

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



Μεταπτυχιακή διατριβή

ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ ΝΕΡΟΥ/ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΣΤΟ
ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ

Χαραλάμπους Ερμογένης

Λεμεσός 2015

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ Μηχανικής και Τεχνολογίας

ΤΜΗΜΑ Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής

ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ ΝΕΡΟΥ/ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΣΤΟ
ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ

του

Ερμογένη Χαραλάμπους

Λεμεσός 2015

ΕΝΤΥΠΟ ΕΓΚΡΙΣΗΣ

Μεταπτυχιακή διατριβή

Αύξηση του λόγου νερού/τσιμέντου στο εργοτάξιο

Παρουσιάστηκε από

[Ερμογένη Χαραλάμπους]

Επιβλέπων καθηγητής: Διόφαντος Χατζημιτσής

Μέλος επιτροπής:

Μέλος επιτροπής:

Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου

09/2015

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Ερμιογένης Χαραλάμπους, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της μεταπτυχιακής διατριβής από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Διόφαντος Χατζημιτσής για την πολύτιμη καθοδήγηση του, στην διεκπεραίωση της διπλωματικής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω, τον ερευνητικών συνεργάτη του τμήματος μου κ. Ανδρέας Χριστοφή και τον προϊστάμενο της βιομηχανίας παραγωγής ετοιμού σκυροδέματος της εταιρίας “ΑΘΗΝΟΔΩΡΟΥ” κ. Γιώργο Κουκλή, για την αμέριστη συμπαράσταση και την πολύτιμη βοήθεια που προσέφεραν στις δύσκολες στιγμές αυτής της προσπάθειας, καθώς και τον εργαστηριακό συνεργάτη του τμήματος μας Λούκα. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, για την στήριξη και την ενθάρρυνση καθόλη την διάρκεια της ακαδημαϊκής μου πορείας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το σκυρόδεμα είναι το σπουδαιότερο υλικό της οικοδομής, αυτό που θα βαστήξει τα φορτία και τον σεισμό. Όλα τα άλλα υλικά είναι δευτερεύοντα, κάνουν περισσότερο άνετη τη διαβίωση, όμως πάνω σε ένα σαθρό σκελετό καταντούν περιττά. Οποιοδήποτε υλικό της οικοδομής που στην χρήση του αποδείχτηκε ελαττωματικό μπορεί οποτεδήποτε να αντικατασταθεί με κάποιο άλλο καλύτερο. Το ακατάλληλο σκυρόδεμα θα παραμείνει ακατάλληλο και ανασφαλές σε όλη τη ζωή του έργου. Στη Ανάπτυξη και κατασκευή σημαντικών έργων μηχανικής το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται ευρύτατα γιατί σε σύγκριση με άλλα φυσικά ή τεχνητά υλικά, οι πρώτες του ύλες είναι διαθέσιμες παντού, είναι σχετικά εύκολο να κατασκευασθεί και να μορφοποιηθεί, έχει χαμηλό κόστος και παρουσιάζει υψηλή αντοχή σε θλίψη .

Στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκε πόσο επηρεάζει την αντοχή του σκυροδέματος η αλλαγή της αναλογίας νερού-τσιμέντου σε έτοιμο βιομηχανικό σκυρόδεμα στο εργοτάξιο και πόσον η μη ενυδάτωση των δομικών στοιχείων μετά την σκυροδέτηση επηρεάζει την αντοχή του σκυροδέματος. Παρήχθηκαν δείγματα από έτοιμο βιομηχανικό σκυρόδεμα με αναλογία νερού-τσιμέντου 0.50, και αυξήθηκε ο λόγος νερού-τσιμέντου σε 0.56 και 0.62 Άλλα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος παρέμειναν σταθερά σε όλα τα συγκεκριμένα δείγματα. Για να ελέγξουμε κατά πόσον επηρέαζε η μη ενυδάτωση του σκυροδέματος μετά την σκυροδέτηση τοποθετήθηκαν δείγματα σε δεξαμενή ενυδάτωσης ,σε θερμοκρασίες δωματίου και έξω στην ατμόσφαιρα. Η θλιπτική αντοχή των δειγμάτων $15 \times 15 \times 15\text{cm}^3$ αξιολογήθηκαν σε 7,14, 28 και ημέρες. Τα αποτελέσματα για τα πειράματα έδειξαν ότι η από την αλλαγή του λόγου N/T από 0.50 σε 0.56, 0.62 μειώθηκε η θλιπτική αντοχή κατά 16,57% και 27,2% αντίστοιχα και η μη ενυδάτωση του σκυροδέματος μείωσε την αντοχή των δοκιμίων που τοποθετήθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου κατά 5,26% και των δοκιμίων που τοποθετήθηκαν έξω στην ατμόσφαιρα κατά 8,29% .

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	vvii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	viviii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xx
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	xi
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	xii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	xiii
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	xiii
1.2 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	1
1.3 Αντοχές Σκυροδεματος.....	2
1.3.1 Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδεματος.....	2
1.3.2 Εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος.....	2
1.3.3 Ανθεκτικότητα Σκυροδέματος.....	3
1.3.4 Αντοχή στην τριβή.....	4
1.3.5 Πορώδες και στεγανότητα.....	4
1.4 Κατηγορίες Σκυροδέματος.....	4
1.5 Χημικά Πρόσμικτα Σκυροδεματος.....	5
1.5.1 Μειωτής Νερού.....	6
1.5.2 Υπερρεθστοποιητής.....	6
1.5.3 Ρυθμιστής Ιξώδους.....	6
1.5.4 Αερακτικό.....	6

1.5.5	Επιταχυντής πήξης.....	6
1.5.6	Επιταχυντής σκλήρυνσης	6
1.5.7	Επιβραδυντής.....	6
1.5.8	Στεγανωτικο Μαζας	6
1.5.9	Επιβραδυντής / μειωτής νερού.....	6
1.5.10	Επιβραδυντής / υπερρευστοποιητής.....	7
1.5.11	Επιταχυντής πήξης/ μειωτής Νερού.....	7
1.6	Λόγος Νερού Προς Τσιμέντο.....	7
1.7	Συντήρηση και ενυδάτωση σκυροδέματος.....	8
1.8	Σκυροδέτηση σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος.....	9

2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1	Εισαγωγή.....	11
2.2	Λήψη δοκιμών.....	11
2.3	Δοκιμή κάθισης:.....	13
2.4	Παρασκευή δοκιμών.....	15
2.5	Θερμοκρασία Σκυροδεματος.....	16
2.6	Συντήρηση δοκιμών.....	17
2.7	Θραύση δοκιμών.....	19
2.7.1	Τρόποι με τους οποίους θραύονται οι κύβοι.....	20

3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1	Αποτελέσματα από την Αύξηση του λόγου N/T.....	22
-----	--	----

3.1.1	Θλιπτική αντοχή κύβων με διαφορετικό λόγο N/T και θραύση σε 7 ημέρες.....	22
3.1.2	Θλιπτική αντοχή κύβων με διαφορετικό λόγο N/T και θραύση σε 14 ημέρες...	23
3.1.3	Θλιπτική αντοχή κύβων με διαφορετικό λόγο N/T και θραύση σε 28 ημέρες...	24
3.2	Αποτελέσματα επίδρασης της μη ενυδάτωσης.....	25
4.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	
4.1	Προσθήκη νερού σε έτοιμο σκυρόδεμα στο εργοτάξιο	27
4.2	Μη Ενυδάτωση Των Δομικών Στοιχείων.....	27
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	29

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος.....	3
Πίνακας 2: Κατηγορίες σκυροδέματος από εταιρίες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος στην Κύπρο	5
Πίνακας 3: Συνθήκες θερμοκρασίας και μέτρα προστασίας κατά την σκυροδέτηση με ζεστό καιρό.....	10
Πίνακας 4: Mix design κατηγορίας C30	12
Πίνακας 5: Mix design κατηγορίας C25	13
Πίνακας 6: Αποτελέσματα από την αύξηση του λόγου N/T σε 7 ημέρες.....	22
Πίνακας 7: Αποτελέσματα από την αύξηση του λόγου N/T σε 14 ημέρες.....	23
Πίνακας 8: Αποτελέσματα από την αύξηση του λόγου N/T σε 28 ημέρες.....	24
Πίνακας 9: Θλιπτική αντοχή 7 ημερών σε διάφορες συνθήκες συντήρησης κύβων.....	25
Πίνακας 10: Θλιπτική αντοχή 14 ημερών σε διάφορες συνθήκες συντήρησης κύβων....	25
Πίνακας 11: Θλιπτική αντοχή 28 ημερών σε διάφορες συνθήκες συντήρησης κύβων....	25

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Αποτελέσματα από την αύξηση του λόγου N/T σε 7 ημέρες.....	22
Διάγραμμα 2: Αποτελέσματα από την αύξηση του λόγου N/T σε 14 ημέρες.....	23
Διάγραμμα 3: Αποτελέσματα από την αύξηση του λόγου N/T σε 28 ημέρες.....	24
Διάγραμμα 3: Θλιπτική αντοχή 28 ημερών σε διαφορετικές συνθήκες συντήρησης.	26

