

ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΕΝΥΔΑΤΩΣΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΛΟΤ EN 197 – 1: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΕΠΑΝΑΛΗΨΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΘΟΔΩΝ, ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΕΝΥΔΑΤΩΣΗΣ

Δ. Χ. Τσαματσούλης¹, Χ.Α. Σταθουλοπούλου², Λ.Α.Πρελορέντζος²

1. ΧΑΛΥΨ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ Α.Ε, d.tsamatsoulis@halyps.gr

2. Τ.Ε.Ι. Αθήνας,

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην χώρα μας από το 2002 όλοι οι τύποι τσιμέντου παράγονται σύμφωνα με το εναρμονισμένο Ευρωπαϊκό Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1 (2000) [1], πράγμα το οποίο επέφερε σημαντικές διαφοροποιήσεις στις επιτρεπόμενες κατηγορίες αντοχής αλλά βασικά στην σύνθεση του τσιμέντου. Ενώ με βάση τον προηγούμενο κανονισμό που περιγραφόταν στο ΠΔ/1981 επιτρεπόταν να παράγονται 4 βασικοί τύποι τσιμέντου, σήμερα με βάση το νέο πρότυπο επιτρέπεται να παράγονται 27 τύποι με μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών εκτός του κλίνκερ και της γύψου. Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα αξιοποίησης μιας ποικιλίας α! υλών τόσο ορυκτών όσο και εναλλακτικών, οι οποίες συχνά αποτελούν παραπροϊόντα άλλων βιομηχανιών.

Αντικείμενο της έρευνας είναι η κινητική μελέτη των ρυθμών ενυδάτωσης τσιμέντων που παράγονται σύμφωνα με το πρότυπο EN 197-1. Αυτή η μελέτη καθίσταται ιδιαίτερα επίκαιρη σήμερα για την χώρα μας λόγω της μεγάλης ποικιλίας των επιτρεπόμενων τύπων τσιμέντου, αλλά και λόγω του ότι οι πρώτες ύλες προέρχονται σε συντριπτικό βαθμό από την χώρα μας. Ως ένα εργαλείο υψηλού βαθμού αξιοπιστίας για την μελέτη του ρυθμού ενυδάτωσης, μπορεί να θεωρηθεί η θερμότητα που εκλύεται κατά την αντίδραση, δηλ. η θερμότητα ενυδάτωσης. Ένας επιπλέον λόγος για την συστηματική χρήση αυτής της μεθόδου είναι ότι ενώ για τα παραδοσιακά τσιμέντα CEM I – τα οποία πολύ εύκολα μπορούν να παρασκευαστούν εργαστηριακά - ή για τις ορυκτολογικές φάσεις, υπάρχει μια πλούσια βιβλιογραφία, δεν παρατηρείται μια το ίδιο συστηματική διερεύνηση για τα τσιμέντα που προέρχονται από συνάλεση αρκετών συστατικών, όπως αυτά που επιτρέπεται πλέον να παράγονται σύμφωνα με το EN 197-1. Πολύ περισσότερο δεν υπάρχουν πολλές δημοσιευμένες μελέτες για τσιμέντα που ανήκουν στους παραπάνω τύπους και παραχθήκαν σε βιομηχανική κλίμακα.

Υπάρχει μια διαρκής ερευνητική προσπάθεια στην διεθνή βιβλιογραφία σχετική με την θερμότητα ενυδάτωσης του τσιμέντου ή πιο συχνά του κλίνκερ εξετάζοντας την διεργασία και σε πειραματικό και σε θεωρητικό επίπεδο. Παράλληλα διάφορα μαθηματικά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί. Ο Bogue (1955) [2] σε μία ιστορική μελέτη που εκδόθηκε για πρώτη φορά το 1947, όπου και καθιέρωσε τους μαθηματικούς τύπους υπολογισμού των ορυκτολογικών φάσεων του κλίνκερ για ταχύτατη ψύξη του, συγκέντρωσε τιμές θερμότητας ενυδάτωσης των καθαρών ορυκτολογικών φάσεων – C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF - , από την βιβλιογραφία και από δικές του πειραματικές μελέτες. Δίνει επίσης ένα διάγραμμα συσχέτισης της εκλυόμενης θερμότητας ενυδάτωσης με το ποσοστό των C_3S , C_3A , μετά από ένα χρόνο σκλήρυνσης. Ο Lee (1971) [3] σε έργο του, κάνει εκτεταμένη αναφορά στην θερμότητα ενυδάτωσης των φάσεων του τσιμέντου πόρτλαντ, όσο και των ποζολανικών τσιμέντων καθώς και των σκωριοτσιμέντων. Ο Papadakis (1999) [4] μελέτησε την επίδραση ιπταμένων τεφρών σε σύστημα τσιμέντου Πόρτλαντ, παρουσιάζοντας παράλληλα αποτελέσματα της εκλυόμενης θερμότητας. Οι Escalante et al. (2001) [5] και Xinghua et al. (2001) [6] μελέτησαν τα προϊόντα ενυδάτωσης τσιμέντων στα οποία έχουν προστεθεί υψηλά ποσοστά σκωρίας υψικαμίνων και ιπτάμενης τέφρας αντίστοιχα.

2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Όλα τα δείγματα τσιμέντου, μεγάλης ποικιλίας συνθέσεων και αντίστοιχων τύπων, τα οποία ελέγχθηκαν λήφθηκαν από βιομηχανική παραγωγή, είτε στην εξαγωγή των σιλό, από τα οποία το τσιμέντο φορτώνεται, είτε από σημεία των κλειστών κυκλωμάτων άλεσης. Τα σημεία αυτά ήταν είτε στο ρεύμα του τελικού προϊόντος το οποίο οδεύει προς το σιλό αποθήκευσης, είτε σε ενδιάμεσα σημεία του κυκλώματος άλεσης. Με τον τρόπο αυτό επιτεύχθηκε η λήψη δειγμάτων τσιμέντων βιομηχανικά παραγμένων- όχι απαραίτητα τελικών προϊόντων - τα οποία διέθεταν μεγάλο εύρος λεπτότητας.

Μεταβλητές εισόδου του σχεδιασμού αποτελούν η σύνθεση - όσον αφορά το περιεχόμενο κλίνκερ και τα άλλα κύρια συστατικά - καθώς και η λεπτότητα του τσιμέντου. Ως μέτρο της λεπτότητας θεωρήθηκε το υπόλειμμα του τσιμέντου μετά από κοσκίνηση σε κόσκινο ανοίγματος οπής 40 μ, %R40. Βέβαια στα δείγματα έγινε πλήρης κοκκομετρία και μέτρηση της ειδικής επιφάνειας - Blaine - ώστε να γίνει σύγκριση των αντίστοιχων κατανομών. Ως βασικό κριτήριο λεπτότητας δεν θεωρήθηκε η ειδική επιφάνεια, όπως παραδοσιακά θεωρείται, για τον λόγο ότι για σύνθετα τσιμέντα που περιέχουν συστατικά διαφορετικής αλεστικότητας, δεν οδηγεί πάντα σε ασφαλή συμπεράσματα. Στον πίνακα 1 δίνεται η περιοχή μεταβολής των παραπάνω παραμέτρων η οποία μελετήθηκε στην παρούσα εργασία.

Μεταβλητή	Ελάχιστη τιμή %	Μέγιστη τιμή %
Κλίνκερ	56	95
Ειδ. Επιφάνεια, Blaine, cm ² /gr	750	5500
Λεπτότητα , %R40	0	73

Πίνακας 1. Περιοχή μεταβολής παραμέτρων

Από τον πίνακα 1 παρατηρείται ότι σχεδιάστηκε μια ιδιαίτερα ευρεία περιοχή όσον αφορά την σύνθεση του τσιμέντου που πρακτικά καλύπτει όλους τους τύπους τσιμέντου που παράγονται στην χώρα μας. Όσον αφορά την λεπτότητα , η μεγάλη πλειοψηφία των δειγμάτων ήταν τελικά βιομηχανικά προϊόντα. Λήφθηκαν ωστόσο και δείγματα ακραίας λεπτότητας ενδιάμεσων προϊόντων, όπως αναφέρθηκε προηγουμένα, ώστε το εύρος λεπτότητας να είναι το μέγιστο δυνατό και οι εξαγόμενες μαθηματικές εκφράσεις να αποκτήσουν το πλατύτερο δυνατό πεδίο εφαρμογής.

Όσον αφορά την σύνθεση τα υπόλοιπα συστατικά εκτός κλίνκερ, και γύψου, μπορούν να είναι αυτά τα οποία προδιαγράφονται από το πρότυπο EN 197-1. Στην παρούσα μελέτη αναλύθηκαν πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται ευρέως στην Ελλάδα: Ποζολάνη, ασβεστόλιθος και ιπτάμενη τέφρα. Η περιοχή μεταβολής που σχεδιάστηκε καλύπτει τους τύπους τσιμέντου CEM I, CEM II A, CEM II B, CEM IV A, CEM IV B. δηλ. όλους τους τύπους των τσιμέντων που παράγονται στην Ελλάδα από Ελληνικές α! ύλες. Καλύπτει επίσης ανάλογα με την συγκεκριμένη σύνθεση όλες τις προδιαγραφόμενες κατηγορίες αντοχής, 32.5, 42.5, 52.5.

Μέρος του σχεδιασμού αποτελεί και η απόφαση σχετική με τα πρότυπα που θα χρησιμοποιηθούν για την διεξαγωγή των πειραματικών μετρήσεων. Ακολουθήθηκαν τα παρακάτω πρότυπα: ΕΛΟΤ EN 196-2 (2000) [7], ΕΛΟΤ EN 196-3 (2000) [8], pr EN 196-8 (1997) [9]. Παρατηρείται ότι ακολουθήθηκαν καθαρά Ευρωπαϊκά πρότυπα δοκιμών, εφόσον τα τσιμέντα που ελέγχθηκαν είναι παραγόμενα σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 197-1.

3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ

Οι δοκιμές διεξήχθησαν με πέντε τύπους τσιμέντου διαφορετικής σύνθεσης, και λεπτότητας και επακόλουθα διαφορετικής κατηγορίας αντοχής τους παρακάτω: CEM I 52.5 N, CEM II A-L 42.5 R, CEM II B-M (P-L) 32.5 N, CEM II B-P 32.5 N, CEM IV B (P-W) 32.5 N.

Όλα τα εξεταζόμενα δείγματα ήταν βιομηχανικά παραγμένα. Ειδικά για τα τσιμέντα Πόρτλαντ CEM II μελετήθηκαν άνω του ενός δείγματα ώστε να ληφθούν επιθυμητά διαφορετικές συνθέσεις και κοκκομετρίες εντός του ίδιου τύπου τσιμέντου, εφόσον όπως είναι απολύτως αναμενόμενο δεν υπάρχει βιομηχανικό προϊόν με μηδέν τυπική απόκλιση στα χαρακτηριστικά του. Λόγω των διαφορετικών τύπων τσιμέντου καλύπτεται μια ευρεία περιοχή περιεκτικότητας σε κλίνκερ από 56% έως και 95% -όπως σχεδιάστηκε.

4. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΕΝΥΔΑΤΩΣΗΣ

Για την βαθμονόμηση της συσκευής ακολουθήθηκε το πρότυπο prEN 196-8 με χρήση ZnO. Αρχικά βαθμονομήθηκε το θερμοόμετρο Beckman σύμφωνα με την διαδικασία που περιγράφεται στο αναφερθέν πρότυπο και στο εγχειρίδιο της συσκευής. Η θερμοκρασία 0 του θερμομέτρου αντιστοιχεί σε 24.7 °C. Η μάζα των οξέων HNO₃, HF που τέθηκε στο δοχείο Dewar ήταν 380 gr και αυτή η μάζα σχεδιάστηκε να εισάγεται σε όλα τα πειράματα. Ο λόγος μαζών οξέων προς ZnO δίνεται από τη σχέση (1):

$$\frac{Mass_of_Acid_Mixture}{Mass_of_Zinc_Oxide} = 60 \pm 1 \quad (1)$$

Με βάση τη σχέση αυτή, υπολογίστηκε $m_{ZnO}=6.3$ gr. Μετρήθηκαν οι θερμοκρασίες πριν, κατά και μετά την εισαγωγή του οξειδίου στο δοχείο σε διαστήματα 15 min. Η διορθωμένη άνοδος θερμοκρασίας σε °C, δίνεται από τη σχέση (4.2):

$$\Delta T_c = (T_{30_Aver} - T_0) - 2(T_{45_Aver} - T_{30_Aver}) \quad (2)$$

Ο συντελεστής θερμικών απωλειών K, (°C/15 min °C⁻¹) δίνεται από τη σχέση (3):

$$K = \frac{(T_0 - T_{15_Aver}) - (T_{45_Aver} - T_{30_Aver})}{(T_{30_Aver} - T_0)} \quad (3)$$

Η θερμοχωρητικότητα της συσκευής C, (J/°C) δίνεται από τη σχέση:

$$C = \frac{P}{\Delta T_c} [1077.43 + 0.364(30 - T_f) + 0.50(T - T_f)] \quad (4)$$

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εκτέλεση διαδοχικών βαθμονομήσεων σε διαφορετικές ημέρες, χωρίς σημαντική αλλαγή στις συνθήκες του δοχείου Dewar, ώστε να μελετηθεί παράλληλα η αναπαραγωγιμότητα s_R της βαθμονόμησης - η οποία δεν αναφέρεται στο πρότυπο. Παράλληλα υπολογίστηκε ο συντελεστής μεταβλητότητας κάθε μεταβλητής, %CV. Κατά την διάρκεια των δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν δύο δοχεία Dewar. Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 2. Το Dewar 1 το οποίο δίνει πιο μεγάλους συντελεστές μεταβλητότητας διότι χρησιμοποιήθηκε σε πιο εκτεταμένη χρονική περίοδο, εμφανίζει για την πιο σημαντική παράμετρο που είναι η θερμοχωρητικότητα C, %CV = 1.5 %, τιμή που οπωσδήποτε είναι επαρκής.

Μεταβλητή	Dewar No 1			Dewar No 2		
	Μέση τιμή	s_R	%CV	Μέση τιμή	s_R	%CV
ΔT_c °C	3.93	0.063	1.6	4.03	0.007	0.18
K, (°C/15 min °C ⁻¹)	0.0774	0.0142	18.4	0.057	0.0033	5.8

C, J/°C	1724.5	25.3	1.5	1678.5	3.0	0.18
---------	--------	------	-----	--------	-----	------

Πίνακας 2

5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΑΝΑΛΗΨΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΠΥΡΩΣΗΣ

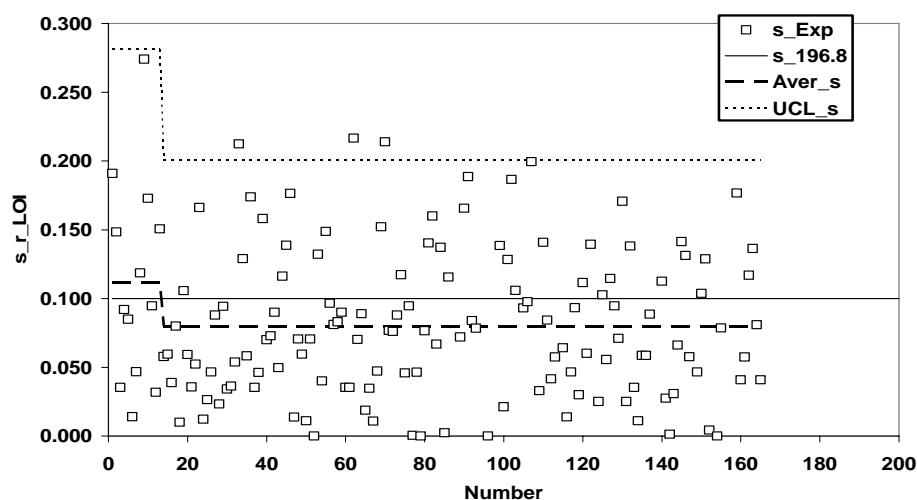
Η απώλεια πύρωσης ή ποσοστού αλλαγής μάζας κατά την πύρωση – όπως αναφέρεται στο πρότυπο prEN 196-8 - επιδρά σημαντικά στην τιμή της θερμότητας διάλυσης του ενυδατωμένου προϊόντος άρα και στην υπολογιζόμενη θερμότητα διάλυσης. Για τον λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμο να γίνει μελέτη επαναληψιμότητας της δοκιμής, η οποία διεξάγεται για κάθε υπό μελέτη προϊόν σε δύο δείγματα. Στο prEN 196-8 δίνεται αναμενόμενη τιμή επαναληψιμότητας 0.1%. Για να γίνει εκτίμηση της επαναληψιμότητας στην περίπτωση των ενυδατωμένων προϊόντων ακολουθείται το πρότυπο στατιστικής ISO 5725-2:1994 (1995) [10] για τον υπολογισμό της μέσης επαναληψιμότητας. Επιπλέον εφαρμόζονται αναπτύσσονται χάρτες Sewhart για την τυπική απόκλιση σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8258:1991 (1995) [11]. Επίσης παραπλήσια ανάλυση έχει γίνει για την μελέτη αναπαραγωγιμότητας της απώλειας πύρωσης σε διεργαστηριακούς ελέγχους τσιμέντου από τον Τσαματσούλη (2003)[12].

Με την μεθοδολογία αυτή επιτυγχάνονται τα εξής:

- Καθίσταται άμεσα ορατό το μέσο επίπεδο επαναληψιμότητας και δυνατή η σύγκρισή του με το αναφερόμενο από τα πρότυπα
- Επιτελείται συνεχής αξιολόγηση της ποιότητας της μέτρησης, ώστε να λαμβάνονται προληπτικές ή διορθωτικές ενέργειες αν απαιτούνται

Στο σχήμα 1 δίνονται οι τυπικές αποκλίσεις – για δύο επαναλήψεις – 165 συνεχών μετρήσεων. Παρατηρείται ότι μετά μία αρχική περίοδο 13 δοκιμών όπου μέση επαναληψιμότητα είναι αυξημένη και αντιστοιχεί στην περίοδο που απαιτήθηκε για να εξοικειωθούν οι χειριστές με την μέθοδο, για την υπόλοιπη περίοδο η μέση επαναληψιμότητα $s_{rAver} = 0.080$, μικρότερη από την μέγιστη επαναληψιμότητα που δίνεται στο πρότυπο. Για αριθμό δοκιμών ίσο με 2 μπορεί να υπολογιστεί το άνω όριο ελέγχου UCL_{s_r} για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% με βάση την εξίσωση (5).

$$UCL_{s_r} = s_{rAver} \left(1 + 2 \frac{\sqrt{1 - c_4^2}}{c_4} \right) \quad (5)$$



Σχήμα 1. Χάρτης ελέγχου επαναληψιμότητας απώλειας πύρωσης

Συμπερασματικά, μία μέθοδος το αποτέλεσμα της οποίας επηρεάζει σημαντικά την υπολογιζόμενη τιμή της θερμότητας ενυδάτωσης, βρίσκεται υπό έλεγχο .

6. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΠΥΡΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΕΝΥΔΑΤΩΣΗΣ

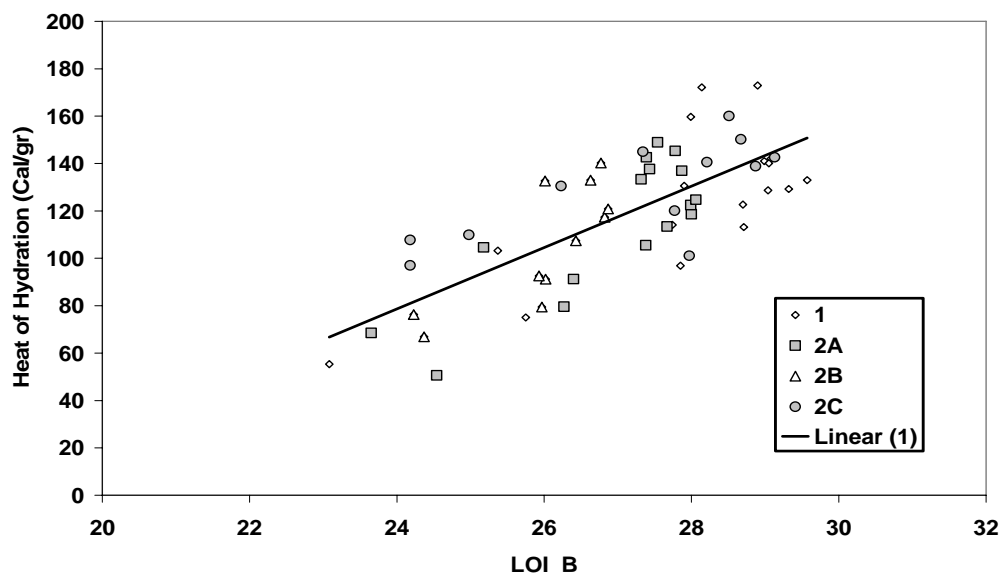
Ως αποτέλεσμα της ενυδάτωσης του τσιμέντου, αναμένεται να αυξάνει το δεσμευμένο νερό. Επομένως αναμένεται να αυξάνει η απώλεια πύρωσης του τσιμέντου. Για το λόγο αυτό θα μελετηθεί εάν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ θερμότητας ενυδάτωσης, H , και απώλειας πύρωσης. Για να μελετηθεί αποκλειστικά η απώλεια πύρωσης που προέρχεται από το συνδεδεμένο νερό θεωρείται η μεταβλητή LOI_b :

$$LOI_b = LOI_{Hydr} - LOI_{Cem} \quad (6)$$

Στο σχήμα 2 δίνονται όλα τα πειραματικά σημεία θερμότητας ενυδάτωσης και της απώλειας LOI_b , για τα τσιμέντα 1 (CEM I 52.5 N), 2^A, 2^B, 2^C (CEM II A-L 42.5 R) Τα τσιμέντα αυτά αποτελούν τελικά προϊόντα της άλεσης και δεν περιέχουν στην σύνθεσή τους ποζολανικά υλικά. Από το σχήμα αυτό προκύπτει πως τα αποτελέσματα των τεσσάρων τσιμέντων 1, 2^A, 2^B μπορούν να περιγραφούν από μια κοινή συσχέτιση η οποία δίνεται από την εξίσωση (7).

$$H = 13.0 LOI_b - 232.2 \quad R = 0.75 \quad (7)$$

Εάν η συσχέτιση (7) θεωρηθεί απλή τεχνική συσχέτιση τότε προκύπτει πως κάθε 1% αύξηση του συνδεδεμένου νερού προκαλεί αύξηση της θερμότητα ενυδάτωσης κατά 13 cal/gr.



Σχήμα 2. Συσχέτιση κλάσματος συνδεδεμένου νερού με την θερμότητα ενυδάτωσης για τσιμέντα πόρτλαντ χωρίς ποζολάνη.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία έγινε περιγραφή του σχεδιασμού που ακολουθήθηκε όσον αφορά το εύρος των μεταβλητών και την επιλογή των τύπων τσιμέντου που πρόκειται να αναλυθούν ως προς την θερμότητα ενυδάτωσης.

Μελετήθηκε η αναπαραγωγιμότητα της μέτρησης της θερμότητα διάλυσης κατά την βαθμονόμηση των θερμιδομέτρων σύμφωνα με το πρότυπο pr EN 196-8, καθώς και η επαναληψιμότητα της μέτρησης της απώλειας πύρωσης σύμφωνα με το ίδιο πρότυπο. Τα αποτελέσματα εκτιμήθηκαν ως επαρκή.

Επιχειρήθηκε συσχέτιση μεταξύ της θερμότητας ενυδάτωσης και της απώλειας πύρωσης που οφείλεται στο συνδεδεμένο νερό για τσιμέντα που δεν περιέχουν ποζολανικά υλικά και συμπεραίνεται πως σε περίπτωση τέτοιων προϊόντων τσιμέντου 1% αύξηση του συνδεδεμένου νερού προκαλεί αύξηση της θερμότητα ενυδάτωσης κατά 13 cal/gr.

8. ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

Λατινικά σύμβολα

C:	Θερμοχωρητικότητα συσκευής, J/°C
%CV:	Συντελεστής μεταβλητότητας, %
C ₄ :	Συντελεστής εξαρτώμενος από τον αριθμό των επαναλήψεων
H:	Θερμότητα ενυδάτωσης, cal/gr
K:	Συντελεστής θερμικών απωλειών, °C/15 min °C ⁻¹
LOI:	Απώλεια πύρωσης, %
LOI _b :	Κλάσμα συνδεδεμένου νερού, %
LOI _{Cement} , LOI _{Cem} :	Απώλεια πύρωσης τσιμέντου, %
LOI _{Hydr} :	ενυδατωμένου προϊόντος, %
Mass_of_Acid_Mixture:	Μάζα των οξέων HNO ₃ , HF, gr
Mass_of_Zinc_Oxide:	Μάζα οξειδίου του Ψευδαργύρου, gr
P:	Μάζα, gr
R:	Συντελεστής συσχέτισης
S _r , S _{rAver} :	Επαναληψιμότητα και μέση επαναληψιμότητα μέτρησης
T:	Θερμοκρασία, °C
T ₀ :	Θερμοκρασία κατά την έναρξη της δοκιμής, °C
T _f :	Θερμοκρασία κατά το τέλος της περιόδου διάλυσης του δείγματος, °C
T _{-15_Aver} :	Θερμοκρασία 15 min πριν την έναρξη της δοκιμής, °C
T _{30_Aver} :	Θερμοκρασία 30 min μετά την έναρξη της δοκιμής, °C
T _{45_Aver} :	Θερμοκρασία 45 min μετά την έναρξη της δοκιμής, °C
UCL _{Sr} :	Ανω όριο ελέγχου επαναληψιμότητας

Ελληνικά σύμβολα

ΔT_c: Διορθωμένη άνοδος θερμοκρασίας, °C

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΕΛΟΤ EN 197-1 (2000). *Τσιμέντο – Μέρος 1: Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για τα κοινά τσιμέντα*. ΕΛΟΤ, Αθήνα.
2. Bogue, R.H (1955). *The Chemistry of the Portland Cement*. Reinold Publishing Corporation. Second Edition, London, 591-606
3. Lee, F.M.(1971). *The Chemistry of Cement and Concrete*. Chemical Publishing Company, Third Edition, New York, 291, 292, 295.
4. Papadakis, V.G. (1999) Effect of fly ash on Portland cement systems Part I. Low –calcium fly ash. *Cement and Concrete Research*, **29**, 1727-1736.
5. Escalante, J.J., Gomez, L.Y., Johal, K.K., Mendoza, G., Mancha, H., Mendez, J.(2001). Reactivity of blast-furnace slag in Portland cement blended hydrated under different conditions. *Cement and Concrete Research*, **31**, 1403-1409.
6. Xinghua F., et al. (2001). Studies of blended cement with a large amount of fly ash. *Cement and Concrete Research*, **31**, 1403-1409.
7. ΕΛΟΤ EN 196-2 (2000). *Μέθοδοι δοκιμών τσιμέντου – Μέρος 2 : Χημική Ανάλυση Τσιμέντου*. ΕΛΟΤ, Αθήνα.
8. ΕΛΟΤ EN 196-3 (2000) *Μέθοδοι δοκιμών τσιμέντου – Μέρος 3 : Προσδιορισμός χρόνου πήξης και σταθερότητας όγκου*. ΕΛΟΤ, Αθήνα
9. prEN 196-8 (1997). *Methods of testing cement – part 8: Determination of heat of hydration – Solution method*. CEN.

10. ISO 5725-2:1994 (1995). Accuracy (Trueness and precision) of measurement methods and results – part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method. *ISO Standards Handbook, Fourth Edition*, Geneva, **2**, 33-74
11. ISO 8258:1991 (1995), Sewhart control charts. *ISO Standards Handbook*. Fourth Edition, **2**, 355-383.
12. Τσαματσούλης Δ.Χ. (2003) Σύστημα διεργαστηριακών ελέγχων αξιοπιστίας Εργαστηρίων τσιμέντου. *14ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Κώς, Τόμος Β!*, 271-278.