# Ένας *πρακτικός οδηγός* για την προστασία των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα έναντι της ενανθράκωσης με την εφαρμογή επιστρώσεων κατά ΕΛΟΤ EN 1504-2

Χρήστος Ροδόπουλος

## Εισαγωγή

Η έρευνα για τα συστήματα προστασίας σκυροδέματος μέσω επικαλύψεων δεν είναι κάτι καινούργιο. Οι πρώτες δημοσιεύσεις ξεκινούν ήδη από το 1907.

Το πρώτο σχετικό κανονιστικό κείμενο είναι το ARMY TECHNICAL MANUAL TM 5-807-1907: Colour for Buildings. Πολλά κτίρια του Στρατού αποτέλεσαν πεδίο μετρήσεων από τους ερευνητές ειδικά για την περίπτωση της ενανθράκωσης. Για την περίπτωση χλωριόντων, πιθανότατα η πρώτη εφαρμογή επικάλυψης για προστασία από αερόφερτα χλωριόντα είναι ο φάρος Kilauea Point, Kauai, Hawaii, που κατασκευάστηκε από οπλισμένο σκυρόδεμα το 1913.

Οι εξισώσεις που αναφέρονται στο άρθρο αυτό βασίζονται στην εργασία του R. Engelfried "Carbonation of Unprotected Concrete and its Control by Means of Coatings", Defazet, V31, n9, 1977, pp 353-359 και είναι γνωστές ως ***εξισώσεις των Engelfried και Klopfer***.

Από πλευράς κανονιστικών κειμένων για τις προστατευτικές επιστρώσεις με συστήματα βαφής, αναφέρονται ενδεικτικά, σε χρονολογική σειρά, τα ακόλουθα:

1969 Paints and Protective Coatings for WasteWater Treatment Facilities, Water Pollution Control Federation, Manual of Practice, No.17

1971 Protective Coatings and paints MIL-HDBK- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS

1981 Paints and Protective Coatings, USACE TM 5-618, U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS

1981 NCHRP Report 244: Concrete Sealers for the Protection of Bridge Structures, Pfeifer, D. W. and Scali, M. J,. Transportation Research Board, Washington D.C

1994 Government of Hong Kong Model Specification for Protective Coatings for Concrete. Στο κείμενο περιλαμβάνεται για πρώτη φορά Approved Suppliers List για βαφές προστασίας. Βλπ. το πλήρες κείμενο στο link:
http://www.cedd.gov.hk/eng/publications/standards_handbooks_cost/doc/stan_ms3/mspcc97.pdf

Από τα τέλη της δεκαετίας του 70 υπάρχει καταιγισμός προτύπων για τις προστατευτικές επιστρώσεις κατασκευών από σκυρόδεμα απο κάθε μέρος της Γης (ISO, ASTM, DIN, AS, BS, NZS, JIS, AASHTO).

Και τελικά:

2004 EN 1504 Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity.

2010 ΕΛΟΤ EN 1504 - ΦΕΚ 1100/2010

Σημειώνουμε ότι οι απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN 1504 για τις επικαλύψεις/επιστρώσεις του σκυροδέματος έναντι ενανθράκωσης, είναι κατ' ουσία ίδιες με τις αναφερόμενες το 1977 από τον Dr. R. Engelfried στο βιβλίο του "Carbonation of Unprotected Concrete and its Control by Means of Coatings"

## Α. Βασικές σχέσεις που χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς

| **Εξίσωση 1**<br>Το βάθος ενανθράκωσης, $d_c$, σε σκυρόδεμα | $dc = K\sqrt{t}$ | [mm] |
|---|---|---|

όπου:

$d_c$ = το βάθος ενανθράκωσης σε mm

K = ο συντελεστής ρυθμού ενανθράκωσης σε $\frac{mm}{\sqrt{year}}$

T = ο χρόνος έκθεσης ή χρόνος ζωής της κατασκευής σε χρόνια (years)

- *Η εξίσωση εφαρμόζεται όταν γνωρίζουμε τον συντελεστή ρυθμού ενανθράκωσης και θέλουμε να υπολογίζουμε το βάθος ενανθράκωσης με τα χρόνια.*

| **Εξίσωση 2**<br>Ο συντελεστής ρυθμού ενανθράκωσης, K, σε σκυρόδεμα | $K = \frac{dc}{\sqrt{t}}$ | $\frac{mm}{\sqrt{year}}$ |
|---|---|---|

όπου:

$d_c$ = το βάθος ενανθράκωσης σε mm

t = ο χρόνος έκθεσης ή χρόνος ζωής της κατασκευής σε χρόνια (years)

- *Η εξίσωση εφαρμόζεται όταν έχουμε μετρήσει το βάθος ενανθράκωσης και θέλουμε να υπολογίσουμε τον συντελεστή ρυθμού ενανθράκωσης.*

| **Εξίσωση 3**<br>Ο συντελεστής διάχυσης $CO_2$, $D_{CO2}$, σε σκυρόδεμα | $D_{CO2} = \frac{K^2}{2}$ | $\frac{mm^2}{year}$ |
|---|---|---|

όπου:

K = ο συντελεστής ρυθμού ενανθράκωσης σε $mm/\sqrt{year}$

- *Η εξίσωση εφαρμόζεται όταν γνωρίζουμε τον συντελεστή ρυθμού ενανθράκωσης, είτε από εκτίμηση είτε από μετρήσεις, και θέλουμε να κάνουμε χρήση εξισώσεων υπολογισμού μέσων προστασίας.*

| **Εξίσωση 4**<br>Ισοδύναμο πάχος σκυροδέματος για τις επικαλύψεις, Sc | $Sc = \frac{X_o^2 + 2D_{CO2}(Tm - To) - X_m^2}{2(X_m - X_o)}$ | mm |
|---|---|---|

Όπου:

$X_o$ = το βάθος ενανθράκωσης κατά την εφαρμογή της βαφής. Για τις νέες κατασκευές $X_o$ = 1,0 mm

$D_{CO2}$ = ο συντελεστής διάχυσης $CO_2$ του σκυροδέματος

$X_m$ = το μέγιστο βάθος ενανθράκωσης ώστε να μην έχουμε κρίσιμη ενανθράκωση. Συνήθως ορίζεται ως πάχος επικάλυψης σκυροδέματος (EN 1990+EN 206-1) - 5 mm.

$T_m$ = ο μέγιστος χρόνος προστασίας (50, 100, 120 χρόνια)

$T_o$ = Ο αρχικός χρόνος μέχρι την εφαρμογή της βαφής. Συνήθως ορίζεται ως 0,1 years για νέες κατασκευές ή σκυρόδετηση < 100 ημερών.

- *Η εξίσωση εφαρμόζεται όταν θέλουμε να υπολογίσουμε, για συγκεκριμένες οριακές τιμές (βάθους και χρόνων έκθεσης), την προστασία που απαιτείται να εξασφαλίσουν οι βαφές σε όρους ισοδυνάμου πάχους σκυροδέματος.*

| **Εξίσωση 5**<br>Ισοδύναμο πάχος ξηρού αέρα των επικαλύψεων σκυροδέματος, $S_{d,CO2}$ | $S_{d,CO2} = \mu_{conc} S_c$ | m |
|---|---|---|

όπου:

$\mu_{conc}$ = 400, αδιάστατο μέγεθος

Sc = ισοδύναμο πάχος σκυροδέματος

- *Η εξίσωση εφαρμόζεται όταν θέλουμε να αντιστοιχίσουμε την προστασία που παρέχεται από την επικάλυψη του σκυροδέματος με ισοδύναμο πάχος ξηρού αέρα.*

Η εξίσωση 5 διατυπώνεται και ως εξής:

**$\mu_{CO2}$** (συντελεστής διάχυσης $CO_2$) x **d** (πάχος επικάλυψης ή ξηρού φίλμ) = **$S_{d,CO2}$** (ισοδύναμο πάχος ξηρού αέρα)

Όταν, παραδείγματος χάριν, σε ένα προϊόν αναγράφεται:

| | |
|---|---|
| Πάχος ξηρού φιλμ | d = 130 μm |
| Ισοδύναμο πάχος στρώσης αέρα | $S_{D,}$ $CO_2$ = 429 m |
| Συντελεστής διάχυσης $CO_2$ | $\mu CO_2 = 3.3 \times 10^6$ |
| Απαιτήσεις για προστασία | $S_D$ $CO_2 \geq 50$ m |

αυτό σημαίνει:

**$\mu_{CO2}$** (= $3{,}3 \times 10^6$) x **d** (= 130 μm) = **$S_{d,CO2}$** (**= 429 m** ισοδύναμο πάχος ξηρού αέρα)

Σε όρους "ισοδυνάμου πάχους σκυροδέματος", από την εξίσωση 5 έχουμε:

$$S_{d,CO2} = \mu_{conc} S_c \rightarrow S_c = \frac{S_{d,CO2}}{\mu_{conc}} =$$ 429 / 400 = **1,07 m**

Ο συσχετισμός των ισοδυνάμων παχών προστασίας απεικονίζεται γραφικά ως εξής:

***Δηλαδή:*** *Η αντίσταση στην ενανθράκωση των 130 μm της παραπάνω βαφής είναι ισοδύναμη με αυτή που προσφέρει στρώμα αέρα πάχους 429 m ή αυτή που προσφέρει επικάλυψη σκυροδέματος πάχους 1,07 m.*

**Σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ ΕΝ 1504-2 :**

Προϋπόθεση για να φέρει μια βαφή προστασίας την σήμανση CE, είναι το **ισοδύναμο πάχος ξηρού αέρα** αυτής, $S_{d,CO2}$, να είναι **τουλάχιστον 50 m** , ή το **ισοδύναμο πάχος σκυροδέματος** αυτής, **Sc**, να είναι **τουλάχιστον 125 mm**

**Εξίσωση 6**
Βάθος ενανθράκωσης σκυροδέματος επικάλυψης, επί του οποίου έχει εφαρμοσθεί προστατευτική βαφή, $X_{paint}$

$$X_{paint} = \sqrt{S_c^2 + K_p} - S_c$$ mm

όπου:

$K_p = 2\, S_c X_o + X_o^2 + 2 D_{co2} T_e$

και

$T_e$ = Η διάρκεια ζωής της βαφής (ωφέλιμος χρόνος βαφής), η οποία κυμαίνεται μεταξύ 10-15 ετών στην περίπτωση στοιχείων που είναι εκτεθειμένα στην ηλιακή ακτινοβολία και μεταξύ 15-20 ετών στην περίπτωση μη εκτεθειμένων στοιχείων.

$D_{CO2}$ = Ο συντελεστής διάχυσης $CO_2$ του σκυροδέματος

$X_o$ = Το βάθος ενανθράκωσης κατά την εφαρμογή της βαφής. Για τις νέες κατασκευές λαμβάνουμε Xo = 1,0 mm. Διαφορετικά εφαρμόζουμε το βάθος ενανθράκωσης, όπως θα δούμε παρακάτω.

- *Η εξίσωση εφαρμόζεται όταν θέλουμε να υπολογίσουμε το βάθος της ενανθράκωσης σε στοιχείο στο οποίο έχει εφαρμοσθεί προστατευτική βαφή.*

**Εξίσωση 7**
Μέγιστο επιτρεπόμενο πάχος ξηρού υμένα (φιλμ) προστατευτικής βαφής σκυροδέματος, $d_{max}$

$$d_{max} = \frac{S_{d,H_2O}}{\mu_{H_2O}}$$ m

όπου:

$d_{max}$ = το μέγιστο επιτρεπόμενο πάχος ξηρού υμένα (φιλμ) της βαφής σε m

$S_{d,H2O}$ = το ισοδύναμο πάχος στρώσης αέρα ως προς την διάχυση των υδρατμών (με οριακή τιμή βάσει ΕΛΟΤ ΕΝ 1504-2 ίση προς 4,00 m)

$\mu_{H2O}$ = ο συντελεστής διάχυσης υδρατμών της βαφής (δηλώνεται υποχρεωτικά από τον παραγωγό)

- *Η εξίσωση εφαρμόζεται όταν θέλουμε να υπολογίσουμε το μέγιστο επιτρεπόμενο το πάχος ξηρού υμένα (φιλμ), $d_{max}$, της βαφής, με βάση το οποίο προσδιορίζεται ο αριθμός των επιτρεπόμενων στρώσεων της βαφής σε διάστημα Χ ετών.*

Όταν, παραδείγματος χάριν, σε ένα προϊόν αναγράφεται:

**Πάχος Στρώσης**

$d_{min}$ (ελάχιστο απαιτούμενο πάχος ώστε να επιτευχθούν τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά–$CO_2$ ισοδύναμο πάχος αέρα 50 m και γεφύρωση ρωγμών)=160 μm

$D_{max}$ (μέγιστο απαιτούμενο πάχος που δεν πρέπει να ξεπεράσει - $H_2O$ ισοδύναμο πάχος αέρα 4 m, ώστε να είναι δυνατή η επαρκής διάχυση υδρατμών) = 340 μm

**Συντελεστής Διάχυσης Διοξειδίου Άνθρακα ($\mu CO_2$)**

| | |
|---|---|
| Πάχος ξηρού φιλμ | d = 160 μm |
| Ισοδύναμη στρώση αέρα πάχους | $S_D$, $CO_2$ = 51 m |
| Συντελεστής διάχυσης $CO_2$ | $\mu CO_2 = 3.1 \times 10^3$ |
| Απαιτήσεις για προστασία | $S_D$, $CO_2 \geq 50$ m |

**Συντελεστής Διάχυσης Υδρατμών ($\mu H_2O$)**

| | |
|---|---|
| Πάχος ξηρού φιλμ | d = 230 μm |
| Ισοδύναμη στρώση αέρα πάχους | $S_D$, $H_2O$ = 0.35 m |
| Συντελεστής διάχυσης $H_2O$ | $\mu H_2O = 1.5 \times 10^3$ |
| Απαιτήσεις για διαπνοή | $S_D$, $H_2O \leq 5$ m |

αυτό σημαίνει:

$\mu_{H20}$ (συντελεστής διάχυσης $H_20$, = **$1,5x10^3$**) x **d** (πάχος ξηρού φίλμ, = **230 μm**)
= **Sd,H2O** (ισοδύναμο πάχος ξηρού αέρα, = **0,345 m** )

Με βάση την εξίσωση (7) το μέγιστο επιτρεπόμενο πάχος βαφής προκύπτει ίσο προς:

$$d_{max} \leq \frac{S_{d,H_2O}}{\mu_{H_2O}} =$$ 5,00 m (max κατά ΕΛΟΤ EN 1504-2) / 1,5 x 103 = **333 μm**

Παρατηρούμε ότι ο παραγωγός δίνει $d_{max}$ = 340 μm και ελάχιστο πάχος βαφής 160 μm που αντιστοιχεί στο ελάχιστο απαιτούμενο ισοδύναμο πάχος ξηρού αέρα, σύμφωνα με το Πρότυπο.

**Με λίγα λόγια, μπορούμε να εφαρμόσουμε την παραπάνω βαφή μέχρι 2 φορές, με πάχος ξηρού φιλμ 160 μm (320 μm <333 μm). Αν θεωρήσουμε ότι η συνήθης ωφέλιμη ζωή της βαφής είναι 15 χρόνια, προκύπτει ότι ο μέγιστος χρόνος προστασίας με επαναβαφή είναι 30 χρόνια. Στην περίπτωση που προστασία για περισσότερα από 30 χρόνια, θα απαιτηθεί αφαίρεση των προηγούμενων στρώσεων.**

**Σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1504-2 :**

Προϋπόθεση για να φέρει μια βαφή προστασίας την σήμανση CE, είναι το **ισοδύναμο πάχος ξηρού αέρα ως προς την διάχυση των υδρατμών** αυτής, $S_{d,H2O}$, να είναι **τουλάχιστον 5,00 m**

## Ερωτήσεις & Απαντήσεις σχετικά με την χρήση των όρων και εξισώσεων

### 1. Πως υπολογίζεται ο συντελεστής ρυθμού ενανθράκωσης σε υφιστάμενη κατασκευή;

Για τον υπολογισμό απαιτείται η εύρεση του βάθους ενανθράκωσης. Αυτό γίνεται:

α) μέσω ψεκασμού καρότου σκυροδέματος με 1% phenolphthalein βάσει EN 13295

β) με χρήση μολυβιών αλκαλικότητας σκυροδέματος επάνω σε καρότο σκυροδέματος

γ) με ειδικό συλλέκτη σκόνης τσιμεντοπολτού από διάτρηση οπής και χρήση 1% phenolphthalein βάσει EN 13295

δ) με ηλεκτρονικό μετρητή αλκαλικότητας σκυροδέματος επάνω σε καρότο σκυροδέματος.

Αφού εκτελεσθούν τουλάχιστον 3 μετρήσεις, λαμβάνεται ο μέσος όρος του βάθους σε mm. Γνωρίζοντας τα χρόνια έκθεσης (ημερομηνία δοκιμής - ημερομηνία κατασκευής), υπολογίζουμε τον συντελεστή ρυθμού ενανθράκωσης.

### 2. Τι ορίζεται ως ημερομηνία κατασκευής;

Είναι ο χρόνος που πραγματοποιήθηκε η σκυροδέτηση και όχι ο χρόνος αποπεράτωσης της κατασκευής.

### 3. Η επιλογή των σημείων δειγματοληψίας για την εύρεση του βάθους ενανθράκωσης είναι κρίσιμη;

Είναι εξαιρετικά κρίσιμο να ληφθούν δείγματα από περιοχές που ανήκουν στις υποκατηγορίες XC3 και XC4, επειδή οι υποκατηγορίες αυτές παρουσιάζουν υψηλότερη πιθανότητα ενεργούς διάβρωσης λόγω ενανθράκωσης.

### 4. Εφόσον ο εσωτερικός χώρος παρουσιάζει υψηλότερη συγκέντρωση $CO_2$ και κατά συνέπεια μέγιστο ρυθμό ενανθράκωσης, γιατί δεν επιλέγουμε στοιχεία που ανήκουν στην κατηγορία XC1;

Τα στοιχεία που ανήκουν στην υποκατηγορία XC1 έχουν σχεδόν μηδενική πιθανότητα να εμφανίζουν ενεργή διάβρωση.

## 5. Ενα υποστύλωμα που είναι ταυτόχρονα εσωτερικό και εξωτερικό δεν αποτελεί την δυσμενέστερη περίπτωση για την δειγματοληψία;

Προφανώς. Ακόμα και αν **μια** παρειά ανήκει σε υποκατηγορία διαφορετική της XC1, θεωρούμε ότι όλο το στοιχείο ανήκει στην κατηγορία αυτή.

## 6. Ένα εσωτερικό στοιχείο που είναι αποκλειστικά εσωτερικό ανήκει πάντα στην περίπτωση XC1;

- **Ναι**, εφόσον το στοιχείο δεν παρουσιάζει σχετική υγρασία μεταξύ 45-65%.
- **Όχι**, εφόσον το στοιχείο παρουσιάζει σχετική υγρασία > 65%

## 7. Μπορει ένα στοιχείο που είναι αποκλειστικά εσωτερικό να παρουσιάσει υγρασία > 65%;

**Ναι**. Οι πιο διαδεδομένες περιπτώσεις είναι:

α) Στοιχείο θεμελίωσης που βρίσκεται κοντά σε υδροφόρο ορίζοντα,

β) Στοιχείο που εμφανίζει συμπτώματα υγροποίησης λόγω θερμογεφυρών ,

γ) Στοιχείο που εμφανίζει αυξημένη υγρασία λόγω αστοχίας υγρομονώσεων,

δ) Στοιχείο βιομηχανικών διεργασιών που παράγουν υψηλά ποσοστά υγρασίας όπως πλυντήρια αυτοκινήτων, κλειστά κολυμβητήρια, σφαγεία, κλπ.

## 8. Ως μελετητής όταν έχω, για παράδειγμα, ένα κλειστό κολυμβητήριο γλυκού νερού, ποια κατηγορία βάσει ΕΛΟΤ EN 206-1 πρέπει να επιλέξω;

Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 206-1 δεν καλύπτει περιπτώσεις που ο αέρας περιέχει χημικές ουσίες προερχόμενες από την διαδικασία απολύμανσης του νερού της πισίνας του κολυμβητηρίου. Στην περίπτωση αυτή ο μελετητής είναι υποχρεωμένος να τηρήσει το πρότυπο ACI 515 ή το ΕΛΟΤ EN 1504-2 για την χρήση ειδικών μεμβρανών προστασίας, αφού εκτιμήσει τον τύπο της χημικής προσβολής.

Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 206-1 μπορεί να εφαρμοστεί μόνον όταν η απολύμανση γίνεται με υπεριώδη ακτινοβολία. Στην περίπτωση αυτή ο μελετητής Πολιτικός Μηχανικός σε πλήρη συνεργασία με το μελετητή Μηχανολόγο Μηχανικό θα πρέπει να υπολογίσουν τις περιοχές μέγιστης υγρασίας του χώρου. Η ανάλυση είναι εξαιρετικά δύσκολη διότι επηρεάζεται από την γεωμετρία, τα σημεία εισόδου και εξόδου του εξαερισμού και συνήθως απαιτεί computational fluid dynamics (CFDs).

## 9. Εφόσον στο κολυμβητήριο έχω χημική προσβολή γιατί δεν επιλέγω την κατηγορία XA βάσει ΕΛΟΤ EN 206-1;

Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 206-1 κατηγορία XA, καλύπτει κατά κανόνα περιπτώσεις συγκέντρωσης $SO_4$.

## 10. Είναι λογικό σε 10 μετρήσεις βάθους ενανθράκωσης σε στοιχεία XC4, ο δείκτης διασποράς να είναι μεγαλύτερος από 5%;

Προφανώς. Η μέτρηση είναι χαρακτηριστική της τοπικής αντίστασης του σκυροδέματος στο σημείο δειγματοληψίας προς τις τοπικές συνθήκες έκθεσης του σημείου δειγματοληψίας. Μερικοί παράμετροι δημιουργίας διασποράς είναι η διεύθυνση του ανέμου, η ποιότητα σκυροδέτησης και συντήρησης του σκυροδέματος και η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.

## 11. Στην περίπτωση που σε στοιχεία XC4, ο δείκτης διασποράς του βάθους ενανθράκωσης να είναι μεγαλύτερος από 5%, πως υπολογίζω τον συντελεστή ρυθμού ενανθράκωσης;

Η CEB/Fib θεωρεί ότι η ενανθράκωση ακολουθεί κανονική κατανομή και άρα μπορούμε να κάνουμε χρήση των τιμών Z από Πίνακες. Ο μηχανικός που διενεργεί το έλεγχο θα πρέπει να απαιτήσει στάθμη αξιοπιστίας ≥95%. Δηλαδή θα πρέπει να υπολογίσει το άνω όριο 95% του βάθους ενανθράκωσης,

$$dc = \frac{\sum_1^N d_{c,i}}{N} + 1.64\,\sigma$$

όπου **σ** είναι η τυπική απόκλιση των N μετρήσεων $\mathbf{d_{c,i}}$ και Z=1,64. Οι τιμες Z δίδονται στον ακόλουθο Πίνακα:

**Standard Normal Probabilities**

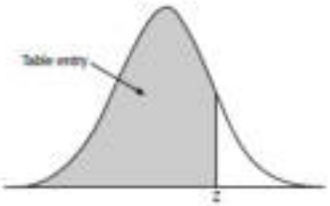



Table entry for z is the area under the standard normal curve to the left of z.

| z | .00 | .01 | .02 | .03 | .04 | .05 | .06 | .07 | .08 | .09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.0 | .5000 | .5040 | .5080 | .5120 | .5160 | .5199 | .5239 | .5279 | .5319 | .5359 |
| 0.1 | .5398 | .5438 | .5478 | .5517 | .5557 | .5596 | .5636 | .5675 | .5714 | .5753 |
| 0.2 | .5793 | .5832 | .5871 | .5910 | .5948 | .5987 | .6026 | .6064 | .6103 | .6141 |
| 0.3 | .6179 | .6217 | .6255 | .6293 | .6331 | .6368 | .6406 | .6443 | .6480 | .6517 |
| 0.4 | .6554 | .6591 | .6628 | .6664 | .6700 | .6736 | .6772 | .6808 | .6844 | .6879 |
| 0.5 | .6915 | .6950 | .6985 | .7019 | .7054 | .7088 | .7123 | .7157 | .7190 | .7224 |
| 0.6 | .7257 | .7291 | .7324 | .7357 | .7389 | .7422 | .7454 | .7486 | .7517 | .7549 |
| 0.7 | .7580 | .7611 | .7642 | .7673 | .7704 | .7734 | .7764 | .7794 | .7823 | .7852 |
| 0.8 | .7881 | .7910 | .7939 | .7967 | .7995 | .8023 | .8051 | .8078 | .8106 | .8133 |
| 0.9 | .8159 | .8186 | .8212 | .8238 | .8264 | .8289 | .8315 | .8340 | .8365 | .8389 |
| 1.0 | .8413 | .8438 | .8461 | .8485 | .8508 | .8531 | .8554 | .8577 | .8599 | .8621 |
| 1.1 | .8643 | .8665 | .8686 | .8708 | .8729 | .8749 | .8770 | .8790 | .8810 | .8830 |
| 1.2 | .8849 | .8869 | .8888 | .8907 | .8925 | .8944 | .8962 | .8980 | .8997 | .9015 |
| 1.3 | .9032 | .9049 | .9066 | .9082 | .9099 | .9115 | .9131 | .9147 | .9162 | .9177 |
| 1.4 | .9192 | .9207 | .9222 | .9236 | .9251 | .9265 | .9279 | .9292 | .9306 | .9319 |
| 1.5 | .9332 | .9345 | .9357 | .9370 | .9382 | .9394 | .9406 | .9418 | .9429 | .9441 |
| 1.6 | .9452 | .9463 | .9474 | .9484 | .9495 | .9505 | .9515 | .9525 | .9535 | .9545 |
| 1.7 | .9554 | .9564 | .9573 | .9582 | .9591 | .9599 | .9608 | .9616 | .9625 | .9633 |
| 1.8 | .9641 | .9649 | .9656 | .9664 | .9671 | .9678 | .9686 | .9693 | .9699 | .9706 |
| 1.9 | .9713 | .9719 | .9726 | .9732 | .9738 | .9744 | .9750 | .9756 | .9761 | .9767 |
| 2.0 | .9772 | .9778 | .9783 | .9788 | .9793 | .9798 | .9803 | .9808 | .9812 | .9817 |
| 2.1 | .9821 | .9826 | .9830 | .9834 | .9838 | .9842 | .9846 | .9850 | .9854 | .9857 |
| 2.2 | .9861 | .9864 | .9868 | .9871 | .9875 | .9878 | .9881 | .9884 | .9887 | .9890 |
| 2.3 | .9893 | .9896 | .9898 | .9901 | .9904 | .9906 | .9909 | .9911 | .9913 | .9916 |
| 2.4 | .9918 | .9920 | .9922 | .9925 | .9927 | .9929 | .9931 | .9932 | .9934 | .9936 |
| 2.5 | .9938 | .9940 | .9941 | .9943 | .9945 | .9946 | .9948 | .9949 | .9951 | .9952 |
| 2.6 | .9953 | .9955 | .9956 | .9957 | .9959 | .9960 | .9961 | .9962 | .9963 | .9964 |
| 2.7 | .9965 | .9966 | .9967 | .9968 | .9969 | .9970 | .9971 | .9972 | .9973 | .9974 |
| 2.8 | .9974 | .9975 | .9976 | .9977 | .9977 | .9978 | .9979 | .9979 | .9980 | .9981 |
| 2.9 | .9981 | .9982 | .9982 | .9983 | .9984 | .9984 | .9985 | .9985 | .9986 | .9986 |
| 3.0 | .9987 | .9987 | .9987 | .9988 | .9988 | .9989 | .9989 | .9989 | .9990 | .9990 |
| 3.1 | .9990 | .9991 | .9991 | .9991 | .9992 | .9992 | .9992 | .9992 | .9993 | .9993 |
| 3.2 | .9993 | .9993 | .9994 | .9994 | .9994 | .9994 | .9994 | .9995 | .9995 | .9995 |
| 3.3 | .9995 | .9995 | .9995 | .9996 | .9996 | .9996 | .9996 | .9996 | .9996 | .9997 |
| 3.4 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9998 |

Επομένως η εξίσωση (1) γίνεται :

$$K = \frac{\frac{\sum_1^N d_{c,i}}{N} + 1.64\,\sigma}{\sqrt{t}}$$

## 12. Η εξίσωση για το ισοδύναμο πάχος σκυροδέματος για τις επικαλύψεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για υφιστάμενες κατασκευές;

Προφανώς. Απλά θα χρειαστούν οι παρακάτω αλλαγές στους συντελεστές της εξίσωσης:

$$Sc = \frac{X_o^2 + 2D_{CO2}(Tm - To) - X_m^2}{2(X_m - X_o)}$$

όπου:

$$dc = \frac{\sum_1^N d_{c,i}}{N} + 1.64\,\sigma$$

| | |
|---|---|
| $X_o$ | το βάθος ενανθράκωσης κατά την εφαρμογή της βαφής ή το 95% (άνω όριο) του βάθους που προκύπτει από την σχέση |
| $D_{CO2}$ | ο συντελεστής διάχυσης $CO_2$ του σκυροδέματος που προκύπτει με βάση το μέγιστο βάθος ενανθράκωσης και τον χρόνου έκθεσης που ορίζεται από την διαφορά : χρόνος μετρήσεων - χρόνος κατασκευής |
| $X_m$ | το μέγιστο βάθος ενανθράκωσης (μικρότερο ή ίσο του βάθους κρίσιμης ενανθράκωσης), το οποίο κατά κανόνα λαμβάνεται ίσο προς το πάχος επικάλυψης σκυροδέματος (EN 1990, EN 206-1) - 5 mm |
| $T_m$ | ο μέγιστος χρόνος προστασίας, ίσος προς την διαφορά: ωφέλιμος χρόνος ζωής - χρόνος μετρήσεων |
| $T_o$ | χρόνος μετρήσεων - χρόνος κατασκευής |

### ➢ Παράδειγμα 1

#### Δεδομένα

Σε στοιχεία κατηγορίας έκθεσης XC4 μετρήθηκαν το 2015 τα ακόλουθα βάθη ενανθράκωσης: Dc =17,2 / 15,6 / 11,2 / 19,5 / 20,6 / 20,4 / 16,3 / 18,9 mm

Ο φορέας σκυροδετήθηκε το 1989.

#### Αναφορές

Για το πάχος επικάλυψης το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 206-1 και ο Ευρωκώδικας 2 (EN 1992-1-1) ορίζουν τα ακόλουθα:

- Από τον Ευρωκώδικα 2:

**4.4.1.2 Ελάχιστη επικάλυψη, $c_{min}$**

**Σημείωση:** Στις προτεινόμενες τιμές: 1,5 αντί 2,0, 2,5 αντί 3,0.

(1)P Πρέπει να προβλέπεται ελάχιστη επικάλυψη $c_{min}$, προκειμένου να διασφαλιστεί:
- ασφαλής μεταφορά των δυνάμεων συνάφειας (βλ. επίσης τα Κεφάλαια 7 και 8)
- η προστασία του χάλυβα έναντι διάβρωσης (ανθεκτικότητα σε διάρκεια)
- επαρκής πυροπροστασία (βλ. EN 1992-1-2)

(2)P Πρέπει να χρησιμοποιείται η μεγαλύτερη τιμή $c_{min}$ που να ικανοποιεί τις απαιτήσεις τόσο για τις συνθήκες συνάφειας όσο και για τις περιβαντολλογικές.

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

όπου:

$c_{min,b}$ ελάχιστη επικάλυψη βάση απαίτησης συνάφειας, βλ. 4.4.1.2 (3)

$c_{min,dur}$ ελάχιστη επικάλυψη βάση περιβαντολλογικών συνθηκών 4.4.1.2 (5)

$\Delta c_{dur,\gamma}$ πρόσθετη ασφάλεια στοιχείου, βλ. 4.4.1.2 (6)

$\Delta c_{dur,st}$ απομείωση της ελάχιστης επικάλυψης σε περίπτωση χρήσης ανοξείδωτου χάλυβα, βλ. 4.4.1.2 (7)

$\Delta c_{dur,add}$ απομείωση της ελάχιστης επικάλυψης σε περίπτωση πρόσθετης προστασίας, βλ. 4.4.1.2 (8)

Το $C_{min,b}$ δίδεται από τον Πίνακα 4.2:

**Πίνακας 4.2: Απαιτήσεις ελάχιστης επικάλυψης $c_{min,b}$, από άποψη συνάφειας**

| Απαίτηση συνάφειας | |
|---|---|
| Διάταξη ράβδων | Ελάχιστη επικάλυψη $c_{min,b}$* |
| Μεμονωμένες | Διάμετρος ράβδου |
| Δεσμίδα | Ισοδύναμη διάμετρος ($Ø_n$)(βλ. 8.9.1) |

* Εάν η μέγιστη ονομαστική διάσταση των αδρανών είναι μεγαλύτερη από 32 mm, τότε η cmin,b πρέπει να προσαυξάνεται κατά 5 mm.

**Σημείωση:** Οι τιμές της $c_{min,b}$ για προένταση μετά τη σκλήρυνση για τένοντες με ενσωμάτωση εντός σωλήνων κυκλικής ή ορθογωνικής διατομής καθώς και για προεντεταμένους τένοντες πριν από την έγχυση του σκυροδέματος παρέχονται σε κάθε χώρα στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Οι συνιστώμενες τιμές για τάνυση μετά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος είναι:

κυλινδρικοί σωλήνες: διάμετρος

ορθογωνικοί σωλήνες: μεγαλύτερη της ελάχιστης διάστασης ή το ήμισυ της μεγαλύτερης διάστασης.

Δεν υπάρχει απαίτηση για μεγαλύτερη τιμή από 80 mm για σωλήνες είτε κυκλικής είτε ορθογωνικής διατομής.

Οι συνιστώμενες τιμές για τένοντες προεντεταμένους πριν την έγχυση του σκυροδέματος είναι:

2,0 x διάμετρο του συρματόσχοινου ή του απλού σύρματος
3,0 x διάμετρο του πλεγμένου σύρματος

Το $C_{min,dur}$ για την περίπτωση απλού κτιριακού έργου, ωφέλιμης ζωής ως 50 έτη δίδεται από τους Πίνακες 4.4N (χάλυβας οπλισμού) και 4.5N (χάλυβας προέντασης):

**Πίνακας 4.3N: Συνιστώμενη κατηγοριοποίηση κατασκευών**

| Κατηγορία Κατασκευής | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Κριτήριο | Κατηγορία έκθεσης σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1 | | | | | | |
| | X0 | XC1 | XC2 / XC3 | XC4 | XD1 | XD2 / XS1 | XD3 / XS2 / XS3 |
| Χρόνος 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 |

**Σημειώσεις στον Πίνακα 4.3N σύμφωνα με το EN 10080**

1. Η κατηγορία ανταχής και ο λόγος νερού/τσιμέντου w/c θεωρούνται ότι είναι συσχετιζόμενες τιμές. Μπορεί να προβλέπεται μια ειδική σύνθεση (είδος σκυροδέματος, λόγος νερού/τσιμέντου w/c, λεπτόκοκκο υλικό) με σκοπό να προκύψε χαμηλή διαπερατότητα.
2. Το όριο μπορεί να μειώνεται κατά μία κατηγορία αντοχής εάν προβλέπονται αεροπηκτικά σε ποσοστό φυσαλίδων μεγαλύτερο του 4%.

**Πίνακας 4.4N: Απαιτήσεις τιμών ελάχιστης επικάλυψης, $c_{min,dur}$, από άποψη ανθεκτικότητας σε διάρκεια για χάλυβα οπλισμού**

| Περιβαλλοντολογική απαίτηση για την $c_{min,dur}$ (mm) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Κατηγορία Κατασκευής | Κατηγορία έκθεσης σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1 | | | | | | |
| | 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 |

Στον Ευρωκώδικα 2, καθορίζονται επίσης και τα εξής:

**4.4.1.3 Ανοχές σχεδιασμού για παρεκλίσεις**

(1)P Προκειμένου να υπολογιστεί η ονομαστική επικάλυψη, $c_{nom}$, πρέπει να γίνει μια προσαύξηση στην ελάχιστη επικάλυψη ώστε να ληφθούν υπόψη οι αποκλίσεις ($\Delta c_{dev}$). Η απαιτούμενη ελάχιστη επικάλυψη πρέπει να αυξάνεται κατά την απόλυτη τιμή της αποδεκτής αρνητικής παρέκλισης.

(2) Για τα κτίρια, το EN 13670 δίνει την τιμή της ανεκτής παρέκλισης. Αυτό είναι επίσης αρκετό και για άλλα είδη κατασκευών. Η προσαύξηση αυτή πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν επιλέγεται η τιμή της ονομαστικής επικάλυψης του σκυροδέματος. Η ονομαστική τιμή της επικάλυψης του σκυροδέματος πρέπει να χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς και να δηλώνεται στα σχέδια, εκτός εάν προδιαγράφεται τιμή άλλη εκτός της ονομαστικής (π.χ. η ελάχιστη τιμή).

**Σημείωση:** Η τιμή της $\Delta c_{dev}$ για χρήση σε κάθε χώρα παρατίθεται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Η συνιστώμενη τιμή είναι 10 mm.

(3) Σε ορισμένες περιπτώσεις, πρέπει να μειώνεται η ανεκτή παρέκλιση και η συνακόλουθη ανοχή $\Delta c_{dev}$.

**Σημείωση:** Η μείωση της $\Delta c_{dev}$ στις περιστάσεις αυτές για χρήση σε κάθε χώρα παρατίθεται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Οι συνιστώμενες τιμές είναι:

- όπου η κατασκευή υπόκειται σε σύστημα διασφάλισης ποιότητας, στο οποίο ο έλεγχος περιλαμβάνει μετρήσεις της επικάλυψης του σκυροδέματος, είναι δυνατό να μειώνεται η ανοχή κατά τον σχεδιασμό έναντι παρέκλισης $\Delta c_{dev}$:

  $10 \text{ mm} \geq \Delta c_{dev} \geq 5 \text{ mm}$ (4.3N)

- όπου μπορεί να διασφαλιστεί ότι χρησιμοποιείται ένα πολύ ακριβές όργανο μέτρησης και απορρίπτονται όσα στοιχεία δεν συμμορφώνονται (π.χ. προκατασκευασμένα στοιχεία), η ανοχή κατά τον σχεδιασμό έναντι έναντι παρέκλισης $\Delta c_{dev}$ μπορεί να μειωθεί:

  $10 \text{ mm} \geq \Delta c_{dev} \geq 0 \text{ mm}$ (4.4N)

- Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2, η ονομαστική επικάλυψη των οπλισμών, **c**, υπόκειται σε αυξομειώσεις, ως εξής (§ 4.4.1.3):

(6) Η επικάλυψη των οπλισμών πρέπει να αυξάνεται κατά μια πρόσθετη παράμετρο ασφαλείας $\Delta c_{dur,\gamma}$.

**Σημείωση:** Η τιμή της $\Delta c_{dur,\gamma}$ για χρήση σε κάθε χώρα παρατίθεται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Η συνιστώμενη τιμή είναι 0 mm.

(8) Για σκυρόδεμα με πρόσθετη προστασία επίστρωσης η ελάχιστη επικάλυψη μπορεί να μειώνεται κατά $\Delta c_{dur,add}$.

**Σημείωση:** Η τιμή της $\Delta c_{dur,add}$ για χρήση σε κάθε χώρα παρατίθεται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Η συνιστώμενη τιμή, χωρίς άλλη προδιαγραφή, είναι 0 mm.

- Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2, ως κατηγορία κατασκευής (construction class) για ωφέλιμη ζωή 50 ετών οι κατασκευές ορίζεται η S4, οπότε σύμφωνα με τον παραπάνω Πίνακα 4.4N η ελάχιστη τιμή $C_{min,dur}$ για συνθήκες έκθεσης XC4 προκύπτει ίση προς 30 mm (S4) ή βάσει του ΕΛΟΤ EN 206-1 (Πίνακας Ε.Π. F.1), ίση προς 35 mm.

- Όλα τα παραπάνω αναφέρονται σε αδρανή με μέγιστο κόκκο 32 mm.

## Υπολογισμοί

Με βάση τα προαναφερθέντα, για την περίπτωση ράβδων οπλισμού Φ20 με συνδετήρες Φ8, η ελάχιστη επικάλυψη προκύπτει ως εξής:

$C_{min}$ = max (28 mm, 35 mm + 0 - 0, 10 mm) = 35 mm

Επειδή στα συνήθη κτιριακά έργα δεν υπάρχουν στοιχεία μετρήσεων του πραγματικού πάχους επικάλυψης οι αποκλίσεις Δcdev λαμβάνονται ίσες προς 10 mm, οπότε η **ονομαστική επικάλυψη** είναι:

$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$ = 35 mm + 10 mm = 45 mm

*Επισημαίνεται εδώ ότι ακόμη με την χρήση αποστατήρων (spacers) δεν επιτρέπεται να μειωθεί η ελάχιστη τιμή της απόκλισης $\Delta C_{dev}$, η οποία καλύπτει κατά βάση τις αποδεκτές ανοχές των ξυλοτύπων.*

Από τις μετρήσεις του βάθους ενανθράκωσης προκύπτει **μέση τιμή** ίση προς 17,46 mm και **τυπική απόκλιση** 3,13 mm, οπότε:

$$dc = \frac{\sum_1^N d_{c,i}}{N} + 1.64\,\sigma = 17.46 + 1.64\ x\ 3.13 = 22.59mm$$

Ο **χρόνος έκθεσης** είναι: 2015 - 1989 = 26 χρόνια, οπότε ο **συντελεστής ρυθμού ενανθράκωσης** είναι:

$$K = \frac{dc}{\sqrt{t}} = \frac{22.59mm}{\sqrt{26\ years}} = 4.43mm/\sqrt{years}$$

Ο **συντελεστής διάχυσης $CO_2$, $D_{CO2}$**, προκύπτει ίσος προς:

$$D_{CO2} = \frac{K^2}{2} = \frac{(4.43mm/\sqrt{years})^2}{2} = 9.81\ mm^2/year$$

Ως **ασφαλές βάθος ενανθράκωσης** θεωρείται διεθνώς το:

$C_{reliab} = c_{nom}$ - 5 mm = (45 - 5) mm = 40 mm

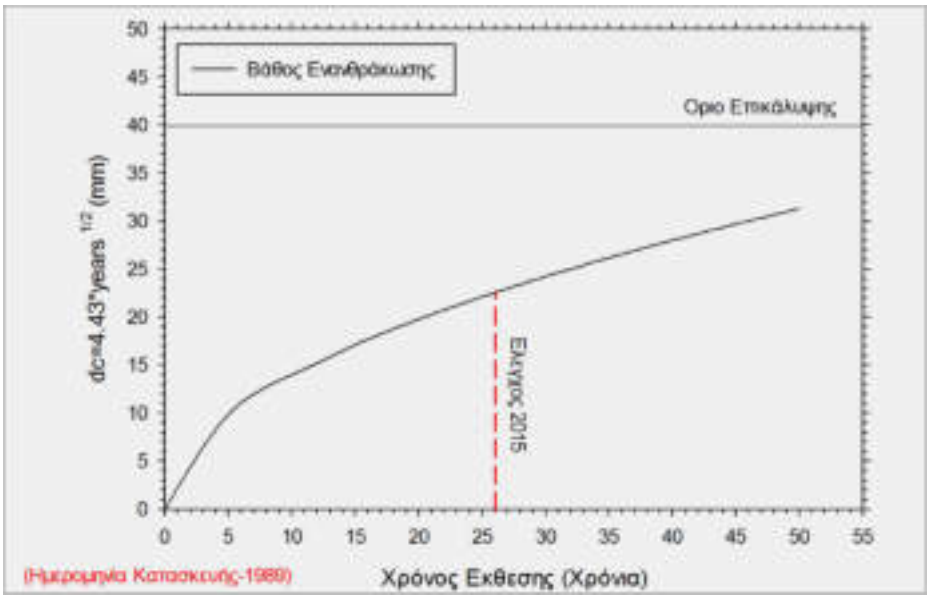
Η μείωση κατά 5 mm καλύπτει τις ανοχές ανοχές διαμέτρου οπλισμού και νευρώσεων κατά ΕΛΟΤ EN 10080, καθώς και τις ανοχές των αποστατήρων του οπλισμού.

⇒ **ισοδύναμο πάχος σκυροδέματος** στο τέλος του ωφέλιμου χρόνου ζωής $T_m$=50 χρόνια:

$$Sc = \frac{X_o^2 + 2D_{CO2}(Tm - To) - X_m^2}{2(X_m - X_o)} = \frac{(22.59\ mm)^2 + 2\cdot\left(\frac{9.81\ mm^2}{year}\right)(50 - 26years) - (40mm)^2}{2(40 - 22.59mm)} = -17.71mm$$

*Το αρνητικό πρόσημο στην τιμή Sc, δηλώνει ότι το στοιχείο δεν απαιτεί επιπρόσθετη προστασία επικάλυψης για την παραμένουσα ωφέλιμη ζωή της κατασκευής.*

Τα παραπάνω απεικονίζονται γραφικά στο ακόλουθο διάγραμμα:




## ➢ Παράδειγμα 2

### Δεδομένα

Σε στοιχεία κατηγορίας έκθεσης XC4 μετρήθηκαν το 2015 τα ακόλουθα βάθη ενανθράκωσης: Dc = 28,2 / 29,6 / 28,2 / 28,5 / 26,2 / 27,4 / 27,3 / 28,1 mm

Ο φορέας σκυροδετήθηκε το 1989.

Το ελάχιστο πάχος επικάλυψης με βάση το ΕΛΟΤ EN 206-1 και τον Ευρωκώδικα 2 (EN 1992-1-1) είναι:
$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$ = 35 mm (XC4 EN 206-1) + 10 mm (EN 1992-1-1) = 45 mm

### Υπολογισμοί

Από τις μετρήσεις του βάθους ενανθράκωσης προκύπτει **μέση τιμή** ίση προς 31,93 mm και **τυπική απόκλιση** 3,12 mm, οπότε:

$$dc = \frac{\sum_1^N d_{c,i}}{N} + 1.64\,\sigma = 27.93 + 1.64\ x\ 0.99 = 29.55mm$$

Ο **χρόνος έκθεσης** είναι: 2015 - 1989 = 26 χρόνια, οπότε ο **συντελεστής ρυθμού ενανθράκωσης** είναι:

$$K = \frac{dc}{\sqrt{t}} = \frac{29.55mm}{\sqrt{26\ years}} = 5.79\ mm/\sqrt{years}$$

Ο **συντελεστής διάχυσης $CO_2$, $D_{CO2}$**, προκύπτει ίσος προς:

$$D_{CO2} = \frac{K^2}{2} = \frac{(5.79\ mm/\sqrt{years})^2}{2} = 16.76\ mm^2/year$$

Ως **ασφαλές βάθος ενανθράκωσης** θεωρείται διεθνώς το:

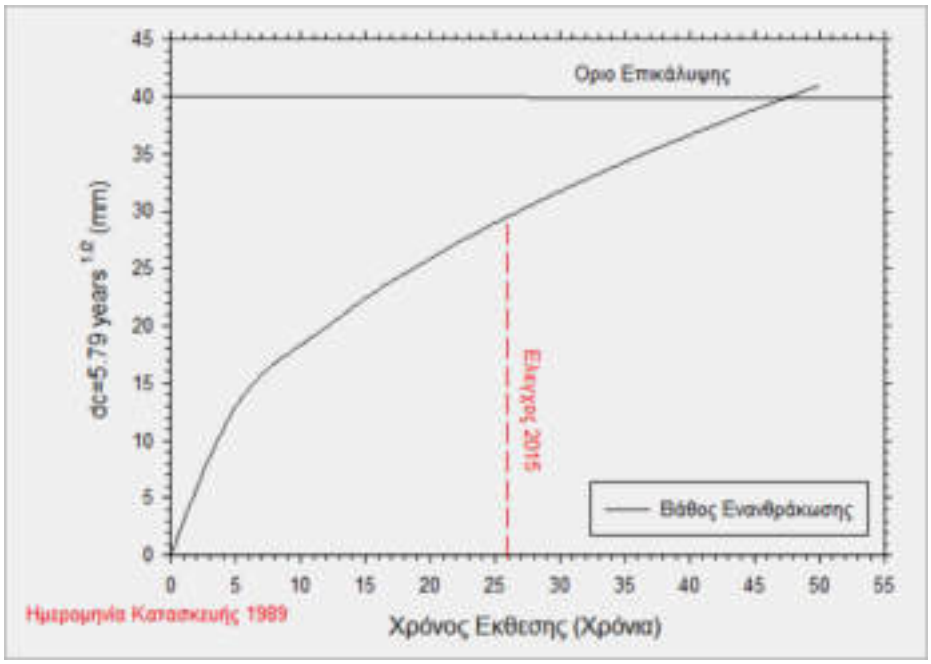
$C_{reliab} = c_{nom}$ - 5 mm = (45 - 5) mm = 40 mm

⇒ **ισοδύναμο πάχος σκυροδέματος** στο τέλος του ωφέλιμου χρόνου ζωής $T_m$=50 χρόνια:

$$Sc = \frac{X_o^2 + 2D_{CO2}(Tm - To) - X_m^2}{2(X_m - X_o)} = \frac{(29.55\ mm)^2 + 2\cdot\left(\frac{16.76\ mm^2}{year}\right)(50 - 26years) - (40mm)^2}{2(40 - 29.55mm)} = 3.71\ mm$$

*Η τιμή Sc = 3,71 mm, δηλώνει ότι η υπάρχουσα επικάλυψη (40 mm)* ***δεν καλύπτει*** *την απαίτηση των 50 ετών.*

Τα παραπάνω απεικονίζονται γραφικά στο ακόλουθο διάγραμμα:




Για να διασφαλισθεί η κατασκευή σε ορίζοντα 50 ετών απαιτείται η εφαρμογή προστατευτικής βαφής με ισοδύναμο πάχος ξηρού αέρα, σύμφωνα με την εξίσωση (5):

$$S_{d,CO2} = \mu_{conc} S_c = 400 \cdot 3.71mm = 1484\ mm \text{ ή } 1.48m$$

## ➢ Παράδειγμα 3

### Δεδομένα

Σε στοιχεία βιομηχανικού κτιρίου κατηγορίας έκθεσης XC4 με μέση σχετική υγρασία 72% μετρήθηκαν το 2015 τα ακόλουθα βάθη ενανθράκωσης: Dc = 28,2 / 29,6 / 28,2 / 28,5 / 26,2 / 27,4 / 27,3 / 28,1 mm

Ο φορέας σκυροδετήθηκε το 1995.

Το ελάχιστο πάχος επικάλυψης με βάση το ΕΛΟΤ EN 206-1 και τον Ευρωκώδικα 2 (EN 1992-1-1) είναι:
$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$ = 35 mm (XC4 EN 206-1) + 10 mm (EN 1992-1-1) = 45 mm

### Υπολογισμοί

Από τις μετρήσεις του βάθους ενανθράκωσης προκύπτει **μέση τιμή** ίση προς 27,93 mm και **τυπική απόκλιση** 0,99 mm, οπότε:

$$dc = \frac{\sum_1^N d_{c,i}}{N} + 1.64\,\sigma = 27.93 + 1.64\ x\ 0.99 = 29.55mm$$

Ο **χρόνος έκθεσης** είναι: 2015 - 1995 = 20 χρόνια, οπότε ο **συντελεστής ρυθμού ενανθράκωσης** είναι:

$$K = \frac{dc}{\sqrt{t}} = \frac{29.55mm}{\sqrt{20\ years}} = 6.60\ mm/\sqrt{years}$$

Ο **συντελεστής διάχυσης $CO_2$, $D_{CO2}$**, προκύπτει ίσος προς:

$$D_{CO2} = \frac{K^2}{2} = \frac{(6.60\ mm/\sqrt{years})^2}{2} = 21.83\ mm^2/year$$

Ως **ασφαλές βάθος ενανθράκωσης** θεωρείται διεθνώς το:

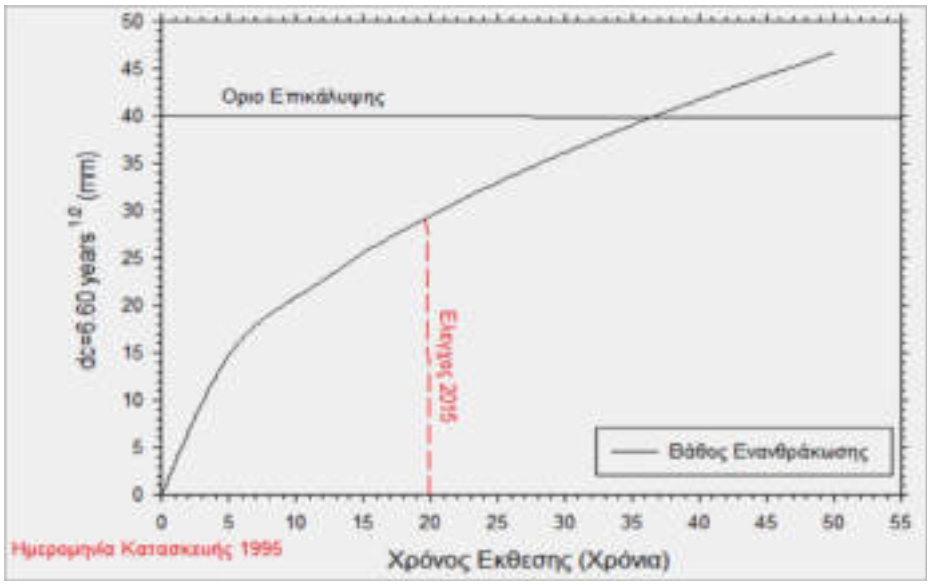
$C_{reliab} = c_{nom}$ - 5 mm = (45 - 5) mm = 40 mm

⇒ **ισοδύναμο πάχος σκυροδέματος** στο τέλος του ωφέλιμου χρόνου ζωής $T_m$=50 χρόνια:

$$Sc = \frac{X_o^2 + 2D_{CO2}(Tm - To) - X_m^2}{2(X_m - X_o)} = \frac{(29.55\,mm)^2 + 2\cdot\left(\frac{21.83\,mm^2}{year}\right)(50 - 20years) - (40mm)^2}{2(40 - 29.55mm)} = 27.89\,mm$$

*Η τιμή Sc = 27,89 mm, δηλώνει ότι η υπάρχουσα επικάλυψη (40 mm) **δεν καλύπτει** την απαίτηση των 50 ετών.*

Τα παραπάνω απεικονίζονται γραφικά στο ακόλουθο διάγραμμα:




Για να διασφαλισθεί η κατασκευή σε ορίζοντα 50 ετών απαιτείται η εφαρμογή προστατευτικής βαφής με ισοδύναμο πάχος ξηρού αέρα, σύμφωνα με την εξίσωση (5):

$$S_{d,CO2} = \mu_{conc} S_c = 400 \cdot 27.89\,mm = 11156\,mm \text{ ή } 11.15\,m$$

## ➢ Παράδειγμα 4

### Δεδομένα

Σε στοιχεία βιομηχανικού κτιρίου κατηγορίας έκθεσης **XC3** με μέση σχετική υγρασία 72% μετρήθηκαν το 2015 τα ακόλουθα βάθη ενανθράκωσης: Dc = 28,2 / 29,6 / 28,2 / 28,5 / 26,2 / 27,4 / 27,3 / 28,1 mm

Ο φορέας σκυροδετήθηκε το 1995.

Το ελάχιστο πάχος επικάλυψης με βάση το ΕΛΟΤ EN 206-1 και τον Ευρωκώδικα 2 (EN 1992-1-1) είναι:
$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$ = 30 mm (XC3 EN 206-1) + 10 mm (EN 1992-1-1) = 40 mm

### Υπολογισμοί

Από τις μετρήσεις του βάθους ενανθράκωσης προκύπτει **μέση τιμή** ίση προς 27,93 mm και **τυπική απόκλιση** 0,99 mm, οπότε:

$$dc = \frac{\sum_1^N d_{c,i}}{N} + 1.64\,\sigma = 27.93 + 1.64\,x\,0.99 = 29.55mm$$

Ο **χρόνος έκθεσης** είναι: 2015 - 1995 = 20 χρόνια, οπότε ο **συντελεστής ρυθμού ενανθράκωσης** είναι:

$$K = \frac{dc}{\sqrt{t}} = \frac{29.55mm}{\sqrt{20\,years}} = 6.60\,mm/\sqrt{years}$$

Ο **συντελεστής διάχυσης $CO_2$, $D_{CO2}$**, προκύπτει ίσος προς:

$$D_{CO2} = \frac{K^2}{2} = \frac{(6.60\,mm/\sqrt{years})^2}{2} = 21.83\,mm^2/year$$

Ως **ασφαλές βάθος ενανθράκωσης** θεωρείται διεθνώς το:

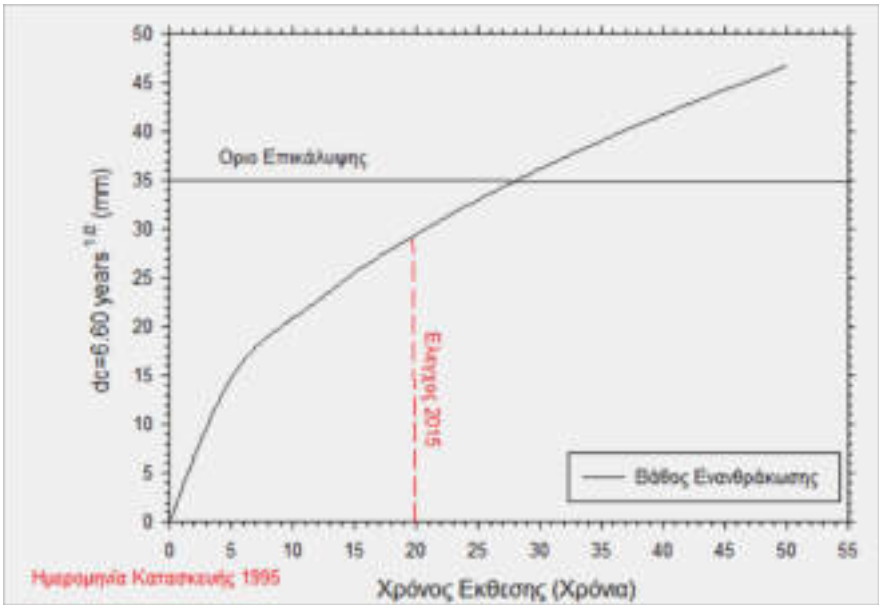
$C_{reliab} = c_{nom}$ - 5 mm = (40 - 5) mm = 35 mm

⇒ **ισοδύναμο πάχος σκυροδέματος** στο τέλος του ωφέλιμου χρόνου ζωής $T_m$=50 χρόνια:

$$Sc = \frac{X_o^2 + 2D_{CO2}(Tm - To) - X_m^2}{2(X_m - X_o)} = \frac{(29.55\ mm)^2 + 2 \cdot \left(\frac{21.83\ mm^2}{year}\right)(50 - 20years) - (35mm)^2}{2(35 - 29.55mm)} = 87.89\ mm$$

*Η τιμή Sc = 87,89 mm, δηλώνει ότι η υπάρχουσα επικάλυψη (40 mm)* ***δεν καλύπτει*** *την απαίτηση των 50 ετών.*

Τα παραπάνω απεικονίζονται γραφικά στο ακόλουθο διάγραμμα:




Για να διασφαλισθεί η κατασκευή σε ορίζοντα 50 ετών απαιτείται η εφαρμογή προστατευτικής βαφής με ισοδύναμο πάχος ξηρού αέρα, σύμφωνα με την εξίσωση (5):

$$S_{d,CO2} = \mu_{conc} S_c = 400 \cdot 87.89\ mm = 35156\ mm \text{ ή } 35.15\ m$$

## 13. Τα παραδείγματα στην ερώτηση 12 για το ισοδύναμο πάχος σκυροδέματος επικαλύψεων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στις περιπτώσεις επιχρισμένων στοιχείων;

**Ναι**. Η εξίσωση βασίζεται στον υπολογισμού του συντελεστή διάχυσης $CO_2$, οπότε είναι αδιάφορο το τι υπάρχει επάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Αν για παράδειγμα υπάρχει επίχρισμα, οι μετρήσεις βάθους ενανθράκωσης και η βάσει αυτών επίλυση της εξίσωσης για το ισοδύναμο πάχος σκυροδέματος, θα απαντήσει στο ερώτημα αν στο σκυρόδεμα του στοιχείου, ασχέτως του επιχρίσματος, υπάρχει το ενδεχόμενο να δημιουργηθούν κρίσιμες συνθήκες ενεργής διάβρωσης.

## 14. Η εξίσωση για το ισοδύναμο πάχος σκυροδέματος επικαλύψεων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για υφιστάμενες κατασκευές όταν για το πάχος επικάλυψης δεν τηρούνται τα όρια του ΕΛΟΤ EN 206-1 σε συνδυασμό με το EN 13670;

**Ναι**. Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1504 γενικά καλύπτει τόσο νέες όσο και υφιστάμενες κατασκευές.

Το ελάχιστο όριο **$Sd_{CO2}$ = 50 m** εφαρμόζεται κατά βάση σε νέες κατασκευές για περίοδο χρήσης ως 50 χρόνια. Βαφές με τιμές **$Sd_{CO2}$ > 50 m** χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που το μετρήσιμο ή εκτιμώμενο ισοδύναμο πάχος σκυροδέματος Sc λαμβάνει αρνητικές τιμές. Ενδεικτικές περιπτώσεις είναι:

α) Κατασκευές με περίοδο χρήσης > 100 χρόνια

β) Συνθήκες που δεν καλύπτει το ΕΛΟΤ EN 206-1, όπως για παράδειγμα, αστικές περιοχές υψηλής συγκέντρωσης $CO_2$, βιομηχανική χρήση χώρων, υπόγεια πάρκινγκ, σήραγγες οδοποιίας, εσωτερικοί χώροι υψηλής συνάθροισης κοινού, ορυχεία, πύργοι ψύξης, κατασκευές σε αεροδρόμια, κλπ.

γ) Περιπτώσεις μη εξασφάλισης του ελάχιστου πάχους επικάλυψης,

δ) Περιπτώσεις μη εξασφάλισης επικάλυψης αποδεκτής ποιότητας, π.χ. ύπαρξη ρωγμών συρρίκνωσης, ξήρανσης, θερμικών τάσεων, κλπ.

ε) Υφιστάμενες κατασκευές στις οποίες δεν έχουν εφαρμοσθεί τα οριζόμενα στα Πρότυπα ΕΛΟΤ EN 206-1 και ΕΛΟΤ EN 13670

z) Οταν ο απαιτούμενος δείκτης αξιοπιστίας, β, δεν εξασφαλίζεται από την εφαρμογή των Προτύπων ΕΛΟΤ EN 206-1 και ΕΛΟΤ EN 13670

## ➢ Παράδειγμα 5

### Δεδομένα

Σε στοιχεία κατηγορίας έκθεσης **XC4** μετρήθηκαν το 2015 τα ακόλουθα βάθη ενανθράκωσης: Dc = 17,2 / 18,5 / 17,2 / 19,3 / 14,8 / 16,4 / 15,8 / 16,2 mm

Ο φορέας σκυροδετήθηκε το 2000.

Το μέσο πάχος βρέθηκε με βάση μετρήσεις ίσο προς 25 mm

### Υπολογισμοί

Από τις μετρήσεις του βάθους ενανθράκωσης προκύπτει **μέση τιμή** ίση προς 27,93 mm και **τυπική απόκλιση** 0,99 mm, οπότε:

$$dc = \frac{\sum_1^N d_{c,i}}{N} + 1.64\,\sigma = 16.8 + 1.64\ x\ 1.41 = 19.11mm$$

Ο **χρόνος έκθεσης** είναι: 2015 - 2000 = 15 χρόνια, οπότε ο **συντελεστής ρυθμού ενανθράκωσης** είναι:

$$K = \frac{dc}{\sqrt{t}} = \frac{19.11mm}{\sqrt{15\ years}} = 4.93\ mm/\sqrt{years}$$

Ο **συντελεστής διάχυσης $CO_2$, $D_{CO2}$**, προκύπτει ίσος προς:

$$D_{CO2} = \frac{K^2}{2} = \frac{(4.93\ mm/\sqrt{years})^2}{2} = 12.17\ mm^{\,2}/year$$

Το **ασφαλές βάθος ενανθράκωσης** πρικύπτει ίσο προς:

$C_{reliab} = c_{nom}$ - 5 mm = (25 - 5) mm = 20 mm

⇒ **ισοδύναμο πάχος σκυροδέματος** στο τέλος του ωφέλιμου χρόνου ζωής $T_m$=50 χρόνια:

$$Sc = \frac{X_a^2 + 2D_{CO2}(Tm - To) - X_m^2}{2(X_m - X_o)} = \frac{(19.11\ mm)^2 + 2\cdot\left(\frac{12.17\ mm^2}{year}\right)(50 - 15years) - (20mm)^2}{2(20 - 19.11mm)} = 459\ mm$$

Για να διασφαλισθεί η κατασκευή σε ορίζοντα 50 ετών απαιτείται η εφαρμογή προστατευτικής βαφής με ισοδύναμο πάχος ξηρού αέρα, σύμφωνα με την εξίσωση (5):

$$S_{d,CO2} = \mu_{conc} S_c = 400 \cdot 459mm = 183600\ mm\ ή\ 183m$$

***Η τιμή των 183m υπερβαίνει την ελάχιστη τιμή που ορίζει το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1504-2. Στους πίνακες που ακολουθούν θα βρούμε ότι υπάρχουν βαφές με ισοδύναμο πάχος ξηρού αέρα μέχρι και 1000 m.***

**14. Στο διαδίκτυο βρίσκει κανείς βαφές κατά ΕΛΟΤ EN 1504-2 με τιμές $S_{d,CO2}$ πολύ μεγαλύτερες από το όριο των 50 m. Υπάρχει κάποια συγκεκριμένη λογική για την διαβάθμιση αυτή;**

**Ναι**. Ας δούμε κάποιες από τις βαφές που κυκλοφορούν και στην Ελλάδα για να καταλάβουμε την λογική.

| Παραγωγός | Εμπορικό όνομα προϊόντος | Βασικός τύπος | Declaration $S_d$ $CO_2$ (m) | Declaration $S_d$ $H_2O$ (m) | T/S-T/N-T | min, Κάλυπτικό-τητα (lt/m²) | Declaration min DFT (μm) | μH20 | Max no of Recoats | Link |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Concretal C | Acrylic | 200 | 0,07 | T | 0,30 | 150 | - | - | © |
| | Sikagard 680 S Concrete Cosmetic | Acrylic | 429 | 2,4 | T | 0,30 | 130 | 1800 | 2 | © |
| | Emcephob NanoPerm T | Polyurethane Acrylate | 824 | 0,62 | T | 0,40 | 130 | - | - | © |
| | COLORITE BETON | Acrylic | 412 | 0,4 | S-T | 0,30 | 100 | 3609 | 6 | © |
| | Disbocret 535 BetonLasur | Acrylate dispersion | 80 | 0,28 | T | 0,50 | 30 | 3500 | 5 | © |
| | Thoro Glaze SG | Acrylic | 475 | 0,21 | T | 0,40 | 57 | 4171 | 8 | © |
| | TAMMSCOAT | Acrylic | 1039 | 0,25 | T | 0,40 | 200 | - | - | © |
| | Dekguard E2000 | Aliphatic Acrylic | 175 | 1,00 | T | 0,25 | 200 | 1100 | 4 | © |
| | Sikagard 550w Elastic | Acrylate dispersion | 51 | 0,35 | N-T | 0,25 | 160 | 1500 | 2 | © |
| | ElastoColor Paint SP | Acrylate dispersion | 341 | 0,8 | N-T | 0,40 | 145 | 3830 | 3 | © |
| | Thoro Sheen | Acrylic | 161 | 0,12 | N-T | 0,60 | 140 | 885 | 4 | © |
| | TechnoRiv Elast | acryl-siloxane polymers | 435 | 1,5 | N-T | 0,32 | 100 | - | - | © |
| | Cool Barrier Facade | Elastomeric | 164 | 0,47 | N-T | 0,33 | 300 | - | - | © |
| | BetonColor | Acrylic | 429 | 2,4 | T/ N-T | 0,2 | 130 | 1800 | 2 | © |
| | AcraTex 955 AcraShield | Acrylic | 371 | 1,0 | N-T | 0,7 | 150 | - | - | © |
| | Acryl | Acrylic | 195 | 0,29 | N-T | 0,25 | 250 | - | - | © |
| | Dekguard S | Aliphatic Acrylic | 149 | 0,75 | N-T | 0,16 | 150 | - | - | © |
| | Master Protect 330 EL | Acrylic | 480 | 0,10 | N-T | 0,2 | 200 | 480 | 4 | © |
| | Goldenlastic | Cross-linked elastomeric | 50 | 0,05 | N-T | 0,35 | 100 | 500 | 4 | © |
| | GeoLiteMicro Silicato | GPMC | +50 | 0,008 | N-T | 0,35 | 250 | - | -5 | © |

Στον παραπάνω πίνακα:

- T = Transparent (διαφανής βαφή), S-T = Semi Transparent (ημιδιαφανής), N-T = Non Transparent (αδιαφανής)
- Όπου εμφανίζεται το σύμβολό (-) απαιτείστε διευκρίνιση από τον κατασκευαστή για τον μέγιστο αριθμό επαναβαφών.
- Με CTRL+click στα © μεταβαίνετε στην ιστοσελίδα του παραγωγού

Οι βαφές τύπου Transparent και Semi-Transparent χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον για την προστασία Αρχιτεκτονικού / Εμφανούς Σκυροδέματος.

Μια σημαντική παράμετρος που σε πολλές χώρες χρησιμοποιείται για την ποιοτική κατηγοριοποίηση των υλικών επίστρωσης (protective coatings) είναι ***ο μέγιστος επιτρεπόμενος αριθμός επαναβαφών χωρίς καθαίρεση*** (no. of recoats). Ανάλογα με το είδος της κατασκευής, κρίσιμα για την επιλογή των βαφών μπορεί να είναι και λοιπά χαρακτηριστικά τους, όπως η δυνατότητα γεφύρωσης ρωγμών, η παραμόρφωση θραύσης, κλπ.

Στον παραπάνω πίνακα θα παρατηρήσετε ότι, σε γενικές γραμμές, οι βαφές τύπου T και S-T εμφανίζουν μέγιστο αριθμό επαναφορών λόγω του μικρού πάχους ξηρού υμένα (φιλμ) που απαιτούν, πράγμα που οφείλεται στην χαμηλή περιεκτικότητα αλλά και το είδος των ενσωματωμένων στερεών (solids).

Οι περισσότερες βαφές τύπου N-T διαθέτουν τιμές $S_{d,CO2}$ > 150 m και πληρούν τόσο τις απαιτήσεις του ΕΛΟΤ EN 1504-2, όσο και του Αυστραλέζικου Προτύπου AS 4548.5 Appendix E, αναφορικά με την αντίστασής τους σε διείσδυση χλωριόντων.

Το πρότυπο AS 4548.5 περιλαμβάνεται στο Australian Paint Approval Scheme - APAS, το οποίο εφαρμόζεται πέραν της Αυστραλίας, στην Σουηδία, το Hν. Βασίλειο, το Βέλγιο, την Ιταλία, την Ιαπωνία, την Νότιο Κορέα, την Σιγκαπούρη, την Ινδονησία και την Νέα Ζηλανδία.

Περισσότερα για το APAS στην διεύθυνση: http://www.apas.gov.au/index.asp

## 15. Μπορεί ένας μελετητής να μειώσει την κατηγορία σκυροδέματος ή το πάχος επικάλυψης όπως δηλώνεται στο ΕΛΟΤ EN 206-1 και το EN 1992-1-1;

Στο παράδειγμα 1 του ερωτήματος 12 αναφέρθηκε ότι σύμφωνα με την παράγραφο (8) του EN 1992-1-1 επιτρέπεται μόνον η μείωση του πάχους επικάλυψης μέσω βαφών, αλλά όχι των ελάχιστων απαιτήσεων του σκυροδέματος.

(8) Για σκυρόδεμα με πρόσθετη προστασία επίστρωσης η ελάχιστη επικάλυψη μπορεί να μειώνεται κατά $\Delta c_{dur,add}$.

**Σημείωση:** Η τιμή της $\Delta c_{dur,add}$ για χρήση σε κάθε χώρα παρατίθεται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Η συνιστώμενη τιμή, χωρίς άλλη προδιαγραφή, είναι 0 mm.

Στην περίπτωση του παραδείγματος 1 είχαμε: $C_{min}$ = max (28 mm, 35 mm + 0 - 0, 10 mm) = 35 mm

Αν υποθέσουμε ότι η βαφή προστασίας μας δίνει μια μείωση, $\Delta C_{dur,add}$ ≥ 10 mm, θα παρατηρήσουμε ότι μας περιορίζει η τιμή $C_{min,b.}$, δηλαδή:

$C_{nom} \geq c_{min} + \Delta c_{dev} \geq 28$ mm + 10 mm ≥ 38 mm

Εάν δε δεν έχει προδιαγραφεί και διασφαλισθεί υψηλής στάθμης επιφανειακό τελείωμα (π,χ. κατηγορίας SB3 ή SB4 κατά το Γερμανικό Merkblatt BDZ/DBV "Sichtbeton" - πρότυπο εμφανούς σκυροδέματος), τότε:

$C_{reliab} = c_{nom}$ + 5 mm = (38 + 5) mm = 43 mm

## 16. Στον Ευρωκώδικα 2 (EN 1992-1-1) όμως δεν είναι ξεκάθαρο αν στον υπολογισμό της τιμής $C_{min,b}$ συνυπολογίζεται η διάμετρος του συνδετήρα ...

Ξεκαθαρίζετε στην παράγραφο 8.9 Δέσμες ράβδων / 8.9.1 Γενικά:

> (3) Για τις αποστάσεις μεταξύ δεσμών ράβδων, ισχύουν οι κανόνες που δίνονται στη παράγραφο 8.2. Πρέπει να χρησιμοποιείται η ισοδύναμη διάμετρος $\varnothing_n$ αλλά η καθαρή απόσταση μεταξύ δεσμών πρέπει να μετράται από το πραγματικό εξωτερικό περίγραμμα της δέσμης ράβδων. Η επικάλυψη σκυροδέματος πρέπει να μετράται από το πραγματικό εξωτερικό περίγραμμα των δεσμών και δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από $\varnothing_n$.

## 17. Είναι δυνατή η χρήση βαφών κατά ΕΛΟΤ EN 1504-2 επάνω από επίχρισμα;

Στην πλειονότητα των περιπτώσεων αυτό είναι δυνατό με την εφαρμογή συγκεκριμένου τύπου ασταριού που συνιστά ο παραγωγός. Η απόδοση στην αντίσταση διάχυσης $CO_2$ συνήθως δεν θα μεταβληθεί περισσότερο από ±8%, ανάλογα τον τύπο του επιχρίσματος.

## 18. Μπορούμε να αποφύγουμε το κόστος καθαίρεσης της βαφής στην περίπτωση ωφέλιμης ζωής μεγαλύτερης από 100 χρόνια ή για οποιοδήποτε άλλο λόγο;

Το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1504-2 καλύπτει και μια ακόμη μεγάλη κατηγορία υλικών, τις επιστρώσεις τσιμεντοειδούς βάσης. Πρόκειται συνήθως για εξαιρετικά λεπτόκοκκα υλικά, υψηλής ποιότητας τελικής επιφάνειας. Για τον λόγο αυτό αναφέρονται πολλές φορές και ως υλικά φινιρίσματος ή επιστρώσεις εξομάλυνσης. Τα υλικά αυτά διέπονται ακριβώς από τις ίδιες απαιτήσεις όπως και οι βαφές.

| Απαιτήσεις σύμφωνα με ΕΛΟΤ EN 1504-2 (Λόγος Ν/Σ 18%) | | | |
|---|---|---|---|
| | Μέθοδος Ελέγχου | Αποτελέσματα | Απαιτήσεις |
| **Διαπερατότητα $CO_2$** | EN 1062-6 | $S_D$ =67 | $S_D$ >50 m |
| **Διαπερατότητα υδρατμών** | EN ISO 7783 | $S_D$ =0,11 (Τάξη I) | Τάξη I $S_D$ <5 m (διαπερατό)<br>Τάξη II 5 m < $S_D$ <50 m<br>Τάξη III $S_D$ >50 m (μη διαπερατό) |

Η μόνη διαφορά τους είναι ότι επειδή διαθέτουν ωφέλιμη ζωή που υπερβαίνει κατά πολύ τα 15 χρόνια (συνήθως πάνω και από 50 χρόνια), δεν υποχρεώνονται οι παραγωγοί να δηλώσουν μέγιστο πάχος για περιορισμό της διαπνοής. Προφανώς οι εξισώσεις που χρησιμοποιούμε είναι ακριβώς η ίδιες όπως και για τις βαφές.

Στην περίπτωση των στρώσεων εξομάλυνσης μπορούμε να βρούμε και προϊόντα που πληρούν ταυτόχρονα και τις απαιτήσεις του ΕΛΟΤ EN 1504-3.

Ας δούμε κάποια από τα σχετικά προϊόντα που κυκλοφορούν και στην Ελλάδα:

| Παραγωγός | Εμπορικό όνομα προϊόντος | Βασικός τύπος | Declaration $S_d$ $CO_2$ (m) | Declaration $S_d$ $H_2O$ (m) | min καλυπτικότητα ($Kg/m^2/mm$) | max thickness (mm) | TDS Link |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sika | MonoTop-621 Evolution | PMC | 67 | 0.11 | 2.0 | +5 | © |
| Sika | SikaGard-720 EpoCem | PMMA | +50 | < 5 | 2.0 | +3 | © |

| Παραγωγός | Εμπορικό όνομα προϊόντος | Βασικός τύπος | Declaration $S_d$ $CO_2$ (m) | Declaration $S_d$ $H_2O$ (m) | min καλυπτικότητα (Kg/m²/mm) | max thickness (mm) | TDS Link |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MAPEI | Idrosilex Pronto RPF | - | +50 | < 1 | 1.5 | +5 | © |
| MAPEI | Mapefinish | PMC | +50 | < 0.5 | 2.0 | +3 | © |
| MAPEI | Monofinish | PMC | +50 | < 0.5 | 1.4 | +3 | © |
| isomat | DUROCRET | PCC | +50 | < 5 | 1.5 | +5 | © |
| KERAKOLL | **GeoLite 40** | GPMC | +50 | < 5 | 1.75 | +2 | © |
| MARMOLINE | BS 18 | PCC | +50 | < 5 | 2.0 | - | © |
| DURO STICK | D-55 | PCC | +50 | < 5 | 1.5 | +2 | © |
| TECNOCHEM | MuCis BS-38 FINISH | PCC | +50 | < 5 | 2.0 | +2 | © |
| PENETRON | V/O Patch | PCC | +50 | < 5 | 2.0 | +6 | © |
| sto | StoCrete FM | PMC | +50 | < 5 | 2.0 | +2 | © |
| BASF The Chemical Company | MasterSeal M581 | PCC | +50 | 0.2 | 2.0 | +2 | © |
| BASF The Chemical Company | MasterTop 1339 | PMC | +50 | < 5 | 2.0 | +3 | © |

## 19. Μπορώ να χρησιμοποιήσω επίστρωση εξομάλυνσης για να δημιουργήσω τεχνοτροπία αντίστοιχη με αυτή της τελικής στρώσης σοφά;

**Προφανώς!** Σε πολλά μέρη του κόσμου χρησιμοποιούνται αποκλειστικά τέτοια κονιάματα. Πολλές φορές τα κονιάματα αυτά παράγονται ήδη χρωματισμένα.

## 20. Ποιες είναι οι τυπικές εφαρμογές επιστρώσεων κατά ΕΛΟΤ ΕΝ 1504-2;

Οι βαφές προστασίας και οι τσιμεντοειδείς επιστρώσεις βρίσκουν ευρύτατη εφαρμογή σε όλες τις κατηγορίες κτιριακών (και όχι μόνον) έργων.

### Κτιριακά έργα

### Βιομηχανικές και εμπορικές εγκαταστάσεις

## Χώροι συνάθροισης κοινού

## Συγκοινωνιακά έργα