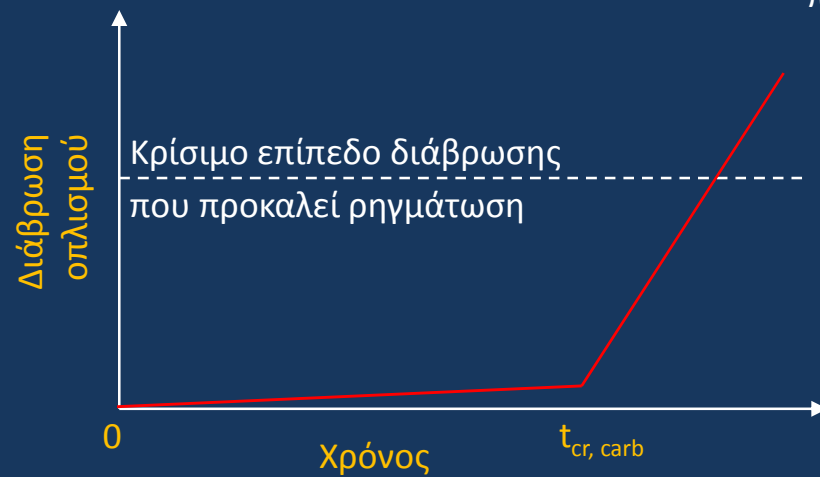
Εμπειρικά

Φυσικο-Χημικά

Στοχαστικά

Εκτίμηση Ωφέλιμης Διάρκειας Ζωής
(χρόνια)
(είτε συνάρτηση του πάχους επικάλυψης)

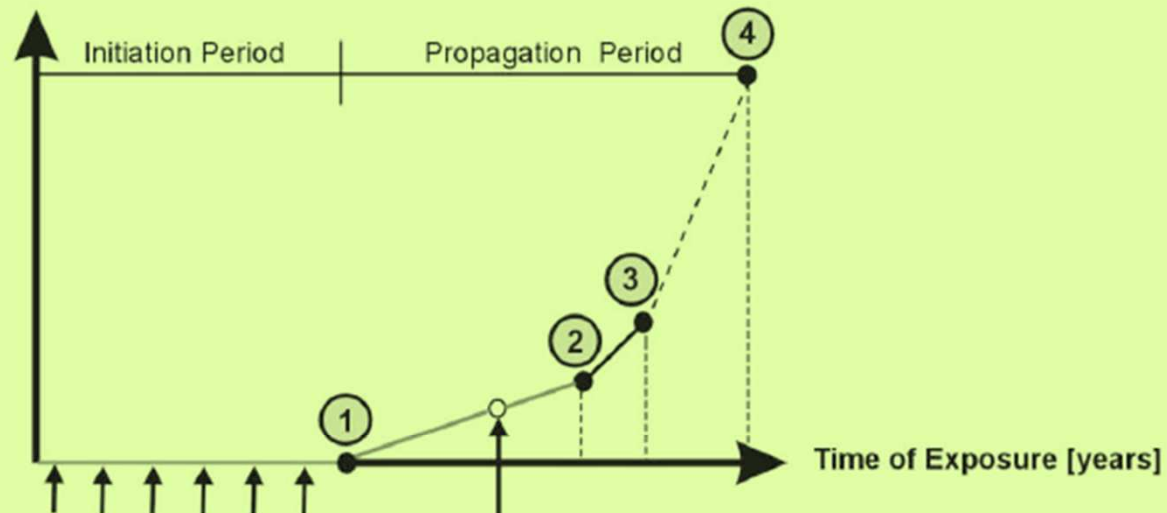
Λειτουργική διάρκεια ζωής: περίοδος χρόνου μέσα στην οποία η επιτελεστικότητα κατασκευής διατηρείται σε αποδεκτό, σύμφωνα με προδιαγραφές επίπεδο, ακολουθώντας κανονικό πρόγραμμα συντήρησης



Χρόνος που απαιτείται ώστε το βάθος ενανθράκωσης να φθάσει ράβδο σπλισμού ή συγκέντρωση χλωριόντων να υπερβεί κρίσιμη τιμή

Χρονική περίοδος που απαιτείται για εξέλιξη συνεπειών διάβρωσης σε μη αποδεκτό βαθμό.

Level of Deterioration



Condition can be comprehended by monitoring

Deterioration recognizable through non-destructive measuring methods

Limit States

- ① Depassivation of the reinforcement Initiation Period
 - ② Formations of cracks
 - ③ Spalling of the concrete cover
 - ④ Collapse of the structure through bond failure or reduction of the cross section of the load bearing reinforcement
- } Propagation Period



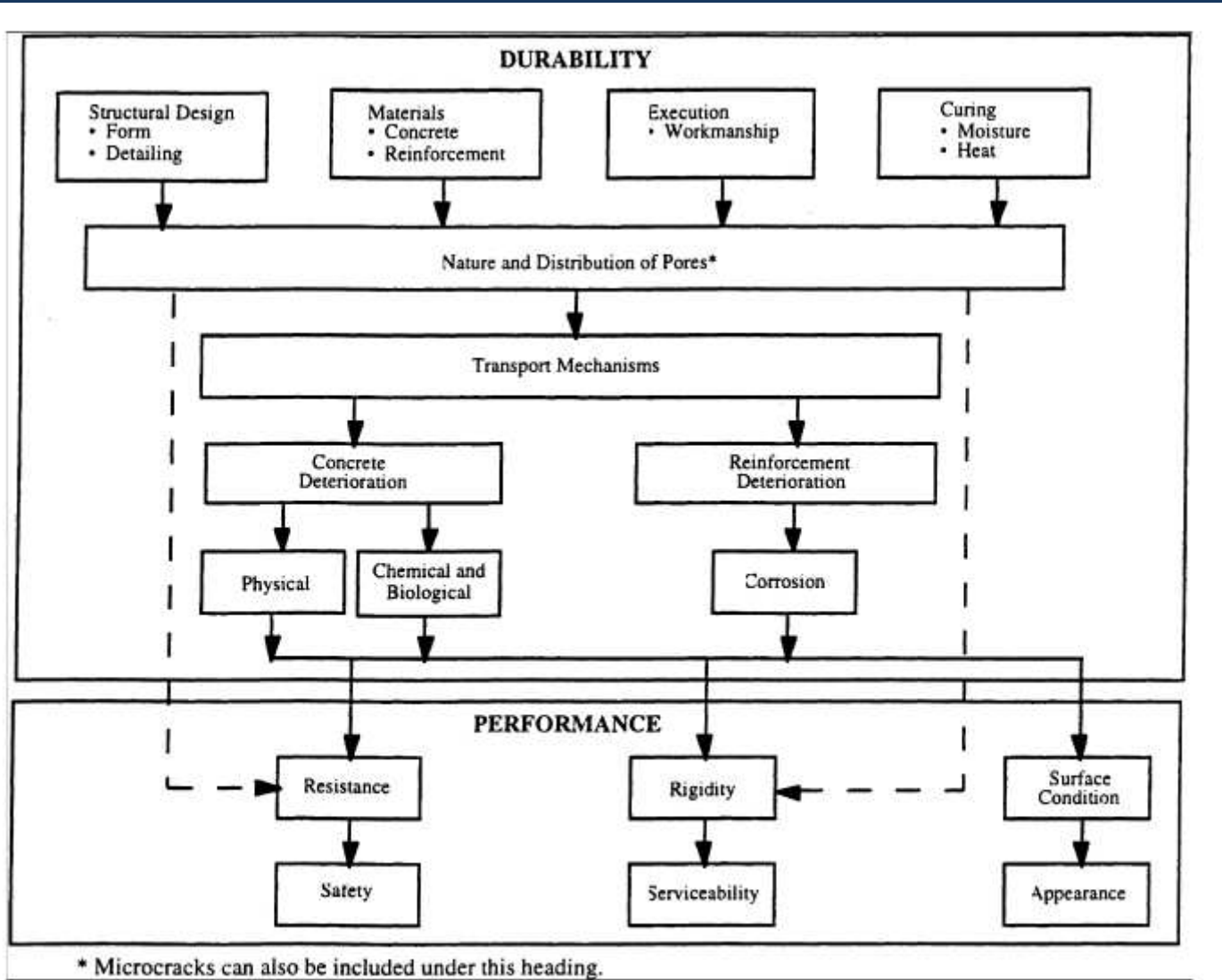


Fig. 2.1—Relationships between the concepts of concrete durability and performance (CEB 1992).

