

Σκυροδέτηση σε υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος

Ορισμός και προκλήσεις της σκυροδέτησης σε υψηλές θερμοκρασίες

Σκυροδέτηση «σε υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος» συμβαίνει όταν κατά την περίοδο διάστρωσης, συμπύκνωσης, συντήρησης και προστασίας του σκυροδέματος επικρατούν μεμονωμένα ή και συνδυαστικά οι εξής συνθήκες:

- Υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Υψηλή θερμοκρασία σκυροδέματος
- Χαμηλή σχετική υγρασία περιβάλλοντος
- Υψηλή ταχύτητα ανέμου
- Έντονη ηλιακή ακτινοβολία

Οι παράγοντες αυτοί αυξάνουν τον ρυθμό ενυδάτωσης του τσιμέντου και την απώλεια νερού από τη μάζα του σκυροδέματος, παράμετροι που είναι κρίσιμες για την ποιότητα του νωπού και σκληρυμένου σκυροδέματος. Οι συνθήκες αυτές απαιτούν ιδιαίτερη μέριμνα, οργάνωση και μέτρα προστασίας, καθώς επιταχύνουν την εξάτμιση του επιφανειακού νερού, μειώνουν τον διαθέσιμο χρόνο εργασιμότητας του νωπού μίγματος και μπορούν να υποβαθμίσουν την αντοχή και την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

Σκυροδέτηση σε υψηλές θερμοκρασίες: το ισχύον κανονιστικό πλαίσιο

Ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος 2016 (ΚΤΣ 2016) προβλέπει ότι αν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη από 38°C, η σκυροδέτηση πρέπει να αναβάλλεται. Αν αυτό δεν είναι εφικτό, τότε θα πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα οργάνωσης και προστασίας, ώστε η θερμοκρασία στο μικροκλίμα της κατασκευής να παραμένει μικρότερη από 38°C. Ως μικροκλίμα κατασκευής θεωρούνται οι περιβαλλοντικές συνθήκες σε απόσταση μέχρι 1 m από την επιφάνεια της κατασκευής.

Συνίσταται η εφαρμογή προστατευτικών μέτρων όταν αναμένεται θερμοκρασία σκυροδέματος στο έργο μεγαλύτερη ή ίση των 27°C. Επιπλέον, απαγορεύεται η θερμοκρασία του σκυροδέματος που διαστρώνεται να υπερβαίνει τους 32°C.

Εφόσον βάσει των περιβαλλοντικών συνθηκών (ταχύτητα ανέμου, σχετική υγρασία ατμόσφαιρας, θερμοκρασία ατμόσφαιρας και θερμοκρασία σκυροδέματος) ο ρυθμός εξάτμισης πλησιάζει το 1kg/m²/ώρα, πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για την αντιμετώπιση της πλαστικής συρρίκνωσης.

Η χρονική διάρκεια της συντήρησης δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερη των 7 ημερών, εκτός αν με δοκιμαία έργου αποδειχθεί ότι μπορεί να μειωθεί, αλλά σε κάθε περίπτωση δεν μπορεί να είναι μικρότερη των 3 ημερών. Η συντήρηση πρέπει να είναι ικανοποιητική, δηλαδή να εκτελείται με συνεχή τρόπο καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας.

Κίνδυνοι και προκλήσεις της σκυροδέτησης σε θερμές συνθήκες

Οι υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό κάθε σκυροδέτησης, καθώς επηρεάζουν άμεσα τόσο το νωπό, όσο και στο σκληρυμένο σκυρόδεμα.

Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα των υψηλών θερμοκρασιών είναι:

→ **Επιτάχυνση πήξης και απώλεια εργασιμότητας**

Η αύξηση της θερμοκρασίας επιταχύνει τις χημικές αντιδράσεις ενυδάτωσης του τσιμέντου, μειώνοντας τον χρόνο πήξης, απαιτώντας ταχύτερες εργασίες τελικής επεξεργασίας (finishing) και οδηγώντας σε ταχεία απώλεια κάθισης (slump) και σκοπίμως εισηγμένου αέρα (entrained air).

→ **Αύξηση αναγκών σε ποσότητα νερού ή υπερρρευστοποιητή στο μίγμα**

Η προσθήκη επιπλέον νερού για διατήρηση της εργασιμότητας αυξάνει τον λόγο νερού προς τσιμέντο, με αποτέλεσμα χαμηλότερη τελική αντοχή και ανθεκτικότητα. Εναλλακτικά εάν δεν προστεθεί νερό, θα απαιτηθεί επιπλέον ποσότητα υπερρρευστοποιητικού προσμίκτου, που σημαίνει αύξηση κόστους.

→ **Ρωγμές πλαστικής συρρίκνωσης**

Η ταχεία εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια του σκυροδέματος μπορεί να προκαλέσει ρωγμές πριν από την πήξη και όσο το σκυρόδεμα βρίσκεται ακόμα στην πλαστική φάση, λόγω πλαστικής συρρίκνωσης.

