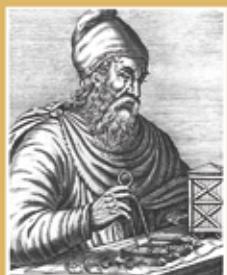


ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ 1

Σκυροδέτηση με χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος



ΣΠΜΕ

ΣΥΛΛΟΓΟΣ
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΛΛΑΣ

Έκδοση 1η
Απρίλιος 2011

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ



**ΣΥΛΛΟΓΟΣ
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΛΛΑΔΑΣ**
Ιπποκράτους 9, 106 79 Αθήνα
Τηλ. 210-9238170
Fax: 210-9235959
e-mail: spme@tee.gr

Αγαπητοί συνάδελφοι,

Το παρόν τεύχος αποτελεί προϊόν εργασίας της **Επιτροπής Τεχνολογίας Σκυροδέματος** του Συλλόγου Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδας.

Βασικός άξονας των ενεργειών του Σ.Π.Μ.Ε. ήταν και είναι ο συνεχιζόμενη εκπαίδευση και δια βίου μάθηση των Πολιτικών Μηχανικών. Στο πλαίσιο αυτό συγκροτήθηκε η Επιτροπή Τεχνολογίας Σκυροδέματος του Σ.Π.Μ.Ε. η οποία εργάστηκε χωρίς αμοιβή με κύριο σκοπό τη σύνταξη επιστημονικών εργασιών, όπως η παρούσα Τεχνική Οδηγία και τα μέλη της οποίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά για το έργο τους.

Η έκδοση αυτή αποτελεί το πρώτο τεύχος μιας σειράς εκδόσεων που έχουν προγραμματιστεί και αφορούν σε θέματα τεχνολογίας σκυροδέματος. Στόχος είναι η συλλογή και παράθεση πληροφοριών με αναφορές σε κείμενα εφαρμογής και συστάσεις οι οποίες ισχύουν τόσο στην χώρα μας όσο και σε άλλες προπηγμένες τεχνολογικά χώρες του εξωτερικού. Οποιεσδήποτε παρατηρήσεις και επιστημονικές τοποθετήσεις επί του κειμένου είναι ευπρόσδεκτες και θα ληφθούν υπόψη σε μελλοντική έκδοση.

Το παρόν κείμενο **σε καμία περίπτωση δεν αποτελεί κανονιστικό κείμενο με υποχρεωτική εφαρμογή και δεν υποκαθιστά κανονισμούς οι οποίοι βρίσκονται σε ισχύ ή θα ισχύσουν στο μέλλον.**

Με τιμή

Νίκος Ζυγούρης
Πρόεδρος Σ.Π.Μ.Ε.

Η Επιτροπή Τεχνολογίας Σκυροδέματος του Σ.Π.Μ.Ε. αποτελείται από τους:

- A. Σακελλαρίου Δρ. Πολιτικός Μηχανικός (Πρόεδρος Επιτροπής)
- X. Ζέρης Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π. (Αντιπρόεδρος Επιτροπής)
- N. Μαρσέλλος Πολιτικός Μηχανικός, MSc (Γραμματέας Επιτροπής)
- X. Βογιατζής Πολ. Μηχανικός, MBA, εκπρόσωπος ΣΕΒΕΣ
- N. Ζυγούρης Πολ. Μηχανικός, MSc
- B. Μπαρδάκης Δρ. Πολ. Μηχανικός
- Θ. Παναγιωτίδης Πολ. Μηχανικός, εκπρ. Συνδέσμου Ελληνικών Χημικών Βιομηχανιών
- K. Παπανικολάου Επίκουρη Καθηγήτρια Παν. Πατρών
- Γ. Πιττός Πολ. Μηχανικός, MSc

Πίνακας Περιεχομένων

Διάγραμμα Νο 1: Διεργασίες κατά τη σκυροδέτηση δομικών μελών σε χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος

1. Εισαγωγή
2. Τι ορίζεται «χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος»;
3. Ποιες οι συνήθεις βλάβες από σκυροδέτηση με κρύο καιρό;
4. Πώς προστατεύεται το σκυρόδεμα που σκυροδετείται με κρύο καιρό ώστε να μην παρουσιαστούν οι συνήθεις βλάβες;
 - 4.1 Μέτρα προστασίας που αφορούν στο σκυρόδεμα ως υλικό
 - 4.2 Μέτρα προστασίας που αφορούν στο περιβάλλον της κατασκευής
 - 4.3 Μέτρα προστασίας που αφορούν στη θερμική προστασία του δομικού μέλους
5. Υπάρχει πρόσθετο κόστος κατασκευής κατά τη σκυροδέτηση με κρύο καιρό λόγω της ειδικής προστασίας;
6. Ποιες οι απαιτήσεις;
7. Ποια είναι τα υλικά θερμικής προστασίας;
8. Ποια είναι τα μέτρα προστασίας πριν τη σκυροδέτηση (προετοιμασία πεδίου, καλουπιών, κ.λπ.);
9. Ποια μέτρα λαμβάνονται κατά τη μεταφορά του σκυροδέματος;
10. Ποια μέτρα λαμβάνονται κατά τη σκυροδέτηση για δομικά μέλη χωρίς υποστηρίξεις;
11. Ποια επιπλέον μέτρα λαμβάνονται κατά τη σκυροδέτηση για δομικά μέλη με υποστηρίξεις;
12. Ποια μέτρα λαμβάνονται μετά τη σκυροδέτηση κατά την περίοδο θερμικής προστασίας;
13. Ποια μέτρα λαμβάνονται μετά και τη λίξη της περιόδου θερμικής προστασίας;
14. Πώς γίνεται η συντήρηση του σκυροδέματος σε σκυροδέτηση με κρύο καιρό;
15. Ποιες είναι οι ιδιαιτερότητες όταν απαιτούνται πρώιμες αντοχές σκυροδέματος σε σκυροδέτηση με κρύο καιρό για ειδικές ανάγκες του έργου;
16. Πώς επιτυγχάνεται η εξασφάλιση θερμοκρασίας του σκυροδέματος κατά την ανάμιξή του σε θερμοκρασίες υψηλότερες από αυτές των θερμοκρασιών περιβάλλοντος ;
17. Πηγές

**ΣΥΛΛΟΓΟΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΑΣ
(ΣΠΜΕ)**

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

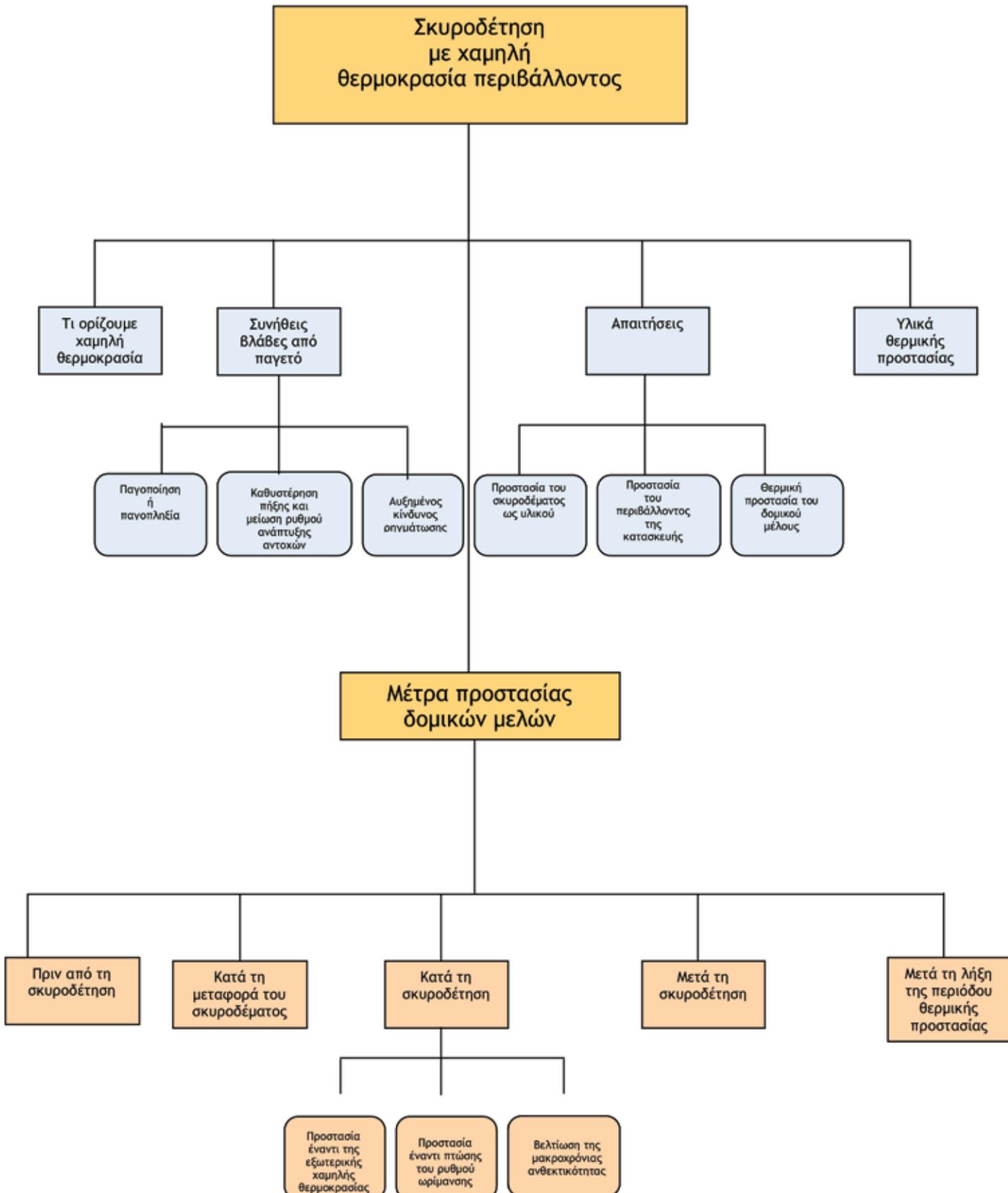
Τεχνική Οδηγία Νο 1: Σκυροδέτηση με χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος

Έκδοση 1^η

ΑΘΗΝΑ - ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2011

ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ 1

Διάγραμμα Νο 1: Διεργασίες κατά τη σκυροδέτηση δομικών μελών σε χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος



1. Εισαγωγή

Στο κείμενο αυτό συνοψίζονται οι πρακτικές σκυροδέτησης και συντήρησης του σκυροδέματος υπό συνθήκες χαμηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος.

Οι πρακτικές αυτές στοχεύουν :

- Στην αποφυγή βλάβης στο σκυρόδεμα κατά τη νωπή του φάση,
- Στη διατήρηση των συνθηκών συντήρησης που ευνοούν τον επιθυμητό ρυθμό ανάπτυξης αντοχής,
- Στην εξασφάλιση της ανάπτυξης ικανής αντοχής του σκυροδέματος για την ασφαλή απομάκρυνση των τύπων και ανάληψη των απαιτούμενων φορτίων,
- Στην προστασία του σκυροδέματος με τρόπο συμβατό με τις απαιτήσεις λειτουργικότητας του έργου και
- Στον περιορισμό ταχέως αναπτυσσόμενων θερμοκρασιακών διαφορών στη μάζα του σκυροδέματος

Περισσότερες πληροφορίες περιέχονται στο Παράρτημα της παρούσας Τεχνικής Οδηγίας.

2. Τι ορίζεται «χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος»;

Χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος θεωρείται ότι υφίσταται όταν η θερμοκρασία του αέρα έχει πέσει ή αναμένεται να πέσει κάτω από τους 4°C κατά την περίοδο προστασίας του σκυροδέματος.

Περίοδος προστασίας του σκυροδέματος, ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται ώστε να αποτραπεί οποιαδήποτε δυσμενής επιρροή στο σκυρόδεμα λόγω της έκθεσής του σε κρύο καιρό.

Συνιστάται να υπάρχει συνεχής θερμοκρασιακή παρακολούθηση του έργου σε περιόδους όπου αναμένονται χαμηλές θερμοκρασίες και να λαμβάνονται μέτρα όταν η θερμοκρασία αναμένεται να είναι μικρότερη των 10°C για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 12 ωρών.

3. Ποιες οι συνήθεις βλάβες από σκυροδέτηση με κρύο καιρό;

Οι συνήθεις βλάβες, οι οποίες προκαλούνται από σκυροδέτηση με κρύο καιρό, είναι επιγραμματικά οι ακόλουθες:

- **Παγοποίηση ή παγοπληξία.** Κατά τη νωπή του φάση, το σκυρόδεμα παγοποιείται εάν η θερμοκρασία του πέσει κάτω από τους 4°C . Εάν αυτό συμβεί, η αντοχή του δύναται να μειωθεί κατά περισσότερο από 50%, ενώ και η ανθεκτικότητά του υποβαθμίζεται σημαντικά. Σημειώνεται ότι σύμφωνα με το EN 206-1, η θερμοκρασία του σκυροδέματος δεν επιτρέπεται να είναι κάτω από 5°C .
- **Καθυστέρηση πήξης και μείωση ρυθμού ανάπτυξης αντοχών.** Η θερμοκρασία περιβάλλοντος επηρεάζει το ρυθμό με τον οποίο πραγματοποιούνται οι αντιδράσεις ενυδάτωσης. Οι χαμηλές θερμοκρασίες επιβραδύνουν την ενυδάτωση του τσιμέντου και, επομένως, καθυστερούν την πήξη και τη σκλήρυνσή του (την ανάπτυξη, δηλαδή, αντοχών).
- **Αυξημένος κίνδυνος ρηγμάτωσης.** Η χαμηλή αντοχή του σκυροδέματος σε μικρές ηλικίες είναι πιθανό να μην επαρκεί για την ανάληψη των αναπτυσσόμενων εσωτερικών τάσεων λόγω συστολής ξήρανσης, με αποτέλεσμα τη ρηγμάτωση των σκυροδετημένων στοιχείων. Πρόσθετη αιτία ρηγμάτωσης αποτελούν οι μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές μέσα στο σώμα του σκυροδέματος του μέλους.

4. Πώς προστατεύεται το σκυρόδεμα που σκυροδετείται με κρύο καιρό ώστε να μην παρουσιαστούν οι συνήθεις βλάβες;

Οι μέθοδοι που υιοθετούνται για την προστασία του σκυροδέματος από τις επιπτώσεις των χαμηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- Μέτρα προστασίας που αφορούν στο σκυρόδεμα ως υλικό
- Μέτρα προστασίας που αφορούν στο περιβάλλον της κατασκευής
- Μέτρα προστασίας που αφορούν στη θερμική προστασία του δομικού μέλους

Τα παραπάνω αναλύονται στην συνέχεια.

4.1 Μέτρα προστασίας που αφορούν στο σκυρόδεμα ως υλικό

Κατά την διάρκεια του χειμώνα, και όταν η θερμοκρασία του σκυροδέματος αναμένεται να είναι χαμηλότερη από +10°C, το σκυρόδεμα που διαστρώνεται πρέπει να έχει ελάχιστη θερμοκρασία σύμφωνα με την § 12.8.5 του ΚΤΣ-97

- 10°C όταν ο μέγιστος κόκκος των αδρανών είναι 31.5 mm (σκυρόδεμα κανονικών διατομών) ή
- 13°C όταν ο μέγιστος κόκκος των αδρανών είναι έως 16 mm (“γαρμπιλομπετόν”)

Οι θερμοκρασίες αυτές πρέπει να διατηρηθούν με κατάλληλη θερμική προστασία για όσο απαιτείται από τη Μελέτη. Τουλάχιστον όμως για διάστημα έως ότου «δοκίμια έργου» να έχουν αντοχή μεγαλύτερη των 5 MPa.

4.2 Μέτρα προστασίας που αφορούν στο περιβάλλον της κατασκευής

Τα μέτρα αποσκοπούν στη δημιουργία ενός κλειστού θερμαινόμενου περιβάλλοντος, όπως π.χ. μέσω της κάλυψης των σκυροδετούμενων μελών και της θέρμανσης του εγκλεισμένου αέρα και/ή θέρμανσης της μάζας με δίκτυα.

Χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες θερμαινόμενου αέρα, θερμαντικά χώρου ή θερμάστρες υπερύθρων, οι οποίες είναι οικονομικότερες ενεργειακά. Εφόσον γίνει χρήση θερμαστρών πρέπει να προστατευθεί η εκτεθειμένη επιφάνεια του σκυροδέματος από ενανθράκωση.

Ιδιαίτερα ευαίσθητες σε αυτή την περίπτωση είναι οι ανοικτές ελεύθερες και εκτεθειμένες επιφάνειες (π.χ. πλάκες και άνω στάθμη πεδίων), όπου είναι πιθανή η επιτάχυνση της ξήρανσης υπό συνθήκες τεχνητού κλειστού και θερμαινόμενου περιβάλλοντος και όχι τόσο οι καλουπωμένες επιφάνειες, οι οποίες λειτουργούν και σαν μόνωση και κατακρατούν την υγρασία εν επαφή με το σώμα του στοιχείου.

4.3 Μέτρα προστασίας που αφορούν στη θερμική προστασία του δομικού μέλους

Γίνεται με διάφορα υλικά (πολυστερίνη, πολυουρεθάνη, ηλεκτρικές/θερμομονωτικές «κουβέρτες», άχυρα κλπ) και διάφορες μεθόδους και τεχνικές όπως αναλύονται σε επόμενα κεφάλαια.

