

# Σκυροδέτηση σε χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος

## Ορισμός και απαιτήσεις σκυροδέτησης σε χαμηλές θερμοκρασίες

Σκυροδέτηση «σε χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος» θεωρείται ότι υφίσταται όταν η θερμοκρασία του αέρα έχει πέσει ή προβλέπεται να πέσει κάτω από τους +5°C κατά τη διάρκεια της διάστρωσης, συμπύκνωσης, συντήρησης και θερμικής προστασίας του σκυροδέματος. Οι χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος επιβάλλουν ειδικές προβλέψεις για τη διάστρωση, συντήρηση και προστασία του σκυροδέματος, επομένως η εφαρμογή ορθών πρακτικών και σωστού σχεδιασμού είναι κρίσιμης σημασίας, ιδίως τον χειμώνα, όταν ο καιρός μεταβάλλεται συχνά και απότομα.

## Κανονιστικές απαιτήσεις για σκυροδέτηση σε χαμηλές θερμοκρασίες στην Ελλάδα

Ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος 2016 (ΚΤΣ 2016) προβλέπει ότι όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι μικρότερη από 0°C η σκυροδέτηση συνιστάται να αναβάλλεται, ενώ απαγορεύεται η σκυροδέτηση όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι μικρότερη από -5°C.

Για τη σκυροδέτηση σε χαμηλές θερμοκρασίες προβλέπονται τέσσερις κατηγορίες περιβαλλοντικής έκθεσης που αφορούν υγρό σκυρόδεμα εκτεθειμένο σε προσβολή από κύκλους ψύξης/απόψυξης και κατηγοριοποιείται ως: XF1, XF2, XF3 και XF4.

Για τις συγκεκριμένες κατηγορίες έκθεσης είναι υποχρεωτική η χρήση αδρανών με ανθεκτικότητα σε παγετό. Ειδικά για τις κατηγορίες XF2, XF3, XF4 είναι υποχρεωτική η χρήση αερακτικού προσμίκτου στη μελέτη σύνθεσης του σκυροδέματος, σύμφωνα με τον παρακατω πίνακα:

Σκυρόδεμα μέγιστου κόκκου (mm)	Περιεκτικότητα αέρα %
8	6,0
16	4,5
31,5	4,0
63	3,5

Είναι εφικτό να μη χρησιμοποιηθεί αερακτικό πρόσμικτο στη μελέτη σύνθεσης, εφόσον ελεγχθεί η επιτελεσιμότητα του σκυροδέματος με κατάλληλη μέθοδο για ανθεκτικότητα σε παγετό.

Τα σκυροδέματα έργων τα οποία, κατά τη λειτουργία τους θα είναι εκτεθειμένα σε θερμοκρασίες παγετού, πρέπει να ικανοποιούν και τις απαιτήσεις των σκυροδεμάτων μειωμένης υδατοπερατότητας, όπως συμβαίνει με την οικογένεια σκυροδεμάτων INTERPROOF της INTERBETON.

Επιπλέον, το σκυρόδεμα που διαστρώνεται πρέπει να έχει ελάχιστη θερμοκρασία 13°C όταν είναι μέγιστου κόκκου μέχρι 16 mm (σκυρόδεμα λεπτών διατομών <300 mm), 10°C όταν είναι μέγιστου κόκκου 31.5 mm (σκυρόδεμα κανονικών διατομών 300-900 mm) και 7°C όταν είναι μέγιστου κόκκου 63 mm (σκυρόδεμα μεγάλων διατομών >900 mm). Συγκεκριμένα, η ελάχιστη θερμοκρασία που επιτρέπεται να έχει το νωπό σκυρόδεμα για σκυροδέτηση σε χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος καθορίζεται ως εξής:

Α/Α	Θερμοκρασία περιβάλλοντος	Μέγιστος κόκκος σκυροδέματος)	Περιεκτικότητα αέρα %
		≤ 16 mm	≤ 31,5 mm
Ελάχιστη θερμοκρασία νωπού σκυροδέματος			
1	-3oC < t < +5oC	13 °C	10 °C
2	-5oC < t < -3oC	16 °C	13 °C

Οι θερμοκρασίες αυτές πρέπει να διατηρούνται μέχρι να αναπτυχθούν αντοχές τουλάχιστον 5 MPa, βάσει δοκιμών έργου.

Σε περιόδους όπου αναμένονται χαμηλές θερμοκρασίες, ακόμη και όταν προβλέπεται θερμοκρασία μικρότερη των 10°C για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 12 ωρών, συνιστάται να υπάρχει συνεχής θερμοκρασιακή παρακολούθηση του έργου και να λαμβάνονται μέτρα προστασίας. Τα μέτρα θερμικής προστασίας ποικίλουν από 3-5 ημέρες τουλάχιστον, ανάλογα με την κατάσταση του δομικού μέλους: αν είναι φορτισμένο ή αφόρτιστο, εκτεθειμένο ή μη εκτεθειμένο σκυρόδεμα, καθώς και βάσει της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.

## Γιατί η προστασία του σκυροδέματος είναι σημαντική κατά τη σκυροδέτηση σε χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος

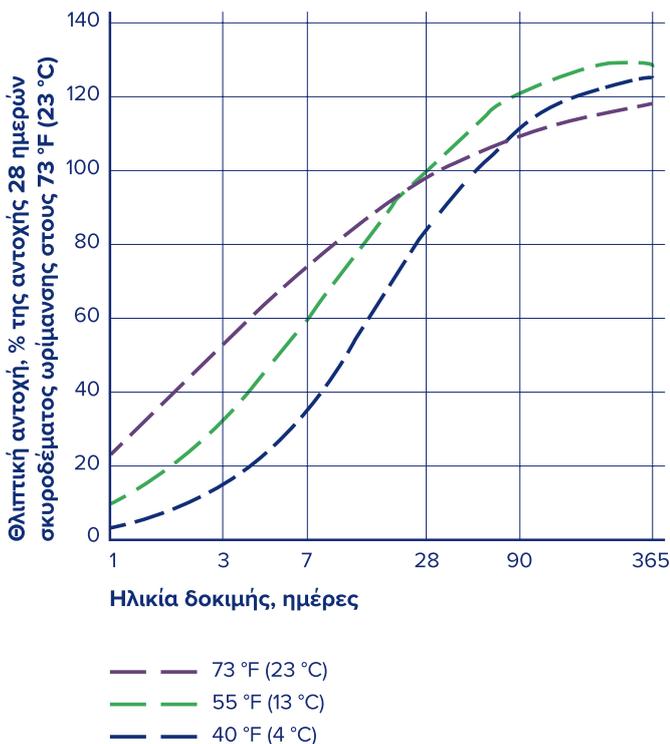
Η επιτυχία της σκυροδέτησης σε συνθήκες χαμηλών θερμοκρασιών εξαρτάται από την ελάχιστη θερμοκρασία που θα διατηρήσει το σκυρόδεμα τις πρώτες ημέρες, η οποία καθορίζει την αντοχή και την ανθεκτικότητά του.

Συγκεκριμένα, το σκυρόδεμα στη πλαστική του μορφή παγώνει όταν η θερμοκρασία του πέσει κάτω από τους -4°C. Στην περίπτωση αυτή, το σκυρόδεμα υφίσταται παγοπληξία, με αποτέλεσμα τη μείωση της αναμενόμενης αντοχής σε ποσοστό μεγαλύτερο από 50% και την απώλεια ανθεκτικότητας.

Η χαμηλή θερμοκρασία σκυροδέματος μειώνει τον ρυθμό ενυδάτωσης του τσιμέντου οδηγώντας σε αργή ανάπτυξη αντοχών.

Εμπειρικά προκύπτει ότι για πτώση θερμοκρασίας σκυροδέματος κατά 10°C, ο χρόνος σκλήρυνσης διπλασιάζεται. Συνεπώς, πρέπει να επιμηκύνεται και ο χρόνος που μπορεί να αφαιρεθεί ο ξυλότυπος (ξεκαλούπωμα).

### Διάγραμμα ανάπτυξης αντοχών – χρόνου σε διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης



Πηγή: The Portland Cement Association (n.d.) Design and Control of Concrete Mixtures.

Καθώς το πρόσφατα διαστρωμένο σκυρόδεμα είναι κορεσμένο σε νερό, πρέπει να προστατευτεί από έκθεση σε κύκλους ψύξης-απόψυξης μέχρι να αποκτήσει αντοχές τουλάχιστον 24MPa.

Η ενυδάτωση του τσιμέντου είναι μια εξώθερμη χημική αντίδραση η οποία εκλύει θερμότητα. Το σκυρόδεμα που μόλις έχει διαστρωθεί πρέπει να προστατευτεί κατάλληλα με θερμομόνωση ώστε να διατηρείται εντός της μάζας του η θερμότητα που εκλύεται από την ενυδάτωση του τσιμέντου. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνονται καλύτερες θερμοκρασιακές συνθήκες κατά τη συντήρηση.

Πρέπει να αποφεύγονται μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές μεταξύ της επιφάνειας και του εσωτερικού του σκυροδέματος, καθώς είναι αιτίες πρόκλησης θερμικών ρωγμών, ειδικά όταν η διαφορά θερμοκρασίας ξεπεράσει τους 20°C περίπου. Επιπλέον, η μόνωση, ή άλλα μέσα προστασίας, πρέπει να αφαιρούνται σταδιακά έτσι ώστε να αποφεύγεται το θερμικού σοκ του σκυροδέματος.

## Προτεινόμενες πρακτικές

### Γενικά

- 1 Είναι σημαντικό να υπάρχει διαθεσιμότητα όλων των μέσων και των υλικών που απαιτούνται για την προστασία του σκυροδέματος πριν εμφανιστούν οι πιθανολογούμενες χαμηλές θερμοκρασίες.
- 2 Η προστασία του σκυροδέματος από παγοπληξία δε διασφαλίζει και την επίτευξη των αναμενόμενων αντοχών, επομένως εξετάζουμε την ανάπτυξη αντοχών πριν αφαιρέσουμε ικριώματα κ.λ.π.
- 3 Πρέπει να προστατεύονται ιδιαίτερα γωνίες, ακμές και λεπτά στοιχεία σκυροδέματος τα οποία είναι περισσότερο ευπαθή στον παγετό.

### Απαιτούμενα Γενικά Μέτρα

Ανάλογα με τη βαρύτητα των επερχόμενων καιρικών συνθηκών εφαρμόζονται, ανεξάρτητα ή και συνδυαστικά, τα ακόλουθα μέτρα:

- Αύξηση της περιεκτικότητας τσιμέντου της σύνθεσης.
- Χρήση τσιμέντου με δείκτη R για ταχεία ανάπτυξη αντοχών.
- Χρήση κατάλληλου επιταχυντή πήξης για επιτάχυνση της σκλήρυνσης της επιφάνειας. Απαγορεύονται οι επιταχυντές CaCl<sub>2</sub> σε οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα λόγω κινδύνου διάβρωσης από χλωριόντα.
- Θέρμανση πρώτων υλών (π.χ. το νερό).
- Θέρμανση του περιβάλλοντα χώρου της σκυροδέτησης. Προσοχή: σε κλειστούς χώρους, όταν γίνεται χρήση θερμαντικών σωμάτων μέσω καύσης παράγεται CO<sub>2</sub>. Συνεπώς, θα πρέπει να απάγονται τα καυσαέρια, διαφορετικά ελλοχεύει κίνδυνος πρόωρης ενανθράκωσης του σκυροδέματος.
- Θερμομόνωση του σκυροδέματος έτσι ώστε να διατηρείται η θερμότητα ενυδάτωσης του τσιμέντου στη μάζα του.
- Αποφεύγεται η συντήρηση του σκυροδέματος με νερό. Η συντήρηση γίνεται είτε με ειδικό υγρό συντήρησης, είτε με προστασία της επιφάνειας του σκυροδέματος από εξάτμιση καλύπτοντάς τη με πλαστικά φύλλα.

## Βιβλιογραφία

**ΕΛΟΤ (n.d.)** ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-01-01-03-00: Συντήρηση σκυροδέματος.  
Αθήνα: Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης.

**ΕΛΟΤ (n.d.)** ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-01-01-02-00: Διάστρωση σκυροδέματος.  
Αθήνα: Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης.

**ΕΛΟΤ (2010)** ΕΛΟΤ EN 13670: Κατασκευή έργων από σκυρόδεμα.  
Αθήνα: Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης.

**Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων (2016)** Κανονισμός  
Τεχνολογίας Σκυροδέματος 2016 (ΚΤΣ '16). ΦΕΚ 1561/02-06-2016,  
Αθήνα.

**Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδος (n.d.)** Τεχνική Οδηγία 1:  
Σκυροδέτηση με χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αθήνα: ΣΠΜΕ.

**American Concrete Institute (2016)** ACI 306R-16: Guide to Cold  
Weather Concreting. Farmington Hills, MI: ACI.

**National Ready Mixed Concrete Association (n.d.)** CIP 27: Cold  
Weather Concreting. NRMCA.