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Χαρακτηριστική αντοχή κύβου και κυλίνδρου.	5
Εικόνα 2: Επίδραση της σχέσης N/T στην αντοχή του σκυροδέματος.....	8
Εικόνα 3: Λήψη σκυροδέματος.....	12
Εικόνα 4: Τοποθέτηση σκυροδέματος σε αυτοκίνητο.	12
Εικόνα 5: Κώνος κάθισης	14
Εικόνα 6: Συμπύκνωση Σκυροδέματοςσε κώνο κάθισης.....	14
Εικόνα 7: Υπολογισμός κάθισης σκυροδέματος.....	15
Εικόνα 8: Συμπύκνωση στρώσεως κύβου.....	16
Εικόνα 9: Λάδωμα μητρας με λαδι.	16
Εικόνα 10: Θερμομετρο σκυροδεματος.	17
Εικόνα 11: Δεξαμενή νερού για ενυδατωθεί δηγματων.....	17
Εικόνα 12: Δοκιμα εκτεθειμενα στην ατμοσφαιρα.....	18
Εικόνα 13: Δοκιμα σε θερμοκρασίες δώματιου.....	18
Εικόνα 14: Ζυγιση δοκιμιων	19
Εικόνα 15: Τοποθετηση δοκιμιου σε μηχανή θλίψης	19
Εικόνα 16: Ικανοποιητικός τρόπος θραύσης κύβων	20
Εικόνα 13: Μη ικανοποιητικός τρόπος θραύσης κύβων.....	21

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΤΕΠΑΚ.: Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου

fc: Θλιπτική αντοχή

fcm: Μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος

fck: Χαρακτηριστική αντοχή

s: Τυπικής απόκλισης

N/T: Λόγος Νερού Τσιμέντου

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο «Αύξηση του λόγου νερού/τσιμέντου στο εργοτάξιο» εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Πολιτικών Μηχανικών Και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του ΤΕΠΑΚ το 2015. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι ο προσδιορισμός της μείωσης αντοχής σκυροδέματος με την προσθήκη νερού σε έτοιμο σκυρόδεμα στο εργοτάξιο και κατά πόσο διαφοροποιούνται οι αντοχές του σκυροδέματος με την μη ενυδάτωση των δομικών στοιχείων την περίοδο όπου το σκυρόδεμα θα απολέσει υγρασία . Η δομή της διπλωματικής εργασίας χωρίζεται σε τέσσερις θεματικές ενότητες:

- Θεωρητικό μέρος, όπου γίνεται εκτενή αναφορά στα υλικά παρασκευής σκυροδέματος
- Εργαστηριακό μέρος, όπου περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία λήψης των δοκιμών , καθώς και η όλη διαδικασία που ακολουθήθηκε από την παρασκευή μέχρι και την θραύση των δοκιμών.
- Αποτελέσματα , που παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε πίνακες και διαγράμματα
- Συμπεράσματα, όπου γίνεται η αξιολόγηση των εργαστηριακών αποτελεσμάτων.

1.2 Σκυρόδεμα

Το έτοιμο σκυρόδεμα είναι δομικό υλικό που παράγεται με την ανάμειξη αδρανών υλικών, τσιμέντου, νερού και πρόσθετων (για βελτίωση των ιδιοτήτων του κατά τη παραγωγή και χύτευση αλλά και όταν σκληρυνθεί). Με τη σημερινή του μορφή χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά στις αρχές του 20ου αιώνα, ενώ μετά το 1950 η χρήση του γενικεύτηκε, καθιστώντας το σήμερα το κυριότερο, παγκοσμίως, υλικό κατασκευών μαζί με το χάλυβα, ως οπλισμένο σκυρόδεμα.

Τα αδρανή είναι μεν το φθινό συστατικό , αλλά έχουν πολύ ικανοποιητικές βασικές ιδιότητες όπως η μηχανική αντοχή, ανθεκτικότητα σε διάρκεια και περιβαλλοντικές επιδράσεις (χημικές ουσίες, υγρασία, κύκλους ζέστης και παγωνιάς, υψηλές θερμοκρασίες), σταθερότητα όγκου και υδατοστεγανότητα. Ο τσιμεντοπολτός αποτελείται από τσιμέντο, νερό και (χημικά) πρόσμεικτα ή πρόσθετα. Ενώ έχει σημαντικά υψηλότερο κόστος από τα αδρανή, στη σκληρυμένη του μορφή ο τσιμεντοπολτός δεν έχει εξίσου καλές βασικές ιδιότητες. Ο ρόλος του είναι να συνδέει τα κενά μεταξύ των αδρανών και να συνδέει τα αδρανή, μετατρέποντας τα, από σύνολο ισχυρών αλλά ασύνδετων κόκκων σε τεχνητό πέτρωμα. Επιπλέον λειτουργεί σαν λιπαντικό μεταξύ των κόκκων των αδρανών, έτσι ώστε το νωπό σκυρόδεμα να είναι μια ρευστή αλλά συνεκτική μάζα.

Αυστηρές διατάξεις προβλέπουν τις ελάχιστες δοσολογίες των πρώτων υλών ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες της προβλεπόμενης εφαρμογής του σκυροδέματος, όπως η εργασιμότητα, η αντοχή, η πλαστιμότητα, το περιβάλλον στο οποίο εκτίθεται, η απόδοση και διάρκεια ζωής της κατασκευής. Εξαιτίας της έντονης σεισμικής δραστηριότητας που σημειώνεται στη χώρα μας, τόσο η διαδικασία παραγωγής όσο και η τελική ενσωμάτωση του σκυροδέματος στις κατασκευές διέπονται από τον εξαιρετικά απαιτητικό Κανονισμό.

Είναι εξαιρετικά εύπλαστο υλικό, αφού μπορεί, όταν είναι νωπό, να λάβει οποιαδήποτε μορφή, χαρακτηρίζεται δε από ιδιαίτερες ιδιότητες που προσφέρουν ανθεκτικότητα και προστασία από διάφορα επιθετικά περιβάλλοντα έκθεσης. Χάρη στη μεγάλη ευελιξία του είναι το πιο εύχρηστο δομικό υλικό, αλλά ταυτόχρονα με τη μικρότερη διάρκεια ζωής καθώς πρέπει να χρησιμοποιηθεί το αργότερο εντός μίας ώρας και τριάντα λεπτών από τη παραγωγή του.

1.3 Αντοχές Σκυροδέματος

1.3.1 Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος

Από τη φύση του το σκυρόδεμα είναι ανομοιογενές υλικό. Η ανομοιογένεια αυτή οφείλεται σε μικροδιαφορές στην ποιότητα των υλικών (κυρίως των αδρανών) και την αναλογία τους στο μίγμα και σε διαφορές στη διάστρωση, συμπύκνωση ή συντήρηση του σκυροδέματος από θέση σε θέση κατασκευής (π.χ. περιοχές μεγάλης ή μικρής πυκνότητας οπλισμού, επιφάνεια ή εσωτερικό ενός δομικού στοιχείου, κρυφή ή βάση ενός υποστρώματος ή τοιχώματος κλπ). Λόγω της ανομοιομορφίας αυτής η ποιότητα, και πιο συγκεκριμένα η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε ένα σημείο της κατασκευής, f_c , θεωρείται σαν τυχαία μεταβλητή, χαρακτηρίζεται δηλ από μία πιθανοτική κατανομή, με μέσο όρο, f_{cm} , τυπική απόκλιση s κλπ.

Καθοριστικά για την ασφάλεια μιας κατασκευής είναι τα αδύνατα σημεία της. Γι' αυτό ο σχεδιασμός των δομικών στοιχείων βασίζεται όχι στη μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, f_{cm} , αλλά σε μία μικρότερη τιμή, τη χαρακτηριστική αντοχή, f_{ck} . Κατά γενικά αποδεκτή σήμερα σύμβαση, σαν χαρακτηριστική αντοχή ορίζεται η τιμή εκείνη κάτω από την οποία έχει πιθανότητα 5% να βρεθεί η αντοχή ενός τυχαίου δοκιμίου σκυροδέματος (δηλ. αν ολόκληρη η ποσότητα του σκυροδέματος μετατρεπόταν σε δοκίμια, μόνο το ποσοστό υποαντοχής $p=5\%$ των αντοχών αυτών των δοκιμίων θα ήταν κάτω από την χαρακτηριστική αντοχή και το υπόλοιπο 95 % θα ήταν πάνω απ' αυτήν). Έτσι αν η αντοχή του σκυροδέματος ακολουθεί την κανονική κατανομή πιθανοτήτων (κατανομή Gauss), με μέση τιμή f_{cm} και τυπική απόκλιση s , είναι : $f_{ck} = f_{cm} - 1,645 \cdot s$ όπου ο συντελεστής $-1,645$ αντιστοιχεί σε τιμή της σωρευτικής συνάρτησης κατανομής κατά Gauss ίση με 5%. Έτσι δύο σκυροδέματα με διαφορετική διασπορά ή διαφορετικό έλεγχο ποιότητας και επομένως διαφορετικές τιμές της τυπικής απόκλισης, s , θεωρούνται ισοδύναμα από απόψεως ασφάλειας, αν έχουν την ίδια χαρακτηριστική αντοχή, f_{ck} . Αυτό σημαίνει πως αυτό που έχει τη μεγαλύτερη διασπορά ή το χειρότερο έλεγχο ποιότητας (δηλ. τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση)

1.3.2 Εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος

Ο όρος εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος αναφέρεται στην μέγιστη τάση την οποία μπορεί να παραλάβει τα άοπλο σκυρόδεμα όταν υποβάλλεται σε μονοαξονικό εφελκυσμό μέχρι να ρηγματωθεί . Συμβολίζεται ως f_{ct} (t =tension) και όπως είναι αναμενόμενο η τιμή είναι σημαντικά μικρότερη από την αντίστοιχη αντοχή σε θλίψη.

Η μικρή τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος είναι ίσως το σημαντικότερο πρόβλημα του ως δομικό υλικό. Για την αντιμετώπιση του τοποθετούνται στο σκυρόδεμα οπλισμοί της χάλυβα , οι οποίοι είναι αυτοί που καλούνται να παραλάβουν τις εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται στα δομικά στοιχεία .

Ως τάξη μεγέθους η εφελκυστική αντοχή είναι περίπου το 1/10 της θλιπτικής αντοχής. Ακριβότερα , ο κανονισμός υπολογίζει τη μέση εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος f_{ctm} βάσει της χαρακτηριστικής τιμής της θλιπτικής αντοχής μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$F_{ctm}=0.30*f_{ck}^{2/3}$$

Fck	12	16	20	25	30	35	40	45	50
fctk_{0.05}	1.10	1.30	1.50	1.80	2.00	2.20	2.50	2.70	2.90
fctm	1.60	1.90	2.20	2.60	2.90	3.20	3.50	3.80	4.10
Fctk	2.00	2.50	2.90	3.30	3.80	4.20	4.60	4.90	5.30

Πίνακας 1. Εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος.

1.3.3 Ανθεκτικότητα

Ανθεκτικότητα είναι η ικανότητα του να αντέχει για πολλά χρόνια στην επίδραση των διαφόρων καιρικών συνθηκών και χημικών αντιδράσεων (οξέα – άλατα). Οι παράγοντες που συντελούν στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος είναι:

- Η χρησιμοποίηση σκληρών αδρανών υλικών με κανονική κοκκομετρική διαβάθμιση
- Η σωστή αναλογία νερού – τσιμέντου
- Η καλή ανάμειξη και συμπίεση του σκυροδέματος

1.3.4 Αντοχή στην τριβή

Η αντοχή του σκυροδέματος στη θλίψη αποτελεί το κριτήριο, για την εξακρίβωση της αντοχής του στη φθορά τριβής. Σκυροδέματα που έχουν υψηλή αντοχή στη θλίψη, παρουσιάζουν αντοχή στην τριβή. Δηλαδή, οι παράγοντες, που επηρεάζουν την αντοχή του σκυροδέματος στην τριβή, είναι οι ίδιοι με εκείνους που αναφέρθηκαν στην αντοχή του στη θλίψη.

1.3.5 Πορώδες και στεγανότητα

Το σκυρόδεμα είναι υλικό πορώδες, δηλαδή περιέχει κενά και τριχοειδείς πόρους στη μάζα του. Οι λόγοι για τους οποίους δημιουργούνται τα κενά και οι πόροι είναι οι εξής:

- Τα αδρανή υλικά, που αποτελούν το σκυρόδεμα, είναι πορώδη υλικά
- Τα κενά, που μένουν μεταξύ των κόκκων της άμμου, δεν είναι δυνατό να γεμίσουν τελείως με τον πολτό του τσιμέντου
- Όσο καλά και να γίνει η διάστρωση και το κοπάνισμα, πάντοτε θα παρουσιάζονται περιοχές με ελαττωμένη συμπύκνωση

Το μεγάλο πορώδες μειώνει την ποιότητα του σκυροδέματος, διότι ελαττώνει τη μηχανική αντοχή του και αυξάνει την αεροπερατότητα και υδροπερατότητα του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ο αέρας και το νερό να εισχωρούν εύκολα στη μάζα του σκυροδέματος και να οξειδώνουν τον οπλισμό. Εξάλλου, ελαττώνεται και η στεγανότητα, η οποία σε μερικά έργα είναι απαραίτητη. Για την επίτευξη στεγανότητας πρέπει να χρησιμοποιούνται βοηθητικά υλικά, που προστίθενται στο νωπό σκυρόδεμα και κλείνουν τους πόρους του, να τοποθετούνται υδατοστεγανωτικά υλικά (ασφαλτόχαρτο) ή ακόμα να επαλείφεται η επιφάνεια με ισχυρό στεγανό τσιμεντοκονίαμα ή διάφορα γαλακτώματα.

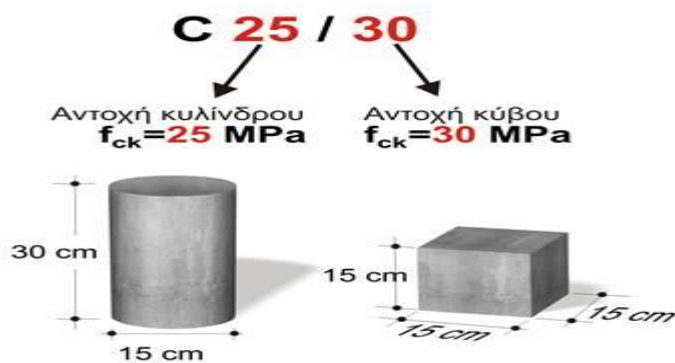
1.4 Κατηγορίες Σκυροδέματος

Στο πιο κάτω πίνακα φαίνονται η κατηγορίες σκυροδέματος βάση την χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή, f_{ck} .

Κατηγορίες Σκυροδέματος		
Κατηγορία Σκυροδέματος	$f_{ck,κυλ.}$ (MPa)	$f_{ck,κύβου}$ (MPa)
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C35/45	35	45
C 40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60

Πίνακας 2. Κατηγορίες σκυροδέματος από εταιρίες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος στην Κύπρο.

όπου ο πρώτος αριθμός κάθε κατηγορίας ορίζει την χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου (f_{ck}), ενώ ο δεύτερος την χαρακτηριστική αντοχή κύβου ($f_{ck,cube}$) σε MPa, στις 28 ημέρες.



Εικόνα 1. Χαρακτηριστική αντοχή κύβου και κυλίνδρου.

1.5 Χημικά Πρόσμικτα Σκυροδέματος

Τα πρόσμικτα σκυροδέματος είναι ουσίες σε υγρή μορφή ή σκόνη, οι οποίες προστίθενται στο σκυρόδεμα σε μικρές ποσότητες κατά τη φάση ανάμιξης, συνήθως βάσει του περιεχόμενου τσιμέντου. Επηρεάζουν τις ιδιότητες του φρέσκου και/ή του σκληρυμένου σκυροδέματος με χημικό και / ή φυσικό τρόπο. Σύμφωνα με το Πρότυπο EN 206-1, οι ορισμοί και οι χρήσεις των προσμίκτων σκυροδέματος καθορίζονται από το Πρότυπο (EN 934-2/). Αυτό το πρότυπο περιλαμβάνει τους ακόλουθους «Ειδικούς Ορισμούς»:

1.5.1 Μειωτής νερού

Καθιστά δυνατή τη μείωση του περιεχόμενου νερού σε ένα μίγμα χωρίς επίδραση στη συνεκτικότητά του, ή αυξάνει το εργάσιμό του χωρίς αλλαγή του περιεχόμενου νερού, ή επιτυγχάνει και τα δύο αποτελέσματα.

1.5.2 Υπερρευστοποιητής

Καθιστά δυνατή τη σημαντική μείωση του περιεχόμενου νερού σε ένα δεδομένο μίγμα σκυροδέματος, χωρίς επίδραση στη συνεκτικότητά του ή αυξάνει σημαντικά το εργάσιμό του χωρίς αλλαγή του περιεχόμενου νερού, ή επιτυγχάνει και τα δύο αποτελέσματα.

1.5.3 Ρυθμιστής Ιξώδους

Μειώνει το νερό απόμιξης που προκύπτει λόγω εξίδρωσης στο νωπό σκυρόδεμα.

1.5.4 Αερακτικό

Εισάγει συγκεκριμένη ποσότητα αέρα στο μίγμα με τη μορφή μικρών και ομοιόμορφα κατανομημένων φυσαλίδων αέρα κατά τη φάση ανάμιξης και οι οποίες παραμένουν στη σκληρυμένη μάζα σκυροδέματος.

1.5.5 Επιταχυντής πήξης

Μειώνει το χρόνο που απαιτείται για την αρχική πήξη, αυξάνοντας τις πρώιμες αντοχές.

1.5.6 Επιταχυντής σκλήρυνσης

Επιταχύνει τις πρώιμες αντοχές με ή χωρίς επίδραση στο χρόνο πήξης.

1.5.7 Επιβραδυντής

Επιβραδύνει το χρόνο για την αρχική πήξη και επιμηκύνει την εργασιμότητα.

1.5.8 Στεγανωτικό μάζας

Μειώνει την απορρόφηση νερού από τους τριχοειδείς πόρους του σκληρυμένου σκυροδέματος.

1.5.9 Επιβραδυντής / μειωτής νερού

Έχει τις συνδυαστικές ιδιότητες ενός μειωτή νερού (κύρια ιδιότητα) και ενός επιβραδυντή (επιπλέον ιδιότητα).

1.5.10 Επιβραδυντής / υπερρευστοποιητής

Έχει τις συνδυαστικές ιδιότητες ενός υπερρευστοποιητή (κύρια ιδιότητα) και ενός επιβραδυντή (επιπλέον ιδιότητα).

1.5.11 Επιταχυντής πήξης / μειωτής νερού

Έχει τις συνδυαστικές ιδιότητες ενός μειωτή νερού (κύρια ιδιότητα) και ενός επιταχυντή πήξης (επιπλέον ιδιότητα).