Σημείωση: Ας προστεθεί τέλος, ότι ανάλογα με την Κατηγορία Έκθεσης σε ψύξη - απόψυξη στην οποία ενδεχομένως να ενταχθεί η κατασκευή κατά το σχεδιασμό, απαιτείται κατά το EN 206-1 κατάλληλη μελέτη σύνθεσης. Στην περίπτωση αυτή προβλέπονται τέσσερεις Κατηγορίες: XF1 έως XF4.

5. Υπάρχει πρόσθετο κόστος κατασκευής κατά την σκυροδέτηση με κρύο καιρό λόγω της ειδικής προστασίας;

Το κόστος μιας σκυροδέτησης σε κρύο καιρό σαφώς είναι μεγαλύτερο συγκρινόμενο με αυτό της σκυροδέτησης σε κανονικές συνθήκες. Το πρόσθετο κόστος οφείλεται στον επιπλέον εξοπλισμό, τα εργατικά, στη θέρμανση του έτοιμου σκυροδέματος, τη χρήση αερακτικών, αντι-παγετικών προσμίκτων, επιταχυντών κλπ.

6. Ποιες οι απαιτήσεις;

- Η ελάχιστη απαιτούμενη θερμοκρασία του σκυροδέματος κατά τη διάστρωση εξαρτάται από το πάχος της διατομής. Για συνήθεις διατομές (έως 300 mm) η θερμοκρασία σκυροδέματος δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από 13° C, ενώ για ογκώδεις διατομές μπορεί να είναι μικρότερη (10°C για διατομή 300-900 mm, 7°C για 900-1800 mm και 5°C αν η διατομή είναι μεγαλύτερη των 1800 mm).
- Η κάθιση (εργασιμότητα του σκυροδέματος) συνιστάται να είναι η χαμηλότερη δυνατή (συνήθως περί τα 100 mm ή κατηγορίας κάθισης S2 ή S3 ανάλογα με τις ανάγκες του στοιχείου). Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η εξίδρωση (bleeding). Σε κάθε περίπτωση, όσο λιγότερο νερό υπάρχει στο μίγμα, τόσο μικρότερος είναι ο κίνδυνος για βλάβη από τον παγετό.

7. Ποια είναι τα υλικά θερμικής προστασίας;

Τα υλικά θερμικής προστασίας μπορούν να χωρισθούν σε δύο γενικές κατηγορίες:

Χημικά πρόσμικτα σκυροδέματος

- Αερακτικά, τα οποία δημιουργούν χώρο για εκτόνωση του περιεχόμενου παγοποιημένου νερού σε περιπτώσεις παγετού
- Επιταχυντές, οι οποίοι μειώνουν τον χρόνο έκθεσης στον παγετό πριν την ανάπτυξη αντοχών

Θερμομονωτικά σκυροδετούμενης επιφάνειας

Αποτέλεσμα της χημικής διεργασίας ενυδάτωσης του τσιμέντου είναι η έκλυση θερμότητας. Επομένως, ζητούμενο της μόνωσης είναι η διατήρηση της θερμότητας αυτής εντός της μάζας του σκυροδέματος, ώστε να επιτυγχάνονται καλύτερες θερμοκρασιακές συνθήκες κατά τη συντήρηση. Υλικά που προσφέρουν μόνωση είναι:

- Ο ίδιος ο ξυλότυπος
- Ασφαλτόπανα ή λεπτά φύλλα από πλαστικό υλικό
- Φύλλα ή πλάκες από θερμομονωτικά υλικά όπως φελλός, διογκωμένα συνθετικά υλικά
- Ινώδη υλικά, όπως άχυρα
- Χαλαρά κοκκώδη υλικά, όπως στρώμα από πριονίδια, άμμος

Προσοχή πρέπει να δίνεται στην προστασία από την υγρασία για υλικά όπως τα άχυρα και πριονίδια, όπως και η συγκράτηση στη θέση τους. Αυτό μπορεί να γίνει με τοποθέτηση αδιάβροχων υφασμάτων, φύλλου πολυαιθυλενίου (νάιλον) και λινάτσες.

Η μόνωση δεν πρέπει να αφαιρείται απότομα προκειμένου να αποφευχθεί ενδεχόμενο «θερμικό σοκ» ιδίως όταν η θερμοκρασιακή διαφορά θερμού σκυροδέματος - περιβάλλοντος παραμένει μεγάλη.

8. Ποια είναι τα μέτρα προστασίας πριν τη σκυροδέτηση (προετοιμασία πεδίου, καλουπιών κ.λπ.);

Θα πρέπει απαραίτητα να προστατευτούν και να καθαριστούν από πάγο και χιόνι οι επιφάνειες που πρόκειται να έρθουν σε επαφή με το σκυρόδεμα (αλλά και κάθε υλικού που πρόκειται να ενσωματωθεί στο σκυρόδεμα, π.χ. οπλισμοί ή μεταλλικά εγκλείσματα. Αυτό μπορεί να γίνει π.χ. με θερμές υδροβολές πριν τη σκυροδέτηση, υπό τον όρο ότι η κατασκευή προστατεύεται θερμικά).

Θα πρέπει να απομακρυνθούν τα λιμνάζοντα ύδατα εντός των τύπων.

Απαιτείται η αποκατάσταση της θερμοκρασίας όλων των εν επαφή με το σκυρόδεμα επιφανειών (και υλικών) σε θερμοκρασία μεγαλύτερη του μηδενός για ικανό διάστημα προ της σκυροδέτησης με τη χρήση θερμαντικών μέσων. Η θερμοκρασία αυτή (T_f) δεν θα πρέπει να είναι σημαντικά διαφορετική από τη θερμοκρασία του σκυροδέματος κατά τη διάστρωση (T): $(T - 8^{\circ}\text{C}) \leq T_f \leq (T + 5^{\circ}\text{C})$.

Το υπέδαφος σε περίπτωση εδαφόπλακας θα πρέπει να μην είναι παγωμένο. Σε πολλές περιπτώσεις αυτό μπορεί να γίνει με την κάλυψη για κάποιες μέρες με θερμομονωτικό υλικό και απομάκρυνσή του αμέσως πριν από τη σκυροδέτηση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι δυνατόν να χρειαστεί εφαρμογή θέρμανσης.

9. Ποια μέτρα λαμβάνονται κατά τη μεταφορά σκυροδέματος;

Κατά τη μεταφορά του σκυροδέματος θα πρέπει:

- να επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση του χρόνου μεταφοράς από το εργοστάσιο παρασκευής σκυροδέματος στο εργοτάξιο
- να γίνεται προσεκτικός συντονισμός των αυτοκινήτων μεταφοράς, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι χρόνοι αναμονής τους στο πεδίο.

10. Ποια μέτρα λαμβάνονται κατά τη σκυροδέτηση για δομικά μέλη χωρίς υποστηρίξεις;

Αφορά κυρίως δομικά μέλη τα οποία βάσει της μελέτης και του προγράμματος κατασκευής δεν θα απαιτηθεί να παραλάβουν φορτία πριν την απομάκρυνση καλουπιών και υποστυλώσεων (π.χ. θεμέλια, δάπεδα, οδοιστρώματα, καταστρώματα γεφυρών κ.λπ.).

Τα μέτρα που λαμβάνονται περιλαμβάνουν:

- **Προστασία** έναντι της εξωτερικής χαμηλής θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της περιόδου προστασίας. Αυτό επιτυγχάνεται με:
 - Θέρμανση των δομικών μελών με τη δημιουργία ενός κλειστού και σταθερού θερμικά θερμαινόμενου περιβάλλοντος.
 - Παροχή θερμικής μόνωσης των εκτεθειμένων και των καλουπωμένων επιφανειών του μέλους (το καλούπι θεωρείται ότι ήδη παρέχει μονωτική λειτουργία) με ειδικά καλούπια ή και κάλυψη με θερμομονωτικά υλικά.
- **Προστασία** έναντι πτώσης του ρυθμού ωρίμανσης (αντιδράσεων ενυδάτωσης), μέσω προσθήκης επιταχυντών ή επιμήκυνσης του χρόνου απομάκρυνσης των ξυλοτύπων.
- **Βελτίωση** της μακροχρόνιας ανθεκτικότητας μέσω μείωσης του λόγου Νερό/Τσιμέντο και αύξησης της περιεκτικότητας σε τσιμέντο.
- Στη συνέχεια παρατίθεται πίνακας με την ελάχιστη περίοδο θερμικής προστασίας του σκυροδέματος (με αερακτικό πρόσμικτο).

Συνθήκες λειτουργίας		Περίοδος θερμικής προστασίας (24ωρα)	
Κατά την περίοδο ωρίμανσης	Κατά την περίοδο λειτουργίας	Συμβατικό σκυρόδεμα	Σκυρόδεμα επιταχυνόμενης πήξης
a. Χωρίς φορτίο	όχι εκτεθειμένο [†]	2	1
β. Χωρίς φορτίο	εκτεθειμένο [‡]	3	2
γ. Μερικό φορτίο [*]	εκτεθειμένο [‡]	6	4
δ. Πλήρες φορτίο ^{**}	Βλέπε «Σκυρόδεμα με υποστηρίξεις»		

[†]σε συνθήκες πάγου (ή εκτεθειμένο το πολύ σε έναν κύκλο ψύξης-απόψυξης), [‡]σε κύκλους ψύξης-απόψυξης, μικρότερο από εκείνο που δύναται να φέρει το στοιχείο σε μικρές ηλικίες, ενώ το στοιχείο θα λάβει πρόσθετη συντήρηση έως την ανάληψη των φορτίων λειτουργίας, ^{**}για στοιχεία που χρειάζονται υποστηρίξεις για να παραλάβουν τα φορτία κατασκευής μέχρι την ολοκλήρωση της ωρίμανσής τους.

Πίνακας 1: Ελάχιστη περίοδος θερμικής προστασίας σκυροδέματος (με αερακτικό πρόσμικτο)

11. Ποια επιπλέον μέτρα λαμβάνονται κατά τη σκυροδέτηση για δομικά μέλη με υποστηρίξεις;

Κατ' αρχήν ισχύουν όλα τα προηγούμενα μέτρα που αφορούν στα δομικά μέλη χωρίς υποστηρίξεις.

Επί πλέον, στην περίπτωση δομικών μελών με υποστηρίξεις, απαιτείται περισσότερος χρόνος παροχής υποστήριξης από τους χρόνους του Πίνακα 1, ώστε να μπορεί το σκυρόδεμα να παραλάβει τις απαιτούμενες αντοχές. Στην περίπτωση αυτή, τα κριτήρια για απομάκρυνση των τύπων πρέπει να βασίζονται σε αποτελέσματα αντοχών δοκιμών πλησίον του έργου, που συντηρούνται σε συνθήκες παρόμοιες με αυτές που ισχύουν στο έργο (“δοκίμια έργου”).

Τα παραπάνω προϋποθέτουν ότι: i) η εσωτερική θερμοκρασία του σκυροδέματος παραμένει τουλάχιστον 10°C μετά τη σκυροδέτηση, ii) έχει ληφθεί πρόνοια ώστε η θερμοκρασία να παραμείνει σε αυτό το επίπεδο σε όλη την περίοδο προστασίας, iii) γίνεται επαρκής συντήρηση ώστε να μην υπάρχει ξήρανση και iv) οι υποστηρίξεις παραμένουν για όσο απαιτείται.

Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει το σκυρόδεμα να παραδίδεται με τη μικρότερη δυνατή κάθιση, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος εκτεταμένης εξίδρωσης.

12. Ποια μέτρα λαμβάνονται μετά τη σκυροδέτηση κατά την περίοδο θερμικής προστασίας;

Τα μέτρα που λαμβάνονται είναι μέτρα θερμικής προστασίας, εφαρμόζονται αμέσως μετά από τη συμπύκνωση και το τελείωμα και θα πρέπει να προγραμματίζονται πριν από τη σκυροδέτηση. Τα μέτρα αυτά, πέραν των όσων ήδη αναφέρθηκαν συνοψίζονται στα εξής:

Για σχετικά ήπιες καιρικές συνθήκες, συνήθως αρκεί η κάλυψη των εκτεθειμένων επιφανειών σκυροδέματος με θερμομονωτικά υλικά και η εκμετάλλευση της θερμότητας ενυδάτωσης του ωριμάζοντος σκυροδέματος, για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του στα συνιστώμενα επίπεδα.

Σε περιπτώσεις ακραίων καιρικών συνθηκών (πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ή/και δυνατοί ψυχροί άνεμοι) είναι απαραίτητη η περίφραξη και κάλυψη των στοιχείων, έτσι ώστε να δημιουργείται ένας περίκλειστος χώρος εντός του οποίου θα πρέπει να λειτουργούν θερμαντικά σώματα ή δίκτυα για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας στο επιθυμητό επίπεδο.

13. Ποια μέτρα λαμβάνονται μετά και τη λήξη της περιόδου θερμικής προστασίας;

Μετά τη λήξη της περιόδου θερμικής προστασίας, απομακρύνονται τα θερμαντικά μέσα, τα θερμομονωτικά υλικά και οι ξυλότυποι ως εξής:

- Σταδιακή (με αργό ρυθμό) μείωση της έντασης των θερμαντικών μέσων ή/και διατήρηση των θερμομονωτικών υλικών έως την επίτευξη θερμοκρασιακής ισορροπίας μεταξύ της μάζας του σκυροδέματος και του περιβάλλοντος
- Χαλάρωση των (εκ κατασκευής) θερμομονωμένων τύπων και κάλυψη των στοιχείων με πλαστικές μεμβράνες για την καλύτερη κυκλοφορία του αέρα στα δημιουργούμενα διάκενα

Απομάκρυνση των τύπων κατά τρόπον τέτοιο ώστε να μην υπάρχει μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ σκυροδέματος και περιβάλλοντος.

14. Πώς γίνεται η συντήρηση του σκυροδέματος σε σκυροδέτηση με κρύο καιρό;

Σκοπός της συντήρησης του σκυροδέματος είναι i) να αποφευχθεί η βλάβη στο νωπό σκυρόδεμα λόγω παγοποίησης του νερού στο σύστημα των πόρων, ii) να συνεχίσει ομαλά η διαδικασία ενυδάτωσης η οποία υπό χαμηλές θερμοκρασίες σταματά να εξελίσσεται, έτσι ώστε τελικά το σκυρόδεμα να αποκτήσει την απαιτούμενη αντοχή ώστε να αφαιρεθούν οι ξυλότυποι, iii) να περιοριστούν μεγάλες και ταχείς διαφορικές θερμοκρασίες μεταξύ του κρύου περιβάλλοντος στην επιφάνεια του δομικού μέλους και του εσωτερικού της μάζας του κατά τη φάση της εξώθερμης διαδικασίας ενυδάτωσης, όπου εκλύεται θερμότητα και iv) να προστατευτεί το δομικό μέλος σύμφωνα με την απαιτούμενη ανθεκτικότητα αυτού σε βάθος χρόνου.

A) Κατά την περίοδο της θερμικής προστασίας

Το σκυρόδεμα που εκτίθεται σε κρύο καιρό δεν είναι πιθανό να ξηρανθεί με ανεπιθύμητη ταχύτητα. Αυτό όμως δεν ισχύει για το σκυρόδεμα που προστατεύεται θερμικά.

Όσο τα καλούπια μένουν στη θέση τους, οι επιφάνειες σκυροδέματος σε επαφή με τα καλούπια εξακολουθούν να παραμένουν υγρές. Οι εκτεθειμένες όμως οριζόντιες επιφάνειες τείνουν σε ταχεία ξήρανση, ιδιαίτερα σε ένα θερμαινόμενο κλειστό χώρο.

Επιθυμητά μέτρα κατά σειρά είναι:

- χρήση ατμού για ταυτόχρονη θέρμανση και ύγρανση
- κάλυψη με αδιάβροχο υλικό
- κάλυψη με μεμβράνη συντήρησης
- συντήρηση με νερό

Η συντήρηση με νερό είναι το τελευταίο επιθυμητό μέτρο λόγω προβλημάτων παγώματος του νερού και επακόλουθο πάγωμα της εξωτερικής επιφάνειας του σκυροδέματος.

Προσοχή απαιτείται στους κλειστούς χώρους ώστε η σχετική υγρασία (RH) του περιβάλλοντος αέρα να μην πέσει κάτω από 60% (RH>60%).

B) Μετά το πέρας της περιόδου θερμικής προστασίας.

Το πρόβλημα σε αυτή την περίοδο είναι η προστασία των εκτεθειμένων (κυρίως) επιφανειών του σκυροδέματος από επιφανειακή ξήρανση. Όπως και στη συμβατική σκυροδέτηση, η ένταση της ξήρανσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία στον αέρα και στο σκυρόδεμα, την ταχύτητα του ανέμου και τη σχετική υγρασία στον αέρα: για παράδειγμα, ξήρανση ενδέχεται να προκύψει όταν η θερμοκρασία του σκυροδέματος είναι 20°C και του αέρα 10°C και σχετική υγρασία κάτω από 40%, με το κρίσιμο αυτό ελάχιστο ποσοστό υγρασίας να αυξάνεται όσο πέφτει η θερμοκρασία του αέρα και του σκυροδέματος. Γενικά, δεν απαιτούνται ειδικά μέτρα προστασίας λόγω ξήρανσης από εξάτμιση, εφόσον η θερμοκρασία του αέρα είναι κάτω από 10°C . Η επικάλυψη με μία μεμβράνη συντήρησης

συνήθως θα επαρκέσει για την προστασία του σκυροδέματος σε περίπτωση που ανέβει η θερμοκρασία περιβάλλοντος, ή εφόσον μειωθεί η υγρασία στον αέρα. Υγρή συντήρηση μπορεί να εφαρμοστεί, όταν αναμένεται σημαντική ξήρανση του περιβάλλοντος και δεν προβλέπεται παγετός.