- Αρκετές εμπειρικές σχέσεις εκτίμησης βάθους ενανθράκωσης

De Ceukelaire and Van Nieuwenburg, 1993
Ho and Lewis, 1987, Roy et al, 1999

$$d = A \cdot t^n$$

$$d = A + B \cdot t^n$$

$$d = A \cdot B \cdot C \cdot t^n$$

Schiessl, 1976

$$d = \sqrt{\frac{2Dc_1}{a} t}$$

Parrot, 1987

$$d = A \cdot (B \cdot w/c - C) \cdot t^{0.5}$$

$$d = 0.43 \cdot (w/c - 0.4) \cdot [12 \cdot (t - 1)]^{0.5} + 0.1$$

- Διάχυση αερίων σύμφωνα με παραλλαγές του Νόμου του Fick

$$N_A = -D_{AB} \frac{d[A]}{dx}$$

N_A , ρυθμός μεταφοράς αερίου A του μέσου κάθετα στην διεύθυνση ροής

$d[A]/dx$, βαθμίδα συγκέντρωσης του A

D_{AB} , συντελεστής διάχυσης του A στο μέσο B.

- Στο σκυρόδεμα διάχυση αερίων στην αέρια φάση των πόρων
- Χρησιμοποίηση αποτελεσματικών τιμών N_A , D_A , αναγόμενοι στην ολική επιφάνεια του πορώδους μέσου (και όχι της αέριας φάσης)
- Υπολογισμός αποτελεσματικής (intrinsic) διαχυτότητας (θεωρητικά ή πειραματικά)
 - Εξομοίωση πορώδους συστήματος με γεωμετρικό μοντέλο (1d, 2d, 3d)
 - Υπολογιστική ή στοχαστική πορεία επίλυσης ροής διαχεόμενου συστατικού στο πορώδες μέσο
 - Παράμετροι μοντέλων συνάρτηση φυσικών χαρακτηριστικών σκυροδέματος

- Μοντελοποίηση και ποσοτικός προσδιορισμός φυσικοχημικών διεργασιών ενανθράκωσης με χρήση βασικών αρχών “reaction-engineering”
- Υπολογισμός φυσικοχημικών χαρακτηριστικών από τα οποία εξαρτάται ο ρυθμός των διεργασιών φθοράς
- Βαθμός δραστηκότητας SCM

Υπολογισμός βάθους ενανθράκωσης, x_c (m)

$$x_c = \sqrt{\frac{2D_{e,CO_2}(CO_2/100)t}{0.33CH + 0.214CSH}}$$

t : χρόνος (s)

CO₂ : περιεκτικότητα σε CO₂ του αέρα (%)

CH : περιεκτικότητα Ca(OH)₂ στο σκυρ. (kg/m³)

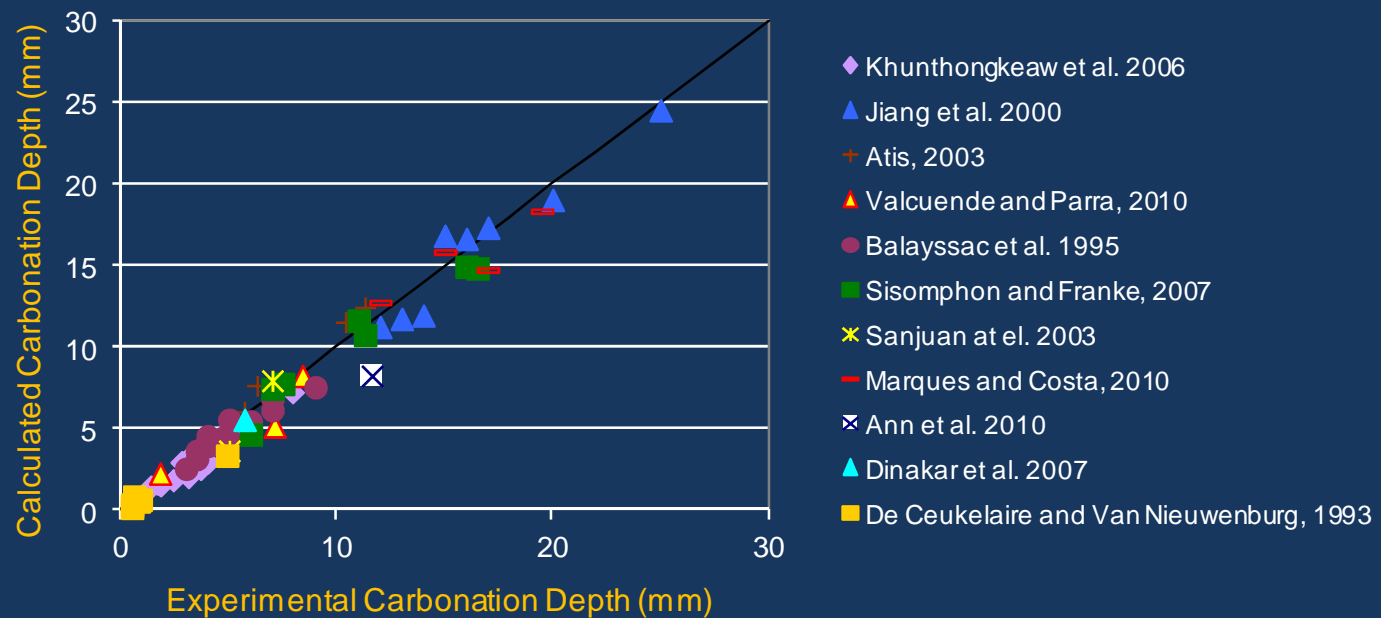
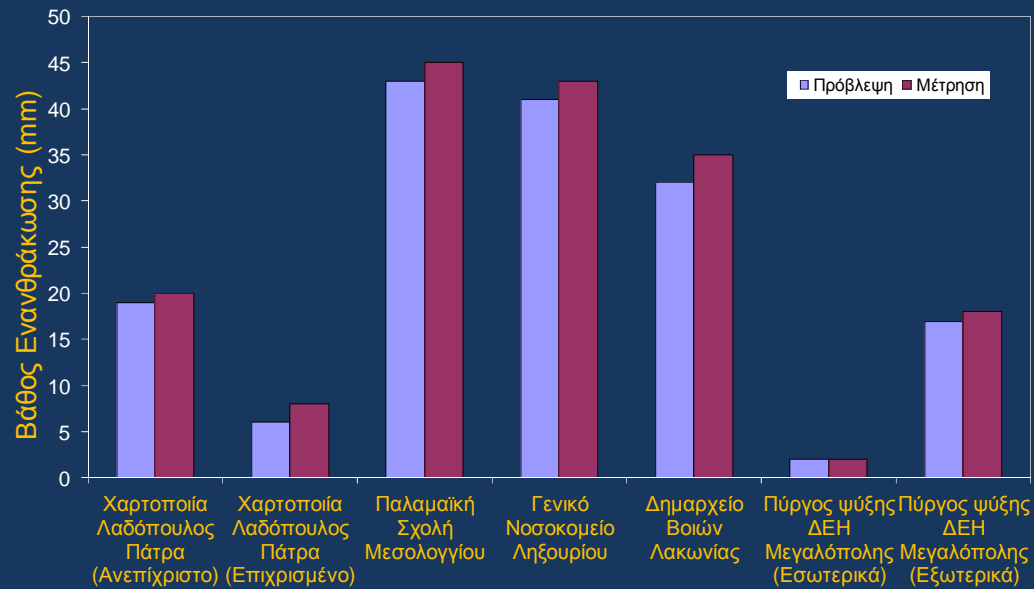
CSH : περιεκτικότητα C₃S₂H₃ στο σκυρ. (kg/m³)

