

ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Ο ρ ι σ μ ο ί

Τσιμέντο καλείται η υδραυλική κονία που παράγεται από την συνάλεση κλίνκερ, γύψου και τυχόν άλλων πρόσθετων ουσιών.

Κλίνκερ ονομάζεται το προϊόν της όπτησης, μέχρι αρχής της τήξης, μείγματος ασβεστολιθικών και αργιλοπυριτικών πετρωμάτων σε καθορισμένη αναλογία.

Σ ύ σ τ α σ η

Η σύσταση του τσιμέντου εκφράζεται είτε ως ποσοστιαία σύσταση σε οξειδία (oxide composition) είτε ως ορυκτολογική σύσταση (mineralogical composition).

Η ορυκτολογική σύσταση, που δίδει και καλύτερη εικόνα των ιδιοτήτων του τσιμέντου κυμαίνεται εντός των παρακάτω ορίων.

| | | |
|----------------------------|---------|-----------|
| Πυριτικό τριασβέστιο | C_3S | 45 - 65 % |
| Πυριτικό διασβέστιο | C_2S | 15 - 35 % |
| Αργιλικό τριασβέστιο | C_3A | 4 - 14 % |
| Σιδηραργιλικό τετρασβέστιο | C_4AF | 10 - 18 % |

Τύποι τσιμέντων

Οι προβλεπόμενοι από 1/1/2002 σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ 197-1 τύποι τσιμέντων για έργα από σκυρόδεμα είναι οι εξής:

CEM I Τσιμέντο Πόρτλαντ. Κλίνκερ + μέχρι 5% δευτερεύοντα συστατικά.

CEM II Σύνθετο τσιμέντο Πόρτλαντ. Κλίνκερ + μέχρι 35% άλλα κύρια συστατικά.

CEM III Σκωριοτσιμέντο. Κλίνκερ + υψηλά ποσοστά σκωρίων υψικαμίνου.

CEM IV Ποζολανικό τσιμέντο. Κλίνκερ + υψηλά ποσοστά ποζολάνης.

CEM V Σύνθετα τσιμέντα. Κλίνκερ + υψηλά ποσοστά σκωρίων υψικαμίνου και ποζολάνης ή ιπτάμενης τέφρας.

Παράλληλα εκτός από τον τύπο στο συμβολισμό του τσιμέντου χρησιμοποιούνται και τα εξής:

- Το ποσοστό του κλίνκερ στο τσιμέντο. **A**=80-94%, **B**=65-79%, **C**<65%.
- Το δεύτερο σε αναλογία συστατικό, όπου:

| | |
|-----------------------------------|--|
| K – Κλίνκερ | V – Πυριτική ιπτάμενη τέφρα |
| S – Σκωρία υφικαμίνου | W – Ασβεστούχος ιπτάμενη τέφρα |
| D – Πυριτική παιπάλη | L & LL – Ασβεστόλιθος |
| P – Φυσική ποζολάνη | T – Ψημένος σχιστόλιθος |
| Q – Φυσική ψημένη ποζολάνη | M – Δύο ή περισσότερα από τα παραπάνω |

- Η κατηγορία αντοχής
- Η ταχύτητα πήξης. N= κανονική, R= ταχεία.

Κατηγορίες αντοχών τσιμέντων

Από άποψης αντοχών τα τσιμέντα κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

| Κατηγορίες Αντοχών N/mm ² | | | | |
|--------------------------------------|------------------|-------------|---------------|--------|
| Κατηγορία | Αρχική αντοχή | | Τυπική αντοχή | |
| | 2 ημέρες | 7 ημέρες | 28 ημέρες | |
| 32.5N 32.5R | - ≥ 10.0 | ≥ 16.0 - | ≥ 32.5 | ≤ 52.5 |
| 42.5N 42.5R | ≥ 10.0 ≥ 20.0 | - | ≥ 42.5 | ≤ 62.5 |
| 52.5N 52.5R | ≥ 20.0 ≥ 30.0 | - | ≥ 52.5 | - |

όπου η αντοχή αυτή μετρείται μετά από 28 ημέρες, σε δοκίμια που παρασκευάστηκαν με ένα μέρος τσιμέντου, τρία μέρη πρότυπης άμμου και μισό μέρος νερού.

Δειγματοληψία

Το δείγμα που λαμβάνεται αποτελείται από 12 τουλάχιστον υποδείγματα έτσι που να είναι αντιπροσωπευτικό της όλης ποσότητας.