Σύμφωνα με το ACI 306-R10, εφόσον η θερμοκρασία του αέρα διατηρηθεί επάνω από 10°C για διάρκεια πέραν των 12 ωρών οποιασδήποτε 24ωρης περιόδου, σε βάθος χρόνου τριών συνεχών ημερών, οι συνθήκες συντήρησης θα πρέπει πλέον να θεωρούνται συμβατικές.

15. Ποιες είναι οι ιδιαιτερότητες όταν απαιτούνται πρώιμες αντοχές σκυροδέματος σε σκυροδέτηση με κρύο καιρό για ειδικές ανάγκες του έργου;

Εφόσον απαιτηθεί η εξασφάλιση πρώιμων αντοχών πρέπει να μειωθούν οι αναγκαίοι χρόνοι και να επιτευχθεί επιτάχυνση της πήξης του σκυροδέματος. Για να υλοποιηθούν τα παραπάνω, χρειάζεται ειδική τεχνολογική μελέτη (π.χ. χρήση επιταχυντικών προσμίκτων, τσιμέντα υψηλής αρχικής αντοχής, μεγάλες ποσότητες τσιμέντου, χρήση CaCl₂ υπό όρους -όχι σε προένταση- κ.λπ.).

16. Πώς επιτυγχάνεται η εξασφάλιση θερμοκρασίας του σκυροδέματος κατά την ανάμιξή του σε θερμοκρασίες υψηλότερες από αυτές των θερμοκρασιών περιβάλλοντος;

Η αύξηση της θερμοκρασίας του σκυροδέματος επιτυγχάνεται :

Με αύξηση της θερμοκρασίας/θέρμανση των υλικών

- Αύξηση θερμοκρασίας αδρανών (π.χ. με σωληνώσεις ζεστού νερού, γλυκόλης ή ζεστού αέρα)
- Θέρμανση νερού ανάμιξης σε επαρκείς ποσότητες

Υπολογισμός της θερμοκρασίας ανάμιξης:

Αν τα βάρη και οι θερμοκρασίες όλων των συστατικών καθώς και η περιεχόμενη υγρασία των αδρανών είναι γνωστά τότε η τελική θερμοκρασία του σκυροδέματος μπορεί να υπολογιστεί εύκολα (π.χ. βλ. ΕΛΟΤ 515, Παράρτημα Α).

17. Πηγές

1. Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ-97) (ΦΕΚ/315/Β/17-4-97)/ΚΕΔΕ
2. ΕΛΟΤ 515 : «Σκυροδέτηση όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι χαμηλή»
3. ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010 : «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίων»
4. American Concrete Institute (ACI) 306R-10 : «Guide to cold weather concreting» www.concrete.org (Οκτ/2010)
5. NRMCA:CIP 27 - Cold weather Concreting (National Ready - Mixed Concrete Association) www.nrmca.org
6. ΕΛΟΤ ΕΝ 206-1 Σκυρόδεμα Μέρο; 1: Προδιαγραφή, επιτελεστικότητα, παραγωγή και συμμόρφωση. ΕΛΟΤ 2010

**ΣΥΛΛΟΓΟΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΑΣ
(ΣΠΜΕ)**

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Παράρτημα Τεχνικής Οδηγίας Νο 1:
Σκυροδέτηση με χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος

Έκδοση 1^η

ΑΘΗΝΑ - ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2011

Πίνακας Περιεχομένων

1. Εισαγωγή
2. Τι ορίζεται «χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος»;
3. Ποιες οι συνήθεις βλάβες από σκυροδέτηση με κρύο καιρό;
4. Πώς προστατεύεται το σκυρόδεμα που σκυροδετείται με κρύο καιρό ώστε να μην παρουσιαστούν οι συνήθεις βλάβες;
5. Υπάρχει πρόσθετο κόστος κατασκευής κατά τη σκυροδέτηση με κρύο καιρό λόγω της ειδικής προστασίας;
6. Ποιες οι απαιτήσεις;
7. Ποια είναι τα υλικά θερμικής προστασίας;
8. Ποια είναι τα μέτρα προστασίας πριν τη σκυροδέτηση (προετοιμασία πεδίου, καλουπιών, κ.λπ.);
9. Ποια μέτρα λαμβάνονται κατά τη μεταφορά του σκυροδέματος;
10. Ποια μέτρα λαμβάνονται κατά τη σκυροδέτηση για δομικά μέλη χωρίς υποστηρίξεις;
11. Ποια επιπλέον μέτρα λαμβάνονται κατά τη σκυροδέτηση για δομικά μέλη με υποστηρίξεις;
12. Ποια μέτρα λαμβάνονται μετά τη σκυροδέτηση κατά την περίοδο θερμικής προστασίας;
13. Ποια μέτρα λαμβάνονται μετά και τη λήξη της περιόδου θερμικής προστασίας;
14. Πώς γίνεται η συντήρηση του σκυροδέματος σε σκυροδέτηση με κρύο καιρό;
15. Ποιες είναι οι ιδιαιτερότητες όταν απαιτούνται πρώιμες αντοχές σκυροδέματος σε σκυροδέτηση με κρύο καιρό για ειδικές ανάγκες του έργου;
16. Πώς επιτυγχάνεται η εξασφάλιση θερμοκρασίας του σκυροδέματος κατά την ανάμιξή του σε θερμοκρασίες υψηλότερες από αυτές των θερμοκρασιών περιβάλλοντος ;
17. Πηγές

1. Εισαγωγή

- 1.1 Τα θέματα που απαιτούνται να μελετηθούν και να λυθούν προκειμένου να γίνει σκυροδέτηση με χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι πολλά, σύνθετα, αλληλεξαρτώμενα και απαιτούν ειδικές γνώσεις και ειδική τεχνολογία.
- 1.2 Η σκυροδέτηση σε χαμηλή θερμοκρασία αποτελεί ειδική σκυροδέτηση με βάση το άρθρο 12 του Κ.Τ.Σ.-97, για συνήθεις κατασκευές και τύπο τσιμέντων II και IV. Παράλληλα θα πρέπει να αναφερθεί η ύπαρξη του Σχεδίου Προτύπου ΕΛΟΤ - 515/81.
- 1.3 Επιπλέον, πληροφορίες μπορεί να βρει ο ενδιαφερόμενος Μηχανικός στο ACI 306R-10 καθώς και σε άλλες πηγές που αναφέρονται στο τέλος της παρούσας Τεχνικής Οδηγίας.
- 1.4 Όσα αναφέρονται στην Οδηγία αυτή αφορούν συνήθεις σκυροδετήσεις και δεν αφορούν σκυροδετήσεις ογκωδών κατασκευών (mass concrete).

2. Τι ορίζεται «χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος»;

- 2.1 Σύμφωνα με το ΕΛΟΤ-515 χαμηλή νοείται η θερμοκρασία του αέρα η οποία είναι μικρότερη ή αναμένεται να είναι μικρότερη από 5°C κατά την περίοδο προστασίας του σκυροδέματος.
- 2.2 Στην Οδηγία ACI-306R-10 χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος (cold weather) θεωρείται όταν η θερμοκρασία του αέρα έχει πέσει στους ή αναμένεται να πέσει κάτω από τους 4°C κατά τη διάρκεια της περιόδου προστασίας του σκυροδέματος.
- 2.3 Σε παλαιότερες εκδόσεις της Οδηγίας ACI-306, συνθήκες χαμηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος νοούνται όταν για περισσότερες από 3 διαδοχικές ημέρες:
 - η μέση ημερήσια θερμοκρασία (δηλ. ο μέσος όρος της υψηλότερης και χαμηλότερης θερμοκρασίας που καταγράφεται σε μια περίοδο από μεσονύκτιο, σε μεσονύκτιο) είναι κάτω από 4°C και
 - η θερμοκρασία του περιβάλλοντος δεν υπερβαίνει τους 10°C για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από το ήμισυ οποιασδήποτε 24ωρης περιόδου. Πρακτικά, εάν λαμβάνονται μετρήσεις της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κάθε πρωί, μεσημέρι και βράδυ (π.χ. κάθε οκτώ ώρες) και προκύψουν δύο διαδοχικές τιμές μικρότερες των 10°C, τότε θεωρείται ότι επικρατούν ψυχρές καιρικές συνθήκες

3. Ποιες οι συνήθεις βλάβες από σκυροδέτηση με κρύο καιρό;

4. Πώς προστατεύεται το σκυρόδεμα που σκυροδετείται με κρύο καιρό ώστε να μην παρουσιαστούν οι συνήθεις βλάβες

- 4.1.1 Στις περιοχές της χώρας κατηγορίας (IV) σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ-515 επιβάλλεται η χρήση αερακτικού, είτε η σκυροδέτηση γίνει χειμώνα είτε καλοκαίρι. Όταν προστεθεί αερακτικό η ποσότητά του πρέπει να εξασφαλίζει στο μίγμα την περιεκτικότητα αέρα:
 - 4,5% για αδρανή: 16 mm
 - 3,5% για αδρανή: 31.5 mm
- 4.1.2 Ανεπίχριστα σκυροδέματα της περιοχής (IV) (σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ-515), πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις για σκυρόδεμα μειωμένης υδατοπεραιότητας (§ 12-3/ΚΤΣ-97),

καθώς και αντίστοιχα έργα που είναι εκτεθειμένα σε θερμοκρασίες παγετού (γέφυρες, σιλό κλπ). Η ελάχιστη επικάλυψη του οπλισμού σε αυτές τις περιπτώσεις θα είναι: 50 mm.

4.1.3 Η μέγιστη θερμοκρασία του σκυροδέματος, εφόσον αυτό θερμανθεί, δεν επιτρέπει να υπερβαίνει τους (32°C).

4.1.4 Συνιστάται η χρήση ασβεστολιθικής άμμου με μεγάλο ποσοστό πληρωτικού (φίλλερ π.χ. >10% και $\leq 16\%$).

4.1.5 Συνιστάται χρήση ειδικών προσμίκτων σκυροδέματος, όπως επιταχυντών ελευθέρων χλωριόντων, ειδικών υπερρευστοποιητών για ανάπτυξη πρώιμων αντοχών κλπ.

4.1.6 Συνιστάται χρήση τσιμέντων τύπου I και κατηγορίας αντοχής 42,5R ή 52,5R ή εναλλακτικά χρήση τσιμέντων τύπου II/42,5 ή IV/42,5.

4.1.7 Δεν συνιστάται η χρήση τσιμέντων κατηγορίας αντοχής 32,5.

4.2.1 Προτεινόμενη μέθοδος είναι και η χρήση θερμαινόμενου ατμού (με κάλυψη νάιλον), που εγκλωβίζει την υγρασία εν επαφή με τη θερμαινόμενη επιφάνεια υπό συντήρηση.

4.2.2 Εφόσον δεν εφαρμοσθεί η τεχνική αυτή, πρέπει το σκυρόδεμα να καλύπτεται με μεμβράνη συντήρησης ή άλλα μη διαπερατά υλικά, ή και να ποντίζεται με νερό. Η λύση με το νερό δεν ενδείκνυται λόγω της πιθανότητας που υπάρχει ώστε το νερό να παγώσει εκεί όπου αστοχεί η τεχνητή κάλυψη (λόγω κακής στεγάνωσης ή διαφυγής του νερού από τραυματισμό της). Επί πλέον, διατηρεί το σκυρόδεμα σε κορεσμένη κατάσταση, με αποτέλεσμα να υπάρξει πιθανότητα να επέλθει παγοπληξία όταν αφαιρεθεί η προστασία του.

Σημείωση: Το EN 206-1 προβλέπει ελάχιστη κατηγορία αντοχής και κατάλληλη μελέτη σύνθεσης με μέγιστο λόγο Νερό/Τσιμέντο, ελάχιστη περιεκτικότητα σε τσιμέντο και αερακτικό, ανάλογα με την Κατηγορία Έκθεσης σε ψύξη - απόψυξη, του δομικού μέλους, στην οποία ενδεχομένως να ενταχθεί κατά το σχεδιασμό.

5. Υπάρχει πρόσθετο κόστος κατασκευής κατά την σκυροδέτηση με κρύο καιρό λόγω της ειδικής προστασίας;

5.1 Το επί πλέον κόστος μπορεί να διακριθεί στις ακόλουθες κατηγορίες:

Κόστος προστασίας προ της σκυροδέτησης

Στις περιπτώσεις αυτές, το κόστος επιβαρύνεται από το κόστος αγοράς των υλικών προστασίας (πολυστερίνη, πολυστερόλη, κουβέρτες κλπ) καθώς και το εργατικό κόστος για την τοποθέτησή τους. Στην κατηγορία αυτή ανήκει και το επί πλέον κόστος το οποίο προκύπτει λόγω της ειδικής σύνθεσης του σκυροδέματος και της αύξησης της θερμοκρασίας του κατά την παραλαβή του.

Κόστος προστασίας μετά τη σκυροδέτηση

Το κόστος αυτής της κατηγορίας περιλαμβάνει το κόστος αγοράς των υλικών και το εργατικό κόστος εφαρμογής τους. Επιπρόσθετα, για τις αντιεξατμιστικές μεμβράνες που χρειάζονται αφαίρεση για επόμενη επίστρωση πάνω στην επιφάνεια σκυροδέματος, θα πρέπει να υπολογιστεί και το κόστος αφαίρεσής τους (π.χ. αφαίρεση με υδροβολή, κ.λπ.).

6. Ποιες οι απαιτήσεις:

6.1 Η θερμοκρασία ανάμιξης του σκυροδέματος εξαρτάται (εκτός από το πάχος της διατομής) και από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η ελάχιστη συνιστώμενη θερμοκρασία σκυροδέματος κατά την ανάμιξη, φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Ελάχιστη συνιστώμενη θερμοκρασία σκυροδέματος κατά την ανάμιξη (T_{mix_min})

Θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα, t_a	Ελάχιστη διάσταση διατομής (mm)			
	< 300	300-900	900-1800	> 1800
> -1 °C	16 °C	13 °C	10 °C	7 °C
-18 °C > t_a > -1 °C	18 °C	16 °C	13 °C	10 °C
< -18 °C	21 °C	18 °C	16 °C	13 °C

$T_{mix_max} \leq T_{mix_min} + 8°C$

6.2 Η απώλεια θερμοκρασίας κατά τη μεταφορά μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση $T=0,25*(t_r - t_a)$ όπου T : η θερμοκρασιακή πτώση στη μάζα του σκυροδέματος μετά από 1 ώρα μεταφοράς (με περιστρεφόμενη βαρέλα), t_r : απαιτούμενη θερμοκρασία διάστρωσης και t_a : θερμοκρασία περιβάλλοντος.

6.3 Σε περίπτωση εξίδρωσης, το πλεονάζον νερό μπορεί να παραμείνει για μεγάλο χρονικό διάστημα στην επιφάνεια, επηρεάζοντας έτσι και την τελική επιφάνεια. Σε αυτή τη περίπτωση το νερό θα πρέπει να απομακρυνθεί από την επιφάνεια χωρίς να αναμιχθεί με το σκυρόδεμα (π.χ. αν γίνει με τσουγκράνα) γιατί αλλιώς θα υπάρξει μείωση της αντοχής και αυξημένος κίνδυνος παγοπληξίας.

7. Ποια είναι τα υλικά θερμικής προστασίας;

7.1 Τα υλικά μπορούν να τοποθετούνται επί της σκυροδετούμενης επιφάνειας είτε σε μορφή δύσκαμπτων πλακών (φελιζόλ, διογκωμένη εξιλασμένη πολυυετερίνη, κόντρα πλακέ, κ.λπ.), είτε ως 'κουβέρτες' (ινώδη υλικά όπως υαλοβάμβακας, πετροβάμβακας).

7.2 Απαραίτητο δεδομένο για τον υπολογισμό της αναγκαίας μόνωσης είναι ο συντελεστής θερμοαγωγιμότητας λ του χρησιμοποιούμενο υλικού. Προσδιορίζεται από τεχνικές προδιαγραφές των δομικών υλικών όπως παρέχονται από τις Βιομηχανίες, μέσω της Βιβλιοθήκης υλικών του Πίνακα 2 της Τεχνικής Οδηγίας 20701-2/10, ενώ σχετικοί πίνακες περιέχονται στα πρότυπα ΕΛΟΤ 515 και ACI 306R-10.

7.3 Για μερικά από τα ευρέως χρησιμοποιούμενα μονωτικά υλικά, για πάχος 10mm (σε m^2K/W):

Διογκωμένη πολυουρεθάνη (Expanded polyurethane)	0.438
Διογκωμένη εξιλασμένη πολυυετερίνη (Expanded polystyrene extruded)	0.347
Διογκωμένη εξιλασμένη πολυυετερίνη (Expanded polystyrene extruded,plain)	0.277
Ίνες υάλου (Glass fiber)	0.277
Κόντρα πλακέ (Ply wood)	0.087
Ορυκτές ίνες (Mineral fiber)	0.224
Ίνες ξύλου (Wood fiber)	0.231
Διογκωμένος περλίτης (Expanded perlite)	0.187
Βερμικουλίτης (Vermiculite)	0.152
Πριονίδι (Sawdust)	0.154

7.4 Η αξιολόγηση των υλικών θερμικής προστασίας δεν μπορεί να γίνεται μονοσήμαντα, αλλά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι συνθήκες περιβάλλοντος (π.χ. υγρασία), το επιθυμητό επίπεδο μόνωσης, οι διαθέσιμες επιλογές υλικών, το κόστος κλπ.

7.5 Για τον ποσοτικό υπολογισμό απόδοσης της μόνωσης μπορεί να εφαρμοστεί και η μεθοδολογία προσδιορισμού της ενεργειακής απόδοσης όπως αυτή περιγράφεται στον Κ.ΕΝ.Α.Κ. και στην Τεχνική Οδηγία 20701-2/10.

8. Ποια είναι τα μέτρα προστασίας πριν τη σκυροδέτηση (προετοιμασία πεδίου, καλουπιών κ.λπ.);

8.1 Γενικά συνιστάται η αναβολή της σκυροδέτησης, αν αυτό είναι τεχνικά εφικτό, όταν έχουμε ή αναμένονται συνθήκες ψύχους, ειδικότερα όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι μικρότερη από 0°C.

8.2 Απαγορεύεται η σκυροδέτηση, αν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι μικρότερη από -15°C.

8.3 Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται στα μεταλλικά στοιχεία που έρχονται σε επαφή με το σκυρόδεμα (και ο οπλισμός) καθώς αν είναι παγωμένα είναι πιθανό να προκαλέσουν παγοπληξία τοπικά στο σκυρόδεμα με αποτέλεσμα να μην υπάρχει συνάφεια, ή αυτή να είναι πολύ μειωμένη.

9. Ποια μέτρα λαμβάνονται κατά την μεταφορά σκυροδέματος;

10. Ποια μέτρα λαμβάνονται κατά τη σκυροδέτηση για δομικά μέλη χωρίς υποστηρίξεις;

10.1 Αν απαιτηθεί θέρμανση της μάζας του σκυροδέματος, αυτό μπορεί να γίνει με ενσωματούμενο δίκτυο παροχής και κυκλοφορίας ζεστού νερού, γλυκόλης ή λαδιού και πιθανή ταυτόχρονη θέρμανση των σιδηροτύπων με χρήση αντιστάσεων (συνήθης πρακτική στην προκατασκευή και στη δόμηση μορφής προκατασκευασμένων χώρων - tunnel form),

10.2 Η επιτάχυνση της ενυδάτωσης πρέπει να γίνεται με προσοχή λόγω της ταυτόχρονης αύξησης της θερμότητας ενυδάτωσης που συνεπάγεται, γιατί ενδέχεται να δημιουργήσει διαφορικά θερμοκρασιακά φαινόμενα και ρηγμάτωση.

10.3 Παροχή θερμικής μόνωσης των εκτεθειμένων και των καλουπωμένων επιφανειών του μέλους (το καλούπι θεωρείται ότι ήδη παρέχει μονωτική λειτουργία) με ειδικά καλούπια ή και κάλυψη με θερμομονωτικά υλικά.

10.4 Επίσης κρίσιμη είναι η θερμοκρασία σκυροδέματος κατά τη διάστρωση, T σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Ελάχιστη θερμοκρασία σκυροδέματος κατά τη διάστρωση, T_{min}	Ελάχιστη διάσταση διατομής (mm)			
	< 300	300-900	900-1800	> 1800
	13 °C	10 °C	7 °C	5 °C
$T_{max} \leq T_{min} + 11°C$				
Υπολογισμός της (T) λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες θερμότητας κατά τη μεταφορά με όχημα αναμικτήρα και περιστρεφόμενο κάδο: $T = T_{mix} - t_T \cdot 0,25(t_r - t_a)$				
όπου: t_T η χρονική διάρκεια μεταφοράς του σκυροδέματος (σε ώρες) και t_r η απαιτούμενη θερμοκρασία διάστρωσης του σκυροδέματος με $T_{min} \leq t_r \leq T_{max}$.				

11. Ποια επιπλέον μέτρα λαμβάνονται κατά τη σκυροδέτηση για δομικά μέλη με υποστηρίξεις;

11.1 Οι έλεγχοι της επί τόπου αντοχής μπορούν να γίνουν και με επί τόπου δοκιμές που αφορούν και το συμβατικό σκυρόδεμα (δοκιμή εξολκέα, δοκιμή υπερήχων, κρουσίμετρο).

11.2 Επί πλέον, για τη συγκεκριμένη περίπτωση ελέγχου του σκυροδέματος σε κρύο καιρό, μπορεί να αποτιμηθεί και η ωρίμανση του σκυροδέματος (ASTM C918/ C918M, C1074), Βασισμένη σε προτέρα αποτίμηση της σχέσης αντοχής και ωρίμανσης (το γινόμενο χρόνου επί θερμοκρασία) της συγκεκριμένης σύνθεσης. Σύμφωνα με το ACI 306, εφόσον κατά τη διάρκεια προστασίας προκύψει απόκλιση από την απαιτούμενη θερμοκρασία του σκυροδέματος θα πρέπει να γίνεται διόρθωση του στοχευόμενου βαθμού ωρίμανσης (θερμοκρασία επί χρόνος), προσθέτοντας το διπλάσιο του γινομένου της απόκλισης σε θερμοκρασία επί τον χρόνο που αυτή παρατηρήθηκε (σε βαθμούς-ώρες).

11.3 Οι υποστηρίξεις παραμένουν όσο απαιτείται βάσει υπολογισμών και επιτόπιων ελέγχων - ώστε να μεταφέρουν τα φορτία κατασκευής στους υποκειμένους ορόφους (αυτό ισχύει και για τους υποκειμένους ορόφους, οι οποίοι επίσης υπόκεινται στην ίδια πιθανή επιβράδυνση ωρίμανσης).

11.4 Η επιπέδωση οριζόντιων μελών θα πρέπει να γίνεται μετά από την απομάκρυνση της ποσότητας νερού εξίδρωσης που πιθανώς έχει συγκεντρωθεί στην επιφάνειά τους (κατά τρόπο που να αποτρέπει την ανάμιξη του νωπού σκυροδέματος με το νερό εξίδρωσης).

12. Ποια μέτρα λαμβάνονται μετά τη σκυροδέτηση κατά την περίοδο θερμικής προστασίας;

12.1 Ενσωμάτωση θερμομονωτικών υλικών στα καλούπια για καλουπωμένες επιφάνειες σκυροδέματος. Τα υλικά αυτά είναι η διογκωμένη ή εξηλασμένη πολυστερίνη (κοινώς φελιζόλ, μονωτική πλάκα άσπρου χρώματος), η εξηλασμένη πολυστερόλη (μονωτικό υλικό που χρησιμοποιείται σε τοιχοποιίες, ταράτσες, στέγες (σε μορφή πλάκας γαλάζιου χρώματος), ενώ σε πολλές χώρες χρησιμοποιείται ο εκτοξευόμενος αφρός πολυουρεθάνης, ο οποίος όμως δέον όπως αποφεύγεται, καθώς και η τελική επιφάνεια του καλουπιού θα είναι ανώμαλη - σε αντίθεση με τη χρήση πολυστερίνης και πολυστερόλης σε πλάκες - αλλά κυριότερα λόγω έκλισης τοξικών αερίων κατά τη διάρκεια της εκτόξευσής της. Η διαφοροποίηση των παραπάνω υλικών αναφορικά με τη θερμομονωτική τους ικανότητα, γίνεται μέσω του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ καθώς και του πάχους εφαρμογής του κάθε υλικού.

12.2 Χρήση ηλεκτρικών αντιστάσεων μέσα στη μάζα του σκυροδέματος, με ελεγχόμενη θερμοκρασία. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως σε χώρες της Β. Αμερικής.

12.3 Για μη καλουπωμένες επιφάνειες σκυροδέματος σε ανοιχτούς χώρους (π.χ. πλάκες), μπορούν να χρησιμοποιηθούν θερμομονωτικές ή ηλεκτρικές κουβέρτες. Οι θερμομονωτικές κουβέρτες, αποτελούνται από εύκαμπτα μονωτικά υλικά, όπως ο υαλοβάμβακας ή ο πετροβάμβακας, τα οποία όμως θα πρέπει να φέρουν προστατευτική επίστρωση εκατέρωθεν, έτσι ώστε να μη προσβάλλονται από νερό. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν άχυρο ή πριονίδι. Όλα τα παραπάνω μέσα, θα πρέπει να επικαλύπτονται για λόγους προστασίας από φύλλο πολυαιθυλενίου (νάιλον). Τέλος, εναλλακτικά, μπορούν χρησιμοποιούνται προβολείς, με το φωτιστικό σώμα να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην επιφάνεια σκυροδέματος και να χρησιμοποιείται ικανός αριθμός, έτσι ώστε η δέσμη τους να καλύπτει όλη την επιφάνεια του σκυροδέματος.

12.4 Για μη καλουπωμένες επιφάνειες σκυροδέματος, σε κλειστούς χώρους, συνιστάται η χρήση θερμαντικών σωμάτων. Στη περίπτωση αυτή χρειάζεται ιδιαίτερη μέριμνα για τη διατήρηση της υγρασίας σε ποσοστό > 40%

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

12.5 Για ανοιχτές επιφάνειες γενικά, είναι υποχρεωτική η χρήση αντιεξατμιστικών μεμβρανών. Η διαφοροποίηση των αντιεξατμιστικών μεμβρανών, γίνεται αναφορικά με το ποσοστό διατήρησης υγρασίας στη μάζα του σκυροδέματος και από το αν απαιτείται αφαίρεσή τους ή όχι, για επακόλουθη επίστρωση πάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Οι αντιεξατμιστικές μεμβράνες, θα πρέπει να πιστοποιούνται σύμφωνα με το ASTM C 309.

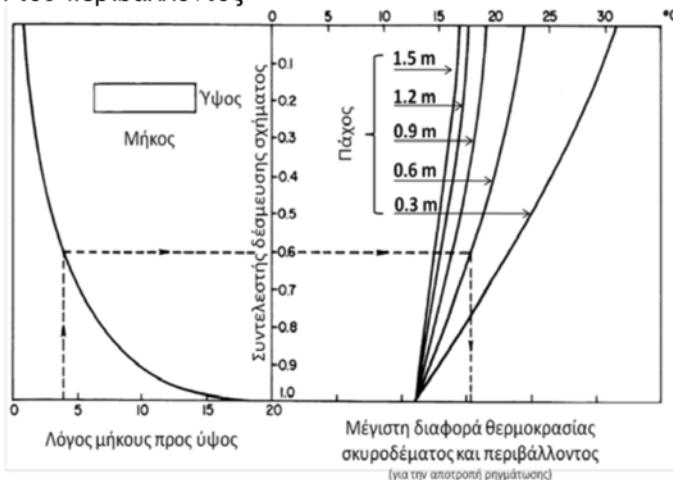
13. Ποια μέτρα λαμβάνονται μετά και τη λήξη της περιόδου θερμικής προστασίας;

13.1 Απομάκρυνση των μέτρων προστασίας όπως:

- Σταδιακή (με αργό ρυθμό) μείωση της έντασης των θερμαντικών μέσων ή/και διατήρηση των θερμομονωτικών υλικών έως την επίτευξη θερμοκρασιακής ισορροπίας μεταξύ της μάζας του σκυροδέματος και του περιβάλλοντος
- Χαλάρωση των (εκ κατασκευής) θερμομονωμένων τύπων και κάλυψη των στοιχείων με πλαστικές μεμβράνες για την καλύτερη κυκλοφορία του αέρα στα δημιουργούμενα διάκενα
- Διατήρηση της μέγιστης επιτρεπόμενης πτώσης της θερμοκρασίας του σκυροδέματος εντός του πρώτου 24ώρου από τη λήξη της περιόδου προστασίας στα εξής όρια:

Ελάχιστη διάσταση διατομής (mm)			
< 300	300-900	900-1800	> 1800
28 °C	22 °C	17 °C	11 °C

13.2 Το παρακάτω σχήμα δείχνει έναν τρόπο υπολογισμού της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του σκυροδέματος και του περιβάλλοντος



14. Πώς γίνεται η συντήρηση του σκυροδέματος σε σκυροδέτηση με κρύο καιρό;

15. Ποιες είναι οι ιδιαιτερότητες όταν απαιτούνται πρώιμες αντοχές σκυροδέματος σε σκυροδέτηση με κρύο καιρό για ειδικές ανάγκες του έργου;

15.1 Για την ανάπτυξη πρώιμων αντοχών σε ένα σκυρόδεμα, απαιτούνται να γίνουν όλα ή συνδυασμός κάποιων από τα παρακάτω:

- Χρήση τσιμέντων τύπου I ή II, 52,5 ή 42,5 ή / και R
- Αύξηση περιεκτικότητας τσιμέντου σε σχέση με τη συμβατική κατηγορία που απαιτείται
- Χρήση ζεστού νερού, ζεστού τσιμέντου ή/και ζεστών αδρανών

- Χρήση θραυστής ασβεστολιθικής άμμου, με περιεκτικότητα φίλλερ>10%
- Χρήση ισχυρών υπερρευστοποιητών ή υπερρευστοποιητών ειδικά σχεδιασμένων για ανάπτυξη πρώιμων αντοχών
- Χρήση επιταχυντικών προσμίκτων
- Υποχρεωτική χρήση αερακτικών

15.2 Στην περίπτωση που όλα τα παραπάνω ή συνδυασμός τους χρησιμοποιηθούν σε στοιχεία σκυροδέματος μεγάλου όγκου (mass concrete) τα οποία είναι άσπλα, θα πρέπει να μελετηθεί από το μηχανικό του έργου, η περίπτωση ρηγματώσεων λόγω μεγάλης διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του πυρήνα του στοιχείου και της εξωτερικής του επιφάνειας. Η ανάπτυξη θερμοκρασίας, θα προέλθει από την θερμότητα ενυδάτωσης του τσιμέντου, καθώς πρόκειται για εξώθερμη αντίδραση.

16. Πώς επιτυγχάνεται η εξασφάλιση θερμοκρασίας του σκυροδέματος κατά την ανάμιξή του σε θερμοκρασίες υψηλότερες από αυτές των θερμοκρασιών περιβάλλοντος;

16.1 Μπορεί να γίνει χρήση τσιμέντου, κατευθείαν από το εργοστάσιο τσιμέντο, με θερμοκρασίες περίπου: ~ 80° C.

16.2 Ο υπολογισμός της θερμοκρασίας του σκυροδέματος κατά την ανάμιξη T_{mix} μπορεί να γίνει από τον τύπο:

$$T_{mix} = \frac{[0,22(T_s W_s + T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w + T_s W_{ws} + T_a W_{wa}]}{[0,22(W_s + W_a + W_c) + W_w + W_{ws} + W_{wa}]}$$

όπου: T και W η θερμοκρασία (σε °C) και το βάρος (σε kg) των επιμέρους συστατικών, αντίστοιχα, με δείκτες: s για το λεπτόκοκκο κλάσμα αδρανών, a για το χονδρόκοκκο κλάσμα αδρανών, c για το τσιμέντο, w για το νερό ανάμιξης, ws & wa για το ελεύθερο νερό (υγρασία) στο λεπτόκοκκο και το χονδρόκοκκο κλάσμα αδρανών, αντίστοιχα. Αν κάποιο/a από τα κλάσματα αδρανών βρίσκεται σε θερμοκρασία < 0°C, τότε στην παραπάνω σχέση τα γινόμενα $T_s W_{ws}$ ή/και $T_a W_{wa}$ αντικαθιστώνται από τις εκφράσεις $W_{ws}(0.5T_s - 80)$ και $W_{wa}(0.5T_a - 80)$. Στην παραπάνω σχέση η ειδική θερμότητα τσιμέντου και αδρανών=0,22 kcal/kg°C και η θερμότητα τήξεως πάγου= 80 kcal/kg.

16.3 Η μέτρηση της θερμοκρασίας του σκυροδέματος γίνεται με θερμόμετρο σκυροδέματος (μεταλλικό ή ψηφιακό), μετά από βύθισή τους επί 3' (min) στη μάζα του σκυρ/τος. (ASTM C1064M) Standard Test method for temperature of freshly mixed concrete.

17. Πηγές

1. Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ-97) (ΦΕΚ/315/Β/17-4-97)/ΚΕΔΕ
2. ΕΛΟΤ 515 : «Σκυροδέτηση όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι χαμηλή»
3. ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010 : «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίων»
4. K.EN.A.K 2010: Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων
5. American Concrete Institute (ACI) 306R-10 : «Guide to cold weather concreting» www.concrete.org (Οκτ./2010)
6. NRMCA:CIP 27 - Cold weather Concreting (National Ready - Mixed Concrete Association) www.nrmca.org
7. ΕΛΟΤ ΕΝ 206-1 Σκυρόδεμα Μέρος 1: Προδιαγραφή, επιτελεστικότητα, παραγωγή και συμμόρφωση. ΕΛΟΤ 2010

ΣΠΜΕ
ΣΥΛΛΟΓΟΣ
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΛΛΑΣ