

**Επίδραση των συνθηκών συντήρησης κύβων
σκυροδέματος κατά την 1^η ημέρα ωρίμανσης, στην
ανάπτυξη των αντοχών τους**
Effect of concrete specimens curing conditions during the 1st
day aging, on their strength development

Κίμωνας ΕΥΑΓΟΡΟΥ¹, Μαριάννα ΚΟΥΡΟΥΖΙΔΟΥ¹

Λέξεις κλειδιά: Σκυρόδεμα, τσιμέντο, συνθήκες συντήρησης, αντοχές θλίψης
Keywords: Concrete, cement, curing conditions, compressive strengths

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η εφαρμογή των προβλεπόμενων συνθηκών συντήρησης είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ορθή αξιολόγηση της ποιότητας του σκυροδέματος κατά την παράδοσή του. Στο εργοτάξιο, υπό θερμές καιρικές συνθήκες και συνεπώς υψηλές θερμοκρασίες είναι πιθανό να προκληθεί υπερβολική απώλεια υγρασίας, με αποτέλεσμα την εύρεση λανθασμένων αποτελεσμάτων, τα οποία δεν αντικατοπτρίζουν την πραγματική ποιότητα του σκυροδέματος. Στην ερευνητική αυτή εργασία εξετάστηκε η επίδραση διαφορετικών συνθηκών συντήρησης σε δοκίμια σκυροδέματος κατά την 1^η ημέρα ωρίμανσης, στην ανάπτυξη των αντοχών τους. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η συντήρηση δοκιμίων σκυροδέματος σε συνθήκες που αποκλείουν από τις προβλεπόμενες, έχουν ως συνέπεια την αύξηση της θλιπτικής αντοχής 2 ημερών και μείωσή της στις 28 ημέρες. Στην περίπτωση όπου δεν είναι δυνατή η συντήρηση των δοκιμίων σε κατάλληλες συνθήκες, η συντήρησή τους υπό σκιά με την παράλληλη κάλυψή τους με βρεγμένη λινάτσα, φαίνεται να αποτελεί την καλύτερη επιλογή για τη μείωση της επίπτωσης της «κακής» συντήρησης στη θλιπτική αντοχή, σε σχέση με τις άλλες περιπτώσεις που εξετάστηκαν.

ABSTRACT: For the correct assessment of the concrete's quality during its delivery, the implementation of the appropriate according to the standards curing conditions, is necessary. On site, because of the hot weather conditions and therefore high temperatures, excessive moisture loss is likely to result, leading to incorrect data that do not reflect the real quality of the concrete. This research has examined the effect of the different curing conditions during the first 24h of concrete cubes' aging, on their compressive strength development. The results showed that when the applied curing condition is diverged from the standard's one, the compressive strength is higher at 2 days but lower at 28 days. In the case where it is not possible to apply the appropriate curing conditions, the best choice to reduce

¹ Διευθυντής Διασφάλισης Ποιότητας και Έρευνας&Ανάπτυξης, Τσιμεντοποιία Βασιλικού Λτδ, Κύπρος, email: k.evagorou@vassiliko.com

² Αναπληρώτρια Διευθύντρια Διασφάλισης Ποιότητας και Έρευνας&Ανάπτυξης, Τσιμεντοποιία Βασιλικού Λτδ, Κύπρος, email: m.kourouzidou@vassiliko.com

the effect of the "poor" curing on the concrete's compressive strength, is to keep the cubes under shade while covering them with a damp cloth.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι ευρέως γνωστό, ότι οι συνθήκες συντήρησης των δοκιμίων σκυροδέματος και ειδικά κατά την πρώτη μέρα μετά την κατασκευή τους, παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των αντοχών τους. Η διαδικασία αυτή εξυπηρετεί δύο σημαντικούς σκοπούς: αποτρέπει ή αναπληρώνει την απώλεια υγρασίας από τα δοκίμια σκυροδέματος και διατηρεί ευνοϊκή θερμοκρασία για να λάβει χώρα η ομαλή ανάπτυξη των αντοχών. Η απώλεια υγρασίας από το νωπό σκυρόδεμα μπορεί να προκαλέσει αναστολή της ενυδάτωσης ή/και συστολή, συνοδευόμενη ενδεχομένως από ρηγμάτωση. Επίσης, οι επιδράσεις της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές βλάβες στο σκυρόδεμα λόγω ασύμβατων παραμορφώσεων μεταξύ των εξωτερικών και εσωτερικών στρωμάτων του σκυροδέματος. Η αναστολή (μερική ή ολική) της ενυδάτωσης έχει ως συνέπεια την αύξηση του πορώδους του σκυροδέματος, γεγονός που ελαττώνει σημαντικά την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος και την προστασία του από τη διάβρωση που προσφέρει στον οπλισμό, μειώνεται η αντοχή του και η αντίσταση σε απότριψη και αυξάνεται η διαπερατότητά του σε υγρά και στερεά. Έτσι λοιπόν, ο κατάλληλος τρόπος συντήρησης είναι αναγκαίος για την παραγωγή ισχυρού και ανθεκτικού σκυροδέματος (Klieger, 1956). Η ορθή συντήρηση είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη συνέχιση της διεργασίας της ενυδάτωσης και την ομαλή ανάπτυξη της αντοχής του σκυροδέματος. Αν διακοπεί η συντήρηση, τότε το σκυρόδεμα ξηραίνεται και διακόπτεται η ανάπτυξη της αντοχής του (Murdoch et al, 1991). Ο Price (1951) έδειξε ότι η αντοχή θλίψης 28 ημερών, σκυροδέματος το οποίο βρισκόταν συνέχεια σε περιβάλλον με σταθερή υγρασία, ήταν κατά 20 % υψηλότερη σε σύγκριση με σκυρόδεμα το οποίο δεν είχε συντηρηθεί κατάλληλα.

Οι κατάλληλες συνθήκες υγρασίας του σκυροδέματος εξασφαλίζονται με μεθόδους που δεν επιτρέπουν ή επιβραδύνουν την εξάτμιση του νερού και με μεθόδους που διατηρούν την περιεκτικότητά του σε νερό. Για επιβράδυνση και συγκράτηση της υγρασίας χρησιμοποιούνται αδιάβροχα φύλλα (πλαστικά, σκληρυμένο χαρτί), ή ειδικά χημικά υγρά που τοποθετούνται ή ψεκάζονται στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Τα πλαστικά και αδιάβροχα φύλλα διαστρώνονται στην επιφάνεια του σκυροδέματος, έτσι ώστε να βρίσκονται σε πλήρη επαφή με το σκυρόδεμα και να μην αφήνουν ακάλυπτο κανένα σημείο. Τα ειδικά υγρά ψεκάζονται στην επιφάνεια του σκυροδέματος, περίπου μία ώρα μετά την σκυροδέτηση και όταν στεγνώσουν σχηματίζουν στεγανή μεμβράνη που επιβραδύνει την απώλεια υγρασίας από το σκυρόδεμα. Σε επιφάνειες οι οποίες δέχονται ηλιακή ακτινοβολία πρέπει να ψεκάζεται υγρό συντήρησης με ανακλαστικές ιδιότητες για την ελαχιστοποίηση της αύξησης της θερμοκρασίας λόγω ακτινοβολίας. Κατάλληλες συνθήκες υγρασίας επιτυγχάνονται με συνεχή ή διακεκομμένη αλλά συχνή διαβροχή της επιφάνειας του σκυροδέματος με νερό, με πλημμύρισμα, με ατμό ή με επικάλυψη της επιφάνειας με συνεχώς διαβρεχόμενη λινάτσα. Η συντήρηση με γρήγη λινάτσα έχει το πλεονέκτημα ότι προφυλάσσει αυτόχρονα το σκυρόδεμα από

την ηλιακή ακτινοβολία και τη συνεπακόλουθη αύξηση της θερμοκρασίας του. Με την επίδραση των συνθηκών συντήρησης του σκυροδέματος στην αντοχή θλίψης του έχουν ασχοληθεί διάφοροι ερευνητές και καταλήγουν σε διάφορα αποτελέσματα (Raheem et al. 2013, James et al. 2011, Obla et al. 2005, Ghani et al. 2006, Ogah 2016, Acquaye 2006).

Η συντήρηση λοιπόν του σκυροδέματος, και κατ'επέκταση των κύβων σκυροδέματος που λαμβάνονται στο εργοτάξιο, βάση των οποίων αξιολογείται η ποιότητα του σκυροδέματος, είναι σημαντικότερο και κρίσιμο στάδιο για την πλήρη ανάπτυξη των ιδιοτήτων του και συγκεκριμένα των αντοχών του. Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 12390-2, οι κύβοι σκυροδέματος κατά τις πρώτες 16 – 72 ώρες μετά τη λήψη τους θα πρέπει να διατηρούνται σε εσωτερικό χώρο σε θερμοκρασία 15-25 °C. Στη συνέχεια, η συντήρησή τους θα πρέπει να συνεχίσει σε δεξαμενές με νερό θερμοκρασίας 20 ± 2 °C. Παρόλη τη σημασία της συντήρησης των κύβων σκυροδέματος για την εξέλιξη των παρατηρούμενων αντοχών του, εντούτοις είναι μία από τις πιο παραμελημένες και παρεξηγημένες διαδικασίες και είναι αμφίβολο κατά πόσο οι προβλεπόμενες από το πρότυπο διαδικασίες είναι επαρκείς. Αμφίβολο είναι επίσης το κατά πόσο η διαδικασία αυτή έχει ικανοποιητική επαναληψιμότητα στην περίπτωση κατά την οποία διαφοροποιείται η διάρκεια του αρχικού σταδίου μετά τη λήψη των κύβων, η οποία διαρκεί από 16 – 72 ώρες.

Αντικείμενο μελέτης της εργασίας αυτής, ήταν η επίδραση διαφορετικών συνθηκών συντήρησης κύβων σκυροδέματος κατά τις πρώτες 24h μετά την κατασκευή τους, στις παρατηρούμενες αντοχές θραύσης τους.

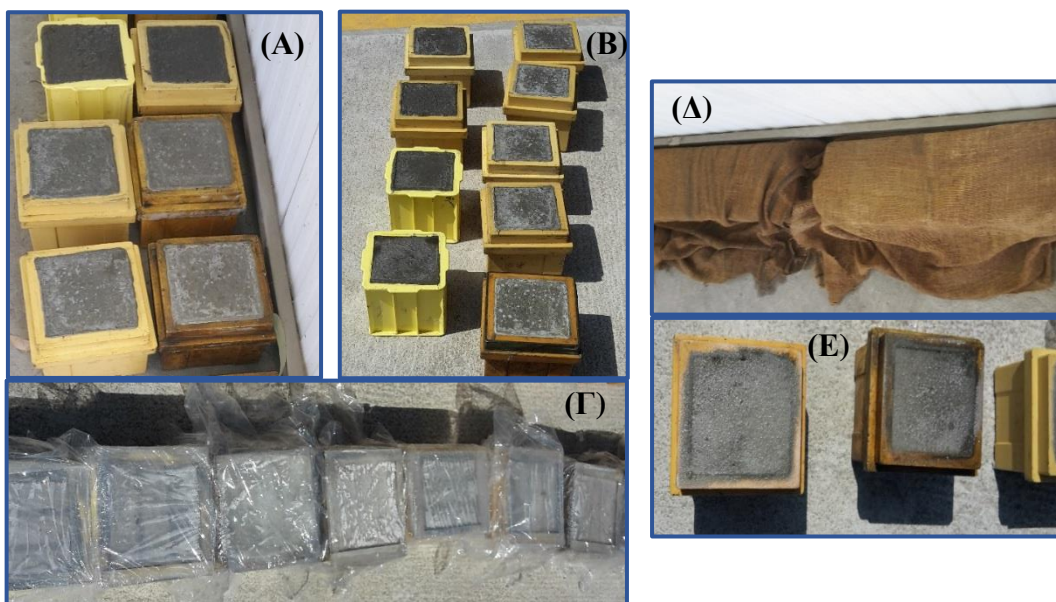
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η συγκεκριμένη δοκιμή, η οποία αφορούσε την επίδραση των συνθηκών συντήρησης κύβων σκυροδέματος κατά τη διάρκεια των πρώτων 24 ωρών μετά την κατασκευή τους, στην αντοχή θλίψης τους, έλαβε χώρα στη Τσιμεντοποιία Βασιλικού Λτδ, στην Κύπρο, μήνα Αύγουστο, ο οποίος χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες. Οι συνθήκες συντήρησης που εξετάστηκαν, ήταν οι εξής:

1. Συντήρηση σε θάλαμο δοκιμών – σταθερή θερμοκρασία και υγρασία (20 °C, 90 %) – Ιδανικές συνθήκες.
2. Συντήρηση σε υπαίθριο χώρο υπό σκιά.
3. Συντήρηση σε υπαίθριο χώρο, έκθεση στον ήλιο.
4. Συντήρηση σε υπαίθριο χώρο, έκθεση στον ήλιο, κάλυψη με καπάκι και ακολούθως με μεμβράνη.
5. Συντήρηση σε υπαίθριο χώρο, υπό σκιά και κάλυψη με βρεγμένη λινάτσα.
6. Συντήρηση σε υπαίθριο χώρο, έκθεση στον ήλιο και κάλυψη με υδατικό γαλάκτωμα κεριού με ανακλαστικές ιδιότητες.

Κατά τη διάρκεια παραμονής των κύβων στις πιο πάνω συνθήκες, εφαρμόστηκε καταγραφή της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Οι κύβοι, μετά το πέρας των 24 h, αφού αφαιρέθηκε το εξωτερικό τους καλούπι και επισημάνθηκαν κατάλληλα, μεταφέρθηκαν σε θερμοστατούμενες

στους 20 °C δεξαμενές νερού. Για κάθε συνθήκη συντήρησης, κατασκευάστηκαν και ελέγχθηκαν δώδεκα κύβοι σκυροδέματος, διαστάσεων 150 x 150 x 150 mm, χρησιμοποιώντας τσιμέντο CEM II/A-L 42,5 R. Ο λόγος νερού/τσιμέντου (N/T), το είδος και η ποσότητα των ανδρανών (άμμος, σκύρα 10 και 20 mm), το είδος και η ποσότητα του πρόσμικτου (MasterSet R 105 XR), καθώς και η εργασιμότητα του σκυροδέματος, διατηρήθηκαν σταθερά σε όλες τις περιπτώσεις. Κατασκευάστηκαν συνολικά 72 κύβοι. Η επίδραση της κάθε μίας από τις πιο πάνω συνθήκες συντήρησης στην αντοχή θλίψης του σκυροδέματος, εξετάστηκε χρησιμοποιώντας 12 κύβους, στους οποίους πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις αντοχής θλίψης στις 2, 7, 14, 28 και 56 ημέρες. Για κάθε ηλικία αντιστοιχούσαν δύο κύβοι, με εξαίρεση τις 28 ημέρες, στις οποίες αντιστοιχούσαν τέσσερις. Για την καλύτερη σύγκριση των παρατηρούμενων αποτελεσμάτων, η κατασκευή των κύβων προγραμματίστηκε και πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την ημέρα θραύσης τους – δηλαδή οι κύβοι των οποίων η θραύση θα λάμβανε χώρα στις 2 ημέρες, κατασκευάστηκαν την ίδια μέρα και το ίδιο εφαρμόστηκε για τους κύβους των 7 ημερών και ούτω καθ'εξής. Στο Σχήμα 1 φαίνονται οι κύβοι σκυροδέματος στις συνθήκες συντήρησής τους στον υπαίθριο χώρο, κατά την 1^η ημέρα ωρίμανσής τους και στον Πίνακα 1 δίνονται οι τιμές του N/T και της κάθισης του σκυροδέματος που κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας τσιμέντο CEM II/A-L 42,5 R, καθώς και το εύρος της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας κατά την περίοδο συντήρησης του πρώτου 24ώρου.



Σχήμα 1. Υπαίθριες συνθήκες συντήρησης κύβων σκυροδέματος κατά την 1^η μέρα ωρίμανσής τους: (Α) Υπό σκιά, (Β) Έκθεση στον ήλιο, (Γ) Έκθεση στον ήλιο, κάλυψη με καπάκι και ακολούθως με μεμβράνη, (Δ) Υπό σκιά και κάλυψη με βρεγμένη λινάτσα και (Ε) Έκθεση στον ήλιο και κάλυψη με υδατικό γαλάκτωμα κεριού με ανακλαστικές ιδιότητες.

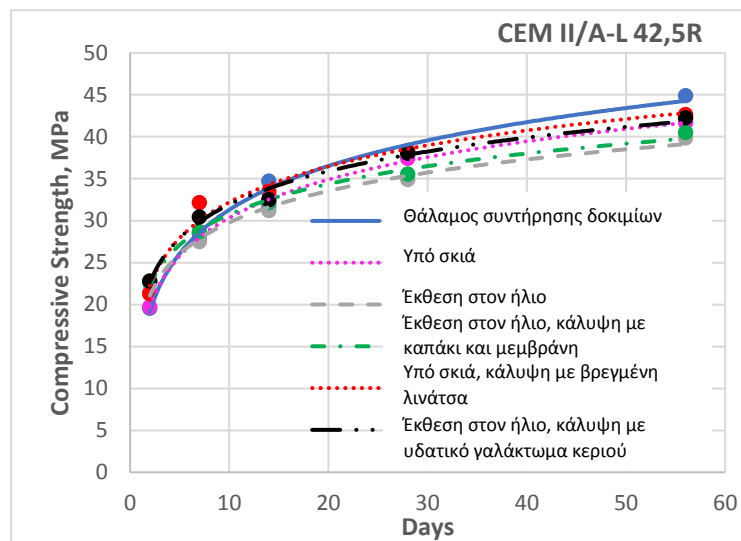
Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά του σκυροδέματος που κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας τσιμέντο CEM II/A-L 42,5 R και εύρος θερμοκρασίας περιβάλλοντος (T) και σχετικής υγρασίας (RH) κατά τις πρώτες 24 ώρες μετά την κατασκευή των κύβων, στις αντίστοιχες συνθήκες συντήρησής τους.

N/T		0.454				
Κατηγορ. Κάθισης (EN 12350-2)		S3				
Συνθήκες συντήρησης κύβων σκυροδέματος	Εύρος	Ομαδοποίηση, κατασκευή και συντήρηση κύβων ανάλογα με την ημέρα εκτέλεσης της δοκιμής θλίψης				
		2	7	14	28	56
Θάλαμος συντήρησης δοκιμών	T, °C	20				
	RH, %	> 90				
Υπαίθριος χώρος, υπό σκιά	T, °C	22 – 34	22 – 34	23 – 34	25 – 38	23 – 34
	RH, %	36 – 79	36 – 79	52 – 73	46 – 77	52 – 73
Υπαίθριος χώρος, έκθεση στον ήλιο	T, °C	22 – 46	22 – 46	25 – 50	21 – 49	25 – 50
	RH, %	36 – 79	36 – 79	52 – 73	46 – 77	52 – 73
Υπαίθριος χώρος, έκθεση στον ήλιο, κάλυψη με καπάκι και μεμβράνη	T, °C	22 – 46	22 – 46	25 – 50	21 – 49	25 – 50
	RH, %	36 – 79	36 – 79	52 – 73	46 – 77	52 – 73
Υπαίθριος χώρος, υπό σκιά, κάλυψη με βρεγμένη λινάτσα	T, °C	22 – 34	22 – 34	23 – 34	25 – 38	23 – 34
	RH, %	36 – 79	36 – 79	52 – 73	46 – 77	52 – 73
Υπαίθριος χώρος, έκθεση στον ήλιο, κάλυψη με υδατικό γαλάκτωμα κεριού (TSIRCO-CM 90W)	T, °C	22 – 46	22 – 46	25 – 50	21 – 49	25 – 50
	RH, %	36 – 79	36 – 79	52 – 73	46 – 77	52 – 73

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όπως προαναφέρθηκε, στην εργασία αυτή, εξετάστηκε η επίδραση διαφορετικών συνθηκών συντήρησης κύβων σκυροδέματος κατά τις πρώτες 24h μετά την κατασκευή τους, στις παρατηρούμενες αντοχές θραύσης τους. Τα αποτελέσματα

της αντοχής της θλίψης στην πάροδο χρόνου 56 ημερών, απεικονίζονται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2. Επίδραση των συνθηκών συντήρησης κύβων σκυροδέματος από τσιμέντο CEM II/A-L 42,5 R, κατά τις πρώτες 24h μετά την κατασκευή τους, στην αντοχή θλίψης τους.

Σύμφωνα με τα διαγράμματα του Σχήματος 2 είναι εμφανής ο σημαντικός ρόλος που παίζει η συνθήκη συντήρησης του σκυροδέματος τις πρώτες ώρες μετά την κατασκευή του, στην αντοχή θλίψης του. Συγκεκριμένα, οι ψηλότερες τιμές αντοχής θλίψης 28 ημερών, όπως ήταν αναμενόμενο, επιτεύχθηκαν στην περίπτωση όπου οι κύβοι συντηρήθηκαν στον θάλαμο συντήρησης. Από τις υπόλοιπες περιπτώσεις, ως καλύτερη επιλογή εμφανίζεται η συντήρηση υπό σκιά, με την ταυτόχρονη κάλυψη των κύβων με βρεγμένη λινάτσα, ενώ ως χειρότερη εμφανίζεται η απευθείας έκθεση στον ήλιο. Στον Πίνακα 2 δίνονται τα αποτελέσματα της αντοχής θλίψης στις διάφορες ηλικίες ελέγχου, ως ποσοστό της τιμής που παρατηρήθηκε μετά από τη συντήρηση σε ιδανικές συνθήκες ($S_{control}$) (δηλ. θάλαμος συντήρησης δοκιμίων).

Πίνακας 2. Ποσοστιαία αποτελέσματα της αντοχής θλίψης των κύβων σκυροδέματος που συντηρήθηκαν σε υπαίθριο χώρο τις πρώτες 24 h μετά την κατασκευή τους, ως προς την τιμή αντοχής θλίψης που παρατηρήθηκε μετά από συντήρηση των κύβων σε ιδανικές συνθήκες ($S_{control}$) (στο θάλαμο συντήρησης δοκιμίων).

Ηλικία, Ημέρες	$S_{controls}$ MPa	Ποσοστό αντοχής θλίψης ως προς την $S_{control}$ στην ίδια ηλικία, %					A. Υπό σκιά. B. Έκθεση στον ήλιο. Γ. Έκθεση στον ήλιο, κάλυψη με καπάκι και κάλυψη με μεμβράνη. Δ. Υπό σκιά και κάλυψη με βρεγμένη λινάτσα. E. Έκθεση στον ήλιο και κάλυψη με υδατικό γαλάκτωμα κεριού.
		A	B	Γ	Δ	E	
2	19.55	101	110	116	109	117	
7	27.75	103	99	103	116	110	
14	34.70	92	90	93	96	94	
28	38.03	98	92	94	101	100	
56	44.90	93	89	90	95	93	

Τα αποτελέσματα της αντοχής θλίψης μέχρι και την ηλικία των 7 ημερών, των κύβων που συντηρήθηκαν σε υπαίθριο χώρο, εμφανίζονται αμετάβλητα έως και αυξημένα, σε σχέση με αυτά που παρατηρήθηκαν στους κύβους που είχαν συντηρηθεί στο θάλαμο συντήρησης δοκιμίων. Αυτό οφείλεται στην αυξημένη θερμοκρασία συντήρησης στην οποία βρίσκονταν οι κύβοι στον υπαίθριο χώρο σε σχέση με αυτή του θαλάμου συντήρησης (Πίνακας 1). Είναι γνωστό ότι η συντήρηση του σκυροδέματος σε ψηλότερη θερμοκρασία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των πρώιμων αντοχών και μείωση των τελικών αντοχών. Αύξηση της θερμοκρασίας συντήρησης επιταχύνει τη διεργασία της ενυδάτωσης, με αποτέλεσμα η δομή της ενυδατωμένης πάστας του τσιμέντου να σχηματίζεται νωρίς (Neville 2011). Αν και η ψηλότερη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης και της πήξης του σκυροδέματος αυξάνει τις πρώιμες αντοχές, εντούτοις μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς την αντοχή μετά από τις 7 ημέρες (Neville, 2011). Σύμφωνα με τους Verbeck και Helmuth (1968), το φαινόμενο αυτό, οφείλεται στο ότι η ταχεία αρχική ενυδάτωση σχηματίζει προϊόντα πιο πορώδους φυσικής δομής, με συνέπεια ένα ποσοστό των πόρων να παραμένει πάντα κενό. Δεδομένου ότι τα κενά μειώνουν την αντοχή του σκυροδέματος, η χαμηλή θερμοκρασία με αργή ενυδάτωση οδηγεί σε ομοιόμορφη κατανομή των προϊόντων ενυδάτωσης, μικρότερο πορώδες και συνεπώς σε υψηλή τελική αντοχή. Η γρήγορη διεργασία ενυδάτωσης του τσιμέντου λόγω της υψηλής θερμοκρασίας συντήρησης οδηγεί σε υψηλή πρώιμη αντοχή λόγω των περισσότερων προϊόντων ενυδάτωσης που σχηματίζονται. Ωστόσο, καθώς προχωρεί η ωρίμανση του σκυροδέματος, η καθυστέρηση στην ενυδάτωση ως αποτέλεσμα ενός πυκνού κελύφους γύρω από τους ενυδατωμένους κόκκους του τσιμέντου, έχει ως αποτέλεσμα μια πιο πορώδη δομή, με συνεπακόλουθο μειωμένες τελικές αντοχές (Verbeck et al. 1968). Πράγματι, η αντοχή θλίψης για τις ηλικίες ελέγχου 14, 28 και 56 ημερών, των κύβων σκυροδέματος που συντηρήθηκαν σε υπαίθριο χώρο, είναι μειωμένη σε σχέση με την αντοχή θλίψης που παρατηρήθηκε στους κύβους του θαλάμου συντήρησης. Συγκεκριμένα, φαίνεται ότι οι περιπτώσεις A, B και Γ (Πίνακας 2) είναι οι πιο επιβλαβείς για την αντοχή του σκυροδέματος, με χειρότερη την περίπτωση B, που είναι η έκθεση στον ήλιο. Όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία, εάν το σκυρόδεμα παραμείνει ζεστό κατά τη διάρκεια των πρώτων

μερικών ωρών ή ημερών μετά την κατασκευή του και δεν υπάρχει επαρκής ποσότητα νερού, τότε δεν αναπτύσει τη μέγιστη δυνατή αντοχή του (Gibbon 1976a, Gibbon 1976b, Gopalan et al. 1987, Neville 1996).

Επιπρόσθετα, επειδή πρέπει να αποφεύγεται η εφαρμογή δόνησης στους κύβους, αυτοί παραμένουν στα εργοτάξια και η συντήρησή τους μέχρι την στιγμή που θα μεταφερθούν στις δεξαμενές του εργαστηρίου γίνεται σε υπαίθριο χώρο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ψηλότερων πρώιμων αντοχών θλίψης, οι οποίες μπορεί να δικαιολογούν αλλαγές στη σύνθεση του σκυροδέματος, δηλαδή τη μείωση της χρησιμοποιούμενης ποσότητας του τσιμέντου. Όμως σε αυτή την περίπτωση, οι ψηλές αυτές πρώιμες αντοχές είναι παραπλανητικές για το ποια θα είναι η τιμή των τελικών αντοχών στις 28 ημέρες. Λόγω των «κακών» συνθηκών συντήρησης των κύβων που εφαρμόζονται συνήθως στα εργοτάξια (έκθεση στον ήλιο, χωρίς μέτρα διατήρησης της υγρασίας τους) οι πρώιμες αντοχές εμφανίζονται ψηλότερες, οι οποίες τελικά καταλήγουν σε μειωμένες τελικές αντοχές, ιδιαίτερα κατά την έναρξη της θερινής περιόδου. Το γεγονός αυτό, αν συνδυαστεί με «διόρθωση» της σύνθεσης του σκυροδέματος, η οποία είναι η μείωση της ποσότητας του τσιμέντου, έχει ως αποτέλεσμα την κατασκευή σκυροδέματος που πιθανόν να καταλήξει εκτός προδιαγραφών. Η ορθή συντήρηση του σκυροδέματος είναι ένα από τα πιο σημαντικά στάδια, το οποίο συνήθως παραβλέπεται και μπορεί να έχει τη μέγιστη επίδραση στο τελικό αποτέλεσμα (Cable, 2002).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εργασία αυτή εξέτασε την επίδραση διαφορετικών συνθηκών συντήρησης κύβων σκυροδέματος κατά τις πρώτες 24 h μετά την κατασκευή τους, στην αντοχή θλίψης τους. Συγκεκριμένα βρέθηκε ότι:

- Όλοι οι κύβοι που συντηρήθηκαν σε υπαίθριο χώρο χαρακτηρίζονταν από υψηλότερη πρώιμη αντοχή θλίψης (2 και 7 ημερών) σε σχέση με αυτή που παρατηρήθηκε στους κύβους που συντηρήθηκαν σε θάλαμο υπό σταθερή θερμοκρασία και υγρασία.
- Οι κύβοι που συντηρήθηκαν σε υπαίθριο χώρο κατέληξαν σε χαμηλότερη τελική αντοχή θλίψης (14, 28 και 56 ημερών) σε σχέση με τους κύβους που συντηρήθηκαν στον θάλαμο δοκιμίων.
- Ως καλύτερες επιλογές για συντήρηση των κύβων σκυροδέματος σε υπαίθριο χώρο, φαίνεται να είναι η τοποθέτησή τους σε σκιά με ταυτόχρονη κάλυψή τους με βρεγμένη λινάτσα και ακολούθως, στην περίπτωση που θα εκτίθενται στον ήλιο, η κάλυψη της επιφάνειάς τους με ειδικό υγρό που σχηματίζει επιφανειακή μεμβράνη ενώ ταυτόχρονα αντανάκλα τις ακτίνες του ήλιου. Σε αυτές τις περιπτώσεις η μείωση των τελικών αντοχών περιορίστηκε στο 5 και 7 % αντίστοιχα.
- Η πιο επιβλαβής συνθήκη υπαίθριας συντήρησης για το σκυρόδεμα φαίνεται να είναι η απευθείας έκθεση στον ήλιο, η οποία επέφερε μια μείωση της τάξεως του 11 % στις τελικές αντοχές θλίψης.

- Μπορεί να εξεταστεί η αναθεώρηση του προτύπου EN 12390-2 ώστε να περιλαμβάνει την κάλυψη με υγρή λινάτσα ή κατάλληλο ύφασμα που θα συγκρατεί την υγρασία.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Acquaye L., “Effect of high curing temperatures on the strength, durability and potential of delayed ettringite formation in mass concrete structures”., Dissertation, University of Florida, Florida (2006)

BS EN 12390 (2009). Testing hardened concrete. BSI, London, UK

Cable J.K., Wang K. and Zhi K., “Investigation into improved pavement curing materials and techniques – Part 1 (phase 1 and 2)”., Iowa DOT TR-451, CTRE Project 00-77, Center for Transportation Research and Education, Iowa Center University Iowa (2002)

James T., Malachi A., Gadzama E. W. and Anametemfiok V., “Effect of curing methods on the compressive strength of concrete”., Nigerian J. of Technology, Vol. 30, No 3 (2011) 14 – 20

Ghani U., Shabbir F. and Khan K.M., “Effect of temperature on different properties of concrete”., 31st Conference on Our World in concrete & Structures (Singapore August 16-17 2006), Singapore (2006)

Gibbon F. M.E., “Large pours for reinforced concrete structures”. Concrete, 10 (3), (1976a) 41

Gibbon, F. M.E., “Large pours-2, heat generation and control”. Concrete, 10 (12), (1976b) 33-35

Gopalan M.K., and Haqua, M. N., “Effect of curing regime on the properties of fly-ash concrete”. J. Amer. Concr. Inst. Mater., 84 (1), (1987) 14-19

Klieger P.H, “Effect of mixing and curing on concrete strength”. ACI Journal, Proceeding, 4 (12), (1958) 1063 – 1081

Murdock L.J., Brook K.M. and Dewar J.D., “Concrete materials and practice”, 6th Edition, Edward Arnold, London (1991)

Neville A. M., “Properties of Concrete”, 5th Edition, Pearson Education Limited, London (2011)

Obla K., Rondriguez F. and Ben-Barka S., “Effects of non-standard curing on strength of concrete”., Research Project at the NRMCA Research Laboratory – Series D 335 and D 338, Concrete In Focus, (2005) 57 – 59

Ogah O., “Effect of curing methods on the compressive strength of concrete”., International J. of Engineering and Computer Science, Vol. 5 (7), (2016) 17161 – 17171

Raheem A. A., Soyingbe A. A. and Emenike A. J., “Effect of curing methods on density and compressive strength of concrete”., International J. of applied Science and Technology, Vol. 3, No 4 (2013) 55 – 63

Price W., “Factors influencing concrete strength”., J. American Concrete Institute, Proceedings, Vol. 47, (1991) 417 – 432

Verbeck G.J., and Helmuth R.A., “Structures and physical properties of cement paste”. Proceedings of the 5th International Symposium On the Chemistry of Cement (Tokyo Japan October 07-11, 1968), Cement Association of Japan, Tokyo, Japan, Vol. 3, (1968) 1-32