



ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ & ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ - ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

REPAIR & STRENGTHENING OF STRUCTURES - UNIVERSITY OF PATRAS

Σχεδιασμός Ανθεκτικότητας Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος – Προβλήματα και Προοπτικές

Σωτήρης Δέμης

Δρ. Πανεπιστημίου Sheffield

Πανεπιστημιακός Υπότροφος Πανεπιστημίου Πατρών

«Έντονα σημάδια πρόωρης υποβάθμισης διάρκειας ζωής κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος ...»

Έντονα?

Σημασία – Σπουδαιότητα

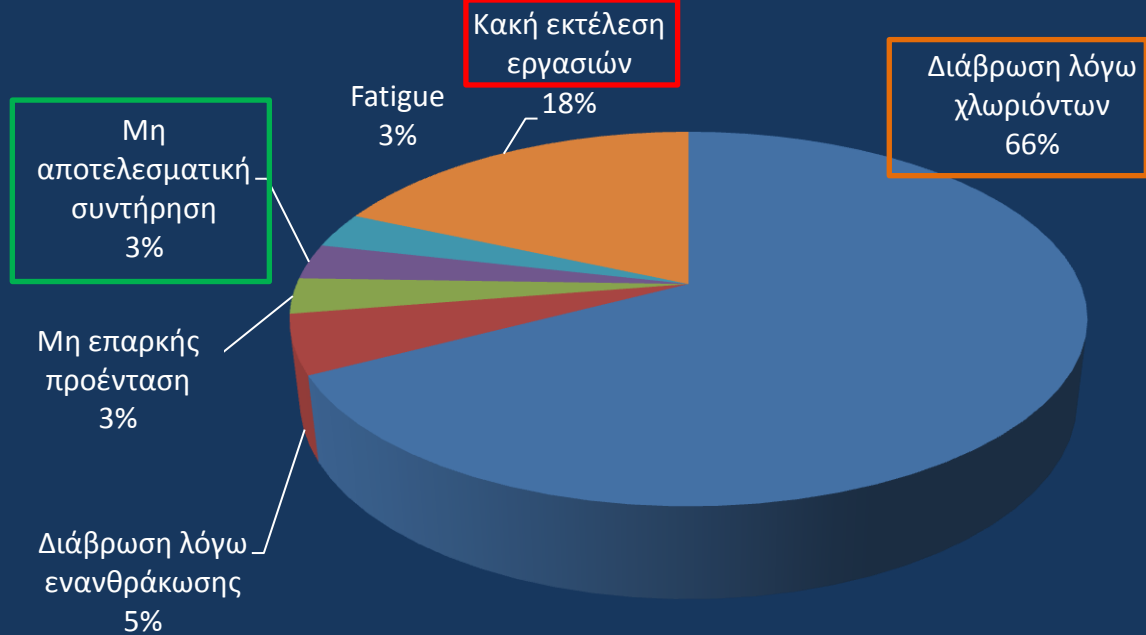
- Συχνότητα εμφάνισης τέτοιων φαινομένων?
- Αίτια για την εμφάνιση της όποιας συχνότητα εμφάνισης?



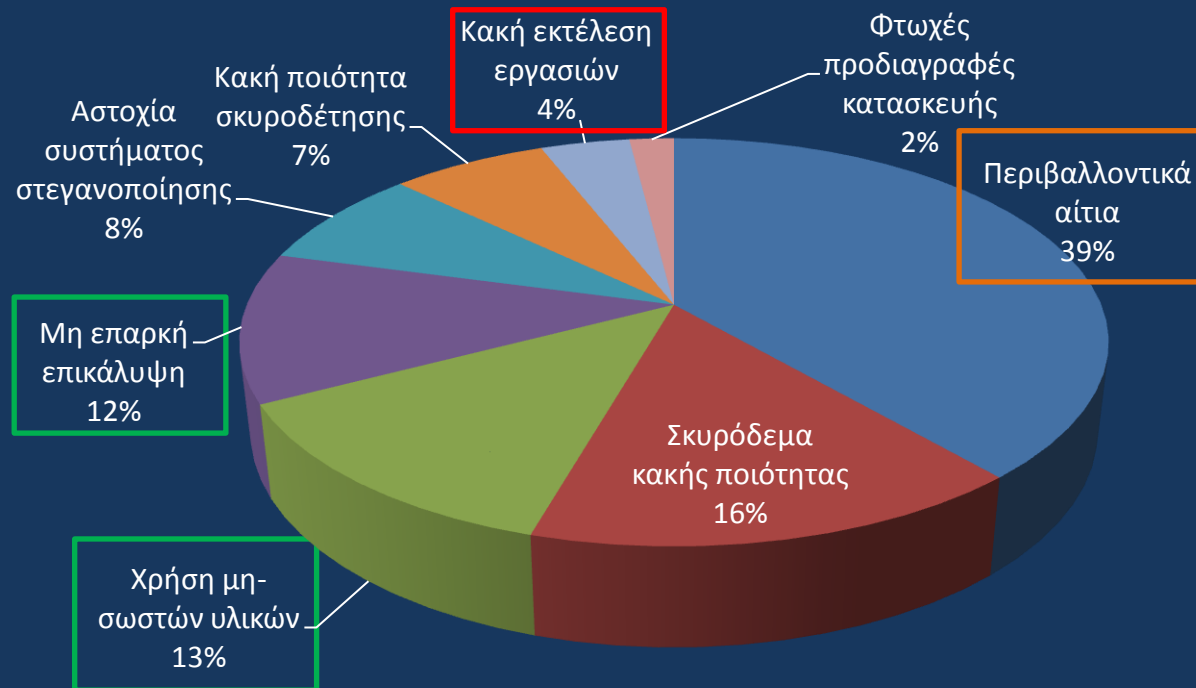
Ηλικία 20 ετών !!!

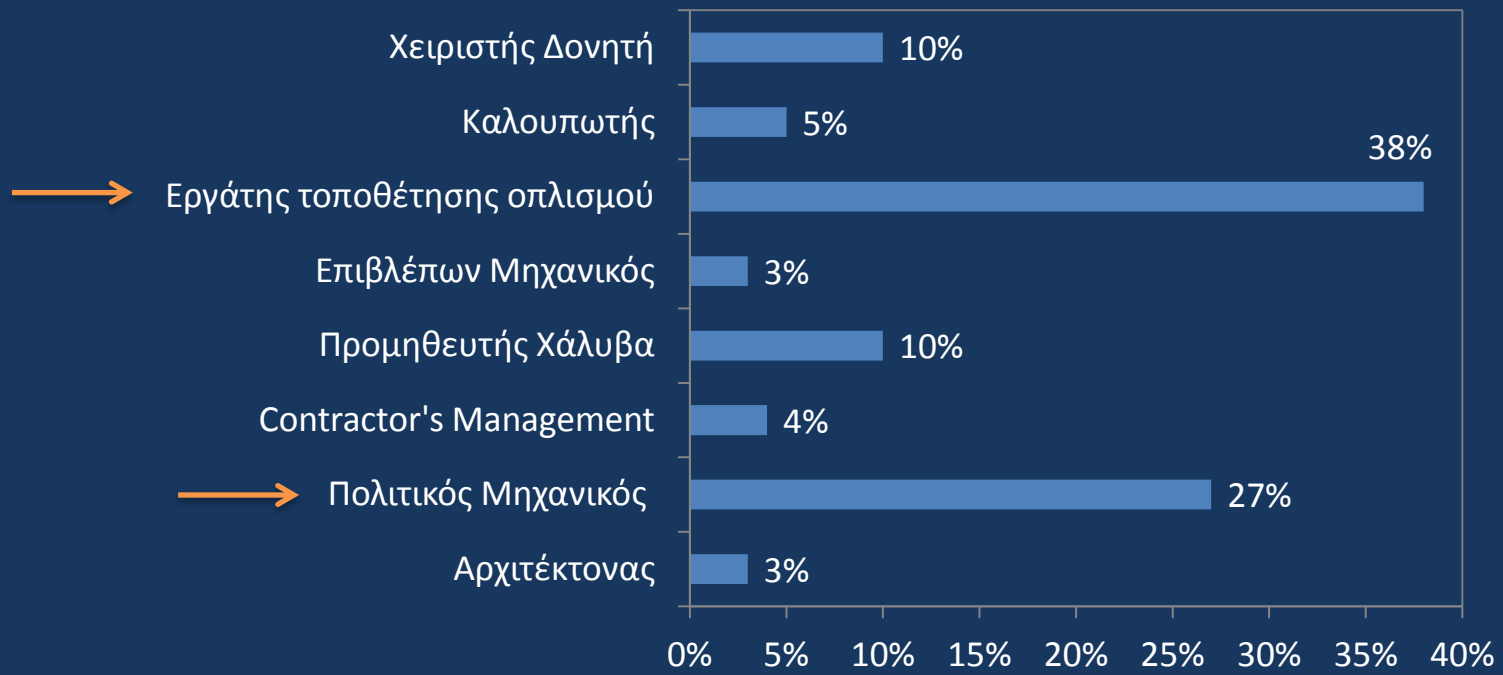


Αιτίες «ζημιάς» γεφυρών
Γερμανικού οδικού δικτύου
(fib 59 2011)



Αιτίες «ζημιάς» κατασκευών ΟΣ
(BCA 2000)

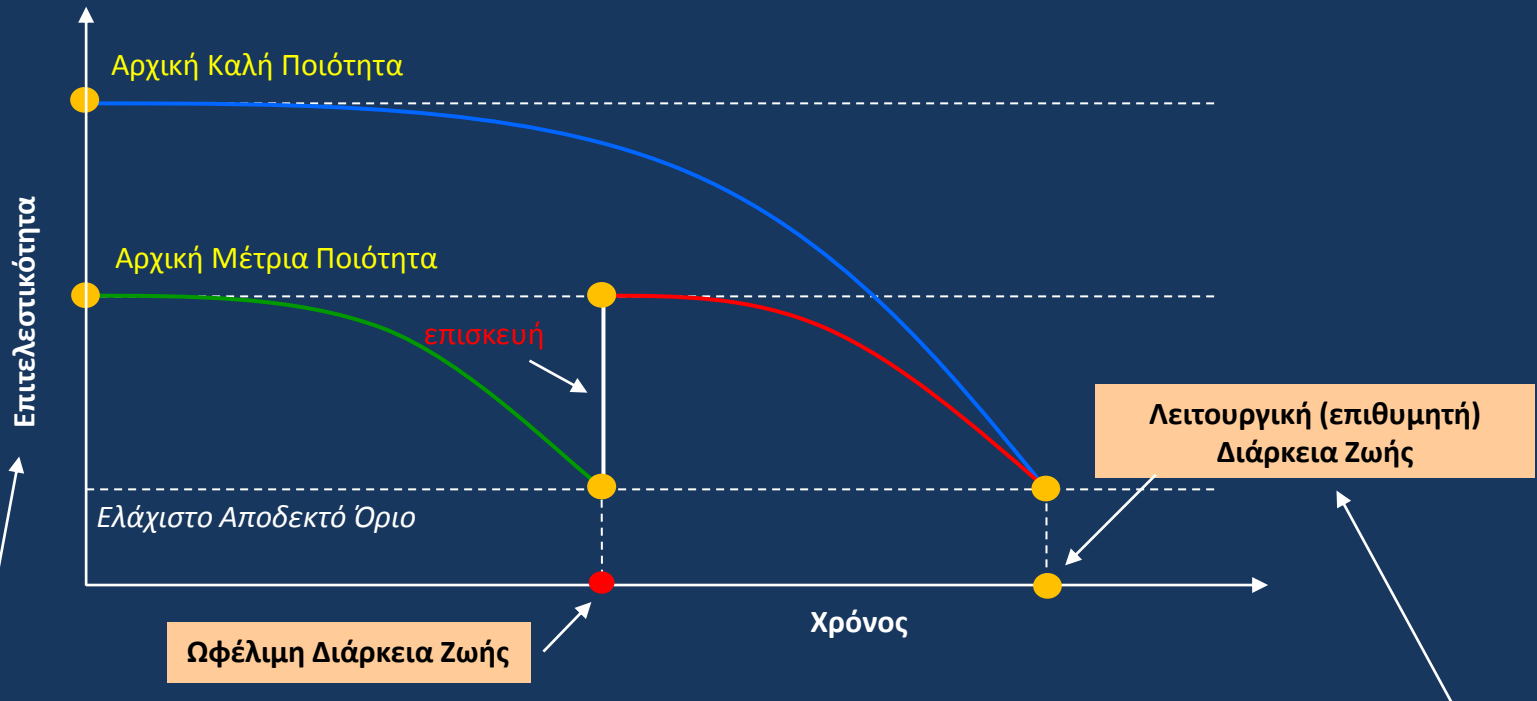




«Υπεύθυνοι» μη σωστής επικάλυψης σκυροδέματος (Clarke et al. 1997)

Κακή εκτέλεση εργασιών
Μη αποτελεσματική συντήρηση
Κακή ποιότητα σκυροδέτησης

Μη επαρκής επικάλυψη
Χρήση υλικών που δεν ενδείκνυται
Διάβρωση λόγω χλωριόντων



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



Πρόβλημα Ανθεκτικότητας

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

Μηχανικές Καταπονήσεις

Περιβαλλοντικές Δράσεις

“Φθορά”

Μείωση ωφέλιμης διάρκειας ζωής

Πτώση στάθμης επιτελεστικότητας

Πρόβλημα Ανθεκτικότητας

Τι ορίζουμε σαν «Ανθεκτικότητα»

- **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 χρησιμότητας ούτε υπερβολική και απρόβλεπτη συντήρηση.

Τι ορίζουμε σαν «Ανθεκτικότητα»

- **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 χρησιμότητας** ούτε υπερβολική και απρόβλεπτη συντήρηση.

Τι ορίζουμε σαν «Ανθεκτικότητα»

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 εμπειριστατωμένο σχεδιασμό, επιλογή υλικών και στην σωστή κατασκευή

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 ..

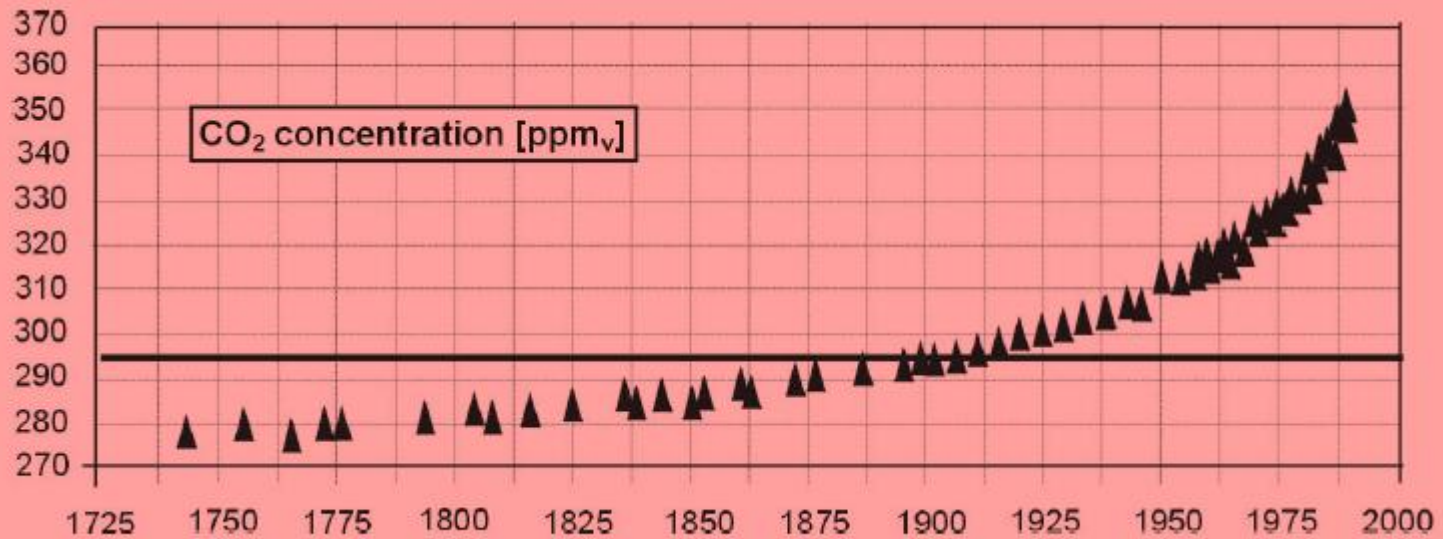
Μηχανισμοί Φθοράς

Διοξείδιο του άνθρακα

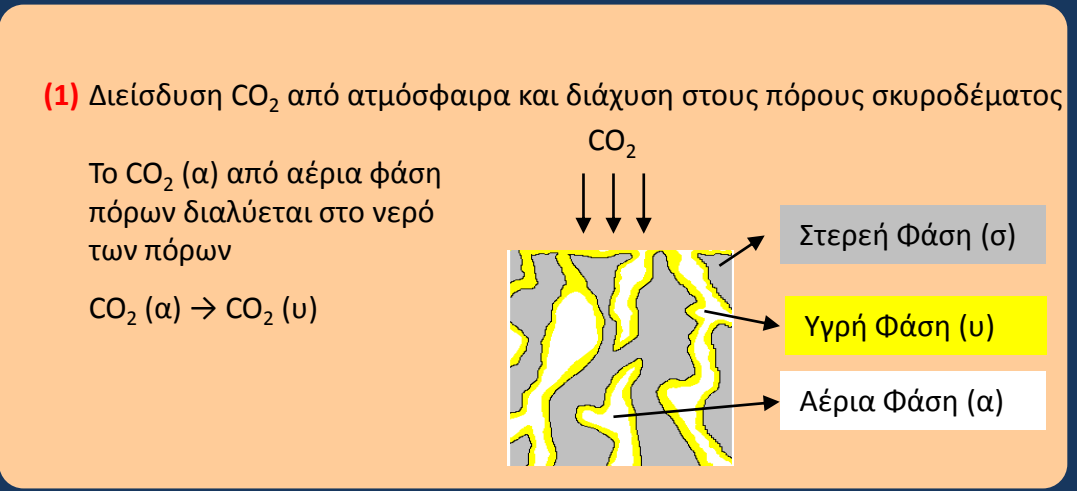
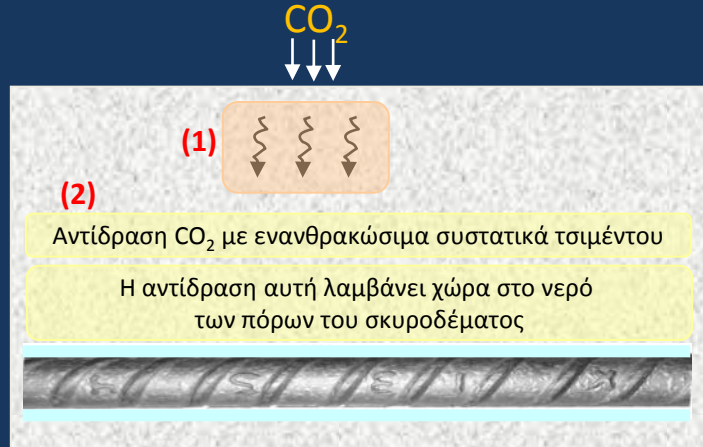


Χλωριόντα





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

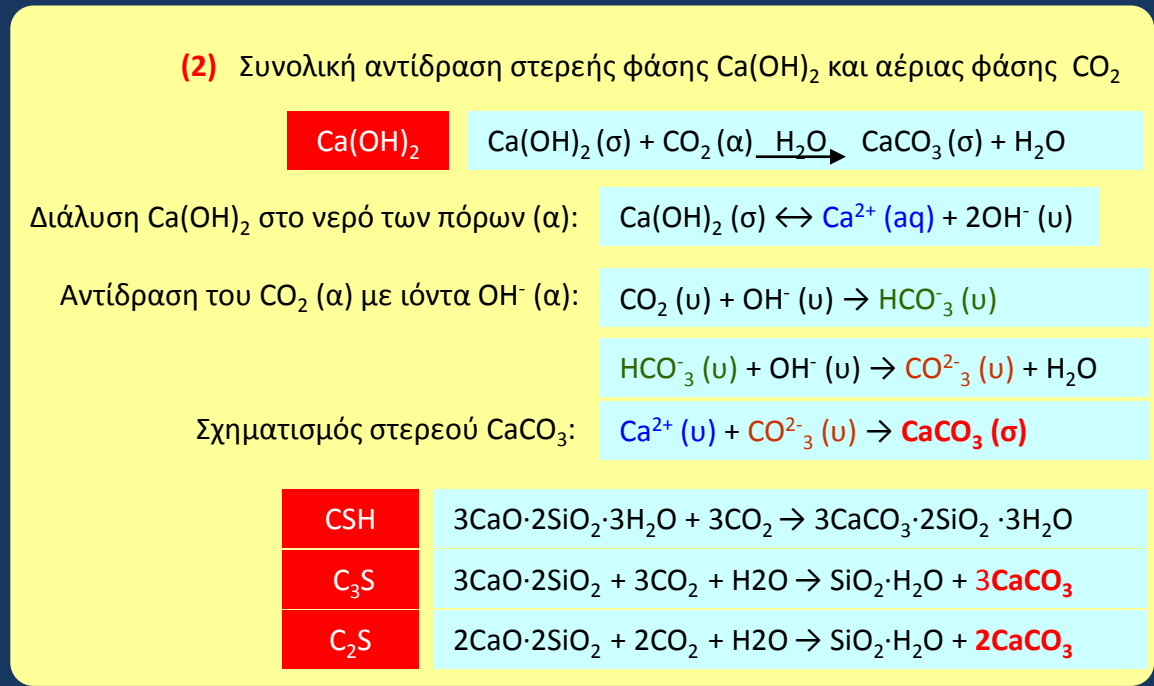


Προστατευτικό Στρώμα Οξειδίου του Σιδήρου ($2\text{Fe} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$)

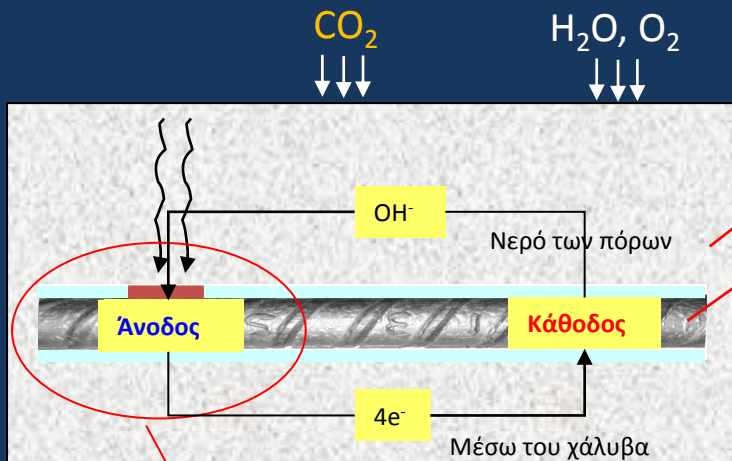
Εμπόδιο στον σχηματισμό της ανοδικής αντίδρασης διάλυσης ιόντων Fe^{2+}

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

Έναρξη διαδικασίας διάβρωσης



- 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

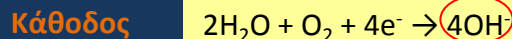
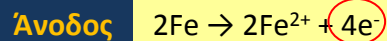


Το νερό των πόρων δρα σαν ηλεκτρολύτης

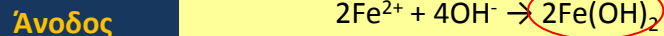
Ηλεκτρική σύνδεση από την ράβδο του χάλυβα

Άνοδος: τμήμα χάλυβα που έχει καταστραφεί
προστατευτικό στρώμα οξειδίων

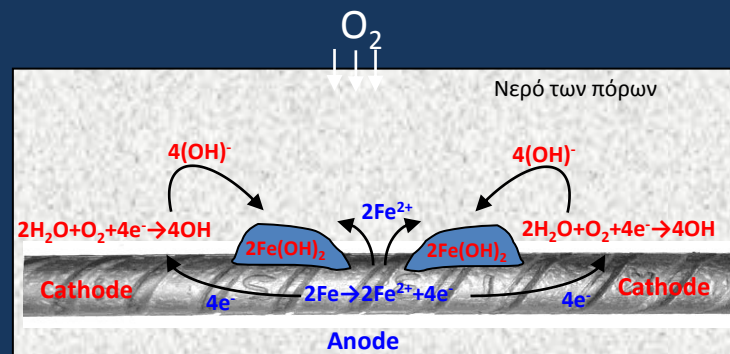
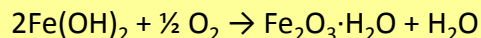
Δημιουργία πολλών ανοδικών περιοχών κατά μήκος της ράβδου (ομοιόμορφη διάβρωση)

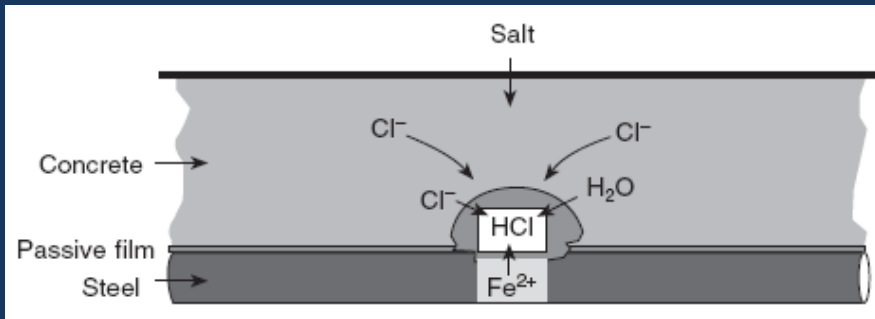
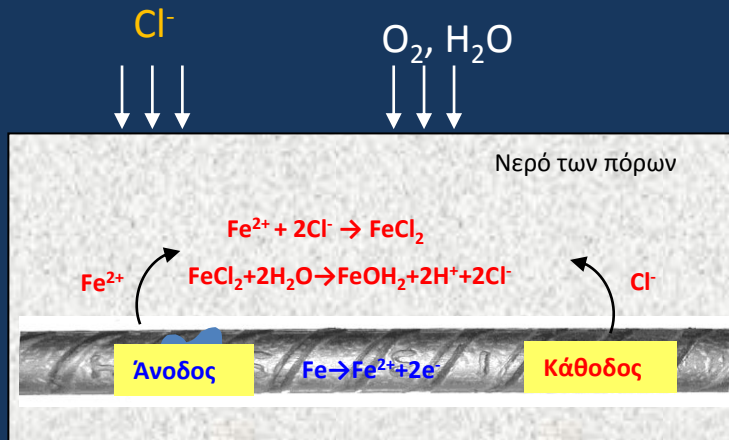


Νερό των πόρων

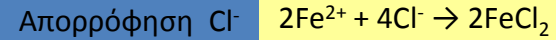
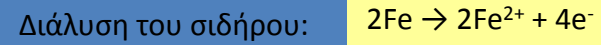


Παρουσία O_2

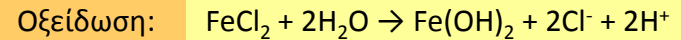




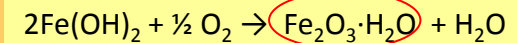
Άνοδο



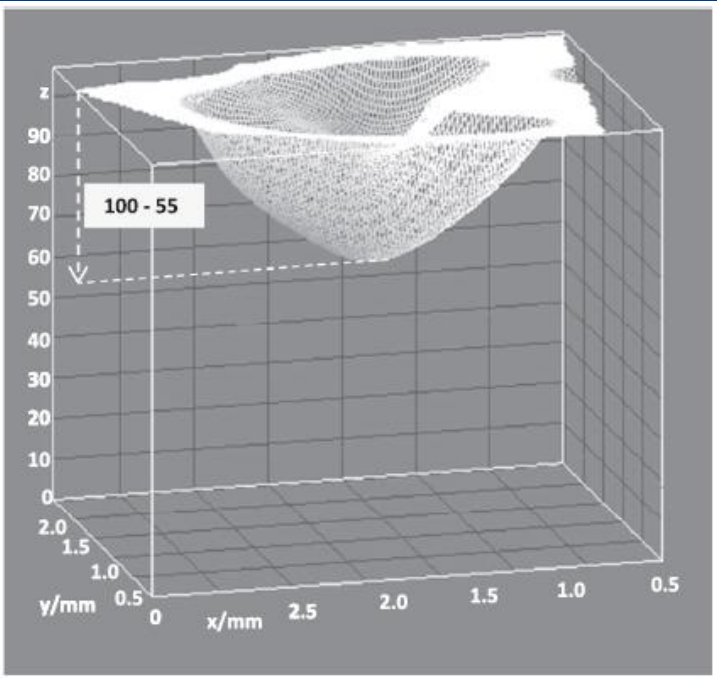
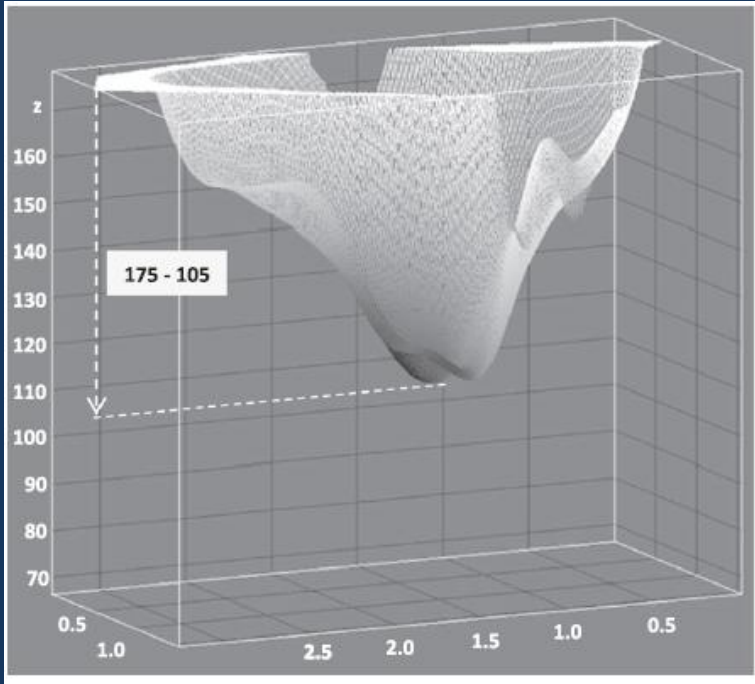
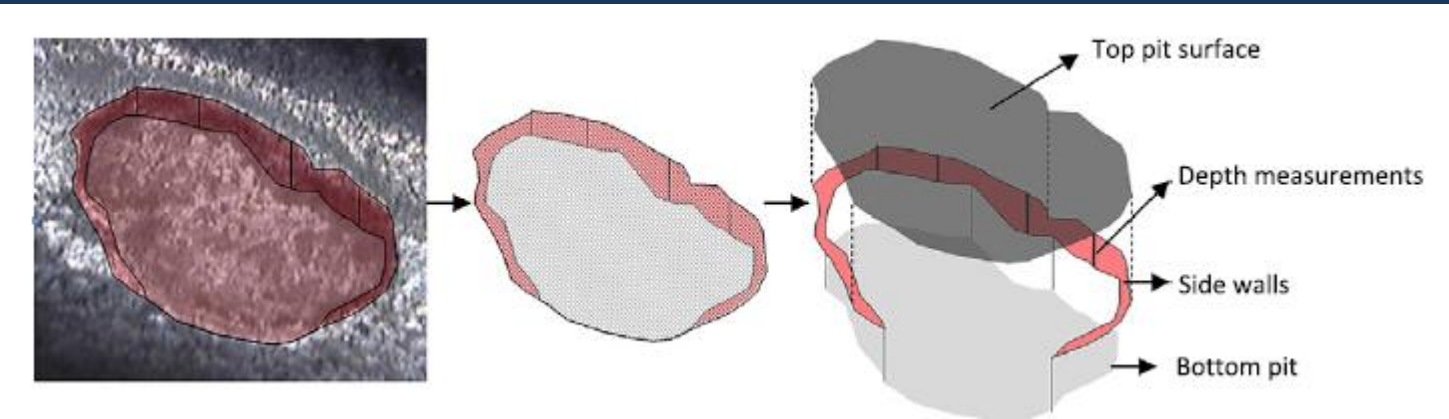
Κάθοδο



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).



Σωστή Κατασκευή





Τήρηση Κανονισμών

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ

Εν Ἀθήναις τῆ 7 Νοεμβρίου 1928

ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟΝ

Ἀριθμὸς φύλλου 2334

Συστάσεις
περιεκτικότητας
τοιμέντου

Ἡ τοιχοποιία ἐκ φυσικῶν ἢ τεχνητῶν λίθων θὰ κατασκευάζεται δι' ὑδραυλικῆς κονίας ἢ μικτῆς ἀσβεστοκονίας περιεχομένης τοῦλάχιστον 100 χιλ. τοιμέντου 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 ἐπιμεμηλημένη, τηρουμένων πάντων τῶν κανόνων τῆς τέχνης.

Αναφορά σε
ποιότητα
εκτέλεσης
εργασιῶν

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 ἑτοίμου 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 ἑτοίμου σκυροδέματος.

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

3. Διὰ τὴν περίπτωσιν κατασκευῶν ἐν θαλασσίῳ ὕδατι, βλπ. κεφάλαιον Γ.IV 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 νά προστατεύωνται δι' εἰδικῶν προφυλακτικῶν μέτρων. Ἰδιαιτέρως ἐπικίνδυνα εἶναι τὸ ὑδροχλωρικόν, τὸ νιτρικόν καὶ τὸ θεικόν 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 συνυπόλογίζεται εἰς τὰ ἀνωτέρω 4cm. Περαιτέρω συνιστῶνται εἰδικὰ δι' ἐκάστην περίπτωσιν βαφαί, ἐπενδύσεις κλπ. Δι' ἔργα ἐν θαλασσίῳ ὕδατι ἰσχύουν τὰ ἐν τῷ σχετικῷ κεφαλαίῳ «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 μὲ οὐχὶ πολὺ μικράν, 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



BS EN 206:2013
Incorporating corrigendum May 2014

BSI Standards Publication

Concrete — Specification,
performance, production and
conformity

bsi.

...making excellence a habit™



BS EN 197-1:2011
Incorporating corrigendum November 2011

BSI Standards Publication

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

bsi.

...making excellence a habit™

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ - 97

ΦΕΚ 315/Β/17-4-97

ΣΧΕΔΙΟ
ΓΙΑ ΔΗΜΟΣΙΑ ΚΡΙΣΗ ΤΟΥ

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
2015

EN 1990:2002 – Βασικές Απαιτήσεις

- Ένα δόμημα πρέπει να σχεδιάζεται και να εκτελείται με τέτοιο τρόπο ώστε με κατάλληλους βαθμούς αξιοπιστίας και κατά τρόπο οικονομικό να
 - αντεπεξέρχεται σε όλες τις δράσεις και επιδράσεις οι οποίες είναι πιθανόν να εμφανισθούν κατά τη χρήση του
 - να παραμένει κατάλληλο για τη χρήση για την οποία απαιτείται κατά τη διάρκεια της προβλεπόμενης ζωής του.
- Ένα δόμημα πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να διαθέτει επαρκή
 - δομική αντίσταση του φ.ο.
 - λειτουργικότητα
 - και ανθεκτικότητα

(Διάρκεια Ζωής Σχεδιασμού)

Προβλεπόμενη χρονική περίοδος κατά την οποία ένα δόμημα πρόκειται να χρησιμοποιείται για το σκοπό που προορίζεται με πρόβλεψη συντήρησης αλλά χωρίς να υπάρξει ανάγκη ουσιαστών επισκευών.

Πίνακας 2.1 – Ενδεικτική διάρκεια ζωής σχεδιασμού

Κατηγορία διάρκειας ζωής σχεδιασμού	Ενδεικτική διάρκεια ζωής σχεδιασμού (έτη)	Παραδείγματα
1	10	Προσωρινές Κατασκευές ⁽¹⁾
2	10 έως 25	Δομικά στοιχεία που μπορούν να αντικαθίστανται π.χ. ικριώματα ανάρτησης, εφέδρανα
3	15 έως 30	Αγροτικές και παρεμφερείς κατασκευές
4	50	Κτιριακά και λοιπές συνήθεις κατασκευές
5	100	Μνημειακές κατασκευές, γέφυρες και άλλα τεχνικά έργα

⁽¹⁾ Οι φορείς και τα δομικά στοιχεία που έχουν τη δυνατότητα να αποσυναρμολογούνται εν όψει επαναχρησιμοποίησής τους δεν θα πρέπει να θεωρούνται ως προσωρινοί.

Το Πρότυπο EN197-1 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)



Κυριότεροι Τύποι Τσιμέντου	Όνομασία	Τύπος Τσιμέντου	Σύνθεση (% μέρη κατά βάρους) ¹										Δευτερεύοντα συστατικά		
			Κύρια συστατικά												
			Κλίνκερ τσιμέντου Portland	Σκωρία	Πυρρική Παιπάλη	Ποζολάνη		Ιπτάμενη Τέφρα		Ψημένος σχιστόλιθος	Αβεστόλιθος				
						Φυσική	Τεχνητή	Πυρρική	Αβεστόλιθος						
K	S	D ²	P	Q	V	W	T	L ⁴	LL ⁵						
CEM I	Τσιμέντο Portland	CEM I	95-100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM II	Τσιμέντο Portland με σκωρία υφικαμίνων	CEM II/A-S	80-94	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Τσιμέντο Portland με πυρρική παιπάλη	CEM II/A-D	90-94	—	6-10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Τσιμέντο Portland με ποζολάνη	CEM II/A-P	80-94	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-P	65-79	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Τσιμέντο Portland με ιπτάμενη τέφρα	CEM II/A-V	80-94	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-V	65-79	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/A-W	80-94	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-W	65-79	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	0-5
	Τσιμέντο Portland με ψημένο σχιστόλιθο	CEM II/A-T	80-94	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-T	65-79	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	0-5
	Τσιμέντο Portland με αβεστόλιθο	CEM II/A-L	80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	0-5
		CEM II/B-L	65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21-35	0-5
	Τσιμέντο Portland - σύνθετο ³	CEM II/A-M	80-94	6-20						—	—	—	—	0-5	
		CEM II/B-M	65-79	21-35						—	—	—	—	0-5	
CEM III	Σκωριοτσιμέντο	CEM III/A	35-64	36-65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM IV	Ποζολανικό Τσιμέντο ³	CEM IV/A	65-89	—	11-35				—	—	—	—	0-5		
		CEM IV/B	45-64	—	36-55				—	—	—	—	0-5		
CEM V	Σύνθετο Τσιμέντο	CEM V/A	40-64	18-30	—	18-30		—	—	—	—	—	—	0-5	
		CEM V/B	20-39	31-50	—	31-50		—	—	—	—	—	—	0-5	

Το Πρότυπο EN206:2013 για το Σκυρόδεμα

- Ταξινόμηση περιβαλλοντικών επιδράσεων σε τάξεις έκθεσης
- Κύριες δράσεις φθοράς: διάβρωση του σπλισμού (ενανθράκωση, επίδραση Cl⁻), δράση παγετού, χημική προσβολή. (Επιλέγονται από μελετητή έργου και περιλαμβάνονται στην προδιαγραφή)



Κ Α Τ Η Γ Ο Ρ Ι Ε Σ Έ Κ Θ Ε Σ Η Σ	Χωρίς διάβρωση ή προσβολή	X0
		XC1
	Διάβρωση που προκαλείται μέσω ενανθράκωσης	XC2
		XC3
		XC4
	Διάβρωση που προκαλείται μέσω Cl ⁻ θαλάσσιου νερού	XS1
		XS2
		XS3
	Διάβρωση που προκαλείται μέσω Cl ⁻ εκτός θαλάσσιου νερού	XD1
		XD2
	XD3	
	XF1	
	XF2	
	XF3	
	XF4	
	XA1	
	Χημικώς Δραστικό Περιβάλλον	XA2
		XA3

Πίνακας ΠΒ2-1: Κατηγορίες Εκθεσης

Κατηγορία	Περιγραφή περιβάλλοντος	Παραδείγματα
1 Χωρίς κίνδυνο διάβρωσης ή προσβολής		
Χ0	Για άοπλο σκυρόδεμα χωρίς ενσωματωμένα μεταλλικά στοιχεία. Όλες οι εκθέσεις εκτός από: ψύξη/ απόψυξη, φθορά, χημική προσβολή. Οπλισμένο σκυρόδεμα ή σκυρόδεμα με ενσωματωμένα μεταλλικά στοιχεία. Πολύ ξηρό περιβάλλον	Σκυρόδεμα εσωτερικών χώρων κτιρίων με χαμηλή υγρασία
2 Διάβρωση λόγω ενανθράκωσης		
Οπλισμένο σκυρόδεμα (ή σκυρόδεμα με ενσωματωμένα μεταλλικά στοιχεία) εκτεθειμένο στον ατμοσφαιρικό αέρα και την υγρασία, κατηγοριοποιείται ως εξής:		
XC1	Ξηρό ή μονίμως υγρό	Σκυρόδεμα εσωτερικών χώρων με χαμηλή ατμοσφαιρική υγρασία. Σκυρόδεμα μονίμως βυθισμένο στο νερό.
XC2	Υγρό, σπάνια ξηρό	Επιφάνεια σκυροδέματος σε μακρόχρονη επαφή με νερό. Πολλές θεμελιώσεις
XC3	Μέτρια υγρασία	Σκυρόδεμα εσωτερικών χώρων με μέτρια ή υψηλή ατμοσφαιρική υγρασία. Εξωτερικό σκυρόδεμα προστατευμένο από τη βροχή.
XC4	Εναλλαγή ξηρού και υγρού	Επιφάνεια σκυροδέματος εκτεθειμένη σε μη συνεχή επαφή με νερό.

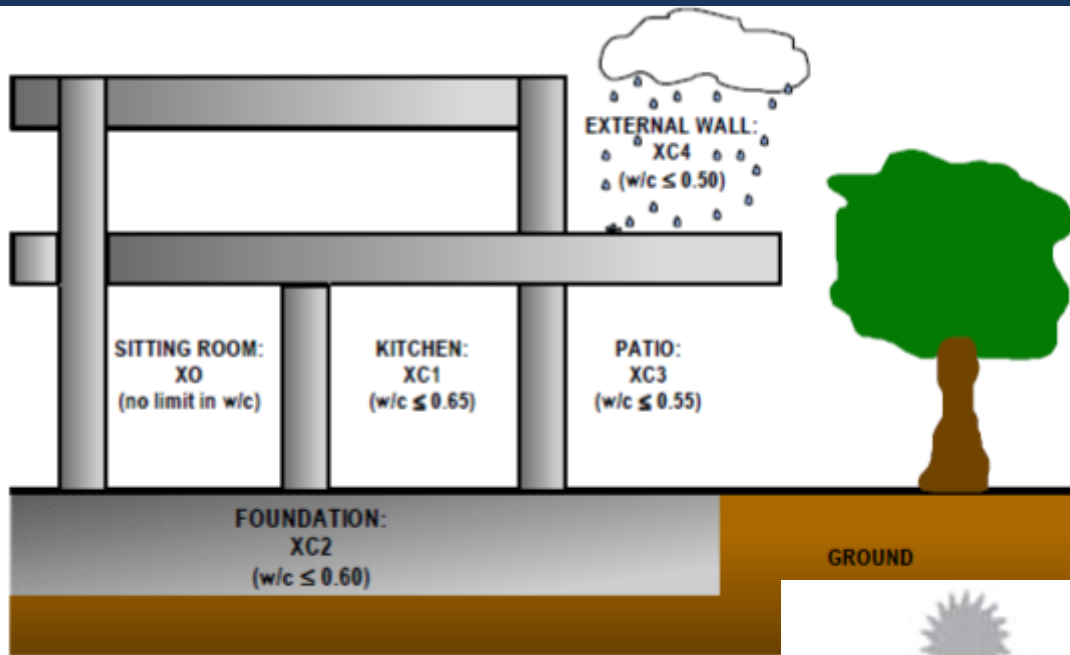
Κατηγορία	Περιγραφή περιβάλλοντος	Παραδείγματα
3 Διάβρωση από χλωριόντα (εκτός θαλασσινού νερού) Οπλισμένο σκυρόδεμα (ή σκυρόδεμα με ενσωματωμένα μεταλλικά στοιχεία) σε επαφή με νερό (εκτός θαλασσινού) το οποίο περιέχει χλωριόντα, συμπεριλαμβανομένων των αντιπαγετικών αλάτων, κατηγοριοποιείται ως εξής: ΣΗΜΕΙΩΣΗ. Σχετικά με την υγρασία δες την παράγραφο 2 του Πίνακα.		
XD1	Μέτρια υγρασία	Επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες σε χλωριόντα ατμοσφαιρικού αέρα
XD2	Υγρό, σπάνια ξηρό	Πισίνες. Σκυρόδεμα εκτεθειμένο σε νερά βιομηχανικής προέλευσης που περιέχουν χλωριόντα
XD3	Εναλλαγή ξηρού και υγρού	Τμήματα γεφυρών που ψεκάζονται με χλωριόντα. Πεζοδρόμια. Πλάκες σε χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων
4 Διάβρωση από χλωριόντα θαλασσινού νερού Οπλισμένο σκυρόδεμα (ή σκυρόδεμα με ενσωματωμένα μεταλλικά στοιχεία) σε επαφή με χλωριόντα θαλασσινού νερού ή με αέρα που μεταφέρει θαλάσσια άλατα.		
XS1	Εκθεση σε αερομεταφερόμενα άλατα αλλά όχι σε επαφή με θαλασσινό νερό	Παράκτιες κατασκευές
XS2	Σκυρόδεμα μονίμως βυθισμένο σε θαλασσινό νερό	Τμήματα λιμενικών έργων
XS3	Εκτεθειμένο σε παλίρροια και διαβροχή	Τμήματα λιμενικών έργων

5 Προσβολή από ψύξη / απόψυξη με ή χωρίς παρουσία αντιπαγετικών υλικών

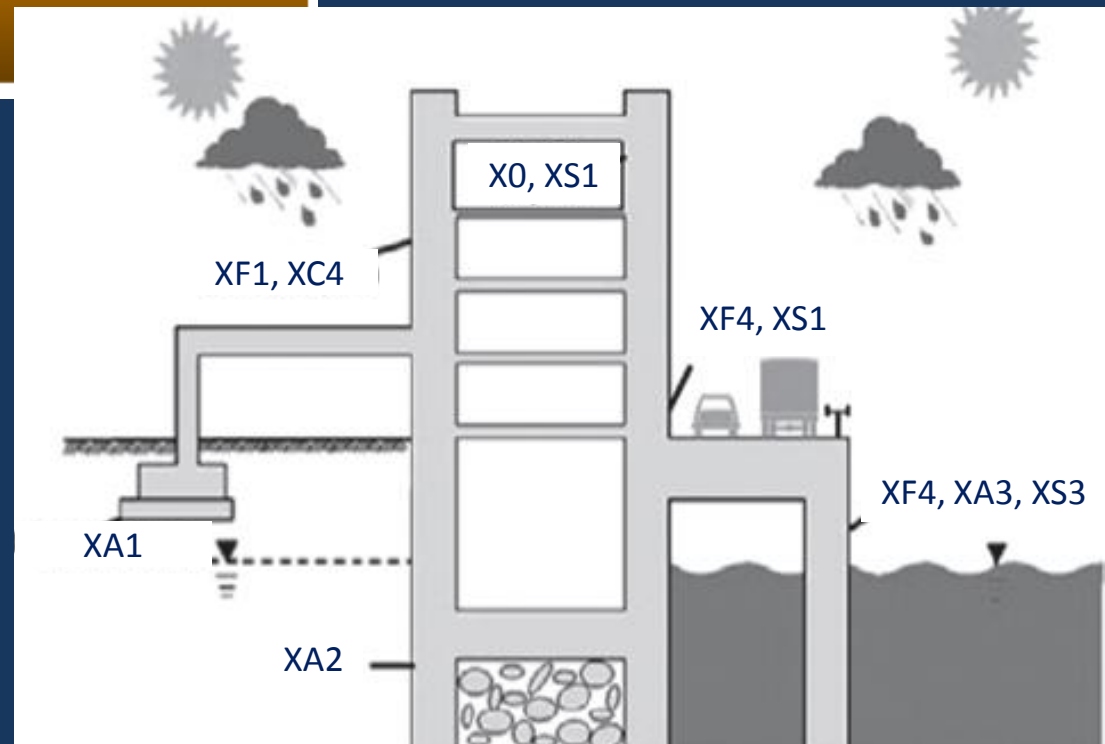
Υγρό σκυρόδεμα εκτεθειμένο σε προσβολή από κύκλους ψύξης/απόψυξης κατηγοριοποιείται ως εξής:

XF1	Μέτριος κορεσμός χωρίς παρουσία αντιπαγετικών υλικών	Κατακόρυφες επιφάνειες εκτεθειμένες σε βροχή και παγετό
XF2	Μέτριος κορεσμός με παρουσία αντιπαγετικών υλικών	Κατακόρυφες επιφάνειες έργων οδοποιίας εκτεθειμένες στον παγετό και σε αερομεταφερόμενα αντιπαγετικά στον παγετό και σε αερομεταφερόμενα αντιπαγετικά υλικά
XF3	Υψηλός κορεσμός χωρίς παρουσία αντιπαγετικών υλικών	Οριζόντιες επιφάνειες εκτεθειμένες σε βροχή και παγετό
XF4	Υψηλός κορεσμός με παρουσία αντιπαγετικών υλικών ή θαλασσινό νερό	Δρόμοι και καταστρώματα γεφυρών εκτεθειμένα σε αντιπαγετικά υλικά Επιφάνειες εκτεθειμένες στον παγετό και σε άμεσο ψεκασμό με αντιπαγετικά υλικά Τμήματα λιμενικών έργων εκτεθειμένα σε διαβροχή και παγετό.

Κατηγορία	Περιγραφή περιβάλλοντος	Παραδείγματα
<p>6 Χημική προσβολή</p> <p>Σκυρόδεμα εκτεθειμένο σε προσβολή χημικών ουσιών (Πίνακας ΠΒ2-2 αυτού του Παραρτήματος) που περιέχονται στο έδαφος ή σε υπόγεια νερά. Το θαλασσινό νερό κατηγοριοποιείται τοπικά σύμφωνα με την γεωγραφική του θέση.</p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ. Ειδική μελέτη μπορεί να χρειαστεί για τις ακόλουθες περιπτώσεις προσβολής :</p> <ul style="list-style-type: none"> – για τιμές εκτός των ορίων του Πίνακα ΠΒ2-2 – για προσβολή από άλλα επιβλαβή χημικά – για χημικά μολυσμένο έδαφος ή νερό – για υψηλή ταχύτητα νερού σε συνδυασμό με το χημικά του Πίνακα ΠΒ2-2. 		
XA1	Ελαφρά διαβρωτικό χημικό περιβάλλον, σύμφωνα με τον Πίνακα ΠΒ2-2	
XA2	Μέτρια διαβρωτικό χημικά περιβάλλον, σύμφωνα με τον Πίνακα ΠΒ2-2	
XA3	Έντονα διαβρωτικό χημικά περιβάλλον, σύμφωνα με τον Πίνακα ΠΒ2-2	
<p>7 Τριβή / Απότριψη</p>		
XM1	Μέτρια επιφανειακή φθορά	
XM2	Έντονη επιφανειακή φθορά	
XM3	Ακραία επιφανειακή φθορά	



- Το σκυρόδεμα μπορεί να υφίσταται περισσότερες από μια επιδράσεις
- Περιβαλλοντικές συνθήκες μπορεί να εκφράζονται με συνδυασμό κατηγοριών έκθεσης.



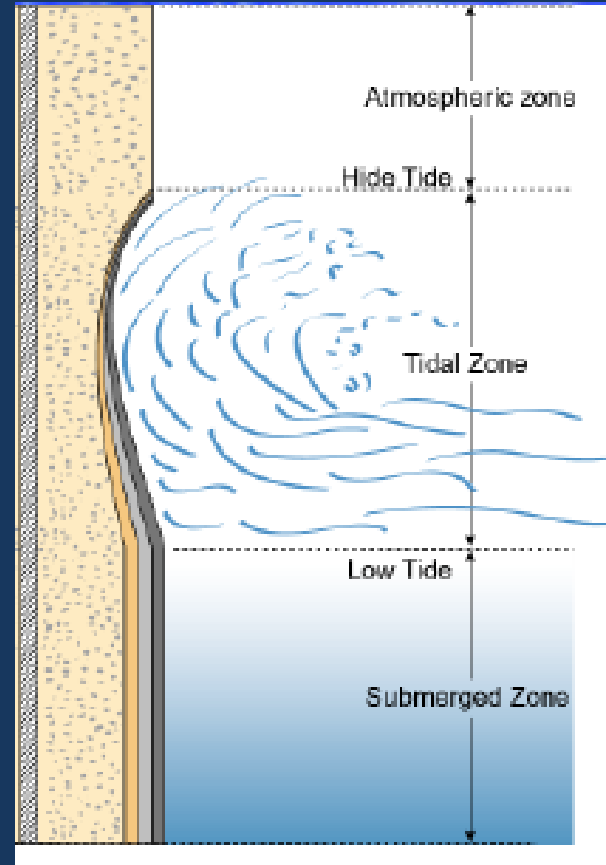
- Μεγάλη προσοχή στη κατηγορία έκθεσης



Έκθεση στην Ατμόσφαιρα

Έκθεση σε splash/tidal

Submerged zone



Submerged Zone

Tidal Zone

Splash Zone

Atmospheric Zone

Το Πρότυπο EN206:2013 για το Σκυρόδεμα

- Προδιαγράφονται **απαιτήσεις** για **συστατικά υλικά του σκυροδέματος** ιδιότητες σκυροδέματος, κριτήρια συμμόρφωσης, **περιορισμοί σύνθεσης σκυροδέματος**

Πίνακας B2-7 - Απαιτήσεις για το σκυρόδεμα ανάλογα με την κατηγορία έκθεσης

Κατηγορία έκθεσης	Κατηγορίες έκθεσης																									
	Χωρίς κίνδυνο διάβρωσης ή προσβολής	Διάβρωση λόγω ενανθράκωσης ^ε					Διάβρωση λόγω χλωριόντων									Προσβολή από ψύξη/απόψυξη				Χημική προσβολή ^β			(Τριβή / Απότριψη)			
							Θαλασσινό νερό						Χλωριόντα που δεν προέρχονται από θαλασσινό νερό													
							Τσιμέντα II, III, IV (Εκτός II / B-LL)			Τσιμέντα I, II / B-LL																
Χ0	ΧC1	ΧC2	ΧC3	ΧC4	ΧS1	ΧS2	ΧS3	ΧS1	ΧS2	ΧS3	ΧD1	ΧD2	ΧD3	ΧF1	ΧF2	ΧF3	ΧF4	ΧA1	ΧA2	ΧA3	ΧM1	ΧM2	ΧM3			
1 max N/T	---	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	0,55	0,55	0,55	0,50	0,55	0,50	0,45	0,50	0,45	0,40		
2 min κατηγορία αντοχής	C 12/15	C 20/25	C 25/30	C 25/30	C 30/37	C 25/30	C 26/32	C 25/30	C 26/32	C 30/37	C 30/37	C 30/37	C 35/45	C 30/37	C 32/40	C 35/45	C 28/35	C 25/30	C 25/30	C 30/37	C 28/35	C 30/37	C 35/45	C35/45 (C32/40)	C40/50 (C35/45)	C50/60 (C45/55)
3 min περιεκτικότητα σε τσιμέντο kg/m ³	---	290	300	300	320	330	330	330	330	350	330	330	350	330	330	350	320	300	300	320	320	340	300	320 (300)	340 (320)	300 (320)
4 min επικάλυψη για ανθεκτικότητα ^γ mm		25	25	35	35	45	40	45	40	60	40	40	50	35	40	60				35	35	35				
5 min περιεκτικότητα σε αέρα (%)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	4,0 ^α	4,0 ^α	4,0 ^α	---	---	---				
6 Άλλες απαιτήσεις	Σημ.: Άοπλο σκυρόδεμα					Σημ.: Παραθαλάσσιο 1,5 km	Σημ.: Μόνιμα μέσα στη θάλασσα	Σημ.: Διαβρεχόμενες ζώνες									Αδρανή σύμφωνα με ΕΛΟΤ EN12620+A1 με ικανοποιητική αντοχή σε παγετό ^δ					Τσιμέντο ανθεκτικό σε θειικά ^ε		LA ≤ 27 (LAs20)	LA ≤ 25 (LAs20)	LA ≤ 22 (LAs20)

^α Όταν δεν προστίθεται αερακτικό πρόσθετο, η επιπεδιστικότητα του σκυροδέματος πρέπει να ελέγχεται με κατάλληλη μέθοδο, σε σύγκριση με σκυρόδεμα του οποίου η αντοχή σε ψύξη/απόψυξη για την αντίστοιχη κατηγορία έκθεσης είναι αποδεδειγμένη.

^β Για αυτή την κατηγορία έκθεσης (ΧΑ) ισχύουν και οι παράγραφοι Β7.7.5 και Β7.7.6 του παρόντος ΚΤΣ. Όταν η ύπαρξη SO₄²⁻ οδηγεί σε κατηγορία ΧΑ2 και ΧΑ3, τότε είναι απαραίτητη η χρήση τσιμέντου ανθεκτικού σε θειικά σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1.

^γ Οι τιμές της επικάλυψης αφορούν σπλισμένο σκυρόδεμα.

^δ Για τα αδρανή υλικά ισχύει και η παράγραφος Β1.3.3.3 του παρόντος ΚΤΣ.

^ε Όταν το σκυρόδεμα είναι επιχρισμένο έχει εφαρμογή η παράγραφος Β2.2.5.2

Υπολογισμός Επικάλυψης Σκυροδέματος

- Κατηγοριοποίηση Κατασκευών (S1-) κατά Ευρωκώδικα 2
- Υπολογισμός Ελάχιστης Επικάλυψης βάση περιβαλλοντικών συνθηκών

Πίνακας 4.3N – Συνιστώμενη ταξινόμηση κατασκευών

Κατηγορία Κατασκευής							
Κριτήριο	Κατηγορία Έκθεσης σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3 / XS2 / XS3
Διάρκεια ζωής σχεδιασμού 100 χρόνια	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2
Κατηγορία αντοχής ^{1,2)}	≥ C30/37 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C30/37 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C35/45 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C40/50 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C40/50 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C40/50 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C45/55 μείωση κατηγορίας κατά 1
Δομικό στοιχείο με γεωμετρία πλάκας (η θέση του οπλισμού δεν επηρεάζεται από τη διαδικασία κατασκευής)	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1
Διασφάλιση ειδικού ελέγχου ποιότητας παραγωγής σκυροδέματος	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b}, c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}, 10 \text{ mm} \}$$

Πιν. 4.4N Για Χάλυβα Οπλισμού

	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1 ^{a)}	XS2 ^{a)}	XS3	XD1	XD2	XD3
S1	10	20	10	20	20	25	25	35	20	25	35
S2	10	20	15	25	25	30	30	40	25	30	40
S3	10	20	20	30	30	35	35	45	30	35	45
S4	10	25	25	35	35	40	40	50	35	40	50
S5	15	30	30	40	40	45	45	55	40	45	55
S6	20	35	35	45	45	50	50	60	45	50	60

Πιν. 4.5N Για Χάλυβα Προέντασης

	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1 ^{a)}	XS2 ^{a)}	XS3	XD1	XD2	XD3
S1	10	25	20	30	30	35	35	45	30	35	45
S2	10	25	25	35	35	40	40	50	35	40	50
S3	10	30	30	40	40	45	45	55	40	45	55
S4	10	35	35	45	45	50	50	60	45	50	60
S5	15	40	40	50	50	55	55	65	50	55	65
S6	20	45	45	55	55	60	60	70	55	60	70

$c_{min,b}$ Ελάχιστη επικάλυψη για ικανοποίηση απαίτησης συνάφειας

$c_{min,dur}$ Ελάχιστη επικάλυψη λόγω περιβαλλοντικών συνθηκών

$\Delta c_{dur,\gamma}$ Πρόσθετο στοιχείο ασφαλείας

$\Delta c_{dur,st}$ Μείωση ελάχιστης επικάλυψης λόγω χρήσης ανοξείδωτου χάλυβα

$\Delta c_{dur,add}$ Μείωση ελάχιστης επικάλυψης σε περίπτωση πρόσθετης προστασίας

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 ..

- Καθορίζεται ανθεκτικότητα έργου σε συνάρτηση με:
 - διάρκεια ζωής του (έμμεσα), Κατηγορίες Έκθεσης
 - μέσω ελέγχου σύνθεσης και κατασκευαστικών απαιτήσεων
- Εισάγεται ο σχεδιασμός βάσει επιτελεστικότητας.

Deemed-to-Satisfy method

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 ..

Deemed-to-Satisfy method

Αρκεί??

Συνήθως
ΝΑΙ

Δομημένο Σχεδιασμό Ανθεκτικότητας
Έξω από το πλαίσιο "Deemed-to-satisfy"

Δομημένος Σχεδιασμός Ανθεκτικότητας

- Ορισμός απαιτήσεων σχεδιασμού

- Είδος κατασκευής
- Επιθυμητή Διάρκεια ζωής
- Επιθετικός παράγοντας

Δομημένος
Σχεδιασμός
Ανθεκτικότητας
Κατασκευών
Οπλισμένου Σκυροδέματος

- Ζητούμενο: «Μηχανισμός» όπου λαμβάνοντας υπόψη

- Διαδικασία φθοράς σκυροδέματος
- Τρόπος – μορφή αστοχίας
- Ιδιαιτερότητες - ιδιότητες έργου
- Επιλογή κατασκευαστικών υλικών
- Επιλογή τυχών προστατευτικών μέσων
- Συνθήκες περιβαλλοντικής έκθεσης
- Επιθυμητός χρόνος ζωής κατασκευής

Όσο το δυνατόν πιο ακριβής εκτίμηση του αν η κατασκευή μπορεί να ανταπεξέλθει επιτυχώς στο επιθετικό περιβάλλον στη διάρκεια ζωής της.

Τελικό ζητούμενο: Ωφέλιμη Διάρκεια Ζωής

Χρήση Μαθηματικών μοντέλων
Εκτίμησης διάρκειας Ζωής

- Νέες κατασκευές (αρχικός σχεδιασμός)
- Εκτίμηση υπαρχουσών κατασκευών

Δομημένος
Σχεδιασμός
Ανθεκτικότητας
Κατασκευών
Οπλισμένου Σκυροδέματος

Με τον Πελάτη
Καθορισμός Απαιτούμενης Διάρκειας Ζωής t_g)
Ορισμός του τι σημαίνει «Τέλος» Διάρκειας Ζωής

Ορισμός Κατηγοριών Έκθεσης

Αρχικός Σχεδιασμός

Ανασχεδιασμός

Επισήμανση Κρίσιμων Μελών κατασκευής για σχεδιασμό ανθεκτικότητας

Δίνετε να τροποποιηθεί ο αρχικός σχεδιασμός ώστε να αποφύγουμε πρόβλημα ανθεκτικότητας?

Επιλογή νέων παραμέτρων

Μελέτη Σύνθεσης Σκυροδέματος

Δίνετε μέσω τροποποιήσεων να αλαχθεί t_p ?

Εκτίμηση Διάρκειας Ζωής (t_p)

$t_p < t_g$

$t_p \geq t_g$

Οικονομοτεχνική μελέτη
Επιλογή cost-effective λύσης

Διαθέσιμες
Στρατηγικές

Μαθηματικά μοντέλα Εκτίμησης διάρκειας Ζωής

Μηχανισμούς έναρξης διάβρωσης οπλισμού

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

Εμπειρικά

Φυσικο-Χημικά (deterministic)

Στοχαστικά

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

Εκτίμηση διάρκειας Ζωής

Δεδομένα

Μελέτη Σύνθεσης Σκυροδέματος/Ιδιότητες δομικού στοιχείου

Περιβαλλοντικές Συνθήκες Έκθεσης

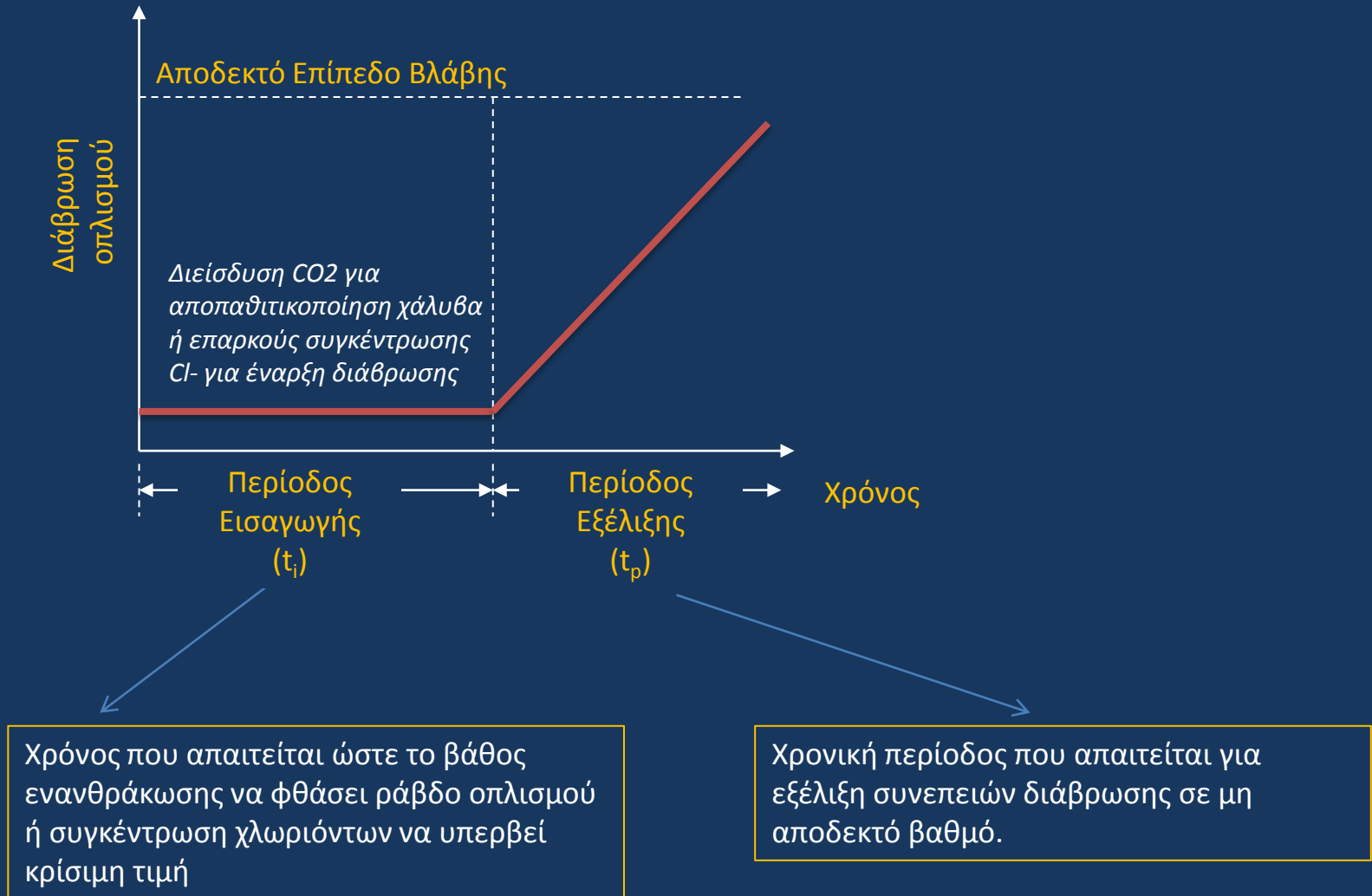
Μαθηματικό
Μοντέλο

Εξομοίωση φυσικο-χημικών διεργασιών
«φθοράς» σκυροδέματος

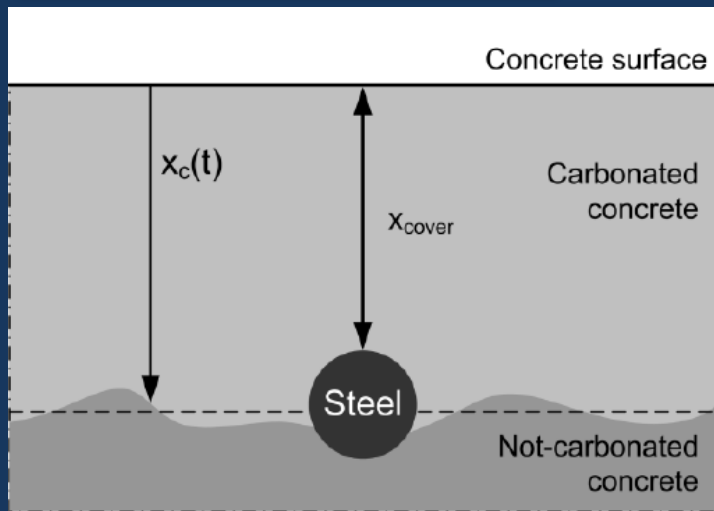
Υπολογισμός συντελεστή διαχυτότητας βλαβερών ουσιών

Εκτίμηση Διάρκειας Ζωής
(εκτίμηση «φθοράς» σε βάθος χρόνου)

Ορισμός Διάρκειας Ζωής



Ενανθράκωση



- Αρκετές εμπειρικές σχέσεις εκτίμησης βάθους ενανθράκωσης

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

Ho and Lewis, 1987, Roy et al, 1999

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

Schiessl, 1976

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

$$d = 0.43 \cdot w/c - 0.4 \cdot [12 \cdot t - 1]^{0.5} + 0.1 \quad \text{Parrot, 1987}$$

- 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

Ενανθράκωση

- 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

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

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

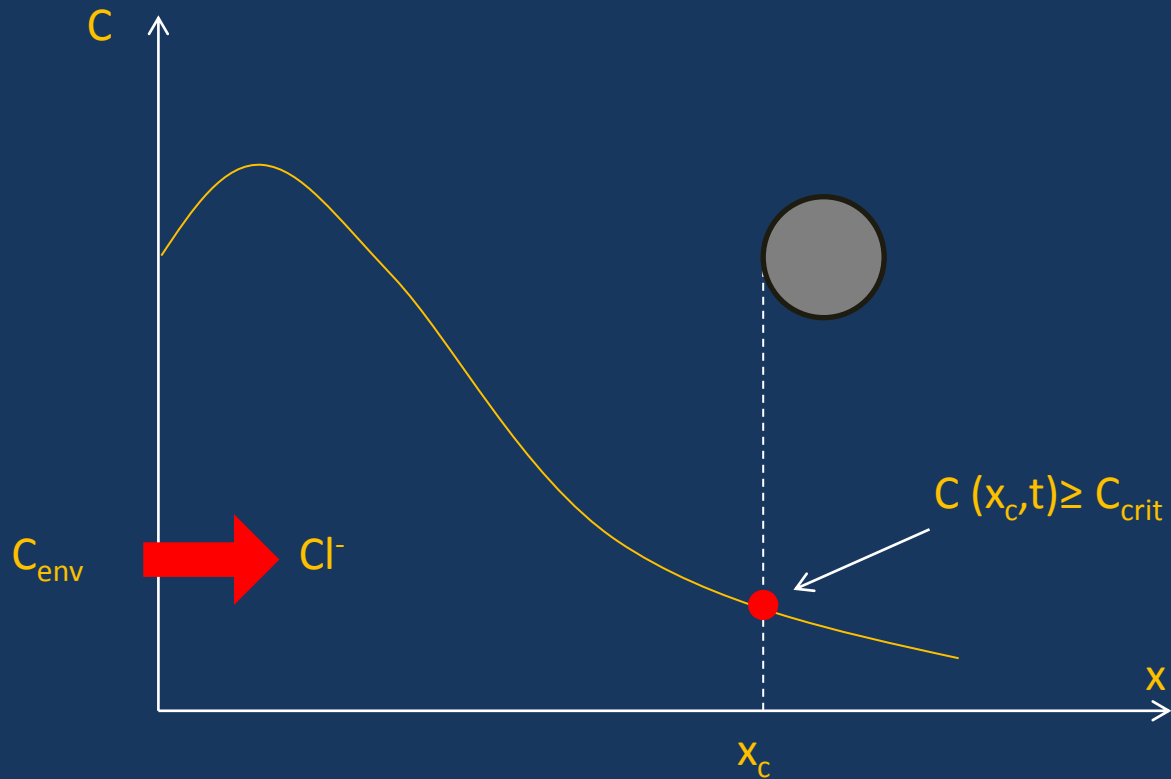
eucon

$$x_c(t_{sl}) = \sqrt{2k_e k_c \left(t R_{ACC,0}^{-1} + \varepsilon_t \right) C_s} \cdot \sqrt{t_{sl}} \cdot W(t_{sl})$$

$$t_{ini} = \left(\frac{2k_e k_c \left(t R_{ACC,0}^{-1} + \varepsilon_t \right) C_s}{a^2} t_0^{2w} \right)^{\left(\frac{1}{2w-1} \right)}$$

fib model

Δράση Χλωριόντων



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

Δράση Χλωριόντων

- 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)

$$\frac{C_x}{C_s} = 1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2 \sqrt{D_{ca} t}}$$

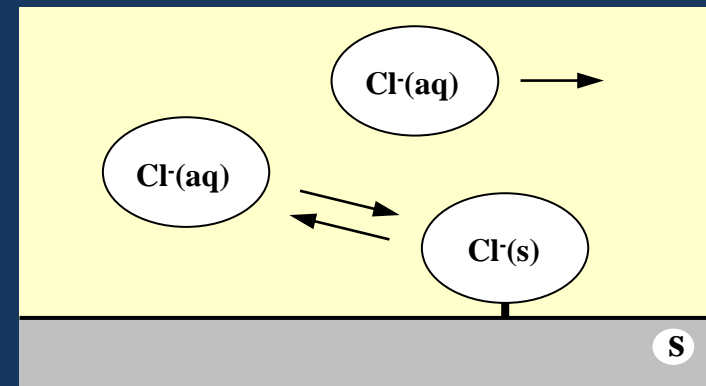
D, συντελεστής διαχυτότητας

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)



Δράση Χλωριόντων

- 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)

$$\frac{C_x}{C_s} = 1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2 \sqrt{D_{ca} t}}$$

- Κλασική μορφή 2^{οθ} νόμου Fick υποθέτει ταθερό (με χρόνο) συντελεστή διαχυτότητας D



Μειώνεται λόγω συνεχιζόμενων
χημικών αντιδράσεων στο
τσιμεντοπολτό

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

- Υπολογισμός «Φαινόμενου» (apparent) συντελεστή διαχυτότητας
- Πιθανή 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

Δράση Χλωριόντων

- Φυσικο-χημικά μοντέλα μέσω συστημάτων μη-γραμμικών διαφορικών εξισώσεων λαμβάνουν υπόψη ρεαλιστικό τρόπο διείσδυσης Cl⁻ στο σκυρόδεμα (διάχυση και δέσμευση Cl⁻ στην υγρή και στερεή φάση των πόρων)

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

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

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

[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)

- Φυσικο-χημικά μοντέλα βασισμένα σε παραλλαγές του 2^{ου} Νόμου του Fick λαμβάνοντας υπόψη μείωση συντελεστή διαχυτότητας λόγω θερμοκρασίας και χρόνου

$$C(x, t) = C_0 + \left[C_{S,\Delta x} - C_0 \right] \left[1 - \operatorname{erf} \frac{c - \Delta x}{2 \sqrt{\exp \left(b_e \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_{real}} \right) \right) D_{RCM,0} k_t \left(\frac{t_0}{t} \right)^a t}} \right]$$

$$C(x, t) = C_0 + \left[C_{S,\Delta x} - C_0 \right] \left[1 - \operatorname{erf} \frac{c - \Delta x}{2 \sqrt{D_{app,C} t}} \right]$$

C₀: αρχική συγκέντρωση Cl⁻ (% κ.β. τιμέντου)

C_{S,Δx}: συγκέντρωση Cl⁻ σε βάθος Δx (% κ.β. Τιμέντου)

t: διάρκεια ζωής (χρόνια)

D_{RCM,0}: συντελεστής διαχυτότητα Cl⁻ στο σκυρόδεμα (m²/s)

b_e: στατιστική σταθερά

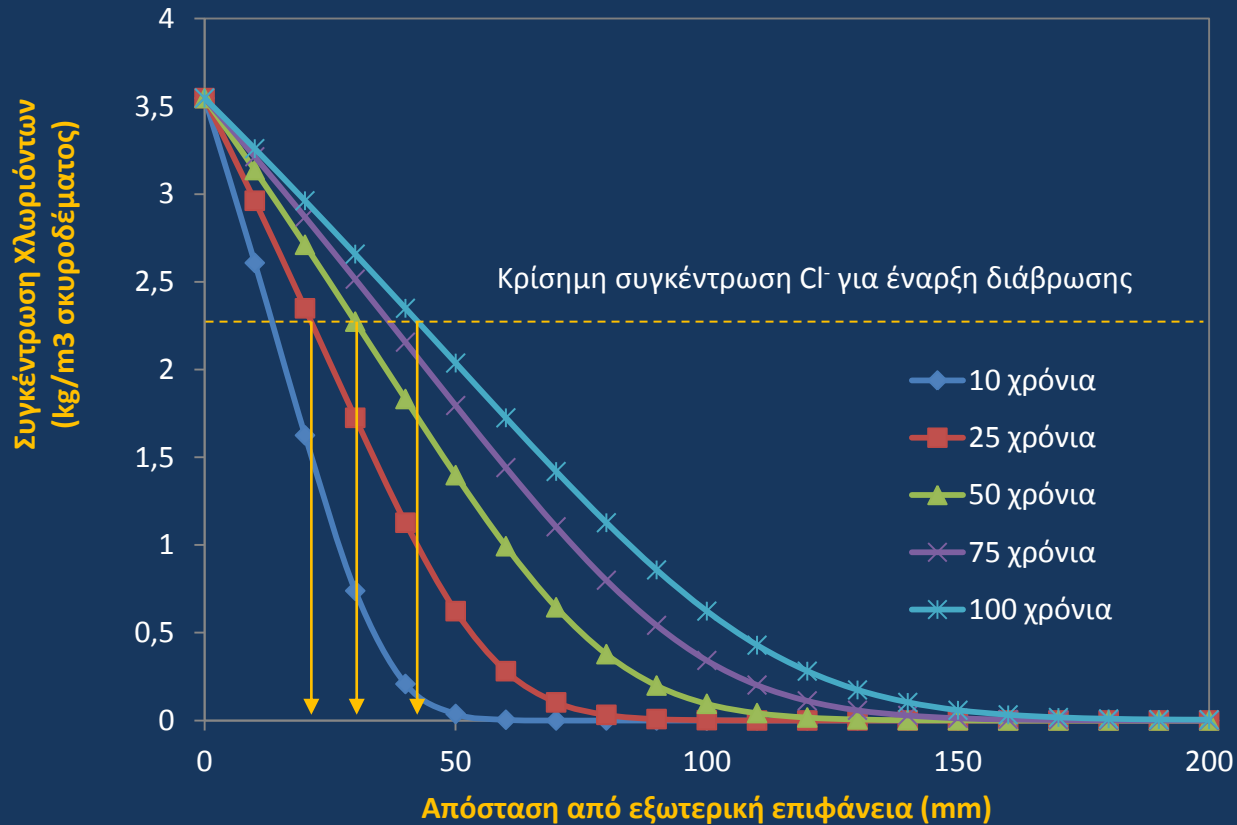
T_{ref}: 293 K = 20°C

T_{real}: θερμοκρασία (K)

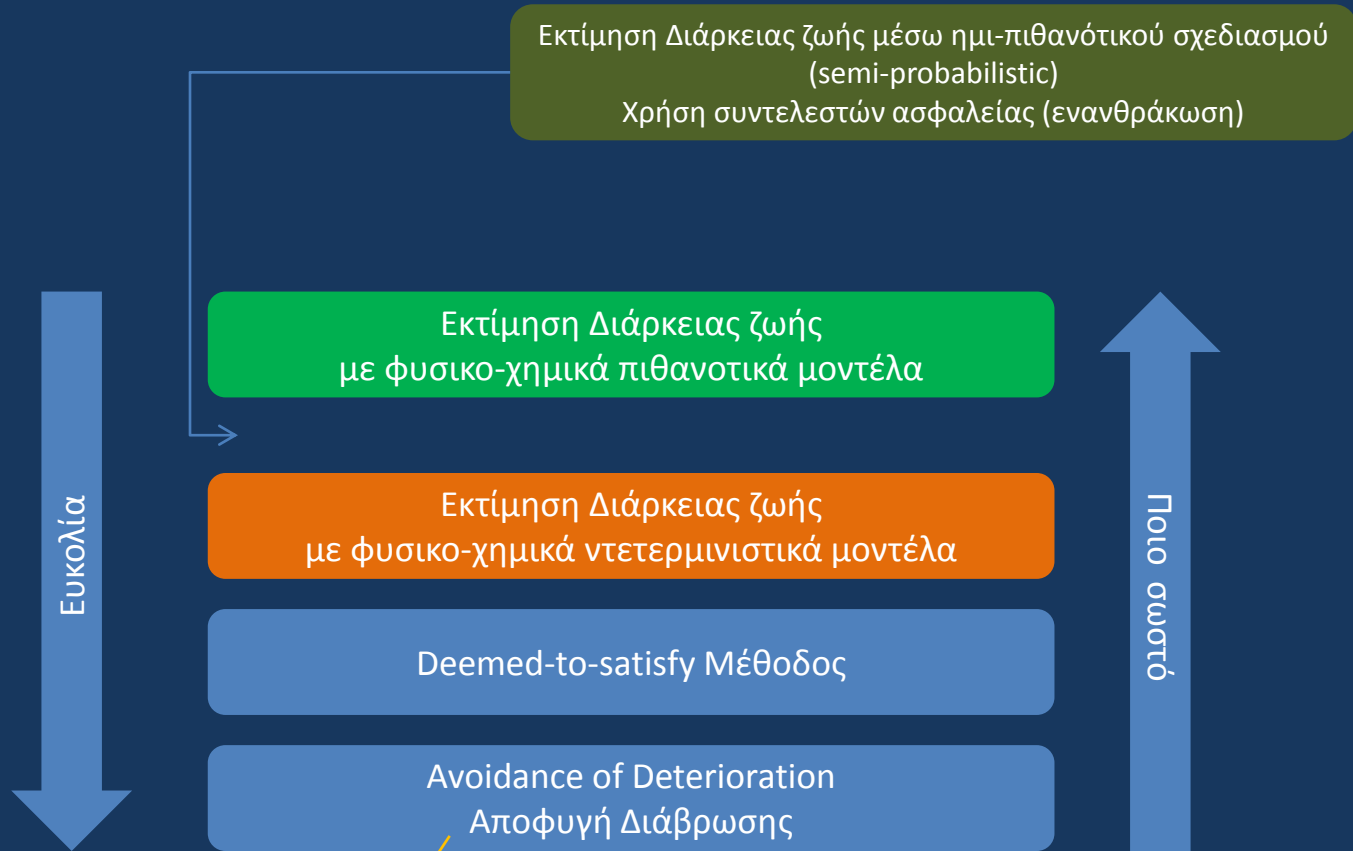
k_t, a: παράμετροι που δηλώνουν μείωση του D_{RCM,0} με το χρόνο

Δράση Χλωριόντων

- 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 .



Στρατηγικές Σχεδιασμού Ανθεκτικότητας Κατασκευών Ο.Σ.



- Διαχωρισμός κατασκευής από περιβαλλοντική δράση (μεμβράνες)
- Χρήση μη-αντιδρόντων υλικών (ανοξειδωτος χάλυβας, με ενεργά σε αλκάλια αδρανή)

Παράδειγμα Εκτίμησης Διάρκειας Ζωής

3 δομικά στοιχεία ΟΣ
3 υπολογιστικά εργαλεία



Κατασκευή Α, XS3



Κατασκευή Β, XS3

	Δοκίμιο Α-1	Δοκίμιο Α-2	Δοκίμιο Β-1
Επικάλυψη (mm)	48.3 (5.9)	48.3 (5.9)	60.8 (1.8)
Τσιμέντο-Ιπτάμενη Τέφρα (kg/m ³) – N/T	380-19.2-0.45	380-19.2-0.45	400-0-0.45
Φαινόμενος Συντελεστής Διαχυτότητας (x 10 ⁻¹² m ² /s)	0.948 (0.166)	1.140 (0.162)	1.589 (0.432)
Συγκέντρωση Cl ⁻ στην εξωτερική επιφάνεια (% κ.β. σκυρ.)	0.555 (0.158)	0.828 (0.079)	0.518 (0.070)
Κρίσιμη συγκέντρωση Cl ⁻ (% κ.β. σκυρ.)	0.080 (0.010)	0.080 (0.010)	0.070 (0.010)
Ηλικία της κατασκευής τη στιγμή της έκθεσης (ημέρες)	2920	2920	2555
Διάρκεια ζωής (χρόνια)		50	
Ηλικία κατά την εξέταση (χρόνια)		8	

LIFE 365

EUCON

DURACON

Ορισμός της Κατασκευής και Χαρακτηριστικά Υλικών

- Τύπος κατασκευής
- Πάχος δομικού στοιχείου (mm)
- Επικάλυψη (mm)
- Λόγος N/T
- FA, SF, Slag (%)
- Τύπος οπλισμού
- Ύπαρξη αναστολέων διάβρωσης
- Ύπαρξη μεμβρανών
- 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 (%).
- Επικάλυψη (mm) + COV (%)

Συνθήκες Περιβαλλοντικής Έκθεσης

- Συγκέντρωση Cl^- στην εξωτερική επιφάνεια (kg/m^3 σκυρ.)
- Χρόνος για μέγιστη συγκέντρωση Cl^- (years)
- Κρίσιμη συγκέντρωση Cl^- (kg/m^3 σκυρ.) + COV(%)
- Θερμοκρασία έκθεσης ($^{\circ}C$)
- Συγκέντρωση Cl^- (free) στην εξωτερική επιφάνεια (kg/m^3 sol)
- Αρχική συγκέντρωση Cl^- (kg/m^3 sol)
- Κρίσιμη συγκέντρωση Cl^- (kg/m^3 σκυρ.)
- Πάχος στοιχείου (mm)
- Συγκέντρωση Cl^- στην εξωτερική επιφάνεια (% σκυρ.)
- Αρχική συγκέντρωση Cl^-
- Κρίσιμη συγκέντρωση Cl^-
- Μέση ετήσια θερμοκρασία ($^{\circ}C$)
- Environmental transfer variable

Συντελεστής Διαχυτότητας Χλωριόντων

- Φαινόμενος Συντελεστής Διαχυτότητας Cl^- (28 days) D_{28} ($\times 10^{-12} m^2/s$) + COV (%)
- Maturity factor m + COV (%)
- Πραγματικός συντελεστής διάχυσης Cl^- * ($\times 10^{-12} m^2/s$)
- Efficiency factor of FA or SF for Cl^- penetration
- Concrete porosity, Equilibrium constant for Cl^- binding, Cl^- saturation concentration in solid phase*E6
- Φαινόμενος Συντελεστής Διαχυτότητας Cl^- (t days)
- Προφίλ Cl^- από το οποίο υπολογίζεται ο παραπάνω

Παράγοντες Χρόνου

- Propagation Period (years)
- Hydration period (years)
- Service life (years) that the user wants to estimate the Cl^- profiles in concrete
- Ηλικία κατασκευής όταν εκτέθηκε σε χλωριόντα (days)

LIFE 365

EUCON

DURACON

Προφίλ χλωριόντων

- Συνολικά Cl^- (kg/m^3 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
- Συνολικά Cl^- (kg/m^3 σκυρ.) κατά βάθος x (mm)
 - Ελεύθερα Cl^- (kg/m^3 sol.) κατά βάθος x (mm)
 - Δεσμευμένα Cl^- (kg/m^3 σκυρ.) κατά βάθος x (mm)
- Όχι προφίλ, αλλά υπολογισμός συγκέντρωσης Cl^- κατά βάθος σε δεδομένη χρονική στιγμή

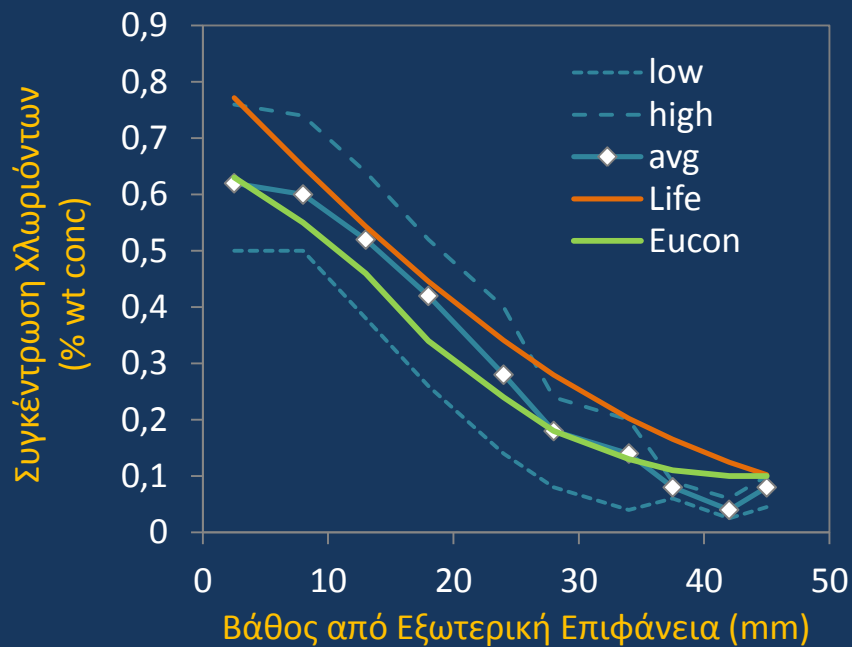
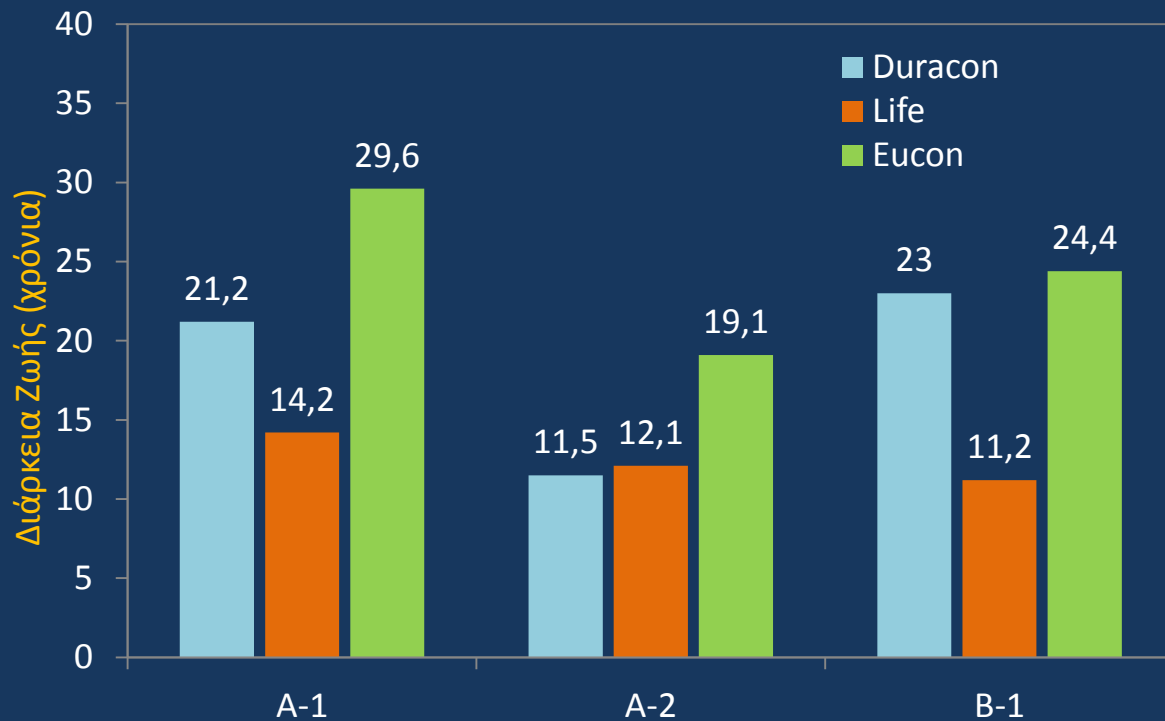
Διάρκεια Ζωής

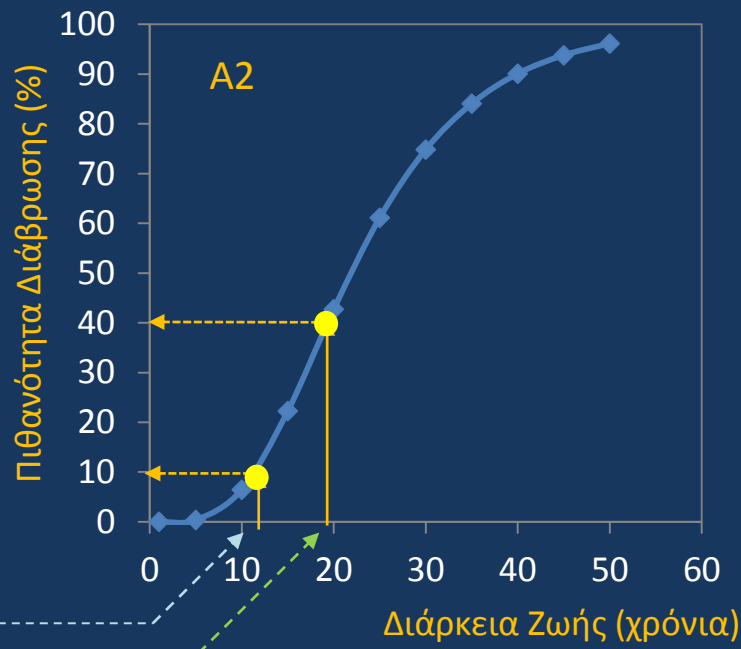
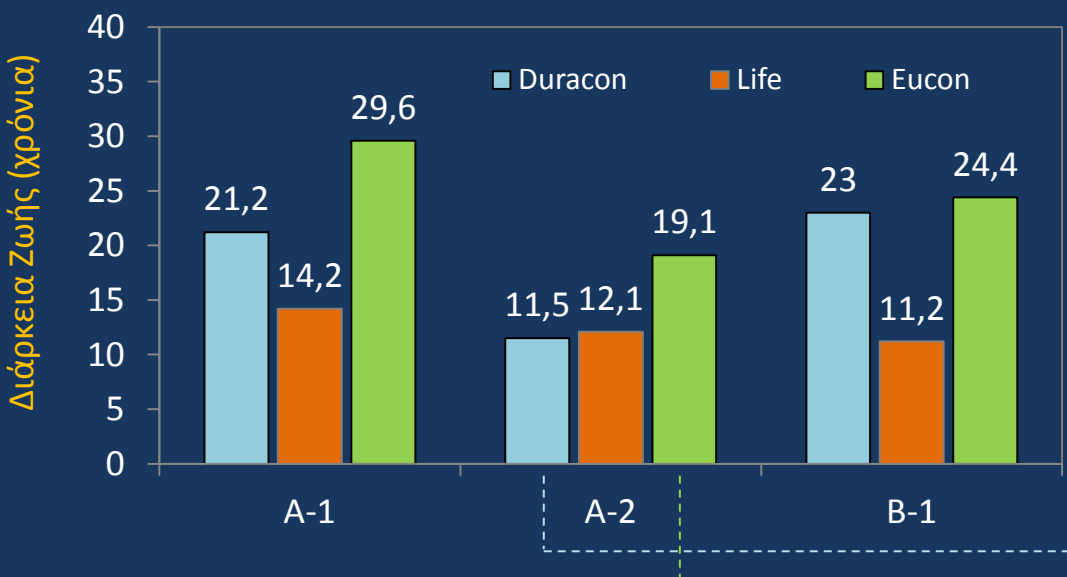
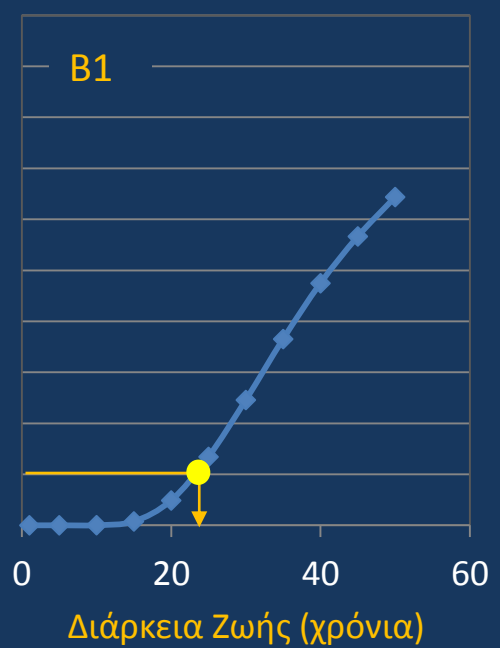
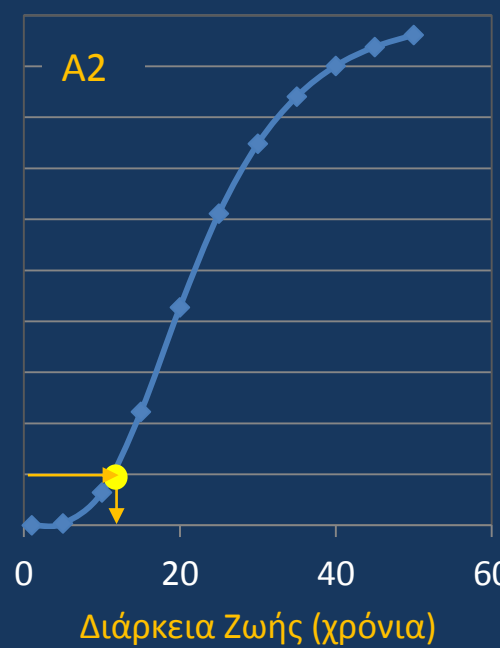
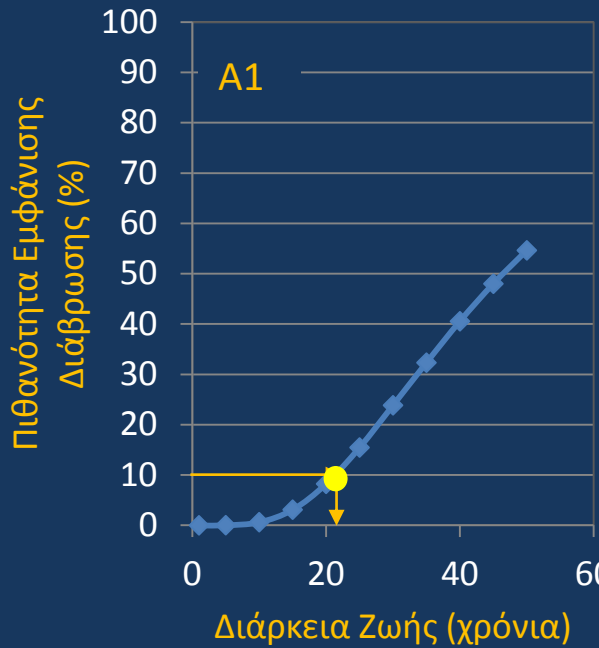
- Χρονική στιγμή έναρξης της διάβρωσης (χρόνια)
 - Διάρκεια ζωής κατασκευής (χρόνια)
- Διάρκεια ζωής συναρτήσει της απαιτούμενης επικάλυψης
- Πιθανο-στοχαστική εκτίμηση διάρκειας ζωής

Άλλοι παράμετροι

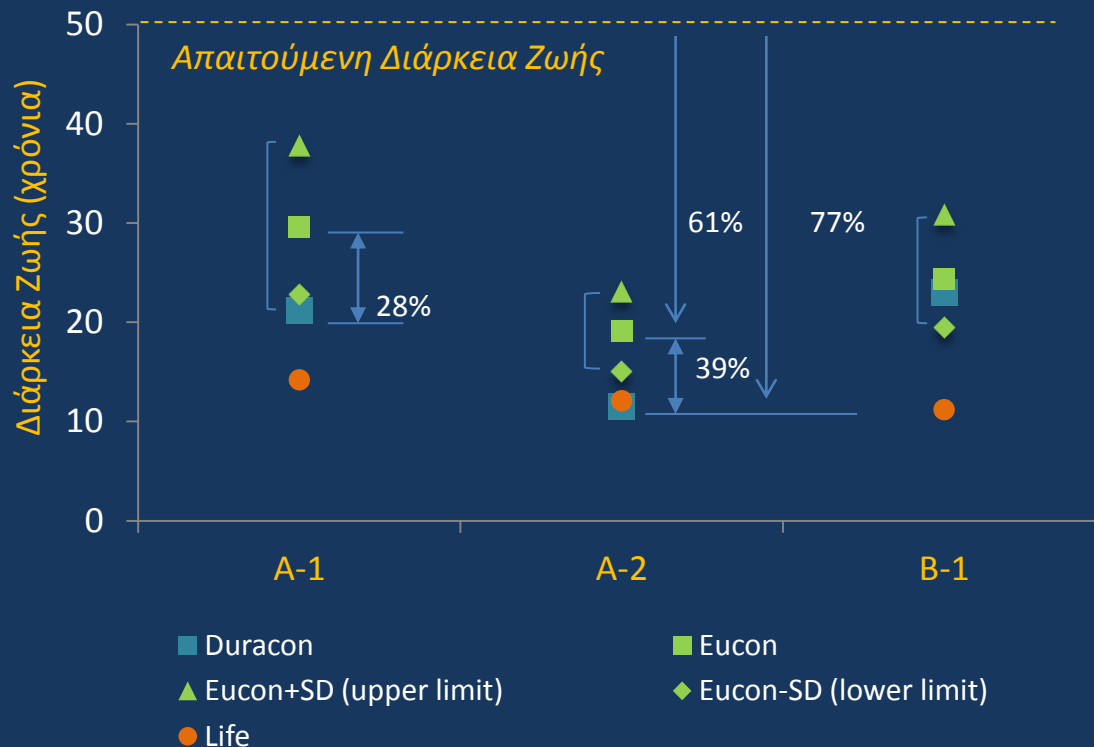
- Φαινόμενος Συντελεστής Διαχυτότητας Cl^- (28 days) D_{28} ($\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$) + COV
 - Intrinsic chloride diffusion coefficient * ($\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)
-

- Ποιά είναι η διάρκεια ζωής της κατασκευής?





Σύγκριση	Σημαντικά Στατιστική Διαφορά
Duracon-Life 365	Όχι
Duracon-Eucon	Όχι
Life 365-Eucon	Ναι



- Υπολειπόμενη Διάρκεια ζωής πολύ μικρή
- Εμφανές Πρόβλημα Ανθεκτικότητας
- Σε ποιο υπολογιστικό εργαλείο μπορώ να βασιστώ?
- Μπορώ να βασιστώ σε ένα deterministic υπολογιστικό εργαλείο?

Υπολειπόμενη Διάρκεια Ζωής

	Duracon	Life	Eucon
A-1	13,2	6,2	21,6
A-2	3,5	4,1	11,1
B-1	15	3,2	16,4

Προβλήματα που πηγάζουν από τη Χρήση Υπολογιστικών Εργαλείων Εκτίμησης διάρκειας Ζωής

- Πρόβλημα ερμηνείας – σύγκρισης αποτελεσμάτων διαφορετικών υπολογιστικών εργαλείων

Input

- Διαφορετική παραμετροποίηση/αντιμετώπιση επιθετικού περιβαλλοντικού παράγοντα
 - Μελέτη σύνθεσης – Ιδιότητες κατασκευής και γεωμετρία
 - Μονάδες συγκέντρωσης χλωριόντων
 - Θερμοκρασιακές μεταβολές
- Διαφορετική παραμετροποίηση κατασκευής – δομικού στοιχείου
 - Όχι εμπειριστατωμένη Μελέτη σύνθεσης
 - Γεωμετρία δομικού στοιχείου

Output

- Διαφορετικές αρχές υπολογισμού
 - Φαινόμενος/Πραγματικός συντελεστής διαχυτότητας χλωριόντων
 - Σταθερός/μειούμενος συντελεστής διαχυτότητας χλωριόντων
 - Εκτίμηση ολικών/ελεύθερων χλωριόντων

- Ανάγκη καθιέρωσης κοινής πλατφόρμας εκτίμησης διάρκειας ζωής κατασκευών Ο.Σ.
- Ανάγκη επιβεβαίωσης διαθέσιμων φυσικοχημικών «ντετερμινιστικών» εργαλείων

Προοπτικές – Η πλατφόρμα

Εκτίμηση διάρκειας ζωής βασισμένη στην φιλοσοφία σχεδιασμού
κατασκευών έναντι υπέρβασης (ή όχι) Οριακών Καταστάσεων
για συγκεκριμένο επίπεδο αξιοπιστίας

- **fib Model Code**

- Ο χρόνος (διάρκεια ζωής) εισέρχεται σαν παράμετρος σχεδιασμού

- Εξασφάλιση διάρκειας ζωής σημαίνει: χρήση υλικών με συγκεκριμένες για το έργο ιδιότητες ορισμός οριακών καταστάσεων σε όρους ανθεκτικότητας εκτίμηση πιθανότητας υπέρβασης οριακής κατάστασης.

- Για κάθε οριακή κατάσταση, χρήση κατάλληλων μαθηματικών προσομοιωμάτων που περιγράφουν τη συμπεριφορά της κατασκευής.
 - Ενθαρρύνεται η χρήση φυσικοχημικών μοντέλων που προσομοιώνουν τη δράση περιβαλλοντικών παραγόντων στις ιδιότητες των υλικών.
- Η απόδοση της κατασκευής εκτιμάται μέσω ελέγχου της συμπεριφοράς της κατασκευής υπό συγκεκριμένες απαιτήσεις (**against specified performance requirements**).
 - Οι απαιτήσεις συμπεριφοράς (**Performance requirements**) καθορίζονται μέσω συγκεκριμένων κριτηρίων και περιορισμών (σχετικά με τη διάρκεια ζωής και το επίπεδο αξιοπιστίας της κατασκευής)

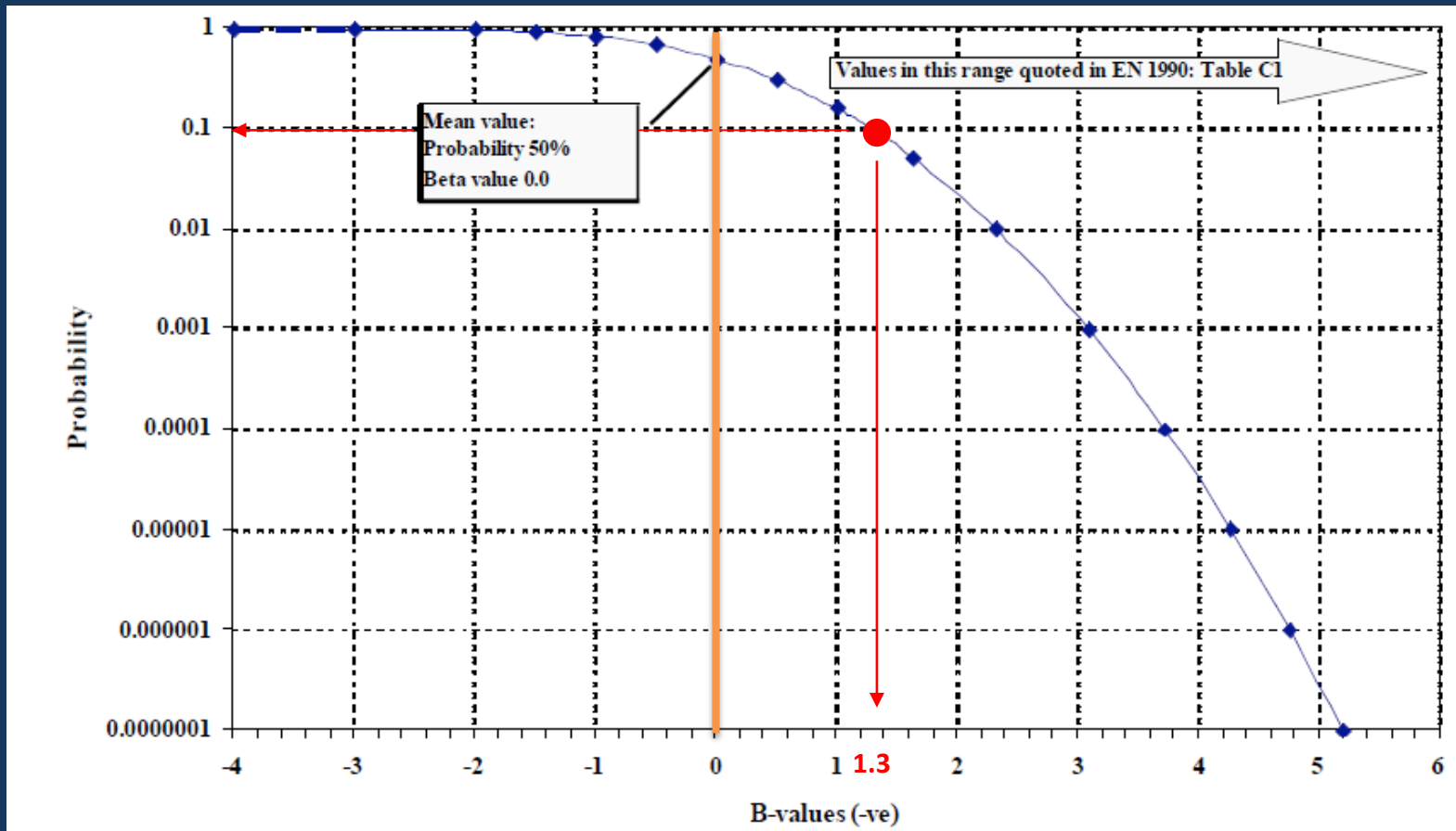
- **Βασική Ιδέα Σχεδιασμού Διάρκειας Ζωής Κατασκευών Ο.Σ.**
Εκτίμηση διάρκειας ζωής βασισμένη στην φιλοσοφία σχεδιασμού κατασκευών έναντι υπέρβασης (ή όχι) Ο.Κ. για συγκεκριμένο **επίπεδο αξιοπιστίας**.
- **Αξιοπιστία**
Ικανότητα φορέα ή δομικού στοιχείου να ικανοποιεί καθορισμένες απαιτήσεις συμπεριλαμβανομένης και διάρκειας ζωής σχεδιασμού για τις οποίες μελετήθηκε (εκφράζεται συνήθως με πιθανοτικούς όρους).
- **Η ταξινόμηση της αξιοπιστίας αποδίδεται με όρους β** , οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη αποδεκτή στατιστική μεταβλητότητα αποτελεσμάτων δράσεων, αντιστάσεων και αβεβαιοτήτων προσομοιομάτων των διαδικασιών βλάβης στο σκυρόδεμα.
- **Εισάγονται κατηγορίες (επίπεδα) οι οποίες βασίζονται στις παραδεκτές συνέπειες αστοχίας και στην έκθεση των κατασκευαστικών έργων σε κινδύνους**
- Επιλογή επιπέδων αξιοπιστίας για ένα συγκεκριμένο δόμημα θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη
 - Πιθανές αιτίες και τρόπος επίτευξης οριακής κατάστασης
 - Πιθανές συνέπειες αστοχίας από άποψη κινδύνου ζωής και ενδεχόμενης οικονομικής απώλειας
 - Κόστος και διαδικασίες που είναι απαραίτητες για τη μείωση της διακινδύνευσης αστοχίας
- **Μέτρα Διαχείρισης Αξιοπιστίας**
Δίνετε να γίνει διαφοροποίηση της αξιοπιστίας μέσω κατηγοριών συνεπειών (CC) ή μέσω διαφοροποίησης της εποπτείας σχεδιασμού και υλοποίησης του έργου καθώς και μέσω επιθεωρήσεων κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

- Κατηγορίες Συνεπειών (Consequence Classes CC)

Consequence class	Description	Examples of building and civil engineering works
CC3	High consequence for loss of human life, or economic, social or environmental consequences very great	Grandstands, public buildings where consequences of failure are high (e. g. a concert hall)
CC2	Normal consequence for loss or human life, economic or environmental consequences considerable	Residential and office buildings, public buildings where consequences of failure are medium (e. g. an office building)
CC1	Low consequence for loss of human life, and economic, social or environmental consequences are small or negligible	Agricultural buildings where people do not normally enter (e.g. storage buildings), green houses

- Επίπεδα Αξιοπιστίας (Reliability Classes RC)

Exposure class – Eurocode 2	Description	Reliability class	Reliability value β (Probability value, p_f)	
			SLS ¹ Depassivation ^{2,3}	ULS Collapse
XC ³	Carbonation	RC1	1.3 ($p_f \approx 10^{-1}$)	3.7 ($p_f \approx 10^{-4}$)
		RC2	1.3 ($p_f \approx 10^{-1}$)	4.2 ($p_f \approx 10^{-5}$)
		RC3	1.3 ($p_f \approx 10^{-1}$)	4.4 ($p_f \approx 10^{-6}$)
XD ³	De-icing salt	RC1	1.3 ($p_f \approx 10^{-1}$)	3.7 ($p_f \approx 10^{-4}$)
		RC2	1.3 ($p_f \approx 10^{-1}$)	4.2 ($p_f \approx 10^{-5}$)
		RC3	1.3 ($p_f \approx 10^{-1}$)	4.4 ($p_f \approx 10^{-6}$)
XS ³	Seawater	RC1	1.3 ($p_f \approx 10^{-1}$)	3.7 ($p_f \approx 10^{-4}$)
		RC2	1.3 ($p_f \approx 10^{-1}$)	4.2 ($p_f \approx 10^{-5}$)
		RC3	1.3 ($p_f \approx 10^{-1}$)	4.4 ($p_f \approx 10^{-6}$)



Σχέση μεταξύ συντελεστή αξιοπιστίας β και πιθανότητα «αστοχίας» (fib bulletin 53)

fib Model Code for Service Life Design

Χρησιμοποίηση τιμής $\beta = 1.3$ για αποαθητικοποίηση χάλυβα σπλισμού για κατηγορίες έκθεσης XC (ενανθράκωση), XS (διάβρωση λόγω χλωριόντων θαλασσινού νερού), XD (διάβρωση λόγω χλωριόντων εκτός θαλασσινού νερού)

- Διαφοροποίηση της αξιοπιστίας μέσω διαφοροποίησης της εποπτείας σχεδιασμού και υλοποίησης του έργου.

- **Κατηγορίες Ευρωστείας (Robustness classes ROC)**

Robustness class	Characteristics	Postulated characteristic loss of cross section (preliminary estimate) ΔAs [%]
ROC3	Bending reinforcement outside of anchorage and laps	25
ROC2	Shear reinforcement, anchorage zones with confinement	15
ROC1	Anchorage zones without confinement	5

- **Κατηγορίες Εποπτείας Σχεδιασμού (Design Supervision Levels DSL)**

Design supervision level	Characteristics	Minimum recommended requirements for the checking of calculations, drawings and specifications
DSL3 Relating to RC3	Extended supervision	Third party checking: Checking performed by an organisation different to that which has performed the design
DSL2 Relating to RC2	Normal supervision	Checking by different persons to those originally responsible and in accordance with the procedures of the organisation
DSL1 Relating to RC1	Normal supervision	Self-checking: Checking performed by the person who has prepared the design

- **Κατηγορίες Επίβλεψης κατά την Εκτέλεση (Execution Classes EXC)**

Execution class	Characteristics	Requirements
EXC3 Relating to RC3	Extended inspection	Third party inspection
EXC2 Relating to RC2	Normal inspection	Inspection in accordance with the procedures of the organisation
EXC1 Relating to RC1	Normal inspection	Self inspection

- Πως προδιαγράφεται η διάρκεια ζωής

- Ορισμός σχετικής οριακής κατάστασης σε όρους ανθεκτικότητας
- Επιλογή επιπέδου αξιοπιστίας και δείκτη β
- Ορισμός χρονικής διάρκειας

- Εκτίμηση πιθανότητας να μην ξεπεραστεί η οριακή κατάσταση, για το συγκεκριμένο επίπεδο αξιοπιστίας στο επιθυμητό χρονικό διάστημα

- ειδικά για υπάρχουσες κατασκευές

- Συλλογή δεδομένων μέσω επιθεωρήσεων, σε καθορισμένο χρονικό σημείο
 - Εκτίμηση συντελεστή αξιοπιστίας στο επιθυμητό χρονικό διάστημα και σύγκριση με τον απαιτούμενο.

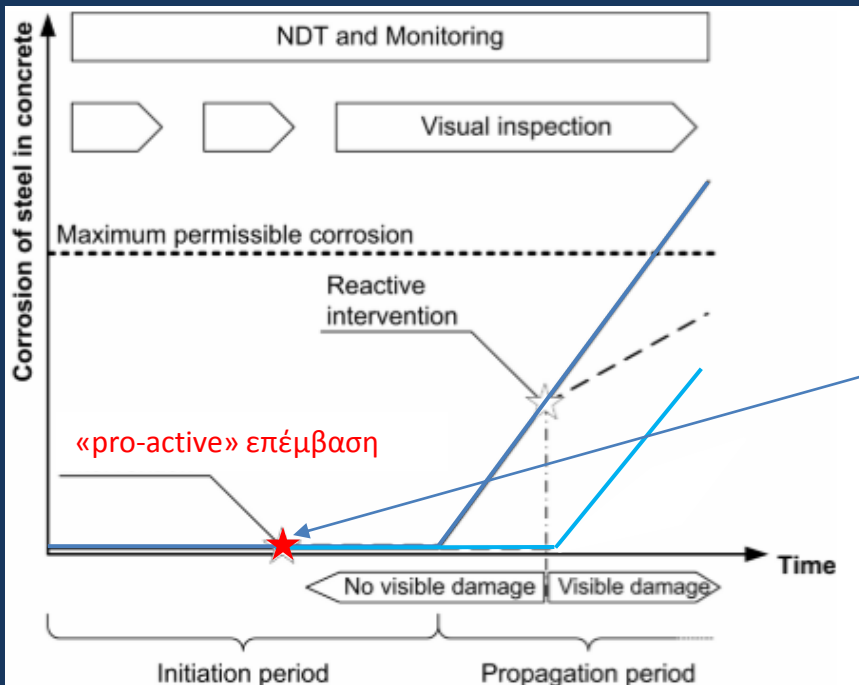
 - Βελτίωση συντελεστή αξιοπιστίας μέσω επεμβάσεων
 - Υπό προϋποθέσεις επιλογή χαμηλότερου συντελεστή αξιοπιστίας αποδεχόμενοι όμως μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης διάβρωσης

- Αποτέλεσμα

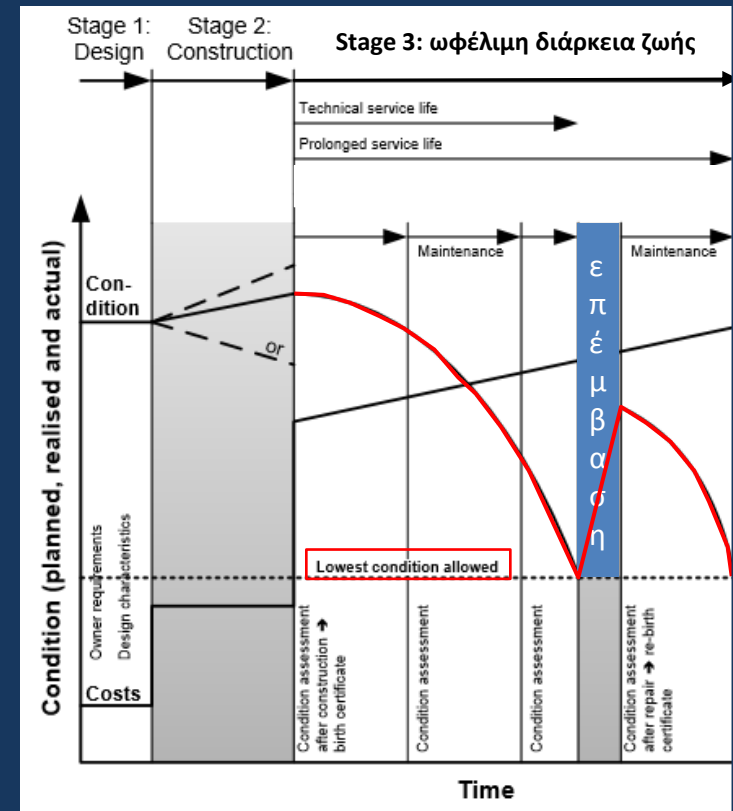
- Εκτίμηση διάρκειας ζωής κατασκευών
 - Εκτίμηση παραμέτρων μελέτης στη διάρκεια ζωής κατασκευών
 - Εκτίμηση χρόνου «pro-active» επέμβασης για να αυξηθεί η ωφέλιμη διάρκεια ζωής

Για υπάρχουσες κατασκευές

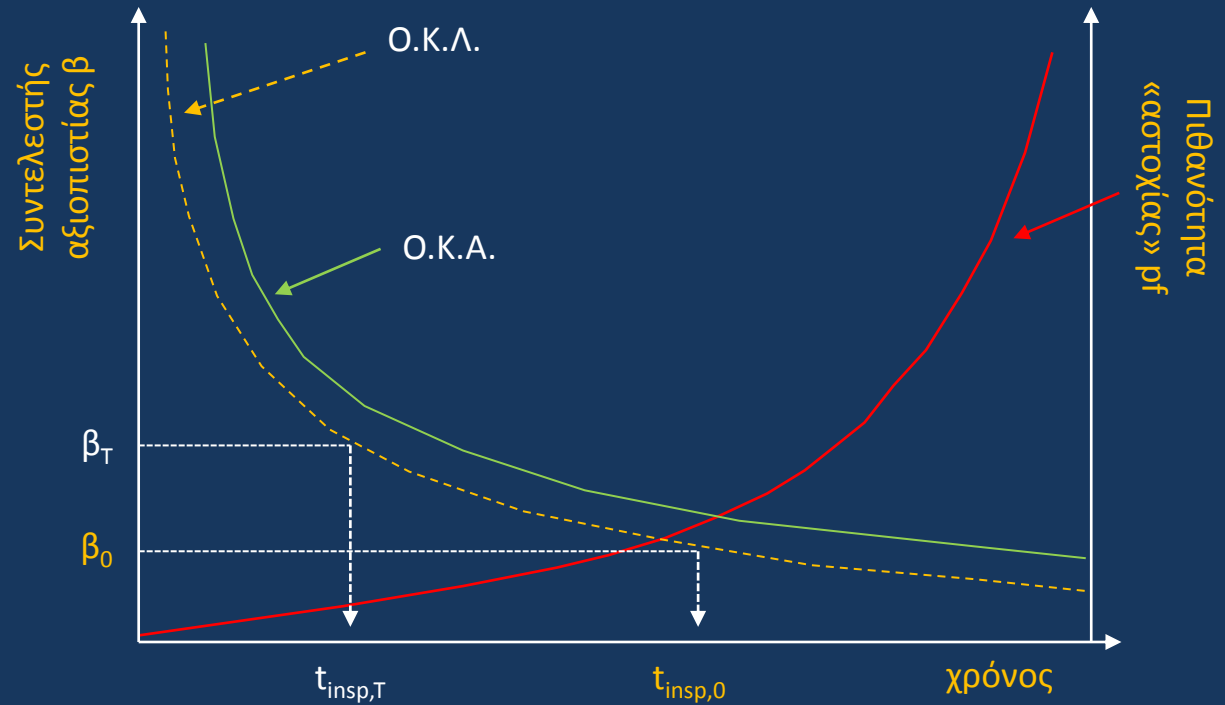
- Συλλογή δεδομένων μέσω επιθεωρήσεων, σε καθορισμένο χρονικό σημείο (πρώτη εκτίμηση)
- Εκτίμηση συντελεστή αξιοπιστίας στο επιθυμητό χρονικό διάστημα και σύγκριση με τον απαιτούμενο.
- Εκτίμηση υπολειπόμενης διάρκειας ζωής, για συγκεκριμένο επίπεδο αξιοπιστίας.
- Εάν βαθμός αξιοπιστίας είναι μικρότερος από τον απαιτούμενο, συλλογή περαιτέρω στοιχείων (πιο εμπειριστατωμένη εκτίμηση) και εκ νέου υπολογισμός



- Εάν απαιτείται βελτίωση βαθμού αξιοπιστίας με κάποια «pro-active» επέμβαση



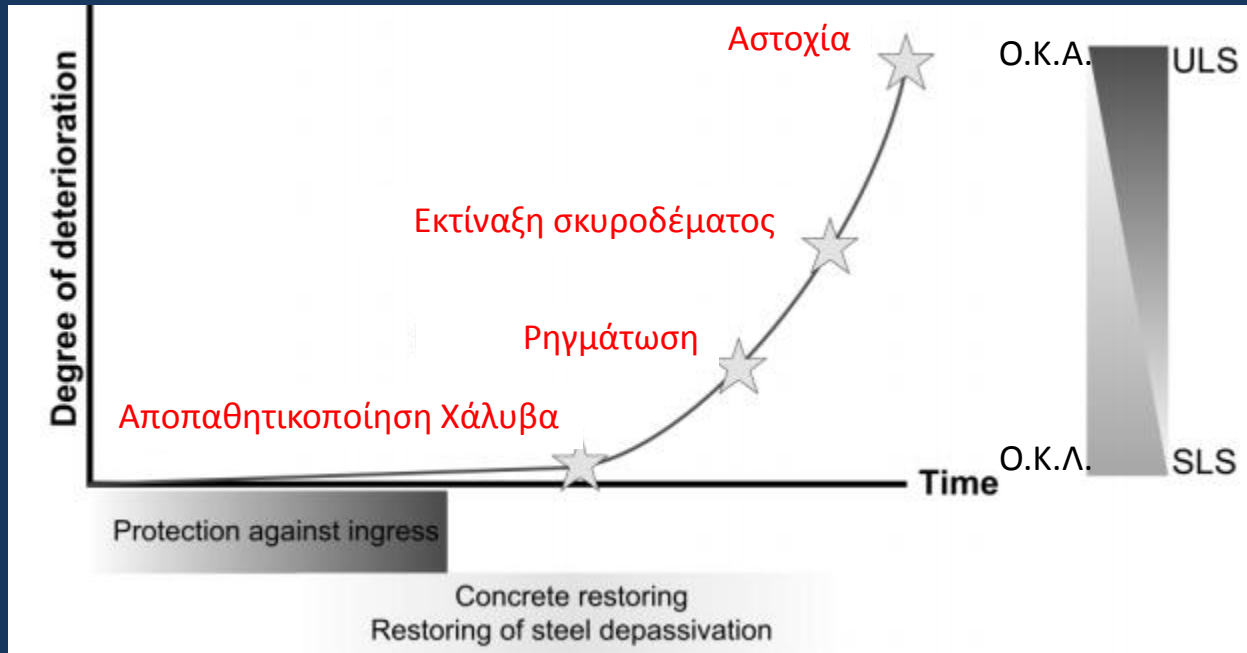
- Επιλογή χαμηλότερου βαθμού αξιοπιστίας, αλλά με μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης διάβρωσης



Σχέση συντελεστή αξιοπιστίας β και πιθανότητας αστοχίας r_f με το χρόνο
(για Οριακές Καταστάσεις λειτουργικότητας και Αστοχίας)

β_T : βαθμός αξιοπιστίας συμφωνημένος/επιλεγμένος με κύριο έργο
 β_0 : βαθμός αξιοπιστίας σύμφωνα με κανονισμούς

- 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)

- Η διάρκεια ζωής κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος ορίζεται μέσω:

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

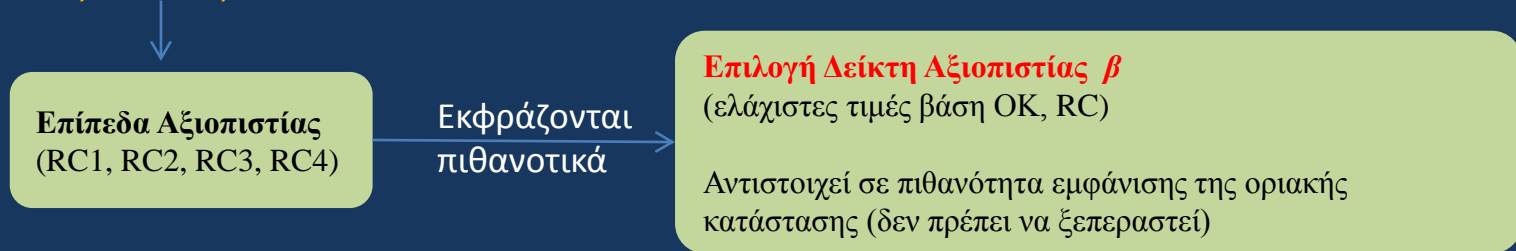
Ορισμός Απόδοσης/Δράσης Κατασκευής

Βάθος ενανθράκωσης
Min d για προστασία του οπλισμού σε περιβάλλον CI-
Χρόνος έναρξης διάβρωσης (initiation time)

Απαιτήσεις – Συνιστώσες Αξιοπιστίας

Αντίσταση (resistance)
Λειτουργικότητα (serviceability)
Ανθεκτικότητα (Durability)
Ενρωσσία (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)

**Σχεδιασμός ανθεκτικότητας κατασκευών ΟΣ
για συγκεκριμένο επίπεδο αξιοπιστίας**

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

1. Ορισμός Οριακών Καταστάσεων (ΟΚ) σε όρους ανθεκτικότητας

Λειτουργικότητας (ΟΚΛ), π.χ. απόπαθητικοποίηση χάλυβα
Αστοχίας (ΟΚΑ), π.χ. Διάβρωση Χάλυβα

Υπολογισμός Δράσης μέσω
προσδιορισμικών μοντέλων
φυσικοχημικών διεργασιών
φθοράς ΟΣ

Επιλογή Δείκτη Αξιοπιστίας β
(ελάχιστες τιμές βάση ΟΚ, RC)

Αντιστοιχεί σε πιθανότητα εμφάνισης
της οριακής κατάστασης
(δεν πρέπει να ξεπεραστεί)

P_0

Εκτίμηση Υπέρβασης (ή όχι) Οριακής κατάστασης και αξιολόγηση της σε ΟΚΑ ή ΟΚΛ

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

2. Προσδιορισμός Πιθανότητας Υπέρβασης Οριακών Καταστάσεων

(βάση συγκεκριμένων απαιτήσεων)

Ορισμός Απόδοσης/Δράσης Κατασκευής

Βάθος ενανθράκωσης
 $\text{Min } d$ για προστασία του οπλισμού σε περιβάλλον Cl-
Χρόνος έναρξης διάβρωσης (initiation time)

Προδιαγράφεται
Μέσω εξασφάλισης

Απαιτήσεις – Συνιστώσες Αξιοπιστίας

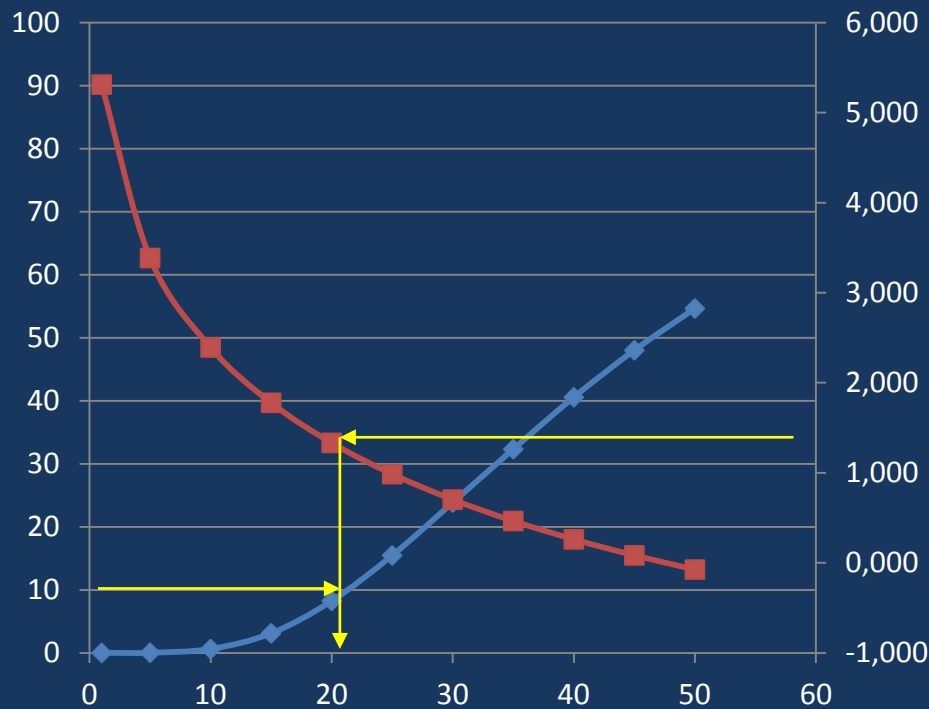
Αντίσταση (resistance)
Λειτουργικότητα (serviceability)
Ανθεκτικότητα (Durability)
Ευρωστία (Robustness)

Επίπεδα Αξιοπιστίας
(RC1, RC2, RC3,
RC4)

- Υπολογισμός πιθανότητας διάβρωσης λόγω χλωριόντων για συγκεκριμένο επίπεδο αξιοπιστίας

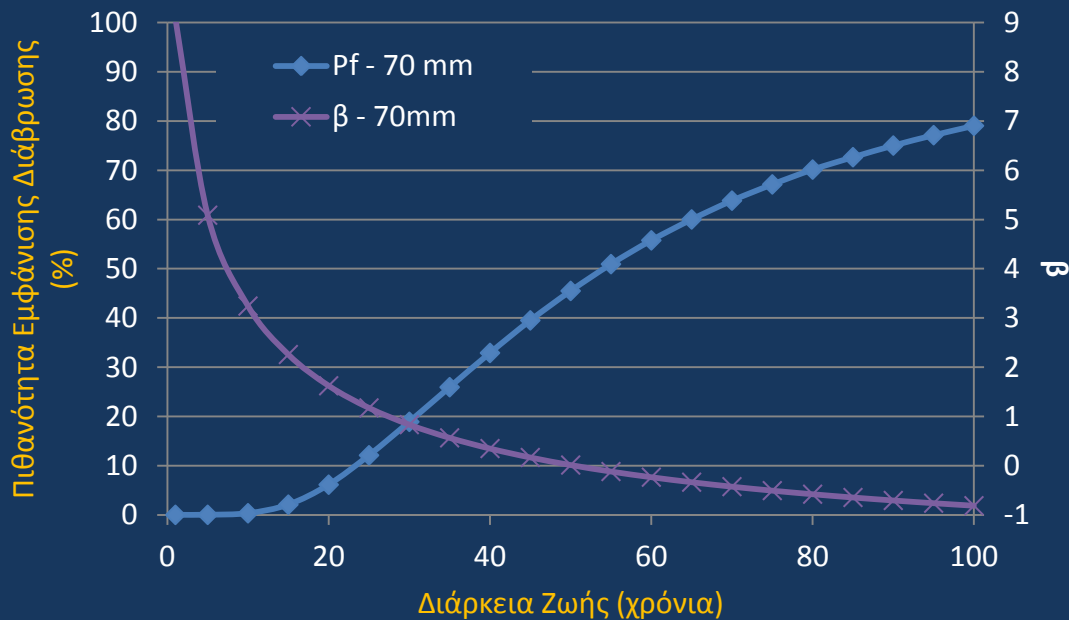
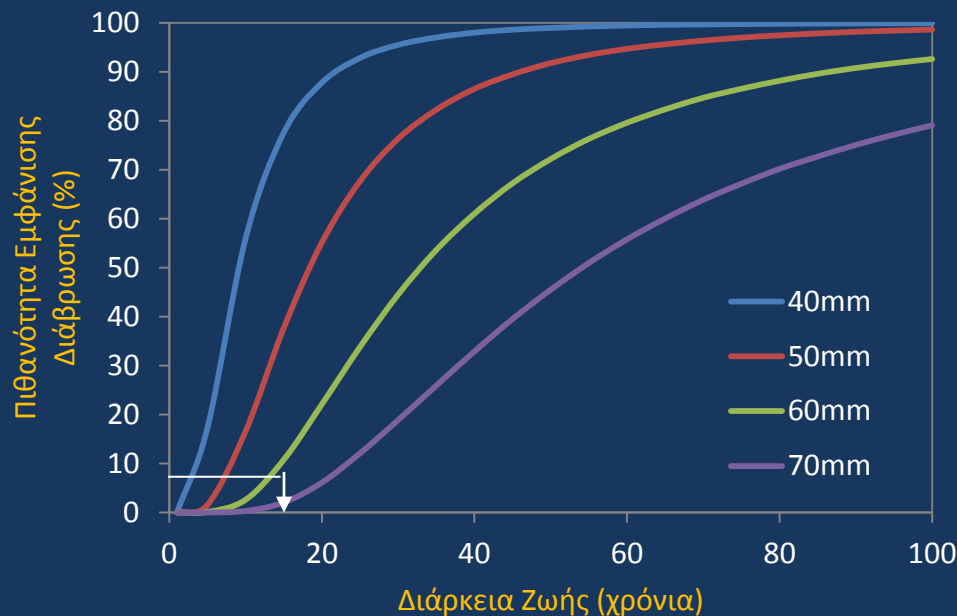
$$p \left\{ \frac{C}{C_{crit}} - C(\alpha, t_{sl} < 0 \right\} p_0$$

$p\{\}$, p_0 , πιθανότητα διάβρωσης λόγω διείσδυσης χλωριόντων (target failure probability),
 C_{crit} , $C_{(a,tsl)}$, 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)



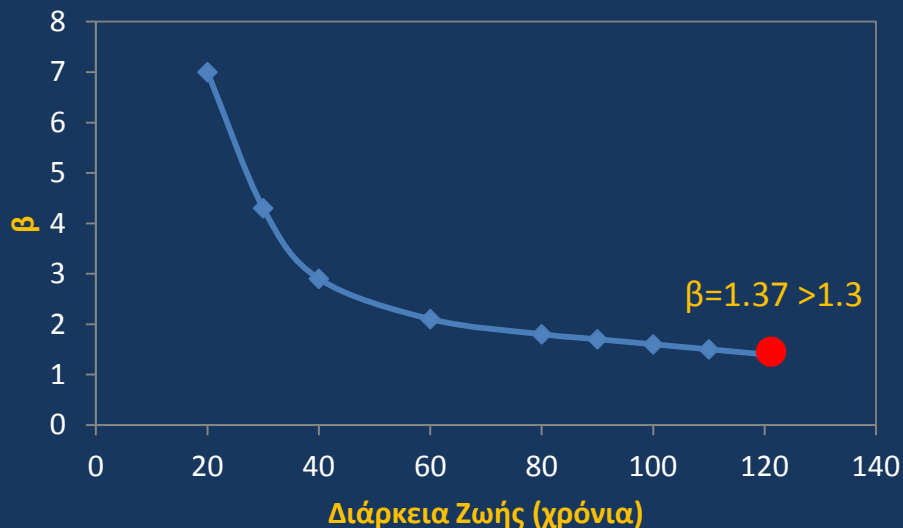
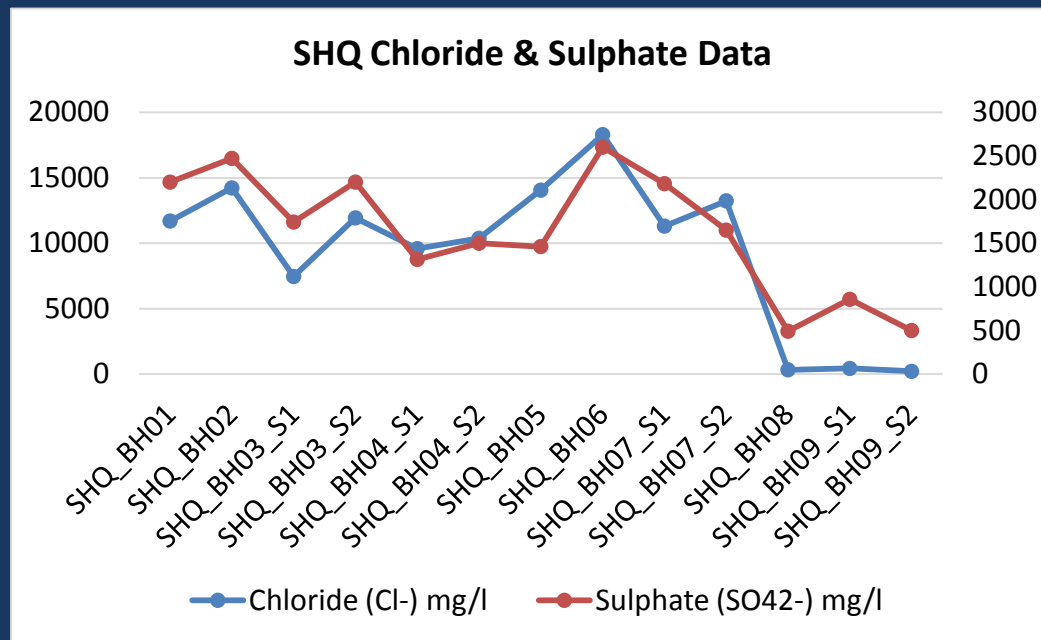
Κατασκευή Α, XS3

Εκτίμηση παραμέτρων σχεδιασμού στην διάρκεια ζωής της κατασκευής



Σχεδιασμός Ανθεκτικότητας Νέας Κατασκευής

Διάρκεια Ζωής	120 χρόνια
Θερμοκρασία	33 °C
Επικάλυψη	40 mm
Μελέτη Σύνθεσης (OPC, GGBS, SF) C40/50	
N/T	0.35



Προδιαγραφές πελάτη

Στα 120 χρόνια δείκτης αξιοπιστίας β 1.3 για Ο.Κ.Α.

Τελικός Σχεδιασμός

Βάση προτεινόμενης μελέτης σύνθεσης και μέτρων προστασίας, επιτεύχθηκε $\beta = 1.37$

Εκτίμηση κατάστασης υπάρχουσας κατασκευής

CEM I 32.5 R, C 30/37

N/T 0.50

Επικάλυψη (mm) 32

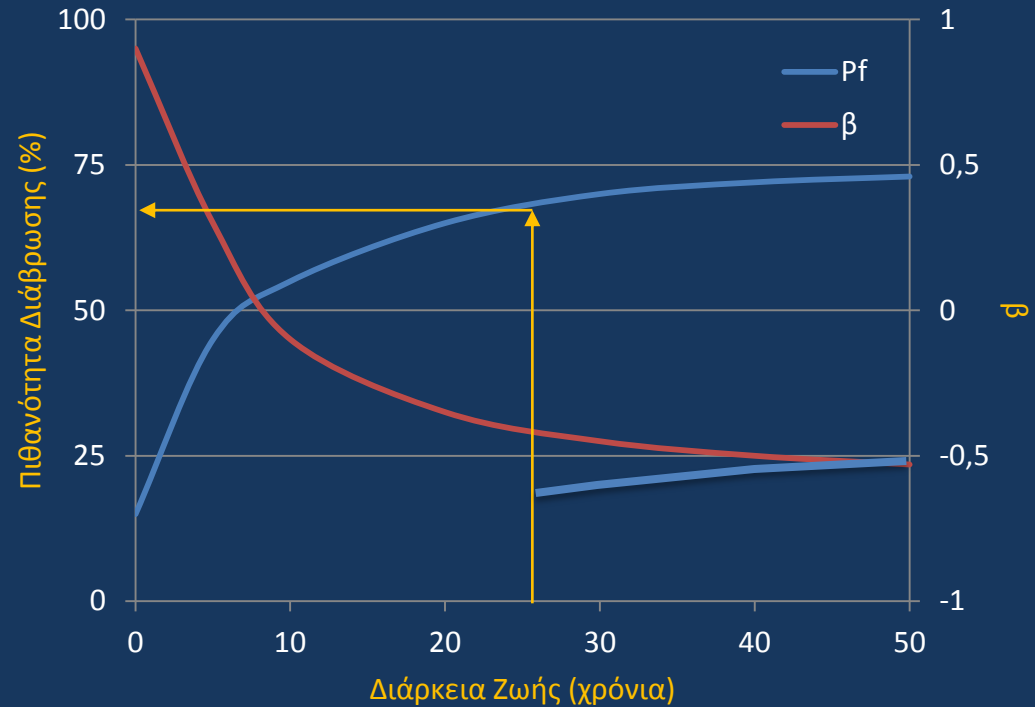
Θερμοκρασία (°C) 20

Ccr (% wt c.) 0.6

Cs (% wt c.) 1.6

Κατηγορία Έκθεσης XS1

Ηλικία κατασκευής (χρόνια) 25



- Κριτήριο από πελάτη 10% pf στα 50 χρόνια
- 1^η εκτίμηση δείχνει ότι υπάρχει σαφές πρόβλημα
- 2^η εκτίμηση δείχνει ότι υπάρχει πιθανότητα εμφάνισης διάβρωσης 25% στα 50 χρόνια
- Απαιτείται επέμβαση

Συμπεράσματα

- ~~Έντονα~~ σημάδια πρόωρης υποβάθμισης διάρκειας ζωής κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος
- Αν όχι επιτακτική, τότε **ΕΝΤΟΝΗ** ανάγκη δομημένου σχεδιασμού ανθεκτικότητας κατασκευών Ο.Σ.
- Όχι τυφλή υπακοή διαθέσιμων υπολογιστικών εργαλείων (βαθιά κατανόηση και κριτική ικανότητα)
 - Γνώση μηχανισμών φθοράς
 - Βαθιά κατανόηση λειτουργίας (περιορισμοί)
- Χρήση επιβεβαιωμένου φυσικοχημικού «ντετερμινιστικού» υπολογιστικού εργαλείου, εφόσον ενδείκνυται
 - Ανάγκη επιβεβαίωσης «ντετερμινιστικών» μοντέλων
- Αβεβαιότητα σημερινών εκτιμήσεων αντισταθμίζεται από φιλοσοφία σχεδιασμού ανθεκτικότητας για συγκεκριμένο επίπεδο αξιοπιστίας κατασκευών
 - Προτείνεται η χρήση φυσικοχημικών στοχαστικών υπολογιστικών εργαλείων
 - Αναδεικνύεται η ανάγκη επιθεωρήσεων και η παρακολούθηση της επιτελεστικότητας της κατασκευής κατά τη χρήση της.
- Όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστική παραμετροποίηση υπολογιστικών εργαλείων (περιβαλλοντική έκθεση, επίπεδο αξιοπιστίας, οριακή κατάσταση)
- Εκτίμηση διάρκειας ζωής κατασκευών, ωφέλιμης διάρκειας ζωής και χρονικού σημείου επέμβασης πάντα με γνώμονα και το κόστος

Ανάγκες

- Κοινή αρχική παραμετροποίηση περιβαλλοντικής έκθεσης και κατασκευής στα υπολογιστικά εργαλεία
- Δημιουργία βάσης δεδομένων περιβαλλοντικής έκθεσης (θερμοκρασία, υγρασία, Cl⁻, CO₂).
- Απλοποίηση διαδικασιών διαχείρισης αξιοπιστίας κατασκευών
- Υιοθέτηση Ευρωπαϊκών (και Εθνικών) προτύπων δράσεων Σχεδιασμού Ανθεκτικότητας
- Διασύνδεση σχεδιασμού ανθεκτικότητας με πακέτα δομικού σχεδιασμού κατασκευών
- Περιβαλλοντικές δράσεις σαν φορτίο στην κατασκευή

Σας ευχαριστώ θερμά