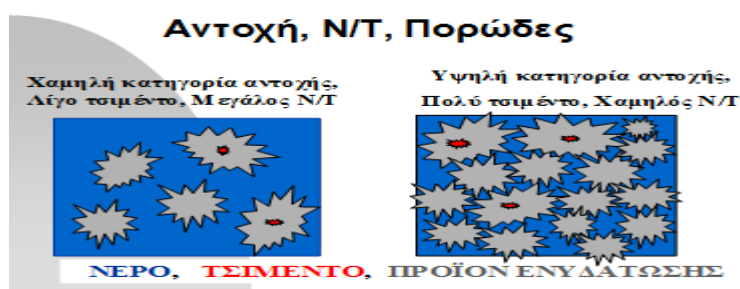
1.6 Λόγος Νερού Προς Τσιμέντο

Ο λόγος νερού προς τσιμέντο (W/C) καθορίζεται από διάφορους παράγοντες που εξαρτώνται από την απαιτούμενη αντοχή του σκυροδέματος, από το είδος του σκυροδέματος που σχεδιάζεται να παραχθεί και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος οι οποίες αναμένεται να επικρατήσουν μετά τη διάστρωσή του. Η διαμόρφωση της τιμής του (W/C) καθορίζεται με τη βοήθεια στοιχείων από Πίνακες. Η γενική αρχή που ισχύει στην παραγωγή σκυροδέματος είναι: Μεγάλος λόγος (W/C), δηλαδή περίσσεια νερού, προκαλεί παραγωγή ασθενούς σκυροδέματος, ενώ μικρός λόγος κάνει το σκυρόδεμα «μη εργάσιμο», δεν «δουλεύεται» ικανοποιητικά (έχει πολύ μεγάλο ιξώδες).

Το νερό που απαιτείται για την πλήρη αντίδραση του τσιμέντου με το νερό είναι περίπου το 22-23% του βάρους του τσιμέντου, δηλαδή $N/T=0,23$. Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει περίσσεια νερού για τις υπόλοιπες ιδιότητες που πρέπει να έχει το σκυρόδεμα, όπως η εργασιμότητα, αντλησιμότητα κλπ. Για να αποκτήσει το σκυρόδεμα αυτές τις ιδιότητες, εκτός των άλλων, απαιτείται περίσσεια νερού. Στο σχήμα 2 φαίνεται ενδεικτικά η επίδραση της σχέσης N/T στην αντοχή και στα κενά-πορώδες του σκυροδέματος. Όσο περισσότερο είναι το νερό σε σχέση με το τσιμέντο (μεγάλος N/T), οι βελόνες των προϊόντων ενυδάτωσης «μπλέκονται» λίγο μεταξύ τους, τα κενά που σχηματίζονται μεταξύ των προϊόντων ενυδάτωσης (πορώδες) των διπλανών κόκκων είναι σχετικά μεγάλα, με αποτέλεσμα η τάση

που απαιτείται για να σπάσει αυτός ο «δεσμός», να είναι σχετικά μικρή, οπότε και η αντοχή είναι μικρή (αριστερό σχ.).

Όταν το νερό σε σχέση με το τσιμέντο είναι λιγότερο (μικρός N/T), οι βελόνες των προϊόντων ενυδάτωσης είναι «σφιχτά μπλεγμένες» μεταξύ τους, τα κενά που σχηματίζονται μεταξύ τους είναι σχετικά μικρά, με αποτέλεσμα η τάση που απαιτείται για να «σπάσει» αυτός ο δεσμός να είναι μεγαλύτερη από το πρώτο παράδειγμα (δεξιό σχ.). Οι λόγοι N/T για τα συνηθισμένα έργα κυμαίνονται από 0,45 – 0,70. Για ειδικά σκυροδέματα μπορούμε να φτάσουμε και την τιμή N/T=0,30-0,35



Εικόνα 2. Επίδραση της σχέσης N/T στην αντοχή του σκυροδέματος.

1.7 Συντήρηση και ενυδάτωση σκυροδέματος

Η συντήρηση είναι υποχρεωτική για κάθε έργο. Αρχίζει αμέσως μετά τη διάστρωση και πρέπει να διαρκεί για χρονικό διάστημα που εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες και τις ειδικές απαιτήσεις του έργου. Το χρονικό αυτό διάστημα δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερο από επτά (7) ημέρες για την πρώτη φάση συντηρήσεως. Η συντήρηση πρέπει να δημιουργεί τις συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας που θα επιτρέψουν να ενυδατωθεί το μεγαλύτερο ποσοστό τσιμέντου του μίγματος. Η ενυδάτωση είναι επίσης ένας βασικός παράγοντας στο να δημιουργηθούν ρωγμές, πράγμα που μπορεί να επηρεάσει σοβαρά την ανθεκτικότητα της κατασκευής. Για να αποκτήσει το σκυρόδεμα δύναμη και αντοχή θα πρέπει να έχει επαρκές νερό για την ενυδάτωση του τσιμέντου, και η σωστή θερμοκρασία ευνοεί την διατήρηση αυτής της χημικής αντίδρασης σε ένα ταχύ, συνεχή ρυθμό. Για να εξασφαλιστεί η ύπαρξη αυτών των συνθηκών, το σκυρόδεμα πρέπει να προστατεύεται από τις βλαβερές επιδράσεις του ανέμου, του ήλιου και μεταβλητές καιρικές συνθήκες.

Κατάλληλη θερμοκρασία για ιδανική ενυδάτωση είναι 23 ° C και είναι επιθυμητή η διατήρηση αυτής της θερμοκρασίας στο σκυροδέμα

Η απαραίτητη υγρασία για τη συντήρηση εξασφαλίζεται:

α) Με μεθόδους που απαγορεύουν ή επιβραδύνουν την εξάτμιση νερού του μίγματος, όπως ο ψεκασμός με ειδικά υγρά που σχηματίζουν επιφανειακή μεμβράνη, η επικάλυψη με λινάτσες, άμμο, αδιάβροχα φύλλα κλπ.

β) Με μεθόδους που αντικαθιστούν το νερό που εξατμίζεται, όπως κατάβρεγμα, πλημμύρισμα κλπ.

Αν στη σύμβαση του έργου δεν αναφέρεται διαφορετικά και αν δεν προβλέπεται παγετός, η συντήρηση θα γίνεται ως εξής: Αμέσως μετά το τέλος της διαστρώσεως όλες οι ελεύθερες επιφάνειες του σκυροδέματος θα σκεπάζονται με λινάτσες. Οι λινάτσες θα διατηρούνται υγρές ολόκληρο το 24ωρο και για επτά τουλάχιστον ημέρες.

1.8 Σκυροδέτηση σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος

Με βάση τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος η θερμοκρασία του σκυροδέματος κατά την διάστρωση δεν επιτρέπεται (για οποιαδήποτε θερμοκρασία περιβάλλοντος) να είναι μεγαλύτερη από 32 οC. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την θερμοκρασία του σκυροδέματος είναι:

- Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.
- Η θερμοκρασία των πρώτων υλών που συμμετέχουν στην παραγωγή του (αδρανή υλικά, τσιμέντο, νερό).
- Η θερμότητα ενυδατώσεως του τσιμέντου.
- Η ποσότητα του τσιμέντου και ο μέγιστος κόκκος αδρανών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή του.
- Η απόσταση και ο τρόπος μεταφοράς από το εργοστάσιο παραγωγής στο προς σκυροδέτηση έργο.
- Οι συνθήκες σκυροδέτησης (πρωινή / βραδινή σκυροδέτηση, σκυροδετούμενη επιφάνεια, κλπ).

Όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι υψηλή πρέπει να λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα για τη διάστρωση και τη συντήρηση του σκυροδέματος. Η σκυροδέτηση σε υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος οδηγεί σε:

- Μεγαλύτερη ταχύτητα εξάτμισης του νερού: Αυτό οδηγεί σε αυξημένες ρηγματώσεις στην επιφάνεια του σκυροδέματος, από διάφορες αιτιολογίες (ρωγμές λόγω συστολής ξήρανσης, θερμοκρασιακές μεταβολές). Επιπλέον, είναι πιθανόν το νερό των επιφανειακών στρώσεων να είναι μικρότερο του απαιτούμενου για πλήρη ενυδάτωση. Η μειωμένη ενυδάτωση των επιφανειακών στρώσεων του σκυροδέματος έχει συνέπειες τόσο στην αντοχή όσο και στην προστασία που παρέχουν οι επιφανειακές στρώσεις στον οπλισμό.
- Ταχύτερη πήξη του σκυροδέματος: Αυτό συνεπάγεται την επίτευξη μειωμένων τελικών αντοχών από εκείνες που επιτυγχάνονται στο ίδιο σκυρόδεμα με διαφορετική θερμοκρασία.

α/α	Θερμοκρ. σκυροδέματος	Θερμοκρ. περιβάλλοντος	Εξάτμιση νερού από την επιφάνεια του σκυροδέματ. (σε kg/m ² /h)	Σκυροδέτηση	Υποχρεωτική ή προστασία σκυροδέματος	Υποχρεωτική χρήση επιβραδυντή ή	Περίοδος προστασίας σκυροδέματος* (ημέρες)
1	<32°C	<32°C	≤1	ΝΑΙ	ΟΧΙ	Προαιρετική ή	-
2	<32°C	<32°C	>1	Υπό όρους	ΝΑΙ	Προαιρετική ή	7
3	<32°C	≥32°C	≤1	Υπό όρους	ΝΑΙ	ΝΑΙ	7
4	<32°C	≥32°C	>1	Υπό όρους	ΝΑΙ	ΝΑΙ	7
5	>32°C	-	-	ΟΧΙ**	-	-	-

Πίνακας 3. Συνθήκες θερμοκρασίας και μέτρα προστασίας κατά την σκυροδέτηση με ζεστό καιρό

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Εισαγωγή

Το σκυρόδεμα είναι σύνθετο υλικό ειδικής τεχνολογίας. Ούτε ο επιβλέπων ούτε κανείς άλλος ούτε και εκείνος που κατασκεύασε είναι σε θέση να διαπιστώσει «με το μάτι» την καταλληλότητά του. Ο έλεγχος του γίνεται μόνο με δοκίμια, εκείνα που προβλέπουν οι Κανονισμοί. Το γεγονός ότι αγοράζουμε σκυρόδεμα από ένα «γνωστό» εργοστάσιο δεν αποτελεί εξασφάλιση. Παρά την καλή πρόθεση των μεγάλων εργοστασίων παράγωγης σκυροδέματος, οι βλάβες των μηχανημάτων τους και οι αστοχίες των υλικών τους είναι αναπόφευκτες. Ο επιβλέπων μηχανικός όπου θα παραλάβει έτοιμο σκυρόδεμα από εργοστάσιο δεν έχει καμιά ευθύνη για τα υλικά και το νωπό σκυρόδεμα (την ευθύνη έχει το εργοστάσιο που προμηθεύει το σκυρόδεμα) αρκεί να μεριμνήσει για την λήψη και τον έλεγχο δοκιμίων. Απαιτείται έλεγχος 6 δοκιμίων από κάθε παρτίδα σκυροδέματος για ποιότητα που διαστρώνεται ημερησίως μέχρι 150 m³.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγραφεί η διαδικασία που ακολουθήθηκε για λείψει δοκιμίων από αυτοκίνητο την εταιρία παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος Αθηνοδώρου και διαφύλαξη των δοκιμίων μέχρι την θραύση τους. Σκοπός της μελέτης αυτής είναι να υπολογίσουμε την μείωση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος με το να αυξήσουμε τον λόγο νερού τσιμέντου αφού φτάσει το σκυρόδεμα στο εργοτάξιο (πράγμα συνήθης σε εργοτάξια της Κύπρου για αύξηση της εργασιμότητας) και να μελετήσουμε αν η μη ενυδάτωση των δομικών στοιχείων (δοκοί υποστυλώματα) μετά την σκυροδέτηση επηρέαζε στην τελική αντοχή του σκυροδέματος.

2.2 Λήψη δοκιμίων

Τα δοκίμια λήφθηκαν από έτοιμο σκυρόδεμα κατηγορίας C30 (Πίνακας 2) της εταιρία Αθηνοδώρου. Αρχικά ζυγίστηκαν τα υλικά και τοποθετήθηκαν στον αναμικτήρα

σκυροδέματος. Αφού έγινε η ανάμιξη των υλικών το σκυροδέμα τοποθετήθηκε σε



Εικόνα 3. Λήψη σκυροδέματος.



Εικόνα 4. Τοποθέτηση σκυροδέματος σε αυτοκίνητο.

αυτοκίνητο της εταιρίας (Σχήμα 4) και από αυτό πάρθηκε να αμάξι σκυροδέματος (Σχήμα 3) για παρασκευή δοκιμίων. Λήφθηκαν συνολικά 18 δοκίμια , τα πρώτα 6 τοποθετήθηκαν σε κύβους 15*15*15 cm χωρίς την αύξηση του λόγου N/T , ακολούθως προσθέσαμε 1,5L νερό στο αμάξι και πήραμε ακόμα 6 κύβους (δηλαδή αυξήσαμε το λόγο N/T από 0,5 σε 0,56), ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία και προσθέσαμε ακόμα 1,5 L νερό (αυξήσαμε το λόγο N/T από 0,5 σε 0,62).

Mix Design C30

Πρωτες Υλες	C30 (Kg/m ³)
Σκυρα 20 mm (8/20 mm) SKR	530
Σκυρα 10 mm (4/10 mm) SKR	330
Αμμος Z2 (0/4 mm)	810
Τσιμεντο CEM II 42.5R	380
Νερο	190
Tsirco-flo S3 (Ltr)	2.8
Tsirco-flo R3 (Ltr)	0.6
W/C Ratio	0.5

Πίνακας 4. Mix design κατηγορίας C30

Για τον έλεγχο της επίδρασης της μη ενυδάτωσης τους σκυροδέματος πάρθηκαν συνολικά 18 δοκίμια από την εταιρία παραγωγής σκυροδέματος ,θλιπτικής αντοχής C25 (πίνακας 3) . τα δοκίμια τοποθετήθηκαν 6 σε δεξαμενή νερού , 6 στην ατμόσφαιρα και 6 σε θερμοκρασία δωματίου. Η θραύση των δοκιμίων έγινε σε 7,14 και 28 ημέρες.

Mix Design C25

Πρωτες Υλες	C25 (Kg/m ³)
Σκυρα 20 mm (8/20 mm) SKR	530
Σκυρα 10 mm (4/10 mm) SKR	330
Αμμος Z2 (0/4 mm)	845
Τσιμεντο CEM II 42.5R	330
Νερο	190
Tsirco-flo S3 (Ltr)	2.5
Tsirco-flo R3 (Ltr)	0.5
W/C Ratio	0.58

Πίνακας 5. Mix design κατηγορίας C25

2.3 Δοκιμή κάθισης:

Μετά την παρασκευή του σκυροδέματος η επόμενη διαδικασία αφορά την μέτρηση του εργάσιμου με την δοκιμή κάθισης. Η μέθοδος εφαρμόζεται για σκυρόδεμα με μέγιστο κόκκο αδρανούς 40 mm. Για την εκτέλεση της δοκιμής κάθισης χρησιμοποιούνται:

α) Ο κώνος κάθισης, που είναι μεταλλική μήτρα σχήματος ορθού κόλουρου κώνου, με διάμετρο κάτω βάσεως 200 ± 2 mm, διάμετρο άνω βάσεως 100 ± 2 mm, ύψος 300 ± 2 mm (χωρητικότητας 0,0055 m³). Οι δύο βάσεις είναι ανοικτές, παράλληλες μεταξύ τους και κάθετες στον άξονα του κώνου. Η μήτρα έχει στην εξωτερική της επιφάνεια δύο χειρολαβές, προσαρμοσμένες στα δύο τρίτα του ύψους της από την κάτω βάση και δύο αντιδιαμετρικά εξωτερικά πτερύγια στηρίξεως, στο επίπεδο της κάτω βάσεως, για την ακινητοποίηση της. Το μέταλλο κατασκευής της πρέπει να είναι απρόσβλητο από το σκυρόδεμα, η εσωτερική της επιφάνεια να είναι λεία, χωρίς ανωμαλίες.



Ο κώνος γεμίζεται με τη σέσουλα (όχι μυστρί) σε τρεις στρώσεις ίσου ύψους και διατηρείται ακίνητος καθ' όλη τη διάρκεια του γεμίματος, με τη βοήθεια των δύο πτερυγίων στηρίξεως, πάνω στα οποία πατάει με το πόδια του ο παρασκευαστής. Κάθε στρώση συμπυκνώνεται με 25

Εικόνα 5. Κώνος κάθισης.

κτυπήματα της ράβδου συμπυκνώσεως, που κατανέμονται κατά το δυνατόν ομοιόμορφα στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Τα κτυπήματα ξεκινούν από την περίμετρο της μήτρας και με σπειροειδή κίνηση φθάνουν στο κέντρο. Κατά την συμπύκνωση της πρώτης στρώσης, η ράβδος βυθίζεται σε όλο το βάθος του σκυροδέματος και, κατά την εμπηξή της, έχει στην αρχή μια μικρή κλίση που βαθμιαία ελαττώνεται, τείνοντας προς την κατακόρυφο. Στη δεύτερη και τρίτη στρώση η ράβδος βυθίζεται σε όλη τη στρώση, εισερχόμενη λίγο (περίπου 1 - 2 cm) και στην αμέσως από κάτω της, Στην ανώτερη (τρίτη) στρώση ο κώνος γεμίζεται με περίσσεια σκυροδέματος, που συμπληρώνεται συνεχώς κατά τη διάρκεια συμπύκνωσης.



Ύστερα από τη συμπύκνωση και της τελευταίας στρώσης, αφαιρείται το σκυρόδεμα που πλεονάζει και επιπεδώνεται η άνω επιφάνεια του, με παλινδρομική κύλιση της ράβδου συμπυκνώσεως στα χείλη του κώνου.

Εικόνα 6. Συμπύκνωση Σκυροδέματος.

Αμέσως μετά το γέμισμα του κώνου και τη συμπύκνωση του σκυροδέματος, καθαρίζεται η περιοχή γύρω από τη βάση του και ο κώνος ανασύρεται αργά, από τις πλευρικές χειρολαβές. Η ανύσωση πρέπει να γίνεται ομαλά, με σταθερή ταχύτητα και κατακόρυφη προς τα πάνω κίνηση, χωρίς στροφή και τραντάγματα, και να ολοκληρώνεται μέσα σε 5 -10 sec (ο παρασκευαστής μετράει αργά από το 1001 έως το 1005). Ολόκληρη η διαδικασία της δοκιμής από την έναρξη του γεμίματος μέχρι την αφαίρεση του κώνου πρέπει να ολοκληρώνεται σε χρόνο μικρότερο των 150 sec. Η διαφορά ανάμεσα στο ύψος του κώνου



και του υψηλότερου σημείου του σκυροδέματος, που ελευθερούμενο από το μεταλλικό περίβλημα "κάθισε", μετριέται με προσέγγιση 5 mm , εκφράζεται σε ακέραια εκατοστά του μέτρου και αποτελεί την κάθιση του σκυροδέματος που ελέγχεται.

Εικόνα 7. Υπολογισμός κάθισης σκυροδέματος.