→ **Μακροχρόνιες επιπτώσεις στην αντοχή**

Το σκυρόδεμα που συντηρείται σε υψηλές θερμοκρασίες εμφανίζει μεγαλύτερη πρώιμη αντοχή, αλλά χαμηλότερη τελική αντοχή σε βάθος χρόνου από σκυρόδεμα που συντηρείται στους 20°C.

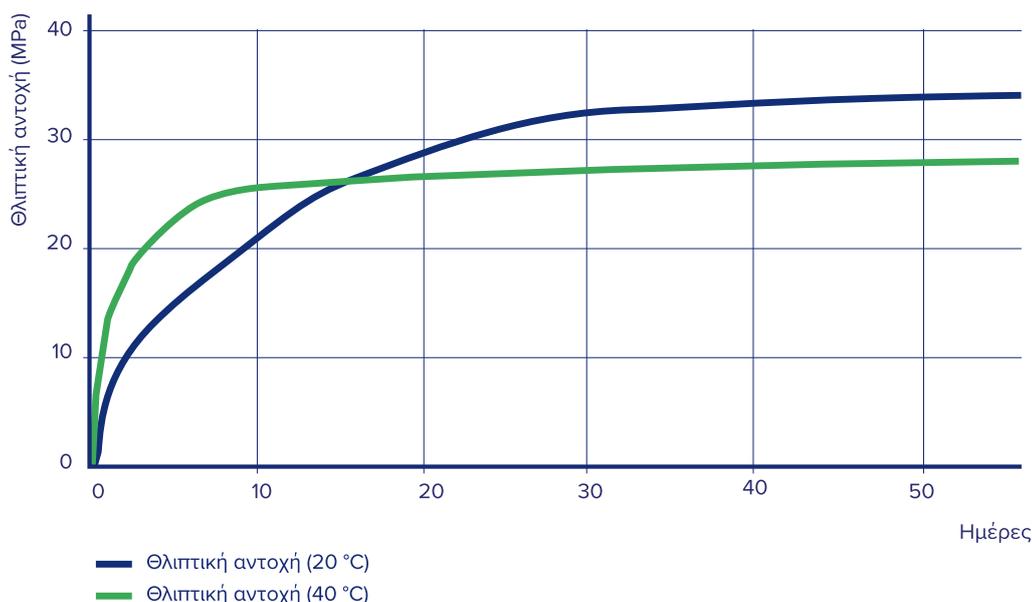
→ **Θερμικές ρωγμές**

Σε σκυροδετήσεις ογκωδών κατασκευών η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ πυρήνα και επιφάνειας μπορεί να προκαλέσει εσωτερικές τάσεις και ρωγμές. Οι θερμικές ρωγμές μπορεί επίσης να προκύψουν λόγω της ταχείας μεταβολή θερμοκρασίας (π.χ. θερμή ημέρα – ψυχρή νύχτα).

→ **Ρωγμές συρρίκνωσης ξήρανσης.**

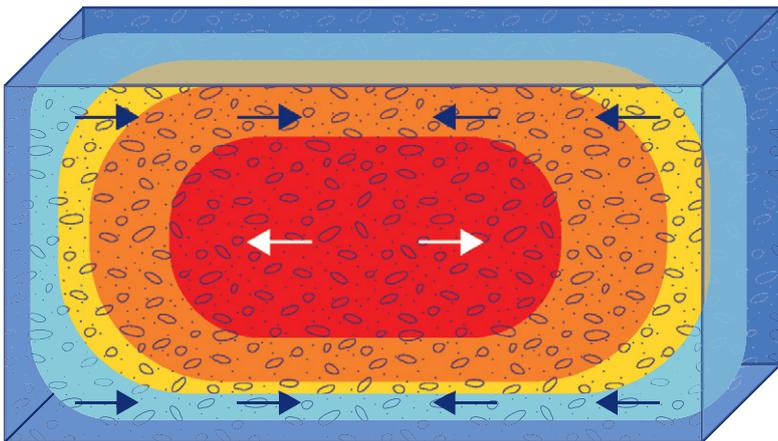
Λόγω της σταδιακής και παρατεταμένης ξήρανσης η απώλεια υγρασίας από το εσωτερικό του σκυροδέματος δημιουργεί ογκομετρικές μεταβολές οι οποίες προκαλούν εφελκυστικές τάσεις και ρωγμές.

Γράφημα θλιπτικής αντοχής-χρόνου σε 2 διαφορετικές θερμοκρασίες*



*Πηγή: maturix.com

Σχηματική απεικόνιση ανάπτυξης θερμικών τάσεων λόγω διαφοράς θερμοκρασίας πυρήνα-επιφάνειας σκυροδέματος *



Πηγή: maturix.com

Μέτρα πρόληψης και προστασίας για σκυροδέτηση σε υψηλές θερμοκρασίες

Η κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν δυσμενώς το σκυρόδεμα, σε συνδυασμό με τον σωστό σχεδιασμό για την ελαχιστοποίηση των επιδράσεών τους, είναι κρίσιμα μεγέθη για την επιτυχία σε σκυροδετήσεις με θερμό κλίμα και υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Τα βασικά μέτρα κατηγοριοποιούνται ως εξής:

Κατάλληλη μελέτη σύνθεσης

- Χρήση προσμίκτων μείωσης νερού ανάμιξης και επιβράδυνσης πήξης.
- Για μεγάλες αποστάσεις μεταφοράς ή πολύ υψηλές θερμοκρασίες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν προηγμένα πρόσμικτα επιβράδυνσης και σταθεροποίησης πήξης (τύπου stabil).
- Χρήση τσιμέντων TITAN με χαμηλή θερμότητα ενυδάτωσης.

Οργάνωση και προγραμματισμός

- Πραγματοποίηση της σκυροδέτησης νωρίς το πρωί ή αργά το απόγευμα ή ακόμα και τη νύχτα.
- Χρήση ανεμοπετασμάτων και σκιάστρων για προστασία του μικροκλίματος της κατασκευής.
- Άμεση έναρξη συντήρησης με εκνέφωση νερού ή υγρές λινάτσες ή μεμβράνες ωρίμανσης με ψεκασμό, με διάρκεια συντήρησης τουλάχιστον 7 ημερών και με συνεχή εφαρμογή εντός της ημέρας.
- Ελαχιστοποίηση καθυστερήσεων στη μεταφορά, εκφόρτωση, διάστρωση και συμπύκνωση του σκυροδέματος.

Έλεγχος θερμοκρασίας μίγματος

- Η θερμοκρασία μπορεί να μειωθεί με χρήση παγωμένου νερού ή πάγου ως μέρους του νερού ανάμιξης, αποκλειστικά από τον παραγωγό του σκυροδέματος:
 - Το ψυχρό νερό μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία έως ~6°C.
 - Ο πάγος μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία έως ~12°C.
- Ο παραγωγός σκυροδέματος μπορεί να ψύξει τα αδρανή με διαβροχή ή να τα διατηρεί αποθηκευμένα υπό πλήρη σκίαση.
- Για μεγαλύτερη μείωση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί υγρό άζωτο, με επιπλέον κόστος και προσοχή στην ασφάλεια του αναμικτήρα.

Κανόνες καλής πρακτικής

- 1** Τροποποιήστε κατάλληλα το μίγμα ώστε να ελέγχεται η κάθιση, πήξη και θερμότητα ενυδάτωσης (π.χ. η χρήση προσμίκτων επιβράδυνσης πήξης, τσιμέντων χαμηλής θερμότητας ενυδάτωσης, ινών για μείωση ρωγμών, παγωμένου νερού).
- 2** Διασφαλίστε επαρκές προσωπικό και ρυθμό παράδοσης που να αντιστοιχεί στον ρυθμό διάστρωσης του σκυροδέματος.
- 3** Απαγορεύεται η προσθήκη νερού στο έργο. Στο έργο επιτρέπεται μόνο η προσθήκη υπερρευστοποιητή ίδιου με αυτόν που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη σύνθεσης.
- 4** Για πλάκες επί εδάφους πάνω σε φράγμα υδρατμών, λάβετε ειδικά μέτρα κατά το φινίρισμα και τη συντήρηση.
- 5** Σε ξηρές ή θερμές ημέρες, διαβρέξτε ελαφρώς το υπόστρωμα, τους ξυλοτύπους και τον οπλισμό πριν τη διάστρωση, χωρίς όμως να λιμνάσουν νερά.
- 6** Ξεκινήστε το τελικό φινίρισμα μόλις εξαφανιστεί η όψη του νερού στην επιφάνεια και αμέσως μετά αρχίστε τη συντήρηση για τουλάχιστον 7 ημέρες και με συνεχή εφαρμογή εντός της ημέρας, με:
 - Εκνέφωση νερού
 - Υγρές λινάτσες
 - Πλημμύρισμά με νερό ειδικά σε πλάκες σκυροδέματος
 - Υγρό μη υφαντό γεωύφασμα σε λευκό χρώμα για καλύτερη ανάκλαση της ακτινοβολίας
 - Μεμβράνες ωρίμανσης με ψεκασμό σε λευκό χρώμα για επίσης καλύτερη ανάκλαση της ακτινοβολίας
- 7** Τα δοκίμια σκυροδέματος που λαμβάνονται στο πλαίσιο της δειγματοληψίας για τον έλεγχο ποιότητας πρέπει να προστατεύονται όσο παραμένουν στο έργο, μέχρι να παραληφθούν από το εργαστήριο.

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 2:
Σκυροδέτηση με υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αθήνα: ΣΠΜΕ.

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

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