Στην περίπτωση χύμα τσιμέντου τα δείγματα λαμβάνονται με κατάλληλο δειγματολήπτη, ενώ στην περίπτωση τσιμέντων σε σάκους από κάθε σάκο λαμβάνεται ένα υποδείγμα.

Το τελικό δείγμα, που δεν πρέπει να είναι μικρότερο των 8 kg, τοποθετείται σε καθαρό και ξηρό δοχείο που σφραγίζεται αεροστεγώς και αποστέλλεται το ταχύτερο δυνατόν στο Εργαστήριο Ελέγχου.

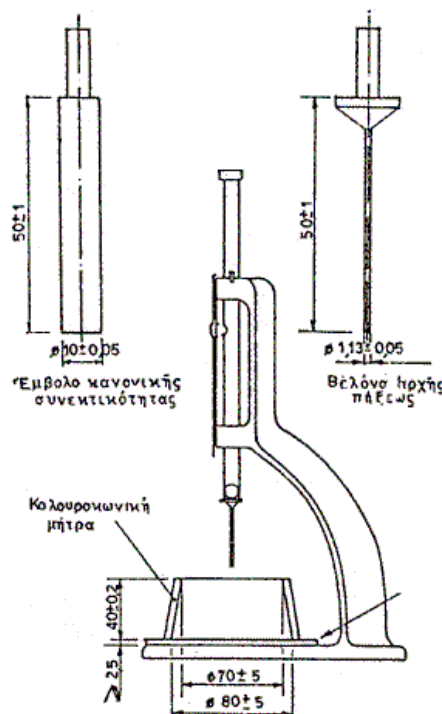
ΑΣΚΗΣΗ 7

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΡΧΙΚΗΣ ΠΗΞΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Χρόνος αρχικής πήξης είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από την ανάμειξη του τσιμέντου με το νερό μέχρι τη στιγμή που η πλαστική μάζα που σχηματίστηκε χάσει τις πλαστικές και συγκολλητικές της ιδιότητες.

Όργανα και συσκευές

- **Συσκευή Vicat.** Αποτελείται από έμβολο που μπορεί να κινείται κατακόρυφα και στο κάτω μέρος του οποίου είναι προσαρμοσμένη η βελόνα αρχικής πήξης. Το συνολικό βάρος του εμβόλου με την βελόνα είναι 300 ± 1 gr. Στο έμβολο είναι προσαρμοσμένος δείκτης που κινείται εμπρός από κατακόρυφη αριθμημένη κλίμακα. Στην κλίμακα αυτή γίνεται η απευθείας ανάγνωση της απόστασης της άκρης της βελόνας από την πλάκα στήριξης σε mm.



- **Κολουροκωνική μήτρα.** Αποτελείται από κολουροκωνικό δακτύλιο από σκληρό ελαστικό και γυάλινη πλάκα στήριξης.
- **Ζυγός.** Χρησιμοποιείται ζυγός που να δίνει ακρίβεια μεγαλύτερη του 0,5 % του βάρους που ζυγίζει.
- **Βελόνα αρχικής πήξης.** Είναι κατασκευασμένη από ανοξείδωτο χάλυβα. Έχει μήκος 50 mm και διατομή 1 mm^2 .

σχ. 7.1 Συσκευή Vicat

Τρόπος εργασίας

- ◆ Ζυγίζονται 500 gr τσιμέντου.
- ◆ Ζυγίζεται η απαιτούμενη ποσότητα νερού για την παρασκευή του κανονικού τσιμεντοπολτού. **Κανονικός τσιμεντοπολτός** είναι εκείνος ο οποίος κατά την δοκιμή συνεκτικότητας δίνει απόσταση εμβόλου και πλάκας στήριξης 6 ± 1 mm. Η δοκιμή συνεκτικότητας εκτελείται με την ίδια συσκευή με τη διαφορά όμως ότι χρησιμοποιείται έμβολο διατομής 10 mm^2 . Σκοπός δε της δοκιμής αυτής είναι η εξεύρεση της απαιτούμενης ποσότητας νερού για την παρασκευή τσιμεντοπολτού κανονικής συνεκτικότητας.
- ◆ Προστίθενται στο νερό τα 500 gr τσιμέντου με προσοχή. Ο χρόνος που τελειώνει η προσθήκη νερού χαρακτηρίζεται ως χρόνος μηδέν.
- ◆ Αναμειγνύονται με προσοχή τα υλικά μέχρι να δώσουν ομοιογενή μάζα.
- ◆ Γεμίζονται οι κολουροκωνικές μήτρες χωρίς κρούσεις ή δονήσεις και αφαιρείται τυχόν περίσσειμα με μυστρί. Η πλάκα στήριξης για να μην κολλήσει ο τσιμεντοπολτός κατά την πήξη λιπαίνεται ελαφρώς.
- ◆ Τοποθετούνται οι μήτρες στο χώρο συντήρησης. (θερμοκρασίας $20 \pm 1^\circ\text{C}$ και σχετικής υγρασίας τουλάχιστον 90 %.)

Προσδιορισμός αρχικής πήξης

- Τοποθετούμε στη συσκευή τη βελόνα αρχικής πήξης και ρυθμίζουμε το δείκτη στην ένδειξη μηδέν όταν η βελόνα ακουμπά στην πλάκα στήριξης.
- Μεταφέρουμε τη γεμισμένη μήτρα στη συσκευή και προσεκτικά κατεβάζουμε τη βελόνα έτσι που να έλθει σε επαφή με την επιφάνεια του τσιμεντοπολτού.
- Αφήνεται η βελόνα να βυθιστεί με την επίδραση του βάρους της μόνο μέσα στον τσιμεντοπολτό.
- Μετά από 30 sec διαβάζουμε στην αριθμημένη κλίμακα την απόσταση της βελόνας από την πλάκα στήριξης, καταγράφοντας ταυτόχρονα το χρόνο που παρήλθε από την παρασκευή του κανονικού τσιμεντοπολτού.
- Αφού καθαρίσουμε τη βελόνα της συσκευής επαναλαμβάνουμε τη δοκιμή σε θέσεις όμως που να απέχουν από τα τοιχώματα ή άλλα σημεία δοκιμών 1 cm.

Ο χρόνος που πέρασε από το χρόνο μηδέν της παρασκευής του τσιμεντοπολτού μέχρι τη στιγμή που η απόσταση της βελόνας από την πλάκα

στήριξης είναι 5 ± 1 mm, είναι ο χρόνος αρχικής πήξης και καταγράφεται στρογγυλεμένος στο πλησιέστερο πεντάλεπτο.

Αξιολόγηση

Σύμφωνα με το ΕΛΟΤ 197-1 οι χρόνοι αρχικής πήξης είναι αντίστοιχα αυτοί που εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα.

| Κατηγορία αντοχών | Χρόνος Αρχικής Πήξης minutes |
|----------------------|---------------------------------|
| | <i>ΕΛΟΤ EN 197-1</i> |
| 32.5N | ≥ 75 |
| 32.5R | ≥ 75 |
| 42.5N | ≥ 60 |
| 42.5R | ≥ 60 |
| 52.5N | ≥ 45 |
| 52.5R | ≥ 45 |

Με την ίδια συσκευή είναι δυνατή η μέτρηση του χρόνου τελικής πήξης αλλάζοντας τη βελόνα (σχ. 7.3)



Σχ. 7.2 Συσκευή Vicat



Σχ. 7.3 Βελόνα τελικής πήξης

ΑΣΚΗΣΗ 8

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΣΕ ΠΥΡΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Σκοπός της άσκησης είναι η διαπίστωση της κακής όπτησης ή της κακής αποθήκευσης του τσιμέντου.

Όπως είναι γνωστό το τσιμέντο είναι προϊόν όπτησης ασβεστολιθικών και αργιλικών πετρωμάτων. Αποτέλεσμα της όπτησης είναι η ασβεστοποίηση του ασβεστόλιθου και ο σχηματισμός πολυπλοκότερων ενώσεων με τα οξείδια που περιέχονται στις πρώτες ύλες. Αν για κάποιο λόγο η όπτηση δεν γίνει σωστά, κατά την πύρωση του τσιμέντου στους 925 °C, αυτό θα χάσει βάρος λόγω αποβολής CO₂.

Γνωρίζουμε παράλληλα ότι το τσιμέντο σχηματίζει με το νερό ένυδρα άλατα στα οποία οφείλεται η πήξη και σκλήρυνση του τσιμέντου. Αν λόγω κακής αποθήκευσης το τσιμέντο προσλάβει υγρασία, γεγονός που υποβαθμίζει την ποιότητα του, κατά την πύρωση του θα έχουμε απώλεια βάρους λόγω αποβολής του ελεύθερου και δεσμευμένου νερού.

όργανα και υλικά

- ηλεκτρικός φούρνος.
- χωνευτήρια Pt ή πορσελάνης με σκέπασμα.
- λαβίδα.
- ξηραντήριο.
- ζυγός ακριβείας 0.001 gr.

πορεία εργασίας.

- α) μέσα σε προζυγισμένο χωνευτήριο ζυγίζουμε με ακρίβεια 1 gr περίπου δείγματος τσιμέντου (β_α).
- β) Καλύπτουμε το χωνευτήριο με το σκέπασμά του και πυρώνουμε μέχρι σταθερού βάρους στον ηλεκτρικό φούρνο σε θερμοκρασία 925 ° ± 25 °C. Ο χρόνος αρχικής θέρμανσης είναι περίπου 15 min.
- γ) Βγάζουμε το χωνευτήριο από το φούρνο, το ψύχουμε σε ξηραντήρα μέχρι θερμοκρασία περιβάλλοντος και το ζυγίζουμε (β_τ).
- δ) Επαναλαμβάνουμε την διαδικασία β) και γ) μέχρι το βάρος του τσιμέντου παραμείνει σταθερό.

Έκφραση αποτελεσμάτων.

Η απώλεια σε πύρωση εκφράζεται ως ποσοστό βάρους του αρχικού δείγματος και δίνεται στρογγυλεμένη στο πλησιέστερο 0,1 %.

$$\text{Α.Π.} = \frac{\beta_{\alpha} - \beta_{\tau}}{\beta_{\alpha}} * 100$$

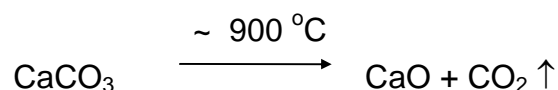
Σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ 197-1 απώλεια σε πύρωση μέχρι 5% είναι ανεκτή.

Σημείωση:

Η ίδια ακριβώς διαδικασία εκτελείται για τον προσδιορισμό της απώλειας σε πύρωση της ασβέστου.

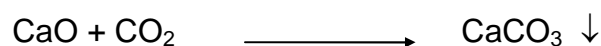
Με τον προσδιορισμό αυτό διαπιστώνουμε την κακή όπτηση ή κακή συντήρηση της ασβέστου.

Αν η όπτηση δεν γίνει σωστά, κατά την πύρωση του δείγματος θα έχουμε αποβολή διοξειδίου του άνθρακα σύμφωνα με την αντίδραση:



και συνεπώς μείωση του βάρους του δείγματος.

Παράλληλα αν λόγω κακής συντήρησης, π.χ. μακροχρόνια αποθήκευση, η άσβεστος απορροφήσει CO_2 από την ατμόσφαιρα σύμφωνα με την αντίδραση:



η πύρωση του δείγματος θα οδηγήσει σε αποβολή CO_2 και συνεπώς σε απώλεια βάρους του δείγματος.

ΑΣΚΗΣΗ 9

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ pH ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΚΑΙ ΒΑΘΟΥΣ ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Κατά την προσθήκη νερού στο τσιμέντο γίνονται οι παρακάτω αντιδράσεις ενυδάτωσης:

- $2C_3S + 6H_2O \longrightarrow C_3S_2H_3 + 3Ca(OH)_2$
- $2C_2S + 4H_2O \longrightarrow C_3S_2H_3 + Ca(OH)_2$
- $C_3A + 6H_2O \longrightarrow C_3AH_6$
- $C_4AF + 4H_2O + 2Ca(OH)_2 + 10H_2O \longrightarrow C_3AH_6 + C_3FH_6$

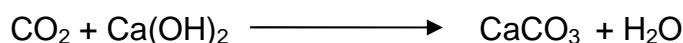
$C_3S_2H_3$: Τομπερμορίτης (ένυδρο πυριτικό ασβέστιο)

Οι παραπάνω αντιδράσεις οδηγούν στο σχηματισμό μιας σειράς προϊόντων μεταξύ των οποίων και το $Ca(OH)_2$ (υδροξειδίου του ασβεστίου). Επειδή το $Ca(OH)_2$ όμως είναι μια ισχυρή βάση το pH του ενυδατωμένου τσιμέντου είναι ισχυρά αλκαλικό (pH ≈ 12,5 - 13).

Η υψηλή αλκαλικότητα του σκυροδέματος έχει ως αποτέλεσμα την παθητικοποίηση του χάλυβα οπλισμού, δηλαδή τη δημιουργία ενός λεπτού επιφανειακού στρώματος ένυδρου οξειδίου του σιδήρου που προστατεύει τον οπλισμό από τη διάβρωση.

Το προστετικό αυτό στρώμα του χάλυβα μπορεί να καταστραφεί με δύο μηχανισμούς:

- **προσβολή από ιόντα χλωρίου.**
Όταν η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου είναι μεγαλύτερη του 0,5% το προστατευτικό αυτό στρώμα του χάλυβα μπορεί να διατηρηθεί τοπικά οδηγώντας σταδιακά στη διάβρωση του οπλισμού. Η διείσδυση των χλωριόντων στο σκυρόδεμα μπορεί να οφείλεται είτε στη χρήση αλμυρών ή υφάλμυρων νερών, στη χρήση αντιπαγωτικών αλάτων και τέλος στην άμεση επαφή των κατασκευών με θαλασσινό νερό.
- **ενανθράκωση του σκυροδέματος.**
Η ενανθράκωση του σκυροδέματος οφείλεται στην αντίδραση του CO_2 της ατμόσφαιρας με το $Ca(OH)_2$ του σκυροδέματος, σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:



Αποτέλεσμα της παραπάνω αντίδρασης είναι η μείωση του pH του σκυροδέματος κάτω του 9 και συνεπώς η καταστροφή του προστατευτικού στρώματος του χάλυβα.

Πειραματικό μέρος

α) μέτρηση pH τσιμέντου.

Ζυγίζουμε $2 \pm 0,1$ g του προς εξέταση δείγματος σε ύαλο ωρολογίου και το μεταφέρουμε σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml συμπληρώνοντας με απιονισμένο νερό μέχρι την χαραγή. Ανακινούμε την φιάλη και αφήνουμε το διάλυμα σε ηρεμία για 10 περίπου λεπτά μέχρι το τσιμέντο να καθίσει στον πυθμένα της φιάλης.

Ρυθμίζουμε το pHάμετρο με τα ρυθμιστικά διαλύματα pH7,0 και pH9,0.

Μεταφέρουμε 50 ml περίπου από το διαυγές διάλυμα της ογκομετρικής φιάλης σε ποτήρι ζέσης και μετρούμε το pH του διαλύματος μετά από 30 sec περίπου.

β) Προσδιορισμός βάθους ενανθράκωσης σκυροδέματος.

Σε φρεσκοθραυσμένη επιφάνεια σκυροδέματος ριχνουμε μερικές σταγόνες φαινολοφθαλεΐνης ώστε να διαβραχεί όλη η επιφάνεια που μας ενδιαφέρει.

Η φαινολοφθαλεΐνη είναι ένας δείκτης που σε αλκαλικό περιβάλλον ($\text{pH} > 9,0$) χρωματίζεται με έντονο κόκκινο χρώμα ενώ σε pH μικρότερο του 9,0 παραμένει άχρωμος.

Η επιφάνεια του σκυροδέματος που παραμένει άχρωμος είναι το τμήμα εκείνο του σκυροδέματος που έχει ενανθρακωθεί. Έτσι πολύ εύκολα μπορούμε να μετρήσουμε το βάθος ενανθράκωσης του σκυροδέματος.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Ποιοι τύποι τσιμέντων προβλέπονται από τους Ελληνικούς κανονισμούς;
2. Τι ονομάζουμε αρχική πήξη μιας κονιάς και ποια η πρακτική της σημασία;
3. Ποιος ο σκοπός του προσδιορισμού της απώλειας σε πύρωση του τσιμέντου;
4. Τι σημαίνουν οι ενδείξεις **CEM II / B-M 42.5N** , **CEM IV / B 32.5N** που αναγράφονται σε μια συσκευασία τσιμέντου;
5. Ποιοι είναι οι χρόνοι αρχικής πήξης των τσιμέντων σύμφωνα με το ΕΛΟΤ 197-1;
6. Τι είναι τα ποζολανικά τσιμέντα;
7. Που οφείλεται η υψηλή αλκαλικότητα του σκυροδέματος;