2.4 Παρασκευή δοκιμίων

Για την παρασκευή δοκιμίων χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της λήψεως του σκυροδέματος και της παρασκευής του δοκιμίου, δεν πρέπει να ξεπερνά τα 15 λεπτά της ώρας. Τα συμβατικά δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για τους ελέγχους συμμορφώσεως, είναι κυβικά , διαστάσεων 15*15* 15 cm και οι μήτρες των δοκιμίων ήταν αριθμημένες. Οι μήτρες πριν από τη χρήση τους λαδώθηκαν ελαφρά με λάδι. Για μεγαλύτερη κάθιση η συμπύκνωση γίνεται με ράβδο Φ16, μήκους 60 cm. και με στρογγυλεμένα άκρα. Στην περίπτωση της

ράβδου, κάθε μήτρα γεμίζεται με τη σέσουλα (όχι μυστρί, γιατί διαφεύγει το λεπτό υλικό) σε δύο στρώσεις (μισή και μισή κάθε φορά) και κάθε στρώση συμπυκνώνεται ιδιαίτερα. Η συμπίκνωση κάθε στρώσεως απαιτεί 25 χτυπήματα με την σχετική ράβδο. Κατά τη συμπίκνωση της κατώτερης στρώσης η ράβδος εισχωρεί μέχρι τον πυθμένα της μήτρας. Η συμπίκνωση θα γίνεται αμέσως μετά την τοποθέτηση του σκυροδέματος στη μήτρα και χωρίς διακοπή μεταξύ 1ης και 2ης στρώσης. Μετά τη συμπίκνωση επιπεδώνεται η τελική επιφάνεια, καθαρίζονται οι επιφάνειές της μήτρας και αριθμείται το δοκίμιο



Εικόνα 8. Συμπύκνωση στρώσεως κυβου.



Εικόνα 9. Λάδωμα μήτρας με λαδι.

Μετά τη συμπίκνωση επιπεδώνεται , διαμόρφωνεται με μυστρί η τελική επιφάνεια, της μήτρας και αριθμείται το δοκίμιο.

2.5 Θερμοκρασια Σκυροδεματος

Η θερμοκρασια σκυροδεματος κατά την ληψη των δοκιμιων ηταν 19 °C. Με βάση τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος η θερμοκρασία του σκυροδέματος κατά την διάστρωση δεν επιτρέπεται (για οποιαδήποτε θερμοκρασία περιβάλλοντος) να είναι

μεγαλύτερη από 32 οC.



Εικόνα 10 . Θερμομετρο σκυροδεματος.

2.6 Συντήρηση δοκιμίων

Τα δοκίμια πρέπει να παραμείνουν στη σκιά, μέσα στις μήτρες, χωρίς χτυπήματα, δονήσεις, ξήρανση για 24 ώρες . Στην συνέχεια αφαιρέθηκαν οι μήτρες από τα δοκίμια και



αναγράφηκαν πάνω σε αυτά ο αριθμός της παρτίδας καθώς και η ημερομηνία παρασκευής τους. Μετά την αφαίρεση των μητρών τα δοκίμια όπου αιζηθηκα ο λογο νερού/τσιμεντου τοποθετήθηκαν σε δεξαμενή με νερού όπου και παραμένουν για 7,14 και 28

Εικόνα 11. Δεξαμενή νερού για ενυδατωθεί δηγματων.

ημέρες. Η εισαγωγή σε δεξαμενή με νερό αποσκοπεί στο να δημιουργηθούν οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας που θα επιτρέψουν να ενυδατωθεί το μεγαλύτερο ποσοστό τσιμέντου του μίγματος . Τα δοκίμια όπου ελέγχτηκε η επίδραση της ενυδάτωσης στην αντοχή του σκυροδέματος τοποθετήθηκαν σε δεξαμενή νερου , στην ατμόσφαιρας και σε δωμάτιο όπου και παρέμειναν για 7,14 και 28 ημέρες.



Εικόνα 12. Δοκμια εκτεθειμενα στη ατμοσφαιρα



Εικόνα 13. Δοκμια σε θερμοκρασιες δωματιου.

2.7 Θραυση δοκιμιων

Μετά από το περας οριμανσης των δοκιμιων τα δοκίμια ζυγίζονται για τον προσδιορισμό του πραγματικού ειδικού βάρους του σκυροδέματος και τοποθετούνται στην μηχανή θλίψης (μέγιστη δύναμη 3000 kN) όπου θα μετρήσουμε τις αντοχές των δοκιμίων σε μονοαξονική θλίψη. Το δοκίμιο τοποθετείται μεταξύ δύο απαραμόρφωτων πλακών μέσω των οποίων εφαρμόζεται το αξονικό φορτίο, στην άνω και κάτω επιφάνεια του



Εικόνα 14. Ζυγιση δοκιμιων .

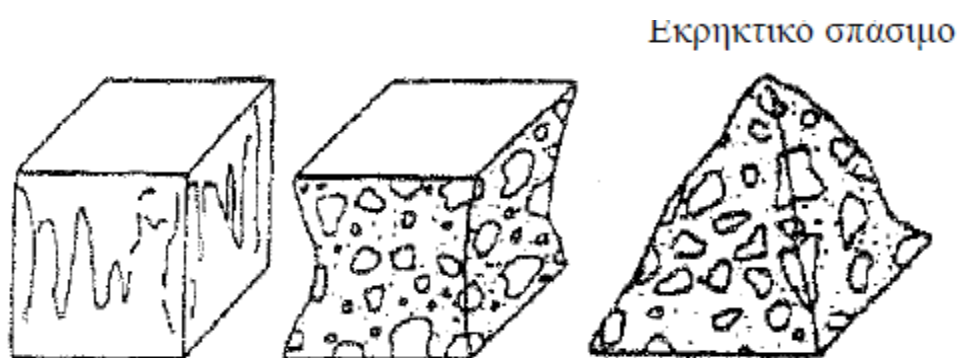


Εικόνα 15. Τοποθετηση δοκιμιου σε μηχανή θλίψης

Κατά την φόρτιση του το δοκίμιο διογκώνεται και τελικά συνθλίβεται, εμφανίζοντας πολλές ρωγμές στην παράπλευρη επιφάνεια του. Η τάση που αναπτύσσεται στο δοκίμιο, βασισμένη στο εμβαδόν της αρχικής διατομής του, κατά την στιγμή της θραύσης του είναι το όριο θραύσης. Στα ψαθυρά υλικά, όπως το σκυρόδεμα, στα οποία η αντοχή σε διάτμηση είναι σημαντικά μικρότερη από την αντοχή σε θλίψη, η θραύση γίνεται με απόσχιση τεμαχίων από τα πρισματικά δοκίμια κατά επιφάνειες επίπεδες σχηματίζοντας γωνία 45ο με τη διεύθυνση φορτίσεων, δηλαδή κατά τις επιφάνειες των μέγιστων διατμητικών τάσεων.

2.7.1 Τρόποι με τους οποίους θραύονται οι κύβοι

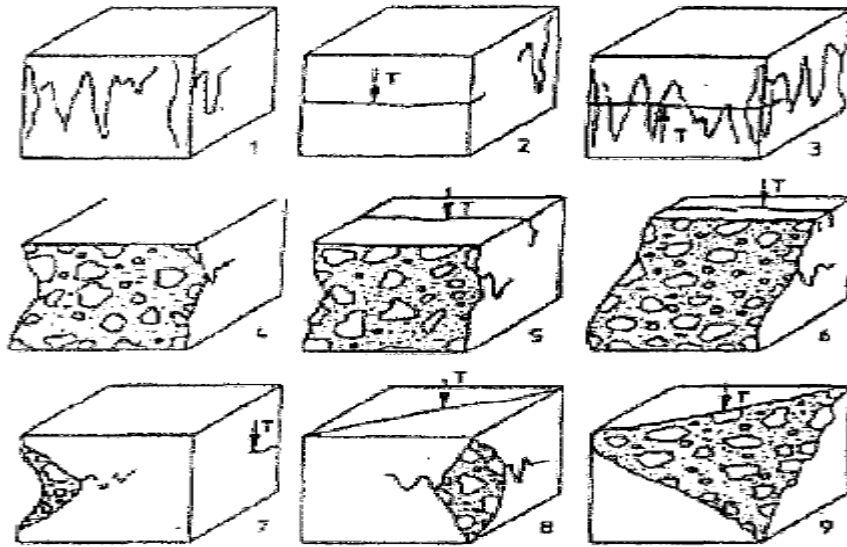
Μετά τη συμπλήρωση της δοκιμής, θα πρέπει να αναφερθεί και ο τρόπος με τον οποίο έσπασαν οι κύβοι. Για κύβους που δεν θα σπάσουν κανονικά, τα αποτελέσματα δε λαμβάνονται υπόψη. Στην Εικόνα 13, φαίνεται πως είναι ο ικανοποιητικός τρόπος θραύσης των κύβων. Όπως φαίνεται πιο κάτω, και οι τέσσερις εκτεθειμένες πλευρές έσπασαν περίπου το ίδιο, ενώ οι επιφάνειες που ήταν σε επαφή με τις πλάκες της θλιπτικής μηχανής δεν έπαθαν σχεδόν τίποτα.



Εικόνα 16. Ικανοποιητικός τρόπος θραύσης κύβων

Μερικές πιθανές αιτίες που επηρεάζουν το σπάσιμο των κύβων με μη ικανοποιητικό τρόπο (εικόνα 14) είναι:

- Ο λανθασμένος τρόπος κατασκευής τους από νωπό σκυρόδεμα
- Η χρησιμοποίηση καλουπιών, που δεν έγινε σύμφωνα με τα πρότυπα
- Ο λανθασμένος τρόπος τοποθέτησης τους στη θλιπτική μηχανή
- Η κακή λειτουργία της θλιπτικής μηχανής



Εικονα17. Μη ικανοποιητικός τρόπος θραύσης κύβων

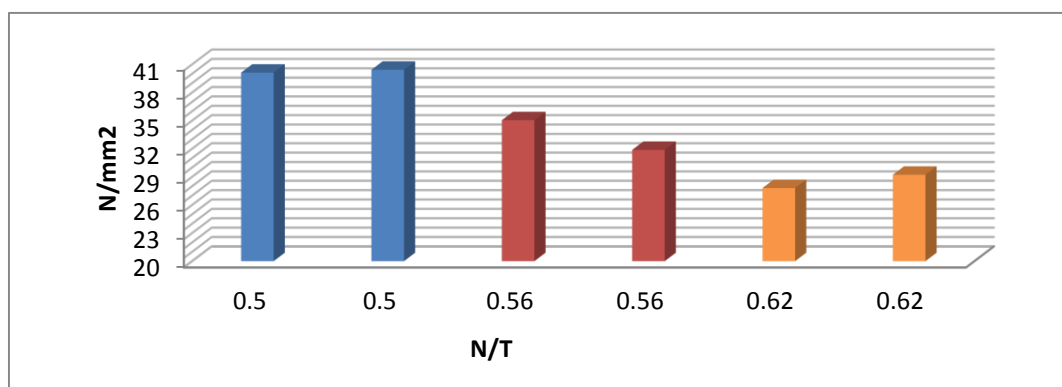
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Αποτελέσματα από την Αύξηση του λόγου N/T

3.1.1 Θλιπτική αντοχή κύβων με διαφορετικό λόγο N/T και θραύση σε 7 ημέρες.

Θλιπτική Αντοχή (7 ημερες)				
Κύβος	Βαρος	W/C	Φορτιο (KN)	N/mm ²
C30.1	7811	0.5	902.5	40.11
C30.2	7745	0.5	909.4	40.42
C30.3	7745	0.56	788.3	35.04
C30.4	7686	0.56	717	31.87
C30.5	7595	0.62	515.5	27.80
C30.6	7657	0.62	657.4	29.22

Πίνακας 6. Αποτελέσματα από την αύξηση του λόγου N/T σε 7 ημέρες



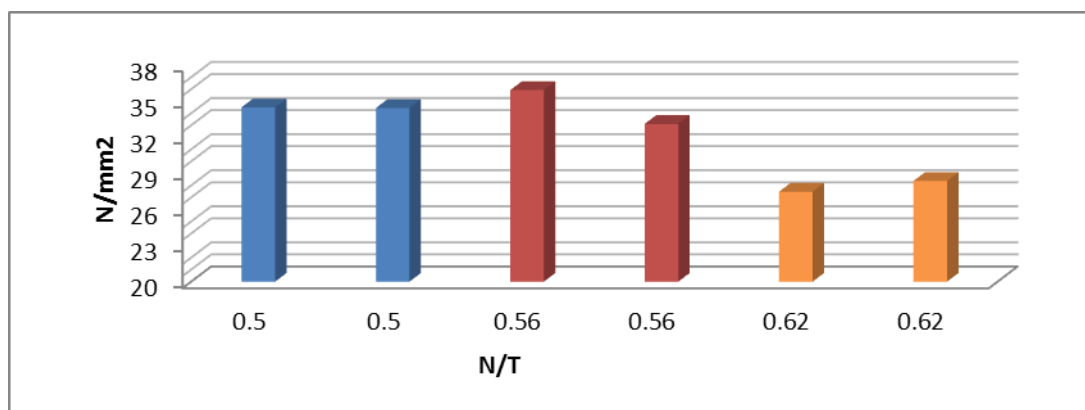
Διάγραμμα 1. Αποτελέσματα από την αύξηση του λόγου N/T σε 7 ημέρες

Από τα αποτελέσματα και τη γραφική παράσταση φαίνεται ότι, η θλιπτική αντοχή των κύβων σε 7 ημέρες, που δεν άλλαξε ο λόγος N/T και έτυχαν όλοι της ίδιας συντήρησης σε θάλαμο με νερό, είναι σημαντικά αυξημένος σε σχέση με τα άλλα δοκίμια. Στο σκυρόδεμα, που προστέθηκε νερό κατά την λήψη δοκιμίων παρατηρείτε μειωμένη θλιπτική αντοχή μετά την πήξη και την πάροδο 7 ημερών.

3.1.2 Θλιπτική αντοχή κύβων με διαφορετικό λόγο N/T και θραύση σε 14 ημέρες.

Θλιπτική Αντοχή (14 ημέρες)				
Κύβος	Βαρος	W/C	Φορτίο (KN)	N/mm ²
C30.7	7820	0.5	776.3	34.50
C30.8	7820	0.5	775	34.44
C30.9	7696	0.56	808.5	35.93
C30.10	7720	0.56	745.2	33.12
C30.11	7612	0.62	618.4	27.48
C30.12	7680	0.62	638.5	28.38

Πίνακας 7. Αποτελέσματα από την αύξηση του N/T σε 14 ημέρες



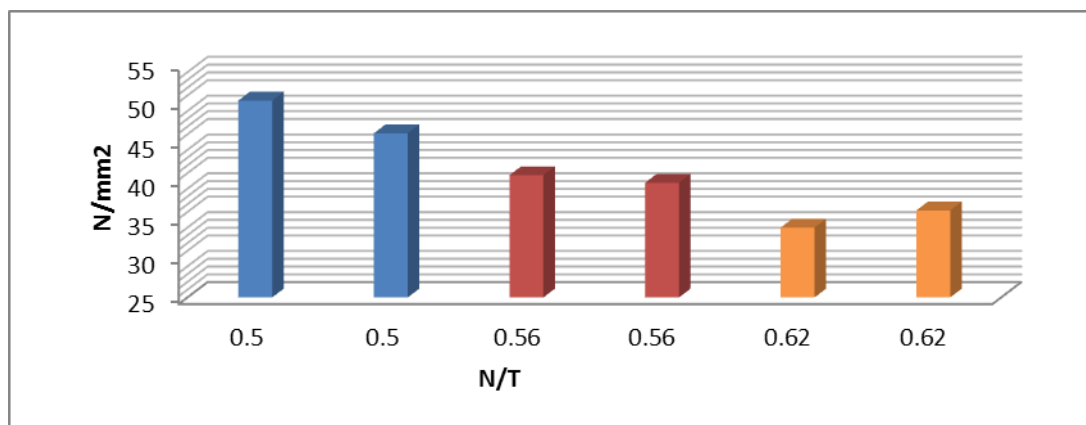
Διάγραμμα 2. Αποτελέσματα από την αύξηση του λόγου N/T σε 14 ημέρες.

Στα αποτελέσματα και τη γραφική παράσταση όπου η κύβοι έσπασαν σε 14 ημέρες η θλιπτική αντοχή για λόγος N/T 0.5 και 0.56 δεν έχει σημαντική διαφορά. αντίθετα για λόγο N/T 0.62 παρατηρείτε σαφώς μειωμένη θλιπτική αντοχή.

3.1.3 Θλιπτική αντοχή κύβων με διαφορετικό λόγο N/T και θραύση σε 28 ημέρες.

Θλιπτική Αντοχή (28 ημέρες)				
Κύβος	Βαρος	W/C	Φορτίο (KN)	N/mm ²
C30.1	7784	0.5	1132.9	50.35
C30.2	7782	0.5	1038.2	46.14
C30.3	7742	0.56	916.7	40.74
C30.4	7704	0.56	894.8	39.77
C30.5	7655	0.62	765	34.00
C30.6	7658	0.62	814.5	36.20

Πίνακας 8. Αποτελέσματα από την αύξηση του N/T σε 28 ημέρες



Διάγραμμα 3. Αποτελέσματα από την αύξηση του λόγου N/T σε 28 ημέρες.

Από την πιο πάνω σύγκριση των αποτελεσμάτων για 28 ημέρες είναι φανερό ότι, τα δοκίμια που δεν αυξήθηκε ο λόγος N/T έχουν σημαντικά αυξημένη αντοχή, από αυτή που απέκτησαν τα δοκίμια που αυξήθηκε ο λόγος N/T. Να σημειωθεί ότι τα δοκίμια έτυχαν την ίδια συντήρηση σε νερό. Συγκεκριμένα τα δοκίμια όπου ο λόγος N/T αυξήθηκε από 0,5 σε 0,56 έχουν 17% μειωμένη αντοχή και τα δοκίμια όπου αυξήθηκε ο λόγος από 0,5 σε 0,62 27% μειωμένη θλιπτική αντοχή.

3.2 Αποτελέσματα επίδρασης της μη ενυδάτωσης

Θλιπτική Αντοχή (7 ημερες)							
Κύβος	Βαρος	W/C	Τοποθετηση σε ατμοσφαιρα	Τοποθετηση σε δωματιο	Τοποθετηση σε δεξαμενη	Φορτιο (KN)	N/mm ²
C25.1	7568	0.58	*			705	31.33
C25.2	7690	0.58	*			707	31.42
C25.3	7642	0.58		*		720	32.00
C25.4	7620	0.58		*		675	30.00
C25.5	7840	0.58			*	712	31.64
C25.6	7838	0.58			*	650	28.89

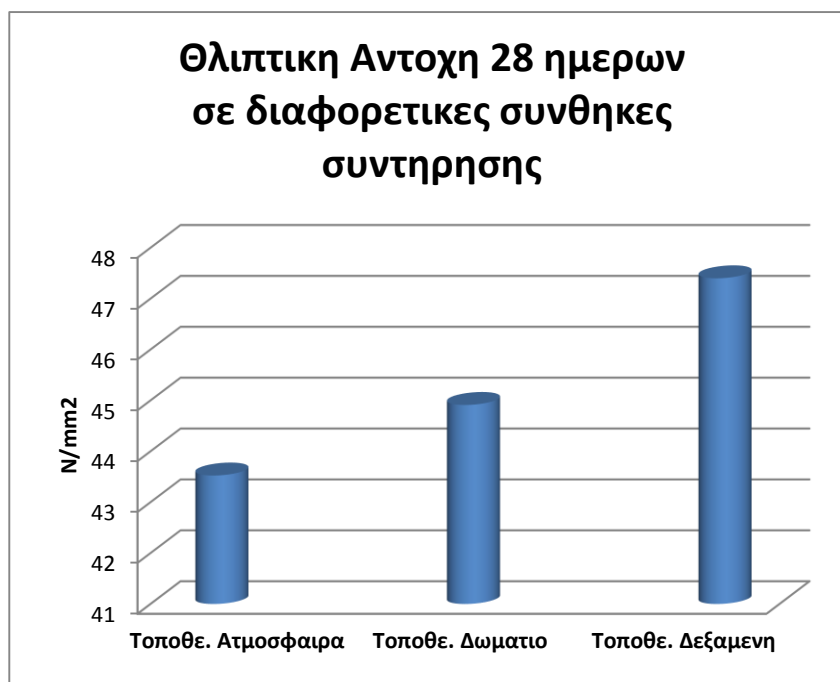
Πίνακας 9. Θλιπτική αντοχή 7 ημερών σε διαφορετικές συνθήκες συντήρησης κύβων.

Θλιπτική Αντοχή (14 ημερες)							
Κύβος	Βαρος	W/C	Τοποθετηση σε ατμοσφαιρα	Τοποθετηση σε δωματιο	Τοποθετηση σε δεξαμενη	Φορτιο (KN)	N/mm ²
C25.1	7580	0.58	*			790.6	35.14
C25.2	7640	0.58	*			836.5	37.18
C25.3	7620	0.58		*		813.15	36.14
C25.4	7581	0.58		*		864	38.40
C25.5	7790	0.58			*	895.5	39.80
C25.6	7689	0.58			*	870.75	38.70

Πίνακας 10. Θλιπτική αντοχή 14 ημερών σε διαφορετικές συνθήκες συντήρησης κύβων.

Θλιπτική Αντοχή (28 ημερες)							
Κύβος	Βαρος	W/C	Τοποθετηση σε ατμοσφαιρα	Τοποθετηση σε δωματιο	Τοποθετηση σε δεξαμενη	Φορτιο (KN)	N/mm ²
C25.1	7573	0.58	*			987	43.87
C25.2	7647	0.58	*			971.6	43.18
C25.3	7712	0.58		*		985	43.78
C25.4	7590	0.58		*		1036	46.04
C25.5	7630	0.58			*	1053	46.80
C25.6	7701	0.58			*	1080	48.00

Πίνακας 11. Θλιπτική αντοχή 28 ημερών σε διαφορετικές συνθήκες συντήρησης κύβων.



Διάγραμμα 4. Θλιπτική αντοχή 28 ημερών σε διαφορετικές συνθήκες συντήρησης.

Από τα αποτελέσματα και τη γραφική παράσταση για θραύση κύβων σε 7 ημέρες φαίνεται ότι, η θλιπτική αντοχή των κύβων, που τοποθετήθηκαν σε δεξαμενή συντήρησης με νερό, των κύβων που τοποθετήθηκαν στην ατμόσφαιρα και σε θερμοκρασίες δωματίου, δεν έχουν σημαντικές διαφορές. Παρατηρείτε ότι το νωπό σκυρόδεμα, μετά την πήξη και την πάροδο 7 ημερών, αποκτά μια υψηλή αντοχή, πολύ ικανοποιητική για την κατηγορία σκυροδέματος που έχει σχεδιαστή. Στα αποτελέσματα όπου η κύβοι έσπασαν στις 14 ημέρες υπάρχει μια αύξηση της θλιπτική αντοχή για τους κύβους όπου έγινε συντήρηση σε δεξαμενή νερού και αυτή η αύξηση της θλιπτικής αντοχής αυξάνετε στην θραύση των κύβων σε 28 ημέρες. Αυτό αποδεικνύει ότι, με μια άψογη συντήρηση, το σκυρόδεμα θα αποκτήσει την όσο πιο καλή αντοχή γίνεται.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1 Προσθήκη νερού σε έτοιμο σκυρόδεμα στο εργοτάξιο

Έχει ήδη επισημανθεί η απαγόρευση της χρήσης νερού κατά τη διάστρωση του σκυροδέματος, σύμφωνα με τον κανονισμό. Εντούτοις, πολλές φορές εφαρμόζεται στην πράξη αυτή η πρακτική, κυρίως για αύξηση της εργασιμότητας του νωπού σκυροδέματος χωρίς αύξηση του κόστους (από τη χρησιμοποίηση ρευστοποιητού). Λόγω άγνοιας των κινδύνων που αυτή η πρακτική συνεπάγεται, θεωρώ σκόπιμο να επισημάνω τις σοβαρές επιπτώσεις τις στο σκυρόδεμα.

- Μείωση Αντοχής: Η αύξηση του νερού στο σκυρόδεμα, συνεπάγεται δραματική μείωση της αντοχής του. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τους κύβους όπου μετρήθηκε η θλιπτική αντοχή στις 7 ημέρες παρατηρήθηκε μείωση στην αντοχή του σκυροδέματος κατά 17% για τα δοκίμια όπου προσθέσαμε 1,5L νερό σε ένα αμάξι σκυροδέματος (δηλαδή ο λόγος N/T από 0,50 έγινε 0,56) και μείωση κατά 29% της στα δοκίμια όπου προσθέσαμε 3L νερό σε ένα αμάξι σκυροδέματος (δηλαδή ο λόγος N/T από 0,50 έγινε 0,62). Η μείωση στην θλιπτική αντοχή αυτή παραμένει σχεδόν ίδια για τα δοκίμια που έσπασαν σε 14 και 28 ημέρες.
- Μείωση Ανθεκτικότητας: Το επιπλέον νερό στη μάζα του σκυροδέματος αυξάνει σημαντικά το πορώδες του, με αποτέλεσμα την αύξηση της διαπερατότητάς του και κατ' επέκταση τη μείωση της ανθεκτικότητάς του, τόσο σε περιβαλλοντικές επιδράσεις όσο και σε δράσεις διαβρωτικών παραγόντων.
- Εξίδρωση: Ποσότητα νερού και τσιμεντόπαστας ανεβαίνει στην επιφάνεια του σκυροδέματος, λόγω της μεγάλης ποσότητας νερού στη μάζα του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η επάνω αυτή στρώση του σκυροδέματος να έχει διαφορετικά μηχανικά χαρακτηριστικά από τη μάζα του (μειωμένη αντοχή, αυξημένη διαπερατότητα, μειωμένη αντίσταση σε απότριψη).

4.2 Μη Ενυδάτωση Των Δομικών Στοιχείων

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων, παρατηρείται μια σημαντική αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος και μετά τις πρώτες επτά ημέρες. Άρα, ο ελάχιστος χρόνος συντήρησης πρέπει να είναι μεγαλύτερος των επτά ημερών. Στα δοκιμα όπου μετρήθηκε η αντοχή στις 7 ημέρες δεν παρατηρήθηκε μείωση στην αντοχή του σκυροδέματος. Στα δοκιμα που μετρήθηκε η αντοχή στις 14 ημέρες παρατηρήθηκε μια μύωση στην αντοχή του σκυροδέματος για τα δοκιμα που ήταν εκτεθειμένα στην ατμόσφαιρα και σε θερμοκρασίες δωματίου σε σχέση με τα δοκιμα που συντηρήθηκαν σε δεξαμενή νερού. Με τη συνέχιση της συντήρησης και πέραν των επτά ημερών, δηλαδή για το διάστημα από τις επτά μέχρι τις 28 ημέρες που έγιναν οι μετρήσεις, τα αποτελέσματα για τα δοκιμα ήταν ακόμη καλύτερα. Παρατηρήθηκε μια σημαντική μύωση της αντοχής κοντά στο 5,3% για τα δοκιμα που ήταν σε θερμοκρασία δωματίου και μια μύωση κοντά στο 8,2% για τα δοκιμα που ήταν εκτεθειμένα στην ατμόσφαιρα σε σχέση με τα δοκιμα που συντηρήθηκαν σε δεξαμενή νερού. Άρα, η συντήρηση των κατασκευών πρέπει να συνεχίζεται και πέρα των επτά ημερών, αν είναι δυνατό μέχρι τις 28 ημέρες, όπου το σκυρόδεμα αποκτά περί το 90 % της τελικής αντοχής του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

EN 934-2 ‘Certification of the factory production control of admixtures for concrete, mortar and grout.’

The Effects of Water Additions to Concrete: “What’s a little water going to hurt?”

<http://www.ggs.com.cy/skyrodema/plhrofories-skyrodematos>

http://www.lafarge.gr/wps/portal/gr/el/3_A_2_1-Manufacturing_process

Εγχειρίδιο Τεχνολογίας Σκυροδέματος Sika

Abolfazl Shamsai ‘The Effect of Water-Cement Ratio in Compressive and Abrasion Strength of the Nano Silica Concretes’

Abrams’ law ‘Role of water/cement ratio on strength development of cement mortar’

Jinrui Zhang ‘Monitoring setting and hardening of concrete by active acoustic method: Effects of water-to-cement ratio and pozzolanic materials’

Qingxin Zhao ‘Effect of curing temperature on creep behavior of fly ash concrete’

Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος