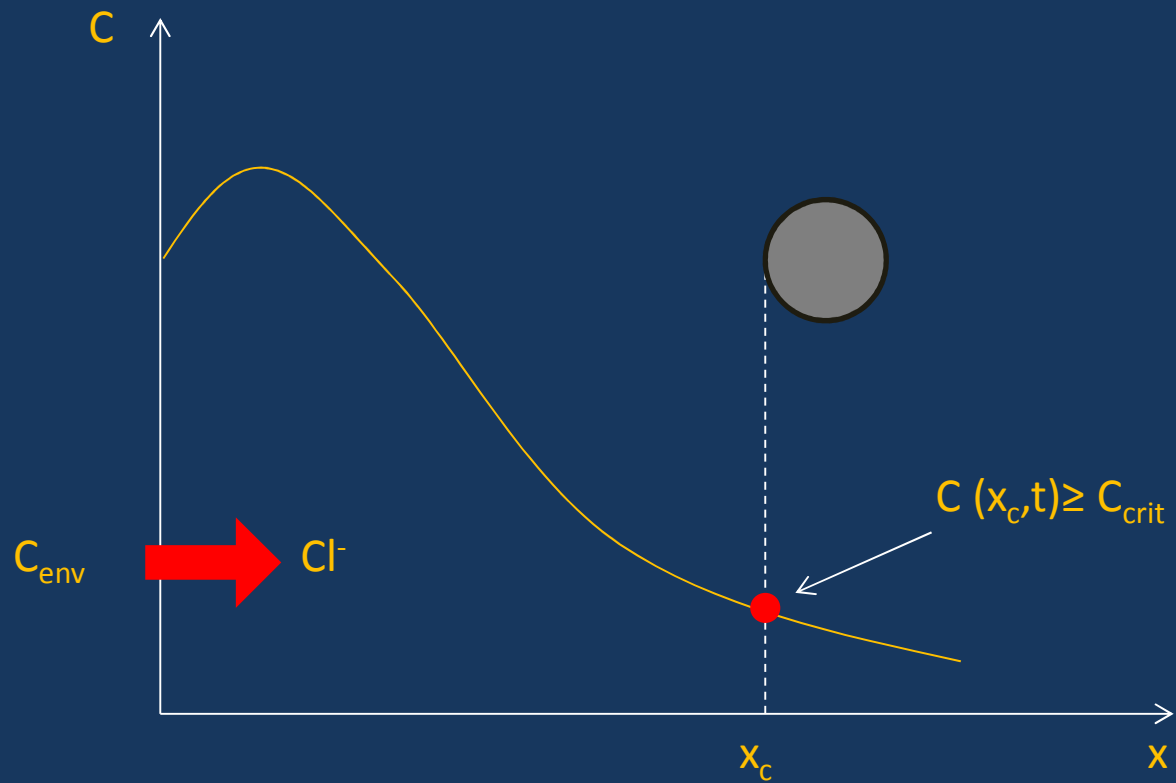
Αποτελεσματική διαχυτότητα CO₂
στο σκυρόδεμα, D_{e,CO_2} (m²/s):

$$D_{e,CO_2} = 6.1 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{\varepsilon_c - \varepsilon_{air}}{1 - \frac{A}{d_A}} \right)^3 \cdot (1 - RH/100)^{2.2}$$

Περίοδος εισαγωγής ή επώασης της διάβρωσης, t_{cr}

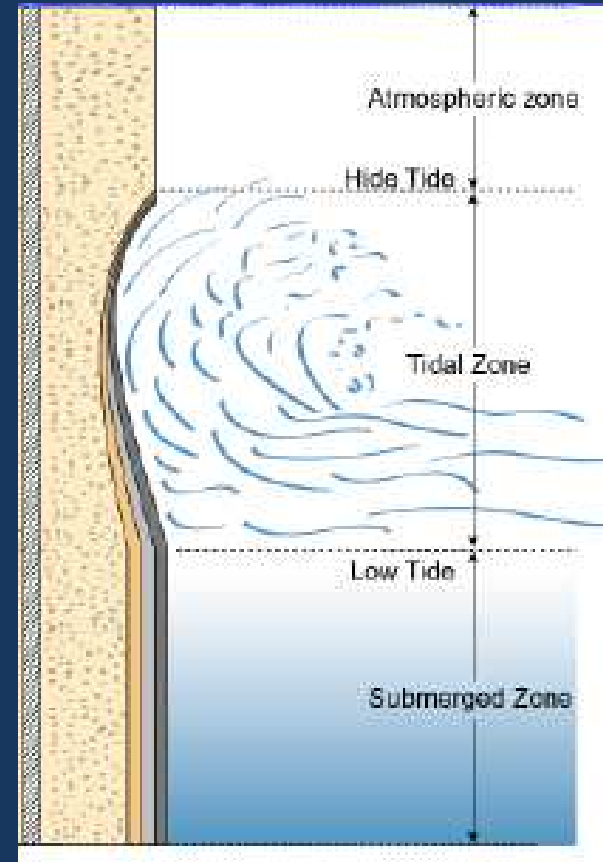
$$t_{cr} = \frac{(0.33CH + 0.214CSH)c^2}{2D_{e,CO_2}(CO_2/100)}$$





Σύγκριση μεταξύ εκτιμώμενου προφίλ Cl^- στη θέση του σπλισμού με τη κρίσιμη τιμή για έναρξη διάβρωσης

- Μεγάλη προσοχή στη κατηγορία έκθεσης



- Διείσδυση χλωριόντων στους πόρους σκυροδέματος μέσω διάχυσης είτε μέσω τριχοειδούς απορρόφησης επιφανειακού νερού στο οποίο διαλύονται.
- Διείσδυση χλωριόντων στο σκυρόδεμα μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας 2^ο νόμο Fick και λύση του Crank

2^{ος} Νόμος του Fick

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Λύση του Crank (error function)

$$\frac{C_x}{C_s} = 1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2(D_{ca}t)^{0.5}}$$

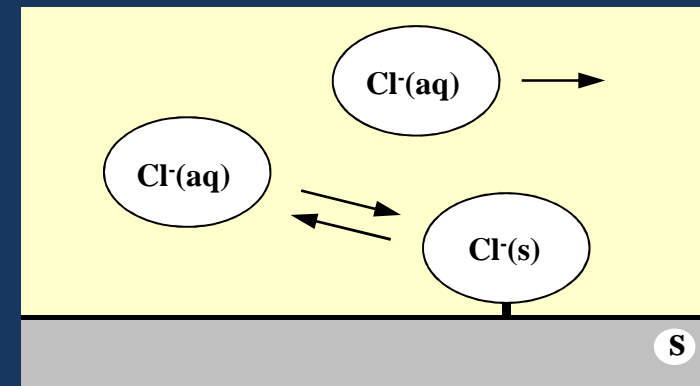
D, συντελεστής διαχυτότητας

D_{ca} , αποτελεσματικός συντελεστής διαχυτότητας

C_s, C_x , συγκέντρωση Cl^- στην εξωτερική επιφάνεια και σε βάθος x

t, χρόνος έκθεσης

- Δεν υπολογίζεται η αλληλεπίδραση χλωριόντων με την στερεά φάση (σκληρούμενο τσιμεντοπολτό).
- Δέσμευση 30 – 60 %, ανάλογα με την σύσταση του τσιμέντου, από προϊόντα ενυδάτωσης (ρόφηση-εκρόφηση ιόντων με τη στερεά φάση)



- Διείσδυση χλωριόντων στο σκυρόδεμα μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας 2^ο νόμο Fick και λύση του Crank

2^{ος} Νόμος του Fick

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Λύση του Crank (error function)

$$\frac{C_x}{C_s} = 1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2(D_{ca}t)^{0.5}}$$

$$\frac{c - c_i}{c_s - c_i} = 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_a t}} \right)$$

- Προϋποθέτει σταθερό (με χρόνο) συντελεστή διαχυτότητας D
 - Μειώνεται λόγω συνεχιζόμενων χημικών αντιδράσεων στο τσιμεντοπολτό

$$D(t, T) = D_{ref} \left(\frac{t_{ref}}{t} \right)^m \exp \left[\frac{U}{R} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \right]$$

- Υπολογίζει έτσι τον «Φαινόμενο» (apparent) συντελεστή διαχυτότητας και οδηγεί σε υποεκτίμηση συνθηκών διείσδυσης Cl⁻

- Πολλά εμπειρικά μοντέλα βασίζονται στον υπολογισμό των ολικών Cl⁻ λόγω ευκολίας μέτρησής τους
- Ελεύθερα Cl⁻ ιδιαίτερο ρόλο στην εξέλιξη του φαινομένου της διάβρωσης
- Φυσικο-χημικά μοντέλα μέσω συστημάτων μη-γραμμικών διαφορικών εξισώσεων λαμβάνουν υπόψη ρεαλιστικό τρόπο διεύθυνσης Cl⁻ στο σκυρόδεμα (διάχυση και δέσμευση Cl⁻ στην υγρή και στερεή φάση των πόρων)

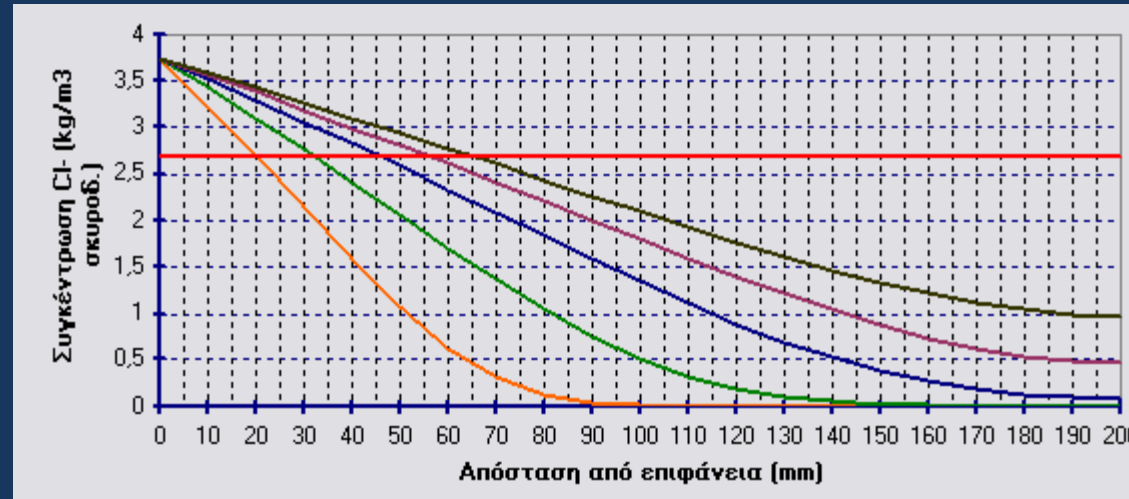
$$\frac{\partial [Cl(aq)]}{\partial t} = \frac{D_{e,Cl} \left(1 + K_{eq} [Cl(aq)]\right)^2}{K_{eq} [Cl(s)]_{sat} + \varepsilon \left(1 + K_{eq} [Cl(aq)]\right)^2} \frac{\partial^2 [Cl(aq)]}{\partial x^2}$$

$$[Cl(s)] = \frac{K_{eq} [Cl(aq)]}{1 + K_{eq} [Cl(aq)]} [Cl(s)]_{sat}$$

$$D_{e,Cl^-} = \frac{2.4 \cdot 10^{-10}}{\left(\frac{K + CS + \sum(kP_{ACT})}{d_c} + \frac{W}{d_w}\right)^2} \cdot (\varepsilon_{eff})^{3.5}$$

- [Cl(aq)] : συγκέντρωση Cl⁻ στην υδατική φάση (kg/m³)
 [Cl(s)] : συγκέντρωση Cl⁻ δεσμευμένων στην στερεά φάση (kg/m³)
 X : απόσταση από την εξωτερική επιφάνεια (m), t: χρόνος (s)
 D_{e,Cl} : αποτελεσματική διαχυτότητα Cl⁻ στο σκυρόδεμα (m²/s)
 K_{eq} : σταθερά ισορροπίας για δέσμευση Cl⁻ (m³ sol /kg)
 [Cl(s)]_{sat} : συγκέντρωση κορεσμού Cl⁻ στην στερεά φάση (m³/kg)

- Προσδιορισμός συγκέντρωσης Cl^- στην στερεή και υγρή φάση, συνάρτηση αρχικής συγκέντρωσης Cl^- , συγκέντρωσης Cl^- σε βάθος x από την εξωτερική πλευρά σκυροδέματος, σε χρόνο t .



Distance from surface (mm)	Cl^- concentration in pore water (kg/m ³ solution)	Cl^- concentration in solid phase (kg/m ³ concrete)	Total Cl^- concentration (kg/m ³ concrete)
0	20	1,667	3,547
10	16,725	1,565	3,137
20	13,539	1,438	2,711
30	10,537	1,283	2,273
40	7,817	1,097	1,832
50	5,469	0,884	1,398
60	3,569	0,658	0,993
70	2,151	0,443	0,645
80	1,19	0,266	0,378
90	0,605	0,143	0,199
100	0,283	0,069	0,095

LIFE 365	CLINCONC	EUCON	DURACON
Ορισμός της Κατασκευής και Χαρακτηριστικά Υλικών			
<ul style="list-style-type: none"> • Τύπος κατασκευής • Πάχος δομικού στοιχείου (mm) • Επικάλυψη (mm) • Λόγος N/T • FA, SF, Slag (%) • Τύπος σπλισμού • Ύπαρξη αναστολέων διάβρωσης • Ύπαρξη μεμβρανών 	<ul style="list-style-type: none"> • Ποσότητα Τσιμέντου, νερού, αδρανών και πυκνότητες. • Ποσότητα, πυκνότητα και activity coefficients προσθέτων τύπου II (SF, FA, Slag). • Ποσοστό κενών αέρα (%) • Equivalent alkalis (Na₂O) τσιμέντου (%) • Θερμοκρασία συντήρησης (°C) 	<ul style="list-style-type: none"> • Τύπος Τσιμέντου (EN 197), • Standard Cement Strength Class (MPa) • Ποσότητα Τσιμέντου, νερού, αδρανών, τύπος αδρανών και d_{max} και πυκνότητες. • Ποσότητα, πυκνότητα και activity coefficients προσθέτων τύπου II. • Ποσότητα, τύπος και πυκνότητα προσθέτων τύπου I • Ποσοστό κενών αέρα (%). • Ποσοτική σύσταση Τσιμέντου: Χημική σύσταση Τσιμέντου και πρόσθετων τύπου II (%). 	<ul style="list-style-type: none"> • Επικάλυψη (mm) + COV (%)
Συνθήκες Περιβαλλοντικής Έκθεσης			
<ul style="list-style-type: none"> • Συγκέντρωση Cl⁻ στην εξωτερική επιφάνεια (kg/m³ σκυρ.) • Χρόνος για μέγιστη συγκέντρωση Cl⁻ (years) • Κρίσιμη συγκέντρωση Cl⁻ (kg/m³ σκυρ.) + COV(%) • Θερμοκρασία έκθεσης (°C) 	<ul style="list-style-type: none"> • Συγκέντρωση Cl⁻ (free) στην εξωτερική επιφάνεια (g/l) + SD • Αρχική συγκέντρωση Cl⁻ (%) + SD • Κρίσιμη συγκέντρωση Cl⁻ • Θερμοκρασία έκθεσης (°C)+SD 	<ul style="list-style-type: none"> • Συγκέντρωση Cl⁻ (free) στην εξωτερική επιφάνεια (kg/m³ sol) • Αρχική συγκέντρωση Cl⁻ (kg/m³ sol) • Κρίσιμη συγκέντρωση Cl⁻ (kg/m³ σκυρ.) • Πάχος στοιχείου (mm) 	<ul style="list-style-type: none"> • Συγκέντρωση Cl⁻ στην εξωτερική επιφάνεια (% σκυρ.) • Αρχική συγκέντρωση Cl⁻ • Κρίσιμη συγκέντρωση Cl⁻ • Μέση ετήσια θερμοκρασία (°C) • Environmental transfer variable
Συντελεστής Διαχυτότητας Χλωριόντων			
<ul style="list-style-type: none"> • Φαινόμενος Συντελεστής Διαχυτότητας Cl⁻ (28 days) D₂₈ (x 10⁻¹² m²/s) + COV (%) • Maturity factor <i>m</i> + COV (%) 	<ul style="list-style-type: none"> • Φαινόμενος Συντελεστής Διαχυτότητας Cl⁻ (6 months) D_{6m} (x 10⁻¹² m²/s) • Βαθμός ενυδάτωσης, Concrete porosity * • Time-dependent binding factor ^{*Cl} 	<ul style="list-style-type: none"> • Πραγματικός συντελεστής διάχυσης Cl⁻ * (x 10⁻¹² m²/s) • Efficiency factor of FA or SF for Cl⁻ penetration • Concrete porosity*, Equilibrium constant for Cl⁻ binding*^{E5} • Cl⁻ saturation concentration in solid phase*^{E6} 	<ul style="list-style-type: none"> • Φαινόμενος Συντελεστής Διαχυτότητας Cl⁻ (t days) • Προφίλ Cl⁻ από το οποίο υπολογίζεται ο παραπάνω
Παράγοντες Χρόνου			
<ul style="list-style-type: none"> • Propagation Period (years) • Hydration period (years) 	<ul style="list-style-type: none"> • Concrete age at exposure (days), • Age factor (n) due to desiccation • Exposure duration (years) 	<ul style="list-style-type: none"> • Service life (years) that the user wants to estimate the Cl⁻ profiles in concrete 	<ul style="list-style-type: none"> • Ηλικία κατασκευής όταν εκτέθηκε σε χλωριόντα (days)

LIFE 365	CLINCONC	EUCON	DURACON
Προφίλ χλωριόντων			
<ul style="list-style-type: none"> • Συνολικά Cl⁻ (kg/m³ σκυρ.) κατά βάθος x (mm) • Επίπεδο συγκέντρωσης Cl⁻ στην επιφάνεια του χάλυβα έως την χρονική στιγμή έναρξης της διάβρωσης • Μεταβολή του συντελεστή διαχυτότητας Cl⁻ με το χρόνο έκθεσης 	<ul style="list-style-type: none"> • Συνολικά Cl⁻ (% τσιμ.) κατά βάθος x (mm) • Ελεύθερα Cl⁻ (g/l) κατά βάθος x (mm) 	<ul style="list-style-type: none"> • Συνολικά Cl⁻ (kg/m³ σκυρ.) κατά βάθος x (mm) • Ελεύθερα Cl⁻ (kg/m³ sol.) κατά βάθος x (mm) • Δεσμευμένα Cl⁻ (kg/m³ σκυρ.) κατά βάθος x (mm) 	
Διάρκεια Ζωής			
<ul style="list-style-type: none"> • Χρονική στιγμή έναρξης της διάβρωσης (χρόνια) • Διάρκεια ζωής κατασκευής (χρόνια) 	<ul style="list-style-type: none"> • Διάρκεια ζωής συναρτήσει της απαιτούμενης επικάλυψης 		<ul style="list-style-type: none"> • Πιθανο-στοχαστική εκτίμηση διάρκειας ζωής
Άλλοι παράμετροι			
<ul style="list-style-type: none"> • Φαινόμενος Συντελεστής Διαχυτότητας Cl⁻ (28 days) D₂₈ (x 10⁻¹² m²/s) + COV 	<ul style="list-style-type: none"> • Φαινόμενος Συντελεστής Διαχυτότητας Cl⁻ (6 months) 	<ul style="list-style-type: none"> • Intrinsic chloride diffusion coefficient * (x 10⁻¹² m²/s) 	

LIFE 365

CLINCONC

EUCON

Governing Equation

$$\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2C}{dx^2}$$

$$\frac{c - c_i}{c_s - c_i} = 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_a \cdot t}} \right)$$

$$D_a = \frac{D_0}{1-n} \left(\frac{t_0}{t} \right)^n \left[\left(1 + \frac{t_{ex}}{t} \right)^{1-n} - \left(\frac{t_{ex}}{t} \right)^{1-n} \right]$$

$$\frac{\partial [Cl^-(aq)]}{\partial t} = \frac{D_{e,Cl^-} (1 + K_{eq} [Cl^-(aq)])^2}{K_{eq} [Cl^-(s)]_{sat} + \varepsilon (1 + K_{eq} [Cl^-(aq)])^2} \cdot \frac{\partial^2 [Cl^-(aq)]}{\partial x^2}$$

Initial condition: $[Cl^-(aq)] = [Cl^-(aq)]_{in}$, at $t=0$ (initial concentration)

Boundary conditions: $[Cl^-(aq)] = [Cl^-(aq)]_0$, at $x=0$ (concrete surface)

$\theta [Cl^-(aq)] / \theta x = 0$, at $x = M$ (axis of symmetry)

Chloride Diffusion

- Life model disregards actions of Cl- binding
- Time and Temperature dependant apparent diffusion coefficient.

$$D(t,T) = D_{ref} \left(\frac{t_{ref}}{t} \right)^m \exp \left[\frac{U}{R} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \right]$$

($t_{ref} = 28$ days, $T_{ref} = 20$ °C)

$$m = 0.2 + 0.4 \left(\frac{\%FA}{50} + \frac{\%SG}{70} \right)$$

$$D_{OPC,28d} = 1 \times 10^{(-12.06 + 2.4 \frac{W}{C})}$$

$$D_{SF} = D_{OPC} \cdot e^{-0.165SF}$$

$$D_0 = \xi_D \cdot D_{6m}$$

$$\xi_D = \frac{(0.8a_t^2 - 2a_t + 2.5) \cdot (1 + 0.59K_{b6m}) \cdot k_{TD}}{1 + k_{OH6m} \cdot K_{b6m} \cdot k_{Tb} \cdot f_b \cdot \beta_b \cdot \left(\frac{c_s}{35.45} \right)^{\beta_b - 1}} \cdot \frac{D_{field}}{D_{lab}}$$

$$K_{OH6m} = e^{0.59 \left(1 - \frac{0.043}{[OH]_{6m}} \right)}, K_{b6m} = \frac{W_{gel6m}}{1000 \varepsilon_{6m}}$$

$$K_{Tb} = e^{\frac{40000}{8.314} \left(\frac{1}{273+T} - \frac{1}{293} \right)}, K_{TD} = e^{\frac{42000}{8.314} \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{273+T} \right)}$$

- Calculation of intrinsic diffusion coefficient (semi-empirical relationships)

$$D_{e,Cl^-} = \frac{2.4 \cdot 10^{-10}}{\left(\frac{K + CS + \sum (kP_{ACT})}{d_c} + \frac{W}{d_w} \right)^2} (\varepsilon_{eff})^{3.5}$$

$$\varepsilon_{eff} = \frac{W}{d_w} - 0.226 \cdot 10^{-3} \left[K + CS + \sum (kP_{ACT}) \right]$$

Solution

$$c = (c_s - c_i) \cdot \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{\frac{D_0}{1-n} \left(\frac{t_0}{t} \right)^n \left[\left(1 + \frac{t_{ex}}{t} \right)^{1-n} - \left(\frac{t_{ex}}{t} \right)^{1-n} \right] t}} + c_i$$

$$c_b = f_t \cdot K_{OH6m} \cdot K_{b6m} \cdot f_b \cdot c^{\beta_b} \cdot e^{\frac{40000}{8.314} \left(\frac{1}{273+T} - \frac{1}{293} \right)}$$

$$f_t = a_t \cdot \ln \left(\frac{c - c_i}{c_s - c_i} t + 0.5 \right) + 1$$

$$C = \frac{\varepsilon(c_b + c)}{B_c} 100$$

$$[Cl^-(s)] = \frac{K_{eq} [Cl^-(aq)]}{1 + K_{eq} [Cl^-(aq)]} \cdot [Cl^-(s)]_{sat}$$

$$[Cl^-(total)] = [Cl^-(s)] + \varepsilon [Cl^-(aq)]$$



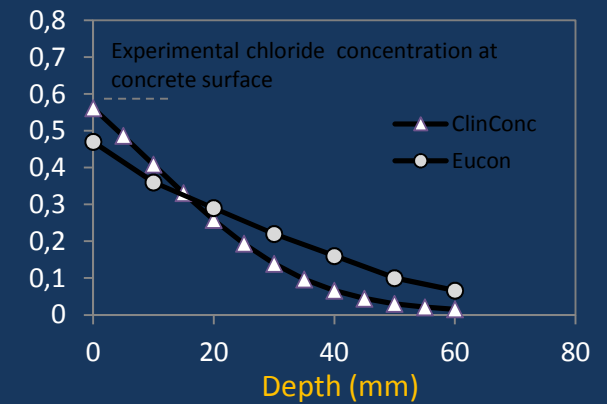
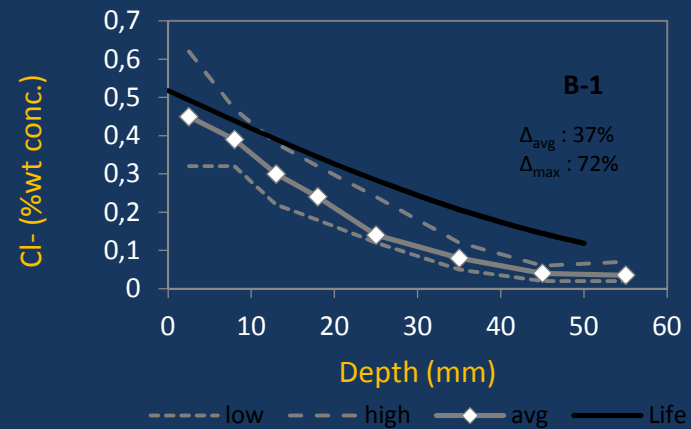
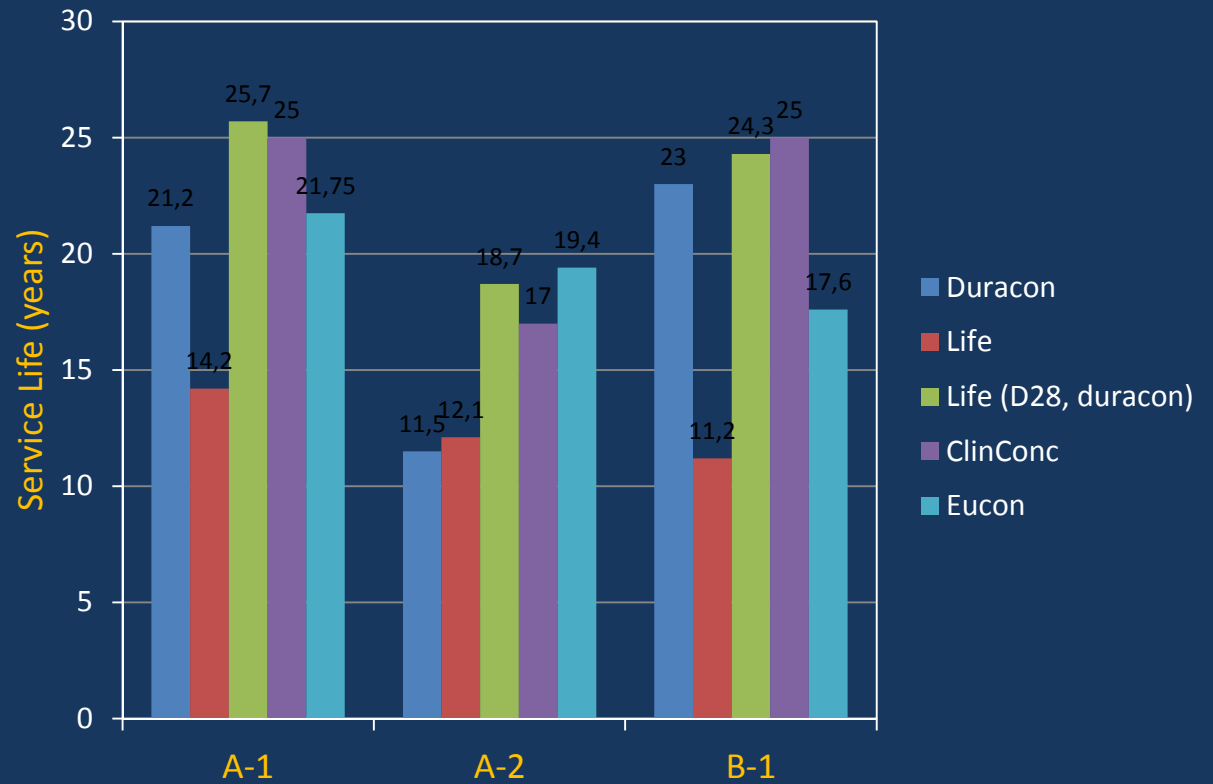
Κατασκευή Α, XS3



Κατασκευή Β, XS3

	Δοκίμιο Α-1	Δοκίμιο Α-2	Δοκίμιο Β-1
Επικάλυψη (mm)	48.3 (5.9)		60.8 (1.8)
Τσιμέντο - Ιπτάμενη Τέφρα (kg/m ³) – N/Τα	380 – 19.2 – 0.45		400 – 0 – 0.45
Φαινόμενος Συντελεστής Διαχυτότητας (x10 ⁻¹² m ² /s)	0.948 (0.166)	1.140 (0.162)	1.589 (0.432)
Συγκέντρωση Cl ⁻ στην εξωτερική επιφάνεια (% wt. conc.)	0.555 (0.158)	0.828 (0.079)	0.518 (0.070)
Κρίσιμη Συγκέντρωση Cl ⁻ (% wt. conc.)	0.080 (0.010)	0.080 (0.010)	0.070 (0.010)
Ηλικία της κατασκευής τη στιγμή της έκθεσης (days)	2920		2555
Διάρκεια Ζωής (years)	50		50

- Υποεκτίμηση από Life-365
- Συμφωνία φθισικοχημικών μοντέλων ClinConc, Eucon
- Πρόβλημα ανθεκτικότητας εμφανές
- Ποιο μοντέλο μπορώ να εμπιστευτώ?



Το αύριο (σήμερα)

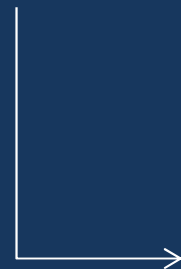
Εκτίμηση διάρκειας ζωής βασισμένη στην φιλοσοφία σχεδιασμού
κατασκευών έναντι υπέρβασης (ή όχι) Ο.Κ.

- *fib Model Code*

- Time is inserted as a design parameter

- Assuring a defined service life means: use of materials with satisfactory properties
Definition of appropriate limit states for durability
verification with regard to the probability of exceeding those limit states

- Verification of the limit states shall be realized with a probability-based method.
- For each limit state, models should be established, which describe the behaviour of a structure. These models include mechanical models, which describe the structural behaviour, as well as other physical or chemical models, which describe the effects of environmental influences on the material properties.
- Performance is evaluated by verifying the behavior of a structure or components **against specified performance requirements**. The stakeholder shall give demands for performance of the structure and its required service life
- **Performance requirements are established by means of performance criteria** (quantitative limits defining the border between desired and undesired behaviour) **and constraints**

- 
- Constraints related to service life
 - Constraints related to reliability specified by a target reliability level.

Πιθανοτικός (Stochastic) Σχεδιασμός ανθεκτικότητας κατασκευών ΟΣ

Πιθανοτική Εκτίμηση βάση ανίσωσης ασφαλείας
Δράση (ή αποτέλεσμα δράσης) $S_d <$ Αντίσταση R_d

1. Ορισμός Οριακών Καταστάσεων (ΟΚ) σε όρους ανθεκτικότητας
Λειτουργικότητας (ΟΚΛ), π.χ. απόπαθητικοποίηση χάλυβα
Αστοχίας (ΟΚΑ), π.χ. Διάβρωση Χάλυβα

2. Προσδιορισμός Πιθανότητας Υπέρβασης Οριακών Καταστάσεων
(βάση συγκεκριμένων απαιτήσεων)

Υπολογισμός Δράσης μέσω
προσδιοριστικών μοντέλων
φυσικοχημικών διεργασιών
φθοράς ΟΣ

Ορισμός Απόδοσης/Δράσης Κατασκευής
Βάθος ενανθράκωσης
 $Min d$ για προστασία του οπλισμού σε περιβάλλον Cl-
Χρόνος έναρξης διάβρωσης (initiation time)

Προδιαγράφεται
Μέσω εξασφάλισης

Επιλογή Δείκτη Αξιοπιστίας β
(ελάχιστες τιμές βάση ΟΚ, RC)
Αντιστοιχεί σε πιθανότητα εμφάνισης
της οριακής κατάστασης
(δεν πρέπει να ξεπεραστεί)

Επίπεδα Αξιοπιστίας
(RC1, RC2, RC3, RC4)

Απαιτήσεις – Συνιστώσες Αξιοπιστίας
Αντίσταση (resistance)
Λειτουργικότητα (serviceability)
Ανθεκτικότητα (Durability)
Ευρωστία (Robustness)

P_0

Εκτίμηση Υπέρβασης (ή όχι) Οριακής κατάστασης

Π.χ. $P\{\text{διάβρωσης λόγω διείσδυσης χλωριόντων}\} < P_0$

- Ορισμός Ο.Κ. Λειτουργικότητας και Αστοχίας σε όρους ανθεκτικότητας
- Απόδοση Κατασκευής προδιαγράφεται μέσω εξασφάλισης συγκεκριμένων απαιτήσεων

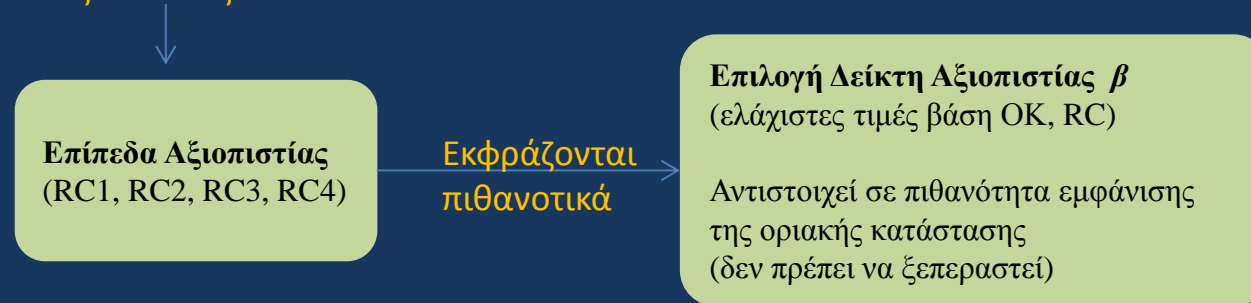
↓

Ορισμός Απόδοσης/Δράσης Κατασκευής
Βάθος ενανθράκωσης
Min d για προστασία του οπλισμού σε περιβάλλον Cl-
Χρόνος έναρξης διάβρωσης (*initiation time*)

↓

Απαιτήσεις – Συνιστώσες Αξιοπιστίας
Αντίσταση (*resistance*)
Λειτουργικότητα (*serviceability*)
Ανθεκτικότητα (*Durability*)
Ευρωστία (*Robustness*)

- Λαμβάνοντας υπόψη αιτίες, μορφή, τρόπο επίτευξης Ο.Κ., πιθανές συνέπειες αστοχίας ορίζονται διαβαθμισμένα επίπεδα αξιοπιστίας



- Ανάλογα με κατηγορία αξιοπιστίας και είδος Ο.Κ., ορίζονται ελάχιστες τιμές του β , που αντιστοιχούν σε μια πιθανότητα εμφάνισης της συγκεκριμένης Ο.Κ. (που δεν θα πρέπει να ξεπεραστεί).
- Συνήθως η περίπτωση υπέρβασης Ο.Κ. λειτουργικότητας (π.χ. αποπαθητικοποίηση χάλυβα) μεταφράζεται σε πρόσθετα μέτρα (κόστος)

- Συνιστώμενες τιμές β

Table 3.2-1: Example of performance requirements for design of a new structure

Performance category	Performance criteria	Constraints
Serviceability	Deformation limit Crack width limit Vibration limit, etc.	Specified (design) service life: 50 year Target reliability level: $\beta = 1.5$
Structural safety	Stress limit Capacity limit Progressive collapse limit, etc.	Specified (design) service life: 50 year Target reliability level: $\beta = 3.8$
Sustainability	Emission limits Impact on society Aesthetics, etc.	

Table A2-2: Recommended minimum values for reliability index β for use in SLD (intended for the design life time)

Exposure Class – Eurocode 2	Description	Reliability Class	SLS ¹	ULS
			Depassivation ^{2,3}	Collapse
XC ³	Carbonation	RC1	1.3 ($p_f \approx 10^{-1}$)	3.7 ($p_f \approx 10^{-3}$)
		RC2	1.3 ($p_f \approx 10^{-1}$)	4.2 ($p_f \approx 10^{-3}$)
		RC3	1.3 ($p_f \approx 10^{-1}$)	4.4 ($p_f \approx 10^{-3}$)
XD ³	Deicing salt	RC1	1.3 ($p_f \approx 10^{-1}$)	3.7 ($p_f \approx 10^{-3}$)
		RC2	1.3 ($p_f \approx 10^{-1}$)	4.2 ($p_f \approx 10^{-3}$)
		RC3	1.3 ($p_f \approx 10^{-1}$)	4.4 ($p_f \approx 10^{-3}$)
XS ³	Seawater	RC1	1.3 ($p_f \approx 10^{-1}$)	3.7 ($p_f \approx 10^{-3}$)
		RC2	1.3 ($p_f \approx 10^{-1}$)	4.2 ($p_f \approx 10^{-3}$)
		RC3	1.3 ($p_f \approx 10^{-1}$)	4.4 ($p_f \approx 10^{-3}$)

¹ A SLS reliability of $\beta = 1.3$ in consequence could lead to lower ULS reliabilities than usually required by the codes, cp. ISO 2394. That means for very aggressive climates, higher values for β_{SLS} are required, cp. Annex R, in order to fulfil the ULS requirements.

fib Model code

fib bulletin 28

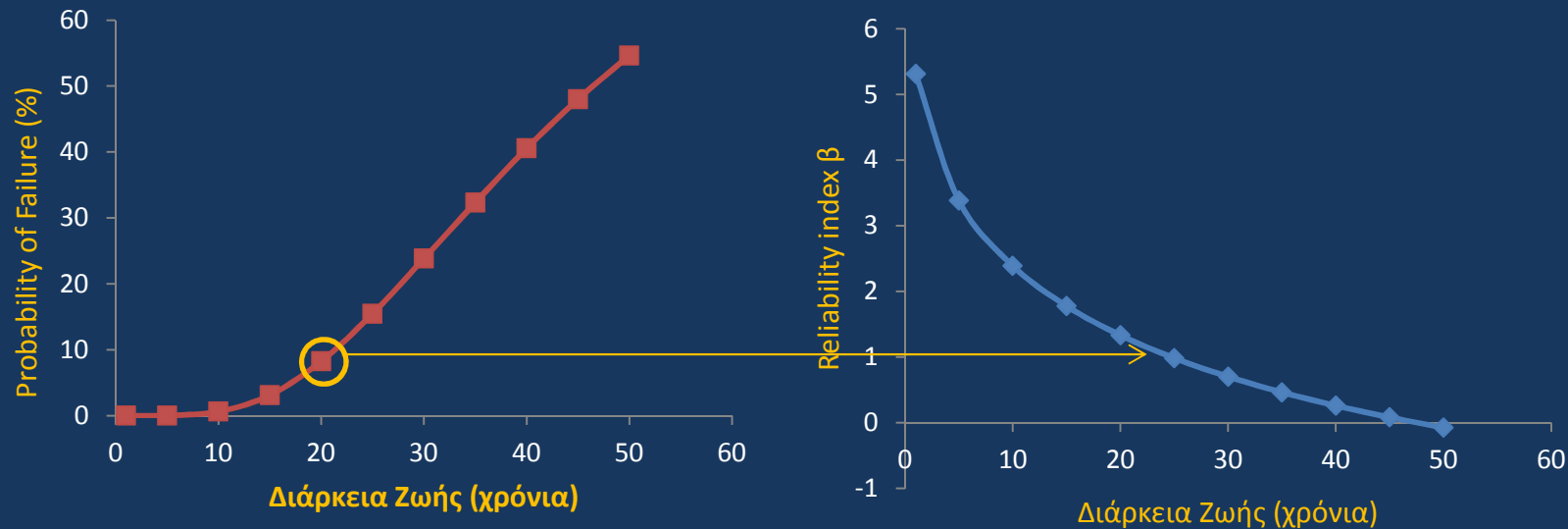
Table C1 - Relation between β and P_f

P_f	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
β	1,28	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,20

- Υπολογισμός πιθανότητας διάβρωσης λόγω χλωριόντων

$$p\{ \} = p\{ C_{crit} - C(\alpha, t_{sl}) < 0 \} < p_0$$

$p\{ \}$, p_0 , πιθανότητα διάβρωσης λόγω διείσδυσης χλωριόντων (target failure probability),
 C_{crit} , $C_{(\alpha, t_{sl})}$, κρίσιμη συγκέντρωση και η συγκέντρωση Cl^- σε βάθος a και χρόνο t (% κ.β. τσιμέντου),
 α , επικάλυψη σκυροδέματος (mm) και
 t_{sl} , διάρκεια ζωής (χρόνια)



Άρα ?

- Επιτακτική ανάγκη σχεδιασμού ανθεκτικότητας κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος
- Όχι τυφλή υπακοή διαθέσιμων μοντέλων (βαθιά κατανόηση και κριτική ικανότητα)
 - Γνώση μηχανισμών φθοράς
 - Βαθιά κατανόηση λειτουργίας μοντέλων (περιορισμοί)
 - Επιλογή φυσικοχημικού μοντέλου (με στοχαστικές αναλύσεις)
 - Σωστή επιλογή δομικών υλικών (δεδομένα)
 - Όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστική παραμετροποίηση μοντέλων (περιβαλλοντική έκθεση, επίπεδο αξιοπιστίας, οριακή κατάσταση)
 - Τεχνοοικονομική αρίστευση βάση αποτελεσμάτων
- Σωστή, εμπειριστατωμένη κατασκευή και συντήρηση
- Εν τέλει, μέσω κατανόησης των διεργασιών που οδηγούν σε πρόωμη φθορά και σωστό σχεδιασμό μπορούμε να αποφύγουμε μείωση διάρκειας ζωής κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος.

- Μελλοντικά βήματα

- Κοινή αρχική παραμετροποίηση (βάση δυνατοτήτων μοντέλου)
- Συμφωνία μονάδων (συγκέντρωσης Cl^-)
- Απλοποίηση στοιχείων εισαγωγής (πιο φιλικά)
- Κοινή πλατφόρμα, δημιουργία βάσης δεδομένων αποτελεσμάτων από πραγματική έκθεση
- Δημιουργία βάσης δεδομένων περιβαλλοντικής έκθεσης (θερμοκρασία, υγρασία, Cl^- , CO_2).
- Διασύνδεση σχεδιασμού ανθεκτικότητας με πακέτα στατικής ανάλυσης
- Περιβαλλοντικές δράσεις σαν φορτίο στην κατασκευή

Σας ευχαριστώ θερμά